



السجل العلمي



المؤتمر الدولي لعلوم وهندسة الحاسوب باللغة العربية

الدورة السابعة

الجزء الأول

السجل العلمي

المؤتمر الدولي لعلوم وهندسة الحاسوب باللغة العربية

الدورة السابعة

١٤٢٣ هـ - ٢٠١١ م

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

كلمة معالي رئيس اللجنة العليا



أ.د. سليمان بن عبدالله الخيل

مدير جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية

رئيس اللجنة العليا للمؤتمر

الحمد لله الذي شرفنا بالقرآن الكريم، وجعله لنا عزاً وفخراً، وحَمَلْنَا عبءَ تبليغه للعالمين، والصلاة والسلام على نبي الرحمة ومعلم البشرية الخير، وعلى آله وصحبه أجمعين .. أما بعد :

فإنه لا يخفى على ذي بصيرة التطور الكبير والتسارع المتلاحق في التقنيات الحديثة، وما وصلت إليه من تقدُّم، وبخاصة في مجال الحاسب الآلي، فقد تطوَّر استخدام الحاسب في مناحٍ شتَّى من حياتنا اليومية، ودخل معظم المجالات، وطُوِّع لخدمة القرآن الكريم وعلومه ضمن برامج عديدة ومتنوعة، وكذلك في مواقع شبكية عالمية وإقليمية ومحلية متخصصة .

وقد كانت مبادرة خادم الحرمين الشريفين الملك عبدالله بن عبدالعزيز لإثراء المحتوى العربي الإلكتروني، كانت الانطلاقة الكبرى لتسخير المملكة إمكانياتها لخدمة علوم الشريعة ونشرها، ولغة القرآن الكريم، والدعوة إلى الله بالحكمة والموعظة الحسنة. وأولَّت القرآن الكريم عناية فائقة، برزت آثارها في ميادين شتَّى، ولمسها القاضي والداني.

أيها القارئ الكريم .. إن ما شهده العالم مع مطلع هذا القرن من تقدم كبير في مجال المعلومات والتقنية والاتصالات، شمل كافة مناحي الحياة، بما في ذلك خدمة الكتاب العزيز، وكان ثمة خير غزير؛ لأنه أمكن بهذه التقنية - بعد توفيق الله عز وجل - من حفظ الموسوعات والكتب الضخمة، واستحضارها بسرعة هائلة لتقدم خدمات متنوعة لدراسة القرآن الكريم، واستنباط كنوزه، ووضع قواعد معلومات له، وكذا إعداد برامج خاصة لتحفيظ القرآن الكريم وقراءة تفسيره.

ولا ريب أن اللغة العربية ، هي لغة ديننا الحنيف التي نعتز بها ونفخر فهي لغة حية طيبة كأداة

التعبير . غير أن إرادة الله شاءت أن تنبثق الثورات العلمية والهندسة والتقنية خلال القرنين الثامن والتاسع عشر من أوروبا ويتفجر مع تلك الثورات سيل هائل من الأسماء والمسميات والاصطلاحات باللغة الأوروبية ذات الجذور اللاتينية . حيث بني أساس كافة العلوم والفنون برموز ومصطلحات لاتينية ولغات أوروبية ، فألفت الكتب والمجلدات ونشرت البحوث ودرست مختلف فروع العلم ومن ضمنها علوم الحاسب باللغة الأجنبية.

مما جعل طلبة علوم الحاسب أمام مشكلتين : (إتقان اللغة الأجنبية للحصول عن طريقها ، وتحصيل المادة ذاتها . ومن الواضح أن إتقان لغة أجنبية للحصول عن طريقها أمر لا يستطيعه الطالب المتوسط ، فيصبح والحالة هذه - أمام كل من لم يتقنوا هذه اللغات الأجنبية - سدا طبيعيا يوقفه عن التحصيل الكامل لمادة العلم ذاتها .

وها نحن اليوم نتطلع إلى التقدم فنرى أنفسنا في موقف يدفعنا معه إلى تعريب دراستنا حوافز وآمال استقلالية نأمل بها توطيد وتوثيق عرى الصلات العلمية والثقافية بين البلاد العربية وإنماء الحركة العلمية والفنية بين ربوعها .. وبهذه الدوافع حاول الكثير من علمائنا العرب المحدثين تطوير التدريس بالكلية والمعاهد الهندسية . وتعريبه . إلا أن المشاكل والعقبات وقفت وما تزال تقف أمام المتخصصين ممن يرغبون السير قدماً في إحياء العلوم الهندسية بالعربية.

وفي الختام .. يسعدني أن أتقدم بالشكر الجزيل والتقدير الجمل للباحثين والمحكمين، واللجان العاملة في المؤتمر، وكذلك أزجي شكري وتقديري لرؤساء الجلسات، ومقرريها الذين تجابوا مع المؤتمر في إدارة جلساتها .

ويسرفني أن أشيد بجهود قادة هذه البلاد المباركة ولادة أمرنا حفظهم الله في رعاية مسيرة جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية ودعم خططها ومشروعاتها، وعلى رأسهم خادم الحرمين الشريفين الملك عبدالله بن عبدالعزيز، وولي عهده صاحب السمو الملكي الأمير سلطان بن عبدالعزيز ، وسمو النائب الثاني لرئيس مجلس الوزراء صاحب السمو الملكي الأمير نايف بن عبدالعزيز، حفظهم الله جميعاً.

والسلام عليكم ورحمة الله وبركاته . .

كلمة سعادة رئيس اللجنة التحضيرية



د. عبدالله بن حمد الخلف

وكيل جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية
للدراستات العليا والبحث العلمي
رئيس اللجنة التحضيرية للمؤتمر

الحمد لله رب العالمين والصلاة والسلام على رسوله محمد بن عبدالله وعلى آله ومن تبع هداه إلى يوم الدين، أما بعد:

لقد حظيت كلية علوم الحاسب والمعلومات بجامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية بشرف الموافقة السامية على تنظيم الدورة السابعة لـ "المؤتمر الدولي لعلوم وهندسة الحاسب باللغة العربية"، وذلك بموجب برقية معالي وزير التعليم العالي الخيرية ذات الرقم 80364/2/3/27 في 1431/6/30 هـ، وتوجت هذه المكرمة الملكية بشرف الموافقة الكريمة من لدن مولاي خادم الحرمين الشريفين الملك عبدالله بن عبدالعزيز برعايته للمؤتمر، حفظه الله ورعاه.

أعزائي القراء .. لقد مرت كلية علوم الحاسب والمعلومات بالجامعة منذ نشأتها بمراحل تطويرية عديدة، فهي اليوم كلية تضاهي أرقى الكليات التقنية والعلمية حتى أصبحت مثلاً يحتذى في العمل التقني والتكنولوجي، واستطاعت أن تغير الصورة النمطية عما يشاع عن الكليات العلمية، وذلك بفضل سواعد رجالها من أعضاء هيئة تدريس وإداريين وطلاب وطالبات، ولا يقف العمل عند هذا الحد بل نتنظر منهم الكثير والكثير وخاصة في ظل النقلة النوعية التي تحدث في العالم من حولنا من تطور تكنولوجي وتقني عالي المستوى، حتى أصبحت التقنية جزءاً أساسياً من حياتنا اليومية العامة والخاصة.

ومن هذا المنطلق، ومن خلال قيام كلية علوم الحاسب والمعلومات بدورها في تحقيق رسالة وأهداف جامعتنا الغراء ، ومن خلال رؤية معالي الأستاذ الدكتور مدير الجامعة، ومن خلال اهتمامها بالمجالات التطويرية التكنولوجية، خصوصاً في مجال تقنية المعلومات، تأتي أهمية هذا المؤتمر الذي يعد نقلة نوعية في تنظيم المؤتمرات بالجامعة بخاصة والمملكة بعامة، حيث ينظم هذا المؤتمر لأول مرة بالمملكة، ويُعد تجسيدا للمكانة التي تتطلع بها الجامعة، بصفتها إحدى أعرق الجامعات السعودية الرائدة في دعم اللغة العربية والرقى بها والمحافظة عليها، وهي تسعى الآن ضمن أهدافها الإستراتيجية إلى رفع مستوى حوسبة العلوم الشرعية والعربية ودعم المحتوى العربي الإلكتروني.

وفي هذا المؤتمر المبارك إن شاء الله نأمل أن يكون فضاء متميزاً للباحثين والمهتمين بقضايا حوسبة اللغة العربية والعلوم الشرعية بشكل خاص وتعريب علوم وهندسة الحاسوب بشكل عام. فنرجو من كل الغيورين والمهتمين الإسهام الفاعل في إنجاح هذه الدورة لتكون متميزة في شكلها ومضمونها بتميز بلاد الحرمين الشريفين.

وفي الختام .. أشكر إخواني المشاركين في المؤتمر الذين قدموا أبحاثهم العلمية، وأوراق عملهم، كما أشكر الإخوة المدعوين على إجابتهم الدعوة وحضورهم.

والشكر موصول لجميع الإخوة العاملين في لجان المؤتمر، ورؤساء الإدارات على ما بذلوا من جهد، وما أنجزوا من عمل ، وأسأل الله بمنه وكرمه أن يبارك في الجهد، ويسدد الخطى، وأن يجعل ذلك خالصاً لوجهه الكريم ، وأن يحفظ بلادنا من كيد الكائدين ، ومكر الماكرين، وتريص الحاقدين والمعتدين ، وأن يجعلها آمنة مطمئنة وسائر بلاد المسلمين ، وآخر دعوانا أن الحمد لله رب العالمين .

وصلى الله على نبينا محمد وعلى آله وصحبه وسلم . .

كلمة اللجنة العلمية

نرحب بكم في الدورة السابعة للمؤتمر الدولي لعلوم وهندسة الحاسوب باللغة العربية، المنظمة برحاب جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية بالرياض، في المملكة العربية السعودية، في الفترة من 28 الى 30 جمادى الآخرة 1432 هـ (الموافق 31 مايو إلى 2 يونيو 2011 م). وستكون هذه الدورة - بحول الله وقوته - لبنة جديدة في مسار هذا المؤتمر الذي يسعى إلى تدعيم لغتنا العربية وتعزيز حضورها في المجالات العلمية الحديثة، وبالأخص علوم وهندسة الحاسوب، لتكون كما كانت لغة دين وعلم وأدب.

لقد حظيت هذه الدورة بإقبال كبير من الباحثين الناطقين باللغة العربية من بلدان مختلفة حول العالم فاق كل الدورات السابقة. فقد تلقت لجنة البرنامج (297) مشاركة، منها اثنا عشر مقترح لدورات تدريبية وورش عمل، و(285) ورقة علمية. ومن الأوراق العلمية (285) تم رفض إحدى عشرة مشاركة خلال المراحل التحضيرية للتحكيم، لكونها لا تخضع للمعايير والشروط الرئيسة للمؤتمر، ومررت (274) ورقة للتحكيم. وقد توزعت المشاركات على 16 دولة عربية وإسلامية، و10 دول أجنبية منها أمريكا، كندا، ألمانيا، فرنسا، هولندا، أستراليا.

وقد تم تقييم كل ورقة من قبل محكمين اثنين على الأقل. وقد كانت عملية انتقاء الأوراق المقبولة صعبة جداً؛ نظراً لجودة أغلب المقالات المقدمة للمؤتمر وحصولها على نتائج تقييم جيدة. وقد أفضت المشاورات إلى قبول (138) ورقة حصلت على أفضل تقييم، تم تصنيفها إلى فئتين: أوراق اعتيادية، وأوراق قصيرة (سميت ملصقات)؛ نظراً لاعتبارات تتعلق بالزمان والمكان للمؤتمر.

وبهذا تكون نسبة القبول لهذه الدورة حوالي (48 %)

وقد تم إعداد برنامج علمي ثري للمؤتمر، وهو يضم ثلاث عشرة جلسة رئيسة لعرض الأوراق العلمية موزعة على محاور المؤتمر. وتتخلل هذه الجلسات محاضرات مستضافة لشخصيات علمية عربية بارزة من أمريكا وكندا والإمارات العربية المتحدة، إضافة إلى فترات لاستعراض الأوراق التي صُنفت على شكل ملصقات، والتي هي ذات قيمة علمية عالية. وآخر جلسات المؤتمر خصصت لنقاش مشاريع مستقبلية رائدة تم تقديمها لهذه الدورة، وستكون فضاء للنقاش المثمر والبناء لخلق شراكات بحثية وروابط علمية بين الباحثين والمهتمين بممارسة علوم الحاسوب باللغة العربية. ويتعزز الجانب العلمي للبرنامج بأنشطة متنوعة تتولى اللجان المختصة إعدادها والإشراف عليها.

وأخيراً لا يسعنا إلا أن نشكر باسم لجنة البرنامج جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية وكلية علوم الحاسب والمعلومات بشكل خاص؛ لاستضافتها لهذه الدورة وما قدمته من تشجيعات وتسهيلات للمشاركين. والشكر موصول للباحثين ورؤساء المحاور وأعضاء اللجنة، على جهودهم المتميزة في جلب الأوراق وإعدادها وتحكيمها. نشكر الجميع على حضورهم ومشاركتهم، ونرجو منهم المساهمة في إثراء فعاليات المؤتمر والحضور لجميع جلساته؛ لتكون هذه الدورة متميزة في شكلها ومضمونها، تماشياً مع تميز بلاد الحرمين الشريفين التي تستضيفها.



الجلسة الأولى

أداة آلية لتحليل معماريات البرمجيات

إيمان دربال¹، لمياء العابد²، علي الميلي³

¹ المعهد الأعلى للتصرف بتونس، 41 شارع الحرية، حي بوشوشة، باردو 2000، تونس

² المعهد الأعلى للتصرف بتونس، 41 شارع الحرية، حي بوشوشة، باردو 2000، تونس

³ المعهد التقني بنيجيرسي، الولايات المتحدة الأمريكية.

¹ imen.derbel@yahoo.fr، ² lamia.labed@isg.rnu.tn، ³ mili@cis.njit.edu

الخلاصة. ظهر مفهوم معمارية البرمجيات في الثمانينات كتعبير تجريدي لقرارات التصميم المتعلقة بتمثيل بنية النظام والترابط بين عناصره ونظام تشغيله. وقد تزايد الاهتمام بهذا المفهوم في الآونة الأخيرة واتسعت تطبيقاته في العديد من مجالات هندسة البرمجيات. وتتعلق التطبيقات الحديثة لمعمارية البرمجيات بتقييم الخصائص اللاوظيفية للنظام وضبط الحد الأقصى والحد الأدنى لها واعتمادها في اتخاذ القرارات المتعلقة بمعمارية النظام. على ضوء هذه الملاحظات نجد أنه من الغريب أن اللغات الحالية لتمثيل المعماريات البرمجية لا توفر أداة آلية لتحليل الخصائص اللاوظيفية للمعماريات البرمجية. في هذه المقالة نقترح تطوير لغة آكي لتمثيل المعماريات ونقدم مترجما لهذه اللغة، يمكننا من تحليل والتفكير في الخصائص اللاوظيفية لمنتج برمجي.

الكلمات الجوهرية. معمارية البرمجيات، الخصائص اللاوظيفية، تحليل معمارية البرمجيات، آكي، سرعة الاستجابة، طاقة الإنتاج.

1 مقدمة

ظهر مفهوم معمارية البرمجيات في الثمانينات كتعبير تجريدي لقرارات التصميم التي تسبق التصميم الوظيفي لمنتج برمجي. وتهتم بتمثيل مكونات البرمجيات، خصائصها والصلاات بينها. كما تبيّن أيضا مراسم التنسيق بين المكونات و تفاصيل تنفيذ النظام و جدولة عملياته [1 ؛ 2 ؛ 3]. وقد تزايد الاهتمام بهذا المفهوم في الآونة الأخيرة و اتسعت تطبيقاته في العديد من مجالات هندسة البرمجيات نذكر منها: هندسة المجال، هندسة المجموعات البرمجية، هندسة البرمجيات المؤسسة على المكونات، المكونات الجاهزة [4 ؛ 5 ؛ 6]. لا يقتصر وصف معمارية نظام برمجي على تمثيل هيكله من حيث المكونات والعلاقات بينها ولكنه يمتدّ ليشمل التفاصيل العملية المذكورة أعلاه، التي تدل على خصائصه اللاوظيفية.. من بين هذه الخصائص يمكن أن نذكر: الأداء، سرعة الاستجابة، الحصانة، السلامة، الاعتمادية، الاستعدادية، قابلية الصيانة، إلخ. نعين هذه الخصائص كصفات الجودة لمنتج برمجي.

و قد ازدادت الحاجة الملحة لتحليل خصائص الأنظمة البرمجية والتمكن من تقييم صفات جودتها على مستوى معماريتها قبل البث في التصميم الفعلي لهذه الأنظمة.

برزت عدة لغات تستهدف تمثيل المعماريات البرمجية على مدى العقدين السابقين، يمكن أن نذكر منها: لغة أكمي [7 ؛ 8] ، لغة ورايت [9 ؛ 10] ، لغة بادل [11]. رغم أن هذه اللغات تجسّد هياكل المعماريات البرمجية ورغم أهمية تمثيل الخصائص اللوظيفية لوصف النظام البرمجي فإن هذه اللغات لم تعن بتقديم أداة آلية لتحليل خصائص المنتوجات البرمجية.

نقترح في هذا المقال تطوير لغة أكمي لتمثيل المعماريات وإنشاء مترجم لهذه اللغة المطوّرة. نلخص فيما يلي أهم خصائص المترجم المقترح في إطار هذا العمل:

- تعتمد اللغة على هياكل أكمي لتمثيل المكونات، الموصلات، الروابط و الأدوار.
- تعتمد اللغة على هياكل الصفات للغة أكمي لتمثيل صفات الجودة للمكونات و الروابط.
- نظرا أن لغة أكمي لا تقوم بتحليل المعلومات المضبوطة في هيكل الخصائص، فإننا نقترح هيكلا محددا لتمثيل صفات الجودة ونقوم بتحليلها.
- نظرا أن أكمي يستعرض موصلات المكونات و أدوار الروابط ولا يحدد أية علاقة بين هذه الموصلات أو بين هذه الأدوار نقدّم هيكلا خاصا لتمثيل هذه العلاقات و نعتمدها في تحليلنا.
- بينما تقدّم لغة توليد المترجم البرنامج الجاهز للتنفيذ الذي يمثل الخصائص اللوظيفية لمنتج برمجي، يقدّم المترجم المقترح معادلات مكتوبة بلغة أكمي تصف الخصائص اللوظيفية للمنتوج. نعتمد على ماتيماتيكيا لتحليل هذه المعادلات.

و من بين النقاط التي نقترح معالجتها في بحثنا، نذكر ما يلي:

- استنتاج قيمة الخصائص اللوظيفية لمعمارية البرمجية من خلال قيمة هذه الخصائص لمكونات و روابط المعمارية.
- التعرف على مدى تأثر خصائص نظام برمجي بخصائص مكوناته و روابطه.
- التعرف على أية مكونة أو رابط يمثل عنصر اختناق بالنسبة لقيمة الخاصية المعنية.

في الجزء الثاني من هذا المقال، نقدّم أهم الإضافات التي اقترحناها لتطوير لغة أكمي. في الجزء الثالث، نناقش دلالات هذه الهياكل و نعيّن لكلّ منها مجموعة من المعادلات المكتوبة بلغة ماتيماتيكيا (بحث لوفرام). في الجزء الرابع نناقش تصميمنا للمترجم الذي يستلم معمارية منتوج برمجي مكتوبة باللغة المقترحة و يعمل على تحليلها من خلال واجهة مستخدم هذا النظام. نقدّم في الجزء الخامس مثالا توضيحيا لنموذجنا المقترح. أمّا في الجزء السادس، فنحوصل و نقيّم ما قدّمناه، و نناقش باختصار الأعمال المقترحة في هذا المجال ثمّ نرسم التوجهات للأبحاث المستقبلية مقارنة مع أشغال مماثلة.

2 لغة لتمثيل معمارية البرمجيات: إعرابيتها

لنتمكن من تمثيل وتحليل الخصائص اللوظيفية للمعماريات البرمجية نقترح المتطلبات:

- الاستناد على هياكل أكمي لتمثيل المكونات، موصلاتها، الروابط و أدوارها.

- القدرة على تمثيل الخصائص اللاوظيفية للمكونات و الروابط.

- توفير هياكل لتمثيل تفاصيل التشغيل للمعمارية التي تؤثر على الخصائص اللاوظيفية للمعمارية. كحدّ أدنى يجب أن نتمكن من تعيين موصلات الإصدار للمكونات التي تقوم بدور باستقبال البيانات من المكونات و موصلات إيراد المكونات التي تقوم ببعث المعلومات إلى المكونات. من ناحية أخرى لكل مكونة متعددة موصلات الإيراد و متعددة موصلات الإصدار، نحتاج إلى التمكن من تمثيل العلاقات بين هذه الموصلات: هل التبادلات المضبوطة في هذه الموصلات متزامنة أو غير متزامنة؟ هل تنقل هذه الموصلات بيانات مكررة، منفصلة، متكاملة أو متداخلة؟

- القدرة على تمثيل العلاقات بين موصلات الإصدار و موصلات الإيراد لكل مكونة و القدرة على تمثيل العلاقات بين أدوار المصدر و أدوار الوجهة لكل رابط.

لاحظنا أن معظم لغات تحليل المعماريات لا تتطابق مع هذه المتطلبات فهذه اللغات لا تهتمّ إلا بتمثيل هياكل النظام. و تصيف بعض اللغات إلى الوصف الهيكل للنظام، وصف آليات التشغيل و ذلك بالاعتماد مثلا على لغة سي أس بي التي تقدّم تعبيراً مفصلاً ودقيقاً لا يتطابق مع أهدافنا، و في نفس الوقت لا تمكننا من المعلومات التي نحتاجها. لتلبية المتطلبات الأربعة التي قدّمناها سابقاً، نعتمد على أعرابية أكّمي و نظورها بمفهوم التبعية الوظيفية (أي الروابط الوظيفية بين الموصلات). نوضح هذا المفهوم بالاعتماد على مثال توضيحي مبسّط. لننخّل أننا نريد تمثيل معمارية نظام تجاري يقبل أوامر في إقتناء بضائع و يتكلف بتنسيق العمليات التي تنجرّ عن كل أمر. فنهتم خصيصاً بالمكونة التي تتلقّى الأوامر فتحللها و تعالجها. لننصوّر أنّ هذه المكونة تضمّ خمسة موصلات: وصل الأوامر، وصل الأذون البنكية، الوصل التخيلي الذي يسجل الأوامر التخيلية (مثل الاشتراكات العضوية)، وصل المخزون الذي يحتفظ بقاعدة بيانات لطلبات الحرفاء، ووصل جداول الشحنات. لننصوّر أنّ تشغيل هذه المكونة يعتمد على خيارين مختلفين:

يتعلّق الخيار الأول بحالتين: إمّا أن يكون العرض مجانياً (عرضاً ترويجياً) أو أن يكون عرضاً يستوجب الدفع. أمّا الخيار الثاني فهو يشمل إذا كان الأمر ينطوي على خدمة وهميّة (العضوية، الاشتراك، معلومات، حقوق الدخول) أو على بضائع فعليّة.

باعتبار هذين الخيارين، يمكن تشغيل هذه المكونة باتّباع طريقة تشغيل من بين أربعة طرق، كل واحدة تربط بين مجموعة من موصلات الإيراد و موصلات الإصدار. و تتسم كلّ طريقة بمجموعة من صفات الجودة (من حيث سرعة الاستجابة، طاقة الإنتاج، الاعتماديّة). لتمثيل هذه المكونة، نكتب علاقات التبعية الوظيفيّة التالية:

FunDep { FreeVirt ();FreeReal ();PayVirt ();PayReal (); }

نقدّرح عرض هذا الوصف في نهاية وصف المكونة إثر تمثيل موصلاتها. نعيّن كلّ علاقة في هيكل FunDep كعلاقة تبعية وظيفيّة. تربط هذه العلاقة بين مجموعة من موصلات الإيراد و مجموعة من موصلات الإصدار وتتصف بمجموعة من الخصائص اللاوظيفية.

نعرف كلّ علاقة تبعية وظيفيّة من خلال ثلاث شروط: مداخل (input)، مخرجات (output) و مجموع الخصائص (properties) التي تعكس صفات الجودة.

- إذا كانت المكونة تتميز بتفرد وصل الإيراد نكتب (<port>input). أما إذا كانت المكونة تتميز بتفرد وصل الإصدار فنكتب (<port>output).
 - إذا كانت المكونة متعددة موصلات الإيراد، فتمّة مجموعة من المعلومات التي نحتاجها مثل:
 - إذا كان تشغيل المكونة يحتاج إلى كلّ الموصلات (إن كانت توفر بيانات متكاملة) أو مجموعة من هذه الموصلات (إن كانت قابلة للتبادل) أو أغلب الموصلات (في خطة تحمل العيوب).
 - إذا كانت البيانات متاحة بشكل متزامن أو غير متزامن.
 - إذا كانت المكونة متعددة موصلات الإصدار، فتمّة مجموعة من المعلومات التي نحتاجها مثل:
 - إذا كانت البيانات المتوقّرة من موصلات الإصدار مكرّرة (متطابقة)، مختلفة (متكاملة و ليست متداخلة) أو متداخلة (يتم بعث بعض المعلومات إلى أكثر من وصل إصدار).
 - إذا كانت البيانات منتشرة من موصلات الإصدار في نفس الوقت أو حسب توقّرها.
- بالنسبة لمجموعة صفات الجودة التي نهتم بها في هذا العمل، نعيّن معجماً معيناً لها ونلحق كلا منها بوحدة معينة (ثواني بالنسبة لسرعة الاستجابة، عدد الخدمات في الثانية بالنسبة لطاقة الإنتاج).
أما فيما يخصّ المثال السابق، نكتب ما يلي لوصف علاقات التبعية الوظيفية:

```

FunDep {FreeVirt (input(Order), output(Virt),
  properties (response_time=0.02, throughput=20));
  FreeReal (input(Order), output(overlapping(asavailable(Stock, Shipping))),
  properties (response_time=0.035, throughput=15));
  PayVirt (input(allof(asynch(Order,BankAuth))), output(Virt),
  properties (response_time=0.04, throughput=12));
  PayReal (input(allof(asynch(Order,BankAuth))),
  output(overlapping(asavailable(Stock,Shipping,Archive))),
  properties (response_time=0.045, throughput=10));}

```

لاختبار مدى اكتفاء هذه اللغة نظرنا في مجموعة من الأنظمة و حاولنا تمثيل معمارياتها بالاعتماد على الرموز المقترحة. تشمل هذه الأنظمة: نظام Aegis [9]، النظام المرتكز على القواعد (Rule Based System) [1]، إباي للتجارة الإلكترونية (e-Bay ecommerce) [12].

تمكنا من تمثيل كل هذه المعماريات بصفة طبيعية، و وجدنا أن اللغة تطلب منا بيانات تكون متوفرة بطبيعتها في طور المعمارية، و تكون في المستوى المطلوب من التجرد.

3.1 نموذج المعمارية

نعتبر معمارية مكتوبة بلغة أكمي تلبي الشروط التالية:

- نعين كل وصل لكل مكونة كوصل إيراد أو كوصل إصدار، تقوم وصل الإيراد ببعث المعلومات إلى المكونة، بينما تقوم وصل الإصدار باستقبال المعلومات من المكونة.
- نعين كل دور لكل رابط كدور المصدر أو كدور الوجهة، تنقل الروابط المعلومات من أدوار المصدر إلى أدوار الوجهة.
- نعتبر أن كل معمارية تحتوي على مكونة واحدة لا تتضمن وصل المصدر، نعين هذه المكونة كمكونة المصدر.
- نعتبر أن كل معمارية تحتوي على مكونة واحدة لا تتضمن وصل الوجهة، نعين هذه المكونة كمكونة الوجهة.

إضافة إلى هذه الشروط، و في إطار هذه المقالة، نعين النقاط التالية: أولاً، كل مكونة تتميز بتفرد علاقة التبعية الوظيفية. ثانياً، تحليل مكونات تتميز بتعدد هذه العلاقات يعتبر من مشمولات نموذجنا ولكنه لا يمثل مجال هذه المقالة. و ستطلب دراسة هذه الحالات الاعتماد على التوزيع الاحتمالي بين مختلف العلاقات داخل كل المكونة. كما أنها تستدعي تقدير الحد الأدنى و الحد الأقصى لكل خاصية من الخصائص المتناولة. على ضوء هذه الشروط، نلحق نعتا لكل وصل و دور في المعمارية وذلك فيما يخص كل خاصية لا وظيفية نقترح تحليلها. و بالتالي، لكل وصل و دور نلحق نعت RT فيما يتعلق بخاصية سرعة الاستجابة، نلحق نعت FP فيما يتعلق بخاصية طاقة الإنتاج، نلحق نعت TP فيما يتعلق بخاصية احتمال الفشل). كما نضبط قيمة هذه الخصائص لوصل إصدار مكونة المصدر: سرعة الاستجابة تساوي صفر، طاقة الإنتاج لا نهائية، معدل احتمال الفشل يساوي صفر. بالنسبة لكل علاقة التبعية الوظيفية، نعين معادلات تربط بين موصلات المكونات التي تشارك في هذه العلاقة. تعتمد المعادلات المقترحة على طبيعة العلاقة بين هذه الموصلات.

3.2 خاصية سرعة الاستجابة

- نخص هذا الجزء من المقالة بتوضيح خطتنا بالنسبة لخاصية سرعة الاستجابة.
- نلحق نعت RT لكل وصل من موصلات مكونات المعمارية، ويمثل المدة التي تستغرقها الخدمات انطلاقاً من مكونة المصدر للوصول إلى هذا الوصل.
 - نلحق نعت RT لكل دور من أدوار روابط المعمارية، ويمثل المدة التي تستغرقها الخدمات انطلاقاً من مكونة المصدر للوصول إلى هذا الدور.
 - نستعرض فيما يلي المعادلات الخاصة بسرعة الاستجابة:
- نعين قيمة سرعة استجابة وصل إصدار مكونة المصدر تساوي صفر ونكتب:

$$\text{DataSource.outputPort.RT} = 0.$$

- لكل مكونة C، تتضمن مجموعة من موصلات إيراد ومجموعة من موصلات إصدار، نعين موصلات الإصدار (outputPort1, outputPort2, ..., outputPortk) و نعين موصلات الإيراد (inputPort1, inputPort2, ..., inputPortn)، و لكل علاقة التبعية الوظيفية R لهذه المكونة مكتوبة كما يلي:

```
FunDep : {
R ( Input(In_selection ( In_synchronisation (inputPort1, inputPort2, ..., inputPortn)));
Output(Out_selection ( Out_synchronisation (outputPort1, outputPort2, ..., outputPortk)) ) ;
Properties ( processing_time = 0.2 sec;) ) };
```

بالنسبة لكل وصل إصدار outputPort_i يظهر في العلاقة R نكتب:

C.outputPort_i.RT = function (C.inputPort1.RT, C.inputPort2.RT, ... ,
C.inputPortn.RT) + C.ProcessingTime.

حيث أن function تتعلق باعرابية In_selection التي تعكس طبيعة العلاقة بين موصلات الإيراد للمكونة C.

- إذا كانت In_selection هي AllOf فإن function هي الحد الأقصى، ونكتب:

C.outputPort_i.RT = Max (C.inputPort1.RT, C.inputPort2.RT, ... ,
C.inputPortn.RT) + C.ProcessingTime.

- إذا كانت In_selection هي AnyOf فإن function هي الحد الأدنى ونكتب:

C.outputPort_i.RT = Min (C.inputPort1.RT, C.inputPort2.RT, ... ,
C.inputPortn.RT) + C.ProcessingTime.

- لكل رابط N ، نكتب معادلة تربط نعوت أدوار المصدر، نعوت أدوار الوجهة و خصائص الروابط، ونكتب:

N.receiverRole.RT = N.senderRole.RT + N.TransmissionTime

- كلما اتصل وصل مكونة بدور رابط، تساوت نعوتها، مثلا إذا اتصل وصل إصدار مكونة C بدور المصدر لرابط N، لكل عبارة ترابط حسب النموذج التالي:

C.ouputPort to N.receiverRole

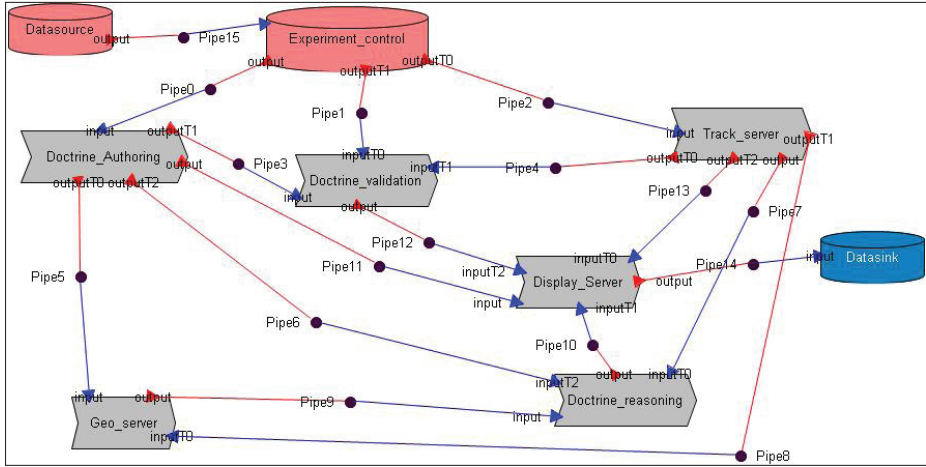
نكتب: C.outputPort.RT = N.receiverRole.RT

ولكل عبارة ترابط حسب النموذج التالي: C.inputPort to N.senderRole

نكتب: C.inputPort.RT = N.senderRole.RT

4 لغة لتمثيل معمارية البرمجيات: مترجم

كمثال توضيحي، نعتبر معمارية نظام Aegis [9]. و نهتمّ فيما يلي بتحليل خاصيّة سرعة استجابة هذا النظام من خلال معماريته. اعتمدنا على الأداة الآليّة لأكمي للعروض الرسومية Acme (Studio) [8] لتمثيل هذه المعمارية التي نقدّمها في الرسم الأول.



الرسم 1: معمارية نظام Aegis

تتميز هذه المعمارية بتفرّد مكونة المصدر (Datasource) و تفرّد مكونة الوجهة (Datasink). نستعرض فيما يلي هياكل وصف مكونات معماريّة النظام و المعادلات التي ينتجها المترجم المقترح:

Component Datasource{ ... // ACME code describing this component

FunDep : {R1 (; Output(output); Properties (processing_time = 0 sec;)) };

ينتج المترجم المعادلة التالية:

$$\text{Datasource.output.RT} = 0.$$

بالنسبة للمكونة التالية:

Component Display_Server { ... // ACME code describing this component

FunDep : {R1 (Input(Allof(Synchronous(inputT0, inputT1, inputT2, input)));

Output(output); Properties (processing_time = 1 sec;)) };

ينتج المترجم المعادلة التالية:

$$\begin{aligned} \text{Display_Server.output.RT} = & \text{Max} (\text{Display_Server.inputT0.RT}, \\ & \text{Display_Server.inputT1.RT}, \text{Display_Server.inputT2.RT}, \\ & \text{Display_Server.input.RT}) + \text{Display_Server.R1.RT} \end{aligned}$$

بالنسبة للمكونة التالية:

```
Component Doctrine_Authoring { ... // ACME code describing this component
FunDep : { R1 ( Input( Synchronous(input));
Output(Duplicate(Simultaneous (output, outputT1, outputT0, outputT2))) ;
Properties ( processing_time = 0.7 sec;) ) };
```

ينتج المترجم المعادلات التالية:

```
Doctrine_Authoring.output.RT = Doctrine_Authoring.R1.PT +
Doctrine_Authoring.Input.RT
Doctrine_Authoring.outputT0.RT = Doctrine_Authoring.R1.PT +
Doctrine_Authoring.Input.RT
Doctrine_Authoring.outputT1.RT = Doctrine_Authoring .R1.PT +
Doctrine_Authoring.Input.RT
Doctrine_Authoring.outputT2.RT = Doctrine_Authoring.R1.PT +
Doctrine_Authoring.Input.RT
```

بالنسبة للمكونة التالية:

```
Component Doctrine_validation { ... // ACME code describing this component
FunDep : { R1 ( Input( Allof(Synchronous(inputT0, inputT1, input)));
Output(output) ; Properties ( processing_time = 0.7 sec;) ) };
```

ينتج المترجم المعادلات التالية:

```
Doctrine_validation.output.RT = Max (Doctrine_validation.inputT0.RT,
Doctrine_validation.inputT1.RT, Doctrine_validation.input.RT)+
Doctrine_validation.R1.RT
```

بالنسبة للمكونة التالية:

```
Component Track_server { ... // ACME code describing this component
FunDep : {R1 ( Input(Synchronous(input)) ; Output(Duplicate(Simultaneous
(outputT2, outputT1, outputT0, output))) ;Properties ( processing_time = 1 sec; )});
```

ينتج المترجم المعادلات التالية:

```
Track_server.output.RT = Track_server.R1.PT + Track_server.Input.RT
Track_server.outputT0.RT = Track_server.R1.PT + Track_server.Input.RT
```

Track_server.outputT1.RT = Track_server.R1.PT + Track_server.Input.RT

Track_server.outputT2.RT = Track_server.R1.PT + Track_server.Input.RT

بالنسبة للمكوّنة التالية:

Component Geo_server { ... // ACME code describing this component

FunDep : { R1 (Input(AllOf(Synchronous(inputT0, input)));

Output(output) ; Properties (processing_time = 3 sec;));

ينتج المترجم المعادلات التالية:

Geo_server.output.RT= Geo_server.R1.PT + Max(Geo_server.Input.RT ;

Geo_server.InputT0.RT)

بالنسبة للمكوّنة التالية:

Component Doctrine_reasoning { ... // ACME code describing this component

FunDep : {R1 (Input(AllOf(Synchronous(inputT0, inputT2, input)));

Output(output) ; Properties (processing_time = 1 sec;));

ينتج المترجم المعادلات التالية:

Doctrine_reasoning.output.RT = Doctrine_reasoning.R1.PT +

Max(Doctrine_reasoning.Input.RT ; Doctrine_reasoning.InputT0.RT ;

Doctrine_reasoning.InputT2.RT)

و أخيرا بالنسبة للمكوّنة التالية:

Component Experiment_control { ... // ACME code describing this component

FunDep : {R1 (Input(Synchronous(input)));

Output(Exclusive(AsAvailable(outputT1, outputT0, output))) ;

Properties (processing_time = 0.2 sec;));

ينتج المترجم المعادلات التالية:

Experiment_control.output.RT = Experiment_control.R1.PT +

Experiment_control.Input.RT

Experiment_control.outputT0.RT = Experiment_control.R1.PT +

Experiment_control.Input.RT

Experiment_control.outputT1.RT = Experiment_control.R1.PT +

Experiment_control.Input.RT.

إضافة للمعادلات السابقة، يقدّم المترجم المعادلات المتعلقة بالروابط والمعادلات الناتجة عن ترابط موصلات المكونات وأدوار الروابط في مرحلة تالية، نقوم بحلّ كلّ هذه المعادلات المستمدة من المترجم و ذلك بتقييم قيمة سرعة استجابة وصل إيراد مكونة الوجهة.

5 أداة آلية لتحليل الخصائص اللاوظيفية

5.1 النعوت المُحتسبة

حتى نتمكن من وضع النموذج في الممارسة العملية، قررنا أن:

- نستعمل لغة أكمي المطوّرة لتمثيل المماريات و نلحق بها نموذجنا المقترح للتحليل. نظور هذه اللغة بإعرابية علاقة التبعية الوظيفية لتمثيل موصلات إصدار المكونات، موصلات إيراد المكونات، العلاقات بينها و صفات الجودة المتعلقة بها. تجسّم هذه الصفات خصائص كمّية ذات وحدة قياس مضبوطة (ثنائي بالنسبة لسرعة الاستجابة، عدد الخدمات في الثانية بالنسبة لطاقة الإنتاج، الاحتمال بالنسبة لاحتمال الفشل، إلخ).
 - نعتد على الخصائص النحوية في إعرابية اللغة المقترحة التي تسمح لنا أن نسند نعوتنا مثل سرعة الاستجابة، طاقة الإنتاج، إلخ، للموصلات والأدوار التي تكون المعمارية. هذه النعوت النحوية تستعمل أساسا كنحو مُحْتَسَب، تنشر الخصائص بصفة تصاعديّة في الشجرة الإعرابية.
 - نقدّم قواعد دلالية على شكل معادلات تدمج هذه النعوت و تلحقها إلى إعرابية أكمي المطوّرة، وقد ناقشنا هذه المعادلات في الجزء السابق.
- نستعمل تقنية توليد المترجم للحصول على مترجم للغة أكمي المطوّرة. يهدف هذا المترجم إلى تقديم معادلات تخصّ النعوت المتعلقة بموصلات و أدوار المعمارية مثل (سرعة الاستجابة، طاقة الإنتاج)، كل ما علينا فعله هو حلّ المعادلات المستمدة من المترجم و ذلك بتقييم قيمة النعوت الخاصة بوصل الإيراد لمكونة الوجهة. (سرعة استجابة وصل الإيراد لمكونة الوجهة، طاقة إنتاج وصل الإيراد لمكونة الوجهة و احتمال فشل وصل الإيراد لمكونة الوجهة، إلخ).
- المعادلات التي يمدها المترجم مكتوبة بماتيماتيكاً. يُمكن استغلال هذه المعادلات في إحدى الحالتين التاليتين:

- عددّيّا، عبر ضبط القيمة الفعلية لخصائص المكونات و لخصائص الروابط، واستعمال ماتيماتيكاً لإحساب القيمة العددية للمعمارية ككلّ.
- رمزيّا، عبر الاحتفاظ بقيمة خصائص المكونات و خصائص الروابط غير محدّدة، واستعمال ماتيماتيكاً لتقديم معادلة تربط بين خصائص المكونات و الروابط من جهة و خصائص النظام ككل من جهة أخرى. هذه الصيغة مفيدة مثلاً لتحليل الحساسية. إذا أردنا أن نخفض من سرعة استجابة كامل النظام، وكنا مهتمين بالكشف على المكونة (أو الرابط) التي تستوجب

استبدالها بمكوّنة (رابط) أخرى بنفس وظائف التشغيل ولكن تمتاز بمدة تشغيل أقل حتى نخفّض من سرعة استجابة النظام ككل.

إنشاء واجهة مستخدم تساعد على استعمال الأداة الآلية المقترحة لتحليل الخصائص اللوظيفية لمنتج برمجي. تتكون بنية الآلية المقترحة من ثلاثة مراحل: في مرحلة أولى يقوم المستعمل بإدخال نص يصف معمارية منتج برمجي و ذلك حسب لغة أكمي المطوّرة. في مرحلة ثانية يقوم المستعمل من التثبيت من مطابقة النصّ لاعرابية لغة تمثيل المعماريات المقترحة. في حالة اجتياز هذه المرحلة بنجاح، تقدّم أداة التحليل المقترحة جدولاً يستعرض القيمة الفعلية للخصائص اللوظيفية للمكوّنات و الروابط. في مرحلة ثالثة يطلب المستعمل القيمة الرمزية و العددية لهذه الخصائص بالنسبة لكامل المعمارية. كما تقدّم للمستعمل إمكانية تغيير قيمة الخصائص بالنسبة للمكوّنات و الروابط من خلال الجدول المتولد في المرحلة الثانية ونمكّنه من الحصول على القيمة الجديدة لخصائص المعمارية اثر هذه التغييرات.

5.2 مثال تطبيقي لنظام AEGIS

لاختبار مدى كفاءة الأداة الآلية لتحليل خصائص معمارية نظام برمجي، قمنا بتمثيل معماريات مجموعة من الأنظمة باستخدام لغة تمثيل المعماريات المقترحة و قمنا بتحليل الخصائص اللوظيفية لهذه المعماريات. نقترح في هذا الجزء عرض النتائج المتحصل عليها اثر تحليل خصائص نظام Aegis. يقوم ماتيماتيكاً بحلّ المعادلات المستمدة من المترجم و تقييم قيمة النعوت الخاصة بوصل ايراد مكوّنة الوجهة. نهتم بخاصية سرعة استجابة النظام التي تمثل سرعة استجابة وصل ايراد مكوّنة الوجهة. تقدّم فيما يلي سرعة استجابة النظام بالاعتماد على الخصائص الداخلية للمكوّنات و الروابط:

$$\begin{aligned} \text{System.RT} &= \text{Datasink} \cdot \text{input} \cdot \text{RT} \\ &= \text{Display_Server} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT} + \text{Experiment_control} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT} + \\ &\quad \text{Max}[\text{Doctrine_Authoring} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT} + \text{Pipe0} \cdot \text{TT} + \text{Pipe11} \cdot \text{TT} \\ &\quad , \text{Track_server} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT} + \text{Pipe13} \cdot \text{TT} + \text{Pipe2} \cdot \text{TT} \\ &\quad , \text{Doctrine_validation} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT} + \text{Pipe12} \cdot \text{TT} + \\ &\quad \text{Max}[\text{Pipe1} \cdot \text{TT}, \text{Doctrine_Authoring} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT} + \text{Pipe0} \cdot \text{TT} + \text{Pipe3} \cdot \text{TT}, \text{Pipe2} \cdot \text{T} \\ &\quad \text{T} + \text{Pipe4} \cdot \text{TT} + \text{Track_server} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT}], \text{A}] \end{aligned}$$

حيث أنّ:

$$\begin{aligned} \text{A} &= \text{Doctrine_reasoning} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT} + \text{Pipe10} \cdot \text{TT} + \\ &\quad , \text{Max}[\text{Doctrine_Authoring} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT} + \text{Pipe0} \cdot \text{TT} + \text{Pipe6} \cdot \text{TT} \\ &\quad , \text{Pipe2} \cdot \text{TT} + \text{Pipe7} \cdot \text{TT} + \text{Track_server} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT}, \text{Geo_server} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT} + \text{Pipe9} \cdot \text{TT} + \\ &\quad \text{Max}[\text{Doctrine_Authoring} \cdot \text{R1} \cdot \text{PT} + \text{Pipe0} \cdot \text{TT} + \text{Pipe5} \cdot \text{TT}, \text{Pipe2} \cdot \text{TT} + \text{Pipe8} \cdot \text{TT} + \end{aligned}$$

Trackserver.R1.PT]]

كتطبيق للمعادلة السابقة، نعتبر قيمة الخصائص اللاوظيفية لمكونات وروابط المعمارية حسب ما يقدّمه الجدول في الرسم 2.

	ProcessingTime	TransmissionTime
Pipe15	(null)	(null)
Pipe14	(null)	(null)
Pipe13	(null)	0.9
Pipe12	(null)	0.5
Pipe11	(null)	0.2
Pipe10	(null)	0.2
Pipe9	(null)	0.2
Pipe8	(null)	0.42
Pipe7	(null)	0.4
Pipe6	(null)	0.2
Pipe5	(null)	0.7
Pipe4	(null)	0.5
Pipe3	(null)	0.3
Pipe2	(null)	0.12
Pipe1	(null)	0.2
Pipe0	(null)	0.23
Display_Server.R1	1	(null)
Doctrine_reasoning.R1	1	(null)
Geo_server.R1	3	(null)
Track_server.R1	1	(null)
Doctrine_validation.R1	0.7	(null)
Doctrine_Authoring.R1	0.7	(null)
Experiment_control.R1	0.2	(null)
System RT	Datasink.input.RT -> DisplayServer.R1.PT + Experimentcontrol.R1.PT + Max[DoctrineAuthoring.R1.PT + Pipe0.TT + Pipe11.TT, Pipe13.TT + Pipe2.TT + Trackserver.R1.PT, Doctrinevalidation.R1.PT + Pipe12.TT + Max[Pipe1.TT, DoctrineAuthoring.R1.PT + Pipe0.TT + Pipe3.TT, Pipe2.TT + Pipe4.TT + Trackserver.R1.PT], DoctrineReasoning.R1.PT + Pipe10.TT + Max[DoctrineAuthoring.R1.PT + Pipe0.TT + Pipe6.TT, Pipe2.TT + Pipe7.TT + Trackserver.R1.PT, Geoserver.R1.PT + Pipe9.TT + Max[DoctrineAuthoring.R1.PT + Pipe0.TT + Pipe5.TT, Pipe2.TT + Pipe8.TT + Trackserver.R1.PT]]	7.23

الرسم 2: قيمة الخصائص اللاوظيفية لمكونات وروابط المعمارية

إثر تعويض خصائص المكونات وخصائص الروابط بقيمتها المذكورة في هذا الجدول، نتحصل على سرعة استجابة النظام تساوي 7.23. يمكن استعراض الأداة الآلية المقترحة خلال المؤتمر إن لقيت هذه المقالة استحسان اللجنة.

6 الختام

في هذه المقالة، ناقشنا مدى أهمية إنشاء أداة آلية لتحليل خصائص نظام برمجي من خلال معماريته المكتوبة بلغة لتمثيل المعماريات. الفكرة الرئيسية لهذا العمل هو أنه يمكن استنتاج خصائص نظام من خلال خصائص مكوناته وروابطه وكذلك من خلال العلاقات التي تربط المكونات والروابط. في هذا الإطار اقترحنا لغة لتمثيل المعماريات. تمثل هذه اللغة امتدادا للغة آكمي وقدمنا أداة آلية لتحليل الخصائص اللاوظيفية لمعمارية نظام برمجي وذلك من خلال إنشاء مترجم لهذه اللغة المقترحة واستعماله من خلال واجهة مستخدم. يمكن استعراض الأداة الآلية المقترحة خلال المؤتمر إن لقيت هذه المقالة استحسان اللجنة.

يختص عملنا بمجموعة من الخصائص التي تميزه عن بقية الأعمال المقترحة [13؛ 14؛ 15؛ 16] لتحليل معماريات البرمجيات. نذكر من بين هذه المميزات:

- الاعتماد على هياكل لغة آكمي لتمثيل المعماريات.
- الاعتماد على مفهوم علاقة التبعية الوظيفية.
- تقديم معادلات تربط بين خصائص المكونات والروابط من جهة وخصائص النظام ككل من جهة أخرى واستعمال ماتيماتيكيا لحل هذه المعادلات.

المعادلات التي يمنحها المترجم يُمكن استغلالها عدديًا، عبر ضبط القيمة الفعلية لخصائص المكونات ولخصائص الروابط، واستعمال ماتيماتيك لاحتساب القيمة العددية للمعمارية ككل. كما يمكن استغلالها رمزيًا، عبر الاحتفاظ بقيمة خصائص المكونات و خصائص الروابط غير محدّدة، واستعمال ماتيماتيك لتقديم معادلة تربط بين خصائص المكونات و الروابط من جهة و خصائص النظام ككل من جهة أخرى. هذه الصيغة مفيدة مثلاً لتحليل الحساسية. إذا أردنا أن نزيد من طاقة الإنتاج لكامل النظام، وكنا مهتمين بالكشف على المكوّنة أو الرابط الذي يحتاج لزيادة إنتاجيته حتى ترتفع انتاجية النظام ككل (بعبارة أخرى، أي مكوّنة أو رابط يمثل عنصر اختناق الإنتاجية).

المراجع

- [1] David Garlan and Mary Shaw (1994). "An Introduction to Software Architecture: Perspectives on an Emerging Discipline". Prentice Hall, 1996.
- [2] Len Bass, Paul Clements, Rick Kazman: Software Architecture in Practice, Second Edition. Addison Wesley, Reading 5/9/2003 ISBN 0-321-15495-9.
- [3] Paul Clements, Felix Bachmann, Len Bass, David Garlan, James Ivers, Reed Little, Paulo Merson, Robert Nord, Judith Stafford: Documenting Software Architectures: Views and Beyond, Second Edition. Addison-Wesley, 2010, ISBN 0321552687
- [4] William B. Frakes and Kyo Kang. Software Reuse Research: Status and Future. IEEE Transactions on Software Engineering. 31 (7): 529–536.
- [5] Kang, Kyo C.; Lee, Jaejoon; Kim, Kijoo; Kim, Gerard Jounghyun; Shin, Euseob (October 2004). "FORM: A Feature-Oriented Reuse Method with Domain-Specific Reference Architectures". Annals of Software Engineering (Springer Netherlands): 143–168.
- [6] Hafedh Mili, Ali Mili, Sherif Yacoub, Edward Addy. Reuse Based Software Engineering: Techniques, Organizations, and Controls. John Wiley and Sons, 2002.
- [7] David Garlan, Robert Monroe, and Dave Wile. Acme: An architecture description interchange language. In Proceedings, CASCON' 97, pages 169–183, Toronto, 1997.
- [8] Bradley Schmerl and David Garlan. Acmestudio: Supporting style centered architecture development. In Proceedings, 26th International Conference on Software Engineering, Edinburgh, Scotland May 2004.
- [9] Robert Allen. A formal approach to software architecture. Technical Report CMU-CS-97-144, Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA, May 1997.
- [10] Robert Allen and David Garlan. A formal basis for architectural connection. ACM Transactions on Software Engineering and methodology, 6(3), July 1997.

- [11] Alessandro Aldini , Marco Bernardo and Flavio Corradini. A process Algebraic Approach to Software Architecture Design. Springer Verlag, 2010.
- [12] Mohammad Usman Ahmed. E-Bay E-Commerce Platform: A Case Study in Scalability. Technical Report, School of Computer Science, McGill University, Montreal, Canada.
- [13] Alessandro Aldini, Marco Bernardo and Flavio Corradini. A process Algebraic Approach to Software Architecture Design. Springer Verlag, 2010.
- [14] Simonetta Balsamo, Marco Bernardo and Marta Simeoni, Performance Evaluation at the Software Architecture Level. Proceedings, SFM 2003: Third International School on Formal Methods for the Design of Computer, Communication and Software Systems: Software Architectures, SFM 2003, Bertinoro, Italy, September 22-27, 2003.
- [15] Bridget Spitznagel and David Garlan. Architecture-Based Performance Analysis. Proceedings of the 1998 Conference on Software Engineering and Knowledge Engineering. Pages 146-151, 1998.
- [16] Paul Clements, Felix Bachmann, Len Bass, David Garlan, James Ivers, Reed Little, Paulo Merson, Robert Nord, Judith Stafford: Documenting Software Architectures: Views and Beyond, Second Edition. Addison-Wesley, 2010, ISBN 0321552687.

المخلص باللغة الانجليزية

Title: Automated tool to analyze software architectures

Abstract. The concept of software architecture emerged in the eighties as an abstraction of all the design decisions pertaining to broad system structure, component coordination, system deployment, system operation, etc. As such, software architecture deals less with functional attributes than with operational attributes of a software system. So much so that a sound discipline of software architecture consists in identifying and prioritizing important non functional attributes that we want to optimize in the software system, and using them as a guide in making architectural decisions. In light of this situation, we find it paradoxical that no architectural description language in use nowadays has any means to automatically analyze the non functional attributes of software architectures. In this paper, we present a modified version of ACME, and present a compiler of this language that allows us to analyze and reason about non functional attributes of software systems.

Keywords: software architecture, non functional attributes, software architecture analysis, ACME, response time, throughput

المصطلحات

انجليزي	عربي
Software Product	منتج برمجي
Software architecture	معمارية البرمجيات
non functional attributes	الخصائص اللاوظيفية
ACME	أكمي
Wright	ورايت
PADL	بادل
Quality attributes	صفات الجودة
Response time	سرعة الاستجابة
Throughput	طاقة الإنتاج
Architectural Description Language	تمثيل المعماريات
CSP	سي أس بي
domain engineering	هندسة المجال
product line engineering	هندسة المجموعات البرمجية
component based software engineering	هندسة البرمجيات المؤسسة على المكونات
Commercial off-the-shelf	التجارية الجاهزة
executable code	البرنامج الجاهز للتنفيذ
user interface	واجهة مستخدم
synchronous	متزامنة
asynchronous	غير متزامنة
Complementary	متكاملة
duplicate	مكررة
overlapping	متداخلة
functional dependency	التبعية الوظيفية
probability distribution	التوزيع الاحتمالي
functional dependency relation	علاقة التبعية الوظيفية
interchangeable	قابلة للتبادل
probability distribution	التوزيع الاحتمالي
Acme Studio	الأداة الآلية لأكمي للعروض الرسومية
Component	مكونة
Connector	رابط
Port	وصل
Role	دور
Bottleneck	عنصر اختناق
Syntax	إعرابية
Compiler	مترجم
Input Port	وصل إيراد
Output Port	وصل إصدار
ceSour	مصدر
Sink	وجهة
fault tolerant scheme	خطة تحمل العيوب

هندسة سيناريوهات لغة النمذجة الموحدة والإنتاج الأوتوماتيكي للتوليف

عبد السلام جاكيمي¹، محمد الكتبي²

¹كلية العلوم و التقنيات الراشيدية ، جامعة المولى اسماعيل ص.ب 509 بوتلمين، الراشيدية المغرب

² المدرسة الوطنية العليا للمعلوماتية وتحليل النظم، جامعة محمد الخامس، شارع محمد بن عبد الله الركراكي، . ص.ب: 713 مدينة العرفان، الرباط، المغرب

البريد الإلكتروني: elkoutbi@ensias.ma ، ajakimi@yahoo.fr

الخلاصة: تستعمل معظم التصورات الموجهة للكائنات الخاصة للتصميم البرمجي لغة النمذجة الموحدة القياسية "UML"، بغية الحصول على مواصفات مختلفة و ذلك استنادا إلى نماذج متعددة لوصف الجوانب المختلفة للنظام. ومع ذلك، فصناعة البرمجيات لم تقدم بعد حلول مرضية لملء الفجوة بين لغة النمذجة على مستوى عال ولغة البرمجة. نقترح في هذا العمل، عملية تحديد وهندسة متطلبات البرمجة التي تدمج وتكمل سيناريوهات (صور) لغة النمذجة الموحدة للحصول على وصف شامل لخدمة معينة من النظام. كما نقدم برمجة التوليف انطلاقا من حالة الاستخدام للغة النمذجة الموحدة. يتم الحصول على السيناريوهات انطلاقا من مخططات التتابع التي حددتها لغة النمذجة الموحدة. تحول هذه المخططات إلى مواصفات شبكة بيترى ثم تدمج وتتكمّل فيما بينها للحصول في النهاية على مواصفات شبكة بيترى شمولية التي تلنقط سلوك النظام بأكمله. لاجل ذلك نقترح أربع مشغلات: تنابعي، مشرط، متزامن وتعاقبي لدمج مجموعة من السيناريوهات التي تصف حالة الاستخدام في نظام ما. كما طورنا خوارزميات وأدوات التطوير التي تمكن من دمج و إنتاج التوليف تلقائيا من مخططات التتابع.

الكلمات الجوهرية: لغة النمذجة الموحدة، مخططات التتابع، هندسة متطلبات البرمجة ، دمج السيناريوهات، شبكة بيترى، إنتاج التوليف.

1 مقدمة

كان مهندسو البرمجيات يفتقرون للغة موحدة، أي لغة شمولية توحد أعمالهم البرمجية. بين عامي 1989 و 1994، و هي الفترة التي يشار إليها بـ "حروب المناهج"، كان يوجد ما يزيد عن خمسون لغة نمذجة برمجية قيد الاستعمال، كل منها تملك رموزها الخاصة وتحتوي على قواعد تميزها، وفي نفس الوقت لديها عناصر تتشابه مع تلك التي في اللغات الأخرى. بالتالي، لا توجد لغة متكاملة، بحيث نادرًا ما يجد القائلون على البرمجيات ما يرضي كامل حاجاتهم في لغة واحدة. في

منتصف التسعينيات، برزت لغة النمذجة الموحدة أو ما يعرف اختصاراً "UML" [3،2،1] والتي لا تزال تتطور حتى الساعة.

لغة النمذجة الموحدة، هي لغة نمذجة رسومية تقدم لنا صيغة لوصف العناصر الرئيسية للنظم البرمجية. أصبحت هذه اللغة الموحدة، اللغة المعتمدة لترميز العمليات البرمجية لدى الوسط الصناعي. لقد خرجت من تحت عباءة ثلاثة علماء "الأصدقاء الثلاثة" "جيم رامبخ"، مؤسس OMT (تقنية النمذجة الكائنية)، "قراي بوك"، كان له دور رئيسي في تطوير تقنيات المنحى الكائني للغة و"إيفار جاكوبسون" مبدع OOSE (هندسة البرمجيات كائنية المنحى) التي تتميز بنموذج يسمى وقائع الاستخدام. هذه الأخيرة تعد أسلوباً قوياً من أجل فهم سلوك كامل للنظام، لذلك لقيت قبولا واسعا لدى المهتمين ببناء البرمجيات على اختلاف مشاريعهم ومنهجياتهم.

تقدم هذه اللغة "وسيلة رموزية" مبسطة للتعبير عن مختلف نماذج العمل البرمجي، والتي تسهل على ذوي العلاقة - من محللين و مصممين و مبرمجين بل و حتى المستفيدين - التخاطب فيما بينهم و تمرير المعلومات في صيغة نمطية موحدة و موجزة، تغنيهم عن الوصف اللغوي المعتاد. إنها مثل مخططات البناء التي يتبادلها المساحون والمعماريون ومهندسو التشييد، أو مخططات الدوائر الكهربائية و الالكترونية التي يمكن لأي كان في هذا المجال أن يفهمها و يتعامل معها.

تقدم الفقرة 2 نبذة مختصرة عن لغة النمذجة الموحدة، وكذلك شرح مبسط للمخططات التي استعملناها لبلورة هذا العمل. أما الفقرة 3 ففقدت خطاطة عامة لمجموعة من الأنشطة التي تلخص كيفية تصميم و تحليل النظام، ابتداء من التحليل حتى التوليف وإنتاج واجهة المستخدم مع تفصيل وشرح كل نشاط على حدة (كيفية الحصول على وصف شامل لبنية النظام انطلاقاً من دمج وتكامل السيناريوهات وإنتاج التوليف). فيما الفقرة 4 تلخص ما تطرقنا إليه في هذا العمل مع اقتراح بعض الأعمال المستقبلية.

2 مخططات لغة النمذجة الموحدة

لغة النمذجة الموحدة، لغة قياسية لتحديد، تصور، بناء وتوثيق الأعمال لبرمجيات الأنظمة، فضلاً عن نماذج الأعمال التجارية وغيرها من النظم المختلفة عن البرمجيات. تمثل لغة النمذجة الموحدة مجموعة من أفضل التطبيقات الهندسية التي ثبتت نجاحها في نمذجة النظم الضخمة والمعقدة. وهي جزء هام لتطوير البرمجة الكائنية التوجه وعملية تطوير البرمجيات بصفة عامة. لغة النمذجة الموحدة تستخدم الرموز الرسومية في الغالب للتعبير عن طريقة تصميم مشاريع البرامج.

تتكون لغة النمذجة الموحدة من عناصر رسومية توضع ضمن مخططات مختلفة، لتوصيف النظام والتعبير عن طريقة تصميم مشاريع البرامج. هذه المخططات تقوم بتوصيف النظام وليس لها علاقة بكيفية برمجة هذه الوظائف. تتألف لغة النمذجة الموحدة UML2.0 [4] من ثلاثة عشر نوعاً من المخططات، وتنقسم إلى نوعين: البنية الساكنة والبنية المتحركة. البنية الساكنة تحوي ستة مخططات، تركز على عناصر النظام بشكل مستقل عن الزمن و هي: مخطط الصنفيات، مخطط الكائنات، مخطط المكونات، مخطط

التجهيز، مخطط التحزيم و مخطط البنية المركبة. البنية المتحركة تتكون من سبع مخططات والتي تحدد وظيفية النظام أي تغيراته مع الزمن وهي : مخطط وقائع الاستخدام، مخطط التواصل، مخطط التتابع، مخطط الحالة، مخطط الأنشطة، مخطط التوقيت و مخطط شمولية التفاعل.

في هذا العمل سوف نقتصر على ثلاثة مخططات : مخطط واقعة استخدام، مخطط الأصناف و مخطط التتابع. فيما يلي شرح مختصر لهذه المخططات التي اعتمدنا عليها لبلورة هذا العمل.

2.1 مخطط الصنفيات (الأصناف)

رسم مخططات الأصناف جانب أساسي لأي منهج للتصميم بالمنحى للكائن، بإمكاننا استخدام هذا المخطط في مرحلة التحليل وكذلك في مرحلة التصميم، تستعمل صيغ مخططات الأصناف لرسم خريطة للمفاهيم العامة التي يمكن للمستفيد (الزبون) أن يستوعبها ويسمى بالنموذج المفاهيمي. وهي بالإضافة إلى مخطط وقائع الاستخدام، تجعل من النموذج المفاهيمي أداة قوية لتحليل المتطلبات. مخطط الأصناف يمكن من وضع الأشياء ضمن أصناف، مهمته توضيح هذه الأصناف والعلاقات فيما بينها [4].

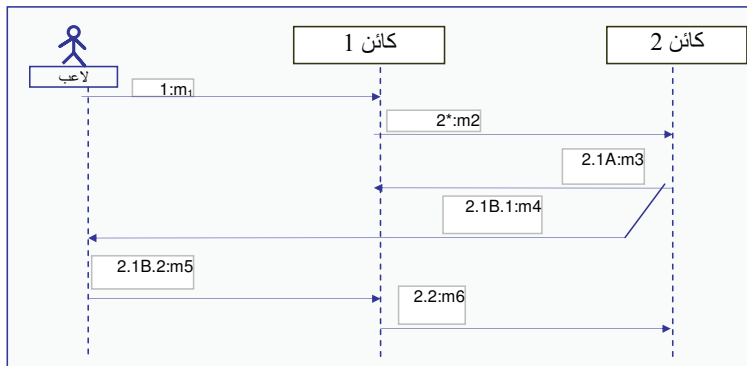
2.2 مخطط واقعة استخدام

مخطط واقعة الاستخدام هو وصف لسلوك النظام من وجهة نظر المستخدم. يتكون هذا المخطط من عنصرين أساسيين: اللاعب و واقعة الاستخدام (حالة الاستخدام) التي تعد أسلوباً قوياً من أجل فهم سلوك كامل للنظام. فهي ذات فائدة خلال مراحل التحليل والتطوير، و تساعد في فهم المتطلبات. مما يمكن كلا من المطورين (محللون، مصممون، مبرمجون، مختبرون) والمستفيدين (الزبون) من الاشتغال على هذا المخطط الذي بإمكانه أن يتحتمل كامل عمليات التطوير، بدءاً من البداية حتى التسليم.

واقعة الاستخدام من أدوات UML القوية، فهي ببساطة وصف لمجموعة من التفاعلات بين المستخدم و النظام. و من خلال بناء مجموعة من وقائع الاستخدام، يمكننا وصف كامل للنظام الذي نخطط لإنشائه، بصورة واضحة و موجزة. عادة ما يتم وصف وقائع الاستخدام باستعمال توليفات من (الفعل / الاسم) - على سبيل المثال: "دفع الفواتير"، "تحديث المرتبات" أو "إنشاء حساب".

2.3 مخطط التتابع

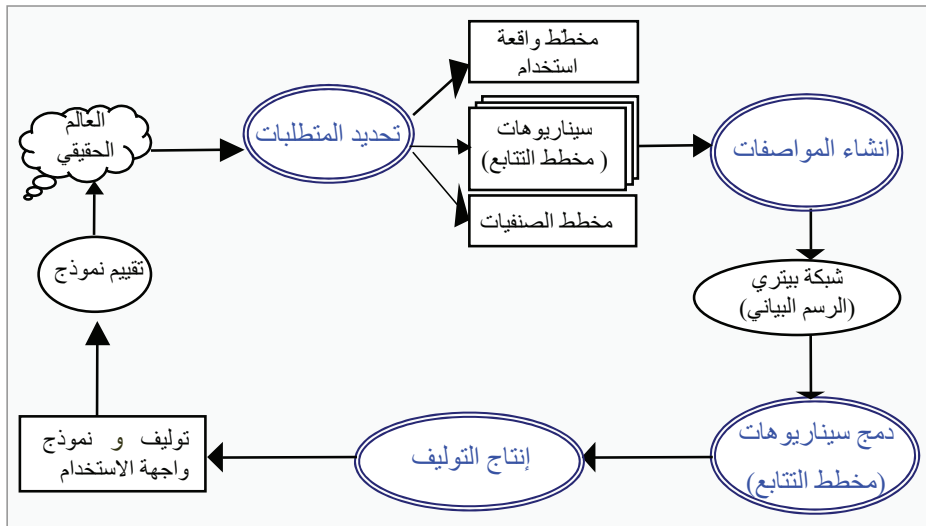
إذا احتاج البرنامج القيام بأي تفاعل، سيكون ذلك بواسطة تتابع تفاعل وتعاون الكائنات فيما بينها. ويمكننا رسم مخططات التتابع لوصف الكيفية التي تتفاعل بها الكائنات فيما بينها بالطريقة التي نريدها. الخطوط المنقطعة إلى أسفل المخطط تشير إلى الزمن، لذلك فما نشاهده هنا هو وصف لكيفية تفاعل الكائنات في نظامنا عبر الزمن (شكل 1).



الشكل 1. مخطط التتابع

3 عملية تحويل، دمج و إنتاج التوليف

في هذه الفقرة سوف نقدم خطاطة عامة لمجموعة من الأنشطة التي تلخص كيفية تصميم وتحليل أي نظام نود تطويره، ابتداء من التحليل حتى التوليف وإنتاج واجهة المستخدم (شكل 2).



الشكل 2. أنشطة عملية التطوير المقترحة (هندسة السيناريوهات)

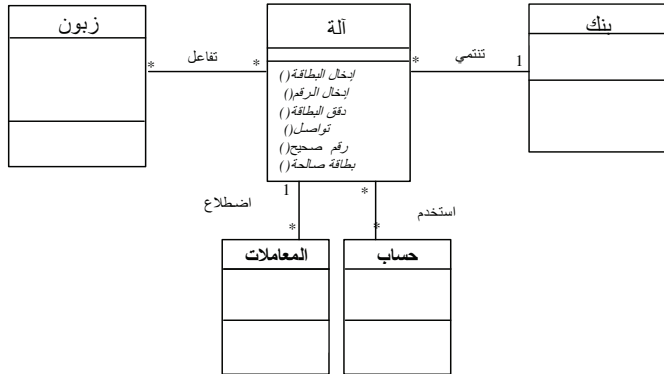
في نشاط "تحديد المتطلبات"، المحلل أو المبرمج ينشئ مخطط الصنفيات لتحديد ونمذجة البنية الساكنة للنظام. اما بالنسبة للبنية المتحركة فتتمذج باستخراج مخطط واقعة الاستخدام وكذلك فرز وتشكيل جميع مخططات التتابع الخاصة لكل وقائعة استخدام على حدة. في نشاط "انشاء المواصفات" نقوم بتحويل كل مخططات التتابع المحددة من قبل الى شبكة بيتري، بغية الحصول على احسن نمذجة. في نشاط "دمج السيناريوهات او دمج الصور" (للاشارة فكل سيناريو أو صورة تخطط بمخطط التتابع) نقوم بدمج صور و شبكة بيتري لكل وقائعة استخدام، وذلك بالاعتماد على خوارزميات قمنا بتطويرها. ثم يأتي دور نشاط "إنتاج التوليف" بهدف إنتاج التوليف الخاص لكل سيناريو هات مدمجة (خدمة مهداة من النظام). واخيرا نحصل على توليف فعال ونموذج واجهة المستخدم الذي يمكننا من تقييم النموذج والبرنامج. فيما يلي سوف نفسر عمل كل نشاط على حدة وذلك باخذ الماكينة المصرفية الآلية (آلة صرف النقود الآلي) كمثال للتوضيح.

3.1 تحديد المتطلبات

هذا النشاط ينقسم إلى ثلاثة اقسام: 'اقتناء الحاجيات'، 'تحديد السيناريوهات' و 'تمديد السيناريوهات'. فيما يلي سوف نوضح أهمية كل قسم على حدة.

أ) اقتناء الحاجيات

في هذه المرحلة يقدم المحلل الى المستعملين المعلومات على النظام الذي يود تصميمه، ثم يعد مخططات الأصناف بهدف نمذجة البنية الساكنة للنظام. يستعمل مخطط الأصناف في التصميمات المنطقية للنظام ليبرهن علي وجود أصناف و كذلك العلاقة فيما بينها. خلال التحليل، فمخطط الأصناف يشير الى الدور والمسؤوليات المشتركة للوحدات التي تشارك في محتوى النظام. خلال التصميم، يسمح بتقديم بنية الأصناف التي تشكل معمارية النظام. الشكل 3 يوضح مخطط الأصناف للماكينة المصرفية الآلية ATM، الذي يتكون من خمس كائنات : زبون، آلة، بنك، حساب، معاملات.



الشكل 3. مخطط الأصناف للماكينة المصرفية الآلية

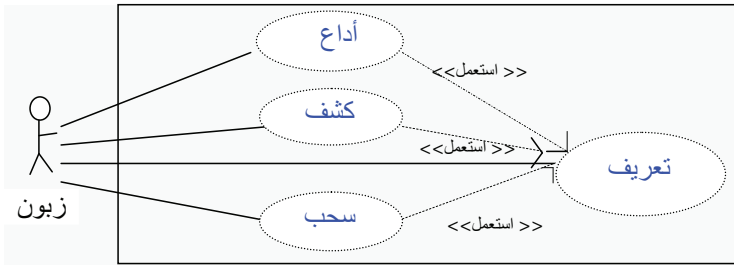
(ب) تحديد السيناريوهات (الصور)

هذا النشاط ينقسم الى مرحلتين أساسيتين: في المرحلة الاولى، المحلل ينشئ و يحدد مخطط واقعة استخدام للقطات جميع وظائف النظام. أما المرحلة الثانية فتحدد لكل واقعة استخدام، جميع مخططات التتابع الموازية لكل صورة (صورة تجسد واقعة استخدام) من اجل تحديدها ووصفها بالكامل.

كما اشرنا سابقا، يتكون مخطط واقعة الاستخدام من عنصرين اساسيين: واقعة الاستخدام واللاعب. "واقعة استخدام" تصف سلوك النظام من وجهة نظر المستخدم، أي كيف سيتعامل النظام مع العالم الخارجي. فهي توضح الوظائف التي يقدمها النظام للمستخدمين ولا توضح كيف يقدمها. تتكون من مجموعة سيناريوهات تصف التفاعل بين المستخدم والنظام. تستخدم "واقعة استخدام" في كل المشروعات تقريبا، فهي ذات فائدة خلال مراحل التحليل والتطوير وتساعد في فهم المتطلبات. ويتم تعريف معظم حالات الاستخدام في بداية المشروع وخلال مراحل تقدم المشروع.

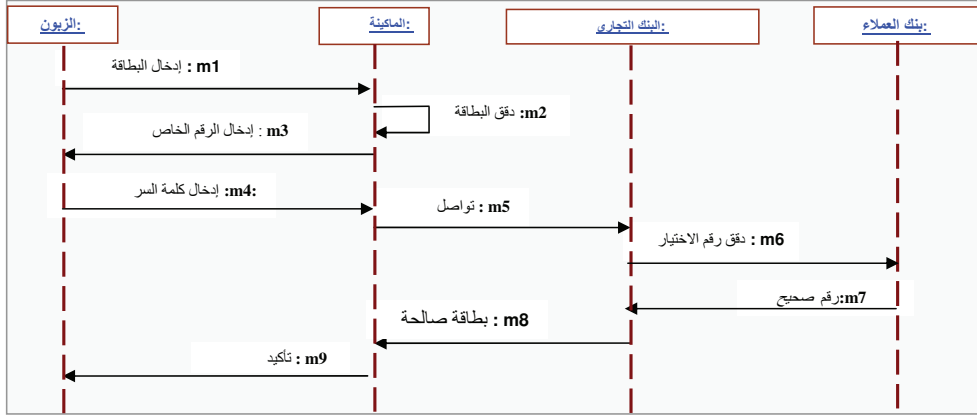
الفاعل "لاعب" هو شخص ما أو شيء خارجي (نظام أو جهاز) يمكنه بدء أو تفعيل حالة الاستخدام لأن حالة الاستخدام لا يمكنها بدء الأحداث أو التفاعلات من تلقاء نفسها. مثلا، إذا كنا نقوم بتطوير نظام مصرفي، وكان لدينا حالة الاستخدام تسمى "سحب النقود"، فيمكننا الإقرار بأننا نحتاج لزيائن للتمكن من سحب هذه النقود، اذا سيكون الزبون أحد الفاعلين لدينا.

الشكل 4 يوضح مخطط واقعة استخدام للماكينة المصرفية الآلية. اللاعب "زبون" يتفاعل مع اربع حالات الاستخدام: "تعريف"، "اداع"، "كشف" و "سحب". حالة الاستخدام "تعريف" مرتبطة مع باقي حالة الاستخدام بعلاقة الاستعمال تسمى "استعمل". يعني ان الزبون لا يمكنه "اداع"، "كشف" او "سحب" دون "تعريف".

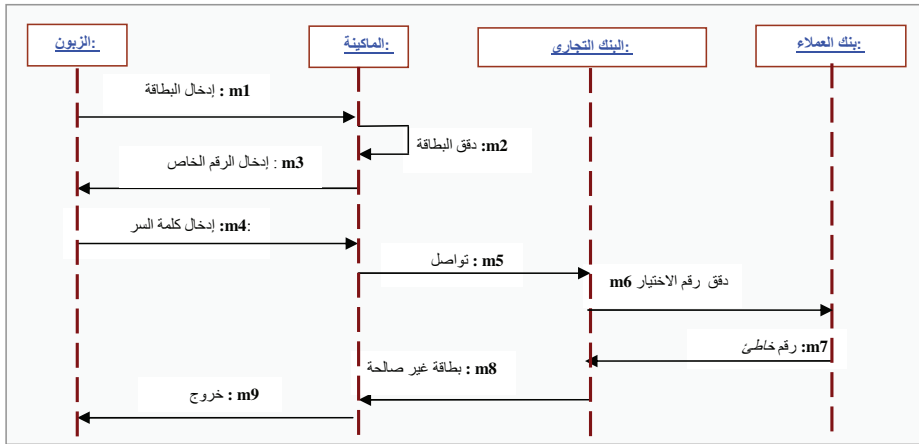


الشكل 4. حالة الاستخدام "سحب مبلغ": ادخال رقم خاص حقيقي (صورة صحيحة)

في لغة النمذجة الموحدة، الصور توصف وتمثل على شكل مخطط التتابع او مخطط التواصل، وتلتقط جميع التفاعلات بين مختلف كائنات النظام، و خاصة تلك المرتبطة بالمستخدمين للنظام وباقي الكائنات. لشرح هذه الحالة، نستخرج جميع مخططات التتابع الخاصة لحالة الاستخدام "تعريف". هذه الاخيرة تحتوي على صورتين مختلفتين (سيناريوهين): الأولى لصورة ناجحة (سيناريو حقيقي أي ادخال رقم صحيح (شكل 5)) و الثانية لصورة خاطئة (سيناريو خاطئ أي ادخال رقم خاطئ (شكل 6)).



الشكل 5. حالة الاستخدام “سحب مبلغ”: إدخال رقم خاص حقيقي (صورة صحيحة)



شكل 6. حالة الاستخدام “سحب مبلغ”: إدخال رقم خاص خاطئ (صورة خاطئة)

ت) تمديد السيناريوهات

تلتقط سيناريوهات لغة النمذجة الموحدة جميع التفاعلات التي تحصل بين المستخدمين للنظام وباقي الكائنات. لشرح هذه التفاعلات بشكل واضح، تمثل السيناريوهات بمخطط النتائج. اذا لتحديد هذا النوع من التفاعل والحصول على أفضل النماذج (جوانب غير وظيفية للنظام)، نقترح زيادة وصف

السيناريوهات بإضافة، على شكل قيود، معلومات محددة لجوانب التفاعل. هذه القيود تنقسم إلى قسمين: قيود الحماية وقيود الوقت الحقيقي (القيود الزمنية).

قيود الوقت الحقيقي

تحدد قيود الوقت الحقيقي وقت الانتظار لبدء عملية أو إرسال رسالة بالنسبة لمحور الزمن أو بالنسبة إلى رسالة أخرى. نقترح في هذا العمل، ثماني قيود جديدة لتحديد الوقت. العلاقات الزمنية بين الرسائل تسمح بتحديد التسلسلات الممكنة للرسائل عبر الزمن (في الوقت). الجدول التالي يلخص كل هذه القيود.

القيود	المعنى
$\{ m \text{ في } (a) \}$	الرسالة m ترسل في الوقت المحدد 'a'
$\{ m1 \text{ بعد } (a), m2 \}$ أو $\{ m1 \text{ بعد } (a) \}$	الرسالة $m1$ ترسل بعد الوقت 'a' بالمقارنة مع الرسالة $m2$ أو بعد الوقت 'a' بالنسبة لمحور الوقت
$\{ m1 \text{ قبل } (b), m2 \}$ أو $\{ m1 \text{ قبل } (b) \}$	ترسل الرسالة $m1$ قبل الوقت 'b' بالمقارنة مع الرسالة $m2$ أو بعد الوقت 'b' بالنسبة لمحور الوقت
$m \text{ بين } (b, a) \}$	ترسل الرسالة m في الوقت 'a' وتأخذ كوحدة التوقيت 'b-a'
$\{ m1 \text{ تبدأ } (m2) \}$	الرسالة $m1$ تبدأ في الوقت نفسه مع الرسالة $m2$
$\{ m1 \text{ تنتهي } (m2) \}$	الرسالة $m1$ تنتهي في الوقت نفسه مع الرسالة $m2$
$\{ m1 \text{ تساوي } (m2) \}$	الرسائل $m1$ و $m2$ تبدأ وتنتهي في نفس الوقت
$\{ m1 \text{ تلتقي } (m2) \}$	الرسالة $m1$ تبدأ قبل أن تنتهي الرسالة $m2$

جدول 1. قيود الوقت الحقيقي للرسائل في مخطط التتابع

قيود الحماية

أصبحت الحماية حالياً قضية رئيسية بالنسبة لبعض نظم المعلومات (التجارة الإلكترونية مثلاً)، كونها من القيود الأمنية المناسبة في المراحل الأولى من تطوير النظام (هندسة المتطلبات) من أجل التحقق أو اشتقاق رموز أمانة انطلاقاً من مخططات التفاعل (مخطط التتابع ومخطط التواصل). هذه الحالة تهتم بالجوانب الرئيسية للحماية والتي نقسمها إلى نوعين: "المصادقة" و "السرية أو الكتمان" المتأصلة في أي تبادل للمعلومات الأمانة.

في هذا السياق، يمكن تعريف "المصادقة" كعملية تسمح بتثبيت هوية مرسل الرسالة بحيث المتلقي (المستقبل) يستهلك المعلومة دون التشكيك من مصدرها (أي من مرسلها). أما "السرية أو الكتمان" فتتعلق بشكل خاص من خلال تشفير المحتوى المتبادل خلال التفاعل بين كائنات النظام.

في لغة النمذجة الموحدة، عندما يتم إرسال رسالة من كائن (المرسل) إلى كائن آخر (المستقبل)، قد تكون الرسالة محملة بمعلومة (معلومات الرسالة). نشير في هذا العمل على أن تبادل الرسائل يجب أن يكون مشفراً وحلها لا يتم إلا عن طريق خوارزميات التشفير. نلخص القيدتين اللذين نقترح لنمذجة الجوانب الأمنية في الجدول رقم 2.

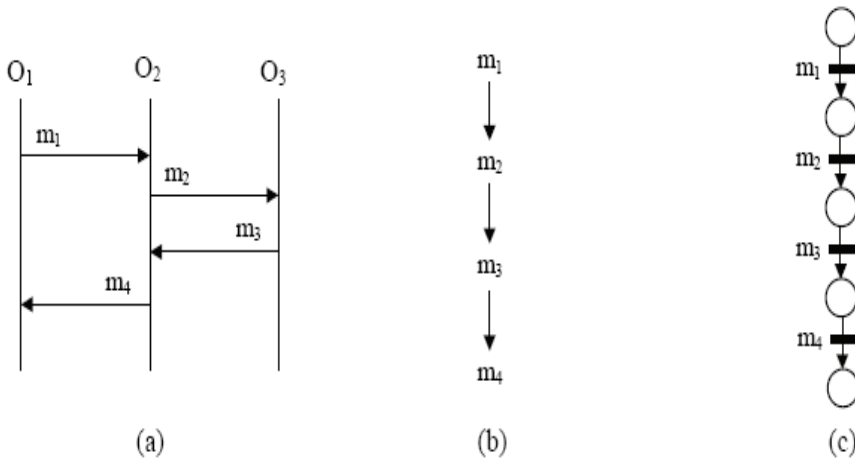
المعنى	القيود
تصادق الرسالة m من طرف الكائن المرسل للرسالة باستعمال خوارزمية المصادقة " algo "	$m\{\text{Auth(algo)}\}$
يتم تشفير الرسالة m بواسطة خوارزمية التشفير " algo "	$m\{\text{Crypt(algo)}\}$

جدول 2. قيود الحماية للرسائل في مخطط المتابع

3.2 تحديد و انشاء المواصفات

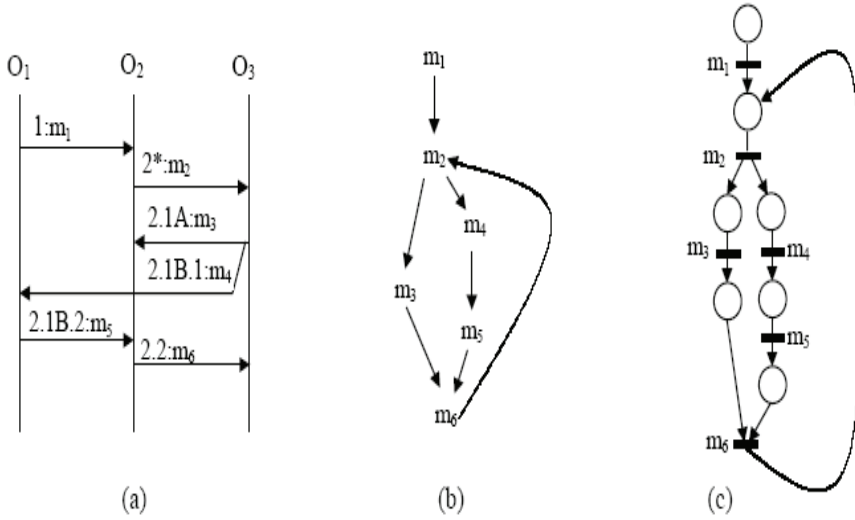
تحديد و انشاء المواصفات هي عملية تحويل مخطط المتابع الى شبكة بيتري. للحصول على ذلك نستخدم تسلسل وترقيم الرسائل المتبادلة في مخطط المتابع. الشكلين 7 و 8 يبينان على التوالي كيفية الحصول على شبكة بيتري انطلاقا من مخطط المتابع. فالبنية النهائية لشبكة بيتري تحدد بتحويل الرسائل الى "انتقال" لشبكة بيتري ملونة، وادخال بين كل زوج انتقال مكان فارغ. الاشكال 7(c) و 8(c) هي نتيجة تطبيق هذا التحول. هذه الاشكال تفسر كيفية تحول مخطط المتابع الى شبكة بيتري: فالشكل 7 مثلاً، يبين طريقة تحول مخطط المتابع (سيناريو) الذي يجسد سلوك تسلسلي الى شبكة بيتري، اما الشكل 8 فيبين طريقة تحول مخطط المتابع الذي يجسد سلوك تكرار تعاقبي وكذلك سلوك متزامن الى شبكة بيتري. لتبسيط هذا التحول استعملنا كوسيط الرسم البياني للرسائل المقابلة لكل مخطط.

(O1: كائن 1، O2: كائن 2 ، O3: كائن 3 ؛ من m1 إلى m6: الرسائل المتبادلة بين الكائنات)



الشكل 7. (a) سيناريو يجسد سلوك تسلسلي، (b) الرسم البياني للرسائل المقابلة،

(c) شبكة بيتري المشتقة للرسم البياني للرسائل



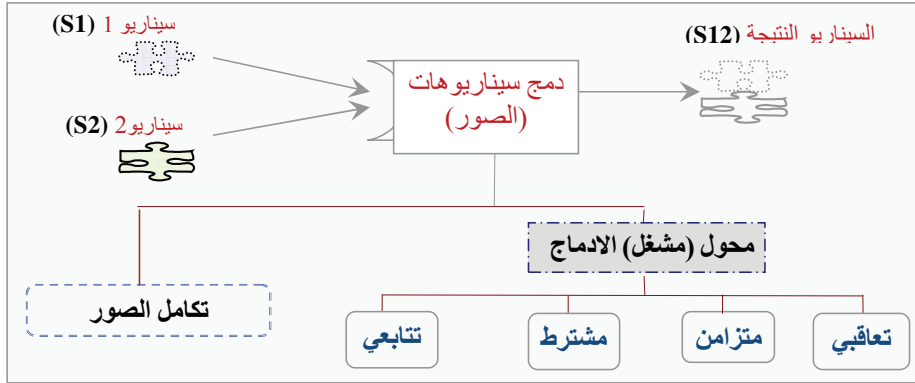
الشكل 8. (a) سيناريو يجسد سلوك تكرار تعاقبي و متزامن، (b) الرسم البياني للرسائل المقابلة، (c) شبكة بيتري المشتقة للرسم البياني للرسائل

3.3 تكامل و دمج السيناريوهات

في لغة النمذجة الموحدة، مخطط التتابع مخطط يهدف إلى توصيف الاتصالات بين الكائنات عبر الزمن، أي يتم إدخال بُعد الزمن إلى المخطط وبالتالي يتم توضيح كل التفاعلات والاتصالات بين الكائنات وفق تسلسل زمني.

السيناريوهات هي أيضا اوصاف جزئية لتعاملات النظام. للحصول على وصف شامل لبنية النظام يتطلب دمج وتكامل هذه السيناريوهات. وبهدف الحصول على المواصفات الجيدة والمتكاملة للنظام، قمنا بتطوير خوارزميتين : الخوارزمية الأولى للتكامل [7,6,5] بحيث نبحث عن القواسم المشتركة بين جميع الصور المتكاملة. الخوارزمية الثانية تسمح لنا بتطبيق المشغلات الأربع : تنابعي، مشترك، متزامن و تعاقبي للصور.

الشكل 9 يعطي لمحة عامة عن "خوارزمية الدمج" المطبقة على الصور الممثلة بمخطط التتابع.



الشكل 9. دمج سيناريوهات لغة النمذجة الموحدة

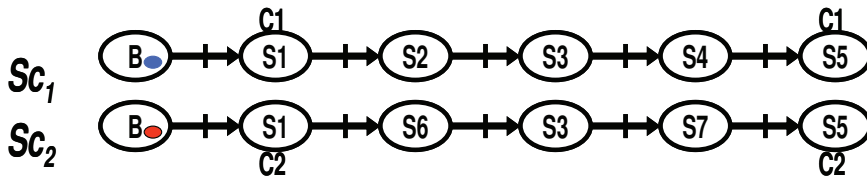
(أ) تكامل السيناريوهات

فيما يخص تكامل السيناريوهات ، نجد ان مشكل التداخل ينشأ بعد اندماج اثنين من السيناريوهات [7،5]. غالبا ما تلتقط نتيجة التكامل، بالإضافة الى صور القاعدة، مزيدا من الصور الأخرى التي ينتجها التداخل بين صور الدخول. لحل هذه الاشكالية، نقترح في هذا العمل، استعمال مفهوم "اللون" وذلك باستخدام "شبكة بيتري ملونة".

المواصفات التكاملية تتضمن العديد من الصور خلال مسارها، فيمكن تغيير الألوان مرارا (رمزية الحرباء). في المكان الأولي لكل واقعة الاستخدام، تأخذ رمزية الحرباء لون موحد يجمع ألوان جميع الصور. اذا خلال مسار شبكة بيتري ملونة المماثلة لواقعة الاستخدام، بعض الألوان يتم عزلها (مثال: تطبيق منشور الضوء الأبيض لتمرير بعض الألوان فقط).

مثال توضيحي

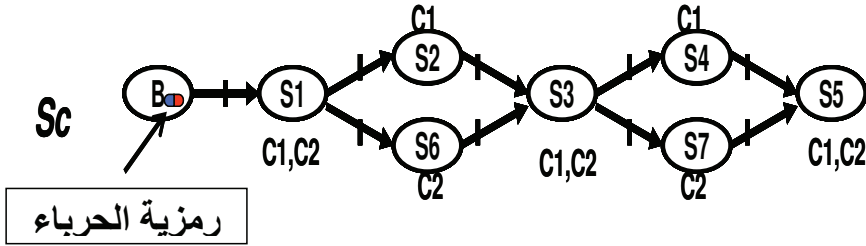
نعتبر صورتين Sc1 و Sc2 لنفس واقعة الاستخدام وكذلك مسار شبكة بيتري الملونة المقابلة لهما: cpn1 و cpn2 (شكل 10)



الشكل 10. مثال لصورتان لنفس واقعة الاستخدام

لكي نقوم بتكامل الصور المقترحة، الخوارزمية تدمج أولا الأماكن التي لها نفس الاسم في cpn1 و cpn2. الأماكن المدمجة تحوي كلون اتحاد، ألوان cpn1 و cpn2. فيما يخص ادماج الانتقالات، الخوارزمية تبحث في cpn1 و cpn2 الانتقالات التي لها نفس أماكن الدخول والخروج، ثم تدمج

باستعمال " أو منطقية" بين ظروف الاحتفاظ. الشكل 11 يبين نتيجة تكامل صورتين Sc1 (مع C1 كلون) و Sc2 (مع C2 كلون) .



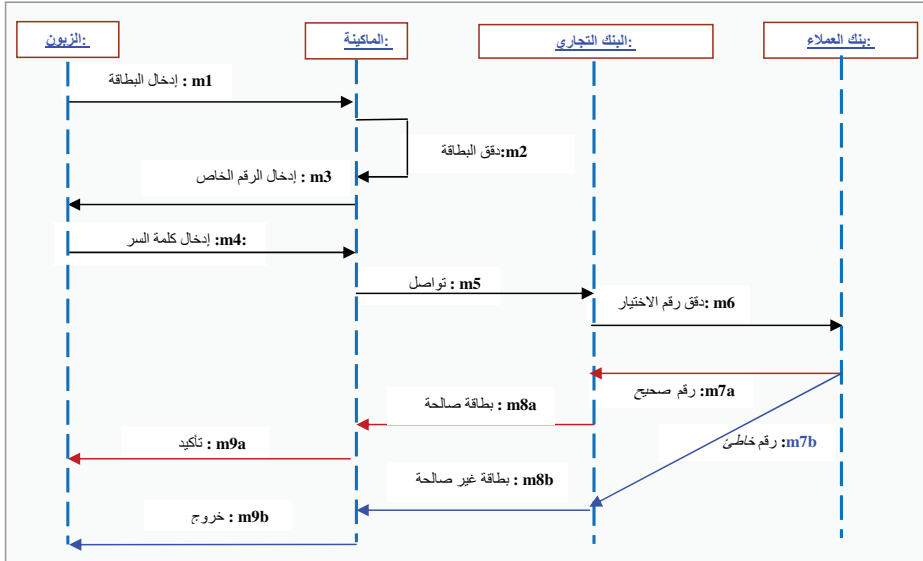
الشكل 11. نتيجة عملية تكامل الصور

(ب) دمج السيناريوهات

كما اشرنا سابقا، فالسيناريوهات هي اوصاف جزئية لتعاملات النظام، إذا للحصول على وصف شامل لبنية النظام، يتطلب دمج او تكامل هذه السيناريوهات بهدف الحصول على المواصفات الجيدة للبنية المتحركة للنظام. صعوبة الدمج تكمن في كون السيناريوهات تحتوي على اوصاف مستقلة بعضها عن بعض، مما يجعلها تأخذ علاقات ضمنية. على سبيل المثال قد تتداخل السيناريوهات فيما بينها: الحالة التي تنتج حينما يكون هناك مجموعة من المتغيرات من نفس السيناريو (السيناريوهات الاسمية وحالات الاستثناء، على سبيل المثال) [8]. (لم نعالج هذه المشكلة في هذا العمل).

ترتيب تنفيذ السيناريوهات يكون بواحدة من أربع الطرق التالية: ليكن A و B سيناريوهان، B بعد A (تسلسلي: تعرف العلاقة الأسبقية بين سيناريوهين) A أو B (مشتراط او بديل if_else: الذي يمثل اثنين من السلوكيات الممكنة)، A تتبع نفسها عدة مرات (تتابعي: تكرار السلوك)، أو A و B متزامنين (التزامن: السلوك المتزامن و المستعمل في نفس الوقت لسيناريوهين) [8]. اذا يمكننا تعريف اربع مشغلات لدمج السيناريوهات، في هذا العمل سوف نقتصر بتعريف المشغل المشروط if_else، هذا المشغل يسمح لنا بتعريف اختياريين (سيناريوهين) ممكنين في لحظة معينة.

يبين الشكل 12 دمج سيناريوهين مختلفين: تنمذج صورة خاصة لحالة الاستخدام "تعريف" التي تحوي صورتان مختلفتان: الأولى لصورة ناجحة او حقيقية والثانية لصورة خاطئة. لشرح هذه الحالة جيدا، نعتبر دمج هاتين الصورتين المختلفتين: صورة ناجحة (سيناريوناجح: يعني ادخال رقم خاص حقيقي (شكل5)) و صورة خاطئة (سيناريوخاطئ: ادخال رقم خاص خاطئ (شكل6)) خاصة لحالة الاستخدام "تعريف" باستعمال مشغل مشتراط. نتيجة الدمج يعبر عنها على الشكل التالي:



الشكل 12. دمج الصورتين: إدخال رقم خاص خاطئ و إدخال رقم خاص حقيقي

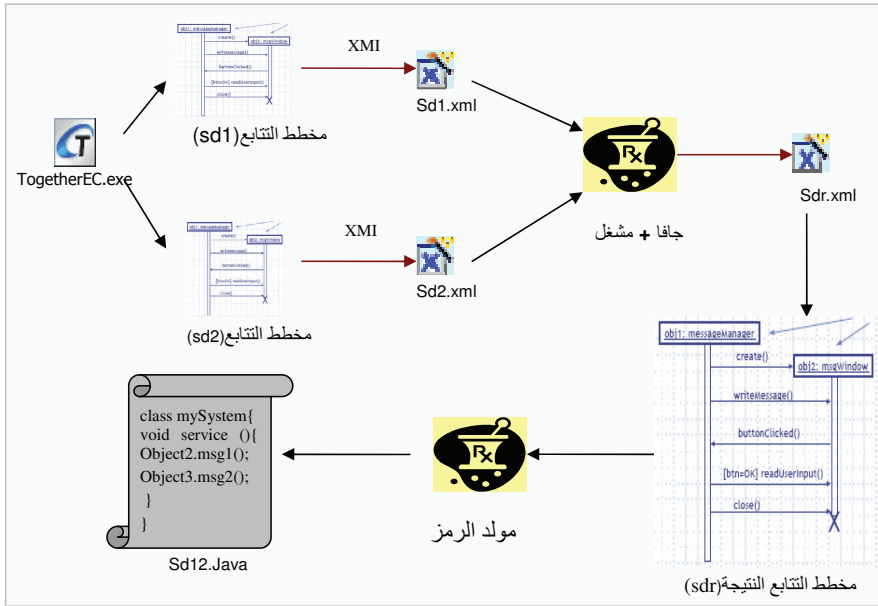
3.4 أدوات التطوير: دمج وإنتاج التوليف

لقي إنتاج التوليف انطلاقاً من البنية الساكنة للنظام نجاحاً كبيراً، عكس إنتاج التوليف من البنية المتحركة للنظام الذي بدأ يعرف مؤخراً اهتماماً كبيراً، فمجموعة من التصورات [9، 10، 11، 12] والبرمجيات [13، 14، 15، 16] تعطي أكلها بشكل ملموس في هذا المجال .

بعد الدراسة النظرية لإنتاج التوليف "جافا"(Java)[17] من مخططات التتابع، تبقى مهمة تطوير وإنشاء مولد الرمز (أدوات التطوير)، الذي يترجم تلقائياً الملفات "إكس إم إل" (XML) التي تم إنتاجها من مخططات التتابع إلى رمز "جافا". الشكل 13 يوضح مبدأ وأداة دعم برمجة التطبيق .

لكي نستطيع إنتاج التوليف من ملفات " إكس إم إل "، طورنا و برمجنا مولد الرمز (شكل 13) الذي يستقبل ملفات "إكس إم إل" المولدة من البرنامج "توكدر فور اكليبس" والذي سوف يعطينا الرمز "جافا" المنتج، والذي يمكننا من الاحتفاظ به وتخزينه. استعملنا أيضاً الـ "بلوكين أو مكونات" (Plugging) 'مخططات لغة النمذجة الموحدة' التي تسمح بإنتاج معظم مخططات لغة النمذجة الموحدة (يهما هنا مخططات التتابع).

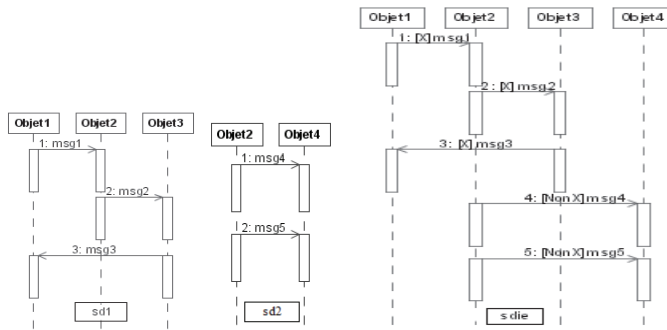
الصور الداخلة تستقبل من طرف بلوكين النمذجة للغة النمذجة الموحدة، وتحول على شكل ملفات "إكس إم إل" بواسطة "إكس إم إل" (XMI)، التي قد تكون في نهاية المطاف مبنية على بلوكين النمذجة، وتكون بمثابة مدخلات لخوارزمية توليد الرمز.



الشكل 13. أداة البرمجة الدمج و إنتاج التوليف

مثال توضيحي لدمج وإنتاج التوليف

نعتبر سيناريوهين sd1 و sd2، نلحق الشرط [X] لمخطط التتابع الاول sd1 و الشرط الثاني [NonX] لمخطط التتابع sd2. المشغل يعمل بتجميع السيناريوهين في سيناريو واحد sdie ، مع الحفاظ والاشارة الى نفس الرسائل وكذلك شروطها، وفي الاخير ينتج التوليف "جافا" بواسطة مولد الرمز الذي طورناه. الشكل 14 يوضح هذه الاستراتيجية.



الشكل 14. مثال لصورتان مندمجتان (sdie = sd1+sd2)

التوليف "جافا" المنتج من طرف الشكل 14 يكتب على النحو التالي :

```
class mySystem {
    public void service (){
        if (X) {
            Object2.msg1();
            Object3.msg2();
            Object1.msg3();
        }
        else {
            Object4.msg4();
            Object4.msg5();
        }
    }
}
```

4 الخاتمة

خلال هذا العمل، قمنا بتقديم تصورات جديدة لتطوير البرمجة الكائنة التوجه، بالاعتماد على لغة النمذجة الموحدة. هذه التصورات تحدد كيفية تصميم وتحليل أي نظام وذلك ابتداء من التحليل حتى التوليف والانتهاج بإنتاج واجهة المستخدم. كل هذا يتم ويبلور بالاعتماد على أربع نشاطات : "تحديد المتطلبات"، "إنشاء المواصفات"، "دمج وتكامل السيناريوهات" وأخيرا "إنتاج التوليف". كذلك استعملنا شبكة بيثري ملونة، بهدف الحصول على أحسن نمذجة. ولتوضيح هذه التصورات أخذنا كمثال الماكينة المصرفية الآلية.

في العمل المقبل بحول الله، سوف نعمل على دراسة إمكانيات إنتاج التوليف انطلاقا من مخططات البنية المتحركة (خاصة مخطط الحالة، مخطط الأنشطة و مخطط التوقيت) باستعمال عدة برمجيات (جافا، سي، سي++، .Net)، أيضا دراسة إمكانيات تحديد وإنتاج مخططات لغة النمذجة الموحدة انطلاقا من التوليف أي ما يسمى برمجيات الهندسة العكسية والهندسة المعادة.

5 شكر وتقدير

إذا كان هناك من يستحق الشكر فهي الجمعية العربية للحاسبات وكذلك جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، لتشجيعها البحث العلمي باللغة العربية. كما نود شكر جميع مكونات اللجنة المنظمة لهذا المؤتمر. كذلك نود ان نشكر الاستاذ خالد الشقرون على كتابه "هندسة البرمجيات بعنوان تطبيق UML التحليل و التصميم بالمنحى للكائن باستخدام UML".

المراجع

- [1] G. Booch, J. Rumbaugh and I. Jacobson. Unified Modeling Language User Guide. *Addison Wesley*, 1999.
- [2] J. Rumbaugh, I. Jacobson and G. Booch. Unified Modeling Language Reference Manual. *Addison Wesley*, 1999.
- [3] I. Jacobson, G. Booch and J. Rumbaugh. The Unified Software Development Process, *Addison-Wesley*, 1999.
- [4] OMG. Unified modeling language specification version 2.0: Infrastructure. *Technical Report* ptc, OMG, 2005
- [5] Elkoutbi M.; Khriiss I.; Keller. R.K., Automated Prototyping of User Interfaces Based on UML Scenarios. *Journal of Automated Software Engineering*, vol 13, pp. 5-40, Springer Science+Business Media B.V., January 2006.
- [6] Jakimi A., Elkoutbi M., A new approach for UML scenario engineering. *International Review on Computers and Software (I.RE.CO.S.)*, vol 4. vo1. pp. 88-95, January 2009.
- [7] A. Jakimi, A. Sabraoui, E. Badidi, , and Elkoutbi M., " Use Cases and Scenarios Engineering", (Innovations'07) Proceedings of the IEEE 4th International Conference on Innovations in Information Technology, November 18-20, 2007, Dubai, United Arab Emirates.
- [8] Glinz M. An Integrated Formal Model of Scenarios based on Statecharts. In Fifth European Software IEEE. Engineering Conference, Lecture Notes in *Computer Science*, Vol. 989, pp. 254-271, Springer-Verlag (1995).
- [9] Abdeslam Jakimi and Mohammed El Koutbi, "An Object-Oriented Approach to UML Scenarios Engineering and Code Generation" *International Journal of Computer Theory and Engineering (IJCTE)*, Vol.1, No 1, pp 35-41, April 2009.
- [10] I.A.Niaz and J.Tanaka, "An Object Oriented Approach To Generate Java Code From UML StateCharts", *International Journal, of computer & Information Science*, vol.6, no. 2, 2005
- [11] J. Ali, and J. Tanaka, "An Object Oriented Approach to Generate Executable Code from OMT-Based Dynamic Model", *Journal of Integrated Design and Process Science*, vol. 2, no. 4 1998, pp. 65-77.
- [12] Whittle J., Kwan R., Saboo J., From Scenarios to Code: An Air Traffic Control Case Study, *Journal of Software and Systems Modeling*, vol 4 no1, pp. 71-93, 2005.
- [13] Gentleware AG, Poseidon for UML, <http://www.gentleware.com>
- [14] MicroTOOL, objectiF, <http://www.microtool.de/objectif>
- [15] No Magic Inc. MagicDraw, <http://www.magicdraw.com>
- [16] I-Logix Inc., Rhapsody, <http://www.ilogix.com>
- [17] Sun Microsystems Inc., Java Technology, <http://java.sun.com>

الملخص باللغة الانجليزية

Title: UML Scenarios engineering and automatic code generation

Abstract. In most of the object-oriented approaches for software design, including the use of the standard Unified Modeling Language(UML), different specifications based on multiple models are obtained for describing the different aspects of a system. However, software industry still cannot provide satisfactory solutions to fill the gap between high-level modeling language and programming languages.

In this paper, we suggest a requirement engineering process that composes UML scenarios for obtain a global description of a given service of the system and

implementation code from the UML use case (service). Scenarios are acquired in form of diagrams as defined by the UML. These diagrams are composed and transformed into Petri net specifications and merged to obtain a global Petri net specification capturing the behavior of the entire system. We suggest four operators: sequential operator, concurrent operator, conditional operator and iteration operator to compose a set of scenarios that describe a use case of a given system. We developed algorithm and tool support that can automatically produce a global sequence diagram representing any way of composing them and to offer a code generation of sequence diagram resulting.

Keywords: UML, Sequence diagrams, requirement engineering, Petri net, Scenarios composition, code generation.

المصطلحات

ترجمة أكبر عدد مهم من المصطلحات التي استعملت في هذا النشاط إلى اللغة العربية.

مخطط الأنشطة	Activity diagram
تأييد آلي	Automated Support
الماكينة المصرفية الآلية	Automatic Teller Machine (ATM)
العلاقات	Associations
المصادقة	Authentication
الجوانب	Aspects
مخططات المحتوى	Behavior Diagram
سي	C
سي ++	C++
مخطط المكونات	Component Diagram
التصميمات المنطقية	Conception logique
سلوك تسلسلي	Comportement séquentiel
مخطط الصنفيات	Class Diagram
مخطط التواصل	Communication Diagram
محول (مشغل) الإدماج	Composition operator
أصناف	Classes
النموذج المفاهيمي	Conceptual Model
توليف و نموذج واجهة المستخدم	Code and User Interface Prototype
التعليمة المشترطة	Conditional statement
إنتاج التوليف	Code generation

التزامن	Concurrency
متزامن	Concurrent
مشغل مشترك	Conditional Operator
نمذجة المفاهيم	Conceptual Modeling
رمزية الحرباء	Chameleon token
شبكة بيترى ملونة	Colour Petri Net (CPN or RdPC)
قيود	Constraint
الكتمان السرية او الخصوصية	Confidentiality
المخططات	Diagrams
مخطط البنية المركبة	Diagramme de structures composites
مخطط التجهيز	Deployment Diagram
أدوات التطوير	Development Tools
عملية تطوير	Development process
البنية المتحركة	Dynamic Structure
تقييم	Evaluation
تصور (سيناريو) الاستثناء	Exception Scenario
تشفير او تلعيز	Encryption
الرسم البياني للرسائل	graphe des messages
ظروف الاحتفاظ	guard condition
نظم المعلومات	Information System
مخطط شمولية التفاعل	Interaction Overview diagram
الأنظمة الضمنية	Implicit Systems
الإدماج (التكامل)	Integration
برمجة	Implementation
تكرار تعاقبي	Iteration
التداخل	Interleaving
جافا	Java
دمج	Merging or composition
النمذجة	Modelisation
شبكة	Network
تصور (سيناريو) عادي و حقيقي	Nominal Scenario

الجوانب غير الوظيفية	Non-Functional Aspects
أوصاف الكائنات	Object Attributes
وظائف الكائنات	Object functions
أساليب الكائنات	Object methods
البرمجة الموجهة للكائنات	Object Oriented Programming
تقنية النمذجة الكائنية	Object Modelling Technique
هندسة البرمجيات كائنية المنحى	Object Oriented Software Engineering
أو منطقية	Or logical
تصور موجه نحو الأهداف	Object-Oriented Approach
البرمجة الموجهة للكائنات	Object-oriented programming
النظم الموجهة نحو الأهداف	Object-Oriented Systems
مشغل	Operator
البرمجة الكائنية التوجه	“Object oriented software”
مخطط الكائنات	Objects diagram
مخطط التحريم	Package Diagram
شبكة بيترى	Petri Net (PN or RdP)
عملية	Process
المكان الأولي	place initial
طراز (نموذج) مسود	Prototype
تقييم نموذج	Prototype Evaluation
البرمجة	Programming
لغات البرمجة	Programming Languages
المعلمات	Parameters
مخطط التتابع	Sequence Diagram
مخطط الحالة	State Diagram
برمجيات الهندسة العكسية والهندسة المعادة	Software reverse engineering and reengineering
تطوير البرمجيات	software development
البنية الساكنة	Static Structure
مخططات البنية	Structure Diagram
تصور (سيناريو)	Scenario
مخطط التتابع	Sequence diagram

تتابعي - تعاقبي	Sequential
التصميم البرمجي	Software Design
هندسة البرمجيات	Software Engineering
مهندسو البرمجة	Software Engineers
المتطلبات البرمجية	Software Requirements
برمجيات الهندسة العكسية و الهندسة المعادة	Software reverse engineering and reengineering
التسلسل	Sequence
انشاء المواصفات	Specifications Building
المعمارية	Software Architecture
الجوانب الأمنية	Security aspects
الحماية حصانة او الامن	Security
العالم الحقيقي	Real World
المتطلبات	Requirements
تحليل المتطلبات	Requirements Analysis
هندسة المتطلبات	Requirements engineering
تحديد المتطلبات	Requirements Specifications
اقتناء الحاجيات	Requirements Acquisition
الزمن الحقيقي	Real-time
أدوات	Tools
انتقال	Transition
تحويل	Transfer
تو كدر فور اكليبس	Together for eclipse
مخطط التوقيت	Timing diagram
أداة الدعم	Tool support
مستخدم	User
واجهة المستخدم	User Interface
برزت لغة النمذجة الموحدة (لغة العرض الموحدة)	Unified Modeling Language (UML)
مخطط وقائع الاستخدام	Use Cases Diagram
إكس إم إل	XML
إكس إم إ	XMI

تقييم "الجودة عند الاستخدام" للأنظمة المتنقلة الحكومية

نسرين بشير عثمان¹، عز الدين محمد عثمان²
¹ جامعة السودان للعلوم والتكنولوجيا، ص.ب. 407، الخرطوم، السودان
stayfree_2@yahoo.com
² izzeldin@acm.org

الخلاصة. تقدم هذه الورقة نموذجاً متكاملًا لتقييم "الجودة عند الاستخدام" للأنظمة المتنقلة الحكومية. يقدم النموذج الإستخدامية و قبول المستخدم للنظام المتنقل وتجربة المستخدم مع النظام كصفات تحدد الجودة عند الاستخدام. وقد بني النموذج على معايير الأيزو للإستخدامية ونموذج قبول التقنية و نموذج قبول التقنية المتنقلة وعلى نظريات رضا المستخدم في إطار واحد.

تم اختبار النموذج والتحقق منه تجريبيًا بناءً على القياسات الفعلية لكفاءة و فعالية أربعة مهام نموذجية تمثل نظام السجل المدني على الهاتف المتنقل. كما جمعت بيانات قياسات المستخدم الذاتية لعوامل الفائدة المدركة، و سهولة الاستخدام و سهولة التبني و الرضا والثقة ونية الاستخدام والشروع في الاستخدام و تجربة المستخدم.

و أظهرت النتائج أن قبول الاستخدام يرتبط بالإستخدامية. و من العوامل الرئيسية التي أثرت على قرار قبول استخدام نظام الحكومة المتنقلة الرضا و سهولة الاستخدام و فاعلية النظام من حيث المضمون والقيمة، و نية الاستخدام. وقد ثبت ان الثقة عامل هام في نية الاستخدام نسبة لتعامل النظام مع البيانات الشخصية.

الكلمات الجوهرية: الجودة عند الاستخدام ، الإستخدامية، قبول المستخدم، تجربة المستخدم، الأنظمة المتنقلة الحكومية، التصميم المرتكز على المستخدم.

1 مقدمة

يمثل تصميم التطبيقات المتنقلة للحكومة تحديًا كبيرًا لمصممي هذه التطبيقات. إحدى هذه التحديات هي جودة هذه التطبيقات عند إستخدامها من قبل المستخدمين و قدرة الأنظمة من تمكين مستخدميها من تحقيق أهدافهم عند إستخدام هذه النظم و هو ما يعرف ب "الجودة عند الاستخدام". وعرف معيار أيزو/آي إي سي 9126-4 [1] "الجودة عند الاستخدام" بأنها "قدرة نظام ما من تمكين مستخدم ما من تحقيق أهدافه عند إستخدام النظام بفعالية وإنتاجية ، وأمان و رضا تام من أداء النظام " [1].

الجودة عند الإستخدام للأنظمة المتنقلة تؤثر على مدى إستفادة المستخدمين من خدمات هذه الأنظمة لذا هناك حاجة ماسة لإيجاد مقاييس واضحة لتحديد الجودة عند الإستخدام لهذه الأنظمة.

أوضحت الكثير من الدراسات التي أجريت على واجهات المستخدم المتنقلة إستخدام معايير مختلفة لتقييم الجودة عند إستخدام هذه الواجهات. من بين هذه المعايير الإستخدامية التي تم تحديدها كأحد التحديات الأساسية لتنفيذ نظم المعلومات عموماً ونظم المعلومات المتنقلة على وجه التحديد.

قبول المستخدم للنظام و تجربته الكلية مع النظام يعتبران أيضاً عاملان أساسيان لنجاح النظام. لهذا فإن تقبل المستخدمين واستعدادهم لإستخدام الخدمات تحتاج إلى أن تحدد مسبقاً لضمان نجاح الخدمات المتنقلة. كما أن قدرة المصمم على معرفة قبول المستخدم للنظام المتنقل يساعده على اكتشاف وتشخيص المشاكل التي من المحتمل أن تواجه المستخدم، كما تمكنه من فهم الأسباب العوامل التي تؤثر في قبول الناس لهذا النوع من النظم مما يمكن من إنتاج الخدمات التي تناسب المستخدمين ومتطلباتهم.

دراسة تجربة المستخدم مع النظام تمكن المصممين من الحصول على فهم أفضل لاحتياجاته و تمكنهم من إنتاج الخدمات التي تتلاءم مع المستخدمين مما يساعد في تصميم وتحسين الأنظمة المتنقلة.

تهدف الدراسة المقدمة في هذه الورقة إلى تقديم نموذج لتقييم "الجودة عند الإستخدام" للنظم المتنقلة الحكومية. يوضح النموذج العوامل التي تحدد الجودة عند الإستخدام. كما يقدم النموذج الإستخدامية والقبول وتجربة المستخدم مع النظام كأهم العوامل التي تؤثر على الجودة و يوضح أهمية هذه العوامل في تنفيذ هذه النظم.

2 الخلفية

هناك حاجة ماسة لقياس العوامل التي تحدد و/ أو تؤثر على جودة واجهات المستخدم المتنقلة [2]. و لا يمكن قياس جودة النظم المتنقلة للمعلومات إستناداً على خلوها من الأخطاء البرمجية فحسب، لان الجودة مفهوم متعدد الأبعاد و يتضمن العديد من الخصائص [2]، وبغية تحديد مستوى جودة النظم المتنقلة للمعلومات، يجب معرفة العوامل التي تؤثر على نوعية واجهات المستخدم المتنقلة [3].

و وفقاً لجونز وماريسدن [4] فإن الأنظمة المتنقلة الناجحة يجب أن تكون "مفيدة" و "ذات كفاءة" و "سهلة الإستخدام" و "توفر تجربة محكمة وشاملة" للمستخدم. قدم معيار الأيزو/آي.إي.سي 4-9126 [1] مصطلح "الجودة عند الإستخدام" كمقياس لجودة المنتج. هذا المعيار يعرف الجودة عند الإستخدام بأنها "قدرة منتجات البرمجيات من تمكين مستخدم محدد من تحقيق أهداف محددة مع الفعالية و السلامة والإنتاجية والارتياح في سياقات محددة للإستخدام" [1].

كما قدمت الأبحاث التي أجريت على قياس جودة نظم المعلومات الكثير من النهج والنماذج مع مجموعات مختلفة من محددات الجودة. و قد تم اقتراح الإستخدامية من قبل العديد من الباحثين كإحدى الخصائص التي تحدد جودة نظم المعلومات. كما أن رضا المستخدم وقبوله للنظام هما أيضا من بين الخصائص المدرجة في العديد من معايير الجودة. كما أن تجربة المستخدم مع النظام تعتبر مقياسا أساسيا لجودة المنتجات التفاعلية.

من أجل فهم الخصائص المستخدمة في تحديد "الجودة عند الإستخدام" تشرح الفقرات التالية مصطلحات الإستخدامية و قبول المستخدم وتجربة المستخدم مع نظم المعلومات.

2.1 الإستخدامية

تم تعريف الاستخدامية في العديد من الدراسات. على سبيل المثال يعرف معيار ايزو [11-9241] [5] الاستخدامية بأنها "المدى الذي يمكن المستخدمين من استخدام منتج معين لتحقيق أهداف محددة بفعالية وكفاءة ، وارتياح في سياق معين للإستخدام". ويقترح معيار أي.إي.إي. 1061 [6] تعريف آخر للإستخدامية بأنها "السهولة التي تمكن المستخدم من تعلم تشغيل نظام ما و إعداد المدخلات والإستفادة من مخرجات النظام أو مكوناته".

معياري ايزو 9126-1 [7] ركز على الإستخدامية كسمة نوعية للمنتج تتأثر أيضا بسمات نوعية أخرى. هذا المعيار و معيار ايزو/أي.إي.سي 9126-4 [1] إقترحا الفعالية والإنتاجية والارتياح والسلامة في السياقات المحددة للإستخدام كمقاييس للجودة عند الإستخدام للمنتج.

نيلسن [8] عرف الاستخدامية على أنها "سمة الجودة التي تقيم مدى سهولة إستخدام واجهات المستخدم". كما وضح نيلسن أيضا أن الإستخدامية تقيس جودة تجربة المستخدم عند التعامل مع منتج أو نظام، سواء أكان موقعا على الشبكة العنكبوتية، أو تطبيقا برمجيا أو تكنولوجيا متنقلة، أو أي جهاز يشغل من قبل المستخدم [8]. و اقترح نيلسن [8] أيضا خمسة عناصر لقياس جودة إستخدامية واجهات المستخدم وهي:

- قابلية التعلم
- الكفاءة
- قابلية التذكر
- نسبة الأخطاء
- رضا المستخدم عن النظام.

تي يني [9] ضمن تصورات المستخدم للنظام، والمجهود الذهني اللازم، وسهولة الاستخدام والرضا كعوامل لتحديد الإستخدامية.

قرين وفينقان [10] درسا القضايا المتعلقة بالإستخدامية عند تطوير الخدمات المتنقلة من خلال دراسة مستخدمي الهاتف النقال واقترحا أنظمة تتكيف مع احتياجاتهم. سيونق [11] إقترح مبادئ

توجيهية للإستخدامية وتصميم الواجهات المتنقلة التعليمية. كما قام الكثير من الباحثين بتقييم إستخدامية واجهات التصفح على الشبكة العنكبوتية على الهاتف النقال وركزوا على تجربة المستخدم مع هذه الواجهات بالمقارنة مع واجهات سطح المكتب. هذا وقد حدد بيثان [12] ثلاثة مناهج للإستخدامية. وهي كالآتي :

1. إستخدامية النظام: و تتضمن تحقيق أهداف المنظمة من أجل تحسين أداء المستخدم والسلامة والارتياع الناجم عن التفاعل.
2. تجربة المستخدم مع النظام: و تتضمن تحقيق الأهداف الواقعية للمستخدم والمتعة المتصلة بتجربة المستخدم ونتائج تفاعله مع النظام.
3. إستخدامية المنتج: و تشمل السمات المتوفرة في المنتج و التي تدعم إستخدامية النظام وتجربة المستخدم.

نجح حسنزل [13] في وضع نموذج لتصور المستخدم لجودة المنتجات التفاعلية. يمكن تلخيصه في بعدين هما الجودة الفعلية للمنتج و المتعة. وفقا لهذا النموذج تشمل الجودة الفعلية السمات الوظيفية التقليدية والإستخدامية مثل "الوضوح" ، "الدعم" ، "الكفاءة" و "السيطرة-التحكم". أما صفات المتعة فتشمل المفاهيم غير العملية مثل "الفرح" و سمات مثل "ممتع" ، "رائع" ، "مثير" ، أو "مثير للاهتمام".

الحاجة لقياس الإستخدامية في هندسة البرمجيات في تزايد مستمر نسبة لتزايد إعتداد الناس على النظم الحاسوبية من أجل تسهيل أداء المهام على هذه النظم وزيادة إنتاجيتها [14]. أبران وخليفي [15] لخصا أهمية الإستخدامية لمستخدمي النظام في أنها المحدد لأداء النظام، و للمديرين، الإستخدامية أمر ضروري نظرا لأنها نقطة اتخاذ القرار الرئيسية في اختيار المنتج، ولمطوري البرمجيات، تصف الإستخدامية السمات الداخلية للنظام بما في ذلك نوعية التصميم و الصيانة و التوثيق.

2.2 قبول المستخدم للنظام

قبول المستخدم يشير إلى حالة الفرد النفسية فيما يتعلق بإستخدامه الطوعي لنظام أو تقنية ما [16]. و قد تمت دراسة قبول المستخدم لنظم المعلومات على نطاق واسع من الدراسات من أجل تحديد العناصر التي تؤثر على قرار قبول إستخدام هذه النظم. ربط شاكيل [17] بين الإستخدامية والقبول. و وفقا لصياغته فإن النظام المقبول هو الذي يفي بمتطلبات مستخدميه من الفائدة وسهولة الاستخدام وقلة التكلفة.

قدم ديفيس [18] نظرية توضح كيفية قبول واستخدام الناس للتقنية مستندا على نموذج نظرية الفعل المبرر لفشباين [19] و فيشباين ومن معه [20] و نظرية السلوك المخطط لأجزن [21]. نظرية نموذج قبول التقنية لديفيس توضح أنه يتم تحديد سلوك نية الفرد لاستخدام نظام ما عن طريق الفائدة المدركة والسهولة المدركة لإستخدام لهذا النظام من قبل المستخدم.

- قدم النموذج عاملين رئيسيين يؤثران على قرار المستخدم لاستخدام نظم المعلومات. هما :
- الفائدة المدركة: وهي "الدرجة التي يعتقد الإنسان أن استخدام نظام معين من شأنه أن يعزز أداء وظيفته" [22].
 - السهولة المدركة للإستخدام: وهي "الدرجة التي يعتقد الإنسان أن استخدام نظام معين سيكون خاليا من الجهد".

عرض كاسينن [23] نموذجا لقبول المستخدم لخدمات الهاتف النقال من خلال توسيع النموذج الأصلي لقبول التقنية لديفيس [24] و ديفيس و من معه [22]. يوضح النموذج العوامل الرئيسية التي تؤثر على قبول النظام من قبل المستخدمين، وهي :

- القيمة المدركة
- الثقة في النظام
- السهولة المدركة للإستخدام.
- السهولة المدركة لتبني النظام.

كما تم توسيع نموذج قبول خدمات التقنية المتنقلة من قبل ماركوفا ومن معه [25] ليتضمن الثقة وسهولة تبني النظام. وقد وجدوا أن الثقة وسهولة تبني النظام تؤثران على نية إستخدام أنظمة التجارة المتنقلة.

2.3 تجربة المستخدم

أدت التطورات الحديثة في مجال الحوسبة المتنقلة إلى التحول بعيدا عن هندسة الإستخدامية إلى نطاق أشمل بكثير وهو دراسة تجربة المستخدم مع هذه الأنظمة، حيث يتم إعطاء مشاعر المستخدم والدوافع والقيم نفس القدر من الإهتمام، إن لم يكن أكثر، من الكفاءة والفعالية والرضا الذاتي للمستخدم (الثلاثة مقاييس التقليدية للإستخدامية) [12] [8].

و قد تم تعريف تجربة المستخدم من قبل ايزو 9241-210 [26] بأنها "تصورات شخص ما وإستجاباته التي تنتج عن الإستخدم أو الإستخدم المتوقع لنظام ما، منتج أو خدمة". تجربة المستخدم "تشمل جميع الجوانب المتعلقة بكيفية إستخدام الناس للمنتجات التفاعلية كشعورهم تجاه المنتج و إستخدامه و مدى فهمهم لطريقة عمله ومدى ملاءمة المنتج لمتطلباتهم و أهدافهم ومدى ملاءمته للسياق العام للإستخدام" [26].

وفقا لبيفان [12] أن تجربة المستخدم تختص بتلبية أهداف المستخدم الفعلية أو العملية و المتعة، ووصف أهداف المستخدم الفعلية عند إستخدام النظام على النحو التالي:

- تجربة إستخدام مقبولة (بما في ذلك الكفاءة).
- نتائج إستخدام مقبولة (بما في ذلك الفعالية).
- عواقب إستخدام مقبولة (بما في ذلك السلامة).

قدم جيترو و قريكن [27] تجربة المستخدم كسمة نوعية رئيسية للمنتجات التفاعلية وحددا العناصر

الرئيسية لها واستخداما هذه العناصر لتمديد الصفات التقليدية المستخدمة لتقييم رضا المستخدم عن النظام. و تعتبر تجربة المستخدم عاملا مهما في نجاح المنتج من قبل العديد من الباحثين [28] [8]. من أهم أسباب قياس تجربة المستخدم في تطوير النظام الحصول على فهم أفضل لاحتياجات المستخدمين مما يساعد في تحسين تصميم الأنظمة المتنقلة.

3 الجودة عند الاستخدام للأنظمة المتنقلة الحكومية

هذه الفقرة تصف تصميم النظام المتنقل الحكومي و النموذج المقترح لتقييم الجودة عند الاستخدام لهذا النوع من الأنظمة.

3.1 تصميم النظام المتنقل الحكومي

تم إختيار نظام السجل المدني لينفذ كمثال على نظام حكومي متنقل نسبة لإحتوائه على مهام عديدة تتفاوت في طبيعتها وتعقيدها مما يوفر بيئة مناسبة لتجارب التحقق من نموذج الجودة عند الاستخدام.

بدأت عملية تصميم النظام المتنقل للسجل المدني بوضع الأهداف التالية في الاعتبار :

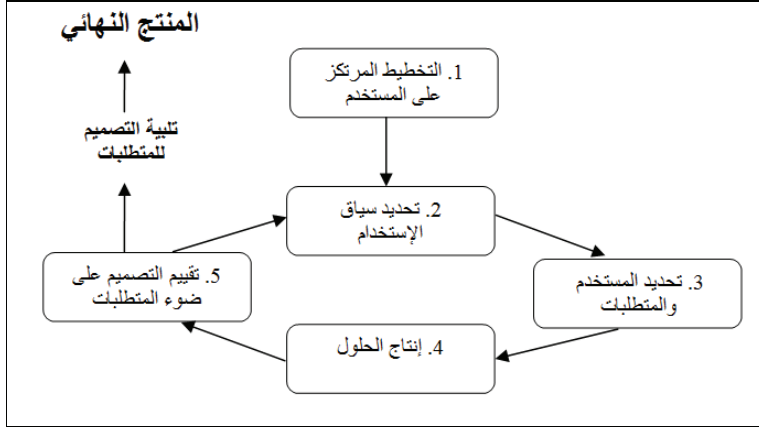
- أن يمكن النظام المواطنين من تقديم الطلبات و المعلومات اللازمة للحصول على الوثائق المدنية الآتية:
 - شهادة التسجيل المدني.
 - الجنسية.
 - البطاقة الشخصية.
 - جواز السفر.
 - شهادة الميلاد.
 - شهادة الوفاة.
 - قسيمة الزواج.
 - قسيمة الطلاق.
- أن يثير الوعي حول الأنظمة المتنقلة الحكومية و خصوصا النظام المتنقل للسجل المدني والخدمات التي يقدمها.
- أن يمكن المواطنين من الحصول على خدمات السجل المدني في أي زمان ومكان .

تم تصميم النظام المتنقل للسجل المدني كنموذج عالي الجودة باستخدام نموذج الأيزو 13407 للتصميم المرتكز على المستخدم للنظم التفاعلية (عدل و عرف فيما بعد باسم إيزو 210 – 9241 [26]). الشكل 1 يبين عملية تصميم النظم التفاعلية التي يقدمها نموذج الأيزو.

ويأتي إختيار نموذج الأيزو للأسباب التالية :

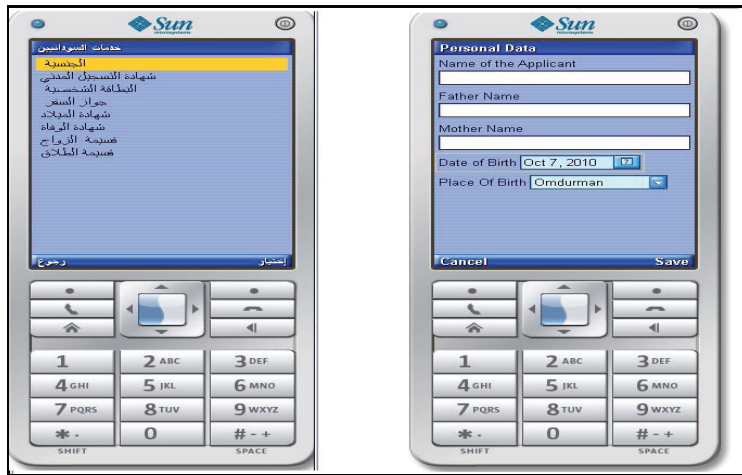
- يقدم النموذج توجيهات بشأن أنشطة التصميم المرتكز حول المستخدم في جميع مراحل دورة حياة النظام التفاعلي.

- ويضمن أنشطة التصميم المرتكز حول المستخدم في عملية تطوير النظم التفاعلية من أجل تحقيق الهدف العام المتمثل في سهولة الاستخدام ونوعية الاستخدام
- تمت تجربة النموذج واختباره من قبل و قد أثبت كفاءته.



الشكل 1. عملية التصميم المرتكز على المستخدم للنظم التفاعلية - المصدر ايزو
[13] 210-9241

و قد صممت واجهات النظام باللغتين العربية و الإنجليزية كم هو واضح في الشكل 2 الذي يبين بعض الشاشات لواجهة النظام.



الشكل 2. واجهة النظام كما تظهر على محاكي صن جافا للهاتف النقال.

3.2 النموذج المقترح للجودة عند الاستخدام للأنظمة المتنقلة

مثلت الأبحاث السابقة عن جودة نظم المعلومات الخلفية الأساسية للنموذج المقترح للجودة عند الاستخدام. يقدم النموذج العوامل التي تحدد الجودة عند الاستخدام من خلال دمج خصائص الاستخدامية و قبول المستخدم وتجربة المستخدم مع النظام. تصف الفقرات التالية الخصائص المستخدمة كقاعدة للنموذج وتناقش العوامل المؤثر على هذه الخائص بالتفصيل.

3.2.1 خصائص الاستخدامية في النموذج

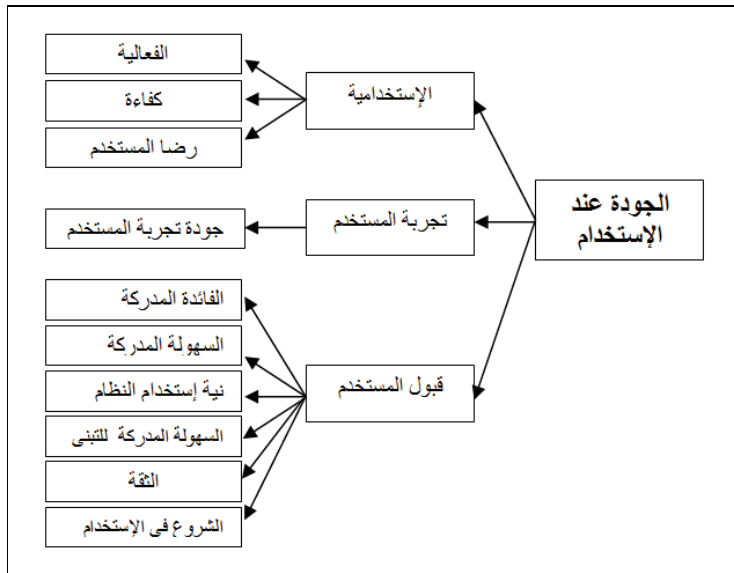
تم أخذ خصائص الاستخدامية في النموذج المقترح من تعريف الأيزو العام لإستخدامية منتج ما [27]. هذه الخصائص هي :

- الفعالية [5]: و هي الدقة والكمال الذي يمكن المستخدم من تحقيق المهام عند استخدام نظام السجل المدني على الهاتف النقال.
- الكفاءة [5]: و هي تحدد الموارد المستهلكة من أجل تحقيق أهداف المستخدم مع نظام المحمول مثل الجهد والوقت.
- رضا المستخدم [5]: و هو ما يشعر به المستخدم عند استخدام النظام المتنقل.

يحدد النموذج خصائص مختلفة لقبول المستخدم للنظام. وهي كالتالي :

- الفائدة المدركة [7]: تتضمن الفائدة المدركة لمحتويات النظام وقيمة النظام المتنقل. و تقيس كيفية نظرة و تصور المستخدم للمعلومات والمحتويات التي يوفرها النظام و مدى إدراكه لفائدة هذه المحتويات وملاءمتها للمهام و عما إذا كان استخدام نظام السجل المدني على الهاتف المتنقل يوفر الوقت و المال.
- السهولة المدركة للإستخدام [7]: و هي السهولة المتصورة للإستخدام و تقيس مدى تصور المستخدم لسهولة استخدام النظام وجهاز الهاتف النقال في أداء المهام المختلفة للنظام.
- نية إستخدام النظام [7]: و تعتبر نية الإستخدام مؤشر على استعداد المواطنين لقبول استخدام نظام السجل المدني المتنقل . ويفترض النموذج أن نية الإستخدام مؤثرا أساسيا في قبول الإستخدام.
- السهولة المدركة لتبني النظام [23]: و هي عامل مهم في النموذج المقترح حيث أن الأنظمة المتنقلة جديدة على المواطنين ويجب أن يتأكدوا من أن النظام يمكنهم من الحصول على جميع المعلومات اللازمة و الخدمات المتاحة ومع توفر التوجيهات اللازمة عند وضع النظام حيز الاستخدام. كما ينبغي أن يتمكن المستخدم من الحصول على معلومات حول الخدمات التي يقدمها النظام ويكون قادرا على تنصيب النظام والبدء في استخدامه بسهولة.
- الثقة و هي مدى إقتناع المستخدم بأن النظام سيعمل على النحو المنشود ودرجة مقبولة من العواقب المتصورة للاستخدام [23]. و الثقة خاصية تؤثر على تنفيذ النظم المتنقلة الحكومية. وهي مؤشر لنية المستخدمين لاستخدام النظام وبالتالي قبوله.
- الشروع في الإستخدام. هو خاصية تتوسط نية الإستخدام وقبول النظام حيث أن النية وحدها لا تضمن القبول.

وأخيرا، ويفترض أن يتم الإستخدام الطوعي للنظام من قبل المستخدمين من أجل أن يكون القبول مؤشرا لجودة النظام.



الشكل 3. خصائص الجودة عند الإستخدام للأنظمة المتنقلة الحكومية في النموذج المقترح

3.2.3 خصائص تجربة المستخدم في النموذج

يحدد النموذج نوعية تجربة المستخدم مع النظام كخاصية لقياس جودة تجربة المستخدم. وتقاس و
فقا للحكم الذاتي لمستخدمي نظام السجل المدني المتنقل علي نوعية تجربهم مع النظام.
الشكل 3 يبين خصائص "الجودة عند الإستخدام" للأنظمة المتنقلة الحكومية في النموذج المقترح.

3.3 التحقق من صحة النموذج

للتحقق من النموذج تم تصميم تجارب لقياس الكفاءة و الفعالية (خصائص الإستخدامية) لأربعة
مهام ممثلة للنظام يؤديها المستخدمون على النموذج الأولي للنظام المتنقل للسجل المدني.

شارك 75 متطوعا في التجارب و قد قام كل منهم بتنفيذ أربعة مهام محددة مسبقا باستخدام النظام
المتنقل للسجل المدني. طلب من كل متطوع التحدث و التفكير بصوت عال أثناء أداء المهام [29]
حتى يتمكن المُقيّم من الإلمام بكل تفاصيل تجربة المستخدم مع النظام. المهام الأربعة التي أجراها
المشاركون مدرجة أدناه :

- المهمة 1: تقديم طلب جديد لإستخراج البطاقة الشخصية.
- المهمة 2: كتابة الوثائق اللازمة لتقديم طلب للحصول على شهادة ميلاد.
- المهمة 3: كتابة متطلبات تجنيس غير السودانيين.
- المهمة 4: البحث عن شخص في السجل المدني وكتابة نتيجة البحث.

بعد الانتهاء من المهام الأربعة ، طلب من كل مشارك ملء استبيان حول تفاعلهم مع النظام.

3.3.1 قياس كفاءة و فعالية النظام

كان الغرض من هذه التجارب قياس فعالية و كفاءة مهام النظام. تم قياس فعالية المهام بقياس زمن الذي إستغرقه كل مستخدم لإكمال كل مهمة. كما تم قياس الكفاءة بنوعية إنجاز المستخدم للمهام و التي قيست بعدد الأخطاء و عدد الخطوات عند أداء كل مهمة.

4 تحليل البيانات والنتائج

جمعت البيانات من الاستبيانات ونتائج التجارب وتم تحليلها. وأظهرت النتائج علاقة الارتباط الطردية بين الكفاءة وفعالية المهام من جهة و بين القبول. كما أظهرت النتائج أيضا الارتباط الطردية بين قبول المستخدمين للنظام وتجربة المستخدم مع النظام.

أشارت النتائج بوضوح إلى الدور الهام للإستخدامية في قبول إستخدام نظم المعلومات المتنقلة. و قد ثبت أن متغيرات الفائدة المدركة وسهولة الإستخدام المدركة و سهولة تبني النظام و الرضا ذات تأثير كبير على قرار القبول باستخدام النظام المتنقل. و بهذا يسلط النموذج الضوء على العلاقات الكامنة بين هذه المتغيرات و متغيرات الإستخدامية الفعلية مثل الكفاءة والفعالية والرضا و يقدم رؤية تسهل عملية قياس الإستخدامية و تجربة المستخدم، و قبول المستخدم للنظم المتنقلة للمعلومات.

كما أظهرت النتائج أن خصائص الإستخدامية الفعلية (الفعالية والكفاءة) والمقياس الذاتي للإستخدامية (رضا المستخدم) مستقلة عن بعضها البعض. وهذا يشير إلى أن قياس أحد خصائص الإستخدامية غير كاف للقياس الشامل للإستخدامية، وبالتالي لا يمكن للمرء أن يستخدم احد هذه القياسات للنتائج بالجوانب الأخرى.

عوامل مثل رضا المستخدم و الفائدة المدركة و نية إستخدام النظام 'وُجد لها تأثير كبير على قرار قبول إستخدام النظام. هذا يدل على أنه كلما زاد إدراك المستخدمين لفائدة النظام المتنقل وسهولة

إستخدامه وتبنيه و زاد راضهم عن أدائه كلما كان من الأرجح أن ينووا استخدامهم والقبول به في المستقبل. جودة تجربة المشاركين مع النظام أيضا أثرت على قرارهم بقبوله.

نية المشاركين على استخدام النظام المتنقل إرتبطت إرتباطا كبيرا بثقتهم بالنظام و الفائدة المدركة و السهولة المدركة لإستخدام و تبني النظام والرضا عن النظام. وقد وجد أن العلاقة بين الثقة والنية على إستخدام النظام هي أقوى علاقة في النموذج. ووجد أيضا أن نية إستخدام النظام تمثل عاملا حاسما في عملية الشروع في إستخدام النظام.

هذه النتائج تحدد مصادر هامة لتعزيز قبول الفرد لإستخدام الأنظمة المتنقلة. وهي الرضا و الفائدة المدركة و السهولة المدركة للإستخدام و سهولة المدركة لتبني النظام والثقة.

5 الخاتمة

قدمت هذه الورقة نموذجاً متكاملًا لتقييم الجودة عند استخدام الأنظمة المتنقلة الحكومية، و قدم النموذج الاستخدامية و قبول المستخدم للأنظمة المتنقلة وتجربة المستخدم مع النظام كخصائص لتقييم الجودة عند استخدام الأنظمة المتنقلة الحكومية. بني النموذج على معايير الايزو للإستخدامية ونموذج قبول التقنية و نموذج قبول التقنية المتنقلة، وعلى نظريات رضا المستخدم.

تم اختبار النموذج والتحقق منه تجريبيا على أساس البيانات التي تم جمعها من القياسات الفعلية لمدى فعالية وكفاءة أربعة مهام نموذجية تمثل نظام السجل المدني على الهاتف المتنقل. و قد تم تصميم نموذج أولي للنظام باستخدام نموذج الايزو لتصميم النظم التفاعلية المرتكزة على المستخدم. كما جمعت البيانات للقياسات الذاتية للمستخدم لعوامل الفائدة المدركة و سهولة الاستخدام و سهولة التبني و الرضا والثقة و نية الاستخدام والشروع في الاستخدام و تجربة المستخدم و تم تحليلها.

وأظهرت النتائج أن قبول الاستخدام يرتبط بالإستخدامية عن طريق العلاقة القوية بين القبول و رضا المستخدم وفعالية بعض المهام. الرضا و سهولة استخدام النظام المحمول و فاعلية النظام من حيث المضمون والقيمة، و نية الاستخدام من العوامل الرئيسية التي أثرت على قرار قبول استخدام نظام الحكومة المتنقلة.

وقد ثبت ان الثقة عامل هام في نية لاستخدام نسبة لطبيعة تعامل النظام مع البيانات الشخصية للأفراد. و ذلك لان امن هذه البيانات كان مصدر قلق كبير لمعظم المشاركين في التجارب.

المراجع

- ISO/IEC 9126-4. Software engineering -Product quality - Part 4: Quality in Use. The International Organization for Standardization and the International Electrotechnical Commission. International Organization for Standardization. Geneva, Switzerland. 2004.
- [2] :[قافني، 2008]
- R. Gafni. Framework for Quality Metrics in Mobile-Wireless Information Systems. Interdisciplinary Journal of Information, Knowledge, and Management. Volume 3. 2008.
- [3] :[قافني، 2009]
- R. Gafni. Usability Issues in Mobile-Wireless Information Systems. Issues in Information Science and Information Technology. Volume 6, 2009.
- [4] :[جونز و ماريسدن، 2006]
- M. Jones, G. Maresden. Mobile Interaction Design. John Wiley and Sons. 2006.
- [5] :[أيزو 9241-11، 1998]
- ISO 9241-11. Ergonomics of Human System Interaction: Guidance on usability (UX). 1998.
- [6] :[أيزو 9241-210، 2007]
- ISO 9241-210. Ergonomics of human system interaction - Part 210: Human-centered design process for interactive systems (formerly known as 13407). International Organization for Standardization (ISO). Switzerland. 2007.
- [7] :[أيزو 9126-1، 2001]
- ISO 9126-1. Software engineering -Product quality - Part 1: Quality model. The International Organization for Standardization. 2001.
- [8] :[نيلسن، 1994]
- J. Nielsen. Usability Engineering, Morgan Kaufmann Publishers. 1994.
- [9] :[تي بني و من معه، 2007]
- D. Te'eni, J. Carey, P. Zhang. Human-computer interaction: Designing effective organizational information systems. Chichester: John Wiley. 2007.
- [10] :[فريين و فيننغان، 2003]
- S. Greene, J. Finnegan. Usability of mobile devices and intelligently adapting to user's needs, Proceedings of the 1st. international symposium on Information and communication technologies, 24-26, Dublin, Ireland. 2003.
- [11] :[سيونق، 2006]
- D. Seong. Usability Guidelines for Designing Mobile Learning Portals. In Proceedings of the 3rd Conference on Mobile Technology, Applications and Systems (Mobility 2006), Bangkok, Thailand. 2006.
- [12] :[بيغن، 2008]
- N. Bevan. UX, Usability and ISO Standards. CHI 2008, April 5 – April 10, 2008, Florence, Italy. 2008
- [13] :[حسنزهل، 2003]
- M. Hassenzahl. The Thing and I: Understanding the Relationship Between User and Product. In Funology –From Usability to Enjoyment, Kluwer Academic Publishers, NL. 2003.
- [14] :[إيشيت و تيتارد، 2009]
- E. Eshet, F. Tétard. Developing a framework for integrating usability engineering into the software development process in an academic institution, in Molka-Danielsen, J. (Ed.): Proceedings of the 32nd. Information Systems Research

- Seminar in Scandinavia, IRIS 32, Inclusive Design, Molde University College, Norway, August 9-12, 2009.
- [15] أبران و خليفى, 2003]:
A. Abran, A. Khelifi, W. Suryn, A. Seffah. Consolidating the ISO usability models. Proceedings of 11th International Software Quality Management Conference (Springer), April 23 – 25, 2003. Glasgow, UK. 2003.
- [16] لين و من معه, 2004]:
C. Lin, P. Hu, H. Chen. Technology Implementation Management in Law Enforcement: COPLINK System Usability and User Acceptance Evaluations. Social Science Computer Review; 22; 24. 2004. online at: <http://ssc.sagepub.com/cgi/content/abstract/22/1/24>
- [17] شاكيل, 1991]:
B. Shackel. Usability Context, Framework, Definition, Design, and Evaluation. In B. Shackel and S. Richardson (eds.). Human Factors for Informatics Usability. Cambridge University Press. 1991.
- [18] ديفيس, 1989]:
F. Davis. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. MIS Quarterly, September, pp. 318-340. 1989.
- [19] فيشباين, 1967]:
M. Fishbein. Attitude and the prediction of behavior. In M. Fishbein (Ed.), Readings in attitude theory and measurement (pp. 477-492). New York: Wiley. 1967.
- [20] فيشباين و أجزن, 1975]:
M. Fishbein, I. Ajzen. Belief, attitude, intention, and behavior: An introduction to theory and research. Addison-Wesley Pub. Co. 1975.
- [21] أجزن, 1988]:
I. Ajzen. Attitudes. Personality, and Behavior. Milton-Keynes, England: Open University Press. 1988.
- [22] ديفيس و من معه, 1989]:
F. Davis, R. Bagozzi, P. Warshaw. User Acceptance of Computer Technology: A Comparison of Two Theoretical Models. Management Science, 35 (8), pp. 982-1003. 1989.
- [23] كاسينين, 2005]:
E. Kaasinen. User acceptance of mobile services – value, ease of use, trust and ease of adoption, VTT-Publications 566Espoo, Finland. 2005.
- [24] ديفيس, 1989]:
F. Davis. Perceived Usefulness, Perceived Ease of Use, and User Acceptance of Information Technology. MIS Quarterly, September, pp. 318-340. 1989.
- [25] ماركوفا و من معه, 2007]:
M. Markova, A. Aula, T. Vainio, H. Wigelius, M. Kulju. MoBiS-Q- A tool for evaluating the success of mobile business services. Mobile ICT07 Singapore. Proceedings of the 9th international conference on Human computer interaction with mobile devices and services. Singapore. Pp. 238-245. 2007.
- [26] أيزو 9241-210, 2007]:
ISO 9241-210. Ergonomics of human system interaction - Part 210: Human-centered design process for interactive systems (formerly known as 13407). International Organization for Standardization (ISO). Switzerland. 2007.

- [27] [جيتير و قريكن, 2006]:
H. Jetter, J. Gerken. Simplified Model of User Experience for Practical Application. Proc. NordiCHI 2006, ACM Press. 2006.
- [28] [جوردون, 2000]:
P. Jordan. Designing Pleasurable Products. Taylor & Francis, USA. 2000
- [29] [لويس, 1982]:
C. Lewis. Using the "Thinking Aloud" Method In Cognitive Interface Design. Technical Report IBM RC-9265. 1982.

المخلص باللغة الانجليزية

Title: Evaluating the "Quality in Use" of Mobile Government Systems

Abstract. The study presented in this paper proposes a model of evaluating the Quality in Use (QiU) of mobile government systems. The model introduces usability, user's acceptance to mobile systems, and users' experience with the system as attributes that determine the QiU of mobile government systems. The model was tested and verified empirically based on the actual and subjective measures of the constructs using a high fidelity prototype designed for Mobile Civil Registry System. The data were collected and analyzed. The results showed that Acceptance to use the mobile government system was related to the usability of the system. Usability and the acceptance constructs were proved to be requirements for the User experience with the system. The practical implications of this study that designers of mobile systems need to focus on the usability, user's acceptance and user's experience with the system to improve the QiU of mobile system.

Keywords: Quality in Use, Usability, User Acceptance, User Experience, Mobile Governemnt Systems, User Centered Design.

المصطلحات

الإستخدامية	Usability
تجربة المستخدم	User Experience
التصميم المرتكز علي المستخدم	User Centered Design
الجودة عند الإستخدام	Quality in Use
السهولة المدركة للإستخدام	Perceived Ease of Use

السهولة المدركة للتبني	Perceived Ease of Adoption
الفائدة المدركة	Perceived Usefulness
قابلية التذكر	Memorability
قابلية التعلم	Learnability
القبول	Acceptance
محاكي صن جافا	SunJava® Emulator
النظم المتنقلة الحكومية	Mobile Government Systems
نموذج عالي الجودة	High Fidelity Prototype
نموذج قبول التقنية	Technology Acceptance Model
واجهات سطح المكتب	Desktop interfaces

تصميم آلي لمغازات/مخازن البيانات انطلاقاً من وثائق اكس ام ال

ياسر الحشائشي¹، جمال الفقي²، حنان بن عبدالله²

¹ جامعة صفاقس، مخبر ميراكل، المعهد العالي لإدارة الأعمال، ص.ب 1013، الرمز البريدي 3018، صفاقس، الجمهورية التونسية

² جامعة صفاقس، مخبر ميراكل، كلية العلوم الاقتصادية والتصرف، ص.ب 1088، الرمز البريدي 3018، صفاقس، الجمهورية التونسية

{Yasser.Hachaichi, Jamel.Feki, Hanene.BenAbdallah}@fsegs.rnu.tn

الخلاصة: في إطار انفتاح المؤسسات على محيطها الخارجي أصبحت وثائق اكس ام ال المرتكزة على البيانات تستخدم بشكل متزايد في تخزين ونقل المعلومات وذلك بفضل مرونتها في نمذجة البيانات شبه المهيكلية. أمام هذا الاستعمال الجديد والمكثف لوثائق اكس ام ال المرتكزة على البيانات تولدت الحاجة إلى إيجاد آليات كفيلة بتصميم مغازات/مخازن البيانات استناداً إلى هذه الوثائق. نقترح في هذه الورقة منهجية وبرمجية تمكّنان من تصميم مغازات/مخازن البيانات بصفة آلية انطلاقاً من وثائق اكس ام ال المرتكزة على البيانات والمنشأة وفقاً لتعريف نوعية الوثيقة.

الكلمات الجوهرية: تعريف نوعية الوثيقة، وثائق اكس ام ال، مغازات/مخازن البيانات، المفاهيم المتعددة الأبعاد.

1 مقدمة

المنافسة الحادة التي تشهدها المؤسسات الاقتصادية أجبرت هذه الأخيرة على الاعتماد على نظم تأييد القرارات التي تمكّنهم من تحليل كميات كبيرة من المعلومات المتوفرة لديهم.

من أهم النظم المعلوماتية لتأييد القرارات هي تكنولوجيا مخازن البيانات التي تمكن أصحاب المؤسسات من استغلال المعطيات وتحليلها لأخذ القرارات المناسبة لتحسين مردودية المؤسسة. هذه التكنولوجيا تحتوي على أدوات تمكّن من جمع حجم كبير من المعلومات في مستودع مركزي يسمّى مخزن البيانات، هذا المخزن يمكن أن يستغل مباشرة للاستعلام والتحليل كما يمكن أن يكون مصدراً لإقامة مغازات البيانات التي تعبّر كلّ واحدة منها على مركز اهتمام معيّن (مثل الشراء، البيع، ...).

عادة ما يتمّ تحميل المعلومات إلى مغازات/مخازن البيانات من مصادر بيانات داخلية للمؤسسات. حالياً، مصادر المعلومات تتوّعت وأصبحت تتضمن معلومات من الشركاء (خاصة العملاء والموردين)، معلومات تصدرها مؤسسات الدولة (مالية واقتصادية) ومعلومات متأتية من الواب.

في إطار هذا الانفتاح على المحيط الخارجي أصبحت وثائق اكس ام ال المرتكزة على البيانات تستخدم بشكل متزايد في تخزين ونقل المعلومات التجارية وذلك بفضل مرونتها في نمذجة البيانات شبه المهيكلية.

أمام هذا الاستعمال الجديد والمكثف لوثائق اكس ام ال المرتكزة على البيانات تولدت الحاجة إلى إيجاد آليات كفيلة بتصميم مغازات/مخازن البيانات استناداً إلى هذه الوثائق.

استجابة لهذه الحاجة اقترحنا في عدة أبحاث بعض منهجيات شبه آلية لتصميم مغازات/مخازن البيانات انطلاقاً من وثائق اكس ام ال [1] [2] [3] [4] [5]. نظراً لطابعها الشبه آلي فإن المنهجيات المقترحة تتطلب تدخلاً يدوياً مكثفاً لتحديد المفاهيم متعددة الأبعاد، لكن مثل هذا التدخل يتطلب خبرة مزوجة في مجالي فهم وثائق اكس ام ال ونماذج صنع القرار.

يتمثل الهدف من هذا العمل في اقتراح برمجية تقوم بتصميم مغازات/مخازن البيانات بصفة آلية انطلاقاً من وثائق اكس ام ال المرتكزة على البيانات والمنشأة وفقاً لتعريف نوعية الوثيقة.

2 الأبحاث ذات الصلة

إنّ البحوث التي تهتم بتطوير مخازن/مغازات البيانات باعتماد اكس ام ال تنقسم إلى ثلاثة مجموعات [6] :

- المجموعة الأولى تقوم ببناء مخازن/مغازات البيانات اعتماداً على اكس ام ال وتوفر بالتالي مخازن/مغازات البيانات لوثائق الواب [7] [8] [9]. إن أعمال هذه المجموعة تهتم خاصة بتخزين واستعلام وثائق الواب .

- المجموعة الثانية تهدف إلى تصميم مخازن/مغازات المعطيات انطلاقاً من وثائق اكس ام ال، لكن هذه الأبحاث تحتاج إلى تدخل يدوي هام [1] [2] [3] [4] [5].

- المجموعة الثالثة ارتكزت على ديناميكية وثائق اكس ام ال عبر الواب واقرحت تحيين مخازن/مغازات المعطيات اعتماداً على وثائق اكس ام ال الجديدة وذلك من خلال اقتراح مجموعة من الآليات الجديدة والتي تتعامل مع وثائق اكس ام ال [10].

إن أبحاثنا تهدف إلى تصميم مخازن/مغازات المعطيات وبالتالي تنتمي إلى المجموعة الثانية ولذلك سنقتصر على استعراض مختصر لبعض الأعمال التي تنتمي لهذه المجموعة.

في هذا الإطار قدّم قلفارلي ومن معه [1] منهجية شبه آلية لتصميم مخازن/مغازات البيانات انطلاقاً من وثائق اكس ام ال. المنهجية المقترحة تتألف من ثلاثة مراحل: (1) تبسيط تعريف نوعية الوثيقة حيث أنها تبسط التعاريف المتداخلة وتجمع عناصر الوثيقة التي تحمل نفس الاسم. (2) رسم مخطط نوعية الوثيقة وذلك بالاعتماد على خوارزمية تطبق على الوثيقة المبسطة. (3) اختيار يدوي لمراكز الاهتمام من عقد الرسم الذي تم إنجازه في المرحلة السابقة ثم يتم اختيار مقاييس وأبعاد لكل مركز اهتمام. إن الاختيار اليدوي لمراكز الاهتمام يتطلب إما تدخل خبير في مجال الوثائق التي ستغذي في المستقبل مخازن البيانات أو تدخل مصمم نظم معلوماتية له معرفة جيدة في هذا المجال.

في محاولة لتأهيل منهجية تصميم مخازن/مغازات المعطيات قام فرلديجك ومن معه [2] باقتراح طريقة تصميم شبه تلقائية لمخازن البيانات، تحتوي هذه الطريقة على ثلاثة مراحل: إنشاء رسم بياني للتبعيات بين المعطيات وذلك انطلاقاً من الرسم البياني لمخطط اكس اس دي، إعادة ترتيب رسم التبعيات، تحديد الأبعاد ثم المقاييس وأخيراً اقتراح مخازن/مغازات المعطيات. مقارنة مع [1] هذه المنهجية تقترح اكتشاف التسلسلات الهرمية المشتركة وذلك اعتماداً على التبعيات المتقاربة كما أنها تحاول حل مشكلة الروابط المتعددة في التسلسلات الهرمية للأبعاد. غير أن هذه الطريقة تتطلب أيضاً تدخلاً مكثفاً من طرف المصمم الذي عليه أن يحدد يدوياً وبالاعتماد على مهاراته ما إذا كانت الروابط متعددة وما إذا كانت تستحق التجميع.

من ناحية أخرى قام روسو [3] باقتراح طريقة لتصميم مخازن/مغازات المعطيات انطلاقاً من وثائق اكس ام ال. تتكون الطريقة أساساً من خمسة مراحل: تنظيف البيانات، تخفيف المعلومات بالوثيقة، إنشاء وثائق اكس ام ال وسيطة، تحديث الوثائق الوسيطة وأخيراً إنشاء مخزن معطيات انطلاقاً من مجموعة من الوثائق الوسيطة، في هذه الطريقة مجمل المراحل المثبتة تتم يدوياً من قبل خبير في مجال وثائق اكس ام ال.

في هذا الإطار، هناك أبحاث أخرى يمكن للقارئ أن يطلع عليها في [4] [5].

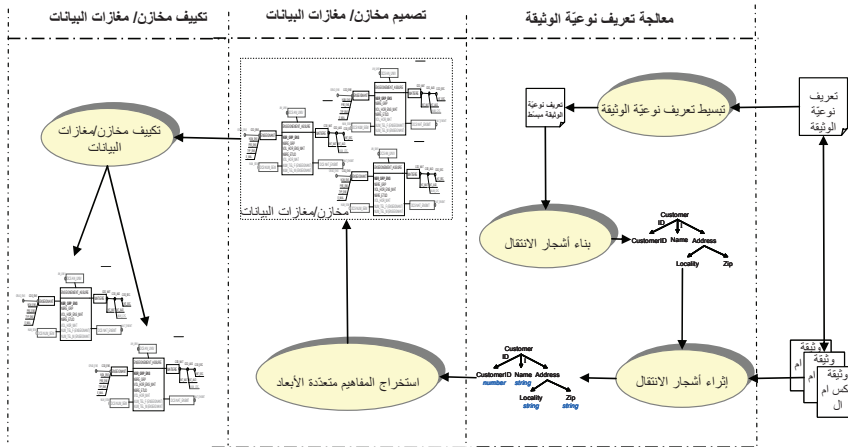
بغض النظر عن تفاصيل المراحل المقترحة في هذه الأبحاث فإن جلّ منهجيات تصميم مغازات/مخازن البيانات من وثائق اكس ام ال هي شبه آلية وتتطلب تدخلاً يدوياً مكثفاً خاصة لاختيار مراكز الاهتمام وأبعاده.

اجتنباً للتدخل اليدوي نقترح برمجة تقوم بتصميم مغازات/مخازن البيانات بصفة آلية انطلاقاً من وثائق اكس ام ال المرتكزة على البيانات والمنشأة وفقاً لتعريف نوعية الوثيقة.

3 الطريقة المقترحة

لتحديد المفاهيم متعددة الأبعاد انطلاقاً من وثائق اكس ام ال المرتكزة على البيانات نقترح طريقة (شكل 1) تعتمد على الروابط الهيكلية المتواجدة بين عناصر تعريف نوعية الوثيقة وعلى نوع البيانات المتواجدة داخل هذه العناصر، بما أن تعريف نوعية الوثيقة لا يحتوي على معلومات حول نوع البيانات فإننا نقوم باستعلام وثائق اكس ام ال متوافقة مع تعريف نوعية الوثيقة.

كما هو مبين في الشكل 1 فإن الطريقة تتكون من ثلاثة مراحل: (1) معالجة تعريف نوعية الوثيقة والتي تبسط تعريف نوعية الوثيقة، تبني أشجار الانتقال وتثريها بنوع البيانات. (2) تصميم مخازن/مغازات البيانات وذلك عبر مجموعة من القواعد التي تستخرج المفاهيم المتعددة الأبعاد من أشجار الانتقال المثرات بنوع البيانات. (3) تكييف مخازن/مغازات البيانات مع الاحتياجات التحليلية لنظام التحكم؛ وذلك باعتماد مجموعة من المشغلين مستوحاة من أعمالنا السابقة بخصوص الأنماط المتعددة الأبعاد [11].



الشكل 1. تصميم مغازات/مخازن البيانات انطلاقاً من وثائق أكس ام ال.

في ما تبقى من هذه الورقة سنفسر أهم مراحل هذه الطريقة مركزين على البرمجة التي قمنا بإنجازها لجعل هذه الطريقة آلية ومعتمدين على المثال المبين بالشكل 2 والذي يمثل تعريف لنوعية وثيقة يصف بنية ووثائق المبيعات. مستند المبيعات يصف قائمة البنود التي تباع لعمل معين، في تاريخ معين. الشكل 3 يورد مثالا لوثيقة أكس أم أل تتوافق مع هذا التعريف، هذه الوثيقة تصف جزئياً عملية بيع تجري في 1 يناير 2011، قام بها العميل A00001-11 عبد الله الذي يقطن في عنوان "المباني الجديدة كوكب الأرض E12 ERTH"، اشترى هذا العميل جزء واحد من رقاقة لمكوك "CS276512" بسعر "\$6.25".

<pre><?xml version="1.0" encoding="utf-8" standalone="no" ?> <!DOCTYPE sales SYSTEM "sales.dtd"> <sales> <date> 01/01/2011 </date> <customer customerID="A00001-11" name="Abduallah"> <address> <locality> New Buildings. Earth planet </locality> <ZIP> E12 ERTH </ZIP> </address> </customer> <item> <itemID> cs276512 </itemID> <price> 6.25 </price> <quantities> 1 </quantities> <description> chip of a shuttle </description> </item> </sales></pre>	<pre><?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?> <!ENTITY % name CDATA #IMPLIED"> <!ELEMENT sales (date, customer,(item+, extend_element?)*)> <!ELEMENT date (#PCDATA)> <!ELEMENT customer (address)> <!ATTLIST customer customerID ID #REQUIRED %name;> <!ELEMENT address (locality, ZIP)> <!ELEMENT locality (#PCDATA)> <!ELEMENT ZIP (#PCDATA)> <!ELEMENT item (itemID, price, quantities ,description?)> <!ELEMENT itemID (#PCDATA)> <!ELEMENT price (#PCDATA)> <!ELEMENT quantities (#PCDATA)> <!ELEMENT description (#PCDATA)> <!ELEMENT extend_element EMPTY></pre>
الشكل 3. وثيقة أكس أم أل تتوافق مع التعريف	الشكل 2. تعريف لنوعية وثيقة المبيعات

4 معالجة تعريف نوعية الوثيقة

معالجة تعريف نوعية الوثيقة تهدف إلى إعادة هيكلة هذه الأخيرة لإعداد عملية استخراج المفاهيم متعددة الأبعاد [12]. هذه المرحلة تنقسم إلى ثلاثة مراحل:

4.1 تبسيط تعريف نوعية الوثيقة

تهدف هذه المرحلة إلى إعداد بناء أشجار الانتقال التي تمكن من استخراج المفاهيم متعددة الأبعاد وهي تقوم ب:

(1) إزالة العناصر الفارغة التي ليس لها سمات حيث أنها لا تحتوي على معلومات على سبيل المثال `<ELEMENT test EMPTY>` ينتج في وثيقة إكس إم إل واحد من الشكليات `</test>` أو `</test>` لا تحتويان على معلومات نحتاجها في اخذ القرارات. تطبيق هذه العملية على تعريف نوعية الوثيقة بالشكل 2 سيزيل تعريف العنصر `<ELEMENT extend_element EMPTY>` بما أن `extend_element` هو عنصر فارغ ليس به سمات.

(2) استبدال المراجع: في تعريف نوعية الوثيقة الكيانات (Entities) هي متغيرات تستخدم لتحديد المختصرات تساعد على تجنب التكرار وجعل التحرير أسهل، هذه الكيانات تحدد مراجع كيانات من أجل استبدال جمل معينة في تعريف نوعية الوثيقة بنص مبدل يعطى في تعريف الكيان، في هذه المرحلة نستبدل مراجع الكيان بنصهم الأصلي المتواجد في تعريف الكيان ومن ثم نقوم بإزالة هذا الأخير، تضمن هذه العملية تعيين المفاهيم المتعددة بأسماء واضحة عوضاً عن مراجع غير مفهومة

تطبيق هذه العملية على تعريف نوعية الوثيقة بالشكل 2 سيزيل إعلان الكيان `<ENTITY % name "name CDATA #IMPLIED">` ويستبدل المرجع إليه في `<ATTLIST customer customerID ID #REQUIRED %name;>` فيصبح `<ATTLIST customer customerID ID #REQUIRED name CDATA #IMPLIED>`

(3) تبسيط تعريفات العناصر: عناصر تعريف نوعية الوثيقة تكون عادة متداخلة في عدة مستويات، هذه العملية تخفف من هذا التداخل بتطبيق مجموعة من قواعد التسوية التي تحد من استعمال القوسين، قواعد الحد من المشغلين المتتاليين وتعويضهم بمشغل واحد وقواعد جمع العناصر والتي تحد من الظهور المتعدد لعنصر داخل آخر. [13].

تطبيق هذه القواعد على تعريف العنصر مبيعات التي حذف منها `extend_element` في عملية إزالة العناصر الفارغة:

```
<!ELEMENT sales (date, customer,(item+)*)>
```

سيبسطه إلى:

```
<ELEMENT sales (date, customer, item+)>
```

$(e1, e2)^* \rightarrow e1^*, e2^*$	$e1^{**} \rightarrow e1^*$	$..., e1^*, ..., e1^*, ... \rightarrow e1^*, ...$
$(e1, e2)? \rightarrow e1?, e2?$	$e1^*? \rightarrow e1^*$	$..., e1^*, ..., e1?, ... \rightarrow e1^*, ...$
$(e1 e2) \rightarrow e1?, e2?$	$E1++ \rightarrow e1+$	$..., e1?, ..., e1^*, ... \rightarrow e1^*, ...$
$(e1, e2)^+ \rightarrow e1+, e2+$	$e1^*? \rightarrow e1^*$	$..., e1?, ..., e1?, ... \rightarrow e1^*, ...$
	$e1^*? \rightarrow e1^*$	$..., e1, ..., e1, ... \rightarrow e1+, ...$
	$e1^*+ \rightarrow e1^*$	$..., e1+, ..., e1+, ... \rightarrow e1+, ...$
	$e1^*+ \rightarrow e1^*$	$..., e1+, ..., e1?, ... \rightarrow e1+, ...$
	$E1?+ \rightarrow e1+$	$..., e1?, ..., e1+, ... \rightarrow e1+, ...$
	$E1?+ \rightarrow e1+$	$..., e1+, ..., e1^*, ... \rightarrow e1+, ...$
		$..., e1^*, ..., e1+, ... \rightarrow e1+, ...$

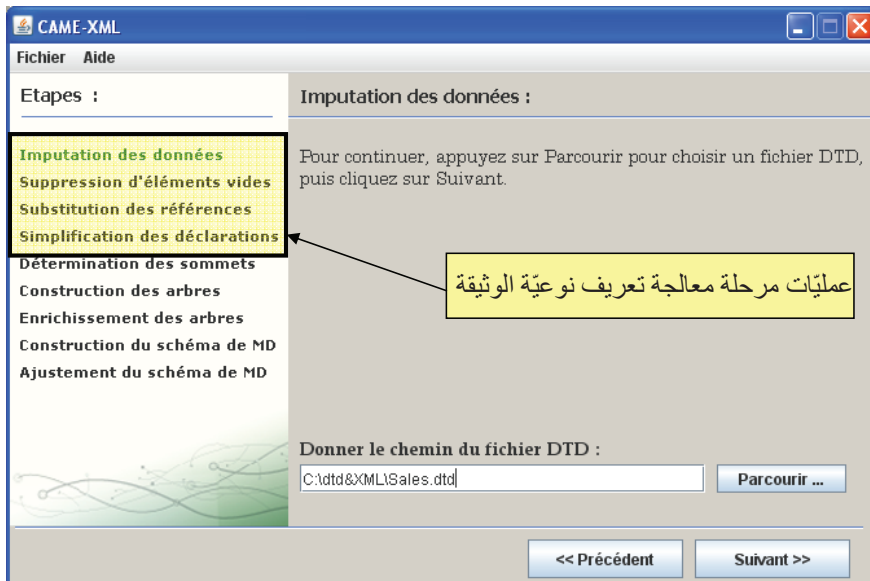
قواعد التسوية

قواعد الحد من المشغلين

قواعد جمع العناصر

الشكل 4. قواعد تبسيط تعريفات العناصر.

إن مرحلة معالجة تعريف نوعيّة الوثيقة تتمّ بطريقة آليّة عبر أداة البرمجة CAME-XML التي قمنا بإنجازها والتي تبدأ بقراءة تعريف نوعيّة الوثيقة كما هو مبين في الشكل 5.



الشكل 5. قراءة تعريف نوعيّة الوثيقة عبر أداة البرمجة CAME-XML.

يوضّح الشكل 6 نسخة مبسّطة من تعريف نوع وثائق المبيعات تم الحصول عليها إثر تطبيق هذه المرحلة على تعريف نوعيّة وثيقة المبيعات المبين في الشكل 2.

```
<?xml version="1.0" encoding="utf-8"?>
<!ELEMENT sales (date, customer, item+)>
<!ELEMENT date (#PCDATA)>
<!ELEMENT customer (address)>
<!ATTLIST customer customerID ID #REQUIRED name CDATA #IMPLIED >
<!ELEMENT address (locality, ZIP)>
<!ELEMENT locality (#PCDATA)>
<!ELEMENT ZIP (#PCDATA)>
<!ELEMENT item (itemID, price, quantities,description?)>
<!ELEMENT itemID (#PCDATA)>
<!ELEMENT price (#PCDATA)>
<!ELEMENT quantities (#PCDATA)>
<!ELEMENT description (#PCDATA)>
```

الشكل 6 . تعريف مبسّط لنوعية وثيقة المبيعات

4.2 بناء أشجار الانتقال

تعريف نوعية الوثيقة المبسطة تستعمل لبناء أشجار الانتقال التي ستمكن من استخراج المفاهيم متعدّدة الأبعاد.

شجرة الانتقال هي عبارة على مخطط بياني تمثل العقد الجذرية والمتوسطة منه عناصر غير PCDATA وتمثل كل ورقة فيه إما عنصراً PCDATA أو سمة أو مرجع إلى جذر شجرة انتقال. علاوة على ذلك، فإن الروابط المتواجدة بين العقد التي تمثل عناصر فهي تحتوي على رموز الظهور (؟ ، * ، + ، 1)، أما الروابط التي تربط العناصر بالسّمات فهي تحتوي على نوع السمة (ID, IDREF, I : IMPLIED, R: REQUIRED , F: FIXED).

عملية بناء أشجار الانتقال تتألف من مرحلتين [12]. المرحلة الأولى تتمثل في تحديد قمم الأشجار وذلك باستخدام أربع قواعد تأخذ في الاعتبار كلا من تعقيد العناصر ومن وتيرة ظهورها في العناصر الأخرى هذه القواعد هي :

1. أي عنصر لا يظهر في تعريف العناصر الأخرى هو قمة لشجرة انتقال.
 2. أي عنصر يحتوي على عنصر ليس PCDATA هو قمة لشجرة انتقال.
 3. أي عنصر ينتمي إلى تعريف عنصران فأكثر هو قمة لشجرة انتقال.
 4. أي عنصر يظهر بشكل مباشر أو غير مباشر في تعريفه هو قمة لشجرة انتقال.
- تطبيق هذه القواعد الأربع على تعريف نوعية وثيقة المبيعات مبسّط (الشكل 6) يستخرج قمتين وهما sales و customer.

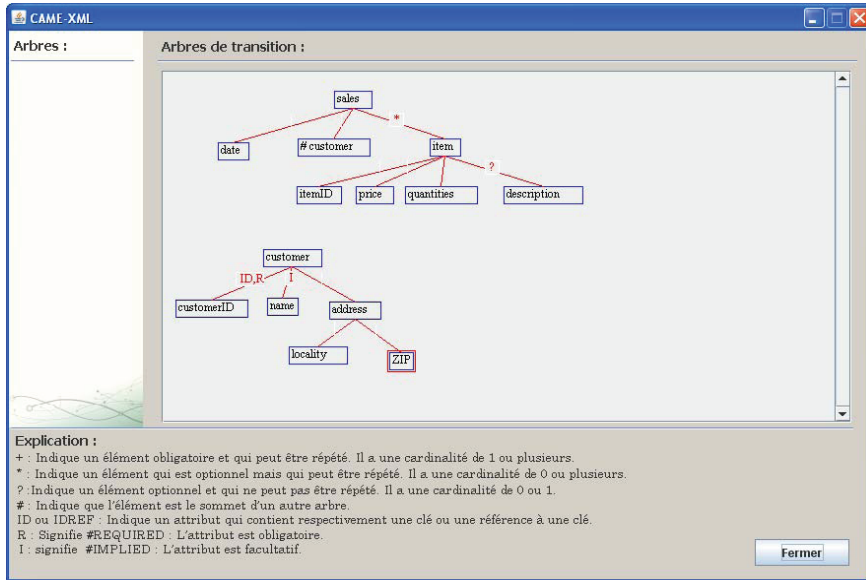
المرحلة الثانية تقوم ببناء شجرة الانتقال لكل قمة تم تحديدها وذلك من خلال تطبيق خوارزمية Create_tree لكل قمة (مزيد من التفاصيل [14]).

```

Create_tree (E, DTD) // E is the current node in DTD
{
  for each element e in the declaration of E
  do {
    addChildNode(E, e) //add a child e to the node E
    markArcCard (E, e) // mark the arc from E to
                      // e by the cardinality of e
    if ( e is determined as a root)
      //e identified by RD1 to RD4
    then annotateNode(e, #)
    else if (e contains other elements or attributes)
      then CreateTree(e, DTDS)
  }
  for each attribute a in the declaration of E
  do {
    addChildNode(E, a)
    markArcType(E, a) //mark arc from E to a
                      //by the type of a
  }
}

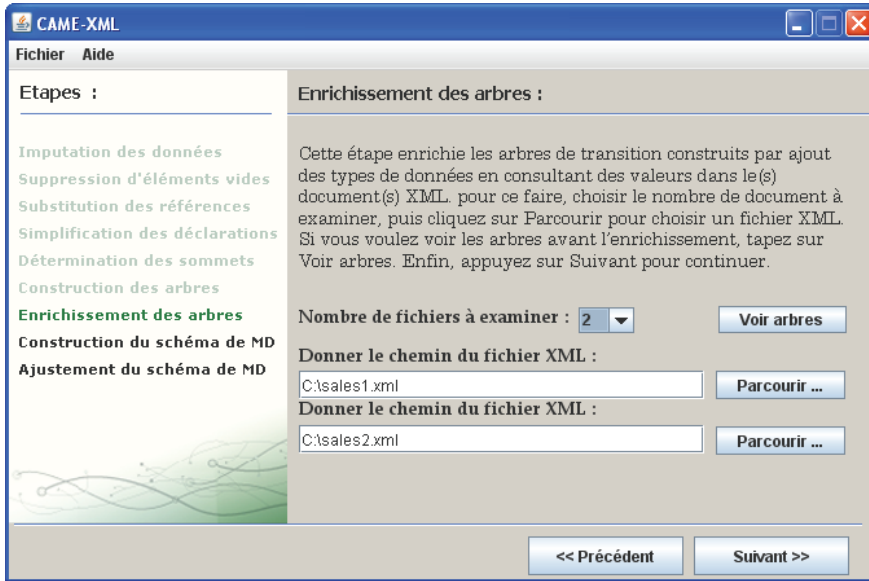
```

يوضح الشكل 7 أشجار الانتقال التي تمّ بناءها عبر أداة البرمجة CAME-XML من تعريف نوعية وثيقة المبيعات المبسطة والمبيّنة في الشكل 6.



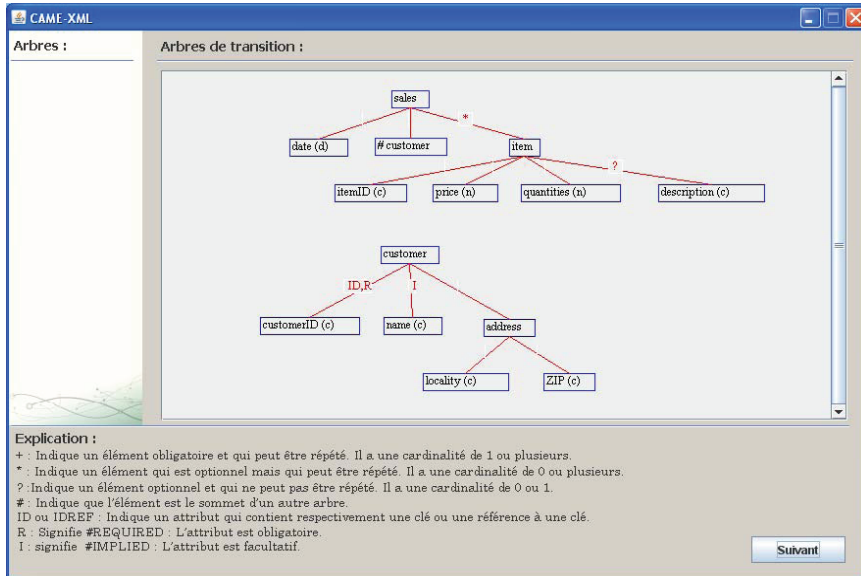
الشكل 7. أشجار الانتقال التي تمّ بناءها عبر أداة البرمجة CAME-XML من تعريف نوعية وثيقة المبيعات المبسطة.

تحديد بعض المفاهيم متعددة الأبعاد ويستند على أنواع البيانات. في تعريف نوعية الوثيقة أنواع البيانات ليست محددة فهي كلها عبارة على سلسلة حروف (PCDATA و CDATA). هذه المرحلة تنثري الأشجار الانتقالية بإضافة أنواع البيانات لأوراق الأشجار الغير حاملة للرمز # حيث أنّ هذه الأخيرة هي سمات وعناصر PCDATA لها أمثلة في وثائق إكس إم إل. لتحديد أنواع البيانات في أشجار الانتقال فإننا نسأل عينة من وثائق إكس إم إل مطابقة لتعريف نوعية الوثيقة (الشكل 8) : لكل ورقة غير حاملة للرمز # ندرس النص الموافق لها في وثائق إكس إم إل ونحدّد آلياً نوعها (تاريخ رقم أو سلسلة حروف).



الشكل 8. قراءة عينة من وثائق إكس إم إل المطابقة لتعريف نوعية الوثيقة.

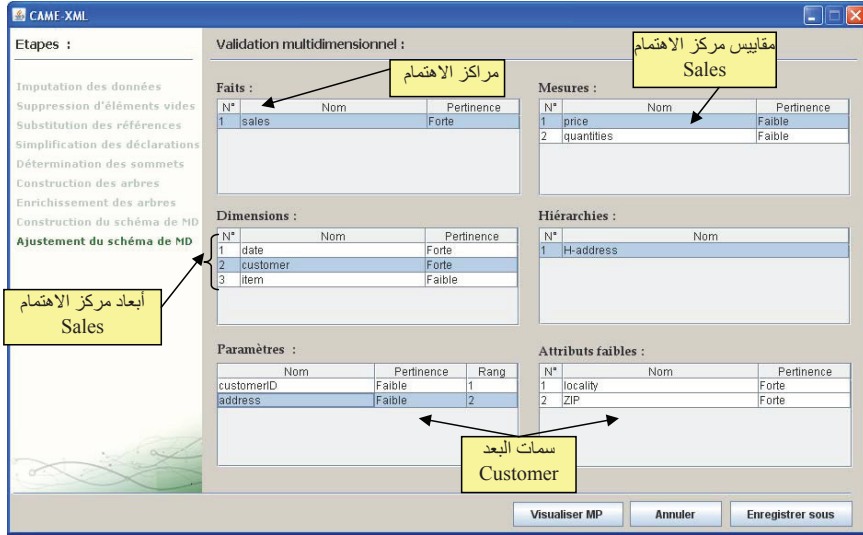
يوضّح الشكل 9 إثراء أشجار الانتقال المبينة في الشكل 7. بأنواع البيانات (تاريخ (d) رقم (n) أو سلسلة حروف (c)) على الأوراق التي لا تحمل الرمز #.



الشكل 9. إثراء أشجار الانتقال المبينة في الشكل 7 بأنواع البيانات.

5 تصميم مخازن/مغازات البيانات

تتمثل هذه المرحلة في بناء مخازن/مغازات البيانات من أشجار الانتقال المثرات بنوع البيانات عبر مجموعة من القواعد التي تستخرج ألياً المفاهيم متعددة الأبعاد. هذه القواعد وعددها ثلاثة عشر تبدأ باستخراج مراكز الاهتمام ولكل مركز اهتمام يتم استخراج مقاييسه وأبعاده ثم لكل بعد يتم استخراج سماته. القواعد التي تقوم عليها هذه المرحلة مفصلة في [15] سنقتصر في هذه الورقة على القواعد المستعملة في مثال المبيعات. اعتماداً على هذه القواعد فإن *sales* هو مركز اهتمام حيث أنه قمة شجرة انتقال تحتوي على ورقة (*price*) لا تحمل الرمز #، نوعها رقمي (*n*) والربط إليها غير حامل لرمز. مقاييس هذا المركز هما الورقتان الرقميتان *price* و *quantities* وأبعاده هم *item* الذي يوجد بالمستوى الثاني للشجرة *sales* وهو ليس بورقة، *customer* الحامل للرمز # و *date* بما أن نوعه تاريخ (الشكل 10).



الشكل 10. بناء مخازن/مغازات ببيانات المبيعات.

6 الخاتمة

في هذه الورقة تناولنا مشكلة التصميم الآلي لمخازن/مغازات البيانات انطلاقاً من وثائق اكس ام ال المرتكزة على البيانات والمنشأة وفقاً لتعريف نوعية الوثيقة. لحل هذه المشكلة اقترحنا طريقة وبرمجية تعتمد على الروابط الهيكلية المتواجدة بين عناصر تعريف نوعية الوثيقة وعلى نوع البيانات المتواجدة داخل هذه العناصر. تتكوّن هذه الطريقة من ثلاثة مراحل وهي معالجة تعريف نوعية الوثيقة التي تبسّط تعريف نوعية الوثيقة، تبني أشجار الانتقال وتثريها بنوع البيانات، تصميم مخازن/مغازات البيانات وذلك عبر مجموعة من القواعد التي تستخرج المفاهيم المتعددة الأبعاد من أشجار الانتقال المثرات بنوع البيانات وتكييف مخازن/مغازات البيانات مع الاحتياجات التحليلية لنظام التحكم.

حالياً، نحن نعمل على تقييم معمّق للطريقة والبرمجية المقترحة والتي قدّمت لحدّ الآن نتائج مشجّعة. اثر ذلك نحن نهدف إلى إدماج البرمجية المقترحة في برمجيتنا التي تصمّم مخازن/مغازات البيانات انطلاقاً من قواعد البيانات العلائقية [16] وقواعد البيانات الموجهة للكائنات [17] وذلك قصد الحصول على برمجية تنطلق من مصادر بيانات مختلفة.

- [1] Golfarelli, M., S. Rizzi, and B. Vrdoljak, Data warehouse design from XML sources. Proc. DOLAP'01, Atlanta, 2001, pp. 40-47.
- [2] Vrdoljak, B., M. Banek and S. Rizzi, Designing Web Warehouses from XML Schema, 5th International Conference Data Warehousing and Knowledge Discovery: DaWak, Prague Czech Republic, Sept.3-5 2003.
- [3] Rusu, L.I., W. Rahayu, and D. Taniar, A methodology for Building XML Data Warehouses, International Journal of Data warehousing & Mining, 1(2), April-June 2005, pp.67-92.
- [4] Jensen, M., T. Møller, and T.B. Pedersen, Specifying OLAP Cubes On XML Data, Journal of Intelligent Information Systems, 2001.
- [5] Ouaret, Z., L. Bellatreche and O. Boussaid, XUML Star : Conception d'un entrepôt de données XML, Atelier des Systèmes d'Information Décisionnels, Sousse – Tunisie, 19-20 Octobre 2007.
- [6] Perez J.M., Berlanga R., Aramburu M.J., Pedersen, T.B., « Integrating Data Warehouses with Web Data: A Survey », Knowledge and Data Engineering, IEEE Transactions, vol. 20, Issue 7, July 2008, p. 940 – 955.
- [7] Hümmer W., Bauer A. Harde G., «XCube—XML for Data Warehouses». Proc. Sixth ACM Int'l Workshop Data Warehousing and OLAP, 2003, p. 33-40.
- [8] Boussaid O., BenMessaoud R., Choquet R., Anthoard S., « X-Warehousing: an XML-Based Approach for Warehousing Complex Data », 10th East-European Conference on Advances in Databases and Information Systems ADBIS'06, Thessaloniki, Greece, September 2006; LNCS, Vol. 4152, Springer, Heidelberg, Germany, p 39-54.
- [9] Xyleme L. « A Dynamic Warehouse for XML Data of the Web » IEEE Data Eng. Bull., vol. 24, no. 2, 2001, p. 40-47.
- [10] Pedersen D., Pedersen J., and Pedersen T.B., «Integrating XML Data in the TARGIT OLAP System » Proc. 20th Int'l Conf. Data Eng., 2004, p. 778-781.
- [11] Feki J. and H. Ben-Abdallah. Multidimensional Pattern Construction and Logical Reuse for the Design of Data Marts, International Review on Computers and Software (IRECOS), vol 2 no. 2, 2007, pp 124-134.
- [12] Hachaichi Y., Ben-Abdallah H., Feki J., « XML Source Preparation for Building Data Warehouses ». International Conference on Enterprise Information Systems and Web Technologies (EISWT'08), Orlando, Florida, USA, July 2008, p. 61-67.
- [13] Yan M.H et W.C.F. ADA. « From XML to Relational Database ». Inproceedings of 8th International Workshop on Knowledge Representation meets Databases KRDB'2001, September 15 2001, Roma, Italy.
- [14] Hachaichi Y., Feki J., Ben-Abdallah H. «Designing Data Marts from XML and Relational Data Sources». Chapter in Data Warehousing Design and Advanced Engineering Applications: Methods for Complex Construction, Part of the Advances in Data Warehousing and Mining (ADWM) Book Series, August 2009, p.55-80.
- [15] Hachaichi Y., J. Feki, and H. Ben-Abdallah, «Modélisation multidimensionnelle des documents XML centrés-données », Journal of Decision Systems (JDS). Ed. Lavoisier, vol. 19 – No.3/2010, ISSN 1246-0125. ISBN 978-2-7462-1976-2, pp 313-345, 2010.
- [16] Feki J., Hachaichi Y., «Conception assistée de MD : Une démarche et un outil », Revue des Journal of Decision Systems. Ed. Lavoisier, 2007, vol. 16 – No.3/2007, 2007, p. 5-19.
- [17] Hachaichi Y., Feki J., Ben-Abdallah H. « Data Mart Schema Construction from Object Oriented Databases ». Conference on Business Intelligence Systems, 32nd International Convention MIPRO, Opatija-Croatia, May 2009, p. 199-205.

Title: Automatic design of data warehouses/marts from XML documents.

Abstract. Within the globalization context where enterprises are forced to operate, data-centric XML documents have been adopted since they represent a de facto standard format for data storage and exchange. To handle this new and intensive usage of data-centric XML documents, there was a need to find mechanisms for the design of data warehouse/marts gathering these documents. In this paper, we propose an automatic approach and a software tool for the design of data mart schemas starting from data-centric XML documents compliant to a given DTD.

Keywords: Document Type Definition (DTD), XML documents, data warehouses/marts, Multidimensional concepts.

المصطلحات

Decision Support Systems	نظم تأييد القرارات
Data Warehouses	مخازن البيانات
Data marts	مغازات البيانات
Multidimensional concepts	المفاهيم المتعددة الأبعاد
Facts	مراكز الاهتمام
XML documents	وثائق اكس ام ال
Document Type Definition (DTD)	تعريف نوعية الوثيقة
Dependencies	التبعيات
Measures	المقاييس
Dimensions	الأبعاد
Structural links	الروابط الهيكلية
Entities	الكيانات
Transition trees	شجرة الانتقال
Dimension attributes	سمات البعد
Relational databases	قواعد البيانات العلائقية
Object oriented databases	قواعد البيانات الموجهة للكانونات

دراسة مقارنة لطرق الحماية من ثغرات البرمجيات من حيث الموارد المطلوبة والفاعلية

تامر سعد فطايير¹ شريف خطاب² أ.د فاطمة عبد الستار عماره³

العنوان البريدي¹: جامعة الأقصى، كلية علوم الحاسب
ص.ب. 4051، غزة، فلسطين

العنوان البريدي²: جامعة القاهرة، كلية الحاسبات والمعلومات،
ص.ب. 12613، الجيزة، مصر

البريد الإلكتروني: (¹ts.fatayer@alaqsa.edu.ps، ²s.khattab@fci-cu.edu.eg، ³f.omara@fci-cu.edu.eg)

الخلاصة. أغلب الهجمات الالكترونية التي تتم عن طريق شبكة الانترنت يرجع سببها إلى نقاط ضعف أو ثغرات موجودة في البرمجيات. ومن أمثلة هذه الثغرات "تجاوز سعة المكس" و "تجاوز سعة الكومة" و "ثغرة سلسلة الحروف التشكيلية". بالرغم من وجود أنظمة كشف التسلل يتمكن المهاجمون من استغلال هذه الثغرات في اختراق جهاز الضحية و تنفيذ مهام خبيثة من شأنها أن تلحق أضراراً به. وبالرغم من العديد من تقنيات الحماية التي قدمت لمنع هذه الثغرات إلا أنها لم تقضي على الثغرات نهائياً. وفي هذا البحث سوف نقوم بعمل مقارنة لأغلب تقنيات الحماية الموجودة من حيث الموارد المطلوبة (نص برنامج المصدر للبرنامج المراد حمايته، تعديل في مكتبة الدوال، دعم نظام التشغيل، دعم الكيان المادي، تعديل المصرف) والفاعلية ضد الهجمات (تجاوز سعة المكس، تجاوز سعة الكومة، سلسلة الحروف التشكيلية، العودة إلى مكتبة سي القياسية، البرمجة الرجعية، البرمجة القفزية).

الكلمات الجوهرية: أمن البرمجيات، استغلال الثغرات، تجاوز سعة المكس، هجوم الكتروني.

1. مقدمة

معظم الهجمات الالكترونية التي تتم عن طريق شبكة الانترنت سببها يرجع إلى نقاط الضعف الموجودة في البرمجيات. حيث يمكن استغلال ثغرات البرمجيات (الناشئة من أخطاء التوصيف أو التصميم أو التنفيذ) المهاجمين من التسلل إلى جهاز الضحية واختراقه وتنفيذ مهام خبيثة مثل استغلال الجهاز دون علم صاحبه في شن هجمات على أجهزة أخرى أو إرسال رسائل البريد الدعائي غير المرغوب فيه أو سرقة المعلومات الموجودة على الجهاز مثل كلمات السر و البيانات الشخصية.

في السنوات الأخيرة نشأ صراع بين تقنيات الدفاع والحماية من ثغرات البرمجيات وبين تقنيات الهجوم، حيث إنه عندما تُقدم تقنية دفاع جديدة يتمكن المهاجم من التحايل على هذه التقنية وتقديم تقنية اختراق جديدة. علي سبيل المثال الهجمات الأخيرة ضد الشركات الكبرى (مثل جوجل) شهدت تطوراً كبيراً في تقنية الهجوم حيث يستمر الهجوم فعالاً بالرغم من وجود تقنيات كشف التسلل [3]. في هذا البحث نحاول من خلال دراسة مسحية تلمس أسباب عدم كفاية وكفاءة آليات الدفاع وفتح آفاق لطرق دفاعية جديدة من خلال عمل مسح شامل لتقنيات الدفاع ضد ثغرات البرمجيات وعمل مقارنة بين التقنيات من حيث الموارد المطلوبة لكل تقنية. وكذلك سوف نقوم بعمل مقارنة لأغلب تقنيات الدفاع الحديثة الموجودة من ناحية فاعلية كل تقنية في التغلب على ثغرات البرمجيات.

وقد تم التوصل في هذا البحث إلى عدة نتائج:

- قد تبين من خلال مقارنة أن التقنيات تحتاج إلى وقت إضافي لكي تعمل والبعض الآخر يحتاج إلى مساحة إضافية مما يؤدي إلى تقليل كفاءة البرنامج من ناحية السرعة وزيادة النفقات.
- قد تبين من ه لا يوجد تقنية بعينها تتغلب على جميع الثغرات بل كل تقنية تقدم حلاً جزئياً لبعض الثغرات.
- كما أنه يوجد ثغرات جديدة مثل البرمجة الفورية لا تُكتشف بواسطة تقنيات الحماية الموجودة والذي يدل.

باقي البحث منظم على النحو التالي: في الباب الثاني سوف نقدم الخلفية العلمية والأبحاث السابقة ذات الصلة، حيث يتم شرح ثغرات البرمجيات وتجاوز سعة المكس وسلسلة الحروف التشكيلية والأبحاث السابقة لتصنيف تقنيات الدفاع والمقارنة بينها. وفي الباب الثالث يتم شرح الصراع بين تقنيات الدفاع وتقنيات الهجوم والتعرف على أحدث تقنيات الدفاع والهجوم. والباب الرابع يتناول دراسة مسحية لتقنيات الدفاع وتصنيفها من حيث الموارد التي تحتاجها. وفي الباب الخامس نقدم مقارنة لأغلب تقنيات الدفاع من حيث فاعليتها في التغلب على ثغرات البرمجيات. وفي الباب السادس نتناول تلخيصاً للبحث وأهم النتائج.

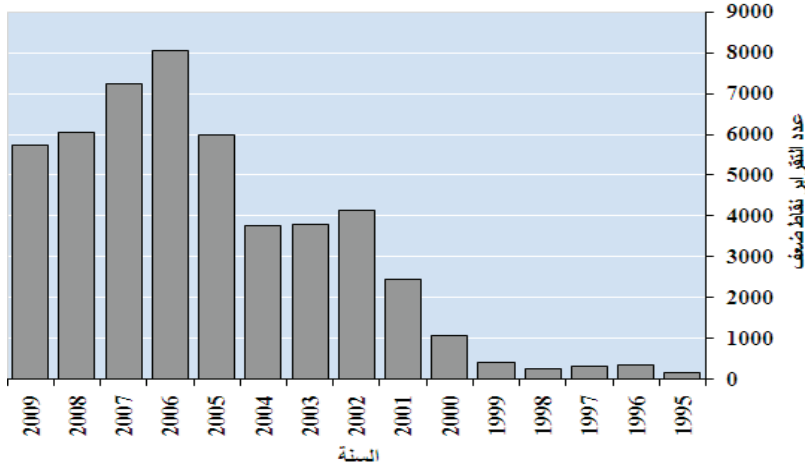
2. الخلفية العلمية والأبحاث ذات الصلة

يتناول هذا الباب نبذة عن ثغرات البرمجيات، كما نتناول فيه شرحاً ماثلياً على تلك الثغرات وهما تجاوز سعة المكس وسلسلة الحروف التشكيلية، وأيضاً الدراسات السابقة الخاصة بتصنيف طرق الدفاع والمقارنة بينهما.

2.1 ثغرات البرمجيات

ثغرات البرمجيات عبارة عن عيوب موجودة في تصميم البرمجيات أو أخطاء برمجية لا يلتفت إليها المبرمج. يستغل المهاجمون أخطاء التصميم وأخطاء المبرمج خلال تنفيذ البرمجية للوصول إلى هدفهم وهو تنفيذ مهام خبيثة.

فمثلاً يخترق المهاجمون تطبيقات العنكبوتية من خلال استغلال عيوب البرمجيات التي تدخل في تصميم هذه التطبيقات. حيث يستغل المهاجم أخطاء التعامل مع البيانات التي يدخلها المستخدم إلى تطبيقات العنكبوتية في حقن نص برنامج خبيث من شأنه تخريب خادم العنكبوتية الذي يعمل عليه التطبيق وفي بعض الأحيان تخريب أو تشويه صفحات العنكبوتية المعروضة [4]. العديد من الشركات والمجموعات البحثية طورت الكثير من الأبحاث لإنتاج برمجيات آمنة ولكن لسوء الحظ عيوب البرمجيات في ازدياد [5].



الشكل 1. عدد التقارير المسجلة عن ثغرات البرمجيات لدى (فريق الاستجابة لظواهر الكمبيوتر/مركز التنسيق) خلال فترة 1995-2009. بالرغم من كثرة الأبحاث التي قدمت لحماية البرمجيات من عيوبها لا تزال بعض هذه العيوب موجودة.

يوضح الشكل 1 تطور عدد ثغرات البرمجيات التي ظهرت وتم تسجيلها خلال الفترة الزمنية 1995-2009. هذه العيوب تم تجميعها ونشرها من قبل (فريق الاستجابة لظواهر الكمبيوتر/ مركز التنسيق). ومن الملفت للنظر أن البرمجيات الأحدث إصداراً لا تزال تحتوي على عيوب الإصدارات القديمة [6, 7, 8]. ومن الملاحظ أن عدد تقارير العيوب في ازدياد من الفترة 1995-2006، بينما تبدأ في التناقص من الفترة 2007-2009 ولكنها ما تزال موجودة وبكثرة.

ويُعتبر تجاوز سعة المكس من أهم الثغرات الموجودة في البرمجيات، حيث يتمكن المهاجم في أبسط صور هذا الهجوم من دس نص برنامج خاص به ثم تغيير عنوان الرجوع في المكس (مساحة من ذاكرة البرنامج تعتبر أحد الأجزاء الرئيسية في آلية عمل أي برنامج) إلى مكان يحتوي على ذلك البرنامج المدسوس مما يمكن المهاجم من تغيير تسلسل تدفق البرنامج المحتوي على الثغرة وفق إرادته [1]. ويمكن استغلال هذه الثغرة في هجوم يُسمى الرجوع إلى مكتبة سي القياسية [2] حيث لا يقوم المهاجم بدس أي نص برمجي وإنما يتم تغيير عنوان الرجوع في المكس إلى عنوان إحدى الدوال الموجودة في مكتبة سي بطريقة تسمح أيضاً للمهاجم بتغيير مسار البرنامج وفق إرادته.

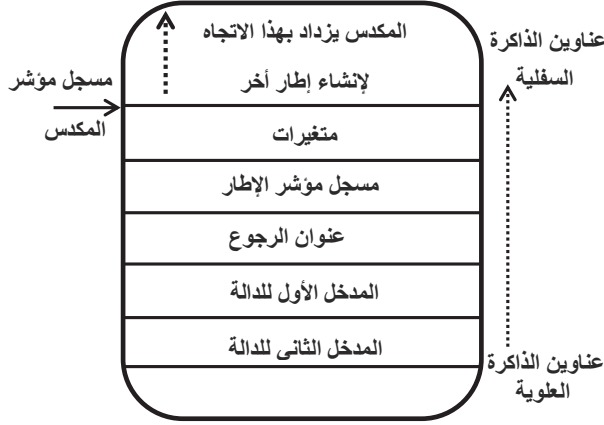
2.2 تجاوز سعة المكس

قبل الشروع في شرح ثغرة تجاوز سعة المكس سوف نشرح المكس بشكل عام. المكس عبارة عن جزء من الذاكرة حيث يُستخدم في تخزين واسترجاع بيانات الدوال (مثل المتغيرات المعرفة داخل الدوال). مبدأ عمل المكس هو أن أحدث دالة تدخل المكس هي أول دالة تخرج منه. المكس يحتوي على العديد من الإطارات وكل دالة في المكس لها إطار. كل إطار في المكس، كما هو مبين في الشكل 2. يتكون من:

1. مسجل عنوان المكس، ويحتوي على عنوان حافة المكس.
2. مسجل مؤشر الإطار، ويحتوي على عنوان الإطار السابق الذي يُرجع إليه بعد نهاية الإطار الحالي ويُستخدم أيضاً في الرجوع إلى المتغيرات المحلية الموجودة داخل المكس.

3. عنوان الرجوع، بعد الانتهاء من الدالة الحالية يجب الرجوع إلى التعليمات التالية في البرنامج ويتم ذلك عن طريق عنوان الرجوع الذي يُرفق إلى مسجل مؤشر التعليمات لتنفيذ التعليمات التالية.
4. مدخلات ومتغيرات الدالة

عندما تستدعي دالة أخرى فإنه سوف يتم إنشاء إطار جديد لاحتواء الدالة الأخرى وكما هو ملاحظ من الشكل 2 يتم النمو في المكس من عناوين الذاكرة العلوية إلى عناوين الذاكرة السفلية [9].



الشكل 2. تمثيل الإطار في المكس. يحتوي المكس على العديد من الإطارات، حيث كل إطار يمثل دالة. كل إطار في المكس يحتوي على (مدخلات للدالة، عنوان الرجوع، ومؤشر الإطار، ومتغيرات).

ثغرة تجاوز سعة المخزن البيني هي الثغرة الأكثر شيوعاً وتُمثل حوالي نصف الثغرات الموجودة في البرمجيات حيث اكتشفت عام 1988 [10]. والسبب الأساسي لهذه الثغرة هو إساءة استخدام دوال سلسلة الحروف (مثل دالة نسخ سلسلة الحروف) ففي لغة البرمجة سي مثلاً لا يوجد تمثيل صريح لسلسلة الحروف عوضاً عن ذلك تستبدل بمصفوفة من الحروف وتكون كل المسؤولية على المبرمج لفحص مدخلات المستخدم والتأكد من عدم تجاوزها لسعة المصفوفة التي توضع فيها. عندما تتجاوز مدخلات المستخدم سعة مخزن بيني موجود كمتغير في إطار دالة ما على المكس قد يؤدي ذلك إلى تعديل بيانات المكس وخاصة عنوان الرجوع مما يؤدي إلى توجيه مؤشر التعليمات لتنفيذ نص برنامج معين خاص بالمهاجم. إذا كان نص البرنامج الخاص بالمهاجم قد تم دسه من قبل المهاجم عبر مدخلات المستخدم في المكس فإن هذا الهجوم يسمى تجاوز سعة المكس [11, 12, 13, 14].

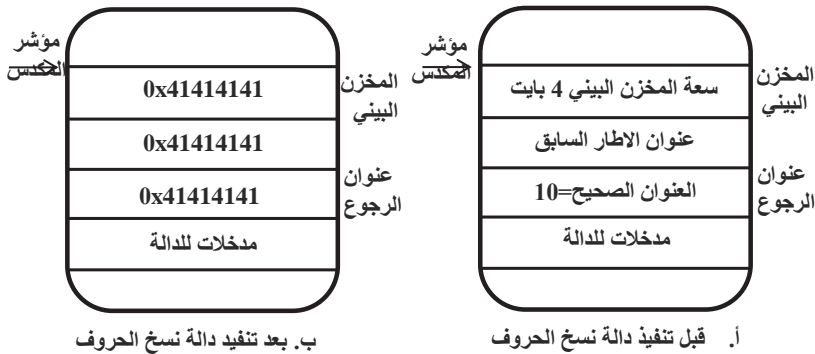
البرنامج التالي يوضح كيف يتم استغلال ثغرة تجاوز سعة المخزن البيني وتعديل عنوان الرجوع. يحتوي البرنامج على ثغرة تجاوز سعة المخزن البيني حيث أن سلسلة الحروف الموجودة في (سطر رقم 6) في الدالة الرئيسية حجمها 12 بايت وأما سلسلة الحروف الموجودة في (سطر رقم 2) حجمها 4 بايت. وعند تنفيذ دالة نسخ سلسلة الحروف الموجودة في (سطر رقم 3) يحدث التجاوز حيث يكتب 12 بايت في سلسلة تستوعب 4 بايت فقط.


```

1. void function (char * str){
2.     char buffer[4]
3.     strcpy(buffer, str)
4. }
5. void main( ){
6.     char large_string[12];
7.     for (i=0;i<12;i++)
8.         large_string[i]='A' ;
9.     function (large_string);
10. }

```

الشكل 3. يوضح كيف يتمكن المهاجم من استغلال ثغرة تجاوز سلسلة الحازر البيئي لتغيير عنوان الرجوع باستخدام دالة نسخ سلسلة الحروف. حيث يوضح الشكل 3.أ. شكل المكس قبل تنفيذ دالة نسخ سلسلة الحروف بحيث يكون عنوان الرجوع الصحيح هو 10. وبعد تنفيذ دالة نسخ سلسلة الحروف تحدث ثغرة تجاوز سعة المخزن البيئي ومن ثم تعديل عنوان الرجوع إلى القيمة 0x41414141 أو AAAA كما هو موضح في شكل 3.ب.



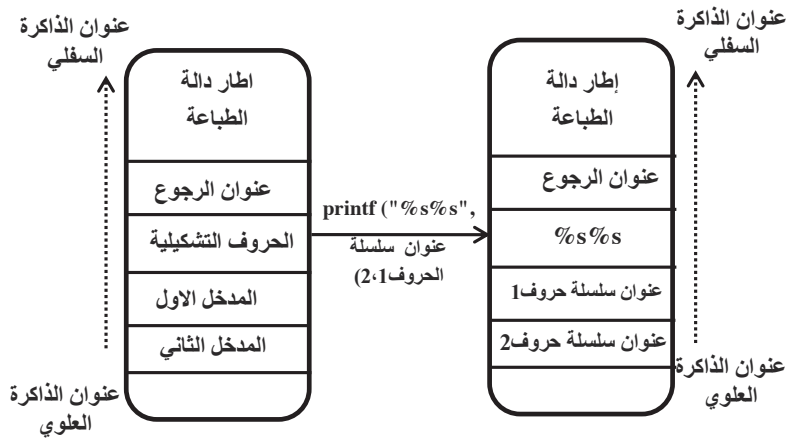
الشكل 3. آلية عمل هجوم تجاوز سعة المخزن البيئي. المهاجم يعمل على تعبئة المخزن البيئي بما يزيد عن سعته ومما يؤدي إلى تعديل عنوان الرجوع إلى عنوان يحتوي على نص برمجي خبيث. هذا النص يحتوي على أوامر تخدم المهاجمين. في الرسم تم تعديل عنوان الرجوع إلى 0x41414141 للتوضيح.

2.3 ثغرة سلسلة الحروف التشكيلية

ثغرة سلسلة الحروف التشكيلية تُعتبر عيباً موجوداً في البرمجيات وسببه الأساسي هو خطأ المبرمج. سلسلة الحروف التشكيلية عبارة عن حروف لها معان خاصة تُستخدم في التحكم وتمثيل متغيرات مختلفة [15]. على سبيل

المثال، في لغة سي دالة الطباعة يكون لها معلمات، إحدى هذه المعلمات الحروف التشكيلية. البرنامج التالي يوضح كيف تكتب دالة الطباعة في لغة سي، مدخلات دالة الطباعة تتكون من النص المراد طباعته وهو "تحتوي البرمجات على" ويُتبع بالحرف التشكيلي "%s" الذي يُستبدل بسلسلة الحروف "ثغرات" عند تنفيذ جملة الطباعة.

```
char str [6] = "ثغرات"
printf("تحتوي البرمجات على", str)
```



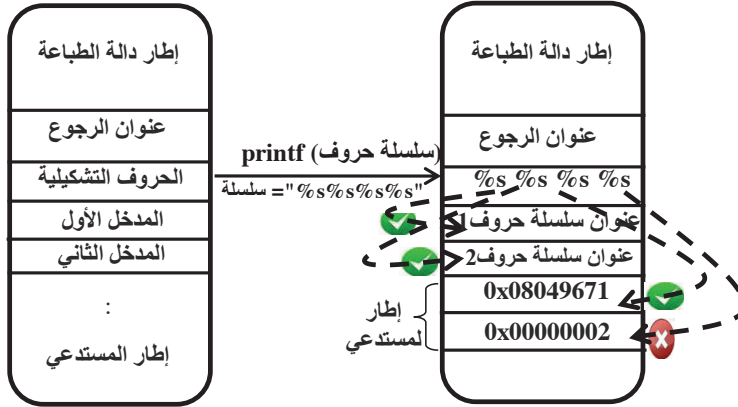
الشكل 4. شكل تخطيط إطار المكس عند استدعاء دالة الطباعة. يتكون الإطار من عنوان الرجوع، الحروف التشكيلية، عنوان سلسلة الحروف 1 و عنوان سلسلة الحروف 2. بحيث الحروف التشكيلية الأولى "%s" مسنولة عن طباعة سلسلة الحروف الأولى. و الثانية "%s" مسنولة عن طباعة سلسلة الحروف الثانية.

شكل 4 يوضح محتوى المكس لحظة استدعاء دالة الطباعة

(سلسلة الحروف الثانية، سلسلة الحروف الأولى، `Printf ("%s%s",`

كما يبين وجود مكان في المكس لاحتواء الحروف التشكيلية. حيث الحرف التشكيلي الأول "%s" مسنول عن طباعة سلسلة الحروف الأولى وكذلك الحرف التشكيلي الثاني "%s" لطباعة سلسلة الحروف الثانية. المشكلة في دالة الطباعة عندما تُكتب بالصورة التالية (سلسلة الحروف) `printf` بحيث أن سلسلة الحروف، التي في هذه الحالة عبارة عن مدخل وحيد لدالة الطباعة، تتم قراءتها من المستخدم. قد يحتوي ما يدخله المستخدم علي العديد من الحروف التشكيلية (مثل "%s", "%x", "%n") وهذه الحروف التشكيلية تُمكن المهاجم من عرض محتوى المكس والكتابة والقراءة في أماكن في الذاكرة وفق إرادة المهاجم.

الشكل 5. يوضح مثال بسيط على ثغرة سلسلة الحروف التشكيلية التي تؤدي إلى وقف تنفيذ البرنامج بطريقة غير طبيعية أو مجازا تحطيم البرنامج. الحروف التشكيلية "%s" تعرض محتويات الذاكرة التي عناوينها موجودة في المكس تحت السلسلة التشكيلية. عند محاولة الوصول لعنوان الذاكرة المقابل للسلسلة التشكيلية الرابعة وحيث أن المكس يحتوي على عنوان لا يمكن الوصول إليه وهو 0x00000002 (عنوان خاطئ) يتسبب ذلك في تحطيم البرنامج وحدث خطأ يسمى خطأ مقطعي.



الشكل 5. تحطيم البرنامج باستخدام ثغرة سلسلة الحروف التشكيلية. حيث إن سلسلة الحروف تتكون من أربع حروف تشكيلية من نوع "%s". عند تنفيذ الحرف التشكيلي الرابع (الممثل بإشارة الخطأ في الشكل) فإن البرنامج يتحطم لأن "%s" ترجع إلى قيمة غير صحيحة وغير موجودة في المكس وهذه القيمة 0x00000002.

بطريقة أخرى دالة الطباعة في شكل 5 تحتوي على أربع حروف تشكيلية من نوع "%s" ولذلك تحتاج إلى أربع عناوين صحيحة ولكن لسوء الحظ أن العنوان الرابع "0x00000002" عنوان غير صحيح وعندما يتم الرجوع إليه من قبل الحرف التشكيلي الرابع "%s" يتحطم البرنامج ويظهر الخطأ المقطعي.

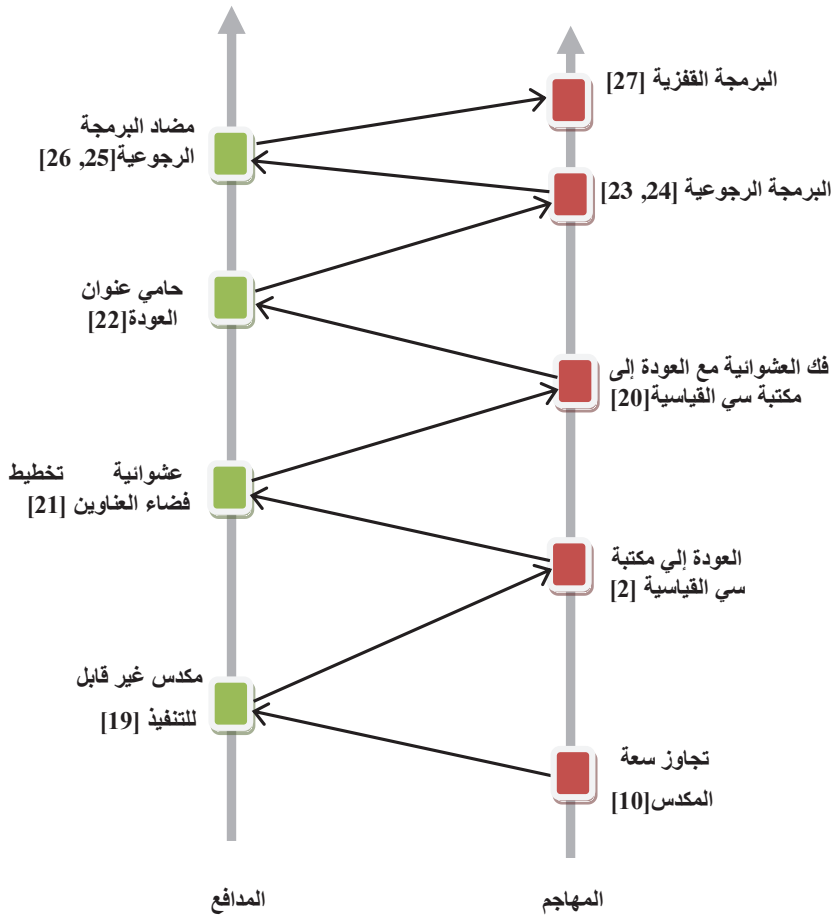
2.4 الدراسات السابقة

هناك العديد من الأبحاث العلمية التي قامت بتصنيف تقنيات الحماية والمقارنة بينها وصنفت تقنيات الحماية إلى خمس أقسام [16] وهي تحليل ثابت وحركي، تعديلات على الملف التنفيذي، تعديلات على المصرف، تعديلات على نظام البرمجيات وتعديلات على الكيان المادي. هذا التصنيف لم يوضح طبيعة التعديلات التي تنفذ على المصرف، كما أنها لم تتضمن التقنيات الحديثة. كما أن هذا التصنيف لم يذكر ما إذا كانت التقنية تحتاج إلى إعادة ترجمة للبرنامج المصدر أو لا تحتاج. كل هذه المشاكل تم تجاوزها في هذا البحث حيث تم تصنيف التعديلات التي تتم على المصرف من حيث كون التقنية تحتاج ذاكرة إضافية أو مكس جديد أو تعديل على الإطار أو تعديلات على مقدمة وخاتمة الدالة. وكذلك يوجد العديد من الدراسات التي تعمل مقارنة لتقنيات الدفاع مثل [5, 17, 18] ولكن لم تشمل على تقنيات الدفاع الحديثة وأيضاً لم يتم مقارنتها من حيث فاعلية كل تقنية في التغلب على الثغرات الموجودة.

3. الصراع بين طرق الحماية والهجوم

شكل 6 يوضح سيناريو الصراع بين المدافع والمهاجم في نطاق ثغرات البرمجيات، حيث يحاول المدافع أن يحمي البرمجيات من المهاجمين الذين يحاولون استغلال الثغرات الموجودة في البرمجيات.

من أهم وأقدم الثغرات الموجودة في البرمجيات هي تجاوز سعة المخزن البيني وتمثل حوالي نصف الثغرات الموجودة في البرمجيات [10]. ويعتبر تجاوز سعة المكس نوع خاص من تجاوز سعة المخزن البيني بحيث يتم تعديل عنوان العودة إلى مكان داخل المكس يحتوي علي برنامج خبيث كما شرح في الباب الثاني. ولحسن الحظ تقنية مكس غير قابل للتنفيذ [19] تغلبت علي مشكلة تجاوز سعة المكس بحيث لا يمكن تنفيذ أي نص برمجي مدسوس داخل المكس.



الشكل 6. سيناريو الصراع بين المهاجم والمدافع في نطاق ثغرات البرمجيات. المهاجم يستغل نقاط ضعف البرمجيات لينفذ مهام خبيثة. ومن الناحية الأخرى المدافع يقدم تقنيات من شأنها أن تنهي علي نقاط الضعف.

المهاجمون يتصفون بالذكاء حيث تمكنوا من تنفيذ نص برنامج غير موجود داخل المكس عن طريق تغيير عنوان العودة لكي يؤثر على إحدى الدوال (مثل دالة الطباعة أو دالة تشغيل أوامر النظام) الموجودة في مكتبة سي القياسية ويسمى هذا الهجوم العودة إلى مكتبة سي القياسية [2]. المدافع يحاول تعقيد الأمر على المهاجم حيث قدم تقنية عشوائية تخطيط فضاء العناوين من المعروف سابقا أن مكتبة سي القياسية تبدأ من عنوان ثابت لجميع المهام التي تنفذ داخل الجهاز. ولكن في تقنية عشوائية تخطيط فضاء العناوين يحدد عنوان بداية المكتبة بشكل عشوائي عند كل تنفيذ للبرنامج مما يصعب المهمة على المهاجم الذي بدوره يجب عليه تخمين هذا العنوان. ولكن تمكن المهاجم من كسر وفك عشوائية النظام من خلال تخمين عنوان البداية للمكتبة سي القياسية. ولمزيد من المعلومات انظر مرجع [20].

تقنية حامي عنوان الرجوع [22] تعمل على إنشاء مستودع لتخزين نسخة من كل عناوين العودة في منطقة آمنة. وعندما يتم الرجوع إلى عنوان العودة في المكس يتم مقارنته مع نظيره في المستودع. إذا كان هناك اختلاف يعتبر عنوان الرجوع خبيثا وتقوم هذه التقنية بإرسال رسالة إلى مدير النظام عن هذا الهجوم وتنتهي البرنامج.

لسوء الحظ قام المهاجمون بتنفيذ هجوم يُسمى البرمجة الرجوعية [23، 24]، في هذا الهجوم لا يحتاج المهاجمون إلى حقن أي نص برنامج داخل المكس وبدلاً من ذلك يقوم المهاجمون بتجميع سلاسل من التعليمات وبحيث كل سلسلة من التعليمات تنتهي بتعليمية رجوع. يقوم المهاجم بتجميع هذه السلاسل مع بعضها البعض لكي ينفذ مهامه الخبيثة. ويتم تجميع هذه التعليمات من خلال البرنامج نفسه على سبيل المثال من المكتبات. ويعتبر هجوم البرمجة الرجوعية أشمل من هجوم العودة إلى مكتبة سي القياسية لأن الأخير يقوم باستدعاء دالة واحدة من مكتبة سي القياسية وتنفذ بطريقة انتظامية تتابعيه ولكن البرمجة الرجوعية تنفذ نص البرنامج بطريقة مقطعة. وأيضاً في هجوم العودة إلى مكتبة سي القياسية الدالة المستدعاة من نفس نص البرنامج الأصلي والمكتبات وحذف هذه الدالة يقلل من خطر هذا الهجوم [24]. أما بالنسبة إلى هجوم البرمجة الرجوعية فإنه ليس من البيديهي أن يتم حذف تجمعات التعليمات التي يمكن أن يستخدمها المهاجم [23].

هناك شرطان أساسيان لابد من توافرها حتى تنفذ البرمجة الرجوعية بنجاح وهما:

1. يجب على المهاجم أن يحدد تجمعات مفيدة من التعليمات التي تنتهي بتعليمية الرجوع وتسمى هذه العملية بالتجمعات الصغيرة.
2. يقوم المهاجم بإيجاد تقنية لربط هذه التجمعات الصغيرة والتحكم بها لتساعده على أداء مهمة معينة.

يوجد العديد من التقنيات التي تحمي من هجوم البرمجة الرجوعية، ونخص بالذكر البحث الذي قدمه لوكاس وآخرون [26] حيث قدموا تقنية حماية تُسمى مضاد للبرمجة الرجوعية. وهذه التقنية تتبع أي تعليمية رجوع خلال عملية تنفيذ البرنامج. وأيضاً تقوم بتتبع كل تعليمات الاستدعاء وتخزن نسخة من كل عنوان رجوع في مكس منفصل يسمى مكس الظل. وتقوم تقنية مضاد للبرمجة الرجوعية باعترض التعليمية قبل تنفيذها بواسطة وحدة المعالجة المركزية وتقييمها من حيث نوعها وهدفها. إذا كانت التعليمية استدعاء، تقوم التقنية بتخزين عنوان الرجوع في مكس الظل أما إذا كانت التعليمية عبارة عن تعليمية رجوع، يقوم مضاد للبرمجة الرجوعية بمطابقة أحدث عنوان رجوع موجود على المكس مع أحدث عنوان رجوع موجود في مكس الظل، إذا تشابهما يستكمل تنفيذ البرنامج أما إذا اختلفا يعتبر عنوان الرجوع خبيثاً.

وأخيراً البرمجة القفزية [27] تشبه البرمجة الرجوعية من حيث أن المهاجم يقوم بتجميع سلسلة من التعليمات. ولكن في البرمجة القفزية كل تعليمية تنتهي بتعليمية القفز الغير مباشرة بدلاً من تعليمية الرجوع كما في البرمجة الرجوعية. وفي هذا الهجوم لا يتعامل المهاجم مع المكس لكي يربط التجمعات الصغيرة مع بعضها البعض، ولكنه يتعامل مع تعليمات قفزية غير مباشرة لكي ينفذ مهامه الخبيثة.

4. تصنيف طرق الحماية من حيث الموارد

يوجد العديد من تقنيات الحماية من الثغرات الموجودة في البرمجيات ولكي تعمل هذه التقنيات بشكل فعال لابد من توافر موارد أو متطلبات لهذه التقنيات. في هذا الفصل نقوم بتصنيف المتطلبات إلى خمسة وهي نص البرنامج المصدر وتعديل في مكتبة الدوال ودعم نظام التشغيل ودعم الكيان المادي وتعديل في المصرف. وأيضاً صنفنا التعديل في المصرف إلى أربعة أقسام وهي تعديل في إطار المكس وتعديل في بداية وخاتمة الدالة ومكس جديد وذاكرة إضافية. الجدول 1. يوضح تقنيات الحماية ومتطلباتها لكي تعمل بشكل صحيح.

1. نص البرنامج المصدر

التحليل الثابت [28] يكتشف ثغرات البرمجيات في برنامج المصدر قبل أن يُنفذ البرنامج. ولذلك يحتاج برنامج المصدر إلى إعادة ترجمة. حارس المكس [1] ودرع المكس [29] و حارس المؤشر [30] عبارة عن تقنيات تحتاج إلى إعادة ترجمة برنامج المصدر. بحيث أن تقنية مؤشر المكس على سبيل المثال تعمل على تعديل المصدر لكي تُمكن المؤشرات من أن تُشفر في الذاكرة وأن يُفك شفرتها فقط عندما يُوضع المؤشر في مسجلات، ولهذا تقنية مؤشر المكس تحتاج إلى إعادة ترجمة لبرنامج المصدر [16].

2. تعديل في المكتبة الدوال

بعض التقنيات التي تحمي من الثغرات الموجودة في البرمجيات تتطلب تعديلات في مكتبة الدوال (مثل دالة نسخ سلسلة الحروف و دالة الطباعة) [15]. هذه التقنيات تعمل على اعتراض أي دالة مشكوك بها واستبدالها بدالة آمنة [31]. تقنية المكتبة الآمنة المعدلة [32] تعتبر مثالاً للتقنيات التي تمنع حدوث تجاوز سعة الحاجر البيني من خلال تعديلات تحدث في مكتبة الدوال. وهذه التقنية عبارة عن مكتبة حركية تحمي من الدوال الغير آمنة وتتكون هذه التقنية من أداتين.

- استخراج المعلومات وإبداعها: عبارة عن أداة تعمل على تجميع معلومات معينة (مثل حجم الحاجر البيني) من البرنامج المُصرف وإضافتها هذه البيانات إلى البرنامج الثنائي.
- المكتبة الآمنة المعدلة: عبارة عن أداة تعمل على مقارنة حجم الحاجر البيني في المصدر وحجمه عند الهدف أي عند الكتابة عليه ولا يتم تنفيذ الدالة إذا كانت تؤدي إلى تجاوز سعة المخزن البيني. عملية المقارنة تعتمد على البيانات التي تم تجميعها من الأداة الأولى.

3. دعم نظام التشغيل

بعض تقنيات الحماية مثل مكس غير قابل للتنفيذ [19] مشروط عملها بأن يتم تعديل بعض خصائص نظام التشغيل. المهاجمون اعتادوا على تعديل عنوان الرجوع وتعديله لتنفيذ مهمة خبيثة داخل المكس ولكن بعد تعديل خصائص نظام التشغيل لا يمكن تنفيذ أي مهمة داخل المكس ولذلك سميت هذه التقنية مكس غير قابل للتنفيذ. عشوائية تخطيط فضاء العناوين تعتبر من أهم التقنيات التي يجب أن يتم فيها تغيير بعض خصائص نظام التشغيل حتى يدعم عشوائية بداية كل من المكس والكومة ومكتبة سي القياسية.

4. دعم الكيان المادي

حتى تتمكن تقنيات الحماية من أداء المهام بسرعة عالية لحماية محتوى المكس من التعديل وخاصة عنوان الرجوع لا بد من تدعيم هذه التقنيات بالكيان المادي [33]. معظم وحدات المعالجة المركزية تحتوي على بت يسمى بت غير تنفيذي الذي يعمل على منع تنفيذ أي نص برنامج داخل المكس. ينح سو وآخرون [33] اقترحوا مكس مادي في وحدة المعالجة المركزية يستخدم للحماية من مؤشر الإطار وتجاوز سعة المكس. حيث هذا المكس يحتوي على كل من عنوان الرجوع و مؤشر المكس. في وقت تشغيل البرنامج، يتم مقارنة القيم الموجودة في المكس المادي مع نظيراتها الموجودة في مكس البرنامج.

5. تعديل في المصرف

يتم التعديل على المصرف من خلال إضافة بعض النصوص البرمجية إلى البرنامج الثنائي بحيث تكون هذا النصوص قادرة على اكتشاف ومنع المهاجمين من تعديل عنوان الرجوع لتنفيذ مهام خبيثة. يتم تعديل المصرف لتعديل إطار المكس حيث يتم إضافة كلمة إلى المكس مثال على ذلك تقنية حارس المكس [1] حيث يتم التعديل على السجل الفاعل لإضافة كلمة إلى إطار المكس التي من خلالها اكتشاف المهاجمين إذا قاموا بتعديل هذه الكلمة. بعض التقنيات مثل درع المكس [27] و حارس عنوان الرجوع [22] تحتاج ذاكرة إضافية لكي تخزن نسخة من عناوين الرجوع. وبعض التقنيات تحتاج إلى مكس إضافي لمقارنته بمكس البرنامج الأصلي مثل تقنية مكس عكسي [34]. كل هذه التعديلات تتم من خلال إضافة نص برنامج معين في مقدمة وخاتمة الدالة. مثل تقنية حارس المكس يتم إضافة الكلمة من خلال مقدمة الدالة ومقارنتها بالقيمة الأصلية من خلال نص برنامج يُكتب في خاتمة الدالة.

جدول 1. متطلبات تقنيات الدفاع

تعديل في المصروف				دعم الكيان المادي	دعم نظام التشغيل	تعديل في المكتبة الدوال	نص البرنامج المصدر	تقنية الدفاع
إضافة	مكس	بداية ونهاية الدالة	إطار المكس	لا	لا	لا	نعم	تحليل ثابت [14, 19, 28]
ذاكرة	جديد	لا	لا					
لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	تحليل حركي [35, 36]
نعم	لا	لا	لا	لا	لا	نعم	نعم	المكتبة الآمنة المعطاة [35]
لا	لا	لا	لا	نعم	نعم	لا	لا	مكس غير قابل للتنفيذ [19]
لا	لا	لا	لا	نعم	نعم	لا	لا	كومة غير قابلة للتنفيذ [37, 38]
لا	لا	نعم	نعم	لا	لا	لا	نعم	حارس المكس [1]
لا	لا	نعم	لا	لا	نعم	لا	نعم	حارس المؤشر [30]
نعم	لا	نعم	لا	نعم	نعم	لا	نعم	درع المكس [30]
لا	لا	لا	لا	لا	لا	نعم	لا	درع سلسلة الحروف التشفيرية [39]
نعم	لا	نعم	لا	لا	لا	لا	نعم	حامي عنوان الرجوع [22]
لا	نعم	لا	لا	نعم	نعم	لا	لا	مكس عكسي [34]
لا	لا	لا	لا	لا	نعم	لا	لا	عنوانية تخطيط فضاء العاوين [21]
لا	نعم	لا	لا	لا	لا	لا	لا	مضاد البرمجة الرجوعية [26]
3	2	4	1	4	6	2	6	عدد التقنيات

ونلاحظ من الجدول 2. أن اغلب التقنيات لكي تعمل بشكل فعال تحتاج إلى مساحة تخزينية إضافية مما يؤثر على سرعة تنفيذ البرنامج. وبعض التقنيات الذي لا تعتمد على مساحة تخزينه تكون ضعيف وغير فعالة ولذلك نوصي باستخدام تقنية تكون وسطية في استخدام المساحة التخزينية بحيث لا تؤثر على الكفاءة ولا على النفقات.

5. تصنيف طرق الحماية من حيث الفاعلية

جدول 2. يوضح أغلب وأحدث طرق الحماية التي تحاول حل ثغرات البرمجيات. حيث تم مسح كامل لأغلب طرق الحماية والثغرات الموجودة في البرمجيات. تم في هذا البحث تناول كل من التقنيات التالية (مكدس غير قابل للتنفيذ [19])، كومة غير قابلة للتنفيذ [37, 38]، حارس المكدس [1]، حارس المؤشر [30]، درع المكدس [29]، عشوائية تخطيط فضاء العناوين [21]، مكدس عكسي [34]، اختبار سلامة الكتلة [40]، حامي عنوان الرجوع [22]، تحليل ثابت [14, 19, 28] تحليل حركي [35, 36]، مضاد البرمجة الرجوعية [26]، درع سلسلة الحروف التشكيلية [39] (ودراسة تفصيلية ومعرفة كفاءة كلا منها في التغلب على الثغرات التالية) تجاوز سعة المكدس، تجاوز سعة الكومة، سلسلة الحروف التشكيلية، العودة إلى مكتبة سي القياسية، العودة إلى مكتبة سي القياسية مع فك العشوائية، البرمجة الرجوعية، والبرمجة القفزية).

وقد بينت هذه الدراسة أن تقنيات الحماية تعاني من أحد المشاكل التالية:

1. نلاحظ أن اغلب التقنيات تقدم حل جذريا للشكل المباشر من مشكلة تجاوز سعة المكدس
2. هذه التقنيات تقدم حلا جزئيا وليس شاملا أي أنها تكون قادرة على حل بعض ثغرات البرمجيات ولا تتغلب على البعض الآخر. مثال على ذلك تقنية مكدس غير قابل للتنفيذ تتغلب على مشكلة تجاوز سعة المكدس ولا تتغلب على سبيل المثال على ثغرة تجاوز سعة الكومة. وأيضا تقنية مضاد البرمجة الرجوعية لا يكون قادر على حل ثغرة البرمجة القفزية. وهو يعتبر هجوم جديد لا يعتمد على المكدس وبالتالي هذا الهجوم لا يُكتشف بواسطة تقنيات الحماية المعروفة حتى الآن [27].
3. عندما تكتشف تقنية الحماية ثغرة في البرنامج فإنها تقوم بإنهاء البرنامج. بالرغم من أن إنهاء البرنامج الحل السليم لكن ليس في حالة البرامج التي تؤدي خدمة مهمة ولا تحتل إعادتها مرة أخرى. عندما يحاول المهاجم تنفيذ ثغرة العودة إلى مكتبة سي القياسية فإن تقنية عشوائية تخطيط فضاء العناوين تعمل على تحطيم البرنامج.

بعض التقنيات وخاصة تقنية التحليل الحركي التي تكتشف الأخطاء خلال وقت تشغيل البرنامج من خلال إضافة نصوص برمجية في البرنامج الثنائي لاعتراض التعليمات وفحصها إذا كانت خبيثة. فإن هذا يؤدي إلى تقليل كفاءة البرنامج من ناحية السرعة وزيادة النفقات.

6. الخاتمة

نقاط ضعف البرمجيات تمثل عائقا كبيرا أمام تطور البرمجيات و على الرغم من وجود مضادات لنقاط الضعف إلا أنها ليست بالكفاءة والفاعلية المطلوبة حتى الآن في منع المهاجمين من استغلال هذه النقاط. في هذا البحث نحاول من خلال دراسة مسحية تلمس أسباب عدم كفاية وكفاءة آليات الدفاع وفتح آفاق لطرق دفاعية جديدة حيث تم سرد أغلب الثغرات القديمة والحديثة الموجودة في البرمجيات وطرق الحماية منها. وقد تم عمل مقارنة لأغلب طرق الحماية من هذه الثغرات من ناحية الموارد المطلوبة لكي تعمل التقنية بشكل فعال. كما تم عمل مقارنة لأغلب طرق الحماية من ناحية فاعليتها في التغلب على هذه الثغرات. وقد تم التوصل في هذا البحث إلى عدة نتائج:

- قد تبين من خلال مقارنة تقنيات الحماية من حيث الموارد المطلوبة أن بعض هذه التقنيات تحتاج إلى وقت إضافي لكي تعمل والبعض الآخر يحتاج إلى مساحة إضافية مما يؤدي إلى تقليل كفاءة البرنامج من ناحية السرعة وزيادة النفقات.
- قد تبين من خلال مقارنة تقنيات الدفاع من ناحية فاعليتها في التغلب على ثغرات البرمجيات أنه لا يوجد تقنية بعينها تتغلب على جميع الثغرات بل كل تقنية تقدم حلا جزئيا لبعض الثغرات. كما أنه يوجد ثغرات جديدة مثل البرمجة القفزية لا تُكتشف بواسطة تقنيات الحماية الموجودة والذي يدل على ذلك أن الثغرات الموجودة في البرمجيات الأحدث إصدارا هي نفسها الموجودة في الإصدارات القديمة.

ولذلك نوصي باستخدام تقنية وسطية تعمل على موازنة الوقت والمساحة بحيث تكون لا تحتاج إلى مساحة تخزين كبيرة تؤثر على الوقت اللازم لتنفيذ البرنامج. وسنحاول في الأعمال المستقبلية العمل على إيجاد حل أمثل لهذه الثغرات: حلا يتطلب الكيان المادي أو الكيان المعنوي و من ثم إيجاد تقنية لتطبيق هذا الحل لإنهاء نقاط ضعف البرمجيات بحيث تكون هذه التقنية ذات كفاءة عالية ولا تحتاج إلى تكاليف عالية.

جدول 2. فاعلية تقنيات الحماية اتجاه عيوب البرمجيات

البرمجة القرية	البرمجة الرجوعية	العودة الى مكتبة مع تلك العضوانية	العودة الى مكتبة سي القياسية	سلسلة الحروف التشغيلية		تجاوز سعة كومة	تجاوز سعة المكس		
				الكتابة التفسيرية	القراءة التفسيرية		غير مباشر	مباشر	
لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	نعم	مكس غير قليل للتنفيذ [19]
لا	لا	لا	لا	لا	لا	نعم	لا	نعم	كومة غير قليلة للتنفيذ [38, 37]
لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	نعم	حارس المكس [1]
لا	لا	نعم	لا	لا	لا	لا	نعم	نعم	حارس المؤشر [30]
لا	لا	نعم	نعم	لا	نعم	لا	لا	نعم	درع المكس [29]
لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	عنوانية تخطيط فضاء العاوين [21]
لا	لا	نعم	نعم	لا	نعم	نعم	نعم	نعم	مكس عكسي [34]
لا	لا	نعم	نعم	لا	نعم	نعم	نعم	نعم	اختبار سلامة الكتابة [40]
لا	لا	نعم	نعم	لا	نعم	نعم	نعم	نعم	حامي عنوان الرجوع [22]
لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	لا	تحليل ثابت [14, 19, 28]
لا	لا	لا	لا	لا	نعم	نعم	لا	نعم	تحليل حركي [35, 36]
لا	نعم	نعم	نعم	نعم	لا	لا	نعم	نعم	مضاد البرمجة الرجوعية [26]
لا	نعم	نعم	نعم	نعم	لا	لا	لا	لا	درع سلسلة الحروف التشغيلية [39]
0	2	7	6	2	5	5	5	10	عدد التقنيات

- [1] Crispin Cowan, Calton Pu, Dave Maier, Heather Hintony, jonathan Walpole, Peat Bakke, Steve Beattie, Aaron Grier, Perry Wagle, Q. Zhang, "Stackguard: automatic adaptive detection and prevention of buffer-overflow attacks", in: SSYM'98: Proceedings of the 7th conference on USENIX Security Symposium, USENIX Association, Berkeley, CA, USA, 1998, pp. 63-78.
- [2] c0ntex, "Bypassing non-executable stack during exploitation using return-to-libc", http://www.infosecwriters.com/text_resources/pdf/return-to-libc.pdf, 2006. Last accessed on Jan. 18th, 2010.
- [3] Wired, Google hack attack was ultra sophisticated, new details show, <http://www.wired.com/threatlevel/2010/01/operation-aurora/>, 2010. Last accessed on Jan. 18th, 2011.
- [4] Davide Balzarotti, Marco Cova, Vika Felmetzger, Nenad Jovanovic, Engin Kirda, Christopher Kruegel, and Giovanni Vigna, "Saner: Composing Static and Dynamic Analysis to Validate Sanitization in Web Applications". In IEEE Symposium on Research in Security and Privacy, California, USA, May 2008.
- [5] Yves Younan, "Efficient countermeasures for software vulnerabilities due to memory management errors", PhD Thesis, Katholieke Universiteit Leuven, May 2008.
- [6] Robert Seacord, "Secure Coding in C and C++", Addison Wesley- 2nd edition 2005.
- [7] Computer Emergency Readiness Team, "CERT Statistics (Historical)", available at <http://www.cert.org/stats/>, Date 25-10-2010.
- [8] Frank Piessens, Bart Decker, and Bart De Win, "Developing Secure Software - A survey and classification of common software vulnerabilities", In Proceedings of the Fourth Working Conference on Integrity, Internal Control and Security Information Systems (IICIS 2001), Brussels, 2001, pp. 27-40.
- [9] Yves Younan, "An overview of common programming security vulnerabilities and possible solutions", Master's Thesis, Augustus 2003, Vrije Universiteit Brussel.
- [10] Gustavo Duarte, "Anatomy of a Program in Memory", available at <http://duartes.org/gustavo/blog/post/anatomy-of-a-program-in-memory>, last accessed on Dec. 28th, 2010.
- [11] Varadachari Sudan Ayanam, "Software Security Vulnerability Vs Software Coupling A Study With Empirical Evidence", Masters in Computer Science, Southern Polytechnic State University, December 2009.
- [12] Spafford, Eugene, "The internet worm program: An analysis", Technical Report. CSD-TR-823, Purdue University, 1988.
- [13] Dan DaCosta, Christopher Dahn, Spiros Mancoridis, and Vassilis Prevelakis, "Characterizing the 'Security Vulnerability Likelihood' of Software Functions" 19th IEEE International Conference on Software Maintenance (ICSM'03), Washington, DC, USA, volum 0, pp. 61—72.
- [14] Alexander Ivanov Sotirov, "Automatic Vulnerability detection Using Static Source Code Analysis", Ph.D. Dissertation, Tuscaloosa, Alabama, 2005.
- [15] scut / team teso, "Exploiting Format String Vulnerabilities", September 1, 2001, version 1.2, available at <http://crypto.stanford.edu/cs155/papers/>
- [16] H. Özdoğanoglu, T.N. Vijaykumar, C.E. Brodley, and A. Jalote, "Smashguard: A Hardware Solution to Prevent Security Attacks on the Function Return Address," Technical Report TR-ECE 03-13, Purdue Univ., Feb. 2004.
- [17] Hossain Shahriar, "Mitigating and Monitoring Program Security Vulnerabilities", PhD Thesis, June 17, 2010, Queen's University Kingston, Ontario, Canada.
- [18] Pascal Meunier, "Classes of Vulnerabilities and Attacks. Wiley Handbook of Science and Technology for Homeland Security", 2008, pp1—18.
- [19] Solar Designer, "Non-Executable User Stack" available at <http://www.openwall.com/linux/>. Last accessed on Jan. 5th, 2011.

- [20] Hovav Shacham, Matthew Page, Ben Pfaff, Eu-Jin Goh, and Nagendra Modadugu, Dan Boneh "On the effectiveness of address-space randomization", in: CCS'04: Proceedings of the 11th ACM conference on Computer and communications security, ACM, New York, NY, USA, 2004, pp. 298-307.
- [21] P. Team, "Address space layout randomization", Phrack, 2003. Available at <http://pax.grsecurity.net/docs/index.html>.
- [22] Fu-Hau Hsu, and Tzi-Cker Chiueh, ", 1 RAD: A Compile-Time Solution to Buffer Overflow Attacks", Scientific Literature Digital Library and Search Engine 2007, US.
- [23] Ralf Hund, Thorsten Holz, and Felix C. Freiling, "Return-oriented rootkits: bypassing kernel code integrity protection mechanisms", In SSYM'09: Proceedings of the 18th conference on USENIX security symposium, 2009, Montreal, Canada, pp. 383—398.
- [24] Ryan Roemer, Erik Buchanan, Hovav Shacham, and Stefan Savage, "Return-Oriented Programming: Systems, Languages, and Applications", Manuscripts, 200, University of California, San Diego.
- [25] Ping Chen, Hai Xiao, Xiaobin Shen, Xinchun Yin, Bing Mao, and Li Xie, "DROP: Detecting return oriented programming malicious code", In ICISS'09: Proceedings of the 5th International Conference on Information Systems Security, India, 2009, pp. 163—177.
- [26] Lucas Davi, Ahmad-Reza Sadeghi, and Marcel Winandy, "ROPdefender: A Detection Tool to Defend Against Return-Oriented Programming Attacks" Technical Report HGI-TR-2010-001, March 19, 2010.
- [27] Tyler Bletsch, Xuxian Jiang, and Vince Freeh, "Jump-Oriented Programming: A New Class of Code-Reuse Attack*", Technical report, NCSU, 2010. NCSU Technical Report TR-2010-8.
- [28] David Larochelle, and David Evans, "Statically detecting likely buffer overflow vulnerabilities", In proceedings of the 10th conference on USENIX Security Symposium, Volume 10, 2001, Washington, D.C., pp. 177--190.
- [29] Vendicator. "Stackshield: A stack smashing technique protection tool for Linux". 2000. Available at http://www.angel_re.com/sk/stackshield/, last accessed on 15-01-2011.
- [30] C. Cowan, S. Beattie, J. Johansen, and P. Wagle. PointGuard: Protecting pointers from buffer overflow vulnerabilities. In 12th USENIX Security Symposium, 2003.
- [31] Benjamin A. Kuperman, and Carla E. Brodley, "Detection and prevention of stack buffer overflow attacks", Commun. ACM, volume 48, issue 11, Nov. 2005, pp. 50—56, New York, NY, USA.
- [32] Kumar Avijit, Prateek Gupta, and Deepak Gupta, "Tied, libsafeplus: Tools for runtime buffer overflow protection". In USENIX Security Symposium, August 2004.
- [33] Yongsu Park, Younho Lee, Heeyoul Kim, Gil-Joo Lee and Il-Hee Kim, "Hardware Stack Design: Towards an Effective Defense Against Frame Pointer Overwrite Attacks", In IWSEC'06: international workshop on security, 2006, Kyoto, Japan, pp. 268-277.
- [34] B. Salamat, A. Gal, and M. Franz. Reverse stack execution in a multi-variant execution environment. In CATARS'08: Workshop on Compiler and Architectural Techniques for Application Reliability and Security, Anchorage, Alaska, USA, June 2008.
- [35] James Newsome, and Dawn Song, "Dynamic Taint Analysis for Automatic Detection, Analysis, and Signature Generation of Exploits on Commodity Software", in NDSS'05: Proceedings of the Network and Distributed System Security 2005, San Diego, USA.
- [36] Wei Xu, Sandeep Bhatkar, R. Sekar, "Taint-enhanced policy enforcement: A practical approach to defeat a wide range of attacks", In USENIX Security (2006).
- [37] William Robertson, Christopher Kruegel, Darren Mutz, and Fredrik Valeur, "Run-time Detection of Heap-based Overflows" in: Proceedings of the 17th USENIX conference on System administration, San Diego, 2003, pp. 51-60.
- [38] PAX, "Non-executable heap-segments", available at <http://pageexec.virtualave.net/index.html>, last accessed on 15-01-2011 (does-not open)
- [39] Pankaj Kohli, and Bezawada Bruhadeshwar, "FormatShield: A Binary Rewriting Defense against Format String Attacks", ACISP '08: Proceedings of the 13th Australasian conference on Information Security and Privacy, 2008, pp. 376—390, Wollongong, Australia.

- [40] Periklis Akritidis, Cristian Cadar, Costin Raiciu, Manuel Costa, and Miguel Castro, "Preventing "memory error exploits with wit", in: SP'08: Proceedings of the 2008 IEEE Symposium on Security and Privacy, IEEE Computer Society, Washington, DC, USA, 2008, pp. 263-277.

Title: A comparative study of Protection Techniques for Software Vulnerabilities Based on Required Resources and Effectiveness

Abstract. Most cyber attacks that take place through the Internet are caused by vulnerabilities or existed gaps in the software. Examples of these vulnerabilities are "Stack Overflow", "heap overflow" and "format string". Although, there are intrusion detection systems, attackers can exploit these vulnerabilities to break into victim machine and execute malicious tasks that would damage it. Although, many defense techniques have been proposed to protect software from vulnerabilities, there are some vulnerabilities exist. In this paper, a survey of software vulnerabilities and protection techniques will be presented. Also, a comparative study has been introduced to compare the most protection techniques in terms of resources required (program source code, library modification, operating system support, hardware support and compiler modification) and effectiveness against attacks (stack overflow, heap overflow, format string, return-to-libc, return oriented program and jump oriented program).

Keywords: software security, exploiting vulnerabilities, stack overflow, attack, defense.

المصطلحات

مخزن بيئي	Buffer
مؤشر الإطار	Frame Pointer
مسجل مؤشر المكس	Stack Pointer Register (ESP)
مسجل مؤشر الإطار	Frame Pointer Register (EBP)
عنوان الذاكرة العلوي	High Memory Address
عنوان الذاكرة السفلي	Low Memory Address
عنوان الرجوع	Return Address
مدخلات الدالة	Function Arguments
دالة نسخ سلسلة الحروف	Strcpy
هجوم تجاوز سعة المخزن البيئي	Buffer Overflow Attack
ثغرة البرمجيات	Software Vulnerability
تجاوز سعة المكس	Stack Overflow
تجاوز سعة الكومة	Heap Overflow
ثغرة سلسلة الحروف التشكيلية	Format String Vulnerability
العودة إلى مكتبة سي القياسية	Return-to-libc

البرمجة الرجوعية	Return Oriented Programming
البرمجة القفزية	Jump Oriented Programming
تحليل ثابت	Static Analysis
تحليل حركي	Dynamic Analysis
حارس المكسد	Stack Guard
مكدس غير قابل للتنفيذ	Non-Executable Stack
كومة غير قابلة للتنفيذ	Non-Executable Heap
حارس المؤشر	PointGuard
درع المكسد	StackShield
عشوائية تخطيط فضاء العناوين	Address Space Layout Randomization (ASLR)
مكدس معكوس	Reverse Stack
اختبار سلامة الكتابة	Write Integrity Testing (WIT)
حامي عنوان العودة	Return Address Defender (RAD)
مضاد للبرمجة الرجوعية	ROPdefender
درع السلسلة التشكيلية	FormatShield
مقدمة الدالة	Function Prologue
خاتمة الدالة	Function Epilogue
المكتبة الأمانة المعدلة	LibsafePlus
فريق الاستجابة لطوارئ الكمبيوتر / مركز التنسيق	CERT/CC (Computer Emergency Response Team/Coordination Center)
تعليمية الاستدعاء	Call Instruction "call"
تعليمية الرجوع	Return Instruction "ret"
وحدة المعالجة المركزية	Central processing unit
دالة الطباعة	Printf
استخراج المعلومات النوع وإيداعها	type information extraction and depositor (TIED)
بت غير تنفيذي	NX bit (Non-executable) bit
السجل الفعال	Activation Record
مسجل مؤشر التعليمية	EIP (Instruction Pointer Register)
إطار المستدعي	Caller Frame
خطأ مقطعي	Segmentation Fault
تعليمية القفز	JMP

تقييم المخاطر الأمنية في معمارية البرمجيات

فادي الحاج سعيد¹، يوسف حسونة²، هاني عمار¹

¹ جامعة فيرجينيا الغربية، مورغان تاون، ولاية فيرجينيا الغربية، الرمز البريدي 26505 الولايات المتحدة الأمريكية
² جامعة بيرزيت، كلية تكنولوجيا المعلومات، دائرة علم الحاسوب، بيرزيت ص.ب 14 فلسطين

hany.ammar@mail.wvu.edu · yhassouneh@birzeit.edu · fhajsaid@yahoo.com

الخلاصة: إن تقييم المخاطر الأمنية يعتبر جزءاً أساسياً ومهم في إدارة وتطوير البرمجيات. إن تقييم المخاطر الأمنية في وقت مبكر باستخدام لغة النمذجة الموحدة (UML) يعتبر أداة هامة ومفيدة لمطوري ومهندسي البرمجيات والتي يمكن أن تساعد على تحسين فعالية نظام الأمن للبرامج المراد تصميمها وخفض التكلفة إلى حد كبير على المديين القصير والبعيد معاً. ينبغي أن تكون عملية تقييم المخاطر الأمنية جزءاً من عملية تطوير البرمجيات وخاصة في المراحل الأولى من دورة حياة البرمجيات. يساعد تقييم المخاطر الأمنية في معمارية البرمجيات (Software Architecture) على تحديد العناصر الخطرة في البرمجيات وتخفيف آثارها على البرمجيات، ويتم ذلك ببناء نماذج لتقييم المخاطر الأمنية اعتماداً على البيانات التي يتم جمعها في المراحل الأولى من دورة حياة البرمجيات. وتساعد هذه النماذج في التعرف على المكونات والروابط عالية المخاطر في معمارية البرمجيات.

هذه الورقة تناقش منهجية لتقييم المخاطر الأمنية التي يمكن استخدامها في المراحل الأولى من دورة حياة البرمجيات بناءً على لغة النمذجة الموحدة والرسم البياني للهجوم (attack graph) وقياس مسطح الهجوم (attack surface metric). حيث يتم تقييم احتمال الفشل للأمني للمكونات والروابط في كل سيناريو اعتماداً على لغة النمذجة الموحدة والرسم البياني للهجوم. ومن ثم يتم تحليل آثار الفشل الأمني لهذه المكونات والروابط. وتصنف المكونات والروابط إلى مجموعات حسب تقييم المخاطر الأمنية لكل منها وهذا التصنيف يساعد على إظهار المكونات والروابط ذات المخاطر الأمنية العالية وضرورة تطويرها لمواجهة أي فشل أمني.

الكلمات الجوهرية: معمارية البرمجيات، الرسم البياني للهجوم، لغة النمذجة الموحدة، قياس مسطح الهجوم، احتمال الفشل الأمني، عوامل الخطر الأمنية.

1 مقدمة

تعرف هندسة البرمجيات على أنها تطبيق لمنهجية منظمة على طرق تطوير وتشغيل وصيانة البرمجيات وإمكانية قياسها كمياً [1]. يعتبر إنتاج برمجيات ذات جودة عالية من أهم الأمور التي تعنى بها هندسة البرمجيات. حيث يتم تقييم جودة البرمجيات اعتماداً على خصائص الجودة والتي يتم وصفها ضمن المتطلبات الغير وظيفية (non-functional requirements) للبرمجيات. وقد تم تحديد العديد من خصائص الجودة للبرمجيات مثل الكفاءة والموثوقية وسلاسة الاستخدام والصيانة والأمن [1]. وعرفت المعايير الكمية لتقييم البرمجيات على أنها مجموعة من الخصائص الداخلية للبرمجيات التي تقدر كمياً خصائص الجودة والنوعية (quality attribute) لهذه البرمجيات. وعملية تقييم جودة البرمجيات هي عملية تحليلية تتطلب تحديد الخصائص الداخلية وعلاقتها بخصائص الجودة والتي يمكن استخدامها لمتابعة وإدارة تطوير البرمجيات [2].

إن مخاطر البرمجيات هي تهديدات يمكن أن تؤثر على جودة ونوعية هذه البرمجيات، لذلك فإن تقييم تلك المخاطر هو جزء أساسي في عملية تطوير البرمجيات. هنالك العديد من نماذج عملية تطوير البرمجيات مثل النموذج الحلووني والذي يهتم بشكل أساسي بتطوير برمجيات ذات جودة عالية، ويعتبر هذا النموذج تقييم المخاطر المحرك الأساسي لعملية تطوير البرمجيات [3]. تتضمن عملية تقييم المخاطر العديد من الخطوات بما فيها تحديد الأولويات والذي يتطلب تقييم احتمال تعرض البرمجيات لتلك المخاطر وتقييم آثارها على جودة ونوعية تلك البرمجيات، ويعتمد تقييم المخاطر على العديد من المعايير الكمية [1]. إن تقييم تلك المخاطر في المراحل الأولى من دورة حياة البرمجيات له العديد من الميزات منها تحقيق الاستفادة المثلى للموارد في كل

المراحل المختلفة لدورة حياة البرمجيات حيث أنه يوفر وسيلة مفيدة لتحديد عناصر البرمجيات المعرضة للخطر والتي تتطلب تخصيص المزيد من الجهد في التطوير والاختبار.

ازدادت بشكل كبير هجمات الاختراق الأمني على البرمجيات في مدى السنوات العديدة الماضية ويمكن تعريف هذا الهجوم كوسيلة لاستغلال نقطة ضعف والذي يعرف بأنه خطأ أو ضعف في التصميم أو التنفيذ أو التشغيل [4]. سجلت حوادث الاختراق الأمني على البرمجيات ارتفاعاً بنسبة 2099% من عام 1998 و حتى عام 2002 حسب احصائيات فريق مركز تنسيق الاستعداد لحالات طوارئ الكمبيوتر (CERT/CC). أي بمتوسط معدل سنوي مركب 116 في المئة. نتجت معظم هذه الحوادث من ضعف في تصميم البرمجيات. ويؤثر هذا الضعف في البرمجيات سلباً على البنية التحتية التكنولوجية وعلى التجارة الإلكترونية والأمن [5]. لذلك تطرق العديد من الباحثين و المهنيين إلى أهمية أمن البرمجيات وقد بينت الدراسات أهمية دمج أمن البرمجيات في المراحل الأولى من دورة حياة البرمجيات لما له من الأثر الإيجابي على الجهد و التكلفة [6]. تشكل أخطاء التصميم 50% من مشاكل البرمجيات الأمنية. وإن تحليل معمارية البرمجيات لتحديد المخاطر الأمنية تلعب دوراً أساسياً في تطوير برمجيات متينة أمنياً [6]. لذلك تركز المنهجية المقترحة في هذه الورقة على تقييم المخاطر الأمنية عن طريق تحليل معمارية البرمجيات بناءً على مقاييس كمية. ظهرت معمارية البرمجيات كمفهوم مهم في الدراسات الأكاديمية والممارسة المهنية في هندسة البرمجيات. ذلك لأن معمارية البرمجيات تدعم تطوير البرمجيات واسعة النطاق، وتدعم النماذج الحديثة لهندسة البرمجيات، مثل خطوط الانتاج والمكونات البرمجية.

هذه الورقة تناقش منهجية لتقييم المخاطر الأمنية التي يمكن استخدامها في المراحل الأولى من دورة حياة البرمجيات بناء على لغة النمذجة الموحدة والرسم البياني للهجوم (attack graph) و قياس مسطح الهجوم (attack surface metric). أولاً: يتم تقييم احتمال الفشل الأمني للمكونات والروابط في كل سيناريو اعتماداً على لغة النمذجة الموحدة والرسم البياني للهجوم. ثانياً: يتم عرض مبسط وسريع للخوارزمية المستخدمة في تحليل آثار الفشل الأمني لهذه المكونات والروابط في نفس السيناريو اعتماداً على لغة النمذجة الموحدة ومسطح الهجوم. كما يتم شرح تفصيلي لكيفية تقييم احتمالات الفشل الأمني للمكونات والروابط في كل سيناريو من سيناريوهات الاستخدام للبرمجيات. وتعرض الخوارزمية العامة التي تظهر عوامل الخطر الأمني على المكونات والروابط والنظم في معمارية البرمجيات. وتعرض حالة الاستخدام كتطبيق عملي للمنهجية المقترحة في تقييم المخاطر الأمنية في معمارية البرمجيات.

2 مراجعة الأدبيات

تؤثر عوامل كثيرة على خصائص جودة البرمجيات وليس هناك طريقة مباشرة لقياسها وبعض هذه الصفات الداخلية للبرمجيات هي التعقيد والتشابك بين عناصر البرمجيات. يجب أن يتم قياس هذه الصفات الداخلية وتحديد العلاقة بين ما يتم قياسه وما يراود أن يدرس. تم تناول العديد من الدراسات لتقييم المخاطر المختلفة للبرمجيات وأهمية معمارية البرمجيات من قبل العديد من الباحثين.

تم اقتراح منهجية لتقييم المخاطر اعتماداً على لغة النمذجة الموحدة مثل حالات الاستخدام (use cases) والمخططات التسلسلية (sequence diagrams) التي تُستخدم لتمثيل البرمجيات في المراحل الأولى لدورة حياة البرمجيات [7]. حيث استخدمت المنهجية المقترحة الطرق التحليلية لتقييم المخاطر. يتم أولاً تقييم عوامل الخطر الدينامية للمكونات والروابط من خلال تحليل المخططات التسلسلية في كل سيناريو ثم يتم بناء نموذج ماركوف لتقييم مخاطر السيناريوهات وحالات الاستخدام.

عرض كورتليسا و زملاءه [8] منهجية لتقييم عوامل الخطر ذات العلاقة بأداء البرمجيات. الأداء هو أحد الخصائص النوعية للبرمجيات والذي يعتبر عاملاً حاسماً للعديد التطبيقات بدءاً من الأنظمة الحرجة إلى مواقع التجارة الإلكترونية. ويمكن تمثيل مخاطر البرمجيات كمياً على أنه حاصل ضرب احتمال فشل البرمجيات في الآثار الناجمة عن ذلك الفشل. قد تكون الدقة محدودة في تقييم المخاطر في وقت مبكر من دورة حياة البرمجيات بسبب عدم وجود المعلومات الكافية للنظام قيد التطوير. تنشأ عوامل الخطر المتعلقة بالأداء من مخالفة في متطلبات أداء البرمجيات. تضيق المنهجية المقترحة من قبل كورتليسا وزملائها شروحاً إلى مخططات لغة النمذجة الموحدة لاستخدامها في حساب احتمال فشل أداء البرمجيات و ضربها رياضياً بآثار هذا الفشل. كنتيجة تم تحديد السيناريوهات والمكونات والروابط الخطرة في البرمجيات من أجل تحسين التصميم في البرمجيات.

أُجزت العديد من الأبحاث من أجل تحديد مجموعة من المعايير الكمية لقياس خصائص البرمجيات الأمنية على مستويات مختلفة من دورة تطوير حياة نظام البرمجيات. اقترح هورد وزملاءه [4] مجموعة من المعايير لتقييم مدى هجومية النظام (attackability) وهو تقييم احتمال تعرض النظام لهجوم أمني ناجح. حيث يتم مقارنة الأنظمة أمنياً من خلال تقييم مدى هجوميتها. حيث حددت ثلاثة أبعاد لدراسة مسطح النظام المهاجم هي الأهداف والعوامل المساعدة للاختراق، والبروتوكولات وقنوات الاتصال بنظام، وحقوق النفاذ للمعلومات. كما افترض الكاتب وزملاءه أنه كلما اتسع المسطح المهاجم للنظام كلما أصبح أكثر عرضة لاستهداف أمني، وبالتالي لتحسين النظام أمنياً يجب الحد من مسطح النظام. وقد عرف هورد وزملاءه الهجوم الأمني بأنه وسيلة لاستغلال ضعف أو خطأ في التصميم أو التنفيذ أو التشغيل للبرمجيات. مثل النظام كحالة آلة تتكون من مجموعة من الحالات، والحالات البدائية، ومجموعة من الأفعال، وعلاقة التحول بين الحالات. و مثل الهجوم بسلسلة متتابعة من الأفعال تنتهي إلى حالة فشل أمني. ومن أجل تقييم مدى هجومية النظام أعطيت أوزان لكل من قنوات الاتصال بنظام والمعلومات المستهدفة ونوع العملية المستهدفة والعمليات المساندة. وتم تقييم مساحة المسطح المهاجم بجمع مساهمات كل من قنوات الاتصال بنظام والمعلومات المستهدفة ونوع العملية المستهدفة والعمليات المساندة أخذين بعين الاعتبار حقوق نفاذ المعلومات لكلا منها بشكل مستقل.

اقترح مهنه/ ووينغ [9] في مقال آخر منهجية على المستوى التنفيذي من مراحل تطوير البرمجيات لتقييم أمن البرمجيات، حيث تبنى الكاتبان مدى هجومية النظام المقترح من قبل هورد وزملاءه [4] كمعيار لتقييم أمن البرمجيات. وبين الكاتبان بأن عليهم يصب ضمن الجهود المبذولة لتحسين جودة البرنامج. مثل النظام كنموذج آلة ذات مداخل ومخارج. مداخل النظام هي النقاط التي يتم منها إدخال البيانات إلى النظام، ومخارج النظام هي النقاط التي يتم من خلالها إرسال المعلومات إلى الخارج. وعرفت بيئة النظام بمجموعة من المستخدمين، البيانات، وأنظمة أخرى مرتبطة بالنظام تعمل في بيئته. وصفت الأنظمة بمجموعة من الاقتارات والحالات والحالات الأولية والخطوات. وصفت نقاط الدخول كاقترانات تستقبل المعلومات من بيئة النظام لمعالجتها حيث تستقبل هذه المعلومات بشكل مباشر من بيئة النظام أو غير مباشر عن طريق استلامها من اقتران آخر. ووصفت مخارج النظام بأنها الاقتارات التي ترسل المعلومات إلى بيئة النظام سواء بشكل مباشر أو غير مباشر. وعند تنفيذ هذه الاقتارات كأفعال يتحول النظام من حالة إلى حالة. تخصص لهذه الأفعال حالات وشروط ما قبل التنفيذ وما بعد التنفيذ. تستخدم موارد النظام لوصف مسطح هجومه حسب مهنه/ ووينغ [9]، وعرفت موارد النظام بأنها قنوات الاتصال بنظام، والاقتارات والبيانات المدخلة إلى النظام أو المعلومات المخرجة إلى بيئته. يستخدم المهاجمون موارد النظام لمهاجمته وقد تم استخدام نسبة الضرر/الجهد كمؤشر لتقييم أثار الفشل الأمني. بحسب الضرر المحتمل بقدر مساهمة موارد النظام في الهجوم. وصف الجهد كشرط مسبق يحتاجه المهاجم لتنفيذ الاقتران. كما وصف الضرر كنتيجة ما بعد تنفيذ الاقتران. عندما تكون نتيجة نسبة الضرر/الجهد كبيرة فإنها تشير إلى أن النظام يحتوي على ثغرات أمنية يمكن استخدامها من قبل المهاجم بجهد قليل و التسبب بضرر كبير.

أما على مستوى تحليل ووصف البرمجيات، اقترح شين و جمعة [10] طريقة لنمذجة البرمجيات والانتقال بها من برمجيات غير آمنة إلى برمجيات آمنة. حيث تعتمد الطريقة المقترحة على توثيق النماذج التي توصف متطلبات النظام كمخطط دراسة حالات الاستخدام ومخطط الفئة (class diagram). حيث يتم نمذجة المتطلبات الأمنية للبرمجيات بشكل منفصل عن المتطلبات الوظيفية للبرمجيات. و يعكس ذلك على التصميم بحيث تكون المكونات الوظيفية لمعمارية البرمجيات مسؤولة عن تقديم خدمات البرمجيات الوظيفية. بينما تكون الروابط مسؤولة عن تقديم الخدمات الأمنية. وبذلك تكون معمارية البرمجيات قد صممت بطريقة تفصل بين متطلبات البرمجيات الوظيفية والغير وظيفية (النوعية) مما يجعل الانتقال بالبرمجيات الغير آمنة إلى برمجيات آمنة أمراً ممكناً وميسراً.

يستخدم مخطط دراسة حالات الاستخدام و مخطط الفئة لوصف المتطلبات الأمنية للبرمجيات. حيث يتم توسيع حالات الاستخدام الأمنية من حالات الاستخدام الوظيفية بعلاقة زيادة (extend)، وتستخدم العلاقة الوراثية بين الفئات الأمنية والفئات الوظيفية للبرمجيات في مخطط الفئات. كما تتألف معمارية البرمجيات من مكونات وظيفية وروابط بينها. لذلك فإن وظائف البرمجيات توزع على المكونات الوظيفية للمعمارية بينما توزع المتطلبات الأمنية من الوثوقية والسلامة وأحقية التداول على الروابط. وهكذا تكون الوظائف الأمنية للبرمجيات قد فصلت عن وظائف النظام و استخدمت مخططات لغة النمذجة الموحدة لتحقيق الهدف.

استخدمت أنماط التصميم (design patterns) لتقييم المخاطر الأمنية حيث عمل هولكيس وزملاءه [11] على تحليل معمارية البرمجيات بناء على العديد من أنماط التصميم المعروفة. حيث حددت فئات معروفة من الهجوم الأمني على البرمجيات و حددت أنماط تصميم أمنية لمواجهةها. تحلل معمارية البرمجيات لمعرفة مدى احتوائها على تلك الأنماط. استخدمت لغة النمذجة الموحدة لتمثيل معمارية البرمجيات حيث استخدم مخطط الفئة، ووثقت أنماط التصميم الأمنية ضمنه. ثم

تبنى شجرة الأخطاء من تحليل مخطط الفئة والتي تحوي على احتمال تعرض البرمجيات لهجوم أمني لمخالفتها انماط التصميم. ويقدر الخطر الأمني للبرمجيات بناء على شجرة الأخطاء.

يمثل الرسم البياني للهجوم في نظام المعمارية على أنه مجموعة من العقد والحواف. إن لهذه العقد والحواف احتمالات يتم تقييمها تمثل العقد نقاط الضعف (vulnerabilities) وتمثل الحواف الطرق التي يمكن استغلالها من قبل المهاجم للوصول إلى عقدة الهدف. حيث يتم تمثيل الرسم البياني للهجوم بنموذج رياضي مع رسم توضيحي لإظهار الطرق التي قد يستغلها المهاجم والتي تؤدي كنتيجة لإحداث فشل أمني على الروابط أو المكونات في معمارية البرمجيات.

أجرى جا وزملاءه [12] تحليل أمني باستخدام الرسم البياني للهجوم من أجل كشف الهجوم على نظم الشبكات وتم شرح الطريقة لتوليد الرسم البياني واعتمدوا على تقنية تحليل مصغرة والتي تسمح للمحللين لاختيار أصغر مجموعة من القياسات الأمنية والتي يمكن أن تضمن سلامة الأنظمة الأمنية. تم تطبيق منهجية الرسم البياني للهجوم على نظم مستخدمة ومنفذة وجاهزة. اقترحوا فينغ وزملاءه [13] نهج بالاعتماد على الرسم البياني للهجوم للقياسات الأمنية لبعض العناصر الحرجة في شبكات الحاسوب وتم استخدام الاحتمالات لحساب عوامل الخطر الأمني على الشبكة، وفي مقالاتهم لم يتم إدخال آثار الفشل الأمني للعناصر أو النظم في حسابات عوامل الخطر وتم تطبيق الرسم البياني للهجوم على نظم شبكات حاسوب جاهزة ومستخدمة. أظهر ليبمان وزملاءه [14] عن كيفية استخدام أداة NetSPA لتحليل قواعد جدار الحماية ونقاط الضعف من أجل بناء الرسم البياني للهجوم. تستخدم هذه الأداة NetSPA في توليد الرسم البياني للهجوم وتحليل النقاط والأماكن في الشبكة المعرضة لاستغلال من قبل المهاجم وقد تم تطبيق هذه الأداة على شبكة تحتوي على عدد كبير من المستخدمين.

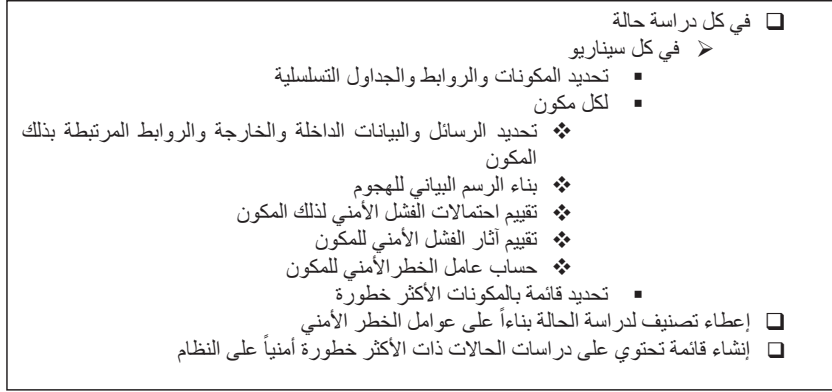
صنف هوليكس وزملاءه [11] المناهج الموجودة للتقييم الكمي لمخاطر البرمجيات الأمنية إلى فئتين. الأولى نهج يعتمد على حساب معدل الوقت اللازم لحصول الفشل الأمني و يستخدم نموذج ماركوف لتقييم المخاطر. و الثاني نهج تحليلي يعتمد على بناء شجرة أخطاء مع الأخذ بعين الاعتبار احتمالية حدوث الفشل الأمني والآثار الناجمة عنه.

ستناقش هذه الورقة منهج تحليلي يستخدم لغة النمذجة الموحدة لوصف الهجوم الأمني. حيث يستخدم المخطط التسلسلي مع الرسم البياني للهجوم وقياس مسطح الهجوم لتقييم المخاطر الأمنية في معمارية البرمجيات.

3 منهجية تقييم المخاطر الأمنية

في هذا القسم سيتم شرح الخوارزمية المتبعة لكل من مكونات معمارية البرمجيات. حيث نناقش كل خطوة من خطوات الخوارزمية. إن عملية تحليل المخاطر الأمنية المقترحة تتم عن طريق تحليل حالات الاستخدام و سيناريواتها . حيث يتم تحليل مجموعة من السيناريوات لكل حالة من حالات الاستخدام من أجل تقييم احتمالات الفشل الأمني وتقييم آثار هذا الفشل على المكونات والروابط. وبشكل خاص سنقوم باستخدام المخططات التسلسلية والتي تظهر كيفية تفاعل المكونات والروابط للنظام في ذلك سيناريو وتظهر الرسائل المتبادلة بين هذه المكونات والروابط [15]. يبين شكل 1 الخوارزمية المقترحة:

- 1- يتم تمثيل النظام بمجموعة من حالات الاستخدام ويتم تمثيل كل دراسة حالة بمجموعة من السيناريوات
 - 2- يتم دراسة وتحليل كل سيناريو بشكل منفصل باتباع الخطوات التالية:
 - أ. يتم إستخلاص المكونات والروابط والجداول التسلسلية بشكل مباشر من المخططات التسلسلية
 - ب. تتم دراسة كل مكون بشكل منفصل باتباع الخطوات التالية
 - إستخلاص الرسائل والبيانات الخاصة بالمكون والتي تساعد في إنشاء الرسم البياني له. يبين الرسم البياني للهجوم الطرق التي يمكن أن يستغلها المهاجم للوصول لذلك المكون.
 - تطبيق معادلات الرسم البياني للهجوم لتقييم احتمالات الفشل الأمني لذلك المكون.
 - تقييم آثار الفشل الأمني للمكون باستخدام مسطح القياس للهجوم والمخططات التسلسلية.
 - حساب عامل الخطر الأمني للمكون ويتم ذلك من حاصل ضرب احتمال الفشل الأمني للمكون
- ج. إنشاء قائمة تبدأ بالمكونات الأكثر خطراً وتنتهي بالمكونات الأقل خطراً أمنياً.



شكل 1: خوارزمية تقييم المخاطر الأمنية

3.1 تقييم احتمالات الفشل الأمني للمكونات

نناقش في هذا القسم تقييم احتمالات الفشل الأمني للمكونات في معمارية البرمجيات باستخدام الرسم البياني للهجوم والمخطط التسلسلي. حيث تتضمن هذه الخطوة مرحلتين، المرحلة الأولى إستخلاص الرسم البياني للهجوم من المخطط التسلسلي، والمرحلة الثانية تقييم احتمالات الفشل الأمني

3.1.1 المرحلة الأولى: إستخلاص الرسم البياني للهجوم:

نقدم في هذا القسم تعريفاً أولياً للمصطلحات المستخدمة في الرسم البياني للهجوم [14]. يمكن تمثيل الرسم البياني للهجوم كمجموعة من العقد والحواف. تمثل العقد نقاط الضعف والممثلة بالمكونات والرسائل وتمثل الحواف طرق الهجوم. يعرف الرسم البياني للهجوم بالمعادلة (1)

$$AG=(C_0, T, C_d, E, C_g) \quad (1)$$

C_0 = مجموعة من العقد الأولية $\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ ، وتعرف بنقاط التماس للنظام مع المحيط الخارجي وتكون من جهة العامل الخارجي

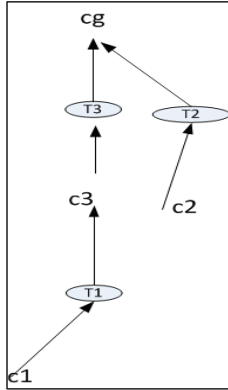
T = مجموعة عقد الاستغلال $\{T_1, T_2, \dots, T_m\}$ ، والتي تمثل الرسائل الداخلية بين العناصر، وتشمل أيضاً الرسائل بين نقاط التماس والمحيط الخارجي

C_d = مجموعة من العقد المتوسطة $\{cd_1, cd_2, \dots, cd_k\}$ والتي تمثل المكونات الداخلية للنظام

E = مجموعة الحواف الواصلة بين العقد والتي تمثل الروابط بين المكونات

C_g = العقدة الهدف.

يبين شكل 2 مخططاً تبسيطياً للرسم البياني للهجوم.



$$C_0 = \{c1, c2\}, T = \{T1, T2, T3\}, Cd = \{c3\}$$

شكل 2: مخططاً تبسيطياً للرسم البياني للهجوم

3.1.2 المرحلة الثانية: تقييم احتمالات الفشل الأمني:

نعرف الاحتمالات التالية اعتماداً على الرسم البياني [13]:

1. احتمال نجاح استغلال نقاط الضعف (exploit success probability) $Eprob(T)$ وتمثل احتمال نجاح المهاجم في استغلال نقاط الاستغلال T ويتم حسابها

أ. $Eprob(T) = 1/m$ لعقد الاستغلال المتصلة بالعقد الأولية ويمثل m عدد العقد الأولية

ب. $Eprob(T) = 1/d$ لعقد الاستغلال الداخلية ويمثل d عدد الرسائل الداخلة في المكون z والقادمة من المكون i مع الأخذ بعين الاعتبار الجداول التسلسلية.

2. الاحتمال المشروط للوصول للعقدة c (conditioned obtained probability) $Cprob(c)$

3. الاحتمال الناجح لعقدة الاستغلال (successful occurrence probability) وتعرف بالمعادلة (2)

$$Oprob(T) = Eprob(T).Cprob(c1) \dots Cprob(cn) \quad (2)$$

يحسب احتمال الوصول إلى العقدة الهدف Cg بالمعادلة (3)

$$Cporb(cg) = \sum_{i=1}^k Oporb(T_i) \quad (3) \quad (T_i \text{ عقدة الاستغلال المؤدي إلى عقدة الهدف})$$

3.1.3 منهجية إستخلاص الرسم البياني للهجوم من المخططات التسلسلية وحساب احتمالات الفشل الأمني للمكونات

ستتبع المنهجية الخطوات التالية مع الأخذ بعين الاعتبار الافتراضات المذكورة في الملحق أ

- 1- اختيار مكون كعقدة هدف.
- 2- عد المكونات المستخدمة في المخطط التسلسلي وليكن n .
- 3- عد كل من الرسائل والروابط لمكون عقدة الهدف.
- 4- عد الرسائل المباشرة للسيناريو مع المحيط الخارجي ونرمز لذلك بـ m . يمثل هذه العدد نفس عدد مجموعة العقد الأولية C_0 في الرسم البياني للهجوم وتحديد عدد الرسائل المباشرة للمكون إن وجد مع المحيط الخارجي.
- 5- تحديد مجموعة جزئية نرمز لها بـ T' ، من مجموعة عقد الاستغلال والتي تشكل الرسائل الخارجة والداخلية من مكونات العقد الأولية. حيث نفترض أن كل الرسائل الخارجة والداخلية من النظام لها نفس احتمال الفشل الأمني: المعادلة (4)

$$\forall t \in T' \quad Eprob(t) = \frac{1}{m} \quad (4)$$

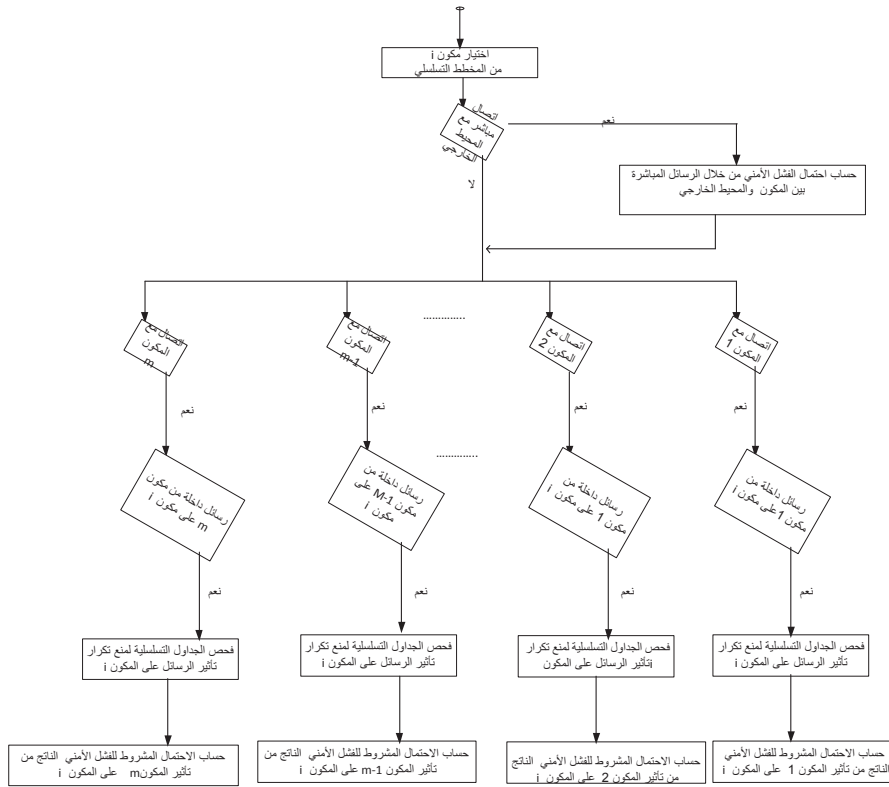
- 6- تحديد مجموعة جزئية من مجموعة العقد المتوسطة والتي تمثل المكونات الداخلية في المخططات التسلسلية
- 7- تحديد مجموعة جزئية من مجموعة عقد الاستغلال والتي تمثل الرسائل الداخلية في المخططات التسلسلية.
- 8- تعداد الخطوات 6 و 7 إلى أن يتم إشراك كل المكونات والروابط المؤدية للمكون الهدف.
- 9- نحسب مؤشر نقطة الضعف (Vulnerability Index) للسيناريو حيث يعرف مؤشر نقطة الضعف بنسبة عدد حالات نجاح الهجوم على النظام إلى العدد الكلي لحالات الهجوم و يشار إليه بالرمز (VInd) [17]
- 10- نستخلص في كل سيناريو الجداول التسلسلية للرسائل والتي تمثل تسلسل مجموعة من الرسائل لتنفيذ عمل معين. وتفيد هذه الجداول عدم تكرار دراسة تأثير رسالة على المكون المدروس. وتساعد أيضاً على تحديد العلاقات بين المكونات من خلال معرفة الرسائل المنقولة على الروابط وتساعد أيضاً على معرفة تأثير المكونات على بعضها البعض.
- 11- تشكيل مصفوفة تبادل الرسائل بين المكونات المستخدمة في السيناريو ونرمز لها ب M حيث أن $M(i,j)$ عدد الرسائل الداخلة من مكون i إلى مكون j ، يمكن تمثيل M كمصفوفة مربعة $M(n*n)$ حيث أن n هو عدد المكونات الكلي في السيناريو

$$M = \begin{bmatrix} 0 & \cdots & p_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ p_{n1} & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

- 12- إسناد قيمة (VInd) لكل من الاحتمالات المشروطة للوصول للعقد البدائية في المجموعة C_0 كما هو مبين في المعادلة 5.

$$\text{Prob}(c1)=\text{Prob}(c2)=\dots=\text{Prob}(cn)=VInd \quad (5)$$

- 13- إنشاء المخطط الشجري لاحتمالات للمكون الهدف مع الأخذ بعين الاعتبار أن الهجوم الأمني على المكون قد يتم بشكل مباشر أو غير مباشر. يؤخذ بعين الاعتبار الجداول التسلسلية للرسائل. يبين شكل 3 مخططاً تمثيلاً بسيطاً عن كيفية حساب احتمالات الفشل الأمني للمكونات في النظام الناتجة عن المحيط الخارجي وعن تأثير المكونات الأخرى على المكون المدروس.
- 14- إنشاء الرسم البياني للهجوم اعتماداً على الخطوات السابقة حيث يتم تطبيق معادلات احتمالات الرسم البياني للهجوم على كل عقدة من العقد.



شكل 3: المخطط الشجري لاحتمالات الفشل الأمني للمكون i

إن الطريقة التي نتبعها في إنشاء الرسم البياني للهجوم متوافقة والطريقة الأولى في تكوين شبكات البيس. إن شبكات بيسن (Bayesian Networks) تزود طريقة منهجية لبناء معلومات محتملة حول حالة بشكل مترابط ومتكامل وهي مدعومة بمجموعة من خوارزميات الاستقصاء [16]. كما تستخدم هذه الشبكات كأداة للنمذجة والاستجواب في ظل الغموض وهي تستخدم في كثير من التطبيقات. إن من أحد المزايا الهامة لهذه الشبكات هو التوزيع الاحتمالي الذي يتوافق ويولي القيود في هذه الشبكات ووجود الخوارزميات لحساب هذه الاحتمالات دون الحاجة لتوليد احتمالات التوزيع الخلفية والأولية. يمكن توليد شبكات البيس في ثلاث طرق. تعتمد الطريقة الأولى على معرفة الأشخاص للنظام حيث يتم تحويل هذه المعرفة إلى شبكات بيسن. تعتمد الطريقة الثانية على معلومات أولية للنظام والتي تساعد على بناء آلي لشبكات بيسن. تعتمد الطريقة الثالثة على أسلوب التعلم من البيانات بافتراض أن هذه البيانات متوفرة، وفي نهاية الأمر يتم توليد ما يسمى بجدول الاحتمالات الشرطية (Conditional Probability Table CPT).

3.2 تقييم آثار احتمالات الفشل الأمني

نناقش في هذا القسم بشكل موجز عن الأسلوب المستخدم لتقييم آثار احتمالات الفشل الأمني على المكونات والروابط والنظام باستخدام قياس مسطح الهجوم والمخطط التسلسلي. حسب [9] نعرف قياس مسطح الهجوم من خلال

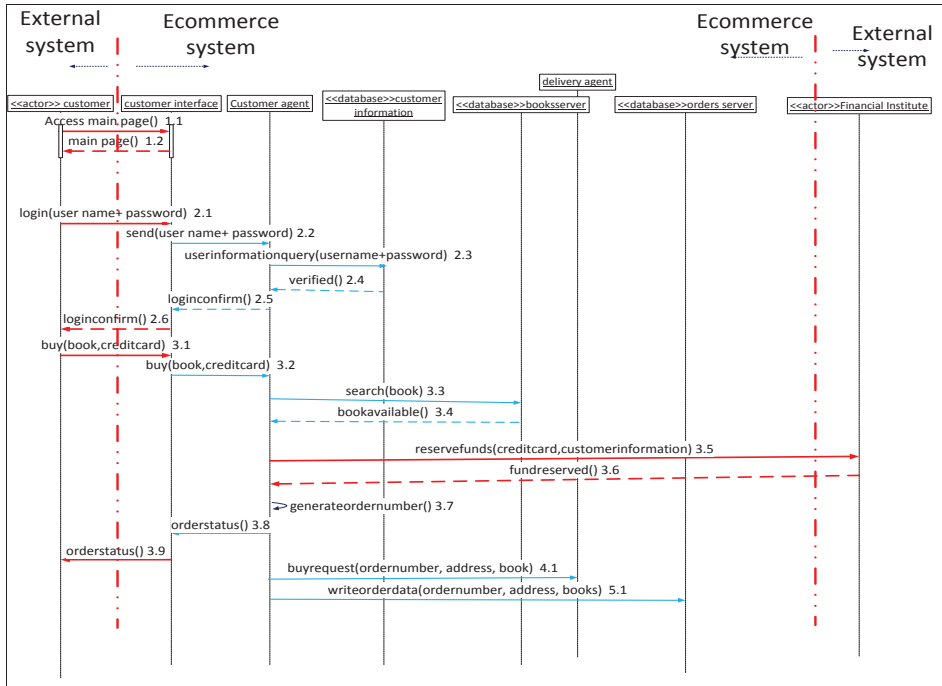
- 1- الرسائل التي يتم تنفيذها من قبل مكونات النظام
- 2- البيانات التي تتناقل بين مكونات النظام
- 3- الروابط التي تنقل الرسائل والبيانات بين مكونات النظام
- 4- حقوق النفاذ أو الوصول للرسائل والبيانات والروابط (access rights)
- 5- امتيازات تنفيذ الرسائل أو البيانات أو الروابط (privilege)

نعتبر الرسائل والبيانات والروابط هي المصادر التي يمكن للمهاجم أن يستخدمها لتنفيذ هجوم أو اختراق أمني على النظام. نعرف أيضاً في هذه الفقرة نسبة الضرر/الجهد لتقييم آثار احتمالات الفشل الأمني على المكونات والروابط. يشير الضرر إلى مستوى التلف الناتج عن الهجوم الأمني على النظام باستخدام أحد مصادر النظام المعرفة أعلاه ويتم تقييم الضرر اعتماداً على امتيازات المصادر. يشير الجهد إلى المسمى الميزول من قبل المهاجم للحصول على حقوق النفاذ للمصادر في الهجوم الأمني على النظام ويتم تقييم الجهد اعتماداً على حقوق النفاذ. سوف نكتفي في هذه الورقة بهذا الشرح لتقييم آثار احتمالات الفشل الأمني ويتم التركيز على تقييم احتمالات الفشل الأمني للنظام.

4 دراسة حالة:

ندرس في هذا القسم مثال التجارة الإلكترونية ونطبق منهجية تقييم المخاطر الأمنية المقترحة على هذا المثال والتي تساعد الزبون والمزود على التواصل من خلال الشبكة الإلكترونية. إن تأمين وحماية بيانات وتناقلات المستخدم يعتبر غاية في الأهمية في هذا النوع من التطبيقات لاسيما أن المستخدم يضع بعض البيانات الخاصة كالعنوان والاسم وبطاقات الائتمان وبيانات المصارف في بنية البيانات. ومن الأهمية أيضاً ذكر أن هذه المعلومات يتم نقلها عبر شبكة الانترنت. إن الاختراقات الأمنية لمثل هذه التطبيقات ينتج عنه آثار سلبية على تطبيقات التصرف وعلى قواعد الأعمال والتي قد ينتج عنها خسائر مالية عالية في الشركات والاقتصاد. يسمح المثال المدروس للزبون أن يتصفح المنتجات من خلال الشبكة الإلكترونية وأن يشتري منتج. ويقوم الزبون بإدخال معلومات التسجيل والمعلومات الشخصية والمالية وبعد ذلك يقوم النظام بإجراءات التأكيد على معلومات الزبون الشخصية ويقوم أيضاً بالاتصال مع الجهة المالية كي يتم حجز الدفعات المالية المطلوبة لإتمام التناقل. يبين المخطط التسلسلي لمثال التجارة الإلكترونية. تتم دراسة الحالة على سيناريو شراء كتاب. يبين شكل 4 المخطط التسلسلي لسيناريو شراء كتاب. سوف يتم اختيار المكون وكيل الزبون (customer agent) ودراسة هذا المكون من خلال إنشاء المخطط الشجري للاحتتمالات والرسم البياني للهجوم بشكل مفصل وتقييم احتمالات الفشل الأمني لهذا المكون. يفترض المثال المدروس في هذه الفقرة الأمور التالية:

- 1- يمكن تطبيق المثال على جميع المستخدمين كالمستخدم العادي، الزبون، مدير النظام، والمهاجم. إن حساب احتمالات الفشل الأمني لا يتعلق بطبيعة المستخدم، ولكن آثار الفشل الأمني تأخذ بعين الاعتبار طبيعة المستخدم والسبب في ذلك هو أن كل مستخدم له امتيازات وحقوق نفاذ تختلف عن المستخدم الآخر وهذه الامتيازات والحقوق لها تأثيرات مختلفة في تنفيذ الرسائل أو تغيير البيانات. المدير مثلاً على سبيل المثال له امتيازات وحقوق نفاذ يمكن من خلالها تغيير البيانات بالكامل.
- 2- نصنف المكونات في النظام إلى قسمين: مجموعة 1 من المكونات التي ترتبط بالمحيط الخارجي و مجموعة 2 من المكونات التي لا تتصل بالمحيط الخارجي. نفترض أن الاختراقات الأمنية على المجموعة 1 يمكن أن تتم من خلال الرسائل الداخلة والخارجة في الجداول التسلسلية. ونفترض أن الاختراقات الأمنية على المجموعة 2 يمكن أن تحدث من خلال الرسائل الداخلة فقط.



شكل 4: المخطط التسلسلي لسيناريو شراء كتاب

حسب الخوارزمية العامة في قسم 3 شكل 1 يتم تحديد المكونات والروابط التي يتكون منها النظام المدروس وفي هذه الحالة هي كما يلي:
المكونات:

- الزبون (customer) (عامل خارجي)، المعهد المالي (financial institute) (عامل خارجي).
- المكون 1 واجهة الزبون (customer interface)
- المكون 2 وكيل الزبون (customer agent)
- المكون 3 وكيل التسليم (delivery agent)
- المكون 4 قاعدة بيانات معلومات الزبون (customer information database)
- المكون 5 قاعدة بيانات الكتب (bookserverdatabase)
- المكون 6 قاعدة بيانات الطلبات (orderserver database)

الروابط

- الرابط 1 (connector 1) الزبون:: واجهة الزبون
- الرابط 2 (connector 2) واجهة الزبون:: وكيل الزبون
- الرابط 3 (connector 3) وكيل الزبون:: قاعدة بيانات معلومات الزبون
- الرابط 4 (connector 4) وكيل الزبون:: قاعدة بيانات الكتب
- الرابط 5 (connector 5) وكيل الزبون:: وكيل التسليم
- الرابط 6 (connector 6) وكيل الزبون:: المعهد المالي

حسب الافتراض 4 في الملحق أ سوف يتم اختيار مكون وكيل الزبون لإنشاء الرسم البياني للهجوم وذلك لاتصاله بالمحيط الخارجي.

سيتم تطبيق المنهجية التي تم شرحها في بند 3.1.3 على المخطط التسلسلي للحالة المدروسة في شكل 4

- 1- اختيار المكون وكيل الزبون كعقدة هدف g
- 2- العدد الكلي للمكونات في النظام هو 6
- 3- يبين جدول 1 الرسائل والروابط للمكون وكيل الزبون

Send (username, password), userinformationquery(username, password), verified(), loginconfirm(), buybook(book, creditcard), search(book), bookavailable(), reservefunds(creditcard, customerinformation), fundreserved(), generateordernumber(), orderstatus(), buyrequest(ordernumber, address, book), writeorderdata(ordernumber, address, books)	رسائل المكون وكيل الزبون
Connector2, connector3, connector4, connector5, connector6, connector 7	روابط المكون وكيل الزبون

جدول 1: الرسائل والروابط للمكون وكيل الزبون

- 4- عدد الرسائل المباشرة للنظام مع المحيط الخارجي $m=8$ وعدد الرسائل المباشرة للمكون وكيل الزبون مع المحيط الخارجي هو 2 كما هو مبين في شكل 4. يمكن تشكيل مجموعة العقد الأولية $C_0 = \{C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6, C_7, C_8\}$ من المخطط التسلسلي يمكن استنتاج أن للمكون وكيل الزبون اتصالين مع المحيط الخارجي وهما C_7, C_8 .
- 5- تحديد مجموعة جزئية نرمز لها بـ T' ، من مجموعة عقد الاستغلال والتي تشكل الرسائل الخارجة والداخلية من مكونات العقد الأولية $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6, T_7, T_8$. تمثل عقد الاستغلال هذه الرسائل الداخلة والخارجة للنظام مع المحيط الخارجي. يمكن أن نكتب حسب المعادلة (4):

$$Eprob(T_1)=Eprob(T_2)=...=Eprob(T_8)=1/8$$
- 6- تنتهي عقد الاستغلال هذه $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6$ في العقدة المتوسطة واجهة الزبون ونرمز لهذه العقدة بالرمز C_{ci} . تنتهي عقد الاستغلال هذه T_7, T_8 بالعقدة الهدف g
- 7- من المخطط التسلسلي يمكن استنتاج أن للمكون واجهة الزبون اتصالات مع المكون وكيل الزبون عبر عقد الاستغلال (T_{ia3}, T_{ia1}) . تنتهي عقد الاستغلال هذه (T_{ia3}, T_{ia1}) بالعقدة الهدف g
- 8- تعاد الخطوات 6 و 7 حتى يتم إشراك كل المكونات والروابط التي قد تدخل في الطرق المؤدية للمكون الهدف.
- 9- نرمز لمؤشر نقطة الضعف بالرمز $(VInd)$ وتقدر قيمة هذا المؤشر من قبل خبير كما هو مبين في النقطة 4 من الملحق أ
- 10- يمكن إستخلاص الجداول التسلسلية من المخطط التسلسلي شكل 4

أ. الجدول التسلسلي 1: $Accessmainpage() \{1.1\} \rightarrow mainpage() \{1.2\}$

ب. الجدول التسلسلي 2: $login(username, password) \{2.1\} \rightarrow send(username, password) \{2.2\} \rightarrow userinformationquery(username, password) \{2.3\} \rightarrow verified() \{2.4\} \rightarrow loginconfirm() \{2.5\} \rightarrow loginconfirm() \{2.6\}$

ج. الجدول التسلسلي 3: $buybook(book, creditcard) \{3.1\} \rightarrow buybook(book, creditcard) \{3.2\} \rightarrow search(book) \{3.3\} \rightarrow bookavailable() \{3.4\} \rightarrow reservefunds(creditcard, customerinformation) \{3.5\} \rightarrow fundreserved() \{3.6\} \rightarrow generateordernumber() \{3.7\} \rightarrow orderstatus() \{3.8\} \rightarrow orderstatus() \{3.9\}$

د. الجدول التسلسلي 4: $buyrequest(ordernumber, address, book) \{4.1\}$

هـ. الجدول التسلسلي 5: $writeorderdata(ordernumber, address, book) \{5.1\}$

11- يتم تشكيل مصفوفة تبادل الرسائل M من شكل 4 والجدول التسلسلية في نقطة 10

$$M = \begin{bmatrix} 0 & 2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 2 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

12- إسناد قيمة مؤشر نقطة الضعف إلى الاحتمالات المشروطة للعقد البدائية في المجموعة C_0

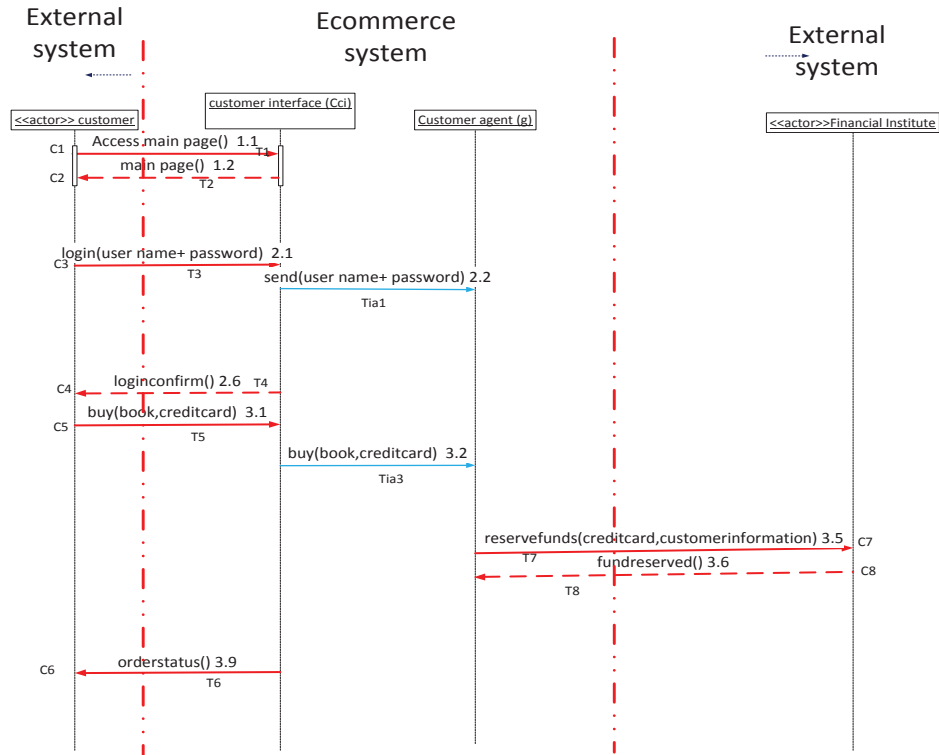
$$C_{\text{porb}}(C1) = C_{\text{porb}}(C2) = C_{\text{porb}}(C3) = C_{\text{porb}}(4) = C_{\text{porb}}(5) = C_{\text{porb}}(6) = C_{\text{porb}}(7) = C_{\text{porb}}(8) = V_{\text{Ind}}$$

13- تقييم احتمالات الفشل الأمني وإنشاء الرسم البياني للهجوم: يبين شكل 5 مخططاً تسلسلياً مع اعتبار المكون وكيل الزبون كعقدة هدف، ويبين أيضاً مجموعة العقد الأولية ومجموعة عقد الاستغلال. ويبين شكل 6 الرسم البياني للهجوم على المكون وكيل الزبون.

يمكن حساب الاحتمال التاجح لعقد الاستغلال في المجموعة T' حسب المعادلة (2):

$$O_{\text{prob}}(T1) = E_{\text{prob}}(T1) * C_{\text{porb}}(C1) = V_{\text{Ind}}/8$$

$$O_{\text{prob}}(T2) = O_{\text{prob}}(T3) = O_{\text{prob}}(T4) = O_{\text{prob}}(T5) = O_{\text{prob}}(T6) = O_{\text{prob}}(T7) = O_{\text{prob}}(T8) = V_{\text{Ind}}/8$$



شكل 5 مخططاً تسلسلياً مع اعتبار المكون وكيل الزبون كعقدة هدف

يتم حساب احتمال الوصول إلى العقدة واجهة الزبون حسب المعادلة (3)

$$Cprob(C_{ci}) = Oprob(T1) + Oprob(T2) + Oprob(T3) + \dots + Oprob(T6) = VInd * \left(\frac{6}{8}\right)$$

يمثل C_{ci} واجهة الزبون والتي من الممكن استغلاله عبر الرسائل التي تربط الزبون (عامل خارجي) مع النظام (واجهة الزبون) وعدد هذه الرسائل هو 6 كما هو مبين في شكل 4. تمثل عقد الاستغلال T_{ia1}, T_{ia3} الرسائل الداخلة من المكون واجهة الزبون إلى المكون الهدف وكيال الزبون وعدد هذه الرسائل هو 2 ويمكن الحصول على هذه العدد من المصفوفة M حسب النقطة 11 أعلاه $M(1,2)=2$. إن العدد الكلي للرسائل المتبادلة بين المكونين واجهة الزبون ووكيل الزبون $M(1,2)+M(2,1)=4$.

ويتم حساب احتمال نقاط الاستغلال الداخلية حسب المعادلة المبينة في القسم 3.1.2

$$Eprob(T_{ia1}) = Eprob(T_{ia3}) = \frac{1}{4}$$

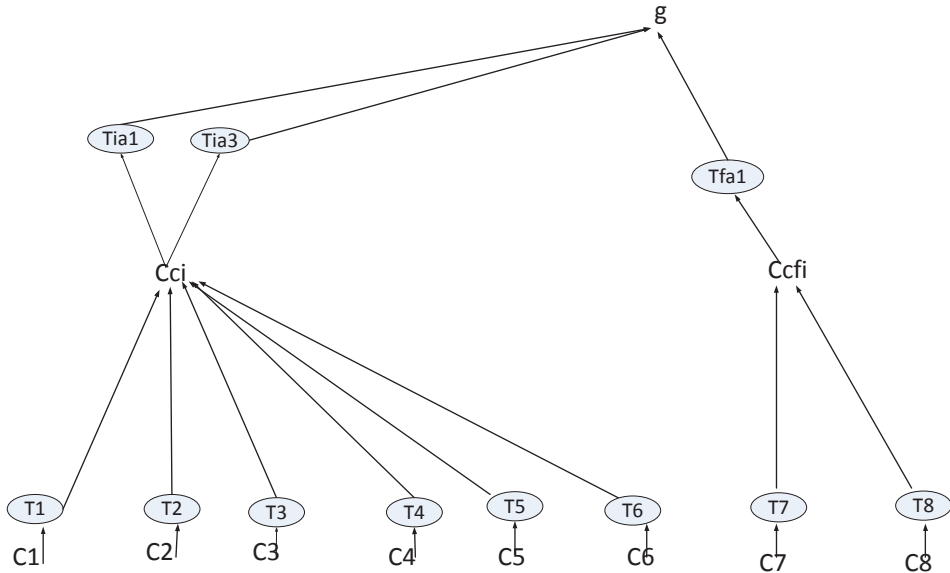
يتم حساب الاحتمال الناتج لعقد الاستغلال الداخلية T_{ia1}, T_{ia3} حسب المعادلة (2):

$$Oprob(T_{ia1}) = Eprob(T_{ia1}) * Cprob(T_{ia1}) = \frac{1}{4} * VInd * \left(\frac{6}{8}\right)$$

$$Oprob(T_{ia3}) = Eprob(T_{ia3}) * Cprob(T_{ia3}) = \frac{1}{4} * VInd * \left(\frac{6}{8}\right)$$

يتم حساب احتمال الوصول إلى العقدة الهدف وكيال الزبون حسب المعادلة (3)

$$Cprob(g) = Oprob(T7) + Oprob(T8) + Oprob(T_{ia1}) + Oprob(T_{ia3}) = \frac{5}{8} VInd$$



شكل 6: الرسم البياني للهجوم على المكون وكيال الزبون في سيناريو شراء كتاب

يمكن استنتاج احتمالات الفشل الأمني لكل مكون من مكونات النظام عن طريق إنشاء الرسم البياني للهجوم. يبين جدول 2 احتمالات الفشل الأمني للمكونات في النظام في سيناريو شراء كتاب.

المكون	احتمال الفشل الأمني
واجهة الزبون	$\frac{6.5}{8} VInd$
وكيل الزبون	$\frac{5}{8} VInd$
وكيل التسليم	$\frac{5}{8} VInd$
قاعدة بيانات الزبون	$\frac{3}{16} VInd$
قاعدة بيانات الكتب	$\frac{3}{16} VInd$
قاعدة بيانات الطلبات	$\frac{5}{8} VInd$

جدول 2: احتمالات الفشل الأمني للمكونات في النظام في سيناريو شراء كتاب

يظهر جدول 2 أن المكون واجهة الزبون له الحصة الأكبر في احتمالات الفشل الأمني ويعود ذلك إلى عدد الرسائل المباشرة لهذا المكون مع المحيط الخارجي.

5 الختام والعمل المستقبلي

قدمنا في هذه الورقة منهجية لتقييم احتمالات الفشل الأمني للمكونات اعتماداً على الرسم البياني للهجوم والمخطط التسلسلي. والتي يمكن استخدامها في المراحل الأولية من دورة حياة البرمجيات على مستوى المكونات والروابط. لم تظهر الدراسات السابقة أية تحليلات لعوامل الخطر الأمني بالطريقة التي اتبعناها في الحسابات حيث أن معظم الدراسات السابقة أظهرت تحليلات أمنية في المراحل المتأخرة من دورة حياة البرمجيات وخاصة على مستوى الترميز (بعد تنفيذ النظم). وقدمنا بشكل موجز الهيكل العام للخوارزمية التي يتم اتباعها في تحليل عوامل الخطر الأمني في معمارية البرمجيات. اعتمدنا في تقييم احتمالات الفشل الأمني على مصادر النظام من مكونات وروابط والتي يمكن استخراجها من سيناريوهات ودراسات الحالات. ثم تم إنشاء الرسم البياني للهجوم لكل مكون من مكونات النظام في سيناريو محدد. إن المنهجية المتبعة في هذه الورقة معتمدة على طريقة التحليل الشامل لبيانات النظام.

سيتم التركيز في العمل المستقبلي على إكمال حسابات عوامل الخطر الأمني في معمارية البرمجيات من خلال تقييم آثار الفشل الأمني للمكونات والروابط باستخدام قياس مسطح الهجوم والمخطط التسلسلي كما هو مشروح في الفقرة 3.2 وحساب عوامل الخطر الأمني للمكونات والروابط والنظام. وسوف يتم العمل على تعميم هذه المنهجية على كل النظم التي يراد حساب عوامل الخطر الأمني لها. كما وسنعمل على استخدام شبكات بييس في بناء الرسم البياني.

يعتبر هذا العمل في مجال تقييم عوامل الخطر الأمني للنظم الخطوة الأولية والهامة لإدخال الحسابات الأمنية لمعمارية البرمجيات في المراحل المبكرة من دورة حياة البرمجيات والتي تساعد على دمج وإشراك التحليل الأمني للنظم مع التحليلات الأخرى كالفعالية والموثوقية.

6 جدول الألفاظ

عربي	انجليزي
الرسم البياني للهجوم	Attack graph
قياس مسطح الهجوم	Attack surface metric
الرابط	Connector

المكون	Component
واجهة الزبون	Customer interface
وكيل الزبون	Customer agent
حقوق النفاذ	Access rights
الامتيازات	Privileges
الجداول التسلسلية	Schedules
نسبة الضرر/الجهد	Damage/effort ratio
مؤشر نقطة الضعف	Vulnerability Index
معمارية البرمجيات	Software Architecture
لغة النمذجة الموحدة	UML (Unified Modeling Language
شبكات بيسن	Bayesian Networks
جدول الاحتمالات الشرطية	Conditional Probability Table CPT
الاحتمال الناجح لعقدة الاستغلال	Successful Occurrence Probability
احتمال الحصول على الشرط	Conditioned Obtained Probability
احتمال نجاح استغلال	Exploit Success Probability
أنماط التصميم	Design patterns
مخطط الفئة	Class diagram
المتطلبات الغير وظيفية	Non-functional requirements
خصائص النوعية	Quality attributes
المخطط التسلسلي	Sequence Diagram

7 الخلاصة باللغة الانجليزية

Title: Security Risk Assessment of Software Architecture

Abstract: Security risk assessment is an essential and important stage in managing and developing the software. Performing security risk assessment at the early phases of software life cycle using Unified Modeling Language (UML) is an important and useful tool for the managers and developers that will help them enhance the security of the software architectures and reduce cost on the long and short terms. The security risks assessment must be an integrated part of software development and more specifically at the early phases of software life cycle. Building security risk analysis models at the software architectural level will help identify the high security risk components and connectors and reduce the severity of security failures of these elements in the software architecture, and this can be done by building models to assess the security risks based on the data collected at the early phases of software lifecycle. These models help identify the risk components and connectors at the software architecture.

In this paper, we present security risk assessment methodology that could be used at the early phases of software life cycle by using (UML), Attack graphs, and Attack Surface Metric. Probability of security failure is estimated for components and connectors in each scenario based on the UML and Attack graph, and the consequences of such failures on the components and connectors are estimated. Components and connectors are classified into groups depending on

the values of security risk factors for each component and connector. This classification would help to show the components and connectors with high security risk factors and the necessity to develop them to prevent any security failure.

Keywords: Software Architecture, Attack Graph, Unified Modeling Language, Attach Surface Metric, Probability of Security Failure, Security Risk Factors.

ملحق أ

يتم افتراض الأمور التالية عند إستخلاص الرسم البياني للهجوم من المخططات التسلسلية وحساب احتمالات الفشل الأمني للمكونات:

- 1- نفترض أن المخطط التسلسلي معطى من قبل مصممي النظام.
- 2- نفترض أن الهجوم الأمني يمكن أن يتم على النظام من أي مدخل وبنفس الاحتمالية. يمكن أن تتغير هذه الفرضية بالحصول على معلومات أكثر والتي تساعد على إضافة متغيرات في محتوى معادلات احتمالات الرسم البياني للهجوم.
- 3- يتم الحصول على مؤشر نقطة الضعف (VInd) من جهات ذو خبرة واختصاص.
- 4- نبدأ دائماً في حساب الاحتمالات بالمكونات التي لها اتصال مباشر مع المحيط الخارجي، ثم ننقل للمكونات التي تليها و ننتهي بالمكونات الداخلية. والسبب في اتباع هذا الأسلوب هو أن المكونات التي لها اتصال مباشر مع المحيط الخارجي هي المفتاح للدخول على النظام وإحداث الفشل الأمني، كنتيجة ننقل هذه المكونات هذا الاختراق الأمني إلى المكونات الداخلية من خلال الروابط والرسائل التي تنقل البيانات. يتم بعد ذلك دراسة تأثير الفشل الأمني للمكونات على بعضها.
- 5- يؤخذ بعين الاعتبار التسلسل الزمني لتنفيذ الرسائل في الجدول التسلسلية (schedules) ويساعد ذلك في بناء الرسم البياني للهجوم ومعرفة تحديد اتجاهات الحواف بين المكونات.
- 6- يتم اعتبار أن هجوم واحد فقط على النظام.

8 المصادر والمراجع

1. Pressman, R.S., *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. 5th ed. 2001: McGraw-Hill Science.
2. Fenton, N.E. and S.L. Pfleeger, *Software Metrics: A Rigorous and Practical Approach*. 1998: PWS Publishing Company.
3. Boehm, B.W., *A spiral model of software development and enhancement*. IEEE Computer, 1988. 21(5): p. 61 - 72
4. Howard, M., J. Pincus, and J.M. Wing, *Measuring Relative Attack Surfaces*. in *Workshop on Advanced Developments in Software and Systems Security*. 2003.
5. Davis, N., et al., *Processes for Producing Secure Software Summary of US National Cybersecurity Summit Subgroup Report*. IEEE Security and Privacy, 2004. 2(3): p. 18-25.
6. McGraw, G., *Software Security Building Security In*. 2006: Addison-Wesely.
7. Goseva-Popstojanova, K., et al., *Architectural-Level Risk Analysis Using UML*. Transactions on Software Engineering, 2003. 29(10): p. 946-960.

- 8 . Cortellessa, V., et al., *Model-Based Performance Risk Analysis*. Transactions on Software Engineering, 2005. 31(1): p. 3-20.
- 9 . Manadhata, P.K. and J.M. Wing, *An Attack Surface Metric*. IEEE Transactions on Software Engineering, 2010.
- 10 . Shin, M.E. and H. Gomaa, *Software requirements and architecture modeling for evolving non-secure applications into secure applications*. Science of Computer Programming 2007. 66 p. 60–70.
- 11 . Halkidis, S.T., et al., *Architectural Risk Analysis of Software Systems Based on Security Patterns*. IEEE TRANSACTIONS ON DEPENDABLE AND SECURE COMPUTING, 2008. 5(3): p. 129-142.
- 12 . Jha, S., O. Sheyner, and J.M. Wing, *Two Formal Analyses of Attack Graphs* in *15th IEEE Computer Security Foundations Workshop (CSFW'02)*. 2002, IEEE Computer Society: Cape Breton, Nova Scotia, Canada. p. 49.
- 13 . Feng, C. and S. Jin-Shu, *A Flexible Approach to Measuring Network Security Using Attack Graphs*, in *International Symposium on Electronic Commerce and Security*. 2008, IEEE Computer Society. p. 426-431.
- 14 . Lippmann, R., et al., *Validating and Restoring Defense in Depth Using Attack Graphs* in *Military Communications Conference MILCOM 2006*. 2006, IEEE Washington, DC, USA p. 1-10.
- 15 . Booch, G., J. Rumbaugh, and I. Jacobson, *The Unified Modeling Language User Guide*. 1999: Addison Wesley.
- 16 . Darwiche, A., *Bayesian networks*. Communications of the ACM, 2010. 53(12): p. 80.
- 17 . Sharma, V. and K. Trivedi, *Architecture based analysis of performance, reliability and security of software systems*, in *5th international workshop on Software and performance (WOSP'05)*. 2005, ACM: Palma de Mallorca, Spain. p. 217- 227.



الجلسة الثانية

مرسوم مراقبة التنقل للشبكة اللاسلكية المشبكة

طنجاوي جمال¹

كافي محمد أمين¹

1: مركز البحث في الإعلام العلمي و التقني. ص.ب 16000. الجزائر العاصمة. الجزائر.

dtandjaoui@mail.cerist.dz

kafi@mail.cerist.dz

الخلاصة

تعدّ الإنتاجية واحدة من بين الاهتمامات الكبرى بالنسبة للشبكة اللاسلكية المشبكة. إنّ آلية مراقبة الازدحام المكوّنة لمراسم مراقبة التنقل النموذجية [7] لا يمكنها التحكم بعناية في القنوات اللاسلكية المشتركة المتعددة الخطوات وهذا نظرا للخصائص المتعلقة بهذه الأخيرة. وبالنظر إلى أن الصلات اللاسلكية غير الوفيّة بطبيعتها والازدحام من المحتمل أن يكونا مصدرا لتدهور الإنتاجية في الشبكة، فإنّ إنشاء مرسوم مراقبة تنقل موثوق و فعال أخذ بعين الاعتبار خصائص الوصلات اللاسلكية يمكن أن يحسّن بشكل كبير أداء هذه الشبكات.

تعرض هذه الورقة مرسوم مراقبة تنقل جديد و المسمّى " مرسوم مراقبة التنقل المشبك" والذي يضمن الاحتياجات المذكورة أعلاه. نتائج المحاكاة تبين أن المرسوم المشبك يتفوّق على مرسوم مراقبة التنقل النموذجي ومشتقاته الخاصة بالشبكة اللاسلكية و هذا من حيث الموثوقية و التحكم في الازدحام.

الكلمات الجوهرية: الشبكة اللاسلكية المشبكة؛ مرسوم التنقل؛ مرسوم مراقبة التنقل النموذجي ؛ الموثوقية؛ مراقبة الازدحام.

1. مقدّمة

الشبكات اللاسلكية المشبكة [1] تقوم بتنظيم ذاتي باستمرار، حيث أنّ العقد تشكل تلقائيا شبكة، و تسعى باستمرار للحفاظ على الاتصال داخل هذه الشبكة. وتتألف من نوعين من العقد : أجهزة التوجيه المشبكة و عملاء الشبكة اللاسلكية المشبكة.

من خلال الاتصالات المتعددة الخطوات، يمكن لأجهزة التوجيه المشبكة ضمان تغطية نفس حيز الاتصالات كما هو الحال في التقنيات بعيدة المدى ولكن مع أقل استهلاك للطاقة. قد يكون جهاز التوجيه المشبك مجهزا بأكثر من جهاز إرسال واحد و يتحمل تكنولوجيات إرسال مختلفة. يمكن تصنيف هندسة تغطية الشبكة إلى ثلاث مجموعات اعتمادا على الوظائف الأساسية للعقد : (أ) الشبكة ذات البنية التحتية (أجهزة التوجيه تشكل شبكة البنية التحتية للعملاء) ، (ب) شبكة العملاء (تبني الشبكة المشبكة من قبل عملاء فقط)، (ج) الشبكة الهجينة (مزيج من النوعين السابقين). يمكن توسعة الشبكة المشبكة بطريقة تدريجية تصاعدية. كلّما يتم تثبيت أكبر عدد من العقد، نحصل على زيادة في الموثوقية وزيادة الاتصال في الشبكة بناء على ذلك.

إن طبقات المراسيم تحتاج إلى إعادة هيكلة للتماشي مع احتياجات هذه الفئة من الشبكات نظرا لاختلاف الخصائص مع الشبكات السلكية. حاليا ، لا يوجد أي مرسوم نقل موثوق ومقترح خصيصا للشبكة اللاسلكية المشبكة. مع ذلك ، عدة مراسيم نقل متوفرة للشبكات اللاسلكية "منعدمة البنية التحتية" ([2] ، [5] ، [8]...) يمكن تصنيف مراسيم النقل الموثوقة إلى نوعين : مشتقات مرسوم مراقبة التنقل النموذجي و مراسيم النقل ذات استراتيجيات مراقبة مختلفة.

يبدو أنّ مشتقات مرسوم مراقبة التنقل النموذجي هي التقنية الأنسب لتوافق إستراتيجيتها من حيث مبدأ العمل مع الشبكات القائمة حاليا. مع ذلك ، استخدام مرسوم مراقبة التنقل النموذجي يظهر تدهورا في الأداء في الشبكات اللاسلكية. هذا بسبب معالجته لمشكلة المعطيات المفقودة بسبب الوصلات اللاسلكية على أساس أنها فقدت بسبب الازدحام و يفعل بذلك آليات التحكم في الازدحام .

في هذه الورقة، نقدّم مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة. مساهمتنا في هدفها الرئيسي ترمي إلى تكيف

مرسوم مراقبة التنقل النموذجي لبيئة الشبكات المشبكة و التعامل مع العوائق المعروفة لمرسوم مراقبة التنقل النموذجي في البيئات اللاسلكية .

يتكوّن مرسوم مراقبة التنقل المشبك من طبقة وسيطة بين طبقة تسيير الشبكة وطبقة نقل المعطيات، و يفرّق بين ضياع المعطيات الناتج عن الازدحام – إذ يبقى سلوك مرسوم مراقبة التنقل النموذجي في حالة الازدحام- والضياع الناتج عن البيئة اللاسلكية-والتي يجب حينها إعادة إرسال المعطيات (في حالة ضياعها) أو تعليق الإرسال مؤقتاً (في حالة انقسام شبكة الاتصال) . إضافة إلى ذلك، يأخذ مرسوم مراقبة التنقل المشبك في الاعتبار آثار تغيرات الطريق داخل الشبكة أثناء استخدام مرسوم تسيير الشبكة ذو معيار نوعية الخدمة أثناء انقضاء الطريق . من أجل تقييم مرسوم مراقبة التنقل المشبك، أجريت عدة اختبارات محاكاة باستخدام برنامج المحاكاة "ن.س2". النتائج المتحصل عليها تدعم نهجنا وتبين أن مرسوم مراقبة التنقل المشبك يعطي أداء أفضل مقارنة مع أداء مرسوم مراقبة التنقل النموذجي[7] ومشتقاته الخاصة بالشبكة اللاسلكية . تنظّم بقية الورقة على النحو التالي. يصف القسم الثاني بعض الأعمال السابقة والتي لها علاقة بالعمل المقدم. أما القسم الثالث فهو يعطي وصفا مفصلا للمرسوم المقترح. ويخصص القسم الرابع لتقييم الأداء والمحاكاة ، وأخيرا القسم الخامس عبارة عن تلخيص مع إبداء وجهات النظر المستقبلية .

2. الأعمال ذات الصلة :

في مرسوم مراقبة التنقل النموذجي[7]، يفترض أن كلّ ضياع للمعطيات المرسله ناجم عن الازدحام وسوف يؤدي إلى تفعيل نظام مراقبة التدفق المعتمد على مبدأ نافذة المعطيات ونظام مراقبة الازدحام. وهذا النمط يحمل مرسوم مراقبة التنقل النموذجي على تقليل سرعة انتقال المعطيات. ولكن هذا الرد لا يعدّ حكيما عندما لا يكون السبب هو الازدحام ولكن ضياع للمعطيات بسبب أخطاء الذبذبات اللاسلكية أو فشل في إيجاد طريق إلى المرسل إليه. وسوف يؤدي هذا السلوك إلى إنتاجية منخفضة خاصة في ظل شبكة لاسلكية متعددة الخطوات .

الخلط بين الفشل في إيجاد الطريق وازدحام الشبكة ونتيجة لذلك تفعيل نظام مراقبة الازدحام أمر لا ينصح به، لأنها ظواهر مستقلة و يجب أن يتعامل معها بشكل مختلف. وبالتالي اقترح نظام يدعى مرسوم مراقبة التنقل ذو المعلومات في الاتجاه المعاكس[2]. هذا المخطط يمكن العقدة المرسله للمعلومات من التعرف على حالات الفشل في استمرار الطريق بين المرسل والمرسل إليه ، وبالتالي تجنب تفعيل نظام مراقبة الازدحام دون داع. يمنع المرسوم إرسال أي حزمة أخرى من المعطيات حتى يتم إعادة تشكيل الطريق. حالما تكشف طبقة تسيير الشبكة في العقد الوسيطة بين المرسل والمرسل إليه عن فشل الطريق (وتسمى نقطة الفشل) وهذا بسبب تنقل العقدة المقبلة على طول هذا الطريق ، ترسل العقدة الوسيطة حزمة إعلام بفشل الطريق إلى العقدة التي أرسلت حزمة المعطيات وتسجل هذا الحدث. إذا وجدت عقدة وسيطة تعرف طريقا آخر نحو المرسل إليه ، يمكن استخدام هذا الطريق للاتصالات القادمة ويتم إلغاء حزمة الإعلام. في حال عدم وجود طريق آخر، فإنّ العقد الوسيطة تنشر ببساطة تجاه العقدة المرسله خبر فشل الطريق. عند وصول هذا الخبر فإنّ العقدة المرسله تدخل في حالة تجميد، وتتوقف عن الإرسال. تبقى العقدة المرسله في هذه الحالة حتى يتم إخطارها عن ترميم الطريق وهذا باستقبال حزمة إعادة إنشاء الطريق. حالما تتلقى العقدة المرسله الحزمة، فإنها تتحول إلى حالة نشطة وتستأنف نقل المعطيات مرة أخرى باستعمال معطيات المراقبة المخزنة. هذه الخطوات تحدّ من تأثير نظام التحكم في الازدحام لمرسوم مراقبة التنقل النموذجي عند إعادة الإرسال من جديد. إرسال المعطيات يستأنف مرة أخرى بنفس السرعة قبل حدوث الانقطاع .

ثمة مرسوم آخر يدعى "مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية [5]"، يقترح وضع المرسل في حالة ثابتة، أو حالة مراقبة الازدحام أو حالة إعادة الإرسال. وهكذا، عندما تكون الشبكة مقسمة بوضع المرسل في حالة مثبّته حيث لا يبعث معطيات جديدة أو يعيد بعث معطيات مفقودة. بالإضافة إلى ذلك، عندما يتم ضياع حزم المعطيات بسبب أخطاء الذبذبات اللاسلكية (خلافاً لحالة الازدحام)، يقوم المرسل بإعادة إرسال الحزم دون استدعاء نظام التحكم في الازدحام. وأخيراً، إذا كان هنالك ازدحام في الشبكة، فإنّ المرسل يستدعي نظام التحكم في الازدحام. في هذا التخطيط، لا يتم تعديل مرسوم مراقبة التنقل النموذجي نفسه للحفاظ على التوافق معه في

الشبكات الأخرى. وبالتالي ، يتم إدراج طبقة رقيقة تسمى "مرسوم مراقبة التنقل للشبكات الخالية من البنية التحتية" وهذا بين طبقة تسيير الشبكة و طبقة مرسوم التنقل النموذجي. هذه الطبقة تتعرف على حالة الشبكة عبر المعلومات التي تقدمها رسائل "إعلام حدوث الازدحام" [4] وعبر رسائل "عدم القدرة للوصول للمرسل إليه" [9]، ويوضع المرسل تبعاً لذلك في الحالة المناسبة. وهكذا ، مع استقبال رسالة "عدم القدرة للوصول للمرسل إليه" يتم تجميد حالة المرسل حتى يتم العثور على طريق جديد للتأكد من عدم تفعيل نظام التحكم في الازدحام .

حل آخر لتكييف مراسيم الشبكة اللاسلكية والشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية على وجه الخصوص هو التنسيق بين مختلف طبقات المراسيم. مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية [6] يستخدم معلومات الطبقات السفلى وأجوبة حزم المراقبة من العقد الوسيطة، على وجه التحديد حزم المراقبة للشبكة و هذا لثلاثة أهداف مختلفة : حزم المراقبة الناتجة عن تقييم سرعة الإرسال الابتدائية، حزم المراقبة الناتجة عن الزيادة التدريجية في سرعة الإرسال للكشف عن الازدحام وتجنب حدوثه وحزم المراقبة الناتجة عن الفشل في إيجاد الطريق. لكنه لا يحافظ على التوافق مع مرسوم مراقبة التنقل النموذجي.

يفرق مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية بين نظام التحكم في الازدحام ونظام تقييم الموثوقية بخلاف مرسوم مراقبة التنقل النموذجي حيث يقتزن نظام التحكم في الازدحام ونظام تقييم الموثوقية من خلال الاعتماد على وصول حزم الإخبار كمعيار لمستوى الازدحام. في مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية يتم التحكم في الازدحام باستخدام حزم المراقبة الآتية من الشبكة ، في حين يتم ضمان الموثوقية بحزم الإخبار بوصول المعطيات الانتقائية. عدم المحافظة على نفس مبدأ عمل "مرسوم مراقبة التنقل النموذجي" ليس عائقاً في ظل أن الشبكة في حالات كهذه ستكون معزولة في عملها ولا تحتاج للتواصل مع الشبكات الأخرى. أما فيما يخص الشبكات اللاسلكية المشبكة فإن إمكانية التشغيل المتداخل بين الشبكات السلكية و اللاسلكية هي واحدة من الاهتمامات الرئيسية .

3. مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة

يعتمد نهجنا على مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية [5] ، والذي هو في حد ذاته تحسين لمرسوم مراقبة التنقل النموذجي للتعامل مع المشاكل الناشئة من الشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية. بما أن الشبكات اللاسلكية المشبكة تتسم بخصائص عدة مشتركة مع الشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية، فإن تطوير المرسوم [5] مقارنة مثيرة للاهتمام.

يستخدم مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة ملاحظات طبقة الشبكة (للعقد الوسيطة) لوضع المرسل في حالة مثبته، حالة ازدحام، أو حالة إعادة الإرسال. وهكذا ، عندما تكون الشبكة مقسمة ، يتم وضع المرسل في وضع مثبته بحيث لا يرسل حزم جديدة دون داع ولا يعيد إرسال الحزم الضائعة. وبالإضافة إلى ذلك ، عندما يتم فقدان الحزم بسبب أخطاء الذبذبات (خلافًا للازدحام) ، فإن المرسل يعيد بثها دون تفعيل نظام التحكم في الازدحام. وأخيراً ، إذا كان هنالك حقا ازدحام في الشبكة، فإن المرسل يستدعي نظام التحكم في الازدحام.

الحل يكمن في إدراج طبقة رقيقة تسمى مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة بين طبقة تسيير الشبكة وطبقة التنقل، والتي تتعرف على حالة الشبكة عبر المعلومات التي تقدمها رسائل "إعلام حدوث الازدحام" و رسائل "عدم القدرة للوصول للمرسل إليه"، ويوضع المرسل تبعاً لذلك في الحالة المناسبة. مع استقبال رسالة "عدم قدرة الوصول للمرسل إليه" يتم تجميد حالة المرسل حتى يتم العثور على طريق جديد للتأكد من عدم تفعيل نظام التحكم في الازدحام. وعلاوة على ذلك ، المرسل لا يرسل الحزم نظراً لعدم وجود الطريق بين المرسل والمرسل إليه. يعتمد مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية [5] على إستراتيجية إعطاء قيمة ابتدائية لنافذة الإرسال بحزمة واحدة عند إيجاد طريق جديد بعد فشل الطريق السابق. في حين أن التحسينات السابقة لمرسوم مراقبة التنقل النموذجي تبقى نفس نافذة الإرسال (قيمة الطريق القديم) [2]. كلا المنهجين لا يوفران أفضل قيمة لنافذة الإرسال. إبقاء نفس نافذة الإرسال (قيمة الطريق القديم) يمكن أن يسبب ازدحاماً إذا كان المسار الجديد لا يسمح نافذة بهذا القدر؛ أو التسبب في عدم استغلال كلي لإمكانات الطريق الجديد إذا كان المسار الجديد أفضل من حيث السعة.

ولكن بما أنّ الاتصال في مرحلة "تجنب الازدحام" ، فإن الوصول لقيمة نافذة الإرسال الأمثل يتم بسرعة بطيئة نوعاً ما. في هذه الحالة ، من الأفضل إعطاء قيمة حزمة واحدة لنافذة الإرسال وزيادتها بشكل كبير (أسّي) للوصول بسرعة أكبر للقيمة الأمثل ، بدلا من الحفاظ على القيمة القديمة وزيادتها خطياً بما أننا في مرحلة "تجنب الازدحام". ومع ذلك، في هذه الحالة أيضاً (بدءاً من حزمة واحدة و في مرحلة "الانطلاق البطيء") ، يمكن أن يتسبب التغير المتكرر في المسار إلى الركود في مرحلة "البداية البطيئة" ولا تصل النافذة إلى القيمة المثالية. إذ في كل مرة يغير المسار يتم إعادة نافذة الإرسال إلى حزمة واحدة.

نهجنا يستخدم طريقة جس نبض الإمكانات عن طريق نافذة إرسال ابتدائية للوصول إلى النافذة الأمثل للتو بعد إنشاء الطريق الجديد وإرسال حزم النافذة الأولى . وقد استخدمت هذه التقنية في واحدة من مشتقات مرسوم مراقبة التنقل النموذجي [8]. و تصبح قيمة نافذة الإرسال كالآتي:

نافذة الطريق الجديد=جذر (زمن الطريق القديم/ زمن الطريق الجديد) × (عدد العقد الوسيطة للطريق الجديد/ عدد العقد الوسيطة للطريق القديم) × نافذة الطريق القديم.

حيث أنّ زمن الطريق هو الزمن المستغرق من المرسل إلى المرسل إليه.

لا يأخذ مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية في الاعتبار الملاحظات القادمة من مراسيم تسيير الشبكة ذات معيار جودة الخدمة، والتي يمكن أن يترتب عليها تغييرات في الطريق. يمكن أن يحدث تغير في المسار نظراً لجودة الطريق الجديد عند استخدام مرسوم تسيير الشبكة ذو معايير لاختيار الطريق. إذا وجد مرسوم تسيير الشبكة طريقاً جديداً أمثل مقارنة مع المسار الحالي فإنّ تغيير هذا الطريق يؤدي إلى إعادة تقييم نافذة الإرسال كما هو موضح سابقاً.

بما أنّ نوعية الخدمات أمر ضروري ويجب على الشبكات اللاسلكية المشبكة معالجته عن طريق المراسيم فإنّ مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة يأخذ في الاعتبار حزم المراقبة التي تعلمه بتغييرات الطريق الناتج عن نوعية الخدمة. وهذا يجرّ أيضاً إلى إعادة تقييم نافذة الإرسال باستخدام الطريقة الموضحة سابقاً.

مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية لا يستخدم أيضاً حزم الإخبار بوصول المعطيات الانتقائية، إذ من المؤشرات لاستخدام الحزم الانتقائية [3] هو أنّ قيمة مدة الإرسال × سعة تدفق المعطيات يجب أن تكون مرتفعة. بما أنه ليس هذا هو الحال بالنسبة للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية بصفة عامة فإنّ استخدام هذا الخيار يؤدي فقط إلى ثقل إضافي. من الناحية الأخرى ، سوف يؤدي استخدام هذا الخيار بشكل ملحوظ لتحسين الإنتاجية في الشبكات اللاسلكية المشبكة إذ أنّ قيمة مدة الإرسال × سعة تدفق المعطيات عالية (على سبيل المثال الشبكة المعتمدة على الأقمار الصناعية والتي يمكن أن تكون جزءاً من الشبكات اللاسلكية المشبكة).

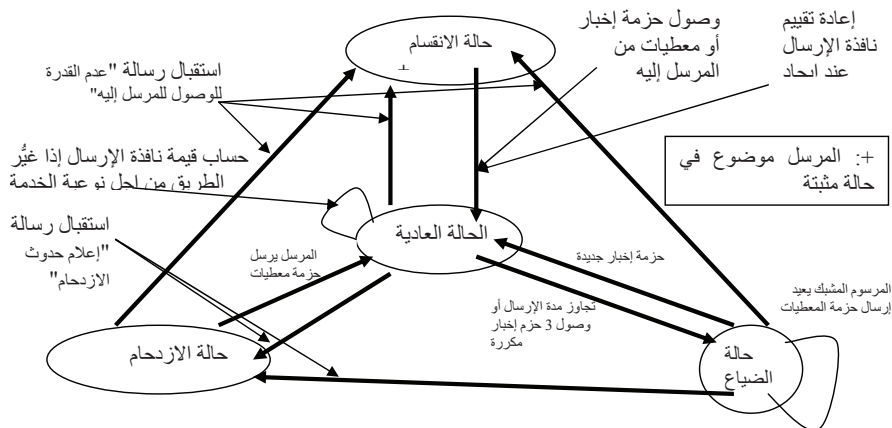
يتدخل مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة فقط على مستوى المرسل (في الاتصال المزدوج الاتجاه تعمل طبقة مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة في العقدتين المشاركتين) .

أثناء تهيئة الاتصال يكون مرسوم مراقبة التنقل في حالة طبيعية ، ومن ثم لا يعمل. سلوك المرسوم في الظروف الأربعة يكون كالآتي (انظر الصورة 1):

- **القنوات اللاسلكية ذات احتمال ضياع المعطيات:** عندما يكون الاتصال خاضعاً لاحتمال مرتفع لضياع المعطيات، فإنّ هذه الأخيرة لاتصل إلى المرسل إليه أو تصل غير مرتبة. يؤدي هذا الاستقبال لإرسال حزم إخبار بعدم وصول المعطيات مكررة رداً على وصول حزم معطيات غير مرتبة. عندما يتلقى المرسل ثلاث حزم إخبار مكررة بعدم الوصول على التوالي ، فإنه يفعل نظام التحكم في الازدحام. ومن الممكن أيضاً أن يؤدي ضياع حزم الإخبار إلى تجاوز مدة الإرسال المحددة من طرف المرسل وبالتالي إعادة إرسال المعطيات المصحوب بتنقيل نظام التحكم في الازدحام .

مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة في حالته العادية بالضبط مثل مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية يقوم بحساب عدد حزم الإخبار المتكررة المستقبلية بالنسبة لكل حزمة معطيات مرسل . في حال استقبال نفس الحزمة ثلاث مرات، لا يقوم بإعطائها لنظام مراقبة الازدحام

- **تغيير المسار لضمان جودة الخدمة :** عند استخدام مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة مع مرسوم تسخير الشبكة ذو معيار جودة الخدمة، من المفترض أن يتم وضع علامة من طرف مرسوم تسخير الشبكة لإعلام مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة بتغيير المسار بسبب معيار جودة الخدمة. هذا التغيير، بسبب أيضا إعادة تقييم نافذة الإرسال، ولكن باستخدام طريقة مرسومنا.

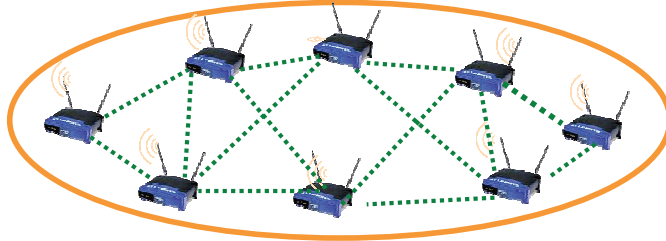


الشكل 1: الحالات الممكنة للمرسوم المشبّك

4. تقييم الأداء

من أجل تقييم أداء مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة المقترح، أجريت اختبارات محاكاة باستخدام برنامج المحاكاة NS2. الهدف من فرضيات الاختبار المختلفة هو فحص أداء المرسوم في وجود أخطاء الذبذبات، تقسيم الشبكة، الازدحام، وتغييرات الطريق الناجمة عن استعمال مراسيم تسيير الشبكة ذات معيار جودة الخدمة. كل فرضية في اختبار مستقل. وكاختبار أخير يتم وضع الفرضيات المختلفة معاً. وكما سبق ذكره في الفروع السابقة، مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة المقترح هو تحسين لمرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية. ولذلك تم إجراء مقارنة مع هذا المرسوم ومع مرسوم مراقبة التنقل النموذجي "رينو".

اخترنا للاختبارات شبكة ذات خمس عقد بسيطة والتي من خلالها أجريت المحاكاة المختلفة، وثبتنا مدة المحاكاة ب: 120 ثانية لكل اختبار. انظر الصورة 2. في البيانات التي تلي، نرمز ب 1 لمرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية، 2 لمرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة المقترح و 3 لمرسوم مراقبة التنقل النموذجي.



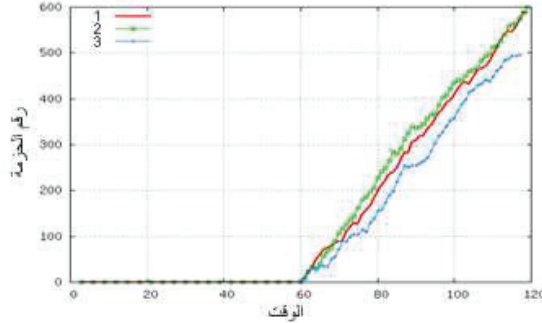
الصورة 2: شبكة الاختبار.

• حالة ضياع المعطيات:

أول اختبار لا يحوي حالات انقسام الشبكة أو الازدحام. نعرض الاتصال فقط لأخطاء الذبذبات اللاسلكية وهذا على مستوى كل عقدة بسيطة. يتم ذلك في المحاكاة عن طريق إرسال الحزم باحتمالات الضياع. يبين الشكل 3 تطور تسلسل أرقام حزم المعطيات وفقاً للوقت. تطور أرقام الحزم في مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة المقترح و مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية أفضل من مرسوم مراقبة التنقل النموذجي إذ أن لديهما آلية للتفريق بين ضياع المعطيات الناتج عن أخطاء الذبذبات اللاسلكية و الضياع الناتج عن الازدحام. في مرسوم مراقبة التنقل النموذجي، ضياع حزم المعطيات أو الإخبار يؤدي إلى تجاوز مدة الإرسال و إلى إعادة إرسال المعطيات. أكثر من ذلك، ثلاث حزم إخبار متكررة تؤدي إلى تفعيل نظام مراقبة الازدحام. في هذه الحالات، يقلل مرسوم مراقبة التنقل النموذجي من قيمة نافذة الإرسال، مما يؤدي إلى تدهور الأداء. مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة المقترح و مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية لهما سلوك مماثل في حالة الضياع الناجم عن أخطاء الذبذبات، وبالتالي لا نجد تجاوزاً في مدة الإرسال لأنهما يضعان المرسل في حالة مثبتة ويعيدان إرسال الحزمة الضائعة.

يستعمل مرسوم مراقبة التنقل النموذجي مرحلة "البداية البطيئة" لزيادة نافذة الإرسال. في المقابل، مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة المقترح و مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية يضعان المرسل في حالة مثبتة، يقومان بإعادة إرسال الحزم التي قاربت مدة إرسالها على الانتهاء. لا يمكن لنافذة الإرسال في مرسوم مراقبة التنقل النموذجي الوصول إلى القيمة المثلى لأن ضياع

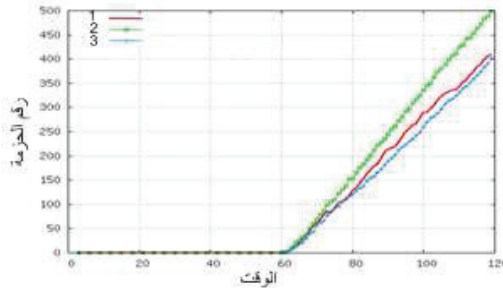
المعطيات الناجم عن أخطاء الذبذبات اللاسلكية يؤدي إلى تفعيل نظام التحكم في الازدحام. في المقابل ، نافذة إرسال مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة المقترح و مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية لا تنخفض أبداً. وهذا ما يفسر الفارق الكبير في الأداء. وأخيراً، الفرق بين أداء مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة المقترح و مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية يعود إلى استعمال حزم الإخبار الانتقائية في مرسومنا [3] ، حيث أننا لا نستطيع القضاء نهائياً على الازدحام في هذا الاختبار، وبالتالي تحسينات حزم الإخبار الانتقائية لإدارة إعادة الإرسال بسبب الازدحام ترجّح كفة مرسومنا .



الشكل 3: حالة ضياع المعطيات

• حالة الازدحام

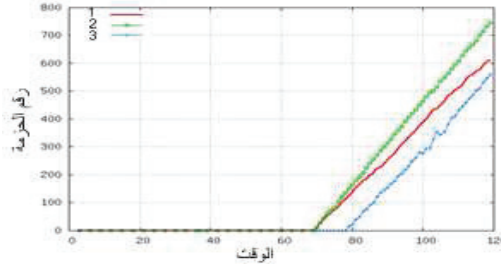
في حالة اختبار الازدحام ، يتم إقحام الازدحام في الشبكة عن طريق زيادة حجم حزم المعطيات ، بالإضافة إلى تقليص نافذة المرسل إليه (تصغير سعة المخزن) لتشجيع سعة الشبكة. هناك العديد من الأسباب التي تسبب الاختلاف في الأداء بين مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة المقترح و مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية و مرسوم مراقبة التنقل النموذجي. بالنسبة لمرسوم مراقبة التنقل النموذجي يتم تفعيل نظام التحكم في الازدحام بعد استقبال ثلاث حزم إخبار مكررة. أمّا في مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية فإن نظام التحكم في الازدحام يُفعّل مسبقاً وهذا باستقبال رسالة "الإعلام بازدحام الشبكة" والذي يشير إلى الازدحام في مكان ما في العقد الوسيطة. وهكذا يكون الرد مسبقاً. وبالإضافة إلى ذلك، يحسّن مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة المقترح أداء مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية باختبار حزم الإخبار بالوصول الانتقائية و التي تقلل من عدد الحزم المعاد إرسالها بعد الازدحام. لذلك فسلوك المرسوم المقدم أفضل من المرسومين الآخرين. انظر الشكل 4.



الشكل 4: حالة الازدحام

• حالة التقسيم

في هذا الاختبار، نعتبر أنّ الشبكة تعاني من انقسام متكرّر. انظر الشكل 5. تجرى المحاكاة عن طريق إبعاد العقد بحيث يتم وضعها في مناطق تغطية مختلفة. من السهل شرح تطور تسلسل أرقام حزم المعطيات خلال الوقت في مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية و هذا بمقارنة تطور الأرقام في غياب التقسيم، ونلاحظ أن تأخير تطوّر الأرقام تقريبا مساو لمدة التقسيم. يضع مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية المرسل في حالة مثبتة حين استقبال رسالة " عدم القدرة للوصول للمرسل إليه " . في هذا الوضع، يبعث المرسل حزم جسّ النبض. ضعف أداء مرسوم مراقبة التنقل النموذجي يعود إلى التجاوز المتكرر لمدة الإرسال عندما تقسم الشبكة. أداء مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية المشبكة أفضل مقارنة بالمرسومين الآخرين. هذا بسبب أنّ مرسوم مراقبة التنقل للشبكات اللاسلكية الخالية من البنية التحتية يضع قيمة حزمة واحدة لنافذة الإرسال بعد إعادة الاتصال فالزيادة سوف تكون أبطأ للوصول لقيمة مثلى كما هو الحال في مرسومنا.



الشكل 5: حالة التقسيم

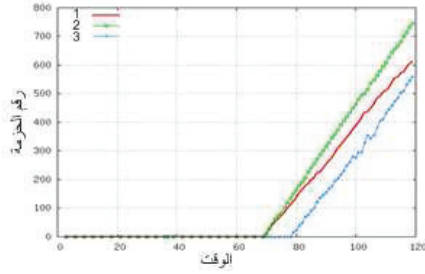
• حالة تبعثر الحزم:

يمكن وصول الحزم بطريقة مبعثرة عندما تكون هناك طرق صالحة متعددة من المرسل إلى المرسل إليه، أو عندما يكون هنالك إعادة إيجاد طريق.

عندما يتوفر جهاز التوجيه على أكثر من واجهة واحدة وتؤدي إلى نفس الوجهة ، فإنه يمكن توزيع الحزم بين هذه الواجهات المختلفة . يمكن بذلك لهذه الحزم أن تصل إلى وجهتها مبعثرة لأنها سلكت طرقا طويلة ومختلفة.

والسبب الآخر لتبعثر الحزم هو إعادة تشكيل الطريق. في الشبكات اللاسلكية (وخاصة الخالية من البنية التحتية) فشل الطريق يحدث بشكل متكرر. حزم المعطيات السائرة في الطريق القديم وتلك التي تتخذ الطريق الجديد يمكن أن تصل إلى وجهتها في ترتيب مختلف.

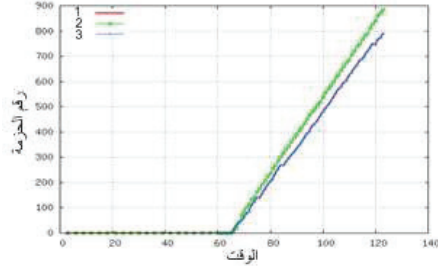
مرسوم مراقبة التنقل النموذجي يحتاج إلى وقت أكبر بكثير لنقل نفس العدد من حزم المعطيات مقارنة بالمرسومين الآخرين. الوقت اللازم لهما يبقى ثابتا تقريبا في حين مدة إرسال المرسوم النموذجي تزيد خطيا (تقريبا) وهذا بازدياد التأخير بين العقد الوسيطة. سبب هذا الاختلاف هو أن المرسومين (فسلوكهما في هذه الحالة واحد) يضعان المرسل في حالة مثبتة بمجرد استلامهما ثلاث حزم إخبار بالوصول متكررة على التوالي. من ناحية أخرى، فإن مرسوم مراقبة التنقل النموذجي يفعل نظام التحكم في الازدحام بعد ثلاث حزم إخبار بالوصول متكررة على التوالي، نتيجة لذلك يمتلك نافذة إرسال صغيرة وسرعة نموها بطيئة. لاختبار هذه الحالة اخترنا أيضا إعادة إنشاء الطريق. انظر الشكل 6.



الشكل 6: حالة تبعر الحزم.

• حالة تغيير المسار بسبب استعمال مرسوم تسيير ذو معيار جودة الخدمة

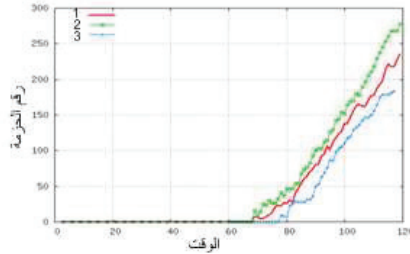
في هذه الحالة مرسومنا يظهر نتائج أفضل مقارنة مع المرسومين الآخرين، إذ أنّ تغيير المسار نظرا لنوعية خدمة التوجيه يتم بطريقة شفافة بالنسبة لهما. انظر الشكل 7. يتم هذا التغيير على مستوى طبقة تسيير الشبكة وبالتالي لن تتغير نافذة إرسالهما. أما مرسومنا فيعرف هذا التغيير من خلال ملاحظات طبقة تسيير الشبكة. ولذلك فإنه يتم رفع قيمة نافذة الإرسال باستخدام الأسلوب المذكور سابقا لذلك يصل بسرعة إلى القيمة الأمثل لهذا الطريق الجديد. قيمة نافذة الإرسال الجديدة أكبر بالتأكيد إذ أنّ مرسوم تسيير الشبكة بمعيار جودة الخدمة لا يغير المسار إلا إذا كان المسار الجديد أفضل من القديم.



الشكل 7: حالة تغيير المسار بسبب استعمال مرسوم تسيير ذو معيار جودة الخدمة

• جميع الحالات معا:

كاختبار أخير، شغلنا المراسيم الثلاث في شبكة تقدّم جميع الفرضيات معا، أي شبكة تحوي طرقا متعددة، الازدحام، أخطاء الذبذبات وتغيير المسار نظرا لمعيار جودة الخدمة. المحاكاة تبين أنّ أداء مرسومنا أفضل من المرسومين الآخرين. انظر الشكل 8. هذه النتيجة منطقية نظرا لجميع نتائج الاختبارات السابقة.



الشكل 8: جميع الحالات معا.

5. الخلاصة

في هذه الورقة قدمنا مرسوم مراقبة تنقل جديد للشبكات اللاسلكية المشبكة والذي يضمن التوافقية مع مرسوم مراقبة التنقل النموذجي، ويتميز هذا المرسوم بجدارته في تغطية عيوب مرسوم مراقبة التنقل النموذجي عند استخدامه في البيئات اللاسلكية. يقوم مرسومنا بالسلوك المناسب في الحالات التالية : فشل إيجاد الطريق، تغيرات الطريق ، وصول الحزم بصفة مبعثة، الازدحام الحقيقي وضياح حزم المعطيات الناجم عن الوصلات اللاسلكية.

أجريت اختبارات محاكاة عديدة للبرهنة على التحسينات التي يقدمها المرسوم المقترح مع مراعاة الظروف المتعددة في البيئة اللاسلكية. وقد أظهرت المحاكاة نتائج جيدة.

نتصور كعمل مستقبلي تنفيذ المرسوم في بيئة اختبارات حقيقية لتأكيد نتائج المحاكاة و الاستفادة من العمل.

المراجع:

- [1] I.F. Akyildiz , X. Wang , W. Wang, "Wireless mesh networks: a survey". Computer Networks 47 (2005) 445–487.
- [2] K. Chandran, S. Raghunathan, S.R. Prakash, "A feedback- based scheme for improving TCP performance in ad hoc wireless networks", IEEE Personal Communications 8 (1) (2001) 34–39.
- [3] M. Mathis, J. Mahdavi, S. Floyd, A. Romanow, "TCP Selective acknowledgment Options", Sun Microsystems October 1996, RFC2018.
- [4] K. Ramakrishnan, S. Floyd, "A Proposal to add Explicit Congestion Notification (ECN) to IP", RFC 2481, Network Working Group, LBNL, January 1999.
- [5] S. Singh, J.Liu, "ATCP: TCP for Mobile Ad Hoc Networks". IEEE Journals on Selected Areas in Communications 19 (7) (2001) 1300–1315.
- [6] K. Sundaresan, V. Anantharaman, H.-Y. Hsieh, R. Sivakumar, "ATP: a reliable transport protocol for adhoc networks", ACM International Symposium on Mobile Ad Hoc Networking and Computing (MOBIHOC), 2003, pp. 64–75.
- [7] Transmission Control Protocol. September 1981, RFC793.
- [8] J.X.Zhou, B.X.Shi, L. Zou, "Improve TCP performance in Ad hoc network by TCP-RC", The 14th IEEE 2003 International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communication Proceedings.
- [9] J. Postel, RFC 792: "INTERNET CONTROL MESSAGE PROTOCOL". September 1981.

الملخص باللغة الانجليزية

Title : MTCP: a new transport protocol for wireless mesh networks.

Abstract

Throughput is the main concern in Wireless Mesh Networks (WMNs). The standard congestion control mechanism of TCP is not able to handle the special properties of a shared wireless multi-hop channel well. Given that the unreliable wireless links and congestion are likely to be the source of throughput degradation in the network, reliable transport protocol conception dealing with wireless links properties can significantly improve the performance of such networks.

This paper presents a novel transport protocol called MTCP, which covers these needs. Simulation results show that MTCP outperform TCP and its ad-hoc wireless variants in terms of reliability and congestion control.

Keywords: Wireless Mesh Networks, Transport protocol, TCP, Reliability, and Congestion control.**المصطلحات:**

network	الشبكة
Mesh	المشبكة
Throughput	الإنتاجية
Standard Transport Control Protocol	مرسوم مراقبة التنقل النموذجي
channels	القنوات
Multi hop	المتعددة الخطوات
congestion	الازدحام
Reliable/ Reliability	موثوق/ موثوقية
performance	أداء
simulation	المحاكاة
routers	أجهزة التوجيه
infrastructure	البنية التحتية
Nodes	العقد
Ad hoc network	شبكة منعدمة البنية التحتية
layer	طبقة
QOS	نوعية الخدمة
wireless	اللاسلكية
Route failure	فشل في إيجاد طريق
Network layer	طبقة تسيير الشبكة
Sending rate	سرعة الإرسال
Wireless errors	أخطاء الذبذبات اللاسلكية
Explicit Congestion Notification message	رسائل إعلام حدوث الازدحام
Destination unreachable	عدم القدرة للوصول للمرسل إليه
Cross layer	التنسيق بين مختلف طبقات المراسيم
interoperability	التوافق
Selective Acknowledgement	حزم الإخبار بوصول المعطيات الانتقائية
bandwidth	السعة
Congestion Avoidance phase	مرحلة "تجنب الازدحام"
Slow Start phase	مرحلة "الانطلاق البطيء"
Packet control	حزم المراقبة
Satellite networks	الشبكة المعتمدة على الأقمار الصناعية
Lossy channels	القنوات اللاسلكية ذات احتمال ضياع المعطيات
Sending timeout	انقضاء مدة الإرسال
Buffer size	سعة المخزن
Saturate the network	تشبع سعة الشبكة
Probing packets	حزم جسن النبض

تقييم أداء شبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي بمعدل نقل بيانات 2 جيجا بت/ثانية

رضوان قاسم شداد^{2,1}، أبو بكر محمد²

¹ مركز التقنية الضوئية، اتحاد بحوث الاتصالات وتقنية المعلومات، جامعة التقنية المالىزية،

سكوداي 81310، جوهور، ماليزيا

² قسم هندسة الاتصالات والحاسوب، كلية الهندسة وتقنية المعلومات، جامعة تعز، ص.ب. 6169،
تعز، اليمن

البريد الإلكتروني: bakar@fke.utm.my ، rqs200@gmail.com

الخلاصة. تُعتبر شبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي بنية واحدة لشبكات وصول الجيل القادم. وهي عبارة عن دمج متكامل بين شبكة بصرية في الطرف الخلفي وشبكة لاسلكية في الطرف الأمامي لشبكة وصول كفوة. تربط الشبكة البصرية بين محطة الربط البصرية في المركز الرئيسي للشبكة وعدد من وحدات الشبكة البصرية بواسطة ليفة ضوئية أحادية النمط بطول 20 كم. كل وحدة بصرية توصل بجهاز توجيه لاسلكي لتشكلا معا نقطة وصول، وتشكل مجموعة نقاط الوصول مع مجموعة أخرى من الموجهات اللاسلكية وطرفيات المستخدمين الشبكة اللاسلكية. في هذا البحث، تُبنى هذه الشبكة اعتماداً على كل من الشبكة البصرية الخاملة بتقنية الإرسال المتعدد بتقسيم الأطوال الموجية وتقسيم الزمن، والشبكة اللاسلكية بتقنية البث اللاسلكي الفائقة الدقة (واي فاي) أو التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة (واي ماكس). حققت هذه الشبكة معدل نقل بيانات 2 جيجابت/ثانية في الشبكة البصرية لكل طول موجي، بالإضافة إلى معدل نقل بيانات 54 ميجابت/ثانية (واي فاي) و 30 ميجابت/ثانية (واي ماكس) لكل نقطة وصول على قناة لاسلكية بطول 50 متر و 5 كم على التوالي.

الكلمات الجوهرية: شبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي، الشبكة البصرية الخاملة، الإرسال المتعدد بتقسيم الأطوال الموجية، الشبكة التشابكية اللاسلكية، نقطة الوصول، الإرسال المتعدد بتقسيم التردد المتعامد.

1 مقدمة

إن الغرض الرئيسي لشبكات الاتصالات عموماً هو قدرة المستخدم النهائي على الوصول إلى المعلومات في أي وقت يطلبها، وفي أي مكان يطلبها، وبأي صيغة كانت. وفي العقد الأخير من الزمن تزايد الطلب للوصول إلى نطاقات ترددية عريضة من قبل المستخدم للحصول على خدمات عريضة النطاق مثل تطبيقات الوسائط المتعددة وخدمات التشغيل الرباعي (صوت، فيديو، إنترنت، لاسلكي) وغيرها. تستطيع شبكات الوصول اللاسلكية والبصرية توفير تلك المتطلبات لتطبيقات

متعددة وخدمات متنوعة بشكل ملائم، حيث تتميز كلاً من تلك الشبكات بنطاق ترددي عريض وسعة بيانات عالية وتزويد المستخدم بمعدل نقل بيانات حسب الطلب.

تتميز شبكة الوصول البصرية بدعم الخدمات عريضة النطاق وبمعدل نقل بيانات مرتفع ويمكن من الاتصال لمسافات طويلة، ولكنها توفر إتاحة محدودة للوصول إلى المستخدم النهائي. بينما تتميز شبكة الوصول اللاسلكية بنفاذية مرنة واسعة الانتشار للوصول إلى المستخدم النهائي، ولكنها توفر عرض نطاق محدود [1]. إن تقنيات الوصول المستقبلية يجب أن توفر انتشار مرّن، وسعة بيانات كبيرة جداً للطرف الخلفي للشبكة، وإمكانية الترقية، وقابلية تغيير النطاق الترددي على المستخدمين حسب الطلب أو زيادة عدد المستخدمين [2]. شبكة الوصول اللاسلكية-البصرية الهجينة عريضة النطاق الترددي هي الشبكة المثالية لتوفير تلك المميزات. فهي عبارة عن دمج متكامل بين شبكة بصرية في الطرف الخلفي وشبكة لاسلكية في الطرف الأمامي. في الطرف الخلفي للشبكة ترتبط محطة الربط البصرية في المركز الرئيسي للشبكة بعدد من وحدات الشبكة البصرية بواسطة ليفة ضوئية تمتد لمسافة طويلة. كل وحدة بصرية تُدمج بجهاز توجيه لاسلكي لتشكيلان معا نقطة وصول في الطرف الأمامي للشبكة. مجموعة نقاط الوصول مع عدد من الموجهات اللاسلكية تقوم بتوفير تغطية واسعة للعديد من مستخدمي الطرفيات اللاسلكية وتمكينهم من الاتصال بشبكة الإنترنت بسرعة بيانات عالية وبشكل مرّن. مجموعة نقاط الوصول مع الموجهات اللاسلكية ومستخدمي الطرفيات اللاسلكية ترتبط معا لاسلكياً بتركيب بنائي تشابكي لتشكل معاً ما يُعرف بالشبكة التشابكية اللاسلكية عند الطرف الأمامي. إن ما يميز الشبكة التشابكية اللاسلكية هو عدم وجود وحدة مركزية للتنسيق بين عناصرها، وبدلاً من ذلك يتم تزويد كل نقطة بجهاز توجيه يقوم بتوجيه الإشارة اللاسلكية إلى أجهزة أخرى. يمكن استخدام هذا النوع من الشبكات في الشبكات المحلية و الحضرية.

في هذه الورقة نُقدت الشبكة البصرية في الطرف الخلفي لشبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي باستخدام شبكة بصرية خاملة ذات الإرسال المتعدد بتقسيم الأطوال الموجية وبتقسيم الزمن. تعد هذه الشبكة خياراً مناسباً لأنها توفر تدفق بيانات ذا سعة عالية وجودة خدمة متميزة، بالإضافة إلى أن لديها قابلية تغيير النطاق الترددي على المستخدمين حسب الطلب لكونها تستطيع تزويد العديد من الأطوال الموجية على نفس الليفة الضوئية ويمكن لكل طول موجي أن يحمل معدل بيانات مختلف عن ما يحمله طول موجي آخر. صُممت الشبكة البصرية الخاملة ذات الإرسال المتعدد بتقسيم الأطوال الموجية وبتقسيم الزمن في هذا البحث لتوفر معدل نقل بيانات 2 جيجابت/ثانية في اتجاهي نقل البيانات الهابطة والصاعدة على الليفة الضوئية لكل طول موجي على حدة. الشبكة البصرية الخاملة لا تستخدم أي عناصر فعالة في مسار الإشارة من المصدر إلى الهدف، لذا فهي تتمتع بمتانة قوية، فالعناصر الداخلية المستخدمة في هذه الشبكة عبارة عن عناصر بصرية خاملة مثل موزع/مازج القدرة الضوئية، والوصلات البصرية، ومجمع/مفروق الأطوال الموجية، وأدوات الاقتران البصري [1-5].

تستخدم الشبكة التشابكية اللاسلكية في الطرف الخلفي لشبكة الوصول المقدمة في هذا البحث تقنيات البث اللاسلكي الفائقة الدقة (واي فاي) أو التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة (واي ماكس).

تقنية البث اللاسلكي الفائقة الدقة إحدى أشهر التقنيات اللاسلكية (وبالمعايير: IEEE802.11 a/b/g)، وتُستخدم بشكل رئيسي في الشبكات المحلية اللاسلكية. تبدي هذه التقنية مرونة عالية عند

استخدامها في الشبكات التشابكية اللاسلكية، وتوفر معدلات نقل بيانات منخفضة نوعاً ما (بقيم عظمى 54/11/54 ميجابايت/ثانية لكل من المعايير 802.11 a/b/g على التوالي)، وتغطية محدودة تصل إلى 100 متر. وما يميز هذه التقنية أيضاً كلفتها المنخفضة، وسهولة تركيبها وصيانتها [1].

لقد أحرزت تقنية التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة (المعيار IEEE802.16) شعبية كبيرة في الآونة الأخيرة لتمييزها بنطاقها الترددي العريض ومعدلات نقل البيانات المرتفعة وجودة الخدمة الملائمة. تستخدم هذه التقنية بكفاءة عالية في أنظمة الاتصالات التي تعتمد نموذج نقطة-لعدة نقاط. ويمكن استخدام هذه التقنية في الشبكات التشابكية اللاسلكية أيضاً ولكنها تعاني هنا من زمن تأخير مرتفع نسبياً وسعة بيانات أقل، وتعتبر هذه التقنية مناسبة للاستخدام في شبكات المناطق الحضرية اللاسلكية لأنها توفر معدل بيانات مرتفع يصل إلى 75 ميجابايت/ثانية، وتغطية واسعة تصل إلى 5 كم [6].

هذه الورقة البحثية تركز على دراسة وتقييم أداء نظام اتصالات شبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي ضمن الطبقة الفيزيائية، وهناك العديد من المتغيرات والخصائص التي تم تحليلها في هذه الدراسة مثلاً معدل خطأ البت، وقدرة الإشارة المستقبلية والمرسلة عند النقاط الأساسية في الشبكة، والأطياف الترددية الضوئية والراديوية، ونسبة الإشارة إلى الضوضاء في مستقبلات الشبكة اللاسلكية. بقية فقرات هذه الورقة سيتم تنظيمها بإذن الله تعالى على النحو التالي: الفقرة الثانية توصف البنية المعمارية لشبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي ويوضح نظام الاتصالات البصري-اللاسلكي المتكامل، الفقرة الثالثة تحدد مواصفات ومعاملات النظام لتصميم شبكة وصول بمعدل نقل بيانات 2 جيجابايت/ثانية عند الطرف الخلفي البصري و 30-70 ميجابايت/ثانية عند الطرف الأمامي اللاسلكي، أما الفقرة الرابعة يتم فيها عرض وتحليل النتائج ومناقشتها، وأخيراً الخاتمة في الفقرة الخامسة لتقديم ملخصاً لأهم نتائج البحث والأعمال المستقبلية.

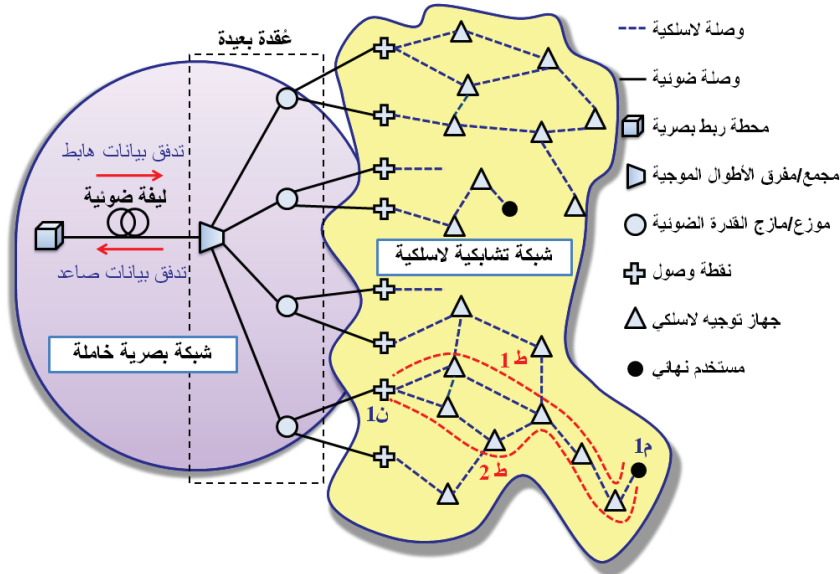
2 البنية المعمارية لشبكة الوصول

مفهوم شبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي جذاب للغاية. في حالات عديدة يمكن توصيل الألياف الضوئية إلى كل منزل أو مستخدم نهائي من المركز الرئيسي لشبكة الاتصالات، بينما لا يمكن تزويد كل مستخدم نهائي بوصلة لاسلكية ولمسافات بعيدة من المركز الرئيسي لشبكة الاتصالات بسبب محدودية النطاق الترددي والتغطية للشبكة اللاسلكية. لذا فإن توصيل ليفة ضوئية إلى أبعد مدى ممكن من المركز الرئيسي ومن ثم تزويد المستخدمين النهائيين بوصلات لاسلكية يعتبر حلاً متميزاً لتوفير نطاقات ترددية عريضة ومرونة مناسبة تتيح للمستخدم النهائي الاتصال بالشبكة من أي مكان ضمن مساحة واسعة للتغطية.

البنية المعمارية لشبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي المُقَدَّمة في هذه الورقة موضحة في الشكل 1. في الطرف الخلفي للشبكة يتم تركيب محطة ربط بصرية تُبنى في المركز الرئيسي وتتصل بليفة ضوئية. تمتد الليفة الضوئية حتى تصل إلى عُقْدَة بعيدة تقوم بتوزيع الإشارة الضوئية إلى عدد من وحدات الشبكة البصرية. يتم ذلك التوزيع في اتجاه تدفق البيانات الهابط

حسب الإرسال المتعدد بتقسيم الأطوال الموجية بواسطة مفرق الأطوال الموجية أولاً، ومن ثم يتم توزيع كل إشارة ضوئية لها نفس الطول الموجي حسب الإرسال المتعدد بتقسيم الزمن بواسطة موزع القدرة الضوئية. أما في اتجاه تدفق البيانات الصاعد من وحدات الشبكة البصرية نحو المركز الرئيسي؛ فتقوم العقدة البعيدة أولاً بمزج عدد من الإشارات الضوئية المرسل من الوحدات البصرية وبنفس الطول الموجي عند كل مازج قدرة ضوئية على حدة حسب التقسيم الزمني، ومن ثم يقوم مجمع الأطوال الموجية بتجميع الإشارات ذات الأطوال الموجية المختلفة ونقلها إلى المركز الرئيسي عبر الليفة الضوئية.

في الطرف الأمامي للشبكة هناك مجموعة من أجهزة التوجيه اللاسلكية (الموجهات) والتي تتوزع على منطقة حضرية لتشكل شبكة لاسلكية تُعرف بالشبكة التشابكية اللاسلكية. يمكن لمستخدمي الطرفيات اللاسلكية الثابتة أو المتحركة الاتصال بشبكة الوصول من خلال تلك الموجهات التي يتم تثبيتها ضمن الشبكة التشابكية اللاسلكية. بعض من تلك الموجهات تتصل بوحدات الشبكة البصرية لتشكل ما يُعرف بنقاط الوصول. وتمثل نقاط الوصول بوابة بين الطرف الخلفي والطرف الأمامي للشبكة. تعتبر الشبكة التشابكية اللاسلكية أكثر موثوقية من الأنواع الأخرى من الشبكات، نظراً لأنه في حالة اخفاق إحدى موجهات الإشارة اللاسلكية فإن الموجهات الأخرى جاهزة للقيام بالعمل نيابة عنها، وكما هو واضح من الشكل 1 يستطيع المستخدم النهائي م التوصل مع الطرف الخلفي للشبكة عبر نقطة الوصول ن₁ باختيار أحد المسارات المتاحة إلى تلك النقطة على سبيل المثال المسارين ط₁، ط₂.



الشكل 1. البنية المعمارية لشبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي

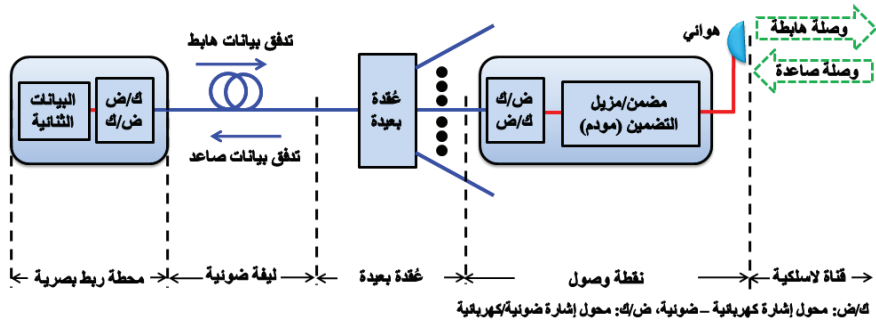
شبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي في هذا البحث تستخدم نموذج نقل الإشارة الرقمية بالنطاق الأساسي عبر الليفة الضوئية. يقوم نظام الاتصالات في هذا النموذج بعد استقبال الإشارة الضوئية من الليفة الضوئية بتحويلها إلى إشارة كهربائية، ومن ثم تضمينها عند نقطة الوصول إلى تردد راديوي مناسب وبثها عبر الشبكة التشابكية اللاسلكية باستخدام هوائي هذه النقطة. لذا فإن كل نقطة وصول تقوم بوظيفتين رئيسيتين: استقبال وإرسال الإشارة الضوئية من وإلى الشبكة البصرية في الطرف الخلفي، واستقبال وإرسال الإشارة الكهربائية اللاسلكية من وإلى الشبكة اللاسلكية في الطرف الأمامي.

الشكل 2 يوضح مخطط لنظام بصري-لاسلكي متكامل يعتمد نموذج نقل الإشارة الرقمية بالنطاق الأساسي عبر الليفة الضوئية. في اتجاه تدفق البيانات الهابط تتولد الإشارة الضوئية حسب البيانات الثنائية المراد إرسالها عند محطة الربط البصرية، ومن ثم تنتقل تلك الإشارة عبر الليفة الضوئية إلى نقطة الوصول. عند نقطة الوصول تتحول الإشارة الضوئية إلى إشارة كهربائية مناسبة بشكل بيانات ثنائي، عندئذ يتم تضمين تلك البيانات الثنائية وإرسالها عبر هوائي النقطة كإشارة لاسلكية في الوصلة الهابطة عبر إحدى القنوات اللاسلكية، بحيث يمكن لأحد مستخدمي الطرفيات اللاسلكية أو الموجهات اللاسلكية ضمن الشبكة التشابكية اللاسلكية من استقبال تلك الإشارة حسب الحاجة. أما في اتجاه تدفق البيانات الصاعد تستقبل نقطة الوصول الإشارات اللاسلكية ومن ثم تحويلها إلى إشارة ضوئية مناسبة يتم إرسالها عبر الليفة البصرية إلى المركز الرئيسي. هذا النموذج يتميز باستخدام دوائر الكترونية ورقمية متقدمة لمعالجة الإشارة عند نقطة الوصول، بالإضافة إلى أنه يوفر إمكانية استخدام الأجهزة الإلكترونية ذات السرعة المنخفضة وكفاءة عالية [4].

من البرمجيات التي أستخدمت لتصميم ومحاكاة وتحليل أداء هذه الشبكة برنامج محاكاة النظام الضوئي النسخة 8.0 (Optisystem 8.0)، وبرنامج محاكاة التصميم المتقدم للأنظمة نسخة 2008 (ADS 2008).

3 تصميم شبكة الوصول

تتكون شبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي من عدد من مستخدمي الطرفيات اللاسلكية في الطرف الأمامي للشبكة يمكنهم الاتصال بالمركز الرئيسي المتمثل بمحطة الربط البصرية من خلال عدد من نقاط الوصول المرتبطة بتلك المحطة بواسطة ليفة ضوئية أحادية النمط طولها 20 كم. صُممت شبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي في هذا البحث لتوفر معدل نقل بيانات 2 جيجابايت/ثانية لكل طول موجي عند معدل خطأ بت 10^{-9} ، في كل من اتجاهي تدفق البيانات الهابط والصاعد في الشبكة البصرية الخاملة. يتم توزيع معدل البيانات 2 جيجابايت/ثانية عند النقطة البعيدة وفق الإرسال المتعدد بتقسيم الزمن إلى 32 نقطة وصول، وبذلك فإن كل نقطة وصول يمكنها بث بيانات بمعدل بيانات 54 ميجابايت/ثانية عند استخدام تقنية البث اللاسلكي الفائقة الدقة، أو 30-70 ميجابايت/ثانية عند استخدام تقنية التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة.

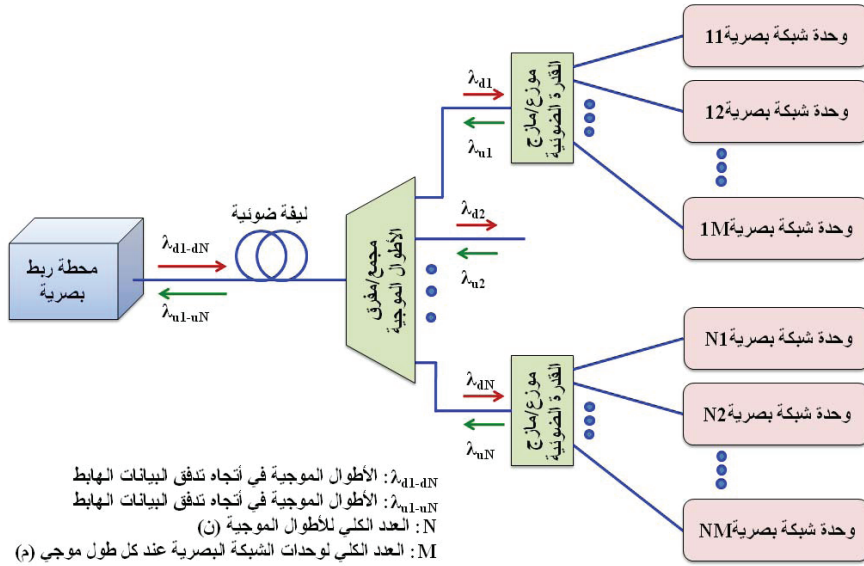


الشكل 2. مخطط النظام البصري-اللاسلكي المتكامل

3.1 الشبكة البصرية في الطرف الخلفي

الشبكة البصرية في الطرف الخلفي تُنفذ باستخدام شبكة بصرية خاملة بتقنية الإرسال المتعدد بتقسيم الأطوال الموجية وتقسيم الزمن كما هو موضح بالشكل 3. محطة الربط البصرية عند المركز الرئيسي تقوم بتخصيص $N=8$ أطوال موجية لإرسال البيانات لكل من اتجاهي تدفق البيانات الهابط (λ_d) والصاعد (λ_u) عبر ليفة ضوئية أحادية النمط طولها 20 كم، ولها معامل توهين 0.2 ديسيبل/كم. في اتجاه تدفق البيانات الهابط تصل الإشارة الضوئية المحملة بالبيانات من طرف الليفة الضوئية إلى مفرق الأطوال الموجية ليوزع تلك الأطوال حسب الهدف، وبلي ذلك موزع قدرة ضوئية لكل طول موجي على حدة يقوم بتوزيع الإشارة الضوئية التي لها نفس الطول الموجي إلى عدد م من الإشارات الضوئية التي تتوزع حسب التقسيم الزمني إلى م وحدة شبكة بصرية. بينما يتم العكس تماماً في اتجاه تدفق البيانات الصاعد من كل وحدات الشبكة البصرية إلى محطة الربط البصرية عند المركز الرئيسي. يوضح الجدول 1 قيم المعاملات الهامة لعناصر الشبكة البصرية في الطرف الخلفي المصممة في هذا البحث.

عند محطة الربط البصرية يتم تخصيص الأطوال الموجية التي سيتم استخدامها للإرسال والاستقبال في الشبكة البصرية، وتوزيع النطاق الترددي حسب الخدمات التي توفرها الشبكة للمستخدمين النهائيين الجدول 2 يوضح الأطوال الموجية المخصصة لكل من الوصلة الهابطة والصاعدة في الليفة الضوئية. وقد تم اختيار تلك الأطوال الموجية ضمن النطاق الضوئي الاعتيادي (1530-1565 نانومتر) بفواصل تردد ضوئي بمقدار 200 جيجاهرتز لكل الأطوال الموجية على نفس الوصلة، وكذلك فرق 100 جيجاهرتز بين كل طول موجي للوصلة الهابطة وما يقابله في الوصلة الصاعدة مثلاً الفرق بين الطول الموجي الهابط رقم 1 (λ_{d1}) و الطول الموجي الصاعد رقم 1 (λ_{u1}) هو 100 جيجاهرتز وهكذا.



الشكل 3. مخطط الشبكة البصرية في الطرف الخلفي

الجدول 1. قيم المعاملات الهامة للشبكة البصرية

القيمة	المعامل
0 ديسيبل ملي *	القدرة الضوئية المرسلية
30- ديسيبل ملي	حساسية المستقبل
4 ديسيبل	معامل فقد الولوج لمجمع/مفروق الأطوال الموجية
8	عدد الأطوال الموجية المخصصة لكل وصلة (هابطة وصاعدة)
20 كم	طول الليفة الضوئية
0.2 ديسيبل/كم	معامل التوهين لليفة الضوئية
2 ديسيبل	معامل فقد الاقتران
32	نسبة التوزيع في موزع/مازج القدرة الضوئية

* مستوى القدرة بالديسيبل ملي = 10 لو10 (القدرة بالملي وات)؛ حيث لو10: اللوغاريتم العشري.

الجدول 2. الأطوال الموجية المخصصة عند محطة الربط البصرية

الوصلة الهابطة		الوصلة الصاعدة	
الطول الموجي (نانومتر)	التردد (تيرا هرتز)	الطول الموجي (نانومتر)	التردد (تيرا هرتز)
1548.5100	193.6000	1549.3200	193.5000
1550.1200	193.4000	1550.9200	193.3000
1551.7200	193.2000	1552.5200	193.1000
1553.3000	193.0000	1554.1300	192.9000
1554.9400	192.8000	1555.7500	192.7000
1556.5600	192.6000	1557.3600	192.5000
1558.1700	192.4000	1558.9800	192.3000
1559.7900	192.2000	1560.6100	192.1000

3.2 الشبكة اللاسلكية في الطرف الأمامي

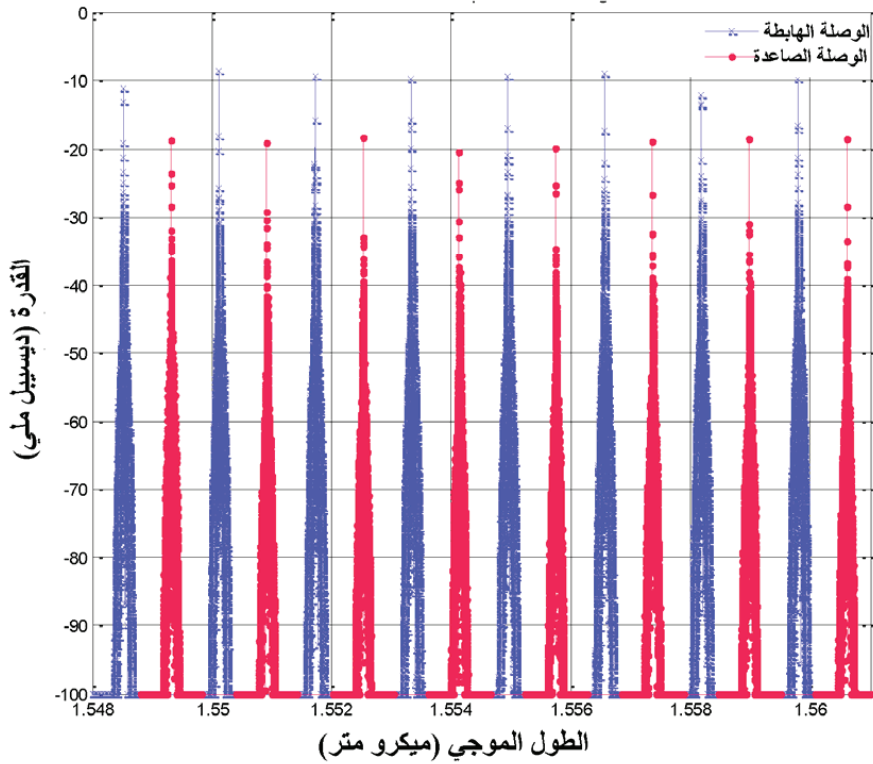
في الطرف الأمامي للشبكة هناك مجموعة من نقاط الوصول والموجهات اللاسلكية وعدد من مستخدمي الطرفيات اللاسلكية ترتبط معا لاسلكياً بتركيب بنائي تشابكي لتشكل معاً الشبكة التشابكية اللاسلكية كما هو مبين في الشكل 1. في هذا البحث يتم التركيز بشكل أكبر على نقاط الوصول لأنها تقوم بالوصل بين شبكتين تستخدم اوساط نقل مختلفة الليفة الضوئية والفضاء الحر وبالاتجاهين الهابط والصاعد. هناك نوعان من نقاط الوصول تدعمها شبكة الوصول اللاسلكية-البصرية عريضة النطاق الترددي وهما نقاط وصول بتقنية البث اللاسلكي الفائق الدقة (المعيار: IEEE802.11a)، أو تقنية التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة (المعيار: IEEE802.16a). في مرسل/مستقبل نقطة الوصول تُضمن بيانات التزامن باستخدام رمز واحد من رموز ارسال متعدد بتقسيم التردد المتعامد ونوع التضمين الابراق بازاحة الطور، بينما تُضمن البيانات الأساسية باستخدام العديد من رموز الارسال المتعدد بتقسيم التردد المتعامد يعمل اعتماداً على تضمين الاتساع التريبيعي 64، وبمتوسط قدرة إشارة مرسل 16- ديسيبل ملي (تردد حامل: 5.2 جيجا هرتز)، و 10- ديسيبل ملي (تردد حامل: 2.35 جيجا هرتز) في كلٍ من نقطة الوصول بتقنية البث اللاسلكي الفائق الدقة، ونقطة الوصول بتقنية التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة على التوالي. الجدول 3 يسرد قيم المعاملات الهامة للشبكة اللاسلكية في الطرف الخلفي.

الجدول 3. قيم المعاملات الهامة للشبكة اللاسلكية

المعامل	تقنية البث اللاسلكي الفائق الدقة	تقنية التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة
القدرة المرسله	16- ديسيبيل ملي	10- ديسيبيل ملي
تردد الحامل	5.2 جيجاهرتز	2.35 جيجاهرتز
عرض نطاق القناة	20 ميجاهرتز	10 ميجاهرتز
معدل البيانات	54 ميجابت/ثانية	30-70 ميجابت/ثانية
مدى التغطية	50 متر	5 كم
التقنية المستخدمة	ارسال متعدد تقسيم التردد المتعامد (64 قناة)	ارسال متعدد تقسيم التردد المتعامد (256 قناة)
نوع التضمين	ابراق بازاحة الطور الثنائي، تضمين اتساع تربييعي 64	ابراق بازاحة الطور الثنائي، تضمين اتساع تربييعي 64

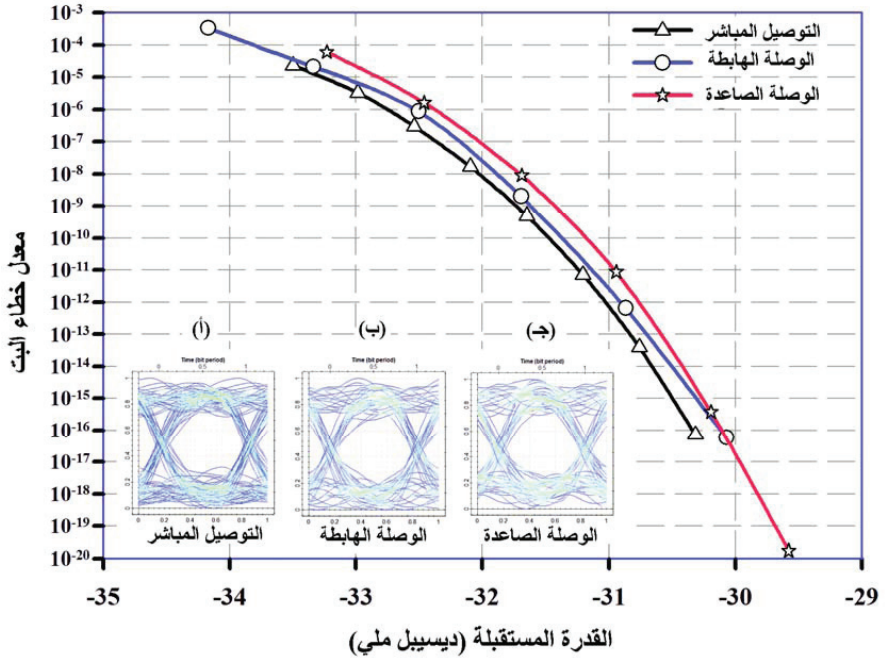
4 النتائج والمناقشة

تعتبر دراسة وتحليل معدل خطأ البت ومخطط العين عند المستقبل تقييم مناسب لنظام الاتصالات الرقمية، ولتقييم أداء الشبكة البصرية في الطرف الخلفي تم تحليل معدل خطأ البت بالنسبة للقدرة الضوئية المستقبلية عند مستقبلات الإشارة الضوئية لكل من وحدة الشبكة البصرية، ومحطة الربط البصرية في اتجاهي تدفق البيانات الهابط والصاعد على التوالي، عند تحليل معدل خطأ البت ومخطط العين تم وضع نسبة توزيع $1/32$ لكل موزع/مازج قدرة ضوئية؛ بحيث تزود الشبكة البصرية 32 نقطة وصول لكل طول موجي على حدة. إن أفضل أداء للشبكة البصرية يحصل عند معدل خطأ بت 10^{-9} عند مستقبل الإشارة الضوئية، بينما أفضل أداء للشبكة اللاسلكية يكون بمعدل خطأ بت 10^{-5} عند مستقبل الإشارة اللاسلكية. الشكل 4 يبين الأطوال الموجية المخصصة لكل من الوصلة الهابطة والوصلة الصاعدة عبر الليفة الضوئية.



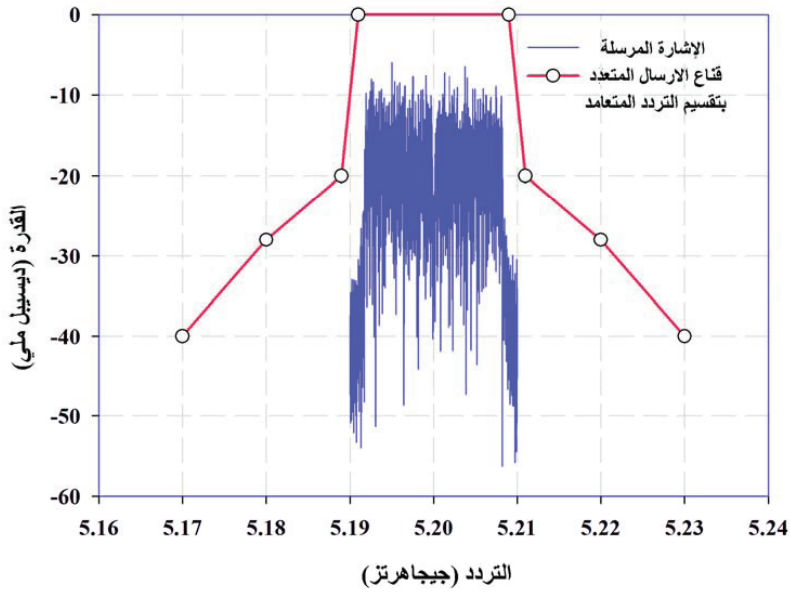
الشكل 4. الأطوال الموجية المخصصة للوصلة الهابطة والصاعدة للشبكة البصرية

الشكل 5 يوضح أداء معدل خطأ البت بالنسبة للقدرة الضوئية المستقبلية عند وحدة الشبكة البصرية ومحطة الربط البصري لكل من الوصلة الهابطة والوصلة الصاعدة على التوالي، بالإضافة إلى ذلك الأداء عند التوصيل المباشر بدون اعتبار لللفة الضوئية. ومن الشكل يتضح أن مقدار فرق فقد القدرة الضوئية حوالي 0.4 ديسيبل عند معدل 10^{-9} بعد انتقال الإشارة عبر ليفة ضوئية أحادية النمط 20 كيلومتر. مخطط العين لنظام اتصالات الشبكة البصرية عند التوصيل المباشر، والوصلة الهابطة، والوصلة الصاعدة موضح ضمن الشكل 5؛ في المخططات (أ)، (ب)، و (ج) على التوالي، وتوضح تلك المخططات أن الإشارة الكهربائية المستقبلية عند وحدة الشبكة البصرية، ومحطة الربط البصرية تبدي فروقا بسيطة وجودة متميزة في كل من الوصلة الهابطة والوصلة الصاعدة على التوالي، كما تدل على انخفاض كبير في تداخل البيانات ونسبة ضوضاء صغيرة جداً في هذا النظام.

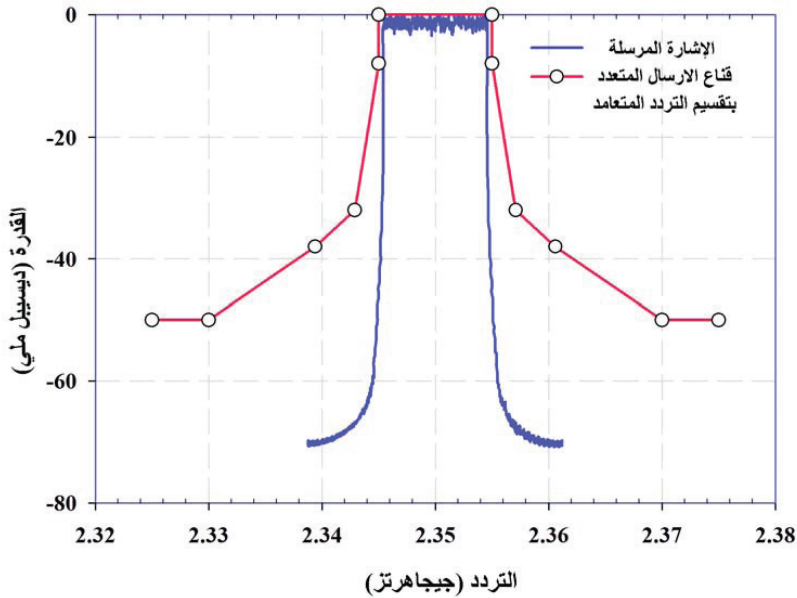


الشكل 5. معدل خطأ البت بالنسبة لقدرة المستقبل للوصلة الهابطة والصاعدة للشبكة البصرية

في الطرف الخلفي لشبكة الوصول يتم استقبال الإشارة الكهربائية المكتشفة عند وحدة الشبكة البصرية وتضمينها ومعالجتها وإرسالها من نقطة الوصول إلى الشبكة التشابكية اللاسلكية عبر هوائي نقطة الوصول. الشكل 6 (أ) يوضح الطيف الترددي للإشارة الراديوية المرسلة عند نقطة الوصول بتقنية البث اللاسلكي الفائق الدقة، التي تحقق عرض نطاق ترددي 20 ميغاهرتز عند التردد الحامل 5.2 جيجاهرتز. الشكل 6 (ب) يوضح الطيف الترددي للإشارة الراديوية المرسلة عند نقطة الوصول بتقنية التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة، التي تحقق عرض نطاق ترددي 10 ميغاهرتز عند التردد الحامل 2.35 جيجاهرتز، وتمتلك كفاءة طيف ترددي أكبر منها في نقطة الوصول بتقنية البث اللاسلكي الفائق الدقة. كما يوضح الشكل 6 قناع الطيف الترددي للقدرة المرسلة لكل تقنية مستخدمة، ويُعرف قناع الطيف الترددي بمستويات القدرة المرجعية التي تحدد القيم العظمى المسموحة خارج نطاق قدرة الإشعاع المرسلة عند تردد ما باستخدام الإرسال المتعدد بتقسيم التردد المتعامد [9].

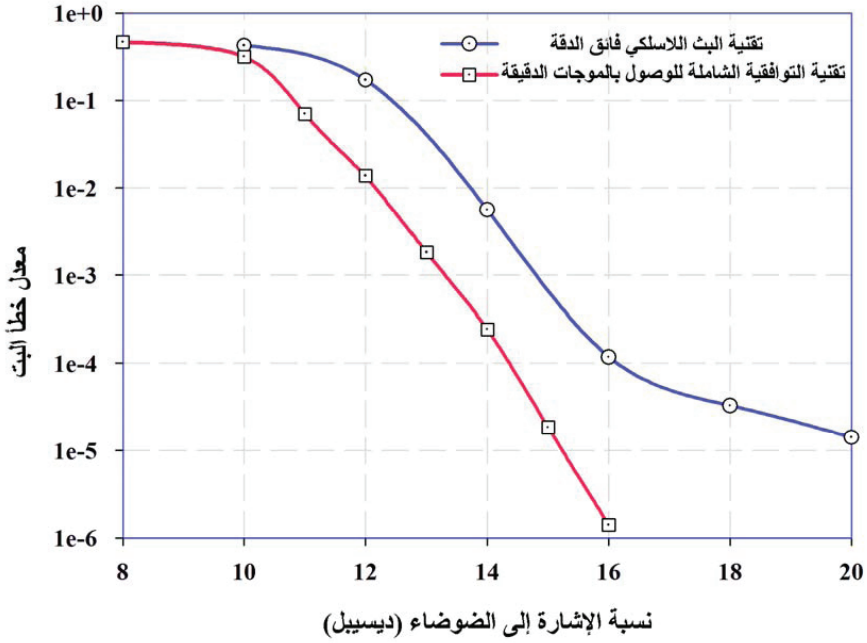


(أ) تقنية البث اللاسلكي فائق الدقة



(ب) تقنية التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة

الشكل 6. طيف الإشارة المرسلة عند نقطة الوصول



الشكل 7. معدل خطأ البت بالنسبة لنسبة الإشارة إلى الضوضاء عند مستقبل الإشارة اللاسلكية

الشكل 7 يوضح العلاقة بين معدل خطأ البت ونسبة الإشارة إلى الضوضاء عند المستقبل في الطرف اللاسلكي، حيث تم اعتبار تأثيرات ضوضاء الطور وازاحة التردد على الإشارة المرسلة في قناة الوصلة الهابطة اللاسلكية، ويبين الشكل 7 أن أفضل أداء للشبكة اللاسلكية يكون عند نسبة إشارة إلى ضوضاء أكبر من 18 ديسيبل، و 15 ديسيبل عند مستقبل الإشارة لكل من تقنية البث اللاسلكي الفائق الدقة وتقنية التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة وعلى مدى تغطية 50 متر، و 5 كم على التوالي، باعتبار أن معدل خطأ البت عند ذلك هو 10^{-5} ، وما نلاحظه من ذلك أن تقنية التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة تُعتبر أكثر كفاءة في القدرة من تقنية البث اللاسلكي الفائق الدقة.

5 الخاتمة

في هذه الورقة البحثية تم استعراض وتصميم البنية المعمارية لشبكة الوصول اللاسلكية-البصرية باعتبارها تقنية ملائمة للجيل القادم من شبكات الوصول. شبكة الوصول المُقدّمة في هذا البحث حققت معدل نقل بيانات 2 جيجابت/ثانية لكل طول موجي وعلى اتجاهي تدفق البيانات الهابط والصاعد لليفة ضوئية بطول 20 كم للشبكة البصرية في الطرف الخلفي، يتم توزيع ذلك المعدل

على 32 نقطة وصول لكل طول موجي، بحيث يمكن لكل نقطة وصول تزويد معدل نقل بيانات 54 ميجابت/ثانية، و 30 ميجابت/ثانية على قناة لاسلكية بطول 50 متر (واي فاي)، و 5 كم (واي ماكس) على التوالي. لتطوير هذا العمل مستقبلاً يمكن تحسين النطاق الترددي للشبكة التشابكية اللاسلكية في الطرف الأمامي باستخدام تقنية البث اللاسلكي الفائقة الدقة معيار IEEE802.11n والذي يزود معدل نقل بيانات 600 ميجابت/ثانية على القناة اللاسلكية، وكذلك فإن معدل نقل البيانات في الشبكة البصرية يمكن تحسينه وزيادته حسب الطلب باستخدام نفس التقنية لهذا البحث.

6 شكر وتقدير

يتقدم الباحثان بجزيل الشكر والتقدير لجامعة التقنية الماليزية، ومركز التقنية الضوئي بالجامعة، وجامعة تعز باليمن لتقديم التسهيلات المناسبة لإنجاز هذا البحث. كما نود أن نشكر وزارة العلوم والتقنية والإبداع الماليزية لدعمها لهذا العمل ضمن المشروع رقم 73720.

المراجع

- [1] S. Sarkar, S. Dixit, and B. Mukherjee, "Hybrid Wireless Optical Broadband Access Network (WOBAN): A Review of Relevant Challenges," *IEEE Journal of Lightwave Technology (JLT)*, vol. 25, no. 11, pp. 3329-3340, Nov. 2007.
- [2] B. Mukherjee, "Hybrid Wireless-Optical Broadband Access Networks," *IEEE, Lasers and Electro-Optics Society, 2008. LEOS 2008*, pp. 794 – 795, Nov.2008.
- [3] W. Shaw, S. Wong, N. Cheng, K. Balas, X. Zhu, M. Maier, and L. Kazovsky, "Hybrid Architecture and Integrated Routing in a Scalable Optical-Wireless Access Network," *J. Lightwave Technol.*, Vol.25, pp. 3443–3451, 2007.
- [4] C. Lim, A. Nirmalathas, M. Bakaul, P. Gamage, K. Lee, Y. Yang, D. Novak, and R. Waterhouse, "Fiber-Wireless Networks and Subsystem Technologies," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 28, 390–405, 2010.
- [5] Reaz, V. Ramamurthi, S. Sarkar, D. Ghosal, and B. Mukherjee, "Hybrid Wireless-Optical Broadband Access Network (WOBAN): Capacity Enhancement for Wireless Access," *Global Telecommunication conf. (GLOBECOM 2008, IEEE)*, Dec. 2008.
- [6] N. Ghazisaidi, M. Maier, and C. Assi, "Fiber-Wireless (FiWi) Access Networks: A Survey," *IEEE, Communications Magazine*, vol. 24, no. 3, pp. 160-167, Feb. 2009.
- [7] C. Bock, T. Quinlan, M. Thakur, and S. Walker, "Integrated Optical Wireless Access: Advanced Topologies for Future Access Networks," *IEEE, Transparent Optical Networks, ICTON*, Jul. 2009.
- [8] J. Kani, "Trends in Next Generation Optical Access Networks and a Proposed Hybrid Optical/Wireless Wide-area Access Network", *PIERS*, vol. 4, no. 1, pp. 101-105, Mar. 2008.
- [9] H. Schulze, and C. Lüders, *Theory and Applications of OFDM and CDMA: Wideband Wireless Communications*, John Wiley and Sons, 2005.
- [10] R. Q. Shaddad and A. B. Mohammad, "Performance assessment of a 2 Gb/s hybrid optical-wireless access network," *IEEE, International Conference on Photonics (ICP 2010)*, Langkawi, Malaysia, Jul. 2010.
- [11] R. Q. Shaddad, A. B. Mohammad, and A. Al-hetar, "Performance evaluation for optical backhaul and wireless front-end in hybrid optical-wireless access network," *Optoelectron Adv Mat*, vol. 5, no. 4, pp. 376-380, Apr. 2011.

Title: Performance evaluation of a 2 Gb/s Wireless-Optical Broadband Access Network (WOBAN)

Abstract. The hybrid wireless-optical broadband-access network (WOBAN) is a promising future access network. It is an optimal combination of an optical backhaul and a wireless front-end for an efficient access network. In the optical backhaul, an optical line terminal (OLT) at the central office (CO) and many optical network units (ONUs) are connected by a 20 km single mode fiber (SMF). Each ONU is integrated with a wireless router to make one access point (AP). Many APs, wireless routers, and end users form together the wireless front-end. In this paper, the architecture of the WOBAN is proposed and designed based on both a wavelengths division multiplexing/time division multiplexing passive optical network (WDM/TDM PON) at the optical backhaul and wireless fidelity/worldwide interoperability for microwave access (WiFi/WiMAX) technologies at the wireless front-end. It is demonstrated 2 Gb/s for downstream/upstream can be achieved at optical backhaul for each wavelength channel, at data rates of 54 Mb/s (WiFi) and 30 Mb/s (WiMAX) per AP along a 50 m and 5 km wireless links respectively.

Keywords: Wireless-optical broadband access network, passive optical network, wavelengths division multiplexing, wireless mesh network, access point, orthogonal frequency division multiplexing.

المصطلحات

شبكة وصول	Access network
نقطة وصول	Access point
شبكة بصرية خاملة	Passive optical network
شبكة تشابكية لاسلكية	Wireless mesh network
طرف أمامي	Front-end
ارسال متعدد بتقسيم الزمن	Time division multiplexing
ارسال متعدد بتقسيم الأطوال الموجية	Wavelength division multiplexing
ارسال متعدد بتقسيم التردد المتعامد	Orthogonal frequency division multiplexing
البث اللاسلكي فائق الدقة	Wireless fidelity (WiFi)
التوافقية الشاملة للوصول بالموجات الدقيقة	Worldwide interoperability for microwave access (WiMAX)

محطة ربط بصرية	Optical line terminal
وحدة شبكة بصرية	Optical network unit
مستخدم نهائي أو طرفي	End user
تشغيل رباعي	Quad-play
قابلية تغيير الأبعاد	Scalability
مركز أو مكتب رئيسي	Central office
مجمع/مفروق إرسال متعدد	Multiplexer/demultiplexer
موزع/مازج القدرة	Power splitter/combiner
موجه	Router
بنية تركيبية	Topology
جودة الخدمة	Quality of service
تدفق بيانات بالاتجاه الهابط	Downstream
تدفق بيانات بالاتجاه الصاعد	Upstream
وصلة هابطة	Downlink
وصلة صاعدة	Uplink
نظام بصري-لاسلكي متكامل	Integrated optical-wireless system
زمن تأخير	Delay time
سعة بيانات	Throughput
مخطط العين	Eye diagram
فقد القدرة	Power penalty
معدل خطأ بت	Bit error bit
نسبة الإشارة إلى الضوضاء	Signal to noise ratio
خارج نطاق	Out-of-band
تضمين اتساع تربيعي	Quadrature amplitude modulation
كفاءة الطيف الترددي	Spectrum efficiency
ضوضاء الطور	Phase noise
ازاحة التردد	Frequency offset
فاصل القناة، فاصل ترددي	Channel spacing
نسبة توزيع	Split ratio
فقد الولوج	Insertion loss
عُقدة بعيدة	Remot node
مدى التغطية	Coverage range

تغير تردد الناقل في منظومة تعدد النواقل والإطالة المباشرة في الولوج المتعدد بتقسيم الشفرة مع متلقي ذو تردد متوسط منعدي

إبراهيم اكبيل¹، بنعيد نصيري²، دريس ابوتاج الدين¹، كيوم فيري³

¹ جامعة محمد الخامس أكادال ، كلية العلوم الرباط

ص.ب: 1014 شارع ابن بطوطة أكادال الرباط ، المملكة المغربية

² جامعة الحسن الثاني ، كلية العلوم عين الشق الدار البيضاء ،

ص.ب: 5366 المعاريف الدار البيضاء 20100 ، المملكة المغربية

³ جامعة بوردو I

ص.ب 33405 ، شارع ليبراسيون طالانس ، فرنسا

akbil.brahim@ieee.org, nsiri2000@yahoo.fr, aboutaj@fsr.ac.ma, guillaume.ferre@ims-bordeaux.fr;

الخلاصة. يتناول البحث تطبيق طريقة جديدة لتقدير تغير تردد الناقل (ت.ب.ن) للإرسال في منظومة تعدد النواقل والإطالة المباشرة في الولوج المتعدد بتقسيم الشفرة (ت.ن.ا-م.و.م.ب.ش) مع متلقي ذو تردد متوسط منعدي (ت.م.م). تستند إستراتيجية التقدير المقترحة على حساب التباين لقوة طيف الإشارة الواردة عبر قنوات الخفوت متعدد المسارات. التحليل النظري لهذه الطريقة ونتائج المحاكاة كلها واردة في هذا البحث مقارنة مع الطرق المدروسة والمنشورة في هذا المجال كتقدير تغير تردد الناقل في تقسيم التردد المتعامد (ت.ب.ت).

الكلمات الجوهرية: تعدد النواقل والإطالة المباشرة في الولوج المتعدد بتقسيم الشفرة، تردد متوسط منعدي، تقدير تغيرات التردد، التزامن.

1 مقدمة

تعد تقنية تعدد النواقل والإطالة المباشرة في الولوج المتعدد بتقسيم الشفرة (ت.ن.ا-م.و.م.ب.ش) [1،2]. إحدى التقنيات البارزة مؤخراً في مجال النفاذ المتعدد في طبقة النقل المستقبلية لشبكات الاتصالات اللاسلكية، وهذا راجع إلى قدرتها على تحمل الولوج المتعدد للمستخدمين ومقاومتها لخفوت التردد الانتقائي من أنظمة الحامل الوحيد وكفاءتها الطيفية العالية ومقاومتها للتداخلات، سواء كانت تداخلات بين الإشارات أو بين الترددات الناقلة. إلا أن استغلال مزايا هذه التقنية يتطلب تحقيق تزامن بين المرسل والمتلقي، والتي يصعب تحقيقها خاصة مع تواجد قنوات الخفوت وتغير التردد بين المذبذب المحلي

الخاص بجهاز الإرسال والمذبذب المحلي الخاص بجهاز الاستقبال، وأيضاً وجود تحول دوبلر (حركية المحمول يسبب فقدان تعامدية النواقل الفرعية)، ممّا يؤدي إلى التداخل المشترك بين النواقل.

سبقَ وأن تم اقتراح عدة طرق لحل مشكل تقدير تغيّرات التردد (ت.ت)، معظمها تستند على رموز تقسيم التردد المتعامد وكذا الأجزاء المماثلة في هذه الرموز. موس وآخرون، اقترحوا طريقة لتقدير تغيّرات التردد باستخدام رمزين متكررين للبيانات، تعتمد هذه الخوارزمية على الاقتناء المبدئي في حالة الشك في تغيّر يتجاوز نصف مسافة تباعد النواقل [3]. بعد خوارزمية موس، كلاسين استخدم ثلاثة رموز ت.ت.م لكل إطار زمني في التزامن، ويحتوي الرمزين الأولين على النواقل الفرعية للترزامن تحمل معلومات معروفة أما الرمز الثالث فهو نسخة لأحد الرمزين الأولين [4]. أمّا شميل فقد اقترح طريقة تزامن تعتمد على رمزي ت.ت.م مع أنصاف تماثل لتقدير تغيّر التردد [5]. هذه الطريقة تُبسّط إلى حد كبير الحسابات الضرورية في طريقة كلاسين ويمكن استعمالها لانبثاق البيانات واكتشاف ما إذا كان الانبثاق حاضر وتحديد بدايته. أولاً يتم العثور على الإطار الرمزي للتوقيت من خلال البحث عن الرمز الذي يكون فيه النصف الأول مطابقاً للنصف الثاني في المجال الزمني. بعدئذ يتم تصحيح تغيّرات ناقل التردد جزئياً ويتم تنفيذ الارتباط مع الرمز الثاني للعثور على تغيّرات ناقل التردد. في المقابل استعمل فإن ذي بيك مقدر الأرجحية القصوى لبداية دور ب.د-ت.ت.م [6]. تعتمد هذه الطريقة على وجود ارتباط بين بداية الدور والمعلومات المرسلّة للحصول على تغيّرات الزمن والتردد دون اللجوء إلى ذيليات إضافية. هذه الطريقة تُستعمل في القنوات المسطحة ولا تتناسب مع قنوات التردد الانتقائي. مؤخراً، ميتريل اقترح خوارزمية لتقدير ت.ت.ن. باستعمال مُتلقّي ذو تردد مُتوسّط منعيم (ت.م.م) [7]. هذه الخوارزمية تُصحّح التغيّرات من ناقل بيانات التضمين دون اللجوء إلى ارتباط المعلومات مع بداية الدور وكذا دون استعمال الأجزاء المماثلة مثل نواقل الذيليات أو النواقل الفارغة لهما من سلبيات على الاستغلال المفرط لتمرير النطاق. مشاركتنا هذه تهدف إلى اقتراح طريقة جديدة لتقدير تغيّرات ناقل التردد في منظومة ت.ن-ا.م-و.م.ت.ش مع مُتلقّي ذو تردد مُتوسّط منعيم وباستعمال الإطالة بـرموز كولد. بقية هذا البحث منظم على النحو التالي: الفقرة الثانية تتناول بالتّحديد أهمية تقدير تغيّرات التردد في المنظومة ت.ن-ا.م-و.م.ت.ش وباستعمال المُتلقّي ت.م.م. الفقرة الثالثة تتضمن نتائج المحاكاة ومناقشتها ونختتم هذا المقال بدرج بعض الاستنتاجات حول أهمية الطريقة المقترحة.

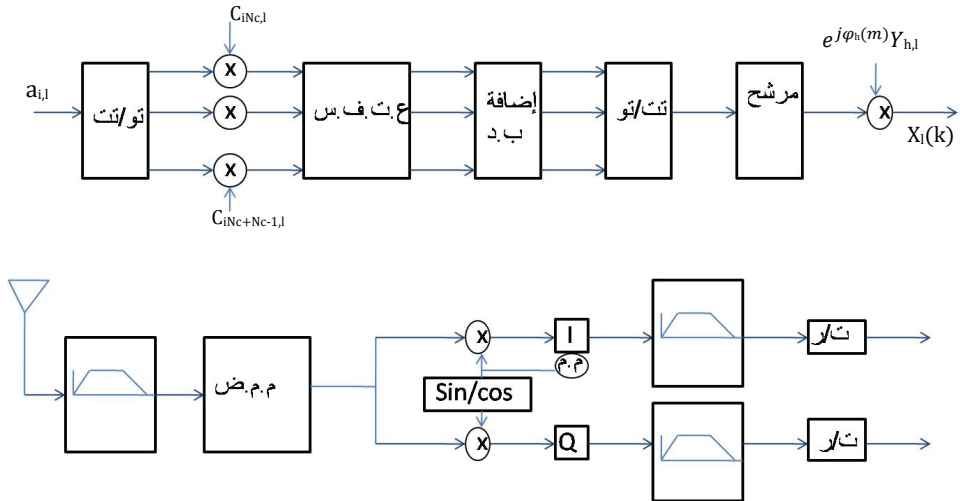
2 نموذج لمنظومة تعدد النواقل والإطالة المباشرة في الولوج المتعدد بتقسيم الشفرة

المُتلقّي ذو تردد مُتوسّط منعيم هو جهاز استقبال لا سلكي يُستخدم مذبذب محلي مع نفس ناقل التردد، هذا المُتلقّي يحوّل تمرير النطاق لإشارة ت.ن-ا.م-و.م.ت.ش إلى نطاق قاعدي بحيث يكون التردد المركزي للناقل الفرعي (واحد من كل ثلاثة) منعيمًا. في دراستنا اعتمدنا على نظام ت.ن-ا.م-و.م.ت.ش في المجال الزمني والذي تم اقتراحه من طرف ذا سيلفا وسوسا سنة 1993 [8]. بحيث يتم مضاعفة كل تتابع البيانات بتتابع الإطالة الخاصة بالمستخدم ويكون طول تتابع الإطالة مساوياً لعدد النواقل الفرعية. بعد الإطالة، يتم التضمين بتعدد النواقل عن طريق عكس تحويل فورير السريع (ع.ت.ف.س)، ويحدّد عدد نقط αN وفقاً لطول الجزء المستعمل لتقدير قوة الطيف.

جدول 1: الرموز المستعملة وقيمتها في المحاكاة

الرمز	الدلالة	قيمة المحاكاة
N	طول تحويل فوريير السريع ت.ف.س	256
N_c	طول رمز الإطالة	200
N_{sc}	عدد النقلات الفرعية	200
N_{cp}	طول بادئة الدور	32
N_{ss}	طول عينة المعلومات	196
N_{sym}	عدد رموز ت.ن.أ.م.و.م.ت.ش المستعملة	100
$\Delta\omega$	تغير تردد الناقل	---
$\varphi_i(n)$	طور الناقل رقم i	---
$C_{iN_c+p,l}$	رمز الإطالة	كود
αN	عدد النواقل	1024 مع $\alpha = 4$
Δf	المسافة الفاصلة بين الترددات	---
$a_{i,l}(n)$	رمز البيانات رقم i للمستخدم رقم l	---

يُبين الجدول أعلاه الرموز المستعملة في هذا البحث وقيمتها في المحاكاة، أما الشكل 1 فيبين بنية النظام ت.ن.أ.م.و.م.ت.ش مع مُتلقّي (ت.م.م.).



الشكل 1: بنية النظام ت.ن.أ.م.و.م.ت.ش

يتم ضرب جداء كل رمز للبيانات $a_{i,l}$ مع الرقاقة C_{iN_c} خلال المجال الرمزي لكل تتابع مُخصَّص للمستخدم، يمدد خارج المستطيل ع.ت.ف.س باستعمال بادئة دور ذات عينة N_{cp} يساوي مجموع الإشارات الواردة ويمكن أن نكتبها على الشكل التالي:

$$X_i(k) = \frac{1}{\sqrt{A}} \sum_{n=0}^{\alpha N-1} \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} \sum_{p=0}^{N_c-1} a_{ij}(n) C_{iN_c+p,l} e^{j\left(\frac{2\pi kn}{\alpha N} + \varphi_i(n)\right)} \quad (1)$$

علمًا أنَّ :

$$a_{ij}(n) = e^{j(i\Delta f n + \Delta\omega)} = e^{j\frac{2\pi n}{N}\Delta\omega} \quad (2) \text{ و } A = \alpha N \cdot N_c$$

سوف نركز على قوة طيف الإشارة لتقدير تغير تردد الناقل بدون إضافة أي جزء مكرر للبيانات ولا أي جزء مماثل، ويمكن أن نكتب قوة طيف الإشارة على النحو التالي:

$$\varphi^l(k) = E[X_i(k)X_i^*(k)] \quad (3)$$

بحيث $X_i^*(k)$ متقارن معقد ل $X_i(k)$

$$X_i^*(k) = \frac{1}{\sqrt{A}} \sum_{n=0}^{\alpha N-1} \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} \sum_{p=0}^{N_c-1} e^{-j\left(\frac{2\pi n}{N}\Delta\omega\right)} C_{iN_c+p,l} e^{-j\left(\frac{2\pi kn}{\alpha N} + \varphi_i(n)\right)} \quad (4)$$

$$\varphi^l(k) = E \left[\frac{1}{A} \sum_{n,m=0}^{\alpha N-1} \sum_{i,h=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} e^{j\Delta\omega(n-m)} e^{j\frac{2\pi(ih-nm)}{N}} \sum_{p,p'=0}^{N_c-1} C_{iN_c+p,l} e^{j2\pi\left(\frac{k(n-m)}{\alpha N}\right)} C_{iN_c+p',l}^* e^{j(\varphi_i(n)-\varphi_h(m))} \right] \quad (5)$$

نفترض أن البيانات المضمنة للنواقل الفرعية مستقلة عن بعضها البعض، إذن $E[e^{j(\varphi_i(n)-\varphi_h(m))}] = 0$ في حالة $i \neq h$ ويمكن إعادة كتابة قوة الطيف على الشكل التالي:

$$\varphi^l(k) = \frac{1}{A} \sum_{n,m=0}^{\alpha N-1} \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} e^{j\Delta\omega(n-m)} e^{j\frac{2\pi i(n-m)}{N}} \sum_{p,p'=0}^{N_c-1} e^{j2\pi\left(\frac{k(n-m)}{\alpha N}\right)} [C_{iN_c+p,l} C_{iN_c+p',l}^* e^{j(\varphi_i(n)-\varphi_i(m))}] \quad (6)$$

لإزالة طيف البيانات، استعملنا رموز كولد وتكون مستقلة على طور الإشارة

$$E[C_p C_{p'}^* e^{j(\varphi_i(n)-\varphi_i(m))}] = E[C_p C_{p'}^*] E[e^{j(\varphi_i(n)-\varphi_i(m))}] \quad (7)$$

الارتباط الذاتي $\Psi(\tau)$ لرموز كولد لديها ذروة قصوى في الأصل تساوي القيمة الحقيقية المقدمة في (8) وبين الشكل (2) هذا الارتباط الذاتي :

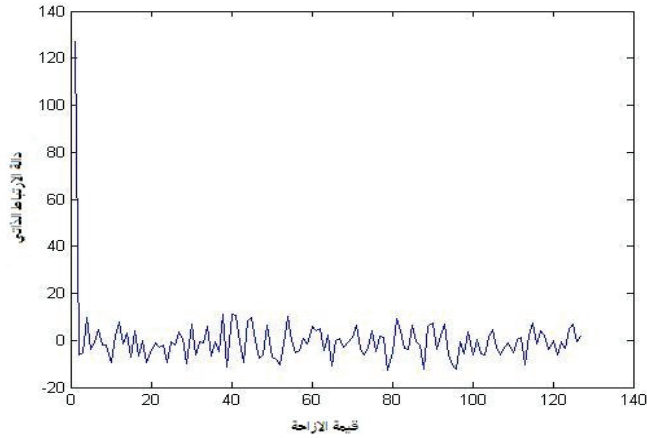
$$\Psi(\tau) = \frac{1}{N_c} \begin{cases} N_c & \tau = 0 \\ \in \{-1, -g(u), g(u) - 2\} & \tau \neq 0 \end{cases} \quad (8)$$

$$g(u) = \begin{cases} \frac{u+1}{2^{\frac{u+1}{2}}} + 1, & \text{فردي } u \\ \frac{u+1}{2^{\frac{u+1}{2}}} + 2, & \text{زوجي } u \end{cases} \quad (9)$$

في حالة $\tau \neq 0$ دالة τ تكون للإرتباط الذاتي $\Psi(\tau)$ لرموز كولد قيم اصغر بكثير من 1. $\Psi(\tau) = \frac{1}{N_c} \rho \in \{-1, -2^{\frac{u+1}{2}}, -2, 2^{\frac{u+1}{2}}\}$. ركزنا على هذا المعطى الذي يشكل الإضافة المهمة في الطريقة الجديدة المقترحة في هذا المقال، لكون خارج جداء قوة الطيف مع قيم دالة الارتباط اصغر بكثير من قيمة قوة الطيف.

إذا اعتبرنا أصل الزمن اعتباطيا، فإنَّ حدود رمزي ت.ن-ا.م.و.م.ت.ش. يكون اعتباطيا أيضا وبهذا تكون العملية $(\varphi(n) - \varphi(m))$ ذات الطول $N_f = N + N_{cp}$ ثابتة وتكتب على الشكل التالي:

$$E[e^{j(\varphi(n) - \varphi(m))}] = \begin{cases} \frac{N_f - |n-m|}{N_f}, & |n-m| < N_f \\ 0, & |n-m| \geq N_f \end{cases} \quad (10)$$



الشكل 2. دالة الارتباط الذاتي لرموز كولد بدلالة قيمة الإزاحة τ

التحول من الجمع المزدوج إلى الجمع البسيط يعطينا العلاقة التالية

$$\varphi^l(k) = \sum_{n,m=0}^{\alpha N-1} e^{j(\frac{2\pi i}{\alpha} + \Delta\omega N)(n-m)} = \sum_{|n-m|=1-\alpha N}^{\alpha N-1} (\alpha N - |n-m|) e^{j(\frac{2\pi i}{\alpha} + \Delta\omega N)(n-m)} \quad (11)$$

من ناحية أخرى، في نظام ت.ن-ا.م.و.م.ت.ش. تضمنين كل رمز يكون ثابتا خلال عينة وبهذا يكون آلية ثابتة تكتب على النحو التالي:

$$\wp^l(k) = \frac{1}{A} \sum_{\lambda=1-\alpha N}^{\alpha N-1} (\alpha N - |\lambda|) e^{j2\pi \frac{k\lambda}{\alpha N}} e^{j\Delta\omega\lambda} \frac{\rho}{N_c} \left(\frac{N_f - |\lambda|}{N_f} \right) \sum_{i=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} e^{j\frac{2\pi i\lambda}{N}} \quad (12)$$

مع $\lambda = n - m$

بالاعتماد على متوالية هندسية فان قيمة الحد الأخير في المعادلة يساوي N إذا كان $\lambda \in \{N, 0, -N\}$ أو 0 على خلاف ذلك. وباستعمال كل هذه العلاقات، يُمكننا إعادة كتابة قوة طيف الإشارة على النحو التالي :

$$\wp^l(k) = \frac{\alpha\rho}{N_c} \left[1 + \frac{(\alpha N - N)(N_f - N)}{\alpha N N_f} (e^{j(2\pi \frac{k}{\alpha} + \Delta\omega N)} + e^{-j(2\pi \frac{k}{\alpha} + \Delta\omega N)}) \right] \quad (13)$$

$$= \frac{\alpha\rho}{N_c} \left[1 + \frac{(\alpha - 1)N_c\rho}{\alpha N_f} 2 \cos(2\pi \frac{k}{\alpha} + \Delta\omega N) \right]$$

لتبسيط الحسابات نضع $\beta = \frac{(\alpha-1)N_c\rho}{N}$ و $\omega_0 = \frac{2\pi}{\alpha}$ وبوجود ضجيج $q(k)$ نعيد كتابة تباين قوة الطيف على النحو التالي:

$$\wp^{l\text{Noise}}(k) = \frac{\alpha\rho}{N_c} + \frac{\beta\rho}{N_c} \cos(\omega_0 K + \phi) + \frac{\rho}{N_c} q(k) \quad (14)$$

لتقدير θ نعتمد على دالة الارتباط بين $\wp^{l\text{Noise}}(k)$ و $\cos(\omega_0 K + \theta)$

$$\xi(\theta) = \sum_{k=0}^{N_{ss}-1} \wp^{l\text{Noise}}(k) \cos(\omega_0 K + \theta) \quad (15)$$

$$\xi(\theta) = \sum_{k=0}^{N_{ss}-1} \left(\frac{\alpha\rho}{N_c} + \frac{\beta\rho}{N_c} \right) \cos(\omega_0 K + \phi) \cos(\omega_0 K + \theta) + \sum_{k=0}^{N_{ss}-1} \frac{\rho}{N_c} q(k) \cos(\omega_0 K + \theta) \quad (16)$$

باستعمال مبدئية تسلسلات تايلور ذات الدرجة الثانية نحصل على:

$$\theta = \phi, \xi(\theta) = \xi(\phi) + \frac{\partial \xi(\theta)}{\partial \theta} \Big|_{\theta=\phi} (\phi - \theta) + \frac{\partial^2 \xi(\theta)}{\partial \theta^2} \Big|_{\theta=\phi} \frac{(\phi - \theta)^2}{2} \quad (17)$$

و باستخدام المشتقة الأولى والثانية لقوة الطيف نحصل على المعادلة التالية :

$$\xi(\theta) = \sum_{k=0}^{N_{ss}-1} \wp^l(k) \cos(\omega_0 K + \phi) - \sum_{k=0}^{N_{ss}-1} \left[\frac{\rho}{N_c} q(k) \sin(\omega_0 K + \phi) \right] \sum_{k=0}^{N_{ss}-1} \left[\frac{\beta\rho}{N_c} \cos^2(\omega_0 K + \phi) - q(k) \cos(\omega_0 K + \phi) \right] \frac{(\phi - \theta)^2}{2} \quad (19)$$

$\Delta\theta$ هو حل المعادلة $\frac{\partial \xi(\theta)}{\partial \theta} = 0$ الذي يُعطي القيمة القصوى لـ $\xi(\theta)$

$$\Delta\theta = \frac{\sum_{k=0}^{N_{ss}-1} \frac{\rho}{N_c} q(k) \sin(\omega_0 K + \phi)}{\frac{N_{ss}}{2} \beta} \quad (20)$$

يتكون الضجيج $q(k)$ من جزئين، الأول عبارة عن الضجيج الأبيض الغوسي الجمعي (ض.ا.غ.ج) والثاني ناتج عن الإشارة ذاتها. ونكتب تباين هذا الضجيج كما يلي :

$$E[q(k)^2] = \frac{\alpha N}{N_{\text{sym}} N_f} [(\phi^l(k))^2 + \sigma_n^2] \quad (21)$$

$$\widehat{\text{cfo}} = \frac{E[\Delta\theta 2]}{N_2} \quad \text{نعلم أن:}$$

إذن:

$$\widehat{\text{cfo}} = \frac{\hat{\phi}^2}{4\pi^2 N} = \frac{\alpha \sum_{k=0}^{N_a-1} \phi^2(k) \sin^2(\omega_0 K + \phi)}{4\pi^2 N_{\text{sym}} N_f \left(\frac{N_{\text{ss}}}{2} \beta\right)^2} + \frac{\alpha \sum_{k=0}^{N_a-1} \left(\frac{\rho^2}{N_c^2}\right) \sigma_n^2 \sin^2(\omega_0 K + \phi)}{4\pi^2 N_{\text{sym}} N_f \left(\frac{N_{\text{ss}}}{2} \beta\right)^2} \quad (22)$$

بتقريب قيمة تغير تردد الناقل ب $\left(\frac{2\pi}{N}\right)^2$ نحصل على المعادلة التالية:

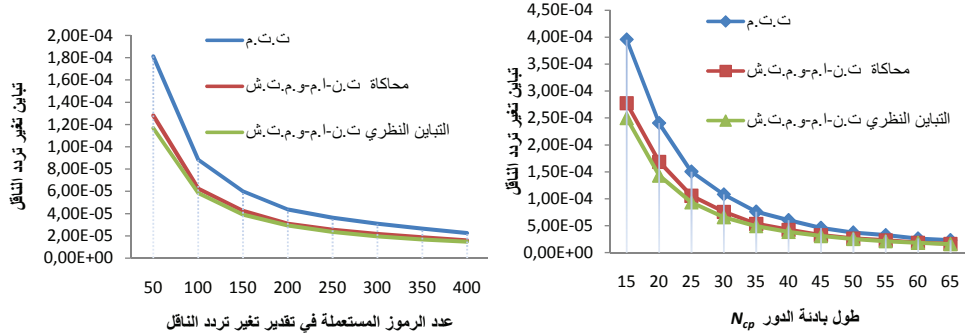
$$\widehat{\text{cfo}} = \frac{\frac{\rho^2}{N_c^2} \alpha^3 N N_f}{8\pi^2 (\alpha - 1)^2 N_{\text{sym}} N_{\text{ss}} N_{\text{cp}}} + \frac{\alpha N N_f \left(\frac{\rho^2}{N_c^2}\right) \sigma_n^2}{8\pi^2 (\alpha - 1)^2 N_{\text{sym}} N_{\text{ss}} N_{\text{cp}}} + \frac{\alpha N \sum_{k=0}^{N_a-1} \left(\frac{\rho^2}{N_c^2}\right) \cos^2(\omega_0 K + \phi) \sin^2(\omega_0 K + \phi)}{4\pi^2 N_{\text{sym}} \left(\frac{N_{\text{ss}}}{2}\right)^2} \quad (23)$$

3 تقويم نتائج المحاكاة

بعد التحليل التفصيلي لطريقتنا في تقدير تغير تردد الناقل في منظومة ت.ن.ا.م.و.م.ت.ش مع مُتلقّي ذو تردد مُتوسّط منعدم، ارتأينا في هذه الفقرة أن نَقْدَم نتائج المحاكاة ونحلّها ونقارنها مع الطريقة المستخدمة في منظومة ت.ت.م. استنادا للقيم البارزة في الجدول 1. يبين الشكل 3 مقارنة التباين النظري لمقدر تغير تردد الناقل في منظومة ت.ن.ا.م.و.م.ت.ش مع نتائج تباين المحاكاة ومع طريقة ت.ت.م. لرمز مكون من 256 عينة بدلالة طول بادئة الدور N_{cp} وكما تبين ذلك المعادلة (23).

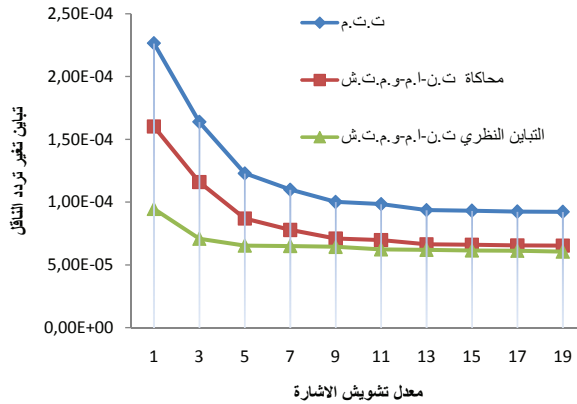
الشكل 4 بدوره يبين تأثير عدد الرموز N_{sym} المستعملة في تقدير تغير تردد الناقل في معدل تشويش الإشارة (م.ت.ا) $SNR = 10\text{dB}$. نلاحظ انه في كل قيمة يكون تباين تغير تردد الناقل لمنظومة ت.ن.ا.م.و.م.ت.ش اصغر ب 70% من تباين تغير تردد الناقل ل ت.ت.م. واكبر ب 10% من نتائج المحاكاة.

ويبين الشكل 5 تأثير الضجيج الأبيض الغوسي الجمعي (ض.ا.غ.ج) بدلالة م.ت.ا، وتكون نتيجة المحاكاة للمنظومة اكبر من نتائج النظري لكنها تكون أحسن بكثير من نتائج طريقة ت.ت.م.



الشكل 4. تأثير عدد الرموز المستعملة في تقدير تغير تردد الناقل

الشكل 3. تأثير طول بادئة الدور N_{cp}



الشكل 5. تأثير الضجيج الأبيض الغوسي الجمعي

قدمنا في هذا البحث طريقة جديدة لتقدير تغير تردد الناقل لمنظومة ت.ن-ا.م-و.م.ت.ش مع مُتَلَفِي ذو تردد مُتَوَسَّطٍ مُنْعَمٍ بالاعتماد على قوة طيف الإشارة الواردة من المرسل. هذه الطريقة تفوق في كفاءتها طريقة ت.ت.م، وعلاوة على ذلك، فإن طريقتنا بسيطة التطبيق وتُخَفِّض من استغلال تمرير النطاق لعدم تواجد الارتباط مع بادئة الدور وعدم زيادة الأجزاء المتكررة ولا الأجزاء المماثلة على غرار جميع الطرق المتواجدة إلى يومنا هذا.

المراجع

- [1] Hara S, Prasad R Overview of multicarrier CDMA, IEEE Commun Mag 1997, 35:126-33.
- [2] A.B. Djebbar, K. Abed-Meraim, A. Djebbari Blind channel equalization and carrier frequency offset estimation for MC-CDMA systems using guard interval redundancy and excess codes, Int. J. Electron. Commun. (AE) 63 (2009) 220-225.
- [3] P.H. Moose, A technique for orthogonal frequency division multiplexing frequency offset correction, IEEE Trans. Comm. 42 (10) (1994) 2908-2914.
- [4] F. Classen and H. Meyr, Frequency synchronization algorithms for OFDM systems suitable for communication over frequency selective fading channels, Proceedings of IEEE the Global Telecommunications Conference, vol.3, pp. 1655-1659, 1994.
- [5] T.M. Schmidl, D.C. Cox, Robust frequency and timing synchronization for OFDM, IEEE Trans. Comm. 45 (12) (1997) 1613-1621.
- [6] Van de Beek J J, Sandell M, Borjesson P O. ML estimation of time and frequency offset in OFDM systems, IEEE Transactions on Signal Processing, 1997, 45(7): 1800-1805.
- [7] M. Mitzel, M. Salt Carrier frequency offset recovery for a zero-IF OFDM receiver, IEEE CCECE/CCGEI, Saskatoon, May 2005.
- [8] V. M. DaSilva, E. Sousa Performance of orthogonal CDMA codes for quasi synchronous communication systems, Proc. IEEE International Conference on Universal Personal Communications, Ottawa, Canada, 2: 995-999.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Carrier Frequency Offset Estimation in MC-DS-CDMA systems with Zero-IF receivers

Abstract. A new method for frequency synchronization based upon Zero-Intermediate Frequency (zero-IF) receiver and characteristics of the received signal power spectrum for MC-DS-CDMA-Uplink system is proposed in this paper. The variance for Carrier Frequency Offset (CFO) estimators of MC-DS-CDMA-Uplink is compared with that of an OFDM system to estimate the CFO. Our study and results show that the MC-DS-CDMA system is outperforming the OFDM method.

Keywords: Zero-IF, CFO, MC-DS-CDMA, synchronization

منظومة تعدد النواقل والإطالة المباشرة في الولوج المتعدد بتقسيم الشفرة (ت.ن-ا.م-و.م.ت.ش)	Multi-Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access (MC-DS-CDMA) System
تقسيم التردد المتعامد. (ت.ت.م)	Orthogonal Frequency Division Multiplexing
تقدير تغير تردد الناقل	Carrier Frequency Offset Estimation
بادئة الدور (ب.د)	Cyclic Prefix
مُتلَقِّي ذو تردد متوسط منعدم (م.ت.م.م)	Zero- Intermediate Frequency Receiver
قنوات الخفوت مُتعدّد المسارات	Multipath Fading Channel
المذبذب المحلي (م.م)	Local oscillator
النواقل الفرعية	Subcarrier
الرمز	Symbol
قنوات التردد الانتقائي	Frequency Selective Channels
رموز كولد	Gold sequences
تمائلي (ت)	Analog
رقمي (ر)	Digital
تمرير النطاق	Pass band
مقدر	Estimator
الضجيج الأبيض الغوسي الجمعي (ض.ا.غ.ج)	Additive White Gaussian Noise
مضخم منخفض الضجيج (م.م.ض)	Low Noise Amplifier (LAN)
توازي (تو)	Parallel
تتابع (نت)	Serial
تحويل فوريير السريع (ت.ف.س)	Fast Fourier Transform

محاكاة وتقييم أداء بروتوكول التوجيه في شبكات الطاقة المنخفضة

ألقة قدور¹ ، أنيس قوبعة² ، ميلاد التزغدانتي² ، محمد عبيد¹
¹ جامعة صفاقس، المدرسة الوطنية للمهندسين بصفاقس، ص.ب. 1173، الرمز البريدي 3038، صفاقس، تونس

² جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، كلية علوم الحاسب والمعلومات
 ص.ب 5701 ، الرمز البريدي 11432 ، الرياض، المملكة العربية السعودية
³ وحدة البحوث CISTER، معهد البوليتكنيك في بورتو (ISEP/IPP) ، البرتغال

البريد الإلكتروني: miled@softmote.com, aska@isep.ipp.pt, olfa.gaddour@enis.rnu.tn

mohamed.abid@enis.rnu.tn

الخلاصة. يتفق كل الباحثين على عدم مناسبة بروتوكولات التوجيه المستخدمة حالياً في الإنترنت للاستعمال داخل شبكات الطاقة المنخفضة (LLN) نظراً لما تتطلبه من ذاكرة وقوة معالجة وتبادل مكثف للرسائل. لذلك اقترح بعض الباحثين إدخال بعض القيود والتحسينات عليها لتتلاءم مع خصائص هذه الشبكات. في المقابل قام فريق العمل المكلف بهندسة الإنترنت (IETF/ROLL) بتطوير بروتوكول توجيه (RPL) صمم خصيصاً للاستعمال داخل شبكات الطاقة المنخفضة وهو متوافق مع النسخة السادسة من بروتوكول الإنترنت المكيفة للإشتغال مع الشبكات الشخصية اللاسلكية ذات الطاقة المنخفضة (6LoWPAN). لا يزال هذا البروتوكول في صيغة مسودة إنترنت ومع ذلك فقد اكتسب الكثير من النضج ولقي اهتماماً واسعاً في الأوساط البحثية. في هذه الورقة نقوم بتحليل أداء هذا البروتوكول للوقوف على إيجابياته وسلبياته ومدى مناسبه لشبكات الإنترنت ذات الطاقة المنخفضة مقارنة مع غيره من بروتوكولات التوجيه. وتستند هذه الدراسة التحليلية على محاكاة دقيقة اهتمت بكل تفاصيل هذا البروتوكول استعملت مع سيناريوهات مختلفة. وقد وقع اعتبار عدة مقاييس لتقييم أداء هذا البروتوكول وهي متوسط استهلاك الطاقة وحجم جدول التوجيه وعدد الرسائل المتبادلة والوقت اللازم لإنشاء المخطط الموجه اللاحق والعدد الأقصى للمراحل داخل هذا المخطط. وتبرز التجارب التي قمنا بها مزايا وسلبيات بروتوكول التوجيه لشبكات الطاقة المنخفضة وتصرفاته تجاه فشل العقد وتغير الوصلات في الشبكة.

الكلمات الجوهرية: التوجيه، شبكات الطاقة المنخفضة، شبكات الاستشعار اللاسلكية، شبكات الإنترنت النسخة السادسة، محاكاة، تقييم الأداء

1 مقدمة

لقد إختصت شبكات الطاقة المنخفضة بقيود جعلتها غير مناسبة للتواصل مع شبكة الإنترنت ولعل من أبرزها الحجم الأقصى للرمز المحمولة داخل هذه الشبكات. ولقد قام فريق العمل المكلف بهندسة الإنترنت بتصميم طبقة إضافية (6LoWPAN) لتكثيف نقل رزم الإنترنت على وصلات ذات طاقة منخفضة وذلك بإعتماد خوارزمية ضغط لزم الإنترنت. لقد مكنت هذه الطبقة من سد الفجوة بين الأجهزة منخفضة الطاقة وعالم الإنترنت. وهذه التكنولوجيا القائمة على بروتوكول

الإنترنت هي مناسبة للشبكات الشخصية منخفضة الطاقة (LoWPANs)، مثل شبكات الاستشعار اللاسلكية، التي تجمع بين الشبكات الشخصية اللاسلكية (IEEE 802.15.4) واتفاقيات الإصدار السادس للإنترنت (IPv6). يقدم هذا التكامل بعدا جديدا في تصميم شبكات الطاقة المنخفضة (LLNs) لأنه يسمح بالتوافقية الكاملة مع الإنترنت. بعد التمكن من حمل رزم الإنترنت على شبكات الطاقة المنخفضة، لا تزال مداولة التوجيه واحدة من القضايا الرئيسية في هذه الشبكات التي يتم البحث فيها. فقد كانت هناك العديد من المساعي لاجاد اتفاقية فعالة للتوجيه والتي تكون متوافقة مع شبكات الطاقة المنخفضة (LLNs)، مثل HIDRO [1]، Hilow [2]، و Dymo-Low [3].

كل هذه الحلول لم تكتسب الكثير من النجاح، ونشأت حاجة متزايدة للتوصل الى حل موحد. لمعالجة هذه الفجوة، قام فريق العمل المكلف بهندسة الإنترنت (IETF/ROLL) [4]، [5] باقتراح بروتوكول توجيهه، المسمى بـ 'ريبيل' (RPL) (بروتوكول التوجيه لشبكات الطاقة المنخفضة)، الذي يعتبر المرشح الرئيسي ليصبح مداولة التوجيه المعيار لهذه الشبكات.

من السمات الرئيسية لهذا البروتوكول (RPL) هو أنه مصمم للشبكات ذات الوصلات ذات النسبة العالية من ضياع الرزم، والتي تكون عرضة لارتفاع معدل أخطاء البتات (BER) وصعوبة الوصول للعقد.

وعلى الرغم من ان بروتوكول التوجيه لشبكات الطاقة المنخفضة (RPL) مازال في صيغة مسودة إنترنت، فقد اكتسب الكثير من النضج لدرجة تخول له ان يكون الحل الواعد لمداولة التوجيه الموحدة للإنترنت داخل هذا الصنف من الشبكات. وقد ركزت عدة أعمال بحثية على تصميم ونشر بروتوكول التوجيه لشبكات الطاقة المنخفضة (RPL) وتطبيقات العالم الحقيقي التي تظهر في [6]، [7]، [8]، [9]، [10]، [11]، الخ.

ان ازدياد شعبية هذا البروتوكول ترجع الى عدة عوامل، بما في ذلك مرونته في التكيف مع هيكليات مختلفة للشبكة ودعم وجود الخدمة والميزات الأخرى التي نهتم بتقديمها لاحقا. في هذه الورقة، نقوم بمحاكاة وتقييم أداء بروتوكول التوجيه لشبكات الطاقة المنخفضة (RPL) بواسطة عدة تجارب لأننا نعتقد أن هذا التقييم مهم لمعرفة أهم خاصيات هذا البروتوكول و سلبياته واعطاء تقييم لتطبيقه في نظام التشغيل كونتكي [20].

ويتم تنظيم ما تبقى من هذه الورقة على النحو التالي. في القسم الثاني نقدم مسحا ادبيا حول أهم خاصيات بروتوكول التوجيه لشبكات الطاقة المنخفضة (RPL) وكيفية عمله. في القسم الثالث نستعرض ونناقش أهم الأعمال الأدبية ذات الصلة التي صدرت مؤخرا حول تقييم أداء هذا البروتوكول (RPL). في القسم الرابع نقدم نموذج المحاكاة والافتراضات التي اقترحناها لتنفيذ تقييمنا، و نقدم المقاييس المختلفة التي إستعملناها في عملية التقييم. وأخيرا نلخص الورقة ونناقش البحوث المستقبلية المفتوحة.

2 رؤية عامة لبروتوكول التوجيه لشبكات الطاقة المنخفضة (RPL)

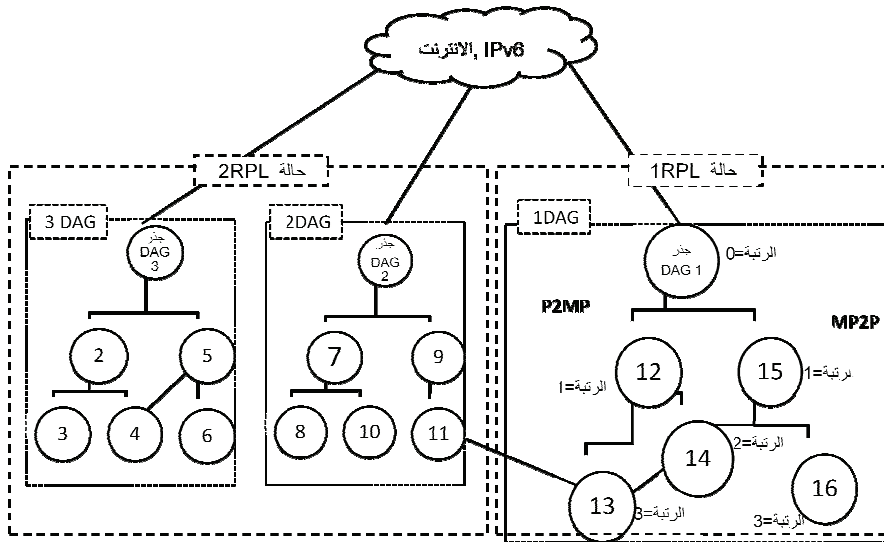
بروتوكول التوجيه لشبكات الطاقة المنخفضة (RPL) هو بروتوكول متجه المسافة يستخدم التمرير المصدري، وقد تم تصميمه للعمل على أعلى الطبقة الفيزيائية وطبقة رمز توثيق الرسالة ل IEEE 802.15.4. ويستهدف الشبكات التجميعية، حيث ترسل العقد دوريا القياسات لنقطة مركزية. من السمات الرئيسية لهذا البروتوكول كونه يمثل حل التوجيه لشبكات الطاقة المنخفضة (LLNs) [12] [13]، والتي تتوافق مع الشبكات ذات الموارد المحدودة جدا من حيث المعالجة والطاقة والنطاق الترددي والذي يؤدي لتعرضها لفقد الرُزم. في الواقع، صمّم هذا البروتوكول خصيصا لتلبية متطلبات العقد محدودة الموارد على النحو المذكور في وثيقة متطلبات التوجيه [14]. على وجه الخصوص، أخذ في عين الاعتبار سمتين رئيسيتين: أولا، معدل البيانات المحتملة وهو عادة منخفض (أقل من 250 كيلوبت في الثانية)، و ثانيا، يكون الاتصال عرضة لمعدلات عالية للخطأ، مما يؤدي الى انخفاض سرعة نقل البيانات.

تتميز وصلة شبكات الطاقة المنخفضة بارتفاع معدل أخطاء البتات (BER) ووقت صعوبة الوصول الطويل، مما يؤثر بشدة على تصميم بروتوكول التوجيه. في الواقع، تم تصميم هذا البروتوكول ليكون ذا قدرة عالية على التكيف مع ظروف الشبكة، وتوفير طرق بديلة طالما لا يمكن الوصول إلى الطرق الافتراضية. ويعتمد هذا البروتوكول على مفهوم طوبولوجي يستند على المخطط الموجه اللاحقي (DAG).

والمخطط الموجه اللاحقي يحدد هيكلية الشجرة التي تعين المسارات الافتراضية في شبكات الطاقة المنخفضة. ومع ذلك، فإن بنية المخطط الموجه اللاحقي مختلفة عن الشجرة النموذجية بمعنى أن العقدة قد تنتسب إلى أصول متعددة. وبشكل أكثر تحديدا، ينظم بروتوكول التوجيه العقد على هيئة المخطط الموجه اللاحقي ذات المقصد الموجه (DODAG)، حيث ان معظم العقد الموجهة أو تلك التي توفر مسارات افتراضية للانترنت تمثل جذور المخطط الموجه اللاحقي.

تتألف الشبكة عادة من عدة مخططات موجهة للاحقية ذات مقصد موجه (DODAGs)، والتي تشكل معا حالة لبروتوكول التوجيه (RPL). ويجوز للشبكة تشغيل العديد من حالات بروتوكول التوجيه في وقت واحد، ولكنها تكون مستقلة منطقيا عن بعضها البعض.

يظهر الشكل 1 مثال من حالات بروتوكول التوجيه (RPL) مع 3 مخططات موجهة للاحقية ذات المقصد الموجه.



الشكل 1. شبكة التوجيه (RPL) مكونة من 3 مخططات (DODAGs) وحالتين

يُدمج بروتوكول التوجيه (RPL) ثلاثة نماذج للاتصالات: (أولاً) متعدد النقط إلى نقطة (MP2P) (أو كثير إلى واحد)، و الذي يعني حركة جمع البيانات و توجيهها في اتجاه الطريق التصاعدي من العقد المتعددة نحو جذر المخطط (DODAG). (ثانياً) من نقطة إلى نقط متعددة (P2MP) (أو واحد لكثير)، الذي يمثل حركة المرور التي تنتقل في اتجاه مسار نزولي من الجذر وصولاً إلى العقد. (ثالثاً) من نقطة إلى نقطة (P2P) (أو واحد إلى واحد)، التي تمثل حركة المرور من عقدة إلى أي عقدة أخرى في الشبكة في كل الاتجاهات السفلى و العليا. و الحالة الأخيرة تعتبر الأقل نموذجية في تطبيقات شبكات الطاقة المنخفضة (LLNs).

واحدة من السمات ذات الصلة ببروتوكول التوجيه (RPL) هو أنه يجمع بين البنية الشجرية و البنية الشبكية. من ناحية، هيكلية شبكة بروتوكول التوجيه (RPL) قائمة على التسلسل الهرمي لأنها يطبقها تجبر العقد على تنظيم نفسها في شكل مخطط أو عدة مخططات (DODAGs)، على أساس علاقة الأصل بالفرع .

من ناحية أخرى، بروتوكول التوجيه (RPL) يدعم البنية الشبكية لأنها تسمح التوجيه من خلال الأشقاء بدلا من الأصول والفروع، وعند الحاجة، هذا الجمع بين الشبكية و الهرمية يوفر قدرا كبيرا من المرونة من حيث التوجيه وإدارة الهيكلية.

يوفر بروتوكول التوجيه (RPL) الميزات التالية [13]:

- التكوين التلقائي: بما أن بروتوكول التوجيه (RPL) متوافق مع الإصدار السادس للإنترنت (IPv6)، فإن شبكات الطاقة المنخفضة (LLNs) القائمة على بروتوكول

التوجيه (RPL) ستستفيد من خاصيات التوجيه الأساسية للإنترنت و خاصة الاكتشاف الحيوي لمسارات الشبكة والوجهات. هذه الميزة مضمونة عن طريق استخدام آليات اكتشاف الجوار؛

- الإصلاح الذاتي: يثبت بروتوكول التوجيه (RPL) قدرته على التكيف مع التغييرات المنطقية لهيكلية الشبكة وفشل العقد. في الواقع، تكون الوصلات و العقد في شبكات الطاقة المنخفضة (LLNs) غير مستقرة و يمكن أن تتغير بصفة متكررة. يطبق بروتوكول التوجيه (RPL) آليات تمكن من اختيار أكثر من أصل واحد لكل عقدة في المخطط الموجه اللاحقي لإزالة / تقليل مخاطر الفشل؛

- تجنب وكشف الحلقات : ان المخطط الموجه اللاحقي ليست حلقية بطبيعتها بما أن رتبة العقدة يجب أن تكون أعلى من كل من أصولها. و يتضمن بروتوكول التوجيه (RPL) أيضا آليات لرد الفعل من أجل الكشف عن الحلقات في حالة تغيير هيكلية الشبكة. بالإضافة إلى ذلك، يشغل بروتوكول التوجيه (RPL) آليات استرداد (الإصلاح المحلي و الإصلاح الشامل) عند حدوث الحلقات؛

- الاستقلالية والشفافية : على غرار بنية بروتوكول الإنترنت، يهدف بروتوكول التوجيه (RPL) الى العمل عبر طبقات متعددة للارتباط. يستطيع البروتوكول أن يعمل في شبكات مقيدة على غرار (6LoWPAN) و هذا يثبت استقلالية بروتوكول التوجيه عن تكنولوجيات طبقة وصلة البيانات؛

- تعدد الجذور: فمن الممكن بناء العديد من المخططات الموجهة اللاحقية في الشبكة.

يحدد بروتوكول التوجيه (RPL) ثلاثة أنواع من العقد :

- الموجه الحدودي منخفض الطاقة وبخسارة (LBR) : يشير إلى جذر المخطط (DODAG) و يمثل نقطة جمع في الشبكة ولديه القدرة على بناء المخطط الموجه اللاحقي. و يعمل أيضا كبوابة بين الإنترنت و شبكة الطاقة المنخفضة (LLN).

- جهاز التوجيه: يشير إلى الجهاز الذي بإمكانه توليد وارسال حركة مرور شبكة الاتصال. مثل هذا الجهاز ليس لديه القدرة على إنشاء مخطط موجه جديد، ولكنه ينتسب إلى مخطط موجه للاحقي (DAG) موجود.

- المضيف: وهو يشير إلى جهاز نهائي قادر على توليد حركة مرور البيانات، ولكنه غير قادر على توجيهها.

العنصر الأساسي في هيكلية بروتوكول التوجيه (RPL) هو المخطط الموجه اللاحقي ذي المقصد الموجه (DODAG)، وهو مخطط موجه للاحقي موجه الوجهة نحو عقدة خاصة تسمى جذر المخطط (DODAG)، كما هو موضح في الشكل 1. جذر المخطط (DODAG) له الخصائص التالية: (أولا) يعمل عادة بوصفه الموجه الحدودي منخفض الطاقة وبخسارة (LBR)، (ثانيا) يمثل بالوعة البيانات داخل المخطط الموجه اللاحقي، (ثالثا) يكون عادة عقدة الوجهة النهائية في مخطط (DODAG)، بما أنه يعمل كنقطة العبور المشتركة التي تربط شبكة الطاقة المنخفضة (LLN) مع شبكات الإنترنت الإصدار السادس (IPv6)، (رابعا) لديه القدرة على توليد مخطط (DAG) جديدة التي تندفق نزولا نحو العقد الفروع.

عادة ما يتم تشكيل عديد من مخططات (DODAGs) في شبكة بروتوكول التوجيه (RPL) التي تلي نفس القيود أو المقاييس، والتي تكون 'حالة بروتوكول التوجيه' و هي محددة بمعرّف وحيد (RPLInstanceID). قد تنضم عقدة الى حالات متعددة لبروتوكول التوجيه، ولكن يجب أن تنتمي إلى مخطط (DODAG) واحد فقط داخل كل حالة.

يتم تعيين رتبة لكل عقدة في مخطط (DODAG). تعريف رتبة عقدة حسب [13] هو "الموقع الفردي للعقدة بالنسبة إلى العقد الأخرى فيما يتعلق بجذر مخطط (DODAG)" تمثل الرتبة موقع العقدة داخل مخطط (DODAG). تزداد الرتبة في الاتجاه السفلي للمخطط الموجه اللاحقي، وتنقص بدقة في اتجاه الجذر (كما يتضح في الشكل 1). بعبارة أخرى، تتلقى العقد التي على قمة الهرم التسلسلي رتبة أصغر من تلك الموجودة في الأسفل، ويتم تعيين أصغر رتبة لجذر المخطط الموجه اللاحقي.

بنية المخطط (DODAG) تشبه إلى حد كبير الهيكلية العنقودية، حيث يتم جمع كل حركة البيانات باتجاه الجذر. ومع ذلك، فإن هيكل مخطط (DODAG) يختلف عن البنية العنقودية من ناحية أنه يمكن للعقدة أن ترتبط بعدد من العقد الأخوة التي تكون رتبته مساوية لرتبته بالإضافة للأصل (الذي تكون رتبته أكبر). تستخدم الرتبة في بروتوكول التوجيه (RPL) لتجنب وكشف حلقات التوجيه، ويسمح للعقد بأن تميز بين الأصول والأخوة والفروع. في الواقع، يتيح بروتوكول التوجيه (RPL) للعقد تخزين قائمة الأصول والأشقاء المرشحين التي يمكن استخدامها إذا فقد الأصل المحدد الحالي قدرته على التوجيه.

خلال عملية بناء هيكلية الشبكة، كل جهاز توجيه يحدد مجموعة ثابتة من الأصول التي تؤدي للوصول إلى جذر مخطط (DODAG)، وينضم إلى أحد الأصول المفضلة، الذي تم تحديده استناداً إلى دالة الهدف (OF). تحدد دالة الهدف كيف تترجم العقد مقاييس التوجيه إلى رتب، وكيفية اختيار الطرق المثلى في مخطط (DODAG)، وهي مسؤولة على حساب الرتب بالاعتماد على مقاييس توجيه محددة (على سبيل المثال: التأخير، جودة الوصلة، الاتصال، الخ). وتحدد معوقات التوجيه أهداف التحسين. لا يزال تصميم دالة الهدف ذات الكفاءة مسألة مفتوحة للبحوث.

- رسالة التماس معلومات المخطط اللاحقي (DIS) : وتستخدم للحصول على معلومات كائن معلومات المخطط اللاحقي (DIO) من العقد المجاورة لها، ويمكن استخدام (DIS) لاكتشاف العقد المجاورة.
- كائن معلومات المخطط اللاحقي (DIO) : و تستخدم لبناء المخطط الموجه اللاحقي، ويتم إصدارها من قبل الجذر ومن ثم إرسالها عن طريق متعدد الجهات من خلال هيكلية المخطط الموجه، و يحمل المعلومات ذات الصلة بالشبكة التي تتيح للعقدة اكتشاف حالة بروتوكول التوجيه (RPL)، معرفة معلومات التكوين الخاصة به، تحديد مجموعة الأصول، والحفاظ على المخطط.
- كائن الاعلان عن الوجهة (DAO): وتستخدم لنشر معلومات عكس الطريق لتسجيل العقد التي مرت بها على طول المسار الصاعد. يتم إرسال رسائل (DIO) بواسطة كل عقدة، باستثناء الجذر، لملء جداول التوجيه وللإعلان عن عناوين العقد لأصولهم.

تم اقتراح العديد من الأعمال التجريبية ومحاكاة النماذج من أجل تجريب بروتوكول التوجيه (RPL) وتقييم أدائه. في [15]، قدم الباحثون دراسة لتقييم أداء بروتوكول التوجيه (RPL) من خلال نموذج المحاكاة (OMNET++) واستخدم الباحثون تعداد الإرسال المتوقع (ETX) كمؤشر للارتباط الافتراضي لبناء المخطط الموجه اللاهوائي (DAG). وأظهرت نتائج المحاكاة كفاءة التوقيت الضئيل من ناحية السيطرة على النفقات العامة للرزق وتحقيق الاستقرار في الشبكة. بالإضافة إلى ذلك، أظهرت الورقة تأثيراً كبيراً لمدة الإصلاح الشامل على عدد السيطرة على النفقات العامة للحزم. مع ذلك، أجريت عمليات المحاكاة لشبكات صغيرة الحجم، مما حال دون تعميم هذه النتائج على الشبكات واسعة النطاق.

في [7]، تناول الباحثون مشكلة حلقات التوجيه التي قد تحدث في العقد عندما تختار أصلاً آخر وتزيد في رتبها. و قاموا بتنفيذ نموذج محاكاة لبروتوكول التوجيه (RPL) تحت (NS-2)، وذلك لمحاكاة شبكة واسعة النطاق تتألف من جذر واحد و 1000 عقدة. قيم الباحثون أداء بروتوكول التوجيه (RPL) من حيث وقت التقارب للشبكة بعد زيادة الرتبة، بالإضافة إلى تكاليف توجيه الرسالة. ونصحو ببعض التدابير الاحترازية التي يمكن استخدامها لتجنب حلقات التوجيه، وأظهروا من خلال المحاكاة كيف تؤثر هذه التدابير في وقت التقارب وتكاليف توجيه الرسالة التي تؤدي إلى حالة خالية من الحلقات بعد عملية زيادة الرتبة. وتوصل الباحثون إلى أن الاضطرابات التي تفرضها آليات تجنب الحلقات هو أكثر أهمية من حلقات التوجيه نفسها. لهذا السبب، استنتجوا أن تجنب حلقات التوجيه ليس عملياً بالنسبة لشبكات بروتوكول التوجيه (RPL) واسعة النطاق.

في [8]، قارن الباحثون بين المداولة من نقطة إلى أخرى (P2P) بالاعتماد على بروتوكول التوجيه (RPL) والتوجيه البسيط المعتمد على خوارزمية أقصر طريق. برهنوا عن طريق المحاكاة لشبكة واسعة النطاق أن الطرق المعتمدة على بروتوكول التوجيه (RPL) هي دون المستوى الأمثل بالمقارنة مع تكلفة الحد الأدنى (أقصر الطرق)، وخاصة عندما يكون المصدر قريباً من الوجهة. مع ذلك، فإن الباحثين لم يقترحوا حلاً لهذه المشكلة.

في [16]، اقترح الباحثون تنفيذاً لبروتوكول التوجيه (RPL) خصيصاً لقياس البنية التحتية المتقدمة (AMI). واستخدم الباحثون (ETX) كمؤشر للارتباط الافتراضي، واقترحوا تقنية جديدة قائمة على (ETX) لحساب رتبة العقد. وقد قاموا بمحاكاة التوجيه المقترح باستعمال (NS-2) ومقارنة أدائها مع بروتوكول AODV، ([11] و [12]). غير أنهم قاموا بتقييم زمن التأخير الكلي لنقل البيانات على الرغم من أنه تم اختبار (ETX) كمؤشر للارتباط، وهو ليس كافٍ بالنسبة لتطبيقات الوقت الحقيقي.

في [11]، اقترح الباحثون تقييم أداء بروتوكول التوجيه (RPL) في سياق تطبيقات الشبكة الذكية باستخدام نموذج المحاكاة (OMNET++)، وبرهنوا على قدرة التوقيت الضئيل لبروتوكول التوجيه (RPL) في الالتزام بالسيطرة على التكاليف والحد من التأخير في الاتصال. بالإضافة إلى ذلك، أظهروا أن بروتوكول التوجيه (RPL) ينفذ بسرعة الإصلاح المحلي لانقطاع الصلة ويقدم نوعية مسار قريبة من المسار الأمثل (الأقصر) في بيئة في الهواء الطلق. وهذه

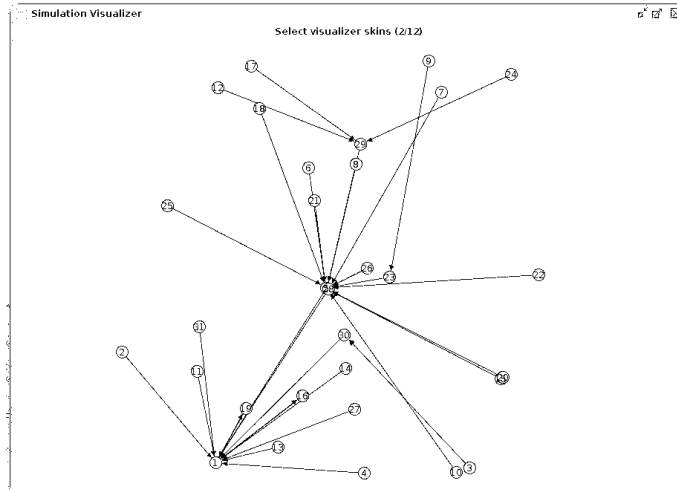
النتيجة تتعارض مع النتيجة في [12]، والذي فتح الطرق لمزيد من التحقيق حول جودة المسار في بروتوكول التوجيه (RPL).

(ContikiRPL) هو التنفيذ الحقيقي الأول لبروتوكول التوجيه (RPL) الذي وضع في إطار نظام التشغيل كونتيكي (Contiki) [17]. فقد وضع الباحثون إطارا شاملا للمحاكاة، التجريب، وتقييم آليات التوجيه لبروتوكول التوجيه (RPL) تحت نظام التشغيل كونتيكي. من السمات الرئيسية ل (ContikiRPL) هي انه يوفر واجهة برمجة بسيطة لتصميم وتقييم هدف الوظائف. في [18]، قام الباحثون بتقييم (ContikiRPL) من حيث كفاءة الطاقة و تعقيد الانجاز، و أثبتوا أن نسبة تسليم الرزم عالية وعمر البطارية قد تستمر لعدة سنوات. وقد تبين أن حجم المخزن المؤقت المقاس منخفض بالمقارنة مع مساحة الذاكرة المتاحة للعقدة. وقد اعتمدنا في هذه الورقة في المحاكاة التي قمنا بها على (ContikiRPL).

4 نموذج المحاكاة

4.1 قاعدة الاختبار للمحاكاة

ان هدفنا هو تقييم أداء بروتوكول التوجيه (RPL) بوصفه بروتوكول توجيه لشبكات الإنترنت الاصدار السادس (IPv6) مثل (6LoWPAN). اعتبرنا في محاكاتنا شبكة استشعار لاسلكية نموذجية في سطح (100 م * 100 م) متكونة من مخطط موجه للاحقي ذو جذر واحد و 30 عقدة متطابقة منتشرة عشوائيا كما يوضح الشكل 2، حيث العقدة الخضراء هي الجذر و العقد الصفراء تمثل الموجهات و الأسهم تمثل الصلات بين العقد و أصولها.



الشكل 2. هيكلية مخطط موجه للاحقي متكونة من 30 عقدة

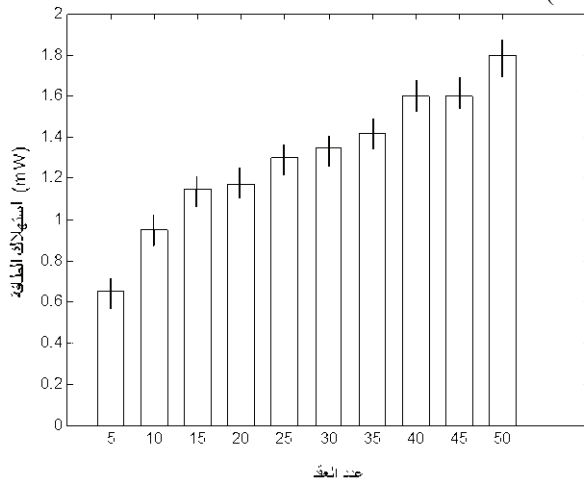
تجدر الملاحظة أن هذا هو مجرد بداية للتحقق من صحة المحاكاة قبل استخدام شبكات صغيرة وشبكات ذات نطاق واسع. خلال محاكاة بروتوكول التوجيه (RPL)، يبادر الجذر أولاً بإرسال رسائل (DIO)، ويتم إنشاء مخطط (DAG) تدريجياً. خلال المحاكاة، يتم إنشاء هيكلية المخطط الموجه الاحلقي من خلال اعطاء كل عقدة عنوان إنترنت وإنشاء وصلة تربطه بالجذر.

4.2 المقاييس لتقييم بروتوكول التوجيه لشبكات الطاقة المنخفضة

بما أن رسائل (DAO) تساعد على تغذية جداول التوجيه في الشبكة، فإنها تنمو مع الوقت ومع حجم الشبكة. لم نقم بتشكيل أي قيود على حجم هذا الجدول، ومقدار المعلومات التي يمكن للعقدة أن تخزنها. حجم جدول التوجيه لا يعبر عنه بحجم البتات المستعملة في الذاكرة ولكنه يقاس بعدد الإدخالات لكل عقدة. كل إدخال يوجد به العقدة التي تأتي في المرحلة المقبلة والتكاليف المرتبطة بمسار العقدة الوجهة. و يستخدم تعداد الارسال المتوقع (ETX) كمعري لبناء مخطط موجه لاحلقي على النحو المحدد في [19].

أ. متوسط استهلاك الطاقة

لتقييم استهلاك الطاقة في شبكة (RPL)، قمنا بملاحظة متوسط استهلاك الطاقة لكل عقدة وحساب معدل استهلاك الطاقة بالنسبة لكافة العقد. يوضح الشكل التالي متوسط استهلاك الطاقة للعقد وذلك من خلال تغيير حجم الشبكة. كررت هذه الإحصاءات 5 مرات لكل شبكة لوقت يكفي للحصول على شبكة مستقرة، و فاصل الثقة هو حوالي 90% (تمثل الخطوط الحمراء فترات الثقة المحيط بهذه الاحصاءات).



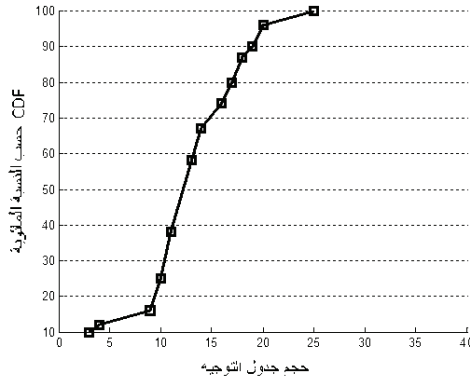
الشكل 3. متوسط استهلاك الطاقة للعقد

وفقا لهذا الشكل، ينمو استهلاك الطاقة خطيا مع عدد العقد في الشبكة، هذا يعني أن شبكة (RPL) تتأثر تأثيرا كبيرا بعدد العقد في المخطط الموجه اللاحقي من حيث استهلاك الطاقة؛ وهكذا، فإن شبكة واسعة النطاق ينتج عنها ارتفاع في معدلات استهلاك الطاقة من قبل الغالبية العظمى من العقد.

ترجع أغلبية الطاقة المستهلكة للعقد إلى بقاء العقد في حالة استماع إلى الموجات الراديوية، و ذلك يعود في الواقع الى أن بروتوكول التوجيه (RPL) يفرض على جميع العقد الاستماع إلى الراديو لتلقي رسائل التحكم (DIO) و (DAO).

ب. حجم جدول التوجيه

الهدف من هذه التجربة هو مراقبة توزيع عدد إدخلات جدول التوجيه لكل عقدة. يبرز الشكل 4 عدد إدخلات جدول التوجيه لكافة العقد، و ذلك عبر تغيير حجم الشبكة.



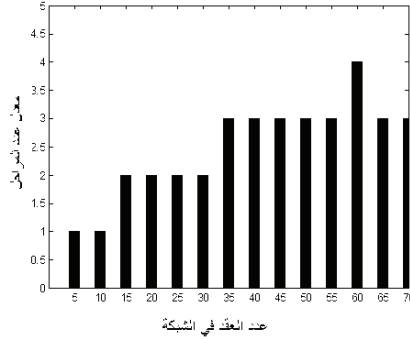
الشكل 4. حجم جدول التوجيه للعقد

نلاحظ من خلال هذا الشكل أن 90% من العقد لها أقل من 20 إدخال في جداول التوجيه الخاصة بها في شبكة تتألف من 40 عقدة و هذا يعني أن بروتوكول التوجيه (RPL) يستجيب لقيود الذاكرة لشبكات الطاقة المنخفضة (LLNs). خلال هذه المحاكاة، لاحظنا أن حجم جدول التوجيه للعقد يختلف حسب موقعه في مخطط (DAG)، فالعقد الأقرب من الجذر تخزن أكثر إدخلات من غيرها في جدول التوجيه، و هذا يعتبر متوقعا لأن العقد القريبة من الجذر تكون لديها علاقات أكبر بالعقد المجاورة.

غير أننا لاحظنا عدم المساواة في اختيار العقد لأصولها بحيث تكون عقدة أحيانا أصلا لعدد العقد في حين أن العقد المجاورة ليس لها أي وصلة مع العقد المجاورة، و هذا يعتبر من ضمن عيوب التطبيق الحالي لبروتوكول التوجيه (RPL).

ج. قياس العدد الأقصى للمراحل في الشبكة

يوضح الشكل التالي معدل عدد المراحل التي تفصل العقد عن الجذر بعد انضمامها الى المخطط الموجه اللائقي، و ذلك من خلال تغيير عدد العقد في الشبكة. تم احتساب هذه القيم وفقاً لدالة الهدف القائمة على مؤشر التوجيه (ETX).

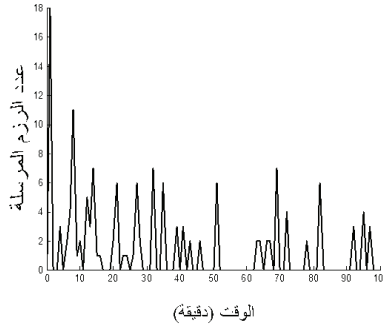


الشكل 5. قياس المراحل بين العقدة والجذر

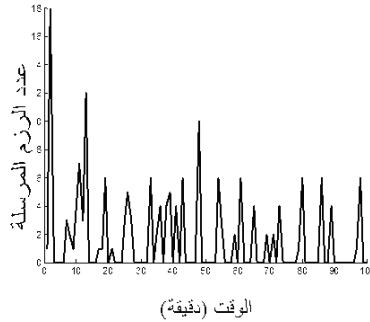
ووفقاً لهذه المحاكاة، يتم تنظيم العقد في المخطط الموجه اللائقي بحيث تكون لها مسافة محدودة تفصلها عن جذر المخطط، وبالتالي، يتم تقليل التأخير عند إرسال الرزم بين العقد.

د. رزم التحكم

لقد قمنا ببعض الإحصاءات المتصلة برزم التحكم المرسل من قبل العقدة 39 (تبعد مرحلة واحدة عن الجذر) والعقدة 24 (تبعد مرحلتين عن الجذر). قمنا بتنفيذ نفس الإحصائية على عقد أخرى وحصلنا على نفس النتائج تقريباً. يبين الشكلان 5 و 6 رزم التحكم بالنسبة للعقد 39 و 24. هذه القيم تمثل عدد الحزم المرسل من قبل العقدة كل ثانية، للمساعدة في فهم كثافة تبادل رزم المراقبة في الشبكة.



الشكل 5: رزم التحكم عبر الزمن بالنسبة للعقدة 39



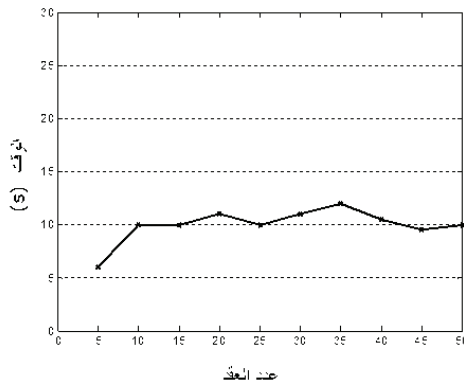
الشكل 6: رزم التحكم عبر الزمن بالنسبة للعقدة 24

ووفقا لهذين الشكلين، يمكننا ملاحظة أن عدد رسائل التحكم في ارتفاع في البداية. وخلال هذه المرحلة، تنضم العقدة إلى مخطط (DAG) و يحصل على عنوان إنترنت.

بعد ذلك، ترسل العقدة رزم (DIO) و (DAO) من أجل الحفاظ أو تحسين موقعها في المخطط الموجه. يمكننا الملاحظة من خلال هذين الشكلين أن العقدة 29 (لها رتبة أقل و قريبة من الجذر) ترسل أقل رزم مراقبة من العقدة البعيدة عن الجذر، و هذا يعود الى أن العقد اللاتي توجد في الأطراف تواجه تغييرات في رتبها بعكس العقد القريبة من المخطط اللاحقي. كما أن مقدار حزم التحكم على كل عقدة ينخفض لأن المخطط اللاحقي يستقر بسرعة بسبب تأثير التوقيت الضئيل.

ه. الوقت اللازم لإنشاء مخطط (DAG)

وهو الوقت الذي يوافق زمن انضمام العقدة الأخيرة في الشبكة الى مخطط موجه للاحقي و يحصل على عنوان بروتوكول الإنترنت. وبالتالي فإن المخطط الموجه اللاحقي يكتمل عندما تنضم كافة العقد إلى المخطط. قمنا بهذه التجارب و قمنا بتغيير عدد العقد في الشبكة و كررنا التجارب لمدة لا تقل عن 5 مرات، مع فواصل الثقة 95%.



من خلال هذا الشكل، يمكننا استنتاج أن وقت تكوين المخطط الموجه اللاحقي هو شبه ثابت (يساوي تقريباً 10 ثواني) مهما ازداد عدد العقد. وهذا يعود إلى أن كل العقد المتساوية في الرتبة تنضم إلى المخطط الموجه اللاحقي في نفس الوقت؛ وبهذا، فإن الوقت اللازم لبناء المخطط يعتمد فقط على الحد الأقصى لعدد المراحل بين العقد وليس له علاقة بعدد العقد في الشبكة.

5 الخاتمة

في هذه الورقة العلمية، قدمنا دراسة عن طريق المحاكاة لتقييم أداء بروتوكول التوجيه (RPL) كبروتوكول توجيه لشبكات الحساسات اللاسلكية المعتمدة على الإصدار السادس لبروتوكول الإنترنت. ومن أهم استنتاجات هذا البحث أن بروتوكول التوجيه (RPL) كما هو معرف حالياً يوفر العديد من المزايا على شبكات الطاقة المنخفضة (LLN) فهو يمكن من الحفاظ على طاقة العقد و يتميز باختصار في وقت بناء هيكلية (RPL) التي هي على هيئة مخطط موجه للاحقي. غير أن بروتوكول التوجيه (RPL) لا يخلو من نقائص يجعله غير مؤهل ليشغل في شبكات الطاقة المنخفضة واسعة النطاق (LLNs). وهو ما يطرح تحدي تحسينه ليكون قادراً على التكيف مع فشل العقد و تغيرات الوصلات، وهذا يشمل تحسين دالة الهدف لاختيار أصول العقد بطريقة مثلى، وهو من الأعمال التي نحن بصدد دراستها.

6 شكر وتقدير

هذا العمل مدعوم من مشروع (RTRACK) الممول من وحدة العلوم والتقنية بجامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية في إطار الخطة الوطنية للعلوم والتقنية.

المراجع

- [1] A. Tavakoli, "HYDRO: A Hybrid Routing Protocol for Lossy and Low Power Networks," draft-tavakoli-hydro-01, September 2009.
- [2] K. Kim, S. Yoo, J. Park, S. D. Park, and J. Lee, "Hierarchical Routing over 6LoWPAN (HiLow)," draft-deniel-6lowpan-hilow-hierarchical-routing-00.txt., vol. 38, December 2005.
- [3] K. Kim, S. Park, I. Chakeres, and C. Perkins, "Dynamic MANET On-demand for 6LoWPAN (DYMO-low) Routing," draft-montenegro-6lowpan-dymo-low-routing-03, June 2007.
- [4] "The Internet Engineering Task Force (IETF)," 2010. [Online]. Available: <http://www.ietf.org/>
- [5] "Routing Over low power and Lossy networks (ROLL)," 2004. [Online]. Available: <https://datatracker.ietf.org/wg/roll/charter/>
- [6] C. Chauvenet, Tourancheau, B. Genon-Catalot, D. Goudet, and M. P.-E. Pouillot, "A communication stack over PLC for Multi Physical Layer Ipv6 Networking."

- Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on, November 2010.
- [7] W. Xie, Goyal, M. Hosseini, H. Martocci, J. Bashir, Y. Baccelli, and A. E. Duresi, "Routing Loops in DAG based Low Power and Lossy Networks," Advanced Information Networking and Applications (AINA), 2010 24th IEEE International Conference on, pp. 888 – 895, April 2010.
- [8] W. Xie, M. Goyal, H. Hosseini, J. Martocci, Y. Bashir, E. Baccelli, and A. Duresi, "A Performance Analysis of Point-to-Point Routing along a Directed Acyclic Graph in Low Power and Lossy Networks," 2010 13th International Conference on Network-Based Information Systems, pp. 111–116, 2010.
- [9] T. Clausen and U. Herberg, "Multipoint to Point and Broadcast in RPL," 13th International Conference on Network-Based Information Systems, pp. 1 – 6, September 2010.
- [10] T. Clausen and U. Herberg, "Comparative Study of RPL-Enabled Optimized Broadcast in Wireless Sensor Networks," Sixth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP2010), Brisbane, Australia, December 2010.
- [11] J. Tripathi, J. de Oliveira, and J. Vasseur, "Applicability Study of RPL with Local Repair in Smart Grid Substation Networks," Smart Grid Communications (SmartGridComm), 2010 First IEEE International Conference on, pp. 1–6, November 2010.
- [12] J. Vasseur and A. Dunkels, Interconnecting Smart Objects with IP: The Next Internet. Morgan Kaufmann, 1 edition, 2010.
- [13] T. Winter and P. Thubert, "RPL: Ipv6 Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks," IETF Internet-Draft draft-dt-roll-rpl.txt., vol. 3, 2010.
- [14] J. Vasseur, "Terminology in Low power And Lossy Networks," draft-ietf-roll-terminology-04.txt, September 2010.
- [15] J. Tripathi, J. de Oliveira, and J. Vasseur, "A Performance Evaluation Study of RPL: Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks," Information Sciences and Systems (CISS), 2010 44th Annual Conference on , pp. 1–6, May 2010.
- [16] D. Wang, Z. Tao, J. Zhang, and A. Abouzeid, "RPL based Routing for Advanced Metering Infrastructure in Smart Grid," Communications Workshops (ICC), 2010 IEEE International Conference on, pp. 1 – 6, May 2010.
- [17] N. Tsiftes, J. Eriksson, N. Finne, O. Fredrik, J. Hglund, and A. Dunkels, "A Framework for Low-Power Ipv6 Routing Simulation, Experimentation, and Evaluation," SIGCOMM10, New Delhi, India, pp. 479–480, November 2010.
- [18] N. Tsiftes, J. Eriksson, and A. Dunkels, "Poster Abstract: Low-Power Wireless Ipv6 Routing with ContikiRPL," IPSN10, Stockholm, Sweden., p. 1216, April 2010.
- [19] J. W. Hui and D. E. Culler, "IP is Dead, Long Live IP for Wireless Sensor Networks," SenSys '08 Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Simulation and Performance Evaluation of the Routing Protocol for Low Power and Lossy Networks (RPL)

Abstract. All researchers agree on the lack of routing protocols based on IPv6 suitable for low power and lossy networks (LLN), due to the requirements of memory,

processing power and extensive exchange of messages. Therefore, some researchers suggested the introduction of some restrictions and improvements to suit the characteristics of these networks. On the other hand, the Internet Engineering Task Force working group (IETF / ROLL) has proposed a routing protocol (RPL) specially designed to be used within the IPv6 over Low power Wireless Personal Area Networks (6LoWPAN). This protocol is still an Internet draft form, however, he has gained a lot of maturity and received wide attention from the research community. In this paper, we analyze the performance of this protocol to determine his pros and cons and his relevance to the low power and lossy networks as compared with other routing protocols. This analytical study is based on an accurate simulation focused on all the details of this protocol used with different scenarios. We considered a number of measures to assess the performance of this protocol such as the average energy consumption, the size of the routing table, the number of exchanged messages, the time required to create a Directed Acyclic Graph (DAG) and the maximum hop count. Our performance evaluation shows that the current implementation of RPL has many advantages as well as some limits and its behavior in case of node/link failure.

Keywords: Routing, Low power and lossy networks (LLN), IPv6 networks, Wireless Sensor Networks, Performance valuation, Simulation

المصطلحات

الإتاحة	Availability
إدخال	Entry
الإصلاح الذاتي	Self healing
الإصلاح الشامل	Local repair
الإصلاح المحلي	Global repair
اكتشاف الجوار	Neighbor discovery
بروتوكول الانترنت	Internet Protocol (IP)
البنية الشبكية	Mesh topology
البنية الشجرية	Hierarchical topology
تعداد الارسل المتوقع	ETX(Expected Transmission Count)
تكاليف	Overhead
التمرير المصدري	source routing
التوقيت الضئيل	Trickle timer

حالة لـDAG	DAG Instance
حركة البيانات	Data traffic
حلقات التوجيه	Routing loops
حيوية	Dynamic
دالة الهدف	objective function
رسالة التماس معلومات المخطط اللاحقي	DODAG Information Solicitation (DIS)
زمن التأخير الكلي لنقل البيانات	end-to-end delay
زمن التغيير	delay variation
الشبكات ذات الطاقة المنخفضة و بخسارة	Low power and lossy Letworks
العقد الاخوة	Sibling nodes
فاصل الثقة	Interval confidence
قياس البنية التحتية المتقدمة	Advanced metering infrastructure
كائن الاعلان عن الوجهة	(Destination Advertisement Object (DAO)
كائن معلومات المخطط اللاحقي	DODAG Information Object (DIO)
كمية المعلومات المفقودة عند نقل البيانات	packet loss ratio
مؤشر للارتباط الافتراضي	Default link metric
متعدد الوجهات	Multicast
مخطط موجه للاحقي	DAG
المسار الافتراضي	Default route
مشروع للإنترنت	Internet Draft
المضيف	Host
معايير التقييم	performance criteria
معدل أخطاء البتات	Bit Error Rate
مفتوح المصدر	Open source
مقاييس التوجيه	Routing metrics
مقيدة	Constrained
موجه المسافة	distance vector
النفقات العامة للرزم	Packet overhead
نموذج المحاكاة	Simulation Model
الهيكليّة العنقودية	Cluster tree topology
وقت التقارب	convergence time

إحداث بنية تفاعلية تلقائية قصد تطوير مراسم

الإسلاك بالشبكات المغترضة

أنيس بن عربية¹، حبيب يوسف²

البريد^{1,2}: وحدة البحث برانس، المعهد العالي للإعلامية و تقنيات الإتصال بحمام سوسة، تونس

البريد الإلكتروني: anis.benarbia@infcom.rnu.tn¹, habib.youssef@fsm.rnu.tn²

موقع العنكبوتية: www.infcom.rnu.tn/prince/

الخلاصة: تُعرف الشبكات المغترضة على أنها شبكات حيوية جدًا، وهذه الخاصية الأساسية مرتبطة بالبنية التحتية اللاسلكية المتوفرة لدى هذا النوع من الشبكات. و لهذا الغرض بُعث الكثير من مراسم الإسلاك و انقسمت إلى ثلاث أقسام: الهجينة، التفاعلية و الإستباقية. إلا أن هذه المراسم بقيت تشكو من عديد النقائص و خاصة تلك التي لها علاقة بكيفية التأقلم مع حيوية و نسق التفاعلات بين عناصر الشبكة أي الأجهزة المتنقلة أو غيرها. في هذه المقالة نقترح إحداث بنية تفاعلية تلقائية (أو تلقائيا) قادرة على أن تستوعب التفاعلات بين مختلف عناصر الشبكات المغترضة و أن تجعل من المراسم مؤهلة للتأقلم مع جميع الوضعيات التي تتعرض لها خلال عملية تشغيلها. هذه البنية التفاعلية بإمكانها أن تُدمج مع أي من المراسم الموجودة حاليا و ذلك باعتبارها تعمل عن طريق الإنصات السلبي (دون التدخل الفعلي) ثم تقوم بتحيين جدول الإسلاك. و يجدر الإشارة إلى أن تثبيتها يتم في شكل وكلاء موزعين على كافة عناصر الشبكة. نتائج المحاكاة اهتمت بتحيين مرسوم الإسلاك "أي أو دي في" و قد أبرزت نتائج مشجعة و خاصة بالنسبة للمُعلمات التالية: القيمة البينية للمعالجة، نسبة تسليم الوحدات، نوعية المسارات.

الكلمات الجوهرية: الشبكات المغترضة، مراسم الإسلاك، البنى التفاعلية تلقائيا، أي أو دي في.

1 مقدمة

إنّ التقدم المتسارع و المتصاعد لتكنولوجيات الاتصال الذي شهدته نُظم الإعلامية، خاصة منها الشبكات و تعدد الخدمات، أظهر محدودية القدرات الإنسانية على متابعة هذا النسق. هذه المحدودية تخص بالتحديد إمكانيات الإنسان على إدارة هذه النظم بمختلف أصنافها و تنوعها. لهذا السبب اتجهت مختلف المنظمات العلمية إلى تقديم حلول تجعل من الإنسان بمنأى عن العديد من التداخلات التقنية الحادة التي من الممكن أن تكون خاطئة و بالتالي كارثية في بعض الأحيان. في هذا الصدد اقترحتُ البنى التفاعلية على أنها واحدة من أهم الحلول التي يُمكن لها أن تُضيف للأنظمة قدرةً على التعامل مع محيطها بشكل ذاتي، و تستطيع بالتالي التأقلم، تلقائيا، مع مختلف متطلبات مراحل تشغيلها. في هذا السياق، إندمجت عديد الهياكل العلمية في هذه المنظومة و ذلك قصد تعميم هذه الأفكار و إدراجها ضمن مقترحات مؤطرة [4]، [1] و [3]. ففي البداية أخذت الأعمال تتبلور في صيغة مجموعة من الأسئلة، و من بينها:

1. هل يمكن وضع نموذجاً لبنية تفاعلية تلقائياً بخصائص عامة يقع أخذها كمقيسة؟
2. كيف يمكن دمج الخصائص التالية: التكيف التلقائي، الترتيبية التلقائية، التصرف التلقائي و التحسين التلقائي في هذا النموذج؟
3. ما هي المراحل الأساسية التي يجب أن تتخلل عملية التحديث للوصول بنظام قديم إلى نظام ذو بنية تفاعلية تلقائية و هل يمكن تعميم هذه المراحل في كل المجالات؟
4. إذا كانت البنية تتفاعل " تلقائياً" فما هو مدى تأثيرها على محيطها؟ هل يجب وضع إستراتيجية لحث عناصر المحيط على التفاعل أيضاً، أم يبقى ذلك رهن قرارات كل عنصر؟
5. ما هي وجوبية إدماج نظام إستباقي قادر على التنبؤ في البنى التفاعلية تلقائياً؟
6. هل يستطيع نظام ذو بنية تفاعلية تلقائية أن يتصرف بطريقة غير شفافة من دون أن يقوم "برَدّ خبر" للمستعمل، أم أن ذلك سيكون غير مسموح، و في هذه الحالة كيف ستتم هذه العملية؟
7. إن كانت البنى التفاعلية تلقائياً قادرة على التطور ذاتياً، فهل يجب و ضع حد معين لهذه التطور أم لا؟

في هذه المقالة سنعمل على التعريف بالبنى التفاعلية تلقائياً كما تم تقديمها من خلال الورقات العلمية المقترحة في هذا المجال [2]، [6]. في مرحلة ثانية، سنقدم مقترحاتنا المتمثلة في بنية تفاعلية تلقائية خاصة بتطوير مراسم الإسلاك بالشبكات المغترضة. كما سنحاول توضيح الجوانب الأساسية التي من شأنها أن تحوّل لم رسم إسلاك أن يحتوي على هذا النوع من البنى. في مرحلة أخيرة، سنبسّط بعض الجوانب التقنية الخاصة بعملية تحيين "أي أو دي في" و سنتعمق بالتحليل في نتائج المحاكاة التي كانت جيدة، إذ أكدت نجاعة النسخة الجديدة لهذا المرسوم.

2 ماهية البنية التفاعلية تلقائياً

لقد نجحت الإنسانية في تطوير النظم الإعلامية و الاتصالات اللاسلكية و تقدمت بخطى كبيرة، فاقت في بعض الأحيان تصورات أكبر المتفائلين في هذه العلوم. إلا أن ذلك ولد مشكلة نابعة من صميم هذا النجاح، إذ أصبح الإنسان غير قادر على مجارات نسق التقدم العلمي في مجالات التكنولوجيا. أساس المشكلات إرتكز على كيفية التعامل مع نظم تُعرف بخصائصها المعقدة، المتعددة و غير المتجانسة.

في مرحلة أولى إنبصَ الإهتمام على كيفية تحديث النظم الموجودة لتصبح تفاعلية تلقائياً [2] و [6]، فكان أساس البحث يدور حول تصنيفها. في هذا المجال وقع الاتفاق على أن أي نظام موجود يجب أن ينتمي إلى إحدى الأصناف التالية (علما و أنها تمتد من نظام بسيط إلى نظام متفاعل تلقائياً):

المستوى الأول: وهو المستوى البسيط، أي أن النظام و جميع عناصره يخضع لإدارة إنسانية بحتة.

المستوى الثاني: في هذه الحالة يتكون النظام من إدارة للتحكم المركزي تكون قادرة على تجميع المعلومات (المقاييس، القياسات، أجهزة إنذار،...)، مما يوفر نظرة شاملة تأخذ في الإعتبار جميع الأحداث. إلا أن التعاطي مع النظام المركزي، في هذه الحالة، هو منوط بخبراء يتحكمون فيه.

المستوى الثالث: هذا المستوى يخص النظم التي توفر وحدة لتحليل المعلومات. في هذه الحالة يكون النظام قادراً على تجميع و تحليل المعلومات بل و تقديم اقتراحات للتدخل، إلا أن القرار يبقى رهن تأكيد المسؤولين على النظام.

المستوى الرابع: في هذا المستوى يمكن للنظام أن يتأقلم لتكييف نفسه من خلال اتخاذ سياسات بسيطة، و هي عبارة عن برمجيات معدة مسبقا و مخزنة في قاعدة المكتسبات الذكية.

المستوى الخامس: يشمل هذا المستوى النظم القادرة على التفاعل تلقائيا، إذ أن الإنسان لا يتدخل في النظام بل و تستطيع هذه النظم رسم أهداف لنفسها قريبة كانت أو طويلة المدى.

إذن يصبح السؤال الآن ما هو النموذج الأساسي الذي يجب اتباعه قصد تحديث النظم الموجودة و الوصول بها إلى نظم متفاعلة تلقائيا. في هذا السياق، و إجابة على هذا السؤال، اتجهت الأفكار إلى تحديث النظم عبر إحداث حلقة تحكم (الشكل الأول) تمكن من: جمع المعلومات، إجراء التعديلات و اتخاذ القرارات [6]. و تتكون هذه الحلقة من:

وحدة الرصد: هي الوحدة المكلفة برصد المعلومات، ترشيحها و تجميعها في شكل بيانات ليقع العمل بها في وحدة التحليل.

وحدة التحليل: هذه الوحدة تمكن من تحليل البيانات الملقنة من طرف وحدة الرصد. تعمل هذه الوحدة من خلال خوارزميات قادرة على تقييم الوضع الحالي للنظام و اقتراح التعديلات اللازمة. يجدر الإشارة إلى أنه في بعض الحالات، يقع اللجوء إلى المعلومات المخزنة بقاعدة البيانات لمراجعة السلوكيات الماضية للنظام بهدف نمذجتها و بالتالي إمكانية إستبقائها.

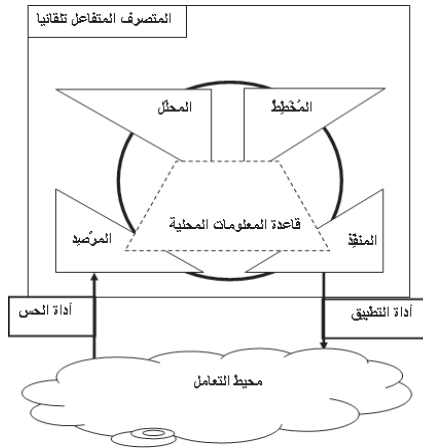
وحدة التخطيط: تتلقى هذه الوحدة مقترحات وحدة التحليل من أجل تحديث تصرفات النظام. فهي تقوم بوضع الإستراتيجية اللازمة التي من شأنها أن تحث النظام لتغيير تصرفاته و بالتالي الوصول به إلى الأهداف المطلوبة.

وحدة التنفيذ: تتسلم هذه الوحدة مخططا واضحا، و تسعى إلى وضع الآليات اللازمة لتطبيقه.

السؤال الذي يطرح نفسه الآن هو كيف يمكن دمج حلقة التحكم في نظام قديم، و كيف يمكن تمكينها من العمل الفاعل و التدخل الفعال في توجيه سلوكيات النظام. في الفقرة التالية نقدم مثالا عمليا اقترحتة أي بي أم سنة 2002. و لقد حظي هذا المثال بقبول من جميع الاختصاصيين في هذا المجال.

2.1 البنية التفاعلية التلقائية أي بي أم

أي بي أم أسست لبنية تفاعلية عامة (أنظر الشكل 2) قادرة على تحويل أي نظام قديم إلى نظام تفاعلي تلقائي. بنية أي بي أم متكونة من ثلاثة أجزاء: المتصرف المتفاعل تلقائيا، الموارد المتاحة و عناصر التماس؛ و جميعها مرتبط بقاعدة للمعلومات المحلية.



الشكل 1. البنية الأساسية لحلقة التحكم

الشكل 2. البنية التفاعلية المقترحة من أي بي أم

أولاً و كما يُبينهُ الشكل الثاني، فإنَّ المتصرف المتفاعل تلقائياً يستند في مكوناته إلى البنية الأساسية لحلقة التحكم. و هو عبارة عن أربعة وحدات مترابطة في ما بينها و متكاملة الوظائف و هي: المرصد، المحلل، المُخطِّط و أخيراً المُنفِّذ. تعتمد هذه الوحدات في تعريفها على ما أسلفناه في الفقرة السابقة.

ثانياً، الموارد المتاحة و هي مجموعة من المعلومات الخاصة بمحيط التعامل و مضبوطة حسب إحتياجات النظام. على سبيل المثال: يمكن أن تكون الموارد المتاحة عبارة عن مسابير مثبتة في محيط التعامل قادرة على تكريس المعلومات ذات الصلة بالنظام (نسبة الضغط، درجة الحرارة، استجابة غير طبيعية،... الخ) كما تُعتبر الموارد المتاحة منطقة لتدخل المتصرف المتفاعل التلقائي إذ أنها تخضع لعمليات التحديث المُناطة بهذه هذا الأخير.

ثالثاً، في ما يخص عناصر التماس فهي تتمثل في عنصرين اثنين: أداة الحس و أداة التطبيق. أداة الحس هي أجهزة استشعار و واجهات لنقل المعلومات للمتصرف. مثلاً يمكن أن تكون أداة الحس عبارة عن لاقط يمكن من الإنصات لكل التيارات المعلوماتية المتدفقة بين الأجهزة النقالة في الشبكة بهدف إيصالها إلى المرصد. أما أداة التطبيق فهي في صلة مباشرة بالمنقذ، فهي تأخذ الأوامر منه و تطبقها على محيط التعامل.

2.2 البنية التفاعلية التلقائية: نظرة باستعمالات السياسات

السياسات هي مجموعة من القواعد التي تُمكن من تحليل حالة مُعينة (أو حدث)، مما يؤدي وجوباً إلى إتخاذ قرار (أو موقف) في هذه الحالة. يقع إدراج السياسات في البنى التفاعلية التلقائية عبر دمجها في المتصرف المتفاعل تلقائياً، و يتكفل هذا الأخير بتحليل الوضعيات و الأحداث مع مراعاة تسلسلها دون أي تدخل خارجي. مع الإشارة إلى أن القواعد الأساسية للسياسات يمكن تقسيمها إلى ثلاث نماذج: نموذج القواعد الأساسية، نموذج القواعد التطبيقية و نموذج الإنتاج و الكشف عن الأحداث.

- نموذج القواعد الأساسية: هذا النموذج ينبغي أن يقدم وصفا واضحا و ضافيا لحدث ما و يكون ذلك عبر: تعريفه، تمثيله، تحديد شروط توفره و توفير طرق التعامل معه.
- نموذج القواعد التطبيقية: هذا النموذج يُمكن من تحديد متى و كيف يقع تطبيق مجموعة من القواعد مع مراعاة الحالة العامة للنظام.
- نموذج الإنتاج و الكشف عن الأحداث: هذا النموذج يُمكن من التعرف على الأحداث و يتكفل بتقديم تقرير فيها بهدف تنفيذ القواعد اللازمة.

2.3 إشكاليات في استعمالات السياسات

- يُعدُّ استعمال السياسات، نظريًا، كافيا لتغطية المشكلات التي من الممكن أن تظهر أثناء تشغيل النظام. فمجموعة القواعد المملأة على سياسةٍ ما يجعل منها، منطقيًا، قادرةً على مراقبة و قيادة سلوك النظام. إلا أن الواقع يفرض إشكاليات أخرى، إذ أن، في أغلب الحالات، يجد النظام نفسه في وضعيات غير مألوفة و لم يقع أخذها بعين الاعتبار أثناء تأسيسه. و يرجع ذلك بالأساس إلى أن السياسات لم تتطرق إلى هذه الوضعيات أو أنها غير مؤهلة للتطور تلقائيًا، و في هذه الحالات وجب إتباع الخطوات التالية:
- مراجعة القواعد النظرية و التأكد من تغطيتها لمعظم الحالات الفعلية. و يكون ذلك عبر القيام بعمليات إسقاط للسياسات على الواقع و التحقق من صحة فعاليتها.
 - التثبت من صحة السياسات قبل تثبيتها في النظام.
 - تطوير السياسات لجعلها تتكيف تلقائيًا مع الوضعيات العملية.
 - التأكد من حسن سير النظام بعد و ضع السياسات حيّز الإستعمال.
 - بالتأكيد هذه التعليمات ضرورية و لكنها قد لا تكون كافية.

2.4 البنية التفاعلية التلقائية: نظرة باستعمالات الوكلاء

يُعرفُ الوكيل على أنه: كيان يستوعبُ (يفهم) محيطه (و/أو بيئته) و يتفاعل معه(ها) (أي يعمل على تحديثه أو تغييره أو تحيينه). و إذا احتوى المحيط على مجموعةٍ من الوكلاء فإن كل واحدٍ منهم يتواصل مع الباقيين بهدف التكامل في ما بينها. تجدر الإشارة هنا، إلى أن سلوك أو تصرف أحد الوكلاء يُعتبر مستمداً و مكملًا لسلوك أو تصرف الوكلاء الآخرين.

خصائص الوكيل هي :

1. المراقبة و التصرف ذاتيا في الوضعيات التي يمر بها النظام.
 2. إستباق بعض الوضعيات، مما يمكّن النظام من تجاوز بعض المشكلات في المستقبل.
 3. إكتساب المهارات (الخبرات) بصفة تراكمية.
- في هذا السياق وقع تقديم نماذج كثيرة للوكلاء. لعل أهمها (بي دي آي) و المعروف بنموذج (معتقد – رغبات – نوايا). و تُعرفُ الوكيل في هذا النموذج كالتالي: يضع الوكيل عوالمه الممكنة في شكل

3 تقديم لبنية تفاعلية تلقائياً قصد تطوير مراسم الإسلاك بالشبكات المغترضة

كما سبق و ذكرنا، أن الشبكات المغترضة هي عبارة على محيط ذو قيود تشبه تلك التي نجدها في البيئات الحيوية إذ أن لها نفس الخصائص الفيزيائية والجوهرية. و يعود ذلك إلى طبيعة العناصر المكونة للشبكة و طريقة تعايشها مع متطلبات مراحل تشغيلها (التصرف في الطاقة، التصرف في المستندات الفيزيائية، التنقل، التواصل، السلامة،...). في هذا الصدد، وقعت مقاربة البيئات الحيوية من خلال تعدد الوكلاء ذوي المعالجات الزمنية الحقيقية.

في هذا المجال، تركزت جهودنا في تصميم وكيل بقدرات تفاعلية تلقائية ينسجم مع عناصر الشبكات المغترضة ومع مختلف متطلبات تشغيلها. هذا الوكيل (و قد أطلقنا عليه اسم: وكيل التعلم الموجه) مبني على الطريقة المقترحة من أي بي أم (مع بعض التحويرات)، يهدف على إدارة مرسوم الإسلاك بصفة ذكية. وكيل التعلم الموجه يُنَبِّئ على جميع عناصر الشبكة (المحمول) و يتابع تفاعلات مرسوم الإسلاك، من خلال قراراته و تعاملاته، و يبني رؤيته للوضعيات من خلال قواعد منطقية تُمكنه من تصنيف عناصر الشبكة. و يمثل جدول الإسلاك "الموارد المتاحة" بالنسبة لوكيل التعلم الموجه فهو يعمل على توجيه عمليات التحيين عليها، كما يجمع معلوماته من خلال الإنصات السلبي لجميع التيارات المعلوماتية المتدفقة بين الأجهزة النقالة (و هي تُعتبر محيط التعامل بالنسبة له).

3.1 ماهية وكيل التعلم الموجه

تركز بنية وكيل التعلم الموجه على بنية أي بي أم مع تغييرات أُحدثت بغاية تمكينها من التأقلم مع الشبكات المغترضة. فقد قمنا بالتحويرات التالية:

1. تتصل قاعدة المعلومات المحلية بالمحل فقط.
2. قاعدة المعلومات المحلية تعمل من خلال محرك قواعد، علماً و أن هذه القواعد وُضعت استناداً لتعليم المنطق الزمني الخطي. تم اقتراح ستة قواعد لتغطية و متابعة جميع الحالات الممكنة.
3. أضفنا وحدة للقرارات البديلة: نظراً للتغيرات الطارئة التي تختص بها الشبكات المغترضة ارتأينا أن نضيف هذه الوحدة و هي عبارة عن وحدة للتدخلات العاجلة يقع تشغيلها في الحالات المفاجئة. فهي قادرة على مجابهة هذه الحالات باقتراح حلول عاجلة.

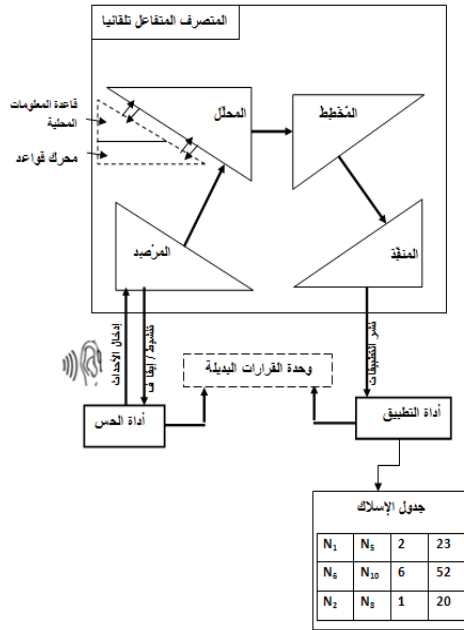
الشكل الرابع يوضح البنية الأساسية لوكيل التعلم الموجه، كما يبين العلاقة بين مختلف مكوناتها. في الفقرة التالية سنتناول بالشرح كل عنصر من العناصر المكونة لهذه البنية.

3.1.1 عناصر التماس

عناصر التماس هي: أداة الحس و أداة التطبيق.

أ- أداة الحس

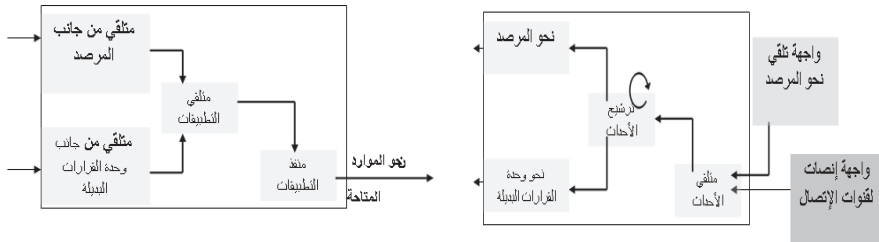
هي برمجيات معدة لالتقاط جميع ما يمكن الإنصات له عبر قنوات الإتصال. الشكل الخامس يبين أن أداة الحس تتكون من واجهة إنصات لقنوات الإتصال متصلة بمتلقي للأحداث موصول بدوره لوحدة ترشيح الأحداث. هذه الوحدة مكلفة بتنقية الأحداث حسب أهميتها، إذ أنه توجد أحداث تحمل معان و معلومات بينما أخرى لا تتصف بذلك.



الموجه

الشكل 4. بنية وكيل التعلم

تحتوي أداة الحس على ناقل نحو وحدة القرارات البديلة، ويُستعمل هذا الناقل في الحالات التي و جب فيها التدخل الطارئ. الناقل الثاني يتجه نحو المرصد، و يُستعمل لنقل الأحداث إلى المتصرف المتفاعل تلقائياً. كما تستقبل أداة الحس واجهة مرتبطة بالمرصد، يستطيع هذا الأخير من خلالها تنشيط أو إيقاف الأداة عن العمل.



الشكل 6. تركيبة أداة التطبيق

الشكل 5. تركيبة أداة الحس

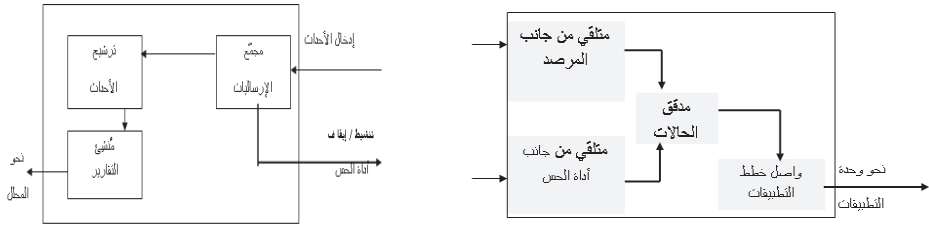
ب- أداة التطبيق

أداة التطبيق هي الوحيدة المُخولة للتعامل مع الموارد المتاحة (جدول الإسلاك في مقترحنا). تتلقى هذه الأداة أوامرها من المنفذ (جزء في المتصرف المتفاعل تلقائياً) أو من وحدة القرارات البديلة في شكل تطبيقات، و تنفذها بالشكل المطلوب منها. الشكل السادس يبين تركيبة هذه الأداة. و يبين أن أداة

التطبيق تتلقى متلقيين، الأول من جانب المنفذ و الثاني من جانب وحدة القرارات البديلة و في كلتا الحالتين بهدف تسلم التطبيقات. و من ناحية أخرى، ترسل التطبيقات إلى منفذها، و يتكفل هذا الأخير بتطبيقها على الموارد المتاحة.

3.1.2 وحدة القرارات البديلة

يقع الإلتجاء إلى هذه الوحدة في الحالات الطارئة: و ذلك حين تلاحظ أداة الحس أن تطورا لافتا قد حصل في سلوكيات عناصر الشبكة، و خاصة منها التي تخص مَعلَومات مرسوم الإسلاك. تستمد هذه الوحدة قراراتها من مخزون معلومات تراكمي يقع توجيئه من طرف مدقق الحالات و بإيعاز من المرصد الذي يعمل على توريث المعلومات للمخزون بطريقة دورية. الشكل السابع يبين تركيبة الوحدة، و هي تحتوي متلقيين الأول من جانب أداة الحس و الثاني من جانب المرصد. أما مدقق الحالات فهو يمد واصل خطط التطبيقات بالبيانات اللازمة للحد من مخلفات الحالة الطارئة.



الشكل 7: تركيبة وحدة القرارات البديلة

الشكل 8: تركيبة المرصد

3.1.3 المرصد (الشكل الثامن)

يتلقى المرصد المعلومات عن مجمّع الإرساليات (أنظر الشكل التاسع) و هي عبارة عن سلسلة معلومات تخص الأحداث المُنقطة: توقيتها، نوعيتها (مبعوث من، إرسال، إستقبال)، عددها و العناصر المسببة أو المُسببة فيها.

توقيت إنقطة الحدث	(الحدث، نوعية الحدث، العنصر المسبب للحدث)	عدد الأحداث المُنقطة
-------------------	---	----------------------

الشكل 9: تركيبة الإرساليات بالمرصد

من جهة ثانية تتلقى وحدة ترشيح الأحداث الإرساليات و تُقسّمها حسب أهميتها بالنسبة لمصالح العنصر المحلي (أين وقع تثبيت الوكيل). في هذا السياق، تتكفل وحدة الترشيح بتوزيع الأحداث إلى ثلاثة أقسام بحسب أولويتها:

حدث ذو أولوية: في هذه الحالة يكون العنصر المحلي هو المسبب أو المتسبب في الحدث، و بالتالي فهو يهيمه (أي العنصر المحلي) و بصفة مباشرة.

حدث ذو أولوية متوسطة: هذه النوعية من الأحداث يكون المتسببون فيها العناصر المجاورة للعنصر المحلي. يجدر التذكير و أن العنصر المجاور هو عنصرٌ يمكن الوصول إليه بقفزة واحدة عبر الشبكة.

تجدر الإشارة هنا أن المسار هو عبارة عن مجموعة من عناصر الشبكة ارتبطت في ما بينها بهدف إتمام عملية اتصال بين مرسل و متلقي، و بالتالي فإن نجاح العملية يُعتبر نجاحاً للمسار و للمجموعة، أما في حالة الفشل فإن ذلك يكون ناجماً عن تخلي أحد العناصر عن المساهمة أو نتيجة لتنقله أو لعدم التوفر الطاقة لديه أو لسبب آخر. في هذا السياق يسعى محرك القواعد إلى فهم مدى استعداد كل عنصر للمساهمة في عملية الإسلاك اعتماداً على الأحداث و على ما أمكن معرفته من قِبَل قاعدة المعلومات المحلية).

ليكن i و j عنصرين من الشبكة، العلاقة العملية بين هاذين العنصرين تخضع، وجوباً، لواحدة (على الأقل) من القواعد التالية:

1. $(\square RFE_{ij})$
لا توجد أي علاقة بين i و j و ذلك لفشل جميع المسارات التي أحدثها j باتجاه i (بطلب من i أو لغرض آخر).
2. $(\Diamond \neg NRE_{ij}) R (\Diamond \neg NRE_{ij})$
هذه القاعدة تُغطي الحالات التي لم يصدر فيها أبداً من j إشارة لنجاح مسار ما، مع العلم و أن i يبادر بانجاحه كلما استدعت الحاجة.
3. $(\square RFE_{ij}) V (\square \neg NRE_{ij}) U (\Diamond \neg NRE_{ij})$
في هذه الحالة لم يصدر من j إشارة لنجاح مسار ما، مع العلم و أن i يبادر بانجاحه كلما استدعت الحاجة، إلا أن j لم يكن سبباً مباشراً في فشل المسارات التي بادر بها i .
4. $(\square NRE_{ij}) U (O NRE_{ij})$
كلما أراد i إنشاء مسار يكون فيه j عنصراً إلا و ساهم هذا الأخير في إنجاحه.
5. $(\Diamond NRE_{ij}) R (\Diamond \neg NRE_{ij}) \wedge \square \neg RFE_{ij}$
تُغطي هذه القاعدة الحالات التي كلما أراد i إنشاء مسار يكون فيه j عنصراً إلا و ساهم هذا الأخير في إنجاحه و أنه لم يكن سبباً في فشل إحدى المسارات.
6. $(\square \neg RFE_{ij}) U (\square NRE_{ij}) U ((O NRE_{ij}) \square)$
في هذه الحالة يمثل j مسانداً مطلقاً بالنسبة لـ i في كل طلباته بإنشاء مسارات، فمعظمها يمر بـ j ، و لم يكن j أبداً سبباً في مشاكل إسلاك لـ i .

نلفتُ انتباه القارئ إلى التدرُّج في مقياس العلاقات بين عنصرين من شبكة مغترضة و الذي تُبرزُهُ هذه القواعد. في هذا السياق، يُؤسَّس المحلل لعاملٍ أطلقنا عليه اسم: نسبة الأرجحية في العلاقة بين عنصرين، و هي تمثل قيمة التعاملات السلبية و الإيجابية بينهما اعتباراً للقواعد السالف ذكرها. يقدم الجدول الثاني كيفية احتساب نسبة الأرجحية، و هي تعتمد نظرية الاحتمالات. ففي كل مرة يقع فيها تحيين نسبة أرجحية، فإن القيمة الجديدة يقع أخذها بعين الاعتبار في قاعدة المعلومات المحلية. بهذه الطريقة و مع مرور الوقت، يكتسب المحلل خبرة أكثر بالتعرف على نوعية العلاقة بين العنصر المحلي و محيطه (أي بقية العناصر) و يتجه نحو تحديدها بصفة أدق. في مرحلة أخيرة يتكفل المحلل بإرسال تقريرا إلى المخطط متضمناً لنسب الأرجحية لكل العناصر المعروفة.

الفئة	نسبة الأرجحية في العلاقة
-1-	0
-2-	$\frac{\sum_{i \rightarrow j} RFE_{i \rightarrow j}}{\sum_{i \rightarrow j} (NRE_{i \rightarrow j} + RFE_{i \rightarrow j})}$
-3-	$\frac{\sum_{i \rightarrow j} (RFE_{i \rightarrow j} + RFE_{j \rightarrow i})}{\sum_{i \rightarrow j} (NRE_{i \rightarrow j} + NRE_{j \rightarrow i} + RFE_{i \rightarrow j} + RFE_{j \rightarrow i})}$
-4-	$\frac{\sum_{i \rightarrow j} NRE_{i \rightarrow j}}{\sum_{i \rightarrow j} (NRE_{i \rightarrow j} + RFE_{i \rightarrow j})}$
-5-	$\frac{\sum_{i \rightarrow j} (NRE_{i \rightarrow j} + NRE_{j \rightarrow i})}{\sum_{i \rightarrow j} (NRE_{i \rightarrow j} + NRE_{j \rightarrow i} + RFE_{i \rightarrow j} + RFE_{j \rightarrow i})}$
-6-	1

الجدول 2: كيفية احتساب نسبة الأرجحية في العلاقة بين عنصرين من شبكة مغترضة

3.1.5 المخطط

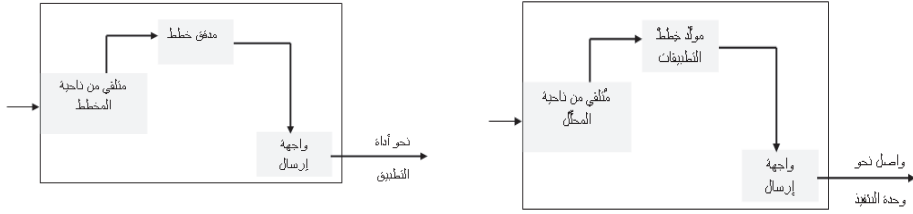
المخطط هو المسؤول عن وضع الخطط اللازمة لمواكبة تغيّرات و حيوية الشبكة. في هذا الإطار، و بالنظر لما يقدمه المحلل من معلومات، فإن المخطط يتفاعل معها، و يكون ذلك بإحدى الأساليب التالية:

- خطط تُسترشِدُ الأهداف: هذا النوع من الخطط يبنني عن طريق البحث المُستمر عن الآليات اللازمة لبلوغ هدفٍ بعيد. هذا الأسلوب، و لو أنه يتسم بواقعيته إلا أن المشكلة الرئيسية التي تعوقه هي مدى تعقيد الخوارزميات التي يستند لها. و لهذا الأسلوب، حسب رأينا، لا يمكن إستعماله في مراسم الإسلاك بالشبكات المغترضة.

- خطط باستعمال سياسات التكيف: في هذه الحالة تستند الخطط إلى بعض المُعلّيات الواضحة التي تُسهّل رسم معالم الأهداف المطلوبة.

ليكون المخطط قادرا على التمييز بين العناصر المساندة و المشاركة في مبادراته و تلك التي تُعيقه في عمليات الإسلاك فهو يستند لنسب الأرجحية لكل عنصر. بالتالي فإن استعمال سياسات التكيف باعتماد نسب الأرجحية هي الأكثر ملائمة في هذه الحالة. يُبرز الشكل الحادي عشر تركيبة المخطط، مود خطط التطبيق يُرسل الخطط إلى وحدة التنفيذ عبر واجهة الإرسال. هذه الخطط هي عبارة على عمليات تحديث على الإدخالات الموجودة في جدول الإسلاك (الموارد المتاحة):

- حذف إدخال من جدول الإسلاك، تحديث إدخال في جدول الإسلاك أو تعليق العمل بإدخال في جدول الإسلاك



الشكل 11. تركيبة المخطط

الشكل 12. تركيبة وحدة التنفيذ

الشكل الثالث عشر يُقدّم مثالا لتعاطي المخطط مع حالة حقيقية (بعد قيام وحدة التنفيذ بدورها). نسبة الأرجحية تُمكن من الجزم إذا كان إدخال ما يشكل إشكالا أم لا و بالتالي الإبقاء عليه، تحديثه، حذفه أو تعليق العمل به.

العنصر المحطى X

نسبة الأرجحية	الانفعال المُفعّل	عنوان الوجهة
$0.47 = (X \cdot N)$	F	N
$0.36 = (X \cdot T)$	E	T
$0.92 = (X \cdot P)$	Y	P

مرحلة ما قبل التحسين

العنصر المحطى X

نسبة الأرجحية	الانفعال المُفعّل	عنوان الوجهة
$0.47 = (N \cdot X)$	F	N
$0.56 = (T \cdot X)$	E	T
$0.92 = (P \cdot X)$	Y	P

مرحلة ما بعد التحسين

تحديث الإدخال
تطبيق العمل بالإدخال

الشكل 13. مثال لتعامل المخطط مع جدول الإسلاك

3.1.6 المنفذ (الشكل الثاني عشر)

المهمة الأساسية للمنفذ هي فحص أخير لخطط التطبيق، هل هي مطابقة للواقع الموجود و الممثل في الموارد المتاحة. إلا أن أهمية هذه المرحلة يبقى مرتبطين بإيقاف نشاط المرصد حتى لا يقع الخلط بين المعلومات الناجمة على مرحلة ما قبل التحسين و ما بعده.

3.2 دمج وكيل التعلم الموجه في مرسوم إسلاك

كما ذكرنا من قبل، فإن وكيل التعلم الموجه في شكل نموذج عام، و بالتالي فإمكانية إدماجه في أي مرسوم إسلاك تبقى قائمة شريطة تنبئته بطريقة تمكنه من التقاط تدفق المعلومات، تصنيفها حسب الأحداث (أحداث فشل المسار نتيجة لخطأ (RFE) أو أحداث نجاح المسار نتيجة لصحته (ENR)) و أخيرا تمكينه من تطبيق التحيينات على جدول الإسلاك).

3.2.1 دمج وكيل التعلم الموجه في أي أو دي في

أي أو دي في [5] هو مرسوم إسلاك تفاعلي يركز على ثلاثة أنواع من الأحداث: الأول: طلب ربط بين عنصرين من الشبكة، بادر بها أحد العناصر و غايته إنشاء مسلك نحو عنصر آخر خارج نطاقه

الرادويي. أما الثاني: إجابة على طلب ربط، بعرض مسلك نحو العنصر المطلوب. و أخيرا الثالث: خطأ ناجم عن إنقطاع الرابط الرادويي لأحد العناصر.

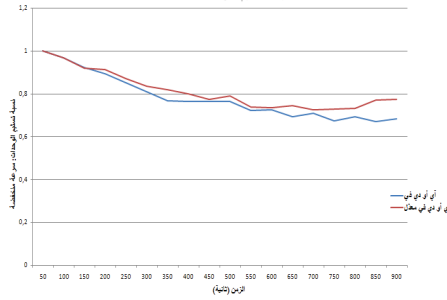
إرتأينا تصنيف النوع الأول و الثاني كأحداث نجاح مسار NRE أما الثالث كحدث فشل مسار RFE. بالتالي أدمجنا وكيل التعلم الموجه في هذا المرسوم، و ذلك بتكليف كل عنصر بالتأقلم مع محيطه بطريقة تلقائية متأثرا بنتائج المتابعة المستمرة التي يؤمنها الوكيل. نتيجةً للتحسينات التي يقوم بها الوكيل، فإن متطلبات مراحل التشغيل تتأقلم مع المُعطيات المستجدة في كل مرة، مما يُكسب الوكيل أكثر خبرةً مع الوقت. في الفقرة التالية نهتم بنتائج المحاكاة التي قمنا بها باستعمال NS2 وهو من بين أحسن برامج المحاكاة نظرا لقدرته على استيعاب أكبر قدر من التحسينات على نواته المفتوحة للتطوير.

4 نتائج المحاكاة و مناقشتها

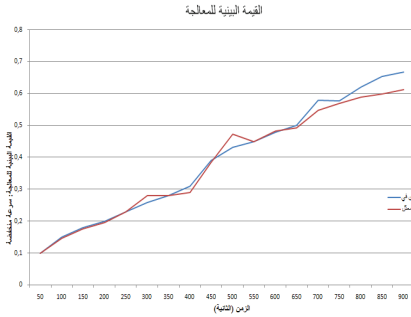
الصيغة التي وضعنا بها برامج المحاكاة تتركز على المُعطيات التالية: استعملنا 100 عنصر متحرك (محمول) في مساحة مربعة تبلغ 1000م² (1000متر x 1000متر)، على مدى 900 ثانية. تستطيع العناصر التحرك بكل حرية و بدون انقطاع، و ذلك بسرعة تتراوح بين 0 و 40متر في الثانية بالطريقة التالية: - سرعة منخفضة: بين 0 و 4 متر في الثانية، - سرعة عالية: بين 5 و 40 متر في الثانية.

يشير الشكلان الرابع عشر و الخامس عشر أن النسخة المعدلة لـ أي أو دي في، حققت نتائج أفضل في ما يخص نسب تسليم الوحدات (باعتبار السرعة المنخفضة و العالية)، و يرجع ذلك إلى أن في حالات أخطاء المسارات يستعمل أي أو دي في آليًا لقطع التدفق و بنائه من جديد و ذلك من خلال البحث عن مسار آخر، إلا أن النسخة الجديدة تعمل على مواصلة التدفق بتغيير المسار بأخر أقل إستقرار (نسبة أرجحيته أقل) دون الإخلال بالحاجة الإتصال. و كما هو موضح في الشكلين السادس عشر و السابع عشر، أي أو دي في في نُسخته المُعدلة يتفوق على النسخة القديمة فيما يخص القيمة البينية للمعالجة و يرجع ذلك إلى المسارات التي يستعملها هذا الأخير، إذ أنه يشرع بالعمل بأول مسار يحصل عليه دون التأكد إن كان هو الأحسن أم لا. مما ينتج عنه تعدد المشاكل كالانقطاع و الأخطاء، و يصبح في مُجبِرا على البحث عن مسار آخر، و هذا ما يُولد نسبة عالية للقيمة البينية للمعالجة. الشكل الثامن عشر، يؤكد صحة ما ذكرناه آنفا، إذ أن إختيار المسارات لدى أي أو دي في لا تخضع إلى أي إجراء تدقيقي قبل إستعمالها، فيمجرد الحصول عليها يقع إستعمالها مما انجر عنه عددا كبيرا من المسارات التي تنقطع أو تنكسر سريعا. هذا يؤدي كذلك لأخطاء متعددة في تسليم الوحدات و تعطيل تواصل التدفق للمعلومات.

نسبة تسليم الوحدات

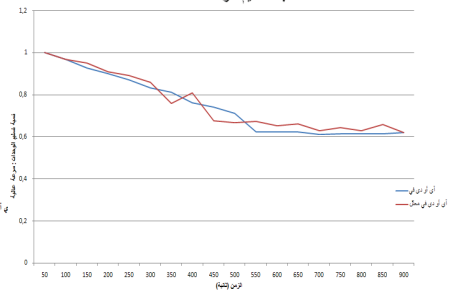


الشكل 14. نسبة تسليم الوحدات: سرعة منخفضة

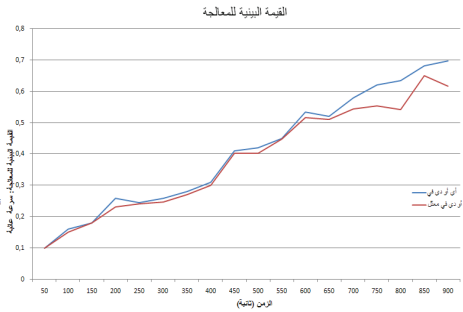


الشكل 16. القيمة البينية للمعالجة: سرعة منخفضة

نسبة تسليم الوحدات

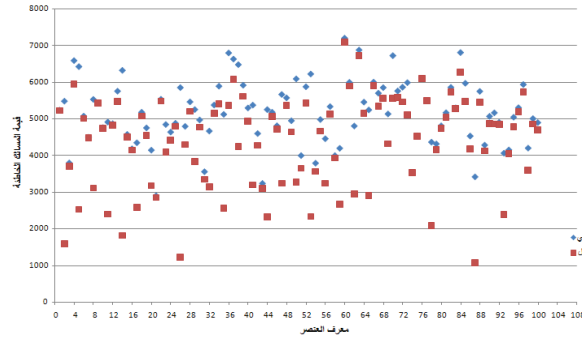


الشكل 15. نسبة تسليم الوحدات: سرعة عالية



الشكل 17. القيمة البينية للمعالجة: سرعة عالية

قيمة المسالك الخاطئة



الشكل 18. قيمة المسالك الخاطئة

5 الخاتمة

تم تحديث البنية التفاعلية تلقائياً لـ أي بي أم قصد تمكينها من التعامل مع وضعيات مراسم الإسلاك بالشبكات المغترضة، و ما بينته هذه الورقة، هو التأكيد على فاعلية هذه البنى في هذا المجال. أكدت النتائج أهمية استعمال البنى التفاعلية تلقائياً في الشبكات المغترضة، فهي تمكنها من التأقلم ذاتياً مع متطلبات مراحل تشغيل مرسوم الإسلاك. لقد أدمجنا البنية التفاعلية تلقائياً في مرسوم الإسلاك أي أو دي في و ذلك في شكل وكلاء تعلم قادرين على الإنصات و متابعة حركة الشبكة و من ثم التدخل قصد تحيين جداول الإسلاك. الهدف هو الحصول على أكبر قدر ممكن من المسالك المستقرة و التي لا تخلف أعباء إضافية لمرسم الإسلاك.

6 شكر و تقدير

يشكر المؤلفان الزميل عبد القادر عبد الكريم مساعد للتعليم العالي بكلية العلوم بقفصه -تونس- لمراجعته للغة العربية لهذا المقال.

7 المصادر و المراجع

- [1] Anis Ben arbia, Habib yousef, "Self-Organization in Wireless Networks using The Autonomic Behavior", Second IEEE International workshop on ITS for ubiquitous ROADS, Hammamet, TUNISIA, May 2009.
- [2] Paul Horn. Autonomic Computing: IBM's perspective on the State of Information Technology. (2001). IBM Corporation available at http://researchweb.watson.ibm.com/autonomic/manifesto/autonomic_computing.pdf
- [3] Mouna Ayari, Zeinab Movahedi, Guy Pujolle, Farouk Kamoun: ADMA: autonomous decentralized management architecture for MANETs: a simple self-configuring case study. IWCNC 2009: pp132-137.
- [4] Sungwon Kim, Chul-Ho Lee, Do Young Eun, "Super-Diffusive Behavior of Mobile Nodes and its Impact on Routing Protocol Performance," IEEE Transactions on Mobile Computing, 01 Jul. 2009.
- [5] C. Perkins, Nokia Research Center, E. Belding-Royer, University of California, Santa Barbara, Request For Comments 3561, July 2003.
- [6] IBM Corporation, An Architectural Blueprint for Autonomic Computing, available at <http://www-306.ibm.com/autonomic/library.shtml>

8 جدول الألفاظ

Hybrid Routing Protocol	مراسم الإسلاك الهجينة
Reactive Routing Protocol	مراسم الإسلاك التفاعلية
Proactive Routing Protocol	مراسم الإسلاك الإستباقية
Generic Autonomic Architecture	بنية تفاعلية تلقائياً

Passive listening	الإنصات السلبي
Routing Table	جدول الإسلاك
Overhead	القيمة البيئية للمعالجة
Packet Delivery Ratio	نسبة تسليم الوحدات
Quality of Paths	نوعية المسارات
Reliability	دقة الاختيارات
AODV :Ad hoc On Demand Distance Vector	أي أو دي في
IBM	أي بي إم
Autonomic Manager	المتصرف المتفاعل تلقائياً
Middleware	البرمجيات الوسيطة
Managed Resources	الموارد المتأاحة
Local Knowledge Base	قاعدة المعلومات المحلية
Probes	مسابير
Agent- Agents	الوكيل- الوكلاء
Belief – Desire – Intentions	معتقد – رغبات – نوايا (بي دي أي)
Linear Temporal Logic	المنطق الزمني الخطي
Alternate Decisional module	وحدة للقرارات البديلة

9 الخلاصة باللغة الإنجليزية

This paper introduced an autonomic architecture, which is Self-adaptable, Self-manageable, Self-Configurable and Self-protectable. The architecture is designed to help better orchestrate node cooperation in carrying their various network activities (e.g. routing). The architecture is evaluated using the AODV routing protocol as a test case. The architecture is deployed by an internal agent called RLA (Routing Learning Agent). Each mobile node has an RLA installed locally in order to dynamically adapt its routing decisions. An RLA is able to observe routing traffic, analyze it, and intervene on the local node routing table. Thus, the RLAs enable the corresponding network node self adjust their routing decisions to changing network state. Extensive simulation results show that the proposed autonomic protocol (A²ODV) noticeably outperforms the original AODV with respect to traffic overhead, quality of routes, and packet delivery ratio. In a future work, we will be extending and evaluating the architecture in improving other network operations and mechanisms, as well as other routing protocols.



الدورة السابعة للمؤتمر الدولي لعلوم وهندسة الحاسوب باللغة العربية

مرسم إرسال موفر في الطاقة لشبكات الحساسات اللاسلكية باستخدام مستويين لطاقة الإرسال

ماهر نبيه الشقنقيري

جامعة أم القرى، كلية الحاسب الآلي ونظم المعلومات
ص.ب. ٧١٥، مكة المكرمة، المملكة العربية السعودية

mmelshakankiri@uqu.edu.sa

الخلاصة. نالت شبكات الحساسات اللاسلكية في السنوات الأخيرة اهتماماً بالغاً في مجال البحث العلمي. وقد تم تصميم العديد من مراسم الاتصال لشبكات الحساسات اللاسلكية، ركز أكثرها على زيادة عمر الشبكة عن طريق تقليل الطاقة المستخدمة. هذا البحث يقدم مرسم إرسال جديد لشبكات الحساسات اللاسلكية يعتمد على استخدام مستويين لطاقة الإرسال لتقليل الطاقة المستخدمة؛ ومن ثم زيادة فترة عمل العقد، مع تقليل زمن الإرسال من العقد إلى المحطة الأساسية. وقد تم في هذا البحث دراسة حالتين مختلفتين لمستوى الطاقة في العقد عند بدء الإرسال. في الحالة الأولى يكون لجميع العقد نفس مستوى الطاقة عند بدء الإرسال. أما في الحالة الثانية فيتباين مستوى الطاقة بين العقد عند بدء الإرسال. وقد تم عمل مقارنة بين المرسوم الجديد ومرسم LEACH (أحد المراسم المعروفة لشبكات الحساسات اللاسلكية)، وأثبت المرسوم الجديد تفوقاً ملحوظاً في خفض كمية الطاقة المستخدمة، وكذلك في زيادة فترة عمل العقد، وفي تقليل زمن الإرسال.

الكلمات الجوهرية: شبكات الحساسات اللاسلكية، عمر شبكة الاتصال، متوسط زمن الإرسال، مرسم مدرك للطاقة

١ مقدمة

في السنوات القليلة الماضية زاد الاهتمام بشبكات الحساسات اللاسلكية في مجالي البحث والصناعة. تتكون شبكات الحساسات اللاسلكية من مجموعة عقد لها القدرة على الاستشعار، ومعالجة البيانات، والتخزين، وكذلك الاتصال لاسلكياً [٢]. حيث أدى التطور في مجالي الاتصالات اللاسلكية والالكترونيات إلى تصنيع عقد صغيرة الحجم، ومتعددة الوظائف، ومنخفضة التكلفة، وتحتاج لطاقة منخفضة للتشغيل، مع قدرتها على الاتصال لاسلكياً مع بعضها البعض من ناحية، وكذلك مع المحطة الأساسية من ناحية أخرى. وتتكون العقدة في شبكة الحساسات اللاسلكية من أربعة أجزاء رئيسية هي: وحدة الاستشعار، ووحدة معالجة البيانات، ووحدة الطاقة، ووحدة الاتصال. تتكون وحدة الاستشعار من حساس يقوم بقياس أحد العوامل الطبيعية مثل درجة الحرارة أو الضغط، ووحدة المعالجة هي المسؤولة عن معالجة البيانات المسجلة من قبل الحساس، أما وحدة الاتصال اللاسلكية فتقوم بنقل الإشارات من العقدة إلى المستخدم من خلال المحطة الأساسية.

وتعتمد كافة الوحدات السابقة على وحدة الطاقة لتزويدها بالطاقة اللازمة من أجل تنفيذ المهام المذكورة. وعادة ما تحتوي شبكات الحساسات اللاسلكية على مئات أو آلاف العقد. وتستخدم الآن شبكات الحساسات اللاسلكية لجمع البيانات في الكثير من التطبيقات، منها على سبيل المثال التطبيقات العسكرية، والصحية، وأمان المنشآت، ومراقبة الحياة البرية [٣].

ونظراً لوجود عدد كبير من التطبيقات في مجال شبكات الحساسات اللاسلكية فقد تم تصميم مراسم إرسال متعددة لهذه الشبكات [١]. ركزت غالبية الخوارزميات المقترحة على تحقيق أقصى قدر من عمر الشبكة من خلال محاولة تقليل الطاقة المستهلكة، إلا أن عامل التأخير الذي يعد أحد العوامل الهامة لم يوضع في الاعتبار إلا نادراً. وبالإضافة إلى ذلك فإن المراسم السابقة تفترض أن كافة العقد لديها نفس مستوى الطاقة عند بدء التشغيل، وهو ما لا يحدث عادة، حيث تختلف كمية الطاقة الموجودة في كل عقدة عن مثيلاتها.

في هذا البحث نقدم مرسوم إرسال جديد موفر في الطاقة لشبكات الحساسات اللاسلكية باستخدام مستويين لطاقة الإرسال. ويرمز للمرسوم الجديد بالاسم PEER. ويعتمد هذا المرسوم على تكوين ثنائيات من الحساسات، حيث يتم اختيار عقدتين متقاربتين في المسافة لتكونا ثنائياً، وذلك لضمان استهلاك كمية صغيرة من الطاقة عند تبادل الإرسال بين العقدتين. وعن طريق استخدام مستويين من طاقة الإرسال في كل عقدة يمكن لإحدى العقدتين الإرسال باستخدام مستوى الطاقة المرتفع وذلك لإرسال البيانات للمحطة الأساسية، بينما تقوم العقدة الأخرى باستخدام مستوى طاقة الإرسال المنخفض لنقل البيانات إلى العقدة الشريكة في الثنائي، ثم يتم تغيير الأدوار بين الثنائي بصورة دورية لتوزيع عبء الإرسال البعيد بينهما وذلك لضمان توزيع الطاقة المستهلكة بالتساوي بينهما.

في دراستنا للمرسوم قمنا بعمل محاكاة ركزنا فيها على ثلاثة مقاييس هامة، هي كمية الطاقة المستهلكة، وعمر الشبكة، ومتوسط زمن الإرسال. بالإضافة إلى ذلك تم عمل محاكاة لنموذجين مختلفين. في النموذج الأول كانت جميع العقد لها نفس كمية الطاقة عند بدء التشغيل. بينما اختلفت في النموذج الثاني كمية الطاقة الموجودة في العقد عند بدء تشغيل. وقد قمنا بعمل مقارنة للمرسوم الجديد مع أحد المراسم الهرمية الشهيرة لشبكات الحساسات اللاسلكية، وهو مرسوم LEACH [٧].

ويأتي تنظيم بقية البحث على النحو التالي: القسم الثاني يعطي موجزاً عن مرسوم LEACH. ويعرض الجزء الثالث طريقة عمل المرسوم الجديد. أما القسم الرابع فيقوم بعرض نموذج الشبكة المستخدمة لدراسة المرسوم. ثم تأتي النتائج وتقييم الأداء في الجزء الخامس. وأخيراً تأتي الخاتمة لتعرض استنتاجات البحث وتناقش اتجاهات العمل المستقبلية.

٢ الدراسات السابقة

قام الباحثون باقتراح مراسم عديدة لتحديد مسارات الإرسال لشبكات الحساسات اللاسلكية. ويمكن تصنيف معظم هذه المراسم إلى نوعين أساسيين هما: مراسم البيانات والمراسم الهرمية. تعتمد مراسم البيانات على قيام المحطة الأساسية بإنشاء استعلام وإرساله للعقد المختلفة. أما المراسم الهرمية فتقوم على جمع البيانات من الحساسات بصورة دورية، وتقوم لذلك بتجميع العقد في صورة مجموعات؛ ومن ثم إرسال البيانات عن طريق أحد العقد في المجموعة.

يعتبر المرسوم الهرمي منخفض الطاقة القائم على ترتيب الحساسات في مجموعات (LEACH) [٧] أحد المراسم الهرمية الرائدة المعروفة، والمستخدمة في شبكات الحساسات اللاسلكية. يقوم LEACH باختيار عشوائي لعدد قليل من العُقد لتكون رؤوس مجموعات تقوم بجمع البيانات من العُقد الموجودة في نفس المجموعة؛ ومن ثم إرسالها إلى المحطة الأساسية، وتقوم العُقد بالتناوب بالقيام بهذا الدور، وذلك من أجل توزيع استهلاك الطاقة بالتساوي بينها. ويفترض المرسوم LEACH أن جميع العُقد لها نفس مقدار الطاقة عند بدء الإرسال، وهو ما يتنافى مع الوضع الفعلي للعُقد، فكثيراً ما تختلف مستويات الطاقة في العُقد المختلفة عند بدء التشغيل.

لقد استخدمنا نفس نموذج الراديو المستخدم في محاكاة مرسوم LEACH، وهو على النحو التالي: الطاقة المستهلكة لتشغيل جهاز الإرسال والاستقبال مقدارها $E_{elec} = 50 \text{ nJ/bit}$ ، والطاقة المستهلكة عبر مكبر الإرسال مقدارها $\epsilon_{amp} = 100 \text{ pJ/bit/m}^2$. وتم افتراض أن فقد الطاقة الناتج عن الإرسال يتناسب طردياً مع مربع المسافة كما هو الحال في نموذج الراديو من الدرجة الأولى؛ ومن ثم فإن القيام بنقل رسالة مكونة من k بت لمسافة d باستخدام نموذج الراديو يحتاج لطاقة مقدارها:

$$\begin{aligned} E_{Tx}(k, d) &= E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) \\ (١) \quad &= E_{elec} * k + \epsilon_{amp} * k * d^2 \end{aligned}$$

بينما استقبال رسالة مكونة من k بت يحتاج لطاقة مقدارها:

$$\begin{aligned} E_{Rx}(k) &= E_{Rx-elec}(k) \\ (٢) \quad &= E_{elec} * k \end{aligned}$$

المعادلة (٢) تثبت أن استقبال الرسائل عملية مستهلكة للطاقة؛ ومن ثم فمع ضرورة تصغير مسافات الإرسال ينبغي على المرسوم أن يقوم بتقليل عدد مرات إرسال واستقبال الرسائل.

وعند القيام بعملية محاكاة المراسم قمنا باستخدام طول رسائل k مقدارها ٢٠٠٠ بت. وافترضنا قناة راديو متماثلة بحيث يكون مقدار الطاقة المستخدمة للإرسال من العُدة أ إلى العُدة ب هو نفس مقدار الطاقة المستخدمة للإرسال من العُدة ب إلى العُدة أ.

٣ مرسوم إرسال موفر في الطاقة مع ترتيب العُقد في صورة ثنائيات

في هذا الجزء من البحث نقدم مرسوم الإرسال المقترح. لقد افترضنا أن كل عُدة من العُقد الموجودة في الشبكة يمكن أن تحدد مكانها، حيث تتوفر حالياً الكثير من أجهزة تحديد الأماكن بأحجام صغيرة وبتكلفة منخفضة، كذلك تنتشر تقنيات متعددة لتحديد المكان على أساس قياس قوة الإشارة، مما يجعل تلك الفرضية معقولة. وقد ناقشت دراسات مختلفة هذه المسألة في شبكات الحساسات اللاسلكية، واقترحت حلولاً منخفضة التكلفة لتحديد أماكن الحساسات [٨]، [١٠]. تم تقسيم المساحة التي ستوضع فيها العُقد إلى مناطق، ويمكن لكل عُدة تحديد المنطقة الخاصة بها تبعاً لقدرتها على تحديد موقعها. كما افترضنا أن المرسوم سيستخدم في تطبيقات المراقبة مثل اكتشاف الحرائق

وتسرب الغازات؛ ومن ثم فإن العُقد المتقاربة تكون لها نفس القراءة عادة في الحالات العادية، وتبدأ هذه القراءات في الاختلاف عند وقوع مشكلة مثل نشوب حريق أو تسرب غازي. أما في حالة التطبيقات التي تختلف فيها قراءات العُقد المتقاربة فيمكن استخدام مراسم أخرى، مثل تلك التي تقوم بجمع البيانات.

في البحث [٩] تم إثبات أن اتصال الشبكة في شبكات الحساسات اللاسلكية يظل قوياً باستخدام مستويين من الطاقة في عملية الإرسال. حيث يمكن لكل عُقدة استخدام مستويين من الطاقة، أحدهما مرتفع والآخر منخفض، مما يسمح بالإرسال لمسافات بعيدة باستخدام مستوى الطاقة المرتفع، ولمسافات قصيرة باستخدام المستوى المنخفض. في المرسوم الجديد تقوم كل عُقدتين بتكوين ثنائي [٦]؛ ينقل أحدهما البيانات باستخدام الطاقة العالية إلى المحطة الأساسية، بينما ينقل الآخر البيانات لشريكه باستخدام الطاقة المنخفضة. ويتم تغيير أدوار الثنائي دورياً لتوزيع عبء الإرسال البعيد بين كل منهما. وينقسم المرسوم إلى ثلاثة مراحل:

١.٣ مرحلة تكوين الثنائيات

المرحلة الأولى هي مرحلة تكوين الثنائيات: تقوم كل عُقدة باكتشاف مجموعة العُقد المجاورة لها في الشبكة لاختيار واحدة منها لتكون الثنائي، ولذلك يجب أن توفر طريقة للتمييز بين العُقد المجاورة. ويمكن هذا باستخدام أحد الوسائل المستخدمة في التعرف على العُقد القريبة مثل عناوين التحكم في الدخول لوسيلة الاتصال رقم ٨٠٢.١١.

يعتمد عدد العُقد المجاورة لكل عُقدة على كثافة العُقد وكذلك على مستوى الطاقة المنخفض المستخدم [٤]، [٥]؛ ومن ثم فإن تثبيت كثافة العُقد، يجعل مستوى الطاقة المنخفض يقوم بتحديد متوسط عدد العُقد المجاورة. فتقليل مستوى الطاقة المنخفضة يؤدي إلى خفض استهلاك الطاقة، ولكن يؤدي لزيادة عدد العُقد المعزولة. وتؤدي زيادة مستوى الطاقة المنخفضة إلى استهلاك المزيد من الطاقة مع انخفاض عدد العُقد المعزولة في الشبكة. فينبغي اختيار مستوى طاقة منخفض ليعطي حلاً وسطاً بين استهلاك الطاقة وعدد العُقد المعزولة.

تبدأ هذه المرحلة بقيام العُقد بإرسال رسالة "ترحيب" باستخدام مستوى الطاقة المنخفض من أجل تعريف نفسها للعُقد المجاورة. ومن أجل تجنب التصادم في الرسائل المرسلّة يتم فرض تأخير مقدر عشوائياً قبل إرسال رسالة "ترحيب". أي عُقدة تستقبل رسالة "ترحيب" أو أكثر تختار أقرب عُقدة مجاورة لها تبعاً لقياس قوة الإشارة المستقبلية ثم ترد برسالة "انضمام" لتكون مع العُدة الأولى ثنائياً. عند استقبال العُدة الأولى رسالة "انضمام" تقوم بالرد برسالة "موافقة". العُقد التي لم تستقبل رسالة "موافقة" يمكنها محاولة الانضمام لعُدة أخرى باستخدام رسالة "انضمام" مرة أخرى. وقد استخدمنا كلمة (العُدة الأولى) لنشير بها إلى العُدة التي بدأت بإرسال رسالة "ترحيب"، وكلمة (العُدة الثانية) لنشير إلى العُدة التي ردت برسالة "انضمام". والتسمية تهدف فقط للفرقة بينهما في المسمى، أما طبيعة عمل كل منهما فواحدة. بعد الانتهاء من هذه المرحلة ستكون أغلب العُقد قد كونت ثنائيات مع بقاء مجموعة من العُقد بصورة فردية، والتي سيتم توضيح دورها فيما بعد.

٢.٣ مرحلة الإرسال

تبدأ بعد ذلك مرحلة الإرسال والتي تقوم فيها العُقدة الأولى بالإرسال إلى المحطة الأساسية باستخدام مستوى الطاقة المرتفع، بينما تقوم العُقدة الثانية بالإرسال إلى الأولى باستخدام مستوى الطاقة المنخفض، ثم يتم تبادل الأدوار بعد ذلك. تُسمى العُقدة التي ترسل بمستوى طاقة مرتفع عُقدة مرتفعة، أما الأخرى فتسمى منخفضة.

١.٢.٣ وظيفة العُقدة المنخفضة

- غلق جهاز الاستقبال
- القيام بعمل قياس باستخدام الحساس وتسجيل القراءة كل وحدة زمنية
- إرسال القراءة للعُقدة الشريكة في حالة تغير القراءة الحالية عن القراءة السابقة
- وضع علامة في الرسالة المرسلة للعُقدة الشريكة كل ١٠٠ وحدة زمنية لمعرفة ما إذا كان سيتم تبادل الأدوار أم لا
- فتح جهاز الاستقبال بعد وضع العلامة، وانتظار الرد من العُقدة الشريكة، وتبعاً للرد يمكن أن تتحول العُقدة المنخفضة إلى مرتفعة

٢.٢.٣ وظيفة العُقدة المرتفعة

- فتح جهاز الاستقبال
- القيام بعمل قياس باستخدام الحساس وتسجيل القراءة كل وحدة زمنية
- استقبال القراءة من العُقدة الشريكة ودمجها مع القراءة الخاصة بها، ثم إرسالها إلى المحطة الأساسية بعد انتظار عشوائي. يسمح هذا الانتظار العشوائي بإرسال البيانات عن طريق عُقدة مرتفعة واحدة من العُقد المرتفعة الموجودة في نفس المنطقة
- إذا تم تسجيل رسالة من عُقدة مرتفعة في نفس المنطقة يتم مقارنة البيانات الخاصة بها مع تلك المسجلة، فإذا كانت القراءتان مختلفتين يتم إرسال القراءة، أما إذا كانتا متساويتين فلا يتم الإرسال
- الرد على رسائل العُقدة الشريكة الخاصة بتغيير الأدوار ليعلمها بتغيير الأدوار من عدمه
- القيام بالبحث عن شريك آخر في حالة فقدان الشريك لفقد جميع طاقته، ويتم ذلك بنفس طريقة المرحلة السابقة

٣.٢.٣ وظيفة العُقد الفردية

- فتح جهاز الاستقبال
- القيام بعمل قياس باستخدام الحساس وتسجيل القراءة كل خمس وحدات زمنية

- إرسال القراءة إلى المحطة الأساسية بعد انتظار عشوائي. يكون هذا الانتظار العشوائي أكبر من المستخدم في العقد المرتفعة لتقليل احتمال قيام العقد الفردية بالإرسال إلى المحطة الأساسية
- إذا تم تسجيل رسالة من عقدة مرتفعة أو عقدة فردية في نفس المنطقة يتم مقارنة البيانات التي فيها مع المسجلة، فإذا كانت القراءتان مختلفتين يتم إرسال القراءة، أما إذا كانتا متساويتين فلا يتم الإرسال
- الرد على رسائل "ترحيب" في حالة قيام أحد العقد بتكوين ثنائي جديد عند فقد أحد الثنائيات

٤.٢.٣ تغيير ادوار الثنائيات

تبدأ العقد مرحلة الإرسال بطاقتها الكاملة تقريباً، حيث أن مرحلة تكوين الثنائيات تستهلك القليل من الطاقة. ويوضح الجدول (١) قيم الطاقة التي يتم عندها تبديل الأدوار بين الثنائيات، ويشير ما بين القوسين إلى مستوى الطاقة المستخدم.

الجدول (١). قيم الطاقة التي يتم عندها تبديل الأدوار بين الثنائيات

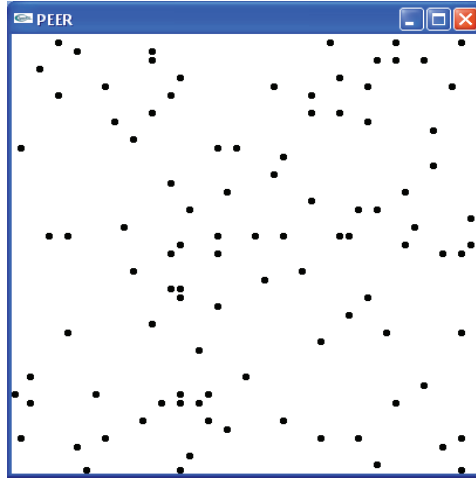
العقد الثانية	العقد الأولى	
١٠٠% (منخفض)	١٠٠% (مرتفع)	الفترة الأولى
<١٠٠% (مرتفع)	٦٠% (منخفض)	الفترة الثانية
٤٠% (منخفض)	<٦٠% (مرتفع)	الفترة الثالثة
<٤٠% (مرتفع)	٢٠% (منخفض)	الفترة الرابعة

وقد تم اختيار النسب المشار إليها في الجدول للحفاظ على مستوى متقارب للطاقة في كل ثنائي، وكذلك لتقليل عملية الانتقال من الإرسال بمستوى طاقة مرتفع إلى مستوى منخفض والعكس. وقد أثبتت نتائج المحاكاة عمل هذا الاختيار بكفاءة للمحافظة على مستوى طاقة متقارب للعقد.

٣.٣ مرحلة تغيير الثنائيات

عند فقد العقد الثانية لجميع طاقتها؛ ومن ثم خروجها من الشبكة، تقوم العقد الأولى بمحاولة تكوين ثنائي جديد. يتم ذلك عن طريق إرسال رسالة "ترحيب" وانتظار رد من أحد العقد الفردية أو من عقدة فقدت الشريك الخاص بها. تلعب العقد الفردية في هذه المرحلة دوراً هاماً، حيث يمكنها الإرسال بمستوى طاقة مرتفع لمساعدة العقد الأولى التي انخفض مستوى الطاقة فيها، وبذلك تحصل على عدد كبير من العقد يعمل لفترة طويلة، كما نضمن تقارب مستوى الطاقة في العقد الموجودة في الشبكة.

تتكون الشبكة من محطة أساسية عند النقطة (٢٥، ١٠٠) أي تبعد بمسافة خمسون متراً عن أقرب عُقدة موجودة في الشبكة. تمتلك المحطة الأساسية مصدراً مستمراً للطاقة، ولذا فلا يوجد لديها قيود على الطاقة. ويمكن للمحطة الأساسية أن ترسل بمستوى طاقة مرتفع يُمكنها من إيصال الرسائل لجميع العُقد، أي أنه لا حاجة لتحديد مسارات من المحطة الأساسية للعُقد. أما العُقد فعددتها مائة عُقدة موزعة عشوائياً في مساحة ٥٠×٥٠ م، ولديها طاقة محدودة، لذلك فهناك حاجة لتحديد المسار من العُقد للمحطة الأساسية للعمل على توفير الطاقة. الشكل (١) يوضح شبكة مكونة من مائة عُقدة موزعة بصورة عشوائية في مساحة ٥٠×٥٠ م.



الشكل ١. مائة عُقدة موزعة بصورة عشوائية في مساحة ٥٠×٥٠ م

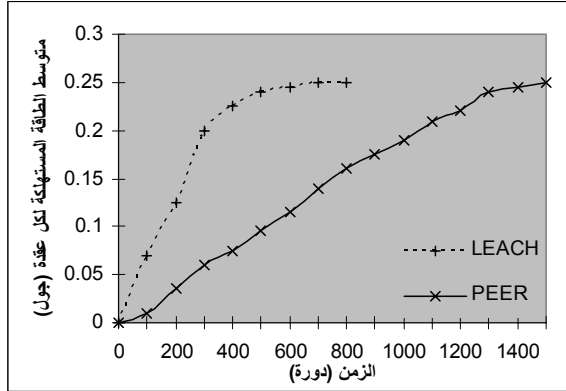
وقد أخذنا في الاعتبار عند القيام بتجارب المحاكاة حالتين: في الحالة الأولى كانت جميع العُقد لها نفس مستوى الطاقة، بمقدار ٢٥ جول. وفي الحالة الثانية كان للعُقد مستوى طاقة مختلف بمتوسط قيمته ٢٥ جول وانحراف معياري مقداره ١ جول. كما تم تقسيم المساحة إلى أربع مناطق كل منها ٢٥×٢٥ م، وتم إعطاء كل منطقة قيمة عشوائية كل ٥ وحدات زمنية تتحصر بين ١٠٠ و ١٠٠٠ درجة.

٥ تقييم الأداء

لتقييم أداء المرسم الجديد (PEER) قمنا بعمل مجموعة من تجارب المحاكاة لكل من PEER و LEACH. وفي تلك التجارب قمنا بالتركيز على ثلاث مقاييس من مقاييس تقييم الأداء: المقياس الأول هو متوسط الطاقة المستهلكة لكل عُقدة. والمقياس الثاني يختص بطول عمر الشبكة، وتم

قياسه بمعرفة عدد العُقد التي لازلت تعمل في الشبكة. أما المقياس الثالث فيمثل متوسط زمن وصول الرسالة من العُقد إلى المحطة الأساسية. ويعتبر انخفاض الطاقة المستهلكة، وزيادة عمر الشبكة، مع انخفاض زمن الإرسال دلائل على جودة مراسم الاتصال في الشبكات.

قمنا في كل تجربة من التجارب بتشغيل التجربة مائة مرة ومن ثم الحصول على متوسط الطاقة المستهلكة لكل العُقد في الشبكة كل مائة وحدة زمنية، وكذلك متوسط عدد العُقد العاملة. أما متوسط زمن الإرسال فقد تم حسابه لكل تجربه من التجارب المائة على حده ثم حساب المتوسط لها.

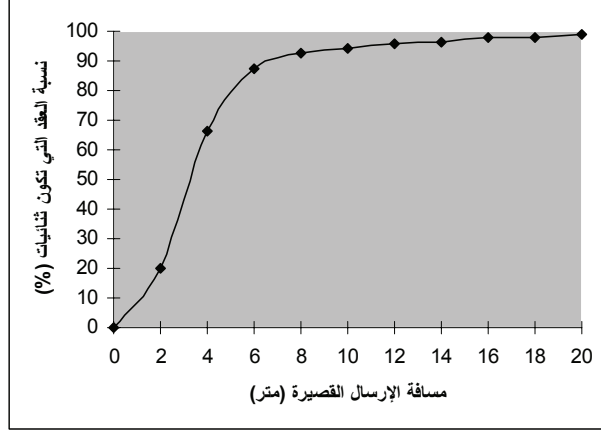


الشكل ٢. متوسط الطاقة المستهلكة لكل عُقدة (جول) مع الزمن (دورة)

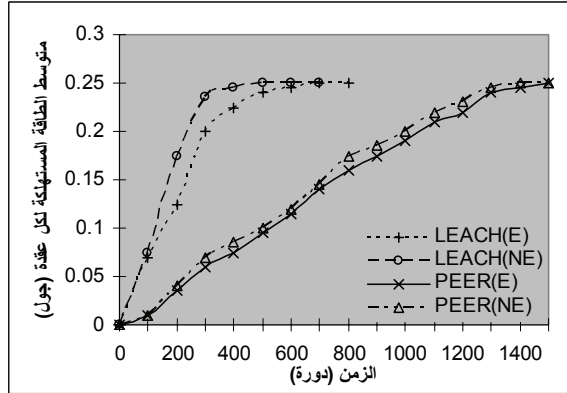
في الشكل (٢) قمنا بمقارنة متوسط الطاقة المستهلكة لكل عُقدة في كل من LEACH و PEER، وفيها تم إعطاء كل عُقدة طاقة مقدارها ٠,٥ جول عند بداية التجربة. وكما هو واضح من الشكل استطاع PEER التفوق على LEACH بمقدار الضعف تقريباً. ويرجع هذا إلى أن عدد الإرسال لمسافات قصيرة في المرسم الجديد أقل بكثير من مثله في LEACH. بالإضافة لذلك فإن الإرسال لمسافات قصيرة في LEACH من العُقد إلى رأس المجموعة تكلف الكثير من الطاقة بمقارنته بتلك الخاصة بمرسم PEER لقرب الثنائيات من بعضها البعض، كما أن في LEACH تكون نسبة رؤوس مجموعات ٥% من العُقد، أي أن ٩٥% من العُقد تقوم بالإرسال القصير إلى رؤوس المجموعات أو لبعضها البعض. أما في PEER، وكما هو موضح في الشكل (٣)، فإذا كان مستوى طاقة الإرسال المنخفض يوازي خمسة أمتار فإن عدد العُقد التي تكون ثنائيات يصل تقريباً إلى ٨٠%، وبذلك تكون هناك ٤٠% (أي نصف العدد) من العُقد تقوم بالإرسال القصير إلى العُقدة الشريكة في الثنائي. كما أن العدد الفعلي يكون أقل من ذلك لأن العُقد المنخفضة تقوم بالإرسال فقط عندما تختلف قراءتها عن القراءة السابقة. وقد قمنا في هذه التجارب باختيار مستوى طاقة الإرسال المنخفض ليوازي خمسة أمتار.

يظهر في الشكل (٤) مقارنة أخرى بين LEACH و PEER مع الأخذ في الاعتبار هذه المرة اختلاف قيمة الطاقة في كل عُقدة عند بداية التجربة. حيث يرمز (E) لتساوي الطاقة بين العُقد ويرمز (NE) لعدم التساوي. ونلاحظ أن LEACH(NE) لا يفرق بين مستوى الطاقة لكل عُقدة

ويحافظ فقط على تساوي الحمل بين العقد، ولذلك فإنه يفقد العقد ذات الطاقة المنخفضة سريعاً في بداية التشغيل. بينما $PEER(NE)$ تتساوى نتائجه مع $PEER(E)$ تقريباً، وذلك لأنه يأخذ في الاعتبار توزيع الحمل تبعاً لمستوى الطاقة في كل عقدة. ويزيد متوسط الطاقة المستهلكة في $PEER(NE)$ زيادة طفيفة عن $PEER(E)$ لأنه يفقد العقد ذات الطاقة المنخفضة أسرع قليلاً من $PEER(E)$ وبذلك يحتاج لإعادة تكوين الثنائيات أسرع من $PEER(E)$.

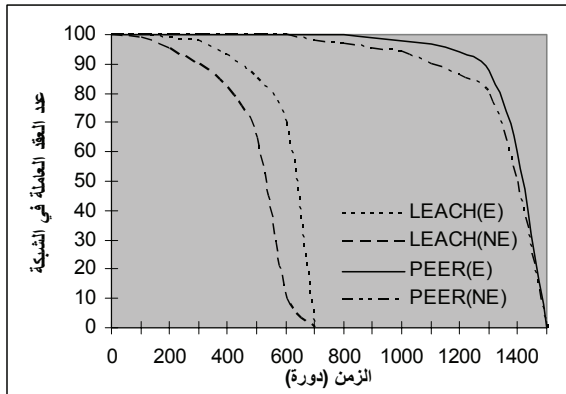


الشكل ٣. نسبة عدد العقد التي تكون ثنائيات مع مسافة الإرسال القصيرة (متر)

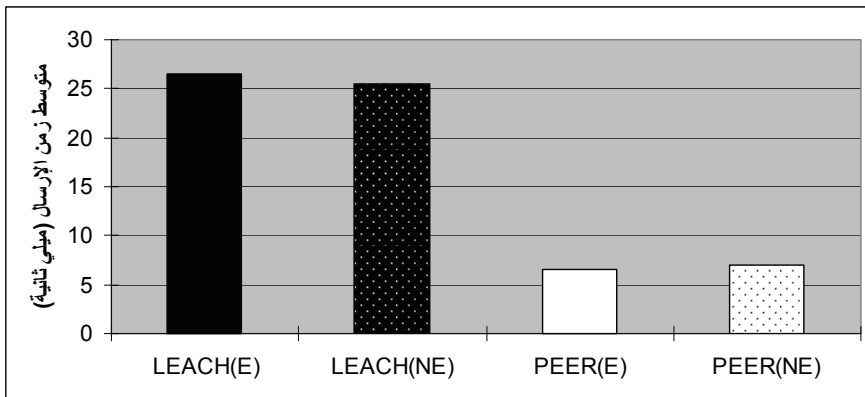


الشكل ٤. متوسط الطاقة المستهلكة لكل عقدة (جول) مع الزمن (دورة)

يظهر الشكل (٥) المقارنة بين المرسمين ذاتهما ولكن بالنسبة لعدد العُقد العاملة في الشبكة، وذلك في نفس الحالتين سابقتي الذكر. ويظهر فيهما مرة أخرى تفوق PEER في عمر الشبكة بمقدار الضعف تقريباً، كما يتضح فقدان LEACH(NE) لعدد أكبر من العُقد العاملة في الشبكة بعد فترة قصيرة من بداية التشغيل، وهي تلك العُقد ذات مستوى الطاقة المنخفض.



الشكل ٥. عدد العُقد العاملة في الشبكة مع الزمن (دورة)



الشكل ٦. متوسط زمن الإرسال

وأخيراً يأتي الشكل (٦) ليقارن بين المرسمين من حيث متوسط زمن الإرسال من العُقد إلى المحطة الأساسية. حيث يُظهر PEER تفوقاً واضحاً لاعتماد العُقد فيه على مراقبة عمليات الإرسال الخاصة بالعُقد الموجودة في نفس المنطقة لتوفير عمليات الإرسال؛ ومن ثم توفير الطاقة، بينما يقوم LEACH بجمع البيانات من جميع العُقد مما يؤدي لزيادة زمن الإرسال. وتجدر الإشارة هنا إلى أن فائدة PEER وتفوقه يتجلىان في تطبيقات المراقبة مثل اكتشاف الحرائق وغيرها، بينما يستخدم LEACH في عمليات جمع البيانات.

في هذا البحث قمنا بتقديم مرسماً جديداً لشبكات الحساسات اللاسلكية في تطبيقات المراقبة. يستخدم المرسّم الجديد مستويين مختلفين لطاقة الإرسال لتوزيع حمل الإرسال بين العقد المختلفة. حيث يتم تكوين ثنائيات، ثم تقوم إحدى العقد بالإرسال بطاقة منخفضة للطرف الثاني من الثنائي، وتقوم الأخرى بالإرسال إلى المحطة الأساسية، ثم يتم تبادل الأدوار لمراعاة توزيع حمل الإرسال للمسافات البعيدة. تم تقسيم المساحة إلى مجموعة من المناطق حيث تقوم عُقدة واحدة من كل منطقة بالإرسال في حالة عدم اختلاف النتائج بين العقد في المنطقة الواحدة.

وقد تم تقييم المرسّم الجديد ومقارنته بمرسّم LEACH حيث أظهر تفوقاً ملموساً في خفض كمية الطاقة المستهلكة، والحفاظ على عدد أكبر من العقد العاملة في الشبكة مع مرور الزمن، وكذلك خفض متوسط زمن الإرسال. كما تفوق المرسّم الجديد بصورة واضحة في حالة عدم تساوي مستوى الطاقة في العقد عند بدء التشغيل.

نحن الآن بصدد تطوير المرسّم ليتمكن استخدامه في شبكات الحساسات اللاسلكية الكبيرة والتي تغطي مساحات أكبر بكثير من تلك التي أجرينا عليها التجارب في هذا البحث، كما أننا نقوم بتطوير المرسّم لتغطية الجزء الخاص بظهور الحالات الخاصة في تطبيقات المراقبة مثل نشوب حريق أو تسرب غاز، ليتمكن المرسّم من التعامل مع تلك الحالات وتوصيل المعلومات الهامة في زمن قصير.

المراجع

- [1] K. Akkaya and M. Younis, "A survey on routing protocols for wireless sensor networks", Elsevier Ad Hoc Networks J., vol. 3, Issue 3, pp. 325–349, May 2005.
- [2] I. F. Akyildiz, W. Su, Y. Sankarasubramaniam, and E. Cayirci, "A survey on sensor networks", IEEE Comm. Mag., vol. 40, Issue 8, pp. 102–114, August 2002.
- [3] Th. Arampatzis, J. Lygeros, and S. Manesis, "A survey of applications of wireless sensors and wireless sensor networks", Proc. of the 13th Mediterranean Conf. on Control and Automation, Limassol, Cyprus, June 2005.
- [4] C. Bettstetter and C. Hartmann, "Connectivity of wireless multihop networks in a shadow fading environment", ACM/Kluwer Wireless Networks, vol. 11, Issue 5, September 2005.
- [5] J. Dong, Q. Chen, and Z. Niu, "Random graph theory based connectivity analysis in wireless sensor networks with Rayleigh fading channels", Proc. of Asia-Pacific Conf. on Communications, Bangkok, October 2007.
- [6] Maher N. Elshakankiri, Mohamed N. Moustafa, and Yasser H. Dakroury, "Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks", Fourth International Conference on Intelligent Sensors, Sensor Networks and Information Processing (ISSNIP 2008), Sydney, Australia, December 2008, pp. 393 – 398.
- [7] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocol for wireless sensor networks", Proc. of the Hawaii International Conf. on System Sciences, Island of Maui, Hawaii, January 2000.
- [8] N. Patwari and A. O. Hero III, "Signal strength localization bounds in ad hoc & sensor networks when transmit powers are random", Fourth IEEE Workshop on Sensor Array and Multichannel Processing, Waltham, Massachusetts, July 2006.
- [9] Y. Rong, H. Choi, and H.-A. Choi, "Dual power management for network

- [10] connectivity in wireless sensor networks”, Proc. of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium, Santa Fe, New Mexico, April 2004.
- W. Zhuang, G. Song, J. Tan, and A. Song, “Localization for hybrid sensor networks in unknown environments using received signal strength indicator”, Proc. of the IEEE International Conf. on Information and Automation, Zhangjiajie, China, June 2008.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Energy Efficient Routing Protocol for Wireless Sensor Networks using Dual Power Management

Abstract. In the last few years, Wireless Sensor Networks have gained a lot of interest in the research field. WSNs consist of small nodes with sensing, computation, and wireless communications capabilities. Many routing protocols have been proposed for WSNs. Most of the hierarchical algorithms proposed for WSNs concentrate mainly on maximizing the lifetime of the network by trying to minimize the energy consumption, but delay is also an important metric that should be considered. In this paper, we propose Pairs Energy Efficient Routing protocol (PEER), a new routing protocol for WSNs that uses dual power management and focuses on minimizing both the energy dissipated and the delay cost. We have evaluated the performance of our protocol for two different cases: For all nodes having the same energy level at startup and for nodes starting with different energy levels. In terms of energy consumption, network lifetime, and average delay, our protocol has outperformed LEACH (a well-known hierarchical sensor network protocol).

Keywords: wireless sensor networks, energy aware routing, network lifetime, average delay

المصطلحات

Wireless Sensor Networks	شبيكات الحساسات اللاسلكية
Network Lifetime	عمر شبكة الاتصال
Average Transmission Delay	متوسط زمن الإرسال
Energy Aware Protocol	مرسم مدرك للطاقة
Sensing Unit	وحدة الاستشعار



الجلسة الثالثة

محاولات للتنقيب في النصوص العربية

محمد سعيد دسوقي، عبد اللطيف العبدو

العنوان البريدي، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، ص. ب. ٣١٩٨٣ دمشق سورية

البريد الإلكتروني: said.desouki@hiast.edu.sy, abdulatif_world@yahoo.com

الخلاصة. نقدم في هذه الورقة بعض المحاولات للتنقيب في النصوص العربية. يمكن تلخيص هذه المحاولات بمجموعة من العناوين الرئيسية. بدأنا أولاً باستخراج العناصر الهامة في النص العربي مثل أسماء الأشخاص والشركات والتواريخ، والتي يمكن أن تفيد باعتبارها كلمات جوهرية في فهرسة النص فهرسة عكسية ضمن نواة لمحرك بحث عربي، أو أن يجري الربط بينها لتستخدم ضمن إطار تنقيب في النصوص للبحث عن معالم وظواهر وتوجهات. ثم قمنا في محاولة أكثر نضجاً ببناء أداة تسمح بتصنيف مجموعة من الوثائق العربية بحسب محتواها، ووضعها في بنية هرمية متعددة المستويات، مع اعتبار كافة المتغيرات والتحكم بها من خلال خيارات وموسطات تعطي هذه الأداة المرونة الكافية.

الكلمات الجوهرية: التنقيب في النصوص العربية، تصنيف الوثائق.

١ مقدمة

أصبحت المعلومات اليوم من أهم وسائل النجاح على مستوى الأفراد والمؤسسات وحتى الدول وفي مختلف المجالات المادية والمعنوية. فمن يعرف المعلومة الصحيحة أولاً ويعرف كيف يستغلها لصالحه يحقق الفائدة والتفوق على منافسيه. وقد أدى التطور المتسارع الذي يشهده العالم اليوم والتضخم الكبير في حجم المعلومات في المؤسسات إلى إيجاد وسائل فعالة لتخزين وإدارة هذه المعلومات وإلى تطور العلوم التي تعنى بترتيب وتصنيف ودراسة وتحليل المعلومات. فالحجم الهائل للمعلومات يسمح بالوصول إلى إحصائيات يمكن بتحليلها الحصول على استنتاجات قد تكون ذات فائدة عظيمة في اتخاذ القرارات وتحسين طرق العمل وزيادة المردود.

يهتم علم التنقيب في المعطيات باستنباط المعلومات المخبوءة في المعطيات باستخدام طرق وتقنيات وخوارزميات تحليل وإحصاء وكشف ترابط المعطيات في قواعد معطيات ضخمة مخزنة، تسمح باستنتاج معارف مفيدة ضمنية غير بديهية ولا يمكن استنتاجها يدوياً، تساعد في اتخاذ قرار أو تحسين طريقة عمل، وذلك دون معرفة مسبقة لما يجري البحث عنه أو الاعتماد على فرضيات محددة سلفاً.

تستخدم تقنيات التنقيب في المعطيات بكثرة في تطبيقات التسويق والمبيعات وأساليب الاحتفاظ بالزبائن ومعرفة سلوكهم وحسابات التكلفة والاستخدام وتدقيق الجودة وكشف الاحتيال.

لكن التنقيب في المعطيات يتعامل مع المعلومات البنيوية التي تشكل جزءاً محدوداً من رصيد أي مؤسسة من المعلومات. فالجزء الأكبر من معلومات المؤسسات موجود على شكل مجموعات كبيرة من النصوص: مراسلات ووثائق ودراسات ودفاتر. ومع الانخفاض المستمر لأسعار وسائط التخزين أصبحت المؤسسات تجمع المزيد والمزيد من هذه المعطيات، لكن المعلومات والمعارف القيمة المحتمل وجودها في هذه النصوص أو استنتاجها منها لا يمكن الوصول إليها لأنها غير منظمة في قاعدة معطيات بنيوية. وهنا يبرز دور التنقيب في النصوص وأهمية استخراج المعارف من هذه الحجوم الضخمة من النصوص غير المنظمة في بنى واضحة [1].

هنالك أعمال عديدة نفذت في مجال التنقيب في النصوص لكن الأعمال التي تناولت التنقيب في النصوص العربية قليلة، مع أنَّ الوضع في مؤسساتنا مشجع جداً! حيث لا توجد كميات ضخمة من المعطيات البنيوية التي تمتد على عشرات السنين وتشكل مادة هامة لعمليات التنقيب في المعطيات بل توجد دوماً مراسلات ودراسات ووثائق من الملائم جداً للتنقيب فيها للبحث عن معلومات مفيدة تدعم اتخاذ القرار في هذه المؤسسات وتفيد في تحسين توجهاتها وطرق العمل فيها.

من جهة أخرى فإن أي تطبيق عملي للتنقيب عن المعطيات لا يمكن اختباره بسبب عدم توفر حجوم ضخمة من المعطيات. أما بالنسبة للنصوص فيمكن دوماً الحصول على حجوم ضخمة منها واختبار التطبيقات عليها لأنها متوفرة إلكترونياً في وسائل مختلفة كالإنترنت والمنشورات الإلكترونية والمكتبات الرقمية والبريد الإلكتروني.

٢ التنقيب في النصوص العربية

يكن التحدي الأول عند التعامل مع النصوص في أنها غير بنيوية فهي مكتوبة بلغة طبيعية ومخصصة للقراءة من قبل البشر وتعتمد على تفسيراتهم. والتقانات المتوفرة حالياً لا تسمح لنا بتفسير الكلمات. مع ذلك، يمكننا من خلال أدوات معينة وطرق خاصة استنتاج معلومات قيمة من النصوص المكتوبة. هذا الاستنتاج يمكن أن يتراوح بين أسماء الأشخاص والشركات والتواريخ الموجودة في نص معين وبين وضع ملخص عن هذا النص أو تصنيف مجموعة من النصوص في بحسب محددات معينة تستنتج منها.

تبدأ مراحل العمل في التنقيب في النصوص بعملية استكشاف المعارف التي تسمح باستخلاص المحددات وهي المصطلحات والعناصر الهامة في النص، والتي يمكن أن تفيد باعتبارها كلمات جوهرية في فهرسة النص فهرسة عكسية ضمن نواة لمحرك بحث عربي، أو يجري تحليلها والربط بينها ودراسة توزعها في النص أو في مجموعة النصوص ضمن إطار تنقيب في النصوص للبحث عن معالم وظواهر وتوجهات.

٢.١ استخراج المحددات

تتضمن هذه المرحلة مجموعة من الخطوات الهامة التي يجب إجراؤها على النص:

التصفية: وهي العملية التي يتم فيها حذف المحارف الخاصة وعلامات الترقيم التي لا تعطي أي قوة تمييزية للوثيقة لكنها قد تؤدي دوراً هاماً في بعض الوثائق المهيكلة مثل صفحات الويب.

التقطيع: وهي عملية تجزيء الوثائق إلى كلمات.

التجذيع: وهو عملية إعادة الكلمات إلى جذوعها. استخدمنا لذلك نظام التحليل الصرفي الذي جرى بناؤه في المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا [2].

حذف الكلمات الزائدة: الكلمة الزائدة هي الكلمة التي لا تعطي أي معنى مميز للنص مثل الروابط بين الكلمات التي ليس لها معنى مستقل بل تأخذ معناها من الارتباط مع الكلمات الأخرى مثل أدوات الجر. ويمكن إجراء ذلك بمقارنة كل كلمة مع قائمة محضرة مسبقاً تضم الكلمات الزائدة المعروفة.

حذف التشكيل: يتم في هذه المرحلة حذف الحركات مثل الفتحة والضمة والسكون والتنوين.

التقليم: وهي عملية حذف الكلمات التي تظهر بتردد صغير جداً أو بتردد كبير جداً في الوثائق. السبب الأساسي يعود إلى أن الكلمات ذات التردد الصغير حتى وإن كان لديها قوة تمييزية للوثائق سوف تكون عناقيد صغيرة غير مفيدة. أما الكلمات ذات التردد الكبير فهي كلمات غير مميزة لأنها موجودة في معظم الوثائق. نستخدم عتبتين دنيا وعليا معرفتين مسبقاً لتمييز هذه الكلمات.

طريقة حساب تردد الكلمات: يجري حساب تردد الكلمات باستخدام عوامل تعبر عن نسبة تردد الكلمة في الوثيقة ونسبة ترددها في مجموعة الوثائق وتسمى هذه الطريقة tf-idf وهي مستخدمة في اختيار مداخل الفهارس في الفهرسة العكسية في محركات البحث. للوقوف على هذه الطريقة يجب تعريف الحدود التالية:

$tf(d, t)$: عدد تكرارات الكلمة t في الوثيقة d .

$df(t)$: عدد الوثائق التي تحوي الكلمة t .

N : العدد الكلي للوثائق.

$n(d)$: عدد كلمات الوثيقة d .

العلاقات المستخدمة وفق طريقة $tf - idf$ كثيرة ومتنوعة منها:

$$tf - idf(d, t) = tf(d, t) \times \log\left(1 + \frac{N}{df(t)}\right)$$

$$tf - idf(d, t) = tf(d, t) \times \log\left(\frac{N}{df(t)}\right)$$

$$tf - idf(d, t) = \log(1 + tf(d, t)) \times \log\left(\frac{N}{df(t)}\right)$$

لكننا قررنا استخدام العلاقة التالية:

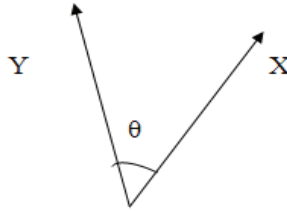
$$tf - idf(d, t) = \frac{tf(d, t)}{n(d)} \times \log\left(\frac{N}{df(t)}\right)$$

فضّلنا هذه العلاقة لأن الحد الأول فيها $\frac{tf(d, t)}{n(d)}$ يميز الكلمة في الوثيقة، بينما يميز الحد الثاني $(\log(\frac{N}{df(t)}))$ الكلمة في مجموعة الوثائق، وبذلك يمكن حذف الكلمة عندما تكون موجودة في جميع الوثائق [1].

٢.٢ تشابه الوثائق

قد تكون دراسة تشابه الوثائق هي التطبيق المباشر للاستفادة من المحددات المستخرجة من النصوص. هنالك عدة طرق لقياس مدى التشابه بين الوثائق. لكل طريقة من هذه الطرق محاسن ومساوئ. سنعرّف بطريقتين منها هما تجيب الزاوية والمسافة الإقليدية. ثم نقترح طريقة جديدة تدمج بينهما وتستفيد من محاسنهما وتخفف من مساوئهما.

تجيب الزاوية: تعتمد هذه الطريقة على حساب تجيب الزاوية بين الشعاعين الممثلين للوثيقتين في فضاء المحددات. حيث تُمثل كل وثيقة بشعاع ذو أبعاد بعدد المحددات وتكون مركبة كل بعد فيه مساوية لتكرار الكلمة الموافقة في الوثيقة. ليكن لدينا مثلاً الشعاعان الآتيان:



$$X=(x_1, x_2, \dots, x_n) \quad , \quad Y=(y_1, y_2, \dots, y_n)$$

ولتكن θ هي الزاوية بينهما فيكون تابع التجيب معطى بالعلاقة:

$$\text{sim}(X, Y) = \cos \theta = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \cdot y_i}{\sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i)^2) * (\sum_{i=1}^n (y_i)^2)}}$$

تكون الوثيقتان متشابهتين عندما تكون الزاوية بين الشعاعين الممثلين لهما صغيرة أي عندما يكون تجيبها كبيراً. أهم ما يميز هذه الطريقة أن نسبة التشابه تقع ضمن المجال $[0,1]$ مما يُسهّل اختيار عتبة للتشابه.

المسافة الإقليدية: يجري في هذه الطريقة حساب طويلة فرق شعاعي الوثيقتين. ليكن الشعاعان X , Y الموجودان في المثال السابق فيكون التشابه بين الوثيقتين الممثلتين بالشعاعين السابقين هو المسافة الإقليدية بين الشعاعين التي تحسب كما يلي:

$$\text{sim}(X, Y) = \text{EucDis}(X, Y) = \sqrt{\sum_{i=1}^n |x_i - y_i|^2}$$

تكون الوثيقتان متشابهتين عندما تكون المسافة الإقليدية بين الشعاعين صغيرة. إحدى مشاكل هذه الطريقة أننا لا نستطيع تحديد عتبة لأن قيمة طويلة فرق شعاعين لا يمكن حدها بقيمة عظمى أو صغرى.

طريقة تشابه جديدة: قمنا باقتراح طريقة تشابه جديدة تدمج الطريقتين السابقتين للاستفادة من ميزات كل منهما والتخفيف من مساوئهما [1]. نبدأ أولاً بحساب المسافة الإقليدية بين كل شعاعين (وثيقتين) ونضع النتائج في مصفوفة ثم نقوم بأخذ مقلوب عناصر مصفوفة التشابه الناتجة عن حساب المسافة الإقليدية بين كل شعاعين ثم نقسم هذه المصفوفة على قيمة يتم حسابها كما يلي:

نحسب أعلى قيمة في المصفوفة الحالية الناتجة عن أخذ مقلوب المسافة الإقليدية ولتكن هذه القيمة max1 ثم نحسب أعلى قيمة في مصفوفة التشابه الناتجة عن تطبيق تابع التجيب ولتكن max2 ثم نقسم عناصر المصفوفة على:

$$\text{max} = \text{ceil}(\text{max1} \div \text{max2})$$

حيث ceil هو التابع الذي يعيد أقرب عدد صحيح من الأعلى مثال:

$$\text{ceil}(6.25) = 7$$

بعد التقسيم نجمع المصفوفة السابقة مع مصفوفة التشابه الناتجة عن تطبيق تابع التجيب ونقسم المصفوفة الناتجة على 2. فيصبح التشابه بين X, Y:

$$\text{sim}(X, Y) = \frac{\cos(X, Y) + \left(\frac{\text{EucDis}(X, Y)}{\text{max}} \right)}{2}$$

انطلاقاً من الحقيقة التي تذكرها أغلب أدبيات التنقيب في النصوص والتي تقول أن قيمة التشابه بين عنصرين X, Y لا تكفي لتقرير فيما إذا كان من المفروض ضم هذين العنصرين إلى عنقود واحد أو لا، فإنه لا بد من وجود عوامل أخرى تساعد في اتخاذ هذا القرار.

لنتأمل المجموعتين التاليتين:

$$\{\text{sim}(b, x) \mid x \in S\}$$

$$\{\text{sim}(a, x) \mid x \in S\}$$

حيث S هي مجموعة الوثائق الكلية

يمكن لهاتين المجموعتين أن تساعد في اتخاذ القرار حول تشابه a و b.

أي أننا بعد إنشاء مصفوفة التشابه نعيد حساب التشابه بناء على العلاقة التالية:

$$\text{sim}(a, b) = \frac{\text{sim}(a, b) + \sum_{\substack{x \in S \\ x \neq a \text{ and } x \neq b}} \min \left(\frac{\text{sim}(b, x)}{\text{sim}(a, x)}, \frac{\text{sim}(a, x)}{\text{sim}(b, x)} \right)}{n - 1}$$

حيث n هو العدد الكلي للوثائق.

نقسم تشابه العنصر الأول مع أحد الوثائق على تشابه العنصر الثاني مع نفس الوثيقة ونختار القسمة التي ننتجتها أصغر من الواحد. حيث تعبر هذه القيمة عن مشاركة هذه الوثيقة في التشابه بين العنصرين المقصودين وهما في مثالنا a, b . نجمع هذه المشاركات التي عددها $n - 2$ مع قيمة التشابه القديمة بين a, b ونقسم الجميع على $n - 1$ وذلك لتبقى القيمة مقيسة، أي أصغر من الواحد. نقوم بإعادة حساب قيمة التشابه بناءً على القيمة الجديدة للتشابه بين a, b ونكرر ذلك بعدد من التكرارات T يمكن أن يحدده المستثمر وأن تكون له قيمة افتراضية، أو نستمر حتى تستقر القيمة $\text{sim}(a, b)$. تساعد هذه الطريقة في التخفيف من مشكلة المترادفات. حيث لن تعتبر الكلمتان المترادفتان في المعنى مختلفتين تماماً.

٢.٣ تصنيف الوثائق

مهّدت دراسة تشابه الوثائق التي أجريناها الطريق إلى تطبيق أكثر عمومية هو تصنيف الوثائق المتشابهة في بنية هرمية متعددة المستويات تعبر عن محتوى هذه الوثائق. فيعد حساب التشابهات بين مجموعة من النصوص اعتماداً على الكلمات الجوهرية المستخرجة، يجري تصنيف هذه النصوص ضمن مجموعات تبعاً لنتائج التشابه. ثم يجري بعد ذلك حساب التشابهات بين هذه المجموعات لضم بعض المجموعات إلى بعضها في مستوى آخر من التصنيف، وهكذا حتى نصل إلى مجموعة واحدة هي رأس الشجرة التي تعبر عن تصنيف النصوص حسب محتواها [3].

تبين لنا أن للمسألة متغيرات كثيرة. إذ أن التصنيف النهائي يتعلق بطرق استخراج الكلمات المفتاحية من النصوص، وبطرق التشابه وقياس المسافات بين النصوص، وخوارزميات التصنيف وطرق تجميع النصوص في مجموعات، ثم طرق التشابه وقياس المسافات بين المجموعات.

لذلك قمنا في هذا البحث ببناء أداة على درجة عالية من المرونة تسمح بالتحكم بمتغيرات المسألة لإجراء تجارب عديدة باستخدام ظروف وسياقات مختلفة [1]. حققنا المرونة الكبيرة بتوفير عدد كبير من المتوسطات تسمح بتجريب كثير من الخيارات التي يمكن للمستخدم تحديدها أو أخذ قيمها الافتراضية (الشكل ١).

خيارات.... تابع التشابه، التشابه بين عنقودين، عتبة التشابه..... الخ

الخوارزميات ☒ خوارزمية التجميع ☐ الهرمية kmean ☐ الاثنانين ماً	عتبة التشابه 0.75 نسبة أنقاص عتبة التشابه 0.1 الفرق الأصغري 0	تشابه أكثر استقراراً عدد التكرارات 1	تابع التشابه ☐ تابع المسافة الإقليدية ☐ تابع التجيب ☒ تابع الجمع
كيف تضم عنصر من المستوى السابق إلى عنقود من المستوى الحالي ☐ بالوصل الأحادي ☒ بالوصل الكامل ☐ بالوصل الوسطي	التقييم العتبة الدنيا 0.05 العتبة العليا 0.4 تمثيل العنقود الواحد ☐ بالقيمة الصغرى ☒ بالقيمة المتوسطة ☐ بالقيمة العظمى		التشابه بين عنقودين ☐ مركز النقل ☐ التمثيل بالقيمة الصغرى ☐ التمثيل بالقيمة المتوسطة ☐ التمثيل بالقيمة الكبرى ☒ وصل أحادي ☐ وصل كامل ☐ وصل وسطي ☐ متوسط المجموعة

إلغاء الأثر موافق

الشكل ١. واجهة خيارات أداة التصنيف.

خوارزميات التصنيف

خوارزمية المتوسطات k-mean: تجزئ هذه الخوارزمية النصوص إلى عدد ثابت k محدد مسبقاً من المجموعات يمكن أن يحددها المستخدم أو أن تُنتقى عشوائياً. تتعلق جودة هذه الخوارزمية بمدى توفيقنا في اختيار العناصر الابتدائية. عندما لا يكون العدد k معروفاً يمكن تنفيذ الخوارزمية على عدة قيم لـ k واختيار أفضلها اعتماداً على تابع جودة معين [4].

خوارزمية التصنيف الهرمي التراكمي HAC: تبدأ هذه الخوارزمية مع وثيقة واحدة في كل مجموعة وتقوم تكرارياً بدمج المجموعات الأكثر تشابهاً مثلي مثلي، حتى نحصل في النهاية على شجرة ثنائية [5].

خوارزمية Buckshot: وهي تستخدم خوارزمية التصنيف الهرمي التراكمي HAC لتوليد تقسيم أولي جيد لاستخدامه في خوارزمية الـ k-mean. نختار لهذا الغرض $\sqrt{kn}$ عنصر (وثيقة أو

مجموعة) عشوائياً، ثم نطبق خوارزمية ال HAC على هذه العناصر باستخدام طريقة متوسطة المجموعة في التشابه. تستخدم المجموعات الناتجة عن هذه الخوارزمية وعددها k كمجموعات ابتدائية في خوارزمية ال k -mean التي نطبقها على جميع العناصر [6].

خوارزمية التحديث: هذه خوارزمية جديدة قمنا بتصميمها [1]، الفكرة الأساسية فيها هي ألا نقيّد بضم عنصرين فقط في كل مجموعة كما في الخوارزمية الهرمية التراكمية HAC، بل نستخدم عتبة للتشابه بين العناصر في كل مجموعة. نحتفظ بأصغر فرق بين عدد المجموعات في مستويين متتاليين. فإذا كان الفرق أصغر من هذه القيمة يُعاد حساب المستوى الحالي بعد تخفيض عتبة التشابه بنسبة معينة. وعندما تصل العتبة إلى قيمة أصغر من نسبة الإنقاص ندمج جميع المجموعات. الفرق الأصغري وعتبة التشابه ونسبة إنقاص العتبة يمكن أن يحددها المستخدم مع وجود قيم افتراضية لها. عندما نصل إلى مرحلة يبقى فيها عناصر من المستوى السابق لا تتشابه مع أي منها بالحد المطلوب نقوم بتحويل هذه العناصر إلى عناوين وحيدة العنصر.

خوارزمية k-means الهرمية: هذه أيضاً خوارزمية جديدة تعتمد على فكرة خوارزمية Buckshot مع الاستفادة من الخوارزمية الهرمية [1]. ففي كل مستوى يكون العدد k هو عدد المجموعات المنشأة في نفس المستوى بواسطة خوارزمية التحديث ويكون العنصر الابتدائي في كل مجموعة هو أول عنصر في كل مجموعة منشأ في الخوارزمية السابقة. فتأخذ هذه الخوارزمية من الخوارزمية السابقة عدد المستويات وعدد المجموعات في كل مستوى والعنصر الابتدائي في كل مجموعة، ثم تعمل وفق خوارزمية k -mean.

التشابه بين المجموعات

الوصل الأحادي: التشابه بين مجموعتين هو أعلى قيمة للتشابه بين كل زوج من الوثائق من المجموعتين $\text{sim}(C1, C2) = \max\{\text{sim}(X, Y) : X \in C1 \text{ and } Y \in C2\}$ حيث X, Y هما مجموعتان أو وثيقتان. في هذه الطريقة يكفي أن تكون نسبة تشابه عنصرين أحدهما من المجموعة الأولى والآخر من المجموعة الثانية، أكبر أو تساوي عتبة التشابه حتى نضم المجموعتين في مجموعة واحدة. هذه الطريقة سريعة وينتج عنها مجموعات ومستويات قليلة العدد لكنها أيضاً قليلة الوثوقية [7].

الوصل الكامل: التشابه بين مجموعتين هو أصغر قيمة للتشابه بين كل زوج من الوثائق من المجموعتين $\text{sim}(C1, C2) = \min\{\text{sim}(X, Y) : X \in C1 \text{ and } Y \in C2\}$ حيث X, Y هما مجموعتان أو وثيقتان. في هذه الطريقة يجب أن تكون نسبة تشابه أي عنصرين أحدهما من المجموعة الأولى والآخر من المجموعة الثانية، أكبر أو تساوي عتبة التشابه حتى نضم المجموعتين في مجموعة واحدة. ينتج عن هذه الطريقة مجموعات موثوقة ومتراصة وذات فائدة كبيرة لكن يمكن أن يكون عددها كبير.

الوصل الوسطي: التشابه بين مجموعتين هو متوسط قيم التشابه بين كل زوج من الوثائق من المجموعتين $\text{sim}(C1, C2) = \frac{\sum_{X \in C1} \sum_{Y \in C2} \{\text{sim}(X, Y)\}}{m \times n}$ حيث m عدد العناوين في $C1$ و n هي عدد العناوين في $C2$ ، X, Y هما مجموعتان أو وثيقتان. هذه الطريقة هي حل وسط بين الطريقتين السابقتين.

متوسط المجموعة: ندمج المجموعتين في مجموعة واحدة C ثم يُحسب التشابه بينهما كما يلي:
 $\text{sim}(C1, C2) = \frac{\sum_{X,Y \in C} \text{sim}(X,Y)}{\sum_{i=1}^{n-1} (i)}$ حيث n عدد العناصر في C ، X, Y هما مجموعتان أو وثيقتان. تقيس هذه الطريقة مدى ترابط المجموعة الناتجة في حال دمجا المجموعتين المقصودتين.

مركز الثقل: يجري هنا حساب التشابه بين ممثلين عن المجموعتين نسميهما عنصري الارتكاز للمجموعتين المقصودتين. أي تمثل كل مجموعة بعنصر ارتكاز ويكون التشابه هو التشابه بين عنصري الارتكاز بحسب طريقة التشابه المستخدمة لقياس التشابه بين الوثائق.

تمثيل المجموعات

نعرض هنا ثلاث طرق لتمثيل المجموعات أو حساب عناصر الارتكاز. ليكن لدينا مجموعة C تحتوي الأشعة (الوثائق أو المجموعات) التالية:

$$\begin{aligned} \text{object1} &= \begin{bmatrix} 1 \\ 3 \\ 4 \\ 5 \end{bmatrix} & \text{object2} &= \begin{bmatrix} 2 \\ 3 \\ 5 \\ 4 \end{bmatrix} & \text{object3} &= \begin{bmatrix} 3 \\ 3 \\ 6 \\ 3 \end{bmatrix} & \text{object4} &= \begin{bmatrix} 4 \\ 2 \\ 4 \\ 2 \end{bmatrix} & \text{object5} &= \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 2 \\ 3 \end{bmatrix} & \text{object6} &= \begin{bmatrix} 1 \\ 4 \\ 6 \\ 3 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

التمثيل بأكبر قيمة

$$M[i] = \max\{\text{object}[i] \text{ where } \text{object} \in C\} \Rightarrow M = \begin{bmatrix} 4 \\ 4 \\ 6 \\ 5 \end{bmatrix}$$

في هذه الطريقة يكفي أن تكون كلمة ما موجودة في أحد العناصر المشاركة في المجموعة حتى نعتبرها إحدى كلمات المجموعة.

التمثيل بأصغر قيمة

$$M[i] = \min\{\text{object}[i] \text{ where } \text{object} \in C\} \Rightarrow M = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix}$$

في هذه الطريقة يجب أن تكون الكلمة موجودة في جميع العناصر المشاركة في المجموعة حتى نعتبرها إحدى كلمات المجموعة.

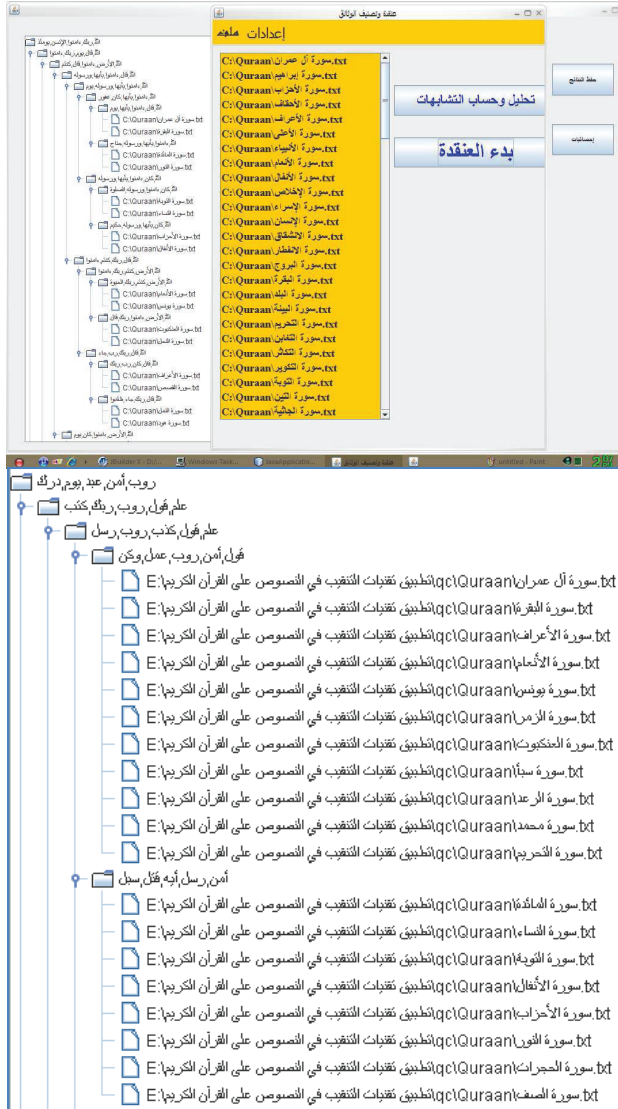
التمثيل بالقيمة المتوسطة

$$M[i] = \frac{\sum_{\text{object} \in C} \text{object}[i]}{n} \Rightarrow M = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 2 \\ 2 \end{bmatrix}$$

حيث n طول الشعاع (أو عدد الكلمات). هذه الطريقة هي حل وسط بين الطريقتين السابقتين.

٣ تطبيق أداة التصنيف على نصوص سور القرآن الكريم

اعتبرنا أن كل سورة من القرآن الكريم هي نص مستقل جرت مقارنته مع السور الأخرى مع استخدام المحلل الصرفي. لاحظنا تجميع سور مثل الفاتحة مع القدر، والمجادلة مع المنافقون، والشمس مع الليل، والبينة مع الانشقاق، والتين مع العصر، والناس مع النصر، والانفطار مع القيامة والعاديات، والحشر مع الفتح والطلاق، والتغابن مع الحديد والممتحنة والبروج:



الشكل ٢. تطبيق أداة التصنيف على نصوص سور القرآن الكريم.

استعرضنا في هذه الورقة بعض المحاولات للتنقيب في النصوص العربية، بدءاً من استخراج العناصر الهامة، مروراً بدراسة تشابه الوثائق، وصولاً إلى بناء أداة مرنة وفعالة لإجراء تصنيف هرمي متعدد المستويات للوثائق العربية. إنَّ متغيرات مسألة التصنيف والخيارات المتعددة من طرق التشابه وخوارزميات التصنيف تجعل من مرونة هذه الأداة ضرورة لمقارنة السياقات المختلفة. اقتصرنا هذه المرحلة من العمل على الشكل الصرفي للكلمات، نأمل في محاولات مستقبلية استخدام مراحل أخرى من معالجة اللغة العربية تتطرق إلى البنية النحوية ثم الدلالية. يمكن كخطوة أولى التفكير باستخدام المرادفات للإحاطة بالتشابهات التي تشترك في المعنى وتختلف في البنية الصرفية، لكن ذلك يحتاج إلى معجم يتضمن مرادفات الكلمات وهذا ما نسعى إليه من خلال مشروع آخر نعمل عليه هو المعجم العربي التفاعلي [8].

المراجع

١. عبد اللطيف العبدو، محمد سعيد دسوقي، "عنقدة الوثائق"، تقرير داخلي، المعهد العالي للعلوم التطبيقية والتكنولوجيا، دمشق، ٢٠٠٨.
2. R. Sonbol, N. Gneim, M. S. Desouki, "Arabic Morphological Analysis: A New Approach", ICTA08, Damascus, 2008.
3. Benjamin Chin Ming Fung, "Hierarchical Document Clustering Using Frequent Item sets", Thesis submitted to Simon Fraser University, 2002.
4. F. Hassan, M. S. Desouki, "An Overview of Text Mining", internal report, Hiast, 2008.
5. Nicholas O. Andrews and Edward A. Fox, "Recent Developments in Document Clustering", Department of Computer Science, Virginia Tech, Blacksburg, 2007.
6. Michael W. Burry, "Survey in Text Mining", 2008.
7. Ronen Feldman & James Sanger, "The Text Mining Handbook", Cambridge University Press, 2007.
٨. غيداء ريداوي، ندى غنيم، محمد سعيد دسوقي، "المعجم العربي التفاعلي"، الدورة السادسة من المؤتمر الدولي لعلوم وهندسة الحاسوب باللغة العربية، الحمامات، تونس، ٢٠١٠.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Experiments in mining Arabic texts

Abstract. We present in this paper some experiments in mining arabic texts. This experiments can be resumed in a few main titles. We started by extracting the main features in an Arabic text like person names, companies, and dates. These can be used as keywords for indexing the text in an Arabic search engine kernel, or can be used in a more typical text mining framework to search for some patterns or trends. In a more elaborated experiment, we have built a tool that classifies a collection of Arabic documents depending on its contents, and organizes it in a multi level hierarchy, regarding all variations and controlling options to achieve suffisant flexibility.

Keywords: Arabic text mining, n-gram, documents clustering

المصطلحات

التصفية	Filtering
التقطيع	Tokenization
التجذيع	Stemming
الكلمات الزائدة	Stop words
حركات التشكيل	Diacritics
التقليم	Pruning
تردد	Frequency
تجيب	Cosine
المسافة الإقليدية	Euclidian Distance
وثيقة	Document
التصنيف الهرمي التراكمي	Hierarchical Agglomerative Clustering
الوصل الأحادي	Single Link
الوصل الكامل	Complete Link
الوصل الوسطي	Average Link
متوسط المجموعة	Group Average
مركز الثقل	Center of Gravity

الأطلس اللغوي : قاعدة بيانات لغوية

وهيبة بن عبد السلام قرعة
العنوان البريدي : المعهد العالي للتصرف بتونس 41 نهج الحرية، باردو، 2000 تونس، الجمهورية
التونسية

البريد الإلكتروني: wahiba.abdessalem@isg.rnu.tn

الخلاصة.

تمثل اللهجات المحلية عنصر من الهوية الثقافية وهي وسيلة تواصل في الثقافات الشعبية. ويعرض أطلس اللهجات أو الأطلس اللغوي معطيات تتعلق بدراسات الألسنية مثل: علم مخارج الأصوات، النحو، الصرف، معاني الألفاظ المستعملة في عديد المناطق في تونس.

ترتكز هذه الدراسة على معطيات وردت في بحوث نشرت في الأطلس اللغوي لتونس وهو مشروع دراسة يحتوي على استجابات مع ثلاثة آلاف 3000 ناطق باللهجة الدارجة يمثلون مجموعات لغوية منتشرة عبر أكثر من (250) مائتين وخمسين منطقة جغرافية بالتراب التونسي تتكلم لهجات مختلفة.

لتطوير النسخة الرقمية للأطلس اللغوي للبلاد التونسية ، قمنا بابتكار برمجية تمكننا من وصف واستعمال الأنماط المختلفة للهجات المحلية. تساعدنا هذه البرمجية على الولوج إلى المعطيات اللغوية الرقمية والحصول على البيانات المطلوبة من خلال خارطة تمكن من إعطاء بيانات مفصلة عنها من عدة جوانب. كما توفر هذه البرمجية إمكانية، الاستماع إلى تسجيل صوتي لنطق كلمة معينة في جهة من الجهات وذلك بمجرد النقر على الجهة المطلوبة من الخارطة.

الكلمات الجوهرية: الأطلس اللغوي، قاعدة بيانات، اللغة، اللهجة، الخارطة الصوتية.

1 مقدمة

يندرج هذا المقال العلمي في إطار برنامج البحوث الممول من طرف مركزا لبحوث الاقتصادية والاجتماعية الذي يعمل تحت إشراف كتابة الدولة للبحث العلمي والتكنولوجيا في تونس. ويهدف هذا البحث إلى تطوير أطلس لغوي في تونس وإنجاز دراسة لسانية علمية قائمة على تحليل اجتماعي ولغوي من الناحية الصوتية والصرفية والنحوية والمعجمية للهجات المستعملة وذلك بالتركيز على خصوصيات الجهات، حيث تفضي هذه الدراسة إلى أطلس لغوي يوفر مجموعة من البيانات الصوتية والصرفية والنحوية و المعجمية منظمة حسب التوزيع الجغرافي وبالتالي يمكن لهذه الدراسة أن تكون مرجعا مفيدا للدارسين والباحثين في هذا الميدان.

ركزنا اهتمامنا في هذا البحث على جانب معالجة البيانات الواردة في الأطلس اللغوي و طورنا شكلا رقميا لهذا الأطلس عن طريق تجميع وتحليل وتصنيف المعطيات الصوتية والصرفية والنحوية والمعجمية. وينقسم هذا المقال كما يلي: في الجزء الثاني سوف نتناول الأطلس كظاهرة

اجتماعية وثقافية. في الجزء الثالث نقدم الأطالس الورقية و الرقمية. في الجزء الرابع سوف نقدم نظرة إجمالية على تجميع معطيات الأطالس اللغوي. وسوف نصف في الجزء الخامس التماشي العلمي والآليات المستعملة لانجاز هذه البرمجية. وأخيرا يكون الجزء السادس بمثابة الخاتمة لهذا البحث.

2 اللغة واللهجة والثقافة

2.1 مفهوم اللغة والثقافة

تعرف الثقافة كمجموعة من القيم والمعتقدات و التقاليد والعادات والمصطلحات والشعائر والطقوس المتوارثة والمتبادلة بين أفراد مجتمع ما. أما اللغة فهي مجموعة من الأصوات والرموز الشائعة بين أفراد مجتمع ما تستعمل للتخاطب. وقد أكد عديد الباحثين في مجال الألسنية أن الثقافة واللغة ظاهرتان لا تنفصلان عن بعضهما [1] حيث تسهل كلاهما الاتصال بين أفراد المجتمع مثل تسهيل التبادل التجاري عندما يستعمل الشركاء نفس اللغة التي تسهل التفاوض بدون اللجوء إلى مترجم. كذلك تساعد الثقافة المشتركة على إيجاد قيم وسلوك مشترك بما يعزز الثقة بين الشركاء.

2.2 الثقافة وتعليم اللغة

يعتقد الباحث مكاي [2] أن الثقافة لها تأثير كبير على تعليم اللغات لأنها تؤثر على الخطاب وعلى المستويات العلمية والمعمجية للغة. إضافة إلى ذلك للغة تأثير على اختيار الكتب ومصادر تدريس اللغة. حيث يجب على متعلمي اللغات الأجنبية أن يكونوا على درجة من الوعي بالسلوك الحضاري الملائم للتعبير مثلا على الطلب بطريقة مهذبة أو الشكر وانجاز النطق الصحيح للتخاطب مع أفراد المجتمع للغة المستهدفة [3].

إن تعليم اللغات الأجنبية يتطلب التفاعل الثنائي بين الثقافة واللغة لأن هناك ازدواجية بين الظاهرتين وهي صفة متأصلة في طرق تدريس اللغات، أنها جزء من الموروث اللغوي للمهنة.

2.3 الثقافة والترجمة

يمكن للخطاب المترجم أن يأخذ عدة أشكال انطلاقا من المحتوى المعجمي إلى طريقة التفكير المميزة لتلك الجماعة أو عناصر العادات والتقاليد لثقافة معينة [4]. ويعتبر الباحث نيدا [5] انه من الضروري معرفة القيم الموروثة في مختلف الثقافات لكي يتسنى لنا فهم طرق التخاطب في هذه المجتمعات وبتالي مساعدة المترجمين في انجاز أعمالهم.

ويؤكد هذا الباحث أن اختلاف الثقافات تمثل أكثر تعقيدات للمترجم من البنية اللغوية. ويزعم الباحث **بسنات** [6] أن الثقافة تمثل المحور الأساسي لنقل اللغة لأن اللغة هي وسيلة لإيصال المحتوى الثقافي. وبالتالي عندما نترجم ننقل العادات والتقاليد المتعلقة بالمظاهر المختلفة للثقافة.

2.4 اللغة واللهجة

في إطار اللغة الواحدة توجد لهجات منطوقة من طرف مجموعات بشرية، حيث لا تفهم بعض الألفاظ إلا في إطار تلك المجموعات. يقدم الباحث **والت ولفرام** [7] اللهجة على إنها ببساطة طريقة تخاطب تشير إلى أنماط لغوية تصنف مجموعة من المتكلمين ضمن مجموعة لغوية وان اللهجات تختلف في شتى مظاهر اللغة: النطق، النحو، المعاني والأهداف.

إن اللغة ظاهرة متحركة فالكلمات والتركيبات الجديدة تدون في المنجذات الرسمية وتكون هذه الكلمات والتركيبات مقترضة من اللهجات وقد اكتشف علماء اللسانيات إن التركيبات والمصطلحات المستعملة في اللهجات توحى بالقيم الثقافية لإفراد المجتمعات التي تتكلم تلك اللغة. وفي هذا الإطار، يوصي معود البرامج التربوية بتلقي اللغة الرسمية إلى جانب اللهجات [8]

2.5 اللهجة التونسية

إن اللغة الرسمية في تونس هي لغة الأدب أو الفصحى ولكن هناك عدة لهجات مستعملة في مختلف المدن والمناطق في الشمال وفي العاصمة وفي الجنوب. وتبرز خصوصيات اللهجات التونسية في الفوارق بين اللهجات الحضرية واللهجات الريفية حيث تستعمل اللهجات الحضرية في المدن الكبرى مثل تونس العاصمة وسوسة والمنستير وصفاقس بينما تستعمل اللهجات الريفية في القرى الصغرى الواقعة غرب وجنوب البلاد التي تمتد حول مدن الكاف، باحة، قابس، توزر وقفصة. فمثلا في مدينة صفاقس تنطق كلمة **عرفة** "بيّت" [bayt] بينما عادة ما تنطق "بيت" [beet] في مناطق الأخرى.

وفي المناطق الحضرية ليس هناك فرق في الجنس فيما يتعلق بضمير المخاطب "أنت" فهو ينطق "إنتي" [inti] ويستعمل لمخاطبة كل من الرجل والمرأة في بعض المدن الكبرى، وفي المقابل تحتفظ اللهجة الريفية على هذا الفرق الموجود في اللغة العربية الفصحى.

وتستعمل هذه الأنماط من اللهجات في شتى وسائل الإعلام والاتصال مثل السينما والتلفزة والحملات الإشهارية والأغاني. وتتمثل اللهجة الدارجة المهدبة نمطا لغويا ذو مكانة مرموقة مرتبطة بطبقة اجتماعية عليا ومسيطرة وهي النمط الأكثر انتشارا. وهذه اللهجة الأكثر استعمالا موجودة في تونس العاصمة حيث تصبح اللهجات الريفية اقرب إلى اللهجة المهدبة.

وتكون لهجات الأشخاص المتقدمين في السن وسكان الريف قليلة التأثر باللهجة المهدبة لسكان العاصمة. إذ قد ساهم انتشار التربية والتعليم والارتقاء الاجتماعي والانتقال الجغرافي واقتحام وسائل الإعلام من راديو وتلفزة للأسر والمنازل في التقاء والتحام هذه اللهجات [9].

إن اللهجات جزء من مكونات الهوية الثقافية وهي وسيلة لإبراز الثقافات الشعبية وعقربيات وروح الشعوب التي تتجلى عبر العادات والتقاليد والعبارات الشعبية. لذلك تكون المحافظة على هذه اللهجات بمثابة الحفاظ على هويتنا ومورثونا اللغوي.

3 الأطالس اللغوية الورقية و الرقمية

لقد تم تطوير أطالس لغوية في مختلف أصقاع العالم وخاصة في أوروبا خلال الثلاث أرباع الأولى للقرن العشرين [10] مثل الأطالس اللغوي لبلاد كورسيكا فرنسا الذي نشر سنة 1914 والأطالس اللغوي والانثروبولوجي الايطالي لكورسيكا من سنة 1933 إلى 1952 والذي يحتوي علي 2000 خارطة [11].

كما وقع نشر الأطالس اللغوي لانجلترا الجديدة سنة 1939-1943 [12] وقد أنجز كراث مشروع الأطالس اللغوي الأمريكي الذي كان يهدف إلى تدوين الألفاظ الأكثر استعمالا وتسهيل نطق اللهجة الأمريكية المستعملة في الحياة اليومية في اكبر المناطق في الولايات المتحدة الأمريكية. وقد أنجز قاموس يحتوي على مجموعة كبيرة من الشواهد والأمثال المقتبسة من القرون الوسطى في 15000 صفحة تقريبا جمعت في أجزاء ذات 128 صفحة [13]. وقد إهتمت دراسة الباحث **كوراث** [14] بالمفردات المحلية والإقليمية المستعملة في الحياة اليومية و المتعلقة بكل المجالات في شرق الولايات المتحدة الأمريكية. وركز هذا البحث على مجموع اللهجات التي تستعملها الطبقات الاجتماعية وخطاب عامة الناس والخطاب المذهب الذي تستعمله الطبقة المثقفة وأصناف الألفاظ المستعملة، بالإضافة إلى أصل المفردات الأوروبية والعبارات الجديدة في اللهجة الأمريكية. و قد صنفت هذه المعطيات في 163 خارطة للهجات .

أما الباحث **اورتن** [15] فقد أنجز دراسة حول اللهجات الانجليزية من سنة 1964 إلى 1975. وقدم فيها معطيات عن عبارات مستخرجة من اللهجة المستعملة من طرف أفراد قوم الفلاحين في الأوساط الريفية في انكلترا. خلال هذه الدراسة قام بمسح 400 خريطة تبرز الفوارق في النطق والمفردات والصرف والنحو كما أوضح التوزيع الجغرافي لتلك الظواهر المختلفة حسب كل جهة وخصوصية لهجتها.

لقد كان الجيل الأول من الأطالس المتوفرة يحتوي في خرائط ورقية نظم بيانات ومعلومات وتأويلات لغوية تبرز العلاقات اللغوية. ولكن الأطالس اللغوي الرقمي المعاصر يحتوي على قاعدة بيانات أو لوحة قياسية لمعالجة المعطيات اللغوية والولوج إليها بطريقة حركية وتفاعلية وبإشكال متعددة حيث أن تكنولوجيا المعلومات الحديثة قد طورت طريقة تقديم واستعمال الأطالس اللغوية.

فمنذ سنة 1983 أنجز الباحثان **ماك دافيد** و **ويليام كراتشمير** [16] أول برمجة للتصرف في البيانات اللغوية تتمثل في ربع مليون أجوبة صوتية للأسئلة المطروحة وكانت النتيجة قاعدة بيانات لتجميع الرموز الصوتية ومجموعة خرائط مرتبطة بتلك القاعدة.

وسنة 1986 وقع تخزين الأطلس اللغوي الجديد لكورسيكا بالاعتماد على قاعدة بيانات ارتباطيه بسيطة [11]. خلال الفترة الممتدة بين 1987 و1992 تمكن الأطلس اللغوي لإقليم الباسك من تجميع حوالي 830.000 أجوبة. وقد استعمل الحاسوب لخرن عناصر هذه اللهجة منذ 1992 وقد توج هذا العمل ببرمجية للتصرف في قاعدة البيانات والحصول على خرائط الكترونية [17].

وفي سنة 2002 بعث مشروع الأطلس المتعدد الوسائط للعروض في اللغة في رومانيا معلنا عن الجيل الثاني حيث ورد في شكل قاعدة بيانات تفاعلية مستعملة من طرف مبرمجين وقد وقع تطويرها باستعمال لغة البرمجة **ماتلاب** [18].

كذلك احتوى أطلس اللهجات الكتروني في رومانيا والمتوفر عبر الانترنت على معطيات تتعلق باللهجات المستعملة في الشمال الغربي للبلاد وهي عبارة على برمجية تمكن المستعمل من الحصول على مجموعة بيانات الكترونية رقمية وحصر المعلومات المطلوبة و معالجة البيانات بدقة و عرض النتائج في شكل خرائط أو وسائط أخرى [19].

إضافة إلى الأطلس قامت بعض المنظمات بوضع مقاييس وآليات لتسهيل التوثيق الرقمي للغات وتوفير هذه المصادر المنجزة من طرف المتخصصين في اللسانيات لأكثر عدد ممكن من المستعملين والمحافظة عليها .

ومن بين هذه الأعمال مشروع **دوبلر** للتوثيق اللغات المهددة بالانقراض والذي أنجز سنة 2000 لأن 4000 لغة من بين 6000 هي لغات مهددة بالزوال في أواخر القرن الحالي [20] .

ويهدف هذا البرنامج إلى توفير وثائق ثقافية ولغوية والحصول عليها بطريقة مسيرة .وقد وقع تجميع هذه المعطيات بوسائط سمعية وبصرية وصور فوتوغرافية وقد وضعت حاشية تفسيرية ذات أبعاد متعددة.

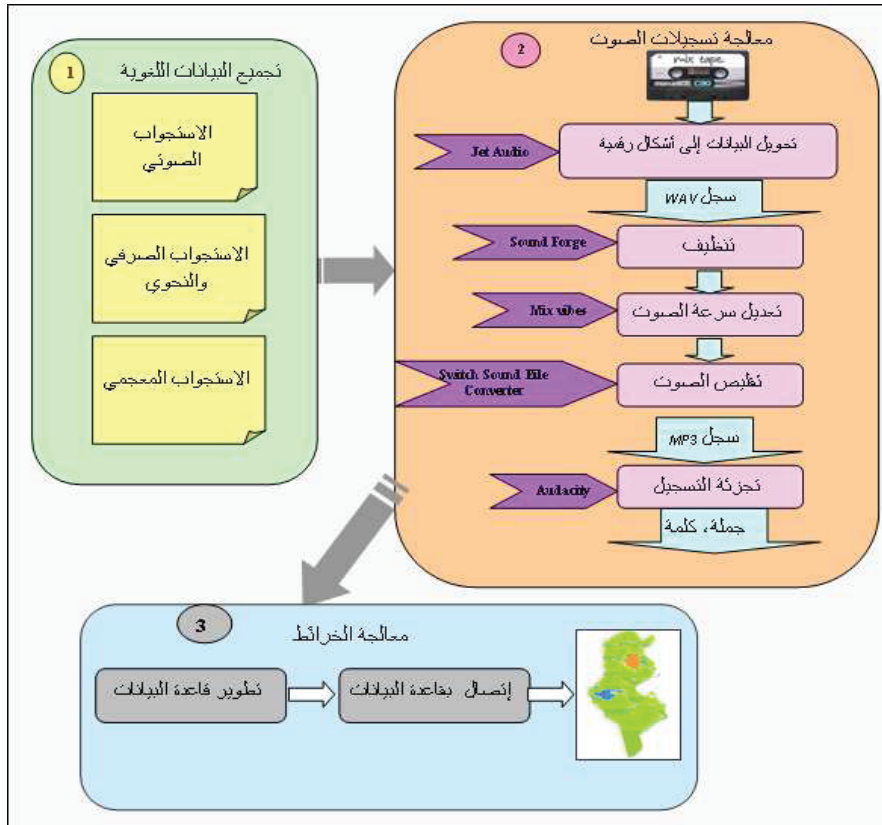
4 الأطلس اللغوي التونسي

خلال سنة 1997 و2000 أنجزت دراسات حول الأطلس اللغوي التونسي، كما تم تطوير برمجيات معلوماتية تحتوي على بيانات لغوية في شكل قاعدة بيانات **أكسس Access** بسيطة [21] في شكل مدونات لفظية. أما الغرض من هذا المقال العلمي فهو تطوير منظومة تصرف في قاعدة بيانات تظم معلومات عن مستجوبين وباحثين وإستمارات وأجوبة الخ. ويمكن لقاعدة البيانات أن تظم أجوبة لهذه الأسئلة ليس في شكل رمز النطق فقط بل كذلك في شكل جواب صوتي. كما تمكن هذه المنظومة من الإطلاع على المعطيات بوسائط مختلفة : عرض بيانات على الشاشة أو في خارطة ذات مناطق ملونة أو الاستماع إلى الصوت عن طريق نقرة الفارة على المنطقة المطلوبة في الخارطة.

4.1 التصميم

صمم هذا الأطلس على ثلاث مراحل أساسية (شكل رقم 1)

- المرحلة الأولى: تجميع المعطيات اللغوية
- المرحلة الثانية: معالجة التسجيل الصوتي
- المرحلة الثالثة: استغلال تسجيل الأصوات في شكل قاعدة بيانات



شكل رقم 1 : التصميم

4.2 تجميع البيانات اللغوية

لتجميع هذه البيانات يجب قبل كل شيء القيام بعمل ميداني عن طريق الاستجواب الذي يعتبر المادة الخام الذي يعتمد عليها علماء اللسانيات لانجاز بحوثهم واستنتاجاتهم وقد أنجزت هذه الاستجابات بجهود فريق من الباحثين في شكل حوارات وقع تسجيلها.

ولتجميع البيانات المتعلقة باللهجة التونسية وجب القيام ببحث شامل غطى 250 منطقة وقد شمل هذا البحث أربعة أشخاص سموا "مقدمي المعلومة" وهما شابان (فتى وفتاة) وكلاهما (رجل وامرأة).

أما الاستجابات فقد جزئت إلى محورين وقسم كل جزء إلى مجموعة أسئلة. ودامت كل حصة تسجيل لكل دراسة، حوالي ساعة لكل استجواب حيث تم التحصيل على أكثر من 3000 (ثلاثة آلاف) شريط تسجيل.

وللتثبت من هذه التساجيل الصوتية وضعت ثلاث وثائق مناسبة :

- وثيقة بحث تحتوي على معلومات متعلقة بالدراسة مثل المنطقة، التاريخ، الوقت، اسم الباحث واسم المستجوب، الخ...

- وثيقة متعلقة بالمستجوب تحتوي على هويته، مكان الإقامة، المستوى التعليمي، الوضعية الاجتماعية، الخ...

- وثيقة متعلقة بالباحث تحتوي على معلومات مثل الهوية، المؤهلات وعدد الاستجابات، الخ...

- وثيقة تسجيل: تحتوي على عدد البحث، اسم المستجوب، اسم الباحث وتاريخ الاستجواب، الخ....

تمكن البيانات المدونة في هذه الوثائق من إعطاء فكرة عن الأطراف المتدخلة في هذا الاستجواب (الباحث والشخص الذي يعطي البيانات). وقد نظمن البحث ثلاث أنواع من الاستجابات: كيفية النطق، النحو و الصرف [22]

4.2.1 الاستجواب الصوتي

في نطاق الاستجواب الصوتي، تعتبر المعلومات المتعلقة بالمعنى أو بالنطق مثل: الفرق بين "ق" [q] و "ف" [g]. في اللهجة التونسية نقطة لانتقال من اللهجة البدوية إلى اللهجة الحضرية مثل الكلمة المتعلقة باللون الأزرق التي يمكن نطقها بطريقتين سواء "زرقة" [zerga] أو "زرق" [zerqa]. كذلك الهمزة التي فيها اختلاف في النطق داخل الحلق مثل "قرآن" يمكن أن تنطق "قرعان" [quraan]. كذلك فعل "سأل" يمكن أن تنطق "سأل" [s3al] أو "سهل" [shal] حيث يستعمل اللفظ الأخير من طرف كبار السن خاصة.

كذلك التشديد على المقطع أو الكلمة : تغير حركة [a] إلى [ε] مثل " حار " [ha:r] و "حار" [he: r] فتصبح مزدوجة المعنى :تعني "تردد" أو "لاذع مذاق" و "كثير التوابل".

كذلك استعمال الفتحة قبل إدغام الحركة عندما يغير المتكلم النبرة مثل كلمة "لين" التي تنطق بثلاثة طرق "فَين" [fi:n] في بعض المناطق و "فان" [fe:n] أو "فَين" [fajn] في مناطق أخرى.

4.2.2 الاستجواب الصرفي والنحوي

يتكون هذا الاستجواب من أجزاء اللغة العربية مثل الاسم، الفعل والحروف [22] :

الاسم: يشير إلى دراسة تغيرات جنس المتكلم والمتكلم عنه (أنثى واذكر) والعدد (مفرد، جمع او مثنى) وقد لاحظنا استعمالات مختلفة في بعض المناطق مثل تغيرا لمثنى بالعدد "روز" [zu:z] مثل "روز كُتب" [zu:z ktob] في بعض الحالات يستعمل المثنى والعدد "كاسين" [ka:si:n] و "روز كيسان" [zu:z kisa:n] .

الفعل: بهم دراسة ظاهرتين متعلقتين بالفعل مثل تغير أصل الشكل في الجنس والعدد مثل "مُشَات" [mfɛ: t] أو "مُشَت" [mfi t] أو "مُشَت" [mfɛt] بمعنى "ذهبت".

حرف الجر:

يتعلق بدراسة الضمائر وأسماء الإشارة وأدوات السؤال والكمية مثل كلمة "كثير" التي تنطق "برشة" [barfa] أو "ياسر" [je: Sir] أو "هلبة" [Halba].

4.2.3 الاستجواب المعجمي

انه استجواب مفتوح يحتوي على نقاش حر وأسئلة حول الكائن البشري ومحيطه وطبيعته كما تعلقت الأسئلة بجسم الإنسان، الملابس، الغذاء، الأسرة وعدة أنشطة أخرى مثل الصناعات والهوايات، الخ... وتتطرق كذلك إلى المعتقدات (العادات والتقاليد)، الطقس، الوقت، الخ... [22].

5 خصوصيات برمجة الحاسوب

5.1 معالجة تسجيلات الصوت

بما أن البيانات قد ظهرت في شكل تسجيلات صوتية في أشرطة مغناطيسية كان من الضروري القيام بتحويل هذه التسجيلات من أشكال تناظرية إلى بيانات رقمية و كذلك تجزئة التسجيلات لتسهيل استغلالها.

5.1.1 تحويل البيانات إلى أشكال رقمية

لقد تطلبت عملية رقمنة الأشرطة المغناطيسية مجهودا كبيرا حيث قمنا باختيار التصميم وانتقيناه من عديد البرمجيات لتحويل الإشارات من تناظرية إلى رقمية كذلك أخذنا بعين الاعتبار عدة عوامل مثل حجم السجل ونوعية الصوت. ثم استعملنا عددا كبيرا من تقنيات البرمجيات لمعالجة تسجيلات الصوت وقد كانت برمجية "جات /ديو JET AUDIO" الأسهل و الأفضل لإنجاز هذه العملية وكانت نتيجتها سجل وايف (wav) الذي لم يكن ذا جودة عالية، لذلك استعملنا "ساوند فروج SOUND FORGE" لتنظيف السجلات وتحسين نوعية الصوت مثل تقليص أصوات التنفس والتقاطعات. ثم اضطررنا إلى استعمال برمجية ميكس فيبس Mixvibes لتعديل سرعة الصوت فكانت النتيجة سجلات كبيرة الحجم من نوع WAV مخزنة في أقراص مضغوطة. ولتقليص مساحة التخزين انتقينا برمجية من عدة برمجيات لتقليص السجلات الصوتية كما هو مبين في الفقرة التالية.

5.1.2 تقليص السجلات الصوتية

يمثل تقليص الصوت طريقة من تخفيض حجم البيانات و بالتالي تخفيض في حجم السجلات الصوتية. اختبرنا مجموعة من برمجيات التقليص واستعملنا نموذجا أصليا لسجلات الصوت في

شكل wav بحجم تطول مدته 4 دقائق و 25 ثانية و كان الهدف إيجاد توافق بين نسبة التقليل وجودة الصوت.

لكن بعد أن نقلص السجلات يجب تجزئتها للحصول على كلمات. لذلك يجب اختيار الشكل المتحصل عليه في مرحلة التقليل لكي يخضع لقابلية التجزئة فيما بعد. كما لاحظنا أن معظم برمجيات التجزئة تشغل بسجلات mp3 مع العلم أن هذا الشكل يوفر نسبة 91% من التقليل. لذلك اخترنا mp3 كشكل إخراج.

5.1.3 تجزئة التسجيل

تحتوي التسجيلات على حوار كامل بين الباحث و المستجوب. لذلك كان من الضروري معالجتها لاستخراج أجزاء السجلات المتعلقة بالكلمات (الأسئلة) المطروحة في الاستجواب. لا يمكن لبرمجية التجزئة معرفة الكلمات المناسبة للاستجواب معين. لذلك لا يجوز للتجزئة إلا أن تكون نصف آلية وبتالي وجوب وجود مختص في اللسانيات لهذه العملية. ولاختيار برمجية التجزئة المناسبة و الأكثر دقة اختبرنا عدة برمجيات للتجزئة. و قد ركزنا اهتمامنا عند عملية انتقاء برمجية التجزئة على درجة الدقة لأنه يجب علينا استخراج كلمات محددة من التسجيل لأن النسبة القليلة من الثانية يمكن أن يكون لها تأثير على النتيجة.

بالإضافة إلى ذلك أخذنا في عين الاعتبار مقاييس أخرى مثل التنظيم المنطقي للصفحة البينية للبرمجية، وتبين لنا إن برمجية *أوديسي* AUDACITY توفر لنا أكثر تجزئة وأكثر استعمالاً مثل تخفيض سرعة الصوت التي حسنت في نتيجة التجزئة.

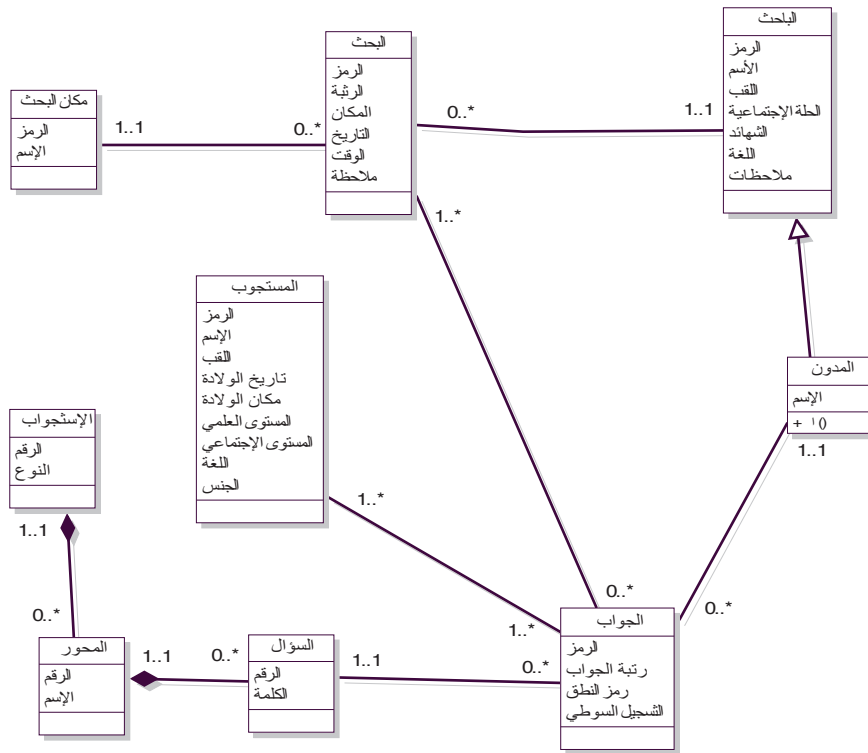
وبعد اختبار برمجيات التجزئة المختلفة استنتجنا أن برمجية *أوديسي* هي الأفضل بالنسبة لتجزئة تسجيلات الصوت، وكان شكل الإدخال في مرحلة التجزئة هو شكل mp3

5.2 تطوير قاعدة البيانات

إن الهدف من تطوير هذه القاعدة هو تخزين البيانات المتعلقة بالمستجوبين والباحثين ومناطق الاستجواب مثل الجهة والبحث والاستمارات والمحاور والأسئلة والأجوبة والرموز الصوتية.

وقد كانت معظم الصعوبات تتعلق بجدول الأسئلة الذي يحتوي على الكلمة الرئيسية (مدونة بأحرف عربية) وفي جدول الأجوبة الذي يتضمن رمز نطق الكلمة لذلك اضطررنا لاستعمال أحرف لاتينية وعربية ورموز إضافية لإبراز خصوصيات اللهجة التونسية كما هو مبين بالجدول رقم 2 أين يوجد رسم *UML* لنموذج البيانات للأطلس اللغوي حيث اعتبرنا أن الاستجواب يتكون من محاور وكل محور يتكون من أسئلة ولكل سؤال هناك أجوبة.

كل جواب يقدم من طرف المستجوب يقع خزنه في قاعدة البيانات بواسطة مدون ويكون كل جواب متعلقاً بموضوع بحث معين تم انجازه من طرف باحث معين في منطقة معينة.



شكل رقم 2 مخطط أ م ل لنموذج البيانات

لقد وقع تطوير قاعدة البيانات بواسطة ماي سكول MySQL وقد مكنتنا هذه التطبيقية من معالجة كل هذه المعطيات باستعمال (إقحام- إلغاء- انتقاء- تحيين) وطبقنا كل المقاييس حيث لم يقع إقحام بحث ما إلا بعد إقحام الباحث والبحث أولاً. ولم يقع إقحام جواب إلا بعد إقحام كل البيانات مثل الجواب و المحور و لاستمارة و المدون و المستجوب و الباحث و البحث ومنطقة البحث.

5.3 معالجة الخرائط

تساعد هذه التطبيقية المستعمل على تحديد اختيار البيانات أولاً باختيار الاستجواب الذي يستعمله مثلاً (الصرف) وثانياً باختيار المحور مثل (الضمير) وأخيراً انتقاء السؤال مثلاً (أنا).

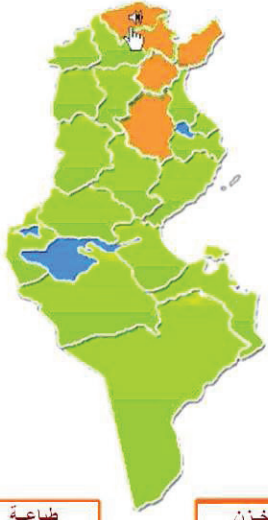
كما تمكن التطبيقية الاندماج مع مقاييس انتقاء (اختيارية) مثل معلومات عن (المستجوب : كهل ذكر - كهل أنثى ..) بعد ذلك تعرض معطيات لغوية أخرى مثل (كيفية النطق - النحو - الصرف و المفردات ومعانيها).

وبما أن المقاييس الجغرافية تدخل في عين الاعتبار وجب علينا القيام بعرض خرائطي وخاصة عندما نقدم بيانات على الخارطة التي يجب أن تكون متحركة وتفاعلية وتتغير حسب رغبة المستعمل والمعلومات المخزنة في قاعدة البيانات حيث يكون كل جواب متصل بمنطقة على

الخريطة. وقد استخدمنا لغة البرمجة بي إتش بي PHP ، والتكنولوجيا أجاكس AJAX لتنفيذ هذه التطبيقية، والتي تسمح لنا مثلاً من خلال الصفحة البيئية الواردة في الشكل رقم 3:

- عرض بيانات (مثل كتابة ورموز الأصوات والنطق من المقاييس المختارة)
- البحث عن رموز النطق ويكون الرمز المنطوق ملونا على الخريطة
- مقارنة رموز النطق وتكون المناطق التي تنطق فيها الكلمات بنفس الطريقة والتي لها نفس الرموز ملونة على الخريطة
- تقديم البيانات في شكل خرائط يمكن تخزينها أو طباعتها أو إقحامها في وثائق الكترونية
- وهناك عدة عناصر من الخرائط يمكن توظيفها حسب رغبة المستعمل مثل إدخال العنوانين والمصطلحات والألوان والإحجام .
- كما تمكن هذه التطبيقية من الحصول على صورة مركزة وأكثر دقة للمناطق على الخريطة.
- الولوج إلى التسجيل الصوتي : يمكن الحصول على تسجيل الصوت بمجرد النقر على المنطقة المختارة في الخريطة.

الإطلاع على رموز النطق

اختيار الاستجواب النحو و الصرف ▼ اختيار المحور الضمائر ▼ اختيار السؤال انا ▼ اختيار الجواب : رمز النطق E:nε E:ni E:nε: اختيار نوع المستجواب ذكر راشد ▼ جواب الخارطة	 طباعة خزن
---	--

شكل رقم 3 عرض البيانات على الخارطة

6 الخاتمة

يمكن اعتبار هذا البحث كإطار لتطوير أطلس لغوي رقمي، إذ يقدم آليات استكشاف وتقنيات لإنجاز أطلس لغوي رقمي شامل يبرز خصائص لغة أو لهجة (النطق، الصرف، النحو، و الألفاظ و معانيها). وفي هذا التماشي قمنا بانجاز الأطلس اللغوي لتونس .

واعتبارا للتطور المطرد لتكنولوجيا المعلومات نتطلع كباحثين في هذا المجال البحث عن برمجيات بديلة للحصول على نوعية أكثر جودة للصوت ونسبة تقليص أفضل لسجلات الصوت. كما نتطلع إلى توفير بيانات في شكل سمعي وبصري (بالصوت والصورة) والذي يدمج اللغة والإيماء أثناء الكلام، كما سنعمل على تطوير هذه البرمجية في موقع واب.

7 شكر وتقدير

أتقدم بأحر الشكر والامتنان لأعضاء فريق الأطلس اللغوي لتونس الذين ساهموا في إعداد هذا العمل وخاصة السادة الطيب البكوش و صالح الماجري وسعيد مصباح.

المراجع

- [1] PHYLLIS, M., R. 2008. Sociolinguistic Goals for Foreign Language Teaching and Teachers' Metaphorical Images of Culture. *Foreign Language Annals*. 29 Issue 4, pp.571 – 586
- [2] MACKAY, S. L. 2003. The Cultural Basis of Teaching English as an International Language. Online Documents at URL <http://www.tesol.org/pubs/articles/2003/tm13-4-01.html>. [30.06.2004]
- [3] [NIETO, S. 2009 Language, Culture, and Teaching: Critical Perspectives. *The Electronic Journal for English as a Second Language*. Volume 14, Number 1. pp. 280.
- [4] JAMES, K. 2002. Cultural implications for translation. *Translation Journal*, 2002 . Volume 6, No. 4. ISSN 1536-7207.
- [5] NIDA, E. 2003. Toward a Science of Translating, with Special Reference to Principles and Procedures Involved in Bible Translating. Leiden: Brill.
- [6] BASSNETT, S. 2002. Translation Studies. Taylor & Francis Group.
- [7] WALT, W, N. 2006. American English: dialects and variation. Schilling-Estes. Wiley-Blackwell.
- [8] EPSTEIN, R. I. & Xu, Lily X. J. 2003. Roots and wings: Teaching English as a second dialect to Aboriginal students, a review of the literature. <http://www.eric.ed.gov/PDFS/ED476389.pdf>
- [9] GIBSON, M. 2002. Dialect levelling in Tunisian Arabic: Towards a new spoken standard. Chapter two. Dialect Levelling in Tunisian Arabic: Towards a New Spoken. Edited by Aleya Rouchdy. Routledge.
- [10] DALBERA, J.P. 2007. *Linguistic atlases – Objectives, Methods, Resultats, Prospects*. UBLI 6, Amsterdam-Philadelphia, John Benjamins Publishing Company. pp39-54
- [11] DALBERA STEFANAGGI, M. J. 2007. *From linguistic Atlases to database and vice-verca: the Corsican example*. UBLI 6, Amsterdam-Philadelphia, John Benjamins Publishing Company. pp55-63.
- [12] KURATH, H. 1934. The Linguistic Atlas of New England. *Proceedings of the American Philosophical Society*. 74, 227-243.

- [13] KURATH H. 1954. Middle English dictionary , Part 2. University of Michigan Press.
- [14] KURATH H. A 1967. Word Geography of the Eastern United States. University of Michigan Press.
- [15] HAROLD, O, S. and SANDERSON, J, D, A, W. 1998. Linguistic Atlas of England. Routledge.
- [16] KRETZSCHMAR, W. 1988. Computer and the amERICAN Linguistic Atlas. In *Methods in Dialectology: Proceedings of the Sixth International Conference on Methods in Dialectology*, edited by A. Thomas, 200-24
- [17] AURREKOETXEA, G. 2008. Basque linguistic Atlas-EHHA: From speech to automatic Maps. *Dialectologia 1*, 107-119.
- [18] CONTINI, M. AND al. 2002.. Un projet d'atlas multimédia prosodique de l'espace roman. *Proceedings of Speech Prosody*, International Conference, Aix-en-Provence, France, pp.11-13,
- [19] EMBLETON, D. URRITESCU, ES. 2010. General Online Dialect Atlas: draft paper. yorku.ca 2010. pi.library.yorku.ca
- [20] WITTENBURG, P. and MOREL, U. and DWYER, A. 2002. Methods of Language Documentation in the DOBES project. *Proceedings of LREC*, pp. 34-42.
- [21] MEJRI, S. AND LAMAILLE, C. 2000. L'atlas linguistique de Tunisie : constitution et exploitation d'une base de données. *Revue Tunisienne de sciences sociales* 120, 217-230.
- [22] BACCOUCHE, T. AND MEJRI, S. 2004. *Les questionnaires de l'Atlas linguistique de la Tunisie*. Rencontres linguistiques méditerranéennes. Sud Editions. Maisonneuve & Larose. ISBN : 9973-844-31-9

الملخص باللغة الانجليزية

Title: The Linguistic Atlas, a Linguistic Data Base

Abstract. Dialects are a component of cultural identity. They are a vehicle for many words in the popular culture and the genius of the community, occurring through traditions, customs, and popular expressions.

A dialect atlas or linguistic atlas displays data related to one or more aspects of linguistic interests: phonetic, morphological, syntactic and lexical, at a set of geographic locations.

This study is based on data extracted from the Linguistic Atlas of Tunisia surveys, a project that involves interviews of 3000 speakers representing communities across more than 250 Tunisian regions, gathering a variation of dialects spoken in different geographical areas of Tunisia. In order to build a digital edition of the Linguistic Atlas of Tunisia, which is a dialect atlas, we have developed software, allowing the description and handling of the regional dialectal forms.

The application provides access to a digital linguistic data base, enabling the user to find the relevant data; we have also designed the linguistic items in the form of a map, showing the presence or absence of a set of linguistic features. Moreover, the application provides listening to sound recordings relating to a given word in a given region, by just clicking on a map area.

Keywords: culture, dialect, phonetic map, data base, linguistic Atlas.

بناء المحتوى العربي الدلالي الأول و اسهاماته في تطوير معالجة اللغة آليا

¹ أمل السيف ، كاتجا ماركرت
¹ جامعة ليدز، كلية الحاسب، الرمز البريدي LS2 9JT، المملكة المتحدة

assaiif@comp.leeds.ac.uk, markert@comp.leeds.ac.uk

الخلاصة: تعرض الورقة اول دراسة شاملة للتحليل الدلالي للنص العربي عن طريق تحليل كل الروابط الدلالية (مثل: لكن، لأن و بينما) ، و تحليل العلاقات التي تشير لها و اجزاء النص التي تربطها هذه الروابط. تهدف الدراسة إلى بناء اول بنك نصي دلالي للعربية الدارجة أو ما يطلق عليها الحديثة. سنعرض هنا كيف تم جمع كل الروابط الدلالية المحتملة للنص العربي و تحليل نصوص متفرقة للحصول على العلاقات الدلالية التي يمكن أن تربط المقالة العربية ببعضها. تم قياس التوافق بالتحليل المقدم من محللين اثنين على 534 نص اخباري من بنك النصوص تري.بانك (Arabic Penn Treebank Part1 v.2). البنك الدلالي المقدم LADTB يشمل 80 رابط و 17 علاقة دلالية بما مجموعه 6329 تحليل. تظهر الورقة توافقا عاليا بين المحللين على تحديد الروابط، بينما ينخفض قليلا عند العلاقات و حدود النص، و ذلك باستخدام ادوات تقييم عالمية. سوف يستخدم البنك الدلالي العربي لتطوير خوارزميات التعلم الآلي لتحديد الروابط و العلاقات الدلالية في النصوص الجديدة.

الكلمات الجوهرية: المحتوى الدلالي، العلاقات الدلالية، الروابط، معالجة النص العربي، تطبيقات حاسوبية متطورة

1 مقدمة

النص العربي ليس مجرد جمل و كلمات عشوائية بل هو نص متماسك ترتبط أجزاءه مع بعضها البعض بعلاقات يطلق عليها العلاقات الدلالية أو الخطابية. يعد تحليل النصوص دلاليًا من أكثر المجالات الحيوية تعقيداً خصوصاً في نطاق البرمجيات اللغوية (Computational Linguistics). فالمتابع لأبحاث اللغة العربية الحاسوبية يجد شحاً شديداً لدراسات متكاملة تبحث تركيب النص الدلالي و المعنوي على مستوى النص بأكمله بطريقة شاملة و مبسطة يستطيع أن يستخلصها الحاسب الآلي. من هذا المنطلق جاءت فكرة الدراسة الحالية التي تتناول العلاقات الدلالية بين أجزاء النص أو الجمل التي تربط من خلال أدوات الربط الدلالي، و هي بمثابة أول دراسة شاملة تتناول كيفية تركيب النص العربي و الاستفادة من هذا التركيب في تطوير برمجيات لغوية حاسوبية كالتأليف الالكتروني و الترجمة و التلخيص على سبيل المثال لا الحصر.

(1) /أحمد يلعب كرة القدم، و مريم تقرأ كتاباً

تعرف الروابط الدلالية على أنها: أدوات لغوية تربط بين أجزاء النص التي بدورها تعبر عن مفهوم نصي مجرد (Abstract Object) كأن يعبر عن حدث Event ، رأي opinion ، اعتقاد belief أو حقائق facts (Asher 1993). في مثال 1 الرابط ،"وأو" ربط بين حدثي اللعب والقراءة. هذه الأدوات قد تحمل معنى بذاتها مثل: (بالمقابل، لكن، لأن و على سبيل المثال)، وقد تربط الجمل من غير دلالة واضحة في معناها مثل: "وأو" الربط، حروف الجر (ب و ل). عندما تربط الأدوات الجمل فهي تبني علاقة خطابية بينها، يقصدها الكاتب أو المتكلم ليفهمها القارئ أو المستمع، مما ينتج لنا نص أو محادثة متماسكة خطابياً. ولقد حاول المنظرون اللغويون صياغة ما هية هذه العلاقات الدلالية و الأدوات الرابطة المستخدمة في اللغات الطبيعية كأحد أهم مقومات تماسك النص (Halliday and Hassan 1976).

كما أن الباحثين في مجال البرمجيات اللغوية استطاعوا أن يبلوروا نظريات لهيكل النص دلاليا باستخدام العلاقات الدلالية اما على شكل شجري (نظرية التركيب البلاغي (Marcu 1999)) أو على شكل شبكة (نظرية الشبكة النصية (Sanders 1992)) و التي تستخدم العلاقات الدلالية لربط الجمل في النص ببعضها بطريقة منظمة تستطيع البرمجيات معالجتها للوصول إلى تطبيقات حاسوبية متطورة للغة تحاكي الطريقة البشرية لبناء النص. النظريات السالفة الذكر طبقت نظريا و عمليا على اللغة الإنجليزية بشكل مشجع و يجري تطبيقها على لغات أخرى مثل الصينية و الهندية و التركية. و لكن لم تنشر أي دراسة لمدى إمكانية قبولتها لتخدم اللغة العربية و تطبيقاتها الحاسوبية.

يعد توافر محتوى corpus محلل بطريقة معينة المحرك الأهم للدراسات التطبيقية، حيث يستخدم خوارزميات الذكاء الصناعي لفهم و بناء نماذج ذكية للتعرف على نصوص غير محللة بالاستفادة من تعدد الحالات في المحتوى محل الدراسة. تهدف الدراسة إلى بناء محتوى نصي محلل دلاليا باستخدام اساسات مماثلة لأكبر مشروع تحليلي دلالي للغة الإنجليزية PDTB (Prasad, Dinesh et al. 2008) مع إجراء جميع التعديلات التي تتناسب مع النص العربي. و يعود اختيارنا لهذه الطريقة إلى أنها تعامل الروابط الدلالية بشكل فردي في المقام الأول و لا تخضع لقيود كثيرة كأن يربط الرابط الجملة التي تسبقه بالجملة التي تتبعه فقط، بل يترك القرار حسب فهم الشخص المحلل للنص. سوف نتطرق في بقية الورقة إلى الآلية المتبعة لجمع الروابط الدلالية في اللغة العربية، العلاقات الدلالية الممكنة و كيف يمكن تحديد النص المعبر عن المفهوم النصي المجرد. بعدها سوف نذكر استراتيجيات التحليل الدلالي و طريقة تقييم التحليل باستخدام المقاييس المتعارف عليها عالمياً.

2 بنك النصوص المعتمد في الدراسة

تم اختيار بنك النصوص تري.بانك (Arabic Penn (Maamouri, Bies et al. 2004)) Treebank Part1 v.2 لعمل الدراسة على النصوص المضمنة فيه، لما وجدنا من أنه البنك النصي الذي جرى تحليله صرفياً و نحوياً و ذلك بإدراج علامات- قد جرى تعريفها مسبقاً - بجوار كل كلمة أو حرف له موقع اعرابي مختلف. البنك النصي يحتوي على 734 نص إخباري من وكالة الصحافة الفرنسية - النسخة العربية. اعتمد البنك النصي تري.بانك لدراسات كثيرة كمعيار ممثل

للغة العربية الحديثة. إذ تحتل نصوص الأخبار مكانة مهمة في دراسات اللغويات البرمجية لأنها من أهم النصوص المتداولة إلكترونياً و تخضع لتدقيق لغوي يؤهلها لتكون عينة ممثلة للغة العربية المستخدمة في الزمن الحالي.

3 الروابط الدلالية و أجزاء النص

رغم أهمية أدوات الربط الخطابي إلا انه لا يوجد مصدر يتناولها في دراسة متكاملة في دراسات اللغة العربية بل تجدها مبعثرة بين السياق النحوي أو البلاغي بلا قبولية عامة لخصائصها. لقد تم جمع الروابط الدلالية باستخدام عدة طرق: (1) جمع ما ذكر منها في مصادر اللغة العربية (2) التحليل اليدوي لـ 50 نص من تري بانك و عدة نصوص من مواقع أدبية و ثقافية على الإنترنت (3) استخراج جميع الكلمات من التحليل النحوي المعمول لتري بانك والتي تحمل نفس الترميز النحوي مثل "واو" تحمل التصنيف CONJ conjunction و تم استخراج جميع الكلمات أو الحروف التي لها نفس الترميز و من ثم فحصها من قبل مختصين لغويين. (4) إضافة عدة روابط من ملاحظات المحللين أثناء عملية التحليل التجريبي للبحث.

خلصت عملية التجميع إلى قائمة من 107 رابط دلالي في النص العربي الحديث تتفاوت درجة ثباتها و استخدامها كروابط دلالي من كون بعضها روابط دلالية متى ما ظهرت في النص (unambiguous) إلى روابط قد تعمل دلاليا حسب استخدامها في السياق (ambiguous). و هذا التفاوت غير موجود في اللغة الإنجليزية على سبيل المثال حيث أن الروابط تعمل غالبا دلالياً. مما يضفي تحدياً على استخراج الروابط الدلالية من النص العربي ألياً.

تنقسم الروابط إلى : أولاً، **الروابط البسيطة** Simple Connectives المكونة من جزء واحد مثل 'لأن' 'because'، 'لكن' 'however'، 'أو' 'or' و 'و' 'and'. و ثانياً، **الروابط الثنائية** Paired Connectives و التي تتكون من جزأين مرتبطتين ببعضهما مثل إما...أو...، إذا...فإن....

الترتيب النصي للعلاقة الدلالية و الرابط

تظهر العلاقة في النص على ثلاث أشكال نصية: الترتيب الأول: [مفهوم أول Arg1][الرابط DC][مفهوم تابع Arg2]، مثال 2.

(2) **ان قضية فلسطين ليست قضية إقليمية أو وطنية بل مسألة تهمة العالم الاسلامي اجمع**

الترتيب الثاني: [الرابط DC][مفهوم تابع Arg2] [مفهوم أول Arg1]، مثال 3.

(3) **بعد رحيلي عن القرية، لم اشعر بالسعادة مجدداً**

الترتيب الثالث: [مفهوم أول Arg1][الرابط DC][مفهوم تابع Arg2] [تكملة المفهوم أول Arg1]، مثال 4.

(4) رغم أن الطائرات كانت تحلق باستمرار في سماء المدينة، فإن الحياة المدنية لم تتأثر

4 المفاهيم النصية التي يمكن ربطها باستخدام الرابط الدلالي

يظهر لنا من تعريف الروابط الدلالية أنها يجب أن تربط مفهوم نصي متكامل يعبر عن حدث، رأي، حقيقة أو معتقد. لذا لا يمكن إطلاق روابط دلالية على أدوات العطف أو أي تصنيف نحوي آخر إذ لابد من توفر هذا الشرط. مثلاً أداة العطف "و" هي رابط دلالي في مثال 1 لأنها تربط حدثي اللعب و القراءة بجملتين مستقلتين أما أداة العطف "و" في مثال 5 ليست رابط دلالي لأنها تربط اسمين في حدث واحد، و في مثال 6 هي تربط فعلين مترابطين لم يرد الكاتب التقريظ بينهما بجمل مستقلة لذا يعتبر الفعلين حدثاً واحداً. و في مثال 7 ربطت حالين و كل هذه الأمثلة لا تعطي ربطاً دلالياً بين حدثين أو حقيقتين فلا يمكن اعتبار أي أداة عطف رابط دلالي و العكس صحيح.

(5) ذهب أحمد و فاطمة إلى سوق المجوهرات لشراء هدية لأهمهم

(6) رأيت الأطفال يلعبون و يصرخون في حديقة المستشفى

(7) حضر المحامي إلى قاعة المحكمة مسرعاً و مرتبكاً

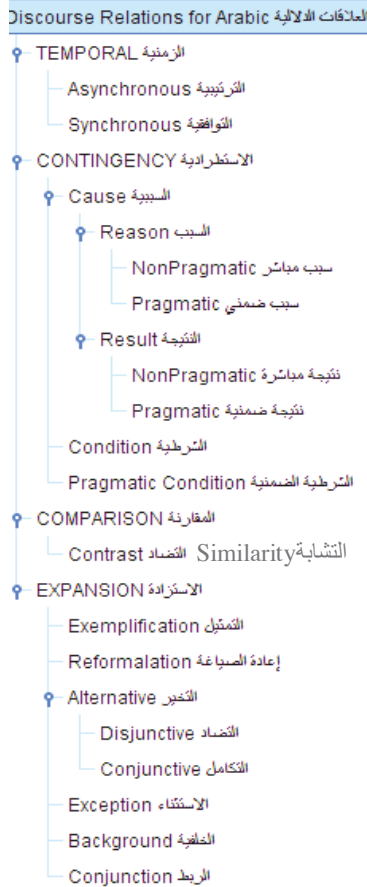
كما أننا لا نعتبر الرابط رابطاً دلالياً إلا إذا ربط مفهومين مجردين. فقد يظهر رابط يعطي معنى دلالي و لكن مع مفهوم واحد فقط ولا يربط مفهوم آخر معه فإننا في مثل هذه الحالات لا نعتبر الرابط دلالياً و إن ظهر في أمثله أخرى على أنه رابط دلالي، مثال 8:

(8) على غير العادة، استيقظ جدي اليوم الساعة الثامنة صباحاً.

5 العلاقات الدلالية في النص العربي

أثناء عملية تحليل و جمع الروابط الدلالية قمنا أيضاً بتحليل العلاقات التي تدل عليها الروابط في النص. قمنا بعدها بعملية معادلة بين العلاقات المحللة في النص العربي و التعاريف المستخدمة في مشروع PDTB للغة الإنجليزية. و قد ظهر لنا أن هناك علاقتان غير مشمولتان في هيكل العلاقات

للغة الإنجليزية و هما علاقة التشابه و علاقة الخلفية. الرسم الشجري في الشكل 1 يظهر العلاقات الدلالية للغة العربية. العلاقات الزمنية تدل على وجود اما توافق أو تسلسل زمني للأحداث في المفهومين. علاقات المقارنة تدل على وجود اما تضاد أو تشابه. بالإضافة إلى علاقات الاستطراد و التي تتضمن السببية و النتيجة و الشرطية المباشرة و الضمنية. و اكثر العلاقات استخداماً هي علاقات الاستزادة و تشمل علاقة التمثيل، إعادة الصياغة، الخلفية، الاستثناء، الربط المجرد، و التخيير المتكامل و المتضاد. مثال 1 هو مثال على الربط المجرد. أما مثال 2 و 4 فهما مثالين على التضاد. مثال 3 يحمل علاقة تزامنية ترتيبية بين الأحداث.

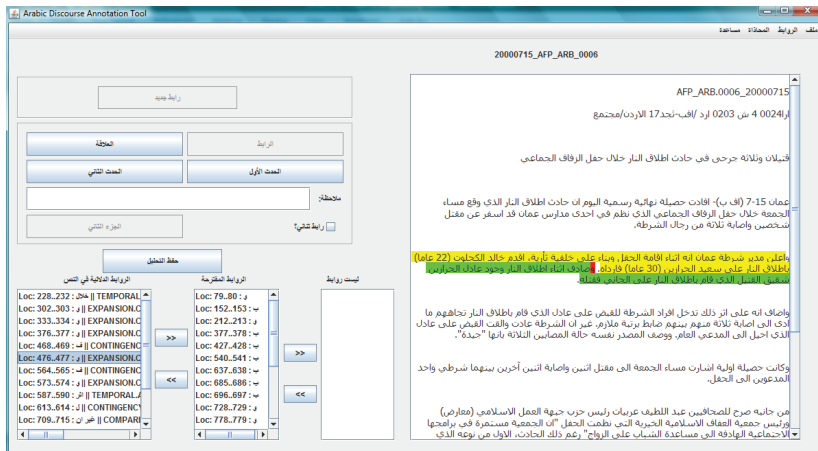


شكل 1: الهيكل الشجري للعلاقات الدلالية في النص العربي

من خلال التحليل اتضح أن تحديد العلاقات ليس أمراً مباشراً و سهل الاستنباط مما يستدعي قراءة متمنعة للنص و فهم إلى أي حد يمكن للقارئ العادي أن يستنبط العلاقات من غير قراءة لمصادر أخرى.

6 استراتيجيات التحليل الدلالي و النتائج

لقد تم تحليل 534 مقالة اخبارية من بنك النصوص Treebank بواسطة محلان يجيدان اللغة العربية فهماً و اعراباً باستخدام برنامج مساعد للتحليل تم تطويره خصيصاً للدراسة. الشكل 2 يظهر أحد شاشات البرنامج و قد طلب من كل محل أن يحل جميع الروابط المحتملة في النص و يحدد العلاقة و النص الذي يمثل المفاهيم النصية المجردة التي يربطها الرابط الدلالي محل التحليل.



الشكل 2 : برنامج التحليل الدلالي المستخدم في تحليل النصوص العربية

تم تحليل 20312 رابط محتمل و خلص إلى 80 رابط دلالي متنوع بما مجموعه 6328 حالة تحليل و تحديد النص المعني بكل علاقة، شاملة 55 علاقة متنوعة. أكثر العلاقات تكراراً هي علاقات الاستزادة بواقع 62.5% كما يظهر في ترتيب العلاقات في الجدول 1.

الاستزادة	EXPANSION	3771	62.5%
الاستطرادية	CONTINGENCY	1178	19.5%
التزامنية	TEMPORAL	636	10.5%
المقارنة	COMPARISON	454	7.5%

جدول 1 : يبين تكرار العلاقات في المحتوى العربي الدلالي

لقد تم تقييم النتائج على ثلاث مستويات الأول: تحديد ما إذا كان الرابط المحتمل هو رابط دلالي فعلا. و استخدم لذلك مقياسين مقياس نسبة التوافق الكلي بين المحللين Observed Agreement OA، و مقياس كابا kappa (Carletta 1996) و الذي يستخدم لتمييز ما إذا كان أحد المحللين قام بالتحليل بشكل عشوائي، يعد التوافق جيدا $kappa > 0.67$. المستوى الثاني: تحليل العلاقة الدلالية و مدى التوافق في اختيار العلاقات و قد استخدمنا نفس المقياسين ايضا. المستوى الثالث: مدى توافق اختيار النصوص التي تمثل المفاهيم المجردة. و استخدمنا هنا مقياس التوافق الكلي بالكلمات exact match و مقياس التوافق الجزئي agr.

نسبة التوافق الكلي OA للروابط		95%
مقياس كابا kappa للروابط		0.88
نسبة التوافق الكلي OA للعلاقات		86%
مقياس كابا kappa للعلاقات		0.80
التوافق الكلي بالكلمات exact match		Arg2(76%) Arg1(45%)
مقياس التوافق الجزئي agr		95% 78%

جدول 2 : تقييم نتائج التحليل الدلالي للمحتوى الأول المحلل بواسطة المحللين

نلاحظ أن التوافق على الروابط عالي و مشجع و إن كان ليس مكتمل لوجود عدد من الروابط الغير واضحة تماما من السياق. ينخفض التوافق لمستوى العلاقات و لكنه يظل توافق جيد و هذا يفسر صعوبة تحديد علاقات واضحة. بالمقابل، نجد التوافق ينخفض بشكل ملحوظ عند مستوى نصوص المفاهيم المجردة المرتبطة من خلال الروابط. حيث يعكس ذلك صعوبة تحديد حدود النص الممثل للمفاهيم فقط.

في المرحلة النهائية تم حصر حالات عدم التوافق في كل المستويات و تم تدقيقها بواسطة محلل ثالث لترجيح احد التحليلين. نتج عن عملية التنقيح اكتمال المحتوى العربي الدلالي الأول LADTB V.1. و الذي سوف يكون مصدرا ثريا لدراسات اللغة العربية الحاسوبية المتطورة. سوف يتم طرح المحتوى قريبا للباحثين من خلال منظمة LDC¹ في بنسلفينيا، الولايات المتحدة في اصدارات عام 2011.

¹ هي منظمة تهتم بتوفير المصادر اللغوية عالية الجودة للباحثين و المؤسسات مقابل اشتراك سنوي في غالب الاصدارات.

8 الخاتمة

عرضنا في هذه الورقة اول دراسة شاملة لبناء المحتوى العربي الدلالي الأول LADTB و الذي يلبي الحاجة الماسة في توفير مصدر لغوي يستفاد منه في دراسات اللغة و مقارنتها باللغات الأخرى دلاليًا و ايضا تطوير تطبيقات متقدمة مثل الترجمة الآلية و التلخيص و توليد النص و البحث المتقدم باللغة العربية على محركات البحث. عرضنا ايضا مراحل جمع الروابط الدلالية باستخدام طرق مختلفة و تأسيس دليل التحليل الدلالي للغة العربية و الذي طور من دليل التحليل للغة الإنجليزية مع مراعاة فروقات اللغة. و هدفنا من ذلك تأسيس محتوى عربي قابل للمقارنة مع غيره من لغات أخرى بهدف معرفة أوجه التشابه و الاختلاف بين اللغات مما يسهل تطبيقات متقدمة تخدم لغات مختلفة معا. التوافق بين المحللين يتفاوت من عالي إلى جيد جدا مما يدل على شمولية دليل التعليمات للتحليل الدلالي المعتمد في هذه الدراسة. يجري حاليا استخدام هذا المحتوى النصي من قبل الباحثين لبناء نماذج تعتمد خوارزميات الذكاء الصناعي لاستنباط الروابط الدلالية و العلاقات من النص العربي و تقييم النماذج المبنية. يوصى بإدراج نصوص عربية غير الأخبار محللة بنفس الطريقة المتبعة في النسخة الأولى لبناء نسخة مكتملة تمثل النص العربي المتداول في غالبية الكتابات الحديثة.

9 شكر وتقدير

حصل المشروع على منحة مالية سخية لغرض التحليل من برتش اكاديمي British Acedemy رقم المنحة SG51944. كما نشكر جامعة الإمام محمد بن سعود على دعم الباحث الأساسي بمنحة دراسية لبحث الدكتوراة في اللغويات الحاسوبية في جامعة ليدز - المملكة المتحدة - و لا يفوتنا أن نشكر المحللين الذين عملوا في المشروع و هم د. لطيفة السليطي، أ. عبد الباقي شرف، بسمه الصولي، مريم الغاوي و بشرى الشيبان. كما نشكر الدكتور حسين عبدالرؤوف من قسم دراسات الشرق الأوسط واللغة العربية في جامعة ليدز على الاشراف اللغوي.

المراجع

- D. Marcu, M. Romera, and E. Amorrortu (1999). Experiments in Constructing a Corpus of Discourse Trees: Problems, Annotation Choices, Issues. The Workshop on Levels of Representation in Discourse, pages 71-78, Edinburgh, Scotland, July 1999.
- N. Asher, N. (1993). Reference to Abstract Objects in Discourse Kluwer Academic Publishers
- Carletta, J. (1996). "Assessing agreement on classification tasks: the kappa statistic." Computational Linguistics 22(2): 249-254
- Cohesion in English (1976) Halliday, M. A. K. and R. Hassan
- Hobbs, J. R. (1985). On the Coherence and Structure of Discourse. C. f. t. S. o. L. a. I. (CSLI), Stanford University
- Maamouri, M., A. Bies, et al. (2004). "The Penn Arabic Treebank: Building a Large-Scale Annotated Arabic Corpus

Prasad, R., N. Dinesh, et al. (2008). The Penn Discourse TreeBank 2.0.
Proceedings of the 6th International Conference on Language
(Resources and Evaluation (LREC 2008

Sanders, T. J. M. (1992). "Toward a Taxonomy of Coherence Relations."
Processes **15**(1): 1-35 Discourse

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Creating the First Discourse Annoated Corpus for Arabic LADTB and Its Contributions in the Language Processing

Abstract. We present a brief of the first effort towards producing an Arabic Discourse Treebank, a news corpus where all discourse connectives are identified and annotated with the discourse relations they convey as well as with the two propositions they relate. We discuss the collection of Arabic discourse connectives as well as principles for identifying and annotating them in context. In addition, we present a reliability study on the current annotated corpus, which encompasses 20312 annotated discourse connectives in 534 news texts. The corpus will be used to develop machine learning models for automatic discourse analysis for Arabic.

Keywords: Discourse processing, discourse connectives, discourse relations, Arabic NLP, agreement study.

المصطلحات

روابط دلالية	Discourse connective
مقالة	Discourse
البنك النصي / المحتوى النصي	corpus
معنى مجرد	Abstract object
وحدة النص التي تمثل المعنى المجرد	argument

مُدَوَّنَةُ الْمُعْجَمِ التَّارِيخِيِّ لِللُّغَةِ الْعَرَبِيَّةِ "المنهج والمعالجة"

المُعْتَرِّ بِالله السَّعِيد¹، مُحَسِّن عبد الرَّازِق رَشْوَان²، مُحَمَّد حسن عبد العزيز³
¹ جامعة القاهرة، كلية دار العلوم، قسم علم اللغة والدِّراسات السَّامِيَّة والشرقيَّة
² جامعة القاهرة، كُلِّيَّة الهندسة، قسم الاتِّصالات والإلكترونيَّات

moataz@cu.edu.eg

mrashwan@rdi-eg.com

mh-aziz@hotmail.com

الخلاصة. موضوع هذه الدِّراسة (مُدَوَّنَةُ الْمُعْجَمِ التَّارِيخِيِّ لِللُّغَةِ الْعَرَبِيَّةِ، المنهج والمعالجة)، وتهدف إلى تقديم منهج لبناء وتطوير مُدَوَّنَةٍ لُغَوِيَّةٍ يُسْتَفَادُ مِنْهَا فِي صِنَاعَةِ مُعْجَمٍ تَارِيخِيٍّ لِللُّغَةِ الْعَرَبِيَّةِ. وَقَدْ صُمِّمَتِ الْمُدَوَّنَةُ اللَّغَوِيَّةُ – مَوْضُوعُ الدِّرَاسَةِ – وَفَقَ الْمَنْهَجُ الْوَصْفِيُّ، إِذْ تُسَمِّدُ مَادَّتُهَا مِنْ نُصُوصِ اللُّغَةِ الْعَرَبِيَّةِ الْمُشْتَرَكَةِ وَالْمُؤَرَّخِ لَهَا عِبْرَ عَصُورِ الْعَرَبِيَّةِ. وَيَتَنَوَّعُ مَجَالُ الْبَحْثِ بَيْنَ لُغَوِيَّاتِ الْمُدَوَّنَةِ الَّتِي تُعْنَى بِالْبَحْثِ فِي الظُّوْهِرِ اللَّغَوِيِّ وَتَفْسِيرِهَا مِنْ خِلَالِ مَجْمُوعَةٍ مِنَ النُّصُوصِ الْمُحَاسِبَةِ الَّتِي تُمَثِّلُ الْوَاقِعَ اللَّغَوِيَّ، وَعِلْمُ اللَّغَةِ الْإِحْصَائِيِّ الَّذِي يُعْنَى بِوَصْفِ الْبَيِّنَاتِ اللَّغَوِيَّةِ اعْتِمَادًا عَلَى أُسَالِيبِ التَّحْلِيلِ الْإِحْصَائِيِّ، وَعِلْمُ اللَّغَةِ الْحَاسُوبِيِّ الَّذِي يُعْنَى بِتَوْجِيهِ الْأَنْظِمَةِ الْحَاسُوبِيَّةِ إِلَى فَهْمِ اللُّغَاتِ الطَّبِيعِيَّةِ وَمُحَاكَاةِ الذِّكَاءِ الْبَشَرِيِّ.

الكلمات الجوهرية: لسانِيَّاتِ الْمُدَوَّنَةِ، عِلْمُ اللَّغَةِ الْحَاسُوبِيِّ، مُعَالِجَةُ الْمُدَوَّنَاتِ اللَّغَوِيَّةِ، الْمُعْجَمُ اللَّغَوِيُّ التَّارِيخِيُّ

1 مقدمة

الْمُعْجَمُ التَّارِيخِيُّ مُعْجَمٌ لُغَوِيٌّ عَامٌّ، يَسَمِّدُ مَادَّتَهُ مِنَ الثَّرَاثِ الْإِنْسَانِيِّ الْمَكْتُوبِ، الْمُدَوَّنِ عِبْرَ الْعَصُورِ وَالْأَمَكِيَّةِ فِي مَخْتَلَفِ الْعُلُومِ وَالْفُنُونِ وَالْأَدَابِ، وَيَضُمُّ مَفْرَدَاتِ اللَّغَةِ، وَيُبَيِّنُ مَعَانِيَهَا وَمُسْتَقَاتِهَا وَأَسَالِيبَهَا، وَيُعْنَى بِتَأْصِيلِهَا وَتَارِيخِ اسْتِعْمَالِهَا أَوْ إِهْمَالِهَا وَدِرَاسَةِ تَطَوُّرِ مَبَانِيهَا وَمَعَانِيهَا عِبْرَ الْمَرَاهِلِ الزَّمَنِيَّةِ الْمُتَعاقِبَةِ لِلُّغَةِ [1]. وَقَدْ كَانَتْ هُنَاكَ الْعَدِيدُ مِنَ الْمَحَاوَلَاتِ السَّابِقَةِ لِبْنَاءِ مُعْجَمٍ تَارِيخِيٍّ لِلْعَرَبِيَّةِ، مِنْهَا: مُحَاوَلَةُ الْمُسْتَشْرِقِ الْأَلْمَانِيِّ أَوْجُسْتِ فِشِر August Fischer فِي عَامِ 1907، وَمُحَاوَلَةُ الْجَمْعِيَّةِ الْأَلْمَانِيَّةِ لِلْإِسْتِشْرَاقِ فِي عَامِ 1957، وَمُحَاوَلَةُ جَمْعِيَّةِ الْمُعْجَمِيَّةِ الْعَرَبِيَّةِ بِتُونِسِ فِي عَامِ 1990، وَأَخِيرًا.. مُحَاوَلَةُ هَيْئَةِ الْمُعْجَمِ التَّارِيخِيِّ بِالقَاهِرَةِ فِي عَامِ 2004. إِلَّا أَنَّ هَذِهِ الْمَحَاوَلَاتِ قَدْ تَوَقَّفَتْ جَمِيعًا، وَلَعَلَّ الْمَشْكَلَةَ تَكْمُنُ فِي عَدَمِ اعْتِمَادِ أَيِّ مِنْهَا عَلَى مُدَوَّنَةٍ لُغَوِيَّةٍ مَلَائِمَةٍ لَطَبِيعَةِ الْعَرَبِيَّةِ وَتَارِيخِهَا الْمَدِيدِ مِنْ نَاحِيَةٍ، وَعَدَمِ النَّظَرِ بَعِيْنِ الْإِعْتِبَارِ إِلَى اتِّسَاعِ الْمَدَى الْجُغْرَافِيِّ لِلْعَرَبِيَّةِ الَّتِي اِمْتَدَّتْ عِبْرَ تَارِيخِهَا فِي ثَلَاثِ قَارَاتٍ مِنْ نَاحِيَةٍ أُخْرَى. أَضْفَ إِلَى ذَلِكَ مَا أَحْدَثَتْهُ تَقَاتُفَاتِ الْأُمَمِ الْأُخْرَى فِي اللَّغَةِ الْعَرَبِيَّةِ مِنْ تَأْثِيرٍ فِكْرِيٍّ وَحَضَارِيٍّ.

2 منهج بناء مدونة المعجم التاريخي للغة العربية

تُخضع صناعة المدونات اللغوية لصوابط ومعايير تُحددها طبيعة اللغة والهدف من المدونة اللغوية؛ والواقع أنَّ منهج دراسة المدونات اللغوية المحوسبة لا يزال جديداً على اللغة العربية، إذ لم تعرف الطريق إليه إلا في الثمانينيات من القرن الماضي، من خلال أطروحاتٍ علميةٍ ومشروعاتٍ بحثيةٍ محدودة، تتوّعت بين مشروعاتٍ لمدوناتٍ أحادية اللغة، ومشروعاتٍ أخرى لمدوناتٍ متعدّدة اللغات. والواقع أنَّ بناء مدونة لغوية للمعجم التاريخي أمرٌ شاق، يزيد من صعوبته طبيعة اللغة العربية الاشتقاقية ونظامها الكتابي؛ كذلك فإنَّ وضع خطة لبناء المعجم يتطلب إحاطة بحجم التراث العربي الموثق، وإحصاءاً لمداخلات المدونة اللغوية، وغير ذلك من الأمور التي تساهم المدونة اللغوية - إلى حدٍّ كبير - في تحديدها على وجه الدقة. ووفقاً لطبيعة المعجم المنشود.. فإنَّ بناء مدونة لغوية لحقّق الغاية التي نَصِبُ إليها يتطلب أربع خطواتٍ منهجيةٍ [1]، نحصّرها فيما يلي:

2.1 جمع النصوص

لمّا كان المأمول من المعجم التاريخي المنشود أن يكون ديواناً للعربية، يُورّخ لألفاظها ومعانيها، ويبيّن ما طرأ على تلك الألفاظ من تحوّل وتغيّر، كان لا بدّ لمدونة هذا المعجم أن تضمّ قدراً وافياً من النصوص التي تعكس واقع اللغة العربية عبر عصورها التاريخية، وفي بيناتها ومراكزها الثقافية والعلمية والحضارية التي شهدت مراحل نموّها وتطوّر ألفاظها وتركيبها، لتكون بمثابة قاعدة المعطيات الجامعة لأثارها الأدبية وتراثها العلمي الموثق.

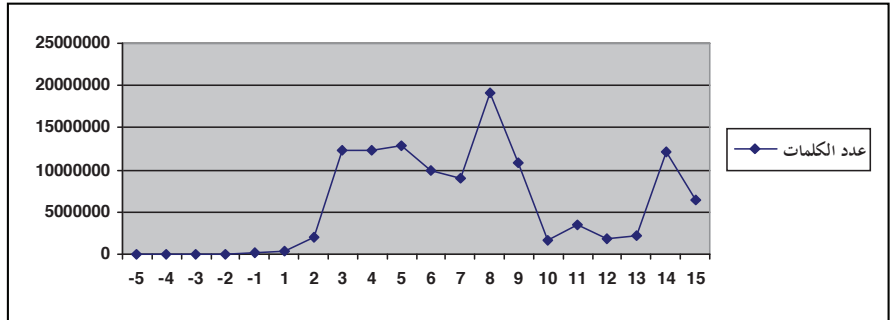
ويخضع اختيار النصوص - وفقاً لمنهج بناء المدونات اللغوية - لإحدى الطرق التالية:

- **الطريقة الأولى:** تقوم على الاستبيان، حيث يطرح صناع المدونة مجموعة من الأسئلة والاستفسارات على أشخاص يمثلون المجتمع اللغوي الذي تنتمي إليه النصوص؛ وتتعلّق الأسئلة والاستفسارات بالحقول المعرفية عناوين الكتب وأسماء الكتاب والمصنّفين وأوجه المفاضلة بينها. وفي ضوء نتائج الاستبيان يُحدّد حجم المدونة اللغوية والحقول المعرفية التي تُصنّف إليها النصوص ومصادر المادة النصّية والفترة الزمنية التي تنتمي إليها النصوص والمنطقة الجغرافية التي ينتمي إليها الكتاب والمصنّفون. وتستخدم هذه الطريقة - عادةً - في بناء مدونات الدراسات التجريبية؛ كما تستخدم في بناء المدونات اللغوية للمجتمعات الإقليمية ومدونات اللهجات المعاصرة والمدونات المصنوعة لأغراض تعليمية.
- **الطريقة الثانية:** تقوم على الحصر الشامل، وتلزم صناع المدونة بحصر كلّ نصوص المجتمع اللغوي الذي تمثله المدونة، وتستخدم هذه الطريقة - عادةً - عند بناء مدونات الدراسات المسحية، كالمدونات المستخدمة في صناعة معجمات الأدباء. ويرى بعض الباحثين أنَّ هذه الطريقة هي الوسيلة المثلى لبناء مدونة المعجم التاريخي للعربية، بل يرى بعضهم ضرورة احتواء المدونة على جميع المؤلفات العربية الباقية وعلى كلّ ما جرى أو لا يزال يجري على ألسنة الناطقين بها [2]. ويبدو هذا رأياً غريباً، لا يعلم خلوّه في أيّ من المعجمات التاريخية للغات الأمم الأخرى، فكيف باللغة العربية التي تملك تراثاً مدوناً منذ ما يقرب من ألفي عام؟!.

- **الطريقة الثالثة:** وتقوم على **نظرية العينات الإحصائية** [3]، ومن خلالها يقوم صناع المدونة باختيار عينة من النصوص التي تتفق وأهدافهم البحثية، سواء أكانت عينة عشوائية، أم غير عشوائية. ويشيع استخدام هذه الطريقة عند بناء مدونات المعجمات اللغوية العامة، وهي الطريقة التي تنتهجها المدونة اللغوية موضوع الدراسة؛ ذلك أن المدونة – في واقع الأمر – هي عينة من مجتمع غير محدود، هو مجتمع اللغة.

وبناءً على نظرية العينات الإحصائية، وفي ضوء ما ذكر آنفاً حول تعريف المعجمات اللغوية التاريخية، جمعت نصوص المدونة موضوع الدراسة من التراث العربي المدون (المكتوب)، في صورة عينة قصديّة منتقاة من المصنّفات العربيّة في مختلف المعارف بحيث تُغطّي الفترات الزمنية للعربيّة – سواءً على مستوى العصور الأدبية أم على مستوى الفروع، وبحيث تُغطّي الحدود الجغرافية التي مثلت المراكز الثقافية والحضارية للعربيّة. واستقرّت الدراسة – في اختيار مادة المدونة اللغوية – على تصنيف النصوص إلى مرحلتين:

- **المرحلة الأولى:** تمتدّ منذ أقدم وثائق المدونة في القرن الخامس قبل الهجرة حتى نهاية القرن الثاني الهجري، ويغلب على نصوصها الانتقال بالرواية. واشتملت المدونة على كلّ ما أتيح لها من نصوص في هذه المرحلة.
- **المرحلة الأخرى:** وتمتدّ منذ بداية القرن الثالث الهجري حتى أحدث وثائق المدونة في القرن الخامس عشر الهجري، ويغلب على نصوصها الانتقال بالتدوين. واقتصرت الدراسة في اختيار مادة المدونة لهذه المرحلة على أمّهات الكتب في مختلف العلوم والفنون والأدب بما لا يقلّ عن مليون كلمة لكلّ قرن زمني (وهو الحدّ المعياري الأدنى لاعتبار نصوص القرن الزمنيّ مدونة لغوية مستقلّة)، مع مراعاة التنوّع الجغرافي والموضوعي للنصوص.



الشكل 1. مخطط أعداد كلمات المدونة اللغوية باعتبار القرن الزمنيّ

2.2 تصنيف النصوص

صُنِّفَت مَادَّةُ الْمُدَوَّنَةِ اللُّغَوِيَّةِ مَوْضُوعَ الدِّرَاسَةِ تَارِيخِيًّا وَجُغَرَاْفِيًّا وَمَوْضُوعِيًّا وَفَقًا لِمَا يَلِي:

- **التَّصْنِيفُ التَّارِيخِيّ:** وَيَشْتَمِلُ عَلَى عَصُورِ اللُّغَةِ الْعَرَبِيَّةِ – وَفَقَ التَّقْسِيمِ الْخُمَاسِيِّ الَّذِي أَقَرَّهُ مَجْمَعُ اللُّغَةِ الْعَرَبِيَّةِ بِالْقَاهِرَةِ:
 - **العصر الجاهليّ.** وَيَضُمُّ وَثَائِقَ تَنْتَمِي إِلَى الْفَتْرَةِ مِنْ عَامِ 480 ق.هـ / 157 م (وفاة مالك بن فُهْمُ الْأَزْدِيّ) – صَاحِبِ أَقْدَمِ وَثَائِقِ الْمُدَوَّنَةِ إِلَى عَامِ 1 ق.هـ / 622 م (العام السَّابِقُ لِلْهَجْرَةِ النَّبَوِيَّةِ).
 - **العصر الإسلاميّ.** وَيَضُمُّ وَثَائِقَ تَنْتَمِي إِلَى الْفَتْرَةِ مِنْ عَامِ 1 هـ / 622 م (العام الأوّلُ لِلْهَجْرَةِ النَّبَوِيَّةِ) إِلَى عَامِ 131 هـ / 749 م (العام السَّابِقُ لِسُقُوطِ دَوْلَةِ بَنِي أُمَيَّةَ).
 - **العصر العبَّاسيّ.** وَيَضُمُّ وَثَائِقَ تَنْتَمِي إِلَى الْفَتْرَةِ مِنْ عَامِ 132 هـ / 750 م (عام سُقُوطِ دَوْلَةِ بَنِي أُمَيَّةَ وَقِيَامِ دَوْلَةِ بَنِي الْعَبَّاسِ) إِلَى عَامِ 655 هـ / 1257 م (العام السَّابِقُ لِسُقُوطِ دَوْلَةِ بَنِي الْعَبَّاسِ).
 - **العصر الوسيطّ** "عصر الدُّوَلِ وَالدُّوَيَلَاتِ". وَيَضُمُّ وَثَائِقَ تَنْتَمِي إِلَى الْفَتْرَةِ مِنْ عَامِ 656 هـ / 1258 م (عام سُقُوطِ دَوْلَةِ بَنِي الْعَبَّاسِ وَانْقِسَامِ الدَّوْلَةِ الْعَرَبِيَّةِ إِلَى دُوَلٍ وَدُوَيَلَاتٍ) إِلَى عَامِ 1219 هـ / 1804 م (العام السَّابِقُ لِبَدَايَةِ حُكْمِ مُحَمَّدٍ عَلِيٍّ بِأَشَا – مُؤَسَّسِ مِصْرِ الْحَدِيثِ).
 - **العصر الحديث** "عصر النَّهْضَةِ". وَيَضُمُّ وَثَائِقَ تَنْتَمِي إِلَى الْفَتْرَةِ مِنْ عَامِ 1220 هـ / 1805 م (تَوَلَّى مُحَمَّدٌ عَلِيٌّ بِأَشَا حُكْمَ مِصْرَ) إِلَى وَقْتِ بِنَاءِ الْمُدَوَّنَةِ اللُّغَوِيَّةِ مَوْضُوعَ الدِّرَاسَةِ (1431 هـ / 2010 م).
- **التَّصْنِيفُ الْجُغَرَاْفِيّ:** صُنِّفَتِ نُصُوصُ الْمُدَوَّنَةِ اللُّغَوِيَّةِ مَوْضُوعَ الدِّرَاسَةِ جُغَرَاْفِيًّا، بِحَيْثُ تُمَثِّلُ الْمَنَاطِقَ الَّتِي نَشَأَ فِيهَا مُصَنَّفُو الْوُثَائِقِ، وَفُسِّمَتْ إِلَى سَبْعَةِ حُقُولٍ عَلَى التَّحَوُّلِ:
 - **شِبْهُ الْجَزِيرَةِ الْعَرَبِيَّةِ.** وَتَضُمُّ فِي الْعَالَمِ الْحَدِيثِ مَنَاطِقَ الْخَلِيجِ الْعَرَبِيِّ (السَّعُودِيَّةِ وَالْإِمَارَاتِ وَالْكُوَيْتِ وَقَطَرَ وَسُلْطَنَةِ عُمَانَ وَمَمْلَكَةِ الْبَحْرَيْنِ) وَأَرْضَ الْيَمَنِ.
 - **بِلَادُ مَا بَيْنَ النَّهْرَيْنِ "الرَّافِدَيْنِ".** وَهِيَ الْعِرَاقُ فِي الْعَالَمِ الْحَدِيثِ.
 - **أَرْضُ وَادِي النَّيْلِ.** وَتَضُمُّ مِنَ الْمَنَاطِقِ الْعَرَبِيَّةِ فِي الْعَالَمِ الْحَدِيثِ مِصْرَ وَالسُّودَانَ.
 - **بِلَادُ الشَّامِ.** وَتَشْمَلُ سُورِيَا وَلُبْنَانَ وَفِلَسْطِينَ وَالْأُرْدُنَ وَالْمَنَاطِقَ الْجَنُوبِيَّةَ مِنْ تُرْكِيَا.
 - **شِبْهُ جَزِيرَةِ الْأَنْدَلُسِ "أَلْبِيبَرِيَا".** وَتَضُمُّ فِي الْعَالَمِ الْحَدِيثِ إِسْبَانِيَا وَالْبَرْتَغَالَ وَجِبِلَ طَارِقِ.
 - **مَنَاطِقُ الْمَغْرِبِ الْعَرَبِيِّ وَصِقْلِيَّةَ.** وَتَضُمُّ فِي الْعَالَمِ الْحَدِيثِ تُونِسَ وَالْجَزَائِرَ وَالْمَغْرِبَ وَلِيبِيَا، وَتُرْتَبِطُ بِأَوَاصِرٍ تَارِيخِيَّةٍ مَعَ جَزِيرَةِ صِقْلِيَّةِ الْإِيطَالِيَّةِ الَّتِي تَقَعُ فِي جَنُوبِ أَوْرُوبَا.
 - **مَنَاطِقُ فَارِسَ وَمَا وَرَاءَ النَّهْرِ "آسِيَا الْوُسْطَى".** وَتَضُمُّ – مِنْ الْمَنَاطِقِ الَّتِي انْتَشَرَتْ فِيهَا الْعَرَبِيَّةُ – فَارِسَ (وَهِيَ إِيرَانَ حَدِيثًا)، وَأَقَالِيمَ بَخَارَى وَسَمَرْقَنْدَ وَخَوَارِزْمَ، وَالْحُدُودَ الْهِنْدِيَّةَ.
- **التَّصْنِيفُ الْمَوْضُوعِيّ:** وَقَدْ صُنِّفَتِ نُصُوصُ الْمُدَوَّنَةِ اللُّغَوِيَّةِ مَوْضُوعِيًّا إِلَى خَمْسَةِ عَشَرَ حَقْلًا، هِيَ: (الشَّعْرُ الْعَرَبِيّ، وَالْقُرْآنُ الْكَرِيمُ، وَالْحَدِيثُ النَّبَوِيُّ، وَالْكِتَابُ الْمُقَدَّسُ، وَالنَّثَرُ الْأَدَبِيّ، وَعُلُومُ الْعَرَبِيَّةِ وَأَدَابُهَا، وَالنَّثَرُ الْعِلْمِيّ وَاصْطِلَاحَاتُ الْعُلُومِ، وَالتَّارِيخُ وَالْأَنْسَابُ، وَالتَّطَبُّقَاتُ وَالتَّرَاجِمُ، وَالجُغَرَاْفِيَا وَالرَّحَلَاتُ وَالبُلْدَانُ، وَالقَوَائِنُ وَالْأَحْكَامُ، وَالمِلَلُ وَالعَقَائِدُ، وَالمُوسَمَاتُ وَالمُعْجَمَاتُ، وَالصَّحَافَةُ، وَالمَعَارِفُ الْآخَرَى).

يُقصدُ بتحرير النصوص تحويلها من صورتها الورقية إلى صورة رقمية مُحوسبة يمكن التعامل معها آلياً؛ وثمة ثلاث وسائلٍ لتحرير نصوص المدونات اللغوية، استُخدمت جميعها عند بناء المدونة اللغوية موضوع الدراسة [4]:

- **الوسيلة الأولى: التحرير الآلي.** ويتمُ باستخدام أداتين:
 1. الماسح الضوئي. ويقومُ باستقبال نصوص الوثائق المُدخلة بعد استكشافها ضوئياً.
 2. القارئ الآلي. ووظيفته التعرف على الحروف المُدخلة وتحويلها إلى صيغة نصية مُحوسبة.
- **الوسيلة الثانية: التحرير اليدوي.** هو الوسيلة التقليدية المُستخدمة في رقمنة النصوص. ويتمُ مباشرةً باستخدام محررات النصوص.
- **الوسيلة الثالثة: استخدام المادة المتاحة إلكترونياً.** وتوجد هذه المادة في إحدى الصور التالية:

1. صيغة الوثيقة المُنتقلة (PDF).
2. صيغة صفحات الويب (HTML).
3. صيغ الوثيقة النصية (DOC)، و(RTF)، و(TXT). وتعالج هذه الصيغ باستخدام محررات النصوص.

وقد روعي عند اختيار المادة المتاحة إلكترونياً في نصوص المدونة اللغوية موضوع الدراسة أن تكون خاضعة لرخصة جنو للوثائق الحرة [5]، ويسمحُ بمقتضاها بإعادة نسخ النصوص باعتبارها ملكية عامة وفق ضوابط ومعايير حدّتها مؤسسة البرمجيات الحرة.

وتكتمل مرحلة التحرير بتشكيل النصوص باستخدام علامات ضبط الحروف العربية "التشكيل" (الفتح "ـَ"، والضمّ "ـُ"، والكسر "ـِ"، والشّدّ "ـّ"، والسكون "ـْ"، وتثوين الفتح "ـً"، وتثوين الضمّ "ـٌ"، وتثوين الكسر "ـٍ"). وهو أمرٌ يفتضيه النظام الكتابي للغة العربية التي تتكوّن من أربعة وثلاثين فونيمًا قطعياً.

واستعانت الدراسة بمشكّل النصوص كأداة مساعدة؛ وهبّت آلية التشكيل لتكون قادرة على التعامل مع أجزاء الكلمة بتشكيلها كليّة (البنية والإعراب) أو تشكيلها مع إهمال حركة الحرف الأخير في الأسماء المعربة (البنية دون الإعراب).

- وقد صنّفت نصوص المدونة بحسب تشكيلها إلى ثلاثة أصناف:
- **النصوص المشكولة كلياً.**

وتشغل 10 % من حجم المدونة اللغوية موضوع الدراسة.

- **النصوص المشكولة جزئياً.**

وتشغل 13 % من حجم المدونة اللغوية موضوع الدراسة.

- **النصوص غير المشكولة.**

وتشغل 77 % من حجم المدونة اللغوية موضوع الدراسة.

2.4 ترميز النصوص

ترميز النصوص هو تحويلها من صورتها الأولية إلى صورة مشروحة مُفصّلة، أو بمعنى آخر: تحويلها من نصوص خام غير مشروحة - وهو الشكل الذي تظهر فيه النصوص عند تحريرها أوليًا - إلى نصوص مُرمّزة مُدّلية بالخصائص الشكلية لنصوص المُدونة اللغوية (وتُشتمل على: لغة الترميز المُستخدمة، وصيغة تحويل الرموز / الحروف، وأنواع الخطوط، وأحجام الخطوط وألوانها) والمعلومات الببلوجرافية للنصوص (وتُشتمل على: عنوان الوثيقة، واسم المُصنّف، واسم المُحرّر، وتاريخ التحرير، وعدد الكلمات "بحسب لغة الترميز").

نصوص مُرمّزة	نصوص خام
<pre>xml version="1.0" encoding="UTF-8" ?> <?standalone="yes" <o:Title/>اللائحة الأساسية مجلس النواب المصري</o:Title> <o:Author/>المُشرّع</o:Author> <o:Created>2009-08-></pre>	اللائحة الأساسية التي وافق عليها مجلس النواب المصري وصدر بها الأمر العالي في 18 ربيع الأول سنة 1299 هـ (7 فبراير سنة 1882) نحن خديو مصر بعد الاطلاع على أمرنا الصادر بتاريخ 11 ذي القعدة سنة 1298 الموافق 4 أكتوبر سنة 1881. وبناء على ما قرره مجلس النواب، وموافقة رأي مجلس

وتُتضح أهمية ترميز المُدونات اللغوية للعربية عند التعامل معها برمجياً أو تحليل نصوصها باستخدام أدوات المُعالجة الآلية، إذ لا تتعرّف بعض لغات البرمجة على الترميزات التقليدية للعربية، الأمر الذي يُؤدّي إلى نزوح هذه اللغات وما بُني عليها من أدوات المُعالجة الآلية عن الاستجابة للحروف العربية التي تظهر بصورة مشوهة يُعيق الآلة عن أداء عملها. من ناحية أخرى يُساعد الترميز في التعامل مع المُدونة اللغوية والبرمجيات المُساندة لها عبر الشبكة العنكبوتية من خلال استيعاب بيانات الويب، كما يُمكن من التعامل المباشر مع تقنيات التفتيق عن البيانات، وما يتفرّع عنها كالبُحث في النصوص والبُحث في مُستودعات البيانات، وغير ذلك من المجالات التطبيقية التي يُفيد منها صنّاع المُدونات اللغوية.

ويتمّ ترميز النصوص عبر مرحلتين رئيسيتين:

المرحلة الأولى: تشفير النصوص، وقد التزمت الدّراسة بتشفير نصوص المُدونة اللغوية بصيغة الترميز UTF-8 (Unicode Transformation Format / 8-Bit UCS) وهي صيغة تحويل نظام الحروف الدوليّ المُوحّد بقوة (8 Bit) التي اعتمدها المعهد الأمريكيّ للتّرميز (ANSI). وتتوافق هذه الصيغة مع المعايير القياسية العالمية، كما تدعم العديد من أبجديات اللغات الطبيعية، وإن كان يعيبها كبر المساحة التخزينية التي تشغلها، إذ يتمّ من خلالها تشفير الرمز الواحد في مساحة تخزينية تتراوح بين 1 بايت و 4 بايت (1 Byte : 4 Byte / 8 Bit : 32 Bit).

المرحلة الأخرى: توصيف النصوص، واستُخدمت لذلك لغة الترميز القابلة للامتداد (XML)، وتُعتبر لغة توصيفية مثالية، إذ تدعم نظام الحروف الدوليّ المُوحّد وتعمل كقاعدة مُعطيات مُرمّزة يسهل تنقلها عبر صفحات الويب. واستُخدم لتحرير نصوص المُدونة اللغوية موضوع الدّراسة بلغة الترميز القابلة للامتداد XML برنامج التحرير (مفتوح المصدر) XML Copy Editor 1.1.0.5.

• وفق التّصنيف التّاريخيّ

م	العصر	عدد الكلمات	النسبة المئوية ≡	عدد الوثائق	النسبة المئوية ≡
1	العصر الجاهليّ	161,502	00.14	100	11.51
2	العصر الإسلاميّ	650,819	00.56	101	11.62
3	العصر العبّاسيّ	55,150,687	47.37	383	44.07
4	العصر الوسيط	40,132,211	34.47	147	16.92
5	العصر الحديث	20,319,145	17.45	138	15.88
---	المجموع ∑	116,414,364	99.99	869	100.00

جدول: 1 - عدد الكلمات والنسب المئوية لحُفول المَدونات الفرعيّة وفق التّصنيف التّاريخيّ

• وفق التّصنيف الجُغرافيّ

م	المنطقة الجُغرافيّة	عدد الكلمات	النسبة المئوية ≡	عدد الوثائق	النسبة المئوية ≡
1	شبه الجزيرة العربيّة	6,169,857	05.30	234	26.93
2	بلاد ما بين النّهرين	31,605,843	27.15	211	24.28
3	أرض وادي النيل	30,142,049	25.92	121	14.04
4	بلاد الشّام	20,438,704	17.56	123	14.15
5	شبه جزيرة الأندلس	6,353,048	05.46	58	06.67
6	المغرب العربيّ	4,074,958	03.47	25	02.76
7	منطقة فارس	17,629,905	15.14	97	11.16
---	المجموع ∑	116,414,364	100.00	869	099.99

جدول: 2 - عدد الكلمات والنسب المئوية لحُفول المَدونات الفرعيّة وفق التّصنيف الجُغرافيّ

• وفق التّصنيف الموضوعيّ

م	الحقل	عدد الكلمات	النسبة المئوية ≡	عدد الوثائق	النسبة المئوية ≡
1	الشّعر	6,312,207	05.42	370	42.58
2	القرآن الكريم	78,119	00.07	1	00.11
3	الحديث النبويّ	4,654,659	04.00	9	01.04
4	الكتاب المقدّس	436,807	00.38	2	00.23

04.14	36	01.33	1,548,818	النثر الأدبي	5
21.40	186	26.12	30,417,127	علوم العربية وآدابها	6
04.26	37	05.08	5,909,418	النثر العلمي	7
08.06	70	25.00	29,100,016	التاريخ والأنساب	8
03.79	33	10.30	11,986,418	الطبقات والتراجم	9
02.30	20	02.12	2,466,419	الجغرافيا والرحلات	10
04.26	37	02.22	2,586,860	القوانين والأحكام	11
02.53	22	02.24	2,604,845	الملل والعقائد	12
01.50	13	06.52	7,591,941	الموسوعات	13
01.15	10	07.67	8,933,422	الصحافة	14
02.65	23	01.54	1,787,288	المعارف الأخرى	15
100.00	869	100.01	116,414,364	المجموع Σ	---

جدول: 3 - عدد الكلمات والنسب المئوية لحقول المذونات الفرعية وفق التصنيف الموضوعي

3.1 الوسط الحسابي لبيانات المذونة اللغوية

ويمكن التعبير عنه رياضياً بالمعادلة:

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

أي أن الوسط الحسابي μ يساوي مجموع قيم عناصر المجتمع (المذونة اللغوية) X_i مقسوماً على عدد العناصر (المذونات الفرعية) N . وعليه، يكون متوسط بيانات المذونة كالتالي:

م	التصنيف	متوسط عدد الكلمات لكل حقل	متوسط عدد الوثائق لكل حقل
1	التاريخي	23,282,872.8	173.8
2	الجغرافي	16,630,623.4	124.1
3	الموضوعي	7,760,957.6	57.9
متوسط عدد الكلمات لعدد الأعوام التي تغطيها المذونة "1911" = 60918 كلمة.			

جدول: 4 - متوسطات حقول المذونات الفرعية

3.2 نسبة أخطاء التحرير في المَدونة

لتعيين نسبة الخطأ اللغوي في نُصوص المَدونة مَوْضوع الدِّراسة، سُحِبَتْ مِنْهَا عَيِّنة عشوائية طَبَقِيَّة مَكُونَةٌ مِنْ 116,414 كلمة (0.1 % من حجم المَدونة مَوْضوع الدِّراسة)، بِنِسْبَةِ 0.1 % مِنْ كُلِّ حَقْلٍ مَوْضُوعِيٍّ، وَبِاسْتِخْدَامِ الْمُعَادَلَةِ:

$$\bar{X}_E = \frac{\sum X_i}{n}$$

حَيْث $\bar{X}_E$ الْوَسْطُ الْحِسَابِيُّ لِلْأَخْطَاءِ، وَ X_i عِدَدُ الْأَخْطَاءِ، وَ n عِدَدُ آلَافِ الْعَيِّنَةِ، يَكُونُ مَتَوَسُّطُ الْأَخْطَاءِ لِكُلِّ 1,000 كَلِمَةً = 2.3. وَبَتَّعِيمِ نَتَائِجِ الْعَيِّنَةِ الطَّبَقِيَّةِ، تَكُونُ نِسْبَةُ أَخْطَاءِ التَّحْرِيرِ فِي الْمَدُونَةِ اللُّغَوِيَّةِ = 00.23 %

وَلِلتَّأَكُّدِ مِنْ إِمْكَانِيَّةِ تَطْبِيقِ نَتَائِجِ الْعَيِّنَةِ عَلَى مُجْتَمَعِ الدِّرَاسَةِ (الْمَدُونَةِ اللُّغَوِيَّةِ) نَقُومُ - أَوَّلًا - بِتَّعْيِينِ الْمَتَوَسُّطِ الْحِسَابِيِّ لِأَحْجَامِ حُقُولِ الْعَيِّنَةِ الْمُخْتَارَةِ بِاسْتِخْدَامِ الْمُعَادَلَةِ:

$$\bar{X}_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i = \frac{\sum X_i}{n}$$

حَيْث $\bar{X}_s$ الْوَسْطُ الْحِسَابِيُّ لِأَحْجَامِ حُقُولِ الْعَيِّنَةِ، وَ X_i عِدَدُ الْكَلِمَاتِ، وَ n عِدَدُ الْحُقُولِ، ثُمَّ نَقُومُ بِتَّعْيِينِ الْانْحِرَافِ الْمِعْيَارِيِّ لِلْعَيِّنَةِ، بِاسْتِخْدَامِ الْمُعَادَلَةِ:

$$S_D = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_s)^2} = \sqrt{\frac{\sum (X_i - \bar{X}_s)^2}{n-1}}$$

حَيْث S_D الْانْحِرَافُ الْمِعْيَارِيُّ لِلْعَيِّنَةِ الطَّبَقِيَّةِ، وَ X_i قِيَمُ عَنَاصِرِ الْعَيِّنَةِ، وَ $\bar{X}_s$ الْمَتَوَسُّطُ الْحِسَابِيُّ لِأَحْجَامِ حُقُولِ الْعَيِّنَةِ، وَ n عِدَدُ كَلِمَاتِ الْعَيِّنَةِ؛ فَتَكُونُ قِيَمَتُهُ:

ثُمَّ نَقُومُ بِتَّعْيِينِ الْخَطَأِ الْمِعْيَارِيِّ لِلْعَيِّنَةِ (وَيُقْصَدُ بِهِ دَرَجَةُ الْاِخْتِلَافِ بَيْنَ الْعَيِّنَةِ وَمُجْتَمَعِ الدِّرَاسَةِ)، وَذَلِكَ بِاسْتِخْدَامِ الْمُعَادَلَةِ [6]:

$$S_E = \sqrt{(N-n)/(N-1) * (S_D^2 / n)}$$

حَيْث S_E الْخَطَأُ الْمِعْيَارِيُّ لِلْعَيِّنَةِ، وَ N حِجْمُ الْمُجْتَمَعِ (عِدَدُ كَلِمَاتِ الْمَدُونَةِ)، وَ n حِجْمُ الْعَيِّنَةِ (عِدَدُ كَلِمَاتِ الْعَيِّنَةِ)، وَ S_D الْانْحِرَافُ الْمِعْيَارِيُّ لِلْعَيِّنَةِ؛ فَتَكُونُ نَتِيجَتُهُ:

$$CI = \bar{X}_E \pm (Z * S_E)$$

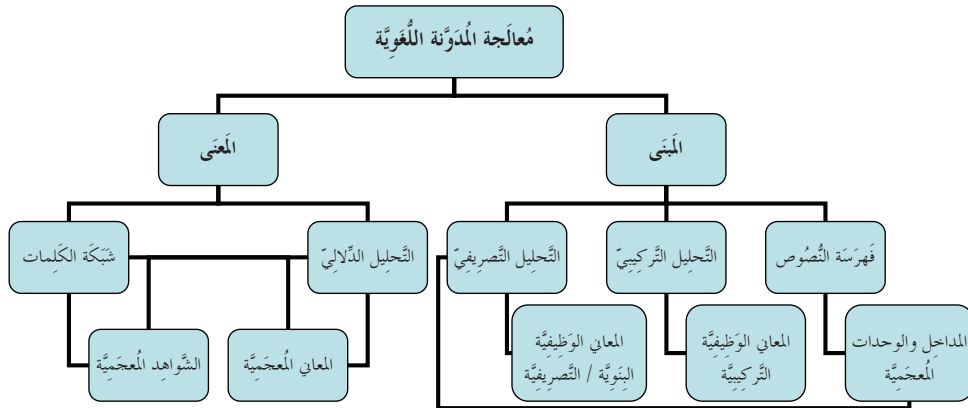
وَعَلَيْهِ.. يُمَكِّنُ حِسَابَ فِتْرَةِ الثِّقَّةِ التَّقْدِيرِيَّةِ بِاسْتِخْدَامِ الْمُعَادَلَةِ:

$$CI = 2.3 \pm (1.96 * 0.09) = 2.1 \text{ to } 2.5$$

حَيْث CI فِتْرَةُ الثِّقَّةِ لِنِسْبَةِ أَخْطَاءِ التَّحْرِيرِ، وَ $\bar{X}_E$ الْوَسْطُ الْحِسَابِيُّ لِلْأَخْطَاءِ (لِكُلِّ 1000 كَلِمَةً)، وَ Z قِيَمَةٌ مِعْيَارِيَّةٌ ثَابِتَةٌ (تُسَاوِي 1.96 لِمُسْتَوَى الثِّقَّةِ 95 %)، وَ S_E الْخَطَأُ الْمِعْيَارِيُّ لِلْعَيِّنَةِ. وَهُوَ مَا يَعْني أَنَّ: نِسْبَةُ أَخْطَاءِ التَّحْرِيرِ فِي الْمَدُونَةِ اللُّغَوِيَّةِ مَوْضُوعِ الدِّرَاسَةِ تَتَرَاوَحُ بَيْنَ 2.1 إِلَى 2.5 لِكُلِّ 1000 كَلِمَةً، بِدَرَجَةِ ثِقَّةٍ 95 %.

4 المعالجة الآلية لنصوص المدونة اللغوية

للولوف على منهج مناسب في المعالجة الآلية لنصوص المدونة اللغوية موضوع الدراسة وتعيين الآليات التي تحقق الغاية منها، ينبغي أن نقف أولاً على المعلومات الأساسية التي سيفيد منها المعجم التاريخي المنشود، ثم نحدد المعلومات التي سنستقيها من المدونة اللغوية للمعجم. وفي ضوء مفهوم المعجم التاريخي – المذكور آنفاً – يمكن القول: إن المدونة اللغوية للمعجم التاريخي هي مصدر المداخل والوحدات المعجمية، وهي مصدر المعاني الوظيفية لهذه الوحدات؛ كما أنها مصدر المعاني المعجمية والشواهد التي نؤرخ لاستعمال المفردات والتطور الحادث فيها. وعليه.. أخضعت نصوص المدونة اللغوية للتحليل الآلي على مستويين، كما بالشكل التالي [1]:



الشكل 2. الآليات المستخدمة في المعالجة الآلية لنصوص المدونة اللغوية للمعجم التاريخي للعربية

4.1 المعالجة على مستوى المباني

1. آلية فهرسة النصوص:

تعتمد آلية فهرسة النصوص – في الأساس – على التحليل التصريفي، حيث تُعنى المفهرسات الآلية بتحليل النصوص إلى فقرات وجمل، ثم تحليل الجمل إلى كلمات، ثم تحليل الكلمات إلى فروع تكون الوحدات المعجمية المنفردة عن المداخل. وتخضع عملية التفرع لطبيعة اللغة المفهرسة، فتزيد قدره المفهرسات الآلية على تفرع الكلمات عند فهرسة نصوص اللغات الإلصاقية (كالألمانية والإنجليزية والفرنسية)، وتقل عند فهرسة نصوص اللغات الاشتقاقية

(كالعربية والعبرانية والحسبية)؛ لهذا.. نستخدم أدوات مساعدة للمفهرسات الآلية عند تحليل النصوص العربية كالمحلات التركيبية والتصرفية.

وبالإضافة إلى ما تنمّع به المفهرسات الآلية من قدرة على إدارة النصوص، وحصر تردّداتها، وإعادة تشكيلها في قواعد معطيات مننظمة، فإنها تقوم بحصر السياقات والتراكيب التي تردّ فيها المفردات، كما تتيح عدداً من خيارات البحث والترتيب. واستخدمت في فهرسة نصوص المدونة آليتان، هما آلية الفهرسة الجذعية، وآلية الفهرسة الألفبائية.

1	وبرز في علم القراءات وعمر <u>دروس</u> للقراء وسماها دار القرآن
2	الكرّم الوحيدة قلى <u>المدرسة</u> العنصرية والمسروية وعربي
3	ابن المقير وجلّ عنه الجماعة ودرس بالمسمارية وكان صديقاً محترماً
4	الخمام وساهم سكباً للشخ <u>المدرس</u> ها انتهى. وقال الذهبي في
5	وهذان ودمشق وحران من خلائق ودرس بالقدس الشريف في الصالحة
6	من معلّ القدس انتهى. ثم <u>درس</u> بدمشق في الشامية الخواصة
7	ثلاث عشرة سنة انتهى. ثم <u>درس</u> بالرواحه وهو أول من <u>درس</u> بها
8	ثم <u>درس</u> بالرواحه وهو أول من <u>درس</u> بها واشتغل وأفتى وكانت
9	وسرع فقه وتقدم وأفتى وناظر ودرس وناب عن أبيه في الحكم واشتغل
10	بعد أبيه مدة قليلة ثم عزل ودرس بالغرالية مدة كما سبق وباشر
11	وفي جمادى الآخرة منها <u>درس</u> النسخ شهاب الدين أبو شامة عدد
12	أنه لم يراجع شيئاً حتى أورد <u>دروسه</u> ومثله لاستكثر عليه ذلك

الشكل 3. نموذج لمادة مفهرسة جذعياً – من كتاب "الدّارس في تاريخ المدارس للنعيمي"

أَمِيناً أَمَامَكَ، وَقَطَعْتَ مَعَهُ	العهد	أَنْ تُعْطِيَ أَرْضَ الْكَعْبَانِينَ
الشَّرَائِعَ، عَثَرُوا الْفَرِيسَةَ، بَكَوْا	العهد	الْأَدْيَى. لِذَلِكَ لَعَنَ أَكْثَرُ
أَلِهَةٍ أُخْرَى. وَلَا تَسْجُدُوا	العهد	الَّذِي قَطَعَهُ مَعَهُمْ، وَلَا
وَتَصْغَى إِلَى الَّذِينَ تَرْكَبُوا	العهد	الْمَقْدَسَ. وَتَقُومُ مَعَهُ أَدْرَعُ
أَنَاثًا قَطَعَ الرَّبُّ هَذَا	العهد	بَلْ مَعًا نَحْنُ الَّذِينَ
نَادَ غَايِرُ السَّبِيلِ. بَكَتْ	العهد	رَدَلُ الْمُدُنِ. لَمْ يَعْذُ
حَقِيرَةً وَلَا تَرْتَفِعْ، لِيَحْفَظْ	العهد	فَتَبَّتْ. فَتَمَرَّدَ عَلَيْهِ بِأَرْسَالِهِ
مُحَرَّفَاتٍ. وَلَكِنَّهُمْ كَادَمَ تَعَذُّوا	العهد	هُنَاكَ عَذَّرُوا بِي. حَلَعُوا
يَحْفَظُ لَكَ الرَّبُّ إِيَّاكَ	العهد	وَالْإِحْسَانَ لِلَّذِينَ أَقْسَمَ لَأَنَاثِكَ،
اللَّهُ، إِلَهَ الْآمِينَ، الْخَافِظُ	العهد	وَالْإِحْسَانَ لِلَّذِينَ يُحِبُّونَهُ وَيَحْفَظُونَ

الشكل 4. نموذج لمادة مفهرسة ألفبائياً – نموذج من "العهد القديم"

2. آليّة التحليل التركيبي:

وفقاً لطبيعة المعجم التاريخي المنشود، يُطلَبُ تعيين المعاني الوظيفية للوحدات المعجمية – على المستوى التركيبي – إخضاع نُصوص المُدَوَّنة للمعالجة التركيبية عبر مرحلتين رئيسيتين، يُحدّد من خلالهما الوصيف الحوي (التركيبي) لوحدات المعجم:

- **المرحلة الأولى: تعيين أجزاء الكلام.** وتُعى بتعيين أجزاء الكلام ووظائفها في الجملة العربية، ومن تطبيقاتها في صناعة المعجم:
- **بالنسبة للاسم:** تعيين نوعه من حيث الأفراد والتثنية والجمع، وتعيين جنسه من حيث التذكير والتأنيث.
- **وبالنسبة للفعل:** تعيين زمنه (ماضي، أو مضارع، أو طلبي)، وتعيين نوعه (مُعَدّ، أو لازم).
- **وبالنسبة للأداة:** تعيين أدوات الاستفهام، وحروف الجرّ، والعطف، وأدوات التعجب.
- **المرحلة الأخرى: إعراب أجزاء الكلام.** وتُعى بتعيين حركات أجزاء الكلام في حالتي الإعراب والبناء، وتكون على النحو التالي:
- **الاسم:** يأتي مُعرّباً (وحالاته: الرّفْع، والنّصب، والخفض)، ويأتي مَبْنِيّاً (وحالاته: بناء الضمّ، وبناء الفتح، وبناء الكسر، وبناء السكّون).
- **الفعل:** يأتي مُعرّباً (وحالاته: الرّفْع، والنّصب، والجرّم)، ويأتي مَبْنِيّاً (وحالاته: بناء الضمّ، وبناء الفتح، وبناء الكسر، وبناء السكّون).
- **الأداة:** تأتي مَبْنِيّة (وحالاتها: بناء الضمّ، وبناء الفتح، وبناء الكسر، وبناء السكّون).

The software interface is titled "Moataz Syntactic Analyzer 1.04". It features a menu bar with "File", "Edit", "View", and "Help". Below the menu is a toolbar with "Insert", "Save", and "Search" buttons. A central text area displays the Arabic text: "ويعقوب، والأسباط وما أوتي موسى وعيسى وما أوتي النبيون من ربه لا يُفوق دين أحد منهم ونحن له مسلمون. فإن آمنوا بمثل ما آمنتم به فقد اهتدوا وإن تولوا فإنما هم في شقاق. سبّح اسم الله وهو السميع العليم صيغة الله، ومن أحسن من الله صيغة ونحن له عابدون. قل أنجاهوئنا في الله وهو ربنا وربكم ولنا أعقابنا ولكم أعقابكم ونحن له مسلمون. أم تقولون إن إبراهيم وإسماعيل". Below the text area is a section for "Analyze Text" with input fields for "Word" (فسيكهم) and "Stem" (كفي). The main part of the interface is divided into three columns for "Tagging (Parts Of Speech)":

- Noun:** Includes "Individuals - Deuteronomy - Combine" (Singular, Dual, Plural) and "Masculinity - Femininity" (Masculine, Feminine).
- Verb:** Includes "Verb Tense" (Perfect Tense, Imperfect Tense, Imperative Tense) and "Classification of verbs" (Transitive Verb, Intransitive Verb).
- Particle:** Includes "Grammatical particle" (Question word, Preposition, Conjunction, Interjection, Other).

Below the tagging section is a "Parsing" section with three columns for "Noun Vowels - Consonants", "Verb Vowels - Consonants", and "Particle Vowels - Consonants". Each column has checkboxes for "فتح", "ضم", "كسر", and "سكّون". The footer of the window reads "© 2009 Moataz Tools - moataz@cu.edu.eg".

الشكل 5. آليّة التحليل التركيبي Syntactic Analyzer 1.04 - نموذج من (القرآن الكريم)

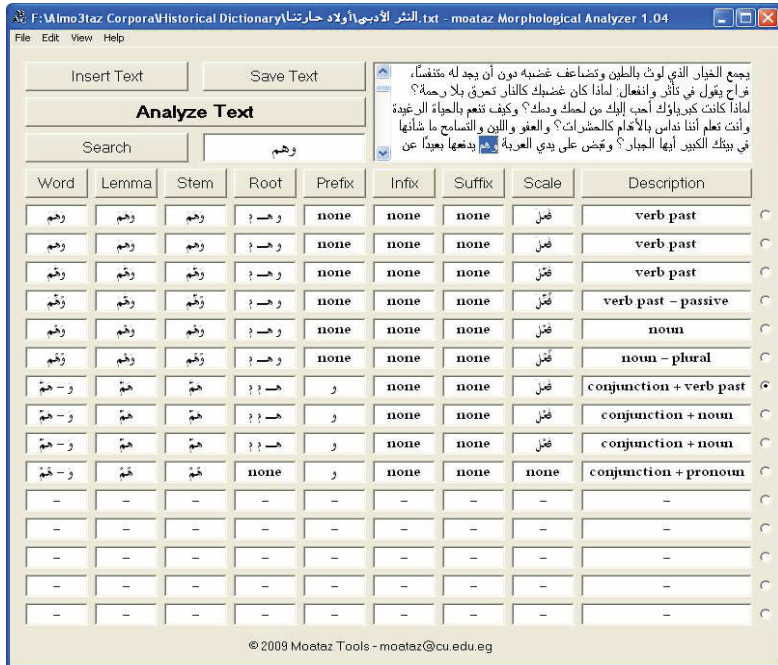
3. آليّة التحليل التصريفي:

وحدة التحليل التصريفي هي المورفيم الذي يُعرَف - في اصطلاح اللغويين - بأنه أصغر وحدة لغوية مُجرّدة لها معنى [7]، أو بمعنى آخر: هو الصيغة المُجرّدة كجزء من النظام اللغوي. وتتداخل المورفيمات نتيجة التآلف بين عناصر الكلمة (الجزر، والجذع، والفرع، والسابقة واللاحقة) [1].

ووفقاً لهذه العناصر، تخضع آليّة التحليل التصريفي لثلاث إجراءات:

- **التجذير**. ويُقصدُ به تحليل الكلمات إلى جذور.
- **التّجذيع**. ويُقصدُ به تحليل الكلمات إلى جذوع.
- **التّفريع**. ويُقصدُ به تحليل الكلمات إلى فروع (وحدات المعجميّة).

وقد ساعدَ النظامُ التصريفيّ القياسيّ للعربيّة على تطوير خوارزمية التحليل التصريفي لها وتحسين أداء المحلّلات التصريفية لمفرداتها، إذ يقوم على معطيات ثابتة لقواعد التصريف العربي؛ ومن خلال هذه المعطيات تُبنى الآليّة لتكون قادرة على توليد الأبنية من عناصرها الأولية (الجذور والجذوع والفروع) وتحليل الأبنية إلى عناصرها الأولية وفق ما تسمَح به طبيعّة اللّغة العربيّة الاشتقاقية.



الشكل6. آليّة التحليل التصريفي Morphological Analyzer 1.04 - نموذج من (أولاد حارثا لنجيب محفوظ)

4.2 المعالجة على مستوى المعاني

1. شبكة الكلمات العربية:

تمثل شبكة الكلمات قاعدةً معطياتٍ معجمية، تحلّل فيها نُصوصُ اللُّغةِ إلى أجزاء الكلام، ثمّ تُصنّف في مجموعات من المترادفات الإدراكية التي تُعبّر عن مفاهيم واضحة وترتبط فيما بينها بشبكة من العلاقات الدلالية [8]. وتحقيقاً للغاية من المدونة اللغوية للمعجم التاريخي المنشود – باعتبارها مادةً لمعجم من معجمات الألفاظ – ينبغي أن يكون التركيز عند الاستعانة بشبكة الكلمات العربية على التمييز بين الدلالات المختلفة لأجزاء الكلام المثقفة في الشكل الكتابي (الاسم N، والفعل V، والأداة P).

فالشكل المجرد للكلمة العربية يحمل عدداً من الدلالات، كما في كلمة (من) التي تتنوع دلالاتها كما بالجدول التالي:

م	الكلمة	المثال من المدونة (الوثيقة: القرآن الكريم)	الدلالة	PoS
1	مَنْ	﴿وَوَضَعْنَا عَلَىٰ عَنُقِكُمُ الْوِجَامَ وَأَنزَلْنَا عَلَيْكُمُ الْمَنَّاءَ وَاسْلَوِي﴾	طَلَّ يَطْلُ مِنَ السَّمَاءِ	N
2	مَنْ	﴿يَتَأَيَّهَا الَّذِينَ ءَامَنُوا لَا تُبْطِلُوا صَدَقَتِكُمْ بِالْمَنِّ وَالْأَذَىٰ﴾	التَّفَاخُرُ بِالْإِنْعَامِ	N
3	مَنْ	﴿أَلَمْ تَرَ أَنَّ اللَّهَ يَسْجُدُ لَهُ مَن فِي السَّمٰوٰتِ وَمَن فِي الْأَرْضِ﴾	اسم مَوْضُول	N
4	مَنْ	﴿قَالُوا يَبُولْنَا مَن بَعْثَنَا مِن مَّرْقَدِنَا﴾	اسم اسْتِفْهَام	N
5	مَنْ	﴿وَرُبِّدْ أَن تَمَنَّ عَلَىٰ الذِّبِّ اسْتَضْعِفُوا فِي الْأَرْضِ﴾	أَنْعَمَ	V
6	مَنْ	﴿يَمُنُّونَ عَلَيْكَ أَن أَسْلَمُوا قُلْ لَا تَمُنُّوا عَلٰٓىٰٓ إِسْلَمِكُمْ﴾	تَفَاخَرُ بِالْإِنْعَامِ	V
7	مِنْ	﴿فَلَقَّٰهُ ءَادَمُ مِن رَّبِّهِ ۖ كَلِمَتٍ فَنَابَ عَلَيْهِ ۚ إِنَّهُ هُوَ التَّوَّابُ الرَّحِيمُ﴾	حَرْفُ جَرٍّ	P

جدول: 5 – التَّوَعُّدُ الدَّلَالِيّ فِي الْمُدُونَةِ اللُّغَوِيَّةِ – نُمُوذَجٌ مِنَ "الْقُرْآنِ"

وقد تمكّن فريق من الباحثين بجامعة برشلونة ومانشيستر وبعض المؤسسات العلمية من بناء وتطوير شبكة الكلمات العربية خلال الفترة من 2005 : 2007، بإشراف الباحثة الألمانية كريستيان فيلباوم Christiane Fellbaum. وتقوم الفكرة الأساسية لشبكة الكلمات العربية على نظرية الحُفُولِ الدلالية التي يُعبّر عنها بالبناء الشجري، حيث تُصنّفُ مفردات الشبكة إلى: الأسماء والأفعال، ويُفرّغ عن كلّ منهما مجموعة من الحُفُولِ التي تُضمُّ عدداً من المفردات التي تمثل حُفُولاً فرعيةً تُضمُّ بدورها مفرداتٍ أخرى.. وهكذا.

2. آليّة التحليل الدلالي:

تُعتبرُ آليّةُ التحليل الدلالي إحدى تطبيقات الذكاء الاصطناعيّ المتقدّمة، حيثُ تُرمي إلى إخضاع الآلة لفهم مُفردات اللّغة في جُملةٍ من السّيّاقات والأنماط التركيبيّة بالاعتماد على مُعطياتٍ سابقةٍ يُحدّدها الهدفُ الذي يُبنى لأجله المحلّل الدلاليّ. ووفقاً لطبيعة المدوّنة اللّغويّة موضوع الدّراسة والهدف منها، فإننا سنكون بحاجة إلى محلّل قادر على فكّ اللبس الدلاليّ للكلمات، أو بعبارة أخرى: سنكون بحاجة إلى أداة قادرة على تعيين دلالات المُفردات بتحليل سياقاتها في هذا القدر من النّصوص.

وتستمدّ آليّة فكّ اللبس الدلاليّ فكرتها من المتصاحبات اللفظيّة التي تتكوّن عن سلسلةٍ من كلمتين أو أكثر، تتلّزم مُفرداتها في علاقةٍ تركيبية [9]، كعلاقة الفعل والفاعل (مثل: صاح الديك، ساد الصمّت) وعلاقة الفعل والمفعول (مثل: قدّم استقالة، أحرز هدفاً) وعلاقة الإضافة (مثل: عابر سبيل، قاطع طريق).

لكنّ الآليّة تأخذ بعداً آخرٍ إذ يكون التّلازم على مستوى السّياق بأكمله؛ فالكلمة العربيّة ترتبط في دلالاتها بكلماتٍ أخرى في حيّز الجوار، سواءً أكانت سابقة لها أم لاحقة بها، وسواءً أكانت مُصاحبة لها أم مُنفصلة عنها؛ ويتكرّر التّصاحبُ بين الكلمة ومتصاحباتها بصورةٍ كبيرةٍ نسبياً، الأمر الذي يجعلنا قادرين على الرّبط بين الكلمات الواردة في مجموعةٍ من السّيّاقات، وبالتالي.. يُفوّدنا ذلك إلى تعيين المعاني المُعجميّة لمُفردات النّصوص.

وعليه.. تقومُ الفكرةُ الأساسيّة لآليّة فكّ اللبس الدلاليّ على استدعاء معني الكلمة مُتعدّدة الدّلالات من خلال الكلمات المُصاحبة لها في السّياق، إذ يغلبُ على هذه الكلمات أن تشترك معها في حقلٍ دلاليٍّ واحد [10].

وتقومُ الخوارزميّات المُستخدمة في بناء آليّة فكّ اللبس الدلاليّ بدورٍ فعّالٍ في إحصاء ترّدّد الكلمات المُصاحبة للكلمات مُتعدّدة الدّلالات في سياقاتها لمعرفة مدى استجابتها للتّصاحب مع كلماتٍ معيّنة، ومعرفة نسبةٍ ورودها مع مُتصاحباتٍ دون غيرها، ثمّ معرفة مدى استجابة الكلمة ومتصاحباتها للارتباط بدلالةٍ من الدّلالات المُعبّرة عنها.

وقد اعتمدت الدّراسة – في فكّ اللبس الدلاليّ لمُفردات المدوّنة – على خوارزمية Lesk التي قدّمها المبرمج الأمريكي مايكل ليسك Michael Lesk في عام 1986م؛ وتفترض هذه الخوارزمية وجودَ علاقةٍ بين الكلمة ودلالاتها من ناحية، ودلالات الكلمة وتعريفاتها المُفصلة لها من ناحيةٍ أخرى. وعليه.. تقومُ الخوارزمية على ثلاثة إجراءاتٍ رئيسيّة:

1. إعداد قائمة بدلالات الكلمة.
2. تعيين التعريفات المُفصلة لدلالات الكلمة.
3. مطابقة التعريفات بنصوص المدوّنة اللّغويّة الحاوية لسياقات الكلمة.

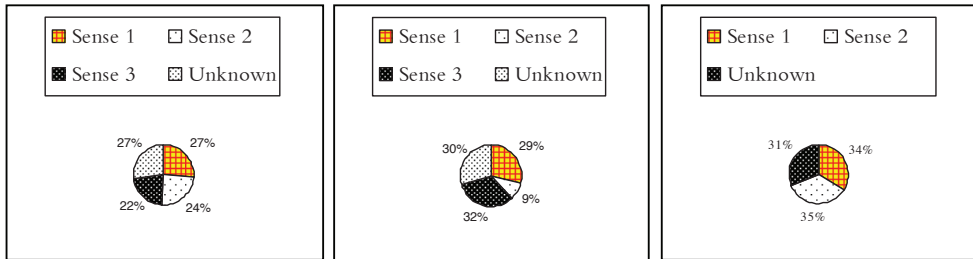
وبتطبيق الخوارزمية على اللّغة العربيّة.. يُمكن القول: إنّ خوارزمية فكّ اللبس الدلاليّ للعربيّة هي نتيجة اتّحاد السّيّاقات المُستمدّة من المدوّنة اللّغويّة مع العلاقات الدلاليّة المُستمدّة من شبكة الكلمات العربيّة. وللوقوف على أهميّة فكّ اللبس الدلاليّ في اللّغة العربيّة ودوره في مُعالجة نصوص المدوّنة اللّغويّة للمعجم الثّاريخي المنشود في ضوء خوارزمية Lesk، فُنا باختبار ثلاث

كلمات مُتعدِّدة الدلالة (جدول، حاجب، سرطان)، ثم قاموا باختيار عَيِّنة عشوائية من نُصوص المدوَّنة اللُّغويَّة موضوع الدِّراسة تحوي عددًا من السِّياقات المُعبِّرة عن دلالات الكلمة، بواقع مائتي سياق لكلِّ دلالة على حِدة، كما يُوَضَّحها الجدولُ التَّالي:

م	الكلمة	S	الدلالة (المعنى المُعجمي)	عدد السِّياقات
1	جدول	1	مجرى صَغير للمياه	200
		2	صفحة يُخط فيها خُطوط مُتوازية ومُقاطعة، تُكوِّن مُربَّعات يُكتبُ فيها بينها	200
2	حاجب	1	الشَّعر الثَّابت فوق العَين	200
		2	خازن الباب وحارسه	200
		3	عَلم (من أسماء الذُّكور) / وَظيفَة	200
3	سرطان	1	حيوانٌ بحريٌّ من القشريَّات العشريَّات الأرجل	200
		2	أحد بروج السماء، بين الجوزاء والأسد	200
		3	ورم خبيث يتولد في الخلايا الظاهرية الغُدِّيَّة، يتفشَّى في الأنسجة المجاورة	200

جدول: 6 - دلالات العَيِّنة المُحلَّلة دِلاليًّا

ويُتحليل سياقات الكلمات الثلاثة على مُستوى الجذع، كانت النِّتائج على النِّحو التَّالي:



الشكل 7. النِّسب المِنويَّة لدلالات العَيِّنة المُحلَّلة دِلاليًّا - خوارزمية Lesk

وبعد... فقد سعت الدراسة إلى بناء مدونة لغوية مُحوسبة لمعجم تاريخي للغة العربية، صنفت نُصوصها تاريخياً لتشمل عصور العربية الأدبية، وجغرافياً لتشمل مراكزها الثقافية والحضارية، وموضوعياً لتشمل خمسة عشر حقلاً معرفياً؛ وتوصلت الدراسة - من خلال جمع النصوص وتصنيفها وتحليلها - إلى عددٍ من النتائج على النحو التالي:

1. بلغ عدد كلمات المدونة 116,414,364 كلمة، تضمها 869 وثيقة، وتنتمي نصوصها إلى الفترة من عام 480 ق.هـ / 157 م : 1431 هـ / 2010 م.
2. اشتملت المدونة اللغوية على خمس مدونات فرعية تمثل العصور الأدبية للغة العربية: العصر الجاهلي (161,502 كلمة، بنسبة 0.14 %)، والعصر الإسلامي (650,819 كلمة، بنسبة 0.56 %)، والعصر العباسي (55,150,687 كلمة، بنسبة 47.37 %)، والعصر الوسيط (40,132,211 كلمة، بنسبة 34.47 %)، والعصر الحديث (20,319,145 كلمة، بنسبة 17.45 %).
3. بلغت نسبة النصوص المشكولة كلياً إلى النصوص المشكولة جزئياً إلى النصوص غير المشكولة 1 : 1.3 : 7.7 على الترتيب.
4. بلغ عدد الأعوام التي تغطيها المدونة - وفق التاريخ الهجري - 1911 عاماً.
5. بلغ متوسط عدد الكلمات لعدد الأعوام التي تغطيها المدونة اللغوية 60,918 كلمة.
6. تراوحت نسبة أخطاء التحرير في المدونة اللغوية بين 2.1 : 2.5 لكل 1000 كلمة، بدرجة ثقة 95 %.
7. أمكن إخضاع نصوص المدونة لآلية الفهرسة - الألفبائية والجذعية، وأفاد منها الباحث في تعيين المداخل والوحدات المعجمية للنموذج المعجمي.
8. أمكن إخضاع نصوص المدونة لآلية التحليل التركيبي عبر مرحلتين (تعيين أجزاء الكلام، وإعراب أجزاء الكلام)، وأفاد منها الباحث في تعيين المعاني الوظيفية - التركيبية - للوحدات المعجمية.
9. أمكن إخضاع نصوص المدونة لآلية التحليل التصريفي - البنيوي - وفق الإجراءات الثلاثة (التجذير والتجذيع والتفريع)، وأفاد منها الباحث في تعيين المعاني الوظيفية - التصريفية - للوحدات المعجمية.
10. أمكن الإفادة من شبكة الكلمات العربية في تبسير الحصول على مخرجات العلاقة الدلالية التي تحقق الغاية من المدونة اللغوية للمعجم التاريخي (علاقة الترادف)، باعتباره معجماً من معجمات الألفاظ.
11. أمكن إخضاع نصوص المدونة لآلية التحليل الدلالي، وأفاد منها الباحث في فكّ اللبس الدلالي للكلمات في الوحدات المعجمية التي عرّض لها النموذج المعجمي، وأبانت الآلية عن إمكانية دراسة التطور اللغوي للكلمات، كما أبانت عن مدى تأثير الكلمة بمصاحبات لغوية - على مستوى السياق - تتغير وتبدل وفقاً للحدود الزمانية والمكانية للغة بما يؤدي إلى دلالات متنوعة للكلمة محل الدراسة.

- [1] السعيد (المُعْتَرِّ بالله): مُدَوَّنَةٌ مُعْجَمٌ تَارِيخِيٌّ لِللُّغَةِ الْعَرَبِيَّةِ "مُعَالَجَةٌ لُغَوِيَّةٌ حَاسُوبِيَّةٌ"، رسالة دكتوراه، جامعة القاهرة، 2011م.
- [2] كورينطي (فيدريكو): دَوْرُ الْعَامِّيَّةِ وَالسَّامِيَّاتِ فِي الْمُعْجَمِ الْعَرَبِيِّ التَّارِيخِيِّ، مَجَلَّةُ الْمُعْجَمِيَّةِ، الْعَدَدُ الْخَامِسُ، وَقَائِعُ نَدْوَةِ "الْمُعْجَمِ الْعَرَبِيِّ التَّارِيخِيِّ: قَضَائِيَاهُ وَوَسَائِلُ إِنْجَازِهِ"، ثُوْنُس، 1989م.
- [3] Sampath, S. (1996). Sampling theory and methods. CRC Press.
- [4] السعيد (المُعْتَرِّ بالله): مُدَوَّنَةٌ مُعْجَمٌ عَرَبِيٌّ مُعَاَصِرٌ "مُعَالَجَةٌ لُغَوِيَّةٌ حَاسُوبِيَّةٌ"، رسالة ماجستير، جامعة القاهرة، 2008م.
- [5] GNU Free Documentation License. From: <http://www.gnu.org/copyleft/fdl.html>
- [6] Kalton, G. (1983). Introduction to survey sampling. SAGE
- [7] Bloomfield, L. (1984). Language. University of Chicago Press.
- [8] Armstrong, A. & Armstrong, S. (1999). Natural language processing using very large corpora. Springer.
- [9] Firth, J. R. (1957). Papers in linguistics: 1934-1951. Oxford University Press.
- [10] Eid, S. M. & Al-Said, A. B. & Wanas, N. M. & Rashwan, M. A. & Hegazy, N. H. (2010). A Comparative Study of Rocchio Classifier Applied to supervised WSD Using Arabic Lexical Samples. 10th Conference on Language Engineering. Ain Shams University. Cairo

الملخص باللغة الانجليزية

Title: The Historical Arabic Dictionary Corpus "Approach & Processing"

Abstract. The subject of this paper is (The Historical Arabic Dictionary Corpus "Approach & Processing"). It aims to Providing a methodology to processing the corpus text using the linguistic analysis tools, approval to the Arabic language nature and its writing system, as to achieve the purpose for which the corpus designed for it. The Corpus has been designed according to the descriptive approach, as it derives its materials from the common Arabic texts through the ages of Arabic. The research varies between Corpus Linguistics; which interested in research in the phenomena of language and interpretation it through a variety of computerized texts which represent the linguistic reality, Statistical Linguistics; which interested in description of linguistic data based on the methods of statistical analysis and Computational Linguistics; which interested in directing the computer systems to understand the natural languages and simulation of human intelligence.

Keywords: Corpus Linguistics, Computational Linguistics, Corpora Processing, Historical Dictionary.

Historical Dictionary	المُعْجَمُ التَّارِيخِيّ
Parts of Speech	أجزاء الكلام
Web Mining	استِدْعاء بيانات الويب
PoS Parsing	إعراب أجزاء الكلام
Word Sense Disambiguation (WSD)	آليّة فكّ اللبس الدَّلاليّ
Rooting	التَّجْذِير
Stemming	التَّجْذِيع
Encoding	التَّرميز
PoS Tagging	تعيين أجزاء الكلام
Lemmatisation	التَّفرِيع
Optical Character Recognition (OCR)	تقنية القارئ الآليّ
Data Mining	التَّنْقِيبُ عن البيانات
Root	الجزر
Stem	الجدع
GNU Free Documentation License	رُخصة جنو للوثائق الحرة
Prefix	السَّابِقَة
Arabic Wordnet	شبكة الكلمات العربيّة
Portable Document Format	صيغة الوثيقة المُنْقَلَة
Hyper Text Markup Language	صيغة صفحات الويب
Stratified Sample	عَيِّنة طَبَقِيَّة
Purposive Sample	عَيِّنة قَصْدِيَّة
Lemma	الفرع
Suffix	اللاحقة
Corpus Linguistics	لسانيّات المُدَوَّنة
Extensible Markup Language (XML)	لغة التَّرميز القابلة للامتداد
Scanner	الماسح الضوئيّ
Linguistic Corpus	المُدَوَّنة اللُّغَوِيَّة
Statistical Sampling Theory	نظريّة العَيِّنات الإحصائيّة
Morpheme	وحدة صرفيّة (مورفيم)

إعداد نسخة تفاعلية من قاموس إشاري ديني باستخدام الرسوم ثلاثية الأبعاد المعروفة بالشخصيات الافتراضية

يحيى محمد الحاج، زهير زميرلي، كمال عيادي، بسمة فرج

فريق "آرسكم" البحثي

كلية علوم الحاسب والمعلومات

جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية

الرياض – المملكة العربية السعودية

yelhadj@imamu.edu.sa, zouhir.zemirli@gmail.com,

ayadi_kamel1@yahoo.fr, basmah@live.co.uk

الخلاصة. تقدم هذه الورقة تفاصيل بناء وتجهيز نسخة تفاعلية من قاموس إشاري ديني تم اعداده في احدى مراحل تنفيذ مشروع للترجمة الآلية من اللغة العربية إلى لغة الإشارة السعودية. وقد تم الحديث في ورقة منفصلة عن بناء القاموس الإشاري الديني، اختيار مجاله ومفرداته ثم وضع إشارته وتصويرها. وهنا نركز على استخدام الرسوم ثلاثية الأبعاد أو ما يعرف بالشخصيات الافتراضية لإنتاج نسخة حركية من هذا القاموس.

الكلمات الجوهرية: لغة الإشارة، لغة الإشارة السعودية، قاموس إشاري، رسوم ثلاثية الأبعاد، محرر الإشارات، مستعرض الإشارات.

1 مقدمة

لغة الإشارة هي وسيلة تواصل يستخدمها الصم والبكم في ما بينهم كما يستخدم الكلام بين الأشخاص الطبيعيين. وهي تعتمد على حركات مرئية لليدين والجزء العلوي من الجسم وتعابير الوجه. ولكل حركة دلالة معينة تعبر عن مصطلح أو كلمة. ولتواصل الصم مع من حولهم، فهم يحتاجون إلى مترجم لتحويل الكلام إلى ما يقابله في لغة الإشارة والعكس. وينجم عن ذلك مشكلتين بارزتين، أولاً تتعلّق بعدم توفر مترجم بشكل دائم، وثانيهما تتعلّق بخصوصيات الأشخاص أنفسهم لوجود طرف ثالث في الحوار. من هذا المنطلق، تلح الحاجة لإيجاد وسائل مناسبة لتسهيل اندماجهم وتواصلهم الاجتماعي مع من حولهم.

لقد ظهر في الآونة الأخيرة ما أصبح يعرف بالتقنيات المساعدة، التي تعد مجالاً مهماً جداً حين نتحدث عن فئة المعاقين بشكل عام، وذلك لكونها تساعدهم وتسهل عليهم الكثير في حياتهم وتزيد من فرص اندماجهم في المجتمع بشكل عام وفي مجالات حيوية كثيرة كالتعليم والعمل. وهذه

التقنيات تتضمن أي أجهزة أو معدات أو برامج أو خدمات تصمم بشكل خاص لإعانة المعاقين على الاستقلال بحياتهم.

هناك العديد من التقنيات المساعدة التي صممت "للمكفوفين" و"الصم والبكم" والمصابين ببعض "الشلل"، وكذلك ذوي صعوبات "الإدراك والتعلم". وقد ساعدت الملايين من المعاقين في العالم الغربي على الاستقلال بأنفسهم والتقليل من الحاجة لأشخاص آخرين، كما ساعدتهم على تحسين تعليمهم وإطلاق طاقاتهم الكامنة.

إن عدد الصم في العالم يتزايد بشكل مضطرب حيث تشير آخر إحصائية قام بها المركز الوطني للإحصاءات الصحية إلى أعداد كبيرة تصل إلى 36 مليون بين أصم و ضعيف السمع في العالم (1). ونظراً لازدياد عدد الصم في المجتمعات فإن حاجتهم لوسائل مساعدة تزداد وتصبح ملحة.

لقد حظيت لغات الإشارة في البلدان المتقدمة بقدر كبير من الأهمية واستفادت من التقنيات الحاسوبية. فتطورت طرق التعاطي مع الرموز الإشارية حاسوبياً من استخدام الصور الثابتة إلى مقاطع الفيديو وأخيراً إلى تقنيات الرسوم ثلاثية الأبعاد أَلَمَسَها بالشخصيات الافتراضية. ويتطلب استخدام هذا النوع الهام من التقنيات وجود قواميس حركية (تفاعلية) يتم إنشاؤها مسبقاً وتخزن بصيغ مناسبة لتسهيل التعامل معها في مختلف التطبيقات. وقد سارعت كثير من البلدان الغربية إلى إنشاء قواميس إشارية تفاعلية واستخدامها في تطبيقات لتعليم لغة الإشارة للصم ((2)، (3)، (4)) وغيرها مما يساعدهم في حياتهم اليومية.

وللأسف، لم تنل لغات الإشارة العربية نفس الاهتمام ولم يستفد الصم العرب من هذه التقنيات بالشكل المطلوب.

في هذه الورقة نقدم تفاصيل بناء وتجهيز نسخة تفاعلية من قاموس إشاري ديني تم اعداده ضمن مشروع للترجمة الآلية من اللغة العربية إلى لغة الإشارة السعودية¹ (5). وينصب أهتمامنا على استخدام الرسوم ثلاثية الأبعاد المعروفة بالشخصيات الافتراضية لإنتاج نسخة حركية للقاموس الإشاري.

2 حركية وتفاعلية الرموز الإشارية

2.1 الطرق والتقنيات

لقد ظل التعامل مع لغة الإشارة، سواء لأغراض التدريس أو التواصل، مقتصرًا على الطرق التقليدية التي تتم عبر أشخاص مترجمين. إلا أن الأمور بدأت تتغير مع دخول التقنيات الحاسوبية لهذا المجال، حيث تم تطوير عدة أدوات حاسوبية لأتمتة معالجة لغة الإشارة والتعاطي معها أَلِيا.

¹ ينفذ هذا المشروع في وحدة العلوم والتقنية بجامعة الامام وهو ممول من مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية ضمن برامج الخطة الوطنية.

فقد كشفت دراسة استطلاعية حديثة، أجراها العوهلي (6)، عن وجود أكثر من خمسة عشر أداة حاسوبية للغة الإشارة طورت لمساندة الصم في حياتهم و زيادة فرص نجاحهم في مجالات شتى مثل التعليم، والعمل، ومناحي الحياة الأخرى.

لقد تطورت طرق التعاطي مع الرموز الإشارية حاسوبيا من استخدام الصور الثابتة إلى مقاطع الفيديو وأخيرا إلى تقنيات الرسوم ثلاثية الأبعاد المسماة بالشخصيات الافتراضية. فالشخصية الافتراضية تلعب دور مترجم خيالي للإشارات يحاكي الحركات الطبيعية للمترجم البشري عبر رسوم تفاعلية ثلاثية الأبعاد. وهي توفر مزايا وإجابات عديدة بالمقارنة مع الطرق الأخرى كالسرعة والتحكم في العرض وقلة الحجم. فاستخدام الصور الثابتة لا يعكس الإشارة بشكل صحيح على اعتبار أن أغلب الحركات الإشارية هي في الواقع سلسلة من الإماءات المتتالية. أما استخدام مقاطع الفيديو، فهو بلا شك أفضل بكثير من الصور الثابتة حيث يمكن تصوير الشخص وهو يؤدي الحركة بكاملها. ومع ذلك فإن مقاطع الفيديو تعاني من إشكاليات مرتبطة بالحجم وبصعوبة تركيب المقاطع المختلفة لإنشاء جملة أو مقطع إشاري. ويضاف إلى ذلك التعقيدات المرتبطة بإنشاء المحتوى الإشاري الذي ينبغي أن يكون متناسقا، بمعنى استخدام نفس الشخص ونفس المظهر أثناء تصوير كل المحتوى. كما أن استخدام مقاطع الفيديو في تعليم الإشارات قد لا يكون فعالا نظرا لعدم القدرة على التحكم في سرعة العرض والزوايا التي يمكن منها رؤية الإشارات أثناء تأديتها.

هناك ثلاث طرق تقنية تستخدم في الوقت الراهن لإنشاء الإشارات الحركية أو التفاعلية في لغة الإشارة: تقنية التفاعل الاصطناعي (synthetic animation) المولدة أثناء المعالجة، تقنية الإطارات المفتاحية (keyframe animation) ثم تقنية التقاط الحركات (motion capture) (7). وطريقة الإطارات المفتاحية هي التقنية الأكثر استخداما في الأنظمة التفاعلية ثلاثية الأبعاد. ترتكز هذه التقنية على استخلاص قيم مفتاحية للعناصر الرئيسية في نقاط خاصة وفي إطار زمني محدد، ومن ثم يتم حفظ تلك القيم. بعد ذلك يعمل برنامج خاص لمعالجة الرسوم ثلاثية الأبعاد على ربط القيم المفتاحية والتوصيل بينها بسلسلة لتوليد الحركة بشكل يحاكي طريقة أدائها البشري. فالجزء الأول الذي يعمل على استخلاص القيم المفتاحية وتخزينها يمثل قسم إنشاء الإشارات الحركية، في حين يمثل الجزء الثاني الذي يعمل على تكوينها وتوليدها قسم عرض أو تشغيل الإشارات.

لقد تم تطوير أنظمة حاسوبية مرتكزة على الشخصيات الافتراضية أو الرسومات ثلاثية الأبعاد لمعالجة الإشارات، وسنسميها باختصار أنظمة الإشارات التفاعلية. وهذه الأنظمة تضم عنصران أساسيان، تماثيا مع الطريقة التقنية المذكورة قبل قليل، وسنطلق عليهما بالتوالي اسم محرر الإشارات ومشغل أو عارض الإشارات. يستخدم محرر الإشارات لإنشاء نسخة تفاعلية للرموز الإشارية مستخدما تقنية الأطر المفتاحية ومن ثم حفظها في ملفات نصية ذات تنسيق خاص. وهذه الإشارات التفاعلية نستطيع إظهارها عن طريق مشغل أو عارض الإشارات الذي يستطيع قراءة وتفسير الملفات النصية المنشأة. إن الملفات المنشأة لتمثيل الإشارات التفاعلية أصغر بكثير من مقاطع الفيديو والصور الممثلة لتلك الإشارات. إذا فحجم التخزين المطلوب قليل وتحميل الملف أو إظهاره سريع جدا. وهذه مميزات هامة في استخدام هذا النوع من التقنيات.

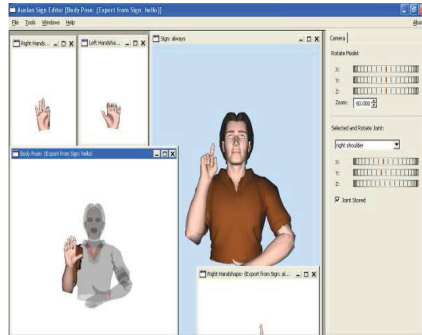
ولعل إحدى أهم مميزات أنظمة الإشارات التفاعلية كونها غير مرتبطة بلغة إشارة بعينها من حيث قدرتها على إنشاء وعرض حركات إشارية. إذا سوف نقوم باستعراض الأنظمة المتوفرة في هذا المجال والمقارنة بينها بغية إنتقاء النظام المناسب لعملنا، وهو إنشاء القاموس التفاعلي الديني للغة الإشارة السعودية. فلا يدخل ضمن نطاق عملنا تطوير نظام إشاري تفاعلي جديد لأنه عمل ضخم بحد ذاته وجدوانيته قد تكون محدودة ما دام بالإمكان انجاز المطلوب بأنظمة موجودة أصلاً.

2.2 الأنظمة المتاحة

في هذا الجزء سوف نلخص ونقارن بين أغلب أنظمة الإشارات التفاعلية المتاحة. وستقتصر المقارنة على العناصر التي تلبي احتياجاتنا. وهذه العناصر هي: وجود محرر ومشغل إشارات منفصلين، جودة الرسومات، واقعية الحركات التفاعلية، إمكانية التحكم في أجزاء جسم الشخصية الافتراضية، سرعة العرض، الخ. وهذا يعني أننا سوف نناقش فقط الأنظمة التي توفر مثل هذه العناصر أو على الأقل أغلبها.

2.2.1 نظام Auslan Tuition System²

هذا النظام طور من قبل جامعة غرب استراليا لتدريس لغة الإشارة الأسترالية عبر استخدام شخصية ثلاثية الأبعاد تنفذ حركات تفاعلية للرموز الإشارية. وقد صمم ليعمل على جهاز حاسب آلي منزلي دون موارد إضافية. يشتمل النظام على جزأين محرر إشارات ونظام دروس (الشكل 1). يتيح برنامج محرر الإشارات إمكانية إنشاء الرموز عبر استخدام الشخصية الافتراضية وما تنتجه من خصائص، تغيير شكل اليد، تعابير الوجه وحركات الذراع. الإشارات التفاعلية المنشأة باستخدام محرر الرموز تخزن في ملفات بصيغة "sgn". وتنسيق xml. وهذه الملفات يتم تشغيلها بواسطة عارض إشارات مدمج في أقسام نظام الدروس. يعتبر نظام الدروس الواجهة الأمامية التي تظهر الإشارات في واحد من أربعة أوضاع: تعليم، هجاء اصبعي، أرقام، حوار.



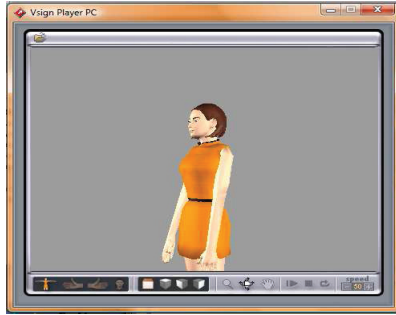
² <http://auslantuition.csse.uwa.edu.au>

الشكل 1: محرر الإشارات (يمين)، نظام الدروس (يسار).

ولهذا النظام العديد من الميزات مثل، واجهة استخدام سهلة، قوائم بسيطة وواضحة، تحكم كامل في سرعة واتجاهات التفاعلات، الخ. ولكن هذا النظام ليس متاحا للاستخدام الخارجي. وعلاوة على ذلك، لا يوفر مشغل أو عارض إشارات مستقل، بل هو جزء مدمج من نظام الدروس. ضف إلى ذلك، أنه في ما يبدو قد تم تعليقه أو إيقافه حيث لا وجود لتحديثات متاحة منذ سنة 2007 إلى الآن.

2.2.2 نظام Vsign³

هذا النظام طور من قبل الطالبين إدوين ليفجينك و جبروم كوي في الفترة 2001-2002 م، كجزء من برامج ماجستير أوربية للإعلام والفنون (EMMA). وهو عبارة عن حزمة من البرمجيات يمكن استخدامها لإنشاء وعرض الإشارات التفاعلية ثلاثية الأبعاد دون الحاجة إلى عتاد اضافي. وقد نفذ باستخدام برنامج ماكروميديا شوكوف. وهو يشمل جزئين منفصلين، محرر ومشغل للرموز الإشارية (الشكل 2). يسمح محرر الرموز بإنشاء الإشارات التفاعلية ثلاثية الأبعاد عبر تحريك أطراف جسم الشخصية الافتراضية المتاحة: أشكال اليد، أوضاع الذراع، الرأس، الأصابع، الكتف، الخ. يتم حفظ الإشارات المنشأة بملفات نصية ذات امتداد "gbr" (ممثلة بمتجهات ذات إحداثيات عددية). يستخدم مشغل الإشارات لعرض الرموز المنشأة بواسطة المحرر. وأثناء عرض الإشارة، يمكن تحريك الشخصية دائريا للرؤية من زوايا مختلفة.

**الشكل 2: محرر الإشارات (يمين)، عارض الإشارات (يسار)**

استخدم هذا النظام في عدد من المشاريع الأوربية، ومن بينها مشروع لتسهيل معالجة وقراءة الكتب الإلكترونية للصم. وهو سهل الاستخدام ومتاح بالمجان. ويوفر مشغل إشارات مستقل يمكن دمجه بسهولة مع أي برنامج آخر. يتطلب فقط مشغل مايكروميديا شوكوف كبرنامج إضافي. ولكن رسوماته ليست جيدة وغير واقعية في بعض الوضعيات للشخصية الافتراضية. كما أن البرنامج لايسمح بإنشاء أكثر من سبع حركات متوالية للرمز الإشاري الواحد. وهذا يعني، أنه لا يمكن تمثيل

³ <http://www.vsign.nl/EN/vsignEN.htm>

الإشارات المؤلفة من عدة مقاطع. كما أنه من الصعب التحكم في الحركة حتى في المحرر. ولشخصيته الافتراضية شكل ثابت للوجه، ولا يسمح بالتعبير المعتادة.

2.2.3 نظام Vcommunicator⁴

حزمة برامج مطورة من شركة Vcom3D. يحتوى النظام على ثلاث أدوات رئيسية، محرر إشارات، عارض إشارات (Sign smith studio)، وجزء للتعامل مع الجوالات. يستخدم محرر الإشارات لإنشاء الرموز التفاعلية (الشكل 3). يستطيع المطورون اختيار أشكال اليد من خلال صور مخزنة مسبقاً في قاعدة بيانات مصاحبة للمحرر. يمكن التحكم في الحركة والموقع. تخزن الإشارات المنشأة في ملفات ذات امتداد "ges". للتعاطي معها في داخل النظام. هذه الملفات يمكن عرضها بواسطة المشغل sign smith studio (الشكل 3) ومن ثم يمكن تحويلها إلى مقاطع فيديو لتصديرها خارج النظام. وهذا المشغل يحتوى على قاموس يزيد حجمه عن أكثر من 2500 كلمة جاهزة للإستخدام والعرض للاستفادة منها عند الحاجة.



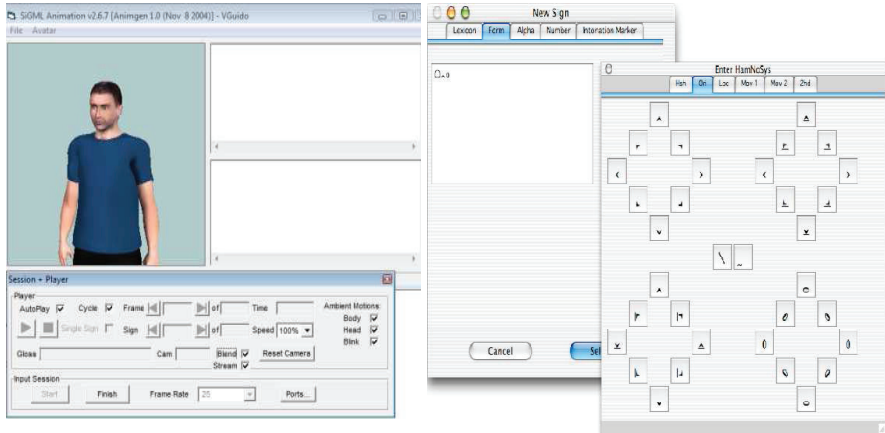
الشكل 3: محرر الإشارات (يمين)، عارض الإشارات (يسار)

يوفر هذا النظام العديد من الميزات القوية التي من بينها إمكانية استخدامه في بعض أنظمة تشغيل الهواتف النقالة مثل اندرويد (Android). وعلى الرغم من هذه المميزات، فإن هناك بعض المآخذ، من بينها أن مشغل الإشارات غير مستقل عن النظام وبالتالي لا يمكن الاستفادة منه في تطبيقات أخرى. وزيادة على ذلك، فإنه عند الحاجة إلى مشاهدة الملفات المنشأة خارج النظام، يتعين تصديرها إلى ملفات فيديو باحدى الصيغ WMV أو MOV أو AVI. وهذا تنتج عنه سلبيات تتعلق بحجم الملفات، التعامل مع مقاطع الفيديو وماشابه ذلك. وإلى كل ذلك يضاف أن التحكم في الشخصية متاح فقط بالنسبة للحركة والموقع، كما أن أشكال اليد يجب تحديدها من الأشكال الموجودة مسبقاً في المحرر. وأخيراً، فإن البرنامج ليس مجانياً ولكنه على الأقل متاح للبيع.

⁴ <http://www.vcom3d.com/vcommunicator.php>

2.2.4 نظام eSign⁵

هذا النظام هو أحد المشاريع الممولة من الاتحاد الأوروبي، ويهدف إلى تطوير أدوات لتوفير معلومات للغة الإشارة بالاعتماد على الشخصيات الافتراضية. وهو يوفر وسيلة مرنة تمكن أي جهة من توفير محتوى إشاري للمعلومات التي لديها ليستفيد منها الصم. يحتوي eSign على جزئين محرر ومشغل يمكن استخدامهما على التوالي لإنشاء وعرض الرموز أو الإشارات التفاعلية (الشكل 4). محرر eSign يعتمد على نظام الترميز الإشاري المشهور HamNoSys (8) لإنشاء إشارات تفاعلية من خلال النقر على أزرار HamNoSys التي تظهر في واجهة المحرر. ويستطيع المطور تحرير شكل اليد الذي يناسبه، والاتجاهات، والموقع وتعابير الوجه. تخزن الإشارات التفاعلية في ملفات نصية ذات تنسيق "sgml" أو "cas". لعرضها لاحقاً بواسطة المشغل. ويقدم eSign عدداً من الأدوات كمشغلات مساعدة لعرض الإشارات التفاعلية المنشأة. ولعل أهم هذه الأدوات أداة SiGML (9) المستقلة والتي يمكن ربطها مع تطبيقات أخرى.



الشكل 4: محرر الإشارات (يمين)، مشغل الإشارات SiGML (يسار)

يقدم eSign العديد من الإيجابيات مثل الواقعية في الحركة، تعابير الوجه. كما أنه يمكن من إنشاء الإشارات الطويلة المتألفة من عدة مقاطع. يمكن رؤية الشخصية الافتراضية من زوايا مختلفة مع التحكم الكامل بالحركة، والاتجاه، الخ. و لكن صعوبته تكمن في ضرورة معرفة نظام الترميز HamNoSys لإنشاء الإشارات.

⁵ <http://www.visicast.cmp.uca.ac.uk/eSIGN>

2.3 استخلاص النظام المناسب

إن أنظمة الإشارات التفاعلية التي تم استعراضها في الفقرات السابقة هي أهم الأنظمة المتاحة في هذا المجال حسب ما توصلنا إليه خلال دراستنا الاستطلاعية. ويمكن تلخيص أهم مميزاتها في أربعة أشياء بارزة. الشيء الأول، أن كل تلك الأنظمة توفر محرر لإنشاء الإشارات التفاعلية ومشغل لعرضها. الشيء الثاني، هو أن محرر الإشارات في تلك الأنظمة مستقل عن اللغة الإشارية. وبالتالي يمكن استخدامه لإنشاء إشارات من أي نوع بشرط واحد، وهو أن تسمح الخصائص التقنية للشخصية الافتراضية بمستوى كاف من المرونة. الشيء الثالث، أن الإشارات المنشأة بمحرر معين لا يمكن عرضها إلا باستخدام مشغل الإشارات المصاحب لنفس المحرر أو تحويلها لبنية مناسبة لمشغل آخر. أما الشيء الرابع، فهو أن معظم أنظمة الإشارات التفاعلية ليست مجانية، باستثناء eSign و Vsign.

وقد أعتدنا في اختبار وتجريب العديد من تلك الأنظمة على نسخ تجريبية للتعرف على المميزات الفعلية لكل منها وتحديد إلى أي درجة يمكنها أن تلبي احتياجاتنا. وللتذكير فإننا نحتاج إلى برنامج يوفر مكونين منفصلين، واحد لإنشاء الإشارات التفاعلية (offline) والثاني لعرض الإشارات أثناء التنفيذ ويكون قابلاً للربط مع برامج أخرى. وهناك عناصر أخرى تتعلق بالجودة تنطبع إلى وجودها، وهي جودة الرسومات، واقعية الحركات، التحكم الكامل بأجزاء الجسم، الخ.

وقد تبين أن النظامين eSign و Vsign هما الوحيدان اللذان يوفران أغلب الخصائص المطلوبة. فهما يوجدان في نسخ مجانية، ويوفر كل منهما مكونين منفصلين، واحد لإنشاء الإشارات وآخر لعرضها. ومحرر الإشارات في كل منهما يسمح بتخزين الإشارات المنشأة على شكل ملفات نصية صغيرة الحجم. وهذه الملفات يمكن تغيير محتواها لبناء حركات متسلسلة مما يسمح بإمكانية تنفيذ تسلسل حركي مرتبط بجملته أو نص كما لو كان رمزا واحداً. أما المشغل الذي يوفره كل منهما فهو قابل للدمج مع تطبيقات أخرى. وهذه خاصية هامة بالنسبة لنا.

غير أن مقارنة عميقة بين eSign و Vsign، بينت أن eSign أفضل من Vsign في نقاط عدة. فالشخصية الافتراضية في eSign مصممة بشكل جيد وأكثر واقعية مما هي عليه في Vsign. وعلاوة على ذلك، فإن شخصية eSign تسمح باستخدام الأيدي، والأذرع، والأكتاف، وأهم شيء كونها تتيح استخدام تعابير الوجه بجميع صفاته. وفي المقابل، فإن شخصية Vsign تستخدم فقط الأيدي والأذرع.

وبالتالي اتجهنا إلى اختيار eSign ليستخدام في بناء قاموسنا الإشاري التفاعلي. ونحن نعمل بالتنسيق مع مطوري برنامج eSign لإنشاء شخصية افتراضية بمظهر سعودي. وفي انتظار أن تكتمل تلك الشخصية يمكن استخدام الشخصية الأصلية لإنتاج الإشارات ولاحقاً يمكن استبدالها بالشخصية الجديدة دون أن يكون لذلك تأثير على الإشارات المنشأة. فالإشارات عندما تنشأ تخزن فقط القيم الحركية لأطراف الجسم التي تعبر عن وضعه في الفضاء في لحظة معينة. وهذه خصائص رائعة وتوفر مزايا ومرونة كبيرين في إنشاء المحتويات الإشارية.

3.1 نبذة موجزة عن القاموس الإشاري الديني

ان القاموس الإشاري الديني الذي نسعى إلى إنتاج نسخة تفاعلية منه في هذا العمل، يضم مصطلحات وتعابير دينية مستخلصة من نصوص شرعية منتقاه. وهذه النصوص تغطي، من حيث الشروط والمتطلبات الشرعية، أركان الاسلام (الصلاة، الصيام، الزكاة، الحج) اضافة إلى الطهارة التي هي شرط في أداء الواجبات الشرعية.

وقد تم التعاون مع فرق عدة من الصم لتحديد الإشارات المناسبة للمفردات الدينية ووضع إشارات جديدة للمصطلحات المختلف فيها بين الصم وتلك التي لم تكن معروفة ولا متداولة لديهم.

وتم تصوير الإشارات الدينية في سياقاتها الأصلية للحفاظ على معانيها، ومن ثم تم استخلاصها بشكل منفرد. وقد روعيت الجوانب الفنية في التصوير لضمان جودة عالية في مقاطع الفيديو المسجلة.

3.2 إنشاء وعرض الإشارات التفاعلية

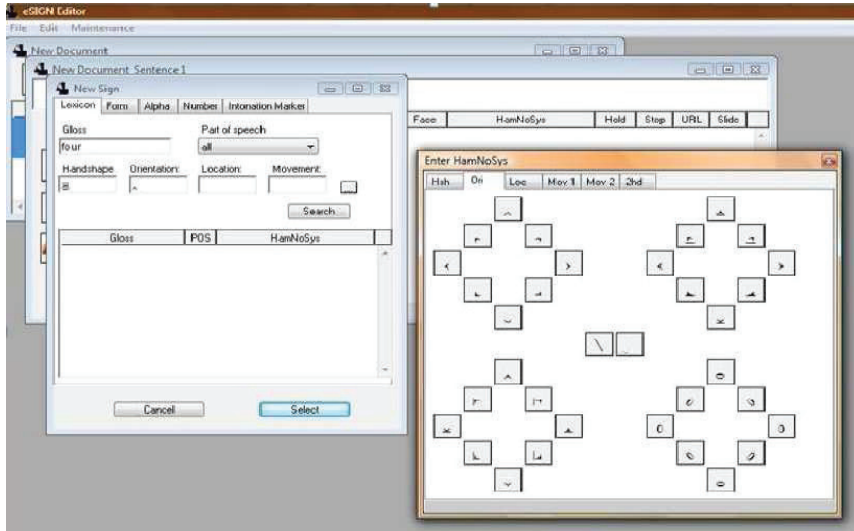
في هذا الجزء سنستعرض بالتفصيل كيفية بناء وعرض الإشارات التفاعلية باستخدام نظام (eSign)، برنامج الشخصيات الافتراضية الذي اخترناه لإنشاء القاموس الإشاري التفاعلي.

3.2.1 إنشاء الإشارات

يتوفر خياران لبناء الإشارات التفاعلية في برنامج eSign، أحدهما عبر محرر الإشارات ذو الواجهة الرسومية، أما الثاني فيتم بواسطة طريقة يدوية. تعتبر الطريقة الأولى سهلة وسريعة لإنشاء الإشارات وخصوصاً لمن يعرفون نظام الترميز الإشاري HamNoSys. فإنشاء الإشارة لا يتعدى كونه مجرد نقر على عدة أزرار في الواجهة أو ادخال رموز من نظام الترميز مباشرة. أما الخيار الثاني فيعتمد على إنشاء الإشارات يدوياً باستخدام اللغة التوصيفية SiGML المعتمدة في بنيتها الداخلية على HamNoSys. وتعتبر طريقة إنشاء الإشارات يدوياً طريقة صعبة جداً وتستغرق وقتاً طويلاً. وفي ما يلي سنشرح كيفية عمل كل من الطريقتين.

أ. إنشاء الإشارات باستخدام المحرر: عند تشغيل المحرر يتم إنشاء مستند جديد لكتابة النص الذي سيتم تأشيرته. كل مستند يتكون من عدة عبارات وكل عبارة مكونة من عدة كلمات. ولتعديل عبارة ما يمكن النقر عليها، حيث تفتح نافذة إضافية لهذه العبارة بغية تعديلها. وهذه النافذة تضم عدة حقول: حقل للنص المدخل، حقل لسلسلة الإشارات الممثلة للنص، حقل لإضافة أو حذف الإشارات. من خلال لوحة إشارات HamNoSys (الشكل 5). ومن

خلال تلك اللوحة يمكن أيضا اختيار شكل اليد والوجهة والموقع واتجاه الحركة وتعابير الوجه. وتشمل تعابير الوجه اتجاه نغز الأعين وحركة الحاجبين والخدين والأنف والفم.

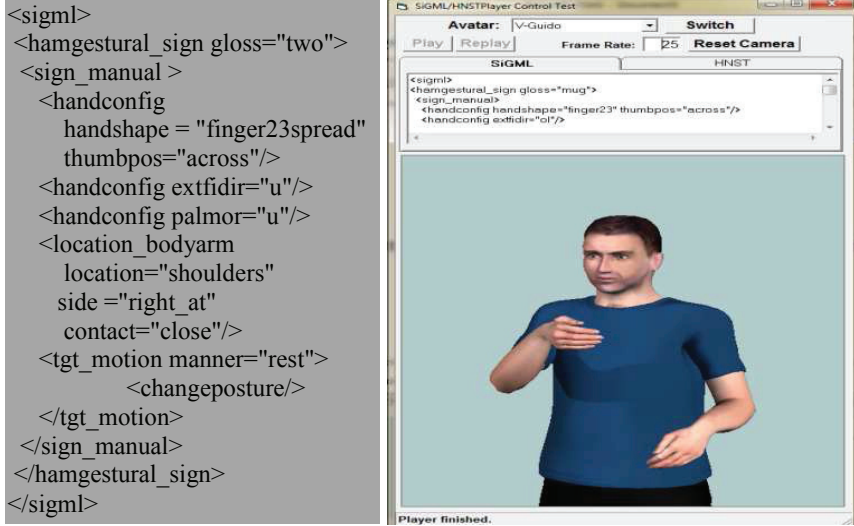


الشكل 5 : واجهة المحرر

بعد تحديد تلك القيم تصبح الإشارة جاهزة. ويمكن التأكد من أن الإشارة أنشئت بالشكل الصحيح من خلال النقر على زر الشخصية الافتراضية حيث يتم استدعاء مشغل الإشارات لعرض الإشارة المنتجة أمام المستخدم. وبإمكان المستخدم تعديل الإشارة كما يشاء حتى تصبح بالشكل الذي يريده، وعند ذلك يمكن حفظها في ملف نصي لاستخدامها لاحقاً.

ب. إنشاء الإشارة يدوياً: يمكن إنشاء الإشارات عبر كتابة أوامر خاصة توفرها لغة التوصيف SiGML المبنية على نظام HamNoSys (الشكل 6-أيمن). وهذه الطريقة تستغرق وقتاً لكونها تتطلب معرفة بأوامر لغة التوصيف SiGML ومعانيها. ولكنها مع ذلك تبقى أسهل من معرفة نظام الترميز HamNoSys نفسه.

SiGML هي لغة توصيف نصية للرموز الإشارية تخفي كثيراً من تفاصيل وتعقيدات HamNoSys وتتيح للمستخدم توصيف الإشارات من خلال كلمات وتعابير ذات دلالات معينة (الشكل 6-أيسر) على غرار ما يحدث في لغات البرمجة عالية المستوى التي تخفي عن المبرمج التفاصيل الدقيقة في المستويات السفلية: مستوى لغة التجميع ومستوى لغة الجهاز.



الشكل 6: محرر ومشغل الإشارات (يمين)، أوامر SiGML للرقم 2 (يسار)

3.2.2 عرض الإشارات

توجد طريقتان لعرض الإشارات التفاعلية المنشأة سواء بالمحرر أو يدوياً، وهي استخدام المحرك "SiGML Animation" أو استخدام المشغل "SiGML/HNST".

أ. **محرك الإشارات "SiGML Animation"**: يستخدم بشكل أساسي لاختبار الإشارات المنشأة بواسطة المحرر. وللقام بذلك يجب تشغيل كل من المحرر والمشغل مع بعض أو لا ثم يتم استدعاء المشغل من داخل المحرر بالنقر على زر الشخصية الافتراضية. وهذا المشغل يحتوي على العديد من خيارات التحكم لفحص الإشارة والتأكد من بنائها بشكل سليم.

ب. **مشغل الإشارات "SiGML/HNST"**: يستخدم هذا المشغل لعرض الإشارات المنشأة يدوياً. فيعد إنشاء الإشارة عبر كتابة أوامر SiGML يمكن استدعاء هذا المشغل من خلال النقر على زر عرض لعرض الإشارة المنشأة.

3.2.3 حفظ الإشارات وتصديرها

بعد الانتهاء من عملية بناء الإشارة واختبارها يتعين حفظها لاستخدامها لاحقاً. ويسمح نظام eSign بحفظ الإشارات الحركية في ملفات نصية لتسهيل التعاطي معها لاحقاً. ويتم ذلك بواسطة واحد من خيارين حسب الطريقة التي استخدمت لإنشاء الإشارة:

أ. **الطريقة اليدوية:** يتم حفظ أوامر SiGML المكتوبة في ملف نصي بامتداد ".sigml". وفي الشكل 7 نعطي مثالا لبنية هذا النوع من الملفات، وهو عبارة عن إشارة الرقم "واحد"

```
<sigml>
  <hamgestural_sign gloss="one">
    <sign_manual >
      <handconfig handshape="finger2" thumbpos="across"/>
      <handconfig extfdir="u"/>
      <handconfig palmor="u"/>
      <location_bodyarm location="shoulders" side="right_at" contact="close"/>
      <tgt_motion manner="rest">
        <change posture/>
      </tgt_motion>
    </sign_manual>
  </hamgestural_sign>
</sigml>
```

شكل 7: ملف Sigml لتمثيل إشارة الرقم 1

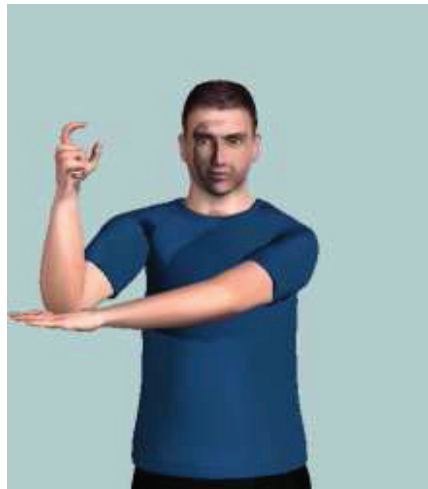
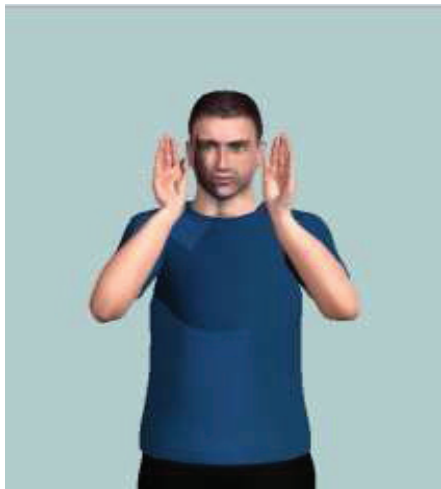
ب. **طريقة المحرر:** يتم حفظ الإشارة ببساطة من خلال النقر على خيار ملف في واجهة البرنامج. يتم حفظ الإشارة في ملف نصي بامتداد ".cas" وهي صيغة داخلية. ويمكن تغيير صيغة هذا الملف إلى "sigml" بسهولة من البرنامج نفسه.

3.3 نماذج من الإشارات المنشأة

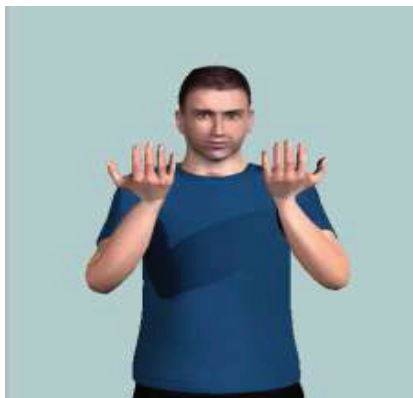
بعد الاستعراض المفصل الذي قمنا به لبرنامج eSign يتضح أن عملية إنشاء الإشارات التفاعلية مسألة قابلة للتنفيذ ولكنها تتطلب جهدا ووقتا كبيرين. وقد قطعنا والله الحمد مراحل كبيرة في إنشاء النسخة التفاعلية من القاموس الإشاري الديني. ولا يزال العمل جاريا لاستكمال كافة الإشارات.

لقد أعتدنا في إنشاء الإشارات على الطريقة اليدوية المذكورة سابقا، نظرا لأننا وجدنا من الأسهل والأسرع تعلم لغة SiGML من معرفة مختلف الإشارات والرموز المستخدمة في نظام HamNoSys. كما أن النسخة المجانية لمحرر الإشارات ذو الواجهة الرسومية لا تعمل بالكفاءة المطلوبة.

وفي الأشكال التالية نعرض بعض الإشارات الدينية التي تم إنشاؤها ضمن قاموسنا التفاعلي كعينة من الرموز الإشارية الدينية.



الشكل 8: إشارة مسجد (يمين) وصلاه (يسار)



الشكل 9: إشارة الكعبة (يمين، وهي) والدعاء (يسار)



الشكل 10: إشارة الصيام (يمين، وهي حركتين) والاحرام (يسار، وهي حركتين)



الشكل 11: إشارة طواف الوداع، وهي مؤلفة من خمس حركات



الشكل 12: إشارة منى، وهي مؤلفة من أربع حركات

تجدر الإشارة إلى أن الشخصية الافتراضية المستخدمة هنا سيتم استبدالها لاحقاً بشخصية ذات زي سعودي ملائم كما أشرنا إلى ذلك من قبل. فهذا أمر مهم لتقبل الصم بشكل أفضل للقاموس واعطائهم الشعور بأنهم يستخدمون شيئاً محلياً نابعاً منهم ومن ثقافتهم.

في هذه الورقة تم تقديم تفاصيل إعداد نسخة تفاعلية من قاموس إشاري ديني جرى العمل عليه في إحدى مراحل تنفيذ مشروع للترجمة الآلية من اللغة العربية إلى لغة الإشارة السعودية. وقد تناولت الورقة عدة جوانب. تم التركيز في الجانب الأول على أهمية التعاطي مع الرموز الإشارية حاسوبياً والتقنيات المستخدمة. تلا ذلك تبين فوائد استخدام الرسوم ثلاثية الأبعاد أو ما يسمى بالشخصيات الافتراضية والمرونة التي توفرها. بعد ذلك تم تقديم دراسة استطلاعية حول الأنظمة المتاحة لإنشاء وعرض الإشارات التفاعلية. وقد قمنا باختبار وتجريب تلك الأنظمة ومقارنة مزاياها بغية تحديد الأنسب منها والأكثر ملاءمة لعملنا. وتم استخلاص واحد منها لاستخدامه في إنشاء القاموس الإشاري التفاعلي. تم الانتقال في جزء آخر من الورقة إلى دراسة تفصيلية للنظام المختار وبيننا كيف يمكن استخدامه لإنشاء الإشارات التفاعلية ثم تشغيلها. وتحدثنا في الأخير عن مسار التقدم في أعداد النسخة التفاعلية للقاموس وأعطينا نماذج لبعض الإشارات الدينية التي أنشأت.

ونحن نرى أن إنشاء قاموس إشاري تفاعلي سيحدث قفزة نوعية في مسار لغة الإشارة السعودية. وسيمكن بحول الله من تطوير برامج حاسوبية لتعليم لغة الإشارة للصم والسماعين على حد سواء مما سيساعد في تضيق الهوة بين الطرفين.

ولكن نجاح هذا القاموس يبقى رهين بمدى تقبل الصم له واقبالهم على استخدامه. وسنعمل على توزيعه، عند استكماله بشكل نهائي، على مراكز وجمعيات الصم ليستخدموه ضمن أنشطتهم التكوينية من دورات وورش عمل للاستفادة منه وللمساهمة في التعريف به. وسنضع آلية لتتبع استخداماته ورصد آراء الصم حوله. لأن ذلك سيشجع على استخدامه في تطبيقات مختلفة تخدم الصم.

وكإثبات لمدى أهمية هذا القاموس التفاعلي، فإننا نعمل على تطوير أنظمة تعليمية في المجالات الشرعية التي أستخدمت في إنشاء القاموس. فسيتم بحول الله بناء نظام تفاعلي لتعليم الصلاة، وآخر للصيام، وآخر للحج والعمرة، وآخر للزكاة، إضافة إلى نظام لتعليم أحكام الطهارة.

1. TheNationalCenterforHealthStatistics:
<http://www.cdc.gov/nchs/fastats/disable.htm>.
2. ASLphete. <http://www.aslphabet.com/>.
3. iSign. <http://idev2.com/iSign/iSign.html>.
4. Signing science dictionary. <http://signsci.terc.edu/dictionary/index.htm>.
5. Elhadj, Yahya O. Mohamed and Zemirli, Zouhir. Virtual Translator from Arabic text to Saudi Sign-Language (A2SaL). Riyadh, KSA : Anual Technical Report, KACST, 2011.
6. Al-Ohali, Yousef. Identification of Most Desirable Parameters in SIGN Language Tools: A Comparative Study. Global Journal of Computer Science and Technology,. 2010, Vols. Vol. 10,, n 6.
7. Villani, N.A. 3D Rendering of American Sign Language Finger-Spelling: A Comparative Study of Two Animation Techniques. 2008, PWASET, Vol.34, ISSN 2070-3740, October.
8. Hanke, T. HamNoSys: Representing sign language data in language resources and language processing contexts. Lisbon, Portugal : s.n., 2004. Workshop on the Representation and Processing of Sign Languages on the occasion of the Fourth International Conference on Language Resources and Evaluation.
9. Elliott, R., et al. An Overview of the SiGML Notation and SiGMLSigning Software System. Lisbon, Portugal : s.n., 2004. Fourth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC). pp. 98–104.

Title: Preparation of an Animated Religious Sign-Dictionary Using 3-D Animation Called Avatar.

Abstract. This paper presents the preparation of an animated version of a previously developed religious dictionary for Saudi Sign Language (SaSL). It is a part of a project for automatic translation from Arabic to Saud Sign language, funded by King Abdul Aziz City for Science and Technology within the framework of national plan programs. The religious sign-dictionary by itself has been discussed in a separate paper in terms of content and how it was prepared. This paper focuses on how to use 3D animation called avatar to build an animated version of this dictionary.

Keywords: Sign language, Saudi Sign Language, Sign Dictionary, 3D animation, avatar, sign builder, sign player.

ترجمة المصطلحات الأساسية

لغة الإشارة	Sign language
الرسومات المتحركة ثلاثة الأبعاد	3-D animation
شخصية ثلاثية الأبعاد	Avatar
الهجاء الإصبعي	Finger spell
محلل صرفي	Morphological Analyzer
سوابق	Prefixes
لواحق	Suffixes
جذع	Stem
قاموس إشاري	Sign Dictionary
ذخيرة إشارية	Sign Corpus
ذخيرة	Corpus
محتوى إشاري	Signed Content
حركية أوتفاعلية الرموز الإشارية	Animation of Sign Symbols
الإشارة	Sign
الرمز الإشاري	Sign Symbol

التحليل الآلي للضمائر العائدة ودورها في المعالجة الآلية للغة العربية

سهى المزغني الحمامي، لمياء هديرش بلغيث
فريق بحث ا.ن.ال.ب.¹، مخبر ميراكل جامعة صفاقس، كلية العلوم الاقتصادية والتصرف، ص.ب.
1088، الرمز البريدي 3018، صفاقس، تونس

souha.mezghani@fsegs.rnu.tn, l.belguith@fsegs.rnu.tn

الخلاصة. لم يقع تكريس إلا القليل من الدراسات للضمير العائد ومفسره في اللغة العربية سواء كان ذلك في مجال المعالجة الآلية للغات الطبيعية أو في مجال اللسانيات. في هذا الإطار نقدم في هذه المقالة دراسة حول توزيع الضمائر العائدة للغة العربية وذلك في مختلف أنواع النصوص: الصحف، الدليل التقني والكتب التربوية. ولهذه الغاية، قمنا في مرحلة أولى بإنشاء مدونة ذات حجم كبير تضم حوالي 164051 كلمة و 4300 سلسلة من الإحالة القبلية، وقد وقع ترميز هذه المدونة بالإعتماد على نظام الترميز اليدوي "أناتار". ثم قمنا في مرحلة ثانية بدراسة عدة معلمات لغوية تسيطر على توارد الضمائر العائدة استنادا إلى المدونة التي قمنا بإنشائها. وقد بينت نتائج هذه الدراسة أن استراتيجيات تحليل الإحالة القبلية تختلف باختلاف النوع الأدبي للنص إلى حد كبير وأنه لا يمكن ترك هذا الاختلاف جانبا في عملية التقييم.

الكلمات الجوهرية: الإحالة القبلية، ترميز مدونة، المفسر، المعالجة الآلية للغة العربية.

1 مقدمة

يلعب تحليل الإحالة القبلية دورا هاما بالنسبة للعديد من تطبيقات اللغات الطبيعية مثل (التلخيص الآلي، الترجمة الآلية، التحليل الآلي للنصوص، الخ)، حيث أن هذه التطبيقات تتطلب تحديد صحيح للعناصر الإحالية الموجودة في النص. ونظرا لأهمية هذا المجال (ونقصد بذلك تحليل الإحالة القبلية) فإن العديد من البحوث العلمية اهتمت بدراسة مناهج مختلفة وبناء نظم عملية لتحليل الإحالة القبلية وذلك بالنسبة للغات التي تستعمل الأبجدية اللاتينية (خاصة منها الفرنسية والإنجليزية)، ولكن في المقابل لم تحض اللغة العربية بهذا الإهتمام. وهذا يعود بالأساس إلى غياب الأدوات الأساسية من جهة مثل المدونة المرمزة بالروابط الإحالية وأيضا إلى بعض خصائص اللغة العربية من جهة أخرى والتي تزيد من عدد الصعوبات التي يجب تخطيها في إطار التحليل الآلي. من بين هذه المشاكل نذكر رسم الهزمة، غياب الشكل في معظم النصوص العربية، تعدد طرق ترتيب الكلمات في الجملة العربية، الكلمات المركبة، هذا بالإضافة إلى مشاكل التحليل الصرفي والنحوي. حسب معلوماتنا، لا يوجد إلا عمل واحد تطرق إلى تحليل الإحالة القبلية للغة العربية قام به ميتكوف وبلغيث [1]. في هذا العمل وقع تطوير واختبار منهج ميتكوف الذي اقترحه

¹ Arabic Natural Language Processing Research Group (ANLP-RG) <http://sites.google.com/site/anlprg/>

للغة الإنجليزية في بادئ الأمر ثم وقع تعديله في مرحلة ثانية للغة العربية وذلك بإضافة مؤشر خاص باللغة العربية (مؤشر الأسماء الموصولة) وتعديل مؤشرات أخرى مثل مؤشر الحيز الإحالي. وفي إطار تقييم هذا العمل المطوّع للغة العربية فقد بلغ معدل النجاح نسبة 95.8%. لكن يجدر الإشارة هنا إلى أن هذا التقييم قد استند إلى 190 ضمير عائد فقط وقع اختيارها من مدونة لدليل تقني. وبالتالي، فإنه ينبغي القيام بمزيد من التجارب للتأكد من ما إذا سيتم الحصول على نفس معدل النجاح في مدونة بحجم كبير، وأيضاً للتأكد من أن النتائج تتقيد بالمجال الذي تنتمي إليه المدونة.

لذلك، فإننا نعتبر أن إنشاء مدونات مرمزة بروابط إحالية هي مطلوبة لوضع استراتيجيات واقعية لتحليل الإحالة القبلية في اللغة العربية، حيث لا يوجد موارد متاحة لهذه المهمة. إذ يمكن استخدام هذه المدونات من أجل الحصول على بيانات تجريبية وقواعد لبناء منهج جديد لتحليل الإحالة القبلية. كما يمكن استخدامها للتدريب أو لتحسين وتقييم المناهج الحالية.

يتمحور هذا المقال العلمي حول أربعة أجزاء. يعرض الجزء الأول تعريفاً لمعنى الإحالة القبلية وتقديمًا للعوائد التي اهتمنا بدراسة. أما الجزء الثاني فهو يبرز أهم الأعمال العلمية السابقة التي اهتمت بإنشاء مدونات مرمزة بروابط إحالية. ويقدم الجزء الثالث المدونة التي قمنا بترميزها ومخطّط الترميز الذي اعتمدناه لتلك الغاية كما يعرض نظام الترميز الذي استعملناه. أما الجزء الأخير فهو يناقش النتائج المتحصّل عليها إثر دراسة المعلّات اللغوية في المدونة.

2 الإحالة القبلية

الإحالة القبلية هي استعمال كلمة أو عبارة (تسمى العائد) تشير إلى كلمة أخرى أو عبارة أخرى سابقة في النص أو في المحادثة (تسمى المفسّر). أما التقارن الإحالي فهو تشارك عائد أو عاندين أو أكثر مع المفسّر في الإحالة على متصور مرجعي. وبالتالي فإننا نتحدث عن التقارن الإحالي لتعيين العلاقة الرابطة بين عائد ومفسّره باعتبارهما وحدتين إحاليّتين تشتركان في نفس المتصور المرجعي[2]. ويمثّل الضمير العائد وأيضاً الأسماء الموصولة صنفًا من أصناف الكلمات العائدة التي تتحقق بها ظاهرة الإحالة على عنصر من النص هو المفسّر، وغالبًا ما تدخل هذه العلاقة بين الضمير أو اسم الموصول والمفسّر ضمن التقارن الإحالي. وقد ركّزنا في هذا العمل، أساساً على هذين الصنفين من الكلمات العائدة لأنّها من أكثر العوائد تواتراً في النصوص العربية [3].

ويعتبر الضمير العائد والأسماء الموصولة عناصر إحالية فارغة دلاليًا ممّا يجعل تفسيرها رهين ربطها بالعناصر التي تعوّضها وقد اقتصرنا في هذا العمل على دراسة الضمائر العائدة والأسماء الموصولة التالية:

- الضمائر المنفصلة في محل رفع: هو، هي، هما، هم، هنّ.

مثال: روى أشونا لإخوته ما شاهده في رحلة الصيد المثيرة وهم يستمعون إليه بانتباه وغبطة

- الضمائر المنفصلة في محل نصب: إيّاه، إيّاها، إيّاهما، إيّاهم، إيّاهنّ.

مثال: أعجب أحمد باللوحة التي رسمتها فأهديته إيّاها

- الضمائر المتصلة في محل نصب وجر: هـ، ها، هما، هم، هنّ.

يجدر الإشارة أن الضمير المتصل يكون إما متصلاً بإسم (مثل زوجته) أو بفعل (مثل تره) أو بحرف (مثل لها) كما هو وارد في المثال التالي.

مثال : **جدتي عائشة** عجوز ليس **لها** من الأهل سوانا وسوى **ولد واحد** يعيش في ديار الغربية مع زوجها وأبنائه لم **تره** منذ سنوات.

- الأسماء الموصولة : الذي، التي، اللذان، اللتان، اللذين، اللتين، اللاتي، اللواتي.

مثال : تصفّحت **الكتب التي** اشتريتها

3 الأعمال السابقة

إن توفّر المدونات المرمّزة بالروابط الإحالية يعتبر أمراً حيوياً للنظم التي تهدف إلى تحليل الإحالة القبلية [4]. ونتيجة لذلك، فإنّ عدد هذه المدونات سواء منها المرمّزة بروابط إحالية أو المرمّزة بروابط التّقارن الإحالي في تزايد ملحوظ. بالنسبة للغة الإنجليزية، نذكر مثلاً المدونة "لأنكستر أنفوريك تريبنك" [5] المرمّزة بواسطة مخطّط "اكرال" وأيضاً المدونة التي تمّ إعدادها في جامعة "وارفالهمنون" [6]. أمّا بالنسبة للغة الفرنسيّة يمكن الإشارة إلى بعض المدونات مثل المدونة "أركاد" التي تحتوي على مليون كلمة والمرمّزة بروابط الإحالة القبلية [7] وكذلك ومدونة أخرى تنتمي إلى المجموعة "فريباتك" وهي ذات استعمال مفتوح [8]. إضافة إلى ذلك توجد مدونات أخرى مثل مدونة "فانكس" [9] المرمّزة بروابط الإحالة القبلية والإحالة المقامية وتتكوّن هذه المدونة من نصوص شفويّة وأخرى مكتوبة للغة الإيطالية. لكن، حسب معلوماتنا، لا توجد مدونات مرمّزة بروابط إحالية بالنسبة للغة العربية.

4 إنشاء مدونة مرمّزة بروابط إحالية

يتمثل هدفنا في إطار هذا العمل في إنشاء مدونة ذات حجم كبير مرمّزة بالروابط الإحالية ليقع استعمالها في مجال التّحليل الآلي للإحالة القبلية. كما سبق أن ذكرنا أنفاً، لا توجد -حسب معلوماتنا - أية موارد متاحة في هذا المجال بالنسبة للغة العربية. لهذا السبب، هناك حاجة أكيدة لمثل هذه الموارد المرمّزة لتشجيع العمل على التّحليل الآلي للإحالة القبلية في اللغة العربية.

4.1 تقديم المدونة

قمنا بإنشاء مدونة مرمّزة بالروابط الإحالية تضمّ حوالي 164051 كلمة وتغطّي ثلاثة أنواع مختلفة من النصوص، حيث أنّها تشمل على:

- مجموعة من المقالات الصحفية (اقتصاد، سياحة، رياضة، إلخ) والتي لها أساساً وظيفة معلوماتية.

- مجموعة من النصوص الأدبية تتألف من كتب تربوية.

- دليل تقني لهاتف جوال يعرض تعليمات للمستخدم.

تتكوّن المدوّنة من مجموعة نصوص تنتمي إلى أنواع مختلفة وليس لها نفس الأهداف. فمثلاً وظيفة المقالات الصحفية (جريدة الرأي) هي أساساً وظيفة إخبارية. أمّا الكتب التربوية فالغاية منها تعليمية وهي تتكوّن من نصوص فيها سرد قصصي في حين أنّ دليل المستخدم لهاتف "نوكيا E50" يقدّم تعليمات للمستخدم حول كيفية استعمال الهاتف "نوكيا E50". يعرض الجدول 1 خلاصة لهذه البيانات حول المدوّنة.

الجدول 1. بيانات حول المدوّنة

جريدة الرأي	كتب تربوية للسنوات الرابعة والخامسة من التعليم الأساسي	دليل المستخدم لهاتف "نوكيا E50"	
نوع النص	نصوص أدبية	دليل تقني	
الهدف من المحتوى	وظيفة قصصية	تقديم تعليمات	
عدد الكلمات	57134	41381	65536

4.2 مخطط الترميز

اعتمدنا على مخطط الترميز "إكس إم إل- بازد" المقترح من طرف توتين ومن معه [7] لترميز المدوّنة بالروابط الإحالية. استناداً إلى هذا المخطط فإنّه يقع الترميز إلى العلاقة بين الضمير العائد ومفسّره باستعمال خاصيّات "إكس إم إل " مثل الخاصيّة "أي د" ID. فعلى سبيل المثال، في الجملة (نشأ **حنّبل** في بيئة حربية، وكانت أمّه هي التي درّبه على الفروسية منذ السادسة من عمره)، يقع ترميز المفسّر (حنّبل) بواسطة الخاصيّة <PTR src="0"> كما يظهر في الشكل 1.

- <s IndicePh="4"> <W>فكان</W> <W>يركب</W> - <EXP ID="12"> <W>الجواد</W> </EXP> <W>دون</W> <W>سرج</W> <W>أو</W> <W>لجأما</W> </s> - <s IndicePh="5"> <W>ويضغط</W> - <W> علي - <EXP ID="13"> <PTR src="12" /> </EXP> </W> - <W> بساقي - <EXP ID="4"> <PTR src="0" /> </EXP> </W>	- <EXP ID="10"> <PTR src="9" /> <W>التي</W> </EXP> - <W> دريت - <EXP ID="2"> <PTR src="0" /> </EXP> </W> <W>على</W> <W>الفروسيّة</W> <W>منذ</W> <W>السادسة</W> <W>من</W> - <W> عمر - <EXP ID="3"> <PTR src="0" /> </EXP> </W> <W> <W>،</W> </s> <s IndicePh="4"> <W>فكان</W>	<p> - <s IndicePh="2"> <W>نشأ</W> - <EXP ID="0"> <W>حنّيع</W> </EXP> <W>في</W> <W>بيئة</W> <W>حربية</W> <W>،</W> </s> - <s IndicePh="3"> <W>وكانت</W> - <EXP ID="9"> - <W> أم - <EXP ID="1"> <PTR src="0"> </EXP> </W> </EXP> - <EXP ID="11"> <PTR src="9" /> <W>هي</W> </EXP> - <EXP ID="10">
--	--	--

الشكل 1. مقتطف من المدونة المرمزة

4.3 نظام الترميز

لتسهيل عملية الترميز استندنا إلى نظام "أناتار" وهو نظام ترميز يدوي بالروابط الإحالية للغة العربية وقع اقتراحه من طرف حمامي ومن معه [10]. يتضمّن نظام "أناتار" الكثير من المزايا الموجودة في نظم الترميز مثل لغة البرمجة "جافا" و لغة "إكس إم إل". كما يتيح مزايا أخرى مثل الكشف الآلي للضمانات العربية في النص وذلك لتسهيل عملية الترميز بالنسبة للمستخدم الذي تقتصر مهمته على اختيار المفسر المناسب لكلّ ضمير. إضافة إلى ذلك فإنّ نظام "أناتار" يمكن المستخدم من ترميز سلاسل الرّبط الإحالي الطويلة بطريقة سهلة حيث أنّه يمكن اختيار كلّ الضمانات العائدة على نفس المفسر في عملية واحدة ثمّ ربطها بمفسرها.

يقبل نظام "أناتار" كمدخل له نصّاً مقسّماً إلى فقرات وجمل وكلمات ويكون هذا النصّ مخزّناً في ملف "إكس إم إل". هذا وتجدر الإشارة إلى أنّنا استندنا لتقسيم النصّ على نظام "ستار" الذي يعتمد

على علامات الوقف (مثل التنقيط والفواصل) وكذلك على أدوات العطف وغيرها من أدوات التقسيم [11].

5 نتائج دراسة المدونة

في هذه الدراسة، اهتمنا بدراسة بعض المعلمات البسيطة ولكنها أساسية وتؤخذ بعين الاعتبار في جل أنظمة تحليل الإحالة القبلية وقد ركزنا خاصة على المعلمات التي تعتبر سهلة الحساب وذلك بالاعتماد على المدونة التي قمنا بترميزها.

5.1 توزيع الضمائر العائدة

رغم أننا قمنا بدراسة توزيع الضمائر العائدة بالإعتماد على أنواع مختلفة من النصوص فقد تحصلنا على النتائج نفسها بالنسبة للضمائر المتصلة. هذا وتعتبر الضمائر المتصلة هي الأكثر تواترا في المدونة من الضمائر المنفصلة و الأسماء الموصولة كما يظهر في الجدول 2. أما بالنسبة للأسماء الموصولة فإنها توجد بنسبة لا بأس بها في المدونة حيث تصل إلى 25.93% في الدليل التقني أما في النصوص الأدبية فلا تتجاوز نسبة الأسماء الموصولة 2.34%.

الجدول 2. توزيع الضمائر العائدة

جريدة الرأي	كتب تربوية للسنوات الرابعة والخامسة من التعليم الأساسي	دليل المستخدم لهاتف "نوكيا E50"	
4.7%	2.7%	6.92%	الضمائر المنفصلة
75.7%	94.9%	67.15%	الضمائر المتصلة
19.55%	2.34%	25.93%	الأسماء الموصولة

5.2 كثافة الضمائر العائدة

استنادا إلى النتائج المتحصل عليها والمتعلقة بدراسة كثافة الضمائر العائدة في مدونتنا نلاحظ أن الضمائر العائدة هي أكثر انتشارا في النصوص الأدبية من النصوص الأخرى (الصحف والدليل التقني) حيث يصل معدل كثافتها إلى 9.96% كما يظهر في الجدول 3. من جهة أخرى، نلاحظ أن استعمال الضمائر العائدة في النصوص العربية يفوق بكثير استعمالها بالنسبة للغات التي تستعمل الأبجدية اللاتينية مثل الفرنسية. فلقد أشار توتين [12] إلى أن كثافة الضمائر العائدة تختلف حسب نوع النص، وتبلغ أقصى قيمة لها في النصوص الأدبية باللغة الفرنسية حيث تبلغ 4.23%.

هذه الملاحظات تقودنا إلى الاعتقاد بأن التحليل الآلي للحالة القبلية في النصوص العربية مهم جدا.

الجدول 3. كثافة الضمان العائدة

جريدة الرأي	كتب تربوية للسنوات الرابعة والخامسة من التعليم الأساسي	دليل المستخدم لهاتف "نوكيا E50"	
65536	57134	41381	عدد الكلمات
2511	5689	1184	عدد الضمان العائدة
%3.83	%9.96	%2.86	كثافة الضمان العائدة

5.3 كثافة الضمان بدون مفسر

الضمير بدون مفسر هو الضمير الذي لا يعود على مفسر قد وقع ذكره في النص. ويبيّن الجدول 4 توزيع الضمان بدون مفسر في مختلف أنواع النصوص. ورغم أنّ نسبة استخدام الضمان بدون مفسر تختلف حسب نوع النص فإنّها لا تتجاوز نسبة 5% وهي تكاد تكون منعدمة في الكتب التربوية. وهذا يعود حقيقة إلى أنّ استعمال هذه الضمان غير وارد عادة في الكتابات باللغة العربية. وهكذا، فإن كثافة الضمان التي لم يذكر لها مفسر ضعيفة جداً بالمقارنة مع كثافتها بالنسبة للغات أخرى مثل الانجليزية والفرنسية [13].

الجدول 4. توزيع الضمان بدون مفسر

جريدة الرأي	كتب تربوية للسنوات الرابعة والخامسة من التعليم الأساسي	دليل المستخدم لهاتف "نوكيا E50"	
18	3	10	عدد الضمان بدون مفسر
%4.85	%0.3	%3.83	كثافة الضمان بدون مفسر

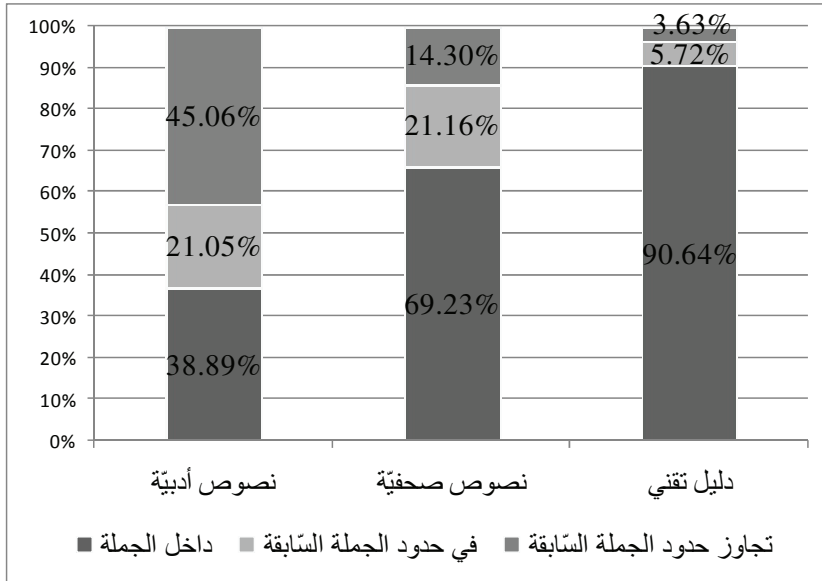
5.4 حيّز الرّبط الإحالي

يمثّل حيّز الرّبط الإحالي المسافة المحصورة بين محلّ الضمير ومحلّ المفسر. يمكن أن يكون الحيّز داخل الجملة إذا كان المفسر داخل جملة الضمير كما يمكن أن يتجاوز حدود الجملة إذا كان المفسر خارج جملة الضمير. وقد قمنا بدراسة حيّز الرّبط الإحالي حسب ثلاثة معايير: أولاً وجود المفسر داخل جملة الضمير، ثانياً وجود المفسر داخل الجملة السابقة لجملة الضمير وأخيراً تجاوز المفسر لحدود الجملة السابقة لجملة الضمير.

يبين الشكل 2 نتائج هذه الدراسة والتي نستنتج من خلالها أنّ أهمية عامل حيّز الرّبط الإحالي تتغيّر بتغيّر نوع النص. فنلاحظ أنّ نسبة تواجد المفسر داخل جملة الضمير ضئيلة في النص الأدبيّ (حوالي 40%) مقارنة بالمقال الصحفي والدليل التقني حيث تصل النسبة في هذا الأخير إلى

90.64%. ويمكن تفسير ذلك بتواجد سلاسل ربط إحصائي طويلة في النصوص الأدبية، فمثلا في الفقرة التالية المقطوعة من المدونة نلاحظ أنَّ سلسلة الربط الإحصائي تضم ثمانية ضمائر ترجع كلها إلى نفس المفسر " حنبعل " والذي وقع ذكره مرّة واحدة في أوّل الفقرة.

مثال: نشأ **حنبعل** في بيئة حربية، وكانت أمّه هي التي درّبه على الفروسية منذ السادسة من عمره، فكان يركب الجواد دون سرج أو لجام ويضغط عليه بساقيه الصغيرتين حتّى لا يفقد توازنه وينطلق به وهو ممسك برمح طويلة بيده اليمنى وكأنّه يسابق الريح.



الشكل 2. توزيع حيّز الربط الإحصائي

6 الخاتمة

قمنا في هذه المقالة بتقديم دراسة للضمير العائد ومفسره في اللغة العربية. تعتمد هذه الدراسة على مدونة مرمزة بروابط الإحصائية باللغة العربية تشمل أنواعا مختلفة من النصوص (صحف، دليل تقني وكتب تربوية). كما قمنا بعرض ومناقشة نتائج هذه الدراسة وقد أظهرت النتائج أنَّ كثافة الضمائر العائدة تختلف باختلاف نوع النص حيث أنَّها أكثر استعمالا في النصوص الأدبية. وهذا ينطبق أيضا على توزيع الضمائر العائدة فنلاحظ أنَّ استعمال الأسماء الموصولة يقلّ في النص الأدبي مقارنة بالمقالات الصحفية والدليل التقني. بالإضافة إلى ذلك فإنَّ نتيجة دراسة عامل حيّز الربط الإحصائي تبين تفاوت أهمية هذا العامل في نصوص المدونة وذلك حسب نوعها.

وباعتبار أنه لا توجد دراسات سابقة للضمائر العائدة في اللغة العربية فإنّ هذه الدراسة تلعب دوراً أساسياً في تطوير نظم آلية لتحليل الإحالة القبلية حيث أنّ نتائج هذه الدراسة إنّ دلّت على شيء فهي تدلّ على أنّ الاستراتيجية المقترحة لتحليل الآلي للإحالة القبلية ترتبط كلّ الارتباط بنوع النص.

المراجع

- [1] Mitkov R., Belguith hadrich L., Malgorzata Stys. "Multilingual robust anaphora resolution", In Proceedings of the Third International Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP-3), Grenade, Espagne, p. 7-16, 1998.
- [2] Hechiri C.: "The pronoun and its role in the sentence." PhD thesis, faculty of letters and humanities of Sfax, (1998).
- [3] Hammami S., Belguith Hadrich L., Ben Hamadou A. Anaphora in Arabic Language: developing a corpora annotating tool for anaphoric links, The 9th International Arab Conference on Information Technology ACIT'2008, Hammamet-Tunisia, 16-18 December 2008.
- [4] Mitkov R., Anaphora resolution, Longman, 2002.
- [5] Garside R., Fligelstone S., Botley S. Discourse annotation: anaphoric relations in corpora. In R. Garside, G. Leech, A. McEnery (Eds.) Corpus Annotation: Linguistic Information from Computer Text Corpora. London: Longman, pp. 66-84, 1997.
- [6] Mitkov R., Evans R., Orasan C., Barbu C., Jones L., Sotirova V. "Coreference and anaphora: developing annotating tools annotated resources and annotation strategies", In Proceedings of DAARC2000, pp. 49-58, 2000.
- [7] Tutin A., Trouilleux F., Clouzot C., Gaussier E., Zaenen A., Rayot S., Antoniadis G., "Annotating a large corpus with anaphoric links". In Proceedings of the Discourse, Anaphora and Reference Resolution Conference (DAARC2000). Lancaster, UK, 2000
- [8] Salmon-Alt S., Bick E., Romary L., Pierrel J.M. "La FREEBANK : vers une base libre de corpus annotés" TALN 2004, Fès, 19-21 avril 2004.
- [9] Poesio M., Delmonte R., Bristot A., Chiran L., Tonelli S. "The VENEX corpus of anaphora and deixis in spoken and written Italian", <http://cswww.essex.ac.uk/staff/poesio/publications/VENEX04.pdf>.
- [10] Hammami Mezghani S., Hadrich Belguith L., Ben Hamadou A.: Arabic Anaphora Resolution: Corpora Annotation with Coreferential links. The international Arab Journal of Information Technology, vol. 6, No. 5, pp481-489, November 2009.
- [11] Belguith Hadrich L., Baccour L., Mourad G. "Segmentation de textes arabes basée sur l'analyse contextuelle des signes de ponctuations et de certaines particules", 12ème conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles (TALN'2005), Dourdan, France, 6-10 juin 2005, pp 451-456.
- [12] Tutin A., "A corpus-based study of pronominal anaphoric expressions in French", In Proceedings of the Discourse, Anaphora and Reference Resolution Conference DAARC, 2002.
- [13] Hammami Mezghani S., Hadrich Belguith L., Ben Hamadou A.: A Rule-Based Method for Detecting Arabic Anaphoric Pronouns. In : Proceedings of the 7th Discourse Anaphora and Anaphor Resolution Colloquium DAARC'2009, Goa-India (2009).

الملخص باللغة الانجليزية

Title: The automatic anaphora resolution and its role in dealing with the Arabic Natural Language Processing.

Abstract. A little study has been devoted to the anaphoric expressions for Arabic in NLP and in linguistics. In this paper, we report on the distribution of the Arabic anaphoric pronouns in various genres of texts: technical manuals, newspapers, and educational books. For this purpose, we have created a corpus containing 164051 words and 4300 coreferential chains which have been annotated manually using AnATAr tool (Anaphoric Annotating Tool for Arabic). Then, we have examined several linguistic parameters governing the occurrence of anaphoric pronouns in this corpus. The results of this study underline that anaphoric strategies vary significantly according to textual genres and that this variation cannot be left aside in evaluation tasks.

Keywords: anaphora resolution, corpus annotation, antecedent, Arabic natural language processing.

المصطلحات

الإحالة القبلية	Anaphora
الضمير العائد	Anaphoric pronoun
ترميز مدونة	Corpus annotation
المفسر	antecedent
التقارن الإحالي	coreference
الحيز الإحالي	Distance to the antecedent
مخطط	scheme
ضمير بدون مفسر	Pleonastic pronoun



الجلسة الرابعة

استنباط قواعد اختيار أبعاد علامات الشكل لحوسبة الخط العربي

محمد حسيني، عز الدين لزرقي

جامعة القاضي عياض، كلية العلوم، شعبة المعلوماتية

ص.ب. 2390، 40000 مراكش، المغرب

{m.hssini, lazrek}@ucam.ac.ma

http://www.ucam.ac.ma/fssm/rydarab

الخلاصة. تعتبر علامات الشكل عناصر تكوينية في بنية الكتابة العربية اللغوية والجمالية، لكنها ليست مقننة ولا قواعد ميسرة للتطبيق تيبوغرافيا. إذ يعتبر استنباط قواعد وضعها واختيار أبعادها، من المخطوطات في ضوء فقر توفر مراجع علم الخط، حاجة ماسة، تهم عدة فروع من علوم الحاسب، في إطار معالجة الخط العربي آليا. وهي قضية تدرج بطبيعتها في علم اتخاذ القرار. في هذه الورقة، نركز على تطبيق علم استكشاف المعرفة على أعمال الخطاط محمد شوقي لاستنباط القواعد التي يعتمد عليها في تمديد أحجام الحركات وتقليصها. بشكل عدم وضوح القواعد وسط كثرة المتغيرات السياقية صعوبة كبيرة أمام نمذجة مختلف العوامل المؤثرة في تغير أبعاد علامات الشكل عند الخطاط. ينطلق البحث من تمثيل سياق لعلامات الشكل ككائن له سمات، من بينها: سياق حرف الأساس والأحرف المجاورة، وعلامات الشكل المجاورة، والفضاء الذي يسبق الكلمة ويلحقها، وعوامل التجميل والمحاذة. يتم تمثيل المعطيات السياقية وغيرها عبر هيكلية لكل المعارف ذات الصلة بأبعاد علامات الشكل قصد تضمينها في جدول للبيانات و قصد تطبيق آية من آليات استخراج البيانات لاستخلاص القواعد المبحوث عنها، ثم التحقق من صحة المتنبأ بها.

الكلمات الجوهرية: قواعد الخط العربي، أبعاد علامات الشكل، اتخاذ القرار، استكشاف المعرفة، التعلم الإستشرافي، شجرة القرارات، التنبؤ.

1 مقدمة

تشكل قواعد الخط العربي سبيلا للارتقاء بالتمثيل الرقمي للكتابة العربية – التي لا تزال تعاني من الاختلالات التي أطلتها – سواء بسبب قيود ورثت عن الطباعة الآلية أو بسبب محدودية تقنيات الحاسب في بداياته. تواجه الطباعة الرقمية العربية معضلة كبرى أمام تمثيل علامات الشكل العربية على الحاسب، وفق قواعد الخط العربي. حيث أبعاد العلامات تتغير وفقا لسياقات متعددة، فيمتد طول الفتحة والفتحتين أحيانا، وتقلص أجسام جميع العلامات أحيانا أخرى. وكذلك يقرن وضع العلامات على الكلمة – سواء في حال التمديد أو التقليص أو عدم تغيير الأبعاد – بتوزيع متساو للبياضات فوق أو تحت الكلمة. غير أن قواعد الخط العربي في اختيار أبعاد علامات الشكل ليست من البدايه بمكان، بحيث يمكن معرفة قواعد تغيير الأبعاد سواء في حال التمديد أو التقليص لعدة أسباب، منها: أولا، عدم اشمال مراجع الخط العربي على تعقيد وتأسيس لكيفية تغيير أبعاد علامات الشكل. وثانيا، اختلاف قواعد تغيير علامات الشكل بين الخطاطين – من خلال ما يطبقونه في مخطوطاتهم –. فكل أسلوبه في مواضع ودرجات تمديد أو تقليص أجسام تلك العلامات، بحيث يمكن الجزم بأن أسلوب وقواعد تغيير الخطاط لأبعاد العلامات خاصة تميز يده وأسلوبه في الكتابة. وثالثا، إنه لدى نفس الخطاط وعند نفس السياق وفي نفس الكلمة نجد تمديدات بأشكال مختلفة.

إن استنباط قواعد تغيير أبعاد علامات الشكل من المخطوطات، لمعرفة مميزات أسلوب الكتابة عند الخطاط، ضرورية من أجل تقنين محاكاة الخط اليدوي حاسوبيا. غير أن هذا يلزم رفع تحديين رئيسيين يتمثلان في:

- التحدي الأول يكمن في طبيعة القواعد المراد استنباطها، وطبيعة الموارد التي ستستخرج منها القواعد، وكذا درجة الوثوقية في المعرفة المستنبطة. فالقواعد المراد استخراجها تحكم فيها معايير جمالية تتأثر بالمهارة والذوق والحس الفني لدى الخطاط، الذي يراعي في كل قرار له بتغيير العلامات عدة أبعاد سياقية. والحس الفني أمر يتدخل في تحليله تقنيات اتخاذ القرار، وعلم النفس المعرفي، إلى غير ذلك. أما الموارد التي يرد منها استقاء تلك القواعد فتتقسم إلى قسمين: أمشاق وهي ذات أهداف تعليمية، أو مخطوطات غالبا ما لا توفر كل التوليفات السياقية للأحرف. إذ لا تنصص مراجع الخط على قواعد لتغيير أبعاد العلامات. إضافة إلى ذلك، فالمعرفة التي هي مناط استنباط ليست مهيكلية، بحيث تسهل معالجتها آليا.
- والتحدي الثاني يكمن في طبيعة الآليات التقنية المستعملة لاستنباط تلك القواعد. فالمسألة تدرج في البحث عن وسيلة لاتخاذ القرار تحت عدة مظاهر: التحليل، والتمثيل أو النمذجة، والعوامل النفسية، وكذا الحس

الدوقي الجمالي. إذا كان الموضوع يندرج في نظرية اتخاذ القرار من أجل بلورة نموذج لقواعد تغيير أبعاد علامات الشكل عند خطاط معين، فإنه كذلك وسيلة للتعرف على مهارات في الكتابة تعين على القياس البيومترى.

في ظل غياب بحوث في هذا المجال، تأتي هذه الدراسة لسد بعض الخصاص، وتغطية حاجة تهم كل من: التعرف الضوئي للنص المشكول، المعالجة الآلية للغة العربية، الطباعة الرقمية، الإبداع التصميمي الرقمي، تقديم بناء تصويري من أجل حوسبة التراث الخطي العربي.

تتحدد الإشكالية المدروسة في هذا البحث في استخراج قواعد اختيار أبعاد علامات الشكل في سياق معين: أماكن تمديد الفتحة والفتحتين مع درجة التمديد، وأماكن تقليص أجسام العلامات مع درجة التقليص. نحاول في هذه المقاربة تطبيق مراحل علم اكتشاف المعرفة، من أجل استنباط قواعد لاختيار أبعاد علامات الشكل عند خطاط معين. وهكذا تنتبج الخطوات التالية: في مرحلة أولى، ننطلق من تحديد أنواع المتغيرات التي لها صلة بأبعاد علامات الشكل عند ثلثة من كبار الخطاطين في خط النسخ، ثم نعكف على محاولة استجلاء أهم العوامل التي تؤثر على أبعاد العلامات، عند أحد أعمدة ذلك الخط محمد شوقي. في مرحلة ثانية، نحدد مفهوم سياق لعلامات الشكل ككائن له سمات، فنبحث عن نمذجة لمختلف السمات. وانطلاقاً من عينة للبيانات – من خلال أعمال محمد شوقي – نبحث عن تنقيح تلك المعطيات وتصنيفها إلى أصناف عبر استعمال آلية شجرة اتخاذ القرار، ثم البحث عن ترتيب الأبعاد في كل صنف حسب ترددها. وعليه، سنتبع في بحثنا هذا الخطوات التالية:

- تحديد كل المعطيات ذات الصلة بتغيير أبعاد العلامات، بحدديد: أوجه الاختلاف بين سياق لعلامات الشكل وسياق لصور الأحرف، والسمات التي تميز سياق علامات الشكل عن سياق اختيار الصور، وجمع كل المعطيات التي لها علاقة بأبعاد العلامات.
- هيكلية المعطيات حول المتغيرات السياقية، بحيث يسهل تطبيق آليات علم اكتشاف المعرفة عليها.
- تحديد أساليب تحليل تلك المعطيات وتنقيحها وتحديد الاستثناءات.
- البحث عن كيفية اتخاذ قرار باختيار بعد لعلامة الشكل حسب سياق العلامة.
- تقييم النتائج، عبر تطبيقها على قاعدة أخرى للمعطيات للتجربة.

2 تغيير أبعاد العلامات

1.2 تشكيل الكلمة في الخط العربي

شكل الكلمة هو وضع علامات الشكل قصد ضبط المعنى، ورفع اللبس، وتحسينه من التصحيف والتحريف [2]. ولهذا، تهدف علامات الشكل إلى: سهولة القراءة، وإعطاء قيمة صوتية للحرف، وتجنب أي غموض أو لبس بين كلمتين بتحديد المهام النحوية للكلمة، ولعب دور جمالي بملء الفراغ في الكلمة. لقد اقترن الشكل بالنقط – الإعجام – في أدبيات الخط العربي، بل في البداية كانت العلامات عبارة عن نقط بمداد ذي لون غير لون مداد كتابة الكلمات. ثم بعد ذلك جعلت الفتحة ألفاً صغيرة مائلة فوق الحرف، والكسرة ياء صغيرة تحت الحرف، والضمة واوا صغيرة فوقه. أما إذا كان الحرف منونا كررت الحركة، ووضعت شين غير منقوطة للتعبير عن الشدة، ووضع رأس عين – وهي الهمزة المجمودة – للتدليل على وجود الهمزة، وغيرها من الحركات، كالسكون وهمزة الوصل [3].

- وضع النقط وعلامات الشكل في الخط العربي يمر عبر مرحلتين: أولاً، كتابة الكلمة بدون تشكيل: وفيها يتم اختيار صور الأحرف الموافقة لسياقات المجاورة والجمالية والمحاذة؛
- ثانياً، الإكساء: وفيها توضع العلامات، مثل النقط، والحركات، والهموز، والمدود.
- يراعى في وضع العلامات وفي تغيير أبعادها تساوي الفراغات. تكاد تنعدم الموارد التي تفصل أسس تغيير أبعاد الأحرف. فأغلب المعارف المتعلقة بالمسألة تلقن عبر تعليم شفهي. تتكون الموارد من الأقسام التالية:
- المراجع: ونعني بها الرسائل والكتب التراثية التي توطر للخط العربي. لم نعثر في المتوفر منها على ما يفصل في كيفية تغيير أبعاد العلامات.
- التلقين الشفهي: غالباً ما تنقل القواعد من الخطاط إلى تلاميذه في قواعد وضع وتمديد علامات الشكل أو تقليص جسمها عبر التلقين الشفهي. أحياناً احتياطاً للحفاظ على أسرار مهنية، وأحياناً كثيرة بسبب صعوبة هيكلية وتدوين المهارات اليدوية الخطية.
- الأمشاق: وهي عبارة عن كراسات للمبتدئين تحمل في طياتها أساليب للتعليم.
- اللوحات: وهي عبارة عن صيغ نصية تحمل تراكيب للكلمات وتزيينات وخصوصيات، جلها ليست لكتابة النص العادي.

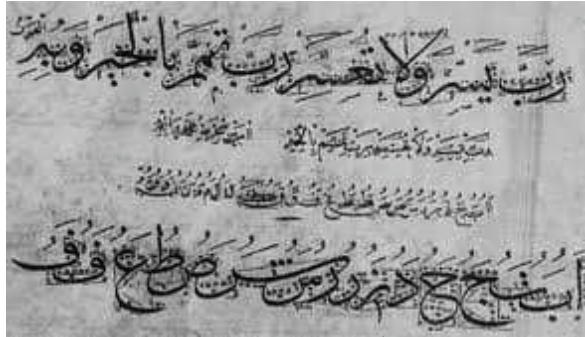
• المخطوطات: من المصاحف والكتب.

إذا لم تفصل مراجع أصول الخط وكتب تعليمه في كيفية تغيير أبعاد الأحرف، فإن هذه القواعد مطبقة في المخطوطات. تشكل المصاحف أرقى ما يمكن أن يتضمن حسن جودة خط الخطاط؛ إذ أولى الخطاطون عناية كبرى بكتابة المصاحف. وهكذا، فالمصاحف المخطوطة تعتبر خزانة لقواعد الخط العربي، وهي خير مورد لاستخراجها. ذلك ما قام به اتانسيو مع مصحف ابن وحيد حول استنباط قواعد اختيار صور الأحرف [6]. في دراستنا هذه، نعتمد على مصحف شوقي لاستخلاص قواعد تغيير أبعاد العلامات. وهو مصحف يتميز بجودة الخط، وكثرة العلامات الممدودة، وتغير المسافة بين الأسطر، وكذا قلة الكلمات في السطر. ففي الجدول 1 مقارنة بين مصحفي محمد شوقي وحامد إيتاج الامدي.

الخاصية	مصحف شوقي	مصحف الامدي
معدل عدد الكلمات في السطر	5.3	9
معدل عدد الأسطر في الصفحة	10	15
المسافة بين السطرين (بالنقط)	13	16

الجدول 1. مقارنة شكلية بين مصحفي شوقي والامدي

تتميز علامات الشكل بالطول والعرض ودرجة الانحناء. تقاس هذه الأبعاد بواسطة النقطة مثلما تقاس بها الحروف (انظر الشكل 1). والنقطة تكون في هيئتها على شكل معين أو دائرية. وتلعب دوراً آخر كعلامة للتمييز بين الأحرف ذات الأشكال المتشابهة [4]. فهناك أبعاد اعتيادية لعلامات الشكل، حين لا يوجد داع للتمديد أو التقليل (انظر الجدول 2). وتتغير أبعاد العلامات تبعاً لتغير سياقات أحرفها، على ضربين: تمديد الطول وتقليل الجسم.



الشكل 1. مقياس الأحرف والعلامات بخطي النسخ (في الوسط) والثلاث (في الأعلى والأسفل) للشيخ عبد العزيز الرفاعي

الارتفاع	العرض	علامة الشكل
2	3	الفتحة
3	3	الضمة
2	3	الكسرة
1	2	الثدة
3	3	الفتحتان
3	4	الضمتان
4	3	الكسرتان
1	1	السكون

الجدول 2. الأبعاد الاعتيادية لعلامات الشكل عند محمد شوقي

2.2 تمديد أجسام العلامات

يقصر تمديد الطول على علامتي الفتحة والفتحتين، دون سواهما. ويتم تمديد الفتحة والفتحتين في عدة حالات، نتلخص فيما يلي:

- وجود الكشيدة في حرف الأساس للعلامة [4]؛

- وجود الكشيبة في حرف مجاور: سواء قبل حرف الأساس أو بعده في نفس المقطع؛
- وجود فراغ يفصل بين كلمتين أو مقطعين أو حرف منفصل ومقطع أمام الحرف أو بعده؛
- توالي أحرف ارتفاعات تنازلية؛
- وجود الفتحة لوحدها فوق الكلمة أو المقطع؛
- عند مقطع ينتهي بالألف أو بحرف صاعد، مثل: ط، ظ، ل، ك.

غير أن هذه المواضع ليست أغلبها ملزمة للخطاط، بحيث تمتد أبعاد العلامات فيها بشكل إلزامي وتلقائي. فقد يفضل الخطاط تمديد فتحة الحرف المجاور رغما عن وجود الكشيبة في حرف الأساس الحامل لعلامة قابلة للتمديد. في الجدول 3 قياس لتردد ورود التمديد في المواضع المذكورة أعلاه عند الخطاطين شوقي والامدي من خلال عينة خاصة بكل موضع.

حالات التمديد	محمد شوقي			إيتاج الامدي	
	عدد الملاحظات	ورود التمديد	التردد	عدد الملاحظات	ورود التمديد
الكشيبة في حرف الأساس	10	9	0.9	18	17
الكشيبة في حرف مجاور	7	5	0.7	5	3
توالي ارتفاعات تنازلية	3	3	1	5	5
فراغ قبل الحرف أو بعده	6	5	0.8	5	5
وجود الفتحة لوحدها	5	5	1	7	7
مقطع ينتهي بحرف صاعد	11	9	0.8	15	14

الجدول 3. تردد التمديد حسب المواضع عند الخطاطين شوقي والامدي

3.2 تقليص أجسام العلامات

يتم تقليص أجسام العلامات بسبب ضيق الفراغ المخصص والمتبقي لرسمها لهدف محاذاة السطر. ويمكن تلخيص الحالات التي يرد فيها التقليص في ما يلي:

- تقليص أجسام الأحرف؛
- نقل الحرف النهائي من الكلمة في نهاية السطر؛
- تداخل كلمتين [5] أو لاهما تنتهي بنون أو حرف له كأس النون (ص س ل ق ك)؛
- نقل مقطع من الكلمة؛
- تركيب الأحرف.

يختلف تردد ورود تقليص الفتحة والفتحتين حسب المواضع من خلال عينة خاصة بكل موضع (انظر الجدول 4).

حالات التقليص	محمد شوقي			إيتاج الامدي	
	عدد الملاحظات	ورود التقليص	التردد	عدد الملاحظات	ورود التقليص
تقليص أجسام الأحرف	8	8	1	6	5
نقل الحرف النهائي من الكلمة	5	5	1	5	5
تداخل كلمتين	5	5	1	3	2
نقل مقطع من الكلمة	2	2	1	3	2
تركيب الأحرف (تتضمن حرف الكاف)	2	2	1	4	1

الجدول 4. تردد التقليص حسب المواضع عند الخطاطين شوقي والامدي

3 سياقات علامات الشكل

يأتي اختيار أبعاد العلامات في الخط العربي في مرحلة ثانية بعد مرحلة اختيار الصور وكتابة الكلمة. وبالتالي فإن تحليل سياق لاختيار بعد علامة قصد وضعها فوق الحرف أو تحته، وبشكل يناسب مع ملء الفراغ المناسب للحرف الأساس، يبني على تحليل سياق الأحرف الأساسية للكلمة التي يقع ضمنها الحرف المراد تشكيله. يختزل سياق تغيير أبعاد علامات الشكل متغيرات تنبني على سياقات أحرف الكلمة المشكولة، ومعايير مقاييس الجمال عند

الخطاط، وأسلوبه في وضع العلامات المجاورة عند تغيير أبعاد العلامات، واستغلال الفراغ الناتج عن تجاور الكلمات والأحرف المفصولة.

وهكذا، فاختيار بعد علامة الشكل من طرف الخطاط مبني على تعددية للمعايير. تختلف درجة أهمية ارتكاز الخطاط على أي واحد منها تبعاً للمول الحسية الجمالية عنده لحظة الكتابة، وتليق، كما اختيار الصور، كالية لتميز أسلوب الخطاط في الكتابة، ومنه كالية للتحقق البيومترى [6]. إن نفس سياق حرفين متجاورين أو ثلاث لا يعطي بالضرورة بعداً واحداً للعلامة. فمثلاً يلاحظ أن علامة الفتحة فوق حرف السين من نفس الكلمة "سيعلمون" وقد تغيرت درجة تمديدها مرتين (انظر الشكل 2)، والسبب في نظرنا هو أن هناك عوامل أخرى تؤثر في اختيار البعد من مثل موقع الكلمة والفراغ السابق واللاحق لها.



الشكل 2. أبعاد العلامات حسب السياق

1.3 سياقات اختيار صور الأحرف

تؤثر الأحرف على الفراغ الذي سوف تملؤه علامات الشكل. إذ يحدد طول حرف الأساس وعرضه، وطول الحرف المجاور وعرضه، المساحة التي يجب ملؤها عن طريق تمديد أو تقليص جسم علامة الشكل. غير أن صورة حرف – ومن ثمة أبعاده – هي الأخرى تتغير حسب متغيرات سياقية، وتبعاً لها يتغير حجم الفراغ المناسب لوضع وتمديد أو تقليص علامته. ويتمحور تحليل الأحرف حول ثلاثة مبادئ أساسية:

- اختيار صورة للحرف مناسبة لسياق معين؛
- أبعاد الصورة؛

- وتغير أشكال الصور والعلاقة مع تغير أشكال الفتحة في نفس السياق.

تحديد لائحة سياقات اختيار الصور ضرورية من أجل دراسة السلوك المبياني للخطاط. يجب تناول هذه المرحلة بحذر – اعتماداً على مشورة أهل الفن ودراسة متأنية – لما هو واجب من الصور في مختلف السياقات وما هو مستحب أو ممنوع. وذلك من أجل بلورة بنية لأهمية السياقات اعتماداً على أهميتها من حيث استجابة اختيار الصورة لمقاييس جودة الصورة وجمالية السياق وعوامل المحاذاة.

في بحثنا هذا، ورفعاً لأي لبس محتمل بين مفهومين للسياق، نعتبر سياق الصور مجموعة سمات خاصة تميز سياق علامات الشكل. تتعدد سياقات اختيار الصور، وتبدأ من عوامل اختيارها من أجل المحاذاة [7]، مروراً بالجمالية، وأيضاً من أجل تمرير خطاب مشفر عن طريق استعمال بعض الصور. هناك سياقات المجاورة، ونهاية السطر والكلمات المجاورة، وسياقات الحفاظ على التوازن بين كتل الأحرف، وتوزيع البياض. وهناك سياقات لها علاقة بدلالة الكلمة، وأخرى بطرؤف الكاتب ومكان ووقت الكتابة.

تؤثر الحالة النفسية والصحية للخطاط أثناء الكتابة بدرجة ما في طريقة اختياره للصور أو تصميمها، مثل: العياء، قلة النوم، وضعية الجسد أثناء الكتابة. ويؤثر محيط الخطاط كذلك، بشكل غير مباشر، في اختيار الصور أو تصميمها، مثل: أدوات الكتابة، مكان الكتابة، وقت الكتابة، حالة الطقس. فعموماً، السياقات الأكثر تردداً [8] في استعمال صورة معينة في المخطوطات تنلخص في سياقات المجاورة، وبدايات ونهايات الكلمة والسطر، وأوضاع الكلمة في بنية النص.

يتم اختيار صورة للحرف، في سياق معين ومن بين باقي الصور، بناءً على متغيرات مبيانية، وأيضاً بناءً على مزاج الخطاط. يعتبر اتانسيو [6] سلوك الخطاط كدالة تنطلق من مجموعة للسياقات نحو مجموعة لصور الأحرف. يلجأ الباحث إلى استدعاء مفاهيم من علم اتخاذ القرار ومن الرياضيات ليحصل على آليات نظرية كافية لسرد طرحه. تنلخص تلك النظرية في اعتبار الخطاط – بسلوكه – والسياقات وصور الأحرف، نظاماً يفعل عبر تقديم إثارة للخطاط الذي يقوم بدوره بمسألة عالم السياقات ومن خلالها يقوم باختيار الصورة التي يجب أن تمثل الحرف في السياق. القاعدة المبحوث عن استنباطها عبارة عن محاكاة تتضمن بنية منطقية كالتالي [6]:

← المثير ← الشرط ← دالة الربط ← ردة الفعل

حيث [6]:

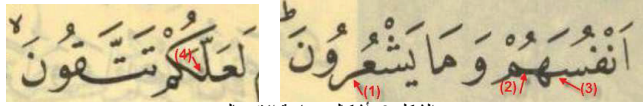
- المثير: إشارة تقدم للخطاط قصد اختيار صورة للحرف؛

- الشرط: الخطاط يسائل عالم الصور؛
 - دالة الربط: دالة تربط بين السياقات والصور؛
 - ردة الفعل: حسب الشرط يقوم الخطاط باختيار الصورة.
- يعتمد في الاختيار على الصورة الأكثر تردداً في السياق. غير أنه في حال تعدد السياقات في اختصار يلزم بعض الجهد والوقت في تحديد قيمة كل سياق ورتبته قصد المفاضلة بينها. وعلى ذلك بنى نموذج الذي يزاوج بين المنطق الضبابي، ونسخة معدلة من الشبكة العصبية. لكن تصنيف كثير من القواعد المهمة – عند اتانسيو – في خانة العشوائيات فيه كثير من التسرع ويعوزه التدقيق والتروي خاصة وبعض الصور يتم اختيارها بناءً على أكثر من سياق، وهو ما يخلّله نموذج اتانسيو في واحد.
- تحدد مراحل اختيار الصورة، عند اتانسيو، في ثلاث:
- مستشعر: يفتح السياقات؛
 - مخطط: يحدد الصورة التي ستستجيب للمستشعر والسياق المختار؛
 - الوزن: يترجم أهمية الاستجابة للمستشعر في التقييم النهائي.
- و هكذا، فإن نموذج قواعد اختيار الصور يتلخص فيما يلي:
- القواعد عبارة عن استلزامات منطقية من نوع **ق: س ← ص**، حيث **ق** هي القاعدة و**س** هي السياق و**ص** هي الصورة؛
 - تحديد الصورة يتم عبر سياق واحد وليس عدة سياقات متنافسة؛
 - محدودية عدد القواعد من حيث الكم؛
 - اغلب القواعد هي من نوع أصنافي؛
 - بعض القواعد المعقدة تتأسس على مقارنة ضبابية، حيث احتمال اختيار صورة ليس محدد بعدد وحيد وإنما بمنحنى من القيم تمثل فضاء توبولوجيا من **ن** بعد حيث كل بعد يمثل سياقاً؛
 - القواعد كلها تدل على الصور التي يجب اختيارها وليس التي يجب تجاهلها.
- في حالة الأخذ بقواعد اختيار تغيير أبعاد العلامات، الوضع يتعقد أكثر. إذا كان اختيار بعض الصور منصوحاً عليه في الكتب التعليمية والمراجع الخطية وكذا عبر التلقين الشفهي، فإن تمديد أو تقليص العلامات يترك لتقدير الخطاط وذوقه. كما أن سياق علامات الشكل يتضمن متغيرات عدة ليس من السهل المسارعة بتصنيفها كلها ضمن خانة العشوائيات.
- إن دراسة التقطيع المبياني للكلمة ضروري لاستخراج أبعاد صور الأحرف المكونة للكلمة [10]، لأنها من المعطيات ذات الارتباط بالفراغ الذي له علاقة مباشرة بمواقع وأبعاد العلامات. تتكون الكلمة من أحرف منفصلة ومقاطع تتضمن أحرفاً متصلة فيما بينها. الأحرف المتصلة تتكون من جذر ونهايات. كل حرف متصل له مدخل و/أو مخرج حسب وضعيته في مقطعه. يتصل الحرف بالذي يليه وفق مساحة تسمى مساحة اتصال، وفيها ينتهي الحرف الأول لينبأ تمثيل الثاني. غير أن هذه المساحة التي يترابط الحرفان المتصلان وفقها تشهد تداخلاً فيما بين هينتي الحرفين، وأي تقطيع لها إلى جزأين منفصلين – قصد الحصول على تمثيلي الحرفين – فيه بثر، يبدو كأن الأحرف العربية المتصلة هي في الأصل منفصلة وتم تجميعها. عند ربط الأحرف العربية يتم ضبط وتعديل مخارج الأولى ومداخل الثانية حتى تبدو في توافق وانسجام. وعند التقطيع إلى أجزاء منفصلة يتم تضييع كثير من الأجزاء المبيانية فيعطي التقطيع رسومات لأحرف منقوصة.
- طول مسافة الاتصال بين حرفين ما بين صفر نقطة وثلاث نقط في حال عدم مد الحرف. شكل مساحة الاتصال مرتبط بشكل صورتني الحرفين المتصلين فيما بينهما. مساحة الاتصال يمكن أن تمتد عن طريق الكثيدة ويمكن أن تصل حينها إلى ستة نقط. ومساحة الاتصال لها خمس أشكال (انظر الشكل 3):

- (1) شكل مقعر
- (2) شكل خطي
- (3) شكل محدب مع نقطة انعطاف
- (4) شكل محدب من دون نقطة انعطاف
- (5) شكل قنطرة

يرتبط شكل مساحة الاتصال بالعوامل التالية:

- شكل صورتني الحرفين المتصلين فيما بينهما
- اتجاه وانحناء مخرج الحرف الأول ومدخل الحرف الثاني
- ارتكاز المساحة وعلاقتها بالسطر
- طول مساحة الاتصال



الشكل 3. أشكال مساحة الاتصال

تمديد مساحة الاتصال له علاقة بعوامل المحاذاة وضرورات تجميلية: إذ تمديد مساحة الاتصال وسيلة لتحقيق التوازن بين كتل الأحرف داخل الكلمة.

بالنسبة لأبعاد مساحة الاتصال، هناك حاجة لتحديد طول المساحة المناسب للسياق، وكذا السمك المناسب لمداخل ومخارج الأحرف.

في كتابة متصلة، كالخط العربي، لا يرفع الخطاط القلم إلا بعد استنفاده الكامل للمداد. تتداخل أجزاء خارجة من الأحرف وتعديل حتى توافق الأجزاء التي بها يتم الارتباط. وهكذا، ففي مساحة الاتصال، هناك جزء مشترك بين صورتَي الحرفين المتصلين فيما بينهما. بعبارة أخرى، فإن أي تقطيع لرسم الحرفين يجب أن يراعي أن مخرج الحرف الأول يأتي بعد مدخل الحرف الثاني وأنهما يشكلان طرفي المساحة المشتركة بين رسمَي صورتَي الحرفين (انظر الشكل 4).



الشكل 4. مخرج اللام يأتي بعد مدخل الفاء

لا بد للتقطيع المبياني للكلمة من مراعاة تداخل أجزاء الأحرف المتصلة، ومراعاة ما إذا كان بين الحرفين المتصلين مساحة مشتركة يجب أن توزع بينهما، وإلا فإن الرسوم المحصلة بعد التقطيع ستكون ناقصة، ويوجد فيها بثر لا يفي بالرسم البياني للكلمة كما هو.

ويتلخص الإجراء فيما يلي:

- تحديد السياق.
 - مراقبة الجودة المبيانية للمساحة المراد تقطيعها:
 - تحديد النفاض في الرسم: مثل: الارتعاشات، المدود الغير صحيحة، المسافة غير الصحيحة بين جذري حرفين؛
 - إهمال تلك النفاض.
 - اختزال مساحة الاتصال وتحديد المساحة المشتركة:
 - تحديد مخرج الحرف الأول استنادا إلى هيئته كما وردت في مراجع الخط؛
 - تحديد مدخل الحرف الثاني استنادا إلى وصف هيئته كما ورد في الخط العربي؛
 - استخراج المساحة المشتركة وهي المحصورة بين مخرج الحرف الأول ومدخل الحرف الثاني.
 - تقطيع مساحة الاتصال إلى حسب النقطتين المحددتين أعلاه: المساحة المشتركة ورسمين بضمان جذري الحرفين.
 - نسخ المساحة المشتركة إلى اثنين.
 - تجميع كل نسخة من المساحة المشتركة إلى جزء يضم جذر حرف منهما.
- إن تحليل شكل رسومات الصور المقطعة تازم لمعرفة مدى تغير الأشكال مبيانيا عند الخطوط والنظر فيما إذا كان ذلك التغير يؤثر على درجات تمديد العلامات أو تقليصها.
- ينقسم تحليل الشكل إلى شقين: شق هندسي: يهدف إلى دراسة الخصائص الهندسية للمنحنى الممثل للصورة؛ وشق إحصائي: يهدف إلى قياس مدى تغير رسم الصورة من طرف الخطاط، ثم البحث عن توحيد البيانات الهندسية عبر الحصول على شكل موحد، عبارة عن معدل متوسط من تلك الأشكال [9].
- و يتم ذلك عبر:

- اختيار عينة من الرسومات لنفس الصورة.
- تحديد شكل مرجعي.
- تحديد نقط ومعالج على مبيان الشكل.

2.3 الفراغ الذي يسبق الكلمة أو يليها في الكتابة

تتفاعل الكلمة مع جوارها حسب نهاية الكلمة وبداية الكلمة التي تليها، وحسب بداية نفس الكلمة ونهاية الكلمة التي تسبقها، أو حسب العلاقات النحوية والإملائية التي تجمع بينهما، كالجار والمجرور، والأسماء والنسب التي يجب أن توجد في نفس السطر، مما يؤدي إلى تقليص الكتابة أو تمديدتها. يؤثر موقع الكلمة من السطر على الفراغ الذي على علامات شكل الكلمة ملؤه. يختلف الفراغ بين الكلمتين المتجاورتين، إذن، حسب:

- تداخل الكلمات: تتداخل كلمتين فيما بينهما إذا انتهت أولاها بحرف معين وابتدأت الثانية بحرف معين آخر تربطهما علاقة تداخل (انظر الجدول 5). غير أن لذلك شروط، كما يقول ابن العفيف: "ولا تدغم الواو ولا النون بعد مد أصلاً في خفيف ولا ثقيل، ولا يستحسن إدغام السين بعد الكاف المشكولة ويجوز بعد اللام والميم". ويتم تمديد عرافة النون في النون والصاد والضاد بشكل يغطي أسفل الكلمة التي تليها بالكامل أو تغطي جزءاً منها.
- تأثير نهاية كلمة على الأحرف الأخرى: مثلاً، إذا توالى العراقات وكانت فيها الياء وجب أن تكون راجعة إلى ذات اليمين كما يقول ابن العفيف.
- موقع الكلمة من السطر: يؤثر تنقيل كلمة أو تقليص حجم أحرفها في نهاية السطر على الفراغ الذي يفصلها عن الكلمة التي تسبقها.
- علامات الكلمة الأولى: حين تنتهي كلمة بحرف يحمل علامة الكسرة أو بحرف لا يحمل علامة شكل، فإن ذلك يحدث فراغاً يملأ عند شوقي بتمديد الفتحة من الكلمة التالية. كما أن تموضع باقي العلامات على نهاية الكلمة يؤثر على الفراغ الذي بين كلمتين.

آخر حرف من الكلمة الأولى	أول حرف من الكلمة الثانية
[ب]	ا ل [ب] [س] ل
[د]	ا
ن [ص]	م ا ل [ح]
ل	ا [ح] [س]

الجدول 5. تداخل كلمتين متتابعين حسب نهاية الأولى وبداية الثانية

3.3 عوامل المحاذاة

يسعى الخطاط من خلال تمديد الأحرف إلى تحقيق وضوح أكبر في أشكال الأحرف ومواقعها، وأيضاً إلى توازنها على السطر. فالكشيدة آلية للموازنة مع كتل أحرف أخرى. يتم تمديد الفتحة بعد الكشيدة لملء الفراغ الناتج عنها [4]. قد يؤدي تعدد المستويات الناتج عن التركيب في الكلمة إلى فراغ حين الانتقال إلى المستوى الأول، أي إلى السطر.

4.3 المعايير الجمالية

- إذا كان تقليص جسم العلامات ضرورة لا مناص منها بسبب قلة وضيق الفراغ اللازم لكتابة العلامة، فإن تمديد طول الفتحة والفتحتين يسعى إلى ضبط البناء الفني للخط [1]:
- التطابق: تساعد في تماسك أجزاء الكلمة.
- التوافق: استقرار الأحرف على السطر و توازي الحركات معها حتى لتبدو الكلمة المشكولة كأنها كتلة واحدة.
- التوازن: خلق موازنة مع أحرف الكلمة النازلة تحت السطر أو الصاعدة فوقه.
- التناسب: توزيع متناسب للبياض.

5.3 تعدد العلامات

- إن حسن توزيع البياض في الكلمة بين جميع علاماتها، يزيد قوة التكوين الجمالي للكلمة. فالعلامات تؤدي دوراً يجب أن ينسجم مع الخصائص الفنية لأحرفها، خاصة حين:
- وجود أكثر من علامة شكل لتغيير بعدها؛

- تعدد علامات الشكل الموجودة في نفس الجهة المكانية من الكلمة؛
- العلاقات الجمالية فيما بين تموضع جميع العلامات؛
- وجود علامات أصلية، كالهزمة والنقط؛
- وجود علامات زائدة، كالآلف الخنجرية.

6.3 تعدد مستويات الكتابة

تنظم الأحرف العربية فوق سطر الكتابة، وتلتقي وتتصل مع بعضها بطريقة تسمح بإبراز الخصائص الفنية لكليهما في انسيابية وانسجام. يؤدي اتصال الأحرف العربية بأحرف الحاء وأخواتها والميم والياء الراجعة إلى تعددية في مستويات الكتابة [5]. فتبدو الكلمة كأنها قد انتظمت على أكثر من سطر وهمي يوازي سطر الكتابة. هذا التراكم يؤدي إلى خلق فراغ حين الانتقال من مستوى أعلى إلى آخر أسفل منه. ويؤثر بالتالي على مواضع وأبعاد العلامات وعلى كيفية توزيع الفراغ بينها.

4 منهج استنباط القواعد

1.4 تمثيل سياق لاختيار بعد علامة شكل

نهدف في بحثنا هذا إلى تجميع السياقات الخاصة بعلامة شكل إلى أصناف، والبحث في كل صنف عن بعد العلامة الأكثر استعمالاً. يمكن تمثيل سياق لاختيار بعد من أبعاد علامة الشكل ككائن إحصائي له سمات يتم تحديدها انطلاقاً من المميزات التي تم سردها في الفقرة السابقة.

تختلف أنواع السمات، وتختلف تبعاً لها طرق تعريف قياس التشابه والمسافة بين الكائنات أو بين الكائنات والمجموعات. نقول بأن كائنين متشابهين إذا كانت أغلب السمات متطابقة [11]. وهناك:

- التطابق الإيجابي: توفر نفس القيمة (نعم) بين سمتين؛
- التطابق السلبي: توفر نفس القيمة (لا) بين سمتين؛
- عدم التطابق: توفر سمة قيمتها نعم والأخرى لا؛
- مؤشر التطابق: هو عدد محصور بين 0 و1.

بالنسبة للمتغيرات المتصلة نستعمل المسافة الأوقيديية.

لكن إذا كانت المتغيرات غير ذات طبيعة متجانسة، فإن قياس المسافة بين سياقين للعلامات يتم عبر العلاقة التالية:

$$D(a,b)=1-S(a,b)$$

حيث $S(a,b)$ هو قياس التشابه.

إن سبر القواعد التي يتبناها الخطاط في اختيار بعد من أبعاد علامة شكل في سياق معين، يحتاج إلى تمثيل المعطيات السياقية السالفة على جدول للبيانات - كما سلف - وإلى بحث محسوب قصد استخراج المعلومات منها. استكشاف المعلومات أو التفتيش عنها انطلاقاً من قواعد بيانات هو مجموعة من التقنيات التي مصدرها علوم الاحصاء وتحليل المعطيات والذكاء الصناعي وكذا من هندسة الكسوريات.

هناك نوعان من التفتيش: تفتيش استشرافي وتفتيش غير استشرافي أو وصفي.

التفتيش الاستشرافي أو التنبؤي ينتج عنه نموذج عن النظام المعرفي الذي تصفه المعطيات المتضمنة في جدول البيانات، يحتوي على متغير هدف.

أما التفتيش الوصفي فتنتج عنه معلومات جديدة بناءً على البيانات المتضمنة في الجدول.

في بحثنا هذا هناك متغير هدف وهو بعد العلامة الذي يجب تحديده، و بالتالي فحذ في وضعية تعلم تنبؤي.

2.4 تقنيات التعلم التنبؤي

يمكن اجمال تقنيات التعلم التنبؤي فيما يلي [12]:

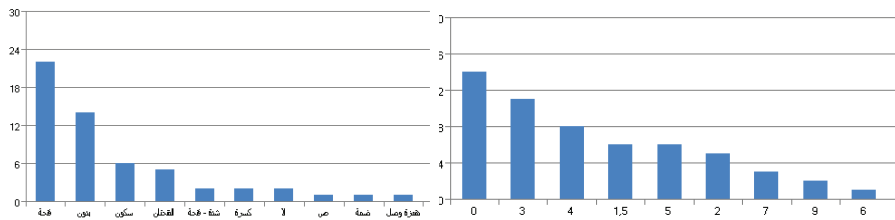
- نماذج مؤسسة على قواعد منطقية، ومنها:
 - شجرة القرارات: وهي نموذج استكشافي يظهر على شكل شجرة يمثل كل فرع من فروعها سؤالاً تصنيفياً وتمثل أوراقها أجزاء من قاعدة البيانات تنتمي للتصنيفات التي تم بنائها.
 - الاستدلال القائم على الحالة: الاستدلال من خلال مقارنة الحالة الموجودة مع مئات أو آلاف الحالات المشابهة لها.
 - غابات عشوائية لاتخاذ القرار: وهي خوارزمية توليفية من عدة شجرات للقرار قصد التصنيف.

- نماذج مؤسسة على دوال رياضية:
- الشبكات العصبية: تقوم على فكرة محاكاة رياضية برمجية لعمل المخ البشري. تتكون من عصبونات افتراضية تشكل نموذجاً رياضياً لمعالجة المعلومات.
- الانحدار الخطي: أداة قياس احصائي للعلاقة بين متغيرين تبين ايهما تابع وايهما مستقل.
-
- تنبؤ بدون نماذج:
- الجار الاقرب: تعتبر من تقنيات التنقيب في البيانات التي تهدف للتنبؤ عن طريق مقارنة الحالات الشبيهة بالحالة المراد التنبؤ لها وتقدير القيمة المجهولة لهذه الحالة بناء على معلومات لتلك الحالات.

3.4. اعتماد منهج شجرة القرارات

شجرة القرار – في نظرنا – هي أكثر المناهج تأهيلاً من أجل تصنيف السياقات انطلاقاً من مجموعة بيانات. يصعب إيجاد مخطوط يتوفر على جميع التوليفات من سياقات المجاورة للأحرف العربية، ويستحيل تمثيله على جدول للبيانات في ضوء الأرقام الفلكية المحتملة. لذلك لا بد من اللجوء إلى تمثيل صفحة من صفحات محمد شوقي، كعينة عشوائية من المعطيات، على قاعدة من البيانات. وهكذا نمثل على القاعدة:

- حرف الأساس: عرضه وارتفاعه وهل يحمل كشيدة أم لا.
- علامة الشكل: اسمها وطولها، نكتفي فقط بالطول إذ الطول لوحده إلى جانب زاوية الانحناء الثابتة يكفي لتحديد باقي الأبعاد.
- حرف الأساس السابق واللاحق، والعلامات المجاورة مع أطوالها.
- وجود الكشيدة في الأحرف المجاورة.
- سياق المجاورة: نعتبر كل سياق للمجاورة هو مشكل من حرف الأساس للعلامة وحرف سابق، قد يكون حرفاً أو بداية السطر أو فراغ؛ و حرف لاحق، قد يكون حرفاً أو نهاية السطر أو فراغ.
- طول علامة الشكل: عند غياب علامة الشكل نضع الطول هو 0.
- وجود الكشيدة في حرف الأساس أو غيره يحدد بدالة ثنائية: نعم أم لا.



الشكل 5. نسب وجود كل علامة (على اليسار) ونسب الطول (على اليمين)
(بدل 0 على عدم وجود علامة شكل على الرمز، الذي قد يكون ألفاً أو نهاية آية أو نهاية سطر أو بداية سطر)

جدول البيانات مكون من 54 سياق للعلامات، لكل سياق 23 سمة. تتوزع علامات الشكل فيها كما في الشكل 5. غير أن بناء شجرة اتخاذ القرار انطلاقاً من المعطيات المتوفرة في القاعدة التي هي مناط التنقيب، يصطدم بعدة عقبات معرفية نتلخص فيما يلي:

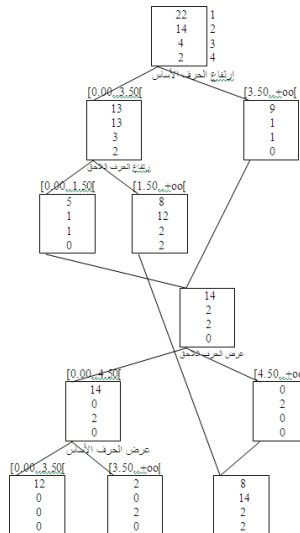
- كيف يمكن اختيار متغير التجزئة؟
- إذا كانت المتغيرات متصلة، كيف يمكن تحديد عتبة التقطيع؟
- كيف يمكن تحديد أمثل عمق نمو الشجرة؟ أو بعبارة أخرى ما هي الشجرة الأكثر جودة وكيف يمكن تحصيلها؟
- كيف يمكن تعيين قيم المتغير المتنبأ به؟

تتبنى الخوارزميات المستعملة في إطار شجرة اتخاذ القرار على خوارزمية ID3 وهي خوارزمية تتبع أسلوب التقسيم من الأعلى إلى الأسفل لبناء شجرة القرار الأكثر جودة. تبحث في كل مستوى عن السمة الأكثر تمييزاً من أجل التصنيف. من أجل ذلك تُستعمل عدة طرق:

- انثروبي شانون: وهي دالة رياضية تقيس حجم المعلومات الواردة من مصدر معلوماتي.
 - معامل جيني: وهي اداة في علم الاحصاء لقياس حجم اختلاف المداخل في ساكنة معينة.
 - قياس حجم الترابط بين المتغير المرشح للتقسيم وبين المتغير الهدف.
- تتلخص خوارزمية بناء شجرة في:
- إذا كانت كل نقط المجموعة ص تنتمي إلى نفس الصنف اذن ننشئ ورقة تحمل اسم هذا الصنف وتضم كل نقط المجموعة ص.
 - وإلا
 - اختيار المتغير الأكثر تمييزا من اجل نشئ عقدة، الاختبار الموافق لهذه العقدة يقسم ص إلى قسمين ص₁ و ص₂
 - بناء الشجرة ص₁
 - بناء الشجرة ص₂
- نهاية إذا.**
- معيار توقف الخوارزمية هو استنفاد كل المعطيات في العينة والحصول على اصناف تامة انطلاقا من المتغير الهدف أو اختبار كل السمات.
- البحث عن الشجرة ذات العمق الامثل
- تقليم الاشجار

4.4 طريقة سيبينا

- طريقة سيبينا هي احدى طرق التعلم التنبؤي. تم تطويرها في برنامج حر. تعمم فكرة شجرة القرارات باضافة خاصية جديدة وهي دمج قمم الشجرة.
- تم تقسيم عناصر المتغير الهدف – أي طول العلامة - إلى اربعة مستويات:
- المستوى الاول: من نقطة ونصف الى ثلاث
 - المستوى الثاني: من ثلاث نقط ونصف إلى خمسة
 - المستوى الثالث: من ستة نقط إلى سبعة
 - المستوى الرابع: أكثر من سبعة نقط
- تم تنقيح جدول البيانات من السياقات التي فيها أحرف لا تحمل علامات. وبتطبيق منهج سيبينا تم الحصول على شجرة الشكل 6.



الشكل 6. شجرة القرار المحصلة من خلال تطبيق طريقة سيبينا

يتم استنباط القواعد من خلال تتبع سبل الشجرة. وبعض القواعد المحصلة مدونة في الجدول 6.

الاستنتاج	الشرط
بعد العلامة هو بين 4 و 5 نقطة	ارتفاع الحرف السابق اكبر من 1.5 نقطة و ارتفاع الحرف الاساس اصغر من 3.5
بعد العلامة بين 6 و 7 نقطة	عرض الحرف الاساس اكبر من 3.5 نقطة و عرض الحرف اللاحق اصغر من 3.5 و ارتفاعه اصغر من 4.5

الجدول 6. جدول النتائج

5 خاتمة

تناول البحث قضية استنباط قواعد اختيار ابعاد علامات الشكل انطلاقا من مخطوط. فيه تم تمثيل سياق لعلامات الشكل وتدوين معطيات مستقاة من مصحف شوقي على قاعدة للبيانات. وباستعمال منهج يعتمد على شجرة القرار تم استنباط قواعد لاختيار ابعاد علامة شكل في سياق معين عند الخطاط المذكور. في بحث ثاني سواصل البحث عن قواعد اختيار مواقع علامات الشكل عند خطاط معين.

البحتان يؤسسان لعملية البحث عن نموذج للنص العربي المشكول وعن البنية التحية المناسبة له، محاولين مراجعة بعض الأسس التي قامت عليها التيبوغرافيا الرقمية العربية وهي تنطلق من كثير من الاختلالات والقيود الموروثة عن الطباعة الآلية. تصور يتواصل العمل على ترجمته تطبيقيا في نظام مندمج ومتكامل لتتصيد النص الإلكتروني العربي، يراعي التيبوغرافيا الرقمية، في إطار قواعد الخط العربي.

المراجع

- [1] اياد حسين عبد الله الحسيني، التكوين الفني للخط العربي، جروس برس، طرابلس، 2003.
- [2] أبي العباس أحمد ابن علي الفلقشندي، صبح الأعشى في صناعة الإنشاء، دار الكتب العلمية، مصر، 1987.
- [3] محمد الزقفاوي، منهاج الإصابة، مجلة المورد، المجلد 15 العدد الرابع، 1986.
- [4] محمد حسيني وعزالدين لزرق ومحمد جمال الدين بنعطية، علامات التشكيل في المستند الإلكتروني العربي، المؤتمر الدولي الرابع لممارسات علوم الحاسب باللغة العربية، ص. 28-40، ردمك 0-978-6151-4-9905، قطر، 2008.
- [5] Mohamed Hssini and Azzeddine Lazrek, Design and computer multilingualism: Case of diacritical marks, CITALA-09, 3rd International Conference on Arabic Language Processing, Institute of Study and Research on Arabization, Rabat, May 4-5, 2009.
- [6] Vlad Atanasiu, Le phénomène calligraphique à l'époque du sultanat mamluk, PhD Thesis, Paris, 2003.
- [7] Mohamed Jamal Eddine Benatia, Mohamed Elyaakoubi and Azzeddine Lazrek. Arabic text justification. TUGboat, Volume 27 Number 2, pp. 137-146, 2006.
- [8] Vlad Atanasiu, Les allographes comme mesure biométrique et la synthèse du comportement, Cahiers GUTenberg, No 46-47, 2006, pp. 5-15.
- [9] Mikkel B. Stegmann, David Delgado Gomez, A Brief Introduction to Statistical Shape Analysis, Informatics and Mathematical Modelling, Technical University of Denmark, 2002.
- [10] M. Hssini and A. Lazrek, Graphical segmentation of Arabic word: Typographic point of view, The 2nd International Conference on Multimedia Computing and Systems (ICMCS'11), April 7-9 2011, Ouarzazate, Morocco.
- [11] Hoel Le Capitaine, Opérateurs d'agrégation pour la mesure de similarité - Application à l'ambiguïté en reconnaissances de formes. PhD Thesis, University of La Rochelle, France, 2009.

[12] David Taniar, Data Mining and Knowledge Discovery Technologies, IGI Publishing, New York, 2008.

الملخص باللغة الإنجليزية

Devise rules of diacritics dimensions selection for the Arabic calligraphy computerization

Mohamed Hssini, Azzeddine Lazrek

Cadi Ayyad University, Faculty of Science,
Computer Sciences Department, P.O. Box 2390, 40000 Marrakech, Morocco
{m.hssini , lazrek}@ucam.ac.ma
<http://www.ucam.ac.ma/fssm/rydarab>

Abstract. Arabic diacritics are constituent elements in the linguistic structure and aesthetics of Arabic script, but without being based on a formal concept. The deduction of rules of choice of the signs dimensions, from manuscripts and calligraphy at the lack of references, are a necessity for many disciplines. The problem is part of the theory of decision. In this paper, we are based on a data mining tool to extract the rules on which the calligrapher Mohamed Shawki is based for choosing the sizes of diacritics. These rules are not clear enough, and are adapted by several contextual varieties, which pose a great difficulty to the modeling of various factors influencing on the sizes of diacritics. The paper begins by modeling the context of diacritics as an object whose attributes are: the contexts of the base letter, letters neighbors, diacritics neighbors, and the space preceding the word or succeeds, aesthetic factors and the effects of justification. From this perspective, we tried to represent contextual data in a database for a goal to apply a data mining tool, to extract the rules of choice of sizes diacritics.

Keywords: Rules of Arabic calligraphy, Dimensions of diacritic marks, Making decision, Knowledge exploration, Data mining, Clustering, Prediction.

ترجمة المصطلحات إلى اللغة الإنجليزية

Supervised learning	تعلم اشرافي
Predict	التنبؤ
Modeling	النمذجة
Allograph	صورة الحرف
Data cleaning	تنقيح البيانات
Objet	كائن
Attribut	سمة
Multicriteria	تعددية المعايير
Fuzzy logic	المنطق الضبابي
Similarity	التماثل
Homologues	التوافق
Balance	التوازن
Decision tree	شجرة القرار

SIPINA	سبينا
Shannon's Entropy	انتروبي شانون
Proportionality	التناسب
Data Collection	جمع البيانات
Data Cleaning	تنقيح البيانات
Data Integration	توحيد البيانات
Data Selection	اختيار البيانات
Data Transformation	نقل البيانات
Data Mining	استخراج البيانات
Pattern Evaluation	تقييم النموذج
Knowledge Representation	تمثيل المعرفة
Multiple Linear Regression	انحدار خطي متعدد
Fractals	الكسوريات

التصنيف الآلي للهيئات الجسدية باعتماد الحساسات الضغطية و تطبيقاتها لمراقبة نشاط الاطفال و ذوي القروح الجلدية

صبري بوغربال

مركب التكنولوجيا العالية بناء رقم 36.006

4 شارع بروفيسور هولتسلان AE 5656 أيندهوفن، هولاندا

البريد الالكتروني: sabri.boughorbel@philips.com

الخلاصة. نعرض في هذه الورقة نتائج الابحاث المتعلقة بموضوع التصنيف الآلي للهيئات الجسدية اعتمادا على بساط حساس للضغط يوضع في فراش الطفل أو المريض. نقترح في هذا البحث طريقة جديدة لاستخلاص سمات ثابتة عند الدوران و الازاحة و ذلك بحساب احصائيات ذات ترتيب عال يحصل عليها من خواتم حول مركز جاذبية بيانات الضغط. اختيرت أشعة غير ثابتة لهذه الخواتم لتحقيق التوازن بين السمات. نعرض في الورقة نتائج التجارب لاستعمال هذه السمات في تصنيف الهيئات الجسدية مستخدمين في ذلك خوارزميات التعلم الآلي و ذلك بصهر لمجموعة من المصنفات رفعا لأداء التصنيف كما نبين فائدة استعمال المعلومات الزمنية عن توالي البيانات في تحسين نتائج المصنفات.

الكلمات الجوهرية: المصنفات, السمات الثابتة, هيئات الجسد, حساسات الضغط, مراقبة النشاط, مراقبة قرحة الفراش.

1 مقدمة

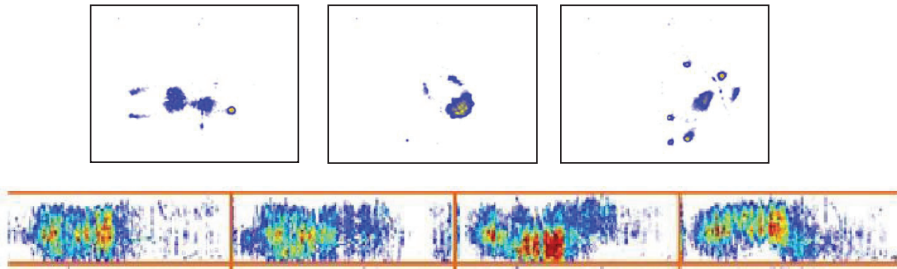
الهيئات الجسدية التي نهتم بها في هذه الورقة تتمثل في هيئات أو وضعات الجسم كالجلوس و الوقوف و الاتكاء على الجنب و الظهر و البطن. معرفة هيئة جسد الطفل في الأيام الاولى للولادة يعد أمرا مهما من عدة اعتبارات منها تجنب الرضيع النوم على بطنه للتقليل من أخطار الانخناق و الموت الفجائي للرضع و كذلك تجنب بقاءه على جهة واحدة مما يمكن أن يتسبب في التواء في الرقبة. عندما يبلغ عمر الطفل بضعة أشهر رصد هيئات جسد الطفل خلال اليوم تعطي فكرة جيدة عن الأنشطة التي يزاولها الطفل من نوم و حركة و نشاط و تعب و من الممكن أن تكون هذه المتابعة أحد معايير معرفة نموه.

أما في المجال الطبي تعتبر المراقبة المستمرة لهيئات جسد المرضى ذوي الحركة المحدودة مهمة جدا لاجتناب ظهور القروح الجلدية الناجمة عن طول البقاء على نفس الجنب. فالمعتمد لدى الأطباء هو تغيير هيئة النوم بصفة منتظمة كل ساعتين. فقد أثبتت الابحاث أن البقاء مدة طويلة على الجنب

نفسه يسبب انقطاع تدفق الدم الى الجلد و يترتب عنه موت خلاياه و ظهور القروح الجلدية المعروفة بقرحه الفراش. هذا الأمر ثابت في قصة أصحاب الكهف عند نومهم الطويل فلولاً لتقليبهم ذات اليمين و ذات الشمال لتقرحت جنوبهم و ولهلکوا بسبب تلك القروح. كما أثبتت الأبحاث أيضاً أن هيئة النوم الخاطئة تسبب أمراضاً للظهر و أمراض انقطاع التنفس خلال فترة النوم [1] [2] .

أما في ما يخص موضوع التصنيف الآلي لهيئات الجسد فهناك مجموعة من البحوث التي اهتمت باستخدام حساسات الضغط للتصنيف. ركزت هذه البحوث بالخصوص على تطبيقات مرتبطة بوضعات النوم أو الجلوس. في الورقة [3] تم تصنيف 18 هيئة مختلفة للجلوس باستخدام طريقة تحليل المكونات الرئيسية ت.م.ر. و في [4] الورقة تم تصنيف ثمان وضعات للنوم باستخدام تقدير التفرطح و الالتواء. في الورقة [5] وقع تصنيف مستوى نشاط الأطفال بحساب الطاقة الحركية. في الورقة [6] وقع تصنيف عدد محدود لهيئات الاطفال كالجلوس والوقوف ولكن لم يتم تفصيل الطريقة المعتمدة في التصنيف.

في هذا البحث تم استعمال بساط حساس للضغط بحجم 96x84 سم مع كثافة للحساسات لكل صم مربع. يُنتج البساط الحساس بيانات في شكل مصفوفات بحجم 96x84 بمعدل زمني يصل الى حدود 100 هرتز. الشكل البياني 1. يبين مثالا لهذه البيانات الضغطية. في البداية تم معالجة البيانات الخامة المتحصل عليها من البساط الحساس. بعد ذلك تم استخلاص السمات الثابتة التي تستعمل كمداخل للمصنفات. وقع التطرق بعد ذلك للخوارزميات المستعملة في التصنيف الآلي. في الجزء الثالث من الورقة نعرض المنهجية المعتمدة للتصنيف. في الجزء الرابع نعرض نتائج التجارب و المقارنات المنجزة و أخيرا نقدم خلاصة الورقة و الأعمال المستقبلية.



الشكل 1. السطر الأول: أمثلة لبيانات الضغط على شكل مصفوفات لكل من هيئات الانبطاح و الجلوس و الاستلقاء لطفل عمره سنة و نصف. الأمثلة مرتبة من اليمين الى اليسار. السطر الثاني: . بيانات حساسات الضغط خلال نوم رجل يبلغ من العمر 35 سنة. الهيئات المعروضة من اليمين الى اليسار هي: جنب أيمن، جنب أيسر، انبطاح – على البطن- و استلقاء – على الظهر-

2 استخلاص السمات

من الممكن صياغة مشكل استخلاص السمات من بيانات حساسات الضغط كمشكل عام لوصف الانمط و بالتالي استعمال المنهجيات التقليدية في هذا الميدان. في البداية يجب تعيين جملة من

المتطلبات لاستخلاص السمات حتى تتم عملية التصنيف كما ينبغي. أهم مطلب نحتاج إليه هو أن السمات المستخلصة يجب أن تكون ثابتة مع الدوران و الازاحة.

يتحقق ثبات السمات في ما يتعلق بالازاحة باعتماد مركز جاذبية بيانات الضغط كنقطة مرجعية لحساب السمات. هناك بحوث كثيرة اهتمت بثبات السمات عند الدوران. [الورقتان 7 و 8] عرضتا طرق عامة لتصميم سمات ثابتة مع الدوران. في الورقة [9] عرض المؤلفون طريقة بسيطة تعتمد على خاصيات هندسية ثابتة عند الدوران كالمحيط و الصلابة و المساحة و محدب المنطقة و غيرها. هذه السمات لا يمكنها أن تثبت أمام التغير الكبير لأنماط بيانات مثل الهياكل الجسدية المتحصل عليها من حساسات الضغط. يبين الشكل 2 أمثلة من بيانات الضغط لهياكل مختلفة. من أسباب التغير بين أصناف الوضعيات هو أن الجسم كثير المفاصل و ذو مرونة عالية و أن التصاق الاعضاء بالبساط لا يحصل في الهياكل بنفس الطريقة مما يكون عددا كبيرا من الانماط الممكنة للصنف الواحد من الوضعيات.

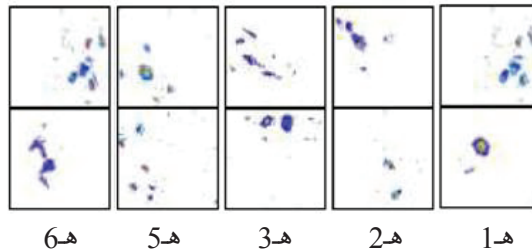
1.2 السمات المستخلصة

نعتمد في هذا التحليل على مرجع قطبي يكون فيه مركز جاذبية الانماط هو مركز المرجعية. يقع تقسيم النطاق القطبي الى خلايا - تقاطع الخواتم و المقاطع - كما هو مبين في الرسم البياني رقم 3. يتم حساب مجموع الضغط في كل خلية ثم يتم استخلاص احصائيات ذات ترتيب عال على مستوى كل خاتم. هذه الاحصائيات هي المعدل و الانحراف و التفرطح و الالتواء. إذن كل خاتم يستخلص منه هذه السمات المذكورة و بذلك فهي لا تتغير لو يقع تدوير الانماط لأن هذه الاحصائيات لا تعتمد على ترتيب البيانات. متجه السمات هو عبارة عن سلسلة هذه الاحصائيات المحسوبة من مجموع الخواتم في مصفوفة بيان الضغط. في نهج أول وقع اختيار الخواتم متساوية السمك كما هو موضح في الرسم الأيسر من الشكل 3.

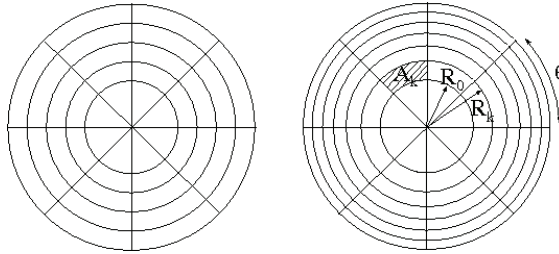
هذا الاختيار أدى الى خلايا ذات مساحات متزايدة و غير متكافئة كلما زاد شعاع الخواتم. بناء على ذلك تكون السمات المستخلصة من خلية ذات شعاع كبير ذات دور أكبر في متجه السمات.

لتعديل هذا الاختلال في السمات نقترح طريقة جديدة لتكوين الخلايا باختيار خواتم ذات أشعة مختلفة حسب المعادلة التالية

حيث k تمثل رتبة الخاتم و R_0 يمثل شعاع خاتم دائرة و θ زاوية القطاع و A_k مساحة الخلية.



الشكل 2. الصف الاول يعرض بيانات حساسات الضغط داخل الفئة هـ 4 -هيئة الانبطاح على البطن - الصف الثاني يعرض بيانات من الفئات المختلفة هـ 1 جلوس، هـ 2 وقوف، هـ 3 استلقاء-على الظهر-، هـ 5 حبو، هـ 6 اتكاء على جنب. البيانات تم التحصل عليها من طفل يبلغ عمره سنة واحدة.



الشكل 3. شبكات بالتمثيل القطبي مع حلقات ذات سمك متغير (اليمين) و ذات سمك ثابت (اليسار).

3 تصنيف الوضعات

في البداية تم استخلاص السمات كما عرض في الفقرة السابقة ثم بعد ذلك تم تدريب المصنفات باستخدام بيانات تدريبية. مشكل تصنيف الهيئات يصبح بذلك مشكل عام لتصنيف الانماط حيث يمكن استخدام المصنفات المعروفة. اعتمدنا في هذا البحث على صهر تصوتي لمجموعة من المصنفات المعروفة كالمكانن ذات الدعم الإتجاهي (م د إ) و خوارزمية ك-جار الأكثر قربا (ك-ج ق) و المصنف الخطي و المصنف التربيقي. باعتبار أن التدريب تم باستعمال بيانات مفرغة من الترتيب الزمني فإن المصنف يصنف فقط البيانات الفردية.

علما أن معلومات متعلقة بالترتيب الزمني من شأنها أن تساهم في تصحيح أخطاء المصنف وذلك لأن الهيئات لا تتغير بسرعة. لذلك تم دمج معلومات زمنية عند التصنيف كالتالي: في البداية وقع تصنيف البيانات الفردية ثم تم تحديد نافذة زمنية حول نموذج البيانات المعني بالتصنيف. هذه النافذة تحتوي على مجموعة من البيانات المتوالية قبل و بعد النموذج المعني بالتصنيف. يقع اختيار الصنف الغالب على هذه المجموعة المختارة كالتالي: إذا كانت النسبة بين الصنف الأكثر ظهورا و الثاني فوق عتبة معينة يعتبر الصنف الجديد هو الصنف الغالب. إذا لم يتحقق هذا الشرط فلا يقع تغيير الصنف المتحصل عليه من خلال التصنيف المفرغ من الزمن.

4 التجارب

تم الحصول على بيانات التجارب بمشاركة طفل عمره في حدود سنة. سُجلت البيانات على ثلاث مراحل مختلفة: سُجلت البيانات ب₁ عن عمر 14 شهرا. أما التسجيل الثاني ب₂ فتم الحصول عليه

عن عمر 16 شهرا و التسجيل الأخير ب3 عن عمر 19 شهرا. الجدول 1. يعرض ملخص للبيانات المستعملة في التجارب. في الفترة الزمنية لتسجيل البيانات كان الطفل يتحرك و يلعب باختياره فوق البساط الحساس للضغط بدون أي تدخل خارجي. وقع تعليم البيانات بتقييد الهيئات الجسدية يدويا لمعرفة أداء التصنيف حسب الهيئات السبعة التالية: وقوف، جلوس، اتكاء على الجنب، اتكاء على الظهر، استلقاء على البطن، حبو و صنف أخير زائد يحتوي على الهيئات التي لا تنتمي الى الاصناف الستة المذكورة آنفا. تم مقارنة السمات المقترحة في هذه الورقة مع السمات المعروفة كسمات 'هو' [7] و زرنيك [7] و السمات الهندسية [7]. في كل تجربة تم استخدام أحد مجموعات البيانات للتدريب و الاخرى للتصنيف. للحصول على فكرة جيدة لأداء التصنيف اعتبرنا كل التركيبات الممكنة من البيانات الثلاثة في كل من التدريب و الاختبار.

	1-هـ	2-هـ	3-هـ	4-هـ	5-هـ	6-هـ	7-هـ	المجموع
ب ₁	1579	642	214	157	1067	50	139	3848
ب ₂	1511	959	95	428	5637	388	47	9065
ب ₃	530	2172	328	812	4468	301	64	8675

الجدول 1. عدد عينات بيانات الضغط لكل هيئة هـ من مجموعات البيانات بن.

في التجربة الاولى لم يتم الاعتماد على التسلسل الزمني للبيانات. تم تقسيم كل مجموعة بيانات الى أجزاء يُستخدم جزء منها في التدريب و الآخر في الاختبار. تم تكرار هذه العملية مع كل الاجزاء الاخرى ثم تم حساب المعدل و الفرق في خطأ التصنيف. تمت مقارنة مجموعة من المصنفات وهي المصنف الخطي و التربيعي و م د إ و ك-ج ق. بالنسبة لمعلمات المصنف م د إ. تم استخدام قاعدة بيانات أخرى لتحديد المعلمات المثلى. حجم البيانات الاصلية هو 96×84 . وقع الاعتماد على استيفاء ثنائي الخطية بضارب رباعي لتحسين البيانات الخامة مما ولّد بيانات ذات حجم 384×336 . هذا الاستيفاء كان سببا في حفظ أخطاء التصنيف بنسبة 5 بالمائة و لذلك تم اعتماده في كل التجارب المعروضة في الورقة.

الجدول 2 يعرض نتائج المقارنة بين السمات المستعملة في تصنيف الهيئات. هذه المقارنة تبين أن أداء السمات المعرفة سابقا كان ضعيفا في الاجمال. السبب وراء هذه النتائج هو أن بيانات الضغط تحتوي على تشويهاً و اختلاف شاسع داخل كل فئة من الهيئات. أما السمات المقترحة فقد أدت الى موازنة جيدة بين خاصية الثبات عند الدوران و الصلابة عند التشويه و الانسداد. نلاحظ أن النتائج المتحصل عليها باعتماد مجموعات التدريب و التجريب (بن، بن) على قطر المصفوفات المعروضة في الجدول 2 هي أفضل من النتائج في باقي المصفوفة. السبب في ذلك هو أن بيانات التدريب و التجريب ذات ارتباط لانها مستخلصة في هذه الحالات من نفس مجموعة البيانات.

أ	ب _١	ب _٢	ب _٣
ب _١	24±4.0	29.3±1.5	46.2±2.3
ب _٢	42.6±1.4	15.9±1.0	42±0.6
ب _٣	60.2±1.8	31.8±2.5	19.7±1.0

ب	ب _١	ب _٢	ب _٣
ب _١	14.3±0.6	83.5±0.7	88.5±4.0
ب _٢	68.4±3.5	12.2±0.67	75.2±2.6
ب _٣	86.2±1.1	74.8±2.2	7.78±0.4

ج	ب _١	ب _٢	ب _٣
ب _١	15.2±0.5	52.8±0.9	63.9±2.2
ب _٢	59.5±2.5	10.2±0.40	47.7±8.8
ب _٣	66.5±1.6	37.8±0.05	17.1±0.9

د	ب _١	ب _٢	ب _٣
ب _١	1.82±0.3	11.7±0.6	14.8±0.7
ب _٢	21.8±1.8	1.7±0.2	18.7±1.2
ب _٣	30.2±2.2	19.2±1.4	1.74±0.3

الجدول 2. أخطاء التصنيف لكل من الجدول أ- سمات هو- و الجدول ب - سمات زرنيك- و الجدول ج-سمات هندسية- و الجدول د -السمات المقترحة بحلقات ذات سمك ثابت-.

البيانات المقترحة اعتمادا على خواتم ذات سمك مختلف أدت الى متجه سمات متساوي العناصر. الجدول 3 يلخص النتائج المتحصل عليها اعتمادا على هذه السمات. من الممكن مقارنة هذه النتائج بالجدول 2- حيث استخدمت هناك خواتم متساوية السمك. في أغلب مجموعات التدريب و التصنيف تحصلنا على اداء تصنيف جيد. معدل تحسين الاداء يقدر ب10% مقارنة كل النتائج المعروضة أعلاه مفرغة من استخدام المعلومات الزمنية لتوالي البيانات. أما الجدول 4 فيلخص نتائج التصنيف اعتمادا على السمات المقترحة و التصويت الزمني حيث أن النتائج كانت الأفضل في مجموع التجارب المعروضة. الجدول 5 يبين مثالا لمصفوفة الارتباك لتصنيف الهينات السبعة المدروسة في الورقة.

بالنسبة لتطبيق التصنيف في مجال مراقبة قرحة الفراش تم جمع البيانات من 21 متطوع حيث تم تسجيل بيانات الضغط خلال فترة النوم على الفراش. تم تعليم أربعة هيئات مختلفة للنوم كما هو معروض في الشكل 1. معدل نتائج أخطاء التصنيف المتحصل عليها كانت جيدة و لم تتجاوز 1.8% . هذه النتائج تعتبر أفضل بكثير من نتائج تطبيق مراقبة الاطفال. السبب في ذلك هو الاختلاف الكبير في الوزن و الحجم و مستوى الحركة مما أدى ببيانات ضغط أجود و أسهل للتصنيف في التطبيق الثاني. الجدول 6 يعرض مثال لمصفوفة الارتباك.

	ب ₁	ب ₂	ب ₃
ب ₁	1.65±0.3	12.2±2.2	13.4±0.7
ب ₂	19.5±2.4	1.92±0.1	11.6±1.3
ب ₃	34.2±4.0	9.71±0.7	1.77±0.2

الجدول 3. أخطاء تصنيف الهيئات اعتمادا على السمات المقترحة بحلقات ذات سمك متغيرة.

	ب ₁	ب ₂	ب ₃
ب ₁	0.64±0.1	9.77±3.1	13.07±1.6
ب ₂	17.37±2.3	1.28±0.2	11.10±0.6
ب ₃	21.66±4.1	6.58±1.8	1.53±0.2

الجدول 4. أخطاء تصنيف الهيئات اعتمادا على السمات المقترحة المقترحة بحلقات ذات سمك متغيرة و على التصويت الزمني.

	ه ₁	ه ₂	ه ₃	ه ₄	ه ₅	ه ₆	ه ₇
ه ₁	1489	5	0	5	1	11	0
ه ₂	13	892	38	0	6	3	7
ه ₃	10	10	51	8	6	10	0
ه ₄	11	0	6	330	81	0	0
ه ₅	38	167	5	126	4958	244	99
ه ₆	1	43	44	20	146	131	3
ه ₇	0	45	0	0	0	0	2

الجدول 5. مثال لمصفوفة الارتباك حيث تمثل الصفوف الهيئات الحقيقية و الأعمدة تمثل الهيئات المقدرة اعتمادا على التصنيف الآلي.

	ه ₁	ه ₂	ه ₃	ه ₄
ه ₁	97.22%	2.22%	0%	0.55%
ه ₂	0.55%	95.55%	3.88%	0%
ه ₃	0%	0.55%	98.33%	1.11%
ه ₄	0%	0%	0%	100%

الجدول 6. مثال لمصفوفة الارتباك لتصنيف وضعات النوم لمراقبة القروح الجلدية (قرحة الفراش).

5 الخاتمة

درسنا في هذه الورقة مشكل تصنيف هيئات الجسد اعتمادا على بيانات حساسات الضغط. قدمنا صياغة تصنيف الهيئات كمشكل تصميم السمات لأنماط الضغط اعتمادا على مصنفات تعلم الآلة المعروفة. خلال تصميم السمات تم التركيز على متطلب الثبات عند الدوران و الصلابة عند تشويه الانماط. السمات المقترحة أدت الى نتائج مشجعة يقدر بحاولي 12 % لمعدل أخطاء التصنيف أخذنا بالاعتبار صعوبة مشكل التصنيف لشدة تشويه البيانات. دمج الترتيب الزمني في عملية التصنيف أدى الى تحسين نتائج التصنيف لتبلغ 9% لمعدل أخطاء التصنيف. تم تطبيق طريقة التصنيف على بيانات هيئات النوم للكبار. معدل أخطاء التصنيف لم تتجاوز 2%. نعزم في المستقبل بحث موضوع تصنيف الهيئات المتحركة كالمشي و الحبو و غيرها.

6 المراجع

- [1] N. Yildirim, Fitzpatrick MF, Whyte KF, Jalleh R. The effect of posture on upper airway dimensions in normal subjects and in patients with the sleep apnea/hypopnea syndrome. *American Review of Respiratory Disease*, 1991.
- [2] H. Hibi, M. Ueda. Body posture during sleep and disc displacement. *Journal of Oral Rehabilitation*, 2005.
- [3] Kamiya, K. et al., Sitting posture analysis by pressure sensors, 2008, *ICPR*.
- [4] Hasia, C.C. et al., Analysis and comparison of sleeping posture classification methods using pressure sensitive bed system. 2009, *EMBC*.
- [5] T. Harada, A. Saito, T. Sato and T. Mor. Infant Behavior Recognition System Based on Pressure Distribution Image. *IEEE ICRA*. 2000.
- [6] G. Weinberg, R. Fletcher, S. Gan. The baby sense environment: enriching and monitoring infants' experiences and communication. *Conference on Human Factors in Computing Systems*. 1998.

- [7] Hu, M. Visual pattern recognition by moment invariants. *IEEE Trans. on Information Theory*. 1962.
- [8] A. Khotanzad, Y. Hong. Invariant image recognition by Zernike moments. 1990, *IEEE Transactions on PAMI*.
- [9] Jain, A. *Fundamentals of digital image processing*. Prentice Hall, 1989.
- [10] Khotanzad, Y.H. Hong, Invariant Image Recognition by Zernike Moments, *IEEE Trans on PAMI* 1990.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Automatic Posture Classification from Pressure-Sensor Data and its Application to Child Activity and Pressure-ulcer Monitoring

Abstract.

In this paper, we studied the automatic classification of baby posture using a pressure-sensitive mat. The posture classification problem is formulated as the design of features that describe the pressure patterns induced by the subject in combination with generic classifiers. Novel rotation invariant features constructed from high order statistics obtained from the concentric rings around the center of gravity. Non-constant ring radii are used in order to ensure uniform cell areas and therefore equal importance of features. A vote fusion of various generic classifiers is used for classification. Temporal information was shown to improve the classification performance. The obtained results are promising and open new opportunities for applications and further research in the area of baby safety and pressure-ulcer monitoring.

Keywords: posture, classification, feature extraction, pressure data, activity monitoring
Pressure-ulcer monitoring

مصنف	classifier
هينات	postures
استخلاص السمات	feature extraction
خواتم	ring
احصائيات ذات ترتيب عال	high-order statistics
المكانن ذات الدعم الإتجاهي (م د إ) و و و	SVM
الصهر التصوتي	voting fusion
حساسات الضغط	pressure sensor
مجموعة البيانات	dataset
السمات الثابتة	invariant features
المصنف ك-جار الأكثر قربا (ك-ج ق)	k-Nearest Neighborhood (k-NN)
المصنف الخطي	linear classifier
المصنف التربيعي	quadratic classifier
معلمات المصنف	classifier hyper-parameters
استيفاء ثنائي الخطية	bi-linear interpolation
مصفوفة الارتباك	confusion matrix
وصف الانماط	pattern description
التشويه و الانسداد	distortion and occlusion
قطر المصفوفة	matrix diagonal
المعلمات	parameters

نظام آلي ذكي للمراقبة مبني على شبكة كاميرات فيديو لاسلكية

محمد العربي بودهير¹، مراد بوزقرة¹

¹ مختبر الذكاء الاصطناعي والروبوت

جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، كلية علوم الكمبيوتر والمعلومات
ص.ب. 22451، الرمز البريدي 11495، الرياض، المملكة العربية السعودية

mmsbouzegza@imamu.edu.sa, elarbi-boudihir@lycos.com

الخلاصة. لقد قمنا بتطوير نظام مراقبة ذكي للأمن في المناطق المدنية في المملكة العربية السعودية. هذا النظام النموذجي يتضمن مدى واسع من التقنيات المتقدمة للمراقبة: كشف وتتبع الأجسام المراقبة في الوقت الحقيقي ومن كاميرا ثابتة، والتعرف على الأصناف العامة للأجسام المراقبة (مثل الإنسان، وشاحنة). النظام يتتبع الجسم المتحرك في تصوير الفيديو ويستخدم موقعه في كل خطوة زمنية كنقطة واحدة عبر عدة صور. العديد من السيناريوهات التي نعتمد تطبيق نظامنا عليها تتضمن أشخاص ومركبات والأجسام المتحركة الأولية. الفلسفة الكامنة وراء هذه الأساليب هي تجزئة الصورة أو دفق الفيديو. وتبني هذه التجزئة على التوفيق بين المناطق محل الاهتمام للنماذج التفصيلية للأجسام المراقبة. في الفقرة الثانية بينا الوضع الراهن للمعرفة تتبعه نظرة عامة على النظام في الفقرة الثالثة. أما في الفقرة الرابعة فتتطرق إلى جزء أساسي من نظام المراقبة ألا وهو اكتشاف الحركة والذي يتبعه منطقيا الجزء الخاص بتصنيف الأجسام والذي تم التطرق إليه في الفقرة الخامسة. أما الفقرة السادسة فاهتمت بجزئية تتبع الحركة التي هي ضرورية لمرحلة تحليل الحركة والتعرف الآلي عليها في أنظمة المراقبة الذكية. وفي الفقرة السابعة تم عرض النتائج التي توصلنا إليها باستعمال هذا النظام والتي تم تحليلها وتوضيحها.

الكلمات الجوهرية: تصنيف الأشياء، التعرف الآلي على الأشياء، أنظمة المراقبة، المتابعة الذكية للأجسام

1 مقدمة

يعد كل من تزايد المخاوف الأمنية ونمو معدلات الجرائم والأنشطة الإرهابية وكذلك زيادة الطلب على حماية الأشخاص والممتلكات عموماً دافعا لتعزيز نمو سوق الأنظمة الأمنية وبشكل أدق أنظمة المراقبة الأمنية عن طريق الفيديو. ويرجع ذلك إلى حقيقة أن هناك حاجة فورية لأنظمة المراقبة الذكية في التطبيقات التجارية والتطبيقات الخاصة بالأجهزة العسكرية والأمنية. وينبغي عموماً على نظم المراقبة والرصد أن توفر إمكانية تحديد وتتبع وعد المشاة والسيارات والقطارات وغيرها من المركبات. وفي السنوات الأخيرة تددت تكاليف الكاميرات وتركيبها كثيراً ولكن العثر على الموارد البشرية القادرة على مراقبة مخرجات كاميرات الفيديو أمر مكلف. على الرغم من

وجود كاميرات المراقبة في البنوك والمحلات التجارية ومواقف السيارات إلا أن تسجيلات كاميرات الفيديو هذه حالياً لا تستخدم إلا باعتباره أداة بعد الواقع ، وبالتالي تفقد أنظمة المراقبة فائدتها الرئيسية بوصفها أداة مراقبة في الوقت الحقيقي.

في الماضي ، قللت المعوقات الحسابية للكمبيوتر من إمكانية معالجة الفيديو في الوقت الحقيقي وربما كان مستحيلاً. ونتيجة لذلك ، فإن معظم أنظمة المراقبة كانت أبطأ من أن تطبق عملياً. في الآونة الأخيرة مكنت سرعة أجهزة الكمبيوتر الباحثين من تطبيق نماذج قوية و أكثر تعقيداً لتحليل تدفق البيانات في الوقت الحقيقي. هذه الأساليب الجديدة فتحت المجال لوضع نماذج لتحليل البيانات في الوقت الحقيقي في ظل ظروف مختلفة. ومن ثم أصبحت أنظمة المراقبة الذكية جذابة لأنها حلت محل خيار تشغيل موظفين لمراقبة مخرجات كاميرات الفيديو وهي الأكثر كلفة. من ناحية أخرى فإن عملية الكشف عن الوجوه بشكل قوي وتتبعها هي عملية صعبة المعالجة نظراً للحاجة لتشغيل هذه النظم على نطاق واسع في مختلف الظروف الجوية وجميع الفترات الزمنية.

المشكلة الرئيسية في أنظمة المراقبة بالفيديو هي تعدد أساليب تصنيف وتتبع الأهداف. قديماً تم معالجة عملية تصنيف الجسم المراقب على الصور الثابتة. وفي الآونة الأخيرة تم استخدام طرق لتصنيف الجسم المراقب في تصوير الفيديو. لهذين السببين فإن هذين الأسلوبين بحد ذاتهما سيكونان غير كافيين في نظم المراقبة العامة خارج المباني (البيئة الخارجية)، كما أن هناك العديد من أنواع الأجسام المراقبة وغالباً ما يكون من غير الممكن الحصول على صورة عالية دقة للجسم المراقب. واحد من أهداف بحثنا في المختبر تطوير نظام مراقبة ذكي مبني على أساس قوي وقابل للتكيف وكذلك يتسم بالمرونة الكافية للتعامل مع التغيرات الضوئية والفوضى المتحركة وتعدد الأهداف المراقبة المتحركة وغيرها من التغيرات العشوائية في المكان المراقب

2 الوضع الراهن للمعرفة

تتنوع أنظمة المراقبة الآلية الذكية من المراقبة المنزلية ورعاية المسنين والبيئات الذكية إلى تأمين ومراقبة المباني العامة والشركات. ويعد تقليل عمليات الصيانة للتطبيقات القوية التي يمكن الاعتماد عليها في عمليات التحليل من أهم عوامل التأثير على نجاح أنظمة المراقبة الذكية.

بدأت مسألة اكتشاف وتتبع الأجسام في تصوير الفيديو في جذب اهتمام مجتمع الرؤية بالحاسوب منذ أكثر من عقدين من الزمان. وفي مجال المراقبة بالفيديو ، تعد هذه المسألة ذات أهمية مركزية في أي نظام حديث لمراقبة وتحليل السلوك. تشكل نظم المراقبة الآلية بالفيديو تشكل شبكة من أجهزة الاستشعار بالفيديو لرصد الأشخاص والأجسام التي تتحرك وتتفاعل في بيئة معينة. ويتم

التعرف من خلالها على أنماط الأنشطة الطبيعية وغير الطبيعية والأحداث المهمة وغيرها من الأهداف الخاصة بالنطاق.

في الواقع ينظر إلى الجمع بين المعالجة المحلية والموزعة على أنه نقطة التحدي الرئيسية في صنع تطبيقات حقيقية ذكية لتمكين الرؤية. على النحو المبين في [1] - [3] ، فإن المعالجة المحلية تستدعي مستوى مناسب من معالجة الصور منخفضة الدقة والذي يعزز محتوى الصورة ومستوى متوسط من معالجة الأجسام والذي يكتشف ويتتبع مسارات الأجسام ويستخرج خصائصها. من ناحية أخرى تتطلب المعالجة الموزعة خوارزميات عالية المستوى والتي تبادل وتوازن بين معلومات الأجسام عبر العقد ثم اتخاذ القرارات المشتركة [2]. توجد عدة أمثلة على الخوارزميات المنخفضة والمتوسطة المستوى في [1] - [6].

تم تدريباً تقديم نظام كاميرا ذكي جزئي البنية مصممة للمعالجة في العقدة وذلك بهدف تسهيل المعالجة الموزعة في نظام مراقبة ذكي. في هذا التطبيق يهدف النظام الجزئي البنية لتوفير ما يكفي من قوة المعالجة ونظام الرؤية الكافية مع تقليل عدد المكونات واستهلاك الطاقة. تخفيض استهلاك الطاقة هو هدف مهم في تصميم تطبيقات المراقبة المتنقلة باستخدام الكاميرات التي تعمل بالبطاريات.

تنفق المنظمات في كثير من الأحيان ميزانية ضخمة على البنية التحتية للمراقبة بالفيديو تتألف من مئات أو آلاف من الكاميرات. مخرجات هذه الكاميرا عادة ما توصل إلى موقع الرصد المركزي الذي يسجل بعضها لفترة من الوقت على وسائط تخزين الفيديو المحلية وبعضها يتم عرضها في الوقت الحقيقي إلى واحد أو أكثر من أفراد الأمن في بنك من شاشات الفيديو. مهما كانت درجة تدريب رجال الأمن أو العدد المخصص من المراقبين فإنه من المستحيل توفير انتباه كامل لأكثر من شيتين في نفس الوقت وحتى مع ذلك يمكن الانتباه لبضع دقائق فقط في كل مرة. دائماً يتم فقدان الغالبية العظمى من مراقبة الفيديو من دون الحصول على أي استفادة. ومن عوامل زيادة هذا التوجه التطور التكنولوجي ، والتشريعات الحكومية ، والقبول العام المتزايد للمراقبة بالفيديو. لن يكون من الضروري التحكم بعدد كبير من شاشات الفيديو مما سيوفر كثير من التكاليف [7].

تخلى معظم الباحثين عن الطرق غير التكيفية لحساب الخلفية (non-adaptive methods of backgrounding) بسبب حاجتها إلى التهيئة اليدوية. بدون إعادة التهيئة ستتراكم الأخطاء في الخلفية مع مرور الوقت مما يجعل هذه الطريقة مفيدة فقط في التطبيقات التي يشرف عليها بشكل فائق وعلى المدى القصير من دون تغييرات كبيرة في مكان الحادث. وهناك طريقة قياسية لتكييف الخلفية و تتمثل في حساب المتوسط للصور على مر الزمن ومن ثم إنشاء تقريب للخلفية وهو ما يماثل المشهد الثابت الحالي إلا في الحالات التي يحدث فيها حركة [8] - [9]. ولئن كانت هذه الطريقة فعالة في الحالات التي تكون فيها الأشياء تتحرك باستمرار والخلفية مرئية جزء كبير من الوقت ولكنها ليست قوية للمشاهد التي بها العديد من الأشياء تتحرك ولاسيما إذا كانت تتحرك ببطء. وهذه الطريقة أيضاً لا يمكنها التعامل مع الخلفيات ذات النسقين وتتعاوى ببطء عندما تتكشف الخلفية كما أن لها عتبة (حد) واحدة محددة سلفاً على المشهد بأكمله.

يمكن للتغيرات في إضاءة المشهد أن تسبب مشاكل لكثير من أساليب حساب الخلفية (backgrounding). ومع ذلك ، على غرار كل نقطة (بكسل) مع فلتر كالمان (Kalman Filter) تميل إلى جعل النظام أكثر قوة لتغيرات الإضاءة في المشهد. في حين أن هذه الطريقة بها

عتبة تلقائية لحساب كل نقطة (بكسل) (a pixel-wise automatic threshold) فإنها لا تزال تتعافى ببطء ولا يمكنها التعامل مع الخلفيات ذات النسقين بشكل جيد حتى إذا تم التكامل بنجاح في تطبيق مراقبة حركة المرور الآلي. هذه الطريقة المعروفة باسم "Pfnder" تستخدم نموذج إحصائي متعدد الأصناف (multi-class) للأجسام الجاري تتبعها ولكن نموذج الخلفية (background model) هو نموذج غاوسي أحادي (single Gaussian) لكل نقطة (بكسل). قدم النظام نتائج جيدة بعد فترة التهيئة والتي تكون الغرفة فارغة فيها. لم تكن هناك أي تقارير عن نجاح هذه الطريقة في التعقب في المشاهد المأخوذة خارج المباني. تم تطبيق إطار تحليلي نقطي (بكسل) (a pixel-wise framework) للكشف عن المركبات في الأونة الأخيرة. الطريقة تحاول تصنيف قيمة النقطة (بكسل) إلى ثلاثة توزيعات منفصلة محددة سلفاً وهي لون الطريق ولون الظل ولون المركبة. ويبدو أن محاولة التوسيط بين تأثير الظلال قد نجح إلى حد ما ولكن ليس من الواضح ما مخرجات النظام في حال النقاط (بكسل) التي لا تحتوي على هذه التوزيعات الثلاث. على سبيل المثال قد تمثل نقطة (بكسل) لون خلفية واحد أو عدة ألوان للخلفية الناتجة عن الحركات المتكررة أو الظلال أو الانعكاس.

Black et al [10] اقترح استخدام فيديو شبه اصطناعي (pseudo synthetic video) لتقييم أداء التتبع. فقد نوعوا في تعقيد عملية الإدراك الحسي للتتبع صناعياً عن طريق إضافة الإندساد (occlusions) وزيادة عدد الأجسام في مكان الحادث. وتعرض نتائج الكشف والتتبع للأجسام على أساس القياسات المستمدة من عدد من المصادر. وتشمل هذه المقاييس 'معدل اكتشاف المتعقب' (TRDR) ('tracker detection rate') و'معدل الإنذارات الكاذبة' (FAR) و'معدل اكتشاف المسار' (TDR) و'تجزئة المسار' (TF). Stefan et al [11] شكل الارتباط بين الحقيقة على الأرض (ground truth) والأجسام المكتشفة عن طريق تقليل المسافة بين النقطة الوسطى من الحقيقة على الأرض (centroids of ground truth) والأجسام المكتشفة. فقد قاموا بحساب مجموعة من مقاييس الأداء بما في ذلك معدل المسار الكاذب الإيجابي (false positive track rate) ومعدل المسار الحقيقية على الأرض (false negative track rate) ومتوسط عدم التأكد من الموقع ومتوسط عدم التأكد في المساحة والتأخر في اكتشاف الجسم، الخ. Lisa et al [12] اقترحوا خوارزميات لمطابقة المسارات الأرضية الحقيقية (ground truth tracks) والمسارات وحساب مقاييس الأداء على أساس هذه الارتباطات. فقد قاموا بقياس أداء النظام في ظل ظروف مختلفة بما في ذلك: الأماكن المغلقة وخارج البناء وفي أحوال جوية مختلفة ومختلف آلات التصوير ونقاط الاطلاع (cameras/view-points). وقد اقترحوا مجموعة من سبعة مقاييس لقياس جوانب مختلفة من أداء خوارزمية الكشف. وأفادت النتائج في سياق الكشف عن النصوص والوجوه وكذلك الأشخاص والمركبات حال الحركة.

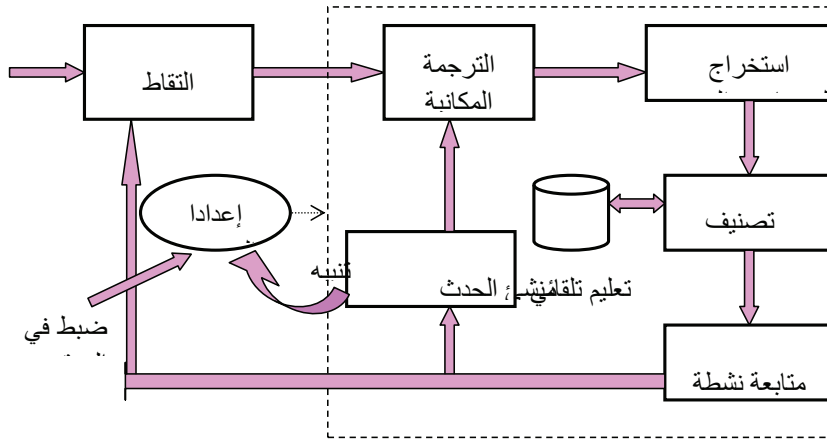
3 نظرة عامة على النظام

أهم صعوبة في وضع نظام للمراقبة بالفيديو هو عدم وجود معالجة شاملة ومثالية والتي تحل عدة مشاكل في وقت واحد. لذلك فإنه من الضروري محاكاة عدة مناهج (multiple approaches) ومقارنة النتائج قبل الاختيار النهائي. وقد تم تطوير العديد من المناهج الحديثة مثل خوارزمية وقت

تأخير الشبكات العصبية ذات المهلة الوقتية (Time Delay Neural Network Algorithm) للتعرف على المشاة في الوقت الحقيقي : وتنقسم الخوارزمية إلى قسمين الأول : المرحلة الأولية للكشف والتتبع وهي تتكون من خوارزمية تجسيم الصور في الوقت الحقيقي (real-time stereo algorithm) والتي ينتج عنها معرفة المساحات التي قد تحتوي مشاة في الصورة. و خلال مرحلة التصنيف اللاحقة يتم تصنيف التسلسل الزمني لهذه المناطق الشبكات العصبية ذات المهلة الوقتية والتغذية الأمامية ((feed-forward time delay neural network (TDNN) مع الحقول المقبولة مكاناً وزماناً. و خوارزمية أخرى للتتبع السيارات تحتوي على أربعة أجزاء. أولاً يقوم النظام بتحديد الطريق ثم يكتشف المركبات المتحركة باستخدام الفروق الزمنية. بعد ذلك ينشئ المنسق عملية التتبع. ولكل عملية تتبع يقوم المتتبع بتحليل تاريخ المناطق قيد المتابعة من الصورة السابقة. المنهج الثالث يقوم بطرح الخلفية لاستخراج الأجسام المتحركة ثم تقوم الشبكة العصبية بتصنيف الأجسام إلى مجموعات بشرية أو شخص أو مركبة. آخر منهج يستخدم تقنية تدفق بصري جديدة تسمى مطابقة المناطق الحركية (Dynamic Region Matching). تم تطبيقها محلياً باستخدام خوارزمية طرح الخلفية التكيفي المقترح للكشف عن الحركة (adaptive background subtraction motion detection algorithm).

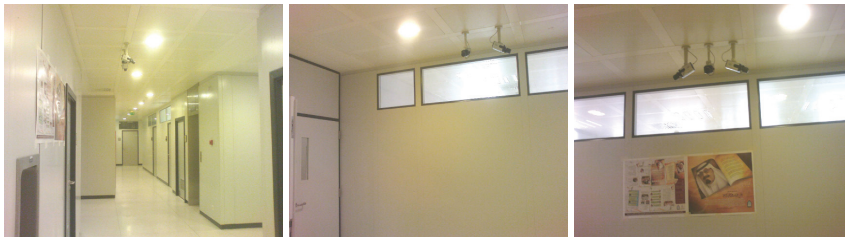
يفضل النهج الذي يتم التصنيف فيه بناءً على القواعد البسيطة التي تكون مستقلة إلى حد كبير عن المظهر أو النماذج ثلاثية الأبعاد. وبناءً على ذلك فإن مقاييس التصنيف التي تم استكشافها في هذا البحث تقوم على أشكال الأجسام بشكل بحت (based purely on a target's shape). يوجد طريقتين مكنيتين للحصول على الأجسام محل الاهتمام في الإطارات : التفريق الزمني (temporal differencing) و مطابقة ارتباط القوالب (template correlation matching) [13] - [15]. كلا المنهجين له مزايا وعيوب. التفريق الزمني مستحيل إذا كان هناك حركة كبيرة للكاميرا. وتفضل أيضاً إذا تم حجب الجسم المراقب. من ناحية أخرى فإن مطابقة ارتباط القوالب ليست قوية في حال حدوث تغييرات في حجم الجسم اتجاهه أو حتى تغير ظروف الإضاءة. أنسب استخدام لهذا النهج هو في حالة الأجسام الصغيرة. لذا ، فإن خصائص هذين الأسلوبين يكملان بعضهما البعض. في حال ثبات الجسم تكون مطابقة ارتباط القوالب هي الأكثر فاعلية في حين يفشل التفريق الزمني. و في حال حركة الجسم يكون التفريق الزمني ناجحاً بينما يميل مطابقة ارتباط القوالب إلى الفشل. هذا هو الدافع وراء الجمع بين التفريق الزمني ومفهوم التناسق الزمني. وتتمثل الفكرة في استخدام التفريق الزمني للكشف عن مناطق الحركة وتطبيق خوارزمية التوافق الزمني للحد من الأخطاء في تصنيف مناطق الحركة.

ويظهر الشكل 1 البنية الداخلية لنظام المراقبة لدينا. تتم معالجة الفيديو من الكاميرا لتحديد موقع أي حركة في المشهد بواسطة وحدة الترجمة المكانية (the spatial localization module). ثم يتم تمييز أي حركة باستخراج خصائصها وبذلك يتم تمييز الأجسام المتحركة محل الاهتمام. يتم تصنيف الأجسام المميزة حسب الفئة في وحدة التصنيف باستخدام المنهج العصبية والمنهج الضبابي.



شكل 1: البنية الداخلية لنظام المراقبة

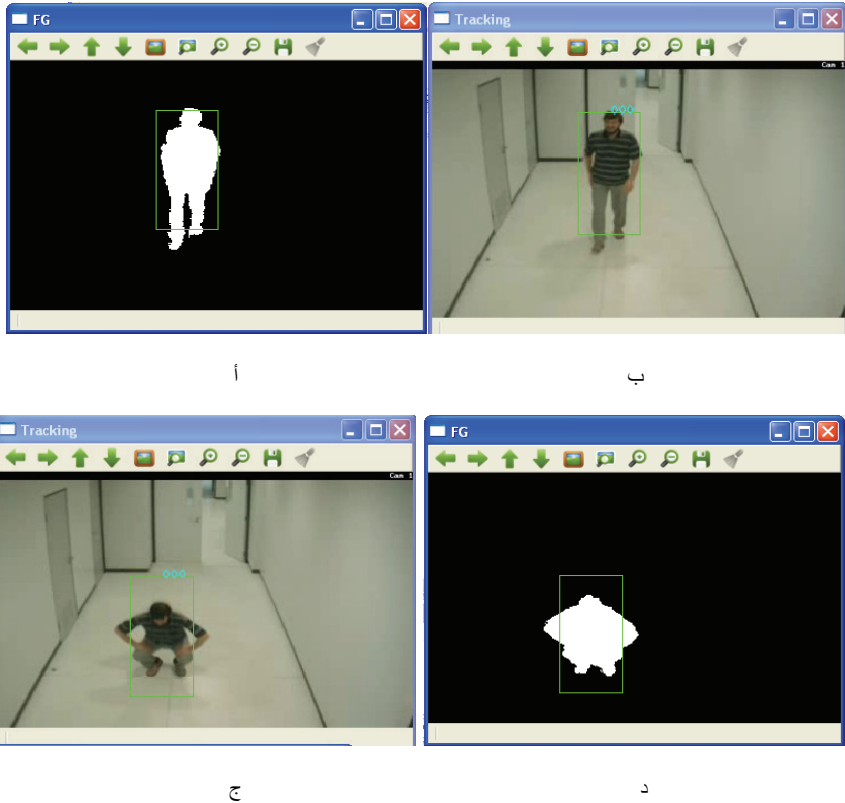
وبمجرد الانتهاء من التصنيف يتم تعقب الأجسام المكتشفة أثناء تنقلها في مجال الكاميرا. يتم تمثيل الأجسام المتتبعه الأساسية في النظام ومن ثم يتم إجراء عدد من العمليات عليها بما في ذلك التصنيف ومولد الحدث في الزمن الحقيقي. ولغرض تجهيز مشروعنا هذا بما يحتاج من وسائل فلقد تم تركيب 12 كاميرا (أنظر الشكل 2) في ممرات الكلية بما يسمح بالتقاط صور للمارين (طلاب، أعضاء هيئة التدريس، عمال، إلخ) في أوضاع مختلفة واقعية. وهذا يزيد في مصداقية المشروع ومخرجاته.



شكل 2: صور عن كاميرات نظام المراقبة

4 اكتشاف الحركة

يتم الكشف عن الأجسام المتحركة من تدفق الفيديو باستخدام التفريق الزمني. ثم تصنف الأجسام وفقاً لتصنيف قياسي (مترى) (*metric classification*). يمكن تتبع هذه الأجسام باستخدام مزيج من معلومات الحركة والترابط المبني على الصور (*image based correlation*). في المرحلة الأولى يتم الكشف عن جميع الأجسام المتحركة باستخدام خوارزمية التفريق الزمني. والتي يتم توصيفها كمناطق الحركة كما يتضح من الشكل 3. يتم تسليم تدفق الفيديو الخارج من الكاميرا إلى وحدة النقاط الفيديو ومن ثم يتم بسلاسة إنتاج إطار مشتق من كل إطار في تدفق الفيديو في وقت تشغيل الدالة الجاوسية الزمنية (*temporal Gaussian function*).



شكل 3: استخراج منطقة الحركة

إذا كانت f_n هي كثافة الإطار رقم n من مقطع الفيديو، فإن القيمة المطلقة لدالة الفرق هي :

(1)

$$\Delta_n = |f_n - f_{n-1}|$$

يتم تسوية (binarized) نتيجة الفرق حتى يتم فصل النقاط (بكسل) المتغيرة عن باقي النقاط. وللقيام بذلك يتم استخدام دالة حدية (عتبية) (threshold) وبذلك يمكن استخراج صورة متحركة (Mn (motion image)).

$$(2) \quad M_n(u, v) = \begin{cases} f_n(u, v) & \text{if } \Delta_n(u, v) \geq T \\ 0 & \text{if } \Delta_n(u, v) < T \end{cases}$$

حيث T هي نقطة حدية (عتبة) (threshold) مناسبة يتم اختيارها بعد عدة اختبارات أجريت على مشاهد من البيئة. لفصل المناطق ذات الاهتمام عن بقية الصور تم استخدام معامل إحصائي خارجي (مورفولوجي) ثنائي الإحصائية (تآكل وتوسع) المستخدمة. وهذا يتيح خفض عدد المكونات المتصلة.

معامل تآكل ثنائي إحصائي : إذ كان SE هو العنصر التركيبي (structured element) وعتبة الترشيح (filtering threshold) th يكون الناتج من معامل التآكل الإحصائي عند النقطة i :

$$(3) \quad f_e(i) = \begin{cases} 1 & M^1(i) \geq th \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

حيث $M^1(i)$ هو عدد النقاط التي لها قيمة 1 داخل العنصر التركيبي SE. ذلك يسمح بالقضاء على الضوضاء (noise) التي ترجعها دالة التغير في النقاط.

• معامل توسع حسابي : إذ كان SE وهو العنصر التركيبي (structured element) ثابت سيكون الناتج من معامل التوسع الحسابي عند النقطة i :

$$(4) \quad f_d(i) = \begin{cases} 1 & M^1(i) \geq 1 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

تسمح هذه العملية باسترجاع النقاط ذات الأهمية والتي أزيلت بمعامل التآكل الثنائي عن طريق ملء الثقوب الموجودة داخل مناطق محل الاهتمام. ثم يتم تجميع الأجزاء المتحركة في منطقة الحركة (Rn(i)). ويتم ذلك باستخدام معيار مكون متصل (connected component criterion). مما يسمح بتجميع أقسام مختلفة يمكن أن تكون جزءاً من المنطقة نفسها أو يسمح بتجميع الأجزاء المتبقية في المنطقة كمجموعة واحدة. وذلك يفيد في تحديد المشاة غير الجامدين (not rigid) ومفيدة أيضاً في حال غياب الجسم المتحرك والأجسام الأخرى. بعد تحديد منطقة الحركة ويتم إجراء معامل التوسع مورفولوجيا (مرتين) ثم إجراء معامل التآكل. بعد ذلك يتم تركيز الأجسام المتحركة في مناطق الحركة باستخدام معيار المكونات المتصلة (connected components criterion).

5 تصنيف الأجسام

والصعوبة الرئيسية في عملية التصنيف القياسي هو أن على سبيل المثال أنه يمكن تصنيف مجموعة من الأشخاص قريبين من بعضهم على أنهم مركبات أو مركبة مغطاة جزئياً قد تبدو وكأنها شخص أو بعض الفوضى في الخلفية قد تبدو وكأنها مركبة. وللتغلب على هذه المشكلة تم استخدام فرضية إضافية. والفكرة الرئيسية هي تسجيل جميع المناطق المحتملة (PR_n) من الإطار الأول لتدفق الفيديو. يجب مراقبة كل منطقة من هذه المناطق المحتملة على مدار عدة إطارات من الفيديو لتحديد ما إذا كانت لا تزال موجودة أم لا ثم تقرير مواصلة تصنيفها. وللقيام بذلك لكل إطار جديد يتم مطابقة كل منطقة متحركة سابقة (PR_{n-1}) مع أقرب منطقة متحركة حالية (R_n) وفقاً لقاعدة القرب المتبادل (mutual proximity rule). بعد هذه العملية تتم إزالة كل مناطق الحركة السابقة التي لم تتطابق مع المناطق الحالية من قائمة مناطق الحركة المقبولة. ويتم اعتبار أي منطقة حركة حالية لم تكن متطابقة كمجموعة جديدة محتملة. وفي كل إطار يستخدم كل من التصنيف الجديد وفقاً للمعاملات القياسية والتشتت والنسبة لتحديث فرضية التصنيف. أكبر مميزات هذا الأسلوب هو أنه إذا تم إساءة تصنيف أي جسم مغطى فإنه سيتم تصنيفه بشكل صحيح مع مرور الوقت. وهناك ميزة أخرى هي أن الحركات الغير مستقرة التي تظهر في الخلفية مثل الأوراق التي تحركها الرياح سيتم تصنيفها كمناطق غير مصنفة.

الدافع وراء استخدام الخواص الهندسية هو أنها غير مكلفة حاسوبياً وثابتة مع تغير ظروف الإضاءة أو اتجاه تصوير الفيديو. من ناحية أخرى من الواضح أن الإنسان مع شكله الصغير والأكثر تعقيداً سيكون له تشتت أكبر من مركبة (كما هو موضح في القسم التالي).

5.1 التصنيف الضبابي

وتستخدم نظم ضبابية للقبض على المعرفة الفنية التي لا يمكن صياغتها بسهولة رياضياً ، أو عندما تستعمل رياضيات معقدة جداً لحلها. ويمكن أن تدرج إضافية نطاق المعرفة من مصادر أخرى. أيضاً ، يمكن استخلاص بعض المعلومات من التحليل الإحصائي للمعلومات التاريخية. إذا كان لنا أن نحدد دالة عضوية مناسبة (μ) للجسم فيمكن حساب كل من مساحته (a) ومحيطه (p) على النحو التالي :

مساحة المجموعات الضبابية:

$$a(\mu) = \sum \mu \quad (5)$$

محيط المجموعات الضبابية:

$$p(\mu) = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N-1} |\mu_{m,n} - \mu_{m,n+1}| + \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^{M-1} |\mu_{m,n} - \mu_{m+1,n}| \quad (6)$$

حيث (M) و (N) هي أبعاد الصورة. واستنادا إلى محيط والمساحة يمكن تحديد كل من التشتت والنسبة للمجموعة الضبابية على النحو التالي :

$$(7) \quad Dispersion = \frac{(Perimetre)^2}{Area}$$

$$(8) \quad Ratio = \frac{Length}{width}$$

تستخدم المناطق المصنفة على أنها مناطق حركة كنماذج لتدريب الخوارزميات القياسية. ويستند النظام الضبابي على مدخلين : التشتت والنسبة لمناطق الحركة وثلاثة مخارج : مخرج الأشخاص ومخرج للمركبات ومخرج للأجسام غير المحددة. لكل مدخل لدينا مجموعتين ضبابيتين واحدة لفئة الأشخاص وأخرى لفئة المركبات. من الواضح أن الأنواع الأكثر وضوحا من الأجسام والتي سوف تكون موضع الاهتمام هي الأشخاص والمركبات (انظر الشكل 4).



Dispersion : 47.0968

Ratio : 2.06



Dispersion : 42.24

Ratio= 2.01



Dispersion : 29.5385

Ratio : 0.377

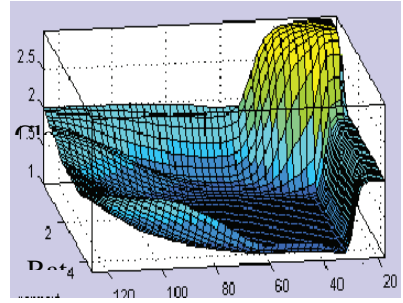
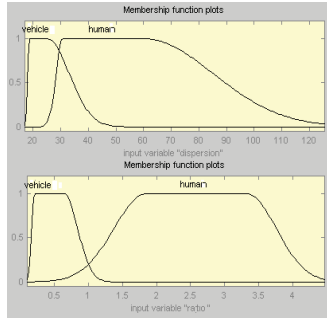


Dispersion : 20.05

Ratio: 0.75

الشكل 4 : نسبة التشتت المعلومات عن الإنسان وسيارة.

لهذا السبب تم تطبيق اثنين من المصنفين للكشف عن هاتين المجموعتين. ويستند القياس على المعرفة بأن البشر بشكل عام أصغر من المركبات وأشكالهم أكثر تعقيدا. وبين الشكل 1.5 دالة العضوية لتصنيف الأشخاص والمركبات ، ويوضح الشكل 1.5 سطح الطبقة لنظام ضبابي.



١.5: دالة العضوية لتصنيف الأشخاص والمركبات

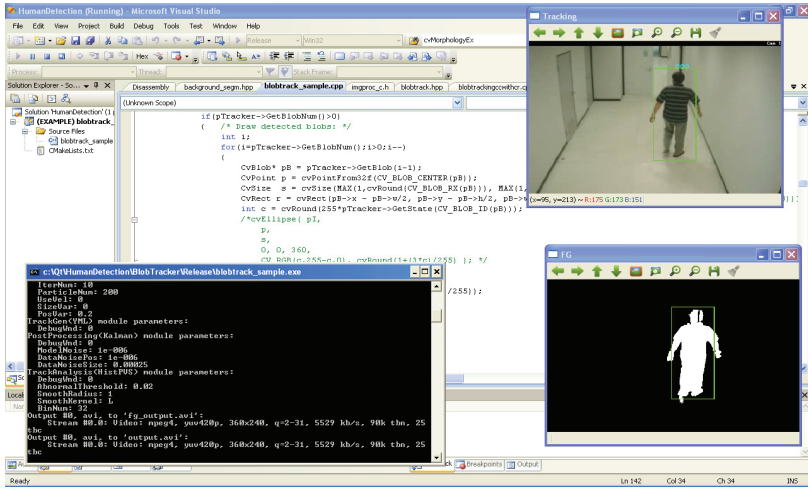
١.5: سطح الطبقة لنظام ضبابي

الشكل 5: دالة العضوية والطبقة السطحية

5.2 الشبكة العصبية

أثبتت الشبكات العصبية ذات التغذية الأمامية (Feed-forward neural networks) أنها أدوات قوية في التعرف على الأنماط [16]. وميزة استخدام الشبكات العصبية للمراقبة هي الاستفادة من تدريب النظام لالتقاط الفئة المعقدة من مجموعة أجسام متعددة وذلك لتحسين قدرات الشبكة العصبية للكشف عن الأجسام بصرياً. ومع ذلك فمن عيوب هذه الطريقة هو أنه لا بد من ضبط بنية الشبكة على نطاق واسع (عدد الطبقات وعدد النقاط (nodes) ومعدلات التعليم ، الخ) للحصول على أفضل أداء [16].

في عملنا قمنا بتنفيذ شبكة عصبية ذات ثلاث طبقات. الطبقة الأولى تحتوي على اثنتين من الخلايا العصبية المرتبطة بمتغيرات قياسية (metric parameters). والطبقة الثانية تحتوي على أربعة خلايا عصبية. والطبقة الثالثة هي طبقة الإخراج بها : 1.0 للأشخاص و 0.1 للمركبات و 0.0 لخلفية الصورة.

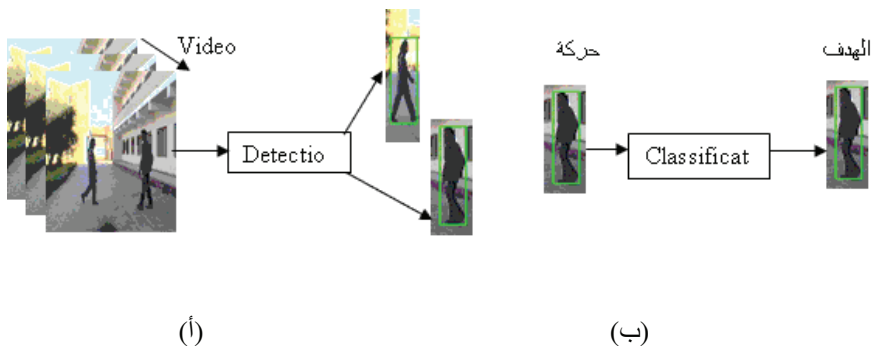


الشكل 6: أداء FFNN باستخدام تسلسل الفيديو في الأماكن المغلقة بعد عدة تكرارات من عملية التعلم.

تظهر الإطارات الأربعة الأولى الظهور المفاجئ لجزء من شخص والتي تم تصنيفها بشكل صحيح على أنها شخص بإظهار الرقم القياسي 1 على الجزء السفلي الأيسر من المستطيل. الإطارات الثلاثة الأخيرة تظهر قدرة الشبكة على التمييز بين مركبة ومجموعة من الناس.

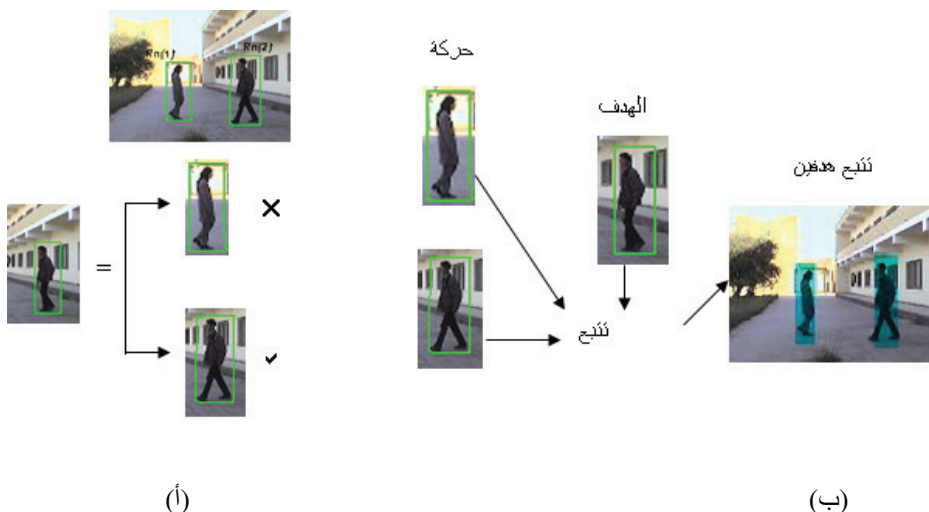
6 التتبع

يتكون التتبع من مزيج من مظهر المبني على مطابقة الارتباط من جهة وكشف الحركة من جهة أخرى. المناطق المتحركة يمكن استخدامها لتوجيه عملية الارتباط وتحديث القوالب (النماذج) (انظر الشكل 7-أ لتسلسل خارج البناء). ويتم اختيار المناطق المتحركة المرشحة مع القالب الحالي لإيجاد أفضل مطابقة كما يظهر واضحا من الشكل 7-ب. وبمجرد العثور على أفضل علاقة بين القوالب المرشحة يتم تعيين صورة المرشح كصورة جديدة للقالب. ويتم ذلك حتى يصبح مظهر القالب مطابق لمظهر المستهدف.



الشكل 7: نظرة شاملة على كشف وتصنيف لتسلسل خارج البناء، (أ) تسلسل (ب) تصنيف

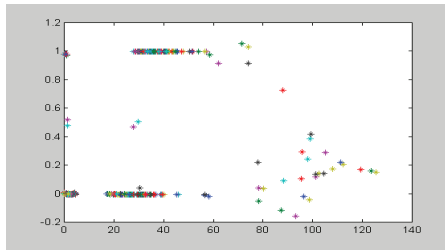
كل منطقة حركة يتم تصنيفها باستخدام الشبكة العصبية والنظام الضبابي. بمجرد تصنيف منطقة حركة يمكن استخدامه كقالب لعملية التتبع (انظر الشكل 8- أ). عملية التتبع تشمل مطابقة العلاقة بين القالب وصورة الفيديو الحالي والتي تستخدم لتحديث القالب تكيفياً كما هو موضح في الشكل 8-ب.



الشكل 8 : عملية التتبع ، (أ) قالب لكل منطقة حركة ، (ب) تتبع أهداف متعددة

7 النتيجة

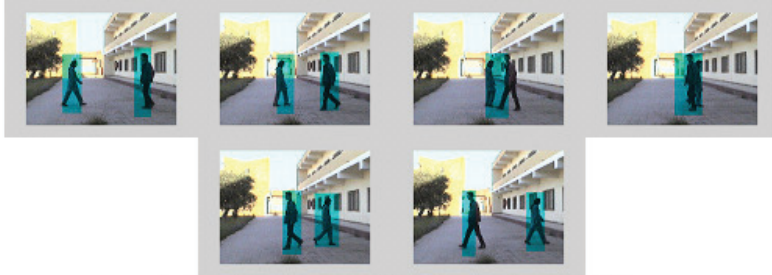
تم تجميع الفيديو من كاميرتين مختلفتين داخل وخارج البناء وبدقة 240×320 . وتم رقمنة (digitized) الفيديو باستخدام نظام التقاط الوسائط المتعددة (Multimedia Capture System). يعمل النظام بأسلوب تجميع البيانات في الوقت الحقيقي بمعدل إطارات متغير ولكنه في المتوسط حوالي 40-50 إطار /مللي ثانية لمشاهد قليلة النشاط (أي شخص أو شخصين أو مركبة أو مركبتين تجتاز المشهد). تم تسجيل فيديو كليب ما يقرب من 20 ثانية من كاميرا المراقبة الموجودة خارج الحرم الجامعي. وتم تنفيذ مرحلة ما قبل التجهيز باستخدام صندوق أدوات ماتلاب لمعالجة الصور (Matlab's Image Processing Toolbox). تم تحسين تصنيف الإطارات الفردية لدرجة تصل إلى 97 % بعد التطبيع (normalization) كما يتضح من الشكل 9.



الشكل 9: توزيع العينات التدريبية العصبية

وبين الشكل 10 تتبع في الوقت الحقيقي لتدفقات مختلفة لفيديو خارج البناء بما في ذلك أشخاص ومركبات متحركة.

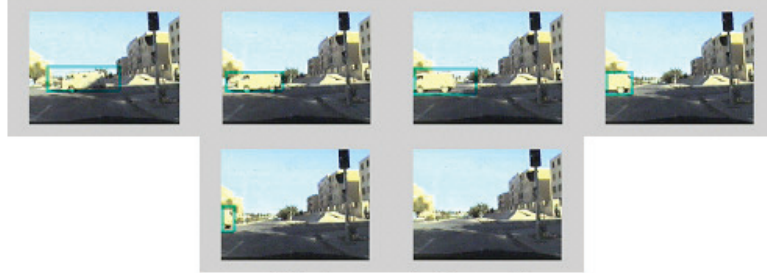
والعنصران الرئيسيان للنظام المطبق هما : التصنيف القياسي ونظام التتبع المبني على أساس المزج بين التفريق الزمني (temporal differencing) ومطابقة الارتباط (correlation matching). النماذج المستهدفة بسيطة وتقوم على محض أجسام مستهدفة. يقوم النظام بالكشف عن الهدف مع 250 نقطة (بكسل) متحركة. ويمكن للنظام تحقيق التعرف على عدة أهداف وتتعقبها. عملية التتبع تحقق أداء مرضيا في وجود تغطية ثابتة (static occlusion). ومع ذلك يمكن للنظام الكشف عن مجموعة من الأشخاص كهدف واحد وتصنيفهم بالخطأ كمركبة.



(أ) تسلسل عرض تتبع النظام لأشخاصين حتى بعد الدمج بينهما



(ب) تسلسل بين السيارة ثم تحديدها بشكل صحيح ونجحها في الوقت الحقيقي



(ج) تسلسل عبور سيارة للطريق

الشكل 10 : النتائج التجريبية على تدفق الفيديو في الوقت الحقيقي

8 الخاتمة

في هذه الورقة تطرقنا الى تطبيق المنطق الضبابي و الشبكات العصبية في أنظمة المراقبة المبنية على صور كميرا فيديو. لقد قمنا بإختبار كلتي الطريقتين و مقارنتهما بالنظام المبني على القرار المنطقي العادي. في كلا الحالتين لب النظام هو دالة التوافق التي تبنى عليها أنظمة المنطق الضبابي و الشبكات العصبية قرارها حيال انتماء مجموعة من عناصر الصورة (البكسل) المكتشفة الى أي صنف من الأجسام في الصورة. نتائج هذه الورقة منبثقة عن نتائج نظام مراقبة ذكي استخدم في محيط الجامعة. يقوم النظام بتحليل البيانات من نوع الفيديو للكشف الآلي و التعرف و متابعة الأهداف المهمة (الأشخاص والمركبات والخلفيات). تظهر نتائج التطبيق الحي لهذا النظام المبني

على دمج التقنيتين مدى إمكانياته في حل السيناريوهات المعقدة وتحسين دقة متابعة الأجسام عن طريق كاميرا واحدة أو أكثر.

9 المراجع

- [1] In Su Kim, Hong Seok Choi, Yi Kwang Moo, Choi Jin Young, and Kong Seong G. Intelligent visual surveillance — a survey. *International Journal of Control, Automation, and Systems*, 8:926–939, 2010.
- [2] Valera, M. and Velastin, S.A. Intelligent distributed surveillance systems: a review. *IEEE Proc. . Vis. Image Signal Process.*, Vol. 152, No. 2, April 2005, pp. 192-204.
- [3] DARPA. Video surveillance and monitoring. Website, 2000. <http://www.cs.cmu.edu/~vsam/>.
- [4] Hannah M. Dee and Sergio A. Velastin. How close are we to solving the problem of automated visual surveillance? : A review of real-world surveillance, scientific progress and evaluative mechanisms. *Machine Vision and Applications*, 19:329–343, September 2008.
- [5] DARPA. Video and image retrieval and analysis tool (virat). Website, 2008. [http://http://www.darpa.mil/Our_Work/I2O/Programs/Video_and_Image_Retrieval_and_Analysis_Tool_\(VIRAT\).aspx](http://http://www.darpa.mil/Our_Work/I2O/Programs/Video_and_Image_Retrieval_and_Analysis_Tool_(VIRAT).aspx).
- [6] Anthony R. Dick and Michael J. Brooks. Issues in automated visual surveillance. In *Proc. VIIth Digital Image*, pages 195–204, 2003.
- [7] SAGEM et al. Integrated surveillance of crowded areas for public security. Website, 2007. <http://www.iscaps.reading.ac.uk/about.htm>.
- [8] Valerie Gouaillier and Aude-Emmanuelle Fleurant. Intelligent video surveillance: Promises and challenges technological and commercial intelligence report. Technical report, CRIM and Technopole Defence and Security, 2009.
- [9] Weiming Hu, Tieniu Tan, Liang Wang, and S. Maybank. A survey on visual surveillance of object motion and behaviors. *Systems, Man and Cybernetics, Part C, IEEE Transactions on*, 34(3):334–352, 2004.
- [10] Hampapur, L. Brown, J. Connell, S. Pankanti, A. Senior and Y. Tian, “Smart surveillance: applications, technologies and implications”, IBM T.J. Watson Research centre, www.research.ibm.com/peoplevision/, Mar 2008.
- [11] J. K. Aggarwal and N. Nandhakumar. On the computation of motion from sequences of images - a review. *Proceedings of the IEEE*, 76(5):917–935, August 1988.
- [12] D. Duque, H. Santos, and P. Cortez. Prediction of abnormal behaviors for intelligent video surveillance systems. In *Computational Intelligence and Data Mining, 2007. CIDM 2007. IEEE Symposium on*, pages 362–367, april 2007.
- [13] Berthold K.P. Horn and Brian G. Schunck. Determining optical flow. Technical report, Cambridge, MA, USA, 1980.
- [14] L. Khoudour, J. Deparis, J. Bruyelle, F. Cabestaing, D. Aubert, S. Bouchafa, S. Velastin, M. Vicencio-Silva, and M. Wherett. Project cromatica. In Alberto Del Bimbo, editor, *Image Analysis and Processing*, volume 1311 of *Lecture Notes in Computer Science*, pages 757–764. Springer Berlin / Heidelberg, 1997.
- [15] Teddy Ko. A survey on behavior analysis in video surveillance for homeland security applications. *Applied Image Pattern Recognition Workshop*, 0:1–8, 2008.
- [16] Edmund Lam, King-Shan Lui, and Vincent Tam. Image and video processing in wireless sensor networks. *Multidimensional Systems and Signal Processing*, 20:99–100, 2009.
- [17] [M. Piccardi. European Commission Framework 5 Program. Annotated digital video for intelligent surveillance and optimized retrieval. Website, 2000. <http://www.sop.inria.fr/orion/ADVISOR/>.
- [18] Tomi D. Raty. Survey on contemporary remote surveillance systems for public safety. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 40(5):493–515, September 2010.
- [19] P. Turaga, R. Chellappa, V.S. Subrahmanian, and O. Udrea. Machine recognition of human activities: A survey. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 18(11):1473–1488, nov. 2008.
- [20] Peter L. Venetianer and Hongli Deng. Performance evaluation of an intelligent video surveillance system - a case study. *Computer Vision and Image Understanding*, 114(11):1292–1302, 2010.
- [21] James W. Davis and Aaron F. Bobick, The Representation and Recognition of Action Using Temporal Templates *IEEE CVPR (and MIT Media Lab TR #402)*, San Juan, Puerto Rico, June 1997.
- [22] Hampapur, L. Brown, J. Connell, A. Ekin, N. Haas, M. Lu, H. Merkl, S. Pankanti, S., “Smart video surveillance: exploring the concept of multiscale spatiotemporal tracking,” *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 22, no. 2, pp. 38–51, Mar. 2005.
- [23] G. L. Foresti, C. Micheloni, L. Snidaro, P. Remagnino, T. Ellis, “Active video-based surveillance system: the low-level image and video processing techniques needed for implementation,” *IEEE Signal Processing Mag.*, vol. 22, no. 2, pp. 25–37, Mar. 2005.
- [24] R. Kleihorst, A. Abbo, V. Choudhary, B. Schueler, “Design Challenges for Power Consumption in Mobile Smart Cameras,” in *Proc. COGNITIVE systems with Interactive Sensors (COGIS 2006)*, Mar. 2006.

Title: Intelligent Surveillance System based on Wireless IP Camera Network

Abstract: In this paper, the application of fuzzy logic and neural network in video surveillance systems based on video camera is analyzed. Both systems have been tested and compared with a crisp decision system. In all cases, the core of the system is the association function, in which the developed neuro and fuzzy systems take decision about what detected pixels grouped in a zone belong to what category. In this work the surveillance system is deployed in our university environment. It is based on video data processing, in charge of the automatic detection, identification and tracking of all interesting targets (humans, relevant ground vehicles and backgrounds). Results obtained with real data show different capabilities for the combined system to solve complex scenarios and to improve tracking accuracy

Keywords: Object Classification, Object Recognition, Video Surveillance System, Intelligent Tracking

المصطلحات

مراقبة	Surveillance
متابعة الأجسام	Object Tracking
الوقت الحقيقي	Real Time
تصنيف الأجسام	Object Classification
تحليل الحركة	Motion Analysis
تدفق البيانات	Data Flow
الكشف عن الوجوه	Face Recognition
الصور الثابتة	Steady Image
الأنظمة الذكية	Smart Systems
المعالجة الموزعة	Distributed Processing
غير تكيفية	Non adaptive
حساب الخلفية	backgrounding
عتبة	Threshold
نموذج غاوسي أحادي	single Gaussian model
إطار	Framework

معدل الإنذارات الكاذبة	False Alert Rate
الشبكات العصبية ذات المهلة الوقتية	Time Delay Neural Network Algorithm
إنسداد	Occlusion
الشبكات العصبية ذات المهلة الوقتية والتغذية الأمامية	feed-forward time delay neural network (TDNN)

التشخيص الذاتي لمرض الزرق باستخدام تقنيات الذكاء الصناعي

وسام شحادة¹، محمد الروسان²، أحمد غراب³
¹ جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية، مستشفى الملك المؤسس عبد الله الجامعي.
 ص.ب. 3030 الرمز البريدي 22110 اردب، المملكة الأردنية الهاشمية.
^{2,3} جامعة العلوم والتكنولوجيا الأردنية، كلية الحاسوب وتكنولوجيا المعلومات.
 ص.ب. 3030 الرمز البريدي 22110 اردب، المملكة الأردنية الهاشمية.

Emails: ¹wisam97@yahoo.com, ²alrousan@just.edu.jo, ³aghorab@ucas.edu.ps.

الخلاصة. الزرق (الجلوكوما) هو أحد الأمراض الرئيسية المسببة للعمى في العالم، فهو يؤدي إلى تلف أنسجة العصب البصري الذي ينقل المعلومات البصرية إلى المخ مما يسبب ظهور البقع العمياء، وللأسف فإن كثير من الناس لا يلاحظون هذه البقع العمياء إلا بعد تلف جزء كبير من العصب البصري. وفي حالة التلف الكامل للعصب البصري فإن ذلك يؤدي إلى فقدان القدرة الكاملة على الإبصار، لذلك فإن التشخيص والعلاج المبكر للزرق هما العاملان الرئيسيان للوقاية من الإصابة بالعمى بسبب هذا المرض.

يعتبر اختلاف تقييم المرض باستخدام صور شبكية العين أحد أهم المشكلات التي تواجه المختصين في هذا المجال، لذلك فإن الهدف من هذه الأطروحة هو تطوير نظام آلي لكشف و تقييم مرض الزرق بدون تدخل المختصين و ذلك من خلال مجموعة من عمليات معالجة الصور والذكاء الصناعي والتي تقوم بتصنيف الصور إلى عينات مرضية وأخرى سليمة، مما يساعد على الكشف المبكر للمرض في مراحله الأولى.

يرتكز هذا البحث على إنشاء نظام قادر على تحليل و تقييم مرض الزرق عن طريق استخراج خاصيتين مهمتين هما (CDR) و (ISNT Ratio) و بعد ذلك يقوم النظام بتصنيف الصور بناء على هاتين الخاصيتين باستخدام تقنيات الذكاء الصناعي. حيث استخدم مصنفان مختلفان لتصنيف الصور وهم الشبكات العصبية الصناعية وآلات متجه الدعم.

وقد جُمعت 113 عينة لتدريب المصنفات ولإجراء الاختبارات، منها 100 عينة سليمة و 13 عينة مصابة بالزرق، حيث تم جمع هذه العينات بالتعاون مع ثلاثة مستشفيات محلية.

أظهرت النتائج المتعلقة بمصنف الشبكة العصبية الصناعية أن الحساسية تساوي 99٪ مع تصنيف لجميع العينات بشكل صحيح باستثناء عينة واحدة (بنسبة 96.15٪). مصنف آلة متجه الدعم حقق حساسية وصلت إلى 100٪ مع نجاح في تصنيف جميع العينات بشكل صحيح باستثناء عينة واحدة فقط (بنسبة 96.15٪ عند $\gamma = 0.45$).

الكلمات الجوهرية: الزرق، العصب البصري، شبكية العين، الذكاء الصناعي، الشبكات العصبية الصناعية.

1 مقدمة

تعتبر العين البشرية من أهم الأعضاء في جسم الإنسان، ذلك أنها تساعد على الرؤية وعلى أداء مهامه الرئيسية. كما ويعتبر مرض الزرق أحد أهم الأمراض المسببة للعمى، وذلك لأنه يسبب تلف أنسجة العصب البصري الناقل للإشارات الضوئية من العين إلى الدماغ نتيجة لارتفاع ضغط العين الداخلي مما يؤدي إلى تكون بقع عمياء داخل العين وإذا لم يعالج المرض يحدث تلف كلي للعصب البصري مما يسبب العمى [1]. إن الاكتشاف المبكر لمرض الزرق في مراحله الأولى يساعد كثيراً في علاج المرض وذلك لأن أي تلف ناتج عن هذا المرض لا يمكن إصلاحه بسبب كونه يصيب العصب البصري للعين، ومن المعروف أن تلف الأعصاب لا يمكن علاجه. الشكل 1 يوضح صورة لقاع العين لمريض الزرق، القرص الأبيض هو العصب البصري [2].

و في ارتفاع ضغط العين يتقعر القرص البصري (رأس العصب البصري) نتيجة لضغط السوائل المتراكمة في العين و بالتالي يؤدي إلى ضмор العصب و فقدان النظر [1و2].



الشكل 1. تأثير الزرق على شكل القرص البصري للعين.

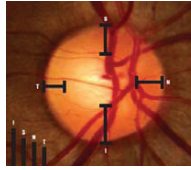
يستخدم أطباء العيون طرقاً تقليدية لاكتشاف المرض منها على سبيل المثال حساب النسبة بين مساحة القرص البصري والكأس البصرية كما يوضح الشكل 1. وهذه النسبة ترمز بالرمز CDR.

كما ويستخدم الأطباء طريقة أخرى لقياس درجة خطورة المرض وهي تسمى بقاعدة ISNT وهي اختصار لـ (Inferior, Superior, Nasal, and Temporal). وهي تعتمد على فحص الجهات الأربع للقرص البصري كما يوضح الشكل 2. وهي تنص على أن سماكة الحافة السفلية للقرص البصري هي الأكبر، تليها الحافة العلوية ثم اليمنى وأخيراً الحافة اليسرى. وفي حالة إصابة العين بمرض الزرق يختلف هذا الترتيب بسبب اتساع مساحة الكأس البصرية بشكل عشوائي [4و5].

عملية قياس هاتين الخاصيتين يدوياً معرضة بشكل كبير إلى العديد من الأخطاء، وقيمتها تكون مختلفة من طبيب لآخر، مما يسبب عدم دقة أحياناً في عملية تشخيص المرض. كما أن عملية قياسهما يدوياً يستهلك وقتاً وجهداً كبيرين، وهي تحتاج إلى خبرة عملية لتحديد دقة ذلك يواجه بعض أطباء العيون مشاكل كبيرة في قياسهما بدقة. لهذا كله كان من الضروري بناء نظام آلي يقوم بحساب هذه النسبة بشكل دقيق وواضح وذلك لدعم عملية التشخيص التي يقوم بها الأطباء.

في هذا العمل قمنا ببناء نظام يساعد المختصين في هذا المجال في تشخيص مرض الزرق، وتمييز العينات المريضة من العينات السليمة، وخاصة في حالات تشخيص أعداد كبيرة من العينات، مما يوفر المزيد من الوقت والجهد. إن معظم عمليات التشخيص الآلي المتوفرة حالياً تعتمد أساساً على عمليات

معالجة للصورة فقط دون الاعتماد نهائيا على أي من تقنيات الذكاء الصناعي، مما يجعل معظم هذه الأنظمة تفشل في تشخيص بعض العينات وخاصة العينات المتوسطة والتي تكون ما بين الحالة السليمة والحالة المرضية. لذلك فإن الهدف من هذه الدراسة هو دمج تقنيات معالجة الصور وتقنيات الذكاء الصناعي للخروج بنظام متكامل يتميز بكفاءة ودقة عالية في التشخيص.



الشكل 2. توضيح فكرة القاعدة ISNT. [5].

2 آلية عمل النظام

2.1 أولا: استخلاص الخصائص CDR و ISNT

سوف نعتمد في هذه الدراسة على صورة قاع العين وهي تستخدم في هذا المجال لتشخيص مرض الزرق. وهي كما في الشكل 3 تتكون من مجموعة من الأوردة والشرابين ومن منطقة مضبنة بشكل واضح وهي رأس العصب البصري – النقطة العمياء. إن عملية تحديد موقع رأس العصب البصري تعتبر الخطوة الأولى في عملية التشخيص وهي نقطة البداية لتحديد قيمتي CDR و ISNT.

سوف نقوم في هذا الجزء من البحث بوضع آلية لقياس CDR ولقياس ISNT وهما الخاصيتين الأكثر أهمية في المساعدة على اكتشاف المرض؛ كما يوضح الشكل 3.



الشكل 3. المرحلة الأولى من آلية عمل النظام – استخلاص الخصائص.

2.1.1 آلية قياس الخاصية CDR

العصب البصري يتكون من مجموعة من الألياف البصرية التي تعمل كناقلة للإشارات البصرية من العين إلى الدماغ، ويمكن لأي ضرر للعصب البصري أن يسبب البقع العمياء عند الحواف الخارجية لمجال الرؤية، وهذه هي العلامة الرئيسية لظهور مرض الزرق [14]. في الحالة الطبيعية للعين يكون العصب البصري مسطحا عند نقطه التقائه بالشبكية [6]، وفي أحيان قليلة يكون هناك تقعر بسيط للعصب البصري، لكن في الحالات المرضية المتقدمة يكون التقعر واضحا وبشكل يملأ أحيانا مساحة القرص البصري.

ويمكن تعريف CDR بأنها النسبة بين مساحة الكأس البصرية إلى مساحة القرص البصري كما في المعادلة 1 [7].

$$(1) \quad CDR = \frac{\text{مساحة الكأس البصرية}}{\text{مساحة القرص البصري}}$$

لذلك فإن قيمة CDR في حالة العينات السليمة تكون أقل من 0.4 أما في الحالات المرضية فإنها تزيد عن ذلك لتصل أحيانا إلى 0.7 [7 و8].

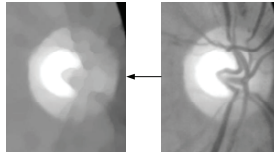
خطوات قياس CDR:

أ- تحسين الصورة باستخدام تقنيات المعالجة الابتدائية للصورة

وذلك بتطبيق مرشح تنعيم الصورة (تقليل الضجيج) يليها تطبيق تقنية تعزيز التباين [15]. هاتان الخطوتان تساعدان على إخراج صورة مناسبة وجهازية لإجراء باقي العمليات عليها.

ب- حذف الأوردة والشرابين من صورة قاع العين

حيث تم استخدام تقنية المعاملات المورفولوجية؛ في البداية تم استخدام عملية الغلق على كل من الباند الأحمر والباند الأخضر لصورة قاع العين، تميل عملية الغلق لتنعيم الحواف الخارجية ولملئ الفراغات الموجودة في الصورة [15]. ولحذف بعض الآثار الجانبية لعملية الغلق نلجأ إلى استخدام عملية الفتح لتصحيح هذه الآثار وكذلك للمساعدة على حذف بعض النقاط المضنية الصغيرة في صورة قاع العين والنتيجة أحيانا من بعض إفرازات العين. يوضح الشكل 4 ناتج عملية حذف الأوردة والشرابين من صورة قاع العين باستخدام تقنية المعاملات المورفولوجية، حيث تم استخدام عنصر هيكله متماثل بحجم 13x13 بكسل، وذلك لأنه الحجم المناسب الذي يغطي كافة الشرايين والأوردة في العينات التي حصلنا عليها.



الشكل 4. تأثير عملية حذف الشرايين والأوردة من صورة قاع العين.

ج- تقسيم القرص البصري والكأس البصرية

تهدف هذه العملية إلى تعيين حدود كل من القرص البصري والكأس البصرية. ولتحديد منطقة القرص البصري استخدمنا الباند الأحمر لصورة قاع العين؛ لأن القرص البصري يكون واضحا في هذا الباند. كما وأننا استخدمنا الباند الأخضر لإيجاد الكأس البصرية لأنها تكون واضحة في هذا الباند.

تقسيم القرص البصري.

القرص البصري هو الجزء الأكثر إضاءة في صورة قاع العين، وبشكل عام فإن شكله يكون إما دائريا أو مائلا إلى الشكل البيضاوي [9 و13]. وعند البدء في عملية تحديد القرص البصري نتعرضنا العديد من المشاكل من أهمها وجود بعض الإفرازات في شبكية العين، والتي تتشابه في الخصائص أحيانا كثيرة بالقرص البصري، مما يعقد عملية اكتشاف وتحديد موقع القرص البصري [10 و11]. كذلك فإن من أهم

المشكلات التي تواجهنا هو شكل القرص البصري نفسه. وفي النهاية فإن جودة الصورة الملتقطة لقاع العين تعتبر أحد أهم المعايير المؤثرة في عملية تحديد القرص البصري. وبعد التجربة تبين لنا أن قيمة العتبة المناسبة لعملية التقسيم هي ثلاثة أضعاف الانحراف المعياري للباند الأحمر لصورة قاع العين كما في المعادلة 2.

(2)

$$th_{disc} = 3 \times \sigma_{red}$$



الشكل 5. ناتج عملية تقسيم القرص البصري.

تقسيم الكأس البصرية.

وبنفس الطريقة فإن القيمة المناسبة للعتبة هي أربعة أضعاف الانحراف المعياري للباند الأخضر لصورة قاع العين كما في المعادلة 3. الشكل 6 يوضح نتيجة عملية التقسيم للباند الأخضر.

(3)

$$th_{cup} = 4 \times \sigma_{green}$$



الشكل 6. ناتج عملية تقسيم الكأس البصرية.

د- ملئ منطقة القرص البصري والكأس البصرية

للقيام بهذه العملية يجب علينا في البداية تحديد المنطقة التي سوف يتم ملؤها وذلك بتحديد الدائرة الأنسب المحيطة بكل من القرص البصري والكأس البصرية بشكل آلي باستخدام خوارزمية مناسب، يلي ذلك تطبيق تقنية ملئ المنطقة على الصورة المقسمة لكل من القرص البصري والكأس البصرية.



الشكل 7. توضيح لعملية ملئ منطقة الكأس البصرية.

ه- اقتطاع منطقة القرص البصري والكأس البصرية

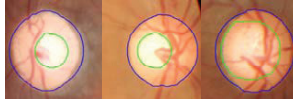
في هذه الخطوة نقوم باقتطاع منطقة مربعة بطول 300 بكسل لكل من القرص البصري والكأس البصرية بتطبيق قناع على كل من الباند الأحمر للقرص البصري والباند الأخضر للكأس البصرية.

و- احتساب النسبة CDR

ولاحتساب النسبة CDR نقوم بحساب عدد البكسلات في كل من منطقتي القرص البصري والكأس البصرية وتطبيق المعادلة 4.

$$(4) \quad CDR = \frac{n_{oc}}{n_{od}}$$

حيث أن n_{oc} هو عدد البكسلات في الكأس البصرية و n_{od} هو عدد البكسلات في القرص البصري.



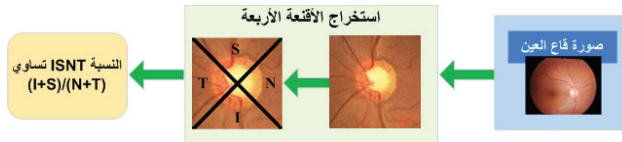
الشكل 8. توضيح لنتائج عملية تحديد القرص البصري والكأس البصرية على العينات الأصلية.

2.1.2 آلية قياس الخاصة ISNT

يمكن تعريف النسبة ISNT بأنها النسبة بين مجموع عدد البكسلات في كل من المنطقة السفلية والعليا إلى مجموع عدد البكسلات في كل من المنطقة اليمنى واليسرى للقرص البصري [3]. انظر معادلة 5.

$$(5) \quad ISNT \text{ Ratio} = \frac{I + S}{N + T}$$

ولإيجاد هذه النسبة استخدمنا أربعة أقطعه كما هو مبين بالشكل 9.



الشكل 9. توضيح الأقطعة الأربعة المستخدمة لاستخراج النسبة ISNT.

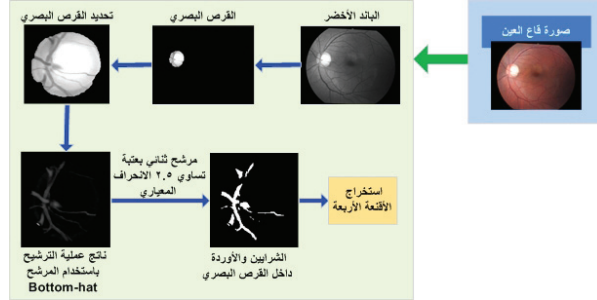
وتتلخص خطوات احتساب النسبة ISNT كما يلي :

- (1) تقسيم منطقة القرص البصرية كما تم شرحه سابقا.
- (2) ترشيح الصورة الناتجة باستخدام مرشح (bottom-hat) وذلك لتوضيح المناطق الداكنة (التي تمثل فعليا الشرايين والأوردة).
- (3) تمرير الصورة الناتجة على مرشح ثنائي بقيمة عتبة تساوي 2.5 قيمة الانحراف المعياري للصورة الناتجة في الخطوة السابقة.

(4) تطبيع الأربع أقطعة كما هو موضح في الشكل 9، واقتطاع أربعة مناطق تمثل الجهات الأربعة للقرص البصري.

(5) احتساب النسبة ISNT بتطبيق المعادلة 5.

كلما كانت هذه النسبة أقل كانت درجة الإصابة أكبر والعكس صحيح، الشكل 10 يوضح هذه الخطوات على إحدى العينات.



الشكل 10. توضيح لطريقة استخراج الخاصية ISNT.

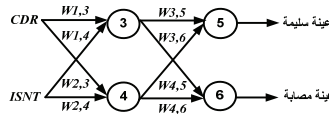
2.2 ثانيا: مرحلة التعلم

في هذا الجزء من البحث قمنا بجمع 113 عينة منها 13 عينة مرضية و100 عينة سليمة؛ تم جمعها من عدة مستشفيات في الأردن، حجم العينة الواحدة كان 1600×1216 بكسل بتنسيق JPEG.

ولصغر عدد العينات المرضية بالنسبة لعدد العينات السليمة، استخدمنا تقنية التصديق المتقاطع [19]. وهي تقنية تستخدم لتقدير مدى أداء نموذج معين لعينه من البيانات بالنسبة للبيانات المستقبلية، وذلك عن طريق تقسيم البيانات لمجموعتين: مجموعة التدريب حيث يتم عليها التطبيق، ومجموعة الاختبار حيث يتم حساب نسبة الخطأ الناتج عليها. هنالك عدة أنواع من التصديق المتقاطع حيث استخدمنا طريقة تقسيم العينات إلى "ك" أقسام، قيمة "ك" تعتمد على عدد البيانات. في العادة يتم أخذ "ك" = 10 [19].

2.2.1 الشبكة العصبية الصناعية

في هذا الجزء من البحث قمنا بتدريب شبكة عصبية صناعية أمامية التغذية [12 و16]، وذلك لأنها عادة ما تستخدم في حالات التصنيف الذكي والتمييز الذكي لبيانات غير مألوفة مسبقاً، حيث تم بناء شبكة مكونة من طبقتين حيث تم استخدام عصونين في كل طبقة كما هو موضح بالشكل 11.



الشكل 11. رسم توضيحي للشبكة العصبية الصناعية المستخدمة.

2.2.2 آلة متجه الدعم

عند استعمال هذا النوع من المصنفات يلزمنا أن نقوم بتحديد الدالة النواة ؛ لذلك فقد استخدمنا دالة القاعدة الشعاعية [17 و 18]. انظر المعادلة 6.

$$K(X_i, Y_i) = e^{(-\gamma((X_i - Y_i)^2)}, \gamma > 0 \quad (6)$$

حيث أن γ هو مقياس التمدد للمعادلة 6.

3 الاختبارات والنتائج

3.1 قياس دقة تقنية تحديد القرص البصري والكأس البصرية

ولقياس دقة النظام في احتساب النسبة CDR قمنا بعمل تجربة تعتمد على قياس مقدار الخطأ في قياس النسبة وذلك حسب المعادلة 7.

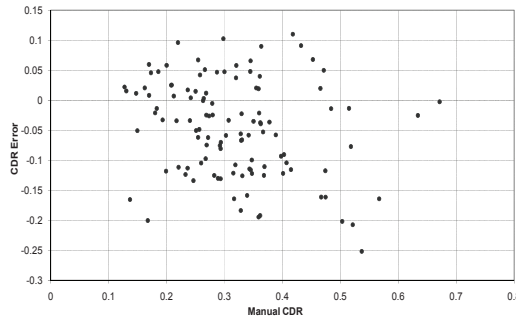
$$CDR\ ERROR = CDR(Machine) - CDR(Manual) \quad (7)$$

حيث قمنا بحساب النسبة CDR لجميع العينات الـ 113 بالطريقة اليدوية وبالطريقة الآلية وكانت النتائج على النحو الموضح في الجدول 1.

جدول 1. مقارنة ما بين النسبة CDR المحسوبة آليا والمحسوبة يدويا.

CDR المحسوبة يدويا		CDR المحسوبة آليا	
الانحراف المعياري	المعدل	الانحراف المعياري	المعدل
0.10	0.31	0.14	0.36

وكما هو موضح في الجدول 1 فإن المعدل في كلا الحالتين متقارب جدا كما أن الانحراف المعياري كذلك يختلف بمقدار بسيط جدا مما يدل على أن النتائج الآلية لاحتساب CDR تتساوى تقريبا مع النتائج اليدوية.



الشكل 12. مخطط توزيع الأخطاء في احتساب النسبة CDR آليا بالنسبة لاحتسابها يدويا.

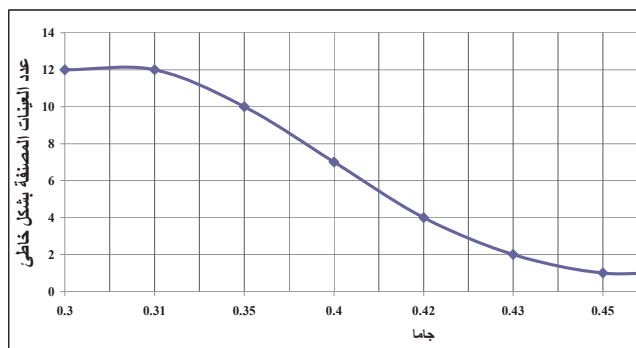
كما يوضح الشكل 12 مخطط توزيع الأخطاء في احتساب النسبة CDR آليا بالنسبة إلى احتسابها يدويا. حيث كان معدل الأخطاء يساوي 0.046 بانحراف معياري مقداره 0.08 لجميع العينات وهي نسبة خطأ معقولة لدى الأطباء والمختصين في هذا المجال نظرا لأن الفروق الفردية في احتساب النسبة CDR تكون مقبولة بمعدل الخطأ هذا، ولا تؤثر كثيرا في عملية التشخيص.

3.2 نتائج التصنيف

يوضح جدول 2 نتائج التصنيف المتعلقة بمصنف الشبكة العصبية الصناعية وهو يوضح أن هذا المصنف قد حقق نجاحا في تصنيف جميع العينات السليمة وقد صنف جميع العينات المصابة عدا عينة واحدة بمعدل 96.15%.

جدول 2. نتائج التصنيف لمصنف الشبكة العصبية الصناعية.

الفئة	عدد العينات المصنفة بشكل صحيح	نسبة التصنيف الصحيح لكل فئة من العينات
سليمة (100 عينة)	100	%100
مصابة (13 عينة)	12	%92.3
المعدل		%96.15



الشكل 13. رسم بياني يوضح تأثير قيمة جاما على عدد العينات المصنفة بشكل خاطئ في آلة متجه الدعم.

ويوضح جدول 3 نتائج التصنيف المتعلقة بمصنف آلة متجه الدعم عند $\gamma = 0.45$ وهي القيمة التي تثبت عندها كفاءة المصنف، حيث أننا قمنا بتجربة قيم مختلفة لهذا المتغير واتضح أن القيمة المناسبة لهذا المتغير لضمان ثبات الكفاءة هي 0.45، الشكل 13 يوضح عدد العينات المصنفة بشكل خاطئ عند تغير قيمة γ .

جدول 3. ملخص لنتائج التصنيف باستخدام مصنف آلة متجه الدعم عند قيمة جاما ($\gamma = 0.45$).

الفئة	ROC Area	F-Measure	Recall	Precision	FP Rate	عدد العينات المصنفة بشكل صحيح
سليمة (100 عينة)	0.962	0.995	1.0	0.99	0.077	100/100
مصابة (13 عينة)	0.962	0.96	0.923	1.0	0.0	12/13
المعدل	0.962	0.99	0.991	0.991	0.068	%96.15

4 الخاتمة

قمنا في هذا العمل ببناء نظام متكامل لتشخيص مرض الزرق في العين البشرية. يعتمد هذا النظام على دمج تقنيات معالجة الصورة رقمياً وتقنيات الذكاء الصناعي، حيث تم بناء هذا النظام ليعمل على دعم قرارات أطباء العيون لتشخيص هذا المرض الخطير الذي يسبب العمى لكثير من الناس حول العالم.

سوف نقوم في المستقبل بتطوير هذا النظام وذلك بالعمل على الحصول على المزيد من العينات وخاصة العينات المرضية وذلك لزيادة كفاءة عملية التعلم وعمليات التصنيف، كما وسنقوم بتطوير تقنيات وخوارزميات إيجاد الخصائص المستخدمة في بناء هذا النظام وسوف نقوم أيضاً بتزويد النظام بمزيد من الخصائص التي يمكن أيضاً استخراجها من صورة قاع العين للمساعدة في الكشف الذاتي لمرض الزرق. كما وسنقوم بتدريب النظام باستخدام مصنفات أخرى مثل شجرة القرارات.

وفي الختام نرجو أن نكون قد وفقنا في طرح هذا الموضوع في هذه الورقة ونرجو أن نكون قد وضعنا لبنه على طريق تصميم نظام آلي يساعد أطباء العيون حول العالم في تشخيص مرض الزرق وخاصة الفئة المستهدفة من هذا النظام وهم طلبة طب العيون.

المراجع

- [1] Cioffi GA. Basic and Clinical Science Course (BCSC) Section 10, Glaucoma: American Academy of Ophthalmology; 2009.
- [2] Bhatt MG. Detecting Glaucoma in Biomedical Data using Image Processing: A graduate thesis submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, Rochester Institute of Technology Rochester, New York; 2005.
- [3] Nayak J, Acharya R., Bhat PS, Shetty N, Lim TC. Automated Diagnosis of Glaucoma Using Digital Fundus Images: Journal of Medical Systems; 2009; 33(5): 337-346.
- [4] Jonas JB, Gusek GC, Naumann GO. Optic Disc, Cup and Neuroretinal Rim Size, Configuration and Correlations in Normal Eyes: Investigative Ophthalmology & Visual Science; 1988; 29(7): 1151-1158.
- [5] Harizman N, Oliveira C, Chiang A, Tello C, Marmor M, Ritch R, Liebmann JM. The ISNT Rule and Differentiation of Normal from Glaucomatous Eyes: Arch Ophthalmol; 2006; 24: 1579-1583.
- [6] Fingeret M, Medeiros FA, Susanna R Jr, Weinreb RN. Five Rules to Evaluate the Optic Disc and Retinal Nerve Fiber Layer for Glaucoma: Optometry; 2005; 76: 661-668.
- [7] Liu J, Wong DWK, Lim JH, Jia X, Yin F, Li H, Xiong W, Wong TY. Optic Cup and Disk Extraction from Retinal Fundus Images for Determination of Cup-to-Disc Ratio: IEEE, Proceedings of the 2008 3rd IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications; 2008: 1828-1832.
- [8] Inoue N, Yanashima K, Magatani K, Kurihara T. Development of a Simple Diagnostic Method for the Glaucoma Using Ocular Fundus Pictures: Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology; 2005; 4: 3355-3363.

- [9] Tang Y, Li X, Freyberg AV, Goch G. Automatic Segmentation of the Papilla in a Fundus Image Based on the C-V Model and a Shape Restraint: Proceedings of the 18th International Conference on Pattern Recognition (ICPR'06); 2006.
- [10] Liu J, Wong DWK, Lim JH, Jia1 X, Yin F, Li H, Wong TY. Level-Set Based Automatic Cup-To-Disc Ratio Determination using Retinal Fundus Images in ARGALI: 30th Annual International IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBS) Conference, Canada; 2008: 2266-2269.
- [11] Li H, Chutatape O. Automatic Location of Optic Disk in Retinal Images: IEEE Proceedings of International Conference on Image Processing, ICIP; 2001; 2: 837-840.
- [12] Gardner GG, Keating D, Williamson TH, Elliott AT. Automatic Detection of Diabetic Retinopathy using an Artificial Neural Network: A Screening Tool: British Journal of Ophthalmology; 1996; 80(11): 940-944.
- [13] E-Medicine from WebMD, <http://emedicine.medscape.com/article/1221828-overview>, accessed Nov. 2010.
- [14] E-MedicineHealth, http://www.emedicinehealth.com/anatomy_of_the_eye/article_em.htm, accessed Nov. 2010.
- [15] Gonzalez RC, Woods RE, Eddins SL. Digital Image Processing Using Matlab: Upper Saddle River, NJ; Pearson Prentice Hall; 2004.
- [16] Bishop CM. Neural Networks for Pattern Recognition: Oxford University Press; 1995.
- [17] Ripley BD. Pattern Recognition and Neural Networks: Cambridge University Press; ISBN 0-521-46086-7; 1996.
- [18] Cortes C, Vapnik V. Support-Vector Networks: Machine Learning; 1995; 20: 273-297.
- [19] Stone M. Cross-Validatory Choice and the Assessment of Statistical Predictions: Journal of the Royal Statistical Society, Series. B; 1974; 36: 111-133.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Automated Diagnosis of Glaucoma using Artificial Intelligent Techniques.

Abstract.

Glaucoma is a major cause of blindness globally. It damages the optic nerve cells that transmit visual information to the brain. Intra-Ocular Pressure (IOP) is the most significant danger reason to develop glaucoma. Even though a number of variables, including various optic disc parameters, have been used to discover early glaucoma damage, there is a real need for computer-aided detection (CAD) methods that can identify early glaucomatous development so that treatment to avoid further progression can be started especially in mass screenings, because ophthalmologists have limited time to assess mass number of fundus images.

This paper focused on the description of a system based on image processing and classification techniques for the estimation of quantitative parameters to classify fundus images into two classes: glaucoma patients and normal patients.

In the image processing module, a technique for the detection of glaucoma in retinal fundus images is proposed. We have focused on developing a new algorithm for segmenting

the optic nerve head in retinal images, in order to prepare for feature extraction, in the automatic diagnosis of glaucoma. We have extracted two measurements from the fundus image, the cup to disc ratio (CDR), and the (Inferior, Superior, Nasal, and Temporal – ISNT) ratio. In the preprocessing steps, noise reduction and contrast enhancement techniques have been used to improve the results for the next processing steps, blood vessels have been 'removed' from the retinal fundus image by using morphological filtering, and bottom hat filtering is used to enhance the dark bands of the processed image.

In the classification module, machine learning methods were used as alternatives to current methods of disease identification. Features extracted from the fundus images were used as classification features for neural networks.

The proposed method is tested on a local collected database. The results show that automated investigation of optic nerve head structural features can discover glaucomatous optic nerves in very good matching results with expert assessments of fundus images. Moreover, these quantitative methods can improve the consistency and agreement of these assessments. Our system can be used as a Decision Support System (DSS) for the detection of glaucomatous optic nerve development. The application of the this system should always be integrated with the existing ophthalmologic tests, and clinical assessments in addition to consider other risk factors such as age, race, gender, eye abnormalities and family history, according to a determined clinical procedure.

Classification tests for the proposed algorithm were done using the data set of 113 fundus images. Different types of classifiers have been used, the neural network classifier results show that the average sensitivity achieved was 99%, it classified successfully all the samples except one sample. The support vector machine classifier achieved an average sensitivity 100% with all samples have been successfully classified except one sample.

Keywords: Glaucoma, Optic Nerve, Retina, Artificial Intelligence, Neural Networks, Support Vector Machines.

المصطلحات

الزرق	Glaucoma
القرص البصري	Optic Disc
الكأس البصرية	Optic Cup
صورة قاع العين	Fundus Image
مرشح تنعيم الصورة (تقليل الضجيج)	Noise Reduction Filter
تعزيز التباين	Contrast Enhancement
شبكة العين	Retina
الشبكة العصبية الصناعية	Neural Networks
آلات متجه الدعم	Support Vector Machines
الدالة النوواة	Kernel Function
تقسيم العينات إلى "ك" أقسام	K-fold cross validation
دالة القاعدة الشعاعية	Radial Biases Function
البقعة العمياء	Blind Spot
عتبة	Threshold
التصديق المنقاطع	Cross Validation
تقسيم	Segmentation
باند	Channel

المعاملات المورفولوجية	Morphological Operators.
عملية الغلق	Close Operation
عملية الفتح	Open Operation
عصبون	Perceptron
التعلم	Learning
تصنيف	Classification

نظم المراقبة بوحدات العناية المركزة: مقارنة بين المكانن ذات الدّعم الإتجاهي والخلايا المتعدّدة الطبقات

فهيم بن رجب¹، كوثر نويرة²، أحمد الفرشيشي³.
جامعة تونس، المعهد العالي للتصرّف بتونس، مخبر المعاملات التجارية والإحصائيات والنمذجة
الاقتصادية، 45 شارع الحرية، 2000 باردو، الجمهورية التونسية

fahmi.benrejab@gmail.com¹, kaouther.nouira@planet.tn², ahmed.ferchichi@planet.tn³

الخلاصة. يعتبر نظام المراقبة، في مجال الطب، أداة هامة وواجبة التوفر في وحدات العناية المركزة التي تعمل على تقييم حالة المريض. في النظم الحالية، تتم عملية التقييم عبر تعيين، من قبل الأطباء، حدّ أقصى لكل المتغيّرات لا يجب تجاوزه. لكن، غالبا ما تؤدي هذه الحدود إلى إنذارات كاذبة أو غير هامة نظرا لعدم الأخذ بعين الاعتبار بالعلاقة بين كل المتغيّرات المقاسة. إنّ هدفنا يتمثل في وضع نظام مراقبة في وحدات العناية المركزة على أساس التمرّن الآلي وذلك من خلال رؤيتنا لهذه المشكلة كمشكلة تصنيف. يركّز نظام المراقبة المراد وضعه بصفة خاصة على المكانن ذات الدعم الإتجاهي والخلايا المتعدّدة الطبقات اللتان تعتبران من أقوى التقنيات في التصنيف واللّتان يجري الآن استخدامهما في مختلف المجالات بما في ذلك مجال الطبّ. بالإضافة إلى ذلك، سوف نقوم بإظهار القدرات العالية لتقنيتي التصنيف خاصة المكانن ذات الدّعم الإتجاهي عند التمييز بين الحالات المختلفة للمريض.

الكلمات الجوهرية: المكانن ذات الدّعم الإتجاهي، الخلايا المتعدّدة الطبقات، التصنيف، التمرّن الآلي، نظام المراقبة بوحدات العناية المركزة.

1 مقدمة

تعتبر نظم المراقبة من الأدوات الهامة في وحدات العناية المركزة ويتمثل دورها في مراقبة عدد كبير من المتغيّرات المتعلّقة بالمريض مثل المتغيّرات الفسيولوجية والبيانات المخبريّة [1]. سنهتم في هذه المقالة بمعالجة هذه المشكلة باستعمال تقنيتي تصنيف تمثّلتين في المكانن ذات الدّعم الإتجاهي والخلايا المتعدّدة الطبقات وذلك من أجل اختيار التقنية الأمثل.

تتّهيكل المقالة كالآتي: سنتعرّض في الجزء الأول إلى نظم المراقبة الصحيّة الحرجة؛ أما في الجزء الثاني والثالث سنقدّم وصف موجز لكلا التقنيتين؛ نتطرّق في الجزء الموالي إلى وصف البيانات المستعملة وفي الجزء الأخير نناقش مراحل إنجاز النظام الجديد ومقارنة نتائجه بنظام المراقبة الحالي.

2 نظم المراقبة الصحية الحرجة

وظيفة نظم المراقبة: تتمثل مهمة نظام مراقبة المريض في وحدة العناية المركزة في الربط بين حالته وصنفها (حالة عادية، حالة غير عادية)، يبين الشكل 1 هذه الوظيفة.

المريض 1	V4	V3	V2	V1	الزمن	حالة عادية	حالة غير عادية
t1	4	60	18	100		x ←	
t2	5	62	18	90		x ←	
t3	4	62	18	85			x ←
t4	4	60	18	90		x ←	
.	.	.	.	.			
.	.	.	.	.			
.	.	.	.	.			
tn	5	60	18	100		x ←	

المريض 2	V4	V3	V2	V1	الزمن	حالة عادية	حالة غير عادية
t1	4	60	18	100		x ←	
t2	5	62	18	90		x ←	
t3	4	62	18	90		x ←	
t4	2	55	14	90		x ←	
.	.	.	.	.			
.	.	.	.	.			
.	.	.	.	.			
tn	5	60	18	100		x ←	

الشكل 1. وظيفة نظام المراقبة

يشير الشكل 1 إلى أن المريض الأول مرّ بعدة حالات أبرزها الحالة التي شهدها في الفترة الثالثة والتي أعلن خلالها النظام عن إنذار. نلاحظ نفس الشيء بالنسبة للمريض الثاني الذي مرّ بحالة غير عادية في الفترة الرابعة والتي تسببت في إنذار من قبل النظام.

طريقة عمل نظم المراقبة الحالية: في الواقع، تقوم نظم المراقبة في وحدات العناية المركزة بتحديد قيمة دنيا وقيمة قصوى لكل متغيرة من المتغيرات الصحية للمريض تمكن من الإعلان على صنف حالته. إذا ما تمّ تجاوز هذه الحدود ولو كان ذلك من قبل متغيرة واحدة يقوم النظام بإصدار إنذار معلنا بذلك عن مرور المريض بحالة غير عادية ويعتبر هذا الإنذار خاطئا نظرا لأن النظام الحالي لا يأخذ بعين الاعتبار العلاقة بين جميع المتغيرات المقاسة. ومن هنا نفهم سبب إعلان النظام عن إنذار في الشكل 1 والذي يتمثل في أن المتغيرات تجاوزت الحدود.

لنفترض أنّ حدود المتغيرات v_1 ، v_2 ، v_3 و v_4 التي تمّ وضعها من قبل الطبيب هي على التوالي [88:102]، [15:20]، [60:65] و [3:6].

نلاحظ بأنّ لدى:

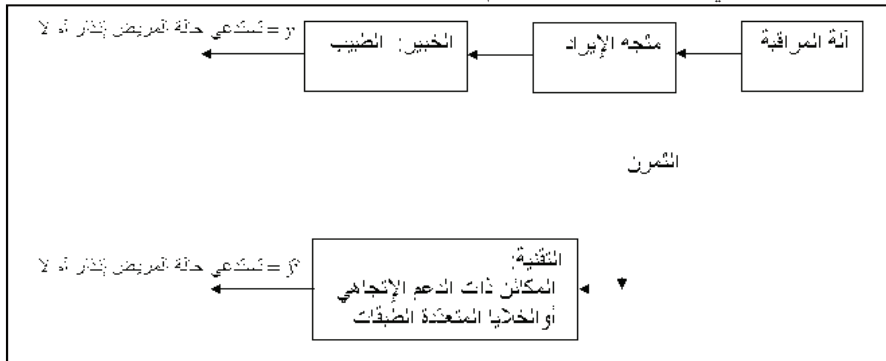
المريض الأول: لا تنتمي المتغيرة v_1 إلى [88:102] مما نتج عنه إنذار من طرف النظام الحالي.
المريض الثاني: كل من المتغيرات v_2 ، v_3 ، v_4 تجاوزت الحدود التي تمّ وضعها.

حسب الطبيب، الإنذار الأول الخاص بالمريض الأول خاطئ والإنذار الثاني المتعلق بالمريض الثاني صحيح. بالتالي، معظم نظم الإنذار المستخدمة حالياً في وحدات العناية المركزة تنتج نسبة كبيرة من الإنذارات الخاطئة لتبلغ حوالي 86% حسب تزيان [2] و 85% حسب سيباك في دراسة أولى [3] و 83% حسب نفس المؤلف في دراسة ثانية [4]. لسوء الحظ، إنّ هذا المعدل المرتفع من الإنذارات يؤكد وجود إنذارات كثيرة ومستمرة ولكن ليست ذات أهمية ويمكن لهذه النسبة أن ترتفع لتصل إلى 90% [5]. إنّ الإنذارات الخاطئة ناتجة عن تجاوز الحدود الموضوعة من قبل الأطباء، في غالب الأحيان، وكذلك عادة ما لا يتمّ تعديلها حسب حالة المريض ونوعية مرضه. وفقاً إلى دونشيل وسيكل [6] ينتج ارتفاع نسبة هذه الإنذارات إلى ظروف عمل صعبة في وحدات العناية المركزة كما أنّ هذا الخلل ينتج أخطاء طبية تتسبب في حالات وفاة عديدة سنوياً.

هناك أعمال كثيرة أنجزت لتحسين نظم المراقبة. نذكر على سبيل المثال، تحليل السلاسل الزمنية [7]، الشبكات العصبية، معالجة الإشارات الرقمية والذكاء الاصطناعي [8].

مقترحنا: نناقش في الأجزاء اللاحقة كيفية معالجة هذه المشكلة وذلك عبر اعتبارها كمشكلة تصنيف ونهدف من ذلك إلى التمييز بين الحالة العادية والغير العادية للمريض باستخدام تقنيتي المكنائ ذات الدّعم الإتجاهي والخلايا المتعددة الطبقات لنصل في آخر العمل إلى إبراز تفوّق النظام المعتمد على المكنائ ذات الدّعم الإتجاهي على النظام الحالي وعلى النظام المرتكز على الخلايا المتعددة الطبقات.

يبرز الشكل الموالي الوحدات الرئيسية للنظام الجديد المرتكز على تقنيات التصنيف.



الشكل 2. الوحدات الرئيسية للنظام الجديد المعتمد على تقنيات التصنيف

الوحدة الأولى: آلة المراقبة التي تنتج متجهات الإيراد الحاوية على المتغيرات المقاسة.

الوحدة الثانية: الخبير وهو الذي يقرّر لكل متجه إيراد صفه (إنذار أم لا). مما يمكننا من الحصول على قاعدة بيانات التمرّن.

الوحدة الثالثة: تقنيّة التصنيف وهي التي تسند لكلّ متجه جديد، بعد مرحلة التمرّن، الصنف المناسب (إنذار أم لا) حسب قاعدة القرار التي سنتحصّل عليها في مرحلة التمرّن.

3 المكانن ذات الدّعم الإتجاهي

في هذا الجزء سنقوم بوصف موجز للمكانن ذات الدّعم الإتجاهي والتي تعتبر من تقنيّات التصنيف. تعتبر المكانن ذات الدّعم الإتجاهي التي قدّمها فابنيك [9] سنة 1995 من أحدث تقنيّات التمرّن الآلي. وعلى الرغم من كونها تقنية جديدة، إلا أنّها تعتبر من بين أفضل تقنيّات التصنيف التي استخدمت بنجاح في العديد من المجالات مثل معالجة الصور الطبية، تصنيف البروتينات الخ [10].

عموما، تعتبر تقنيّات التمرّن غير قادرة على حل المشاكل عندما نستخدم قاعدة بيانات ضخمة [11] (أي عند استخدام متغيرات وملاحظات كثيرة) ومع ذلك، يمكن للمكانن ذات الدّعم الإتجاهي مواجهة هذه المشكلة وذلك بفضل نظريّة المتجهات المؤيّدة والتي هي أقرب السمات من المستوي الفوقي، إذ يتم، في المكانن ذات الدّعم الإتجاهي، تجاهل كل النقاط ما عدا المتجهات المؤيّدة. لذلك فإن شدّة تعقيد نموذج المكانن ذات الدّعم الإتجاهي لا يتأثر بكثرة المتغيرات الموجودة في بيانات التدريب (عدد المتجهات المؤيّدة الذي يتم اختيارها من قبل خوارزمية التمرّن عادة ما يكون صغيرا) لهذا السبب المكانن ذات الدّعم الإتجاهي هي مناسبة تماما للتعامل مع عدد هام من البيانات حيث تتمكن هذه التقنيّة من تصنيف جميع أنواع البيانات (البيانات المفصولة خطيا والبيانات الغير قابلة للانفصال خطيا).

3.1 البيانات المفصولة خطيا

إذا كانت بيانات التدريب منفصلة خطيا [11] ويوجد الزوج:
(w, b)

حيث يمثل w الوزن الموجه و b الانحياز.
ولدينا:

$$w^T x_i + b \geq 1, \text{ for all } x_i \in P,$$

$$w^T x_i + b \leq -1, \text{ for all } x_i \in N,$$

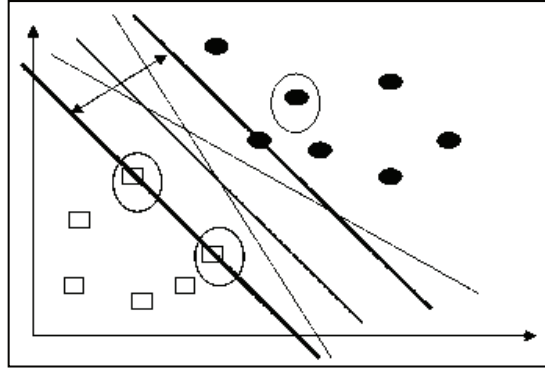
مع العلم بأن P يمثل الصنف الأوّل من البيانات الإيجابية و N الصنف الثاني من البيانات السلبية.

فنتحصّل على قاعدة القرار على الشكل التالي:

$$f_{w,b}(x) = \text{sgn}(w^T x_i + b),$$

تعتبر إمكانية التعميم نقطة من نقاط قوة المكان ذات الدّعم الإتجاهي والتي تركز على تعظيم الهامش بين صنفَي البيانات [11] وبالتالي تكون قاعدة القرار كالآتي. يمكن تعيين الحد الأدنى كمشكلة برمجة تربيعية محدّبة.

$$\begin{cases} \min \frac{1}{2} \|w\|^2, w \in R^d, b \in R, \\ \text{ر هنا} \\ y_i(w \cdot x_i + b) \geq 1 \text{ for } i = 1, \dots, m \end{cases}$$



الشكل 3. المستوى الفوقي الأمثل

نلاحظ في الشكل 3 كيف تمكّنّا من الحصول على فاصل خطّي بين صنفَي البيانات، وهو الفاصل الأمثل حيث اعتمد على فكرة التعظيم الهامش بين أقرب الإبرادات الذين نرّمز إليهم لاحقاً بالمتجهات المؤيّدّة.

هذا الفاصل يمكننا من تصنيف أي متجه إبراد جديد يحمل المتغيّرات المقاسة للمريض.

لنفترض x_j متجه إبراد جديد، نطبّق قاعدة القرار المتحصّل عليها:

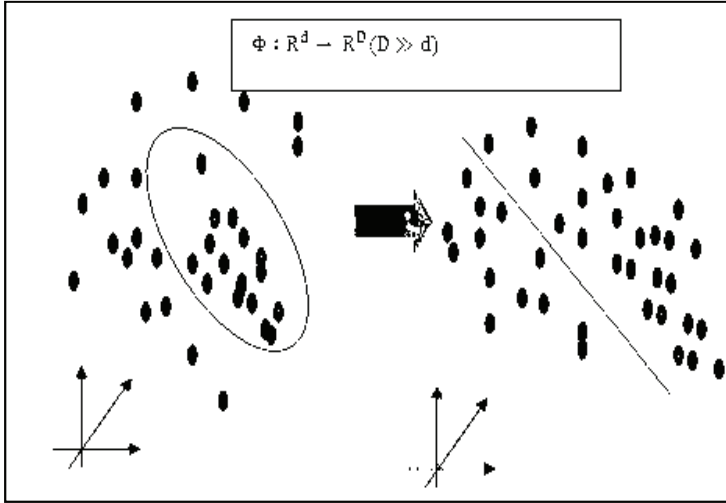
$$f(x_j) = w x_j + b$$

إذا كانت قيمة $f(x_j)$ سلبية فالمتجه الجديد ينتمي إلى الصنف الثاني أي إصدار إنذار وإذا كانت قيمة $f(x_j)$ موجبة فالمتجه ينتمي إلى الصنف الأوّل أي ليس هنالك إنذار.

3.2 البيانات الغير قابلة للانفصال خطيًا

في الأوضاع الحقيقيّة، لا يمكن فصل البيانات خطياً، لهذا السبب لا يوجد فصل بين الحالات الإيجابية والسلبية في مجموعة التدريب. إنّ الحل المقدم [11] لهذه المشكلة هو إسقاط البيانات في فضاء متعدد الأبعاد حيث نتمكن من إيجاد مستوى فوقي فاصل. هذه الأبعاد العالية للفضاء تسمى السمات المتحوّلة للفضاء. كنتيجة لذلك، يمكننا الحصول على خط فاصل للسمات المتحوّلة في الفضاء الجديد التي يمكن أن يحتوي على أبعاد لانهائية.

يمكن الحصول على هذا الإسقاط بفضل دالة Φ كما هو مبين في الشكل 4.



الشكل 4. إسقاط البيانات في نموذج فضاء متعدد الأبعاد

ليس من الضروري معرفة الدالة Φ بما أننا سوف نقوم باستعمال دالة كرنل (النواة) التي تمكننا من احتساب التأليف الديكارتي بين المتجهات x_i و x_j على النحو التالي:

$$K(x_i, x_j) = \Phi(x_i) \Phi(x_j)$$

في ما يلي أمثلة لدالة كرنل:

$$K(x, y) = \exp\left(-\frac{\|x - y\|^2}{2\sigma^2}\right) \quad \text{راديايلاز بازيو}$$

$$K(x, y) = x \cdot y \quad \text{لينيار}$$

$$K(x, y) = [(x \cdot y) + 1]^d \quad \text{بوليمينيال}$$

باستعمال دالة كرنل تصبح قاعدة القرار كالآتي:

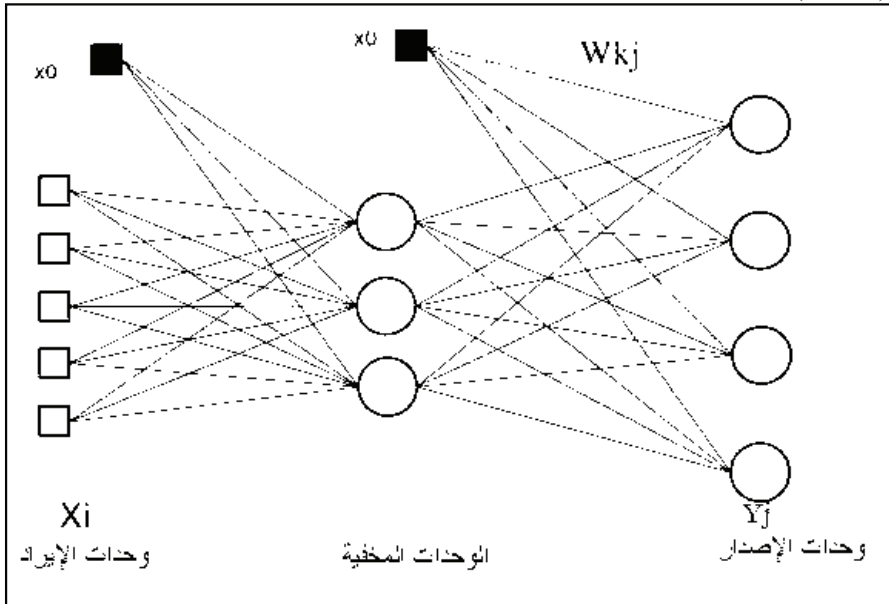
$$f(x) = \sum_{i=1}^{n_s} \alpha_i y_i k(x_i, x) + b$$

حيث α_i المتجهات الأقرب إلى الفاصل الأمثل ونرمز إليهم بالمتجهات المؤيدة، n_s عدد المتجهات المؤيدة، y_i صنف المتجه x_i و b الانحياز.

إنّ الخلايا قادرة فقط على تصنيف المجموعات المفصولة خطياً. إذا كان من الممكن فصل حالات الإيراد إلى فئاتها على الوجه الصحيح عبر رسم خط مستقيم (حالات الإيراد قابلة للفصل خطياً) إذن الخلايا سوف تجد الحل لتصنيف هذه الحالات. أما إذا كانت الحالات ليست مفصولة خطياً فهذا يعني أنه لا يمكن للتمرّن أن يصل أبداً إلى نقطة حيث يتم تصنيف جميع الحالات بشكل صحيح.

لذلك أنشئت الخلايا المتعددة الطبقات (التي تمثل امتداداً للشبكات العصبية الاصطناعية) لمحاولة حل هذه المشكلة [12]. قدم زهانغ [13] لمحة عامة عن العمل القائم في الشبكات العصبية الاصطناعية. وفي ما يلي تقديم موجز لها.

تتكوّن الخلايا المتعددة الطبقات من عدد كبير من الوحدات (الخلايا العصبية) المتصلة فيما بينها (الشكل 5).



الشكل 5. الخلايا المتعددة الطبقات

عادة ما تكون الوحدات في الشبكة منفصلة إلى ثلاث فئات كالآتي: وحدات الإيراد التي تتلقى المعلومات التي سيتم تجهيزها، وحدات الإصدار أين نجد نتائج المعالجة، ووحدات بينهما تعرف باسم الوحدات المخفية.

تسمح التغذية المتقدمة للشبكات العصبية الاصطناعية (الشكل 5) بتمرير الإشارات بطريقة واحدة من وحدات الإيراد إلى وحدات الإصدار.

مراحل استخدام الخلايا المتعددة الطبقات لتصنيف حالات المرضى

(1) يتم تدريب الشبكة على مجموعة من البيانات.

(2) يتم تحديد أوزان الاتصالات w_{kj} بين الخلايا العصبية.

(3) أخيراً تستخدم الشبكة لتصنيف مجموعة جديدة.

يمثل التحديد الصحيح لحجم الطبقة المخفية مشكلة، لأن التقدير الخاطئ لعدد الخلايا العصبية يمكن أن يؤدي عند التقليل إلى ضعف إمكانية التعميم وعند الإفراط فيه إلى التمرن المفرط [14].

5 وصف البيانات

من الضروري اختبار نظامنا باستعمال بيانات واقعية ومختلفة. لذلك التجأنا إلى فيزيوبنك [15] الذي يحتوي على قاعدة بيانات من بينها بيانات لمرضى في قسم أمراض القلب في المستشفى التعليمي في كلية الطب في هارفارد والذين يتميزون بحالات غير مستقرة وذلك في عام 1996. وتشمل قاعدة البيانات 100 سجل لمرضى مختلفين، عادة ما تحتوي على حوالي 11 ساعة من بيانات متصلة سجلت كل ثانية (42188 سجلات لكل متغيرة فسيولوجية) ويرافقها شرح مفصل من تسجيل أو التسميات التي تشير إلى مواقع محدّدة، ووصف الأحداث في تلك المواقع وكذلك نجد معها تقييم لصحة الإنذارات من قبل خبير.

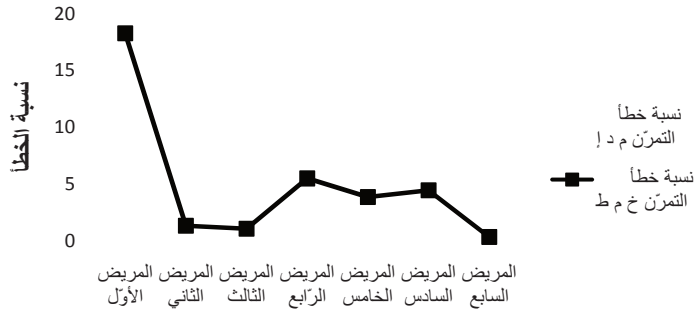
لضمان التمرن والاختبار للمكانن ذات الدّعم الإتجاهي والخلايا المتعدّدة الطبقات، الذي هو موضح في المقطع التالي، استعملنا قاعدة بيانات تقيّم سبعة حالات مختلفة من المرضى. لكل مريض مجموعة من هذه المتغيرات: معدّل ضربات القلب (م ض ق)، معدّل التنفس (م ت)، التشبع النبضي من الأكسجين (ت ن أ).

6 التجارب : تدريب واختبار المكانن ذات الدّعم الإتجاهي والخلايا المتعدّدة الطبقات

في هذا الجزء، نحرص على تحديد الحالات المختلفة للمرضى بصفة دقيقة. تحقيق هذا الهدف مضمون من خلال اختيار التقنيّة الأكثر نجاعة من بين المكانن ذات الدّعم الإتجاهي والخلايا المتعدّدة الطبقات. لتحقيق هدفنا استخدمنا واحدة من البرمجيات الحرة التي تتمثل في برمجية تناجرا والتي تتوفر على شبكة الانترنت. أمّا الآن سنصف الخطوات الثلاث التي تسمح لنا بتصنيف حالة المريض حسب البيانات الموصوفة في المقطع السابق.

الخطوة الأولى: تقسيم عشوائي لقاعدة البيانات إلى مجموعتين: مجموعة للتمرّن ومجموعة للاختبار. هذا التقسيم تمّ تحقيقه بفضل القائمة "اختبار مثيل" في برمجية تناجرا.

الخطوة الثانية: تمرين التقنيتين المكانن ذات الدّعم الإتجاهي (م د أ) والخلايا المتعدّدة الطبقات (م ط) فنتحصل على نسبة خطأ ضئيلة حسب ما يبينه الرسم التالي في الشكل 6.

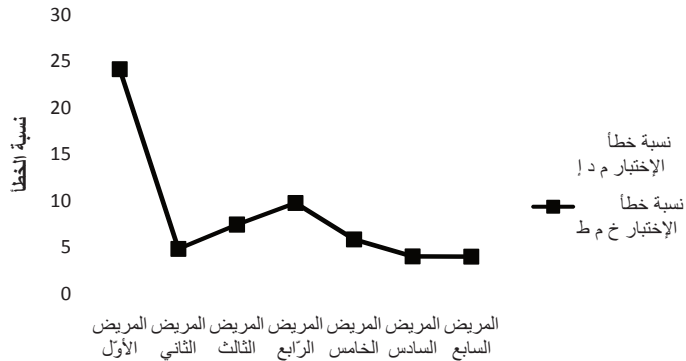


الشكل 6. نسبة خطأ التمرّن بين المكانن ذات الدّعم الإتجاهي والخلايا المتعدّدة الطبقات

نلاحظ من خلال هذا الرسم نجاح التقنيتين في تصنيف بيانات التمرّن وخاصة تميّز تقنية المكانن ذات الدّعم الإتجاهي حيث لا تتجاوز نسبة الخطأ لديها في مرحلة التمرّن 13.4% [16].

الخطوة الثالثة: اختبار التقنيتين على مجموعة سجلات الاختبار. يبرز الشكل 7 النتائج:

نلاحظ بوضوح تميّز تقنية المكانن ذات الدّعم الإتجاهي في تصنيف السجلات وذلك يرجع إلى قوّة هذه التقنية في التعميم في مرحلة الاختبار حيث لا تتجاوز نسبة الخطأ 7.22%.



الشكل 7. نسبة خطأ الإختبار بين المكانن ذات الدّعم الإتجاهي والخلايا المتعدّدة الطبقات

نستنتج أيضاً أنّ المكانن ذات الدّعم الإتجاهي أكثر كفاءة من الخلايا المتعدّدة الطبقات بعد مرحلة الإختبار حيث أنّ نسبة الخطأ الناتجة من مرحلة التمرّن أو الإختبار لتقنية المكانن ذات الدّعم الإتجاهي أقلّ من نسبة الخطأ الناتجة من تقنية الخلايا المتعدّدة الطبقات بالنسبة للمرضى وهو ما يعني نسبة تصنيف صحيحة مرتفعة لتقنية فابنيك.

بعد التأكد من نجاح تقنية المكانن ذات الدّعم الإتجاهي على تقنية الخلايا المتعدّدة الطبقات، قمنا بمقارنة النظام الحالي (ن ح) بالنظام المعتمد على المكانن ذات الدّعم الإتجاهي (م د إ). الجدول 1 والشكل 8 يبيّنان النتائج:

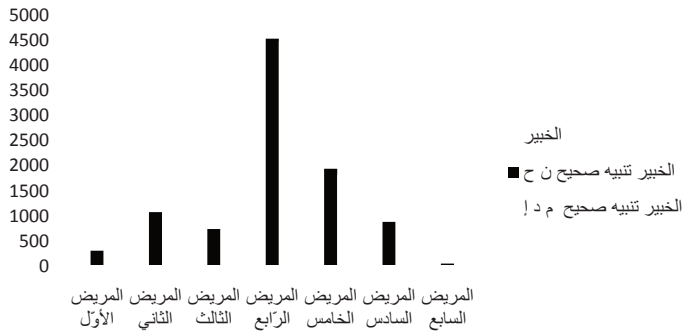
الخبير	النظام الحالي			نظام معتمد على المكان ذات الدعم الإتجاهي				
	تنبيه	تنبيه صحيح	تنبيه خطأ	تنبيه مفوت	تنبيه	تنبيه صحيح	تنبيه خطأ	تنبيه مفوت
المريض الأول	309	6088	309	5779	0	308	308	0
المريض الثاني	1076	100380	1076	99304	0	1072	1066	6
المريض الثالث	740	151000	740	150260	0	735	734	1
المريض الرابع	4636	38527	4533	33891	103	4799	4476	323
المريض الخامس	1995	36541	1942	34546	53	2017	1823	194
المريض السادس	1826	18367	883	16541	943	1813	1783	30
المريض السابع	54	3932	54	3878	0	56	51	5

الجدول 1. مقارنة نتائج المكان ذات الدعم الإتجاهي (م د إ) ونتائج النظام الحالي بقرارات الخبير

نلاحظ من خلال الجدول أنّ النظام الجديد له قدرة فائقة على تصنيف السجلات بطريقة صحيحة حيث يصل بنسبة كبيرة إلى قرارات الخبير. ومن الملاحظ أيضاً أنّ النظام الجديد تمكن من تقليل عدد التنبيهات الخاطئة بنسبة هائلة.

المعيار الهام الأول الذي نستطيع من خلاله تقييم التقنيات المستخدمة هو معدل الإنذارات الخاطئة. يبين الجدول 1 كفاءة المكان ذات الدعم الإتجاهي حيث أنه يقلل من معدل الإنذارات الخاطئة وأحياناً يقوم بإلغائها كلياً مقارنة بالنظام الحالي.

بالتالي نستنتج بأن التقنية المختارة فعالة وقادرة على تقليل معدل الإنذارات الخاطئة. أمّا المعيار الثاني الذي يمكن اعتماده لتقييم التقنية هو الإنذارات المعلنة من قبل الخبير وقد وقع تصنيفها كإنذارات صحيحة من قبل النظام المعتمد على المكان ذات الدعم الإتجاهي وفيما يلي نتائج المقارنة بين النظام الجديد بقرارات الخبير.



الشكل 8. عدد التنبيهات الصحيحة بين (ن ح) والنظام المعتمد على (م د إ)

نستنتج أنّ المكان ذات الدعم الإتجاهي قريبة بما فيه الكفاية من رأي الخبير وأكثر دقة من النظام الحالي وهو جلي بالنسبة للمريض السادس. وهو ما يسمح لنا بأن نستنتج أنه يمكن لنظامنا الجديد محاكاة عمل الخبير.

من خلال هذا العمل تمكنا من تحسين نظام المراقبة الحالي في وحدات العناية المركزة حيث اعتبرنا أن مشكلة هذا النظام هي مشكلة تصنيف وقمنا باستعمال تقنيتين من تقنيات التمرن الآلي المتمثلة في: المكانن ذات الدعم الاتجاهي والخلايا المتعددة الطبقات.

بعد التجارب تمكنا من الجزم بأن النظام المعتمد على المكانن ذات الدعم الاتجاهي تفوق على النظام الحالي وعلى النظام المرتكز على الخلايا المتعددة الطبقات حيث أن النظام الجديد له إمكانية فائقة في التصنيف الصحيح وتقادي الإنذارات الخاطئة. كما أظهر النظام القائم على المكانن ذات الدعم الاتجاهي كفاءة عالية من حيث تخفيض معدل الإنذارات الخاطئة ومن حيث الحساسية. وبالتالي يعتبر النظام المقترح قريب جدا من القرارات التي يتخذها الخبراء وهو ما يفسر تحصيلنا على نتائج مرضية. لكننا نستطيع تطوير هذا البحث من خلال التقليل في عدد الإنذارات المفقودة وذلك عبر إدراج فكرة التمرن الحيني.

المراجع

- [1] M. Bauer, U. Gather, and M. Imhoff, "Analysis of high dimensional data from intensive care medicine". In Payne, R., editor, Proceedings in computational statistics, Springer Verlag, Berlin, pp. 185-190, (1998).
- [2] C. L. Tsien, "Reducing false alarms in Intensive Care Units: A systematic comparison of four algorithms", Annual Fall Symposium, (1997).
- [3] S. Siebig, S. Kuhls, M. Imhoff, U. Gather, J. Scholmerich, and CE Wrede, "Intensive care unit alarms-How many – do we need?", Critical Care Medicine, 38 (2), pp. 451456, (2010).
- [4] S. Siebig, S. Kuhls, M. Imhoff, J. Langgartner, M. Reng, J. Scholmerich, U. Gather, and CE. Wrede, "Collection of annotated data in a clinical validation study for alarm algorithms in intensive care-a methodologic framework", Journal of Critical Care, 25(1), pp.128-35, (2010).
- [5] L. Biot, P. Y. Carry, J. Perdrix, A. Eberhard, P. Baconnier, "Clinical evaluation of alarm efficiency in intensive care", Annales Françaises d'anesthésie et de Réanimation 19(6), 459-66, (2000).
- [6] Y. Donchin, F. J. Seagull, "The hostile environment of the intensive care unit, Current opinion in critical care", 8(4), pp.316-20, (2002).
- [7] K. Noura, A. Ferchichi, and A. Trabelsi, "Architecture of Temporal Online Monitoring Multi-Agent System in Intensive Care Units", In the 7th Tunisia-Japan Symposium on Society, Science & Technology, Sousse, Tunisia, (2006).
- [8] R. Fried, U. Gather, M. Imhoff, "Pattern recognition in intensive care online monitoring", In M. Schmitt et al. (Hrsg.): Computational Intelligence Techniques in Medical Diagnosis and Prognosis, Springer Verlag, pp.129-165, (2002).
- [9] V. Vapnik, "The Nature of Statistical Learning Theory", Springer. Second edition, (1995).
- [10] S. B. Kotsiantis, "Supervised Machine Learning: A Review of Classification Techniques", Informatica 31 249-268, (2007).
- [11] Nello Cristianini and John Shawe-Taylor. "An Introduction to Support Vector Machines and Other Kernel-based Learning Methods", (2000).
- [12] D. E. Rumelhart, G. E. Hinton, R. J. Williams, "Learning internal representations by error propagation". In: Rumelhart D E, McClelland J L et al. (eds.) Parallel

- Distributed Processing: Explorations in the Microstructure of Cognition. MIT Press, Cambridge, MA, Vol. 1, pp. 318-362, (1986).
- [13] G. Zhang, "Neural networks for classification: a survey", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C 30(4): 451-462, (2000).
- [14] L. S. Camargo, and T. Yoneyama, "Specification of Training Sets and the Number of Hidden Neurons for Multilayer Perceptrons", Neural Computation 13: 2673-2680, (2001).
- [15] AL. Goldberger, Amaral Lan, L. Glass, JM. Hausdorff, PCh. Ivanov, RG. Mark, JE. Mietus, GB. Moody, CK. Peng, HE. Stanley, "PhysioBank, PhysioToolkit, and PhysioNet: Components of a New Research Resource for Complex Physiologic Signals". Circulation 101(23), pp.e215-e220, (2000).
- [16] Fahmi Ben Rejab and Kaouther Nouira, "Reducing False Alarms in Intensive Care Units Monitoring System Using Support Vector Machines", CCCM 2010, MA, Vol. 1, pp. 106-109, (2010).

المخلص باللغة الانجليزية

Title: Using support vector machines (SVM) and multi-layer perceptrons (MLP) for monitoring system in intensive care units.

Abstract. In the medical area the monitoring system presents a considerable tool in intensive care unit (ICU) which consists of the evaluation of the patient's state. In the current systems, the task of evaluation is done through thresholds which are fixed by physicians. Unfortunately, these thresholds cause false or insignificant alarms. Our aim in this paper is to develop a model of monitoring system for intensive care units based on machine learning by considering this problem as a classification problem. The new monitoring system is based on both Support Vector Machines (SVM) and Multi-Layer Perceptrons (MLP) which are considered among the most powerful classification techniques and they are being used in a large array of different areas including medicine. Moreover, we will emphasize on the high performance of this two classification techniques especially (SVM) when it identifies the different patient states.

Keywords: Support vector machines, multi-layer perceptrons, classification, machine learning, monitoring system in intensive care units.

المصطلحات

التغذية المتقدمة	Feed-forward
التعميم	generalisation
دالة كرنل	Kernel function
لينيار	Linear
التمرن الآلي	Machine learning
تعظيم الهامش	Maximum-margin

فضاء متعدد الأبعاد	Multidimensional space
الخلايا المتعددة الطبقات	Multi-layer Perceptron
التمرن الحيني	Online learning
المستوي الفوقي الأمثل	Optimal Hyperplane
التمرّن المفرط	Over fitting
الخلايا	Perceptrons
بوليمينيال	Polynomial of degree
راديال بايز	Radial Basis Function
الاختبار المثل	Stratified simpling
المتجهات المؤيدة	Support Vectors
المكانن ذات الدّعم الإتجاهي	Support Vectors Machines
تناجرا	Tanagra



الجلسة الخامسة

نحو تمثيل التظنن في لغة وجودية

أميرة السعيد ¹ بثينة بن يغلان ²	
LARODEC ¹	المعهد الأعلى للتصرف بتونس 41، نهج الحرية - 2000 -
LARODEC ²	عهد الدراسات العليا التجارية بقرطاج 2016

البريد الإلكتروني: boutheina.yaghlane@ihec.rnu.tn essaid_amira@yahoo.fr
khaled.mellouli@ihec.rnu.tn

. في ظل الواب الدلالي تستخدم الأنطولوجية في تمثيل مجال معين ذلك قصد تسهيل تبادل المعارف. يقوم هذا التمثيل على وصف . ولهذا الغرض، اقترحت جملة من اللغات ومن بينها لغة وجودية الواب التي تقتصر إلى قدرتها على تمثيل التظنن حول مفاهيم الأنطولوجية العلاقات الرابطة بين هذه المفاهيم. نقترح في نطاق هذا المقال الجوانب النظرية لأداتنا BeliefOWL لتمثيل التظنن . تقوم هذه الأداة على نظرية الأدلة و تركز على جملة من القواعد الهيكلية لتحويل الأنطولوجية إلى شبكة أدلة موجهة. و بمجرد أن يتم إنشاء هذه الشبكة تسند كتل إلى جملة

الكلمات الجوهرية: - لغة وجودية الواب - نظرية الأدلة -
الموجهة.

1

يعتبر الواب الدلالي أو ما يعرف عنه بالواب ذات الدلالات اللفظية ثورة جديدة في عالم الو [1]. هو يتمثل في جملة من و التقنيات المتبعة لجعل برامج الحاسوب قادرة على فهم مضمون الوثائق الالكترونية وهو مما يؤدي التوافق بين مختلف . يتركز الواب الدلالي على عنصر أساسي ألا وهو الأنطولوجية التي تستخدم للتعبير تمثيل شكلي للمعرفة عبر تحديد جملة من المفاهيم المتعلقة بمجال معين و علاقاتها مع المفاهيم

واب الدلالي و من خلال الأنطولوجية يهتم بوصف مختلف المجالات الحقيقية فانه يبقى غير قادر على تمثيل كل المعارف و المعلومات لنقص فيها أو لجهل بمدى صحتها. و في هذا

الإطار أصبح تمثيل التظنن في الواب الدلالي و بالخصوص في مجال الانطولوجية من الضروريات. يقوم هذا المجال على ثلاثة محاور أساسية ألا وهي : تمثيل الانطولوجية ، بين الانطولوجيات والمنطق في الانطولوجية. يتمثل المحور الأول في تمثيل انطولوجية مجال معين و ذلك من خلال وصف مفاهيمها و مختلف العلاقات بينها باستعمال لغة محددة. بين الانطولوجيات على إيجاد المفاهيم المشتركة بينها في حين يعرف المنطق على أنه آلية لكشف جملة من الحقائق كانت ضمنية في الانطولوجية. سنهتم في هذا المقال بتقديم تصورات خاصة بالمحورين تمثيل الانطولوجية والمنطق فيها.

كثيرة هي اللغات التي اقترحت لوصف الأنطولوجية من بينها لغة وجودية الواب¹ التي تضيف إضافية مقارنة باللغات التي سبقتها. أن هذه اللغة تقتصر قدرتها على تمثيل المجالات الحقيقية التي تحتوي على معرفة ناقصة أو غير مؤكدة. هذه اللغة بحيث تصبح لغة شاملة قادرة على وصف رف والمعلومات اليقينية والغير يقينية.

و في هذا الصدد، انكب الباحثون في تقديم تصورات لتمثيل التظنن في الانطولوجية ، و من بين النظريات الرياضية التي تم تطبيقها نذكر نظرية الاحتمالات ([2] [3]) و نظرية ([4] [5]). تقوم نظرية الاحتمالات تمثيل المعلومات الغير يقينية في حين تهتم نظرية تمثيل المعلومات الغير الدقيقة أن هاتين النظريتين عاجزان على تمثيل كل أنواع المعلومات أو حتى تمثيل كل المشاكل الغير يقينية. أننا نجد أنفسنا أحيانا أمام جهل كلي أو جزئي بمعلومة تخص مفهوما من مفاهيم الانطولوجية. وهذا الجهل سواء كان كلياً أو جزئياً يعتبر صورة من صور التظنن لا يمكن تمثيله طبقنا نظرية الأدلة [6] .

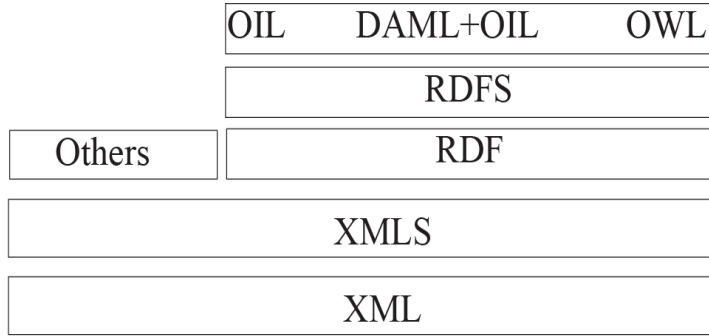
نقترح في هذه المقالة تصورا نظرية الأدلة لتمثيل الأنطولوجية والمنطق فيها. يقوم هذا انب النظرية لأداتنا BeliefOWL في إطار تمثيل التظنن في الأنطولوجية. سنتطرق في البداية إلى إثراء لغة وجودية الواب حصل على أنطولوجية غير يقينية. إضافة إلى ذلك سنهتم بتحويل هذه الأنطولوجية إلى شبكة أدلة موجهة. تعتبر هذه الشبكة عرضا بيانيا فعالا و مناسبا لتمثيل المعارف الغير مؤكدة و تستعمل قصد نشر الأدلة و التحصل على معلومات جديدة.

تتمحور هذه المقالة حول ثلاثة أجزاء. نهتم في الجزء الأول بتقديم لمحة حول لغة وجودية الواب و نبين في الجزء الثاني أهمية تمثيل التظنن في هذه اللغة و ذلك بتقديم المفاهيم الأساسية المتعلقة بنظرية الأدلة. و أخيرا نعرض في الجزء الثالث المنهج الذي نقترحه قصد إثراء لغة وجودية الواب و مختلف المراحل لتحويل هذه اللغة إلى شبكة أدلة موجهة.

2 لغة وجودية الواب

العالمية لغة وجودية الواب كلغة قادرة على فهم مضمون المعلومة و هي لغة مبنية على لغات أخرى و تتغلب على نقائص سابقتها كما يبينه الرسم الأول .

¹<http://www.w3.org/2001/sw/webOnt>



. :

- توفر تأشيرة (XML) نظما لبنية المحتوى داخل الوثائق لكن دون أن تقدم أية دلالات حول معنى المحتوى الذي تتضمنه.
- يستعمل مخطط XML تحديد هيكلية العناصر الموجودة في الوثائق الالكترونية و يضيف هذا المخطط أنواع البيانات التي تحتويها هذه الوثائق.
- يقوم إطار توصيف الموارد (RDF) على جملة من المعايير للتعبير عن نماذج البيانات والتي تعود لكائنات و العلاقات بين هذه الكائنات و ذلك بتقديم دلالات بسيطة لنموذج البيانات.
- يحتوي مخطط RDF على جملة من المفردات لوصف الموارد و خصائصها. فبذلك يأتي هذا المخطط في توسيع لإطار توصيف الموارد.
- لغة وجودية الواب لتضيف مفردات لوصف الصفوف و الخصائص. فهذه اللغة قادرة على تحديد العلاقات بين الصفوف (...) والمميزات التي يمكن أن تأخذها الخصائص. لغة وجودية الواب لغة ثرية فهي لا تقتصر على تمثيل المعارف فقط بل تقوم أيضا على استعمال آليات الاستدلال باعتبار أن هذه اللغة مستوحاة

لغة وجودية الواب
يف الصفوف و الأفراد و الخصائص.
سنكتفي في هذه المقالة بتقديم البطاقات المتعلقة بوصف الصفوف و العلاقات بينها.

لغة وجودية الواب `<owl: class>` في حين تستعمل `<rdfs: subClassOf>` لتبيين أن صفا معينا هو جزء فرعي من صف آخر.
وجودية الواب جملة من البطاقات لتحديد العلاقات الموجودة بين الصفوف. فيمكن لصفين أن يكونا

منفصلين من خلال `<owl:disjointWith>` أو أن يكونا متساويين عبر بطاقة `<owl:equivalentClass>` أضف إلى ذلك أنه يمكن الجمع بين مختلف الصفوف من خلال عمليات منطقية كالإتحاد `<owl:unionOf>` `<owl:intersectionOf>`.

في ما يلي مثال للبعض من هذه البطاقات، يبين هذا المثال ثلاثة صفوف : مرفوض و مقال تم تقييمه. بحيث يكون المقال المقبول في علاقة انفصال مع المقال المرفوض يعتبر المقال المقبول جزءا فرعيا من مقال تم تقييمه.

```
<owl:Class rdf:ID="Accepted_Paper">
  <owl:disjointWith>
    <owl:Class rdf:ID="Rejected_Paper" />
  </owl:disjointWith>
  <rdfs:subClassOf>
    <owl:Class rdf:ID="Evaluated_Paper" />
  </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
```

وجودية

3

تعتبر لغة وجودية الواب لغة تعبيرية لتمثيل الصفوف والعلاقات بينها إلا أن مصدر المعلومات قد يفتقر إلى قدرته على إمدادنا بمعلومات ضافية و شاملة تخص مفهوما معينا. أضف إلى ذلك أنه قد نجد أنفسنا أحيانا غير قادرين البتة على تحديد العلاقة التي قد تربط مفهومين من مفاهيم الأنطولوجية لنقص في المعارف أو لأن بعض المعطيات قد تكون مفقودة.

نظرا لافتقار لغة وجودية الواب في تمثيل التظنن فان إثراء هذه اللغة و توسيعها بجملة من البطاقات بحيث تصبح قادرة على تمثيل شتى المعارف أصبح ضروريا.

ولهذا الغرض، نقترح تطبيق نظرية الأدلة أو ما يعرف عنها بنظرية الاعتقاد أو نظرية المعقولية [6]. إن هذه النظرية تتمتع بجملة من الميزات مقارنة بنظرية الاحتمالات. فان كانت نظرية الاحتمالات تعين قيمة احتمال حدث واحد فان نظرية الأدلة تحدد هذه القيمة بالنسبة لجملة من . فان نظرية الأدلة قادرة على تمثيل شتى درجات الجهل (جهل كلي أو). كما أنها توفر وسيلة للجمع بين العديد من الأدلة الآتية من مصادر مختلفة لإنشاء معتقد جديد.

تقوم نظرية الأدلة على جملة من العناصر الأساسية لتمثيل التظنن و نذكر أهمها :

- (Θ) : هو مجموعة متناهية من الفرضيات الشاملة و الحصرية بحيث تكون إحدى هذه الفرضيات حلا لمشكل معين.
- من خلال هذا الإطار، نكون مجموعة 2^{Θ} والتي تضم الفرضيات الأحادية وكل المفارق الممكنة بين هذه الفرضيات إلى جانب المجموعة الفارغة.

- $$m(\emptyset) = 0$$

$$\sum_{A \in \Theta} m(A) = 1$$

- $$bel : 2^{\Theta} \rightarrow [0,1]$$

$$bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B), \forall A \subseteq \Theta$$

- $$m(A) = \frac{\sum_{B \cap C = A} m_1(B)m_2(C)}{1 - \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B)m_2(C)}$$

- $$m(A) = \sum_{B \cup C = A} m_1(B) m_2(C)$$

معينة. يمكن أن نذكر : (PS) مقالات قصيرة (PC)

في إطار هذا المثال يتكون :

$$\Theta = \{\text{PS}, \text{PL}, \text{PC}\}$$

في حين تتكون 2^{Θ} :

$$2^{\Theta} = \{\emptyset, PS, PC, PL, PS \cup PC, PS \cup PL, PL \cup PC, PS \cup PL \cup PC\}$$

نة قام بتقييم مقال و عبر عن درجة من الاعتقاد من خلال الكتل

التالية :

$$m(PL) = 0.3, m(PL \cup PC) = 0.5, m(PS \cup PL \cup PC) = 0.2$$

يمكن أن نستنتج أن هذا العضو يعتقد بنسبة 0.3 أن المقال يجب أن يكون طويلا، و بنسبة 0.5 هذا المقال له أن يقبل كمقال طويل أو أن يصاغ كمقال قصير كما يتسم هذا العضو بجهل كلي حيث أنه لا يستطيع أن يعتبر هذا المقال كمقال طويل، قصير أو حتى ملصق و يعبر عن جهله 0.2.

هدفنا من خلال هذا المقال هو تحويل أنطولوجية وجودية الواب إلى شبكة أدلة موجهة. هذه الشبكة في [7] لتمثيل المعارف الغير يقينية و ذلك بتطبيق نظرية الأدلة. هذه الشبكة هي عبارة عن مخطط موجه غير حلقي :

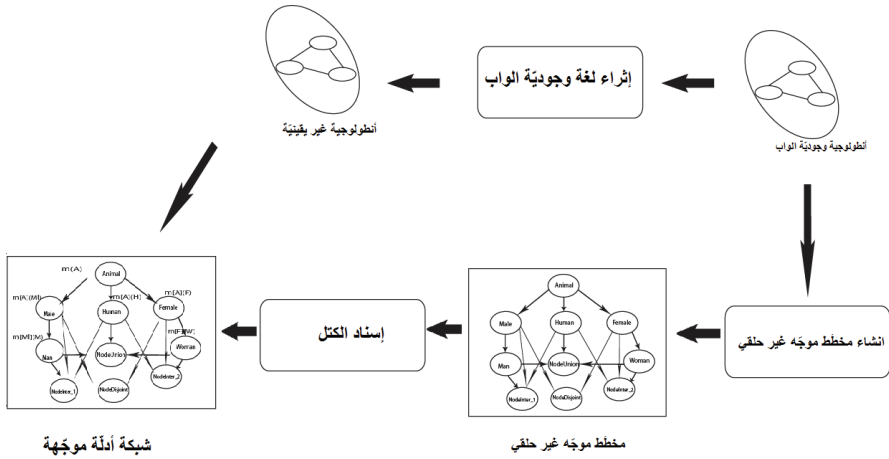
- جملة من العقد تمثل متغير
- مجموعة من الأقواس تربط بين مختلف هذه العقد

علاقات الاعتمادات الشرطية بين

لتمثيل التظنن في هذه الشبكة نستعمل نوعين من الكتل الابتدائية. كتلة بديهية تتعلق بعقدة الجذر و كتلة شرطية تعبر عن كتلة عقدة علما بقيمة الأصول.

4 تقديم BeliefOWL

تهتم هذه الأداة بتحويل أنطولوجية وجودية الواب شبكة أدلة موجهة المراحل كما يبينه الرسم . نقدّم في هذا الجزء وصفا دقيقا لهذه المراحل.



: BeliefOWL

4.1 وجودية

تتكون لغة وجودية . في هذا المقال بإثراء صفوف الأنطولوجية بجملة من البطاقات الجديدة لتمثيل المعارف الغير يقينية. يقوم هذا الإثباتات البديهية و الشرطية.

- إثبات بديهي: نقترح بطاقتين للتعبير عن الإثباتات البديهي $\langle beliefDistribution \rangle$ $\langle priorBelief \rangle$ بحيث تمكن الأولى من تحديد مختلف الكتل المتعلقة بصفوف الأنطولوجية. في حين تقوم $\langle priorBelief \rangle$ بالتعبير عن الإثباتات البديهي من خلال خاصية $\langle massValue \rangle$ هي تمكن من تعيين قيمة الكتلة و التي يجب أن تكون بين 0 و 1. د العلاقة بين هاتين البطاقتين من خلال خاصية $\langle hasPriorBelief \rangle$ تبين أن مثيلات $\langle priorBelief \rangle$ هي عناصر من مثيلة $\langle beliefDistribution \rangle$. و في ما يلي مثال لتعيين الإثباتات البديهي.

X متغير يمثل الصف "Accepted_Paper". يمكن أن نسند قيمتين لهذا المتغير $\Theta_X = \{T_a, F_a\}$ () للتعبير عن الإثباتات البديهي، نفترض الكتل التالية المتعلقة بالمتغير X.

$$m^X = (\{T_a\}) = 0.4, m^X = (\{F_a\}) = 0.5, m^X = (\{\Theta_X\}) = 0.1$$

```

<beliefDistribution rdf:ID= "bel(X)">
  <hasPriorBelief rdf:resource = "# m(Ta)" />
  <hasPriorBelief rdf:resource = "# m(Fa)" />
  <hasPriorBelief rdf:resource = "# m(ΘX)" />
</beliefDistribution>
<PriorBelief rdf:ID= "m(Ta)">
  <massValue>0.4</massValue>
</PriorBelief>
<PriorBelief rdf:ID= "m(Fa)">
  <massValue>0.5</massValue>
</PriorBelief>
<PriorBelief rdf:ID= "m(ΘX)">
  <massValue>0.1</massValue>
</PriorBelief>

```

• نقترح بطاقتين للتعبير عن الإثبات الشرطي $\langle beliefDistribution \rangle$:
 $\langle condBelief \rangle$ بحيث تمكن الأولى من تحديد مختلف الكتل المتعلقة بصفوف الأنطولوجية. في حين تقوم $\langle condBelief \rangle$ بالتعبير عن الإثبات خلال خاصية $\langle massValue \rangle$ هي تمكن من تعيين قيمة الكتلة و التي يجب أن تكون بين 0 1. تحدد العلاقة بين هاتين البطاقتين من خلال خاصية $\langle hasCondBelief \rangle$ والتي تبين أن مثيلات $\langle condBelief \rangle$ هي عناصر من مثيلة $\langle beliefDistribution \rangle$. و في ما يلي مثال لتعيين الإثبات

الإثباتات الشرطية للمتغيرين X Y الذين يمثلان الصفين "Accepted_Paper" "Evaluated_Paper" لى التوالي بحيث تمثل "Accepted_Paper" جزءا فرعيا "Evaluated_Paper".

ليكن Θ_Y Y . التدوين التالي $m[X](Y)$ لتمثيل الشرطية لقيمة Y بقيمة X .

$$m[\{T_a\}](\{T_e\}) = 0.6, \quad m[\{T_a\}](\{\Theta_Y\}) = 0.4$$

$$m[\{F_a\}](\{F_e\}) = 0.92, \quad m[\{T_a\}](\{\Theta_Y\}) = 0.08$$

```

<beliefDistribution rdf:ID= "bel[X](Y)">
  <hasCondB rdf:resource = "# m[\{Ta\}](\{Te\})" />
  <hasCondB rdf:resource = "# m[\{Ta\}](\{\ThetaY\})" />
  <hasCondB rdf:resource = "# m[\{Fa\}](\{Fe\})" />
  <hasCondB rdf:resource = "# m[\{Ta\}](\{\ThetaY\})" />
</beliefDistribution>
<condBelief rdf:ID= "m[\{Ta\}](\{Te\})">

```

```

<massValue>0.6</massValue>
</condBelief>
<condBelief rdf:ID= "m[{Ta}]({Θv})">
<massValue>0.4</massValue>
</condBelief>
<condBelief rdf:ID= "m[{Fa}]({Fe})">
<massValue>0.92</massValue>
</condBelief>
<condBelief rdf:ID= "m[{Ta}]({Θv})">
<massValue>0.08</massValue>
</condBelief>

```

4.2 مخطط موجة غير حلقي

إن تحويل أنطولوجية وجودية الواب إلى شبكة أدلة موجة يمر أولاً بتحويلها إلى مخطط موجة غير حلقي عبر تطبيق جملة من القواعد الهيكلية التي تحدد مختلف ت العلاقة بينها. إن إنشاء هذا المخطط يهـم بالأساس البعض من البطاقات الخاصة بالصفوف.

- `<owl:Class>` : تمثل هذه البطاقة بعقدة متغير.
- `<rdfs:subClassOf>` : عندما يكون صف A جزءاً فرعياً من صف B فهذان الصفان يمثلان بعقدتي و يرسم قوس موجة من العقدة B A .
- `<owl:disjointWith>` `<owl:equivalentClass>` : العلاقة بين صفين A B علاقة انفصال أو علاقة تساوي ففي كلتا الحالتين ترسم عقدة جديدة و قوس موجة من الصفوف نحو هذه العقدة الجديدة.
- `<owl:intersectionOf>` : معرف على أنه تقاطع بين A A_i (i,...,n) في هذه الحالة يرسم قوس موجة من كل A A_i و قوس موجة آخر من A A_i نحو عقدة جديدة تمثل التقاطع.
- `<owl:unionOf>` : معرف على أنه اتحاد بين A A_i (i,...,n) في هذه الحالة يرسم قوس موجة من كل A A_i موجة آخر من A A_i نحو عقدة جديدة تمثل الاتحاد.

وفي ما يلي أنطولوجية يعبر عن تقييم المقالات. تطبيق جملة القواعد الهيكلية التي ذكرناها آنفاً يولد عن المخطط الموجة الغير حلقي الذي يبينه الرسم الثالث.

```

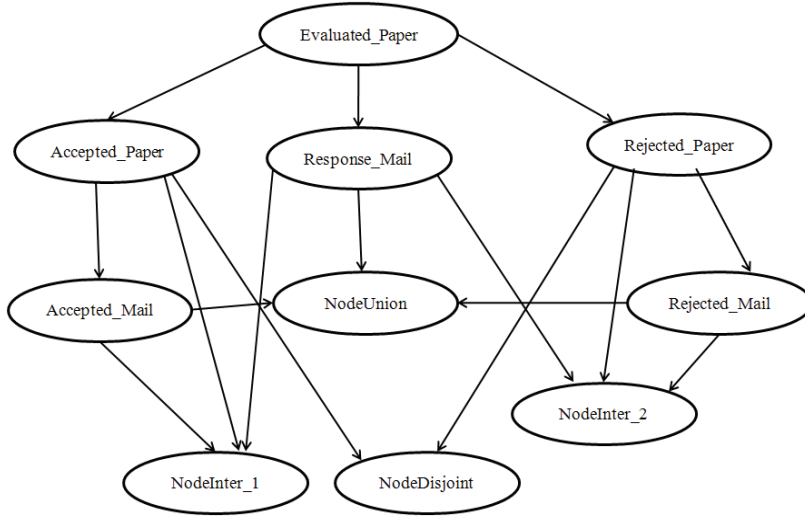
<owl:Class rdf:ID="Evaluated_Paper">
<owl:Class rdf:ID="Accepted_Paper">
<rdfs:subClassOf>
<owl:Class rdf:ID="#Evaluated_Paper" />

```

```

        </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Rejected_Paper">
    <rdfs:subClassOf>
        <owl:Class rdf:ID="#Evaluated_Paper" />
    </rdfs:subClassOf>
    <owl:disjointWith>
        <owl:Class rdf:ID="Accepted_Paper" />
    </owl:disjointWith>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Response_Mail">
    <rdfs:subClassOf>
        <owl:Class rdf:ID="#Evaluated_Paper" />
    </rdfs:subClassOf>
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Accepted_Mail">
    <owl:intersectionOf rdf:parseType ="Collection">
        <owl:Class rdf:ID="#Accepted_Paper" />
        <owl:Class rdf:ID="#Response_Mail" />
    </ owl:intersectionOf >
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="Rejected_Mail">
    <owl:intersectionOf rdf:parseType ="Collection">
        <owl:Class rdf:ID="#Rejected_Paper" />
        <owl:Class rdf:ID="#Response_Mail" />
    </ owl:intersectionOf >
</owl:Class>
<owl:Class rdf:ID="#Response_Mail">
    <owl:unionOf rdf:parseType ="Collection">
        <owl:Class rdf:ID="#Rejected_Paper" />
        <owl:Class rdf:ID="#Accepted_Mail" />
    </ owl: unionOf >
</owl:Class>

```



: مخطط موجه غير حلقى .

4.3 الكتل الإثباتية

في إطار إتمام تحويل الأنطولوجية إلى شبكة أدلة موجهة، تسند كتل إلى كل عقدة من عقد . يحتوي هذا المخطط على نوعين من العقد :

- تمثل هذه العقد مختلف صفوف الأنطولوجية المعرفة ب `<owl: class>`.
- تهم هذه العقد مختلف البطاقات (`<owl:disjointWith>` `<owl:unionOf>` `<owl:equivalentClass>` `<owl:intersectionOf>`) غير معتبرة من جملة هذه البطاقات بما أنها ليست ممثلة من خلال عقدة `<rdfs: subClassOf>` كما بينا ذلك آنفاً.

إن إسناد الكتل يعتمد على نوع العقدة. الأنطولوجية الغير يقينية والتي تحصلنا عليها على اثر إثراء أنطولوجية وجودية الو . جملة الإثباتات البديهية و الشرطية من الأنطولوجية الغير يقينية و تسند إلى العقد المناسبة. بالنسبة لعقد البطاقات، فالكتل تسند حسب نوع البطاقة فإذا كانت العقدة تعبر عن تقاطع ففي هذه قاعدة الجمع العطفية و قاعدة الجمع الخيارية.

5

قدمنا في هذا المقال أداة BeliefOWL و هي تصور جديد لتمثيل التظنن في أنطولوجية وجودية الواب تطبيق نظرية الأدلة. لقد اهتمنا من خلال هذا المقترح بتقديم

النظرية لأداتنا وهي تتمثل في إثراء أنطولوجية وجودية الواب بجملة من البطاقات و الكتل بحيث تصبح قادرة على تمثيل شتى المعارف الغير يقينية. قمنا بتطبيق جملة من القواعد الهيكلية لتحويل هذه الأنطولوجية إلى مخطط موجه غير حلقي تسند إليه الكتل التي يتم استخراجها من الأنطولوجية الغير يقينية لى شبكة أدلة موجهة.

ركز هذا العمل على صفوف أنطولوجية وجودية الواب، و لكن نرجو تطوير هذا التصور ليشمل . إلى جانب ذلك افترضنا في هذا المقال أن تكون الكتل مسندة من قبل أخصائين إلا هذا الإسناد يمكن أن يتم من خلال تقنيات التعلم الآلي.

- [1] T.Berners-Lee, J.Hendler and O.Lassila. The semantic web, Scientific American, volume 284(5), 34-43.
- [2] Z.Ding. BayesOwl: A probabilistic framework for semantic web, Phd Thesis, University of Maryland, Baltimore Country, 2005.
- [3] Y.Yang, J. Calmet. OntoBayes: an ontology-direvn uncertainty model, in proceedings of CIMSCA/IAWTIC, Washington, DC, USA, IEEE Computer society, 457-463,2005.
- [4] M.Gao, C.Liu. Extending OWL by fuzzy decription logic, in proceedings of the 17th IEEE ICTAI05, Hong Kong, China, 562-567, 2005.
- [5] G.Stoilos,G.Stamou, V.Tzouvaras, J.Pan, I.Horrocks: FuzzyOWL: uncertainty and the semantic web, in proceedings of the international workshop on OWL-ED05, Galway, Ireland, 2005.
- [6] G.Shafer. A mathematical theory of evidence, Princeton university press, 1976.
- [7] B.Ben Yaghlane. Uncertainty representation and reasoning in directed evidential network, Phd thesis, Institut Supérieur de Gestion de Tunis, Tunisia, 2002.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: BeliefOWL: An Evidential Representation in OWL Ontology

Abstract. In semantic web environment, ontologies have become used to represent a domain of discourse to facilitate knowledge sharing and information exchange. Many languages have been developed to represent ontologies, among them the web ontology language (OWL) which cannot capture the uncertainty about the concepts in a domain. To address the problem of modeling uncertainty in semantic web, we propose in this paper, the theoretical aspects of our tool BeliefOWL which is based on an evidential approach. It focuses on translating an OWL ontology into a directed evidential network

by applying a set of structural translation rules. Once the network is constructed, belief masses will be assigned to the different nodes in order to propagate uncertainty later.

Keywords: semantic web – OWL – uncertainty – Dempster-Shafer theory – directed evidential network.

Semantic web	
Ontology	أنطولوجية
OWL (Ontology Web Language)	لغة وجودية الواب
Uncertainty	
Concepts	مفاهيم
Tool	
Dempster-Shafer Theory	نظرية الأدلة / نظرية الاعتقاد / نظرية المعقولة
Structural rules	القواعد الهيكلية
Translation	تحويل
Directed evidential network	شبكة أدلة موجهة
Mass	
Node	
Systems	
Ontology representation	تمثيل الأنطولوجية
Ontology mapping	المطابقة بين الأنطولوجيات
Ontology reasoning	المنطق في الأنطولوجية
Probability theory	نظرية الاحتمالات
Fuzzy sets theory	نظرية المجموعات الغامضة
Total ignorance	جهل كلي
Partial ignorance	جهل جزئي
Belief extension to OWL	توسيع وجودية الواب
OWL ontology	أنطولوجية وجودية الواب
Uncertain ontology	أنطولوجية غير يقينية
Evidence propagation	
World Wide Web Consortium	رابطة الشبكة العالمية

XMLS	XML
RDF	إطار توصيف الموارد
RDFS	RDF
Data model	ذج البيانات
Classes	
Inference mechanisms	آليات الاستدلال
Logic description	
Constructors	
Individuals	
Subclass Of	
Information source	
Frame of discernment	
Exhaustive and exclusive hypotheses	فرضيات شاملة و حصرية
Single hypotheses	فرضيات أحادية
Disjunction of hypotheses	المفارق بين الفرضيات
Empty set	
Poster	
Degree of belief	
Directed acyclic graph	مخطط موجه غير حلقي
Variables	متغيرات
Basic belief assignment	الاحتمال الابتدائية
Belief function	وظيفة الاعتقاد
Conjunctive combination rule	قاعدة الجمع العطفية
Disjunctive combination rule	قاعدة الجمع الخيارية
A priori evidence	إثبات بديهي
Conditional evidence	
Root node	
Instances	مثيلات
Notation	التدوين
Machine Learning	

نجة التضارب و ادارته في المطابقة بين الأنطولوجيات

أميرة السعيد¹ بيثينة بن يغلان²

المعهد الأعلى للتصرف بتونس 41، نهج الحرية -
2000 -

LARODEC¹

عهد الدراسات العليا التجارية بقرطاج
2016

LARODEC²

البريد الالكتروني: boutheina.yaghlane@ihc.rnu.tn essaid_amira@yahoo.fr

. تمثل المطابقة بين الأنطولوجيات محورا هاما من محاور الواب .
فهي تمكن من تجاوز مشكل التباين الدلالي الى جانب أنها تساعد على
ارساء التوافق بين مختلف الأنظمة التي تستعمل أنطولوجيات منفصلة عن
بعضها البعض خاصة المتباينة منها. تتمثل المطابقة في ايجاد التحالفات بين
كيانات أنطولوجيتين و هي تقوم
مقاييس التشابه. تولد المطابقة بين الأنطولوجيات ظهور تضارب بين النتائج
المقدمة من قبل هذه المقاييس. هذه المقالة طريقة حديثة تتمثل في
تطبيق نظرية الأدلة الجمع بين مختلف نتائج المقاييس
من خلال تطبيق
الجمعية.

الكلمات الجوهرية: المطابقة بين الأنطولوجيات - مقاييس التشابه -
نظرية الأدلة -

1

يهتم الواب الدلالي أو ما يعرف عنه بالواب ذات الدلالات اللفظية [1]
الالكترونية قابلة للفهم من قبل برامج الحاسوب و ذلك في اطار تحقيق
التوافق بين مختلف الأنظمة. يقوم الواب الدلالي على الأنطولوجية التي تتمثل في وصف مجال
معين من خلال تحديد جملة من المفاهيم و علاقاتها مع مفاهيم أخرى حسب التخصيص أو من
[2].

تعتبر الأنطولوجية تمثيلا شكليا للمعرفة. عين قد نجد عدة أنطولوجيات مستقلة عن
بعضها البعض بحيث تغطي أنطولوجية ما نطاق المجال جزئيا في حين تغطيه أخرى بصفة كلية.
كما يمكن لكيانات الأنطولوجية أن تعرف وفق مستويات مختلفة من التفاصيل أو ببساطة أن تحدد
بلغات تمثيل مختلفة يؤدي الى ظهور تباين بين معارف الأنطولوجيات.
المعلومات و ارساء التوافق، من الضروري أن يتم حل هذا التباين من خلال انشاء علاقات دلالية
بين مختلف الكيانات وهو ما يعبر عنه بـ .

تتمثل المطابقة أو ما يعرف عنها بالاقتران في انشاء جملة من العلاقات بين الكيانات المتشابهة. يمكن لهذه الكيانات أن تكون مفاهيمها أو خصائصها أو حتى أفرادا. يعتبر اكتشاف هذه العلاقات بطريقة يدوية مهمة غير فعالة لأنها قد تتطلب وقتا و تسفر عن أخطاء في تحديد هذه العلاقات وهو أدى الى اقتراح العديد من التقنيات و التصورات لانشاء علاقات المطابقة بين الأنطولوجيات [3]. تقوم هذه التقنيات بمقاييس التشابه. و لغاية تحسين نتيجة المطابقة و عوض أن نستعمل مقياسا واحدا يمكن أن نتطرق الى جملة من المقاييس الا أن هذا الاستعمال قد يولد - بين النتائج المتحصل عليها.

تقوم نظرية الأدلة ([4] [5]) على الجمع بين مختلف المعلومات المتأتية من مصادر متباينة و بما أن هذه المصادر عن بعضها البعض فان المعلومات قد تتضارب أيضا. نظرية الأدلة، فان حل التضارب يكون باحدى الطريقتين التاليتين : يمكن لنا أن نهتم بادارة بين معلومات المصادر وهو ما يعني أننا سنهتم بالحد من هذا التضارب ة الضمانية للمصدر. ثانيا يمكن لنا أن نعالج هذا التضارب عند الجمع بين مختلف المعلومات من خلال تطبيق جملة من القواعد الجمعية و التي تمكن من حذف ة توزيعه بطرق مختلفة بين المعلومات.

نقدم في هذه المقالة تصورا جديدا لادارة التضارب عند المطابقة بين الأنطولوجيات باستعمال نظرية الأدلة. سنعتبر كل مقياس من مقاييس التشابه كمصدر للمعلومات يتسم بدرجة ضمانية. ليها اثر تطبيق هذه المقاييس يولد . سنهتم بنمذجة هذا التضارب ادارته عند الجمع بين هذه النتائج و ذلك من خلال تطبيق جملة من القواعد الجمعية. تتمحور هذه المقالة حول ثلاثة أجزاء. نهتم في الجزء الأول بتعريف المطابقة بين الأنطولوجيات الى جانب تقديم مقاييس التشابه المستعملة الجزء الثاني المفاهيم الأساسية المتعلقة بنظرية الأدلة و الذي نقتصره قصد و ادارته و أخيرا نقدم جملة من الاتجاهات الممكن التتبع اليها مستقبلا قصد اثراء تصورنا.

2 نظرية المطابقة بين الأنطولوجيات و مقاييس التشابه

2.1 تعريف المطابقة بين الأنطولوجيات

عديدة هي اللغات التي تم اقتراحها لوصف الأنطولوجية و من بينها لغة وجودية الواب¹. تمكن هذه اللغة من تمثيل الكيانات عبر جملة من البطاقات ("owl :class" "rdf :subClassOf"). [6] يعرف الكاتبان الأنطولوجية على أنها تمثيل يتكون أساسا من أربع عناصر كالتالي :

$$O := (C, R, I, A)$$

فالأنطولوجية تتمثل في جملة من المفاهيم C المثيلات I البديهيات A . فالمفهوم في الأنطولوجية يمثل كائنات حقيقية أو افتراضية متعلقة

¹ <http://www.w3.org/2001/sw/webOnt>

بمجال معين. بين العلاقات كيف أن مختلف المفاهيم و المثلثات مرتبطة ببعضها البعض في حين تمثل البديهيات صيغا تسمح بتحديد مزيد من الترابط بين جميع كيانات الأنطولوجية. الجدير بالذكر بأن هذه المفاهيم و العلاقات و المثلثات و البديهيات هي محددة من خلال لغة منطقية و تكون المفاهيم منظمة وفق تسلسل يبين كيف أن مفهوما ما هو جزء فرعي من مفهوم آخر. يزخر الواب بجملة من الأنطولوجيات. كفاءة باستعمال أنطولوجية واحدة لا يمكن من دعم مهام . فلهذا الغرض، على برامج الحاسوب أن تستعمل ج لة من الأنطولوجيات المتفرقة و المتباينة. و يتحقق هذا من خلال المطابقة بين هذه الأنطولوجيات. [3] على أنها وظيفة f :

$$A = f(O_1, O_2, A', p, r)$$

هذه الوظيفة تقوم على أنطولوجيتين O_1 و O_2 و A' و p (و تهدف هذه الوظيفة الى انشاء من التشابه) ارد الخارجية r (و فالمطابقة تتمثل في البحث لكل كيان من كيانات الأنطولوجية O_1) على جملة من الكيانات الموجودة في الأنطولوجية O_2 بحيث تكون هذه الكيانات متشابهة دلاليا.

2.2 عملية

للتبسيط سنكتفي بأنطولوجيتين O_1 و O_2 كوارنتين لعملية المطابقة بحيث تكونان تمثيلا لنفس المجال و يكون الاصدار جملة من التحالفات بين هذه التمثيلات الشكلية. تقوم عملية المطابقة أساسا و هي :

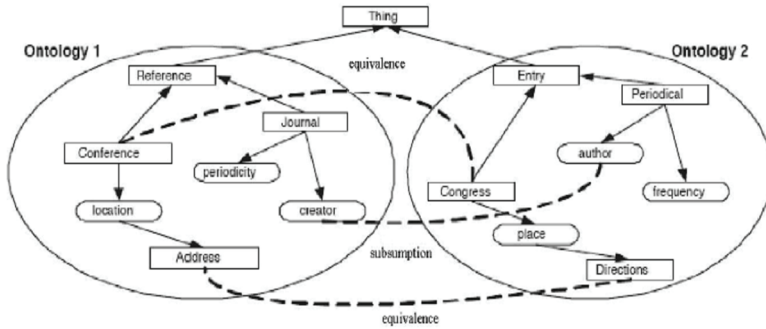
1- توريد الأنطولوجيتين : يمكن للغة تمثيل الأنطولوجي O_1 عن لغة تمثيل الأنطولوجية O_2 وهو يدعو الى تحويلهما الى تشكيل مشترك بحيث تصبح قادرتين على تحديد المطابقة. علاوة على ذلك يتم استيراد الأنطولوجيتين الى الأداة التي تحديد التحالفات بين هذين التشكيلين.

2- بحث عن أوجه التشابه : يمكن تطبيق العديد من لتحديد قيمة التشابه بين كيانات الأنطولوجيتين. اثر ذلك يتم الجمع بين هذه القيم المتحصل عليها خاصة في حالة استعمال العديد من الطرق في آن واحد.

3- تفسير المطابقة : من خلال قيم التشابه الفردية أو الم د التحالفات بين الأنطولوجيتين و يتم تحديدها. و لهذا الغرض تستخدم بعض الآليات ().

يبين الرسم مثالا للمطابقة بين أنطولوجيتين متعلقتين بالمراجع البيوغرافية.

يحدد أن الصف Congress يمثل تحالفا للصف Conference Address Direction .



: نموذج من المطابقة بين أنطولوجيتين للمراجع البيوغرافية .

في هذه المقالة، سنهتم بإيجاد التحالفات بين مختلف المفاهيم المعرفة في أنطولوجية وجودية الواب
".owl :class"

2.3 مقاييس التشابه

[7] التصنيف التالي لمختلف تقنيات

1- تقنيات : تقارن هذه التقنيات تسميات مختلف الكيانات و تنقسم ا :

- تقنيات لغوية : تقوم على ايجاد التحالف من خلال مقاييس التباين بين سلسلات
- تقنيات معجمية : تقوم على ايجاد التحالف من خلال علاقات معجمية (...).

2- تقنيات هيكلية : تتركز على المقارنة بين هياكل الكيانات فلنا أن نذكر :

- تقنيات مقارنة الهياكل الداخلية : تهتم بمقارنة الهيكل الداخلي للكيانات (أصولية ...).

- تقنيات مقارنة الهياكل الخارجي : تقوم مقارنة التشابه بين الكيانات على العلاقات التي تجمع الكيانات ببعضها البعض (مثلا علاقات تصنيف).

3- تقنيات دلالية : تتركز هذه التقنيات على نموذج الكيانات لتفسير نتائج التحالفات

المتحصل عليها و المصادقة عليها. هي تقنيات استنتاجية. ومن بينها تقنية تقوم ع ايجاد تحالفات من خلال تحويل أنطولوجيتين و جملة الكيانات الى صيغة تصريحية و يتم اثر ذلك مراجعة مدى صدق هذه الصيغة.

في هذه المقالة اهتمنا بتطبيق تقنيات المصطلحات في ايجاد التحالفات بين مختلف مفاهيم الأنطولوجيتين. لهذا الغرض استعملنا ثلاث مقاييس لغوي (مسافة لفنشتين مقياس هاميق) و مقياس معجمي. لتطبيق هذا المقياس الأخير استعملنا قاموس WordNet2.0² لتحديد المرادفات بين المفردات. و في ما يلي تعريف مقتضب لهذه المقاييس اللغوية.

- **مسافة لفنشتين** : يعرف الكاتبان [8] هذه المسافة على أنها مقياس تشابه بين . فهذه المسافة تساوي عدد العمليات الضرورية لتحويل سلسلة الى . و تتمثل هذه العمليات في الحذف .
- **مقياس** : يقوم هذا قياس باحتساب عدد الحروف المشتركة بين سلسلتي حروف الى جانب قياس الترتيب الذي وردت عليه هذه الحروف [3].
- **مسافة هاميق** : تقوم بقياس عدد المواقع التي تختلف فيها سلسلتي حروف [3].

3 نظرية الأدلة

3.1 المفاهيم الأساسية

نظرية الأدلة أو ما يعرف عنها بنظرية المعقولية ([4] [5]) . و هي تتطرق الى تمثيل أوجه الغموض و التضارب بين مختلف . و في ما يلي نقدم المفاهيم الأساسية لهذه النظرية.

هذه النظرية اطار الفطنة (Θ) على أنه مجموعة متناهية من الفرضيات الشاملة الحصرية.

$$\Theta = \{H_1, H_2, \dots, H_n\}$$

2^Θ المتحصل عليها من خلال هذا الاطار الفرضيات الأحادية و كل المفارق الممكنة بين هذه الفرضيات الى جانب المجموعة الفارغة.

تقوم نظرية الأدلة على استعمال كتلة الاحتمال الابتدائية m قيمها محصورة بين 0 و 1 و تحقق الخصائص التالية :

$$m(\emptyset) = 0$$

$$\sum_{A \in \Theta} m(A) = 1$$

من خلال هذه الكتلة لنا أن نحتسب وظيفتي الاعتقاد (bel) و المعقولية (pl) . تعبر وظيفة الاعتقاد عن الحد الأدنى من المعتقد المسند الى مجموعة فرعية من 2^Θ و تحقق هذه الوظيفة الخصائص التالية :

$$bel : 2^{\Theta} \rightarrow [0,1]$$

$$bel(A) = \sum_{B \subseteq A} m(B), \forall A \subseteq \Theta$$

موجة فرعية من 2^{Θ} و تحقق هذه

تعبر وظيفة المعقولية عن الحد
الوظيفة الخصائص التالية :

$$pl : 2^{\Theta} \rightarrow [0,1]$$

$$pl(A) = \sum_{A \cap B \neq \emptyset} m(B), \forall A \subseteq \Theta$$

نقترح في ما يلي مثالا لما تمّ ذكره أنفا من عناصر لنظرية الأدلة. يندرج هذا المثال في إطار تنظيم للمشاركة في ندوة، يقترح المؤلفون جملة من المقالات و التي يتمّ تقييمها من خلال لجنة

معينة. يمكن أن نذكر : (PS) مقالات قصيرة (PC) طويلة (PL). اثر التقييم، يمكن لمقال طويل أن يتم قبوله على أساس أن تعد صياغته كمقال قصير. في إطار هذا المثال يتكون :

$$\Theta = \{PS, PL, PC\}$$

حين تتكون 2^{Θ} :

$$2^{\Theta} = \{\emptyset, PS, PC, PL, PS \cup PC, PS \cup PL, PL \cup PC, PS \cup PL \cup PC\}$$

نة قام بتقييم مقال و عبر عن درجة من الاعتقاد من خلال الكتل

التالية :

$$m(PL) = 0.3, m(PL \cup PC) = 0.5, m(PS \cup PL \cup PC) = 0.2$$

يمكن أن نستنتج أن هذا العضو يعتقد بنسبة 0.3 أن المقال يجب أن يكون طويلا، و بنسبة 0.5 هذا المقال له أن يقبل كمقال طويل أو أن يصاغ كمقال قصير كما يتسم هذا العضو بجهل كلي حيث أنه لا يستطيع أن يعتبر هذا المقال كمقال طويل، قصير أو حتى ملصق و يعبر عن جهله 0.2.

3.2 الجمعية

يعتبر انصهار البيانات الغير يقينية أو الغير دقيقة أو حتى الناقصة حلا للحصول على معلومة أكثر موثوقية. تمثل نظرية الأدلة أداة هامة لانصهار البيانات.

فطنة موحد، يمكن الحصول على كتلة احتمال ابتدائية تولف بين مختلف المعارف المتأتية من و منفصلة عن بعضها البعض و مستقلة و ذلك عبر تطبيق قواعد جمعية.

تم انشاء العديد من طرق الجمع في اطار نظرية الأدلة و نقدم في ما يلي طريقة الجمع العطفي و طريقة الجمع الخياري الى جانب طريقة الجمع المختلط.

لتوضيح هذه القواعد، نفترض أنه لدينا مصدري معلومات S_1 S_2 منفصلين عن بعضهما البعض مستقلين. يقدم هذان المصدران الكتلة m_1 m_2 Θ .

1. طريقة الجمع العطفى: تتركز هذه الطريقة ([4] [5]) على الجمع بين كتل الاحتمال الابتدائية باعتبار التقاطع بين عناصر المجموعة Θ .

- لديمست: نقدم هذه القاعدة بالنسبة لكتلتين m_1 m_2 هي تحقق الخصائص التالية:

$$m(A) = \begin{cases} \frac{\sum_{B \cap C = A} m_1(B) \times m_2(C)}{1 - \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \times m_2(C)}, \forall A \subseteq \Theta, A \neq \emptyset \\ 0, A = \emptyset \end{cases}$$

$m_1(B)$ $m_2(C)$ هي كتل متعلقة بالمصدرين S_1 S_2

$$\sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \times m_2(C) \\ 1 - \sum_{B \cap C = \emptyset} m_1(B) \times m_2(C)$$

يخفي هذا التطبيع التضارب. و تتصف هذه القاعدة بالأهمية في حالتين: أننا نعمل تحت فرضية العالم المغلق (أي أن كل الفرضيات الممكنة لمشكل معين تنتمي الى اطار Θ). و ثانيا عندما لا يوجد تضارب بين المصد. ان الكتلة المتحصل عليها اثر تطبيق الجمع لديمستر المتفق عليها من قبل المصادر و تخففه في حالة

- : يقدم سماتس الشكل الغير مطبع للقاعدة الأنف ذكرها. تستعمل هذه العالم المفتوح حيث أنها تنسب كتلة ملغية للمجموعة الفارغة. تستخدم هذه القاعدة أساسا عندما يكون مصدري المعلومات ذات ضمانية. هذه القاعدة كالتالي:

$$m_{conj}(A) = \sum_{B \cap C = A} m_1(B) \times m_2(C)$$

- قاعدة ياقر: [9] هذه مقاييس التضارب الى اطار الفطنة Θ . تنسب هذه القاعدة بالخصائص التالية:

$$\begin{cases} m_Y(A) = m_{conj}(A), \forall A \in 2^\Theta, A \neq \Theta, A \neq \emptyset \\ m_Y(\Theta) = m_{conj}(\Theta) + m_{conj}(\emptyset) \\ m_Y(\emptyset) = 0 \end{cases}$$

2. **طريقة الجمع الخياري :** [10] قاعدة الجمع الخيارية لجمع الكتل المقترحة من قبل مصادر المعلومات حيث يكون مصدر من هذه المصادر أقل وثوقية من المصادر من غير أن يتم تحديد كمية الوثوقية أو حتى تحديد أي هذه المصادر تنتم . تعرف هذه القاعدة من خلال المعادلة التالية :

$$m_{disj} (A) = \sum_{B \cup C = A} m_1 (B) \times m_2 (C)$$

3. **طريقة الجمع :** [11] اتفاقا حتى يتم المزج بين فوائد طرق الجمع العطفية من ناحية و طرق الجمع الخيارية من ناحية أخرى. تفترض هذه الطريقة أن التضارب متأث من غياب ضمانية المصادرو تعرف من خلال المعادلة التالية :

$$\begin{cases} m_{DP} (X) = m_{conj} (X) + \sum_{\substack{A \cap X = \emptyset, \\ A \cup X = B}} m (X) \times m (A), \forall A \subseteq \Theta, A \neq \emptyset \\ m_{DP} (\emptyset) = 0 \end{cases}$$

4 نظرية ادارة التضارب في المطابقة بين الأنطولوجيات

ة بين الأنطولوجيات يمكن استعمال العديد من مقاييس التشابه حتى يتم النظر لمختلف مفاهيم الأنطولوجيتين. ان استعمال هذه المقاييس قد يولد . نقترح في ما يلي أن تتم نمذجة هذا التضارب و ادارته و ذلك بتطبيق نظرية الأدلة. و لهذا الغرض سنعتبر مقاييس التشابه مصادرا للمعلومات التي تقدم معلومة حول الصفوف التي سيتم اقتترانها. و يتم تفسير النتائج المتحصل عليها على أنها كتل احتمال ابتدائية. كيف سنتم نمذجة المطابقة بين أنطولوجيتين في اطار نظرية الأدلة. يبرز

عناصر نظرية الأدلة	
مقاييس التشابه	
(O ₂ O ₁)	فرضية
نتيجة مقياس تشابه	كتلة احتمال ابتدائية

: نمذجة المطابقة في اطار نظرية الأدلة.

لتقديم تصورنا في نمذجة التضارب و ادارته، نركز على أنطولوجيتين *cmt* و *conference* و هما تمثيلان بدرجة في اطار تنظيم الندوات³. *cmt* الأنطولوجية المصدر حيث أننا نبحث لكل صف من صفوفها عن تحالف له في الأنطولوجية الهدف *conference*. يبين الجدول الثاني البعض من صفوف الأنطولوجية *cmt* (*PaperAbstract Paper* Preference Document) الى جانب تحالفاتها مع صفوف الأنطولوجية *conference* و ذلك اثر تطبيق المقاييس .

مسافة لفنشتين	مقياس	مسافة هامينق	تقنية معجمية
Paper	Paper	Paper	Paper
PaperAbstract	Paper	Paper	Abstract
Document	Conference_document	Co-chair	Paper
Prefrence	Conference	Conference	Review_Preference

: المطابقة بين الأنطولوجيتين *cmt* و *conference*.

مسافة لفنشتين ومقياس و مسافة هامينق الى جانب التقنية المعجمية كم للمعلومات و نعتبر التدوين التالي لهذه المصاد ($S_{lex} S_{ham} S_{jaro} S_{lev}$). *Paper* للأنطولوجية *cmt* يجب أن يكون متحالفا مع الصف *Paper* للأنطولوجية *conference*.

يربط $S_{lex} S_{lev}$ *PaperAbstract* من الأنطولوجية المصدر مع الص *Abstract* من الأنطولوجية الهدف في حين يقوم المصدران $S_{ham} S_{jaro}$ بإنشاء تحالف بين الصفين *PaperAbstract Paper* . أما في ما يخص الصف *Document* الثاني يبين كيف أن المصادر الأربعة لها وجهات نظر مختلفة.

نعرف اطار الفطنة على أنه جملة من الأز صفوف الأنطولوجيتين.

$\Theta = \{(c_i, e_1), (c_i, e_2), \dots, (c_i, e_n)\}$ حيث تمثل c_i e_j صفا من الأنطولوجية تحالفا لها من الأنطولوجية الهدف على اثر تطبيق مقياس من مقاييس التشابه. اذا اتفقت المصادر الأربعة على تحالف معين لصف معين فان هذه الصفوف يتم الاستغناء عنها من النمذجة المقترحة مثلما هو الحال بالنسبة للصف *Paper* . يتمثل اطار الفطنة Θ الخاص بالجدول الثاني في ما يلي :

$\Theta = \{(PaperAbstract, Abstract), (PaperAbstract, Paper), (Document, Conference_Document), (Document, Committee), (Document, Co-chair), (Document, Paper), (Preference, Conference), (Preference, Review_Preference)\}$

يقدم الجدول الثالث نتائج تطبيق مختلف مقاييس التشابه في اطار نظرية الأدلة، تفسر هذه النتائج على أنها كتل احتمال ابتدائية.

تقنية معجمية	مسافة هامينق	مقياس	مسافة ليفنشتاين	
1.000	1.000	1.000	1.000	Paper
0.762	0.385	0.795	0.615	PaperAbstract
0.910	0.125	0.638	0.421	Document
0.740	0.700	0.670	0.700	Preference

: نتائج تطبيق مقاييس التشابه

فمثلاً في ما يخص *Paper* يبين الجدول أن المصادر ا
1.000 *Paper* من الأنطولوجية الهدف كالتالي :

$$m^{Slev}(Paper, Paper) = 1.000, m^{Sjaro}(Paper, Paper) = 1.000, \\ m^{Sham}(Paper, Paper) = 1.000, m^{Slex}(Paper, Paper) = 1.000.$$

Paper

PaperAbstract

فان المصدرين S_{ham} لا يسندان نفس الكتلة.

$$m^{Slev}(PaperAbstract, Abstract) = 0.615, m^{Sjaro}(PaperAbstract, Paper) = 0.795, \\ m^{Sham}(PaperAbstract, Paper) = 0.385, m^{Slex}(PaperAbstract, Abstract) = 0.762.$$

يبين مختلف المقاييس فان ادارته تتم عند الجمع بين مختلف نتائج المصادر
و ذلك عبر تطبيق القواعد الجمعية المقدمة آنفا. يبرز
الجمعية كوسيلة

	الجمع الخياري	قاعدة يافر		
0.1222	0.1222	0.1108	0	(Preference, Conference)
0.0968	0.0968	0.1108	0	(Preference, Review_Preference)
0.1113	0.1113	0.1108	0	(Co_author, Co_chair)
0.0443	0.0443	0.1108	0	(Co_author, Contribution_Co-author)
0.1027	0.1027	0.1108	0	(PaperAbstract, Abstract)

0.0899	0.0899	0.1108	0	(PaperAbstract, Abstract)
0.1757	0.1757	0.1108	0	(ProgramCommittee, Program_Committee)
0.0547	0.0547	0.1108	0	(ProgramCommittee, Committee)
0.2025	0.2025	0.1134	1	(Chairman, chair)

: نتائج تطبيق القواعد الجمعية

5

اقترحنا في هذه المقالة تصورا لادارة التضارب اثر المطابقة بين أنطولوجيتين. عن التحالفات التي تجمع بين صفوف هاتين الأنطولوجيتين و ذلك عبر استعمال مقاييس تشابه . فاطر تحديد في الأنطولوجية الهدف لكل صف من صفوف ولوجية المصدر تتم ادارة التضارب بتطبيق نظرية الأدلة. نعتبر مقاييس التشابه مصادرا للمعلومات و تمثل النتائج المتحصل عليها اثر استعمال هذه المقاييس على أنها كتل احتمال ابتدائية. تتم ادارة التضارب اثر المطابقة بين أنطولوجيتين و ذلك عبر الجمع بين كتل مختلف المص خلال تطبيق قواعد جمعية مختلفة.

اقتصرنا في هذه المقالة على المطابقة بين الأنطولوجيات و ذلك بالبحث عن ايجاد تحالف بين الصفوف المتشابهة عبر التطرق الى تقنيات قائمة على المصطلحات. يمكن لنا في المستقبل أن نطور عملنا و ذلك بالبحث عن تحالفات بين الأفراد أو حتى الخصائص بتطبيق التقنيات الهيكلية أو الدلالية. فالاقتصار على تقنيات المصطلحات مكن من ظهور تضارب. ان استعمال تقنيات أخرى للمطابقة يمكن حتما من الاهتمام بمختلف جوانب الكيانات كالعلاقة مثلا بين كيان و مختلف الكيانات الاخرى. في هذه الحالة ستتم ادارة التضارب بالاهمية.

كما اقتصرنا في هذه المقالة باقتراح تصور قائم على ادارة التضارب اثر الجمع بين مختلف المعلومات المتأتية من مقاييس التشابه. يمكن اثراء هذا التصور بالاهتمام بادارة التضارب قبل الجمع بين المعلومات و ذلك بتقدير ضمانية مقاييس التشابه عبر اضعاف معلومات المقاييس

- [1] T.Berners-Lee, J.Hendler and O.Lassila. The semantic web, Scientific American, volume 284(5), 34-43, 2001.
- [2] J.F.D. Kengue, J. Euzenat, and P. Valtchev. Alignement d'ontologies dirigé par la structure. In Y. A. Ameur (Ed.), CAL, Volume RNTI-L-2 of Revue des Nouvelles Technologies de l'Information, 155, 2008.
- [3] J.Euzenat and P. Shvaiko. Ontology Matching. Springer-Verlag, 2007.
- [4] A.Dempster. Upper and lower probabilities induced by a multivalued mapping. Verlag, Annals of Mathematical Statistics 38, 325-339, 1967.
- [5] G.Shafer. A mathematical theory of evidence, Princeton university press, 1976.
- [6] M.Ehrig and S. Staab. Qom - quick ontology mapping. In Proceedings of the International Semantic Web Conference (ISWC04), Springer-Verlag LNCS 3298, 289-303, 2004.
- [7] E. Rahm and P.A. Bernstein. A survey of approaches to automatic schema matching. The International Journal on Very Large Data Bases 10, 334-350, 2001.
- [8] P.A.V. Hall and G. R. Dowling. Approximate string matching. ACM Computing Surveys 12(4), 381-402, 1980.
- [9] R. R. Yager. On the Dempster-Shafer framework and new combination rules. Informations Sciences 41, 93-137, 1987.
- [10] P. Smets. Belief functions: The disjunctive rule of combination and the generalized bayesian theorem. International Journal of Approximate Reasoning 9(1), 1-35, 1987.
- [11] D. Dubois and H. Prade. Representation and combination of uncertainty with belief functions and possibility measures. Computational Intelligence 4, 244-264, 1988.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Managing conflict in ontology matching

Abstract. The ontology matching represents a great interest in the semantic web. In fact it tends to mitigate the effect of semantic heterogeneity and to facilitate the interoperability between systems which use distributed and heterogeneous ontologies. The ontology matching consists in finding correspondences between ontologies and thus by applying different techniques based on similarity measures. In order to improve the result of the matching, many measures may be used simultaneously and this can lead inevitably to a conflict between the results produced by each measure. In this paper, we

propose a new approach for managing the conflict after matching ontologies. We apply the Dempster-Shafer theory and thus by combining the results produced by the different measures. We use for that purpose adequate combination rules.

Keywords: ontology matching – alignments – similarity measures – conflict – Dempster-Shafer theory – combination rules.

Ontology	أنطولوجية
Ontology matching	/
Semantic web	/ الواب ذات الدلالات اللفظية
Semantic heterogeneity	التباين الدلالي
Interoperability between systems	التوافق بين الأنظمة
Heterogeneous ontologies	أنطولوجيات متباينة
Similarity measures	مقاييس التشابه
Conflict	
Dempster-Shafer theory	نظرية الأدلة / نظرية المعقولة
Conflict management	
Combination rules	قواعد جمعية
Alignments/ correspondences	
Knowledge sharing	
Concepts	مفاهيم
Specialization	تخصيص
Entities	كيانات
Granularity levels	مستويات مختلفة من التفاصيل
Representation languages	لغات تمثيل
Semantic relations	علاقات دلالية
Individuals	
Information sources	
Information discounting	
Confidence degree	الدرجة الضمانية
Eliminate the conflict	
Redistribute the conflict	اعادة توزيع التضارب
Conflict modeling	
Web Ontology Language	لغة وجودية الواب
Constructors	

Instances	مثيلات
Axioms	بديهيات
Hierarchy	
Parameter	
External resources	موارد خارجية
Thesaurus	
Input	
Output	
Import	توريد
Interpret the matching	تفسير المطابقة
Combined similarity values	قيم التشابه المجمعة
Threshold	
Class	
OWL ontology	أنطولوجية وجودية الواب
Terminological techniques	تقنيات المصطلحات
Syntactic techniques	تقنيات لغوية
String	
Lexical techniques	تقنيات معجمية
Synonym	
Homonym	
Structural techniques	تقنيات هيكلية
Attributes cardinality	أصولية الصفات
Properties transitivity	
Taxonomic relations	علاقات تصنيف
Semantic techniques	تقنيات دلالية
Data model	نماذج البيانات
Validation	
Deductive techniques	تقنيات استنتاجية
Propositional formula	صيغة تصريحية
Levenshtein distance	مسافة ليفنشتاين
Jaro measure	مقياس جارو
Hamming distance	مسافة هامينغ
Uncertainty	
Imperfection	
Frame of discernment	
Exhaustive and exclusive hypotheses	فرضيات شاملة و حصرية

Single hypotheses	فرضيات أحادية
Disjunction of hypotheses	المفارق بين الفرضيات
Empty set	
Basic belief assignment	كتلة الاحتمال الابتدائية
Belief function	وظيفة الاعتقاد
Plausibility function	وظيفة المعقولية
Poster	
Total ignorance	جهل كلي
Data fusion	انصهار البيانات
Conjunctive combination	
Disjunctive combination	الجمع الخياري
Mixed combination	
Dempster's combination rule	قاعدة الجمع لديمستر
Normalization	تطبيع
Closed-world hypothesis	ضحية
Open-world hypothesis	ضحية
Smets' rule	
Null mass	كتلة ملغية
Yager's rule	قاعدة ياجر
Couple	
Source ontology	الأنطولوجية المصدر
Target ontology	الأنطولوجية الهدف

استخدام خوارزميات مستمدة من الطبيعة في نظام متعدد الوكلاء لحل مشكلة كشف حواف صورة

سليم شيخي
معهد الإعلام الآلي
مخبر تصميم وانجاز الأنظمة المعقدة
جامعة منتوري، قسنطينة - الجزائر

السعيد العبابد
معهد الإعلام الآلي
مخبر تصميم وانجاز الأنظمة المعقدة
جامعة منتوري، قسنطينة - الجزائر

البريد الإلكتروني : slchikhi@yahoo.com

البريد الإلكتروني : s.labed@yahoo.fr

الخلاصة. لعملية كشف حواف صورة أهمية كبيرة، نظرا لتطبيقاتها المتعددة في مجال معالجة وتحليل الصور: كتحليل الصور الطبية، كشف الوجه والتعرف عليه، كشف السيارات، التعرف على الخطوط وغيرها. في هذا الإطار نقترح طريقة، تقوم أساسا على نظام متعدد الوكلاء، يستخدم نظام السبورة كوسط اتصال بين أعضائه. حيث نوزع مجموعة وكلاء على التمثيل المستوي للصورة، بحيث تمنح لكل وكيل القدرة على التعرف على البكسل المرفق به، إن كان ينتمي إلى المنطقة المتجانسة المطلوب البحث عنها. يبدي الوكيل سلوكا بسيطا يتمثل في تعيين البكسل والتوالد أو سلوكا آخر يتمثل في الانتشار مما يسمح في نهاية المطاف، بانبثاق ظاهرة معقدة إجمالا، تتمثل في تجزئة صورة إلى مناطق متجانسة. لقد قمنا بتجسيد هذه الطريقة باستعمال قاعدة البرمجة نت لوغو نظرا لفعاليتها في عملية المحاكاة المبينة على نظام متعدد الوكلاء. ونظرا للعدد الكبير لقيم الوسائط المستعملة، استخدمنا خوارزم وراثي لإيجاد أحسن القيم. كما استخدمنا خوارزم محاكاة التلدين لإيجاد توزيع أولي فعال للوكلاء يسمح بتسريع عملية البحث.

الكلمات الجوهرية. الأنظمة المعقدة المتأقلمة، كشف الحواف، الخوارزمي الوراثي، الانبثاق، نظام متعدد الوكلاء ، نظام السبورة.

1. مقدمة

النظام المعقد هو نظام يتكون من عدة عناصر متجانسة وغير متجانسة، تتفاعل فيما بينها بطريقة غير خطية مما يولد ديناميكية تسمح بظهور نظام متكامل وموحد يختلف عن مجموع أجزائه إذا أخذت عن أفراد [حساس، 2003]. يمكن تمييز مستويين :

المستوى الموضوعي : يمثل الكيانات الأساسية للنظام مع خصائصها المحلية.

المستوى الإجمالي : يمثل مجموع النظام بخصائصه الجديدة والتي لا نجد لها أثرا في المكونات الأساسية للنظام. نتكلم حينئذ عن ظاهرة انبثاق خصائص جديدة.

توجد في الطبيعة عدة أنظمة معقدة كخلية النمل، المخ، الخلية، جهاز المناعة... كما توجد كذلك أنظمة معقدة اصطناعية مستوحاة من الطبيعة، كالخوارزمي الوراثي، نظام المناعة الاصطناعي، الخوارزميات العصبية والتلقائية الخلوية. تتميز هذه الأنظمة بالعدد الهائل من مكوناتها الأساسية الموزعة والمتفاعلة فيما بينها بطريقة غير خطية، حيث يتميز محيط التفاعل بالتغير الدائم في غياب تام لمراقب مركزي للنظام. تعتبر الأنظمة المعقدة المتأقلمة نوعا خاصا من الأنظمة المعقدة، حيث تتميز بالقدرة على التأقلم مع المتغيرات الطارئة في المحيط، ويمكن تلخيص خصائصها في : الاستقلالية، التأقلم، التنظيم الذاتي و الانبثاق [ليو ومن معه، 2005]. تتفاعل مكونات هذه الأنظمة حسب قواعد سلوكية معينة في محاولة التأقلم مع المتغيرات التي تطرأ على المحيط، مما يسمح لها باكتساب خبرة تستغل فيما بعد لتحديد السلوك العام للنظام.

إن ظاهرة الانبثاق هامة جداً، لأنها تعبر في حقيقة الأمر عن نظام غير قابل للتجزئة على المستوى الإجمالي مبني على تواصل و تفاعل كياناته الأساسية على المستوى الموضوعي. إن إمكانية التأقلم على المستوى الموضوعي تجعل النظام أكثر مرونة وقوة، رغم بساطة مكوناته الأساسية [ميلر، 2003]. لقد عرف مرفن منسكي [منسكي، 1986] مفهوم ظاهرة الانبثاق كما يلي: " يمثل الانبثاق الظواهر التي لا يمكن التنبأ بها في نظام معقد و غير متضمنة في أي جزء من أجزائه". إن خير مثال على ذلك، هو خلية النمل الطبيعية، فالنملة كائن حي عديمة الذاكرة، محدودة الذكاء و ذات دورة حياة قصيرة، و مع ذلك تتمتع بقدرة فائقة على تكوين مسالك نموذجية بين مساكنها و أماكن تواجدها. تبحث النملة بشكل عشوائي عن أماكن تواجدها، وتتواصل مع بقية أفراد مجموعتها باستخدام مادة كيميائية تسمى فيرومون، تفرزها على المسار الذي تسلكه. تتحسس بقية أفراد خلية النمل المنتشرة عشوائياً هذه المادة و تتبع المسار الحاوي عليها، لتصل بذلك إلى مكان وجود النملة التي اكتشفت المصدر الغذائي أولاً. يتميز سلوك النمل (الكيانات الأساسية للنظام) على المستوى الموضوعي بالبساطة، حيث يتمثل في التحرك العشوائي بحثاً عن أماكن تواجدها مع إفراز مادة الفيرومون أو تتبع المسار الحاوي عليها. المستوى الإجمالي لهذا النظام يتمثل في انبثاق ظاهرة معقدة و ذكية تتمثل في إيجاد المسلك النموذجي، أو بعبارة أخرى إيجاد أقصر طريق بين مساكن النمل و مصدر الغذاء. يلعب المحيط في هذه الأنظمة دوراً بارزاً، فعلى المستوى الموضوعي يعتبر وسطاً للتواصل. التواصل يمكن أن يكون مباشراً بين مكونات النظام عن طريق تبادل الرسائل، و غير مباشر عن طريق التغييرات الطارئة في المحيط. أما على المستوى الإجمالي فيمثل ذاكرة مشتركة تخزن فيها الديناميكية الناتجة عن تفاعل مكونات النظام مما يسمح بالتأثير على التفاعلات اللاحقة وتوجيهها. تعتبر الأنظمة المتعددة الوكلاء أداة فعالة لتمنجة أنظمة غير متجانسة، معقدة، متغيرة، غير خطية وتطورية و إظهار قدرات ذكاء هائلة وأكثر شمولاً مقارنة بقدرات الوكلاء على الأفراد. تتمثل ظاهرة الانبثاق في هذا المقال، في تجزئة صورة وبصفة أدق كشف حواف صورة. الطريقة المقترحة مستمدة أساساً من عمل جيمس ليو [ليو ومن معه، 1999] مع إضافة مفهوم نظام السبورة كوسط غير مباشر للاتصال بين مكونات النظام. نقوم بتوزيع مجموعة وكلاء على التمثيل المستوي للصورة مع منح كل وكيل القدرة على التعرف على البكسل المرفق به، إن كان ينتمي إلى المنطقة المتجانسة المطلوب البحث عنها، وذلك اعتماداً على قيم التباين النسبي، المعدل الجهوي والانحراف المعياري الجهوي لشدة سويات الرمادي. يبدي كل وكيل سلوكاً بسيطاً، يتمثل في تعيين البكسل والتوالد أو سلوكاً آخر يتمثل في الانتشار، مما يسمح في نهاية المطاف بالانبثاق ظاهرة شاملة تتمثل في تجزئة صورة. في بداية العملية، تتحرك مجموعة الوكلاء بطريقة عشوائية على الصورة، عندما يتمكن وكيل ما من التعرف على بكسل ينتمي إلى المنطقة المتجانسة حسب معيار معين يقوم بتعيين البكسل و توليد عدد معين من الوكلاء وتوزيعهم حوله في اتجاهات مختلفة مع تحديث السبورة، مما يسمح بتبادل المعلومة مع الوكلاء الآخرين هذه المعلومة تتمثل في أفضل اتجاه ينبغي اختياره ليكون البحث مثمراً. يقوم الوكلاء الأبناء بنفس دور الوكيل الأب أي البحث عن البكسلات التي تنتمي إلى المنطقة المتجانسة. إن سلوك الانتشار يتمثل في التحرك على الصورة مع استشارة دورية للسبورة في حالة عدم تمكنه من إيجاد بكسل ينتمي إلى المنطقة المتجانسة. إن النظام متعدد الوكلاء المستعمل يعتمد على بساطة بحيث كل وسيط يأخذ قيم معنية، كما أن سوء اختبار قيمة لوسيط ما قد يؤدي حتماً إلى نتائج غير مرغوب فيها وخاطئة. ونظراً لصعوبة اختيار القيم المناسبة قمنا باستخدام الخوارزميات الوراثية لإيجاد أفضل القيم لنموذج الحل. ونظراً كذلك لتأثير الوضعية الأولية للوكلاء على سرعة عملية البحث استخدمنا خوارزم محاكاة التلدين لإيجاد توزيع أولي فعال.

لقد قدمت عدة أعمال خاصة بالكشف عن الحواف، فقد اقترح منهج مبني على خوارزمي خلية النمل لكشف حواف صورة ثلاثية الأبعاد وذلك باستعمال نظام متعدد الوكلاء [معزوزي ومن معه، 2009]. من جهة أخرى اقترح منهج مستمد من الطبيعة (الحياة الاجتماعية للعنكبوت) أساسه نظام متعدد الوكلاء [جمام ومن معه، 2009]. جيمس ليو [ليو ومن معه، 1999] قدم طريقة تأقلمية أساسها مجموعة وكلاء متفاعلة لتجزئة صورة طبية IRM. عموماً اقترحت عدة طرق لحل مشكل كشف الحواف أساسها الخوارزميات العصبية [فلاح و أرفان، 2009]، محاكاة التلدين [بهادير و سردار، 2010]، خلية النمل [دوسيان و شيان شانغ، 2008] أو التلقائية الخلوية [كمار و ساهو، 2009].

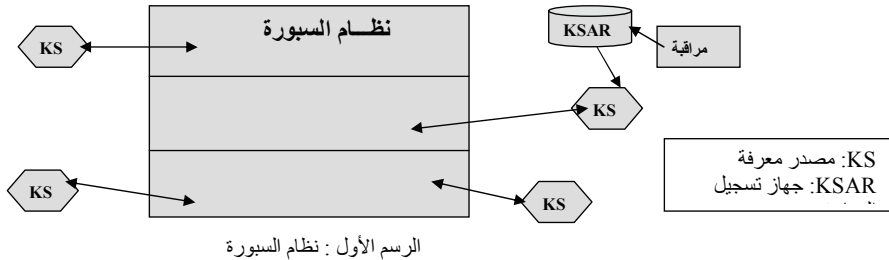
1.2 كشف الحواف

تجزئة صورة هي العملية التي تقسم صورة ما إلى أجزاء أو أشياء مكونة لها. تعتبر التجزئة أكثر العناصر أهمية في التحليل الآلي للصورة لأن الأشياء أو المكونات الأخرى التي هي موضع اهتمام تستخلص من الصورة في هذه المرحلة من أجل المعالجات اللاحقة، مثل الوصف والتعرف. تبني خوارزميات تجزئة الصورة عادة على إحدى الخاصيتين الأساسيتين لقيم سويات الرمادي وهما : الانقطاع والتشابه. في الفئة الأولى (تصور حدي) : تجزأ صورة ما بناء على تغيرات حادة في السوية الرمادية. وتهتم هذه الفئة عادة بكشف الحواف، تمثل الحافة الحد بين منطقتين متجانستين من الصورة. المنطقة المتجانسة تمثل منطقة من الصورة يتميز عناصرها بنفس الخصائص (الشدة، اللون، النسيج، ...)، في الفئة الثانية (تصور جهوي) : تجزأ صورة بناء على تشابه قيم السويات الرمادية أو بعبارة أخرى البحث عن مناطق في الصورة ذات خصائص متجانسة (الشدة، اللون، النسيج، ...) بحيث يمكن التمييز بين المنطقة المعنية والمناطق الأخرى المحيطة بها. إن الطرق الرئيسية المستعملة في هذه الفئة من الخوارزميات مبنية على التعريب وتوسيع المناطق ودمجها. من المهم أن نشير إلى أنه لا توجد طريقة مثلى موحدة يمكن الاعتماد عليها، وذلك لأن الصورة عادة ما تكون معقدة (نسيج، إضاءة، أجزاء صغيرة). لكن هذا لا يمنع من وجود معايير معينة لقياس مدى نجاعة طريقة ما.

2.2 نظام السبورة

تعتبر السبورة منطقة مشتركة (ذاكرة مشتركة) يتمكن خلالها مجموعة وكلاء من تبادل المعلومات والمعارف على النحو التالي :

- يبدأ اتصال الوكلاء عن طريق الكتابة على السبورة.
 - يقوم الوكلاء بالبحث عن معلومات جديدة مستقاة من السبورة بحيث تكون لهم القدرة على غريبتها واختيارها.
 - يجب على الوكلاء التسجيل في بوابة مركزية للحصول على رخصة الكتابة على السبورة.
- يعتبر نظام السبورة نموذجا قويا للحل الموزع لمختلف المشاكل المعقدة. يمكن تصور الإستعارة التالية لعمل نظام السبورة [جرارد، 1999] : "تصور مجموعة من الخبراء جالسين أمام سبورة كبيرة. يقوم الخبراء بالتعاون فيما بينهم لإيجاد حل لمشكل ما وذلك باستعمال السبورة. تبدأ العملية عند كتابة نص المشكل المطروح و المعطيات الأولية المتوفرة، يقوم الخبراء بمعاينة دورية للسبورة، من أجل المساهمة عن طريق تقديم خبراتهم. عندما يتمكن خبير ما من إيجاد معلومة تساهم في إيجاد الحل، يقوم بتسجيلها على السبورة مما يسمح له بتبادل الخبرات مع بقية الوكلاء. تستمر هذه العملية حتى إيجاد الحل للمشكل المطروح". (الرسم الأول)



3.2 الخوارزمي الوراثي

يعتبر جون هولند أول من أدرج الخوارزمي الوراثي سنة 1960م، في كتابه: "التألق في الأنظمة الطبيعية والإصطناعية" [هولند، 1975]. يعتبر الخوارزمي الوراثي من أهم تقنيات الذكاء الإصطناعي، حيث يستعمل في مجال تعليم الآلة (أنظمة التصنيف)، ومجال البحث عن الحل الأمثل من مجموعة حلول متوفرة لمشكلة بحث ما، ولا سيما عندما يكون فضاء الحلول المحتملة كبير جداً. يستخدم الخوارزمي الوراثي علم الوراثة كنموذج لإيجاد الحلول المثلى، حيث تعتبر مشكلة الأمثلية هي البيئة، والحلول هي الأفراد التي تعيش في هذه البيئة. والأفراد هي أرقام ثنائية أو مجموعة أخرى من الرموز المنتهية. ومن أجل إيجاد الحل الأمثل يجب تشفير الحلول الممكنة لتمثيلها على شكل سلاسل مشابهة لسلاسل الصبغي ومن ثم تطبيق (وبشكل عشوائي) بعض العمليات البيولوجية (النسخ، التصلب، الطفرة) لإنتاج الحل الأمثل. ومن محاسن الخوارزميات الوراثية: التوازي، سهولة اكتشاف الأمثلية، جيدة للمسائل المتعددة الوسائط ومقاومتها للوقوع في مصيدة الأمثلية المحلية. أما محدوديتها فتتمثل في مشكلة تعيين تابع اللياقة، تمثيل المشكلة، واختيار معايير مختلفة مثل حجم السكان، معدل الطفرة، معدل التصلب، طريقة انتقاء الأفراد. ويمكن تلخيص عمل خوارزم وراثي في ما يلي:

```
Genetic algorithm()
{
t:=0; // initial time
initPopulation(P) // initialisation of the chromosomes population
evaluate(P) // evaluate the fitness of all chromosomes
while not terminated do // evolution cycle
{
t:=t+1;
P':=generate(P) // augmented population obtained by reproduction step
cross_over(P') // crossing over step
mutate(P') // mutation step
evaluate(P') // P' chromosomes fitness evaluation
P:=select(P') // selection step
}
}
```

في الطريقة المقترحة، نعتبر مشكلة استكشاف فضاء الوسائط مشكلة أمثلية، حيث نقوم بتعيين تابع اللياقة الذي نريد تحسينه. إن هذه العملية صعبة في نظام محاكاة متعدد الوكلاء وذلك لسببين: أولاً، تعيين تابع اللياقة لا يقوم على عمليات حسابية فقط بل على تقدير عمل ما، ثانياً، صعوبة التقدير الكمي للظواهر المنبثقة.

4.2 خوارزم محاكاة التلدين

فكرة عمل هذه الخوارزمي، تحاكي فكرة عملية انصهار الصلب في المعادن. بحيث يتم التسخين بدرجات حرارة عالية جداً، ثم عمل تبريد محكم وبطأً. وذلك لزيادة حجم البلورات وتقليل تشتتها. بحيث تتحرر الذرات من مكانها بفعل الحرارة العالية، وعند عمل التبريد البطيء، فإن هذه الذرات تبدأ بالتوزيع عشوائياً بحيث تأخذ وضع أفضل من ذي قبل وبأقل جهد. عندما يبدأ الانصهار يتم توليد حل أولي للمشكلة وتستخدم كأول حل. درجة الحرارة بعدئذٍ تنخفض بشكل منتظم. ويتم إيجاد الحلول المجاورة للحل الحالي، إذا كانت قيمة تابع التقييم أعلى من قيمة الحل الحالي يصبح الحل المجاور هو حل للمسألة. إذا كان الحل المجاور يعطي قيمة لتابع التقييم أدنى من القيمة التي يعطيها الحل الحالي، يبقى الحل المجاور هو حل المسألة إذا تم تحقق معيار معين. إن قبول الحلول الدنيا يسمح للبحث في أماكن مختلفة من سلسلة ملائمة من الحلول في محاولة للوصول إلى الحل الأمثل العام. إن متابعة عمليتي البحث وتقييم الحلول المجاورة تستمر حتى تحقق معيار ما. ويمكن تلخيص عمل خوارزم محاكاة التلدين في ما يلي:

```

SimulatedAnnealing()
{
    solution := randomSolution()
    T := T0
    while termination conditions not met do
    {
        s := chooseRandomlyFrom(Neighbours(solution))
        if (FITNESS(solution) < FITNESS(s)):
            solution := s
        else
            solution := s with probability
            exp(-(FITNESS(solution) - FITNESS(s))/T) .
        endelse
        Update(T)
    }
}

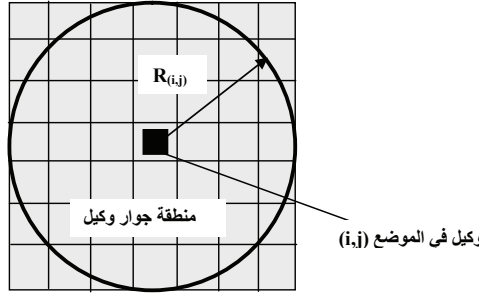
```

3. الطريقة المقترحة

تقوم مجموعة من كيانات مستقلة (وكلاء متفاعلون) بالانتشار على التمثيل المستوي للصورة S والذي يمثل في حقيقة الأمر مصفوفة ثنائية الأبعاد M . كل عنصر منها يمثل بكسل واحد معرف بموقعه (i,j) ولونه. مجموعة البكسلات تنتمي إلى مختلف التجزئات المتجانسة للصورة S . يمكن لأي وكيل ملاحظة جواره وبالتالي فحص البكسل المرفق به إن كان ينتمي أو لا لتجزئة متجانسة نبحث عنها، مما يسمح بإبداء سلوكين متفاعلين : التوالد والانتشار، كرد فعل على الحدث الموضعي. إن محيط التفاعل في هذه الحالة هو الصورة.

1.3 الحدث الموضعي

يقوم كل وكيل يقع على البكسل المعرف بالموقع (i,j) بملاحظة دورية للمحيط (مجموعة البكسلات المحيطة به). تتم الملاحظة بحساب قيم المعايير الثلاثة : درجة التباين النسبي، المعدل الجهوي والانحراف المعياري الجهوي لشدة سويات الرمادي [ليو ومن معه 1999]. إن هذه الملاحظة تسمح باختيار السلوك الموافق والملائم. يعرف جوار وكيل بمنطقة دائرية قطرها R ومركزها (i,j) (الرسم الثاني).



الرسم الثاني : منطقة جوار وكيل.

يمكن تحديد منطقة متجانسة في موضع ذو الاحداثيات (i,j) للصورة S باستعمال المعايير التالية :

- معيار شدة التباين : $G_{(i,j)} \in (\eta_1, \eta_2)$
 - معيار المعدل الجهوي : $Mean_{(i,j)} \in (M_1, M_2)$
 - الإنحراف المعياري الجهوي : $Std_{(i,j)} \in (D_1, D_2)$
- بحيث : $D_1, D_2, M_1, M_2, \eta_1, \eta_2$ تمثل ثوابت، لها علاقة مباشرة مع الصورة التي يراد تجزئتها.

يعرف معيار التباين النسبي بالعبارة (1) :

$$(1) \quad G_{(i,j)} = \sum_{\| (i,j) - (k,l) \| \leq R_{(i,j)}} p(i,j,k,l)$$

بحيث :

$$p(i,j,k,l) = \begin{cases} 1 & \text{if } \| I(i,j) - I(k,l) \| \leq \delta \\ 0 & \text{else} \end{cases}$$

R : نصف قطر منطقة الجوار للوكيل في الموضع (i,j).

I (i,j) : شدة سويات الرمادي في الموضع (i,j).

δ : عدد موجب ثابت يمثل العتبة.

العبارة التالية (2) تمثل المعدل الجهوي ، حيث N هو عدد البكسلات الموجودة في منطقة الجوار ذات المركز (i,j)

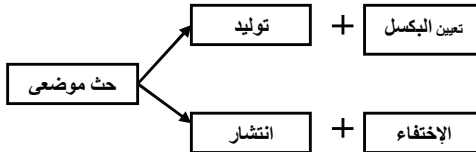
$$(2) \quad mean_{(i,j)} = \frac{1}{N} \sum_{\| (i,j) - (k,l) \| \leq R_{(i,j)}} I(k,l)$$

و أخيرا العبارة (3) تمثل الإنحراف المعياري الجهوي :

$$(3) \quad std_{(i,j)} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{\| (i,j) - (k,l) \| \leq R_{(i,j)}} (I(k,l) - mean_{(i,j)})^2}$$

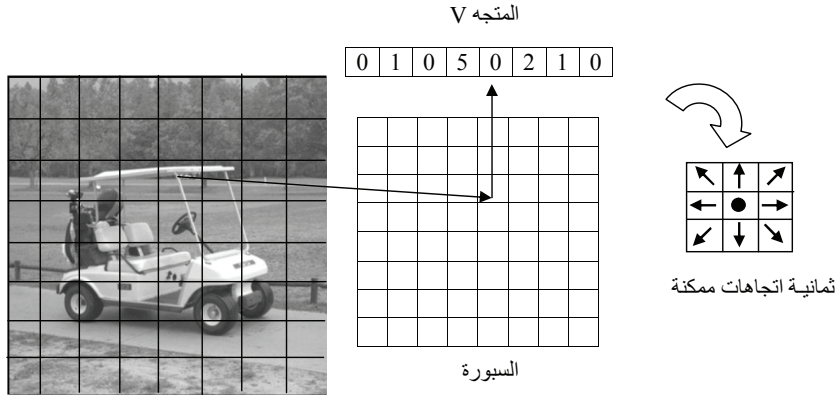
2.3 سلوك الوكيل

في بداية الأمر، توزع مجموعة من الوكلاء بطريقة عشوائية على الصورة، كل وكيل ينتشر على الصورة عن طريق اختيار اتجاه عشوائي وبخطوة مقدرة مسبقا مما يسمح باستكشاف أوسع وأنجع لفضاء البحث. ولتسريع عملية البحث استخدمنا خوارزم محاكاة التلدين لإيجاد توزيع أولي فعال للوكلاء. عندما يتمكن وكيل ما من إيجاد بكسل ينتمي إلى المنطقة المتجانسة التي نبحث عنها، يقوم بتعيينه وتوليد عدد معين من الوكلاء الأبناء، وتحديث المعلومات على السبورة ثم يصبح في الأخير غير نشيط. إن الهدف من تحديث السبورة هو نقل المعلومات لمختلف الوكلاء بإرشادهم لأحسن اتجاه يمكن اتباعه للوصول إلى المنطقة المتجانسة. يؤدي الوكلاء الأبناء نفس الدور. وفي حالة إذا لم يتمكن وكيل ما بعد فترة معينة من إيجاد بكسل ينتمي إلى المنطقة المتجانسة، فإنه يمكنه مراجعة السبورة، مما يسمح باختيار أحسن اتجاه يؤول إلى بحث منم (الرسم الثالث). مع التنبيه أن لكل وكيل دورة حياة محدودة إذا تعذرها يصبح غير فعال ويختفي من الصورة. إن التفاعلات بين الوكلاء وبساطة سلوكهم على المستوى الموضعي تؤدي في نهاية المطاف إلى انبثاق ظاهرة معقدة تتمثل في تجزئة صورة إلى مناطق متجانسة.



الرسم الثالث : سلوك وكيل

في هذه الطريقة المقترحة، يتم الإتصال بين الوكلاء بطريقة غير مباشرة وذلك عن طريق السبورة التي تعتبر وسط لتبادل المعلومات. تمثل السبورة بمصفوفة ذات بعدين (مثلا 8×8)، نرفق بكل عنصر من السبورة متجه V ذو 8 عناصر تمثل الاحتمالات المرافقة للاتجاهات الثمانية التي يمكن أن يتبعها الوكيل (الرسم الرابع). يوافق كل عنصر من السبورة منطقة معينة من الصورة. في المرحلة الابتدائية يكون المتجه V معدوماً، وفي حالة تمكن وكيل ما من إيجاد بكسل ينتمي إلى المنطقة المتجانسة بتابع الاتجاه d يقوم بنقل المعلومة إلى السبورة، عن طريق تحديث المتجه V الموافق لموضعه على الصورة.



4.3 التجسيد

تتميز طريقة الحل المقترحة ببساطة قواعد سلوك الوكلاء على المستوى الموضعي مما يسمح في نهاية المطاف بانبثاق ظاهرة معقدة على المستوى الإجمالي تتمثل في تجزئة صورة إلى مناطق متجانسة وبالتحديد كشف حواف صورة.

لقد استعملنا قاعدة البرمجة نت لوغو NetLogo لتجسيد هذا الخوارزمي، وذلك لبساطتها وتوفرها على خصائص الانتقالية والتنفيذ المتوازي، لأنها في حقيقة الأمر طوّرت باستعمال لغة البرمجة المشهورة جاوا JAVA. إن من أكبر إيجابيات نت لوغو هو القدرة على محاكاة سلوك عدد كبير من الوكلاء المتواصلة فيما بينها بشكل متوازي. تعتبر عملية اختيار الوسائط العامة من أكبر التحديات عند تجسيد الطريقة المقترحة، تتمثل هذه الوسائط في :

N : عدد الكيانات المستقلة (الوكلاء)

DR : دورة حياة وكيل

R : نصف قطر منطقة جوار وكي

P : خطوة الانتشار

NR : عدد الوكلاء الناتج عن سلوك التوليد.

لقد استعملنا خوارزمية وراثية لإيجاد أحسن القيم لهذه الوسائط مما يسمح بإنجاز مهمة الكشف عن الحواف في وقت قياسي وبدقة أكبر. يمثل تابع الكفاءة المستعمل في الخوارزمية الوراثي معيارا لنوعية التجزئة المحققة، في كل مرة نعطي قيم مختلفة للوسائط ونقارن النتيجة مع نتيجة أخرى محققة سابقا تمثل نموذج مقارنة. قمنا باستعمال مجموعة من الصور الحقيقية مع الصور المجزأة المرافقة لها لعملية تدريب الخوارزمية الوراثية. تابع الكفاءة يعطي بالعلاقة (4) :

$$(4) \quad F = \frac{\text{عدد البكسلات المعينة}}{\text{عدد البكسلات المعينة في نموذج المقارنة}}$$

إن أعلى قيمة للدالة F هي 1، وذلك في حالة التمكن من تعيين جميع البكسلات المنتمية إلى المنطقة المتجانسة. نعتبر عن كل حل بواسطة صبغي (الجدول الأول). طول الصبغي 13 خانة، إذن لدينا 2^{13} ترتيبية ممكنة.

0	1	1	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0
نصف قطر R	خطوة الانتشار P			عدد الوكلاء الناتج عن سلوك التوليد NR			عدد الوكلاء N			دورة حياة وكيل DR		

الجدول الأول: الشكل العام للصبغي

بعض القيم الممكنة للوسائط ممثلة في الجدول الثاني :

الرمز	N	الرمز	DR	الرمز	NR	الرمز	P
000	100	0000	3	000	1	00	1
001	200	0001	4	001	2	01	2
010	300	0010	5	010	3	10	3
011	400	0011	6	011	4	11	4
100	500			100	5	الرمز R	0 1 2
101	600			101	6		
110	700	1110	17	110	7		
111	800	1111	19	111	8		

الجدول الثاني : القيم الممكنة للوسائط التي يراد تحسينها.

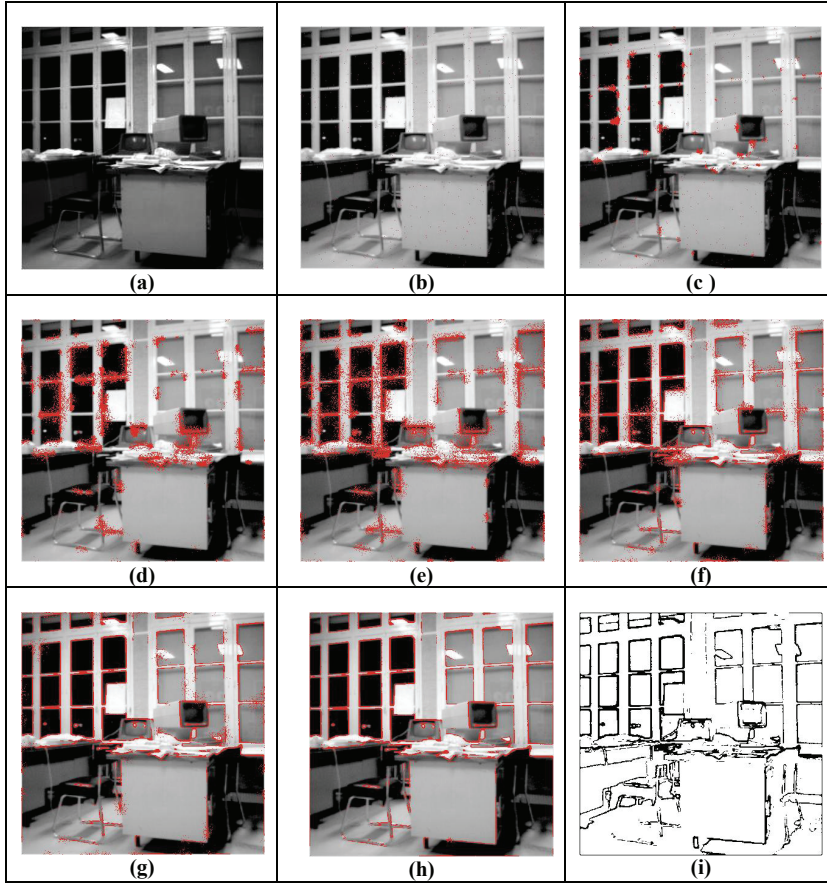
4. نتائج تجريبية

كما ذكرنا سابقا، استعملنا قاعدة البرمجة نت لوغو كمحيط للبرمجة لتجسيد هذا الخوارزمية. يقوم نت لوغو على نظام متعدد الوكلاء يسمح بمحاكاة الأنظمة المعقدة. في ما يلي بعض النتائج التجريبية المتحصل عليها (الرسم الخامس)، عند استعمال فئة من الوكلاء لكشف حواف صورة قياسها 512x512، تستعمل الثوابت و الوسائط الممثلة في الجدول الثالث.

δ	η_1	η_2	M_1	M_2	D_1	D_2	N	DR	NR	P	R
15	0	5	90	180	-	-	500	12	3	3	1

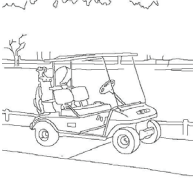
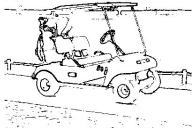
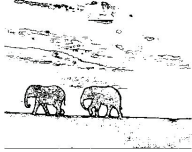
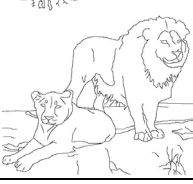
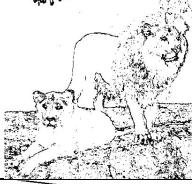
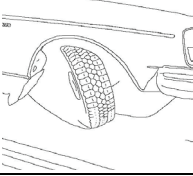
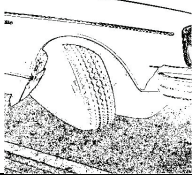
الجدول الثالث : الثوابت الوسائط المرفقة بفئة من الوكلاء

نلاحظ أن عدد الوكلاء المستعمل أقل بكثير عن عدد بكسلات الصورة (512x512=262144 بكسل)



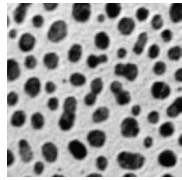
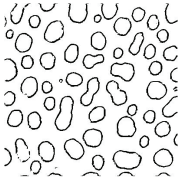
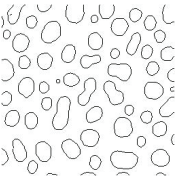
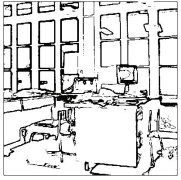
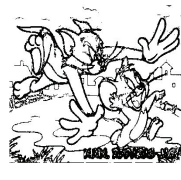
الرسم الخامس : مراحل عملية كشف الحواف

لتنفيذ الخوارزمي الوراثةي استعملنا مجموعة من الصور JPEG ذات سويات رمادي وقياس 512×512 بكسل، كل صورة تمثل مشهد طبيعي مرفق به صورة أخرى تمثل الحواف مرسومة باليد. دالة الكفاءة أو التحسين تمثل المسافة بين صورة الحواف المرسومة باليد والصورة التي تمثل نتيجة تنفيذ البرنامج المقترح. يستعمل الخوارزمي الوراثةي مجموعة من السكان تعدادها 32 فردا كل فرد يمثل قيم للوسائط التي يراد تحسينها. تحصلنا على أحسن النتائج عندما استعملنا عدد من الوكلاء يتراوح بين 400 و 800 مع دورة حياة بين 9 و 12 وبخطوة انتشار مقدار 2 أو 3. عدد الوكلاء الأبناء الناتج عن سلوك التوالد يمثل ثلث دورة الحياة. أما أحسن قيمة لنصف قطر منطقة جوار وكيل فهي 1 (الرسم السادس).

الصورة الأصلية ذات 256 سويات رمادي	خواف مرسومة باليد	الخواف (نتيجة تنفيذ البرنامج المقترح)
		
		
		
		
		
		

الرسم السادس : نتائج تجزئة صورة بعد عملية التدريب

النتائج التالية حصلنا عليها باستعمال 500 وكيل، مع دورة حياة $DR=15$ ، خطوة انتشار $P=2$ ، عدد الوكلاء الأبناء الناتج عن سلوك التوالد $PR=4$ و نصف قطر منطقة جوار وكيل $R=1$. (الرسم السابع).
يبين الرسم السابع نتائج تطبيق التصور المقترح و طريقتي كاني و بروتيت المعروفتين في ميدان معالجة الصور.

الصورة الأصلية	التصور المقترح	طريقة كاني Canny	طريقة بروتيت Prewitt
			
			
			
			
			

الرسم السابع : نتائج تجزئة صورة باستعمال التصور المقترح

5. الختام

قدمنا في هذا المقال طريقة تقوم أساسا على متعدد الوكلاء يستعمل خوارزمي وراثي و خوارزمي محاكاة التلدين. استخدم نظام السيورة كوسط اتصال بين الوكلاء. حيث نقوم بتوزيع مجموعة وكلاء على التمثيل المستوي للصورة، بحيث تمنح لكل وكيل القدرة على التعرف على البكسل المرفق به إن كان ينتمي إلى المنطقة المتجانسة المطلوب البحث عنها. يبدى كل وكيل سلوكا بسيطا: يتمثل في تعيين البكسل والتوالد أو سلوكا آخر يتمثل في الانتشار مما يسمح في نهاية المطاف، بانبثاق ظاهرة معقدة إجمالاً، تتمثل في تجزئة صورة إلى مناطق متجانسة. لقد قمنا بتجسيد هذه الطريقة باستعمال قاعدة البرمجة نت لوغو نظرا لفعاليتها في عملية المحاكاة المبنية على نظام متعدد الوكلاء. استخدم الخوارزمي الوراثي لإيجاد أحسن القيم للوسائط : عدد الكيانات المستقلة (الوكلاء)، دورة حياة وكيل، نصف قطر منطقة جوار وكيل ، خطوة الانتشار و عدد الوكلاء الناتج عن سلوك التوليد. ومن جهة أخرى استخدم خوارزمي محاكاة التلدين لإيجاد توزيع أولي فعال للوكلاء يسمح بتسريع عملية البحث : وذلك بتقليص تعدادهم الأولي ووضعهم في مواضع حسنة على الصورة. لقد كانت النتائج التجريبية مشجعة، مقارنة مع خوارزميات معروفة في هذا الميدان. كاعمال مستقبلية، ننوي استخدام النموذج المقترح في عملية الكشف عن الوجه في صورة.

6. المصادر و المراجع

[بهادير و سردار، 2010]:

Bahadir Karasulu, Serdar Korukoglu "A simulated annealing-based optimal threshold determining method in edge-based segmentation of grey scale image"
University, Computer Engineering Department, Bornova, Izmir, Turkey Elsevier 2010

[حساس، 2003]:

Hassas Salima, "Systèmes Complexes à base de Multi-Agents Situés", PhD Thesis,
University of Claude Bernard- Lyon 1, 2003

[جرارد، 1999]:

Gerhard W., "Multiagent Systems A Modern Approach to Distributed Modern
Approach to Artificial Intelligence", The MIT Press Cambridge, Massachusetts
London, England 1999

[جمام ومن معه، 2009]:

Djemame, S., Nekkache, M., and Batouche, M., "A Multi-Agent System for Image
Segmentation A Bio-Inspired Approach", CIIA 2009

[دوسيان و شيان شانغ، 2008]:

De-Sian Lu, Chien-Chang Chen. "Edge detection improvement by ant colony
optimization" Hsuan Chuang University, Taiwan - ScienceDirect 2008

[فلاح و أرفان، 2009]:

L. Fallah Araghi, M. Reza Arvan, "An Implementation Image Edge and Feature
Detection Using Neural Network", Proceedings of the International Multi Conference
of Engineers and Computer Scientists 2009 Vol I, Hong Kong

[كمار و ساهو، 2009]:

T. Kumar, G. Sahoo, "A Novel Method of Edge Detection using Cellular Automata", International Journal of Computer Applications 0975-8887 Vol 9 –N°4- November 2010

[ليو ومن معه، 1999]:

Liu, J., Tang, Y. Y., "Adaptive Image Segmentation With Distributed Behavior-Based Agents", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence", vol. 21, no. 6, pp.544-551, June 1999 doi: 10.1109/34.771323

[ليو ومن معه، 2005]:

Liu, J., Jin, X., and Tsui, K. C., "Autonomy Oriented Computing (AOC) Formulating Computational Systems with Autonomous Components", IEE Transactions on Systems, MAN, and Cybernetics- Part A: Systems and Humans, Vol. 35. NO. 6, 2005

[معزوزي ومن معه، 2009]:

Mazouzi, S., Guessoum, Z., et Michel, F., "Une approche multi-agent pour la segmentation d'images de profondeur à base d'objets polyédriques. Une nouvelle approche de segmentation d'images ", Technique et Science Informatiques 28(3) : 365-393 (2009).

[منسكي، 1986]:

Minsky M., "The Society of Mind", Simon and Schuster, New York, 1986

[ميلر، 2002]:

Müller J.P. "Des systèmes autonomes aux systèmes multi-agents : Interaction, émergence et systèmes complexes", HDR, 2002

[هولند، 1975]:

Holland J.H., "Adaptation in natural and artificial system", Ann Arbor, The University of Michigan Press, 1975

7. جدول الألفاظ

عربي	إنجليزي
كشف حواف	Edge Detection
نظام متعدد الوكلاء	Multi-Agent System
سبورة	Blackboard
نظام معقد متآلف	Adaptive Complex System
مستوى موضوعي	Micro-Level
مستوى إجمالي	Macro-Level
بكسل	Pixel
متفاعلة	Reactive
تفاعل	Interaction
نمذجة	Modeling
توالد	Breeding
انبثاق	Emergence

Fitness	كفاءة و لياقة
Autonomy	استقلالية
Simulation	محاكاة
Stimulus	حث
Simulated Annealing	محاكاة التلدين
Region Merging	دمج المناطق
Region Growing	تكبير المناطق
Grey Scale	سويات الرمادي
Segmentation	تجزئة
Contrast	تباين
Bio-Inspired	مستوحاة من الطبيعة
Thresholding	تعتيب
Chaotic	مشوش، فوضوي
Entity	كيان
Region Standard Deviation	الانحراف المعياري الجهوي
Portability	إنتقالية
Mutation	طفرة
Crossover	تصالب
Optimization	أمتلية
Approach	طريقة و منهج

8. الخلاصة باللغة الإنجليزية

Bio-inspired Algorithms in a Multi-agent System for Edge Detection

Said Labeled
MISC Laboratory, Mentouri University,
Constantine, Algeria
Email : s.labeled@yahoo.fr

Salim Chikhi
MISC Laboratory, Mentouri University,
Constantine, Algeria
Email : slchikhi@yahoo.com

In this paper, an agent based approach for edge detection is presented. It uses the blackboard system as a means of communication between agents. A population of agents is deployed on a two-dimensional representation of an image. Every agent is able to decide whether the pixel on which it is situated belongs or does not belong to the homogeneous region looked for, and thus to exhibit a reactive behaviour: breeding and labelling, or diffusion, allowing the emergence of a complex phenomenon at the global level. This phenomenon is the segmentation of the image. The behaviour of agents is inspired from the natural diffusion phenomenon. Simulated annealing algorithm is used to improve the initial solution. The approach has been implemented with the Netlogo platform which is a very powerful agent based simulator, and since the parameters space is very huge, a genetic algorithm has been used to lessen the complexity of the problem.

استرداد كائنات ثلاثية الأبعاد عن طريق تشابه الصور الظلية للأشكال

سعيد محمودي¹، محمد بنجلون¹، أحمد عبدالعال²

¹ قسم علوم الحاسب، جامعة مونس، كلية الهندسة، بلجيكا

Place du Parc, 20 Mons, B-7000, Belgium

² إدارة البحوث، جامعة نيومكسكو، الولايات المتحدة الأمريكية

MSC 3Res PO Box 30001 Las Cruces, NM 88001, USA

البريد الإلكتروني: {Said.Mahmoudi, Mohammed.Benjelloun}@umons.ac.be¹

aabdelali@research.nmsu.edu²

الخلاصة. نقدم في هذه الورقة نهجاً لفهرسة الكائنات ثلاثية الأبعاد واسترجاعها باستخدام ظل الكائنات الثلاثية الأبعاد. يتناول هذا العمل موضوع الفهرسة والتعرف على الأنماط في قواعد بيانات لصور كائنات ثلاثية الأبعاد باستخدام أوصاف ثابتة ثنائية الأبعاد من الصور الظلية لهذه الكائنات الثلاثية الأبعاد. ونقترح محرك بحث لثلاثيات الأبعاد يستند على مقارنة وجهات النظر للكائنات ثلاثية الأبعاد. في هذا البحث نقترح طريقتين آليتين للتحديد التلقائي للخصائص المميزة لكل وجهة نظر. وتتم مقارنة الشكل بين الصور الظلية للكائنات ثلاثية الأبعاد التي توصف بعدد محدود من الأشكال الثنائية الأبعاد من خلال طريقة مطابقة المحيط الذي يستند على مقياس واصف الفضاء.

الكلمات الجوهرية: استرداد الأشكال، مطابقة مقياس الفضاء، فهرسة ثلاثيات الأبعاد، ظل ثلاثيات الأبعاد.

1 مقدمة

على مدى العقدين الماضيين، حققت علوم الحاسب تقدماً معتبراً في مجال الاسترجاع بمساعدة الحاسوب وتحليل بيانات الوسائط المتعددة. البحث في الشبكة العنكبوتية عادة ما يكون مرتبطاً بالنصوص، الصور والصوت لكن التعامل مع البيانات ثلاثية الأبعاد لا يزال قيد التطوير. تحديد التشابه بين الصور مهمة أساسية في البحث والتصنيف للبيانات. علاوة على ذلك، أشارت عدد من الدراسات النفسية إلى أن شكل الظل أو الخيال مهم، وقد تكون كافية للتعرف على الكائن بنجاح.

التعرف على الكائنات الثلاثية الأبعاد المبني على الشكل أو المظهر الخارجي مشكلة أساسية في بحوث الرؤية بواسطة الكمبيوتر. هناك العديد من الطرق والأساليب المقترحة للتعامل مع هذه المسائل [1، 3]. ويمكن تصنيف هذه الأساليب إلى ثلاث فئات عريضة: (1) طريقة الاعتماد على الخصائص، حيث يتم حساب موجهات محلية أو عامة مباشرة من الكائن الثلاثي الأبعاد. الموجهات

المستخدمة عادة في هذا السياق تعتمد على وصف الأشكال الثلاثية الأبعاد وفقاً للخصائص الإحصائية، الميزات العامة أو المحلية، والرسوم البيانية أو مزيج من الخصائص السابقة، (2) الطريقة المبنية على الرسم البياني، حيث أن الكائن يوصف باستخدام الخصائص والسمات الطبولوجية [5]، والطريقة القائمة على الخصائص الهندسية (3)، حيث نحاول أن نجد تشوهات أو أخطاء حجمية، بالإضافة إلى طريقة البحث الثلاثي الأبعاد المعتمد على تعدد المناظر التي تستخدم مناظر الكائن الثلاثي الأبعاد. تفاصيل بعض هذه الدراسات الاستقصائية يمكن العثور عليها في [1، 2، 3، 4].

أوسادا ومن معه [7] اقترحوا لوصف الأشكال ثلاثية الأبعاد استخدام توزيعات الاحتمال للخصائص الهندسية محسوبة لنقاط أخذت عشوائياً من سطح أحد الكائنات. كثيراً ما تكون هذه الأساليب الإحصائية غير مميزة بما يكفي لجعل الفروق بين مختلف فئات الأشكال ظاهرة. كروكيت [6] وأوسادا [7] اقترحوا استخدام كل المعلومات اللازمة لتمثيل كائن ثلاثي الأبعاد على شكل أسطح في فضاء ثلاثي الأبعاد. واقترحوا طريقة لحساب نموذج توزيع شكل مضلعات من ثلاثي الأبعاد. لكن النتائج التي تم الحصول أظهرت محدودية الطريقة عندما لا تكون الشبكة منتظمة. علماً أن النماذج الثلاثية الأبعاد تأتي من مصادر مختلفة، وبالتالي فليس من الممكن دائماً للتحكم في مستوى الشبكة.

ماديمليس ومن معه [8] اقترحوا واصف وقع الشكل الثلاثي الأبعاد الذي يقوم على ظواهر الجاذبية الناتجة في المنطقة المحيطة بالكائن الثلاثي الأبعاد باستخدام قوانين نيوتن ونظرية النسبية العامة. الباحثون اثبتوا أن هذه الطريقة لا تتأثر بتحول الكائن. غير أن هذه الطريقة قد تنتج نتائج غير ذات صلة دلالية، حيث أنها فقط تستند على الميزات الهندسية ولا تأخذ في الاعتبار معلومات دقيقة المستوى.

أعمال أخرى اقترحت استخدام طرق المناظر المتعددة، المرتبطة باسترجاع الصورة الثنائية الأبعاد في الرؤية الآلية الثلاثية الأبعاد [9، 10]. إسحاق ويس [11] درس استخدام العلاقات الثابتة بين الكائنات الثلاثية الأبعاد والصور الثنائية الأبعاد للتعرف على الكائنات. هذه الطريقة تستند على اعتبار النماذج كنقاط ثابتة في الفضاء و تمثل ميزات الصور كخطوط في نفس الفضاء. ويتم التعرف على الكائنات عندما تتقاطع الخطوط المستمدة من الصورة ونقاط النموذج. مارتن واغروال [9، 10، 12] استخدموا مناظر متعددة لبناء نموذج حجمي لكائنات ثلاثية الأبعاد. وسمحت الخوارزمية المطورة بالتعلم والتدقيق، ولكن تتطلب المعرفة الصريحة عن كل منظر أثناء التعلم والتعرف.

ونقترح في هذه الورقة البحثية استخدام التمثيل المتعدد المناظر. ونقترح طريقتين لهذا التمثيل استناداً إلى تحديد المنظر الأمثل للكائن. الأسلوب الأول يركز على توصيف الكائنات ثلاثية الأبعاد بمجموعة من 7 مناظر مميزة، بما في ذلك ثلاثة رئيسية أربعة ثانوية. يحدد المنظر الأول، الثاني والثالث باستخدام تحليل القيم الذاتية لمصفوفة التباين المرتبطة بالكائن الثلاثي الأبعاد. أما المناظر الثانوية يتم الاستدلال عليها من خلال المناظر الرئيسية. الأسلوب الثاني يستند طريقة التجميع

استناداً إلى تشابه المطابقة بين الأشكال لتحديد المنظر الأفضل تمثيلاً. ويعتمد هذا الأسلوب على عملية تبدأ من عدد الكبير من المناظر، وتقوم بإقصاء المناظر المتشابهة بطريقة عودية تراجعية.

أما بخصوص مطابقة الأشكال الثنائية الأبعاد، فقد أنجز قدرٌ كبيرٌ من البحوث المتعلقة بتشابه الأشكال باستخدام حدود صور الظل. لأن الصور الظلية لا تحوي ثقوب أو علامات داخلية، وحدود الظل المرتبطة بالشكل تمثل منحنى مغلق واحد يمكن معاملته كطول قوس. في دراسة حسابية وضعها أولمان [13] استخدم مقياس قيم الفروق على الخيال لتصنيف الصور البسيطة الشبيهة بالرسوم المتحركة للكائنات المتشابهة. ومثل معالم محيط الكائن كمجموعة من قطع الخط تتميز بميزتين هما الموقع والوجهة. واستخدم ف. كاتسو و ج. تار [14] أيضاً تشابه الصور الظلية لتصنيف الصور.

لمعالجة تشابه إستعلامات و قاعدة البيانات ثنائية الأبعاد نقترح في هذا البحث الاسترداد القائم على تشابه الأشكال باستخدام واصف مقياس انحناء الفضاء. لتحديد كائن غير معروف من خلال منظر واحد، يطابق هذا المنظر مع جميع المناظر للكائنات ثلاثية الأبعاد الموجودة في قاعدة البيانات ويتم استرداد أفضل المطابقات. هذه الورقة البحثية مرتبة على النحو التالي: في الجزء 2 نقدم فهرسة الشكل استناداً إلى واصف مقياس انحناء الفضاء لحدود الظل. في الجزء 3 نشرح طريقتين مقترحتين لتمثيل الكائن عن طريق المناظر المتعددة. وفي الجزء الأخير، نعرض نتائج التجارب التي قمنا بها.

2 مطابقة مقياس انحناء الفضاء

لمقارنة مناظر الثلاثي الأبعاد، نعبر عن كل واحد منها بمحيط به، أنظر الشكل 1. استخدمنا من أجل هذا الغرض واصف مقياس إنحناء الفضاء. يعتبر هذا الوصف أحد المواضيع الأكثر بحثاً لمنحنيات الحدود المغلقة وأحد أكبر تطبيقاته المشهورة هو التقييس MPEG-7 [16]. ويستند أساساً على النواة الغوصية مع تزايد في الانحراف المعياري σ الذي يستخدم للتمهيد التدريجي للمحيط على مقياس مختلفة المستويات. واصف مقياس انحناء الفضاء يعتمد على تمثيل منحنيات الصورة γ التي تطابق محيط الكائن كما تظهر في الصورة؛ وهذا مفيد في عمليات المطابقة والتعرف. لحساب المنحنى γ الممثل للمحيط يستعمل الوسيط طول القوس. عموماً إن إستعمال الوسيط طول القوس يتم عندما يتطلب حساب فرق التشابه للواصف. ويتم حساب تمهيد المنحنى γ على مستويات متعددة باستخدام مرشح غوصي منخفض التردد يطبق على الحدود الأصلية للكائن. نقاط التحول لهذا المنحنى في كل مستوى توافق واصف مقياس إنحناء الفضاء [15].

نتيجة هذه العملية يمكن أن تمثل في مستوى (μ, σ) كصورة ثنائية تسمى صورة مقياس إنحناء الفضاء للمنحنى. ولكل σ لدينا منحنى معين له بدوره بعض نقاط انحناء صفر العبور. كلما إزداد σ فإن المنحنى يصبح أكثر تمهيداً وعدد النقاط المعابر انحناء صفر العبور تتناقص، أنظر الشكل 1.

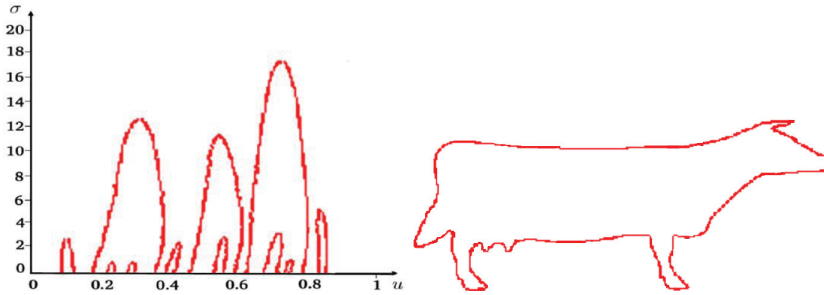
لمقارنة المؤشر استناداً إلى مقياس إنحناء الفضاء، قمنا باستخدام المسافة الجيوديسية. إذا أخذنا نقطتين $p_1(s_1, \sigma_1)$ و $p_2(s_2, \sigma_2)$ حيث $\sigma_1 < \sigma_2$ ، فإن بعديهما D يعرف على النحو التالي:

$$D((s_1, \sigma_1), (s_2, \sigma_2)) = \log \left(\frac{\sigma_2}{\sigma_1} \frac{\left(1 + \sqrt{1 - (\varphi \sigma_1)^2}\right)}{\left(1 + \sqrt{1 - (\varphi \sigma_2)^2}\right) - \varphi L} \right)$$

حيث:

$$\varphi = \frac{2L}{\sqrt{(\sigma_1^2 - \sigma_2^2)^2 + L^2 (L^2 + 2(\sigma_1^2 + \sigma_2^2))}}$$

و $L = |s_1 - s_2|$ يمثل البعد الإقليدي.



أ- منظر محيط لكانن ثلاثي الأبعاد -بقرة- ب- مقياس انحناء الفضاء للشكل المقابل

الشكل 1: المحيط ومقياس انحناء الفضاء المقابل له لكانن ثلاثي الأبعاد

3 التمثيل المتعدد المناظر لكانن ثلاثي الأبعاد

ونقترح طريقتين إثنين لإختيار المناظر: (1) اختيار المنظر الأمثل و (2) إختيار الرسم المنشور.

عندما يصور كائن من عدد كبير من وجهات النظر، فمن المحتمل أن بعض هذه الصور الناتجة متشابهة، ولاتنقل معلومات إضافية. ونتيجة لذلك، نحن في حاجة إلى خوارزمية لتحديد عدد الصور المطلوبة لتمثيل الكائن. نحن نستخدم تمثيل مقياس انحناء الفضاء وخوارزميه التطابق المرتبطة به لقياس التشابه بين اثنتين من الصور المختلفة لكائن واحد. وتتكون الخوارزمية من الخطوات التالية:

1. الحصول على العديد من المناظر لكائن من وجهات نظر مختلفة (100).
 2. جزء الصور التي تم الحصول عليها في الخطوة 1 للحصول على معالم الحدود. لكل من الحدود يتم حساب واصف مقياس انحناء الفضاء الخاص به.
 3. حدد قيمة عتبة t التي سوف تستخدم لمعرفة المناظر المماثلة. إذا كانت درجة المطابقة بين منظرين أقل من t فإنها تعلم بأنها مماثلة.
 4. حساب قيمة المطابقة بين كل تمثيل تم الحصول عليه من المنحنى في الخطوة 1 وجميع التمثيلات التي تم الحصول عليها من المعالم الأخرى. إذا كانت درجة مطابقة أقل من t ، فإن المنظرين مماثلين. تعيين مرتبة r لكل منظر يعرف بأنه عدد المناظر المشابهة له.
 5. ترتب كافة المناظر وفقاً لمرتبتها.
 6. جعل قائمة مرتبة L لكافة المناظر. ولكل منظر مؤشر إلى المناظر الأخرى المماثلة له.
 7. إبدأ من أعلى L ضع المنظر الأول في مجموعة الخصائص المميزة C .
 8. قم بإزالة كافة المناظر المماثلة للمنظر الأول من القائمة L للحصول على قائمة أصغر.
 9. تحرك إلى أسفل في القائمة L وكرر الخطوة 7 حتى يتم الوصول إلى نهاية L .
- في نهاية هذه العملية، سوف تتضمن المجموعة C مجموعة كاملة من المناظر المميزة للكائن بطريقة آلية. لاحظ أن الخوارزمية تتطلب مطابقة كل منظر للكائن مع كافة المناظر الأخرى، وإن وجب تطبيقها على كافة الكائنات في قاعدة بيانات كبيرة، فقد تستغرق هذه العملية؛ ومع ذلك، فإن العملية تتم بطريقة غير فورية، وبالتالي فلا أثر لها على مرحلة التعرف الذي حيث يقارن الاستعلام مع جميع المناظر المميزة لكافة الكائنات المختلفة.

3.2 الاختيار التلقائي للمنظر:

في هذه الطريقة، نقترح اعتبار النموذج الثلاثي الأبعاد كرسـم منثور. تحسب المحاور الرئيسية للنموذج باستخدام القيم الذاتية لمصفوفة التباين للرسم المنثور. يمكن إسقاط الرسم المنثور الثلاثي الأبعاد في مستوى ثنائي الأبعاد حسب الاتجاهات الثلاثة الرئيسية، وبهذه العملية نعرف مصفوفة التباين C لكائن ثلاثي الأبعاد بالمعادلة التالية:

$$C = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N (\underline{x} - \underline{m})(\underline{x} - \underline{m})^T$$

$$\underline{x} = \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \end{pmatrix} \quad \underline{m} = \begin{pmatrix} m_x \\ m_y \\ m_z \end{pmatrix}$$

حيث $\underline{x}$ ، $\underline{m}$ هما على التوالي إحداثيات كل عناصر الحجم ومركز الثقل للكانن الثلاثي الأبعاد ، و N هو عدد عناصر الحجم

$$\underline{\Lambda} = \underline{T}^{-1} \underline{C} \underline{T}$$

حيث

$$\underline{\Lambda} = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & 0 \\ 0 & \lambda_2 & 0 \\ 0 & 0 & \lambda_3 \end{pmatrix}$$

$$\underline{T} = (\underline{p}_1 \quad \underline{p}_2 \quad \underline{p}_3)$$

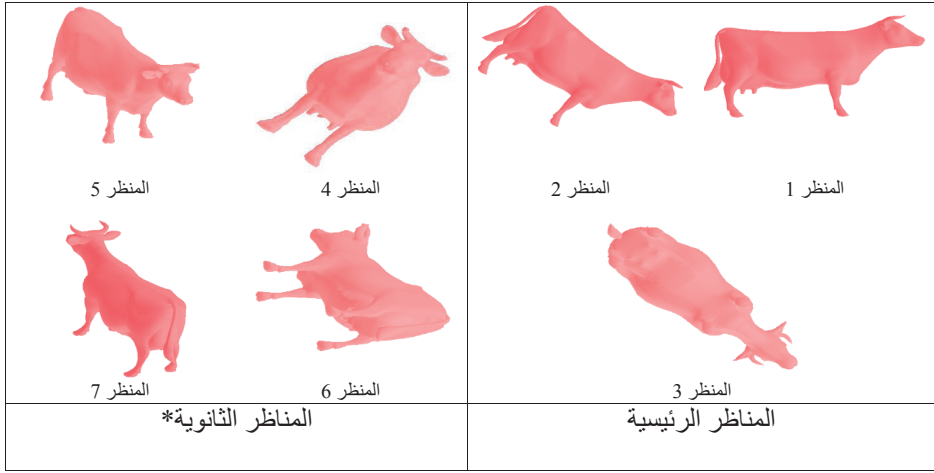
يتم إجراء تحليل القيم الذاتية، حيث أن القيم الذاتية λ_1 - λ_3 مقترنة بالمنظر الأول، الثاني والثالث، والقيم الذاتية المقابلة p_1 - p_3 تشير إلى اتجاهات المناظر الرئيسية. تتم إضافة أربعة مناظر إضافية إلى هذه الثلاثة، أنظر الشكل 2، مع الاتجاهات التالية للحصول على تغطية للكانن مع المسافة المكانية الأكبر:

المنظر 4: 45° بين المنظر الأول والمنظر الثاني.

المنظر 5: 45° بين المنظر الأول والمنظر الثالث.

المنظر 6: 45° بين المنظر الثاني والمنظر الثالث.

المنظر 7: 45° بين المنظر الأول، الثاني والثالث.

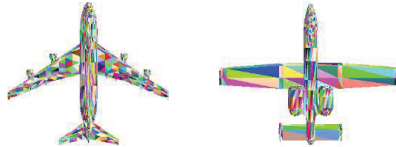


الشكل 2: مثال للمناظر الرئيسية والثانوية لكانن ثلاثي الأبعاد

4 التجارب والنتائج

اختبرنا فهرسة مبنية على مناظر متعددة لقاعدة بيانات Mpeg 7 تتضمن مناظر لـ 100 نموذج VRML، وقمنا بترتيب هذه المناظر في سبعة فئات، أنظر الشكل 3. ونشير إلى أن هذا التصنيف اليدوي قد أنجز فقط لإنجاز تجربتنا، ولم يتم استخدام هذا التصنيف لتحسين مهمة الإستراداد في محرك البحث. في مرحلة الفهرسة، لكل نموذج، يتم استخراج المناظر المميزة. ويربط مؤشر بكل منظر. ويتألف هذا المؤشر من مجموعة من الأزواج، التي توزع بطريقة منتظمة على كل ذروة لمقياس انحناء الفضاء المتعلقة بهذا المنظر. قارنا الطريقة التلقائية باستخدام المناظر الـ 7 بطريقة المنظر الأمثل. لتقييم دقة محرك البحث إستناداً إلى المنهج الاحتمالي، قمنا باستخدام منحنيات الاسترداد/الدقة لكل فئة (متوسط الإستراداد/الدقة لـ 3 إستعلامات). كما قمنا باستخدام مصفوفات التصنيف.

الفئة أ: كائنات "الطائرات"



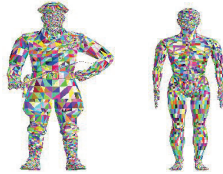
الفئة ب: كائنات "مختلفة"



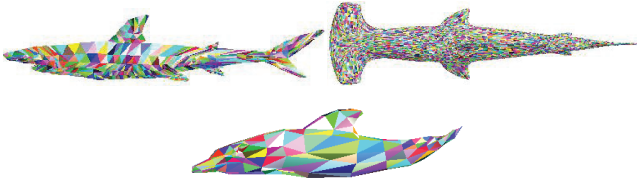
الفئة ج: كائنات "قطع شطرنج"



الفئة د: كائنات "إنسان"



الفئة هـ: كائنات "سمك"



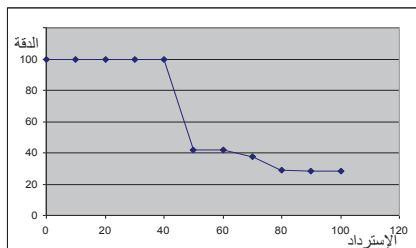
الفئة و: كائنات "رباعيات"



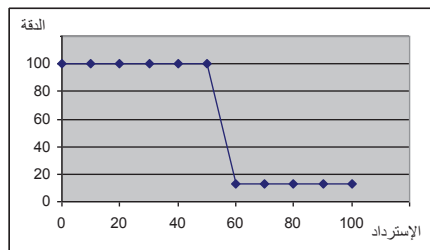
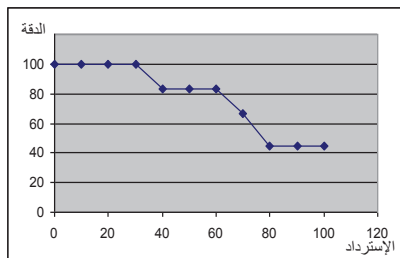
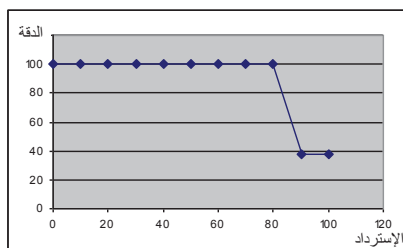
الفئة أ: كائنات "سيارات"



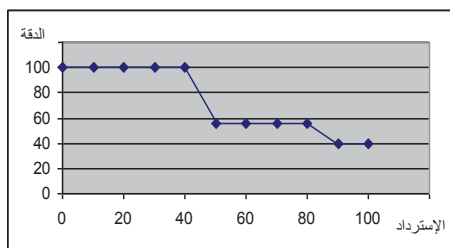
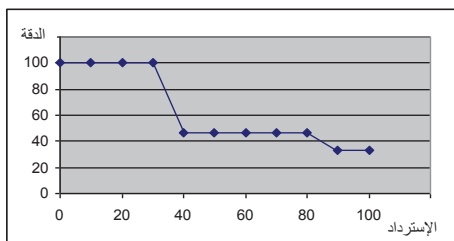
الشكل 3: أمثله لفنات ثلاثية الأبعاد



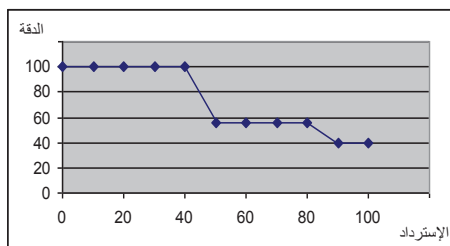
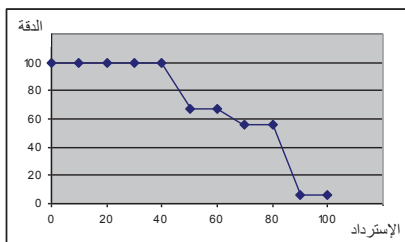
الفئة أ: كائنات "الطائرات"



الفئة د: كائنات "إنسان"



الفئة هـ: كائنات "سمك"



الفئة و: كائنات "رباعيات"

الإختيار الأمثل

الإختيار التلقائي

الشكل 4: منحنيات الإسترداد/الدقة لمحرك البحث من التجارب

الأمر الملاحظ من منحنيات الإسترداد/الدقة، الشكل 4، أن عملية البحث تقدم نتائج دقيقة وجيدة للغاية. ويمكننا إستخلاص أن محرك البحث المقترح إستطاع إسترداد الكائن الثلاثي الأبعاد الأكثر مماثلة لكل إستعلام في كل فئة من الفئات المستخدمة. أسلوب الإختيار التلقائي كان أكثر دقة في البحث، لأن النتائج الأولى للبحث كانت أكثر مماثلة للإستعلام.

يمكننا أن نلاحظ كذلك من خلال تحليل منحنيات الإسترداد/الدقة في الشكل 4 أنه في جميع فئات النماذج الثلاثية الأبعاد كان النموذج المسترد الأول هو الأكثر صلة. وأن نتائج البحث التلقائي كانت أكثر إرضاء مقارنة بالطريقة الأخرى. وهذا يفسر قدرة طريقة البحث متعدد المناظر التلقائي على وصف الكائنات.

5 الخاتمة

في هذه الورقة البحثية اقترحنا استرجاع الكائنات ثلاثية الأبعاد حسب تشابهها باستخدام "مقياس انحناء الفضاء" وطريقتين للبحث المتعدد المناظر. قدمنا دراسة تقنية للمقارنة بين هذين الطريقتين. وتبين النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها فعالية الإسترجاع وكفاءة الفهرسة. وتظهر نتائج التجارب أن استخدام السبع مناظر المميزة التي تم الحصول عليها بعد تحليل الرسم المنشور المتعلق بكائنات ثلاثية الأبعاد زاد دقة النتائج. وتستند طرق البحث متعددة المناظر هذه على استخراج معالم وحدود المنظر. أما بالنسبة لعملية المطابقة، اقترحنا استرجاع حسب التشابه مع باستخدام واصف مقياس انحناء الفضاء. وتبين النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها فعالية وكفاءة الطرق المقترحة.

المراجع

- [1] J.W.H. Tangelder and R.C. Veltkamp. A survey of content based 3d shape retrieval methods. In *Shape Modeling International, 2004, Proceedings (SMI2004)*, pages 145–156, Genova, Italy, June, 7-9 2004.
- [2] J.W.H. Tangelder and R.C. Veltkamp. A survey of content based 3d shape retrieval methods. In *Multimedia Tools and Applications*, volume 32(3), pages 441–471, 2008.
- [3] Benjamin Bustos, Daniel Keim, Dietmar Saupe, and Tobias Schreck. Content-based 3d object retrieval. *IEEE Computer Graphics and Applications*, 27:22–27, 2007.
- [4] Benjamin Bustos, Daniel A. Keim, Dietmar Saupe, Tobias Schreck, and Dejan V. Vranic. Feature-based similarity search in 3d object databases. *ACM Computing Surveys*, 37(4):345–387, 2005.
- [5] Julien Tierny, Jean-Philippe Vandeboire, and Mohamed Daoudi. Partial 3D shape retrieval by reeb pattern unfolding. *Computer Graphics Forum (to appear)*, 28, March 2009.
- [6] O. Croquette, J.P Vandeboire, M. Daoudi, and C. Chaillou. Indexing and retrieval 3d vrml models. In *SPIE Electronic Imaging 2002 Symposium (Internet Imaging III Conference)*, volume 4672, pages 95–106, San Jose, California, USA, 21-25 January 2002.
- [7] R.Osada, T.Funkhouser, B.Chazelle, and D. Dobkin. Matching 3d models with shape distribution. In *Shape Modeling International*, May 2001.

- [8] Athanasios Mademlis, Petros Daras, Dimitrios Tzovaras, and Michael G. Strintzis. 3d object retrieval using the 3d shape impact descriptor. *Pattern Recognition*, 42(11):2447–2459, 2009.
- [9] F. Cutzu and M.J. Tarr. High level vision, the representation of three dimensional object similarity in human vision. *SPIE Proceeding from Electronic Imaging, San Jose, CA*, 2(3016):460–471, 1997.
- [10] Y. Gdalyahu and D. Weinshall. Automatic hierarchical classification of silhouettes of 3d objects. In *IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pages 787–793, Santa Barbara, CA, Juin 1998.
- [11] I. Weiss and M. Ray. Model-based recognition of 3d objects from single images. In *International Conference on Pattern Recognition*, volume 23(2), pages 116–128, Barcelona, Spain, 2000.
- [12] W. N. Martin and J. K. Aggarwal. Volumetric description of objects from multiple views. *IEEE PAMI, IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 5(2):150–158, 1983.
- [13] S. Ullman. High level vision. In *MIT Press*, pages 193–254, Cambridge, MA, October 1996.
- [14] F. Cutzu and M.J. Tarr. High level vision, the representation of three dimensional object similarity in human vision. *SPIE Proceeding from Electronic Imaging, San Jose, CA*, 2(3016):460–471, 1997.
- [15] M. Daoudi and S. Matusiak. Visual image retrieval by multiscale description of user sketches *Journal Visual Languages Computing*, pages 11(3): 287–301, 2000.
- [16] T. Zaharia and F. Prêteux. New content for the 3d shape core experiment: the 3d cafe data set. *MPEG-7 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG00/M5915*, Noordwijkerhout, NL, 1, March, 2000.

الملخص باللغة الانجليزية

Similarity Search by Shapes Silhouettes for 3D Objects Retrieval

Saïd Mahmoudi¹, Mohammed Benjelloun¹ and Ahmed Abdelali²

¹Computer Science Department

University of Mons - Faculty of Engineering

Place du Parc 20

Mons, B-7000, Belgium

²Research Administration, New Mexico State University

MSC 3Res PO Box 30001 Las Cruces, NM 88001, USA

¹{Said.Mahmoudi, Mohammed.Benjelloun}@umons.ac.be, ²aabdelali@research.nmsu.edu

Abstract. In this paper we present an indexing approach applied to 3-D objects recognition and retrieval by using the 3D objects silhouettes. This work addresses the subject of indexing and pattern recognition in an images databases constituted of 3-D objects, by the use of 2D local invariant descriptions of the silhouettes corresponding to these 3D objects. We propose a 3D search engine based on 3D objects views comparison. Two approaches of automatic selection of the characteristic views are presented. The shape comparison task is done between the silhouettes of 3D objects, which are described by a limited number of 2D views. This comparison is done by using a contour matching approach based on a scale space descriptor.

Keywords: Shape retrieval, Scale Space Matching, 3D Indexing, 3D silhouettes

المصطلحات

عربي	English
الرؤية بواسطة الكمبيوتر	Computer Aided Vision
موجهات محلية	Local Descriptor
خصائص إحصائية	Statistical Properties
أخطاء حجمية	Volumetric Errors
منظر	View
تعدد المناظر	Multi-View
الشبكة	Mesh
الصور الظلية	Silhouette Image
واصف	Descriptor
مقياس انحناء الفضاء	Curvature Scale Space (CSS)
منحني	Curve
تمهيد	Smoothing
النواة الغوسية	Gaussian Kernel
مرشح غوسي	Gaussian Filter
منخفض التردد	Low-Pass
نقاط التحول	Inflexion Points
نقاط انحناء صفر العبور	Curvature Zero Crossing Points
رسم منثور	Scatter Plot
القيم الذاتية	Eigenvalues
مصفوفة التباين	Covariance Matrix
عناصر الحجم	Volume Elements
الاسترداد/الدقة	Recall/Precision
البحث التلقائي	Automatic Search

استخدام مجموعة المصنّفات لمصادقة التوقيع الديناميكي

نورة محمد المهنا^١، د. سهام مسحول بعلوش^٢
^١ العنوان البريدي، جامعة الملك سعود، كلية علوم الحاسب والمعلومات
 ص.ب. ٦٠٢٣٨، الرمز البريدي ١١٥٤٥، الرياض، المملكة العربية السعودية
^٢ العنوان البريدي، جامعة الملك سعود، مركز التميز لأمن المعلومات، كلية علوم الحاسب
 والمعلومات، ص.ب. ٢٢٤٥٢، الرمز البريدي ١١٤٩٥، الرياض، المملكة العربية السعودية

البريد الإلكتروني: smeshoul@ksu.edu.sa، nalmohanna@ksu.edu.sa

الخلاصة. مع التطور والتقدم السريع في التكنولوجيا أصبحت تقريباً كل التعاملات رقمية، كما أصبحت الحاجة لأمن المعلومات ملحة جداً. وعلاوة على ذلك فإن الأجهزة المتطورة التي تقوم بالتقاط التوقيع الديناميكي للشخص متاحة حالياً. ولذلك فإن الاعتماد على التوقيع الديناميكي لتحديد الهوية في الأنظمة الآمنة أصبح مسألة حاسمة. نهدف في هذه الورقة إلى بحث موضوع تحديد هوية الشخص سواءً بواسطة التحقق من توقيع الديناميكي أو التعرف على هذا التوقيع وذلك باستخدام مجموعة المصنّفات، حيث قمنا باستخدام مجموعة مصنّفات والمكونة من شبكات عصبية احتمالية معتمدة على تحليل فيشر. وفي هذا البحث نقوم بدراسة مسألتين هامتين، الأولى هي كيف يتم بناء مجموعة المصنّفات، وتتمحور الثانية حول كيفية اتخاذ القرار وذلك استناداً للتوقعات التي يتم الحصول عليها من كل من هذه المصنّفات. تم اختبار مجموعة المصنّفات باستخدام مجموعة البيانات إس في سي الخاصة بالتوقيعات الديناميكية وتم الحصول على نتائج جيدة جداً ومشجعة تعكس قدرة مجموعة المصنّفات على حل المشكلة المتعلقة بمصادقة التوقيع الديناميكي.

الكلمات الجوهرية: مجموعة المصنّفات، الشبكة الاحتمالية العصبية المعتمدة على تحليل فيشر، التحقق و التعرف من الهوية باستخدام التوقيع الديناميكي.

١ مقدمة

خلال العقد الماضي، استخدمت التكنولوجيا الحيوية أكثر من أي وقت مضى لدعم عملية المصادقة في النظم الآمنة لأنها تستغل تفرد الأشخاص بالخصائص الفيزيائية مثل بصمات الأصابع ونمط قزحية العين، وبصمة الكف وغيرها، كما تشمل الخصائص السلوكية التي تشمل الصوت وإيقاع الكتابة على لوحة المفاتيح، والتوقيع الذي يميز شخصاً من آخر [1]. وعلاوة على ذلك، فإن الأجهزة التي تلتقط هذه الخصائص تتطور وتحسّن بسرعة. في هذه الورقة نهدف لدراسة مشكلة المصادقة المعتمدة على التوقيع الديناميكي للشخص. بفضل وجود أجهزة متطورة ذات جودة عالية مخصصة لالتقاط التوقيع الديناميكي، تتوفر اليوم العديد من التطبيقات التي تعتمد على التوقيع الديناميكي لدعم مصادقة المستخدم مثل التجارة الإلكترونية، والحكومة الإلكترونية، والخدمات

المصرفية وغيرها ومع ذلك، فإن عملية المصادقة صعبة للغاية، وذلك بسبب التباين الكبير في توقيع الشخص، ولوجود مزورين ماهرين يتقنون تقليد توقيع الشخص من جهة أخرى. المصادقة باستخدام التوقيع تشمل مسألتين: أولاً، التعرف على التوقيع، وثانياً، التحقق من صحة التوقيع. عملية التعرف على التوقيع تمكننا من معرفة هوية الشخص باستخدام توقيعهم. بينما تمكننا عملية التحقق من التوقيع من أن نقبل أو نرفض الهوية المدّعى بأنها تنتمي للمستخدم.

ويمكن تصنيف التواقيع على أنها ديناميكية أو ثابتة (تسمى أيضاً فورية أو غير فورية) بناءً على طريقة تمثيلها. التوقيعات الثابتة ليست سوى صورة ثابتة للتوقيع على بعدين يتم التقاطها بعد توقيع الشخص على ورقة. بينما يحتوي التوقيع الديناميكي على سمات ديناميكية يتم التقاطها أثناء عملية التوقيع باستخدام أجهزة خاصة. الألواح الرقمية هي الأجهزة التقليدية الأكثر استخداماً لهذا الغرض وقد جرت محاولات عديدة لصنع أجهزة أفضل، مثل الأقلام الإلكترونية مع تكنولوجيا الحبر الرقمي الذي يمكن من التقاط موضع القلم، والتسارع، والضغط، وسرعة الكتابة، وقوتها، وميل القلم أيضاً. يتم تمثيل التوقيع الديناميكي حسب تسلسل مجموعة النقاط الممثلة له؛ حيث يتم تعريف كل نقطة من قبل مجموعة من السمات مثل إحداثي-س، وإحداثي-ص، وزاوية الارتفاع عن المحور السيني، وضغط القلم، والموضع الذي رفع فيه أو وضع فيه، وما إلى ذلك. بالإضافة إلى ذلك، يمكننا إيجاد سمات أخرى من السمات التي تم الحصول عليها مسبقاً، على سبيل المثال يمكننا إيجاد المسافة إلى مركز الثقل بالنسبة للتوقيع وغيرها من السمات الأخرى [8].

بهدف تطوير نظام مصادقة جدير بالثقة ودقيق وتوفير وسائل أقوى لأمن المعلومات، نبحت مدى فاعلية استخدام مجموعة المصنّفات في التعرف والتحقق من التوقيع الديناميكي للشخص. وتتألف مجموعة المصنّفات من عدة شبكات عصبية احتمالية معتمدة على تحليل فيشر (نرمز لها بـ إف بي إن إن) كمكون أساسي للمجموعة.

إف بي إن إن هو أسلوب جديد للتعرف و التحقق من التوقيع الديناميكي [2، 3]. أهم ميزة في إف بي إن إن هي الجمع بين تحليل فيشر المُميّز (يسمى أيضاً تحليل التمايز الخطي إل دي أي) والشبكة العصبية الاحتمالية (بي إن إن). يستخدم تحليل فيشر المميز للتخفيض من أبعاد فضاء السمات مع الحفاظ على التمييز بين المستخدمين في الوقت نفسه. ثم يتم إنشاء إف بي إن إن لاستخدامها لغرض مطابقة التواقيع. كما تم تطوير عملية صنع القرار وذلك لقبول أو رفض التواقيع. أظهرت إف بي إن إن نتائج واعدة جداً عند استخدامها للتعرف على التواقيع الديناميكية والتحقق منها وذلك باستخدام مجموعة البيانات إس في سي ٢٠٠٤ الخاصة بالتوقيعات الديناميكية [4]. ولذلك، استخدمنا إف بي إن إن كمصنف أساسي مكون للمجموعة.

مجموعة المصنّفات بنيت باستخدام استراتيجيات مختلفة بما في ذلك استخدام مجموعات جزئية مختلفة من مجموعة التدريب، واستخدام مجموعات جزئية مختلفة من السمات. بعد استكمال بناء المجموعة، كل عضو في المجموعة يعطي توقع؛ و تجمع هذه التوقعات من أجل الحصول على ناتج نهائي للتصنيف من المجموعة. ندرس أيضاً استراتيجيات تجميع التوقعات المختلفة بما فيها التصويت والتكديس.

بقية الورقة منظمة على النحو التالي؛ يستعرض القسم الثاني الأعمال ذات الصلة بالتعرف والتحقق من التواقيع. ويقدم القسم الثالث وصفاً موجزاً للمصنّف الأساسي إف بي إن إن. في القسم الرابع نشرح الاستراتيجيات المستخدمة لبناء مجموعة المصنّفات وللتجمع بين توقعاتها. الجزء الخامس

يحتوي على التجارب التي أجريت والنتائج التي حصلنا عليها. وأخيراً، القسم السادس يحوي خلاصة البحث والنقاط التي ننوي تطويرها في المستقبل.

٢ الأعمال ذات الصلة

المصنّفات يمكن تنفيذها باستخدام الخوارزميات الإحصائية، والشبكات العصبية، أو أشجار القرار. وهي تختلف عن بعضها البعض من حيث الدقة والأداء وغيرها من العوامل الأخرى. وبما أن كل مصنف مختلف عن الآخر، من المتوقع أن الجمع بين أكثر من واحد سوف يعطي نتائج مختلفة. مزيج المصنّفات هو ما نشير إليه بمجموعة المصنّفات [7]. على هذا النحو، لن تكون عملية صنع القرار معتمدة على مصنف واحد بل على مجموعة من المصنّفات.

قدم هانسن وسالمون [5] فرضية تفيد بأن مجموعة المصنّفات أكثر دقة من أي من المصنّفات المكونة لها إذاً وإذا فقط كانت المصنّفات المكونة لها دقيقة، مما يعني أن لديها نسبة الخطأ أقل من حد أدنى معين. وينبغي أن تكون المصنّفات أيضاً متنوعة، أي أن تكون لديها معدلات خطأ مختلفة [6]. وقد أثبت أن مجموعة المصنّفات تتفوق على أي مصنف ضمن المجموعة [5، 7].

على الرغم من وجود اهتمام واضح بمجموعة المصنّفات في الآونة الأخيرة، لا توجد أبحاث مكثرة حول تصنيف مجموعة المصنّفات. الجهد المبذول في تصنيف طرق بناء مجموعة المصنّفات قليل جداً ولا يوجد تصنيف يتفق عليه الجميع. والسبب في ذلك يرجع إلى نقص المعرفة عن الهياكل المستخدمة في بناء مجموعة المصنّفات المقترحة مسبقاً [16]. ومع ذلك، توجد استراتيجيات وطرق شائعة الاستخدام لبناء المصنّفات مثل مجموعة المصنّفات القائمة على التصويت، ومجموعة المصنّفات التي توجد متوسط النتائج، ومجموعة المصنّفات التي تتلاعب بمجموعة التدريب، ومجموعة المصنّفات التي تتلاعب بالسمات، ومجموعة المصنّفات التي تكسب النتائج وغيرها.

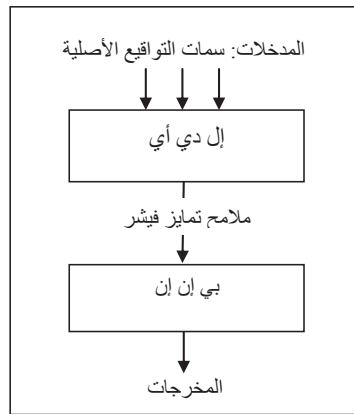
عملية التحقق من صحة التوقيع الديناميكي تمر بثلاث مراحل هي: الحصول على البيانات والمعالجة المسبقة، ثم استخراج السمات وأخيراً التصنيف. تشمل المعالجة المسبقة الحد من التشويش والصل، والترشيح والتجزئة. ويمكن تصنيف سمات التوقيع الديناميكي في فئتين رئيسيتين: وظيفية ومعلمة. السمات الوظيفية مستمدة من مجموعة من وظائف الزمن. بينما تمثل السمات المعلمة كمتجه يحوي القيم الخاصة بكل سمة. وعلاوة على ذلك، تصنف أيضاً المعلمات إلى فئتين: عالمية ومحلية. المعلمات العالمية تتعامل مع التوقيع ككل بينما ترتبط المعلمات المحلية بكل نقطة مكونة للتوقيع [8].

ويمكن تصنيف أساليب التحقق بواسطة التوقيع الديناميكي إلى إحصائية، وهيكلية، وباستخدام قالب للمقارنة. الشبكات العصبية ونماذج ماركوف المخفية تندرج تحت الأساليب الإحصائية. عند استخدام الأساليب الهيكلية تتم مقارنة العناصر الأولية التي تصف بنية التوقيع، والتي تسمى الأوليات، من خلال مطابقة تستخدم بنية الشجرة أو المخطط حيث يتم مطابقة العينة المستهدفة ضد التوقعات الأصلية والمزورة. المطابقة باستخدام القالب تعتبر من الطرق الشائعة الاستخدام، وتشمل أسلوب التواء الزمن الديناميكي [8]. عند استخدام السمات المحلية، فإنه من المناسب

استخدام الأساليب التي يمكنها مقارنة متجهات سمات من أطوال مختلفة، على سبيل المثال، نماذج ماركوف المخفية [9]، والتواء الوقت الديناميكي [10]. هذه الأساليب غالباً ما تكون أكثر تعقيداً من تلك التي تستخدم مع السمات العالمية، ولكن عادة ما تكون أكثر دقة.

٣ وصف المصنّف الأساسي

إف بي إن إن هو مصنف فعّال للتعرف و التحقق من التوقيع الديناميكي [2، 3]. وقد أظهر نتائج واعدة جداً عند اختباره على مجموعة البيانات إس في سي الخاصة بالتوقيعات الديناميكية. هذا المصنف يعتمد على فكرة رئيسية و هي الجمع بين الشبكة العصبية الاحتمالية وتحليل فيشر المميز. الهيكل العام لإف بي إن إن موضح في الشكل ١.



الشكل ١. البنية العامة لإف بي إن إن

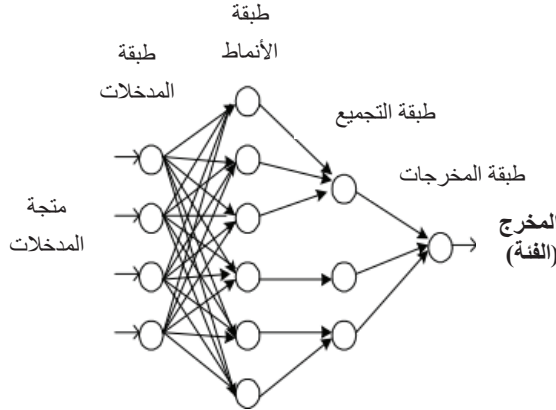
٣.١ تخفيض فضاء سمات التوقيعات باستخدام إل دي أي

يوصف التوقيع الديناميكي بالنقاط المتسلسلة المكونة له، ولكل نقطة مجموعة من الخصائص مثل الإحداثيات، وضغط القلم، وزاوية ارتفاع القلم عن اللوح الرقمي، وزاوية الارتفاع عن المحور السيني،... الخ. هذا يعني أن فضاء سمات التوقيع كبير جداً و يزداد مع ازدياد عدد السمات و النقاط لكل توقيع. تكمن الفكرة في تحليل فيشر المميز (إل دي أي) في الحد من أبعاد فضاء السمات و تخفيضه مع المحافظة على المعلومات الهامة في الوقت ذاته، حيث يتم إسقاط الفضاء الأصلي على فضاء بأبعاد أقل و بذلك يتم تخفيض فضاء السمات مع المحافظة على أقصى قدر من التمييز بين الفئات، أو الأشخاص وذلك بفصل التوقيعات الخاصة بشخص واحد عن التوقيعات الخاصة بأشخاص آخرين. باستخدام إل دي أي، الفضاء ذو ن-بعد يسقط على فضاء ذو ج-بعد، حيث تعبر ن عن عدد السمات في متجه السمات، بينما تعبر ج عن عدد الفئات (الأشخاص) المطلوب التمييز بينهم.

مجموعة السمات الكاملة تُعطى لإل دي أي ويتم الحصول على متجه سمات مخفضة، عددها (ج-١)، تسمى ملامح التمايز وترتب هذه السمات المخفضة حسب قوتها على التمييز.

٣,٢ بناء الشبكة العصبية الاحتمالية

الشبكة العصبية الاحتمالية المستخدمة هي شبكة ذات تغذية أمامية وتحتوي على أربع طبقات. (موضحة في الشكل ٢). تشمل هذه الطبقات على طبقة مدخلات، وطبقة أنماط، وطبقة تجميع، وأخيراً طبقة مخرجات. طبقة المدخلات تقوم بأخذ متجه السمات المخفض الخاص بالتوقيع (ملامح التمايز) ومن ثم توزعه على طبقة الأنماط. طبقة الأنماط تحتوي على خلية عصبية واحدة لكل نموذج من نماذج التدريب لكل توقيع وهي مرتبطة ارتباطاً كاملاً بطبقة المدخلات. يتم تسوية متجه السمات المدخل (التوقيع) وتحويله إلى متجه وحدة ومن ثم تقوم طبقة الأنماط بحساب المسافة بين التوقيع المدخل ونماذج التدريب وتخرج متجه يوضح مدى قرب التوقيع المدخل لنماذج التدريب. عقد طبقة الأنماط المنتمية لنفس الشخص ترتبط بنفس العقدة في طبقة التجميع حيث تحوي طبقة التجميع عقدة واحدة لكل شخص (فئة). تقوم طبقة التجميع بجمع المخرجات القادمة من طبقة الأنماط وتخرج مخرج يمثل احتمال انتماء التوقيع المدخل للفئة المتوقعة (الشخص). وفي النهاية، تقوم طبقة المخرجات باختيار أعلى احتمال من الاحتمالات المخرجة من طبقة التجميع وتعطي التوقع النهائي للفئة (الشخص) [3].



الشكل ٢. بنية الشبكة العصبية الاحتمالية المستخدمة في إف بي إن إن [3].

٣,٣ التحقق من التوقيع باستخدام إف بي إن إن

عملية التحقق تهدف إلى قبول أو رفض الهوية المزعومة للتوقيع المدخل. وهذا يعني أنه سوف يتم التحقق ما إذا كان التوقيع المدخل ينتمي إلى فئة حقيقية أو إلى الفئة مزورة للمستخدم. وكما ذكر

أنفا، فإن سمات التوقيع المدخل يتم إسقاطها على مساحة فيشر لتحديد ملامح التمايز التي سيتم استخدامها بعد ذلك كمدخل لإف بي إن إن [5].

إف بي إن إن تعمل كمُطابق حيث أنها سوف تحدد أقرب فئة ينتمي إليها التوقيع المدخل. وسوف تقوم باخراج الهوية المتوقعة (idout) للهوية المزعومة المدخلة (id) ثم تقوم باستخدامها في عملية صنع القرار على النحو التالي :

```
If (idout = id) & (strength(idout) >= threshold)
  Then accept the claimed id (genuine)
Else
  Reject the claimed id (forgery)
End
```

حيث أن القوة strength(idout) تعبر عن مدى مطابقة التوقيع المدخل للفئة المتوقعة ويتم استخراجها من إف بي إن إن اف ضمنيا [3].

٤ عملية إنشاء مجموعة مصنفات إف بي إن إن

استخدمت الشبكات العصبية على نطاق واسع كمصنف أساسي ضمن مجموعة المصنفات المتجانسة [11] (حيث تكون جميع المصنفات المكونة للمجموعة من النوع نفسه). في هذه الحالة، يجب أن تكون المصنفات المكونة مختلفة عن بعضها البعض من حيث نتائجها حيث أن تطابقها لا يعود بالنفع عند استخدام مجموعة المصنفات، فمن المهم أن يكون أعضاء مجموعة المصنفات متنوعين (أي الشبكات العصبية مختلفة)، وذلك لبناء مجموعة مصنفات من الشبكات العصبية التي تخدم الغرض على نحو فعال.

من خلال دراسة سلوك إف بي إن إن في ظل ظروف مختلفة، وجدنا أنها تعتمد على معلمات مختلفة منها :

١. مجموعة السمات الجزئية : مجموعة السمات المستخدمة تأثر على نتائج المصنف. وقد تم إيجاد نتائج مختلفة باستخدام مجموعات جزئية مختلفة من السمات.
٢. عدد ملامح التمايز: حيث أن لدينا ٤٠ فئة (شخص)، إل دي أي سيولد ملامح التمايز عددها ٣٩ مرتبة حسب قوتها في التمييز، وتعطى ملامح التمايز هذه كمدخل لإف بي إن إن. ولوحظ أن استخدام عدد مختلف من ملامح التمايز في النطاق [١، ٣٩] يعطي نتائج مختلفة. أجريت تجارب عدة لفهم تأثير عدد من ملامح التمايز على إف بي إن إن.
٣. مجموعة التدريب: حجم مجموعة التدريب يؤثر على معدلات التعرف والتحقق في إف بي إن إن.

مما سبق يتضح لنا أنه يوجد العديد من الطرق لبناء أعضاء متنوعة من إف بي إن إن. ونحن في هذه الورقة نقترح مجموعة مصنفات من أربعة شبكات عصبية احتمالية مبنية على تحليل فيشر (إف بي إن إن) والتي سيتم تدريب اثنتين منهما باستخدام مجموعات جزئية مختلفة من مجموعة

التدريب. بينما سيتم بناء البقية باستخدام مجموعات جزئية مختلفة من السمات المدخلة، ونوضح الاستراتيجيات المستخدمة على النحو التالي :

• تنويع مجموعات التدريب

أسلوب تنويع مجموعات التدريب شائع الاستخدام في بناء مجموعة المصنفات [7]. في إف بي إن إن، تغيير مجموعات التدريب يحتم تغيير بنية الشبكة حيث أنهما مرتبطان ببعضهم البعض (راجع الشكل رقم ٢)؛ الطبقة الثانية من الشبكة (طبقة الأنماط) تمثل نماذج التدريب حيث تحوي عقدة واحدة لكل توقيع. بناءً على ذلك، إذا كان لدينا نماذج تدريب عددها (س) و استخدمنا (ص) منها لتدريب أول بي إن إن، عندها سيكون لدينا بي إن إن تحتوي على ص من العقد في طبقة الأنماط، وبالتالي ستحوي البي إن إن الأخرى على (س-ص) من العقد في طبقة الأنماط لديها (أي نماذج التدريب).

• إدخال مجموعات جزئية مختلفة من السمات

كما ذكر سابقاً، تم استخدام مجموعة جزئية من سمات التواقيع الديناميكية كمدخل إلى إل دي أي، وذلك ليتم الحصول على فضاء سمات ذو أبعاد أقل (ج-١) حيث إن ج هو عدد الفئات. وبالتالي، فإنه لدينا الخيار لاختيار أي السمات الأصلية نستخدم لنحصل منها على ملامح التمايز المستخرجة من تحليل فيشر، كما أنه لدينا أيضاً الخيار في تحديد عدد ملامح التمايز المدخلة على بي إن إن. وبذلك يمكننا القول بأنه من الممكن إنشاء أكثر من إف بي إن مختلفة عن طريق:

١. استخدام مجموعات جزئية مختلفة من السمات الأصلية: السمات الأصلية تشمل المسافة إلى مركز الثقل (ث)، الضغط (ض)، والارتفاع (ع)، وزاوية البعد عن المحور السيني (ت). وقد استخدمت مجموعات جزئية مختلفة من هذه السمات لإنتاج ملامح تمايز فيشر مختلفة.
٢. تنويع عدد ملامح تمايز فيشر: بعد إسقاط السمات الأصلية على فضاء فيشر، يتم الحصول على ملامح تمايز عددها (ج-١). ومع ذلك، لا يتم إدخال جميع ملامح التمايز لإف بي إن إن؛ وبدلاً من ذلك تعطى إف بي إن إن عدداً محدداً من ملامح التمايز (من ١ إلى ج-١). في [3]، تم تحديد عدد ملامح التمايز بـ ٢٠ (مع العلم أن عددها الكلي هو ٣٩). إدخال عدد مختلف من ملامح التمايز لإف بي إن إن يسمح لنا ببناء مصنفات مختلفة لكل منها عدد ملامح تمايز مختلف عن الآخر، وذلك بدوره يعني أن المصنفات ستكون متنوعة وستعطي نتائج مختلفة، وهذا في الواقع شيء مرغوب فيه في المصنفات المجمعة.

٥ تجميع توقعات أعضاء المجموعة

كما ذكر سابقاً، يتم بناء مجموعة المصنفات باستخدام استراتيجيات مختلفة مثل تغيير مجموعات التدريب أو مجموعات السمات الجزئية، كل عضو في المجموعة سيعطي ناتج (توقع فئة)، هذه

التوقعات يجب أن تجمع بهدف الحصول على ناتج نهائي و ذلك باستخدام أحد استراتيجيات التجميع التالية:

٥.١ التصويت البسيط

التصويت البسيط (يسمى أحياناً تصويت الأغلبية) عبارة عن خوارزمية بسيطة تقوم باختيار الفئة الحاصلة على أغلب الأصوات من أعضاء مجموعة المصنفات. التصويت البسيط يمكن تعريفه كالتالي، لنفرض أن المصنف i يعطي القرار D_i ، نعرف القرار كالتالي:

$$d(i,j) \in \{0,1\}, i=1, \dots, N \text{ and } j=1, \dots, C$$

حيث، N و C تمثلان عدد المصنفات في المجموعة، وعدد الفئات على التوالي. تكون قيمة $d_{i,j}$ مساوية لواحد إذا توقع المصنف i الفئة j ، وتساوي صفر في الحالات الأخرى. في النهاية نتوقع مجموعة المصنفات الفئة k كالتالي [12]:

$$\sum_{i=1}^N d_{i,k} = \max_{j=1}^C \sum_{i=1}^N d_{i,j}$$

في التصويت البسيط لا يوجد تفضيل بين أعضاء مجموعة المصنفات، ولكل صوت الوزن نفسه فلا يفضل مصنف على الآخر.

٥.٢ التصويت الموزون

بعكس التصويت البسيط، إذا كان باستطاعتنا قياس دقة أعضاء مجموعة المصنفات فإنه بالتالي من الممكن أن نفضل مصنف على الآخر بحيث نعطي كل مصنف وزن يتناسب مع دقته [12]. في الغالب تكون نتائج التصويت الموزون أفضل من نتائج التصويت البسيط [13]. اقترحنا استخدام قوة التوقع المستخرجة من إف بي إن إن كوزن للصوت (راجع قسم ٣،٣)، ولكن وجدنا أن قيمة القوة لوحدها غير كافية للحكم على دقة التوقعات عندما يكون لدينا أكثر من إف بي إن إن مختلفة كما سيوضح لاحقاً في قسم النتائج والمناقشة. والسبب في ذلك هو أن القوة تعتمد على مجال من القيم المستخرجة من إف بي إن إن و بالتالي فهي متعلقة بالمصنف نفسه ولا يمكن استخدامها للحكم على توقعات مصنفات إف بي إن إن أخرى. وبما أن قيمة القوة غير مناسبة لوزن الأصوات، قمنا باستخدام طريقة أخرى مقترحة في [14]، وهي تعمل كالتالي:

في مشكلة التعرف على الأنماط، و التي عدد فئاتها m وعدد أعضاء مجموعة المصنفات هو N ، نفترض أيضاً بأن كل مصنف يقوم بإنتاج توقعه بشكل مستقل عن المصنفات الأخرى.

نفرض أن P_i تمثل احتمالية توقع المصنف i للفئة الصحيحة.

ونفرض أن e_i تمثل احتمال اختيار الفئة الخاطئة، والتي تكون فيها جميع الفئات الأخرى غير الفئة الصحيحة والتي عددها $m-1$ لها نفس الاحتمال.

يحسب e_i كالتالي:

$$e_i = \frac{1 - p_i}{m - 1}$$

ونقوم بوزن الأصوات بالثقل w_i كالتالي:

$$w_i = \ln \frac{p_i}{e_i}$$

٥,٣ تعميم المكس

تعرف تعميم المكس على أنها طريقة عامة تستخدم نموذج من مستوى عالي لتجميع عدة نماذج من مستوى منخفض بهدف تحسين دقة التوقع [15]. قُدمت في بدايتها كطريقة لتقليل الخطأ لمصنفين أو أكثر. يتمتع تعميم المكس ببنية طبقية حيث توضع المصنفات الأساسية في الطبقة-صفر (في أسفل المكس) وتستقبل مدخلاتها من مجموعة البيانات المعتادة. بعد ذلك، تعطى مخرجات المصنفات الأساسية في الطبقة-صفر كمدخلات للمصنف العام في الطبقة-١ (الأعلى). تتكون بنية تعميم المكس من طبقتين فقط في الغالب. في مجموعة المصنفات المكونة من إف بي إن إن نستخدم طبقتين حيث توجد المصنفات الأربعة (إف بي إن إن) في الطبقة-صفر، بينما تحتوي الطبقة-١ على المصنف العام. تجمع مخرجات المصنفات في طبقة-صفر و تستخدم لتكوين مجموعة تدريب جديدة والتي نستخدم بدورها لتدريب المصنف في طبقة-١. قمنا باستخدام نوعين من المصنفات للطبقة-١، شبكة عصبية احتمالية و مصنف ك-جار الأكثر قرباً (ك-ج ق).

٦ النتائج والمناقشة

أجريت تجارب عديدة لتقييم أداء مجموعة مصنفات إف بي إن إن. واستخدمت مجموعة البيانات إس في سي ٢٠٠٤ الخاصة بالتوقيعات الديناميكية، والتي تحتوي على ٤٠ مستخدم، لكل مستخدم ٤٠ توقيع، ٢٠ منها توافيق أصلية و ٢٠ الأخرى مزورة بمهارة. تم استخدام مجموعة فرعية من التوافيق الأصلية للتدريب وتم استخدام ما تبقى منها للاختبار. كما استخدمت جميع التوقيعات المزورة للاختبار فقط.

تم اختبار العديد من المصنفات الأساسية (إف بي إن إن) كأعضاء لمجموعة المصنفات. حيث أعطي كل منها إعدادات مختلفة من حيث عدد ملامح التمايز، ومجموعات السمات الأصلية الجزئية، ومجموعات التدريب الجزئية. عموماً، وجدنا بأن مجموعة المصنفات توسط معدل التعرف (م.ت)، ومعدل القبول الخاطئ (م.ق.خ)، ومعدل الرفض الخاطئ (م.ر.خ) للأعضاء كما يتضح من النتائج في الجدول الأول ولكن استطاعت مجموعة المصنفات في بعض الحالات أن تتفوق على أعضائها على النحو المبين في الجدول الثاني. في الجدول الثالث تظهر النتائج التي تم الحصول عليها عند استخدام التصويت الموزون مع استخدام قيمة القوة لوزن الأصوات. وكما يتبين من النتائج، من الواضح أن قيمة القوة ليست مناسبة لوزن الأصوات حيث أنها لا تحسن النتائج.

على الرغم من النتائج المشجعة التي تم الحصول عليها عند استخدام تعميم المكس، توجد ملاحظة مثيرة للاهتمام وهي أن الطريقة ليست مستقرة، ففي بعض التجارب تم الحصول على معدل قبول عالي ومعدل رفض يساوي صفر، كما تم الحصول على نتائج معاكسة في تجارب أخرى. يمكن

تبرير ذلك من خلال طبيعة مجموعة البيانات، حيث ذكر في [15] بأن تعميم المكدس يعمل بشكل أفضل عندما يتم تمثيل البيانات بواسطة احتمالات بدلاً من قيم منفصلة.

توضح النتائج التي تم الحصول عليها مدى فاعلية استخدام مجموعة المصنفات لمصادقة التوقيع الديناميكي وأنها تتنافس مع نظم المصادقة الأخرى، ولغرض المقارنة يوضح جدول ٤ نتائج مجموعة المصنفات مع أنظمة مصادقة أخرى استخدمت التوقيعات المزورة بمهارة من مجموعة البيانات إس في سي ٢٠٠٤، بما فيها أفضل نظام من أنظمة إس في سي العالمية وطريقة دمج الأساليب المحلية و الإقليمية [17].

عدد ملامح التمايز	مجموعة السمات الجزئية	حجم مجموعة التدريب	م.ت
٣٦	{ث،ض،ع،ت}	%٨٠	% ٩٩,٣٧
٣١	{ث،ض،ع،ت}	%٨٠	% ٩٩,٣٧
٢٤	{ث،ض،ع،ت}	%٧٠	% ١٠٠
٢٤	{ث،ض،ع،ت}	%٦٠	% ٩٨,٧٥
مجموعة المصنفات (باستخدام التصويت البسيط)			
% ٩٩,٣٧			

جدول ١. معدل التعرف لمجموعة المصنفات.

عدد ملامح التمايز	مجموعة السمات الجزئية	حجم مجموعة التدريب	م.ق.خ	م.د.خ
٣٠	{ض،ع}	%٨٠	% ٧,٣٧	% ٦,٢٥
٣٦	{ث،ض}	%٨٠	% ٢,٠٠	% ١٠,٠٠
٢٤	{ث،ض،ع،ت}	%٧٠	% ٢٩,٦٢	% ١٣,١٢
٣١	{ث،ض،ع،ت}	%٦٠	% ٤١,٧٥	% ١٧,٥٠
مجموعة المصنفات (باستخدام تعميم المكدس)				
% ١,٣٨				

جدول ٢. أفضل النتائج التي تم الحصول عليها باستخدام مجموعة المصنفات.

عدد ملامح التمايز	مجموعة السمات الجزئية	حجم مجموعة التدريب	م.ق.خ
٣٦	{ث،ض،ع،ت}	%٨٠	% ٢١,٢٥
٣١	{ث،ض،ع،ت}	%٨٠	% ١,٦٢
٢٤	{ث،ض،ع،ت}	%٧٠	% ٢٩,٦٢
٣٣	{ث،ض،ع،ت}	%٦٠	% ٤٣,٥٠
مجموعة المصنفات (باستخدام التصويت الموزون مع استخدام قيمة القوة كوزن)			
% ٤٣,٦٢			

جدول ٣. تأثير استخدام القوة لوزن الأصوات في التصويت الموزون.

نظام مصادقة التوقيع	معدل الخطأ المتساوي
أفضل نظام من أنظمة إس في سي	٦,٩٠%
إف بي إن إن	٦,٣١%
دمج الأساليب المحلية و الإقليمية	١٠,٩١%
مجموعة مصنفات إف بي إن إن	١,٣٨%

جدول ٤. مقارنة مجموعة مصنفات إف بي إن إن مع أنظمة مصادقة أخرى.

٧ الخاتمة

في هذه الورقة، اقترحنا مجموعة مصنفات مكونة من أربعة مصنفات من نوع إف بي إن إن. يعتبر إف بي إن إن نهج فعال في التحقق من صحة التوقعات الديناميكية. يتأثر إف بي إن إن بعدة عوامل منها مجموعات السمات الجزئية المدخلة، وحجم مجموعة التدريب. تم بناء المجموعة باستراتيجيات عدة حيث شملت أعضاء مختلفة من حيث أحجام مجموعة التدريب ومجموعات السمات الجزئية المدخلة. شملت استراتيجيات التجميع التصويت البسيط، والتصويت الموزون وتعميم المكس. قامت مجموعة المصنفات في الغالب على توسيط نتائج أعضائها وتفوقت عليهم بأداء أفضل في بعض الأحيان. ننوي دراسة مجموعة مصنفات إف بي إن إن بشكل أكثر في المستقبل، وسيتم البحث في القضايا التالية على وجه التحديد:

- زيادة عدد المصنفات ضمن المجموعة.
- استخدام مجموعات أخرى مختلفة من السمات الأصلية (المحلية والعالمية).
- دراسة عملية كيفية الحصول على التوقعات بشكل احتمالات بدلاً من أرقام منفصلة في حالة تعميم المكس.
- دراسة استخدام وظائف أخرى في استراتيجية التصويت الموزون.

٨ شكر وتقدير

تم تطوير هذا العمل كجزء من مشروع تحت إشراف البروفسور محمد بعطوش و الممنوح من قبل مركز التميز لأمن المعلومات بجامعة الملك سعود.

٩ المراجع

1. Jain, A. K., Ross, A. and Pankanti, S. Biometrics: A Tool for Information Security. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 1(2) (2006) 125-143.

2. S. Meshoul and M. Batouche, "Combining Fisher Discriminant Analysis and Probabilistic Neural Network for Effective On-line Signature Recognition", proceedings of the 10th International Conference on Information Science, Signal Processing and Applications –ISSPA'2010, IEEE Press, pp. 658-661, 10-13 May, 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.
3. S. Meshoul and M. Batouche, "A Novel Approach for Online Signature Verification Using Fisher Based Probabilistic Neural Network", proceedings of the 15th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC'10), IEEE Press, pp. 314-319, June 22-25, 2010, Riccione, Italy.
4. D. Yeung, H. Chang, Y. Xiong, S. George, R. Kashi, T. Matsumoto, and G. Rigoll, "SVC2004: First International Signature Verification Competition," Proceedings of the International Conference on Biometric Authentication, Hong Kong, pp. 16-22, 2004.
5. L.K. Hansen, P. Salamon, "Neural Network Ensembles," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 12, no. 10, pp. 993-1001, Oct. 1990, doi:10.1109/34.58871.
6. Y. ShiXin, "Feature Selection and Classifier Ensembles: A Study on Hyperspectral Remote Sensing Data", PhD, the University of Antwerp, 2003.
7. T.G. Dietterich. "Ensemble methods in machine learning". In J. Kittler and F. Roli, editors, Multiple Classifier Systems. First International Workshop, MCS 2000, Cagliari, Italy, volume 1857 of Lecture Notes in Computer Science, pp. 1–15. Springer-Verlag, 2000.
8. D. Impedovo and G. Pirlo, "Automatic signature verification: the state of the art," IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Part C, vol. 38, no. 5, pp. 609–635, 2008
9. S. Garcia-Salicetti, J. Fierrez-Aguilar, F. Alonso-Fernandez, et al., "Biosecure reference systems for on-line signature verification: a study of complementarity," Annals of Telecommunications, vol. 62, no. 1-2, pp. 36–61, 2007.
10. M. Faundez-Zanuy, "On-line signature recognition based on VQ-DTW," Pattern Recognition, vol. 40, no. 3, pp. 981–992, 2007.
11. K. Cherkauer, "Human expert-level performance on a scientific image analysis task by a system using combined artificial neural networks", In P. Chan, editor, Working Notes of the AAAI Workshop on Integrating Multiple Learned Models, pp. 15–21. 1996.
12. L. I. Kuncheva, "Combining Pattern Classifiers, Methods and Algorithms", New York, NY: Wiley Interscience, 2005.

13. E. Bauer and R. Kohavi, "An empirical comparison of voting classification algorithms: Bagging, boosting and variants". Machine Learning, Vol.24, no. 3, pp.173–202, 1999.
14. X. Mu, P. Watta and M. H. Hassoun, " Weighted Voting-based Ensemble Classifiers with Application to Human Face Recognition and Voice Recognition", Proceedings of International Joint Conference on Neural Networks, Atlanta, Georgia, USA, June 14-19, 2009.
15. K.M. Ting and L.H. Witten, "Stacked generalization: When does it work?", In Proc. Of International Joint Conference on Artificial Intelligence, 1997.
16. A. Sharkey, "Types of multinet system", In Proc. of MCS'2002, 2002.
17. J. Fierrez-Aguilar, S. Krawczyk, J. Ortega-Garcia, and A. K. Jain. Fusion of local and regional approaches for on-line signature verification. In Advances in Biometric Person Authentication, International Workshop on Biometric Recognition Systems, pp. 188–196, 2005.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Ensemble Classifiers for Dynamic Signature Authentication

Abstract. Rapid advances in technology, that made almost everything goes digital have entailed a persistent need for a stronger means of information security. Furthermore, new advanced devices are now available to capture the dynamic of a person's signature. Therefore, the reliance on the dynamic signature for authenticating entities in secure system became crucial. In this paper, we investigate the problem of dynamic signature verification and recognition using Ensemble of Classifiers, where we used multiple Fisher based probabilistic neural networks as the component classifiers to construct the Ensemble. Two key issues are studied; the first issue is how to construct the Ensemble. The second issue is how to combine the predictions of the component classifiers in order to accomplish the decision-making process. Data sets from SVC dataset have been used to assess the performance of the proposed ensemble of classifiers. Obtained results are very encouraging and show the ability of ensemble classifiers to deal with the tackled problem.

Keywords: Ensemble Classifiers; Fisher based Probabilistic Neural Network; Dynamic signature authentication.

التوقيع الديناميكي	Dynamic signature
مجموعة المصنفات	Ensemble classifiers
الشبكات العصبية الاحتمالية	Probabilistic neural network
مجموعة البيانات إس في سي الخاصة بالتوقيعات الديناميكية	SVC online signature dataset
الأنظمة الآمنة	Secure systems
التوقيع الثابت	Static signature
التوقيع الغير فوري	Off-line signature
التوقيع الفوري	On-line signature
تحليل التمايز الخطي (إل دي أي)	Liner discriminant analysis (LDA)
تحليل فيشر المميز	Fisher discriminant analysis
زاوية البعد عن المحور السيني	Azimuth
زاوية ارتفاع القلم	Altitude
التواء الزمن الديناميكي	Dynamic time wraping
نماذج ماركوف المخفية	Hidden Marcove models
شبكة ذات تغذية أمامية	Feed-forward network
طبقة مدخلات	Input layer
طبقة أنماط	Pattern layer
طبقة تجميع	Summation layer
طبقة مخرجات	Output layer
مرتبطة ارتباطاً كاملاً	Fully connected
تسوية	Normalization
متجه وحدة	Unit vector
مجموعة المصنفات المتجانسة	Homogeneous ensemble classifiers
بنية	Topology
التصويت البسيط	Simple voting
تصويت الأغلبية	Majority voting
التصويت الموزون	Weighted voting
ثقل	Weight
مشكلة التعرف على الأنماط	Pattern recognition problem
تعميم المكثس	Stack generalization

نموذج من مستوى عالي	High-level model
نموذج من مستوى منخفض	Low-level model
مكدّس	Stack
ك-جار الأكثر قرباً	k-nearest Neighbors
معدل التعرف (م.ت)	Recognition rate
معدل القبول الخاطئ (م.ق.خ)	False acceptance rate
معدل الرفض الخاطئ (م.ر.خ)	False rejection rate
معدل الخطأ المتساوي	Equal error rate (EER)
دمج الأساليب المحلية و الإقليمية	Fusion of Local and Regional Approaches

التصنيف بالاتصال البيني من أجل التعرف على الوجه متعدد الرؤية

شعيب مجاهدي¹، سناء غزالي^{1,2}، مونية مكرام^{1,3}، إدريس أبتاج الدين¹
¹ مختبر الأبحاث في المعلومات والاتصالات، كلية العلوم، جامعة محمد الخامس-الرباط، المغرب
² المدرسة الوطنية للعلوم التطبيقية، جامعة عبد المالك السعدي-تطوان، المغرب
³ مدرسة علوم الإعلام، الرباط، المغرب

البريد الإلكتروني: moujahdi_chouaib@yahoo.fr, ghouzali_sanaa@uae.ma, mikram_mounia@yahoo.fr, aboutaj@fsr.ac.ma

الخلاصة: تقدم هذه المقالة العلمية بعض نتائج تطوير نظام جديد للتعرف على الوجه متعدد الرؤية. تتمثل أهدافنا في زيادة كفاءة المعرفة، تقليص زمن الحسابات، إضافة إلى دراسة وتحديد زاوية رؤية الوجه. لقد أجرينا دراسات أولية على قاعدة بيانات تضم صور عدة أشخاص بزوايا رؤية مختلفة، مستخدمين أساليباً وتقنيات جديدة: "التحول الناعم" و "تحليل التمايز بالدعم الاتجاهي" بالنسبة لانتقاء الخاصية، إضافة إلى تقنيتنا الخاصة (الاتصال البيني) بالنسبة للتصنيف، مستعملين تقنية خاصة لحساب زاوية رؤية الوجه في صورة ثنائية الأبعاد. أظهرت النتائج التجريبية أنه قد تم الحصول على تحسن في مستوى الكفاءة باستخدام نظامنا الجديد في ظروف اختبار مماثلة لتلك المستخدمة في جل الأعمال المطروحة. كما أن نظامنا يستطيع الحفاظ على كفاءة عالية في الظروف غير الملائمة أيضاً.

الكلمات الجوهرية: التعرف على الوجه متعدد الرؤية، التحول الناعم، تحليل التمايز بالدعم الاتجاهي، الاتصال البيني.

1. مقدمة

يعتبر التعرف على الوجوه تقنية بيومترية تنتمي إلى علم مقاييس الحيوية، التي تُستخدم الخصائص الفيزيولوجية (مثل الوجه، بصمة الأصبع والعين...) والتشريحية (مثل التوقيع اليدوي، المشي...) الخاصة لكل شخص للتعرف تلقائياً على هوية الأفراد. تتميز هذه الخصائص بكونها متوفرة لدى جميع البشر، فريدة من نوعها بالنسبة لكل شخص، وهي دائمة و يصعب كثيراً محاكاتها و تزويرها، على عكس التقنيات التقليدية مثل كلمات السر و البطاقات التي يمكن سرقتها أو استعمالها بطريقة احتيالية من طرف الآخرين.

بالنسبة لدماغ الإنسان، تعتبر عملية التعرف على الوجه عملاً بصرياً رفيع المستوى. إذا كان الإنسان يستطيع كشف وتحديد الوجه في مشهد بطريقة سهلة، فإن تطوير نظام حاسوبي ينفذ هذه المهام يمثل تحدياً كبيراً يخفي خلفه الكثير من العمليات المعقدة. هذا التحدي يصبح أكبر لوجود بعض العوامل التي قد تعيق عملية التعرف على الوجه خاصة عندما تكون ظروف الحصول على صور الوجه غير ملائمة ولا يمكن السيطرة عليها. هناك نوعان من الاختلافات المتعلقة بصور الوجه: منها الناتج عن التشابه البيني بين الأفراد و هي محدودة عموماً. على النقيض من ذلك، فإن التغيرات في الشخص نفسه هي أكبر كثيراً ويمكن أن تعزى إلى عدة عوامل: تعبيرات الوجه، ظروف الإضاءة، وما إلى ذلك، مما قد يتسبب في فشل نظام التعرف على الوجوه. ولكن بشكل عام، أفلحت عدة أبحاث علمية في حل هذه المشاكل بنسب مئوية عالية [داي، 2003]. ومع ذلك، التعرف على الوجه متعدد الرؤية (الرسم الأول) لا يزال يشكل تحدياً رئيسياً لبناء نظام بيومترى فعال الأمر الذي حدى بالباحثين في السنوات الأخيرة إلى بذل عدة جهود لتطوير أنظمة متخصصة، إلا أنها لا تصل إلى درجة الكمال. نقدم في هذه المقالة العلمية بعض نتائج تطوير نظام جديد للتعرف على الوجه متعدد الرؤية، حيث نستخدم أساليب عدة جديدة: "التحول الناعم" و "التحليل المميز بالدعم الاتجاهي" بالنسبة لانتقاء الخاصية، وتقنيتنا الجديدة (الاتصال البيني) بالنسبة للتصنيف باستخدام تقنية خاصة لحساب زاوية رؤية الوجه في صورة ثنائية الأبعاد. تتنظم بقية المقالة كما يلي: المحور الثاني يقدم لمحة عامة عن الأعمال العلمية التي سبق طرحها في نفس الموضوع. المحور الثالث يصف تقنيات "انتقاء الخاصية" المستعملة وكذا التصور الجديد المقترح. تُناقش النتائج التجريبية في المحور الرابع. أما الاستنتاجات ووجهات النظر فتطرح في المحور الخامس.



الرسم الأول: مثال لوجه متعدد الرؤية

2. لمحة عامة عن التعرف على الوجه متعدد الرؤية

إن الوجه بالتأكيد هو السمة البيولوجية التي يستخدمها البشر لتحديد ومعرفة بعضهم البعض. الغرض من تصميم نظام للتعرف على الوجه هو محاكاة نظام التعرف لدى الإنسان. لقد تم اقتراح عدة تصورات مهمة لمثل هذه الأنظمة التي تُستخدم صوراً ثنائية الأبعاد، حيث تم دراسة التعرف على الوجه، عندما ينظر الشخص مباشرة إلى الكاميرا أو في اتجاهها، على نطاق واسع [قان، 2002] [داي، 2003] [قان، 2004]. إلا أن التعرف على الوجه متعدد الرؤية (الصورة المأخوذة للشخص صورة جانبية) لا يزال يشكل تحدياً رئيسياً. تمثل هذه المشكلة موضوع بحث نشيط في مجالات التعرف على الأنماط و الرؤية بالكمبيوتر، فقد استقطبت الجهود البحثية بسبب تطبيقاتها المميزة، وكذا التحدي الذي طرحه على حد سواء. تعتبر الأعمال [قان، 2005] [قان، 2007] [ليو، 2007] [كيسكو، 2009] أمثلة من هذه الأبحاث في هذا الاتجاه. وفقاً للأساليب المستعملة، يمكن تقسيم هذه التصورات إلى فئتين رئيسيتين: تصورات انتقاء الخاصية و تصورات التصنيف.

1.2 تصورات انتقاء الخاصية

عامة، تقوم أساليب انتقاء الخاصية بترجمة الصورة و تحويلها إلى نموذج. يعتبر النموذج الخاص بكل صورة فريداً و يتكون من مجموعة من الخاصيات ذات الأهمية و المُنتقاة بعناية. نستطيع تمييز نوعين من تصورات انتقاء الخاصية: التصورات الخطية و التصورات غير الخطية. التي سوف نتناولها بالشرح و التوضيح كما يلي:

1.1.2 التصورات الخطية

تستند التصورات الخطية إلى أساليب تعتمد على خصائص إحصائية معروفة جداً، كما أنها تستخدم الجبر الخطي. يمثل العمل [ليو، 2007] تصوراً خطياً، حيث تم إنشاء قاعدة بيانات جديدة تضم صور وجوه متعددة الرؤية باستخدام نظام التقاط صور بسيط، يتكون من خمس كاميرات، قادر على التقاط صور وجه إنساني بخمسة زوايا مختلفة. بالنسبة لانتقاء الخاصية، استخدم هؤلاء الباحثون أسلوب تحليل العنصر الرئيسي على صور التدريب و كل صورة للاختبار. في هذا العمل، تم تطبيق انتقاء الخاصية في المجال المكاني باستخدام الأساليب الإحصائية التقليدية. أظهرت بعض الدراسات أن نظام الإنسان البصري هو أكثر حساسية للتغيرات في نطاق التردد المنخفض، كما أنه توجد أعمال أثبتت تحسين نتائج التعرف على الوجه في النطاق الترددي [مونغ، 2005]. على سبيل المثال في [كيسكو، 2009]، تم تقديم نظام لمعرفة الوجه متعدد الرؤية يستعمل تحويل الموجات لغايات تحويل الصور الأوجه. استعمال هذا التحويل يعطي امتجعات الخاصية ذات أبعاد كبيرة، مما يستلزم استعمال تقنية 'التحليل المميز الخطي' لجعل فضاء خاصيات الوجه ذو أبعاد منخفضة. إلا أن استعمال التحليل بالمميز الخطي، الذي يعاني من عدة مشاكل و نقاط ضعف، قد يؤدي إلى تدهور كفاءة الأداء الكلي والعام لنظام التعرف على الوجه متعدد الرؤية. بصفة عامة يمكن اعتبار هذه الأساليب الخطية غير فعالة للمشاكل غير الخطية كالتعرف على الوجه متعدد الرؤية.

2.1.2 التصورات غير الخطية

يُعتبر التعرف على الوجه متعدد الرؤية مشكلة غير خطية و متعددة-الفئة. في السنوات الأخيرة، حاول باحثون آخرون تطوير تقنيات غير خطية مثل "نواة تحليل العنصر الرئيسي" [شلكيف، 1998] و "نواة التحليل المميز المباشر" [لو، 2003]. هذه التقنيات تجمع بين قوة الأساليب الخطية التقليدية و جهاز النواة لحل المشاكل غير الخطية. [جليو، 2002] مثال لتصور غير خطي، وقد استخدم أسلوب "نواة التحليل المميز المباشر" لانتقاء الخاصية. إلا أن هذه الطرق المعتمدة على 'جهاز النواة' غير فعالة في حالة وجود مشكل أصغر حجم العينة. وهكذا، لا تزال نتائجها متواضعة. في العمل [قان، 2005]، يُقترح تصور غير خطي جديد: "المكانن ذات الدعم الاتجاهي-انتقاء الخاصية بالتمايز". لقد أثبت هذا الأسلوب أولويته مقارنة بنواة تحليل العنصر الرئيسي و نواة التحليل المميز المباشر، إلا أنه لا يستطيع تحقيق التوازن بين كفاءة التعرف و زمن الحسابات.

2.2 تصورات التصنيف

في المحور السابق، ركز الباحثون على تطوير انتقاء الخاصية مستخدمين بالنسبة لعملية التصنيف إما خوارزمية ك-جار الأكثر قرباً (ك-ج ق) أو المكانن ذات الدعم الاتجاهي (م د إ). في حين، ركز باحثون آخرون على تطوير التصنيف لحل مشكلة التعرف على الوجه متعدد الرؤية، التي هي مشكلة تصنيف متعددة-الفئة. لقد سبق تطبيق المكانن ذات الدعم الاتجاهي بنجاح لحل عدة مشاكل تصنيف مختلفة، لكن بالمقابل يصعب تطبيق هذا الأسلوب التقليدي لحل العديد من المشاكل التي لها أبعاد وفئات متعددة. في العمل [قان، 2007]، تم استعمال هذا الأسلوب للتعرف على الوجه متعدد الرؤية، يتعلق الأمر بأسلوب: "وحدات أدنى-أقصى للمكانن ذات الدعم الاتجاهي". عموماً، تتكون إجراءات عمل هذا التصور من ثلاث مراحل: يتم تفكيك مشكلة التعرف على الوجه متعدد الرؤية إلى عدة مشاكل فرعية ثنائية-الفئة و أبسط نسبياً (مرحلة

(التفكيك). بعد ذلك يتم حل كل مشكلة فرعية باستعمال أسلوب "المكانن ذات الدعم الاتجاهي-انتقاء الخاصية بالتمايز" (مرحلة انتقاء الخاصية والتصنيف). أخيراً، يتم تجميع حلول المشاكل الفرعية للحصول على الحل النهائي باستخدام أسلوب "الأدنى و الأقصى" [بلو، 2004] (مرحلة التجميع). ولكن عموماً نتائج هذا التصور لا تزال متواضعة. في الأونة الأخيرة، ركزت بعض الأعمال في موضوع التعرف على الوجه متعدد الرؤية، على استخدام و دمج عدة أساليب أساسية في تصور واحد (على سبيل المثال، استخدام التقنيات الخطية وغير الخطية معاً أو تطوير تقنيات انتقاء الخاصية و التصنيف في وقت واحد). نضع مثل هذه التصورات في خانة التصورات الهجينة. العمل المقترح في [إتبان، 2008] مثال لتصور هجين. الهدف من هذا العمل هو خلق نموذج توليدي جديد للوجه، يُمكن بواسطته التعامل مع خطية (الهوية)، و غير خطية (الرؤية) صور الوجه متعدد الرؤية.

3. التصور المقترح

في هذا المحور، نقدم تصوراً الهجين للتعرف على الوجه متعدد الرؤية، الذي يستخدم أساليباً جديدة لانتقاء الخاصية و كذا تقنيّتنا الجديدة للتصنيف، التي نطلق عليها اسم "الاتصال البيني"، باستخدام نموذج خاص لحساب زاوية رؤية الاتجاهي.

1.3 انتقاء الخاصية

لتطوير نماذج تدريب فعالة أثناء التصنيف، يُستخدم انتقاء الخاصية لاستخراج و اختيار أكثر الخصائص ذات الأهمية وإزالة تلك المُكررة. ثمّ ذلك في هذا العمل بتطبيق أسلوب 'التحول الناعم' متبوعاً بأسلوب 'التحليل المميز بالدعم الاتجاهي'.

1.1.3 التحول الناعم

أظهرت بعض الدراسات أن نظام الإنسان البصري هو أكثر حساسية للتغيرات في نطاق التردد المنخفض. و قد أفادت بعض الأبحاث أن التقنيات المطوّرة في مجال التردد قد حسّنت كفاءة التعرف على الوجه [مونغ، 2005]، الأمر الذي دفعنا للعمل أيضاً في المجال الترددي مستخدمين أسلوب "التحول الناعم". في العمل [جيو، 2009]، قام الباحث "جيو و من معه" بإثبات مدى أفضلية هذا الأسلوب بالنسبة لبيانات الوسائط المتعددة (الصوت، الوجه) مقارنة بالأساليب الإحصائية التقليدية وحتى مقارنة بباقي الأساليب التي تعمل في المجال الترددي. يمكن تلخيص تطوير أسلوب التحول الناعم في المراحل التالية:

- حساب المصفوفة W ذات البعد $MN \times MN$ (M و N هما طول و عرض الصورة على التوالي):

$$W([x, y], [x', y']) = \begin{cases} 1 & \text{if } |x - x'| + |y - y'| = 1 \\ 0 & \text{if } |x - x'| + |y - y'| \neq 1 \end{cases} \quad (1)$$

حيث : $[x, y] = x \times N + y$

- حساب المصفوفة القطرية D :

$$D([x, y], [x, y]) = \sum_{[x, y]} W([x, y], [x', y']) \quad (2)$$

- حساب المصفوفة L_{MN} :

$$L_{MN} = D - W \quad (3)$$

- حساب k 'قيمة ذاتية' الأولى و الـ k 'متجه ذاتية' المقابلة لها C_k (العدد k هو عدد الترددات المنخفضة المرغوب فيها).

- إسقاط مصفوفة التدريب F (والتي تحتوي على صور التدريب: صورة واحدة في كل صف) في الفضاء الذاتي الذي تمثله المتجهات الذاتية C_k لحساب مجموعة نماذج التدريب الجديدة G بعد التحويل الناعم:

$$G = C_k^T F \quad (4)$$

■ بالمثل، يتم إسقاط كل صورة اختبار f لحساب نموذج الاختبار الجديد g بعد التحويل الناعم:

$$g = C_k^T f \quad (5)$$

2.1.3 التحليل المميز بالدعم الاتجاهي

أظهرت العديد من الدراسات أن تطبيق الأساليب الإحصائية، مثل 'التحليل بالمميز الخطي'، في المجال الترددي من شأنه أن يحسن نتائج التعرف [ز هو، 2004]. لكن أسلوب 'التحليل المميز الخطي' يعاني من عدة مشاكل و نقاط ضعف، على سبيل المثال فإنه يعاني من مشكلة "صغر حجم العينة"، وبالتالي فإنه يفشل في الحصول على الاتجاه الأمثل لفصل فئتين. بالمقابل تستطيع 'المكانن ذات الدعم الاتجاهي' القيام بذلك بطريقة أمثل [قابينيك، 1995]. من هنا جاءت فكرة الجمع بين التحليل بالمميز الخطي و المكانن ذات الدعم الاتجاهي لتطوير أسلوب فعال و قوي، ألا و هو "التحليل المميز بالدعم الاتجاهي" [جيو، 2009]. أولاً، تُستخدم المكانن ذات الدعم الاتجاهي لحساب الاتجاه الأمثل لكل فئتين، ثم يتم حساب معايير فصل الفئة (على غرار تلك المستعملة في التحليل المميز الخطي) باستخدام "متجهات الدعم" المختلفة. وأخيراً، يتم حساب مصفوفة الإسقاط. عموماً، يمكن تلخيص تطوير أسلوب التحليل المميز بالدعم الاتجاهي في المراحل التالية:

■ لكل فئتين ω_i و ω_j ، $1 \leq i < j \leq M$ (هو عدد الفئات)، تُستخدم المكانن ذات الدعم الاتجاهي لحساب الاتجاه الأمثل ω_{ij} . في نهاية هذا الإجراء، نحصل على المصفوفة W التي تحتوي على $\frac{M(M-1)}{2}$ اتجاه مثالي ω_{ij} (اتجاه في كل عمود).

■ حساب مصفوفة "بين-الفئات" V_b :

$$V_b = \sum_{1 \leq i < j \leq M} \omega_{ij} \omega_{ij}^T = W W^T \quad (6)$$

■ حساب مصفوفة "داخل-الفئة" V_w :

$$V_w = \sum_{a=1}^M \sum_{i \in I_a} (\hat{x}_i - \hat{\mu}_a)(\hat{x}_i - \hat{\mu}_a)^T \quad (7)$$

- $\hat{x}_i$ مجموعة متجهات الدعم.
- $\hat{\mu}_a$ متوسط متجهات الدعم في الفئة ω_a .
- $\hat{A}_a$ مؤشر متجهات الدعم في الفئة ω_a .

■ البحث عن الفضاء الذاتي الأمثل عن طريق حل المعادلة:

$$V_b \alpha = \delta V_w \alpha \quad (8)$$

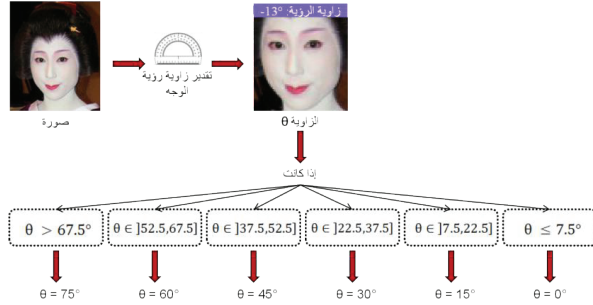
- α مجموعة المتجهات الذاتية.
- δ مجموعة القيم الذاتية.

■ تُستعمل k 'متجهة ذاتية' الأولى لتشكيل أعمدة مصفوفة التحويل أو الإسقاط النهائية α_k .

2.3 التصنيف بالاتصال البيئي

بعد بناء قاعدة بيانات التدريب و قاعدة بيانات الاختبار، نطبق أسلوب "التحول الناعم" متبوعاً بأسلوب "التحليل المميز بالدعم الاتجاهي" لاستخراج و اختيار الخاصيات ذات الأهمية و المرتبطة بكل صورة. بالنسبة لصور قاعدة بيانات التدريب، نستخدم التقنية الخاصة بحساب زاوية رؤية الوجه [جانبا، 2009]. و هي تقنية هامة جداً بالنسبة لنا من أجل تنفيذ تقنيتنا المقترحة للتصنيف: "الاتصال البيئي". بعد ذلك، نقوم بعملية 'تكميم' للزوايا المحصل عليها (الرسم الثاني) التي تُكوّن في مجال عددي مُتصل $[-90^\circ, +90^\circ]$ ، بحيث نحصل على ست فئات من الزوايا: 0° ، 15° ، 30° ، 45° ، 60° و 75° . لكل صورة من قاعدة بيانات الاختبار، نقوم بحساب زاوية رؤية الوجه ثم نطبق أسلوب "التحول الناعم" متبوعاً بأسلوب "التحليل المميز بالدعم الاتجاهي" لانتقاء الخاصيات. يُقارَن نموذج الاختبار المحصل عليه مع نماذج التدريب التي سبق إعدادها مُستخدمين ستة مُصنِّفات من نوع "خوارزمية ك-جار الأكثر قرباً (ك-ج ق)"، كل مُصنِّف مسؤول عن فئة من

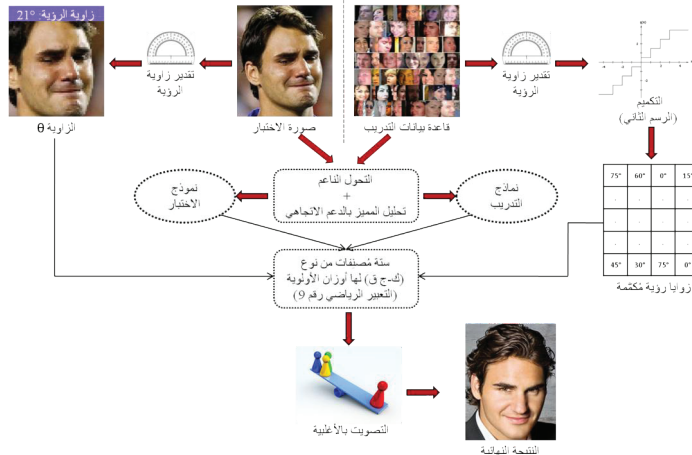
الزوايا، حيث يقوم بمقارنة نموذج الاختبار مع نماذج التدريب من نفس فئته و يتم عرض نتائج المقارنة بحساب مسافة. ثم نستخدم تصنيفاً بأغلبية الأصوات على المسافات الستة التي تم الحصول عليها. لنفترض على سبيل المثال أن زاوية الرؤية في صورة الاختبار هي 20° :



الرسم الثاني: استراتيجية تكميم زاوية رؤية الوجه

- نحسب الزوايا θ_i لتحديد أولوية المُصنِّفين، على النحو التالي ($\theta = 20^\circ$):
 - $\theta_3 = |\theta - 30^\circ| = 10^\circ$ و $\theta_2 = |\theta - 15^\circ| = 5^\circ$ و $\theta_1 = |\theta - 0^\circ| = 20^\circ$ ✓
 - $\theta_6 = |\theta - 75^\circ| = 55^\circ$ و $\theta_5 = |\theta - 60^\circ| = 40^\circ$ و $\theta_4 = |\theta - 45^\circ| = 25^\circ$ ✓
- المُصنِّف الأقرب إلى زاوية الرؤية هو المُصنِّف 15° . بالتالي ترتيب أولوية المُصنِّفين هو كما يلي: المُصنِّف 15° يليه المُصنِّف 30° ثم المُصنِّف 0° ثم المُصنِّف 45° ثم المُصنِّف 60° وأخيراً المُصنِّف 75° .
- يتم حساب وزن كل مُصنِّف باستخدام التعبير التالي:

$$P_i = 1 - \frac{\theta_i}{\sum_{j=1}^6 \theta_j}, \quad i \in [1,6] \quad (9)$$



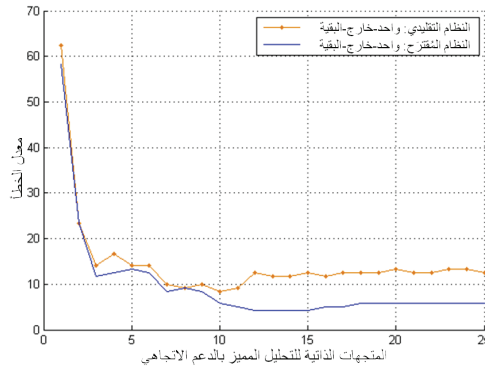
الرسم الثالث: الكيفية العامة لعمل تصورنا المقترح

- أخيراً، نقوم بتنظيم تصويت بالأغلبية. حيث نقوم بجمع أوزان المُصنِّفين الذين يؤيدون نفس النتيجة، بالتالي الصوت أو المجموع الأكبر تُرجَّح هوية نتیجته كنتیجة نهائية. يقوم الرسم التفصيلي الثالث بتلخيص الكيفية العامة لعمل تصورنا المقترح.

تجدر الإشارة إلى أن التصور المقترح صالح مع أي نوع من المُصنِّفين. لقد وقع اختيارنا على استعمال المُصنِّف 'ك-ج-ق' نظراً إلى تميزه بالبساطة والسرعة اللازمان. و من جهة أخرى، لكون أن الباحث 'جيو' قد أثبت في عمله [جيو، 2009]، أن التحليل المميز بالدعم الاتجاهي متناغم جداً مع هذا المُصنِّف و يستطيع تحسين عمليته للتصنيف على نطاق واسع.

4. النتائج التجريبية

نقوم بتقديم النتائج التجريبية للتصور المقترح، و التي تم إنجازها على قاعدة بيانات اسمها اللاتيني هو "يوميست". تتكون هذه القاعدة من 550 صورة وجه لعشرين شخصاً من أعراق و أعمار مختلفة. كل شخص يتوفر على عدة صور بزوايا رؤية تتراوح تقريباً بين 0° و 90° . حجم كل صورة هو 112×92 عُصُورَة (بُكْسِل). وهكذا، يمكن أن تُمثل كل صورة بواسطة متجه يُعدها 10304 في مجال الصورة. لإثبات فعالية تقنية "التصنيف البيني"، قارنا النظام المقترح بنظام تقليدي يستخدم نفس تقنيات انتقاء الخاصية المُستعملة في نظامنا المقترح (69 تردداً منخفضاً بواسطة "التحول الناعم" متبوعاً بأسلوب "التحليل المميز بالدعم الاتجاهي") لكنه بالمقابل يستعمل مُصنِّفاً واحداً في مرحلة المقارنة و التصنيف. تتم هذه المقارنة في شروط اختبار غير مثالية: يُمثل كل شخص في قاعدة بيانات التدريب بست صور (صورة واحدة لكل فئة رؤية)، و قد تم استخدام تقنية "واحدخارج-البقية" كتقنية للاختبار كما يلي: تشغل الخوارزميات Q مرة، و في كل جولة تُستخدم Q-1 عينة للتدريب و تُستخدم العينة المتبقية للاختبار. إذا تم التعرف على هذه العينة بطريقة صحيحة، تكون كفاءة النظام في هذه الجولة هي 100%، و 0% إذا أخطأ النظام في التعرف على العينة. معدل دقة الاختبار لتقنية "واحدخارج-البقية" هو متوسط كفاءة النظام في كل الجولات. هذا الأمر يعني أنه في كل جولة، تكون فئة الرؤية لصورة الاختبار غير موجود في قاعدة بيانات التدريب، مما يجعل كل حالات الاختبار جد معقدة. عموماً في الرسم الرابع، بين I و 4 متجهات ذاتية (لأسلوب "التحليل المميز بالدعم الاتجاهي")، نتائج النظامين المقترح و التقليدي متقاربة، و هذا طبيعي نظراً لكون الخاصيات المُستعملة لا تزال غير كافية. ما بين 4 و 10 متجهات ذاتية يمكن أن نلاحظ تحسناً طفيفاً في كفاءة نظامنا. بينما تزيد كفاءة النظام المقترح بنسبة 4,17% عند استخدام 10 و ما فوق متجهات ذاتية، مما يثبت فعالية تقنيتنا للتصنيف.



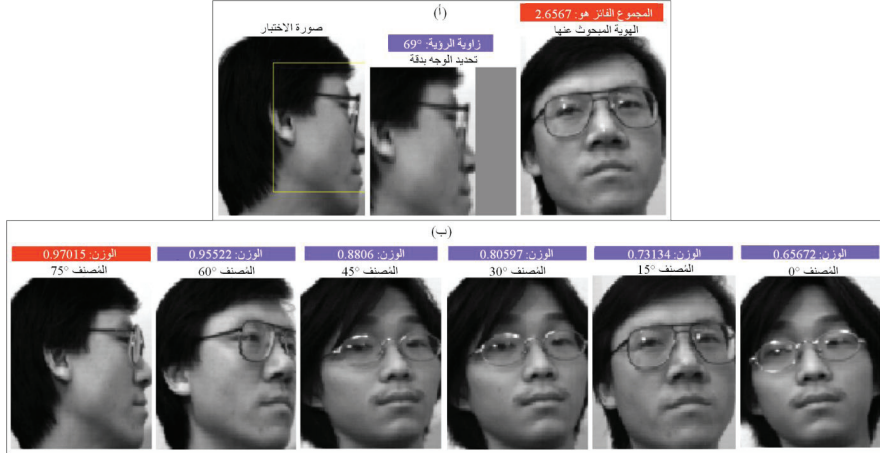
الرسم الرابع: مقارنة بين نظامنا المقترح و النظام التقليدي

يُظهر الرسم الخامس اختبار عينة لها رؤية جانبية باستخدام النظام التقليدي (الذي يستخدم مُصنِّفاً واحداً) في ظروف اختبار غير ملائمة. و قد تم استخراج 69 تردداً منخفضاً بواسطة "التحول الناعم" و 14 متجهة ذاتية بواسطة "التحليل المميز بالدعم الاتجاهي". لقد أخفق النظام التقليدي في التعرف على هوية هذه العينة.



الرسم الخامس: اختبار للتعرف باستخدام النظام التقليدي

يُظهر الرسم السادس مثالا لتحديد الهوية باستخدام نظامنا المُقترح، وقد تم الاختبار على نفس العينة المُستعملة في الرسم الخامس. المُصنّف 75° هو الأكثر أولوية نظرا لكونه الأقرب إلى زاوية رؤية العينة المُقدّرة ب 69°، وبالتالي وزن هذا المُصنّف هو 0,97015 (تم حساب الوزن باستخدام العبارة الرياضية رقم 9). استطاع المُصنّفون 75°، 60° و 15° بعد التصويت بالأغلبية، التعرف على الوجه بطريقة صحيحة بمجموع أوزان يساوي 2,6567 (0,97015+0,95522+0,73134). بينما باقي المُصنّفين 30°، 45° و 0° اتفقوا على تأييد نفس النتيجة أو الهوية الخاطئة بمجموع أوزان يساوي 2,34329 (0,8806+0,80597+0,65672). بالتالي فقد تم التعرف بشكل صحيح على وجهه الشخص في العينة من قبل نظامنا المُقترح.



الرسم السادس: اختبار للتعرف باستخدام النظام المُقترح

(أ) تقدير الزاوية و النتيجة النهائية بعد التصويت بالأغلبية (ب) نتيجة كل مصنف و وزنه المُستعمل في التصويت بالأغلبية

للتحقق من مدى كفاءة و فعالية النتائج التجريبية التي تم الحصول عليها بواسطة النظام المُقترح، قدمنا في الجدول الأول مقارنة مع العديد من الأعمال المطروحة للتعرف على الوجه متعدد الرؤية (في نفس ظروف الاختبار المُستعملة في هذه الأعمال). قسّمنا قاعدة البيانات "يوميس" إلى مجموعتين: مجموعة التدريب التي تضم 200 صورة، 10 صور للشخص الواحد تم اختيارها بعناية وفقا لرؤية الوجه، و مجموعة الاختبار التي تضم 350 صورة المُتبقية.

المعايير	قاعدة بيانات الاختبار	كفاءة التعرف	زمن التشغيل
[جليو، 2002]	يوميس	94,3%	---
[كيسكو، 2009]	يوميس	96,7%	---
[فان، 2005]	يوميس	96,7% (نواة خطية)	463 ميليثانية
	يوميس	98,2% (نواة غير خطية)	4,16 ثانية
[فان، 2007]	يوميس	93,1%	1,65 ثانية
المُقترحة	يوميس	100%	3,32 ثانية

الجدول الأول: مقارنة بين تصورنا المُقترح و تصورات أخرى مطروحة

في الأعمال السابقة حول التعرف على الوجه متعدد الرؤية، يركز الباحثون إما على تطوير تقنيات انتقاء الخاصية من أجل تحسين كفاءة تعرف الأنظمة، و إما على تطوير تقنيات التصنيف لتقليل زمن الحسابات. وبالتالي، فإن التوازن بين كفاءة نظام و زمن حسابات (زمن التشغيل) مقبولين معا و في آن واحد، لم يتم التوصل إليه أبدا في هذه الأعمال. على النقيض من ذلك، يُظهر الجدول الأول زيادة ملحوظة في كفاءة التعرف بواسطة نظامنا المُقترح مقارنة مع الأعمال الأخرى، كما أنه يحافظ على زمن حسابات و تشغيل مقبول.

5. خاتمة

في هذه المقالة العلمية، اقترحنا نظاما جديدا للتعرف على الوجه متعدد الرؤية. بالنسبة لانتقاء الخاصية، اقترحنا استعمال أسلوب "التحول الناعم" متبوعا بأسلوب "التحليل المميز بالدعم الاتجاهي". بالنسبة للتصنيف، قمنا بتقديم تقنيتنا الجديدة "الاتصال البيني" التي تسعى إلى التصنيف باستعمال "التصويت بالأغلبية"، مستفيدين من استخدام تقنية فعالة لحساب و تقدير زاوية رؤية الوجه في صورة ثنائية الأبعاد. يمكن اعتبار هذا العمل كنقطة انطلاق للعمل مستقبلا في هذا الاتجاه من البحث. في الأعمال المقبلة، إن شاء الله، سنعمل على تحسين نموذج حساب الزوايا للتقليص أكثر من زمن التشغيل، كما سنعمل على اقتراح أساليب جديدة للاتصال البيني، إضافة إلى اقتراح تصورات للتعرف على الكائنات.

المصادر و المراجع

[بلو و من معه، 2004]:

B. L. Lu, K. A. Wang, M. Utiyama, H. Isahara. "A part-versus-part method for massively parallel training of support vector machines". International Joint Conference on Neural Networks, 2004.

[تيان و من معه، 2008]:

Z. C. Tian, G. Fan, X. Gao. *Multi-view face recognition by nonlinear tensor decomposition*. 19th International Conference on Pattern Recognition, 2008.

[جانيان و من معها، 2009]:

J. Aghajanian, S. Prince. *Face Pose Estimation in Uncontrolled Environments*. International Conference on Computer Vision, 2009.

[جليو و من معه، 2002]:

J. Lu, K. Plataniotis, A. Venetsanopoulos. *A kernel machine based approach for multi-view face recognition*. The International Conference on Image Processing, 2002.

[جيو و من معه، 2009]:

S. Gu, Y. Tan, X. He. *Laplacian Smoothing Transform for Face Recognition*. Science in China Series F-Information Sciences, 2009.

[جيو و من معه، 2009]:

S. Gu, Y. Tan, Xi. He. *Discriminant Analysis via Support Vectors*. Neurocomputing, 2009.

[داي و من معه، 2003]:

M. Dai, M. Q. Zhou. *On automatic human face recognition*. Advances Biometrics, v.1, pp.41-48, 2003.

[زهو و من معه، 2004]:

D. Zhou, X. Yang. *Face recognition using enhanced fisher linear discriminant model with facial combined feature*. Pacific Rim International Conference on Artificial Intelligence, 2004.

[ز هونغ و من معه، 2009]:

T. Zhang, D. Tao, X. Li, J. Yang. *Patch alignment for dimensionality reduction*. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering 21, v.9, pp.1299-1313, 2009.

[شلكبف و من معه، 1998]:

B. Scholkopf, A. Smola, X. Li, K. R. Muller. *Nonlinear Component Analysis as a Kernel Eigenvalue Problem*. Neural Computation, v.10, pp.1299-1319, 1998.

[فابنيك، 1995]:

V. Vapnik. *The Nature of Statistical Learning Theory*. Springer Verlag New York, 1995.

[فان و من معه، 2005]:

Z. Fan, B. Lu. *Fast Recognition of Multi-view Faces with Feature Selection*. IEEE International Conference on Computer Vision, 2005.

[فان و من معه، 2007]:

Z. Fan, B. Lu. *Multi-View Face Recognition with Min-Max Modular Support Vector Machines*. I-Tech Education and Publishing, 2007.

[قان و من معه، 2002]:

J. Y. Gan, Y. W. Zhang, S. Y. Mao. *Adaptive principal components extraction algorithm and its applications in the feature extraction of human face*. Acta Electronica Sinica, v.30, 2002.

[قان و من معه، 2004]:

J. Y. Gan, Y. W. Zhang. *A new approach for face recognition based on singular value features and neural networks*. Acta Electronica Sinica, v.32, pp.56-58, 2004.

[كيسكو و من معه، 2009]:

D. R. Kisku, H. Mehrotra, J. K. Sing, P. Gupta. *SVM-based Multiview Face Recognition by Generalization of Discriminant Analysis*. International Journal of Intelligent Systems and Technologies 3, 2009.

[لو و من معه، 2003]:

J. Lu, K. Plataniotis, A. Venetsanopoulos. *Face recognition using kernel direct discriminant analysis algorithms*. IEEE Transactions on Neural Networks, 2003.

[ليو و من معه، 2007]:

X.J. Liu, F. Yang, M. Paindavoine, J.W. Dang. *Multi-views Face Recognition System*. Colloque GRETSI, 2007.

[مونغ و من معه، 2005]:

Er MJ, Chen W., Wu S. *High-speed face recognition based on discrete cosine transform and rbh neural networks*. IEEE Transactions on Neural Networks, v.16, pp.679-691, 2005.

جدول الألفاظ

انجليزي	عربي
Multi-view face recognition	التعرف على الوجه متعدد الرؤية
Inter-communication	الاتصال البيني
Smoothing transform	التحول الناعم
Discriminant Analysis via Support Vectors	التحليل المميز بالدعم الاتجاهي
Biometric technique	تقنية بيومترية
Feature selection	انتقاء الخاصية
Pose estimation	تقدير زاوية رؤية الوجه
Matrix	مصفوفة
Eigenvectors	المتجهات الذاتية
Eigenvalues	القيم الذاتية
k-nearest neighbor (KNN)	خوارزمية كجار الأكثر قربا (ك-ج ق)
Principal component analysis	تحليل العنصر الرئيسي
Spatial domain	المجال المكاني
frequency domain	المجال الترددي
Gabor wavelet transform	تحويل الموجات لغابور
Linear discriminant analysis	التحليل المميز الخطي
Support vector machines (SVM)	المكانن ذات الدعم الاتجاهي (م د ا)
Kernel Principal component analysis	نواة تحليل العنصر الرئيسي
Kernel Direct Discriminant Analysis	نواة التحليل المميز المباشر
discriminative feature selection	انتقاء الخاصية بالتمايز
min-max modular SVMs	وحدات أدنى-أقصى للمكانن ذات الدعم الاتجاهي
Minimization and maximization principles	مبادئ الأدنى و الأقصى
Small sample size (SSS) problem	مشكلة صغر حجم العينة
quantification	تكميم
Majority vote	أغلبية الأصوات
Leave-one-out	واحد خارج-البقية
UMIST	يوميست
Pixel	عُصورة

الخلاصة باللغة الإنجليزية

Inter-communication classification for multi-view face recognition

This paper presents some development results of a new multi-view face recognition approach. Our objectives are to increase recognition performance, reduce the computation time and deal with the variability of the face pose (multi-view) in the same class. We have conducted preliminary studies of face recognition on the UMIST database using new methods. The Laplacian Smoothing Transform (LST) and Discriminant Analysis via Support Vectors (SVDA) have been used for the feature selection and for the classification an inter-communication technique has been developed using a model for the automatic pose estimation of the head in a face image. Experimental results show that an average improvement for face recognition performance has been obtained using our new approach in test conditions similar to those used in the literature on the multi-view face recognition, keeping a very acceptable running time. The performance of our system is also high enough in uncontrolled / not ideal conditions.

Chouaib Moujahdi, Sanaa Ghouzali, Mounia Mikram and Driss Aboutajdine

LRIT : the CNRST associated research unit



الجلسة السادسة

رمز آلي لتشكيل وتحليل النصوص العربية

كلية الهندسة – جامعة الإسكندرية –

البريد : rami_iskander@hotmail.com

. العربية واحدة من أهم لغات العالم وهي واحدة من اللغات السبعة الرئيسية بالأمم المتحدة ويتحدث بها نحو مليون شخص في . ولعل أهم ما يميز اللغة العربية هو ثراؤها دخول العديد من الزوائد للكلمات الأصلية () ووجود نظام التشكيل لتمييز الكلمات وا عادة ما يكون غائباً عن النص إلى جانب العديد من العوامل الأخرى. ونتيجة توجد العديد من التحليلات صرفية مع وجود تحليل واحد صحيح – قد يكون هناك أكثر من تحليل صحيح في أحيان قليلة – يتم التعرف عليه من خلال مضمون النص. بعد الهدف من هذا العمل هو التعرف على التحليل الصرفي الصحيح للنصوص العربية. حيث يشتمل على بناء نظام متكامل لتشكيل وتفصيل وتحليل النصوص العربية بطريقة آلية وهو تحليل صرفي متكامل لجميع الكلمات . وتتم جميع هذه العمليات الآلية بدقة عالية وسرعة كبيرة بسبب والذي يهدف إلى تحقيق .

الكلمات الجوهرية: هندسة اللغة – تعليم الآلة – معالجة اللغة الطبيعية – الاتجاهي

1

- ربية من في تحليلها الصر [1] نتيجة الأسباب التالي :
- دخول العديد من الزوائد ()
 - وجود حروف متحركة لتمييز النطق اللغوي
 - وجود نظام التشكيل الذي يميز
 -
- البأ ما يكون

- الهدف من هذا العمل هو عمل نظام لتعليم الآلة تشكيل النصوص العربية عن طريق الاختيار الآلي لتحليل الصحيح لكل كلمة في النص المراد تحليله. بمعرفة تحليل الصحيح يمكن الحصول على كم كبير من المعلومات الخاصة بالنص مثل الصفات الصرفية و أجزاء الكلام. كما يمكن تحديد تشكيل النص وطريقة معنى الإنجليزي المرادف لكل () .
- يحدد [5] فئة من عشر صفات صرفية لاستخدامها في التعلم الآلي وهي: التعريف الضمير
- هذه الصفات غير كافية لتحديد التحليل الكامل الذي يقدمه باكولتر. بد من إضافة صفات صرفية أخرى تضمن القدرة على تحديد تصنيف باكولتر الصحيح. وهذه الصفات هي: الإعرابية
- يعتمد قوياً لقياس مدى الصفات الصرفية بين التحليلات الصرفية من أجل اختيار التحليل الصحيح فيما بينها. هذا يأخذ الاعتبار نتائج تحليلات صرفية سابقة لتحقيق أكبر استفادة عند تحليل النص.
- في هذا العمل يتم التحقق من قضايا مختلفة مثل كيفية اختيار الصفات الصرفية وتعيين الم probable لها. و تغيير قيم العناصر المستخدمة في التعلم الآلي م

يعتمد هذا النظام على مدونة التريبانك العربية (. . .) [7] التي قامت بإعدادها هيئة البيانات اللغوية (. . .). وقد استخدمت هذه المدونة في نظم أخرى سابقة للتحليل الصرفي الأوتوماتيكي بواسطة منى دياب [4] [5] استخدامها الوصول لنتائج جيدة .
النظم التي تعتمد في الأساس على تحليل

التريبانك (. .) عبارة عن مجموعة ضخمة من النصوص العربية تم تجميعها
 كلمة في المدونة مصحوبة بجميع تحليلات
 إبراز التحليل الصحيح طبقاً للنص الذي يحوي الكلمة.
 (تتبع القواعد اللغوية الصحيحة) . وتشمل التحليلات المصاحبة كل الأشكال التي
 قد تكتب بها الكلمة.

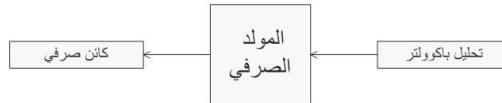
" " ي نهاية الكلمة مع الحرف " "

" " كما تشمل التحليلات المصاحبة كل العلامات الاعرابية المحتملة للكلمة .

نقسم المدونة التريباتك (. . .) يسية. في هذا النظام تم استخدام الثالث لبيانات التدريب والاختبار. ويحتوي الجزء الثالث على تحليلات 340,000 تقسيمهم إلى 327,000 كلمة لغرض التدريب و13,000 زيادة حجم بيانات التدريب ترفع من كفاءة التعلم الآلي ولكن عند مرحلة معينة لا تحسن هذه الزيادة في كفاءة النظام وتعرف هذه المرحلة بمرحلة التشبع حيث تكون التصنيفات غير قادرة على استخلاص معلومات زائدة من بيانات التدريب على استخدام فعلياً.

قبل عملية تدريب البيانات يتم تحويل كل كلمة في مدونة التدريب إلى تحويل أجزاء الكلمة في تحليل الصرفية. تتم عملية التحويل هذه عن طريق بناء ما يسمى بالمولد الصرفي (1). هو برنامج يقوم بعملية تحويل تحليل المدخل إليه إلى صرفي يحتوي على جميع الصفات الصرفية الواردة بالتحليل المدخل. وتعد عملية تحويل تحليل صرفي ليست بالعملية البسيطة إذ يجب أولاً إتمام الخطوات الآتية:

- تحديد الصفات الصرفية التي يحتويها الـ للتعبير عن تحليل الذي يقابل الـ
- ((1))
- ديد القيم المختلفة الخاصة بالصفات الصرفية (1)
- تحديد القواعد اللازمة لاستخلاص الصفات الصرفية من تحليل المقابل لها
- ((2)).



:1

1: الصفات الصرفية

الصفة الصرفية	القيم المحتملة
من الناجية الصرفية	- - - - - / - ضمير - ضمير إيضاحي - - - - - - - - - - ترقيم - غير معروف
الحالة الإعرابية	- - - - - / - - - - - غير متاح
العدد الذي تعبر عنه الكلمة	- - - - - - - - - - غير متاح
	- - - - - - - - - - محاييد - غير متاح

الشخص الذي تشير إليه الكلمة	- - - غير متاح
التعريف	لتحديد إذا كانت الكلمة معرفة بـ " "
لتحديد إذا كانت الكلمة مسبقة بأداة أم لا	-
لتحديد إذا كانت الكلمة مسبقة بحرف عطف أم لا	يوجد - لا يوجد - غير متاح
الضمير	لتحديد إذا كانت الكلمة ملحقة بضمير أم لا
لتحديد إذا كانت الكلمة مضافة أم لا	- - غير متاحة
الزمن الواقع فيه الفعل	- - - غير متاح
البناء الذي يعبر عنه الفعل	- مجهول - غير متاح
الحالة التي يقع فيها الفعل	- - - غير متاح

من أجل تحديد القواعد اللازمة لتحويل الصفات الصرفية إلى المعلومات الآتية لكل صفة:

- القيمة الطبيعية للصفة في حالة عدم وجود قيمة محددة
- طريقة استخراج قيمة الصفة طبقاً للمعلومات الواردة في البندين السابقين.

لتحليلات . وحيث أنه يوجد 300,000 أشكال التحليلات المختلفة من أجل الحصول على المعلومات الخاصة بكل صفة صرفية. هذا بالإضافة إلى ضرورة دراسة العلاقات بين الصفات الصرفية وأنواع الكلام وملاحظة القيم المختلفة للصفات الصرفية في كل الحالات المحتمل حدوثها.

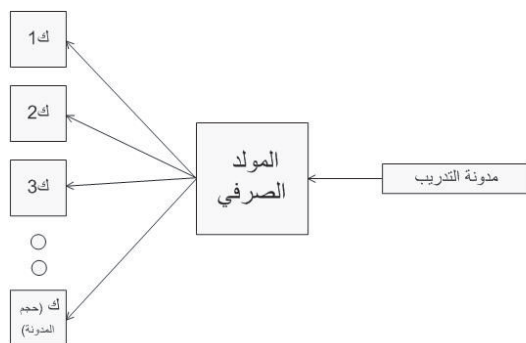
من الملاحظ أن بعض الصفات الصرفية ذات قيم تظهر فقط مع اع معينة من الكلام. " " قد يتواجد مع أي نوع من الصفة الصرفية بينما صفة " لا تظهر سوى مع الأفعال. القيمة زائدة وهي "غير متاح". بمعنى أن ظهور هذه الصفة غير متاح مع بعض أنواع الكلام. يوضح (2) فية بالإضافة إلى القيم الافتراضية.

2: والقيم الافتراضية الصرفية

الصفة الصرفية	القيمة الافتراضية
جميع أنواع الكلام	غير معروف
الحالة الإعرابية	- - - ضمير دلالي - ضمير نسبي -

	- - - - - - ضمير نسبي -	
	- - - - - - ضمير نسبي -	
	- - - - - - - - - -	
لا يوجد	- - - - -	التعريف
	جميع أنواع الكلام	
لا يوجد	جميع أنواع الكلام	
لا يوجد	- - - - - -	الضمير
	- - - - - - - - - -	

يتم تحويل مدونة الترتيب لـ ات صرفية باستخدام المولد الصرفي.
 ات الصرفية الأساس لبيانات التدريب اللازمة لتدريب التصنيفات. يوضح (2)
 عملية تحويل مدونة الترتيب إلى ات صرفية.

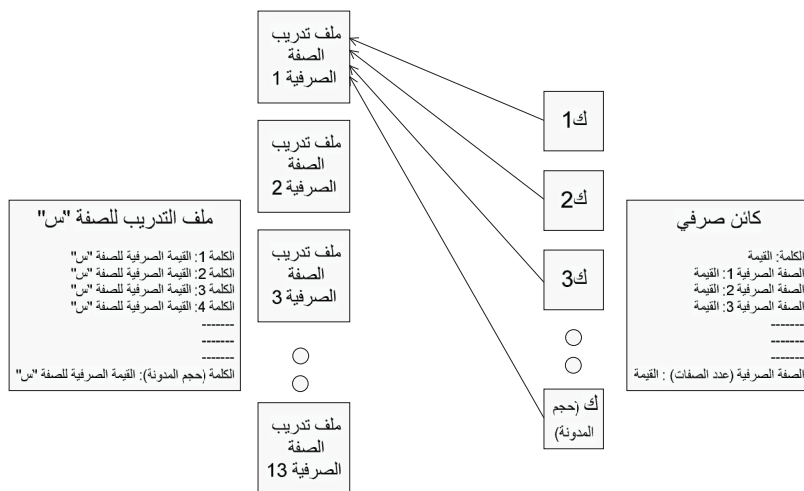


ات الصرفية اللازمة لتدريب البيانات

2:

البيانات تم جمع الآلاف من الكلمات العربية مصاحبة بصفاتها الصرفية الصحيحة على هيئة ات صرفية. ذلك مرحلة تدريب التصنيفات على ا الصرفية ثم اختبار هذه التصنيفات من أجل استخراج التحليل الصرفي الصحيح للنصوص المراد تحليلها.

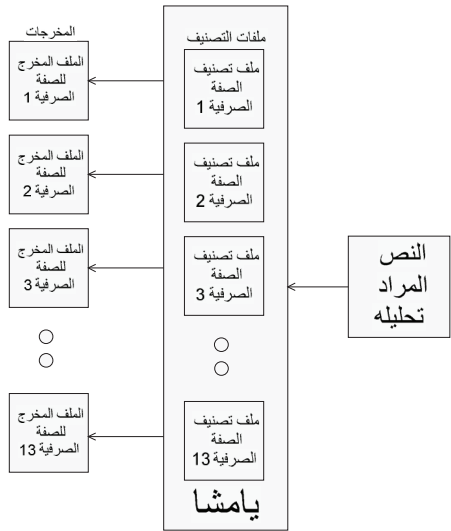
تتم عمليات تدريب واختبار البيانات باستخدام تصنيفات يامشا [8] وهي أداة للتعليم الآلي قائمة
المكانن ذات الدعم الإتجاهي (). في البداية يتم تحويل البيانات الصرفية
تجميعها في مرحلة إعداد البيانات إلى ملفات تدريب في الشكل الذي يتطلبه يامشا. ثم تتم عملية
تدريب كل صفة صرفية على حدة حيث يوجد ملف تدريب واحد وتصنيف واحد مستقل لكل صفة
صرفية من الثلاثة عشر صفة الموجودين بالنظام كما هو مبين في شكل (3).
خدم هذه
التصنيفات في اختبار النصوص المراد تحليلها. يوضح (4) يامشا في عملية تدريب
التصنيفات بينما يوضح شكل (5) عملية الاختبار.



3: تحويل الـ ات المصرفية إلى ملفات تدريب



4: تدريب التصنيفات



5: اختبار التصنيفات

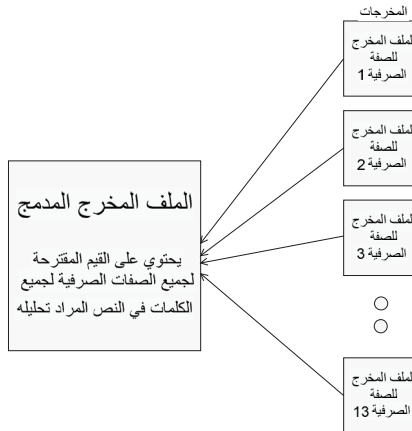
من الملاحظ أن قيمة الصفة الصرفية لكلمة ما في النص تعتمد في أغلب الأحيان على تركيب الكلمة التي تحمل هذه الصفة أو على قيم صفات صرفية أخرى لـ

فالعلامة الإعرابية للكلمة هي الكسر () . هذا يعني أنه النظر إلى المحتوى الصرفي للكلمات أثناء عملية التدريب. يتم ذلك في يامشا بالتحكم في العامل المتغير المعروف باسم " " والذي يتم تحديده تبعاً لقيم الصفات الثاب . فحجم النافذة هو ذلك العامل المتغير الذي يحدد عدد الكلمات المجاورة الذي ينبغي أخذه في الاعتبار أثناء عملية تدريب التصنيفات. وقد تم اختيار أحجام نوافذ مختلفة للصفات الصرفية طبقاً لطبيعة الصفة التي يتم تدريبها. وتتراوح أحجام النوافذ في النظام ما بين 1 5.

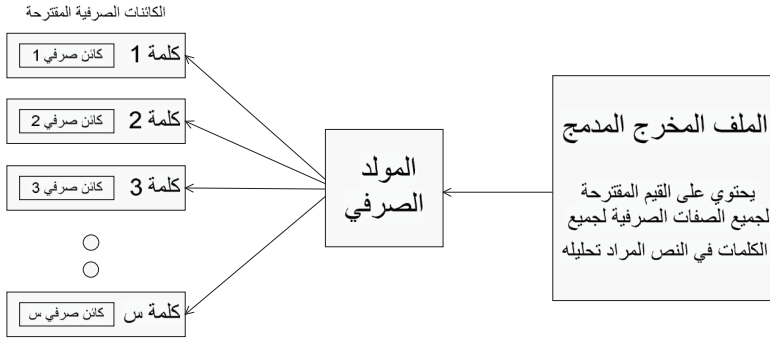
يجب أن تكون ملفات التدريب والاختبار في صيغة صحيحة بما يتوافق مع متطلبات يامشا حيث يتم فصل الجمل باستخدام خطوط فارغة بينما يتم فصل الكلمات باستخدام خطوط جديدة. عملية تدريب التصنيفات وقتاً طويلاً ويزداد هذا الوقت بزيادة حجم النوافذ في التصنيفات المراد تدريبها. ولكن هذا الوقت يتم الحاجة إليه مرة واحدة أثناء عملية التدريب على عكس عملية اختبار التصنيفات التي لا بد أن تتم في أقل زمن ممكن حيث تتم عملية الاختبار مرات عديدة (يراد تحليله).

تمثل الكائنات الصرفية المقترحة الحلول الصرفية المقدمة من قبل التصنيفات ويتم تكوينها باستخدام الملفات الناتجة من اختبار التصنيفات على النصوص المراد تحليلها ويبلغ عدد هذه 13 ملف يمثل كل منها صفة صرفية واحدة. يث يتم دمج هذه الملفات في ملف واحد يستخدم في الحصول على الكائنات الصرفية المقترحة. يمثل شكل (6) عملية دمج هذه الملفات.

يتم تحويل الملف المدمج إلى الكائنات الصرفية المحتملة باستخدام المولد الصرفي الذي تم استخدامه مسبقاً أثناء عملية إعداد البيانات. يوضح شكل (7) عملية التحويل حيث يوجد كائن صرفي واحد لكل كلمة في النص المراد تحليله يمثل التحليل الصرفي المقترح لهذه الكلمة باستخدام التصنيفات. تتم بعد ذلك مقارنة هذه الكائنات الصرفية المقترحة مع الكائنات الصرفية الناتجة من تحليل للنص المراد تحليله. ل عملية المقارنة لجة الكائنات الصرفية



6: دمج الملفات الصرفية



7: توليد الكائنات الصرفية المقترحة

يعد الهدف من عملية المعالجة هو تحسين نواتج التصنيفات بما يجعلها أكثر توافقاً مع قواعد اللغة. جود بعض الصفات الصرفية التي ي جودها وجود صفات صرفية وجود أداة التعريف مع وجود ضمير في نهاية الكلمة وهناك صفات صرفية جود حرف عطف بينما لا تبدأ الكلمة ب " "

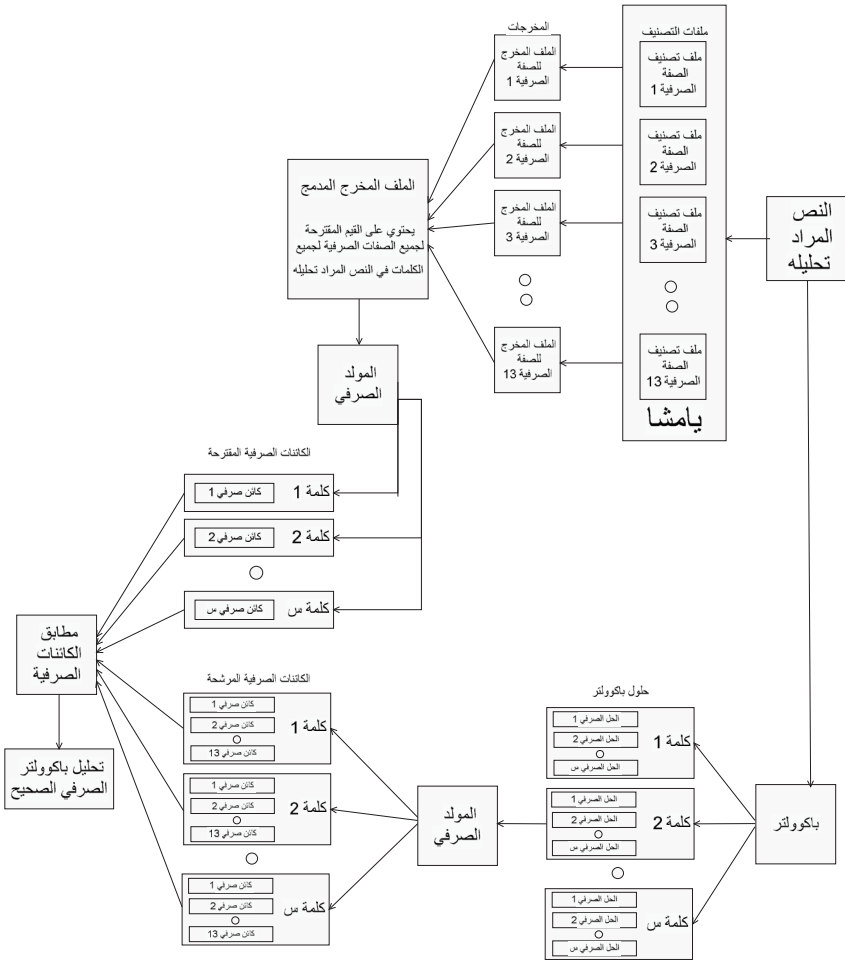
" " لذلك تتم معالجة قيم الصفات الصرفية بما يتوافق مع قواعد اللغة. وتعد عملية المعالجة قضية لغوية للتحسين من خلال استخدام المزيد من قواعد المعالجة.

بعد ذلك تتم مقارنة الكائنات الصرفية المقترحة مع ما يسمى بالكائنات الصرفية المرشحة وهي الكائنات الصرفية التي يتم توليدها نتيجة تحليل النص باستخدام حيث يستخدم المولد الصرفي في توليد هذه الكائنات. يمثل شكل (8)

تحليل الصحيح للنص المراد تحليله. ويلاحظ في الجزء الأيسر من الشكل أنه لكل كلمة في النص يوجد كائن صرفي مقترح (ناتج من اختبار التصنيفات) ومجموعة من الكائنات الصرفية (تمثل تحليل باكوولتر لهذه الكلمة). ويتم استخراج الكائن الصرفي المرشح الصحيح عن طريق إيجاد الكائن الصرفي المرشح الأكثر تطابقاً مع الكائن الصرفي المقترح من التصنيفات.

للمقارنة بين الكائنات الصرفية المختلفة يستخدم خوارزم تطابق الكائنات الصرفية. والهدف من هذا الخوارزم هو اختيار الكائن الصرفي الأكثر تطابقاً مع كائن صرفي آخر من وسط مجموعة من الكائنات الصرفية

وهذه المفاهيم هي: وزن الصفة الصرفية
وفيما يلي شرح مختصر للمفاهيم المذكورة:



الصحيح للنص المراد تحليله

8: اختيار تحليل

وزن الصفة الصرفية: يشير وزن الصفة الصرفية إلى مدى مصداقية التصنيف الذي تم تدريبيه على هذه الصفة وهو يساوي دقة التعلم الناتجة ن عملية تدريب هذا التصنيف.

يشير التوافق الصرفي إلى مدى التوافق بين كائنين صرفيين. وقد يكون هذا . والتوافق المطلق يحسب بعدد الصفات الصرفية المتشابهة بين الكائنين الصرفيين تحت الاختبار بينما التوافق الموزون هو مجموع الأوزان الصرفية للصفات الصرفية المتشابهة في كلا الكائنين الصرفيين. وهناك أيضاً التوافق الجمعي والتوافق الضربي وهما مجموع وحاصل ضرب التوافق المطلق والتوافق الموزون على الترتيب.

عند اختبار مدى مطابقة مجموعة من الكائنات الصرفية لكائن صرفي آخر لوحظ وجود بعض الكائنات الصرفية التي يحذف اختيارها عن كائنات صرفية أخرى غير محبذة لذلك قد يعطى الكائن الصرفي رصيد إضافي من التوافق إذا كان محبذاً أو ينقص رصيد من توافقه إذا كان غير محبذ. وتعد عملية تقدير هذا الرصيد المضاف أو المنقوص عملية لغوية للتوسع عن طريق إضافة المزيد من القواعد اللغوية بخصوص مدى القبول الصرفي.

يمثل التردد الصرفي مدى تواجد الكائن الصرفي كتحليل صرفي صحيح في مدونة التدريب أو في نتائج تحاليل سابقة ويتم حساب التردد الصرفي كدالة من الأجزاء المفردة المكونة لتحليل هي أجزاء (بعد حذف العلامات الإعرابية) نجليزي . رياضياً يمكن التعبير عن هذه الدالة باستخدام

المعادلة الآتية:

$$(4\alpha + 3\alpha + 2\alpha + 1\alpha) / (W.4\alpha + Z.3\alpha + Y.2\alpha + X.1\alpha) =$$

حيث "X" = "Y" = تردد المعنى الإنجليزي المرادف "Z" = "W" بينما "1α" "2α" "3α" "4α" هي عوامل يتم تحديدها وفقاً لتقنية المحاولة والخطأ.

وفيما يلي تفاصيل خوارزم تتطابق الكائنات الصرفية:

خوارزم تطابق الكائنات الصرفية:

_____:

، وهو في هذا العمل الكائن الصرفي المقترح من قبل (التصنيفات)

قائمة من الكائنات الصرفية (الكائنات الصرفية المرشحة)

_____:

الكائنات الصرفية المرشحة مصنفة تبعاً لمدى تطابقها مع الكائن الصرفي المقارن

خوارزم تطابق الكائنات الصرفية:

_____:

1- () مابين كل كائن صرفي مرشح والكائن الصرفي .

2- إضافة رصيد للقيم الناتجة من (1) للكائنات الصرفية المحبذة، نقص رصيد للكائنات الصرفية الغير محبذة.

3- حساب التردد الصرفي لكل الكائنات الصرفية تبعاً للمعادلة الآتية:

$$(4 + 3 + 2 + 1) / (W.4 + Z.3 + Y.2 + X.1) =$$

حيث "X" = "Y" = تردد المعنى الإنجليزي المرادف، "Z" = "W" بينما "1" ، "2" ، "3" ، "4" هي عوامل يتم تحديدها وفقاً لتقنية المحاولة والخطأ.

4- ، تتم إضافة القيمة الناتجة من (1) (2) للقيمة الناتجة من (3)، وهذه القيمة = + +

5- الكائنات الصرفية تبعاً للقيمة الذ (4)، صرفي تعطى الأسبقية للكائن الصرفي ذي قيمة توافق صرفي أعلى.

الكائنات الصرفية ذات حلول غير موجودة بالمعجم يضاف لها رصيد 3 .
الكائنات الصرفية ذات أسماء بلا علامة إعرابية ينقص منها رصيد وحدة واحدة.

$$1 = 4 \alpha = 3 \alpha = 2 \alpha = 1 \alpha \text{ حيث } W + Z + Y + X =$$

5

يوجد نوعان من النمط النصي أحدهما تقليدي والآخر متشدد. يشمل النمط التقليدي نمط نصي يحوي أخطاء إملائية شائعة مثال على ذلك عدم الاكتراث بالاستخدام الصحيح للهمزات. والذي يضمن نمط نصي سليم إملائياً ونحوياً. في هذا النظام النمطين حيث توجد لكل نمط تصنيفاته التي تم تدريبها على نصوص من نفس النمط يأخذ النظام في التقليدي كل الحلول الصرفية المقدمة من بينما يتعامل مع الحلول الصرفية التي تتبع نفس النمط. (3) النتائج النهائية لتعلم الصفات الصرفية في كلا من النمطين التقليدي والمتشدد.

3: النهائية الصرفية

%		
	النمط التقليدي	
96.9	96.7	
91.5	91.3	الحالة الإعرابية
98.6	98.6	
98.7	98.7	
99.2	99.2	
99.2	99.1	التعريف
99.9	99.8	
99.9	99.9	
99.3	99.3	الضمير
95.5	95.4	
99.4	99.3	

99.2	99.1	
99.3	99.2	

يبلغ هذه الصفات الصرفية بالأفعال القيمة الأكثر حدوثاً حيث هذه الصفات الصرفية يتطلب المحتوى المحيط به

درجة عالية من الدقة 99.2% حيث ترتبط وتعطي قيمة "غير متاح" مع بقية الأنواع الصرفية. وتعد هي أيضاً يلاحظ أن تدريب أكبر نسبياً حيث يتطلب التعرف على ا

يبلغ 98.6% 98.7% 99.2% 99.9% 99.3% **التعريف** **الضمير** درجات عالية من الدقة تبلغ

تضيف للكلمات مجموعة من هذه الصفات الصرفية ومن ثم تملك هذه الصفات دقة عالية من التعلم. أيضاً يلاحظ أن تدريب هذه الصفات الصرفية يتطلب أحجام نوافذ كبيرة نسبياً حيث يتم التعرف على ه للزوائد المتعارف عليها والتي تميز تواجد هذه الصفات الصرفية بينما تؤدي أحجام النوافذ الأكبر نسبياً إلى إضافة لغط للمعلومات التي يتم تعلمها.

96.6% وهي دقة أقل من الصفات الصرفية السابق ذكرها

نوع الكلمة فئة مكونة من عدد كبير من العناصر يبلغ 17

يعتمد على المحتوى النصي المحيط بالكلمة مما يزيد من صعوبة التعلم. هذا وتبلغ دقة تعلم الإعرابية 91.5% 95.5% على الترتيب وهي نسب قليلة نسبياً هذا بسبب اعتماد هذه الصفات الصرفية على تكوين المحتوى النصي بصورة أساسية مما يزيد من صعوبة تعلم هذه ويفسر سبب استخدام أحجام نوافذ كبيرة نسبياً لتدريبها.

يلاحظ من النتائج السابقة أن النمط الدقيق يملك دقة أكبر في التعلم عن النمط التقليدي.

لديها عدد أقل من القيم الصرفية أثناء عملية التدريب هذا بالإضافة إلى وجود عدد أقل من الكائنات الصرفية المرشحة عند تطبيق خوارزم تطابق الكائن وهذا نتيجة وجود عدد أقل من الحلول الصرفية المرشحة حيث تقتصر فقط على الحلول التي تطابق نص بينما يتم استبعاد الحلول الصرفية الأخرى.

يُدرج جدول (4) ج النهائية الكلية للمرمز المقدم. ويلاحظ من النتائج أن نطق الكلمة يمكن استنتاجه بدقة 87.7% مما يعني أن المرمز قادر على إعطاء تشكيل صحيح للنص العربي 87.7% . كما يمكن التعرف على الأجزاء المكونة للكلمة () بدقة عالية تبلغ 99.6% بينما تبلغ دقة

الكلمة كاملة مصحوبة بعلامات التشكيل 85.7%.

المعنى الإنجليزي المرادف 92.3%، وأخيراً يمكن للمرمز تعيين يل الصحيح كاملاً () المعنى الإنجليزي المرادف /تشكيل الكلمة ومأخوذ () 84.3%. هذا وتعد النتائج المذكورة نتائج واعدة ومنافسة للنظم اللغوية الأخرى الخاصة باللغة العربية.

4: النتائج النهائية للمرمز

%	النمط التقليدي	
85.7	84.7	مصاحبة بالتشكيل الكامل
92.3	91.3	المعنى الإنجليزي المرادف
87.7	86.7	(التشكيل)
95.2	94.5	
99.6	99.6	
84.3	83.3	تحليل ()

يقدم المرمز ملفين أحدهما يدرج كل الصفات الصرفية الخاصة بكل كلمات النص تحليله بينما يعرض الملف الآخر النص المدخل مشكلاً تشكيلاً كاملاً على مستوى حر . ويوضح المثال التالي مدى قدرة المرمز على تشكيل النصوص المدخلة إليه.

:

أكد مصدر مسؤول بالهيئة العامة للرقابة المالية أن الهيئة أوشكت على الانتهاء من إعداد مشروع قانون صناديق التأمين الخاصة والمعاشات الاختيارية.

النص المدخل بعد تشكيله:

أَكَّدَ مَصْنَرٌ مَسْؤُولٌ بِالْهَيْئَةِ الْعَامَّةِ لِلرَّقَابَةِ الْمَالِيَّةِ أَنَّ الْهَيْئَةَ أَوْشَكَتْ عَلَى الْإِنْتِهَاءِ مِنْ إِعْدَادِ مَشْرُوعِ قَانُونِ صَنْدَائِقِ التَّأْمِينِ الْخَاصَّةِ وَالْمَعَاشَاتِ الْإِخْتِيَارِيَّةِ.

يستطيع المرمز تشكيل وتحليل النص تحليلاً صرفياً كاملاً بسرعة 2000 كلمة في الدقيقة وهي سرعة ممتازة يمكن زيادتها بواسطة تحميل المصادر التي يحتاجها المرمز مسبقاً قبل تشغيله عدة مرات على عدد النصوص المراد تحليلها.

6

الغرض من هذا العمل هو استخدام تعليم الآلة في عمل مرمز آلي لتشكيل وتحليل النصوص العربية. وقد تم تحقيق هذا الغرض من خلال استخدام تقنية الترميز المشرف عليه

ضخمة تحوي تحاليل الصرفية الصحيحة للنصوص المدرجة بها.
 حيث يستطيع المرمز تعيين أجزاء الكلام المعنى الإنجليزي المرادف (التشكيل)
 النص وتقسيم النص بدرجات من الدقة تبلغ 85.7% 92.3% 87.7% 92.5% 99.6%
 الترتيب. كما يستطيع مرمز تعيين تحليل الصرفي الصحيح كاملاً بدقة تبلغ 84.3%.

يعد تعزيز وتمديد المرمز المقدم من أهم أهداف العمل المستقبلي.
 دونات جديدة حيث يستطيع المرمز توفير الكثير من الوقت في بناء المدونات اعتماداً
 على الترميز الآلي بينما يتطلب الترميز اليدوي الكثير من الوقت والموارد البشرية. كذلك سيتميز
 هذا الترميز باحتوائه الكثير من المعلومات الصرفية مثل التحليل والتشكيل الكامل
 . أيضاً يعد فهم النص وتحليله الدلالي الخطوة التالية للتحليل الصرفي.
 يمكن استخدام المرمز المقدم في التحليل الدلالي استناداً إلى تحليله الصرفي. وتعد تطبيقات التحليل
 الدلالي ذات فوائد كثيرة من أهمها فهم النص المقروء أو المسموع
 وبرامج تعليم اللغة والعديد من التطبيقات الحيوية الأخرى.

- [1] Imad A. Al-Sughaiyer and Ibrahim A. Al-Kharashi, "Arabic morphological analysis techniques. A comprehensive survey", Journal of the American Society for Information Science and Technology, Pages 189–213, 2004.
- [2] Kareem Darwish, "Building a shallow Arabic Morphological Analyser in One Day", 41st Meeting of ACL (Association for Computational Linguistics) Workshop on Computational Approaches to Semitic Languages, Philadelphia, PA, Pages 47-54, 2002.
- [3] Tim Buckwalter, "Buckwalter Arabic Morphological Analyzer", LDC (The Linguistic Data Consortium), University of Pennsylvania, Pages 1-5, 2002.
- [4] Mona Diab, Kadri Hacioglu, and Daniel Jurafsky, "Automatic tagging of Arabic Text: From Raw Text to Base Phrase Chunks", 15th Meeting of the North American Chapter of the Association for Computational Linguistics/Human Language Technologies Conference, Boston, MA, Pages 149-152, 2004.
- [5] Nizar Habash and Owen Rambow, "Arabic Tokenization, Part-of-Speech Tagging and Morphological Disambiguation in One Fell Swoop", 43rd Meeting of ACL (Association for Computational Linguistics) Workshop on Computational Approaches to Semitic Languages, Pages 573-580, 2005.
- [6] Taku Kudo and Yuji Matsumoto, "Use of Support Vector Learning for Chunk Identification", Proc. of the 4th Conf. on Very Large Corpora, Pages 142-144, 2000.
- [7] Mohamed Maamouri, Ann Bies, and Tim Buckwalter, "The Penn Arabic Treebank: Building a Large-scale Annotated Arabic Corpus", NEMLAR (Network for Euro-Mediterranean Language Resources) Conference on Arabic Language Resources and Tools, Cairo, Egypt, Pages 263–270, 2004.
- [8] Taku Kudo and Yuji Matsumoto, "Fast Methods for Kernel-Based Text Analysis", 41st Meeting of ACL (Association for Computational Linguistics), Sapporo, Japan, Pages 24-31, 2003.

Title: An Automatic Arabic Tagger for Diacritizing and Analyzing the Arabic Text

Abstract: Arabic language is one of the most complex languages. This complexity is caused because of many issues such as the existence of the affixation system, the omission of disambiguating short vowels, and the existence of the diacritization system. Moreover, Arabic letters are usually written in different confusing variants. As a result, most Arabic words are ambiguous in their morphological analysis. Generally for a single word there are about ten possible morphological solutions (analyses) in average for this word with only one of them is correct according to the context of the word.

In this work a very powerful automatic Arabic tagger has been implemented. The tagger acts as an automatic diacritizer and morphological analyzer. The tagger selects the correct morphological analysis solution out of all the solutions provided by the Buckwalter analyzer. The tagger uses the SVMs Algorithm for machine learning, and solves the problem of the huge learning domain due to the Arabic complexity using a divide-and-conquer technique. The tagging results are promising and competitive to the other existing systems. The tagger has great benefits, and can be much utilized for research and learning purposes.

Keywords: Language Engineering – Machine Learning – Natural Language Processing – Support Vector Machines

	Buckwalter Morphological Analyzer
تصنيف	Classifier
	Morphological Generator
	Morphological Object
	Part of Speech
	Strict Mode
ذات الدعم الاتجاهي	Support Vector Machines

أداة آلية لتصميم نظام معلوماتي بلغة النمذجة الموحدة 'إ.م.ل' انطلاقاً من وصف كتابي لمجال تطبيقي باللغة العربية

بوسماحة خيرة زينب، كلية العلوم ، قسم الإعلام الآلي

جامعة السانبا وهران ، الجزائر

البريد الإلكتروني: kzbousmaha@Yahoo.fr

الخلاصة. إن الهدف الرئيسي من هذه الدراسة هو محاولة تصميم وتنفيذ أداة "عربي.إ.م.ل"، موجهة للمستفيدين والمبتدئين كطلبة الجامعات الراغبين في تعلم التصميم و النمذجة، وحتى للمبرمجين، و هذا باقتراح منهجية بمقدورها إعادة تشكيل العملية الذهنية التي تمكن المصمم من إنتاج النموذج المفاهيمي للنظام المعلوماتي، انطلاقاً من تحليل نص عربي - يؤخذ من دفتر الشروط واصفا لميدان تطبيقي معين (دراسة حالة) - تحليلا صرفيا ونحويا وداليا معتمدين على نظرية حالات المعنى [نظرية فيلمور 1968] والتي تسمح أيضا بتحديد معنى الجملة من خلال تحديد دور كل عنصر من عناصرها. ومن أجل ذلك ، فإن البحث المقترح يستعمل لغة النمذجة الموحدة والمعتمدة لترميز وتصميم العمليات البرمجية "إ.م.ل" [جول2002]

ومن خلال اقتراح واجهة باللغة العربية، قمنا بتسهيل عملية وصف ميدان التطبيق بُغية تصميم وإنشاء أربع مخططات "إ.م.ل" : مخطط الصنفيات ، مخطط وقائع الاستخدام، مخطط التتابع و مخطط الحالات.

نقترح في هذه المداخلة طريقة نحاول وفقها -بقدر الإمكان- محاكاة التفكير الإنساني ونقل خبرات الباحثين في مجال تصميم مخططات لغة النمذجة الموحدة. ومن أجل الإحاطة بهذه الإشكالية واجهتنا عدة عوائق لاسيما ما تعلق بصعوبة تسجيل خبرة الخبراء في قاعدة المعارف تبعا لنظرتهم الواسعة للنظام وتفهمهم لخطوطه العريضة، مادام "إ.م.ل" إلا لغة رمزية غير قادرة على التوجيه نحو كيفية تطوير المخططات. هذا ناهيك عن صعوبة المعالجة الآلية للغة العربية.

الكلمات الجوهرية. نظم المعلومات، المعالجة الآلية للغة العربية، تحليل صرفي ونحوي ودلالي، نظرية حالات المعنى، نظرية استغلال السياقي، الشبكة الدلالية، مخططات "إ.م.ل".

1. مقدمة

تندرج الأداة المقترحة ضمن الأدوات المساعدة لتصميم الأنظمة المعلوماتية، وهدفها بناء مخططات إ.م.ل. انطلاقاً من إدخال نص باللغة العربية عبر الواجهة، واصفا لميدان تطبيقي يأتي به المستخدم.

نستهل في بداية العرض تقديم المنهجية التصميمية المعتمدة ، ثم نُعرج على شرح عناصر البنية التركيبية للأداة المقترحة.

إن المنهجية التصميمية المقترحة تمر عبر المراحل التالية:

المرحلة الأولى: التحليل اللغوي

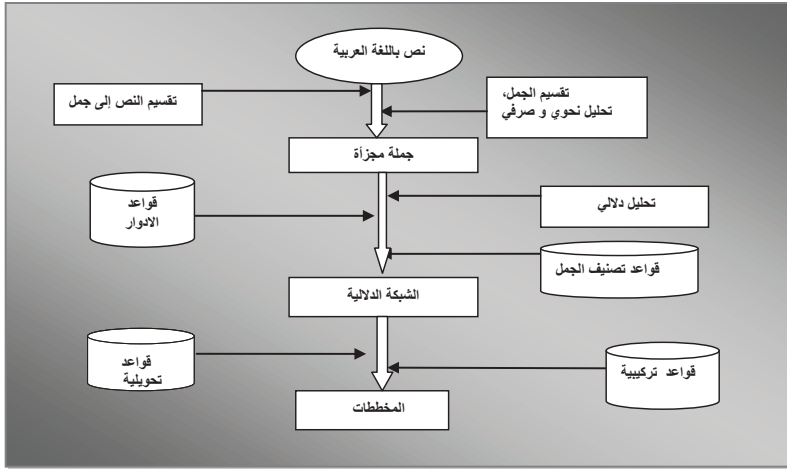
تجزئة النص إلى جمل، وتقطيع الجملة إلى وحدات صرفية، آخذين بعين الاعتبار المعلومات الصرفية لكل لفظ بما في ذلك تحديد نوعه. ثم ننفذ تحليلاً نحوياً على الجمل باستعمال قواعد اللغة العربية حتى نصل إلى مستوى أكبر لفهم الجملة و ذلك بإنشاء تمثيل داخلي يعبر عن كل جملة من النص.

المرحلة الثانية: التحليل الدلالي،

شرح الجملة من أجل التعرف على معناها السياقي وتحديد العلاقات الوظيفية بين عناصر الجملة وتفسيرها بالنظر إلى المعطيات (دراسة الحالة التطبيقية). و بعد استخراج المعارف ذات الأهمية، نقوم بتمثيلها في مفاهيم الشبكة الدلالية. وهي تُعرف من أهم الطرق لتمثيل المعارف.

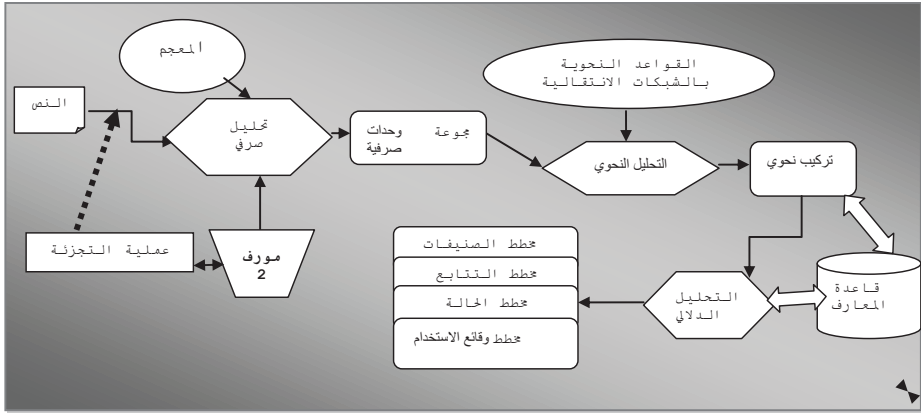
المرحلة الثالثة : إنشاء المخططات

و عن طريق قواعد وأسس مُخزنة في قاعدة المعارف، فُمنّا بتطبيق القواعد التفسيرية والتركيبية والتحويلية على المفاهيم الأساسية المستخرجة من الشبكة الدلالية لتتحول هذه الأخيرة إلى المخططات الأربعة المستهدفة.



رسم 1- مراحل التصميم الكلي

لكل مرحلة من مراحل التصميم الكلي تصميمه الخاص الذي يتأسس بدوره على أنواع من التحليلات للمعالجة و الشكل – 2- يوضح ذلك:

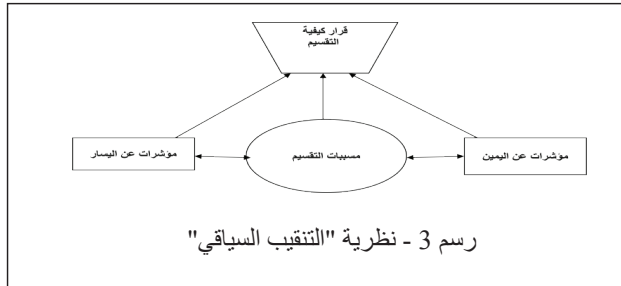


رسم 2 - المعالجة المتبعة أثناء تحليل عام و شامل

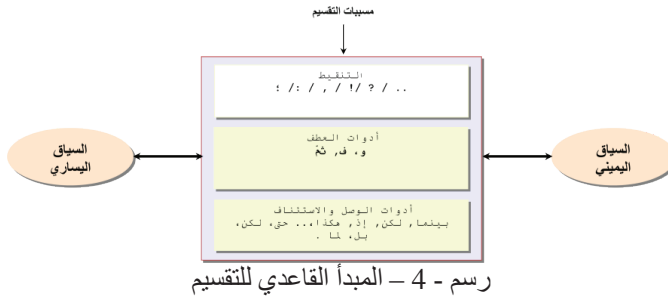
2. المعالجة المتبعة أثناء تحليل عام و شامل

2.1 من التجزئة إلى التحليل الصرفي

يُعتبر تقطيع النص أولى العمليات الجوهرية لـ "عربي إ.م.ل"، حيث يُبادر بتجزئته إلى وحدات: فقرات، جمل وألفاظ... مما يُسهل حتما عمليتي التحليل الصرفي والنحوي. فإننا لا نَعتمد في تجزئته إلّا على التنقيط و أدوات العطف و أدوات الوصل والاستئناف (حتى، لكن، بل، لما) بل نَعتمد أيضا (رسم 3-) على المؤشرات (الكلمة) المُحيطة بأدوات التقسيم (رسم 4-) مع تطبيق جملة من القواعد (رسم 5-) و هذا ما تُؤص عليه نظرية "التنقيب السياقي" [ديكلي1997] حتى نصل إلى مستوى أكبر لفهم الجملة :



رسم 3 - نظرية "التنقيب السياقي"



قاعدة:	إذا كان وراء الفاصلة فراغا وإذا كان بعد الفراغ فعل فان الفاصلة تعني نهاية جملة
قاعدة:	إذا كان قبل الفاصلة رقما و بعد الفاصلة رقما فان الفاصلة تعد مع العدد وكمثال: 300.24.35 د.ج

رسم-5:- قواعد من النظرية "التنقيب السياقي"

2.2 المعجم

إن النصوص الواصفة لدراسة الحالات ليست بنصوص أدبية أو ذات طابع صحفي، بل هي مجردة من الأحاسيس والحوارات والألقاب (مثل عمر وزيد) والتسميات (كتسميات الدول والمدن)، مما يُخفف من وطأة تصميم المعجم المعتمد. وهذا الأخير يتمثل في جدول: الأفعال (الجزر، الصنف التيبولوجي)، و الأسماء ومترادفاتها (مثل ولد و صبي، طبيب وحكيم...). لقد أدخلنا المترادفات لتفادي التكرار والخطأ في مخطط الصنفيات إذا ما وُصف نفس الكيان بمترادفات عدة.

و جدول أسماء الأعداد والظروف (ظرف المكان و ظرف الزمان : بعدما، قبل ما، قبل أن، بعد أن...) التي لها دور هام في مخططي التتابع و مخطط انتقال الحالة، و حروف الجر (ب، في، عن، ك، ...) ودورها في إبراز العلاقات مثل: "بالجامعة تعطي المحاضرة"، أو الوصف مثل "للطالب اسم ولقب"، و كذا حروف السوابق واللاحق ودور كل واحد منها.

لا يشتمل المعجم إلا على الجذور أو الأصول دون الأوزان. أما باقي المشتقات وحالات الجمع والمثنى فيتم استنباطها وفق قواعد مُبرمجة. إن أغلب طرق المعالجة الصرفية للغة العربية تتبع هذه المنهجية.

2.3 المحلل الصرفي

إن الطريقة المستعملة في محللنا الصرفي مُستمدّة من "مورف 2" للمخبر ميراكل (لمياء هدرش بلغيث 2006) التي تركز على تطبيق تحليل صرفي مُعمق والذي يسمح بتحديد ليس فقط الأساس أو الجذر لكل كلمة بل كل خصائصها الصرفية المحتملة، مع الأخذ بعين الاعتبار مختلف أنواع الغموض (تعقيدات الكلمة، الاشتقاق و غياب التشكيل.. الخ). إن يقوم المحلل بتحليل جميع أصناف الكلمات العربية (الأسماء، الأفعال، الصفات و الحروف).

2.4 المحلل النحوي

ودور هذا المحلل هو التحقق من أن تسلسل الكلمات في الجملة هو مطابق لقواعد النحو والإعراب الذي تمت برمجتهم مسبقاً حتى يتم التحليل من طرف "عربي_إ.م.ل.". ولنضرب المثال التالي حتى نتضح الفكرة: فلو قلنا "يدرس في الجامعة". فإن هذه الصيغة لن يقلها المحلل النحوي بعكس قولنا "يدرس الطالب في الجامعة". هذا تبعاً لقاعدة لغوية جوهرية مفادها أن لا فعل بدون فاعل (عكس الحالة الاستثنائية "المبني للمجهول" الذي لا يدخل في إشكالية بحثنا هذا باعتباره لا يعطي أي معلومات كافية لتصميم معلوماتي).

ويُبنى هذا المحلل أساساً على تقنيات الشبكة الانتقالية المدعمة (ا.ت.ن) و هي عبارة عن تقنية أوتومات الحالات النهائية مع إضافات و خصائص. سميت بالمدعمة لأن الانتقال من حالة إلى أخرى يُصحب بخصائص و عمليات كانت السبب في زيادة قوتها. الخصائص هي مجموعة من الشروط نتحقق من صحتها عند الانتقال من حالة إلى أخرى إضافة إلى تسجيل كل الحالات التي مر بها المحلل إلى آخر كلمة في الجملة و هناك متغيرات نخلقها و نضع أو نغير فيها قيماً طبقاً لقواعد الإعراب.

هذا ما يعطيها مردودية إيجابية وسرعة ووضوح و بساطة في المعالجة. إن استعمال هذه التقنية في معالجة التحليل اللغوي كانت موضوع دراسة لعدة أبحاث (دسيك 98 , تونسي 2007 , مصفار 2008). وضمن إشكاليات عدة مشاريع (Xerox, Bell labo) بحكم قربها من الأنماط اللغوية.

مثال:

يُصرح النظام الاتصال للمشارك بعدما يدخل رقم البطاقة في البرنامج.

يتكون العنوان من رقم العقار واسم الشارع واسم الحي واسم المدينة واسم الدولة.

بعد التقطيع والتحليل الصرفي تمر الجملة على المحلل النحوي بإتباع سلسلة من الآليات (أوتومات). إذا تم التعرف على الجملة، فأنها تُقبل من طرف المُحلل وتمر إلى المرحلة التالية كما هو الحال في المثال. وفي المقابل، إذا لم تصل الجملة إلى الحالة النهائية، فنُرد إلى المستخدم كي يعيد صياغتها مع تقديم له عدة اقتراحات للتصحيح.

2.5 المحلل الدلالي أو الشبكة الدلالية (صلب الدراسة)

يقوم المحلل الدلالي، بعد الحصول على نتائج التحليل النحوي و معرفة محل كل كلمة من الإعراب، بتفسيرها و استخراج العلاقات و المعاني المهمة للكلمة و تمثيلها فيما يُعرف بالشبكة الدلالية و ذلك باعتماد منهجية لغوية.

وتمكنا هذه المعطيات من تحديد قواعد لمعاني الجمل كما سنوضحه بعد حين، ولكن قبل ذلك لا بد من الإشارة إلى أن المنهجية اللغوية المستعملة هي نظرية حالات المعنى (فيلمور 1968) التي تعتمد على فرضية أن الفعل في كل جملة هو العنصر المحدد لمعناها وأن كل وحدة منها تلعب دور مميز مع الفعل و أن معنى الجملة يحدد بدور كل عنصر من عناصرها. هذا ما قادنا إلى إيجاد تقسيم التيبولوجي للأفعال (عشرة أصناف) لإبراز معناها و تقسيم تيبولوجي آخر للأدوار (25 دور) التي يمكن أن يلعبه كل عنصر في جملة ، ما سمح لنا باستخراج 157 قاعدة محددة لمعاني الجمل لتغطية معنى النصوص الواصفة لميدان تطبيقي.

أمثلة من أصناف الأفعال

"الوصف البنيوي": هذا الصنف من أفعال يفى معنى التملك أو الامتلاك، مثل يملك، يتكون، ينتمي، يتميز...
ويضم الصنف الثاني الأفعال التي تؤدي معنى "التغيير في الحالة" مثل : ينتقل، يتغير، يتحول...

و بعض أمثلة من أصناف الأدوار :

دور "فاعل فعل الامتلاك": فالفاعل منوط له هذا الدور حينما يكون الفعل من صنف الوصف البنيوي مثل:

"تمتلك السيارة رقم تسجيل وحيد و طراز". ومنه يُعطى هذا الدور إلى السيارة. كما يُعطى دور السمة إلى كل من رقم التسجيل والطراز بما أنهما مجموعة كلمات لها معنى الانتماء ومحلها نحويا من الأسماء المكملة في الجملة التي تبدأ بفعل امتلاك. كما يُضاف دور تمييزي لرقم التسجيل السالف الذكر.

ملاحظة : إذا كانت الجملة المجردة من الفعل، فإن الأدوار المنتسبة إلى كلماتها تتوقف على ما يعطيه التحليل النحوي. والمثال على ذلك قولنا "الناشطون في الجامعة هم الأساتذة والطلبة والعمال والإداريين". فيسند في هذا السياق الدور "التعميمي" لكلمة "الناشطون" وآخر "تخصيصي" لكل من الأساتذة والطلبة والعمال والإداريين، و دور "الرابط" إلى الجامعة بما أنه على علاقة مع المبتدأ "الناشطون".

رسم-6:- بعض أمثلة من أصناف الأفعال و أصناف الأدوار

2.5.1 قواعد تصنيف الجمل :

وتبعاً للأدوار والأصناف المستخرجة يمكننا تحديد معنى الجملة من بين سلسلة من القواعد المسجلة في قاعدة معارف الأداة. وهذا لتصنيف معناها إذا ما كانت تصف بنية أم حالة أو حدث...

ومثاله القاعدة الأولى : فعل امتلاك + دور 'فاعل فعل امتلاك' + دور 'التمييز' + أدوار 'السمة' ، فإن كل جملة تتفق مع هذه القاعدة تصنف ضمن الجملة الوصفية. (أنظر أيضاً مثال السيارة)

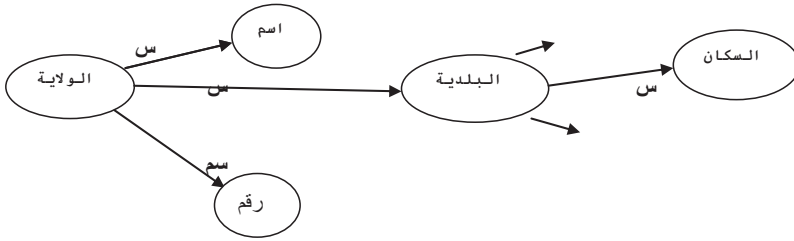
ومثال عن القاعدة الثانية : فعل 'تنفيذ' + دور 'الناشط' + دور 'الهدف' + دور 'الالزامات' ، فإنها تصنف ضمن الجمل العلاقة الإلزامية. مثال: "يستعير الطالب كتاباً واحداً على الأكثر".

2.5.2 الشبكة الدلالية

إن فهم جملة مكتوبة باللغة العربية في علم الحاسوب يقتضي تمثيل هذه الجملة داخلياً مما يُمكن التصرف فيها عن طريق البرنامج. ومنه ، لا بد من إيجاد بنية للمعطيات تُمكن هي الأخرى من تمثيل معنى الجملة. فاختيارنا للشبكة الدلالية لتمثيل المعارف مكننا من ذلك فأنشئنا مجموعة من "العقد" و "الأقواس".

وبعد تصنيف الجملة ضمن القاعدة المبينة أعلاه، وبعد تحديد دور لكل كلمة منها، نقوم بتمثيلها داخل الشبكة الدلالية. فإن كل اسم يتحول إلى عقدة و كل دور يتحول إلى قوس. هذا ما أدى بنا إلى استحداث عدة عقد وأقواس لتمثيل معنى مجموع الجمل.

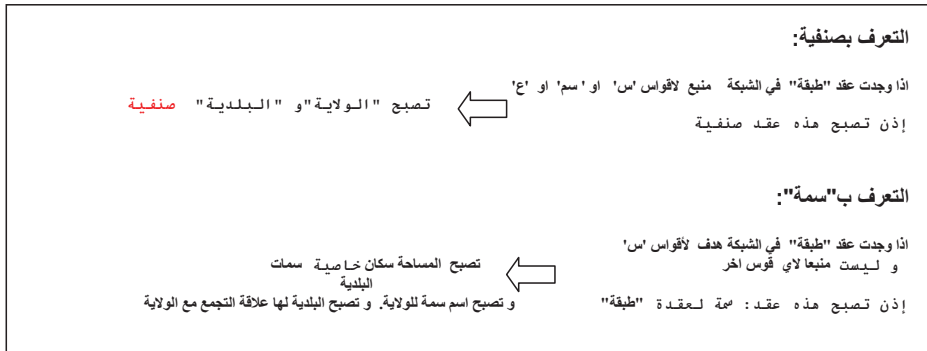
وانطلاقاً من المثال التالي: تمتلك الولاية رقم وحيد، اسم وعدد من البلديات، كما تتميز البلدية بمساحة، وعدد من السكان وخاصة. يُرمز بعقدة "طبقة" كل كلمة موجودة في جملة مصنفة ضمن الجمل الوصفية :
الولاية واسم ورقم و السكان والبلدية .. هن عقدة "طبقة" و تربط بينها بقوس "س" اي صمة و 'سم' اي "سمة مميزة"



3. بناء المخطط ا.م.ل

هي ترجمة عناصر الشبكة الدلالية إلى مخططات ا.م.ل وذلك باستعمال قاعدة البيانات المشار إليها في المقدمة والتي تتضمن مهارة الخبير في تصميم نظام معلوماتي بلغة العرض ا.م.ل . هذه القاعدة سمحت لنا باستخراج مخطط الصنفيات بإيجاد صنفياته ثم السمات والروابط والعمليات وروابط التجمع ، وروابط التكون ، وروابط الوراثة ، والإلزاميات (أصولية) ، و إيجاد مخطط واقعة الاستخدام مع كل روابطه و سيناريوهات كل واقعة الاستخدام ، وأخيرا مخطط التتابع و مخطط الحالة.

وبالنظر إلى الزخم الكبير من القواعد التي تتضمنها قاعدة بيانات دراستنا، والتي لا يمكن لمساحة هذه الورقة أن تحصرها، فإننا اقتصرنا على بعض منها:



4. خاتمة

لقد حاولنا من خلال هذه الورقة تقديم مسار لنمذجة نظام معلوماتي وأداة تساعد على تصميمها باستعمال لغة العرض الموحدة ا.م.ل.

وتتجلى عناصر العرض بالنقاط التالية :

- تبدأ الطريقة المنهجية المتبعة بتطبيق التحاليل اللغوية على النص ، وهذا باستعمال طريقة "التنقيب السياقي ل"ديكلي" في تقسيم النص ، و للتحليل النصي صرفيا يستعمل عربي_ا.م.ل "مورف 2" للمخبر ميراكل (لامية بلغيت 2006) أما نحويا إستخدما الأدوات و الخوازميات المبرمجة طبق آليات الشبكات الانتقالية المدعمة "ا.ب.ن".

- استعمال إستراتيجية " فيلمور " في التحليل الدلالي واستعمال الشبكات الدلالية لتمثيل معنى الجمل.
- إستخراج المخططات إ.م.ل انطلاقاً من قواعد المعارف التي قُمت بتصورها تبعاً لتجربتنا الخاصة وذلك بمعية الخبراء الذين تمت الاستعانة بهم في إطار نشاطنا العلمي والبيداغوجي بالجامعة.

وفيما يخص الآفاق المستقبلية:

- معالجة الأسماء والألقاب لاستخراج المخطط الكائني.
- استعمال قواعد اللغة HPSG للمحلل النحوي لما توفره من تسهيلات، فهي الأكثر رواجاً حالياً في معالجة اللغات الانجليزية والفرنسية واليابانية.
- تطوير قاعدة البيانات لاستخراج المخططات الباقية لـ "إ.م.ل"
- تطبيق الأداة المقترحة على نصوص ذات حجم كبير والمدونات مع إمكانية إدخال ملفات xml.

5. شكر و تقدير

نود في نهاية هذا العمل المتواضع أن نقدم شكرنا إلى كل من ساعدنا في إنجازه ونوجه الشكر على وجه الخصوص إلى زوجي الأستاذ الدكتور عبد الحفيظ أوسوكين مدير مخبر القانون والتكنولوجيات الحديثة الذي ساهم في ترجمة الوثائق إلى العربية والأستاذة لمياء هريش بلغيث أستاذة في جامعة صفاقس على تعاونها لنا وإمدادها لنا بالمراجع و الدعم.

6. المراجع و المصادر

الجلال ومن معه، 2002

[Alj 02] M. Aljlal and O. Frieder, "On Arabic Search: Improving the Retrieval Effectiveness via a Light Stemming Approach", In 11th International Conference on Information and Knowledge Management (CIKM), November 2002, Virginia (USA),

بايموك 2002

[Bay 02] Bayomock André-Claude "Éléments du génie logiciel 2002 –UML 2ème partie"
http://uml.developepez.com/lp/cours/uml_free_fr_cours.html

بوسماحة خيرة زينب ، 2007

"Tool of assistance to the systems design of information starting from a description in ARAB natural language: class diagram", DCCA2007 1th International conference on Digital Communications and Computer Applications, Jordan University of Science and Technology, Jordan on March 19-22, 2007

بوسماحة خيرة زينب ، 2009

"Utilisation des techniques des ATN pour l'analyse syntaxique ", Premières journées Scientifiques en Informatique, Département d'informatique, Université d'Es_Sénia Oran, Algérie

بوسماحة خيرة زينب ، 2008

"generation de diagramme de cas d'utilisation et diagramme de séquence à partir d'une spécification en arabe", 1st International Conference on Information System and Economic

IntelligenceSIIÉ'2008 organised by Nancy University, French, 4-16 February, 2008 Hammamet in Tunisia.
at

شان ومن معه 2002

[Che 02] A. Chen and F. Gey "Building an Arabic Stemmer for Information Retrieval". Proceedings of the Eleventh Text Retrieval Conference (TREC 2002). National Institute of Standards and Technology, Nov 18-22, 2002.,

درويش 2002

[Dar 02] K. Darwish: Building a Shallow Arabic Morphological Analyzer in One Day. Proceedings of the workshop on Computational Approaches to Semitic Languages in the 40th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics (ACL-02), Philadelphia, PA, USA.

درويش 2003

[Dar 03] K. Darwish : Probabilistic Methods for Searching OCR-Degraded Arabic Text, Doctoral dissertation, University of Maryland, 2003

جوليار 2002

[JUL 02] F. Julliard, « UML Unified Method Language, Langage unifié pour la modélisation objet » Université de Bretagne Sud UFR SSI - IUP Vannes 2002

حساني 1993

ديوان المطبوعات الجامعية « السمات التفريعية للفعل في البنية التركيبية »

الورز غني 2001

[Oue 01] Ouersighni R. 2001. A major offshoot of the DIINAR-MBC project: AraParse, a morphosyntactic analyzer for unvowelled Arabic texts, ACL/EACL 2001 Workshop on Arabic Language Processing, Toulouse July 2001,

إنصاف عاشور 2010

المحلل الصرفي باللغة العربية مداخلته بمؤتمر. acit، 2010، تونس

غسان مراد 2002

La segmentation de textes par exploration contextuelle automatique, présentation du module SegATex, Inscription Spatiale du Langage : structure et processus ISLsp. 29 & 30 janvier 2002. IRIT, Université Paul Sabatier, Toulouse. Paris- Sorbonne, ISHA

غسان مراد 2006

« Annotation automatique de relations sémantiques et recherche d'informations : vers de nouveaux accès aux savoirs » Colloque international, 27-28 Octobre 2006 « Problématiques du traitement automatique de l'arabe », Université Libanaise et LaLICC, Université Paris-Sorbonne

عبد الرحمان بودلال / 2009

Alkhalil Morpho sys : a morphosyntactic system for arabic texts 'Abderrahim boudlala, universiry Mohamed I

لمياء هدرش بلغيث، نوها شعبان 2006

Analyse et désambiguïsation morphologiques de textes arabes non voyellés (Morph2), TALN 2006, Leuven, 10-13 avril 2006

(خالد الشقروني 2006)

تطبيق UML التحليل و التصميم بالمنحى للكائن باستخدام UML. ترجمة

(سليم مصفار 2008)

Analyse morpho_syntaxique automatique et reconnaissances des entités nommées en arabe standard, thèse de doctorat, France

(ديكلى 1997)

Desclés J.-P., « Système d'exploration contextuelle co_texte et calcul de sens , (ed. Claude Guimier), Presses Universitaires de Caen, p. 215-232, 1997.

(عباس رمزي 2003)

AraFreq : Un outil pour le calcul de fréquences des mots arabes **ENSSIB** .
France2003

7. المصطلحات

semantic network	شبكة الدلالية
Conceptual	نموذج المفاهيمي
Case study	حالة دراسية
uml	لغة العرض الموحدة
information system	نظم المعلومات
class diagram	مخطط التصنيفات
sequence diagram	نموذج التتابع
use-cases diagram	مخطط وقائع الاستخدام
state diagram	مخطط الحالة
State diagram (diagramme d'états transition)	مخطط الحالات
scenario	تصور
cardinality	الالزاميات
association	الروابط
agregation	التجمع
composition	التكوين
identifiant	سمة تمييزي
Grammaire de cas	نظرية حالات
Attribute identification	سمة مميزة
Exploration contextuelle	التنقيب السياقي
Augmented transition network A.T.N	الشبكة الإنتقالية المدعمة

8. Abstract

The main goal of this research is to design and implement a tool called ARAB_UML, which is to be used by the novice (in companies, administrations or others). It is able to reproduce and formalize the intellectual process by which the designer produces the conceptual model of an information system (IS), starting from the analysis of a text that describes the application domain. To achieve that, this work uses the UML (Unified Modelling Language) language which is acknowledged as being be the standard model for the object-oriented methods used in the modelling of information systems. [Jul 02].

We thus propose a natural language interface (in the Arabic language). The acquisition process of the conceptual model is being facilitated, more

precisely : the class diagram, the use case diagram and the state transition diagram, for an application domain described by a simple specification.

Reproducing in the most accurate way the reasoning and the know-how of the expert in the design of UML diagrams, has constrained us to overcome the difficulty of writing and formalizing a knowledge base that includes the rules and heuristics accumulated by the designers of information systems.

Keywords : information systems, automatic processing, natural language, UML, heuristics.

مقاربة صرفية إحصائية للتشكيل الآلي

٥١١

عز الدين مزروعى¹، عبد الوافي ميزان¹، عبد الحق لخوجة¹ محمد ولد عبد الله ولد بياه¹
عبد الرحيم بودلال²
¹ جامعة محمد الأول، كلية العلوم، شعبة الرياضيات والإعلاميات، مختبر الأبحاث في الإعلاميات،
ص.ب. 717، 60000، وجدة، المملكة المغربية
² جامعة محمد الأول، كلية الآداب والعلوم الإنسانية، ص.ب. 457، 60000، وجدة، المملكة
المغربية

azze.mazroui@gmail.com, abdelouafi_meziane@yahoo.fr, abdel.lakh@gmail.com,
medbebaha@gmail.com, rahimboudlal@hotmail.com

الخلاصة. نقدم في هذه الورقة برنامجا للتشكيل الآلي للجميل العربية. يقوم هذا البرنامج في المرحلة الأولى بتحليل صرفي لكلمات الجملة خارج السياق من أجل الحصول على جميع الأوزان الممكنة لكل كلمة. تأتي بعد ذلك المرحلة الثانية التي يتم خلالها اختيار وزن وحيد من بين الأوزان الممكنة لكل كلمة بالاعتماد على نماذج ماركوف وخوارزمية فيتربي. ويعتبر هذا البرنامج أحد التطبيقات المستفيدة من برنامج الخليل الصرفي مفتوح المصدر. وقد تم تدريب البرنامج على نصوص مشكولة واختباره على نصوص غير مشكولة حيث بلغت نسبة نجاحه عند التقييم 79.5% على مستوى الكلمات و 91.8% على مستوى الحروف.

الكلمات الجوهرية: التشكيل الآلي، التحليل الصرفي، نماذج ماركوف، خوارزمية فيتربي

1 مقدمة

من أهم الصعوبات التي تواجهها المعالجة الآلية للغة العربية غياب علامات التشكيل في معظم النصوص العربية [1]. ينتج عن هذا الغياب لبس على مستوى قراءة النصوص حيث أن معاني الكلمة الواحدة تتعدد بتعدد القراءات. فكلما "كتب" مثلا تحتل أن تقرأ : كُتِبَ وكُتِبَ وكُتِبَ الخ..

وفي الوقت الذي يتمكن فيه أي متعلم مبتدئ للغة الإنجليزية من قراءة كلماتها بشكل صحيح بسبب الحضور الدائم للصوائت في الكلمات، فإن المتعلم المبتدئ للغة العربية يستعصي عليه الأمر حين تكون النصوص غير مشكولة. فالقراءة السليمة للجملة العربية تستوجب وضع علامات التشكيل على حروف الكلمات اعتمادا على سياقها داخل الجملة وهذا يتطلب معرفة متقدمة للغة العربية.

يسبب غياب علامات التشكيل في مجال المعالجة الآلية للغة العربية معضلة كبيرة لمجموعة من البرمجيات المعاصرة التي تهتم بمجالات من قبيل التركيب والدلالة والنطق الآلي [2]. ولذلك نشأت الحاجة الملحة لإنجاز برامج تقوم بعملية التشكيل الآلي للنصوص العربية فظهرت في السنوات الأخيرة مجموعة من البرمجيات تُعنى بالتشكيل الآلي أنجزتها شركات عالمية ومراكز

أبحاث. فقد قامت الشركة الهندسية لتطوير نظم الحاسبات RDI بتطوير نظام التشكيل الآلي للنصوص العربية ArabDiac [3]. كما طورت كل من شركة صخر وشركة إنفو آرب وشركة سيمو الفرنسية برامجها الخاصة للتشكيل الآلي. ومع بداية هذه السنة، أضافت شركة غوغل ضمن خدماتها مشكلا آليا للنصوص العربية [4] أكاديميا، نسجل قيام مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بتعاون مع جامعة الملك فهد للبترول والمعادن وجامعة الملك سعود ووزارة الدفاع والطيران بتطوير ثلاث نظم للتشكيل الآلي بناء على ثلاث مقاربات. اعتمدت المقاربة الأولى [5] على نماذج ماركوف الخفية (HMM) فيما استعملت خوارزمية فيتربي (Viterbi) في المقاربة الثانية [6] وارتكز النظام الثالث على عملية إحصائية تعتمد على أعلى نسبة حضور تسلسل حركات تشكيل مع تسلسل حروف معين [7]. وأخيرا نشير إلى وجود أنظمة للتشكيل الآلي قام بتطويرها مجموعة من الباحثين بالإضافة إلى بعض المحاولات الفردية لباحثين قاموا بوضع تصورات للمراحل الواجب قطعها من أجل إنجاز برنامج للتشكيل الآلي ([8]، [9]، [10]، [11]، [12]، [13]، [14]).

إن المشكل الآلي الذي قمنا بتطويره يشتغل على مرحلتين. يقوم في المرحلة الأولى بتحليل صرفي للكلمات اعتمادا على برنامج الخليل الصرفي الذي تم تطويره بتعاون بين جامعة محمد الأول وجدة-المغرب ومنظمة ألكسو (المنظمة العربية للتربية والثقافة والعلوم) ومدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية. يقوم هذا البرنامج بتقطيع الكلمة إلى لبناتها الصرفية الأساسية من سابق وجذع ولاحق قصد تحديد مجموعة من المعلومات الصرفية المحتملة للكلمة. نعتمد في المرحلة الثانية على نماذج ماركوف الخفية وخوارزمية فيتربي من أجل تحديد التشكيل الصحيح للكلمات داخل الجملة.

2 برنامج الخليل الصرفي

قام مخبر البحث في الإعلاميات بجامعة محمد الأول بوجدة-المغرب بتعاون مع منظمة ألكسو ومدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية بتطوير برنامج مفتوح المصدر يُعنى بالتحليل الصرفي للكلمات. وقد تمت تسميته برنامج الخليل الصرفي (Alkhalil Morpho Sys). يقوم هذا البرنامج بإعطاء تحليل صرفي للكلمات العربية وذلك بتحديد:

- ♦ حالات التشكيل الممكنة للكلمة
- ♦ الزوائد التي تلحق بها (السوابق واللاحق)
- ♦ نوع الكلمة: اسم أو فعل أو أداة
- ♦ وزن الكلمة مشكولا (في حالة الأسماء والأفعال)
- ♦ جذعها
- ♦ جذرها (في حالة الأسماء والأفعال)
- ♦ حالتها الإعرابية (في حالة الأسماء والأفعال).

من أجل استخلاص هذه الصفات الصرفية، تعتمد خوارزمية البرنامج على قوانين النحو والصرف، وعلى قواعد المعطيات التالية:

- ♦ قاعدة معطيات السوابق واللاحق
- ♦ قاعدة معطيات بالأدوات

- ◆ قاعدة معطيات بأسماء الأعلام
- ◆ قاعدة معطيات تضم الأوزان غير المشكولة
- ◆ قاعدة معطيات تضم الأوزان المشكولة
- ◆ قاعدة معطيات تضم الجذور العربية مرفقة بأوزان مشتقاتها.

يمكن تحميل النسخة المصدرية لبرنامج الخليل الصرفي من العنوان التالي:

<http://sourceforge.net/projects/alkhalil/>

3 المشكل الآلي

تقوم الفكرة الأساس التي بُنيَ عليها البرنامج على تحديد الأوزان المشكولة لكلمات الجملة عوض البحث مباشرة عن تشكيل هذه الكلمات. فيما يخص الكلمات التي لا وزن لها (من قبيل الحروف، الضمائر، أسماء الأعلام، ...) فإن البرنامج يقوم بتحديد حركات حروفها بشكل مباشر. ويرجع الاهتمام بالأوزان عوض الكلمات لسببين وجيهين:

السبب الأول: باستقراء طبيعة جمل اللغة العربية نلاحظ وجود علاقات دقيقة تحكم تسلسل الأوزان. فمثلاً التسلسل "فَعَلٌ + مُحَمَّدٌ + فُعَالاً" (تسلسل الجملة "سأل محمد سؤالا" والجملة "باع محمد قماشاً") جد شائع، في حين يندر وجود جمل في اللغة العربية تطابق التسلسل "فَعَلٌ + فَعَلٌ + فَعَلٌ".

السبب الثاني: تبقى أي ذخيرة تستعمل لتدريب النظام محدودة مهما كبر حجمها لأنها لا يمكن أن تستوعب جميع جمل اللغة العربية وينتج عن هذا إشكال أثناء اختبار البرنامج على جمل لم يسبق له التدريب عليها. في حين يمكن للبرنامج أن يعالج باستعمال الأوزان جملاً لم يتدرب عليها كالمّا يوجد ضمن ذخيرة التدريب تسلسل للأوزان يتطابق مع تسلسل أوزان الجملة المراد اختبارها. فعلى سبيل المثال إذا تضمنت ذخيرة التدريب الجملة "سأل محمد سؤالا" فإنه يمكن للبرنامج اختبار الجمل التالية: "باع زيد قماشاً" و "دعا أحمد دعاء" إلخ... حتى وإن لم تكن ضمن ذخيرة التدريب وذلك راجع لكون تسلسلاتها متطابقة مع تسلسل الجملة "باع محمد قماشاً".

كما أشرنا في المقدمة يشتغل البرنامج على مرحلتين. يقوم في المرحلة الأولى بتحليل صرفي للكلمات اعتماداً على برنامج الخليل الصرفي مما يعطي حلولاً متعددة لكل كلمة. ثم نقوم بعد ذلك في المرحلة الثانية باستعمال نماذج ماركوف الخفية وخوارزمية فيتيربي من أجل اختيار الحل الأنسب بين الحلول الصرفية المتعددة والذي من خلاله نحصل على التشكيل الصحيح للكلمات داخل الجملة.

3.1 المرحلة الأولى

نقوم في هذه المرحلة بتحليل صرفي لجميع كلمات الجملة. وتتم هذه العملية باستعمال برنامج الخليل الصرفي الذي يُمكننا من الحصول على لائحة الأوزان المشكولة الممكنة لكل كلمة مصحوبة بسابق ولاحق الكلمة الخاصّين بكل وزن. وبالنسبة للكلمات التي لا وزن لها فإننا:

- نعوض الوزن بنوع الكلمة في حالة الأدوات (الحروف وأسماء الشرط والأسماء الموصولة وأسماء الإشارة والظروف والضمائر).
- وفي حالة الأعلام نعوض الوزن بكلمة "اسم علم".

مثال: رحل سالم إلى المدينة

رحل			سالم			إلى			المدينة		
س	الوزن	ق	س	الوزن	ق	س	الوزن	ق	س	الوزن	ق
#	فَعَلَ	#	#	اسم علم	#	#	حرف جر	#	أَنَّ	فَعِيلَة	
	5 ح.إ.			5 ح.إ.						3 ح.إ.	
#	فَعَلَ	#	#	فَاعِل	#				أَنَّ	مُفَعَّلَة	
	5 ح.إ.			5 ح.إ.						3 ح.إ.	
#	فَعَّلَ	#	#	فَاعِل	#				أَنَّ	مُفَعَّلَة	
										3 ح.إ.	
#	فَعَّلَ	#	#	فَاعِل	#				أَنَّ	مُفَعَّلَة	
										3 ح.إ.	
#	فُعِّلَ	#	#		#				أَنَّ	مُفَعَّلَة	
										3 ح.إ.	
#	فُعِّلَ	#	#		#				أَنَّ	مُفَعَّلَة	
										3 ح.إ.	
#	فَعَّلَ	#	#		#						
عدد الحالات: 15			عدد الحالات: 8			عدد الحالات: 1			عدد الحالات: 18		

س: سابق

ق: لاحق

ح.إ: الحالات الإعرابية

3.2 المرحلة الثانية

كما هو واضح في المثال أعلاه، فإن التحليل الصرفي لكل كلمة على حدة يعطي في الغالب حلولاً متعددة. ومن أجل اختيار حل واحد لكل كلمة من الجملة، قمنا بإنشاء نموذج إحصائي لتسلسل أوزان الكلمات بالاعتماد على نماذج ماركوف الخفية HMM [15]، حيث يتم اختيار الحل الأكثر رجحاناً لكل كلمة باستخدام خوارزمية فيتربي [16] التي ترجح حلاً لكلمة ما بناءً على الحلول التي تم اختيارها للكلمات السابقة. وفي ما يلي نعرض للنموذج الإحصائي المعتمد بشيء من التفصيل:

لتكن المجموعة $O = \{o_1, \dots, o_M\}$ مجموعة منتهية من "الملاحظات" (Observations)

ولتكن $S = \{s_1, \dots, s_N\}$ مجموعة منتهية من الحالات الخفية (Hidden States)

تعريف:

نموذج ماركوف الخفي من الرتبة الأولى هو كل زوج من السلاسل $(X_t, Y_t)_{t \geq 1}$ بحيث:

- $(X_t)_t$: عبارة عن سلسلة ماركوف متجانسة (homogeneous Markov chain) تأخذ قيمها في مجموعة الحالات الخفية S

حيث:

$$= \Pr(X_{t+1} = s_j / X_t = s_i) = a_{ij} \Pr(X_{t+1} = s_j / X_t = s_i, \dots, X_1 = s_h)$$

تعتبر a_{ij} عن احتمال المرور من الحالة s_i إلى الحالة s_j

• بينما تأخذ السلسلة $(Y_t)_t$ قيمها في مجموعة المشاهدات O بحيث:

$$\Pr(Y_t = o_k / X_t = s_i, Y_{t-1} = o_{k_{t-1}}, X_{t-1} = s_{i_{t-1}}, \dots, Y_1 = o_{k_1}, X_1 = s_{i_1}) \\ = \Pr(Y_t = o_k / X_t = s_i) = b_i(k)$$

وتعتبر $b_i(k)$ عن احتمال مشاهدة o_k مع العلم بتحقيق s_i .

وفي هذا النموذج فإن مجموعة المشاهدات تعبر عن كلمات الجملة العربية المراد تشكيلها بينما تعبر مجموعة الحالات الخفية عن الأوزان المشكولة لهذه الكلمات بالإضافة إلى الأدوات مشكولة (الحروف وأسماء الشرط والأسماء الموصولة وأسماء الإشارة والظروف والضمائر) وكلمة علم.

وفي ما يلي نبين كيف استخدمنا هذا النموذج لغرض الاستخلاص الآلي لتشكيل أوزان الكلمات العربية في سياقها داخل الجملة.

نفرض على سبيل المثال جملة عربية على الشكل: $w_1, \dots, w_n$ ، ولتكن المجموعة $C = \{c_1, \dots, c_n\}$ مجموعة الأوزان العربية المشكولة. انطلاقاً من هذه الفرضيات، فإن مسألة تحديد الأوزان المشكولة الصحيحة في هذه المرحلة من المعالجة تتمثل في إيجاد مجموعة الأوزان المشكولة $(c_1^*, \dots, c_n^*)$ التي تحقق المعادلة التالية:

$$(c_1^*, \dots, c_n^*) = \arg \max_{c_1 \dots c_n \in C} \Pr(c_1 \dots c_n / w_1 \dots w_n)$$

وبما أن:

$$\Pr(c_1 \dots c_n / w_1 \dots w_n) = \frac{\Pr(w_1 \dots w_n / c_1 \dots c_n) \Pr(c_1 \dots c_n)}{\Pr(w_1 \dots w_n)}$$

فإن التسلسل $(c_1^*, \dots, c_n^*)$ يحقق:

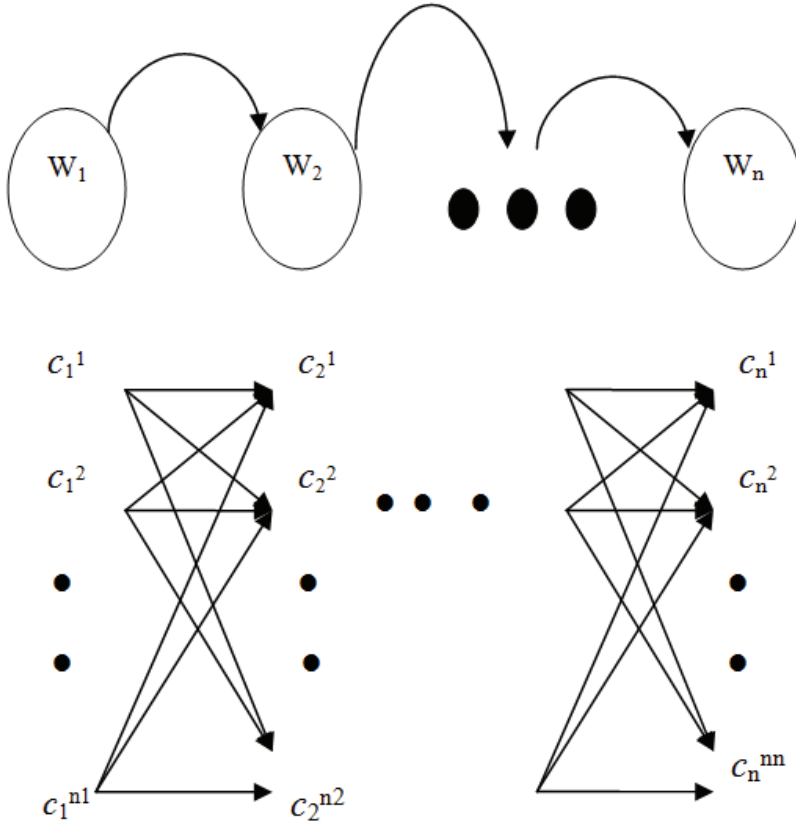
$$(c_1^*, \dots, c_n^*) = \arg \max_{c_1 \dots c_n \in C} \Pr(w_1 \dots w_n / c_1 \dots c_n) \Pr(c_1 \dots c_n)$$

وهي المعادلة التي يمكن أن تكتب على الشكل التالي:

$$(c_1^*, \dots, c_n^*) = \arg \max_{c_i^{j_i} \in C_i} \Pr(w_1 \dots w_n / c_1^{j_1} \dots c_n^{j_n}) \Pr(c_1^{j_1} \dots c_n^{j_n})$$

حيث ترمز المجموعة $C_i = \{c_i^1, \dots, c_i^{n_i}\}$ إلى مجموعة الأوزان المشكولة المحتملة الناتجة عن تحليل الكلمة w_i .

ونقوم بحل هذه المعادلة عن طريق البحث عن المسار الأكثر رجحانا في شبكة الحلول الناتجة عن التحليل الصرفي للكلمات خارج سياقها كما هو مبين في الشكل التالي:



الشكل 1. شبكة الأوزان المشكولة المحتملة الناتجة عن تحليل الجملة $W1, \dots, Wn$

حيث تعتبر خوارزمية فيتربي [16] وسيلة فعالة للبحث عن المسار الأكثر رجحانا.

وفي ما يلي نضع:

$$\phi(t, c_t^k) = \max_{\substack{r_i^{j_i} \in \mathcal{R}_i \\ 1 \leq i \leq t-1}} \left[\Pr(w_1, \dots, w_{t-1}, w_t / c_1^{k_1}, \dots, c_{t-1}^{k_{t-1}}, c_t^k) \right. \\ \left. \times \Pr(c_1^{k_1}, \dots, c_{t-1}^{k_{t-1}}, c_t^k) \right]$$

وتعبر $\phi(t, c_t^k)$ عن قيمة احتمال المسار الجزئي الأرجح الذي يمر من الجذر c_t^k ينتمي لمجموعة الأوزان المشكولة المحتملة للكلمة (w_t) .

ويمكن أن نكتب المعادلة السابقة على الشكل التالي:

$$\begin{aligned} \phi(t, c_t^k) &= \max_{\substack{r_i^{j_i} \in \mathcal{R}_i \\ 1 \leq i \leq t-1}} \prod_{i=1}^{t-1} \left[\Pr(w_i / c_i^{j_i}) \times \Pr(c_i^{j_i} / c_{i-1}^{j_{i-1}}) \times \Pr(w_t / c_t^k) \times \Pr(c_t^k / c_{t-1}^{j_{t-1}}) \right] \\ &= \left(\max_{c_{t-1}^{j_{t-1}} \in C_{t-1}} \phi(t-1, c_{t-1}^{j_{t-1}}) \times \Pr(c_t^k / c_{t-1}^{j_{t-1}}) \right) \Pr(w_t / c_t^k) \\ &= \left(\max_{c_{t-1}^j \in C_{t-1}} \phi(t-1, c_{t-1}^j) \times \Pr(c_t^k / c_{t-1}^j) \right) \Pr(w_t / c_t^k) \quad (*) \end{aligned}$$

وتسمح لنا المعادلة الأخيرة بحساب قيم الدالة ϕ بصيغة تراجعية.

ومن أجل التعرف على المسار الأرجح فإننا نعرف دالة ψ تسمح في كل لحظة t بتخزين الوزن المشكول الذي يحقق أكبر قيمة للمعادلة السابقة (*).

نعرف ψ كما يلي:

$$\psi(t, c_t^k) = \arg \max_{c_{t-1}^j \in C_{t-1}} \phi(t-1, c_{t-1}^j) \Pr(c_t^k / c_{t-1}^j) \quad (**)$$

مع ملاحظة أن: $\psi(t, c_t^k) \in C_{t-1}$

هاتان المعادلتان (*) و (**) تسمحان لنا بإيجاد المسار الأرجح عن طريق الخوارزمية التراجعية التالية:

• المرحلة الأولى: $1 \leq k \leq n_1$ حساب $\phi(t, c_1^k)$: احتمال أن تبدأ الجملة بالكلمة w_1 ويكون وزنها المشكول c_1^k • المرحلة الثانية: $2 \leq t \leq n$ و $1 \leq k \leq n_t$

$$\phi(t, c_t^k) = \left(\max_{c_{t-1}^j \in C_{t-1}} \phi(t-1, c_{t-1}^j) \times \Pr(c_t^k / c_{t-1}^j) \right) \Pr(w_t / c_t^k)$$

$$\psi(t, c_t^k) = \arg \max_{c_{t-1}^j \in C_{t-1}} \phi(t-1, c_{t-1}^j) \Pr(c_t^k / c_{t-1}^j)$$

• المرحلة الثالثة: $\psi(n+1) = \arg \max_{c_n^j \in C_n} \phi(n, c_n^j)$

• المرحلة الرابعة: $c_n^* = \psi(n+1)$

$$t = n-1 : 1 \quad c_t^* = \psi(t, c_{t+1}^*)$$

4 مرحلة التدريب

نحتاج "بارامترات" هذا النموذج المتمثلة في قيم المصفوفتين $A = (a_{ij})$ و $B = (b_{it})$ إلى عملية تقييم -خلال مرحلة تدريب النظام- بالاعتماد على ذخيرة لغوية كافية.

فلو اعتبرنا ذخيرة لغوية $C = \{Ph_1, \dots, Ph_K\}$ مكونة من عدد كبير من الجمل، فإن عملية تدريب النظام تتلخص في تقييم "البارامترات" على الشكل التالي:

$$a_{ij} = \frac{\sum_{n=1}^K (\text{عدد مرات الانتقال من الوزن } c_i \text{ إلى الوزن } c_j \text{ في الجملة } Ph_n)}{\sum_{n=1}^K (\text{عدد تكرارات الوزن } c_i \text{ في الجملة } Ph_n)}$$

$$b_{it} = \frac{(\text{عدد مرات أخذ الكلمة } w_t \text{ للوزن } c_i)}{(\text{عدد تكرارات الوزن } c_i)}$$

5 التقييم

بخصوص الذخيرة اللغوية التي استخدمنا لتدريب برنامج التشكيل الآلي، فقد كانت مكونة من ما يربو على 30.000 كلمة مشكولة. تم استقاؤها من ذخيرة مشروع NEMLAR [17]. وقد أدى اختبار البرنامج على نصوص غير مشكولة إلى نسبة نجاح بلغت 79.5% على مستوى الكلمات و 91.8% على مستوى الحروف.

6 الخاتمة

قدمنا في هذه الورقة برنامجا للتشكيل الآلي للجمل العربية يستند على برنامج الخليل الصرفي مفتوح المصدر. تتكون المقاربة المقترحة من مرحلتين تهتم الأولى بالتحليل صرفي للكلمات خارج السياق من أجل الحصول على جميع الأوزان الممكنة لكل كلمة. تأتي بعد ذلك المرحلة الثانية التي يتم خلالها اختيار وزن وحيد من بين الأوزان الممكنة لكل كلمة بالاعتماد على نماذج ماركوف وخوارزمية فيتربي. وتعتبر نتيجة تقييم البرنامج جد مشجعة بالنظر للحجم المحدود لذخيرة التدريب. وفي الوقت الحالي نعمل على توفير ذخيرة لغوية أكبر آمليين أن ننتج مصدر البرنامج مستقبلا للباحثين.

- [1] Fathi DEBILI, Hadhemi ACHOUR "Voyellation automatique de l'arabe" in Proceedings of the workshop on Computation approaches to Semitic languages, COLING-ACL '98., Montréal, 1998.
- [2] Mona Diab, Mahmoud Ghoneim, Nizar Habash "Arabic Diacritization in the Context of Statistical Machine Translation" In *Proceedings of the Machine Translation Summit (MT-Summit)*, Copenhagen, Denmark, September 2007
- [3] M. Attia, Theory and Implementation of a Large-Scale Arabic Phonetic Transcriptor, and Applications, PhD thesis, Dept. of Electronics and Electrical Communications, Faculty of Engineering, Cairo University, Sept. 2005.
- [4] Google Labs, Tashkeel, <http://tashkeel.googlelabs.com/> , 2010.
- [5] Elshafei, Mustafa, Husni Almuhtasib and Mansour Alghamdi, "*Machine Generation of Arabic Diacritical Marks*", The 2006 World Congress in Computer Science Computer Engineering, and Applied Computing . Las Vegas, USA. 2006.
- [6] Elshafei, Mustafa, Husni Almuhtasib and Mansour Alghamdi, "*Statistical Methods for Automatic Diacritization of Arabic Text*", The Saudi 18th National Computer Conference . Riyadh. 18: 301-306.
- [7] Alghamdi, M. and Zeeshan M. "KACST Arabic Diacritizer". The First International Symposium on Computers and Arabic Language, Riyadh 2007
- [8] M. Attia, M. Rashwan, A Large-Scale Arabic PoS Tagger Based on a Compact Arabic PoS Tags- Set, and Application on the Statistical Inference of Syntactic Diacritics of Arabic Text Words, Proceedings of the Arabic Language Technologies and Resources Int'l Conference; NEMLAR, Cairo, 2004.
- [9] Mohsen Rashwan, Mohammad Al-Badrashiny, Mohamed Attia and Sherif Abdou, "A Hybrid System for Automatic Arabic Diacritization" MEDAR 2009
- [10] Rani Nelken and Stuart M. Shieber "Arabic Diacritization Using Weighted Finite-State Transducers" 2005
- [11] Sankaranarayanan Ananthakrishnan, Shrikanth S. Narayanan Srinivas Bangalore "Automatic Diacritization of Arabic Transcripts for Automatic Speech Recognition" 2005.
- [12] D. Vergyri and K. Kirchhoff, 'Automatic diacritization of Arabic for Acoustic Modeling in Speech Recognition'. In Proceedings of the Workshop on Computational Approaches to Arabic Script-based Languages. COLING 2004, Geneva: 66-73.
- [13] Ya'akov Gal, "An HMM Approach to Vowel Restoration in Arabic and Hebrew", ACL, 2002.
- [14] Zitouni, J. S. Sorensen and R. Sarikaya. (2006). 'Maximum Entropy Based Restoration of Arabic Diacritics'. In Proceedings of the 21st International Conference on Computational Linguistics and 44th Annual Meeting of the Association for Computational Linguistics. Workshop on Computational Approaches to Semitic Languages, Sydney, Australia. July 2006.
- [15] Rabiner L., "A tutorial on Hidden Markov Models and selected applications in speech recognition", in the proceeding of Readings in speech recognition, pp. 267-296, 1990.
- [16] Neuhoff D.L., The Viterbi Algorithm as an Aid in Text Recognition, IEEE Transaction on Information Theory, pp 222-226, March 1975.
- [17] Attia. M., Yaseen., M., and Choukri., K. (2005), Specifications of the Arabic Written Corpus produced within the NEMLAR project; www.NEMLAR.org.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: A Morpho-statistical approach for Arabic Diacritization

Abstract. In this paper, we present an automatic diacritization system for Arabic sentences. The proposed system is comprised of two modules. The first one consists of an analysis out of context. This module uses the open source morphological analyzer AlKhalil in order to identify, for each word, its possible patterns.. The second module consists in choosing, among all the possible patterns of the word, a unique pattern taking into account the context. For this purpose, we use a Hidden Markov Models (HMM) and Viterbi algorithm, where the observations are the words and the possible patterns represent the hidden states. the system was trained on diacritized texts tested on undiacritized ones. It achieved an accuracy of 79.5% on the word level and 91.8% on the character level.

Keywords: Diacritization, Morphological Analysis, Markov Models, Viterbi Algorithm

المصطلحات

تشكيل الي	Automatic Diacritization
تحليل صرفي	Morphological Analysis
نماذج ماركوف الخفية	Hidden Markov Models
خوارزمية فيتربي	Viterbi Algorithm
حالة خفية	Hidden State
مشاهدة	Observation

الترجمة الآلية من الإنجليزية إلى العربية باستخدام الطريقة الإحصائية اعتماداً على المقاطع اللغوية المستخلصة من مكانز ثنائية اللغة

محمد إسماعيل عمرو، حسني المحتسب، وصفي غسان الخطيب
قسم علوم الحاسب الآلي والمعلومات، جامعة الملك فهد للبترول والمعادن،
الظهران 31261، المملكة العربية السعودية

البريد الإلكتروني: wasfi@kfupm.edu.sa، muhtaseb@kfupm.edu.sa، mamro@kfupm.edu.sa

الخلاصة. يعرض هذا البحث عملية الترجمة الآلية من اللغة الإنجليزية إلى اللغة العربية باستخدام الطريقة الإحصائية المعتمدة على العبارات اللغوية المترجمة بطريقة يدوية من عدة مترجمين، حيث تتكون الطريقة الإحصائية في عملية الترجمة من مرحلتين رئيسيتين هما مرحلة التدريب ومرحلة النقل. ويتم في المرحلة الأولى بناء النموذج الإحصائي اللغوي ونموذج الترجمة. ويتم في المرحلة الثانية اختيار أجود ترجمة ممكنة اعتماداً على عملية البحث الشامل، وتعتمد هذه العملية على حجم ونوعية البيانات اللغوية المستخدمة في مرحلة التدريب، فكلما كانت النماذج اللغوية أكبر كانت نتائج الترجمة أفضل.

الكلمات الجوهرية. الترجمة الآلية من الإنجليزية إلى العربية. الترجمة الإحصائية، مكانز ثنائي اللغة، العبارات الثنائية.

1. مُقدمة

تعتبر الترجمة مظهراً حضارياً يعكس صورة إيجابية للأمم عبر التاريخ، ويتم من خلالها نقل العلوم والحضارات من لغة إلى لغة أخرى، ومع بداية ظهور وانتشار الحاسب الآلي أصبحت الترجمة الآلية من أوائل المجالات الساعية للاستفادة من قدراته؛ وذلك أن الترجمة تعتبر من أهم المجالات التي تتطلب جهوداً بشرية مكلفة، ويعنى هذا البحث بالترجمة من اللغة الإنجليزية إلى اللغة العربية باستخدام الطريقة الإحصائية.

تُعَدُّ الترجمة الآلية فرعاً من فروع اللغويات الحاسوبية، وتتناول برمجة الحاسب لترجمة نص أو خطاب من لغة إلى أخرى آلياً، حيث تقوم الترجمة الآلية بمستوياتها الأولية باستبدال بسيط لكلمات بلغة معينة إلى لغة أخرى. كما تتوفر مجموعة من التقنيات التي يمكن استخدامها لترجمة النصوص الأكثر تعقيداً، مما يتيح الفرصة لمعالجة الاختلافات على نحو أفضل. ويتم ذلك عن طريق التصنيف اللغوي وتمييز العبارات اللغوية [1].

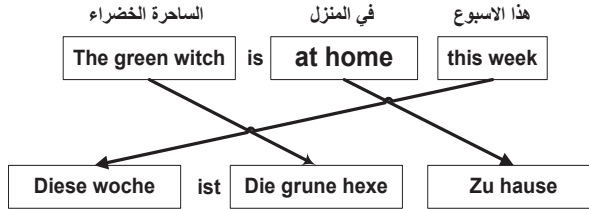
2. أساليب الترجمة في اللغة العربية

يمكن تصنيف طرق الترجمة الآلية وفقا لأساليب بنائها الأساسية إلى طرق هيكلية وطرق إحصائية، نقدم في الفقرات التالية ملخصا لهذه التصنيفات.

1 2 الطريقة الهيكلية

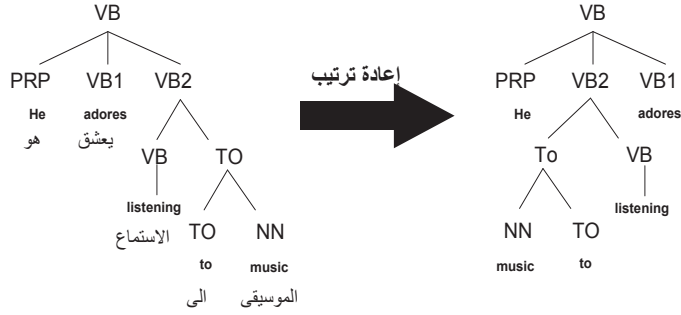
تشتمل الطريقة الهيكلية في الترجمة على عدة طرق منها: الترجمة الآلية المباشرة والترجمة الآلية باستخدام القواعد اللغوية إضافة للترجمة الآلية باستخدام لغة وسيطة [1].

تقوم الترجمة الآلية المباشرة على ترجمة النصوص كلمة كلمة من خلال المقارنة المعجمية المباشرة في قاموس ثنائي اللغة، ويتطلب هذا النوع من الترجمة إعادة ترتيب الكلمات المترجمة لمعالجة الاختلافات التركيبية بين اللغة الأصلية واللغة المترجم إليها في عملية الترجمة [1]، ويفتقر هذا الأسلوب إلى التحليل الدقيق لمكونات الجمل، وهو في العادة يعمل بين لغتين وباتجاه واحد فقط كما هو موضح في الشكل رقم 1.



شكل 1: الترجمة المباشرة من الإنجليزية إلى الألمانية

أما الترجمة الآلية باستخدام القواعد اللغوية فتعتمد على القواعد اللغوية حيث يتم في البداية عملية إعراب المُدخلات وتحليل تراكيبها ثم تطبيق القواعد اللغوية من أجل نقل المُدخلات من اللغة الأصلية إلى اللغة المترجم إليها وبعدها يتم توليد الترجمة. وعادة ما تتكون هذه الطريقة من ثلاث مراحل: مرحلة التحليل، ومرحلة النقل ومرحلة التوليد. وتهدف مرحلة النقل المعتمدة على القواعد اللغوية إلى تقليل الاختلاف الناتج عن اختلاف البنية التركيبية بين اللغة المترجم إليها واللغة الأصلية كما في الشكل رقم 2 [1].



شكل 2: الترجمة من الإنجليزية إلى اليابانية.

وتقوم الترجمة الآلية على استخدام لغة وسيطة واحدة للترجمة بين كل لغات العالم، بحيث تمثل المعاني بين أكثر من لغة في نماذج وسيطة مشتركة مما يسمح بتصميم نظام ترجمة متعدد اللغات [1، 2]. وتعمل هذه الطريقة من خلال تحليل نص اللغة المترجم منها (اللغة المصدر) ونقله إلى نماذج وبني ممثلة في اللغة الوسيطة، ثم توليد نص الترجمة انطلاقاً من هذه النماذج الوسيطة، ومن صفات التمثيل الوسيط أنه يشمل كل المعلومات لتوليد الترجمة من دون الرجوع للغة المترجم منها، ويعتبر تمثيلاً مجرداً للنص الأصلي والمترجم في الوقت نفسه، كما يعتبر تمثيلاً حيادياً بين اللغات المختلفة.

2.2 الطريقة الإحصائية

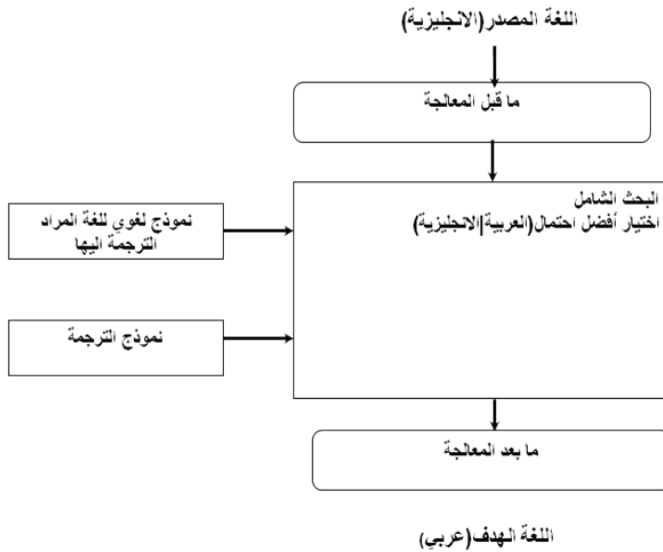
كانت بداية العمل في الترجمة الآلية الإحصائية في الفترة الواقعة ما بين [1990، 1993] بواسطة العالم براون "Brown" وفريقه [3، 4]. وقد لوحظ أن الترجمة ليست مجرد عملية نقل كلمة إلى كلمة مقابلة فحسب وإنما تساعد المعلومات المحيطة بالكلمة (الكلمات التي قبلها وبعدها) في عملية الترجمة، كما أن الكلمة الواحدة يمكن ترجمتها إلى العديد من الكلمات الأخرى في كثير من الأحيان مما يولد لبساً وغموضاً في المعنى المقصود. واعتماداً على ذلك ظهرت عدة طرق حول هذا المفهوم، ومن هذه الطرق: الترجمة الإحصائية من خلال العبارات (phrase-based SMT) والترجمة البنائية (Syntax-Based SMT) التي تعتمد على بنية الجملة [3، 4].

وتتم عملية الترجمة الإحصائية من خلال اختيار أفضل احتمال لجملة من اللغة المترجم إليها (العربية – اللغة الهدف) والتي تقابل الجملة المراد ترجمتها (الإنجليزية – اللغة المصدر)، ويتم تلقائياً محاذاة الكلمات والعبارات بالاعتماد على البيانات الموجودة داخل مكنز ثنائي اللغة.

3. مُقترح الدراسة

يقوم هذا المشروع على فكرة الاستفادة من الجهد البشري السابق المبذول في إنتاج تراجم ونصوص لغوية من خلال الترجمة اليدوية من أجل بناء نظام الترجمة الآلي الإحصائي، ويعتمد هذا النظام في بنائه على العبارات اللغوية كوحدة أساسية لعملية الترجمة بدلاً من الترجمة الآلية التي تعتمد على الكلمة المجردة.

يحتاج بناء نظام الترجمة الآلي الإحصائي إلى نموذج لغوي إحصائي ومكنز ثنائي اللغة ومحرك بحث شامل يقوم باختيار أفضل احتمال للجملة العربية المقابلة للجملة الإنجليزية المراد ترجمتها كما هو موضح في الشكل رقم 3.



شكل 3: الهيكل العامل للنظام

ويمكن أن نقسم هذا النظام الإحصائي إلى مرحلتين: مرحلة التدريب ومرحلة الترجمة. وتبين الفقرات التالية وصفا لهاتين المرحلتين.

في هذه المرحلة يبني النموذج اللغوي الإحصائي للترجمة وجدول العبارات وذلك باستخدام مجموعه من النصوص في كل من اللغة المصدر واللغة الهدف ويتم تحديد الاحتمالات تلقائياً عن طريق تدريب نموذج إحصائي باستخدام مكنز ثنائي اللغة، وتتم هذه المرحلة من خلال تجميع الوثائق (مكنز ثنائي Parallel corpus) [5] من التراجم التي سبق أن تُرجمت من قبل مترجمين محترفين، ومن ثم تستخدم تلك النصوص تلقائياً من أجل استنتاج النموذج الإحصائي وجدول العبارات.

جدول 1. مثال على مكنز ثنائي (Parallel corpus) [5]

English	Arabic
Saudi Arabia: Euromoney 2010 exposes the reality of global financial markets	السعودية: "يوروبني 2010" يناقش واقع الأسواق المالية العالمية
The fifth round of Riyadh's Euromoney 2010 festival began today. Global markets have been witnessing some instability in light of the Greek financial crisis.	انطلقت اليوم فعاليات النسخة الخامسة لمؤتمر "يوروبني 2010" بالرياض، في خضم عدم استقرار تشهده مجموعة من الأسواق العالمية على خلفية الأزمة المالية اليونانية.
This round has witnessed the attendance of more than 1,200 financial and business figures within the region and from different areas of the world, in an effort to study the reality of financial markets and the impact of global crises on them.	وتتميز هذه الدورة بحضور أكثر من 1200 شخصية من عالم المال والأعمال من المنطقة ومن مختلف دول العالم من أجل تدارس واقع الأسواق المالية في العالم وتأثير الأزمات الاقتصادية عليها.
The conference will be held over two days, including eight main sessions and a number of workshops run by global financial institutions	وتمتد أعمال المؤتمر على مدى يومين، تشمل ثماني جلسات رئيسية ومجموعة من الورشات التي ستديرها بعض المؤسسات المالية العالمية.

3 2 مرحلة الترجمة

تستخدم في هذه المرحلة إحدى طرق البحث لإيجاد أفضل ترجمة للنص بالاعتماد على النموذج اللغوي وجدول العبارات المستخلص في المرحلة السابقة من أجل إنتاج أفضل ترجمة تظهر للمستخدم في النهاية كما في المثال الموضح في الشكل 4.

```

tttable-limit: 20
weight-d: 0.6
weight-l: 0.5000
weight-t: 0.2 0.2 0.2 0.2 0.2
weight-w: +1
Loading lexical distortion models...have 0 models
Start loading LanguageModel /root/tools/work/lm/model.lm.gz : [0.000] seconds
Loading Internal LM: /root/tools/work/lm/model.lm.gz
/root/tools/work/lm/model.lm.gz
Finished loading LanguageModels : [0.000] seconds
Start loading PhraseTable /root/tools/work/model/phrase-table.gz : [0.000] seconds
filePath: /root/tools/work/model/phrase-table.gz
Finished loading phrase tables : [0.000] seconds
IO from STDOUT/STDIN
Created input-output object : [0.000] seconds
Translating: c' the pledges made in his cairo speech

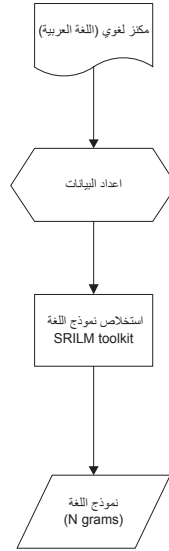
Collecting options took 0.000 seconds
Search took 0.000 seconds
BEST TRANSLATION: c' the|UNK|UNK|UNK [1111111] [total=-395.673] <<0.000, -5.000, +100.000, +600.000, +1.609, -4.466, 0.000, +0.288, 3.000>>
العااهرة؟ في خطاب الاسلام
c' the
العااهرة؟ في خطاب الاسلام
Translation took 0.000 seconds
Finished translating
End. : [0.000] seconds
Ln 22, Col 42 INS

```

شكل 4: مثال على الترجمة الآلية لعبارة "The pledges made in his Cairo speech"

3.3 النموذج اللغوي الإحصائي

هو عبارة عن نموذج إحصائي نقوم من خلاله بحساب الاحتمالات لكل الكلمات الموجودة في سلاسل نصوص تعتبر ممثلة لموضوع النص المستخدم وتسمى المكنز اللغوي أو الذخيرة اللغوية. وتشمل تكرار الكلمات في مواقعها وتكرار ارتباط ظهور بعضها مع بعض. ويوضح شكل رقم 5 الأسلوب العام المستخدم لإعداد النموذج اللغوي.



شكل 5: بناء النموذج اللغوي الإحصائي

ويتم تمثيل النموذج اللغوي الإحصائي باستخدام نماذج اللغة المعتمدة على تكرار السلاسل المتجاورة (N grams). ويوضح شكل رقم 6 مثالا على ذلك.

```

iARPA
\data\
ngram 1= 573
ngram 2= 819
ngram 3= 847

\1-grams:
0.301030- شهد 3.001517-
0.301030- يوم 3.001517-
0.301030- امس 3.001517-

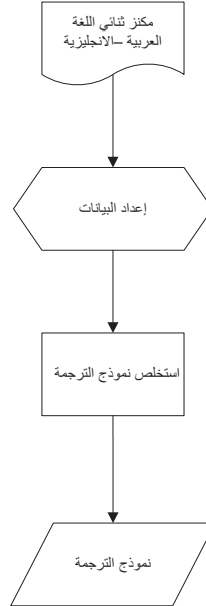
\2-grams:
0.301030- حيث انه 0.301030-
0.301030- توجد هناك 0.301030-
0.301030- مجموعة من 0.301030-
0.301030- التطورات الجديدة 0.301030-
0.301030- الجديدة المعيرة 0.301030-

\3-grams:
0.301030- على الوفاء بوعوده 0.301030-
0.301030- على نفسه منذ 0.301030-
0.301030- على اسطول الخبرة 0.301030-
0.301030- على مد جسور 0.301030-
0.301030- على السياسة الخارجية 0.301030-
  
```

شكل 6: النموذج اللغوي الإحصائي: ثلاثيات (3-gram)

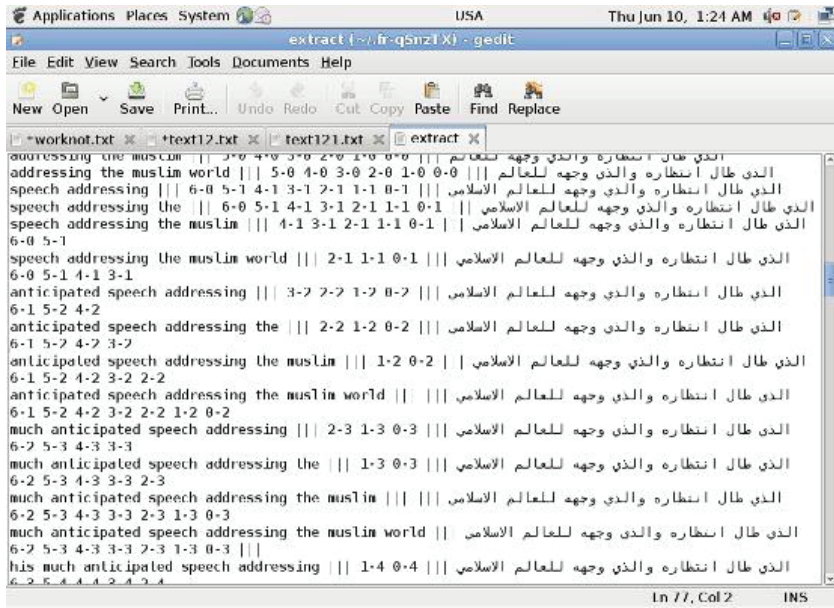
4 3 نموذج الترجمة:

يتم تكوين هذا النموذج بالاعتماد على مكنز ثنائي اللغة كما هو موضح في شكل رقم 7 ومن خلاله نقوم بحساب احتمال الترجمة بين الجملة المصدر (الانجليزية) م والجملة الهدف د (العربية) أي احتمال (د|م). ومثال ذلك احتمال (أريد الذهاب إلي البيت | I want to go home) اكبر من احتمال (أريد الذهاب إلي البيت | I want to go house) [6].



شكل 7: بناء نموذج الترجمة

ويوضح شكل رقم 8 نموذج الترجمة المستخدم في عملية الترجمة الأولية للنظام الإحصائي ويتضح فيها الجملة المصدر والجملة الهدف واحتمال الترجمة.



الشكل 8: نموذج الترجمة من الانجليزية إلى العربية

5 3 الترجمة الإحصائية وجدول العبارات

يتكون جدول العبارات من أزواج من العبارات من اللغة المصدر (الانجليزية) والترجمة المستخلصة من المكنز ثنائي اللغة للغة الهدف (العربية) التي نريد الترجمة إليها مع الاحتمالات لكل عبارة.

ويستخلص جدول العبارات من المكنز ثنائي اللغة باستخدام نظام حاسوبي معد ويتم حساب الاحتمالات من نفس المكنز. ويوضح جدول رقم 2 مثالا على ذلك.

جدول 2. مثال على جدول العبارات ثنائية اللغة

الاحتمال	العبارات العربية	العبارات الانجليزية
0.55	السعودية	Saudi Arabia
0.41	المملكة العربية السعودية	
0.15	سعودية	
.....		
0.61	الأسواق المالية العالمية	Global Financial Markets
0.51	الأسواق المالية الدولية	
.....		

4. البيانات اللغوية

يعتبر جميع البيانات اللغوية من أصعب المراحل التي تتطلب جهدا كبيرا وخصوصا للغة العربية . من أجل ذلك قمنا ببناء مكنز لغوي بالاعتماد على موقع ميدان [5] والذي يهتم بترجمة أخبار الشرق الأوسط من العربية إلى الإنجليزية يدويا باستخدام مترجمين عدة ، وقد قمنا إلى هذه اللحظة بجمع 39956 سطر لغوي مترجم من العربية إلى اللغة الانجليزية تتراوح أطوالهم ما بين 40 إلى 500 حرف ، حيث نأمل في القريب العاجل من الوصول بالمكنز إلى مائة ألف سطر يمكن استخدامه لأغراض الترجمة الآلية.

5. تقويم أداء النظام

تم تطوير نظام الترجمة الإحصائية باستخدام عدد من البرامج مفتوحة المصدر ومنها برنامج GIZA++ [7] الذي استخدم لمحاذاة الكلمات العربية مع الإنجليزية لإنتاج جدول العبارات اللغوية. كما استخدمنا برنامج Moses [8] لبناء جدول العبارات وتطبيق خوارزمية البحث الشامل. واستخدمنا مقياس BLEU [9] لقياس مدى فاعلية النظام. ويعتمد مقياس BLEU على طريقة آلية لتقويم مخرجات عملية الترجمة وهو من المقاييس المعتمدة في الترجمة الآلية. وأظهرت النتائج أن الدرجة هي 0.459 وهذا مؤشر على جودة المخرجات كما هو موضح في الجدول رقم 3 الذي يعرض بعض مخرجات النظام. ومن خلال زيادة حجم البيانات الإحصائية المستخدمة في مرحلة التدريب نستطيع تحسين جودة مخرجات الترجمة.

جدول 3 . مختارات من نتيجة نظام الترجمة

English	expected weather conditions in some Arab cities for the next two days
Translation	أن الأحوال الجوية في بعض المدن العربية أيام
English	Damascus and Amman have partly fine weather
Translation	دمشق و عمان طقسا صافيا

6. الخاتمة

لقد تم عرض نبذة عن الترجمة الآلية وأبعادها وتم التركيز على الترجمة بالطريقة الإحصائية باستخدام العبارات اللغوية وعلى كيفية الاستفادة من جدول العبارات الذي يستخلص من المكنز الثنائي في عملية الترجمة الآلية الإحصائية، حيث تتم عملية الترجمة الآلية الإحصائية من خلال بناء النموذج الإحصائي ونموذج الترجمة في مرحلة التدريب وبعدها نقوم بتطبيق خوارزمية البحث الشامل لاختيار أفضل ترجمة ممكن والتي تنتج الترجمة اللغوية المطلوبة.

شكر

نشكر جامعة الملك فهد للبترول والمعادن على ما أتاحتها من مصادر وتسهيلات استخدمت أثناء إعداد هذا البحث.

- [1] D. Jurafsky and J. H. Martin, *Speech and Language Processing*, second ed.: Prentice Hall, 2009.
- [2] K. Shaalan, *et al.*, "An English-Arabic Bi-directional Machine Translation Tool in the Agriculture Domain," *Intelligent Information Processing V*, pp. 281-290, 2010.
- [3] P. F. Brown, *et al.*, "A statistical approach to machine translation," *Comput. Linguist.*, vol. 16, pp. 79-85, 1990.
- [4] C. España-Bonet, *et al.*, "Discriminative Phrase-Based Models for Arabic Machine Translation," vol. 8, pp. 1-20, 2009.
- [5] Meedan. (2010). (*Arabic* → *English*) *translation*. Available: http://news.meedan.net/index.php?page=events&post_id=300447
- [6] P. Koehn, *Statistical machine translation.(English)*, 2010.
- [7] F. J. Och and H. Ney, "A systematic comparison of various statistical alignment models," *Computational Linguistics*, vol. 29, pp. 19-51, 2003.
- [8] P. Koehn, *et al.*, "Moses: Open source toolkit for statistical machine translation," 2007, pp. 177-180.
- [9] K. Papineni, *et al.*, "BLEU: a method for automatic evaluation of machine translation," presented at the Proceedings of the 40th Annual Meeting on Association for Computational Linguistics, Philadelphia, Pennsylvania, 2002.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Development of a Phrase-based Statistical English to Arabic Machine Translation System Using a parallel corpus

Abstract. In this paper, we discuss the automatic machine translation from English to Arabic using a statistical phrase-based approach employing a parallel Arabic-English corpus that was developed manually by more than one translator. Statistical machine translation (SMT) consists of two phases: The training phase and the transfer phase. In the training phase, the statistical language model and the translation model are built. In the second phase, the best possible translation is chosen depending on a comprehensive search process. The quality of this translation depends on both the size of the corpus and the quality of its translation. The bigger the size of the corpus, the better the resulting translation.

Keywords: Machine Translation from English to Arabic, Statistical Machine Translation, Parallel Corpus, Parallel phrases.

ترجمة آلية	Machine Translation
مكنز ثنائي اللغة	Parallel Corpus
المقاطع اللغوية	Phrase Based
إحصائي	Statistical
مكنز	Corpus
النموذج الإحصائي اللغوي	Statistical Language Model
البحث الشامل	Global Search
النماذج اللغوية	Language Model
الترجمة الإحصائية	Statistical Machine Translation
اللغويات الحاسوبية	Natural Language
القواعد اللغوية	Rule Base
لغة وسيطة	Interlingual
قاموس ثنائي اللغة	Bilingual Dictionary
اللغة المصدر	Source Language
اللغة الهدف	Target Language
الترجمة الآلية باستخدام الطريقة الإحصائية	Phrase-Based Statistical Machine Translation
نموذج الترجمة	Translation Model
العبارات اللغوية	Phrases
محاذاة الكلمة	Word alignment
خوارزمية البحث الشامل	decode
طريقة آلية لتقويم عملية الترجمة	BLEU

١٢

السلاسل اللغوية

ماهر الجوة¹ 1 لمياء هدریش بلغيث¹ عبد المجيد بن حمادو²

MIRACL LABORATORY

¹ مخبر البحوث في المعلوماتية والوسائط المتعددة بصفاقس جامعة صفاقس

العنوان كلية العلوم الإقتصادية والتصرف بصفاقس

² مخبر البحوث في المعلوماتية والوسائط المتعددة بصفاقس جامعة صفاقس

العنوان المعهد العالي للإعلامية والمليمديا بصفاقس

الجمهورية التونسية

البريد الإلكتروني: fatma_fseg@yahoo.fr, maher.jaoua@fsegs.rnu.tn

l.belguith@fsegs.rnu.tn, abdelmajid.benhamadou@isimsf.rnu.tn

. يندرج هذا البحث في الكشف الآلي لعمليات الإ
بالغة العربية وتقدّم هذه الورقة طريقة مبتكرة تعتمد على
استخراج الكلمات الهامة في النص المراد كشفه ومن ثمّ تكوين سلاسل لغوية
حسب تواترها في النص. وباستعمال محركات البحث يمكن التنبؤ
هذه السلاسل اللغوية في نصوص أخرى.
مرحلة ثانية قمنا باستعمال الترجمة الآلية للسلاسل اللغوية قصد استخراج
السلاسل المرادفة باللغة الإنجليزية ومن ثمّ
نّة باللغة الإنجليزية والتي تتطابق مع السلاسل بعد ترجمتها.
م هذه الورقة العلمية برنامج الكاشف وهو
قيّم البرنامج على مدونة من النصوص العربية وأبرزت النتائج
الطريقة المتبعة.

السلاسل اللغوية.

الكلمات الجوهرية:

1

تندرج هذه الورقة العلمية ضمن البحوث التي تُ
في البحوث العلمية المدونة باللغة العربية. وتجدر الإشارة إلى أنّ
وهي ظاهرة بدأت تنفّش في الوسط العلمي العربي تتنافى مع الأخلاق التي يتوجّه
ي بها عند كتابة أعماله العلمية. ورغم القرارات الصارمة التي تتخذها بعض وزارات
التعليم العالي والبحث العلمي والجامعات ومخابر البحث بشأن الطلاب والباحثين الذين تُث

محاولتهم للانتحال فإنّ هذه الظاهرة السيئة بدأت بالانتشار خاصة في المراحل الأولى للتعليم العالي ويُعزى هذا الانتشار إلى
والأجنبية نتيجة لتقدم وسائل الإتصال وتخزين وتبادل المعلومات.

هذه السبلات دفّت العديد من الباحثين إلى تطوير برامج لكشف حالات
استعمال هذه البرامج من طرف الباحثين لمعرفة ما إذا كانت أعمالهم العلمية تتضمن
نسخها من أعمال أخرى
ن لجان مناقشة البحوث واللجان العلمية من كشف حالات
 وإقامة الحجة والدليل لأخذ التدابير المناسبة. وقد اقتضت البحوث في هذا الميدان على
ليزية والفرنسية¹ بينما لم تحض اللغة العربية بالبحوث الكافية²
يكتنف التحليل الآلي للغة العربية من تأخر وعدم اهتمام بالمقارنة مع اللغات الحية الأخرى
لضعف الإنتاج العلمي المدون باللغة العربية.

ونتيجة لتوفر نواة أولية للتحليل
م في هذا البحث طريقة جديدة تعتمد على ثلاثة مراحل: تهتمّ
الأولى باستخراج الكلمات الهامة
تكوين سلاسل لغوية وفي مرحلة ثانية يقوم البرنامج
Google.

يق
سلاسل اللغوية
الهامة للنص. في المرحلة الثالثة يهتم البرنامج بترجمة السلاسل اللغوية إلى اللغة الإنجليزية وذلك
عن طريق
Babylon translator ويتمّ
غوية المترجمة قصد الكشف عن النصوص المدونة باللغة الإنجليزية والتي يم
ون مصدرا للانتحال. ويقم البرنامج بالمقارنة بين السلاسل اللغوية المجم .

ولشرح هذه الدراسة
هذه الورقة إلى
ل هذه المقدمة القسم الأول. يبيّ
بينما يعتني القسم الثا
أهم البحوث التي
أنجزت في إطار الكشف الآلي لعمليات . ويهتمّ
مفهوم السلاسل اللغوية
وأهميتها في كشف . بينما يرح القسم الخامس الطريقة المقترحة في هذا الإطار والتي
تكوّن حجر الأساس لتطوير برنامج الكاشف. وقد اهتمّ القسم الأخير من هذه الورقة بتقييم البرنامج.

2

يمكن تعريف
على أنه انتساب شخص لعمل مكتوب قام به شخص آخر بدون ذكر مصدره.
ويستثنى من
عمليات الاستشهاد والإقتباس والتي يجب ذكر مصادرها. وفي الوسط العلمي
والصحفي يتمّ
بخرقه للأخلاق العلمية والمهنية
المتحلين يبررون عملهم

¹ على سبيل الذكر نقدم الروابط لعدد من البرامج المستخدمة لكشف عمليات الانتحال باللغة الفرنسية والإنجليزية :

Urkind : <http://urkund.fr>

CopyCatch Gold : <http://www.copycatch.freemove.co.uk/>

EduTie.com : <http://www.edutie.com/>

Turnitin : <http://www.turnitin.com>

² في هذا الإطار يجب ذكر البحوث المنجزة من طرف [1] Alzahrani

هم نسوا ذكر المصادر وذلك لجعل الأمر كأنه اقتباس مع نسيان تدوين المراجع. ويعدّ انتهاك . فطباعة كتاب بدون إذن صاحبه تعد أيضا نوعا

الانتها وهو أمر يعتبر هين أمام عملية
لأشخاص آخرين يمثل انتهاكا . إفلاس المنتحل علميا وأخلاقيا ويتعدّى على الملكية الفكرية للأشخاص الآخرين.

وينقسم

■ : وهو انتساب النص بكامل مكوناته بما في ذلك المراجع. ويستعمل عادة هذا النوع من اص الغير أكفاء أو الذين لا يودون القيام بالعمل

■ : ويتسم باستعمال العديد من المصادر ودمجها لتكوين النص النهائي ويستعمل المنتحلين بعض التقنيات اللغوية كالترجمة واستعمال المرادفات.

■ : ويمثل في الأفكار وصياغتها بصيغة لغوية مختلفة.
■ : يستعمل المنتحل في هذا النوع مراجع خاطئة أو مراجع لا تتطابق

■ : وهو أن يستعمل الكاتب جملا وفقرات سبق له أن كتبها في بحث أخرى ويعتبر بعض الكتاب أن هذا النوع لا يعتبر إذا استشهد الكاتب بأعماله السابقة. العلمي يجب للباحثين والمؤطرين تطوير مهارات تتعلق بالزاد المعرفي واللغوي. اد المعرفي كفيل بتكوين صورة شاملة على الأعمال المنجزة بينما يمكن

كشف الأسلوب الذي يتبعه الكاتب
ولهذا السبب فإنّ المجالات والندوات والدوريات العلمية تعهد مهمة قراءة البحوث لأناس متخصصون في ميادينهم وذلك لكشف محاولات أفكار علماء آخرين. ورغم ذلك فإن العديد من المنتحلين استطاعوا نشر كتب ومقالات ضمنوها العديد من المقاطع والمقتطفات من أعمال ر المصادر. وفي هذا الصدد نشير إلى حالة

في نظرية النقد الثقافي المقارن " " والذي فاز بجائزة الشيخ زايد للأدب والتي سحبت منه بعد اكتشاف أجزاء عديدة انتحالها

ويمكن إضافة المعرفة المعلوماتية على أنها زاد علمي تمك للمطربين واللجان العلمية من كشف . فعمليات القطع واللصق تصاحبها في بعض الأحيان اختلالات للبنية اللغوية

والفيزيائية للنصوص ومن ذلك وجود كلمات غير مفهومة أو منقسمة باستعمال " - " .
تنسيق الفقرات. يمكن التنبؤ

وجودها كما يمكن اكتشاف حالات انتحال المراجع بالـ
بها والتي يمكن أن تتغير مع الزمن بدون أن يلاحظ المنتحل ذلك.

ويمكن كشف
يستعمل عدد من الطلاب نفس المصادر بدون علم بعضهم مما يسهل عملية كشفهم ويجعلهم في مواقف لا يحسدون عليها.

3

يمكن تقسيم الطرق المثبتة التي تهتم بالكشف الأوتوماتيكي تعتمد الطريقة الأولى وهي الطريقة الأكثر شيوعاً إلى المقارنة بين توافيق لي والنصوص التي يمكن للبرنامج استعمالها والتي تتكون عادة من الرسائل والأطروحات والأوراق العلمية والمنشوية تحت شبكات التبادل بين المكتبات العلمية والمجلات والدوريات المتخصصة. بينما تعتمد الطريقة الثانية على استخدام محركات البحث وذلك باستعمال الفقرات والجمل كمضمون للبحث. بينما تركز الطريقة الثالثة على تحليل الأسلوب اللغوي لجميع الكشاف عن التغيرات التي تطرأ على الأسلوب إمكانية .

1.3 الطرق المعتمدة على توقيع الـ :

ترتكز هذه الطرق على بنوك من النصوص يتم وتقوم الطريقة بتكوين جميع المقاطع من الجمل والتي تكون عدد معين (ويمثل طول التوقيع).
 نصين أو فقرتين بمقارنة توقيعهما [1] [2]. يمكن تقليد عدد التواقيع باختيار التواقيع الغير المتشابهة واستعمال معايير أخرى كموضع الفقرات وتكرار [3].
 العديد من الباحثين بدمج معايير تحديد طول التواقيع ومواقعها مع تجربة معادلات لمقارنة التواقيع [4] كالنشابه [5] والذي يحسب كالآتي :

$$(1) \cap (2) = ((1) + (2))$$

 (1) يمثل مجموعة التواقيع 1.

2.3

:

تتناول هذه الطرق الجمل المتواجدة في النص المراد تحليله ومن ثم إذا كانت هذه
 Google Search API يمكن للبرامج من من قدرات محرك البحث من توجيه [6]

وتكون هذه الطريقة مجدية في حالة الكلي أو الذاتي بينما تفشل في العديد من حالات الجزئي وخاصة حالات الترجمة وتغيير الكلمات. كما تجذر الإشارة إلى أن
 ير قدرة على الوصول إلى جميع النصوص ومواقع الواب وخاصة تلك المحمية بكلمات سرية.

3.3 الطرق المعتمدة على تحليل الأسلوب

تستعمل هذه الطرق العديد من المعايير اللغوية كـ
 [7]. عدد من الباحثين ترتب هذا المعايير و
 بينت أهمية تعقيد الصفات والكلمات الهامة تعقيد الأفعال المستعملة كمقياس
 [8]. وتنظم كل سنة ندوة تقييمية تقوم فيها المخابر بـ
 تكون لهذا الغرض³

4 تعريف السلاسل اللغوية

إن ضعف الإنتاج العلمي العربي وعدم ترقيمه جعل من
 انتشارا في النصوص العلمية العربية. هذا بالإضافة إلى
 استيعاب أفكار أعمال أخرى ثم يقوم بتحريرها بصفة مختلفة. اكتشاف هذا النوع من
 يمثل تحديا صعبا لما يتطلب من أدوات لغوية تهتم بالمستوى الدلالي.
 لهذه الأسباب تكونت لدينا فكرة استعمال السلاسل اللغوية لاستخراج المعاني من النصوص. وتعتبر
 اللغوية المستوى

[9]. ويمكن أن تتوافر في هذه السلاسل إمكانية إضافة معلومات
 لغوية أخرى كالمرادفات والعلاقات الشمولية
 اللغوية قد أتمدت في العديد من البحوث التي اهتمت بالتلخيص
 وبالترجمة الآلية.

يمكن اهتمامنا بالسلاسل اللغوية لكونها تمثّل
 هذه السلاسل لا تحتوي على الكلمات الوظيفية)

(...). وإذا اقتصرنا عملية استخراج هذه السلاسل على
 عدد الكلمات المكونة للسلسلة لا يتعدى ستة كلمات. التالية: "

الراقية إلى المحافظة على لغتها واستعمالها في مختلف الميادين والأنشطة الحياتية قصد
 عليها وتفسير تطورها وذلك لوعيتها الشديد بأهمية اللغة⁴ د أربعة سلاسل لغوية وهي

: - - - - -
 : الثانية: استعمالها - - - - -
 : - - - - -
 : - - - - -

³ PAN 2010 Uncovering Plagiarism, Authorship, and Social Software Misuse

20-23 september, Padua, Italy.

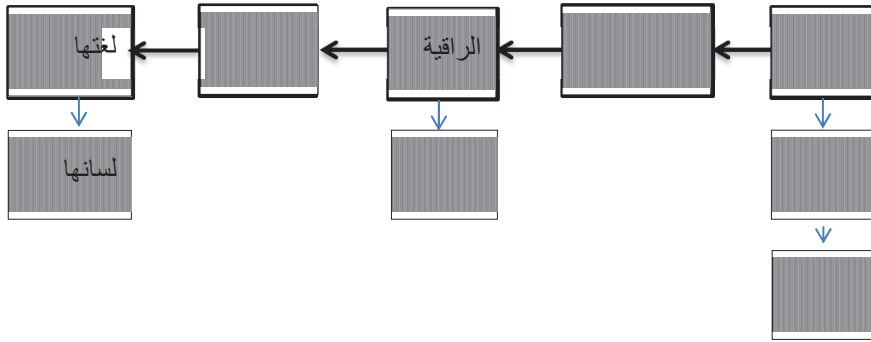
<http://pan.webis.de>

⁴ مشروع منظومة الزبوتنة الإلكترونية للمعارف الرقمية باللغة العربية في مجال الحوسبة الآلية
 أحمد الفرشيشي، روضة مروان، علي الميلي، لمياء العابد، مرح الطاهر، نبيل عباس، هاني عمار، إسكندر الزغلامي
 الندوة الدولية لعلوم وهندسة الحاسوب الدورة السادسة 2010

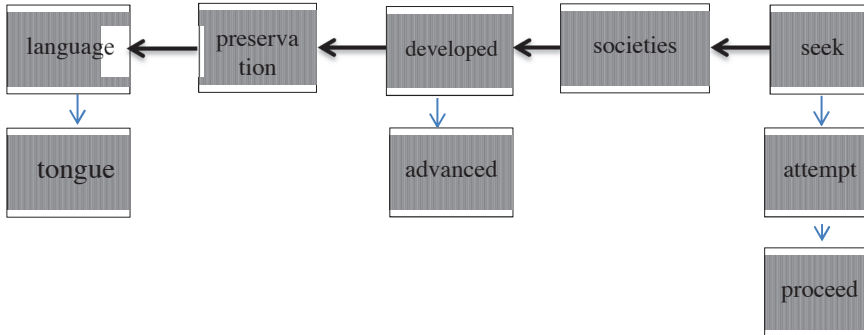
السلسلة الرابعة: لوعياها - الشديد - أهمية -

وعن طريق دراسة كامل النص يمكن إثراء هذه السلاسل (1)
= = | الراقية = | لسانها = لغتها.

بالإضافة إلى طول السلاسل اللغوية فإنّ لترجمة الآلية للسلاسل اللغوية ت
السلاسل من إمكانيات لغوية تمكن من استخراج المعنى الصحيح للترجمة الآلية
ر المرادفات يمكن مقارنة نتائج الترجمة الآلية للتمكن من تحديد المعنى الصحيح
لكلمات المراد ترجمتها. الشكل عدد 2 يبرز ترجمة الجملة المبينة بالشكل السابق .



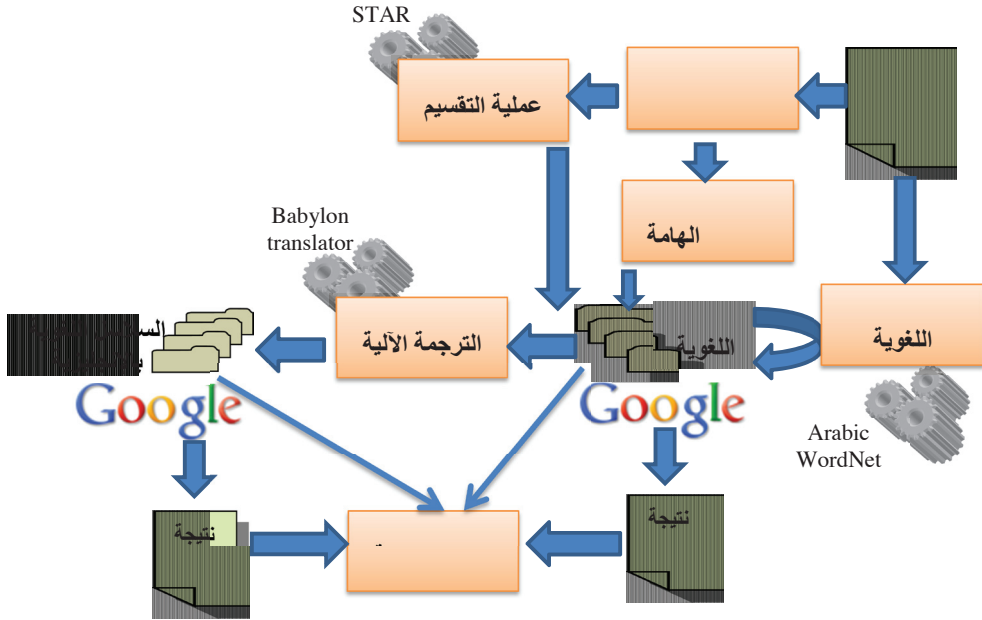
1. مثال للسلاسل اللغوية



2. لية للسلاسل اللغوية باللغة الإنجليزية

تعتمد الطريقة المقترحة على تحليل النص لغويا وذلك لتبيان المقاطع التي يم
3 البنية الأساسية لبرنامج الكاشف ويبرز مختلف مراحل
التحليل والتي تتضمن :

- تقوم هذه المرحلة بتحديد الجمل وكذلك بحذف والتراكيب
ظهر في النص بين قوسين أو هلالين مزدوجين لا يمكن اعتمادهما كمحاولة
الاستشهاد بجمل أو مقولات أو مقتطفات من أعمال أخرى هو عملية
مشروعة بشرط تحديدها وذكر مصادرها.



3 : بنية برنامج الكاشف

- الهامة: تهتم هذه ال
تكوين قائمة لل
ات الهامة والتي سترشح السلاسل اللغوية موضوع البحث.
وتعتبر الكلمة هامة إذا كان معدل تواترها يبلغ ضعفي معدل التواتر لكل الكلمات
- مرحلة تقسيم النص: هذه المرحلة على برنامج STAR
لتقسيم [10] MIRACL و تراكيب لغوية. ويعتمد هذا
البرنامج على تحليل الحروف "و" "ف" و "ثم" وعلامات الوقف والتقطيع مع مراعات
السياق السابق واللاحق لهذه الحروف وذلك لتدقيق عملية التقسيم. وعن طريق حذف
حروف الأدوات يتكون الهيكل الأساسي للسلاسل اللغوية المستخرجة من النص.

ه يقع عملية ترشيح لهذه السلاسل وذلك بحذف السلاسل اللغوية التي لا تحتوي على كلمات هامة. ونهدف من وراء هذا الترشيح تبسيط عملية البحث وذلك بتقليص عدد السلاسل اللغوية.

- مرحلة إثراء السلاسل: تركز هذه المرحلة على Arabic WordNet (AWN)⁵ وهو بمثابة النسخة العربية لبرنامج Wordnet والذي يمكن الدلالة التي تربط الكلمات ببعضها. وقد استعمل هذا القاموس الإلكتروني في عملية إثراء هاته السلاسل وذلك بربط الكلمات المرادفات من أجل إتمام بنية السلاسل اللغوية. وتجدر وجود المرادفات في النصوص والأعمال العلمية هو أمر ضروري لتجذ كرار وإثراء تركيبها اللغوية والدلالية.
- API والذي يستعمل للترجمة الآلية للكلمات المكونة للسلاسل اللغوية. Babylon translator⁶ ية: تعتمد هذه المرحلة على

وتحديد الترجمة الصحيحة.

- مرحلة مقارنة السلاسل اللغوية: تقوم هذه المرحلة بجمع نتائج محركات البحث ومن ثم ة المقطعات التي تصاحب نتيجة البحث مع السلسلة اللغوية موضوع البحث (وقد حدد د النصوص التي يشملها البحث إلى 10)

المدونة باللغة العربية أو الإنجليزية. وفي حالة تطابق نفس النص مع عدة سلاسل لغوية (ثلاث سلاسل على الأقل) يكون هذا النص محل شك في أنه مصدر .

مرحلة أخيرة يقوم البرنامج بتنزيل النصوص التي يمكن أن تكون مصدرا

يد التشابه بين

المنزلة ثم يقوم البرنامج بـ ي مع تبيان الجمل والمقاطع

6 تقييم البرنامج الكاشف

لتقييم برنامج الكاشف قمنا بتحضير م 76 ورقة علمية العربية

CSPA'04, ISCAL'09⁷. اختيرت بصفة عشوائية 20

إضافية مدونة باللغة العربية

ورقة. وتجدر الإشارة إلى أن النصوص الإضافية جمعت عن طريق محركات البحث مفاتيح المستخرجة من ا ورقة التي وقع اختيارها. وقمنا أيضا بنفس العملية فقرتين تمت ترجمته يدويا نصوص مدونة باللغة الإنجليزية وقد جمعت هذه النصوص بنفس الطريقة التي طبقت

⁵ <http://www.globalwordnet.org/awn>

⁶ <http://www.babylon.com>

⁷ <http://www.phillips-publishing.com/>

تم التقييم با لتذكير والدقة . ولقياس نسبة ال يُ
 البرنامج من اكتشاف عملية فيها
 أنها منتحلة. ولقياس نسبة التذكير يُقسم عدد النصوص المنتحلة التي تمكن البرنامج من اكتشاف
 عملية فيها على العدد الإ لي للنصوص المنتحلة. وفي الجدول التالي تلخيص للنتائج
 المتحصل عليها مع تغيير عدد السلاسل المتطابقة
 (السلاسل اللغوية).

:		:		
نسبة التذكير		نسبة التذكير		
0.77	0.66	0.65	0.85	السلاسل اللغوية
0.52	0.43	0.31	0.55	السلاسل اللغوية

ولئن كانت النتائج بالنسبة للسلاسل اللغوية العربية الأصلية مرضية فإن النتائج بالنسبة للسلاسل المترجمة فكانت مخيبة للآمال (نسبة التذكير: 0.55 - : 0.31) وي
 التي تلازم الترجمة الآلية. بينما يؤثر العدد الأدنى لتطابق السلاسل سلبيا مع نسبة الدقة وإيجابيا مع نسبة التذكير.

قمنا في هذه الورقة بتطوير طريقة لا
 تعتمد الطريقة المقترحة على تكوين السلاسل اللغوية وترجمتها قصد استعمالها في محركات
 نصوص التي يم
 تكوين السلاسل يمكن أن ي
 محلل صرفي لمعرفة جذور الكلمات ولإثراء هذه
 السلاسل بالكلمات الصحيحة. أما في ما يتعلق في تر
 البناء الصحيح لهذه السلاسل
 يمر عن طريق تصحيح السلاسل الأصلية باللغة العربية. كما يم
 الإنجليزية ومن ثم استخراج السلاسل اللغوية

ولمواصلة هذا العمل نطمح في جعل البرنامج متوف
 هذا ونذكر في خاتمة هذا العمل أن هي عملية لا تمت إلى أخلاقنا العربية والإسلامية
 بصلة لذلك يتوجب العمل لمقاومة هذه الظاهرة بالنصح والإرشاد إلى الطلبة وإلى الباحثين.

- [1] Alzahrani S. M., Plagiarism Auto-Detection in Arabic Scripts using Statement-Based Fingerprints Matching and Fuzzy-Set Information Retrieval Approaches. MCs Thesis, University of Technology Malaysia, Johor, 2008.
- [2] Shivakumar N., Garcia-Molina H., "Building a Scalable and Accurate Copy Detection Mechanism", in proceedings of the *International Conference on Digital Libraries*, pp. 160-168, 1996.
- [3] Hoad, T. C., and Zobel, J., "Methods for Identifying Versioned and Plagiarised Documents", in *Journal of the American Society for Information Science and Technology*, Vol 54(3), pp. 203-215, 2003.
- [4] HaCohen-Kerner Y., Tayeb A., Ben-Dror N., "Detection of Simple Plagiarism in Computer Science Papers", in *23rd International Conference on Computational Linguistics Coling'2010*, pages 421-429, Beijing, August 2010.
- [5] Monostori I. K., Finkel R., Zaslavsky A., Hodasz G., and Patke M., "Comparison of Overlap Detection Techniques", in *International Conference on Computational Science*, Lecture Notes in Computer Science, vol 2329, pp. 51-60, 2002.
- [6] Band J., "The Google Library Project: Both Sides of the Story", *Plagiarism: Cross-Disciplinary Studies in Plagiarism, Fabrication, and Falsification*, 1 (2): pp.1-17, 2006.
- [7] Stein B., Eissen S., "Intrinsic plagiarism analysis with metalearning", in Proceedings of *SIGIR'2007 International Workshop on Plagiarism Analysis, Authorship Identification, and Near-Duplicate Detection*, PAN 2007, Amsterdam, Netherlands, 2007.
- [8] Seaward L., Matwin S., Intrinsic Plagiarism Detection using Complexity Analysis", in *PAN'09*, pp. 56-61, 2009.
- [9] Morris, J., Hirst G., "Lexical cohesion computed by thesaural relations as an indicator of the structure of text". in *Computational Linguistics* 17(1): pp. 21-43, 1991.
- [10] Belguith L., Baccour L., Mourad G., "Segmentation de textes arabes basée sur l'analyse contextuelle des signes de ponctuations et de certaines particules", Actes de la *12ème conférence sur le Traitement Automatique des Langues Naturelles TALN'2005*, , Vol. 1, p. 451-456. Dourdan France, 6-10, Juin 2005.

Title: Automatic detection of plagiarism in Arabic documents based on lexical chains

Abstract. This paper deals with automatic detection of plagiarism in Arabic documents. We present in this paper a new idea based on the experimentation of lexical chains. The proposed method extracts those chains from original document and uses a search engine to verify if such chains occur in other documents. The second step in our methods uses automatic translation system to translate lexical chains and verify by using search engine if those chain occurs in document in other languages. Then we compute a correlation ratio between lexical chains and lexical chains extracted from documents provided by the search engine to detect plagiarism in the original document.

We present in the end of this paper our prototype called « Alkachef » developed to detect plagiarism in Arabic document

Keywords: Scientific plagiarism, lexical chain, automatic plagiarism detection,

	Plagiarism
تحليل الأسلوب	Stylometry
العلاقات الشمولية	Hypernymy
الشمولية	Hyponymy
الوظيفية	Stopwords
	Syntagm
التشابه	Symetric Similarity
السلاسل اللغوية	Lexical chains
التذكير	Rappel
	Precision

استعمال التحويل الخطي التطوري في تكيف اللغة العربية

لناطقين غير عرب

سيد أحمد سلواني

¹ مخبر LARIHS، جامعة مونكتون، شباكان، كندا

sid-ahmed.selouani@umcs.ca

الخلاصة. تطرقنا في هذا المقال إلى مسألة تكيف كلام الناطقين الأعاجم للغة العربية في أنظمة التعرف الآلي للكلام الواسعة المفردات. استعملنا في تجاربنا طريقة الخورزميات التطورية غير المراقبة لتكيف نماذج ماركوف المخفية. وقد تطلبت هذه التقنية انتقاء العوامل التطورية مع الدالة الموضوعية حتى يتم رفع موثوقية مصفوفة التحويلات الخطية الشاملة. فاستخدمنا لذلك مدونة West point للغة العربية التي أعدتها LDC هذا إلى جانب مجموعة أدوات HTK. لقد بينت النتائج أن استعمال المقاربة التطورية يقلص معدل الأخطاء على مستوى الكلمة تقريبا ملحوظا (8%) بالمقارنة مع الطرق المعروفة والتي تتمثل في اندادار القيمة القصوى للدالة المماثلة (MLLR) و القيمة القصوى اللاحقة (MAP).

الكلمات الجوهرية: اللغة العربية، التعرف الآلي للكلام، HMM، تكيف كلام الناطقين الأعاجم، الخورزميات التطورية، MLLR، MAP.

1 مقدمة

لا يزال تمثيل نطق اللغة من قبل المتكلمين غير الأصليين لها أمر صعب وغير دقيق ذلك نظرا لتعدد أساليب النطق لها هذا إلى جانب عدم توفر في مرحلة التدريب لعدد كاف من المعطيات الصوتية لغير الناطقين باللغة. أخذ الأعمال البحثية قام [1] على تحليل اللغة الانجليزية المنطوقة من طرف متكلمين غير أصليين وذلك من خلال جمعهم لمدونة صوتية تشمل حديث جرى بين متكلمين غير أصليين لتلك اللغة. وقد استخدم الباحثون في التعرف الآلي على الكلام نماذج ماركوف المخفية (HMM). كانت المدونة المستعملة تحتوي على تسجيلات صوتية لنصوص مقروؤة و محادثات. وقد انتهوا إلى أنه من الصعب التعرف على المتحدثين باللغة الانجليزية و هم غير ناطقين لها بالمقارنة مع نظرائهم الأصليين ولا سيما إذا تعلق الأمر بنوع المحادثة. وقد قدمت دراسة أخرى من قبل [2] بحثا فيها تحليل ونمذجة الكلام في التعرف الآلي للكلام لغير الناطقين باللغة. و تتطرق

دراساته إلى مشكلة الكلام المنطوق من طرف المتكلمين غير الأصليين في الأنظمة المستقلة عن المتكلمين، و الواسعة في المفردات، وأنظمة التعرف الآلي على الكلام العفوي للغة الإنجليزية الأمريكية مستعملا في تدريبه معطيات صوتية للناطقين الأصليين. وقد أتضح من أن استكمال النماذج الأصلية و غيرها تمكن من تقليص معدل الأخطاء المرتكبة على الكلمة بقدر 8.1% وهذا في مرحلة اختبار معطيات غير أصلية. وقد تم ذلك باستعمال مستكشف آلي ذو نماذج مدربة على معطيات أصلية و غير أصلية في نفس الوقت. و اقترح أحد البحوث [3] عدة نماذج لتحسين أداء أنظمة التعرف الآلي على الكلام لغير الناطقين بها حيث استخدموا في أبحاثهم اللغة الفرنسية كلغة أصلية. بينما أدرجت الإنجليزية و الإسبانية و الإيطالية و البرتغالية و التركية و العربية في المجموعة غير اللغات الأصلية. وتجدر الملاحظة بأن عدد الأبحاث المتناولة للغة العربية محدود جدا بالمقارنة مع اللغات الأخرى. وقد قمنا في أعمال سابقة [4] [5] بدراسة تتناول مدى تأثير تغيير اللغة الأصلية للمتكلمين في معطيات التدريب و الإختبار ثم حللنا آثاره على دقة النظام بصفة عامة و على دقة كل صوت كل على حده. كما درسنا بعض الاختلافات المتعلقة بالأصوات المبهمة من أجل تحديد الصوتيات التي تلعب دورا هاما في أداء التعرف ما بين الناطقين الأصليين وغيرهم. هذا إلى جانب دراستنا لتأثير النموذج اللغوي.

يتطرق هذا المقال لطريقة تسعى لدراسة حلول أوسع تمكن من تبسيط عملية تكيف الكلام المنطوق من قبل متكلمين غير أصليين له، هذا من خلال استعمال الخورزميات الجينية للبحث عن مجموعة وحيدة من عوامل التحويل الشامل المحسنة. الهدف هو الوصول إلى أحسن تكيف بالمقارنة مع الطرق المعروفة وذلك مهما كان حجم المعطيات المكيفة المتوفرة. نظم هذا البحث على النحو التالي: جزء نتناول فيه خصائص اللغة العربية، و جزء آخر نتطرق من خلاله إلى طرق التكيف المعروفة MLLR. أما القسم التالي فنصف فيه مفهوم المقاربة التطورية المستعملة لتكيف الكلام المنطوق من قبل متكلمين غير أصليين متبوع بقسم أخير نصف فيه المعطيات و التجارب المنفذة لتقييم الخوارزمية التطورية غير المراقبة المقترحة (GA-MLLR). نختتم هذا المقال بأفاق مستقبلية تخص هذا العمل.

2 خصائص اللغة العربية

تحتوي اللغة العربية الفصحى أساسا على 34 صوتا: 6 صائتا (حركة) و 28 صامتا (حرفا) [6]. تتميز اللغة العربية بالمقارنة مع اللغة الإنجليزية بقلّة صوائتها، فلديها ثلاث قصيرة تقابلها ثلاث طويلة (ممدودة)، بينما تعتمد الإنجليزية الأمريكية على اثني عشر صائتا على الأقل [7]. تختلف اللغة العربية الفصحى عن نظيراتها الهندو أوروبية بطبيعتها الصائتية. أما من جانب النطق، فهي تتميز بالأصوات الخلفية المنتجة في آخر جهاز النطق مثل الصوامت الحلقية و الحنجرية. يمكن تقسيم الأصوات العربية إلى: الحروف الوقفية (الحسبية) و الحروف الإحتكاكية و الحروف الأنفية (الغنية) و الحروف المائعة التي تشمل الجانبية و التكرارية. يمكن أن تكون جميع هذه الحروف مجهورة أو مهموسة. هذا إلى جانب الحركات. تكمن أصالة الصوتيات العربية أساسا في أهمية المد و الحروف المفخمة والمشددة. تلعب هذه الخصائص دورا أساسيا في التركيب المورفولوجي للاسم والفعل.

التفخيم ميزة صوتية تتميز بها الحروف فقط. تتحقق الحروف المفخمة على مستوى الفيزيولوجي أو التلفظ في الجزء الخلفي من تجويف الفموي أي يتم تلامس جذر اللسان بالحلقة. تشمل اللغة العربية أربعة حروف مفخمة هي: حرفان حبسيان (/d^h/، /t^h/) وآخران إحتكاكيان (/s^h/، /ð^h/). يبين المثال التالي وجود مقابلة ما بين حرفين الأول مفخم والثاني غير مفخم: /nasaba/ (نسب) و/nas^haba/ (نصب). تلعب هذه المقابلة الصوتية دوراً أساسياً في التمييز بين معاني العديد من الكلمات العربية.

أما التشديد فهي ميزة يُسعى من خلالها إلى تعويض فقر النظام الصوتي العربي للحركات. ويُنشأ التشديد من استمرارية القوة اللفظية. نلاحظ في المثال التالي /faʔala/ (فشل) و /faʔ:ala/ (فشل) ، مقابلة تكمن في تضاعف الحرف الإحتكاكي /ʔ/. من خلال هذا المثال نستطيع قياس مدى أهمية وصعوبة الكشف عن هذه الميزة [8].

يحتوي نظام الصوائت في اللغة العربية على كميات صوتيتين لكل نغمة. فكل حركة قصيرة /a/، /u/، /i/، تقابلها على المحور الزمني حركة طويلة /a:/، /u:/، /i:/، هذا التقابل أساسي للتفريق بين كلمتين متشابهتين فعلى سبيل المثال: /dʒ ama:/ (جمال) و /dʒ amal/ (جمل) أي يعتبر طول الحركة الثانية هو الفرق الوحيد بينهما. أما فيما يخص المقاطع العربية الممكنة فهي كالتالي: CV ، CVC ، و CVCC ، حيث يشير V إلى الصائت (طويل أو قصير) بينما يشير C إلى الصامت. يبدأ الكلام في اللغة العربية دائماً بصامت [6] و من الضروري أن تحتوي المقاطع العربية على الأقل على حركة واحدة تحدث سواء بين حرفين أو في آخر الكلمة.

يمكن تصنيف المقاطع العربية إلى قصيرة / طويلة أو مفتوحة/ مغلقة. يعتبر النوع CV أقصر مقطع في حين أن المقاطع الأخرى تعتبر طويلة. ينتهي المقطع المفتوح بحركة بينما ينتهي المقطع المغلق بحرف. بالنسبة للغة العربية يمثل الصائت نواة المقطع ، ويتغير عدد المقاطع حسب عدد الحركات [9]. إن تحويل أبجدية اللغة العربية إلى أصوات أمر بسيط. هذا نتيجة تقابل كل حرف من الهجاء بصوت وحيد (ما عدا بعض الاستثناءات) [10] [11].

3 تكيف المتكلمين الأجانب باستخدام الأساليب المعروفة

إقترحت العديد من الدراسات لاستعمال معطيات النماذج الصوتية الأصلية في تكيفها للنماذج الصوتية غير الأصلية . تعتبر MLLR التقنية الأكثر استعمالاً لأنها تقنية أثبتت نجاعتها رغم احتياجها لقدر ضئيل من المعطيات. فهي تقوم بمجموعة من التحويلات يكون الغرض منها تقليص الفرق بين النموذج الأصلي و معطيات التكيف MLLR .إنها طريقة تكيف نموذج بتحديد مجموعة من التحويلات الخطية لمعدل المزيج الغوسي في نظام HMM. أثر هذه التحويلات هو تغيير معدلات مكونات النظام الأصلي حتى يصبح كل وضع من أوضاع نظام HMM قابلة لتوليد معطيات مقارنة .

يفترض مبدأ معدل التحويل في مخطط MLLR أن تحديث معدل الأشعة الغوسية يتم بتحول خطي . ليكن μ_k شعاع المعدلات الأولية و $\hat{\mu}_k$ شعاع المعدلات المكيفة المقابل له للوضع k في نظام HMM العلاقة ما بين μ_k و $\hat{\mu}_k$ هي : $\hat{\mu}_k = A_k \xi_k$ حيث A_k مصفوفة التحويل من الشكل $d \times (d+1)$ و $\xi_k = [1, \mu_{k1}, \mu_{k2}, \dots, \mu_{kd}]^t$ هو شعاع المعدلات الموسع .

وقد أثبت أحد البحوث [12] أن حساب القيمة القصوى للدالة المماثلة بالنسبة لمتتالية ظواهر o_t يعود إلى حساب القيمة الدنيا للدالة Q الآتية :

$$Q = \sum_{t=1}^T \sum_{k=1}^K \gamma_k(t) (o_t - \mathbf{A}_k \xi_k)^T C_k^{-1} (o_t - \mathbf{A}_k \xi_k) \quad (1)$$

حيث يمثل $\gamma_k(t)$ احتمال وجود النظام في الوضع k في الزمن t عند حدوث لمتتالية الظواهر o_t . C_k هي مصفوفة التغاير المفترض أن تكون قطرية. الشكل العام لحساب القيم المثلى ل $\mathbf{A}_k$ يكون بتفاضل Q بالنسبة ل $\mathbf{A}_k$:

$$\sum_{t=1}^T \gamma_k(t) C_k^{-1} o_t \xi_k^t = \sum_{t=1}^T \gamma_k(t) C_k^{-1} \mathbf{A}_k \xi_k \xi_k^t \quad (2)$$

حسب توفر معطيات التكييف فإن مجموعة الدوال الغوسية وبشكل عام لها عدد من الأوضاع تشاطر تحويلاً وتدعى فئة إحدارية r . بالتالي لتحويل معين $\mathbf{A}_k$ تصير المركبات الغوسية مرتبطة فيما بينها حسب شجرة فئات إحدارية و تصبح العبارة العامة (2) :

$$\sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T \gamma_{k_r}(t) C_{k_r}^{-1} o_t \xi_{k_r}^t = \sum_{r=1}^R \sum_{t=1}^T \gamma_{k_r}(t) C_{k_r}^{-1} \mathbf{A}_k \xi_{k_r} \xi_{k_r}^t \quad (3)$$

أما بالنسبة للطريقة النموذجية MLLR فإن عمود القيم $\mathbf{A}_k$ يحتسب كتالي:

$$a_i = G_i^{-1} z_i \quad (4)$$

$$\hat{\mu}_{ik} = \frac{\tau \mu_{ik} + \sum_{t=1}^T \varphi_t(i, k) x_t}{\tau + \sum_{t=1}^T \varphi_t(i, k)} \quad (5)$$

حيث τ_{ik} هو عامل الإتزان بالنسبة للمركب الغوسي ذي الرتبة k^{th} في الوضع i و $\varphi_t(i, k)$ هي قيمة الدالة المماثلة لمعطاة التكييف الملاحظة x_k . من بين العوائق التي تميز MAP هو كونها تحتاج إلى عدد كبير من المعطيات التكييف مقارنة ب MLLR. وهذا ما حفزنا لاستعمال MLLR في دراسة موضوع تكييف HMM للناطقين (الأعاجم) غير العرب.

أدمجت الخورزميات التطورية (GA) بنجاعة في إطار تكييف النماذج الصوتية [15][16]. تمكنت إحدى المقاربات في استخدام (GA) لإثراء الأنظمة التابعة للمتكلم المستعملة من طرف " الأصوات الذاتية" [16]. خلال طريقة (GA- MLLR) نقترح تزويد المصفوفة A_k بالعوامل المترنة الممثلة للأفراد في عملية التطور حيث تخضع هذه الأفراد عبر الأجيال إلى عوامل تطورية مثل التحول والتقاطع [17]. ويتم اختيار بعض الأفراد حسب مردوديتهم في التوليد (أدائهم). و تقاس هذه المردودية باستعمال دالة موضوعية. تنتهي مرحلة التطور عند استقرار الدالة الموضوعية. عند الحصول على أحسن أو أصلح الأفراد أي عند الحصول على المصفوفة المثالية A_{gen} يستعمل ذلك الفرد في مرحلة الإختبار لتكييف معطيات الأعاجم. تجدر الملاحظة أننا لا نحتاج إلى حساب فئات الانحدار بما أن مرحلة التحسين تعتمد في البحث على القيمة القصوى للأداء مهما كان حجم معطيات التكييف المتوفرة لدينا.

نحتاج إلى تمثيل صبغي لوصف كل فرد من المجموعة وهذا لكل GA. ويحدد هذا التمثيل كيف تتم هيكلية المسألة وكذلك العوامل التطورية (الوراثية) المستعملة [17]. وإن خورزمية (GA- MLLR) تستخدم مؤثرات متمثلة في عناصر المصفوفة A_{gen} .

4.1 مجموعة الإبتدائية

تتمثل أول مرحلة في عملية تحسين (GA-MLLR) بتعين المجموعة الأولية. تنتج هذه الأخيرة من استنساخ عناصر المصفوفة A الناتجة من المرحلة الأولى و الوحيدة من تطبيق MLLR. تتمثل هذه العملية في مضاعفة العناصر $a_i = G_i^{-1} z_i$ لتكوين المجموعة الأولية مع التحديد المسبق لعدد أفرادها. وبالتالي ، سوف تحتوي هذه الشعب (المجموعة) على أفراد a_i^v حيث يرمز v إلى فرد واحد منها و هو يتراوح من 1 إلى حجم المجموعة ($PopSize$). باستعمال هذه الطريقة نتوقع استغلال نجاعة GA في فحص فضاء البحث بكامله واجتناب حل مثالي محلي. يحتاج التمثيل الناجع لهذه الأفراد إلى جينات أو متغيرات مقتبسة من مجموعة أعداد حقيقية تتراوح بين قيمتين دنيا و قصوى هما على التوالي ($b1$ و $b2$).

4.2 الدالة الموضوعية

تستلزم عملية تحسين مصفوفة التحويل الشامل إلى البحث عن العناصر المماثلة للشعاع العمودي $a_i^v \in \mathcal{S}$ حيث $\mathcal{S}$ هو الفضاء المذكور أعلاه. ويخضع هذا البحث إلى معيار كفي أي الدالة الموضوعية $\mathcal{F} : \mathcal{S} \rightarrow \mathcal{R}$ تأخذ قيمها القصوى. و الحل a_{igen} هو الذي يحقق:

$$a_{igen} \in \mathcal{S} \mid \mathcal{F}(a_{igen}) \geq \mathcal{F}(a_i^v) \quad \forall a_i^v \in \mathcal{S}. \quad (6)$$

من خلال طريقتنا هذه عرفنا الدالة الموضوعية بحيث تضمن العوامل التطويرية المحسنة و الجديدة ازديادا في دقة تعيين الصوتيات في معطيات التكييف. لهذا الغرض نستعمل معيار الخطأ الأدنى للصوت (MPE) المعروف بكونه طريقة تدريب مميزة مستعملة كشبكة للصوتيات [18] [20]. تقتضي الدالة النموذجية المعبرة عن المعيار MPE إفتراضا يتمثل في تحديد الكلمات المكونة للشبكة. حدود الصوتيت مبنية في كل كلمة لتقليص مجال البحث أثناء التقييم الإحصائي للنموذج HMM λ .

نعريف هذه الدالة بالنسبة لنموذج ما ب:

$$F_{FPE}(\lambda) = \sum_{u=1}^U \sum_s P_l(s | O_u, \lambda) \sum_{q \in s} PhAcc(q) \quad (7)$$

حيث أن $P_l(s | O_u, \lambda)$ هو الاحتمال اللاحق للفرضية s لكلمة u حسب حدوث الظاهرة o_u للنموذج الحالي λ والسلم الصوتي l . تمثل $\sum_{q \in s} PhAcc(q)$ جمع أقيسة دقة الصوت لجميع الفرضيات الصوتية. إن الدالة الموضوعية المستعملة في GA-MLLR لحساب فرد معين a_i^v تستخدم الدقة الإجمالية للصوت وهي :

$$\mathcal{F}(a_i^v) = \sum_{\lambda} F_{FPE}(\lambda). \quad (8)$$

الدالة الموضوعية منسقة للوحدة.

4.3 الدالة الاختيارية

بما أن شعب الأبناء (الذرية) تكون أوسع من الشعب الأصلية، فإنه يجب من تنفيذ آلية لتحديد الأفراد المتوافقة مع الشعب الجديدة. تقوم هذه الآلية باختيار أصلح الأفراد و تمكنهم من التوليد في حين يتم إزالة الأفراد المتبقية. يتم اختيار الأفراد لإنتاج الأجيال المتعاقبة على أساس إرفاق احتمال الاختيار P_v لكل فرد v حسب صلاحيته. في طريقة " العجلة الدائرة " [19] نحسب P_v كالاتي:

$$P_v = \frac{\mathcal{F}(a_i^v)}{\sum_{k=1}^{PopSize} \mathcal{F}(a_i^k)} \quad (9)$$

حيث $\mathcal{F}(a_i^k)$ يكون مساو لقيمة الدالة الموضوعية للفرد k ويمثل $PopSize$ حجم المجموعة في جيل معين.

4.4 التقاطع

يسمح التقاطع من إنشاء أفراد جدد على أساس الجيل السابق. يوجد العديد من أمثلة للتقاطع في إطار GA [20]. في GA-MLLR أختبر التقاطع الاستكشافي كعامل لإعادة التركيب يولد عددا عشوائيا من توزيع منتظم و يقوم بتبديل مورثات الآباء x و y المنتمية لأفراد a_i^x و a_i^y على التوالي في مورثات الأبناء (x' و y'). تم اختيار هذا النوع من التقاطع لأنه الوحيد الذي يستعمل معلومات حول الصلاحية. يتم إنشاء جيل الأبناء باستخدام المعادلة التالية:

$$\begin{aligned} x' &= x + U(0,1)(x - y) \\ y' &= x \end{aligned} \quad (10)$$

حيث يفترض أن يكون a_i^x أصلح من a_i^y . $U(0,1)$ هو متغير عشوائي من التوزيع المنتظم في المجال $(0,1)$.

4.5 التحول

ترمي عوامل التحول إلى القيام بتغييرات عشوائية صغيرة حتى تتمكن من استكشاف جميع مناطق فضاء الحلول. يتم التحول عبر اختيار مورث x لفرد ما ثم إجراء اضطرابات طفيفة عليه. يُستعمل في GA-MLLR التحول غير المنتظم. يعتمد مبدأ هذا العامل على الاختيار العشوائي لمكون x_k لفرد ما وجعله مساو لعدد عشوائي غير منتظم x_k'' :

$$x_k'' = \begin{cases} x_k + (b_2 - x_k)f(Gen) & \text{if } u_1 < 0.5 \\ x_k - (b_1 + x_k)f(Gen) & \text{if } u_1 \geq 0.5, \end{cases} \quad (11)$$

حيث تحسب الدالة $f(Gen)$ كالتالي:

$$f(Gen) = (u_2 (1 - \frac{Gen}{Gen_{\max}}))^t \quad (12)$$

حيث u_1 و u_2 عددين عشوائيين من التوزيع المنتظم في المجال $(0,1)$ ، يمثل t عامل الشكل Gen الجيل الحالي، $Gen_{\max}$ هو عدد الأقصى من الأجيال، (b_1, b_2) هما الحد الأدنى و الحد الأقصى لكل فرد. يعمم عامل التحول المتعدد وغير المنتظم على كل مكونات الأب x .

4.6 الإنهاء

يتم إنهاء عملية التطور عندما يتم التوصل الى أقصى عدد من الأجيال. يتم الحصول على هذا العدد لما تستقر الدالة الموضوعية. في الواقع، لا يلاحظ أي تحسن للدالة الموضوعية قبل عدد معين من الأجيال. ويجدر التنكير كما كان متوقعا أن الإبتداء بالفئة الوحيدة MLLR ينتج تقاربا سريعا، على عكس الإبتداء العشوائي بالمجموعة بصفة إجمالية. عندما نتحصل على أصلح فرد فإنه يستعمل لإنتاج نظام خاص بالمتكلم الأجنبي انطلاقا من مجموعة HMM الأصلية.

5 التجارب و النتائج

استخدمنا في تجاربنا مدونة Westpoint للغة العربية التي أعدتها LDC [21]. والتي تتمثل في 4 نصوص عربية مشكلة. يحتوي النص الأول على 155 جملة نطقها 74 متكلم عربي. يتكون النص الثاني من 40 جملة منطوقة من طرف 23 متكلم غير عربي (أعجمي). أما النص الثالث، فهو يحتوي على 41 جملة مقروءة من قبل 4 متكلمين غير أصليين للغة. ويحتوي النص الأخير على 22 جملة منطوقة من طرف 9 متكلمين غير عرب مارسوا اللغة العربية لمدة 3 سنوات. وصل عدد المفردات المختلفة إلى 1131 كلمة عربية.

5.1 خوارزمية التوريث

لضبط مسار خوارزمية التوريث، يجب تعريف عدد من العوامل. تتكون المجموعة الأولية من 200 فرد أنشأت بتضعيف عناصر مصفوفة التحويل الشامل التي تحصلنا عليها من فئة MLLR الانحدارية الأولى و الوحيدة. أوقفت خوارزمية التطور بعد 350 جيل. و قد حددت نسبة التقاطع و نسبة التحول ب 38% و 10% على التوالي بينما حدد العدد الكلي للتشغيلات ب 60. استعملنا في GA-MLLR تحويلا شاملا حيث قيدت جميع مكونات المزج بفئة انحدارية وحيدة.

5.2 تقييم نتائج طرق التكيف

اخترنا 4 قوائم من مدونة Westpoint مختلفة و غير متقاطعة بطريقة عشوائية تنتمي إلى 4 متكلمين غير عرب. تدعى القائمة الأولى AD100 و هي تحتوي على 100 جملة، و تدعى القائمة الثانية AD150 و تحتوي على 150 جملة و تحتوي الثالثة على 200 جملة و تدعى AD200 بينما تحتوي الأخيرة على 250 جملة و تدعى AD250. اختيرت القوائم الأربع عشوائيا من مجموع النصوص و الناطقين المتوفرة من الجنسين. استعملت هذه القوائم لتكييف النظام القائم على الناطق العربي لمعالجة الناطقين غير العرب.

لهذا الغرض استعملت تقنيات للتكيف، MAP، MLLR و GA-MLLR لحل الأداء لهذه الطرق على مستوى الكلمة بإدماج نموذج لغوي. استعملنا في كل تجاربنا مجموعة أدوات HTK. و

قد صمم نظام الاستكشاف الآلي في مرحلة أولى HMM كنظام للتعرف على الصوتيات اعتمادا على ثلاث أوضاع مستمرة من اليسار إلى اليمين دون تخطي.

استعملت نماذج الصوتيات المرتبطة بالسباق لتمثيل المناطق الانتقالية (انتقال المعلومات في الكلام) نظرا لأهميتها في تمييز الوحدات الصوتية المبهمة. بما أن معظم الكلمات متكونة من أكثر من صويتين أنشأنا نماذج خاصة بثلاثيات الصوتيات انطلاقا من النموذج السالف الذكر. تمثلت مرحلة التدريب في استعمال خوارزميات Baumwelch في إعادة تقدير نماذج HMM و ربط هذه النماذج باستخدام طريقة شجرة القرارات [22].

عوامل النظام هي، 22050 عينة في الثانية ، 25 ms كمدة لنافذة Hamming مع خطوة زمنية تقدر بـ 10 ms. استعملت 12 عامل MFCC و 22 عامل طيفي لوغريتمي لتليينها. حسبت هذه العوامل MFCC اعتمادا على بطارية متكونة من 26 مرشحة و قد تم تصفية (ترشيح) الكلام بعامل التخميم المسبق قدره 0.95.

اعتمادا على الشروحات السالفة نرسم بـ AD100/MLLR و AD100/MAP و AD100/GA- MLLR ، الخ... إلى مختلف التجارب المذكورة.

استعملت جميع معطيات الناطقين العرب الموفرة من LDC-WestPoint في تدريب النظام التعرف الأصلي. بعد هذا أجري اختبار النظام باستعمال معطيات المتكلمين غير العرب.

بلغت دقة هذا النظام في هذا الاختبار 89.46 % على مستوى الكلمة و يعد هذا الأداء منخفضا نسبيا مقارنة بالمعدل المحصل عليه عند استعمال معطيات الناطقين العرب و الذي يبلغ 99.05 % [4]. يتحسن أداء النظام كلما زاد حجم قائمة التكييف (الجدول 1). يزداد هذا الأداء بسرعة حتى يصل نسبة 97.84 % التي تمثل 8.38 % من التحسن على مستوى الكلمة (بالمقارنة مع النظام غير المكيف). تحصلنا على هذه النتيجة عند التكييف GA-MLLR. نشير إلى أننا أجرينا الاختبار على الابتداء العشوائي الكامل للمجموعة و الابتداء القائم على الأفراد المستنسخة باستعمال مكونات مصفوفة التحويل الشامل MLLR. كان أداء الحالتين ماثلا. تحصلنا على التكييف بعد 350 جيل باستعمال الابتداء القائم على طريقة MLLR.

6 الخاتمة

قدمنا في هذا المقال نتائج استنتاجها بواسطة نظام يستعمل طريقة (GA-MLLR) تستخدم خوارزميات تطويرية لتكييف كلام عربي منطوق من قبل متكلمين غير عرب. و قد حللنا أيضا أداء تقنيات التكييف المعروفة MLLR و MAP . أظهرت التجارب فعالية تقنية GA-MLLR فيما يخص السرعة و التكييف غير المراقب. كانت دقة النظام غير المكيف تعادل 89.46 % على مستوى الكلمات بينما تحصلنا في تجربة AD250/GA-MLLR على أكبر تحسن فيما يخص دقة النظام بمقدار 8.38 %. بالإضافة إلى ذلك لقد سمح استعمال التحويل الشامل و الوحيد للعوامل التطويرية المحسنة تجاوز مشكلتي ضخامة الذاكرة و طول الزمن المستهلك. سوف يتم هذا العمل بالبحث عن أحسن طرق تكييف نظام التعرف الآلي للكلام باللغة العربية للناطقين غير العرب و هذا يكون بإدماج معارف صوتية مستنتجة من أخطاء النطق المرتكبة.

النظام	% C _{Wrd}	% e _{Ins}	% e _{Del}	% e _{Sub}
بدون تكيف	89.46	22.12	2.86	7.68
MAP	92.62	21.39	2.75	4.63
MLLR	91.83	21.56	2.82	5.34
GA-MLLR	93.54	21.87	2.72	3.73

[أ] % C_{Wrd} باستعمال قائمة التكيف AD100 .

النظام	% C _{Wrd}	% e _{Ins}	% e _{Del}	% e _{Sub}
بدون تكيف	89.46	22.12	2.86	7.68
MAP	94.83	20.72	2.35	2.82
MLLR	94.73	21.02	2.29	2.98
GA-MLLR	95.05	20.84	2.38	2.57

[ب] % C_{Wrd} باستعمال قائمة التكيف AD150

النظام	% C _{Wrd}	% e _{Ins}	% e _{Del}	% e _{Sub}
بدون تكيف	89.46	22.12	2.86	7.68
MAP	95.04	20.14	2.37	2.59
MLLR	95.57	20.02	2.02	2.41
GA-MLLR	96.73	19.42	1.09	2.18

[ج] % C_{Wrd} باستعمال قائمة التكيف AD200

النظام	% C _{Wrd}	% e _{Ins}	% e _{Del}	% e _{Sub}
بدون تكيف	89.46	22.12	2.86	7.68
MAP	96.23	19.05	1.42	2.34
MLLR	96.41	19.36	1.37	2.22
GA-MLLR	97.84	18.94	1.02	1.14

[د] % C_{Wrd} باستعمال قائمة التكيف AD250

الجدول 1 : النسبة المئوية لمعدل التعرف على كلمة (%C_{Wrd}) ، معدل الإدراج (%e_{Ins}) ، معدل الحذف (%e_{Del}) ، معدل الاستبدال (%e_{Sub}) لأنظمة غير مكيفة أو مستعملة أحد التقنيات التالية: MLLR ، MAP ، GA-MLLR و باستخدام القوائم AD100 ، AD150 ، AD200 ، AD250 (أفضل المعدلات مكتوبة بحروف بارزة).

- [1] W. Byrne, E. Knodt, S. Khudanpur, J. Bernstein, "Is Automatic Speech Recognition Ready for Non-Native Speech? A data Collection Effort and Initial Experiments in Modeling Conversational Hispanic English", ESCA Conference on Speech Technology in Language Learning, Marholmen, Sweeden, 1998.
- [2] K. Livescu, "Analysis and Modeling of Non-Native Speech for Automatic Speech Recognition", Master Thesis at MIT, 1999.
- [3] K. Bartkova, D. Jouvet, "Multiple Models for Improved Speech recognition For Non-Native Speakers", SPECOM'2004: 9th Conference of Speech and Computer, St. Petersburg, Russia 2004.
- [4] Y. A. Alotaibi, S.-A Selouani, and D. O'Shaughnessy, "Experiments on automatic recognition of nonnative Arabic speech", EURASIP Journal on Audio, Speech, and Music Processing, pp. 1-9, ISSN 1687-4714, vol. 2008.
- [5] Y. A. Alotaibi, and S.-A. Selouani, "Investigating the adaptation of Arabic speech recognition systems to foreign accented speakers" Information Sciences Signal Processing and their Applications (ISSPA), 2010 10th International Conference on, pp. 646-649, May 2010.
- [6] M. Alkhouli, Linguistic Phonetics, Daar Alfalah, Jordan 1990 (in Arabic).
- [7] E. W. Schneider, B. Kortmann, K. Burrige, R. Mesthrie, C. A. Upton, handbook of varieties of English: Phonology, (Vol. 1). Berlin: Mouton de Gruyter, 2004.
- [8] S. A. Selouani, J. Caelen, "Recognition of Arabic Phonetic Features Using Neural Networks and Knowledge-Based System: A Comparative Study", International Journal on Artificial Intelligence Tools, Vol. 8, No 1, pp. 73-103, 1999.
- [9] Y. M. El-Imam, "An Unrestricted Vocabulary Arabic Speech Synthesis System", IEEE Transactions on Acoustic, Speech, and Signal Processing, Vol. 37, No. 12 pp. 1829-1845, 1989.
- [10] M. Al-Zabibi, "An Acoustic-phonetic Approach in Automatic Arabic Speech Recognition", Ph.D. thesis, Loughborough University of Technology, 1990.
- [11] K. Kirchoff, J. Bilmes, S. Das, N. Duta, M. Egan, J. Gang, H. Feng, J. Henderson, J. Daben, M. Noamany, P. Schone, R. Schwartz and D. Vergyri, "Novel approaches to Arabic speech recognition: report from the 2002 Johns-Hopkins Summer Workshop", Proceedings of ICASSP 2003, Vol. 1, pp.344-347, April 2003.
- [12] C. J. Legetter, and P. C. Woodland, "Maximum likelihood linear regression for speaker adaptation of continuous density hidden Markov models", Computer speech and language, Vol. 9, pp. 171-185, 1995.
- [13] C. Mokbel, "Online adaptation of HMMs to real-life conditions: a unified framework", IEEE-trans. on SAP, Vol.9, No 4, pp. 342-357, May 2001.
- [14] C. H. Lee and J.-L. Gauvain "Speaker Adaptation Based on MAP Estimation of HMM Parameters", Proceedings of ICASSP, Minneapolis, Minnesota, pp. 558-561, 1993.
- [15] S. A. Selouani and D. O'Shaughnessy, "Speaker adaptation using evolutionary-based linear transform", International Conference on Spoken Language Processing, pp.1109-1112, Pittsburgh, November 2006.
- [16] F. Lauri, I. Illina, D. Fohr, F. Korkmazsky "Using genetic algorithms for rapid speaker adaptation", Proc. Eurospeech, pp. 1497-1500, 2003.
- [17] L. Davis, The genetic algorithm handbook, Ed. New York: Van Nostrand Reinhold, ch.17, 1991.
- [18] L. Wang, and P.C Woodland, "MPE-based discriminative linear transform for

- speaker adaptation", Proc. IEEE-ICASSP, Vol. I, pp. 321–324, 2004.
- [19] D. E. Goldberg, "Genetic algorithms in search, optimization and machine learning", Addison-Wesley publishing, 1989.
- [20] Z. Michalewicz, Genetic Algorithms + Data Structure = Evolution programs, AI series. Springer-Verlag, New York, 1996.
- [21] LDC, "Linguistic Data Consortium (LDC) Catalog Number LDC2002S02", <http://www.ldc.upenn.edu/>, 2002.
- [22] S. Young, G. Evermann, M. Gales, T. Hain, D. Kershaw, G. Moore, J. Odell, D. Ollason, D. Povey, V. Valtchev and P. Woodland, The HTK Book (Version. 3.4), Cambridge University Engineering Department, 2005, <http://htk.eng.cam.ac.uk/>

الملخص باللغة الانجليزية

Adaptation to Non-Native Arabic Speech Using Evolutionary-Based Linear Transform

Abstract. In this paper, we are concerned with the problem of the adaptation of non-native speech in a large-vocabulary speech recognition system for Modern Standard Arabic (MSA). A technique to adapt Hidden Markov Models (HMMs) to foreign accents by using Genetic Algorithms (GAs) in unsupervised mode is presented. The implementation requirements of GAs, such as genetic operators and objective function, have been selected to give more reliability to a global linear transformation matrix. The WestPoint Language Data Consortium (LDC) modern standard Arabic database and the Hidden Markov Model Toolkit (HTK) are used throughout our experiments. Results show that significant decrease of word error rate, that can reach 8%, has been achieved by the evolutionary-based approach compared to the conventional Maximum Likelihood Linear Regression (MLLR) and Maximum *a posteriori* (MAP) techniques.

Keywords: Arabic language, Speech recognition, HMMs, Non-native speakers adaptation, Genetic Algorithms, MLLR, MAP

المصطلحات

دقة	accuracy
تقنيات التكيف	adaptation techniques
التأليل الطيفي اللوغرتمي	cepstral liftering
الصبغي	chromosome
استنساخ	clonage
مصفوفة التغاير	covariance matrix
التقاطع	crossover
قطرية	diagonal
مميزة	discriminative
ذاتية	Eigen

بطارية مرشحة	filter-bank
المزيج الغوسي	gaussian mixture
الخوارزميات الجينية	genetic algorithm
العوامل الجينية	genetic parameters
التحويل الشامل	global transformation
نافذة Hamming	Hamming window
نماذج ماركوف المخفية	Hidden Markov Model
شبكة	lattice
محلي	local
القيمة القصوى للدالة المماثلة	maximum likelihood
القيمة القصوى اللاحقة	maximum posteriori
نموذج	model
التحول	mutation
التنسيق	normalization
متتالية ظواهر	observation sequence
أصلح	optimal
تحسين	optimization
أداء	performance
عامل التضخيم المسبق	pre-amphasis
احتمال	probability
تقارب سريع	rapid convergence
إعادة تقدير	re-estimation
فئة إنحدارية	regression class
عينة	sample
مثال	scheme
الدالة الاختيارية	selection function
تابع للمتكلم	speaker dependent
وضع	state
تحويل	transformation
نماذج ثلاثية	triphone models
شعاع	vector
جمع متزن	weighted sum



الجلسة السابعة

نظام أمن لإخفاء البيانات الخاصة في الصور الملونة يعتمد على مزج عدة طرق بسيطة لزيادة فعاليتها

السيد محمد الألفي، عزت أحمد السعدي
كلية علوم وهندسة الحاسب، جامعة الملك فهد للبترول والمعادن
الرمز البريدي 31261، الظهران، المملكة العربية السعودية
البريد الإلكتروني: alfy@kfupm.edu.sa • azzat.sadi@gmail.com

الخلاصة. مع زيادة الاعتماد على شبكة الإنترنت في الآونة الأخيرة في شتى ميادين الحياة ازدادت أهمية المحافظة على سرية البيانات أثناء نقلها على تلك الشبكة. ويعد مجال الاستيجانوجرافي (steganography) أحد المجالات الحيوية لذلك، حيث يقوم بتضمين البيانات المراد الحفاظ على سريتها في وسط آخر (كرسالة نصية، أو صورة، أو مقطع صوت أو فيديو) قبل عملية نقلها ثم يقوم باسترجاعها عند المستقبل. ورغم أن هناك طرق عديدة لإخفاء البيانات في الصور ذات التدرج الرمادي، لا يزال المجال بحاجة لطرق مبتكرة وفعالة للإخفاء في الصور الملونة. تهدف هذه الورقة البحثية إلى زيادة القدرة على إخفاء كمية أكبر من البيانات السرية في الصور الملونة دون تأثير ملحوظ على جودة الصور المستخدمة في عملية الإخفاء. وتعتمد فكرة الطريقة المقترحة على مزج مجموعة من الطرق البسيطة التي تم تطويرها للتعامل مع الصور ذات التدرج الرمادي بشكل يزيد من فعاليتها عند تطبيقها على الصور الملونة. وتقوم الطريقة المقترحة بفصل قنوات الألوان الثلاثة للصورة الملونة وإخفاء جزء من البيانات في إحدى تلك القنوات ثم استخدامها كمؤشر لتحديد أسلوب الإخفاء في القنوات الأخرى. ويؤدي تغيير الأسلوب المستخدم إلى زيادة في الحفاظ على سرية البيانات.

الكلمات الجوهرية: أمن المعلومات، الاستيجانوجرافي، تشفير البيانات، التحليل الاستيجانوجرافي، الصور الملونة.

1 مقدمة

مع التطور السريع في تقنية الإنترنت أصبح الحفاظ على أمن المعلومات يُشكل أحد التحديات التي تواجه الباحثين. ويعد علم الاستيجانوجرافي (steganography)، أي إخفاء أو تضمين بيانات سرية في وسط آخر، أحد الفروع المهمة لأمن المعلومات. ويختلف هذا المجال عن عملية تشفير البيانات في أن التشفير يُغير البيانات بشكل ملحوظ مما قد يثير انتباه المهاجمين (الهاكرز) للقيام بعملية خرق له للحصول على البيانات السرية. في حين يهدف الاستيجانوجرافي إلى إخفاء البيانات المراد الحفاظ على سريتها في وسط آخر بشكل لا يثير أي شبهة أو شك قد يؤديان إلى الكشف عن تلك البيانات. والغرض من عملية الإخفاء هو ألا يعلم الهاكرز في المقام الأول عن وجود تلك

البيانات، وبالتالي يتم حمايتها من القراءة أو التغيير أو التدمير. ويمكن استخدام التشفير مع الاستيجانوجرافي في نفس الوقت حيث يتم تشفير البيانات أولاً قبل القيام بإخفائها لزيادة الحفاظ على سريتها في حال اكتشاف وجودها.

وعلى الرغم من أن علم الاستيجانوجرافي من العلوم المعروفة منذ فترة طويلة، إلا أنه أصبح ضرورياً لتقنية المعلومات في العصر الحديث [1، 2]. كما أنه يلعب أيضاً دوراً مهماً في الحفاظ على الحقوق الفكرية لمؤلفي الوسائط المتعددة بالمساعدة في التمييز بين النسخ الأصلية والنسخ غير القانونية. ومع انتشار استخدام الصور الرقمية على نطاق واسع في تطبيقات الحاسب والإنترنت كثر استخدام تلك الصور عن غيرها من الوسائط الأخرى كالملفات النصية وملفات الصوت والفيديو كغطاء (cover) لتضمين البيانات السرية [3]. وقد طورت عدة طرق للتعامل مع الصور ذات التدرج الرمادي (grayscale images)، لكن لا زال المجال بحاجة لطرق مبتكرة وفعالة للصور الملونة (color images).

ويهدف هذا البحث إلى زيادة القدرة على إخفاء كمية أكبر من البيانات السرية في الصور الملونة مع عدم التأثير الملحوظ على جودة الصور المستخدمة في عملية الإخفاء. وتعتمد فكرة الطريقة المقترحة على دمج ثلاثة من الطرق الشائعة الاستخدام مع الصور ذات التدرج الرمادي؛ وهي: طريقة استبدال البتات ذات الرتبة الأقل (الأقل أهمية) (LSB replacement) [4، 5، 6، 7]، وطريقة الفرق بين قيم عناصر الصورة (البكسلات) (PVD) [8]، وطريقة ثالثة مبنية على دمج الطريقتين السابقتين هي PVD+LSB [9]. ويكمن اختلاف الطريقة المقترحة في هذا البحث عن التقنيات الأخرى الموجودة في جانبين. الأول: تتعامل الطريقة المقترحة مع الصور الملونة بدلاً من الصور ذات التدرج الرمادي. الثاني: تهدف الطريقة المقترحة إلى زيادة سعة التخزين في الصورة دون حدوث تدهور ملحوظ في جودة الصورة مع توفير مستوى آخر من أمن المعلومات ناتج عن الخلط بين عدة طرق مما يؤدي إلى صعوبة التنبؤ بمكان هذه المعلومات المخفية وكذا صعوبة الحصول عليها من قبل المهاجمين (أي مضادة أكثر للتحليل الاستيجانوجرافي anti-steganalysis).

تتكون هذه الورقة البحثية من الأقسام التالية. في الجزء 2 نقدم نبذة عن الطرق الأساسية التي تعتمد عليها الطريقة المقترحة. وفي الجزء 3 نناقش بعض الطرق الموجودة في أدبيات الاستيجانوجرافي لإخفاء في الصور الرقمية الملونة. أما الجزء 4 فيحتوي على شرح للطريقة المقترحة، بينما يعرض الجزء 5 بعض التجارب التي قمنا بها لتقييم فعالية الطريقة المقترحة، كما يناقش النتائج التي حصلنا عليها. وأخيراً يقدم الجزء 6 ملخصاً لأهم نتائج البحث.

2 خلفية عن الطرق الأساسية المُستخدمة

2.1 طريقة استبدال البتات ذات الرتبة الأقل (LSB)

تعدُّ طريقة استبدال البتات ذات الرتبة الأقل (الأقل أهمية) من أقدم الطرق المُستخدمة لإخفاء البيانات في الصور الرقمية. حيث تقوم هذه الطريقة باستبدال عدد محدد من البتات ذات الرتبة

الأقل لكل بكسل في الصورة بعدد من بتات البيانات المراد إخفائها. وتُستخدم هذه الطريقة بشكل واسع نظراً لبساطتها وتطلبها وقتاً أقل لمعالجة البيانات بالحاسب. لكن قد يؤدي إحلال عدد محدد من بتات البيانات السرية محل البتات الأقل أهمية بالصورة إلى تشوه الصورة بشكل ملحوظ؛ ويرجع ذلك إلى تفاوت قدرة تحمل بكسلات الصورة لعملية الاستبدال مما ينتج عنه حدوث تشوه ملحوظ بالصورة [10]. كما تؤدي بساطة تلك الطريقة إلى سهولة كشفها من قبل المهاجمين. لذا تم اقتراح عدة طرق أخرى لتحسين أدائها، ومن بين تلك الطرق وأهمها طريقة الفرق بين قيم البكسلات (PVD) والتي سيتم توضيحها في الجزء الفرعي 2.2.

ولفهم طريقة عمل LSB دعنا نأخذ مثلاً نقوم من خلاله بإخفاء الكلمة "Azzat" في صورة عن طريق استبدال قيمة البت ذات الرتبة الأقل فقط في كل بكسل من الصورة ببت من البيانات التي تمثل تلك الكلمة. ودعنا نفترض التمثيل الثنائي التالي للكلمة المراد إخفائها (حيث $t=01110100$ ، $a=01100001$ ، $z=01111010$ ، $A=01000001$):

01000001 01111010 01111010 01100001 01110100

ولنفترض أيضاً أن البتات التالية تمثل بتات الصورة المستخدمة لإخفاء الكلمة فيها، حيث تمثل كل ثمانية بتات بكسل واحد من الصورة، ويمثل البت الذي تحته خط الأقل رتبة من كل بكسل في الصورة:

```
010110100 001010111 101010111 101010100 111010111 110101000 010001111 111110011
010110100 101011011 100101111 101011111 101010111 101001110 010101110 010110111
101101111 111110111 001010111 100101011 101010000 010101000 101010100 110101011
101001000 010110000 110110100 010101011 010010011 101100000 010000100 010101000
101010111 101001111 101010000 010110001 101010100 001010111 111110111 101010111
```

بعد إخفاء الكلمة بالكامل في الصورة، تصبح بتات الصورة كالتالي:

```
A 01011010 00101011 101010101 10101010 111010110 11010100 010001110 11111001
z 01011010 10101101 10010111 10101111 10101011 101001110 010101111 010110100
z 101101100 11111011 00101011 10010101 101010011 01010100 101010111 110101000
a 10100100 010110011 110110111 010101000 010010000 10110000 01000010 010101011
t 101010100 10100111 101010011 010110011 10101010 00101011 111110110 101010100
```

من الواضح أنه بعد إخفاء الكلمة "Azzat"، لم تتأثر بعض البكسلات، وذلك بسبب تشابه بتات الكلمة المراد إخفائها مع البتات ذات الرتبة الأقل في الصورة. على سبيل المثال، بعد إخفاء الحرف "A" سيكون ناتج الصف الأول من الصورة كالتالي:

```
A =    0        1        0        0        0        0        0        1
01011010 00101011 101010111 10101010 111010111 11010100 010001111 11111001
```

وكما يظهر لنا لم تتأثر سوى ثلاثة بكسلات فقط (البتات التي أسفلها خط).

ورغم بساطة طريقة LSB، يعيبها ما يلي:

1. أنها أكثر الطرق عرضة للهجوم.
2. ظهور تشوهات واضحة للعين المجردة مع زيادة عدد البتات المستبدلة في كل بكسل من الصورة.
3. ظهور اختلاف واضح في المنحنى التكراري (histogram) للصورة قبل وبعد الإخفاء نظراً للتوزيع المتساوي للبيانات المراد إخفائها في بكسلات الصورة.

2.2 طريقة الفرق بين قيم عناصر الصورة (PVD)

ظهرت تلك الطريقة في عام 2003 كطريقة بديلة لتضمين البيانات في الصور ذات التدرج الرمادي [8]. وتعتمد على فكرة تفاوت قدرة بكسلات الصورة على إخفاء البيانات. بدلاً من إحلال البيانات بشكل مباشر لعدد معين من البتات ذات الرتبة الأقل (كما سبق ذكره في طريقة LSB)، تحدد هذه الطريقة عدد البتات التي سيتم إخفاؤها في كل بكسل عن طريق الفرق بين قيمة هذا البكسل والبكسل المجاور له. وتسمح هذه الطريقة بزيادة كمية البيانات التي يتم تضمينها في الصورة دون تأثير كبير على جودة الصورة.

وتقوم هذه الطريقة بتقسيم الصورة إلى كتل تتكون كل منها من زوج من بكسلات الصورة. ويبدأ هذا التقسيم من الجزء الأعلى يساراً في الصورة ويستمر بشكل متعرج (zigzag) حتى يمر على كل بكسلات الصورة. ويمثل الفرق بين أزواج البكسلات مدى التباين أو التجانس بين بكسلات الصورة. ويكون الفرق كبيراً بين زوج البكسلات في المناطق المتباينة (المناطق الحدودية أو الحواف edges)، بينما يقل الفرق في المناطق المتجانسة. ولذا يتم إخفاء بتات أكثر عند الحواف من المناطق الأخرى. حيث تقوم طريقة الإخفاء هذه بتجزئة التدرج الرمادي للصورة [0-255] إلى نطاقات أصغر ولتسهيل إخفاء البيانات الثنائية يكون حجم هذه النطاقات مضاعفات العدد 2. وتمثل النطاقات ذات الحجم الأقل الأماكن المتجانسة في الصورة بينما تمثل النطاقات ذات الحجم الأكبر أماكن الحواف في الصورة. يُرمز لكل نطاق بـ r_i حيث تمثل i رقم هذا النطاق، ويكون لكل نطاق حداً أعلى يُرمز له بـ u_i وحداً أدنى يُرمز له بـ l_i . ويحدد كل نطاق مقدار البيانات التي سيتم إخفاؤها في زوج البكسلات الذي يمثلها هذا النطاق. ويرمز لمقدار البيانات التي يمكن إخفاؤها في كل نطاق بالرمز n_i ويتم حسابه من المعادلة التالية: $n_i = \log_2(u_i - l_i + 1)$. بعد إخفاء البيانات يمكن أن تصبح قيمة الفرق بين زوج البكسلات خارج النطاق الذي يمثلها ولهذا يُستثنى هذا الزوج من عملية الإخفاء. فإذا رمزنا لقيمة البكسل الأول من الزوج بالرمز g_i ورمزنا لقيمة البكسل الثاني بالرمز g_{i+1} ، يتم حساب الفرق بين هذين البكسلين كالآتي: $d = g_{i+1} - g_i$. ويتم حساب الفرق بين زوج البكسلات بعد عملية الإخفاء من:

$$d' = \begin{cases} l_k + b_k & \text{for } d \geq 0 \\ -(l_k + b_k) & \text{for } d < 0 \end{cases} \quad (1)$$

حيث يرمز d' للفرق بعد عملية الإخفاء، ويُمثل الرمز b_k القيمة العشرية للبتات المراد إخفائها. ولذا تصبح قيمتا زوج البكسلات بعد الإخفاء g'_i و g'_{i+1} كالآتي:

$$(g'_i, g'_{i+1}) = \begin{cases} g_i - \left\lfloor \frac{d' - d}{2} \right\rfloor, g_{i+1} + \left\lfloor \frac{d' - d}{2} \right\rfloor & \text{if } d \text{ is odd number} \\ g_i - \left\lceil \frac{d' - d}{2} \right\rceil, g_{i+1} + \left\lceil \frac{d' - d}{2} \right\rceil & \text{if } d \text{ is even number} \end{cases} \quad (2)$$

2.3 طريقة PVD+LSB

يمكن أن تُخفي طريقة الفرق بين قيم البكسلات (PVD) بيانات أقل من طريقة البتات ذات الرتب الأقل (LSB) ويرجع ذلك إلى عدم استغلال الطريقة الأولى للمناطق المتجانسة من الصورة في عملية الإخفاء بشكل كبير، وإنما تتركز البيانات المراد إخفائها في المناطق ذات الفرق العالي أي عند حواف الصورة. ولتحسين عمل طريقة الفرق بين قيم البكسلات وزيادة عدد البتات المخفية باستغلال المناطق المتجانسة من الصورة ظهرت طريقة PVD+LSB؛ وهي تجمع بين الطريقتين السابقتين [9]. وتستند طريقة PVD+LSB على فكرة استخدام الفرق بين قيم البكسلات عندما يكون الفرق كبيراً بين زوج البكسلات (منطقة حافة)، واستبدال ثلاثة بتات من كل بكسل عندما يكون الفرق صغيراً (منطقة متجانسة). وللتمييز بين المناطق المتجانسة ومناطق الحواف في الصورة يتم مقارنة الفرق بين عنصري زوج البكسلات بقيمة معينة (العتبة) div ، والتي يتم التحكم فيها من قبل المستخدمين ويمكن وصفها بالفتاح السري. وبوضوح الشكل (1) قيمة العتبة التي تفرق بين المناطق المتجانسة والمتباينة. كما تُستخدم هذه الطريقة المعادلات التالية لضمان بقاء قيمة الفرق بين عنصري الزوج في نفس النطاق قبل وبعد عملية الإخفاء:

$$(g'_i, g'_{i+1}) = \begin{cases} (g'_i - 8, g'_{i+1} + 8) & \text{if } g'_i \geq g'_{i+1} \\ (g'_i + 8, g'_{i+1} - 8) & \text{if } g'_i < g'_{i+1} \end{cases} \quad (3)$$

منطقة متجانسة		منطقة حدودية			
$R_1 [0-7]$	$R_2 [8-15]$	$R_3 [16-31]$	$R_4 [32-63]$	$R_5 [64-127]$	$R_6 [127-255]$

الشكل 1. مثال على عملية التقسيم إلى نطاقات.

وتُستخدم طريقة PVD عندما يكون الفرق بين عنصري زوج البكسلات أكبر أو يساوي قيمة العتبة $d_i \geq div$ ، في حين يتم استخدام طريقة LSB لاستبدال ثلاثة من البتات ذات الرتبة الأقل إذا كان الفرق أقل من div . ويتم حساب الفرق بين عنصري زوج البكسلات بعد عملية الإخفاء d'_i ومقارنته بقيمة العتبة مجدداً؛ فإذا كانت قيمته الجديدة أكبر من أو يساوي قيمة العتبة $d'_i \geq div$ تستخدم المعادلات السابقة لتعديل قيم البكسلات لضمان بقاء قيمة الفرق بين عنصري الزوج في نفس النطاق.

3 أبحاث أخرى ذات علاقة

قدّم قطب وآخرون [11] طريقة البكسل المؤشر لإخفاء البيانات في الصور الملونة. وهذه الطريقة قائمة على مبدأ التوزيع العشوائي للبيانات المراد إخفائها في قنوات الصورة الملونة: الأحمر، والأخضر، والأزرق. وتستخدم تلك الطريقة البتات الأقل أهمية في أحد قنوات الصورة لتكون مؤشراً لعدد البتات التي يتم إخفاؤها في القناتين الأخريين. وتكمن نقاط ضعف تلك الطريقة في استخدامها لطريقة استبدال البتات ذات الرتبة الأقل لإخفاء البيانات في قناتين من القنوات، ولا تستغل القناة الثالثة في إخفاء أية بيانات.

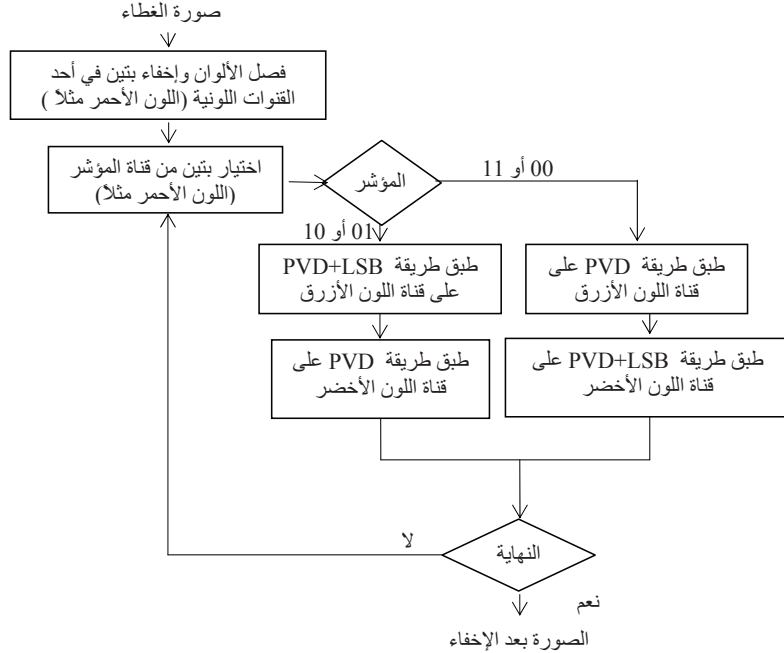
ولتحسين طريقة البكسل المؤشر وزيادة السعة وتأمين البيانات، قدم [12] طريقة أخرى لإخفاء عدد متغير من البتات في أحد قنوات الصورة يعتمد على قيمة اللون في تلك القناة. كما تم اقتراح تغيير القناة المستخدمة كمؤشر بشكلٍ تسلسلي يعتمد على كلمة سر مشتركة بين المرسل والمستقبل لزيادة الصعوبة في اكتشاف البيانات المخفية.

ولزيادة سعة التخزين لطريقة البكسل المؤشر، اقترح اميرطاهر جان وآخرون نسخة معدلة [13]. لكن ما تزال تلك الطريقة تستخدم طريقة استبدال البتات ذات الرتبة الأقل في عملية الإخفاء ولذا يسهل اختراقها من قِبل المهاجمين حسبما ذكرنا سابقاً. كما أنها لا تستغل القناة اللونية الثالثة (قناة المؤشر) لإخفاء أية بيانات. ولتحسين جودة الصورة بعد إخفاء البيانات بها وزيادة الصعوبة في اكتشافها، قدم [14] طريقة أخرى تعتمد على دمج طريقة البكسل المؤشر وطريقة الفرق بين قيم البكسلات المتعرجة (zigzag PVD) [15] وطريقة التعديل الأمثل للبكسل (OPAP) [5].

4 الطريقة المقترحة

تهدف الطريقة المقترحة في هذه الدراسة إلى زيادة كمية البيانات التي يمكن إخفاؤها دون التأثير على جودة صورة المستخدمة كغطاء. كما توفر تلك الطريقة مستوى آخر من مستويات الأمن ينتج من تغيير طريقة الإخفاء المُستخدمه عند كل بكسل والتي تحدد من خلال استخدام أحد قنوات اللون كمؤشر. وتعتمد الطريقة المقترحة على مزج ثلاث طرق بسيطة: طريقة LSB وطريقة PVD وطريقة ثلاثة مبنية على دمج الطريقتين السابقتين هي PVD+LSB. ويرجع السبب في استخدام طرق مختلفة للإخفاء لزيادة كمية البيانات المخفية وكذا لإرباك المهاجم وزيادة صعوبة الكشف عن البيانات.

وبين الشكل (2) خريطة التدفق لإجراء الإخفاء (تضمين البيانات السرية). وفي هذا الشكل افترضنا أن أحد قنوات الألوان (قناة اللون الأحمر) تُستخدم لإخفاء جزء من البيانات السرية ثم بعد ذلك تُستخدم كمؤشر لتحديد طريقة الإخفاء لكل من القناتين الأخريين، ويتم تغيير طريقة الإخفاء حسب قيمة كل بكسل في قناة المؤشر. وتتم عملية التغيير حسب ما هو مبين في الجدول (1). وتعمل طريقة استخلاص البيانات المتضمنة بطريقة عكسية.



الشكل 2. خريطة التدفق لإجراء الإخفاء (تضمين البيانات السرية).

الجدول 1. جدول المؤشر.

طريقة التضمين لقناة اللون الأزرق	طريقة التضمين لقناة اللون الأخضر	أول بت للبكسل في قناة اللون الأحمر في P_{i+1}	أول بت للبكسل في قناة اللون الأحمر في P_i
PVD + LSB	PVD	0	0
PVD	PVD + LSB	1	0
PVD	PVD + LSB	0	1
PVD + LSB	PVD	1	1

5 التجارب العملية

في هذا الجزء تم استخدام برنامج الماتلاب في برمجة الطرق المختلفة ودراسة ومقارنة أدائها. وتم تطبيق تلك الطرق على ثلاث صور ملونة بمقاس 512×512 والموضحة في الشكل (3): صورة لينا (Lena)، وصورة الفلفل (Peppers)، وصورة البابون (Baboon). ويرجع استخدامنا لتلك الصور لكثرة استخدامها في الأبحاث المختلفة لمعالجة الصور وضغط بيانات الوسائط المتعددة والاستيجانوجرافي. وفي طريقة الفرق بين قيم البكسلات (PVD) تم استخدام قيم النطاقات التالية: $\{8, 8, 16, 32, 64, 128\}$. أما بخصوص معايير الأداء التي استخدمت للتقييم والمقارنة فهي: نسبة الإشارة إلى الضوضاء (SNR) ونسبة الذروة للإشارة إلى الضوضاء (PSNR) وكمية البيانات التي يمكن تضمينها (السعة). ويمكن حساب PSNR من المعادلة التالية (بالديسبل dB):

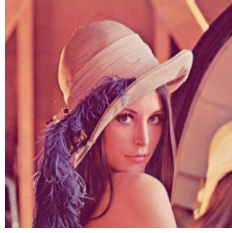
$$PSNR = 10 \frac{\log_{10} 255^2}{MSE} \text{ dB} \quad (4)$$

حيث MSE متوسط مربع الخطأ؛ ويحسب من:

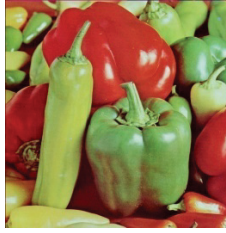
$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I - I_0)^2 \quad (5)$$

حيث I يمثل قيمة البكسل بعد إخفاء البيانات فيه ويمثل I_0 قيمة البكسل قبل إخفاء البيانات فيه، ويمثل $m \times n$ مقاس الصورة.

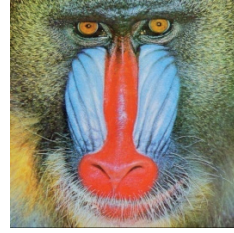
ولكي نتمكن من المقارنة بين الطرق المختلفة تم توحيد البيانات السرية التي يتم إخفاءها بأي من تلك الطرق. حيث تم إنشاء بيانات سرية عشوائية ببرنامج الماتلاب وتخزينها لإعادة استخدامها في كل مرة. ولفهم الاختلافات بين الطرق البسيطة المستخدمة قمنا بتجربة طبقنا فيها كلاً من تلك الطرق على صورة لينا ذات التدرج الرمادي. ويبين الشكل (4) نتائج تلك التجربة. وكما هو واضح من الشكل تقوم طريقة LSB بتوزيع البيانات السرية بانتظام على كل الصورة دون التقريب بين أجزائها المختلفة (انظر الشكل 4a). في حين تقوم طريقة PVD بتركيز البيانات المخفية في مناطق الحواف (الحدود) في الصورة وتهمل المناطق الأخرى في الصورة بدرجة كبيرة (انظر الشكل 4b). ولأن نسبة الحواف في معظم الصور لا تتعدى 10% من الصورة، تخفي هذه الطريقة كمية أقل من البيانات، بينما تستغل الطريقة الثالثة PVD+LSB جميع أجزاء الصورة وتركز عدداً أكبر من البتات في مناطق الحواف، كما توزع البتات في المناطق المتجانسة بشكل منتظم (الشكل 4c).



Lena



Peppers

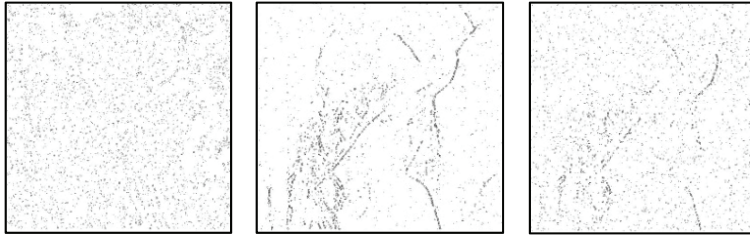


Baboon

الشكل 3. الصور الثلاثة الأصلية (أي قبل تضمين البيانات السرية).

الجدول 2. قيم معايير الأداء المختلفة للطريقة المقترحة على ثلاثة صور.

البابون			الفلفل			لينا		
الأزرق	الأخضر	الأحمر	الأزرق	الأخضر	الأحمر	الأزرق	الأخضر	الأحمر
الطريقة			PVD or PVD+LSB			PVD or PVD+LSB		
البنات المُخفأة (hidden bits)			2			2		
نسبة الإشارة إلى الضوضاء لكل قناة (SNR/channel)			26.59			27.30		
نسبة الذروة للإشارة إلى الضوضاء لكل قناة (PSNR/channel)			32.52			34.54		
السعة (بايت)			212427			216830		
متوسط نسبة الإشارة إلى الضوضاء (Avg SNR)			30.02			31.56		
متوسط نسبة الذروة للإشارة إلى الضوضاء لكل قناة (PSNR)			35.36			37.25		



(a) 4 bits LSB

(b) PVD

(c) PVD +LSB

الشكل 4. مقارنة أداء ثلاث طرق عند تطبيقها على صورة لينا (Lena).

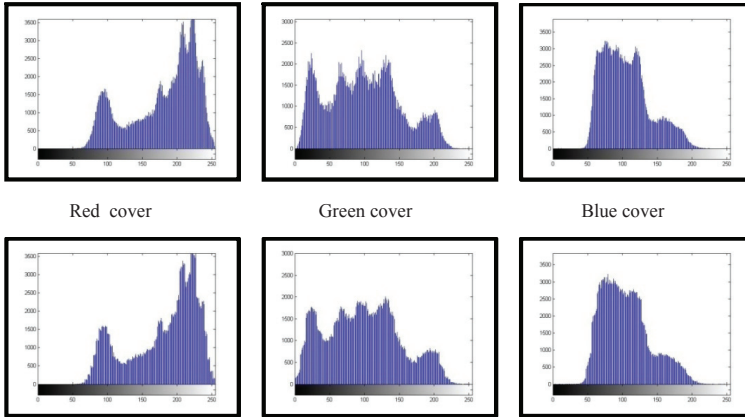


Lena

Peppers

Baboon

الشكل 5. الصور الثلاث بعد عملية الإخفاء.



Red cover

Green cover

Blue cover

Red stego

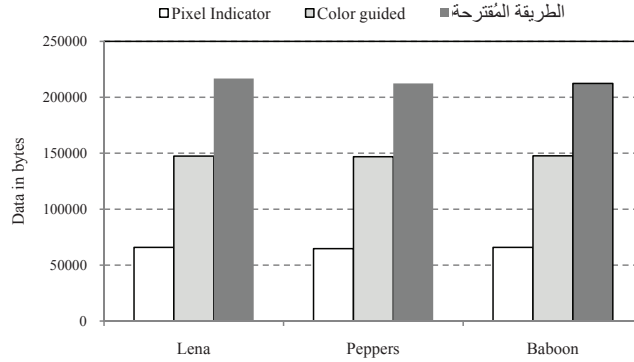
Green stego

Blue stego

الشكل 6. مقارنة المنحنى التكراري لكل قناة لونية قبل وبعد عملية الإخفاء.

كما ذكرنا سابقاً تعتمد الطريقة المُقترحة في هذا البحث بشكلٍ أساسي على طريقتين مختلفتين من طرق إخفاء البيانات لزيادة كمية البيانات المخفية وكذلك لإرباك المهاجم. ولدراسة أداء تلك الطريقة المُقترحة قمنا بحساب SNR و PSNR لكل من الصور الثلاثة بعد عملية إخفاء البيانات. وكانت النتائج أكبر من 30 ديسبل وهي قيمة أعلى مما يمكن للعين البشرية أن تلاحظه من تشوه للصورة. وبهذا لا يستطيع الإنسان التمييز بين الصورة قبل عملية الإخفاء وبعدها. ويوضح الشكل (5) الصور الناتجة بعد عملية إخفاء البيانات. كما يوضح الشكل (6) مقارنة بين المنحنى التكراري (histogram) لقنوات الألوان الثلاثة لصورة الفتاة لينا قبل عملية الإخفاء وبعدها. ومن الملاحظ أن الفرق بين المنحنيين قليل جداً بشكلٍ لا يمكن للمهاجم إدراكه بسهولة.

وفي تجربة أخرى قمنا بمقارنة أداء الطريقة المُقترحة مع طريقتين سابقتين وهما المذكورتان في [11] و [13]. حيث قمنا بمقارنة كمية البيانات التي يمكن إخفاؤها بكل طريقة. ويبين الشكل (7) نتائج تلك التجربة، ومن الملاحظ أن الطريقة المُقترحة لها قدرة على إخفاء بيانات أكثر بحوالي 1.47 مرة من الطريقة [11] وبحوالي 3.29 مرة أكثر من الطريقة [13]. كما أن متوسط PSNR للطريقة المُقترحة لا يزال أعلى من 35 ديسبل (وهذه قيمة يصعب عندها التفريق بين الصورة قبل عملية الإخفاء وبعدها).



الشكل 7. مقارنة سعة التخزين في ثلاث طرق مختلفة.

6 الخاتمة

يُعدُّ عدم الوضوح والسعة والأمن من المعايير المهمة لعملية الاستeganography. في هذا البحث تم اقتراح طريقة جديدة لتضمين البيانات السرية في الصور الملونة تعتمد على مزج ثلاث طرق بسيطة لزيادة فعاليتها وقدرتها على معالجة الصور الملونة. وتم بناء نظام باستخدام برنامج الماتلاب لتحديد مدى فعالية الطريقة المُقترحة ومقارنته مع طرق أخرى سابقة. وقد بينت نتائج

التجارب أن الطريقة المقترحة لها قدرة على إخفاء بيانات أكثر بحوالي 1.47 مرة من الطريقة [11] وبحوالي 3.29 مرة أكثر من الطريقة [13]. كما أن متوسط نسبة الذروة للإشارة إلى الضوضاء للطريقة المقترحة لا يزال أعلى من 35 ديسبل وهي قيمة يصعب عندها التمييز بين الصورة الأصلية والصورة المتضمنة للبيانات السرية.

7 شكر وتقدير

يتوجه الباحثان بالشكر والعرفان لجامعة الملك فهد للبترول والمعادن بالمملكة العربية السعودية ومؤسسة حضرموت للتنمية البشرية باليمن لما قدمتهما من دعم للباحثين أثناء القيام بهذا البحث.

المراجع

- [1] F. A. P. Petitcolas, R. J. Anderson, and M. G. Kuhn, "Information Hiding: A Survey," In Proc. of the IEEE (special issue), vol. 87, pp. 1062-1078, 1999.
- [2] K. Rabah, "Steganography: The Art of Hiding Data. Information," Tech. J., vol. 3, pp. 245-269, 2004.
- [3] A. Cheddad, J. Condell, K. Curran, and P. Mc Kevitt, "Digital Image Steganography: Survey and Analysis of Current Methods," *Signal Processing*, vol. 90, pp. 727-752, 2010.
- [4] R.-Z. Wang, C.-F. Lin, and J.-C. Lin, "Image Hiding by Optimal LSB Substitution and Genetic Algorithm," *Pattern Recognition*, vol. 34, pp. 671-683, 2001.
- [5] C. K. Chan and L. M. Cheng, "Hiding Data in Images by Simple LSB Substitution," *Pattern Recognition*, vol. 37, pp. 469-474, 2004.
- [6] C. C. Chang, J. Y. Hsiao, and C. S. Chan, "Finding Optimal Least-Significant-Bit Substitution in Image Hiding by Dynamic Programming Strategy," *Pattern Recognition*, vol. 36, pp. 1583-1595, 2003.
- [7] A. D. Ker, "Improved Detection of LSB Steganography in Grayscale Images," *Lecture Notes on Computer Science*, vol. 3200/2005, pp. 583-592, 2005.
- [8] D.-C. Wu and W.-H. Tsai, "A Steganographic Method for Images by Pixel-Value Differencing," *Pattern Recognition Letters*, vol. 24, pp. 1613-1626, 2003.
- [9] H.-C. Wu, C.-S. Tsai, and M.-S. Hwang, "Image Steganographic Scheme Based on Pixel-Value Differencing and LSB Replacement Methods," In IEE Proceedings Vision, Image and Signal Processing, vol. 152, pp. 611-615, 2005.
- [10] C.-H. Yang, S.-J. Wang, and C.-Y. Weng, "Analyses of Pixel-Value-Differencing Schemes with LSB Replacement in Steganography," In Proc. of the 3rd Int. Conf. on Intelligent Information Hiding and Multimedia Signal Processing, vol. 1, pp. 445-448, 2007.
- [11] A. Gutub, A. Mahmoud, A. Muhammad, S. Abdulrahman, and A. Aleem, "Pixel Indicator High Capacity Technique for RGB Image Based Steganography," In International Workshop on Signal Processing and its Applications, 2008.
- [12] M. Parvez and A. Gutub, "RGB Intensity Based Variable-Bits Image Steganography," In Proc. of IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference, APSCC'08, 2008.
- [13] R. Amirtharajan, S. K. Behera, M. A. Swarup, M. Ashfaaq, and J. B. B. Rayappan, "Colour Guided Colour Image Steganography," *Universal Journal of Computer Science and Engineering Technology*, vol. 1, pp. 16-23, 2010.
- [14] R. Amirtharajan, D. Adharsh, V. Vignesh, and R. J. B. Balaguru, "PVD Blend with Pixel Indicator-OPAP Composite for High Fidelity Steganography,"

- [15] *International Journal of Computer Applications*, vol. 9, 2010.
M. Padmaa and Y. Venkataramani, "Zig-Zag PVD: A Nontraditional Approach," *International Journal of Computer Applications*, pp. 5-10, 2010.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: A More Effective Steganographic Approach for Color Images by Combining Simple Methods

Abstract. Data transmission in open access environments, such the Internet, has raised several security issues. Steganography has been one of the effective methodologies for concealing the existence of secret data by hiding it in a cover medium or carrier. Although several steganographic approaches have been proposed in the literature, this area is still active in research. In this paper, we aim at increasing the hiding capacity in color images without visible degradation of the quality of the cover images. We propose and evaluate a novel steganographic approach that integrates the idea of pixel indicator with variations of two common steganographic schemes, namely least-significant bit (LSB) and pixel-value differencing (PVD).

Keywords: Information Security, Steganography, Encryption, Steganalysis, Color Images.

المصطلحات

مضادة للتحليل الاستيجانوجرافي	Anti-Steganalysis
سعة	Capacity
قناة	Channel
صور ملونة	Color Images
الكتابة المغطاة	Covered Writitng
بيانات	Data
حواف، مناطق حدودية	Edges
تضمين	Embedding
تشفير	Encryption
عدد زوجي	Even Number
صور ذات تدرج رمادي	Grayscale Images
منحنى تكراري، مدرج تكراري	Histogram
أمن المعلومات	Information Security
البت ذات الرتبة الأقل	Least-Significant Bit
الخطأ التربيعي المتوسط، متوسط مربع الخطأ	Mean Square Error
عدد فردي	Odd Number
نسبة الذروة للإشارة إلى الضوضاء	Peak Singal-Noise-Ratio (PSNR)

بكسل (عنصر صورة)	Pixel
الفرق بين البكسلات	Pixel Value Differencing (PVD)
جودة	Quality
استبدال	Replacement
اللون الأحمر والأخضر والأزرق	RGB
الكتابة السرية	Secret Writitng
المفتاح المشترك	Shared Key
نسبة الإشارة إلى الضوضاء	Singal-Noise-Ratio (SNR)
التحليل الاستيجانوجرافي	Steganalysis
الاستيجانوجرافي	Steganograpgy
عتبة	Threshold

اختيار السمات في مصادقة التوافيق الديناميكية

٥٨١

إيمان العطاس¹، سهام مسحول²

جامعة الملك سعود، كلية علوم الحاسب والمعلومات

ص.ب. 22452، الرمز البريدي 11495، الرياض، المملكة العربية السعودية

البريد الإلكتروني: ¹smeshoul@ksu.edu.sa, ²ealattas@ksu.edu.sa

الخلاصة. نقوم في هذا البحث بمعالجة مشكلة تحديد مجموعة السمات المناسبة التي تساعد على استخدام التوافيق في مصادقة الهوية بطريقة صحيحة. هناك مجموعة كبيرة من السمات التي يمكن الحصول عليها إما مباشرة من الإشارة الأصلية أو تشتق منها. وإذا أخذنا بعين الاعتبار كامل المجموعة فإن عملية مصادقة التوافيق تكون مستهلكة للوقت. وعلاوة على ذلك، ليس كل السمات ذات علاقة بهذه العملية، وبعضها يشكل فائضاً. وبالتالي فإن تقليص مجموعة السمات بهدف الحفاظ على السمات ذات العلاقة وغير الفائضة فقط هو شرط أساسي لتحقيق مستوى أفضل من الدقة. هذه المشكلة هي مسألة توافقية في طبيعتها وتتطلب إيجاد الحل الأمثل لها. في هذا العمل، تم استخدام استراتيجية تحسين سرب الجسيمات كمية الحركة (كيو بي اس او) لتنفيذ اختيار السمات، حيث تم تمثيل كل مجموعة ممكنة بالقيم الثنائية. كما تم اختبار النظام المقترح من خلال عدة تجارب، باستعمال قاعدة بيانات التوافيق الديناميكية اس في سي 2004 و تم الحصول على نتائج مذهلة. إن عدد السمات المميزة المستخلصة بواسطة هذا البحث يساوي 51 سمة من أصل 110 تم استعمالها في الحل المقترح. النظام المقترح يعطي مقياس معدل الخطأ المتساوي (اي اي ار) بمقدار 0.19 % ، مما يثبت فعالية النظام المقترح و يجعله منافساً لغيره من الأنظمة الموجودة.

الكلمات الجوهرية: مصادقة التوافيق الديناميكية، تحسين سرب الجسيمات كمية الحركة (كيو بي اس او)، اختيار السمات، اي اي ار.

1 مقدمة

إن التقدم السريع في مجال الاتصالات والشبكات والتنقل قد أثار حاجة ملحة لزيادة تحسين قدرات نظم التوثيق الشخصية للأغراض الأمنية [1]. والمصادقة قد تكون إما عن طريق وسائل المصادقة التقليدية مثل كلمات السر، البطاقات الذكية، رقم التعريف الشخصي الخ أو باستخدام الأساليب التي تعتمد على الخصائص الشخصية وهو ما يسمى بالقياسات الحيوية [2]. ما يميز القياسات الحيوية أنها فريدة من نوعها لكل شخص، فهي صعبة النسخ، السرقة، الضياع، النسيان و التزوير نسبياً [3]. ولذلك، فهي أكثر موثوقية من غيرها. إن عملية المصادقة بشكل عام تشمل مهمتين رئيسيتين وهي: التحقق من الهوية وتحديد الهوية. عملية التحقق من الهوية تأخذ التوقيع و الهوية المزعومة و النتيجة تكون إما قبول أو رفض الهوية. بينما عملية تحديد الهوية تأخذ التوقيع و تحدد من هو

صاحب التوقيع [4]. تستخدم التواقيع على نطاق واسع كأداة تحديد الهوية الشخصية، وتلقى قبولاً اجتماعياً وقانونياً واسعاً في العديد من المنظمات الإدارية والمالية في جميع أنحاء العالم. كما تتميز التواقيع بسهولة الاستخدام، وأنه يمكن استعمالها في أي مكان وهي أيضاً غير قابلة للسرقة إلى حد ما. كما أن عموم الناس بمختلف الأعمار ومختلف المستويات التعليمية والتنظيمية اعتادوا على استخدام التواقيع في حياتهم اليومية [1،5]. وقد ظهر في الآونة الأخيرة أجهزة الكمبيوتر الحديثة وأجهزة المساعد الرقمي الشخصي (بي دي ايه) وغيرها من الأجهزة التي تكون قادرة على التقاط التواقيع الديناميكية مما جعل التواقيع أكثر استخداماً من القياسات الحيوية الأخرى التي تحتاج إلى أجهزة متطورة ومكلفة [3]. المصادقة باستخدام التواقيع تكون بطريقتين مختلفتين إما بشكل غير فوري (وتسمى أيضاً الثابتة) أو بشكل فوري (وتسمى أيضاً الديناميكية). التواقيع الغير فورية تتعامل مع التوقيع كصورة وتعالج الخصائص الشكلية للصورة [1،6]. هذه الخصائص تشمل الإحداثيات السينية و الصادية، اتجاه الرسم البياني، نسبة الطول إلى العرض، الإنحناء، بالإضافة إلى خصائص أخرى [7]. في المقابل، التواقيع الديناميكية تعالج ديناميكية التوقيع بشكل فوري. بمعنى أنها تستخدم الوقت عند التقاط التوقيع وبهذا فإن التواقيع الديناميكية أكثر موثوقية لاحتوائها على معلومات أشمل عن ديناميكية التوقيع و خصائصه [1،6].

يتم تعريف التواقيع الديناميكية كمجموعة من النقاط. كما يمكن الحصول على مجموعة واسعة من السمات التي قد تلتقط أو تشتق من الإشارة الأصلية. ويمكن تصنيف السمات على النحو التالي : العالمية، الإقليمية، المحلية أو الهجينة. السمات العالمية - كما يتضح من اسمها - تمثل خصائص التوقيع كوحدة كاملة مثل المدة الزمنية الإجمالية للتوقيع. أما السمات الإقليمية تصف خصائص منطقة معينة في التوقيع. بينما السمات المحلية ترتبط بخصائص كل نقطة في التوقيع. مثل الإحداثي السيني و الصادي، الضغط، زاوية البعد عن المحور السيني، زاوية ارتفاع القلم بالإضافة إلى سمات أخرى عديدة. وأخيراً السمات الهجينة تشمل نوعين أو أكثر من الأنواع السابقة [1،2]. إن استخدام جميع السمات الممكنة في المصادقة عملية مضيعة للوقت وليس بالضرورة أن تؤدي إلى تصنيف دقيق. فليس كل السمات ذات علاقة بهذه العملية، وبعضها يشكل فائضاً. لذلك يتطلب تحديد مجموعة جزئية من السمات التي تساعد على التعرف أو التحقق من التوقيع بطريقة دقيقة. تعرف هذه المشكلة بمشكلة اختيار السمات. تقليل عدد السمات يساعد على عمل تصنيف الأنماط بطريقة أسرع وأقل تكلفة. والهدف الأساسي هو العثور على أصغر مجموعة و التي تؤدي إلى أفضل تصنيف. فإذا كان هناك n من السمات، فإنه يوجد 2^n مجموعات جزئية مختلفة من السمات تحتاج إلى التحقق فيها. مشكلة اختيار السمات هي مسألة توافقية في طبيعتها و البحث الشامل عن السمات المميزة غير ممكن خصوصاً عندما يصبح عدد السمات كبيراً. وقد اقترحت مجموعة واسعة من الطرق في الأدب للتعامل مع اختيار السمات. هذه الطرق يمكن تصنيفها إلى ثلاث فئات وهي طريقة الإلتفاف، طريقة الترشيح والطريقة الهجينة [8].

جالبالي ومن معه [9] استخدموا 100 سمة عالمية وتم استكشاف أفضل 60 سمة باستخدام الخوارزميات الجينية. معدل الخطأ المتساوي (اي إي ار) لهذا البحث يساوي 3,31 ٪ بالنسبة للتزوير المتقن. بينما ريتشارد و من معه [10] استخدموا 46 سمة عالمية و 39 سمة محلية. و للبحث عن أفضل السمات تم استخدام البحث العائم و نسبة فيشر المعدلة. أما لي و جوفندارو [11] بحثوا عن السمات المتناسقة من بين 22 سمة وذلك باستخدام التواء الزمن الديناميكي (دي تي ديبيلو) والمسافة الإقليدية. لي ومن معه [12] استخدموا قائمة بها 42 سمة. ولكن هذه السمات

حساسية للتغيرات في توقع الشخص نفسه من وقت لآخر، لذلك تم اقتراح مجموعة أخرى تحتوي على 49 سمة مطبوعة. وقد استخدمت العديد من المصنفات لاختبار السمات. معدل الخطأ المتساوي (إي إي ار) لهذا البحث يساوي 2,5٪.

في هذا البحث، تم تصميم إطار بالاعتماد على استراتيجية تحسين سرب الجسيمات كمية الحركة (كيو بي اس او) [13]. (كيو بي اس او) صممت في الأصل في [14] كنتيجة لدمج مبادئ الحوسبة الكمية مع استراتيجية تحسين سرب الجسيمات الأصلية (بي اس او). كما أن (دي كيو بي اس او) هو تطبيق لطريقة (كيو بي اس او) ولكن على المشاكل المنفصلة [15]. الميزة الرئيسية للإطار المقترح هي استخدام (دي كيو بي اس او) مع المصنف. يستخدم الأول لتوليد مجموعات جزئية من السمات ديناميكياً على أساس السلوك الكمي لسرب الجسيمات. و يستخدم الآخر لتقييم كل مجموعة فرعية ولدت من السمات.

بقية البحث منظم على النحو التالي: الفقرة 2 تقدم لمحة عامة عن (بي اس او) و (كيو بي اس او). الفقرة 3 تصف الإطار المقترح. و الفقرة 4 توضح النتائج والمناقشات. وأخيراً يتم اختتام هذا البحث.

2 تحسين سرب الجسيمات (بي اس او) و تحسين سرب الجسيمات كمية الحركة (كيو بي اس او)

2.1 تحسين سرب الجسيمات (بي اس او)

طور كينيدي و إبيرهارت [16] استراتيجية تحسين سرب الجسيمات (بي اس او) المستوحى من عملية التحسين الطبيعية العالمية المستمرة فهو مأخوذ من السلوك الاجتماعي لجماعات الطيور والأسماك. من الممكن اعتبار (بي اس او) هو محاولة لتشكيل السلوك الجماعي للسرب حيث أن كل فرد داخل المجموعة يساهم بخبرته بطريقة تجعل السرب أقوى لمواجهة المخاطر أو عند البحث عن الغذاء. يشبه (بي اس او) الخوارزميات الجينية في أنه يتعامل مع عينة و التي تساعد على استكشاف فضاء البحث الواسع. وهو قائم على أساس استخدام مجموعة من الأفراد تسمى جسيمات بحيث أن كل جسيم يعرف بواسطة موقعه وسرعته. عادةً يمثل الموقع حلاً ممكناً لمشكلة التحسين و يتم تشفيره كمتجه من الخصائص. كما تستخدم السرعة لمراقبة التغيير في الموقع خلال عملية البحث. مواقع و سرعات جميع الجسيمات تتحدث خلال عملية دورية باستخدام معادلات خاصة [17] و التي تأخذ في الاعتبار الأداء الأفضل لكل جسيم وأفضل أداء في السرب. من الجدير بالذكر أنه تم تنفيذ (بي اس او) بنجاح على مجموعة واسعة من التطبيقات كما أدخلت عدة تحسينات على (بي اس او) الأصلي [18].

2.2 تحسين سرب الجسيمات كمية الحركة (كيو بي اس او)

في استراتيجية (بي اس او) الأصلية، تم استخدام قوانين نيوتن الميكانيكية الكلاسيكية لتحديث مواقع وسرعات الجسيمات. ولكن قام مؤخراً سن و من معه [14] باقتراح حركة تستخدم الميكانيكة الكمية. باستخدام بعض مبادئ الحركة الكمية مع (بي اس او)، ظهر ما يسمى تحسين سرب الجسيمات كمية الحركة (كيو بي اس او) والذي يستعمل الموقع فقط بدلاً من الموقع و السرعة مثل (بي اس او). الفكرة الرئيسية هي افتراض أن الجسيمات تقع في حقل الاحتمال و احتمالية أن يكون جسيم في موقع معين تحدد باستخدام دالة الكثافة الإحتمالية للدالة الموجية. يتم تحديث الموقع في (كيو بي اس او) وفقاً للمعادلات التالية :

If $k \geq 0.5$ then

$$x_{id}(t+1) = p_{id} + \beta |Mbest - x_{id}(t)| \ln(1/u)$$

Else

$$x_{id}(t+1) = p_{id} - \beta |Mbest - x_{id}(t)| \ln(1/u)$$

(1)

حيث أن:

k و u أرقام عشوائية في الفترة $[1 \dots 0]$

x_{id} يمثل الخاصية d^{th} لمتجه الموقع للجسيم i

β هي خاصية الانضباط الوحيدة المستخدمة في (كيو بي اس او) وتسمى معامل التوسيع و الانكماش

p_{id} يمثل إحداثي النقطة المحلية p_i التي تقترب منها الجسيمات (الجذب المحلي). ويعطى من المعادلة التالية :

$$p_i = \phi_1 pbest_i + (1 - \phi_1) gbest \quad (2)$$

حيث أن:

ϕ_1 هو رقم عشوائي يقع في الفترة $[1 \dots 0]$

$pbest_i$ هو أفضل موقع للجسيم i

$gbest$ هو أفضل موقع في السرب

$Mbest$ هو متوسط أفضل المواقع ويعبر عنه بالمعادلة التالية حيث M و D تمثل حجم سرب و بعد متجه الجسيمات على التوالي.

$$Mbest = 1/M \sum_{i=1}^M pbest_i = \left(1/M \sum_{i=1}^M pbest_{i1}, 1/M \sum_{i=1}^M pbest_{i2}, \dots, 1/M \sum_{i=1}^M pbest_{id} \right) \quad (3)$$

تم تطبيق (كيو بي اس او) على العديد من مشاكل التحسين المتصل [19,20,21]. و للتعامل مع المشاكل المنفصلة - حيث أن الخصائص في متجة الموقع تكون قيم ثنائية - هناك بعض الإكاملات المقترحة [13,15]. في هذا العمل نستعمل الطريقة المستخدمة في [13] و التي تجمع (دي كيو بي اس او) مع خوارزمية تقدير التوزيع (إي دي ايه). تهدف (إي دي ايه) إلى تقدير وجود الحل الجيدة في فضاء البحث و ذلك باستخدام النماذج الاحتمالية. لمزيد من التفاصيل حول (إي دي ايه) انظر [22]. من أجل تحديد الحل الواعدة في فضاء البحث، لابد من تحديد متجه الاحتمالات $P = [p_1, p_2, \dots, p_d, \dots, p_D]$ حيث كل p_d يمثل احتمال ما إذا كان العنصر d^{th} في متجه الموقع حلاً جيداً. (دي كيو بي اس او) يتبع نفس أسلوب (بي اس او) الأصلي مع تحديث لبعض العناصر و هي موقع الجسيمات، الجذب المحلي P_i و متوسط أفضل المواقع ($Mbest$). وبالرجوع ل[13]، فإنه يتم تحديث المواقع باستخدام (دي كيو بي اس او) مع (إي دي ايه) وفقاً للقاعدة التالية التي تعبر عن الموازنة بين تكثيف وتنويع عملية البحث و التي تعتمد على خاصية معدل الدمج (سي ار). موقع الجسيم الجديد يتم الحصول عليه إما باستخدام الجذب المحلي و متوسط أفضل المواقع أو (إي دي ايه) كما هو موضح في المعادلة التالية :

$$x_{id}(t+1) = \begin{cases} p_{id} + (R_d(F) \otimes (mbest_d + x_{id}(t))) & \text{if } rand() < CR \\ EDA(p_d) & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

حيث $rand()$ يشير إلى قيمة عشوائية مختارة ضمن نطاق [0..1]. يتم الحصول على عناصر الجذب المحلي p_{id} باستخدام الدمج الثنائي بين أفضل أداء ذاتي ($pbest_{id}$) و أفضل أداء عالمي ($gbest_{id}$). العمليات "+" و $\otimes$ تشير إلى عمليات الخيار الإثنائي و العطف على مستوى البت.

$$DA(p_d) = \begin{cases} 1 & \text{if } rand() < p_d \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

$$R_d(F) = \begin{cases} 1 & \text{if } rand() < F \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (6)$$

$$F = \text{Min}(\beta \ln(1/u), 1) \quad (7)$$

متوسط أفضل المواقع يتم تحديثه وفقاً للقانون التالي :

$$mbest_d = \begin{cases} 1 & \text{if } rand() < p_d \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

يعطى متجه الاحتمالات P -الذي يتحكم في (إي دي ايه)- قيمة أولية مساوية لمتوسط أفضل المواقع المحلية، فكل عنصر p_d يتم حسابه باستخدام المعادلة التالية:

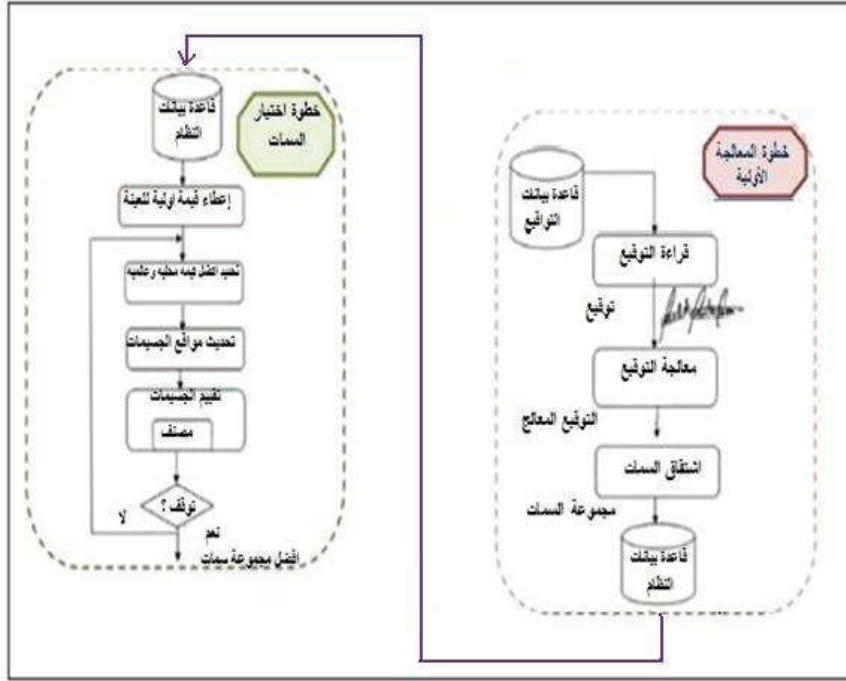
$$p_d = \sum_{i=1}^N pbest_{id} / N \quad (9)$$

وفي كل دورة، يتم تحديث متجه الاحتمالات باستخدام معدل التعليم α الذي يؤثر على اختيار منطقة البحث لاستكشافها. ويتم ذلك وفقاً للمعادلة التالية :

$$p_d = (1 - \alpha)p_d + \alpha \sum_{i=1}^N pbest_{id} / N \quad (10)$$

3 الإطار المقترح لاختيار السمات باستخدام (دي كيو بي اس او)

يتكون الإطار المقترح لمصادقة التوافيق الديناميكية من مرحلتين: المرحلة الأولى مخصصة للمعالجة الأولية للتوافيق، والمرحلة الثانية لاختيار السمات. يوضح الشكل 1 العملية بأكملها.



الشكل 1. مراحل الإطار المقترح لاختيار السمات

3.1 المعالجة الأولية للتوافيق

المعالجة الأولية للتوافيق تهدف لتجهيز البيانات المطلوبة لمرحلة اختيار السمات و هذه البيانات تكون عبارة عن التوافيق و السمات المحتملة لكل توافيق. تشمل المعالجة قراءة التوافيق من أحد قواعد بيانات التوافيق الديناميكية مثل قاعدة بيانات اس في سي 2004 ، تطبيع البيانات، أخذ العينات واشتقاق السمات. الغرض من عملية تطبيع السمات أن تصبح التوافيق ثابتة أمام التغيير في الإزاحة و الدوران و الحجم. الثبات في الإزاحة [6،7] يطبق بطرح متوسط قيم الإحداثيات س و ص لجميع توافيق الشخص الواحد i^{th} من التوافيق (x_j^i, y_j^i)

$$x_j^i = x_j^i - 1/M \sum_{m=1}^M x_j^i (m) \quad (11)$$

$$y_j^i = y_j^i - \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M y_j^i(m) \quad (12)$$

$x_j^i(m), y_j^i(m)$ تمثل عينة m^{th} من المسار الأفقي و المسار العمودي للتوقيع j^{th} للشخص i^{th} .

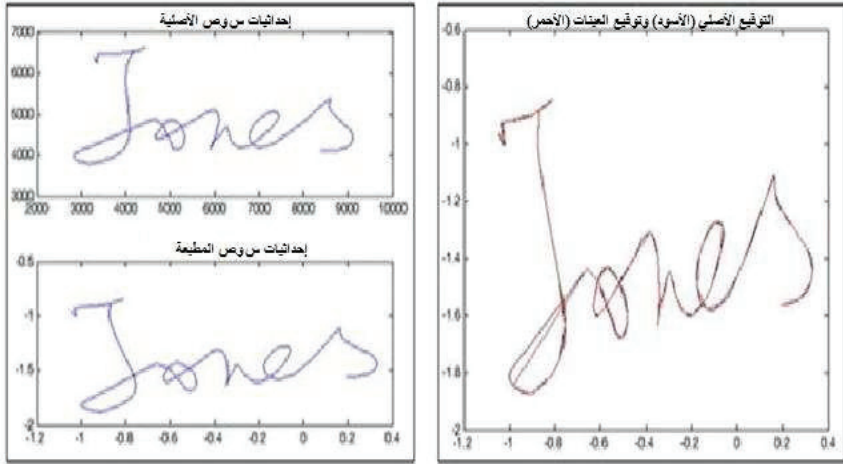
ثبات الحجم كما هو مقترح [6,7] يهدف إلى ضبط حجم التواقيع للشخص وذلك يتم باستخدام المعادلات التالية:

$$Ratio_j^i = \max(x_j^i) / \max(y_j^i) \quad (13)$$

$$y_j^i = y_j^i - \min(y_j^i) / \max(y_j^i) - \min(y_j^i) \quad (14)$$

$$x_j^i = (x_j^i - \min(x_j^i) / \max(x_j^i) - \min(x_j^i)) * Ratio_j^i \quad (15)$$

ثبات الدوران يتم عن طريق ملائمة معدل مسار زاوية الظل لتواقيع الشخص الواحد كما هو موضح في [23]. أخذ العينات يستخدم لتقليل حجم التواقيع من حيث عدد النقاط مع الاحتفاظ بالنقاط الحرجة في التوقيع. الشكل 2 يوضح نتيجة التطبيع ونتيجة أخذ العينات للتوقيع. بعد انتهاء المعالجة الأولية لكل التواقيع، يتم اشتقاق السمات المحلية والعالمية والتي ستدخل بعد ذلك في مرحلة اختيار السمات لاختيار الأفضل من بينها. تم اشتقاق 20 سمة محلية و 90 سمة عالمية موضحة في جدول 1 و جدول 2 على التوالي.



الشكل 2. أخذ العينات و تطبيع التوقيع

3.2 اختيار السمات

اختيار السمات يعمل على مجموعة السمات المشتقة في المرحلة الأولى، لتحديد مجموعة جزئية من السمات والتي تسمح بالتمييز بين تواقع المستخدمين مما يعطي تصنيف دقيق في كل من عملية التعرف على الهوية و التحقق منها. إن تطبيق مبادئ (دي كيو بي اس او) يتطلب تكيف عملية تمثيل مواقع الجسيمات ودالة اللياقة. في هذا العمل، يمثل موقع الجسيم مجموعة جزئية من السمات و التي تشكل حلاً ممكناً. يمثل كل جسيم كمتجة ثنائي القيم حجمه هو العدد الكلي للسمات المدخلة. ظهور 1 في مكان السمة يعني أن هذا السمة تم اختيارها و ظهور 0 يعني أن هذه السمة لم يتم اختيارها.

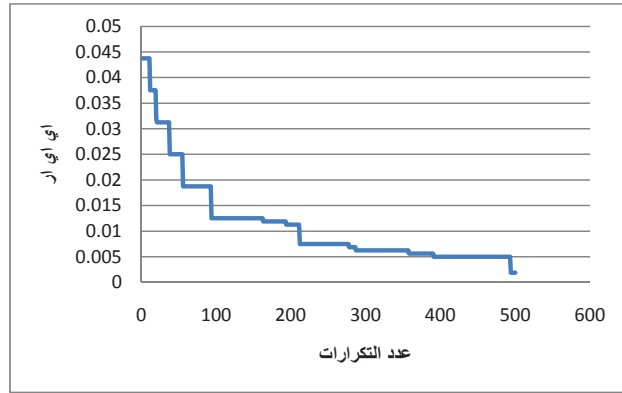
دالة اللياقة تقيس مدى دقة الحل الممثل بجسيم معين. يستخدم مقياس معدل الخطأ المتساوي (اي اي ار) كدالة اللياقة للجسيمات. (اي اي ار) هو النقطة التي يتساوى تقريباً فيها معدل القبول الخاطئ (اف اي ار) و معدل الرفض الخاطئ (اف ار ار) و كلما قلت قيمة (اي اي ار) كان ذلك أفضل. تقييم كل جسيم يتم باستخدام المصنف المقترح في [24] و الذي يستخدم تحليل التمايز الخطي (ال دي ايه) بالإضافة إلى الشبكات العصبية الإحتمالية (بي ان ان). و بالتالي فإن (ال دي ايه- بي ان ان) يعمل كمصنف و يستعمل في مرحلة اختيار السمات كما هو موضح في الشكل 1. دالة التقييم تقوم بتدريب المصنف ثم بعد ذلك يتم اختبار البيانات و تسجيل قيمة (اي اي ار). و لهذا الغرض، تم تقسيم التواقع في قاعدة البيانات إلى مجموعتين مجموعة التدريب و مجموعة الاختبار. اختيار السمات في هذا النظام يتبع طريقة الإلتفاف حيث أنه يختار مجموعة سمات و يقيّمها باستخدام المصنف ثم يعطي تغذية راجعة لتعديل السمات المختارة.

كما هو موضح في الشكل 1، تبدأ مرحلة اختيار السمات بتوليد عينة عشوائية من الجسيمات و التي تشكل السرب أي أن متجهات المواقع ذات بعد D مساوي للعدد الكلي للسمات. و أيضاً يتم إنشاء متجه الاحتمالات له بعد D و يعطى قيمة أولية باستخدام المعادلة (9). و بعد ذلك يخضع السرب لعملية متكررة يتم خلالها تحديث مواقع الجسيمات حسب المعادلة (4) المذكورة أعلاه. ثم يتم تقييم المواقع الجديدة باستخدام مصنف (ال دي ايه - بي ان ان). بعد عملية التقييم، يتم تحديث أفضل قيمة محلية و أفضل قيمة عالمية. كما يتم تحديث الجذب المحلي باستخدام عملية الدمج الثنائي المنتظم و متجه الاحتمالات باستخدام المعادلة (10). يعطى متوسط أفضل المواقع قيمة باستخدام المعادلة (8). تستمر العملية بهذه الطريقة حتى تحقق شرط التوقف (الوصول لأقصى عدد من التكرارات).

4 النتائج ومناقشتها

قد أجريت تجارب عديدة لتحديد أفضل مجموعة تقريبية من السمات و التي تعطي أقل قيمة لمقياس (اي اي ار). المجموعة الأولى من التجارب الأولية كانت بغرض إيجاد أفضل قيم للمعاملات المختلفة و كانت أفضل قيم كالتالي: معدل التعليم $\alpha = 0.7$ ، معامل التوسيع و الانكماش $\beta = 0.2$ ، معدل الدمج (سي ار) $= 0.1$ ، حجم العينة $N = 20$ و عدد التكرارات $= 500$. باستخدام هذه

المعلومات تم الحصول على أفضل قيمة لمقياس (اي اي ار) وهي 0.19%. أفضل مجموعة من السمات تم الحصول عليها تتكون من 51 سمة، منها 3 سمات محلية وال 48 سمة المتبقية عالمية. يظهر في الشكل 3 أداء النظام المقترح خلال 500 تكرار. جدول 1 و جدول 2 يحتوي على قائمة السمات المحلية و العالمية على التوالي مع تمييز أفضل السمات. عند تحليل مجموعة السمات المختارة، وجد منها 21 سمة ذات علاقة بالسرعة والتسارع، 13 سمة ذات علاقة بالوقت، 11 سمة ذات علاقة بالمقاييس الهندسية، 5 سمات ذات علاقة بالضغط، سمة واحدة ذات علاقة بالإتجاه، سمة واحدة ذات علاقة بزاوية البعد عن المحور السيني والسمة المتبقية ذات علاقة بزاوية ارتفاع القلم. يتضح من ذلك أن السمات ذات العلاقة بالسرعة والتسارع تلعب دوراً هاماً في مصادقة التوقع.



الشكل 3. أداء النظام خلال 500 تكرار

جدول 1. قائمة السمات المحلية المستخدمة مع تمييز أفضل السمات

1	NormX	11	Speed Y: Vy
2	NormY	12	SpeedV
3	NormAzimuth	13	Acceleration X: Ax
4	NormAltitude	14	Acceleration Y: Ay
5	NormPressure	15	Acceleration A
6	Distance to center of gravity	16	Angle: sin(α)
7	ΔX	17	Angle: cos(α)
8	ΔY	18	Jerk X: Jx
9	ΔP	19	Jerk Y: Jy
10	Speed X: Vx	20	Jerk J

جدول 2. قائمة السمات العالمية المستخدمة مع تمييز أفضل السمات

1	Average writing speed	31	Final X - Maximum X	61	$T(v_y > 0) / T_o$
2	Maximum writing speed	32	Final X - Minimum X	62	average left f
3	Time of maximum speed	33	(Max X - Min X)/(Max Y - Min Y)	63	$\bar{J}_{min}$
4	Total signing duration T_s	34	Standard deviation of X	64	(average velocity $\bar{v}$)/ $v_{s,max}$
5	Total pen down duration	35	Standard deviation of Y	65	$\bar{v} / v_{s,max}$
6	Minimum horizontal writing speed	36	standard deviation of A_x	66	$(T_o \bar{v}) / (x_{max} - x_{min})$
7	Time of min. horizontal writing speed	37	standard deviation of A_y	67	$(T_o \bar{v}) / (y_{max} - y_{min})$
8	Total dots recorded	38	standard deviation of V_x	68	$\frac{A_{min} = (y_{max} - y_{min})(x_{max} - x_{min})}{\sum_{i=1}^{pen-downs} (x_{max} - x_{min})}$
9	Average dot execution time	39	standard deviation of V_y	69	$(\Delta x = \sum_{i=1}^{pen-downs} (x_{max} - x_{min}) i) \Delta y$
10	Number of pen ups	40	(pen-down duration T_{pd})/ T_s	70	$T((dy/dt)/(dx/dt)>0) / T((dy/dt)/(dx/dt)<0)$
11	Time of 2nd pen down	41	N(sign changes of dx/dt and dy/dt)	71	$N(v_x \text{ or } v_y < 0) / N(\text{pen} - \text{down})$
12	Duration of $V_x > 0$	42	N(local maxima in X)	72	$(v_{rms}) / v_{max}$
13	Duration of $V_x < 0$	43	N(local maxima in Y)	73	(acceleration A_{max})/ A_{min}
14	Duration of $V_y > 0$	44	$(X_{is \text{ pen-down}} - X_{min})/\Delta x$	74	average acceleration A
15	Duration of $V_y < 0$	45	$(X_{is \text{ pen-down}} - X_{min})/\Delta x$	75	Maximum acceleration A
16	Average positive V_x	46	$(X_{is \text{ pen-up}} - X_{min})/\Delta x$	76	N(sign changes of A_x)
17	Average negative V_x	47	$(X_{is \text{ pen-up}} - X_{max})/\Delta x$	77	N(sign changes of A_y)
18	Average positive V_y	48	$(Y_{is \text{ pen-down}} - Y_{min})/\Delta y$	78	$N(A=0)$
19	Average negative V_y	49	$(Y_{is \text{ pen-down}} - Y_{max})/\Delta y$	79	$N(A \neq 0)$
20	Total $V_x = 0$ events recorded	50	$(Y_{is \text{ pen-up}} - Y_{max})/\Delta y$	80	$N(V_x > 0)$
21	Total $V_y = 0$ events recorded	51	$(X_{is \text{ pen-up}} - X_{max})/\Delta x$	81	Average pressure P
22	Maximum V_x - Average V_x	52	$(X_{is \text{ local max}} - X_{is \text{ pen-down}})/\Delta x$	82	Maximum pressure P
23	Maximum V_y - Average V_y	53	$(Y_{is \text{ local max}} - Y_{is \text{ pen-down}})/\Delta y$	83	t (Maximum pressure P)
24	Maximum V_x - Minimum V_x	54	$(X_{is \text{ local max}} - X_{is \text{ pen-down}})/\Delta x$	84	P_{max}
25	Maximum V_x - Minimum V_y	55	(standard deviation of X)/ Δx	85	standard deviation of pressure P
26	Maximum V_y - Minimum V_y	56	(standard deviation of Y)/ Δy	86	max pressure - min pressure
27	Max. X time / total time of pen down	57	(2nd pen-down)/ T_s	87	average azimuth
28	Min. X time / total time of pen down	58	$\frac{(x_{max} - x_{min})\Delta y}{(y_{max} - y_{min})\Delta x}$	88	average altitude
29	(Max X - Min X) x (Max Y - Min Y)	59	$T(v_y > 0) / T_o$	89	average path tangent angle
30	Initial X - Minimum X	60	$T(v_x < 0) / T_o$	90	path tangent angle- θ_{max}

5 مقارنة مع الأبحاث السابقة

جدول 3 يوضح مقارنة بين النظام المقترح و الأبحاث السابقة. النظام المقترح يعطي (إي إي آر) يساوي 0,19% أي أقل و أفضل قيمة مقارنة بالأبحاث السابقة. وبالرغم أن المقارنة مع أبحاث تستعمل قواعد توافيق ديناميكية مختلفة و بروتوكولات مختلفة غير دقيقة جداً، إلا أن المقارنة مع الطريقة الموضحة في [24] دقيقة جداً حيث أن المصنف و قاعدة البيانات متطابقة في النظامين ولكن الاختلاف فقط في السمات المختارة. وبذلك يكون التحسن بمقدار 97% عن الطريقة الموضحة في [24] و التي تستخدم أربع سمات فقط وهي: زاوية البعد عن المحور السيني، زاوية ارتفاع القلم، الضغط و المسافة إلى مركز الجاذبية.

جدول 3. مقارنة النظام المقترح مع الأبحاث السابقة

البحث	السمات المستخدمة	السمات المختارة	نوع السمات	قاعدة التوافيق الديناميكية	خوارزمية اختيار السمات	النتيجة بمقياس إي إي آر
جالبالي و من معه [9]	100 عالمية	60	عالمية	ام سي واي تي	الخوارزميات الجينية	3.31
ريتشارد و من معه [10]	46 عالمية 39 محلية	24	هجينة	ام سي واي تي	نسبة فيشر	غير متوفر
لبي و من معه [12]	49 عالمية	15	عالمية	قاعدة بيانات خاصة تم جمعها	مصنف الكثرة	2.5
مسحول و بعطوش [24]	4 محلية	2	محلية	اس في سي 2004	تجربة مجموعات مختلفة من 4 السمات و اختيار الأفضل	6.44
النظام المقترح	20 محلية 90 عالمية	51	هجينة	اس في سي 2004	تحسين سرب الجسيمات كمية الحركة المنفصلة (دي كيو بي اس او) مع خوارزمية تقدير التوزيع (إي دي إيه)	0.19

6 الخاتمة والأعمال المستقبلية

في هذه البحث، تم تصميم إطار لاختيار السمات في عملية مصادقة التوافيق الديناميكية. في هذا الإطار كل حل محتمل (مجموعة جزئية من السمات) يمثل كمتجه ثنائي القيم. يتم تحسين الحل خلال الدورات المختلفة باستخدام استراتيجية سرب الجسيمات كمية الحركة المنفصلة (دي كيو بي

اس او) مع خوارزمية تقدير التوزيع (اي دي ايه). كما استخدم مصنف معتمد على الشبكات العصبية الاحتمالية (بي إن إن) لتقييم كل حل محتمل من السمات المختارة. وقد تم تنفيذ الحل المقترح و تقييمه باستخدام قاعدة بيانات التواقيع الديناميكية اس في سي 2004. حققت هذه الخوارزمية بمقياس (اي اي ار) 0,19% مع 51 ميزة مختارة. كعمل مستقبلي، سيكون مثيراً للإهتمام تجربة مصنف آخر مع أفضل مجموعة من السمات التي تم اختيارها. كما يمكن استخدام السمات المختارة في تطبيقات مفيدة جداً.

7 شكر وتقدير

تم تطوير هذا العمل كجزء من مشروع يدعمه مركز التميز لأمن المعلومات في جامعة الملك سعود.

المراجع

- [1] [مبيدوف و بيرلو، 2008]:
D. Impedovo, and G. Pirlo, "Automatic signature verification: the state of the art," IEE Transactions On Systems, Man, and Cybernetics, vol. 38, n.5, pp. 609-635, 2008.
- [2] [فيريز ومن معه، 2005]:
J. Fierrez-Aguilar, L. Nanni, J. Lopez-Penalba, J. Ortega-Garcia, and D. Maltoni, "An on-line signature verification system based on fusion of local and global information," in Proc. Audio- and Video-Based Biometric Person Authentication, Springer Lecture Note in Computer Science, 3546, pp. 523-532, 2005.
- [3] [كالينوفا، 2003]:
D. Kalenova, "Personal authentication using signature recognition," Dept. of Information Technology, Laboratory of Information Processing, Lappeeranta University of Technology, 2003.
- [4] [الشوشان، 2006]:
A. Al-Shoshan, "Handwritten signature verification using image invariants and dynamic features," in Proc. of the International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualization , pp. 173 – 176, 2006.
- [5] [خولماتوف و يانكوفلو، 2009]:
A. Kholmatov, and B. Yanikoglu, "SUSIG: an on-line signature database, associated protocols and benchmark results," Pattern Analysis and Applications, pp. 227-236, 2009.
- [6] [إبراهيم ومن معه، 2007]:
M. Ibrahim, K. Alimgeer, M. Khan, and I. Taj, "Creation and selection of most stable discriminating features for on-line signature verification," IEEE International Conference on Machine Vision, pp. 97-102, 2007.
- [7] [إبراهيم ومن معه، 2009]:
M. Ibrahim, M. Kyan, and L. Guan, "On-line signature verification using global features," Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering, pp. 682-685, 2009.
- [8] [سايس و لاناغا، 2007]:
Y. Saeys, I. Inza, and P. Larrañaga, "A review of feature selection techniques in bioinformatics," In Bioinformatics , vol.23,Oxford University Press, pp. 2507-2517, 2007.

- [9] [جالبالي ومن معه ، 2007] :
J. Galbally, J. Fierrez, M. Freire and J. Ortega-Garcia, "Feature selection based on Genetic Algorithms for on-line signature verification," Proc. IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies, Italy, pp. 198 – 203, 2007.
- [10] [ريتشارد ومن معه ، 2005] :
J. Richiardi, H. Ketabdar and A. Drygajlo, "Local and global feature selection for on-line signature verification," Proce. Eight International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR'05), pp.625-629, 2005.
- [11] [لي و جوفندارو ، 2005] :
H. Lei, and V. Govindaraju, "A comparative study on the consistency of features in on-line signature verification," In Pattern Recognition Letters, 26(15), pp.2483-2489, 2005.
- [12] [لي ومن معه ، 1996] :
L. Lee, T. Berger and E. Aviczer, "Reliable on-line human signature verification systems," IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence, vol.18, pp. 643-647, 1996.
- [13] [وانق ومن معه ، 2008] :
J. Wang, Y. Zhang, Y. Zhou, and J. Yin, "Discrete Quantum-Behaved Particle Swarm Optimization based on Estimation of Distribution for combinatorial optimization," in IEEE Congress on Evolutionary Computation , pp. 897-904, 2008.
- [14] [سن ومن معه ، 2004] :
J. Sun, B. Feng, and W. Xu, "Particle Swarm Optimization with particles having quantum behavior," in IEEE Congress on Evolutionary Computation, pp. 325-331, 2004.
- [15] [سن ومن معه ، 2007] :
J. Sun, W. Xu, W. Fang, and Z. Chai, "Quantum-Behaved Particle Swarm Optimization with binary encoding," Proc. of 8th International Conference on Adaptive and Natural Computing Algorithms, Lecture Notes in Computer Science, 4431, Springer, pp.376–385, 2007.
- [16] [كينيدي وإيبرهارت ، 1995] :
J. Kennedy, and R. Eberhart, "Particle Swarm Optimization," In: IEEE Int. Conf. on Neural Network, pp. 1942--1948, 1995.
- [17] [روفين ومن معه ، 2008] :
D. Ruifen, L. Bingham, X. Tian, and W. Weizhi, "A method of feature selection based on Particle Swarm Optimization algorithm with Trance-Gene operator," in Control and Decision Conference , pp. 3568 – 3571, 2008.
- [18] [زانق ومن معه ، 2008] :
H. Zhang, H. Gao, and X. Wang, "Quantum Particle Swarm Optimization based network intrusion feature selection and detection," in Proc. of the 17th World Congress IFAC, pp.12312- 12317, 2008.
- [19] [مسحول ويعطوش ، 2010] :
S. Meshoul, and M. Batouche, "A novel Quantum Behaved Particle Swarm Optimization algorithm with Chaotic search for image alignment," in Congress on Computational Intelligence, pp.557-562, 2010.

- [20] [كولفو ، 2008] :
L. Coelho, "A Quantum Particle Swarm Optimizer with chaotic mutation operator,"
Chaos, Solitons & Fractals, vol.37, pp. 1409-1418, 2008
- [21] [هائق ومن معه ، 2009] :
Z. Huang, Y. Wang, C. Yang, and C. Wu, "A new improved Quantum-Behaved Particle
Swarm Optimization model," 4th IEEE Conference in Industrial Electronics and
Applications, pp. 1560 – 1564, 2009.
- [22] [كيم ومن معه ، 2004] :
S. Kern, S.D. Muller, N. Hansen, D.Buche, J. Ocenasek, and P. Koumout-sakos,
"Learning probability distributions in continuous evolutionary algorithms-a comparative
review," Natural Computing, vol.3, pp.77–112, 2004
- [23] [فيريز ومن معه ، 2007] :
J. Fierrez, J. Ortega-Garcia, D. Ramos, and J. Gonzalez-Rodrigue, "HMM-based on-line
signature verification: feature extraction and signature modeling," Pattern Recognition
Letters, vol. 28, n.16, pp.2325-2334, 2007.
- [24] [مسحول و يعطوش ، 2010] :
S. Meshoul, and M. Batouche, "A novel approach for online signature verification using
Fisher based Probabilistic Neural Network," in Proc. of the 15th IEEE Symposium on
Computers and Communications, pp. 314-319, 2010.

الملخص باللغة الانجليزية

Title:An Effective Feature Selection Method for On-line Signature based Authentication

Abstract.In this paper, we tackle the problem of identifying the relevant set of features that helps achieving accurate on-line signature based authentication. There exists a large set of features that can be acquired from the original signal or derived from it. Taking into account the whole set of features in the authentication process is time consuming. Furthermore, not all features are relevant and some of them are redundant. Consequently, finding the minimal set of relevant features is a prerequisite to perform fast authentication while achieving better accuracy. This feature selection task is combinatorial in nature. In our work, we handle it using a Discrete Quantum behaved Particle Swarm Optimization strategy (DQPSO). The space of possible feature sets is explored according to a QPSO dynamic where each set is encoded in terms of a binary representation. Data sets from SVC 2004 data base have been used in our experiments. Very encouraging results have been obtained.

Keywords: Online Signature Verification, Discrete Quantum behaved Particle Swarm Optimization, Feature Selection, EER.

مصادقة التوقيعات الديناميكية	Online Signature Verification
تحسين سرب الجسيمات (بي اس او)	Particle Swarm Optimization
تحسين سرب الجسيمات كمية الحركة (كيو بي اس او)	Quantum Behaved Particle Swarm Optimization
تحسين سرب الجسيمات كمية الحركة المنفصل (دي كيو بي اس او)	Discrete Quantum Behaved Particle Swarm Optimization
اختيار السمات	Feature Selection
معدل الخطأ المتساوي (اي اي ار)	Equal Error Rate (EER)
قاعدة بيانات التوقيعات الديناميكية اس في سي 2004	SVC 2004
التوقيعات الخطية	Off-Line Signature
التعرف	Recognition
التحقق	Verification
تصنيف الأنماط	Pattern Recognition
البحث العائم	Floating Search
نسبة فيشر المعدلة	Modified Fisher Ratio
التواء الزمن الديناميكي (دي تي دبليو)	Dynamic Time Wrapping (DTW)
القياسات الحيوية	Biometrics
زاوية البعد عن المحور السيني	Azimuth
زاوية ارتفاع القلم	Altitude
مطبعة	Normalized
مصنف	Classifier
خوارزمية تقدير التوزيع (اي دي ايه)	Estimation Distribution Algorithm (EDA)
معلمة معدل الدمج (سي ار)	Crossover Rate Parameter (CR)
الجذب المحلي	Local Attractor
الدمج الثنائي	Binary Crossover
عملية الخيار الإस्तثنائي على مستوى البت	Bit-wise exclusive –OR (XOR)
عملية العطف على مستوى البت	Bit-wise exclusive AND
معالجة أولية	Preprocessing
أخذ العينات	Sampling
اشتقاق السمات	Features Derivation
دالة اللياقة	Fitness Function
معدل القبول الخاطئ (اف ايه ار)	False Acceptance Rate (FAR)
معدل الرفض الخاطئ (اف ار ار)	False Rejection Rate (FRR)
الدمج الثنائي المنتظم	Uniform Binary Crossover
معلمات	Parameters
السمات الهجينة	Hybird Features

برهنة المجموعات: تحسين الخصوصية والإدارة في عملية البرهنة عن بعد

سامي الصوري¹، أز غور داغديلين²، شتيفان كاتسينبايسر³
^{1,2,3} مركز كبسد للبحوث المتقدمة في أمن المعلومات بدامشتات، جامعة دارمشتات التقنية، مدينة دارمشتات، ألمانيا

Darmstadt University of Technology
 Center for Advanced Security Research Darmstadt - CASED
 Mornewegstrasse 32, 64293 Darmstadt, Germany

البريد الإلكتروني:

sami.alsouri@cased.de¹

الخلاصة. أحد الأهداف المركزية للحوسبة الموثوقة هو القدرة على برهنة أن نظاماً ما بعيداً موجود في حالة جديرة بالثقة. في حين أنه من حيث المبدأ يمكن التحقق من هذا عن طريق عملية البرهنة عند بعد كأحد المعايير لدى مجموعة الحوسبة الموثوقة، إلا أن المشاكل المتعلقة بالخصوصية و التدرجية تجعل تطبيق هذه العملية صعب في أرض الواقع. على وجه الخصوص، استخدام دالة هاش SHA-1 لقياس مكونات النظام يتطلب صيانة كمية كبيرة من قيم الهاش المخزنة في قواعد بيانات و التي من المفترض أن تكون لبرامج موثوقة. علاوة على ذلك، و خلال عملية البرهنة، يتم الكشف عن التشكيل الكامل للنظام المبرهن. في هذه الورقة العلمية نعرض كيف أنه من الممكن الحد من هاتين المشكلتين من خلال استخدام دوال الهاش الحزائية. بالإضافة إلى ذلك و من خلال برنامج تجريبي نبرهن على أن مقترحنا سهل التطبيق من الناحية العملية.

الكلمات الجوهرية: البرهنة عن بعد، دوال الهاش الحزائية، الخصوصية، الصيانة و التدرجية، الحوسبة الموثوقة

1 تمهيد

واحدة من الوظائف الرئيسية لوحدة المنصة الموثوقة (Trusted Platform Module - TPM)، كما هي مُعرّفة من مجموعة الحوسبة الموثوقة، هي القدرة على برهنة الحالة الأمنية لنظام ما، هذا يعني إثبات أن نظاماً ما موجود في حالة معروفة و موثوقة. هذه المجموعة حددت طريقة لقياس مكونات الأنظمة مستخدمة في ذلك الـ TPM كجذر للثقة و متبعة نهج قس ثم حمل: و الذي يعني عند تمرير التحكم إلى مكونة من مكونات النظام يتم قياس مادتها (Code) القابلة للتنفيذ باستخدام دالة الهاش SHA-1 و من ثم تخزين قيمة الهاش الناتجة في مخازن مقاومة للتلاعب، تسمى سجلات تشكيل المنصة (Platform Configuration Registers, PCRs)، و التي تكون جزءاً من الـ TPM. يتم التخزين في هذه السجلات على شكل سلسلة هاشات: هذا يعني أن قيمة الهاش للبرنامج المراد تنفيذه يتم وصله بالقيمة الحالية المخزنة بالسجل و من ثم تنفيذ دالة الهاش على القيمة الناتجة مجدداً

و استبدال القيمة الجديدة بالقيمة القديمة. لذلك يمكن اعتبار محتوى هذه السجلات معبرا عن حالة النظام المراد برهنتها. في أثناء عملية البرهنة عن بعد، يتم توقيع هذه الحالة إلكترونياً وإرسالها إلى الجهة الراغبة في معرفة حالة النظام (المتحدي)، و الذي بدوره يمكنه مقارنة القياسات الواردة بقياسات أخرى موثوقة و متوفرة لديه، و المسماة قائمة القياسات المرجعية (Reference Measurement List)، حتى يتمكن من الحكم على مدى مصداقية هذه الحالة و الوثوق بها من عدمه.

لقد حددت البحوث العلمية عدة مشاكل تتعلق بعملية البرهنة عن بعد المُعرّفة من قبل مجموعة الحوسبة الموثوقة. هذه المشاكل تتضمن الخصوصية [1] و التدرجية [2،3]، و أخرى تتعلق بوظيفة الختم كما هي مُعرّفة من هذه المجموعة [4]، بالإضافة إلى مشاكل تتعلق بـكُبر الجهود المبذولة في الاتصالات و إدارة القياسات [3]. في هذه الورقة العلمية نسلط الضوء على جميع هذه المشاكل و نتناولها جميعاً.

العملية المعيارية للبرهنة عن بعد تتطلب الإفصاح عن جميع البرامج المنفذة على النظام المبرهن، متضمنة في ذلك معلومات عن نظام التشغيل و عن برامج من أطراف أخرى. لذلك يمكن رؤية هذا الكشف عن تفاصيل التكوين على أنه فجوة في الخصوصية غير مرغوب بها، و ذلك لأنها من الممكن أن تؤدي إلى عنصرية ضد المنتوجات (على سبيل المثال يمكن للمتحمدي إرغام النظام المبرهن على استخدام برامج من منتجين معينين حتى يتمكن من فك شفرة معلومات مرسلة إليه)، كما أن هذه الفجوة ممكن إستغلالها من قراصنة الحاسبات لتسليط هجمات محددة على النظام المبرهن، و ذلك بسبب معرفتهم لتفاصيل تشكيل النظام و الذي يشمل معلومات دقيقة عن جميع إصدارات البرامج التي يستخدمها و التي من الممكن أن تكون معروفة بفجوات أمنية. لذلك من الواجب تطوير عملية البرهنة بحيث يمكننا تحسين الخصوصية و إخفاء تفاصيل البرامج المنفذة على النظام المبرهن من جهة، و لكن من جهة أخرى يجب من خلال هذه العملية تمكين المتحمدي من الحكم على مدى مصداقية و ثقة النظام المبرهن. في الوهلة الأولى يبدو أن تحقيق هذين الأمرين أمراً متناقضاً، لكننا من خلال هذه الورقة نثبت إمكانية تحقيق ذلك بالفعل.

مشكلة أخرى من مشاكل العملية المعيارية للبرهنة عن بعد هي مدى تدرجية قائمة القياسات المرجعية [2]. العدد الكبير من إصدارات أنظمة التشغيل و برامج الحاسوب يجعل إدارة و تنظيم و صيانة هذه القائمة أمراً صعباً إن لم يكن مستحيلاً، بسبب العدد الهائل من العناصر الذي تحتويه هذه القائمة. على سبيل المثال، لاحظ المؤلفون في [5] أن نظام تشغيل ويندوز يُحمّل ما يقارب من 200 سواقة من أصل ما يزيد على أربعة ملايين سواقة معروفة و متزايدة بنسبة 400 سواقة يومياً. أضف إلى ذلك العدد الكبير من برامج الحاسوب بإصداراتها المتنوعة. لذلك تعد تدرجية قائمة القياسات المرجعية إحدى المعوقات الأساسية لنجاح مبدأ الحوسبة الموثوقة.

في هذه الورقة نقدم حلاً للمشاكل السابقة من خلال تطوير عمليتي البرهنة عن بعد و قياس السلامة المستخدمتين في الحوسبة الموثوقة، و ذلك من خلال استخدام دوال الهاش الحرائية كإضافة إلى دالة SHA-1 أو باستخدام التوافيق الإلكترونية للمجموعات في هاتين العمليتين. و رغم أن هذا يزيد من تعقيد عملية البرهنة، إلا أننا نبين من خلال هذه الورقة أن الآليات المقترحة تزيد من التدرجية من جهة و تحمي الخصوصية المسلوقة من جهة أخرى بزيادة معقولة في تكلفة الحساب و الأداء. في أحد الحلول المقترحة نستخدم دوال الهاش الحرائية، و التي تمكننا من تقسيم البرامج و

التطبيقات إلى مجموعات، و تمثيلها بقيمة هاش واحدة. على سبيل المثال، يمكن تمثيل جميع تفرعات منتج معين لبرامج موثوقة، أو عدة إصدارات من برنامج ما، بقيمة هاش واحدة. هذا يقلل من ناحية الجهد المبذول لصيانة وإدارة قوائم القياسات المرجعية، و من ناحية أخرى يزيد في الخصوصية، إذ أنَّ المتحدي لن يعود باستطاعته رؤية تفاصيل تشكيل النظام المبرهن، بسبب حصوله فقط على معلومات عن المجموعات التي ينتمي إليها كل عنصر من عناصر هذا التشكيل. في نفس الوقت، يمكن للمتحمدي أن يتأكد من أن جميع البرامج المنفذة تنتمي إلى مجموعات موثوق بها. في هذه الورقة نظهر كيف أنه من الممكن دمج آلياتنا المقترحة في بنية الأنظمة المُعرَّفة من مجموعة الحوسبة الموثوقة بتغييرات طفيفة فقط. لقد تم تطوير برنامج تجريبي للآليات المقترحة، و تبين أن آلياتنا المقترحة عملية في أرض الواقع. بالإضافة إلى استخدام دوال الهاش الحرائية، نبين في هذه الورقة أننا يمكننا حل نفس المشاكل باستخدام التوقييع الإلكترونية للمجموعات.

هذه الورقة مبنية كالتالي: في القسم الثاني نشرح الآليات و العمليات المُعرَّفة من قبل مجموعة الحوسبة الموثوقة لحساب السلامة و البرهنة عن بعد. بالإضافة إلى ذلك نعرف بموضوع دوال الهاش الحرائية و مدى أمنها إضافة إلى تقديم نبذة عن التوقييع الإلكترونية للمجموعات. علاوة على ذلك نناقش في نفس القسم المشاكل المتعلقة بالبرهنة عن بعد و الحلول التي اقترحت في أوراق علمية أخرى. في القسم الثالث نقوم بشرح تفاصيل الآليات و التقنيات المقترحة و المسماة/البرهنة الحرائية و طريقة قياس السلامة الجديدة. كبدل للبرهنة الحرائية نقدم إقتراحاً آخرأ باستخدام التوقييع الإلكترونية للمجموعات. القسم الرابع يناقش تفاصيل البرنامج التجريبي و كيفية تطويره، في حين أننا في القسم الخامس نناقش بعض النتائج التجريبية لمقترحاتنا. أخيراً، في القسم السادس نختم بتلخيص لما قدمناه في هذه الورقة.

2 الخلفيات و الأعمال ذات الصلة

2.1 قياس السلامة و البرهنة عن بعد

كما أسلفنا فإن أحد أهداف الحوسبة الموثوقة هو قياس أو تأكيد سلامة مكونات النظام. و يتم ذلك عن طريق قياس كل وحدة أو مكون من مكونات النظام (كالبيوس و نواة نظام التشغيل و غيرها من البرامج المنفذة على النظام) و ذلك باستخدام دالة SHA-1 لحساب قيمة الهاش لمادة الوحدة المراد تنفيذها قبل فعل ذلك. جميع قيم الهاش الناتجة عن قياس مكونات النظام تخزن بشكل آمن و محمي في السجل المخصص لها من سجلات تشكيل المنصة PCR و عن طريق الزيادة في سلسلة الهاش المخزنة في هذا السجل على النحو التالي:

$$PCR_{new} = SHA(PCR_{current} \parallel SHA(\text{مادة الوحدة أو المكون}))$$

في نفس الوقت يتم تخزين معلومات عن هذه الوحدة في سجل أو مدونة أخرى، تدعى قائمة القياسات (Measurement List - ML)، لتمكين المتحمدي من إعادة حساب سلسلة الهاش و مقارنتها بقيمة الـ PCR النهائية. لمنع هذه القيم من التلاعب و التحريف، لا تسمح شريحة TPM إلا بإضافة قياس جديد على السلسلة في سجلات تشكيل المنصة، هذا يعني أن أي عملية أخرى

كمسح قيمة السجل و الكتابة فوقها غير مسموح بها طالما أن جهاز الحاسوب يعمل، مما يجعل إمكانية المسح الوحيدة هو إعادة تشغيل الجهاز.

كواحدة من الأطر المطورة لإجراء عملية البرهنة عن بعد على مستوى التطبيقات يأتي الإطار المطور من شركة IBM و المسمى معمارية قياس السلامة (Integrity Measurement Architecture) [2]. IMA يقوم بقياس جميع البرامج القابلة للتنفيذ على مستوى المستخدم، و المكتبات المحملة ديناميكياً، بالإضافة إلى وحدات النواة و سكربتات شيل. تجمع جميع القياسات كما أسلفنا في قائمة القياسات و التي تشكل تاريخ سلامة النظام أو المنصة. تبدأ عملية القياس في IMA بالاستعانة بما يسمى وكلاء القياس، و الذين يقومون بدورهم بإجراء عملية القياس ثم كتابتها في قائمة القياسات و من ثم تخزينها في السجل المخصص لها في ال TPM. بهذا يصبح من غير الممكن إنكار تنفيذ أي برنامج موجود في القائمة، مما يعني أن كل ما في القائمة نُفِّذ بالفعل و بهذا الترتيب.

بعد توقيع حالة النظام أو المنصة إلكترونياً، و المتمثلة في قيم سجلات تشكيل المنصة، يتم إرسال هذه الحالة إلى المتحدي أثناء عملية البرهنة عن بعد. لبدء هذه العملية يرسل المتحدي عدداً عشوائياً مكوناً من 160 بت إلى النظام المراد برهنته بالإضافة إلى رقم السجل المراد. بعد إستقبال هذا العدد يتم تمريره مع رقم السجل إلى ال TPM و التي بدورها تقوم بتوقيع هاتين القيمتين إلكترونياً باستخدام عملية TPM_Quote. بعد التوقيع يتم إرسال النتيجة و قائمة القياسات إلى المتحدي. لحماية خصوصية الهوية يتم بصورة حصرية استخدام مفاتيح خاصة للتوقيع تسمى مفاتيح برهنة الهوية AIK. بعد وصول هذه المعلومات أو القيم إلى المتحدي يبدأ أولاً بالتأكد من سلامة التوقيع باستخدام المفتاح العام AIK_{pub}، ثم يتأكد من صحة العدد العشوائي لمنع هجمات إعادة الإرسال (Replay Attack)، و أخيراً يحسب قيمة السجل من خلال تكوينه لسلسلة هاش جديدة بالاستعانة بقائمة القياسات المرسله إليه. إذا كانت القيمة المحسوبة مساوية للقيمة الموقعة من ال TPM فهذا يعني أن القائمة سليمة، و إلا يتم قطع الإتصال و إعلان عدم الثقة في النظام المبرهن في حال فشل إحدى الإجراءات السابقة. إذا تمت كل هذه الإجراءات بنجاح، يبدأ المتحدي بمقارنة عناصر قائمة القياسات بقائمة القياسات المرجعية و في حال وجود أي قياس مخالف للمرجعية و وجود قياس غير موجود أصلاً في المرجعية يتم إعلان عدم الثقة في النظام المبرهن و قطع الإتصال به.

2.2 دوال الهاش الحرابية

قُدمت دوال الهاش الحرابية لأول مرة من كراوزيك و رابين [6]. بخلاف دوال الهاش الإعتيادية يستخدم هذا النوع من دوال الهاش زوجاً من المفاتيح؛ مفتاحاً خاصاً و مفتاحاً عاماً. كل طرف يملك المفتاح العمومي يكون قادراً على حساب قيمة الهاش لأيّة رسالة. حيازة المفتاح الخاص تمكن صاحبه من إنتاج أو تكوين ما يسمى تعارضاً (collision)، بحيث يمكن توجيه عدة مداخل مختلفة إلى قيمة هاش واحدة. في الوقت ذاته، يتمتع هذا النوع من الدوال بصفات أمنية تمكنه من مقاومة إنتاج تعارضات (collision-resistance) لمن لا يملك المفتاح الخاص. يتم تعريف دالة الهاش الحرابية بمجموعة من الخوارزميات ذات كفاءة عالية (معادلات كثيرة الحدود) و ذلك كالآتي:

إنتاج المفاتيح: الخوارزمية الاحتمالية لإنتاج المفاتيح $(Kg: 1^k = (pk, sk))$ و التي تأخذ كمُدخل العامل المتغير k ، بشكل أحادي، و تُخرج زوجاً من المفاتيح؛ عاماً و خاصاً.

الهاش: الخوارزمية الحتمية $(Ch: (pk, m, r) \rightarrow h \in \{0,1\}^t)$ تأخذ كمُدخل المفتاح العام pk ، و رسالة m و قيمة عشوائية مساعدة r و تُخرج قيمة الهاش h ذات الطول t .

التزوير الشرعي: الخوارزمية الحتمية $(Forge: (sk, m, r) \rightarrow (m', r'))$ تأخذ كمُدخل المفتاح الخاص sk رديف المفتاح العام pk ، بالإضافة إلى رسالة m و عامل متغير مساعد r . $Froge$ يقوم بحساب رسالة أخرى m' و عامل متغير مساعد r' بحيث أن $(m, r) \neq (m', r')$ و $Ch(pk, m, r) = h = Ch(pk, m', r')$.

بخلاف دوال الهاش الإعتيادية، تتصف دوال الهاش الحربية باحتوائها على خوارزمية التزوير الشرعي $Forge$. باستخدام هذه الخوارزمية يمكن لكل من يحوز المفتاح الخاص إنتاج رسائل متعددة تتجه جميعها إلى نفس قيمة الهاش. هذه خاصية مميزة و قوية لأنها تمكننا من إنتاج ما نريده من رسائل، كلها تتجه لنفس قيمة الهاش.

لقد قدمت البحوث العديد من الخيارات و الأنواع لهذا النوع من الدوال. في بحثنا هذا نشترط أن تحقق الدوال الحربية الممكن استخدامها الخصائص الآتية:

أمن الدلالات (Semantic Security): لأي من الرسائل (m, m') يجب أن تمتع قيمتي الهاش $Ch(pk, m, r)$ و $Ch(pk, m', r)$ بخاصية عدم التمييز (indistinguishability)، هذا يعني أن $Ch(pk, m, r)$ من الواجب عليه إخفاء جميع المعلومات المتعلقة بـ m .

الخلو من خاصية كشف المفتاح: تتطلب هذه الخاصية عدم وجود أية خوارزمية، ذات كفاءة معقولة، يمكننا من خلالها كشف المفتاح الخاص عند تزويدها بمتعارضين أو أكثر.

يمكننا القول أن كل دالة حربية تحقق الشروط و الخصائص السابق ذكرها يمكن استخدامها في ورقة العمل هذه. اختيارنا الشخصي وقع على الدالة الحربية المقدمة و المشروحة في الورقة [7].

2.3 التوقيعات الإلكترونية للمجموعات

قدمت هذه التوقيعات في البداية من قبل تُشامو و هيس [8]، لتمكن عضواً من أعضاء مجموعة ما التوقيع الإلكتروني بإسم المجموعة دون الإفصاح عن هوية الموقع. كل مجموعة تحتوي على مدير للمجموعة و عدة أعضاء آخرين. بخلاف التوقيعات الإلكترونية الإعتيادية، يملك الموقعون المنتمون إلى مجموعة واحدة مفتاح خاصاً $gsk[i]$ لكل منهم، في الوقت الذي يملك جميعهم مفتاحاً عاماً واحداً gpk . بهذه الخاصية يمكن التأكد من سلامة التوقيعات باستخدام المفتاح العام و دون معرفة هوية العنصر الموقع. إلا أن مدير المجموعة يمكنه معرفة هوية العنصر الموقع من خلال تزويده بمفتاح آخر $gmsk$ خاص به وحده، يمكنه من خلاله تتبع هوية العنصر الموقع (Traceability).

بشكل أساسي، يمكن تعريف هذا النوع من التوقيعات $gs = (GKg, GSig, GVf, Open)$ خلال مجموعة من الخوارزميات ذات كفاءة مقبولة (لمزيد من التفاصيل يرجى مراجعة [9، 8]):

إنتاج مفتاح المجموعة: هذه الخوارزمية الاحتمالية $GKg: (1^k, 1^n) \rightarrow (gpk, gmsk, gsk)$ تأخذ كمُدخل العامل المتغير السري k و العامل المتغير n لتحديد كُبر المجموعة و تُخرج $(gpk, gmsk, gsk)$ بحيث أن gpk يمثل المفتاح العام للمجموعة، و $gmsk$ يمثل المفتاح الخاص لمدير المجموعة، و gsk يمثل متجهاً يحتوي على عدد n من المفاتيح الخاصة. ذلك يعني أن العنصر رقم $i \in \{1, \dots, n\}$ يمتلك المفتاح الخاص gsk_i .

توقيع المجموعة: الخوارزمية الاحتمالية $GSig: (gsk_i, m) \rightarrow \sigma_i(m)$ تأخذ كمُدخل المفتاح الخاص بالموقع gsk_i بالإضافة إلى الرسالة m و تُخرج $\sigma_i(m)$ التي تمثل توقيع العنصر i على الرسالة m .

تأكيد سلامة توقيع المجموعة: الخوارزمية الحتمية $GVf: (gpk, m, \sigma) \rightarrow \{0, 1\}$ تأخذ كمُدخل المفتاح العام للمجموعة بالإضافة إلى الرسالة الموقعة و التوقيع نفسه، و تخرج 1 إذا و فقط إذا كان التوقيع سليماً، بينما تخرج الخوارزمية 0 في الحالة الأخرى.

الافتتاحية: الخوارزمية الحتمية $Open: (gmsk, m, \sigma) \rightarrow \{i, \perp\}$ تأخذ كمُدخل المفتاح الخاص لمدير المجموعة بالإضافة إلى الرسالة m و التوقيع σ و تخرج هوية رقم $i \in \{1, \dots, n\}$ أو الرمز $\perp$ في حالة الفشل.

الإلتحاق: البروتوكول $Join$ يشكّل بروتوكولا ذا جهتين؛ الجهة الأولى هي مدير المجموعة و الجهة الأخرى هي عضو جديد يُراد إضافته للمجموعة. مُخرج العضو الجديد هو الشهادة $cert_i$ بالإضافة إلى المفتاح الخاص gsk_i . بعد إجراء و تنفيذ هذا البروتوكول يجب أن يكون هذا المفتاح الخاص gsk_i قد أُضيف بالفعل إلى مُتجه المفاتيح الخاصة gsk .

و حتى تتمكن من إلغاء أو إبطال مفتاحاً ما يجب إضافة هذه الخاصية:

النقض: أي توقيع تم إجراؤه بواسطة الخوارزمية $GSig$ باستخدام عضو تم إلغاؤه أو إبطاله، يجب أن يتم رفضه أثناء إجراء خوارزمية التأكد من سلامة التوقيع GVf .

2.4 المشاكل المتعلقة بعملية البرهنة عن بعد و الأعمال ذات الصلة

تعد عملية البرهنة عن بعد و الموصوفة من مجموعة الحوسبة الموثوقة عملية واعدة للتأكد من سلامة نظام ما و الحكم على مدى مصداقيته و جدارته بالثقة. بالرغم من ذلك لا تزال العملية الإعتيادية كما هي مُعرّفة من قبل TCG تعاني من بعض المشاكل التي سنذكر منها ما سوف نناقش حله في هذه الورقة العلمية:

– الخصوصية: يمكننا أن نميز بين خصوصية الهوية (Identity Privacy - IP) و خصوصية التشكيل (Configuration Privacy - CP). خصوصية الهوية تركز على إخفاء هوية المنصة أو النظام المبرهن، في حين أن خصوصية التشكيل تهتم في إخفاء تفاصيل تشكيل هذه المنصة بغض النظر عن إخفاء الهوية من عدمه. المشكلة الأولى يمكن حلها باستخدام الخوارزميات و البروتوكولات المقترحة من TCG و المسماة (Direct Anonymous Attestation - DAA) [1,10,11]. بالرغم من ذلك لا بد من تمكين المتحدي من الحكم على مدى مصداقية النظام المبرهن و جدارته بالثقة. في هذه الورقة

العلمية نركز في حلولنا على خصوصية التشكيل، مع التنويه على أنه بالإمكان استخدام الحلول المتعلقة بخصوصية الهوية سويًا مع الحلول المقترحة في هذه الورقة، وذلك لأنهما يعالجان قضيتين مختلفتين.

– العنصرية و الهجمات المستهدفة: عند إجراء عملية البرهنة قد يكون من الممكن تمييز المنتج و إبداء عنصرية ضده. على سبيل المثال، عند استخدام عملية البرهنة في أنظمة إدارة الحقوق الرقمية (Digital Rights Management - DRM)، يمكن لمنتجاتي أنظمة التشغيل و مزودي المحتويات التعاون فيما بينهم لإرغام النظام المبرهن على استخدام برامج و أنظمة تتبع لشركة نظام التشغيل أو شركة أخرى تابعة لها، و هذا يعني عدم حرية اختيار المنتجات من قبل مستخدم أو مالك النظام المبرهن. من جهة أخرى يمكن للخصوم أو الأعداء استغلال الكشف عن تفاصيل تشكيل النظام المبرهن لشن هجمات موجهة ضد فجوات أمنية معروفة لهذا التشكيل.

– التدرجية: مشكلة أخرى من مشاكل البرهنة تكمن في تدرجية قوائم القياسات المرجعية [2]. عملية البرهنة المقدمة من TCG تتطلب من المتحدي الإحتفاظ بقوائم قياسات مرجعية لقيم الهاش الموثوقة من قبله و صيانتها و تحديثها. هذا يعني أن على المتحدي القيام بتحديث هذه القيم حال تحديثها من قبل المنتجين. لهذا السبب، يزيد جهد إدارة هذه القيم و تزيد كمية الإتصالات اللازمة لتحديث هذه القيم إلى درجة تصبح فيها عملية البرهنة غير عملية على أرض الواقع.

– الختم: بجانب عملية البرهنة عن بعد تقدم مجموعة الحوسبة الموثوقة عملية أخرى تسمى عملية الختم. من خلال هذه العملية يمكن لأية جهة، تفسير معلومات معينة بربطها بتوفر تشكيل معين للنظام المبرهن. هذا يعني أن النظام المبرهن لا يمكنه فك شفرة هذه المعلومات إلا إذا كان موجوداً في التشكيل المرغوب الذي يُمكنه من فك شفرة هذه المعلومات.

لحل هذه المشاكل قام بعض الباحثين في هذا الميدان بتقديم حلول مختلفة. فعلى سبيل المثال، قدم صديقي و شتوبله [4] حلاً سموه برهنة الخصائص و الذي يستخدمه النظام المبرهن لإثبات تحققه لخصائص أو صفات أمنية معينة و ليس مجرد قيمة هاش لمكون معين. بذلك لا يجب على النظام المبرهن الكشف عن تفاصيل تشكيلة نظامه للمتحدّي. إلا أن هذا الحل يتطلب إما تطويراً لوحدة المنصة الموثوقة و إضافة وظائف جديدة إليها، أو الإستعانة بطرف ثالث موثوق به لترجمة تفاصيل التشكيل إلى خصائص أمنية و الحكم على تحققها من عدمه. فريق آخر من الباحثين قدم حلاً سماه برهنة الدلالات [14] و الذي من خلاله يبرهن النظام على تحققه لخصائص عالية المستوى. أما برهنة خدمات الويب [15] المقدمة من يوشيهاما و من معه، فتوظف ما يسمى بالتشويش على تفاصيل إصدارات مكونات النظام من خلال استخدامهم لأرقام عشوائية. على كل حال، لا تزال مشكلة التدرجية غير محلولة من قبلهم.

3 برهنة المجموعات

في هذا القسم نقدم ثلاث تقنيات جديدة لعملية البرهنة عن بعد لحل المشاكل السابق ذكرها، و التي تستند في تكوينها إلى دوال الهاش الحرابئية و التواقيع الإلكترونية للمجموعات. التقنية الأولى و الثانية تمكننا من إيجاد توازن بين خصوصية التشكيل و دقة التحكم في عملية البرهنة عن بعد، و اللتان تسببان خفصاً في الجهود المبذولة لصيانة قوائم القياسات المرجعية. أما التقنية الثالثة فتزود المتحدي بالتحكم بدقة عملية البرهنة من خلال التحكم بدرجة تفاصيل تشكيل النظام المبرهن، لكن كل ذلك على حساب خصوصية التشكيل الغير متوفرة باستخدام هذه التقنية.

3.1 البرهنة الحرابئية "أ"

في هذا القسم نوضح التقنية الجديدة لعملية البرهنة عن بعد، و التي تُمكن المتحدي من الحكم على مدى مصداقية و جدارة نظام ما بالثقة، بدون الحاجة إلى معرفة تفاصيل تشكيلة النظام المبرهن. ننبيه على أن الإفتراضات المسرودة في [2] لنماذج المهاجم هي أساس بنبي عليها مقترحاتنا في هذا القسم. على وجه التحديد، نفترض أنه بمجرد أن يتم تخزين قيمة هاش في قائمة القياسات المرجعية، يُعتبر البرنامج أو العنصر صاحب قيمة الهاش هذه عنصراً موثقاً به. حماية هذه القائمة من الإختراق ليست جزءاً من بحثنا هذا و لا تتم مناقشتها في هذه الورقة. للحد من الجهود المبذولة في الإدارة و الإتصالات لترتيب و تحديث هذه القائمة، نقترح تقسيم العناصر المبرهنة إلى مجموعات بناءً عليه، يمكن، مثلاً، اعتبار جميع منتجات شركة ما، أو منتجات تنتمي إلى نفس الفصيلة أو العائلة، أو حتى جميع إصدارات برنامج ما مجموعة واحدة، كل على حده. لقد قمنا بتصميم عملية البرهنة الجديدة بطريقة تمكننا من تعيين قيمة هاش واحدة لكل أعضاء مجموعة من المجموعات السابق ذكرها. لتحقيق ذلك، تم استخدام دوال الهاش الحرابئية. كما سبق التوضيح في القسم 2.2، فإنه بإمكان كل من يملك المفتاح العام pk حساب قيمة الهاش لرسالة معطاة. على النقيض من ذلك، فإنه لا يمكن إنتاج متعارضات إلا من قبل الجهة الموثوقة و المالكة للمفتاح الخاص sk . بناءً على فكرة تقسيم العناصر المبرهنة إلى مجموعات، بحيث يكون لكل مجموعة قيمة هاش واحدة، نوضح في المراحل الآتية تقنيتنا الجديدة، و التي أطلقنا عليها اسم البرهنة الحرابئية "أ":

– مرحلة التأسيس: يتم في هذه المرحلة تنفيذ خوارزمية إنتاج المفاتيح Kg من قبل جهة موثوقة، كمنتج البرامج و العناصر الموثوقة مثلاً، للحصول على زوج من المفاتيح لتلك المجموعة؛ أحدهما خاص sk و الآخر عام pk . عند تأسيس مجموعة جديدة نلتقط هذه الجهة الموثوقة العدد العشوائي r للعضو الأول في هذه المجموعة و ننشره، على سبيل المثال عند توزيع المنتج نفسه. علاوة على ذلك، يتم إجراء عملية حساب الهاش $h = Ch(pk, m, r)$ على مادة المنتج m ؛ لأسباب تتعلق بتكلفة الأداء (Performance) يتم أخذ قيمة الهاش SHA-1 للمنتج m بدلاً من مادة ذلك المنتج. بعد ذلك، يتم تخزين هذه القيمة h في قائمة القياسات المرجعية. لإضافة عضو جديد m' إلى المجموعة، يتم إجراء خوارزمية التزوير الشرعي $Forge$ للحصول على عدد عشوائي جديد r' بحيث أن $Ch(pk, m', r') = h$ ، و من ثم نشر هذا العدد الجديد سوياً من العضو الجديد، و يلاحظ هنا أنه بسبب تخزين h سابقاً في قائمة القياسات المرجعية، فإنه لا

داعي من تخزينها ثانية، كما هو الحال في البرهنة الإعتيادية عند إنتاج عنصر جديد أو تحديث عنصر سابق. الشكل رقم 1 "أ" يظهر العوامل المتغيرة المرسلة إلى النظام المبرهن.

– مرحلة قياس السلامة: تشبه هذه المرحلة مثيلتها في البرهنة الإعتيادية، لاحظ الشكل 1 "أ". تحديداً، يتم حساب قيمة الهاش للمكون المراد تنفيذه باستخدام دالة الهاش SHA-1 (الخطوة رقم 2). بعد ذلك يتم حساب قيمة الهاش h لهذا المكون بإجراء دالة الهاش الحربية، كما هو مبين في الخطوة رقم 3، و باستخدام كلا من المفتاح العام pk و العدد العشوائي الخاص r بهذا المنتج. نظراً لأن سجلات تشكيل المنصة لا تقبل إلى رسائل طولها 160 بت، فإننا في الخطوة الرابعة نقوم بإجراء دالة الهاش SHA-1 على القيمة h و في نفس الوقت يتم تخزين المعلومات اللازمة لقائمة القياسات في الخطوة رقم 5. أخيراً، في الخطوة السادسة يتم تمديد السلسلة المخزنة في سجل تشكيل المنصة المحدد لهذا الغرض.

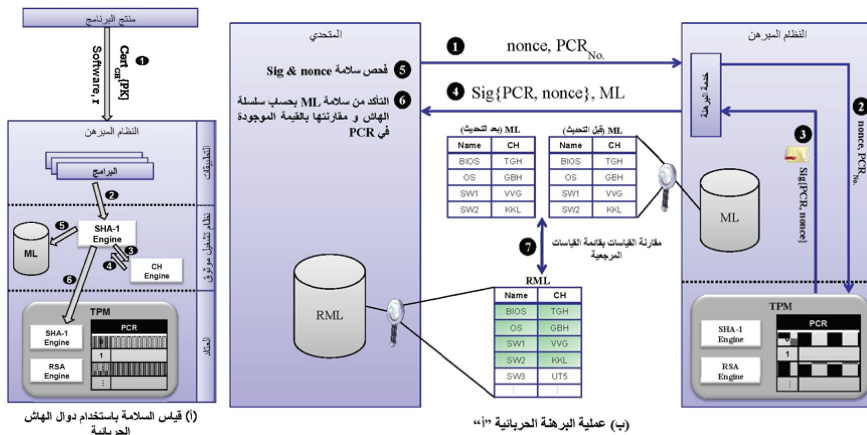
– البرهنة عند بعد: تشابه هذه المرحلة هي الأخرى مثيلتها في البرهنة الإعتيادية المقترحة من مجموعة الحوسبة الموثوقة. الشكل 1 "ب" يوضح تفاصيل هذه العملية. في الخطوة الأولى يرسل المتحدي طلباً للبرهنة يتضمن عدداً عشوائياً $nonce$ ، بالإضافة إلى رقم السجل المراد توقيعه إلكترونياً. في الخطوة الثانية تمر خدمة البرهنة (Attestation Service) هذا الطلب إلى TPM، و التي تُجري في الخطوة الثالثة التوقيع الإلكتروني على $nonce$ و محتوى السجل المرغوب، و من ثم ترسله مجدداً إلى خدمة البرهنة. في الخطوة الرابعة ترسل خدمة البرهنة قائمة القياسات، و التي تحتوي على قيم الهاش الحربية، بالإضافة إلى الرسالة الموقعة من TPM، إلى المتحدي؛ لاحظ أنه لا يتم إرسال قيم هاش SAH-1، المعبرة عن تفاصيل تشكيل النظام، كما هو الحال في عملية البرهنة الإعتيادية. في الخطوات من 5 إلى 7 يتم التأكد من سلامة التوقيع، و إثبات صحة قائمة القياسات بحساب سلسلة الهاش و مقارنتها بقيمة السجل الموقعة، و أخيراً مقارنة محتويات هذه القائمة بقائمة القياسات المرجعية و التأكد من إحتوائها لتلك القياسات. لا يمكن إعتبار النظام المبرهن جديراً بالثقة إلى إذا تم العثور على جميع عناصر قائمة القياسات المرسلة في قائمة القياسات المرجعية.

يمكننا وصف هذه العملية الجديدة بالمرونة من حيث اختيار كبر المجموعة المحتوية على العناصر القابلة للتنفيذ، و ذلك لتحقيق توازن بين خصوصية التشكيل و دقة التحكم في تفاصيل التشكيل. إذا كان تعزيز الخصوصية هو المطلوب فإنه بالإمكان تكوين مجموعات تحتوي على عدد كبير من العناصر و تمثيلها جميعاً بقيمة هاش واحدة. على النقيض إذا كان المطلوب هو القدرة على التفرقة بين العناصر، بحيث تزيد القدرة على إقصاء عناصر بعينها، فإنه من الممكن تشكيل مجموعات صغيرة تحتوي على عدد قليل من العناصر. من الملاحظ هنا أيضاً أن الجهة التي تستطيع التحكم في صنع هذه المجموعات هي الجهة الموثوقة التي تشكلها و التي تكون في الغالب منتجي البرامج أو العناصر.

3.2 البرهنة المبنية على التواقيع الإلكترونية للمجموعات

طريقة أخرى لتحسين عملية البرهنة عن بعد من جهة الخصوصية و التدرجية تكمن في استخدام التواقيع الإلكترونية للمجموعات. هذا يتطلب التعديلات التالية في مراحل البرهنة عند بعد و قياس السلامة:

- مرحلة التأسيس: نستخدم هنا كذلك فكرة تقسيم العناصر إلى مجموعات، إلا أننا هذه المرة سوف نستخدم التواقيع الإلكترونية للمجموعات. يتم إعطاء كل عنصر من عناصر المجموعة مفتاحه الخاص به $gsk[i]$ في حين أن الجميع يشترك في حيازة مفتاح عام واحد gpk . بمجرد الإعلان عن تحديث لعنصر قديم أو إحداث عنصر جديد، يتم أولاً تنفيذ دالة SHA-1 على مادة هذا العنصر للحصول على قيمة الهاش h . بعد ذلك يتم توقيع قيمة الهاش هذه باستخدام المفتاح الخاص $gsk[i]$ لهذا العنصر، هذا يعني أن $\sigma = GSig(gsk[i], h)$. يتم بعد ذلك نشر و توزيع التوقيع σ و المفتاح العام gpk سوياً مع مادة هذا العنصر، البرنامج مثلاً. إضافة إلى ذلك يتم تخزين جميع المفاتيح العامة لكافة البرامج و العناصر الموثوقة في قائمة القياسات المرجعية عوضاً عن قيم الهاش.



الشكل 1: البرهنة الحرائية و قياس السلامة

- مرحلة قياس السلامة: بمجرد تحميل عنصر ما في النظام المبرهن يتم حساب قيمة الهاش له باستخدام دالة SHA-1، بعدها يتم التأكد من سلامة التوقيع باستخدام التوقيع ذاته و المفتاح العام و ذلك بتنفيذ خوارزمية التأكد من سلامة التوقيع باستخدام Gvf . إذا كان التوقيع سليماً، يتم حساب قيمة الهاش للمفتاح العام gpk و تخزينه في السجل المناسب من سجلات تشكيل المنصة بدلاً من تخزين قيمة الهاش للعنصر أو البرنامج نفسه. في الوقت نفسه، يتم تخزين المعلومات الضرورية لقائمة القياسات. في حالة عدم سلامة التوقيع يتم تخريب قيمة سجل تشكيل المنصة بإضافة معلومات عشوائية، للإشارة إلى أن خطأ ما قد حدث أثناء فحص التوقيع.

- عملية البرهنة عن بعد: تبدأ هذه المرحلة بالعمل بصورة مثالية تماماً لما شرحناه من قبل في القسم 2.1 إلى أن تصل إلى الخطوة التي يستقبل فيها المتحدي الرسالة من النظام المبرهن. بعد ذلك يفحص المتحدي توقيع الـ TPM و العدد المرسل *nonce*. يقوم بعدها بحساب سلسلة الهاش مرة أخرى مستعيناً بقائمة القياسات للتأكد من سلامة هذه القائمة من أي تلاعب. أخيراً يتم البحث عن جميع عناصر قائمة القياسات في القائمة المرجعية للتأكد من وجودها جميعاً هناك. إذا تم اجتياز هذه الاختبارات جميعها بنجاح فيمكن القول بأن النظام المبرهن جدير بالثقة.

استخدام توقيعات المجموعات له بعض الإيجابيات مقارنة باستخدام دوال الهاش الحزائية. ذلك أن إلغاء قيمة هاش حزائية في عملية البرهنة الحزائية "أ" يتطلب إلغاء جميع أعضاء المجموعة صاحبة هذه القيمة، في حين أن إلغاء عضو معين في مجموعة عند استخدام توقيعات المجموعات يمكن أن يتم دون الحاجة إلى إلغاء المجموعة بأسرها. إيجابية أخرى تكمن في قدرة تكوين التسلسل الهرمي لمفاتيح المجموعات و عناصرها ليناسب الهيكل التنظيمي لشركة أو مؤسسة ما. فمثلاً يمكن لكل قسم من أقسام شركة ما مسؤول عن منتج معين أن يملك مفتاح خاصاً به، بينما تملك الشركة كلها مفتاحاً عاماً واحداً للتأكد من صحة التوقيعات الصادرة عن جميع عناصر و منتجات الشركة.

بالرغم من هذه الإيجابيات إلا أن دوال الهاش الحزائية تظهر إيجابية مقابل التوقيعات الإلكترونية للمجموعات من حيث تكلفة الأداء الزمنية. فعلى سبيل المثال تحتاج خوارزميات التوقيعات الإلكترونية السريعة نسبياً إلى ستة عمليات أسية تقريباً (راجع [16])، في حين أن دوال الهاش الحزائية تحتاج إلى أقل من ذلك بكثير. فمثلاً دالة الهاش الحزائية التي اخترناها [7] تجري حساب قيمة الهاش بتنفيذ عمليتين أسيتين فقط. و حسب علمنا أنه لا يوجد أية خوارزمية للتوقيعات الإلكترونية للمجموعات تجري حساباتها في أقل من ثلاثة عمليات أسية.

3.3 البرهنة الحزائية "ب"

عملية البرهنة المقترحة أعلاه يمكن استخدامها للحد من مشكلة الخصوصية المناقشة سابقاً. إلا أننا في هذه العملية نضطر إلى إحداث توازن بين دقة التحكم في تفاصيل التشكيل و درجة الخصوصية المرغوبة، و ذلك لأن المتحدي لا يمكنه رؤية إلا المجموعات التي يرسلها إليه النظام المبرهن، و بهذا لا يمكنه التفرقة بين عناصر مجموعة ما؛ عدة إصدارات من منتج معين مثلاً. تخيل لو أن منتج لبرامج ما أنتج البرنامج $SW_{v,1}$ ، و الذي حُدث فيما بعد إلى $SW_{v,2}$ بسبب بعض الفجوات الأمنية. إذا طبقنا العمليتين السابقتين في 3.1 و 3.2، لا يمكن للمتحدي أن يفرق بين هذين الإصدارين بسبب إنتمائهما لمجموعة واحدة. عند استخدام عملية البرهنة الحزائية "أ" نفقد القدرة على إلغاء إنتماء عناصر محددة في مجموعة ما. هذا يعني أن إلغاء عنصر في مجموعة لا يتم إلا إذا تم إلغاء المجموعة بأسرها و حساب قيمة هاش جديدة للمجموعة بعد التحديث. و حتى باستخدام التوقيعات الإلكترونية للمجموعات فإنه بإمكان منتج هذه العناصر وحده فقط إلغاء إنتماء هذه العناصر للمجموعة. و هذه بلا شك سلبية لا بد من وجود حل لها.

في هذا القسم كيف أنه بالإمكان استخدام دوال الهاش الحبرائية لحل مشكلة التدرجية دون الإلتفات إلى مشكلة الخصوصية. كما أننا سوف نُظهر أنه كيف يمكن للمتحمدي أن يتحكم كلياً في درجة دقة تفاصيل تشكيل المنصة بالصورة التي يشاء.

تتم هذه العملية بتنفيذ دوال الهاش الحبرائية على جهاز المتحمدي نفسه و ليس على النظام المبرهن. كما بينا سابقاً في القسم 3.1، تلتقط الجهة الموثوقة، كمنتجي البرامج مثلاً، هاشاً حبرائية واحدة لكل مجموعة و يتم توزيعها و تخزينها في قوائم القياسات المرجعية، بالإضافة إلى نشر الأعداد العشوائية r اللازمة لحساب قيم الهاش الحبرائية. على جهاز النظام المبرهن تُجرى عملية البرهنة عند بعد الإعتيادية كما هي موصوفة و مُعرّفة من TCG، هذا يعني أن يتم حساب و تخزين قيم هاش SHA-1 في سجلات تشكيل المنصة، باستثناء واحد و هو تخزين الأعداد العشوائية r سوية مع معلومات العنصر في قائمة القياسات. في المرحلة الثالثة، تبدأ عملية البرهنة تماماً كما هي مُعرّفة من TCG إلى أن نصل إلى الخطوة التي يتم فيها التأكد من وجود العناصر المسردة في قائمة القياسات الواردة من النظام المبرهن. في هذه الخطوة يتم حساب قيمة الهاش الحبرائية h_{cham} باستخدام قيمة هاش SHA-1 و العدد r الواردين في قائمة القياسات، قبل البحث عن هذا العنصر في قائمة القياسات المرجعية. بعدها يتم البحث h_{cham} في قائمة القياسات المرجعية.

تنفيذ هذه العملية بهذه الصورة يجعل أمر إلغاء الثقة بعناصر معينة في المجموعة سهلاً للغاية. إذ لا يجب على المتحمدي حينئذٍ إلا البحث عن قيم هاش SHA-1 المُحدّدة للعنصر غير الموثوق به مباشرة في لوائح سوداء، دون إجراء عملية حساب قيمة هاش المجموعة. هذا يمكن المتحمدي من إيجاد توازن يُعرّفه هو بين التدرجية و دقة التحكم في تفاصيل التشكيل.

4 التطوير

نصف في هذا القسم التعديلات التي أُجريت على نظام التشغيل لينُكس أثناء تطوير البرنامج التجريبي لتنفيذ العمليتين المقترحتين في القسمين 3.1 و 3.3.

لتأمين إقلاع آمن (Trusted Boot) للنظام المبرهن تم استخدام مدير الإقلاع جُرب (Grand Unified Bootloader - GRUB) ذو الإصدار 0.97 بالإضافة إلى توسعة TrustedGrub ذات الإصدار 1.13. جميع القياسات المجراه يتم تخزينها في الوحدة الموثوقة للمنصة المصنعة من إنتل iTPM. إضافة إلى ذلك تم استخدام فيدورا (Fedora 10) كنسخة لينُكس، و التي كانت مبنية على النواة ذات الإصدار رقم 2.6.27.38. هذه النواة تحتوي على توسعة IMA، التي – كما سبق شرحها – تقوم بحساب قيم الهاش لجميع مكونات النظام القابلة للتنفيذ قبل تنفيذها، و تخزين هذه القيم في قائمة القياسات بالإضافة إلى تخزينها في سجلات تشكيل المنصة. و حتى نتمكن من التواصل مع TPM تم استخدام برنامج jTSS بإصداره رقم 0.4.1. و لإجراء عملية البرهنة تم تطوير برنامجين؛ أحدهما خادم (Server) و الآخر زبون (Client). يستخدم الخادم برنامج jTSS للتواصل مع TPM و إجراء العمليات اللازمة لإتمام عملية البرهنة؛ كقراءة سجلات تشكيل المنصة و توقيعها من قبل TPM، إلخ. حتى الخادم يستعين ببعض الخدمات التي يقدمها برنامج jTSS؛ كفحص التوافيق و حساب سلاسل الهاش مرة أخرى. علاوة على ذلك، تم استخدام

نظام إدارة قواعد البيانات MySQL في جهاز الزبون لتخزين قيم الهاش في قائمة القياسات المرجعية.

تطوير عملية البرهنة الحبرائية "أ": في هذه العملية يتم حساب دالة الهاش الحبرائية Ch على النظام المبرهن. لهذا الغرض تم تطوير IMA لتمكينه من تنفيذ هذه الدالة بعد قياس المكون بحساب قيمة هاش SHA-1. و حتى نتمكن من تنفيذ Ch تم افتراض توفر جميع العوامل المتغيرة اللازمة لتنفيذ هذه الدالة في مكان ما مع المكون المراد قياسه. بداية تم إنشاء قائمة قياس خاصة، سمينها ML_{CH} ، والتي تحتوي على قيم الهاش الحبرائية للمكونات المُقاسة. إضافة إلى ذلك، قمنا بتعديل قائمة القياسات الأصلية ML لتحتوي على العوامل المتغيرة العامة J, r, e و N (راجع [7])، و اللازمة لحساب Ch . تحديداً، لتخزين هذه العوامل قمنا بتعديل البنية "ima_measure_entry". بعدها، و لقراءة هذه العوامل ثانية من ML ، قمنا بإضافة عملية جديدة في الملف `/security/ima/ima_main.c`، و الذي يُنادى عليه من قبل العمليات التي تقوم بتنفيذ Ch ، تحديداً؛ `ima_do_measure_file` و `ima_do_memory`. لحساب Ch ، قمنا بتطوير عملية جديدة في الملف `ima/ima_main.c`، و الذي يقوم في نفس الوقت من ناحية بتخزين القيمة المحسوبة في ML_{CH} ، و من ناحية أخرى يقوم بتخزين قيمة هاش SHA-1 في القائمة ML . من الجدير بالذكر أن قائمة ML تُستخدم فقط للحسابات الداخلية و لا يتم إرسال إلا قائمة ML_{CH} و التي تحتوي فقط على قيم هاش المجموعات.

تطوير عملية البرهنة الحبرائية "ب": في هذه العملية يتم حساب دالة الهاش الحبرائية على نظام الزبون "المتحدي". لذلك قمنا بتعديل عملية قياس السلامة و إضافة العوامل المتغيرة العامة J, r, e و N (راجع [7]) إلى قائمة ML ، تماماً كما في السابق. إضافة إلى ذلك، قمنا بتعديل حزمة العامة و قيم هاش SHA-1 من ML و اللازمة لحساب Ch . حتى نحسب قيمة هاش Ch على نظام المتحدي، قمنا ببرمجة دالة الهاش الحبرائية المبنية على RSA باستخدام `OpenSSL`، لنتمكن بعدها من مقارنة القيمة الناتجة بالقيم المخزنة في قائمة القياسات المرجعية.

5 النتائج التجريبية

في هذا القسم، نُظهر أنه كيف يمكننا تقليص كمية قيم الهاش اللازمة للحكم على جدارة نظام ما بالثقة، و ذلك باستخدام التقنيات المقترحة في هذه الورقة. بعدها نناقش تكلفة أداء هذه التقنيات.

الندرجية: لقياس درجة الندرجية في عملية البرهنة الحبرائية، قمنا بإنشاء قائمة هاش مرجعية، و ذلك بقياس مكونات نظام فيدورا (Fedora 10) طازج التنصيب، مهملين في نفس الوقت محتوى كل من المجلدين `/var/` و `/usr/share/`، و ذلك لاحتوائهما على معلومات ليست لها علاقة بعمارية النظام. بسبب صعوبة تشكيل مجموعات على مستوى المنتج و ذلك لعدم توفر هذه المعلومة في حزم البرامج، قمنا بتشكيل هذه المجموعات على مستوى هذه الحزم و حسب. أثناء ذلك تم تحديد عدد عشوائي r لكل ملف في هذه الحزم. الجدول 1 يظهر كيف أن تقنياتنا المقترحة تقلص من عدد القياسات المخزنة في قائمة القياسات المرجعية. يظهر الجدول أننا نحتاج لتنصيب

طازج 8,268 قياسا مختلفا يجب تخزينها في RML، و ذلك عند إجراء عملية البرهنة الإعتيادية كما في TCG (هذا يعني قياسا لكل ملف). على النقيض من ذلك، فإننا نحتاج إلى تخزين 981 قياس فقط عند تطبيق تقنيتنا (هذا يعني قياس واحد لكل حزمة، في حالة تشكيل المجموعات على هذا المستوى).

لاختبار كمية الجهود الإدارية المبذولة عند تحديث الحزم، قمنا بتحديث جميع ملفات هذه الحزم إلى إصدارات أحدث. على سبيل المثال، قمنا بتحديث نواة لينكس من الإصدار 2.6.27.5 إلى الإصدار 2.6.27.41، و الحزمة *samba – comon* من الإصدار 3.2.4 إلى الإصدار 3.2.15، و الحزمة *samba* من الإصدار 3.2.4 إلى 3.2.15، و أخيراً الحزمة *httpd* من 2.2.10 إلى 2.2.14. الجدول 1 يظهر أننا عند استخدام البرهنة المقترحة من TCG نكون بحاجة إلى توزيع أو تحديث 1,816 قيمة هاش SHA-1 جديدة لتحديث النواة و تخزينها في قوائم القياسات المرجعية. في حين أننا لسنا بحاجة إلى تحديث أو إرسال أية قيمة جديدة عند تطبيقنا لتقنيتنا المقترحة في هذه الورقة.

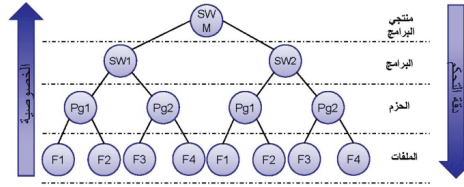
Packages	Measurement	Fresh installation	Update	Total	Statistics	
					% Fresh installation	% Update
kernel	TCG	1,820	1,816	3,636	50.1 %	49.9 %
	CA	1	0	1	100.0 %	0.0 %
samba-comomn	TCG	18	15	33	54.5 %	45.5 %
	CA	1	0	1	100.0 %	0.0 %
samba	TCG	24	26	50	48.0 %	52.0 %
	CA	1	0	1	100.0 %	0.0 %
httpd (Apache)	TCG	71	72	143	49.7 %	50.3 %
	CA	1	0	1	100.0 %	0.0 %
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
All	TCG	8,268	5,448	13,716	60.3 %	39.7 %
	CA	981	37	1,018	96.3 %	3.7 %
	ratio	8.5:1	147:1	13.5:1		10.7:1

الجدول 1: تقليل عدد القياسات في قائمة القياسات المرجعية

إذا لاحظنا الجدول، نجد أننا بحاجة إلى 37 قيمة جديدة فقط (يمثل هذا عدد الحزم الجديدة المضافة إلى النظام) عند تحديث النظام بكامله إذا طبقنا تقنيتنا المقترحة، في حين أننا بحاجة إلى 5,448 قيمة جديدة عند تطبيق عملية البرهنة المقترحة من TCG. من ذلك نستنتج أن تطبيق تقنيتنا يقلص كثيرا من الجهود اللازمة في الاتصالات و إدارة قائمة القياسات المرجعية.

الخصوصية: كذلك خصوصية التشكيل يتم تحسينها بشكل لافت عند تطبيق التقنيات المقترحة هنا، ذلك أن المتحدي يمكنه الحكم على مدى مصداقية و جدارة نظام ما بالثقة دون الحاجة إلى معرفة تفاصيل التشكيل الدقيقة. و لأنه يجب الموازنة بين الخصوصية و درجة دقة التحكم في التفاصيل، يمكننا تطبيق هذه التقنيات لتشكيل مجموعات مختلفة في الكبر و الدقة. بناء على اختيار الجهة الموثوقة، منتج البرامج مثلاً، يمكن تشكيل المجموعات على مستوى الملفات أو الحزم أو البرامج

أو حتى على مستوى المنتج نفسه (انظر إلى الشكل 2). كلما زاد مستوى تقسيم المجموعات، كلما زادت الخصوصية و قل مستوى دقة التحكم، و العكس بالعكس.



الشكل 2: مستويات الخصوصية و دقة التحكم

يجدر بالذكر أن تقنياتنا يمكن دمجها و ربطها بالتقنيات الأخرى المهمة لحل مشكلة خصوصية الهوية، مثل DAA و Privacy CA.

الختم: يمكن حل مشكلة الختم بطريقة مماثلة. نظراً لأن عدة نسخ أو إصدارات من نفس البرنامج لها نفس قيمة الهاش، فإنه عند استخدام عملية الختم، لا يتأثر ربط بيانات معينة بهذه القيمة عند تحديث البرامج و الإصدارات، و ذلك لعدم تغير قيمة الهاش.

تقييم الأداء الزمني: قمنا بإجراء تقييم زمني شامل للتقنيات المقترحة إلا أننا بسبب ضيق المكان هنا نكتفي بوصف هذه التقنيات بأنها عملية للغاية و تكاد لا تسبب تأخيراً زمنياً يُذكر، و نحيل على الورقتين [2،7]. هذا و يمكننا تزويدهم بمزيد من تفاصيل التقييم عند الطلب.

6 الخاتمة

في هذه الورقة قمنا بتسليط الضوء على بعض المشاكل المتعلقة بعملية البرهنة عند بعد المقترحة من TCG، خاصة مشكلتي التدرجية و خصوصية الشكيل. على وجه التحديد، استخدام دالة SHA-1 لقياس سلامة مكونات الأنظمة يؤدي إلى زيادة الجهود المبذولة في إدارة و تنظيم قوائم القياسات المرجعية. علاوة على ذلك، عملية البرهنة هذه تؤدي إلى الإخلال بخصوصية مكونات النظام المبرهن، نظراً للكشف عن تفاصيل تشكيل هذا النظام أثناء تنفيذ هذه العملية. لحل هذه المشاكل اقترحنا استخدام دوال الهاش الحباشية و التواقيع الإلكترونية للمجموعات في عمليتي البرهنة و قياس السلامة للأنظمة المبرهنة. كما أننا أظهرنا سهولة تطبيق مقترحاتنا في أرض الواقع من خلال برمجة تجريبية و إجراء تقييم شامل للأداء الزمني و تقديم نتائج تظهر مدى تحسن تدرجية قوائم القياسات المرجعية.

...هذا والله المستعان و عليه التكلان و له الفضل وحده...

[1]	E. Brickell, J. Camenisch, and L. Chen, "Direct Anonymous Attestation" in Proceedings of the 11th ACM conference on Computer and Communications Security, (Washington DC, USA), pp. 132-145, ACM, 2004.
[2]	R. Sailer, X. Zhang, T. Jaeger, and van Doorn Leendert, "Design and implementation of a TCG-based integrity measurement architecture" in 13th USENIX Security Symposium, (San Diego, CA, USA), USENIX Association, Aug. 2004.
[3]	J. Lyle and A. Martin, "On the feasibility of remote attestation for web services" in 2009 International Conference on Computational Science and Engineering, (Vancouver, BC, Canada), pp. 283-288, 2009.
[4]	A. Sadeghi and C. Stübke, "Property-based attestation for computing platforms: caring about properties, not mechanisms" in Proceedings of the 2004 Workshop on New Security Paradigms, (Nova Scotia, Canada), pp. 67-77, ACM, 2004.
[5]	P. England, "Practical techniques for operating system attestation" in Trusted Computing - Challenges and Applications, pp. 1-13, 2008.
[6]	H. Krawczyk and T. Rabin, "Chameleon hashing and signatures" in Proceedings of the Network and Distributed System Security Symposium, pp. 143-154, The Internet Society, 2000.
[7]	G. Ateniese and B. de Medeiros, "On the key exposure problem in chameleon hashes" in Security in Communication Networks, pp. 165-179, 2005.
[8]	D. Chaum and E. van Heyst, "Group signatures," in Advances in Cryptology - EUROCRYPT 91, pp. 257-265, 1991.
[9]	M. Bellare, D. Micciancio, and B. Warinschi, "Foundations of group signatures: Formal denitions, simplified requirements, and a construction based on general assumptions" in Advances in Cryptology - EUROCRYPT 2003, p. 644, 2003.
[10]	E. Brickell and J. Li, "Enhanced privacy ID: a direct anonymous attestation scheme with enhanced revocation capabilities" in Proceedings of the 2007 ACM Workshop on Privacy in Electronic Society, (Alexandria, Virginia, USA), pp. 21-30, ACM, 2007.
[11]	X. Chen and D. Feng, "A new direct anonymous attestation scheme from bilinear maps" in Young Computer Scientists, International Conference for, (Los Alamitos, CA, USA), pp. 2308-2313, IEEE Computer Society, 2008.
[12]	U. Kühn, M. Selhorst, and C. Stübke, "Realizing property-based attestation and sealing with commonly available hard- and software" in STC '07: Proceedings of the 2007 ACM Workshop on Scalable Trusted Computing, (New York, NY, USA), pp. 50-57, ACM, 2007.
[13]	V. Haldar, D. Chandra, and M. Franz, "Semantic remote attestation: a virtual machine directed approach to trusted computing" in Proceedings of the 3rd conference on Virtual Machine Research And Technology Symposium - Volume 3, (San Jose, California), pp. 3-3, USENIX Association, 2004.
[14]	S. Yoshihama, T. Ebringer, M. Nakamura, S. Munetoh, and H. Maruyama, "WSAttestation: efficient and Fine-Grained remote attestation on web services" in Proceedings of the IEEE International Conference on Web Services, pp. 743-750, IEEE Computer Society, 2005.
[15]	M. Alam, M. Nauman, X. Zhang, T. Ali, and P. C. Hung, "Behavioral attestation for business processes" in Web Services, IEEE International Conference on, (Los Alamitos, CA, USA), pp. 343-350, IEEE Computer Society, 2009.
[16]	D. Boneh, X. Boyen, and H. Shacham, "Short group signatures" in Advances in Cryptology CRYPTO 2004, pp. 41-55, 2004.

Title: Group-Based Attestation: Enhancing Privacy and Management in Remote Attestation

Abstract. One of the central aims of Trusted Computing is to provide the ability to attest that a remote platform is in a certain trustworthy state. While in principle this functionality can be achieved by the remote attestation process as standardized by the Trusted Computing Group, privacy and scalability problems make it difficult to realize in practice: In particular, the use of the SHA-1 hash to measure system components requires maintenance of a large set of hashes of presumably trustworthy software; furthermore, during attestation, the full configuration of the platform is revealed. In this paper we show how chameleon hashes allow to mitigate of these two problems. By using a prototypical implementation we furthermore show that the approach is feasible in practice.

Keywords: Chameleon Hashing, Remote Attestation, Trusted Computing, Privacy, Scalability and Maintainability

المصطلحات

Attestation Identity Keys (AIK)	مفاتيح برهنة الهوية
Attested System/Platform	النظام المبرهن
Chameleon Hash Function	دالة هاش حרבائية
Group Signature	توقيع المجموعات الإلكتروني
Hash	هاش
Hash Function	دالة هاش
Integrity Measurement	قياس السلامة
Integrity Measurement Architecture	معمارية قياس السلامة
Measurement List	قائمة القياسات
Performance	الأداء الزمني
Prototype	برنامج تجريبي
Root of Trust	جذر الثقة
Scalability	التدرجية
Tamper-resistant	مقاوم للتلاعب
Trusted Boot	انطلاق موثوقة
Trusted Computing	الحوسبة الموثوقة

Trusted Computing Group	مجموعة الحوسبة الموثوقة
Trusted Platform Module - TPM	وحدة المنصة الموثوقة

قياس تأثير خصائص الاتصالات في اكتشاف الاختراقات باستعمال الشبكات العصبية

عادل عمار ، حسن صلاي
كلية علوم الحاسب والمعلومات، فريق أمان لأمن المعلومات
جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية
الرياض – السعودية
{Adel.ammar,Hassen_sallay}@amansystem.com

الخلاصة: تعرض هذه الورقة لتطبيق طريقة أصيلة في اختيار الخصائص المؤثرة في نظم اكتشاف الاختراقات بتصنيف الأهمية النسبية للمدخلات اعتماداً على الشبكات العصبية. تقدم الورقة أهم مزايا هذه الطريقة مقارنة ببعض طرق اختيار الخصائص الأخرى وتقيس مدى تعلقها وارتباطها بالنسبة إلى عمارة الشبكة وقاعدة التعلم المستعملة، مما يثبت فاعلية هذه الطريقة ويؤهلها لاستعمالات مستقبلية أوسع في مجال اكتشاف الاختراقات.

الكلمات الجوهرية: نظام اكتشاف الاختراقات، الشبكات العصبية، اختيار المدخلات، قاعدة التعلم KDD

١. مقدمة

يقوم نظام اكتشاف الاختراقات بكشف الأنشطة الضارة في جهاز الحاسب والشبكة. فهو يتعرف ويوقف الهجمات في وقتها، كما يقوم بالتحقيق في آثار الجريمة عند نجاح هجوم عدواني على الشبكة. مع ظهور الشبكات عالية السرعة ظهرت جملة من التحديات البحثية من أهمها سرعة التعامل مع طرود البيانات لاكتشاف السريع وفي الوقت الحقيقي للهجمات الأمنية. من ضمن أهم الطرق في تحسين فعالية الاكتشاف وتلبية قيود الوقت الحقيقي طريقة حذف الخصائص قليلة أو عديمة الفائدة في الاتصالات إذ تؤدي إلى اختزال المشكل بتخفيض درجة تعقيده، مما يعني سرعة أكبر ودقة أعلى في الكشف وبالتالي المساعدة في بناء نظام كشف اختراقات فعال وفي الوقت الحقيقي، بحيث يكون قادراً على الامتثال لقيود الشبكات عالية السرعة. استعملنا في هذا البحث طريقة ترتيب للمدخلات (feature selection) تعتمد على تقنية الشبكات العصبية الاصطناعية (Artificial Neural Networks) لتصنيف خاصيات الاتصال حسب نسبة مساهمتها في كشف الاختراقات.

تنقسم هذه الورقة البحثية إلى أربعة أقسام. يقدم القسم الثاني (بعد المقدمة) الطريقة المستخدمة ويصف أساسها النظري. ثم يفصل القسم الثالث نتائج دراسة حالة معينة للتجربة، أولاً باستخدام شبكة عصبية أحادية المخرج وثانياً باستخدام شبكة متعددة المخارج، ويستعرض مزايا الطريقة المستخدمة بالنسبة إلى طرق أخرى لها نفس الهدف ([موكامالا وسونغ، ٢٠٠٣]، [كافيكيك وآخرون، ٢٠٠٥])، وحدود استعمالاتها. وأخيراً،

يستنتج القسم الرابع خلاصة البحث الحالي ويشير إلى بعض القضايا التي لا تزال مفتوحة للبحث في أعمال لاحقة.

٢. الأساس النظري

إن الطريقة التي نقترحها هنا لتصنيف الأهمية النسبية للمدخلات يستند على تقنية الشبكات العصبية ذات التغذية الأمامية (Feed-forward neural networks). وقد استعمل [وونغ وآخرون، ١٩٩٥] هذه الطريقة في مجال مغاير تماماً، وصاغها [يعقوب وبناني، ١٩٩٧] من الناحية النظرية وأطلقوا عليها اسم HVS. لكن نعتقد أنه لم يسبق استعمال هذه الطريقة في مجال أنظمة كشف الاختراقات. تتلخص طريقة HVS في ما يلي. تُقدّم المتغيرات التي تحتاج إلى ترتيب بصفتها مدخلات للشبكة العصبية (ذات طبقة مخفية واحدة) التي تستعمل للتصنيف (classifier) لتمييز الهجمات والاختراقات عن حركات الاتصال العادية. بعد عملية التدريب على قاعدة بيانات ممثلة للواقع، تقاس المساهمة النسبية لكل مدخل على النحو التالي. في البداية تُحسب مساهمة العصبون رقم j من الطبقة المخفية في نتيجة المخرج (الوحيد) s ، حسب المعادلة أدناه :

$$C_{js} = \frac{|W_{js}|}{\sum_{k=1}^{N_h} |W_{ks}|} \quad (1)$$

حيث يمثل W_{ks} وزن الرابط بين عصبون مخفي k والمخرج s ، ويمثل N_h عدد العصبونات المخفية. بعد ذلك، تُحسب مساهمة العصبون i من طبقة المدخلات في نتيجة المخرج s حسب المعادلة أدناه :

$$C_{is} = \sum_{j=1}^{N_h} C_{js} \cdot \frac{|W_{ij}|}{\sum_{k=i}^{N_i} |W_{kj}|} \quad (2)$$

حيث يمثل W_{ij} وزن الرابط بين العصبون i من طبقة المدخلات والعصبون j من الطبقة المخفية، ويمثل N_i عدد المدخلات. ويكون بذلك مجموع مساهمات المدخلات مساوياً ١. بإمكاننا أن نلاحظ أن المعادلتين (1) و (2) يمكن تعميمهما على شبكة متعددة المخارج ودمجها في معادلة واحدة ذات صيغة استدعاء ذاتي (بحيث تحسب مساهمات العصبونات في الطبقة الأخيرة ثم التي قبلها وهكذا)، وذلك بافتراض أن مساهمة كل عصبون من عصبونات طبقة المخرجات تساوي ١.

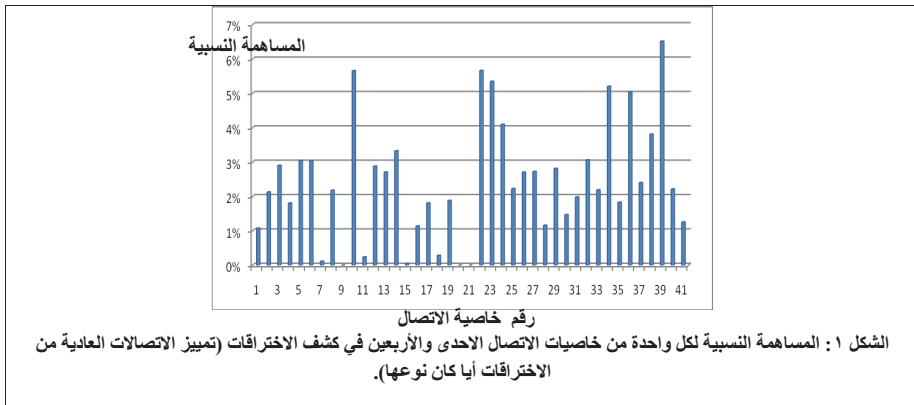
٣. دراسة حالة معينة على قاعدة KDD للبيانات

٣.١ التمييز بين الاتصالات العادية والاختراقات باستعمال شبكة عصبية أحادية المخرج

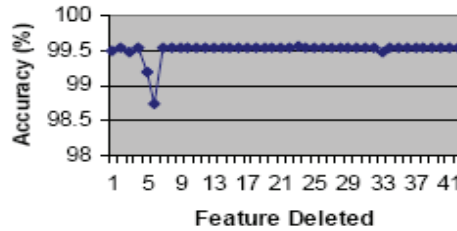
قمنا بتطبيق طريقة HVS الموصوفة سابقا على دراسة حالة معينة، تتمثل في قاعدة بيانات KDD99 [كي دي دي، ١٩٩٩]، وهي الأكثر استخداما لقياس فاعلية أنظمة كشف الاختراقات. بُنيت هذه القاعدة اعتمادا على مشروع قياس كشف الاختراقات DARPA لعام ١٩٩٨، الذي أعدته وأدارته مختبرات MIT Lincoln [لم أي تي لنكلن، ١٩٩٨]. وكان الهدف منه استقرار وتقييم الأعمال البحثية في مجال كشف الاختراقات. لُخصت البيانات في شكل اتصالات شبكية (network connections)، مع تحديد ٤١ خاصية لكل اتصال (انظر الجدول ١).

من أجل قياس الأهمية النسبية لكل واحدة من هذه الخصائص الإحدى والأربعين، قمنا ببناء شبكة عصبونية أحادية المخرج تميز بين الاتصالات العادية والاختراقات. كَوَّنَّا قاعدة بيانات لتدريب الشبكة العصبونية بانتقاء نسبة ١% عشوائيا (أي ٤٩٤٠ اتصال) من قاعدة بيانات KDD الأصلية المخصصة للتدريب والتي تحتوي على 494,021 اتصال. حيث أثبتت التجارب أن قاعدة تدريب بهذا الحجم تكفي للحصول على نسبة كشف صحيح تتجاوز ٩٢% عند التطبيق على قاعدة KDD للتجارب (والتي تحتوي على ٣١١,٠٢٩ اتصال مختلفة عن قاعدة التدريب).

الشكل ١ تبرز النتائج التي حصلنا عليها بعد تطبيق طريقة HVS باستعمال المعادلتين (١) و (٢)، بعد الانتهاء من تدريب الشبكة العصبونية على قاعدة البيانات المنتقاة عشوائيا من قاعدة KDD. يلاحظ أن الخاصيتين رقم ٢٠ و ٢١ لها مساهمة معدومة، وذلك لأن قيمتهما ثابتة في قاعدة KDD للتدريب كلها (كما أشار إلى ذلك [كافيكيك وآخرون، ٢٠٠٥]). كما يمكننا أن نلاحظ الشيء نفسه في الخاصيتين رقم ٩ و ١٥، التي هي كذلك شبه ثابتة. فإن أكثر من ٩٩.٩٩٩% من اتصالات قاعدة KDD للتدريب تساوي فيها هاتان الخاصيتان ٠. والخاصيتان رقم ٧ و ١١ و ١٨ يمكننا كذلك استبعادها من قاعدة التدريب حيث إن مساهماتها ضعيفة جدا. في حين أن أكثر الخصائص أهمية حسب قياسنا هي رقم ١٠ و ٢٢ و ٢٣ و ٣٤ و ٣٦ و ٣٩.

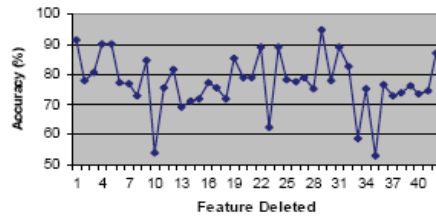


SVM Based Feature Ranking: Normal



الشكل ٢: ترتيب [موكامالا وسونغ، ٢٠٠٣] لأهمية خاصيات الاتصال في قاعدة KDD باستعمال مصنف SVM. الخاصيات الأكثر أهمية هي التي يؤثر حذفها أكثر في دقة الكشف.

Neural Network Feature Ranking



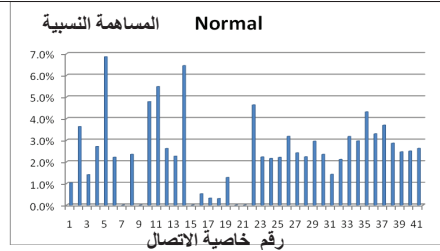
الشكل ٣: ترتيب [موكامالا وسونغ، ٢٠٠٣] لأهمية خاصيات الاتصال في قاعدة KDD باستعمال مصنف يعتمد على الشبكات العصبية.

٣.٢ التمييز بين الاتصالات العادية ومختلف أنواع الاختراقات باستعمال شبكة عصبية متعددة المخارج

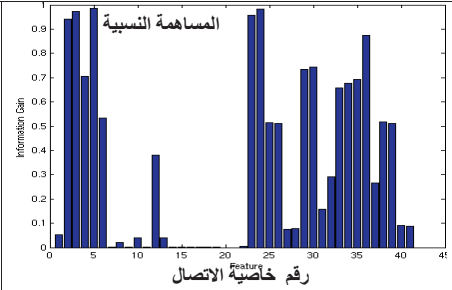
لقد اختبرنا كذلك طريقة HVS على شبكة عصبية متعددة المخارج (تميز بين مختلف أنواع الاختراقات) بحيث يمكن ترتيب خاصيات الاتصال حسب مساهمتها في التعرف على كل واحد من أقسام الاختراقات، كما قام بذلك [موكامالا وسونغ، ٢٠٠٣] بطريقة أخرى. تحتوي قاعدة KDD للبيانات على أربعة أنواع من الاختراقات:

- (١) Probe : المراقبة والتحقيق.
- (٢) DOS : الحرمان من الخدمة أو جحود الخدمة.
- (٣) U2R : الوصول غير المصرح به إلى صلاحيات الإدارة المحلية (local root).
- (٤) R2L : الوصول غير المصرح به من جهاز بعيد.

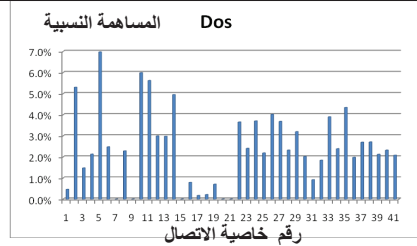
قمنا ببناء شبكة عصبية ذات ٥ مخارج، كل واحد منها يمثل قسما من أقسام الاتصالات (الاتصالات العادية وأقسام الاختراقات الأربعة المذكورة أعلاه). الأشكال من ٥ إلى ٩ تبين المساهمة النسبية لكل واحدة من خاصيات الاتصال في التعرف على كل واحدة من الأقسام الخمسة المذكورة. يتضح لنا أن بعض الخاصيات مثل "عدد بايتات المصدر" مهمة لكل الأقسام، في حين أن بعض الخاصيات الأخرى تقتصر أهميتها على قسم واحد أو بعض الأقسام (الخاصية رقم ١٤ للاتصالات العادية وكذلك لاختراقات R2L، رقم ٢ لاختراقات الProbe، رقم ١٠ لاختراقات الDOS، رقم ١١ لاختراقات الU2R). أما الخاصيات رقم ٩، ١٥، ٢٠، ٢١ فمساهماتها معدومة كما كان منتظرا للسبب الذي شرحناه سابقا. نلاحظ أن الشكل رقم ٥ تظهر فيها فروق مقارنة بالشكل رقم ١. وذلك بسبب أن دالة التكلفة في الشبكتين العصبيتين مختلفة تماما. إذ أن أحدهما مصنف ثنائي والآخر مصنف خماسي.



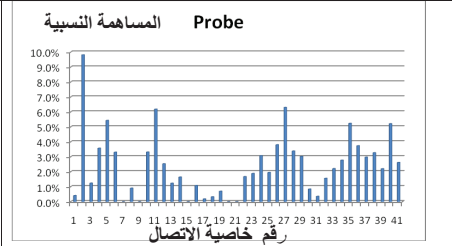
الشكل ٥ : المساهمة النسبية لكل واحدة من خاصيات الاتصال الاحدى والأربعين في التعرف على الاتصالات العادية (أي التي ليس فيها اختراق).



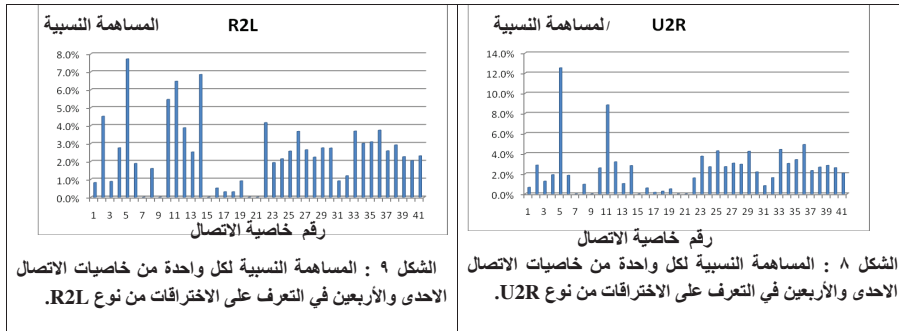
الشكل ٤ : قياس ربح المعلومات لكل واحدة من خاصيات الاتصال في قاعدة KDD مقتبس من [كايبيك والآخرين، ٢٠٠٥].



الشكل ٧ : المساهمة النسبية لكل واحدة من خاصيات الاتصال الاحدى والأربعين في التعرف على الاختراقات من نوع DOS.



الشكل ٦ : المساهمة النسبية لكل واحدة من خاصيات الاتصال الاحدى والأربعين في التعرف على الاختراقات من نوع Probe.



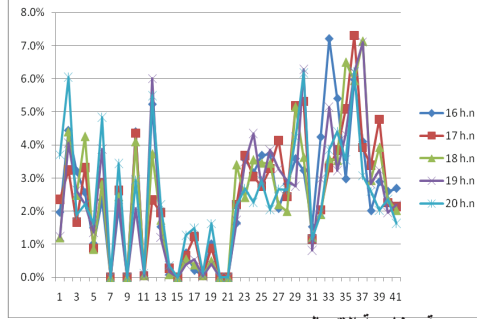
٣.٣ نقد طريقة HVS

النتائج المعروضة آنفا متوافقة مع [كابيكيك والآخرين، ٢٠٠٥] (الشكل ٤) و [موكامالا وسونغ، ٢٠٠٣] (الشكل ٢ والشكل ٣). هذا الأخير استعمل طريقة مختلفة تماما وتتمثل في إلغاء خاصية من الخاصيات ثم قياس تأثيرها على النتيجة وذلك باستعمال الشبكة العصبية أو مصنف SVM (وهو مصنف خطي ثنائي [كورتييس وفابنيك، ١٩٩٥]). تتمتع الطريقة التي استعملناها في هذه مقارنة بطريقة المعتمد على إلغاء الخصائص بعدة مزايا منها:

- (١) طريقة قياس التأثير عن طريق إلغاء الخصائص تحتاج إلى عدد من التدريبات بقدر عدد الخصائص لأجل أنها في كل مرة تلغي خاصية معينة بينما طريقة HVS ترتب كل هذه الخصائص حسب تأثيرها من خلال تدريب واحد دون أن تحتاج إلى عمليات حسابية معقدة، مما يجعلها أسرع بكثير.
- (٢) طريقة HVS تميز بشكل أفضل بين الخصائص من طريقة SVM التي استعملها [موكامالا وسونغ، ٢٠٠٣] إذ أنها تعطي نتائج صحيحة ومتوافقة تماما في قياس معظم الخصائص (انظر الشكل ٢) مع تغير طفيف يمكن أن يعزى إلى المصدر العشوائي.
- (٣) طريقة HVS أكثر دقة في اكتشاف الخصائص غير ذات التأثير المهم. فمثلا الخاصيتان ٢٠ و ٢١ ثابتتان دائما في قاعدة التعلم KDD كما وقع الإشارة إلى ذلك في [كابيكيك والآخرين، ٢٠٠٥] وكذلك الخاصيتان ٩ و ١٥ هما في الغالب ثابتتان أيضا ومع ذلك فإن هذه الخصائص لم يقع ترتيبها في [موكامالا وسونغ، ٢٠٠٣] على أنها الأقل تأثيرا من كل الخصائص الأخرى (انظر شكل ٢ وشكل ٣).

بالإضافة إلى هذا فإن مساهمات المدخلات المحسوبة بطريقة HVS مستقلة بشكل كبير على عمارة الشبكة كما هو مبين في شكل ١٠. هذا الأخير يظهر نتائج تطبيق طريقة HVS على خمس شبكات بعمارات داخلية مختلفة والخمس تجارب أنتجت نتائج متقاربة جدا. وهذا فقط لما يكون عدد المعصوبات المخفية كافيا لحل مسألة التصنيف.

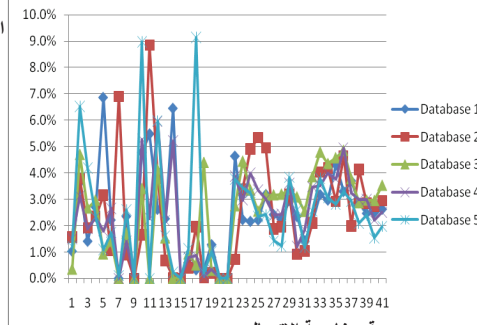
المساهمة النسبية



رقم خاصية الاتصال

الشكل ١٠ : المساهمة النسبية لكل واحدة من خاصيات الاتصال الاحدى والأربعين في التعرف البيانات المنقولة العادية محسوبة لخمس شبكات مختلفة (عدد النيرونات المخفية بين ١٦ إلى ٢٠)

المساهمة النسبية



رقم خاصية الاتصال

الشكل ١١ : المساهمة النسبية لكل واحدة من خاصيات الاتصال الاحدى والأربعين في التعرف البيانات المنقولة العادية محسوبة لخمس قواعد تعلم بنفس الحجم مولدة عشوائيا من قاعدة KDD

وعلى الرغم من أن طريقة HVS لا ترتبط بعمارة الشبكة إلا ارتباطا ضعيفا إلا أنها ترتبط أكثر بمكونات وحجم قاعدة التعلم. قمنا باختبار الطريقة على عدة قواعد تعلم بحجم محدد مستخرجة عشوائيا من قاعدة التعلم الأصلية KDD. يظهر الشكل ١١ نتائج هذا الاختبار. فالارتباطية تبدو أكثر بوضوح من الشكل ١٠ ولكن الانحراف المعياري الأقصى يبقى دون ٠.٠٤ وللخاصيتين رقم ١١ ورقم ١٧ الانحراف الأكبر من ضمن الخصائص الأخرى. هذا لأن هاتين الخاصيتين ثابتة تقريبا في قاعدة التعلم KDD (فقط ٦٣ قيمة مخالفة للصفر للخاصية ١١ و ٢٢ قيمة مخالفة للصفر للخاصية ١٧ من بين ٤٩٤٠٢١ سجل اتصال). وبالتالي فإن بعض الاستخراجات العشوائية قد تحتوي فقط على قيم مساوية لصفر لهذه الخصائص وبالتالي تنتج قيم مساهمة نسبية مساوية لصفر بينما الاستخراجات النسبية الأخرى يمكن أن تمثل بشكل أكبر هذه الخصائص.

١. الخاتمة والأعمال المستقبلية

عرضنا في هذه الورقة طريقة HVS التي يمكن تطبيقها بشكل بسيط وفعال لمعرفة الخصائص الأكثر تأثيرا ومساهمة في اكتشاف الاختراقات. وبهذا يمكن أن نختار الخصائص الأكثر أهمية والاعتماد عليها فقط لتسريع عملية اكتشاف الاختراقات للتكيف مع قيود الوقت الحقيقي. وبالرغم من أن المساهمة النسبية للخصائص يقع حسابها لشبكة معينة فنتائج البحث أظهرت أن هذه الطريقة غير مرتبطة بعمارة الشبكة. من جهة أخرى يتعين قياس مدى ارتباط الطريقة بقاعدة التعلم بقواعد مستخرجة ذات أحجام مختلفة. ولكننا نرى أن هذا الارتباط لا يعتبر حاجزا دون استعمال هذه الطريقة إذ أنه وفي معظم التطبيقات يتم تكوين قاعدة التعلم مرة واحدة فقط. نحتاج أيضا لعمل مقارنة بين طريقة HVS مع طرق الاختيار الأخرى مثل طريقة SVDF أو الطريقة المستعملة في [كافيكيك وآخرون، ٢٠٠٥] والمعتمدة على قياس الربح في المعلومات (انظر الشكل ٤). كما أنه توجد طرق اختبار أخرى تعتمد على الشبكات العصبية [لوراي و قاليناري، ١٩٩٩] سنعمل على اختبارها ومقارنتها مع طريقة HVS وذلك في إطار تطبيقات اكتشاف الاختراقات.

شكر

يشكر المؤلفان مدينة الملك عبد العزيز للعلوم والتقنية لدعمها المشروع المعنون ب"تطوير نظام اكتشاف اختراقات فعال وفي الوقت الحقيقي للشبكات عالية السرعة" إذ أن هذه الورقة تعكس جزءا من النتائج البحثية فيه. والشكر موصولا أيضا للباحثين في فريق أمان للأمن المعلوماتي بوحدة البحوث والتقنية بكلية علوم الحاسب والمعلومات بجامعة الإمام لفناشاتهم المثمرة.

المراجع

- [أي تي لنكن، ١٩٩٨]:
MIT Lincoln Lab, The 1998 intrusion detection off-line evaluation plan..., Information Systems Technology Group. <http://www.ll.mit.edu/IST/ideval/docs/1998/id98-eval-11.txt>, 25 March 1998.
- [كورتنيس وفابنيك، ١٩٩٥]:
Corinna Cortes and V. Vapnik, "Support-Vector Networks", Machine Learning, 20, 1995.
- [كي دي دي، ١٩٩٩]:
Knowledge discovery in databases DARPA archive. Task Description, 1999.
<http://www.kdd.ics.uci.edu/databases/kddcup99/task.html>
- [كافيكيك وآخرون، ٢٠٠٥]:
H. G. Kayacik, A. N. Zincir-Heywood, and M. I. Heywood, "Selecting Features for Intrusion Detection: A Feature Relevance Analysis on KDD 99 Intrusion Detection Datasets," Proceedings of the Third Annual Conference on Privacy, Security and Trust, St. Andrews, Canada, October 2005.
- [لوراي و قاليناري، ١٩٩٩]:
P. Leray and P. Gallinari, "Feature selection with neural networks," Behaviormetrika, vol. 26(1), pp. 145-166, 1999.
- [موكامالا وسونغ، ٢٠٠٣]:
S. Mukkamala and A. H. Sung, "Identifying Significant Features for Network Forensic Analysis Using Artificial Intelligence Techniques". In International Journal on Digital Evidence, vol. 1(4), 2003.
- [وونغ وآخرون، ١٩٩٥]:

P.M. Wong, T.D. Gedeon, and I.J. Taggart, "An Improved Technique in Porosity Prediction: A Neural Network Approach," IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, vol. 33(4), 971-980, 1995.

[يعقوب وبناني ، 1997]:

M. Yacoub and Y. Bennani, "HVS: A Heuristic for Variable Selection in Multilayer Artificial Neural Network Classifier", International Conference on Artificial Neural Networks and Intelligent Engineering, ANNIE '97, Missouri, USA, 1997, pp. 527-532.

ملحق ١ : قائمة الخصائص ونوعها في قاعدة KDD

Feature number	Feature	الخاصية	Type	النوع
1	Duration	المدة	continuous	متواصل
2	Protocol type	البروتوكول	symbolic	رمزي
3	Service	الخدمة	symbolic	رمزي
4	Flag	علم	symbolic	رمزي
5	Source bytes	بيانات المصدر	continuous	متواصل
6	Destination bytes	بيانات المستقبل	continuous	متواصل
7	Land	مجال	symbolic	رمزي
8	Wrong fragment	جزء خرب	continuous	متواصل
9	Urgent	مستعجل	continuous	متواصل
10	Hot	ساخن	continuous	متواصل
11	Number of failed logins	عدد مرات الولوج الفاشلة	continuous	متواصل
12	Logged in	والج	Symbolic	رمزي
13	Number of "compromised" conditions	عدد الشروط المنتهكة	continuous	متواصل
14	Root shell	منفذ الأوامر المدير	continuous	متواصل
15	"su root" command attempted	أمر المستخدم المميز	continuous	متواصل
16	Number of "root" accesses	عدد مرات دخول المدير	continuous	متواصل
17	Number of file creations	عدد صنع الملفات	continuous	متواصل
18	Number of shells prompts	عدد مؤشرات منفذ الأوامر	continuous	متواصل
19	Number of operations on access files	عدد العمليات في الدخول للملفات	continuous	متواصل
20	Number of outbound commands	عدد الوامر خارج الحد	continuous	متواصل
21	Is host login	دخول المضيف	symbolic	رمزي
22	Is guest login	دخول الضيف	symbolic	رمزي
23	Count	عداد	continuous	متواصل
24	Service count	عداد الخدمة	continuous	متواصل
25	Syn error rate	نسبة الخطأ في التزامن	continuous	متواصل
26	Service Syn error rate	نسبة الخطأ في تزامن الخدمة	continuous	متواصل
27	Rej error rate	نسبة الخطأ في الحذف	continuous	متواصل
28	Service Rej error rate	نسبة الخطأ في الحذف للخدمة	continuous	متواصل

29	Same service rate	نسبة الخدمات المتماثلة	continuous	متواصل
30	Different service rate	نسبة الخدمات المختلفة	continuous	متواصل
31	Service different host rate	نسبة الأجهزة المختلفة للخدمة	continuous	متواصل
32	Same destination host count	عدد الأجهزة ذات الوجهة الواحدة	continuous	متواصل
33	Same destination host and service count	عدد الأجهزة والخدمة ذات الوجهة الواحدة	continuous	متواصل
34	Same destination host and service rate	نسبة الأجهزة والخدمة ذات الوجهة الواحدة	continuous	متواصل
35	Different services on current host	الخدمات المختلفة في الجهاز الحالي	continuous	متواصل
36	Connec. to current host with same src port	الاتصالات للمستقبل الحالي من نفس المنفذ	continuous	متواصل
37	Connec. to same service from diff. hosts	الاتصالات لنفس الخدمة من أجهزة مختلفة	continuous	متواصل
38	Connec. to current host with an S0 error	الاتصالات للجهاز الحالي بالخطأ S0	continuous	متواصل
39	Connec. to current host and specified service that have an S0 error	الاتصالات للجهاز الحالي لخدمة معينة بالخطأ S0	continuous	متواصل
40	Connec. to the current host with RST error	الاتصالات للجهاز الحالي بالخطأ RST	continuous	متواصل
41	Connec. to the current host and specified service with RST error	الاتصالات للجهاز الحالي لخدمة معينة بالخطأ RST	continuous	متواصل

Measuring connection features' relevance to attack detection using Neural Networks

Abstract—This article presents the application of an original feature selection method based on neural networks to the problem of intrusion detection. We apply this method to a case study. We show its advantages compared to some existing feature selection approaches, and we measure its dependence to the network architecture and the learning database, in order to prove its efficiency and promising advantages.

Keywords—Intrusion detection; network security; feature selection; KDD dataset; neural networks

قائمة المصطلحات

Neural Network	شبكة عصبية
Feature selection	اختيار المدخلات أو الخصائص
High Speed Network	شبكة عالية السرعة
Feed-forward neural networks (HVS)	الشبكات العصبية ذات التغذية الأمامية.
IDS	نظام اكتشاف الاختراقات
Probe	المراقبة والتحقيق.
DOS	الحرمان من الخدمة أو جحود الخدمة.
U2R	الوصول غير المصرح به إلى صلاحيات الإدارة المحلية
R2L	الوصول غير المصرح به من جهاز بعيد.



الجلسة الثامنة



الدورة السابعة للمؤتمر الدولي لعلوم وهندسة الحاسوب باللغة العربية

خوارزمية توزيع المهام للنظم الموزعة

مصطفى الزباخ

المدرسة الوطنية العليا للمعلوماتيات وتحليل النظم - ENSIAS -

جامعة محمد الخامس السويسي

شارع محمد بن عبد الله الكراكي مدينة العرفان، ص ب 713، أكدال

الرباط، المغرب

البريد الإلكتروني : zbakh@ensias.ma

الخلاصة. في هذه الورقة، عملنا على إتمام و برمجة مشكل توزيع المهام بشكل عام. الجانب النظري لهذا البحث تمت دراسته في بحثنا السابق الذي نشر في [14] و نركز هنا على الجانب التطبيقي. تمت كتابة مشكل توزيع المهام بشكله العام على شكل لعبة غير تعاونية بين عدة لاعبين وقمنا بالبحث عن صيغة توازن ناش لهذه اللعبة. اعتمدنا على هذه الصيغة، قمنا برسم خوارزمية موزعة تمكن من العثور على هذا التوازن. تم تجريب هذه الخوارزمية باستخدام برنامج MPI و نظام من أجهزة الكمبيوتر يضم 10 أجهزة مولدة للمهام و 10 أجهزة للعمل. النتائج النظرية والتطبيقية تشير إلى أن هذه الإستراتيجية تؤدي إلى موازنة جيدة لعمل كل أجهزة الكمبيوتر المستعملة.

الكلمات الجوهرية. توزيع المهام، نظرية اللعب، لعبة غير تعاونية، توازن ناش، الخوارزمية الموزعة، برنامج MPI.

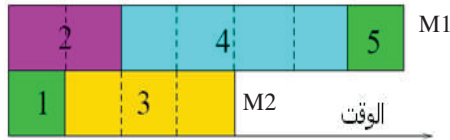
1- مقدمة البحث والأعمال المتعلقة به

في السنوات الأخيرة، أصبحت الأنظمة غير المتجانسة وسيلة رئيسية لدراسة التطبيقات غير المتجانسة، لكن المشكلة الكبيرة التي تواجه الشخص عند برمجة هذه الأنظمة هي مشكلة توزيع المهام على الأجهزة المكونة لها. هناك العديد من الأبحاث التي تطرقت إلى مشكلة موازنة المهام و التوجيه مع مراعاة خصائص وسائل الاتصال المستعملة. نذكر هنا على سبيل المثال العمل المنشور في [3]، عالج حيث الكتاب مشكلة الموازنة على الأنظمة الخطية وفي [4، 7، 8]، قام الكتاب بمعالجة مشكلة التوجيه في شبكة مكونة من عدة روابط متوازية مع نقطة (أي كمبيوتر) تمثل أصل الشبكة ونقطة أخرى تمثل نهايتها. في [5، 12]، قام الكتاب بالبحث عن إستراتيجية التوجيه التي تسمح بموازنة جيدة للمهام في نظام غير متجانس.

يمكن تصور هذا المشكل بصفة عامة على النحو التالي. نفترض وجود مجموعة m من آلات كمبيوتر ومجموعة n من المهام (الأنانية) من أحجام $T_1, T_2, \dots, T_n$. نفترض أن جميع المهام قابلة للقسمة ويمكن معالجة كل واحدة من قبل كافة الأجهزة M_i ($i=1, \dots, m$). نعرف الحمولة L_i للكمبيوتر i كمجموع مدات تنفيذ جميع المهام التي عالجها وتكلفة المهمة بأنها مجموع حمولات الآلات التي ساهمت في تنفيذها. المشكل إذن هو إيجاد طريقة لتوزيع هذه المهام بأقل تكلفة ممكنة.

لتوضيح فكرة توزيع المهام على آلات متجانسة، نأخذ المثال البسيط التالي حيث المهام غير قابلة للتقسيم، وتتم معالجة كل واحدة منها عن طريق جهاز واحد. نأخذ جهازين متطابقين (M_1 و M_2)، وخمس مهام ذات المدة التنفيذية التالية $1U$ ، $2U$ ، $3U$ ، $4U$ ، و $1U$ (= وحدة زمنية). نعتبر أولاً التوزيع الموضح في الشكل 1 و نقدم في الجدول 1 التكلفة المناسبة لكل مهمة.

مهمة 5	مهمة 4	مهمة 3	مهمة 2	مهمة 1	مهمة
7	7	4	7	4	تكلفة



من الواضح أنه يمكن تحسين تكلفت كل مهمة عن طريق اختيار التوزيع التالي:

مهمة 5	مهمة 4	مهمة 3	مهمة 2	مهمة 1	مهمة
5	6	5	6	5	تكلفة



توجد عدة دراسات سابقة تبرهن وجود مثل هذه الطرق لتوزيع المهام على أنظمة متجانسة (متطابقة) من دون تحديد طبيعة هذا التوازن [4، 13]. هدفنا هنا هو تعميم هذه المشكلة على جميع الأنظمة (المتجانسة وغير المتجانسة) من جهة وإيجاد بنية هذا التوزيع من جهة أخرى. لأجل ذلك، صغنا هذه المشكلة على شكل لعبة غير تعاونية لتوزيع المهام.

يتك ون هذا المقال من الفقرات التالية. الفقرة الأولى مخصصة لصياغة هذا المشكل على شكل لعبة غير تعاونية، وفي الفقرة الثالثة نعطي خوارزمية لتوزيع المهام لحل هذا المشكل وفي الفقرة الرابعة، نعطي النتائج التجريبية لهذه الخوارزمية باستخدام برنامج MPI. ننهي المقال بالفقرة الخامسة حيث نختم بخلاصة هذا البحث.

2. صياغة مشكلة توزيع المهام على شكل لعبة غير تعاونية

نفترض وجود مجموعة m من المهام ذات الأحجام T_1 و $T_2 \dots T_n$ وآلات كمبيوتر ذات السرعة $v_1, v_2 \dots v_m$ ، نفترض أن جميع المهام قابلة للتقسمة ويمكن معالجة كل واحدة من قبل كافة الأجهزة. نعرف الحمولة L_i للكمبيوتر i كمجموع مدات تنفيذ جميع المهام التي عالجها وتكلفة مهمة بأنها مجموع حمولات الآلات التي ساهمت في تنفيذها. المشكل إذن هو إيجاد طريقة لتوزيع هذه المهام بأقل تكلفة ممكنة.

نرمز بالعدد الحقيقي s_{ji} المحصور بين 0 و 1 جزء المهمة j التي تمت معالجتها بواسطة آلة i . نسمي الموجه $s_j = (s_{j1}, s_{j2} \dots s_{jm})$ إستراتيجية توزيع المهمة j ($j=1 \dots n$) و $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ إستراتيجية توزيع المهام هذه اللعبة.

من أجل صياغة ومعرفة مدة استجابة كل آلة كمبيوتر، نفترض وجود جدول للمهام يمكن من اعتبار كل آلة كقائمة انتظار $1/M/M$. نفترض أيضا على أن المهام توزع بمعدل μ .

$$t_i(s) = \frac{1}{v_i - \sum_{j=1}^n s_{ji} T_j \mu} . \text{ يمكن ادن أن نعطي مدة استجابة الجهاز على النحو التالي .}$$

$$c_j(s) = \sum_{i=1}^m s_{ji} t_i(s) = \sum_{i=1}^m \frac{s_{ji}}{v_i - \sum_{j=1}^n s_{ji} T_j \mu} \text{ وتكلفة المهام } j \text{ على النحو التالي}$$

هدفنا هو العثور على إستراتيجية $(s_1, s_2, \dots, s_n)$ لتوزيع المهام الذي تقلل من التكلفة $c_j(s)$. نلاحظ على أن قرار كل مهام يعتمد على قرارات المهام الأخرى مما يؤدي إلى إستراتيجية موازنة للتكلفة.

تعريف 1. نسمي إستراتيجية ممكنة كل إستراتيجية تحقق الشروط التالية

$$1. \text{ الإيجابية } s_{ji} \geq 0 \text{ لكل } i=1, \dots, m; j=1, \dots, n$$

$$2. \text{ المحافظة } \sum_{i=1}^m s_{ji} = 1, j=1 \dots n$$

$$3. \text{ الاستقرار } i = 1 \dots m$$

$$\sum_{j=1}^n s_{ji} T_j \mu < v_i$$

تعريف 2. تتكون اللعبة غير التعاونية لتوزيع المهام من مجموعة من اللاعبين ومجموعة من الاستراتيجيات ومجموعة من طرق التمييز بين هاته الاستراتيجيات. اللاعبون هم المهام وكل مهمة لها مجموعة من الاستراتيجيات الممكنة لتوزيع المهام الجزئية s_j ، كما أن المهمة j تفضل الاستراتيجية s على الاستراتيجية s' إذا كان $j.c(s) < j.c(s')$.

حل هذه المشكلة يكمن في إيجاد توازن ناش [1، 2] لهذه اللعبة.

تعريف 3. توازن ناش للعبة توزيع المهام [1,2,5] هو عبارة عن مجموعة استراتيجيات s بحيث لكل مهمة j :

$$s_j \text{ كما يلي معرفة } c_j(s_1, s_2, \dots, s_j, \dots, s_n) = \min_{s_j^A} c_j(s_1, s_2, \dots, s_j^A, \dots, s_n)$$

وبعبارة أخرى، توازن ناش هو عبارة عن مجموعة استراتيجيات بحيث لا يمكن لأي لاعب أن يحسن تكلفته باختيار إستراتيجية أخرى.

يوجد توازن ناش وحيد لهذه اللعبة لأن مدة استجابة كل آلة هي عبارة عن دالة متتالية ومحدبة وتضاعفية [6].

لحل هذه اللعبة اعتبرنا التعريف البديل التالي لتوازن ناش : "يمكن تعريف توازن ناش كملف استراتيجيات بحيث أن إستراتيجية كل مهمة هي أفضل إستراتيجية للمهام الأخرى [5] ". ليكن

معدل المعالجة المتاحة للكمبيوتر j كما تراها المهام j .

$$v_i^j = v_i - \sum_{k=1, k \neq j}^m s_{ki} T_k \mu$$

يمكن ترجمة حساب أفضل إستراتيجية للمهمة j إلى مشكلة التحسين التالية (Responsej_Best):

$$\left\{ \begin{array}{l} \min_{s_j} c_j(s) \\ s_{ji} \in [0, 1], i = 1, \dots, m, \\ \sum_{i=1}^m s_{ji} = 1 \\ \sum_{k=1}^n s_{ki} T_k \mu < v_i^j, i = 1, \dots, m \end{array} \right.$$

نظرية [14]: نفترض على أن الآلات مصنفة حسب معدل معالجتها المتاحة، حل مشكل التحسين أعلاه هو كالتالي :

$$s_{ji} = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{1}{T_j} \left(v_i^j - \sqrt{v_i^j} \frac{\sum_{i=1}^{c_j} v_i^j - T_j \mu}{\sum_{i=1}^{c_j} \sqrt{v_i^j}} \right) & 1 \leq i < c_j \\ 0 & c_j \leq i \leq m \end{array} \right.$$

حيث ان c_j هو أدنى مؤشر يحقق المعادلة :

$$\sqrt{v_{c_j}^j} \leq \frac{\sum_{k=1}^{c_j} v_k^j - T_j \mu}{\sum_{k=1}^{c_j} \sqrt{v_k^j}} .$$

يبين الجدول التالي قيم S_{li} ($i = 1 \dots 4$) إذا ما طبقنا هذه الخوارزمية على مهمة واحدة ذات حجم U 4 على أربعة أجهزة كمبيوتر في الحالتين الآتيتين

v_1^l	v_2^l	v_3^l	v_4^l		s_{11}	s_{12}	s_{13}	s_{14}
10.0	8.0	6.0	4.0		0.627	0.324	0.049	0
10.0	12.0	6.0	2.0		0.352	0.648	0	0

3. خوارزمية توزيع المهام

استنادا إلى الأعمال التي عرضت في المقالات [5،11]، نصف خوارزمية موزعة لحساب توازن ناش. ولنميز هذا التوازن، قمنا بتعميم هذه المشكلة على النحو التالي. بدلا من العمل بمهمة، قمنا بتعميم هذا المفهوم ليصبح مولدا للمهام. وسيكون على كل مولد إنتاج نفس المهام بنفس الحجم.

أما الخوارزمية فتعمل على النحو التالي. مصادر توليد المهام ترسل بصورة متوازية ولعدة مرات المهام. في كل مرة نقيس المعيار $L1$ على الشكل التالي

$$\sum_{j=1}^m |c_j^{(l-1)} - c_j^l|$$

والذي هو مجموع الاختلافات بين تكاليف المصدر j في المرة l والمرة $l-1$. نتوقف عندما نحصل على فرق أقل من عتبة خطأ محددة مسبقا.

حساب توازن ناش يتطلب التنسيق بين المصادر المولدة للمهام (من أجل الحصول على معلومات عن حمولة كل جهاز). نستخدم الرموز التالية بالإضافة إلى تلك المستعملة سابقا.

$j \rightarrow$ رقم المصدر؛

$l \rightarrow$ رقم المرة؛

$s_j^{(i)} \rightarrow$ إستراتيجية المصدر j اتم كم حسابها في المرة l ؛

$c_j^{(i)} \rightarrow$ مدة تنفيذ المصدر j في المرة l ؛

$\varepsilon \rightarrow$ عتبة الخطأ؛

norm $\rightarrow$ المعيار $L1$ في المرة l معرف كما يلي:

$$\sum_{j=1}^n |c_j^{(l-1)} - c_j^l|$$

$\text{send}(j, \text{msg}) \rightarrow$ ارسال الرسالة msg إلى المصدر j ؛

$\text{receive}(j, \text{msg}) \rightarrow$ استقبال الرسالة msg من المصدر j ؛

كل مصدر المهام ينفذ الخوارزمية التالية :

1. تهيئة

$0 \rightarrow s_j^{(0)}$
 $0 \rightarrow c_j^{(0)}$
 $0 \rightarrow l$
 $1 \rightarrow norm$
 $0 \rightarrow sum$
 CONTINUE $\rightarrow state$
 $[(j-2) \bmod n] + 1 \rightarrow left$
 $[j \bmod n] + 1 \rightarrow right$

2. while (1) do

if (j=1) {المصدر 1}
 if (l $\neq$ 0)
 receive(left,(norm,l,state)) ;
 if (norm $\prec$ ε)
 send(right,(norm,l,STOP)) ;
 exit;
 sum $\leftarrow$ 0;
 l $\leftarrow$ l + 1;
else {المصادر الاخرى }
 receive(left,(sum,l,state)) ;
 if (state=STOP)

$$\left(v_i^j \leftarrow v_i - \sum_{k=1, k \neq j}^m s_{ki} T_k \mu \right)$$

 if
 (j $\neq$ n) **receive**(right,(sum,l,STOP))
 exit ;
 for i := 1,...,m **do**
 $s_j^{(l)} \leftarrow \text{Best_Response}_j(v_1^j, \dots, v_m^j, T_j)$;
 Compute of $c_j^{(l)}$;

```

sum ← sum +  $\left| c_j^{(l-1)} - c_j^{(l)} \right|$  ;
send(right,(sum,l,CONTINUE)) ;
endwhile

```

4. نتائج التجارب

1.4- المحيط والبرامج المستعملة

تمت تجربة الخوارزمية باستخدام برنامج MPI الذي يتكون من مجموعة وسائل الاتصال التي تمكن من ربط أجهزة الكمبيوتر المكونة للنظام المستعمل .

هذا النظام مكون من :

- 10 أجهزة كمبيوتر التي تمثل مصادر توليد المهام بنفس الحجم.
- 10 أجهزة كمبيوتر للبرمجة.

2.4- نتيجة التجربة

الخوارزمية تدور عدة مرات قبل أن تؤول إلى الإستراتيجية المطلوبة على النحو التالي. في كل مرة ترسل أجهزة الكمبيوتر المولدة للمهام بارسالها إلى أجهزة الكمبيوتر المعالجة تم تقوم بحساب تكاليفها وكذا المعايير المناسبة.

ولكي نتمكن من حساب المعايير يجب التنسيق بين مختلف المصادر المولدة للمهام على

$$\sum_{j=1}^n \left| c_j^{(l-1)} - c_j^{(l)} \right|$$

النحو التالي : كل مصدر $z < 1$ يقوم بارسال الفارق الى المصدر الذي على يمينه.

والمصدر الأخير يضيف القيمة المستقبلية على قيمته الخاصة ويرسل بدوره القيمة المحصلة الى المصدر الذي على يمينه. تم تعيين المصدر 1 لحساب المجموع النهائي. إذا تجاوز هذا المبلغ عتبة الخطأ ، تنتقل إلى الخطوة أو المرة التالية.

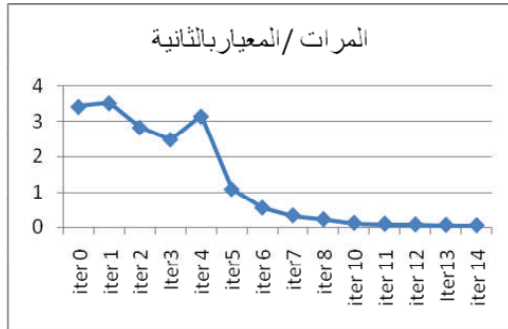
باستعمال عتبة الخطأ 5 %، وجدنا ان الخوارزمية تؤول إلى الإستراتيجية المطلوبة في المرة 16 على النحو التالي :

المهام j	Sj0	Sj1	Sj2	Sj3	Sj4	Sj5	Sj6	Sj7	Sj8	Sj9	المجموع
المهمة 0	0,7	0,3	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,08
المهمة 1	0,45	0,3	0,17	0,1	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	1,08
المهمة 2	0,33	0,26	0,2	0,13	0,07	0,05	0,01	0,01	0,01	0,01	1,08
المهمة 3	0,26	0,22	0,18	0,14	0,1	0,07	0,03	0,03	0,01	0,01	1,05
المهمة 4	0,22	0,19	0,16	0,14	0,11	0,09	0,06	0,04	0,02	0,01	1,04
المهمة 5	0,19	0,17	0,15	0,13	0,11	0,1	0,08	0,06	0,04	0,01	1,04
المهمة 6	0,17	0,15	0,14	0,12	0,11	0,1	0,08	0,07	0,05	0,01	1
المهمة 7	0,16	0,15	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,06	0,01	1,01
المهمة 8	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,09	0,08	0,07	0,01	1
المهمة 9	0,15	0,14	0,13	0,12	0,11	0,1	0,1	0,09	0,08	0,01	1,03

في الرسم الموالي نبين منحى تغيرات المعيار مع تغير عدد مرات تنفيذ

$$\sum_{j=1}^n |c_j^{(l-1)} - c_j^l|$$

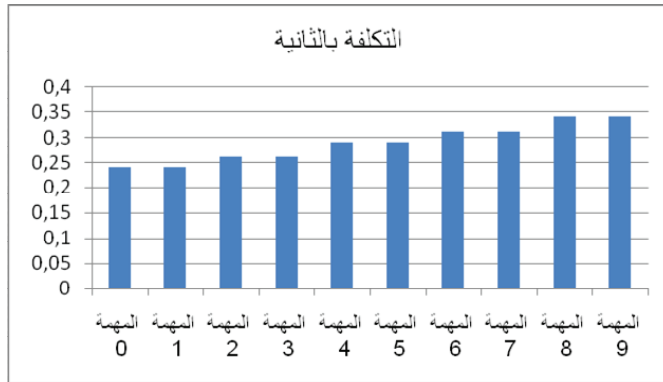
الخوارزمية.



نلاحظ أن المعيار يؤول بطريقة تناقصية نحو عتبة الخطأ (5 %) وفقا لعدد مرات تنفيذ الخوارزمية ويرى هذا بوضوح ابتداء من المرة 8. وفي الجدول والرسم التاليين نمثل تكاليف كل المهام المشاركة في عملية التوزيع.

المهمة 9	المهمة 8	المهمة 7	المهمة 6	المهمة 5	المهمة 4	المهمة 3	المهمة 2	المهمة 1	المهمة 0	المهام z
0,34	0,34	0,31	0,31	0,29	0,29	0,26	0,26	0,24	0,24	Cj

يبين الرسم أن هذه الإستراتيجية تؤدي إلى موازنة شاملة لجميع تكاليف أجهزة الكمبيوتر المشاركة في النظام.



5. الخلاصة

في هذه الورقة، أكملنا وجربنا عملنا المنشور في [14] والمتعلق بمشكل توزيع المهام في الأنظمة الموزعة. تمت دراسة الجزء النظري لهذا العمل في [14] ، وهنا ركزنا على الجانب التطبيقي. تمت كتابة مشكل توزيع المهام بشكله العام على شكل لعبة غير تعاونية بين عدة لاعبين وقمنا بالبحث عن صيغة توازن ناش لهذه اللعبة. وعلى أساس هذه الصيغة، قمنا برسم خوارزمية موزعة تمكن من العثور على هذا التوازن.

لقد تم تجريب هذه الخوارزمية باستخدام برنامج MPI على نظام من أجهزة الكمبيوتر يضم 10 أجهزة مولدة للمهام و 10 أجهزة للعمل. تظهر النتائج التطبيقية أن هذه الطريقة لتوزيع المهام تؤدي إلى موازنة شاملة لجميع تكاليف أجهزة الكمبيوتر المشاركة في النظام التجهيز من أجهزة الكمبيوتر. عدة استعمالات ممكنة لهذا العمل في الإنترنت مثلا وفي الأنظمة الموازية.

6. المراجع

- [1].M. Osborne, "An Introduction to Game Theory", Oxford University Press, New York, 2004
- [2].J. Nash, "Non-cooperative games", Ann. Math. 54 (2) 286-295, 1951
- [3].A. Czumaj, B.Vöcking, "Tight Bounds for Worst-Case Equilibrium", ACM Transactions on Algorithms, Vol. 3, N. 1, Article 4, 2007
- [4].A. Legrand, H. Renard, Y. Robert et F. Vivien "Mapping and load-balancing iterative computations on heterogenous clusters with shared links", IEEE Trans. Parallel and Distributed Systems, Vol. 15, N 6, 546-558, 2004
- [5].D. Grosu, A.T. Chronopoulos, "Noncooperative load balancing in distributed systems", J. of Parallel Distrib. Comput. 65, 1022-1034, 2005
- [6].A. Orda, R. Rom, N. Shimkin, "Competitive routing in multiuser communication networks", IEEE/ACM Trans. Networking 1 (5), 510-521, 1993
- [7].E. Altman, T. Bassar, T. Jimenez, N Shimkin, "Routing in two parallel links: game-theoric distributed algorithms", J. Parallel Distributed Comput. 61 (9), 1367-1381,
- [8].T. Boulouge, E. Altman, O. Pourtallier, "On the convergence to Nash equilibrium in problems of distributed computing", Ann. Oper. Res. 109 (1), 279-291, 2002
- [9].D. G. Luenberger, "Linear and Nonlinear Programming, Addison-Wesly", Reading, MA, 1984
- [10]. T. Basar, G.L. Olsder, "Dynamic noncooperative game Theory", SIAM, Philadelphia, PA, 1998
- [11]. X. Tang, S. T. Shanson, "Optimizing Static job scheduling in a network of heterogeneous computers", in Proceeding of the International Conference on Parallel Processing, 373-382, 2000
- [12]. M. Zbakh, "Equilibrage de Nash dans le problème d'allocation des tâches", in Proceeding of RenPar'2009, Toulouse, France, 2009
- [13]. O. Beaumont, H. Casanova, A. Legrand, Y. Robert, Y. Yang, "Scheduling divisible loads on star and tree networks :results and open problems", in IEEE Trans. Parallel and Distributed System, 16(3): 207-218, 2005
- [14]. M. Zbakh, S. El Hajji, "Tasks Allocation Problem as a non – cooperative game", in Journal of Theoretical and Applied Information Technology, Vol. 16, N°.2, June 2010, pp 110-115
- [15]. W. Gropp, E. Lusk, D. Ashton, D. Buntinas, R. Butler, A. Chan, R. Ross, R. Thakur, B. Toonen, "MPICH2 User's Guide, V1.0.3", November 2005

7. جدول الألفاظ

انجليزي	عربي
Task	المهام
Distributed Algorithm	الخوارزمية الموزعة
Environment MPI	برنامج MPI
Tasks allocation	توزيع المهام
Game theory	نظرية اللعب
Non-cooperative game	لعبة غير تعاونية
Nash equilibrium	توازن ناش

8. الخلاصة باللغة الانجليزية

Title : A Tasks Allocation Algorithm for Distributed Systems

Abstract :

In this paper, we complete and implement the general problem of tasks allocation. The theoretical part of this work is developed in our latest work [14] and here we focus our research in the practical aspect.

This problem is modelled as non-cooperative game between several players. For this game, we give the Nash equilibrium structure and on the basis of this structure, we draw a distributed tasks allocation algorithm that can find this equilibrium. We implement this algorithm by using the MPI environment and a system of 10 computer sources that generates the tasks and 10 processing computers. The theoretical and numerical results show that the tasks allocation strategy found leads to a good load balancing of computers.

Keywords: Tasks allocation, Game theory, Non-cooperative game, Nash equilibrium, Distributed algorithm, MPI environment.

تقنية جديدة لإصلاح
أعطال الذاكرة المدمجة
في النظام الرقمي المبني
على الرقاقة الحاسوبية



تقنية جديدة لإصلاح أعطال الذاكرة المدمجة في النظام الرقمي المبني على الرقاقة الحاسوبية

د. واجب غريبي¹، غريب غريبي²

^{2,1} العنوان البريدي: قسم هندسة الكمبيوتر والشبكات، كلية علوم الحاسب الآلي ونظم المعلومات، جامعة جازان، صندوق بريد 4425 الروابي، الوحدة 1، جازان 82822-6694، المملكة العربية السعودية

gharibw@hotmail.com gharibiw2002@yahoo.com

الملخص

يتم في هذا البحث عرض تقنية جديدة تستخدم جبر المنطق في إصلاح أعطال الذاكرة الحاسوبية المدمجة في الرقاقة الالكترونية عن طريق تغطية الخلايا الخطأ (المعطوبة) بواسطة الخلايا المحجوزة.

وتختلف هذه الطريقة عن غيرها من الطرق في أنها تساعد في إصلاح أعطال الذاكرة بشكل تلقائي أثناء عملية التشغيل من خلال تنفيذ بعض البرمجيات المحفوظة في الرقاقة الالكترونية.

إن لبحتنا هذا تطبيقات عديدة من خلال مساهمته في رفع مستوى فعالية النواكر المدمجة المستخدمة في جميع الأجهزة الالكترونية الحديثة والتي تعتبر أهم متطلبات ومميزات العصر الحالي.

الكلمات الجوهرية: النظام المبني على الرقاقة الحاسوبية، الذاكرة المدمجة، تشخيص الذاكرة، تصحيح الأعطال.

مشكلة الدراسة:

تكمن مشكلة الدراسة في أن خلايا الذاكرة الحاسوبية يمكن أن تتعرض للكثير من الأعطال أثناء عملية الإنتاج والتشغيل؛ إن أغلب هذه الأعطال تكمن في فقدان محتويات الخلية أو ضياع عناوينها، بالإضافة إلى بطء سرعة الوصول إلى البيانات المخزنة في هذه الخلايا.

أهمية الدراسة:

في هذه الدراسة تم استعراض ومناقشة أهم تقنيات تشخيص وإصلاح أعطال الذاكرة المستخدمة في العديد من البرمجيات والنظم الحاسوبية المختلفة التي تعتمد بشكل أساسي على جبر المنطق. و يستمد بحثنا هذا أهميته من خلال مناقشته وتشخيصه لأعطال الذاكرة المدمجة في النظام الرقمي المبني على الرقاقة الحاسوبية، لما لهذه الرقاقة من أهمية كبيرة لصغر حجمها، ورخص ثمنها، واستهلاكها القليل من الطاقة الكهربائية، مما جعلها البنية الأساسية لبناء الحواسيب المحمولة وأجهزة الهاتف النقالة.

هدف الدراسة:

تهدف هذه الدراسة إلى إيجاد تقنية جديدة وخوارزمية فعالة لإصلاح أعطال الذاكرة المدمجة في النظام الرقمي المبني على الرقاقة الحاسوبية، بطريقة تعتمد على جبر المنطق لإيجاد مصفوفة التغطية والعمل على تصحيح أخطاء الذاكرة المدمجة آنياً.

منهجية الدراسة:

لقد اتبعنا في هذا البحث منهج التحليل الوصفي للبيانات والمعلومات التي تم قراءتها وجمعها من بحوث سابقة ومراجع تم سردها في نهاية البحث عن الذاكرة المدمجة وأعطالها وطرق إصلاحها. بالإضافة إلى ذلك، فإننا قمنا بدراسة وتشخيص أعطال الذاكرة ومن ثم أوجدنا آلية جديدة تعتمد على جبر المنطق في إيجاد مصفوفة التغطية والعمل على تصحيح أخطاء الذاكرة المدمجة آنياً.

1 مقدمة:

إن جميع البرمجيات والنظم الحاسوبية تستخدم أساسيات جبر المنطق في العمليات البرمجية وتطبيقاتها وذلك من خلال توصيفها بواسطة الملايين من البوابات المنطقية المتكافئة وبشكل خاص تلك البرمجيات المدمجة في الرقاقة الالكترونية والمحفوطة من قبل الشركات المصنعة.

علاوة على ذلك، فإن نسبة الأجهزة التي بدأت تستخدم تلك التقنية أصبحت في تزايد مستمر وذلك لأنها تعتمد على الرقائق الالكترونية الرخيصة الثمن بدلاً من المعالجات ذات التكلفة العالية، بالإضافة إلى ذلك فإنها تستهلك القليل من الطاقة الكهربائية، كما أنها صغيرة الحجم بوثوقية حقيقية وكفاءة نوعية عالية والتي شكلت البنية الأساسية للحواسيب المحمولة والموبايل الحاسوبي.

إن معالجة أخطاء الذاكرة الحاسوبية وإصلاحها يساعد على تصغير مساحة الرقاقة الحاسوبية وبخاصة مع هذا النمو المتزايد لصناعة الذواكر المدمجة في الرقاقة الحاسوبية [1].

إن المشكلة الأساسية في الذاكرة، هي أن بعض خلاياها يمكن أن تتعطل أثناء عملية الإنتاج والتشغيل بحيث يتعذر إصلاحها. لذا، فإن مثل هذه الحالة التقنية للذاكرة (موضوع بحثنا هذا) والذي يهدف إلى وضع آلية جديدة تعتمد على جبر المنطق وتعمل على تشخيص أعطال الذاكرة المدمجة ثم إصلاحها أنياً [2، 3].

نناقش في هذا البحث التقنيات المتطورة لبناء النظام المبني على الرقاقة الحاسوبية، ثم نقوم بصياغة طريقة جديدة تستخدم جبر المنطق في إيجاد مصفوفة التغطية و تعمل على تصحيح أخطاء الذاكرة المدمجة أنياً.

يتألف بحثنا من مقدمة وأربعة فصول وخاتمة والمراجع المقتبسة. حيث نناقش في الفصل الأول أهم الأعمال السابقة مع ذكر إيجابياتها وسلبياتها، وفي الفصل الثاني نشرح طرق تشخيص أعطال الذاكرة وإصلاحها. ونستعرض في الفصل الثالث خوارزميتنا "خوارزمية إصلاح أعطال الذاكرة"، وتأتي النتائج والمناقشة في الفصل الرابع. وأخيراً، نتوج بحثنا بخاتمة و ثم المراجع المقتبسة.

2- الأعمال السابقة

هنالك العديد من البحوث والدراسات في مجال إصلاح أعطال الذاكرة، ولقد اطلعنا على الكثير من الطرق والخوارزميات المتبعة في إيجاد طرق مبتكرة وفعالة لإصلاح أعطال الذاكرة بفعالية أكبر وكلفة أقل (انظر المراجع [4 - 6]). ونذكر هنا على سبيل المثال أهم هذه الطرق وإيجابيات وسلبيات كل منها كما يلي:

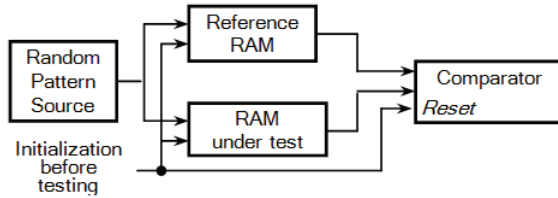
قام الباحثون في [4] بتحليل وإجراء التجارب على خوارزمية مارش "March Algorithm"، حيث تم وضع هذه الخوارزمية لإيجاد وتصحيح أخطاء معينة في الذاكرة. إن العيب الأكبر في

هذه الخوارزمية أنها محدودة وتعمل على مجموعة من الأخطاء معرفة ومحددة مسبقاً، وبالتالي فإن هذه الخوارزمية غير ملائمة للإصلاح الذاتي للذاكرة.

كما عمل الباحثون في [5] على دراسة خوارزمية "Pseudorandom" والتي تستخدم لاكتشاف الأخطاء في ذاكرة الوصول العشوائي "RAM"؛ حيث تعتمد هذه الخوارزمية على إنشاء اختبار عشوائي مكرر يبدأ من قيمة افتراضية لعناوين خلايا الذاكرة. إن هذه الخوارزمية يصعب تطبيقها واستعمال العمليات الحسابية عليها نظراً لأنها تستخدم عناوين عشوائية كما ذكرنا سابقاً (انظر الشكل 1).

أما في [6] فقد استخدم الباحث "غونادي بوديان" طريقة "Pseudo-ring test" لإجراء العديد من الاختبارات على الذاكر الصغيرة المدمجة. إن هذه الطريقة تغطي قدراً كبيراً من أخطاء الذاكرة وتقل النفقات. ولكن هذه الطريقة مخصصة للذاكر الصغيرة مثل المسجل "Register"، وخطوط أنابيب المكسبات "pipelined stacks".

علاوة على ذلك، فإن هنالك العديد من البحوث في هذا المجال (انظر [7،8]) ولكنها اقتصرت على حل جزئي لمشاكل تصحيح أعطال الذاكرة. إلا أننا في هذا البحث نقدم خوارزمية شاملة لحل جميع مشاكل وأعطال الذاكرة أنياً بالاعتماد على أسس جبر المنطق.



الشكل 1. مخطط فحص ذاكرة الوصول العشوائي "RAM"

3 تشخيص أعطال الذاكرة وإصلاحها

إن عملية تشخيص أعطال الذاكرة وإصلاحها تتم وفق الخطوات التالية:

- 1- تشخيص أعطال (أخطاء) الذاكرة عن طريق تحليل المعلومات الناتجة أثناء مرحلة الاختبار واستخدام طرق خاصة للبحث عن الأخطاء المدمجة بالاعتماد على التوحيد القياسي IEEE 1500 المعمول به في جمعية مهندسي الكهرباء و الإلكترونيات العالمية والتي تعتبر المرجع الأساسي للكثير من المواضيع التقنية [9، 10، 11].

2- إصلاح وحدات الأنساق الوظيفية للذاكرة بعد تأكيد النتيجة السلبية للاختبار مع تحديد مكان الخطأ الناتج في مرحلة التشخيص ونوعه.

3- قياس الخصائص العامة ومعاملات أداء عمل الذاكرة بالاعتماد على الإمكانيات والتسهيلات المبنية على الرقاقة.

4- قياس سماحية الخطأ ووثوقية عمل الجهاز من خلال تصنيف الكتل الوظيفية حسب نوعها ثم تجميعها وإزالة الفائض منها، ومن ثم إصلاح النظام المبنى على الرقاقة الحاسوبية أنياً.

نقدم في بحثنا هذا طريقة نموذجية لتشخيص أعطال الذاكرة وإصلاحها عن طريق استخدام الخلايا الاحتياطية والتي تمكنا من تغطية مجموعة الخلايا الخطأ بالعدد الأصغري الممكن من الخلايا الاحتياطية. و نعرض فيما يلي عملية بناء الحلول وإيجادها لإثبات هذه الطريقة وتحقيقها. في أثناء عملية التشغيل والإصلاح لجميع أنواع الذاكرة فإنه يجب مراعاة تقنية بنائها. ومن أجل هذا فإننا نفضل تنفيذ الإجراءات الثلاثة التالية:

الإجراء الأول: اختبار الذاكرة المكون من اختبار أنساق المدخلات الموجهة للتعرف على أنواع الأخطاء الخاصة [12].

الإجراء الثاني: في حالة ظهور الخطأ علينا أن ننفذ إجراء أساسياً آخر يمكننا من تحديد مكان الخطأ ونوعه وسببه.

الإجراء الثالث: بعد اكتشاف مجموعة الأعطال وتحديد أمكنتها في الذاكرة، فإنه من الضروري تفعيل عملية الإصلاح وذلك باستبدال العناصر الخطأ بتلك الاحتياطية الموجودة أصلاً على الرقاقة. وبذلك نكون قد قمنا بعملية إصلاح للذاكرة بدون أي تكلفة مادية وفي وقت قياسي.

ومن أجل القيام بعملية الإصلاح هذه فإنه لابد من تطبيق تقنية خاصة لإصلاح أعطال الذاكرة تمكنا من استبدال الخلايا التي تحوي الخطأ بأخرى سليمة من الخلايا الاحتياطية الموجودة على الرقاقة.

وكقاعدة فإن الإجراء الاختباري ينفذ بواسطة كتلة الذاكرة التي تحوي ضمناً إجراء الاختبار الذاتي المدمج (BIST) في الرقاقة والذي يعمل كمولد لسير عملية الاختبار لأنساق الذاكرة [13]- [15]. علاوة عن ذلك، فإنه يحلل التفاعلات لمخرجات الذاكرة على الأنساق المختبرة. وعملية تحليل الإصلاح هذه تتألف من تعريف التغطية الممكنة لعناصر خلايا الذاكرة الخطأ عن طريق استخدام المكونات الاحتياطية الممكنة والمتوفرة على الذاكرة.

إن الوحدة النسقية للذاكرة تتألف من جزأين:

(أ) الخلايا الوظيفية والتي تستخدم لتخزين البيانات والبرامج وذلك عند استخدام الوحدة النسقية في النظام المبني على الرقاقة الحاسوبية.

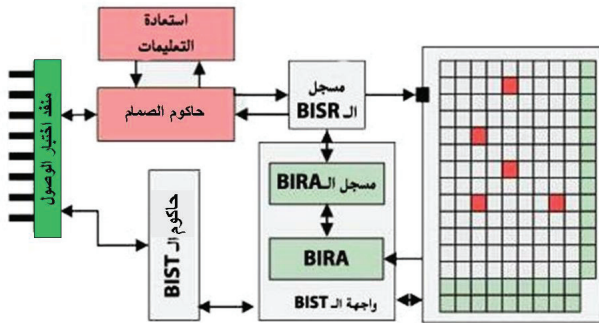
(ب) الخلايا الاحتياطية أو الخلايا المحجوزة المصممة لإصلاح أخطاء الذاكرة في حالة فشل الخلايا الوظيفية.

وإن الخلايا الوظيفية والاحتياطية مكونة على شكل صفوف وأعمدة، وعندما يتم اكتشاف الخطأ فإن عموداً ما (أو صفاً ما) والذي يحوي عنصر الخطأ يتم فصله عن التركيبية الوظيفية لخلايا الذاكرة ويتم ربط عمود أو (صف) من الخلايا المحجوزة الموجودة على الرقاقة الحاسوبية مكانه. وبما أن عدد الخلايا المحجوزة محدود فإنه لا بد من تطبيق تقنية خاصة فعالة لتحديد مكان الخطأ ومصدر إصلاحه وبالتالي إصلاح جميع عناصر الذاكرة الخطأ عن طريق تغطيتها بأقل عدد ممكن من عناصر الصفوف أو الأعمدة المحجوزة.

إن عملية إصلاح الذاكرة تتم عن طريق فصل عناصر الخطأ (الصفوف أو الأعمدة من المصفوفة) بطريقة الصهر الكهربائي للروابط المعدنية وتوصيل تلك المحجوزة بدلاً منها. وإن عملية الصهر هذه يمكن أن تتم كهربائياً أو ليزرياً. إلا أن معدات الصهر الكهربائي تملك أبعاداً أصغر من مثيلاتها الليزرية وبالتالي فهي الأكثر استخداماً [16 - 18].

4 - خوارزمية إصلاح أعطال الذاكرة

إن خوارزمية بناء منظومة إصلاح برمجية وتحليلية للذاكرة المدمجة في الرقاقة الحاسوبية والموضحة في الشكل (2) تتم وفق الخطوات التالية [19]:



الشكل 2. مخطط تحليل أعطال الذاكرة وإصلاحها على الرقاقة الحاسوبية

الخطوة الأولى: تفعيل الرقاقة، وذلك عن طريق تسجيل قيماً صفرية في مسجل الإصلاح الذاتي المدمج (BISR).

الخطوة الثانية: تشغيل حاكم الاختبار الذاتي المدمج (BIST) في الرقاقة، حيث يتم اختبار الذاكرة وتجميع المعلومات عن الخلايا الخطأ وتكديسها في مسجل تحليل الإصلاح المدمج (BIRA).

الخطوة الثالثة: نقل المعلومات من الخلايا الخطأ إلى مسجل الإصلاح الذاتي المدمج من أجل الالتحام المتتالي.

الخطوة الرابعة: تفحص مسجلات تحليل الإصلاح المدمج والتي تحوي حالات التصحيح، بواسطة حاكم الاختبار الذاتي المدمج وذلك من أجل الحصول على معلومات عن الأخطاء.

الخطوة الخامسة: تشغيل حاكم قاطع التيار الكهربائي في وضع التسجيل و نقل تعليمات الإصلاح من مسجل الإصلاح الذاتي المدمج إليه.

الخطوة السادسة: إعادة تشغيل الرقاقة. حيث يتم تسجيل معلومات قاطع التيار الكهربائي في مسجل الإصلاح الذاتي المدمج مع استبدال الصفوف والأعمدة الخطأ بأخرى محجوزة.

الخطوة السابعة: تشغيل حاكم الاختبار الذاتي المدمج من أجل إعادة اختبار الذاكرة والتأكد من أن عملية الإصلاح قد تمت بنجاح.

5 - النتائج والمناقشة

نناقش ونحلل في هذا الفصل خوارزميتنا (خوارزمية إصلاح أعطال الذاكرة):

إن دالة الهدف Z لتقنيتنا هذه يمكن تعريفها بالاعتماد على التقدم الحديث الحاصل في مجال إصلاح الذاكرة المباشر، كما يلي:

المطلوب إيجاد الكلفة الأصغر لعمليّة الإصلاح (كلفة المعدات) للوحدة النسقية للذاكرة $M = M_{ij}$ في أثناء عملية تشغيل النظام المبني على الرقاقة الحاسوبية وذلك باستخدام تقنيات جبر المنطق في تصغير مجموعة الخلايا الخطأ وتغطيتها بنسق من العناصر المحجوزة ضمن مجموعة N من القيود المفروضة على عدد من الواحدات:

$$Z = \min_i [Q_i(F)]_{|Q_i(F) \leq N_{\max} = N_r + N_c}$$

حيث أن $Q_i(F)$ هي كلفة الحل رقم i للوحدة النسقية للذاكرة $M = M_{ij}$ والذي يصحح باعتماد مجموعة جزئية أصغرية من الصفوف والأعمدة $R = \{R_r, R_c\}$ المحجوزة والموجودة في الرقاقة والتي تغطي المجموعة F من خلايا الذاكرة الخطأ

$$R \cap F = F, Z^* = \max |F_i|, F_i \in F \leftarrow \forall R_j$$

ونعرض فيما يلي طريقة التغطية الأصغرية لمصفوفة ذاكرة تحتوي على خمس من الخلايا الخطأ مع سطرين محجوزين وعمود واحد محجوز (انظر الشكل3).

إن كل قسم محجوز (صفا كان أو عموداً) يمكن أن يصحح n (حيث n عدد طبعي) من الخلايا الخطأ والمنتمية إلى صف ما أو عمود ما [20-22]. وتكمن الفكرة الرئيسية لهذه التقنية في إيجاد الاستبدال الأمثل للعناصر الخطأ في مصفوفة الذاكرة بواسطة حل مسألة التغطية للأعمدة الخطأ باستخدام الصف المحجوز.

ومن أجل توضيح هذه الطريقة، فإنه من المفترض بحسب العادة- استخدام مصفوفة التغطية للأخطاء المعطاة F بواسطة عدد X من الصفوف (التي يمكن أن تكون أنساق اختبار أو صفوفاً محجوزة) وعندها يكون:

$$|F| \geq |X| = \{F_1, F_2, F_3, F_4, F_5, F_6, F_7, F_8\} \geq \{X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6\}.$$

ولنعرف الآن المصفوفة Y بالشكل:

$$(F_j \cap X_i \neq \emptyset \rightarrow Y_{ij} = 1) \& (F_j \cap X_i = \emptyset \rightarrow Y_{ij} = 0)$$

$$Y =$$

$X_i \backslash F_j$	F_1	F_2	F_3	F_4	F_5	F_6	F_7	F_8
X_1	1					1		
X_2		1	1				1	1
X_3					1			1
X_4	1			1				
X_5			1	1				
X_6					1	1		

إن الحل الدقيق لمسألة التغطية للأخطاء بواسطة أصغر عدد ممكن من صفوف الذاكرة المحجوزة يعتمد على تكوين تشكيل الدالة المنطقية بواسطة مركبات من الواحدات الموافقة لأعمدة المصفوفة:

$$Y = (X_1 \vee X_4) \& (X_2) \& (X_2 \vee X_5) \& (X_4 \vee X_5) \& \\ \& (X_3 \vee X_6) \& (X_1 \vee X_6) \& (X_2) \& (X_2 \vee X_3).$$

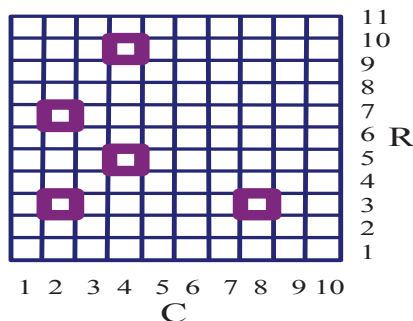
وفي هذه الحالة فإن هنالك ترميزاً تحليلياً في شكل الدالة البوليانية ممثلاً على شكل ارتباط طبيعي (CNF) وهو الشكل الأساسي والذي يحوي مجموعة كاملة من حلول مسألة التغطية والتي تحل عن طريق إيجاد شكل الانفصال الطبيعي (DNF) [23، 24].

إن إجراء تحويل الانتقال من شكل الارتباط الطبيعي (CNF) إلى شكل الانفصال الطبيعي (DNF) يتم عن طريق جداء كل الحدود المشكلة له، وكنتيجة لهذه التحويلات المتكافئة والمشكلة باستخدام قواعد جبر المنطق فإننا نحصل على الدالة البوليانية التي تحتوي على كل التغطيات الممكنة للأخطاء والمعرفة بواسطة أربعة تركيبات سطرية مختلفة:

$$Y = (X_1 X_2 \vee X_2 X_4) (X_2 X_4 \vee X_4 X_5 \vee X_5 X_5 \vee X_2 X_5) \& \\ \& (X_1 X_3 \vee X_1 X_6 \vee X_6 X_6 \vee X_3 X_6) (X_2 X_2 \vee X_2 X_3) \\ = (X_1 X_2 X_3 X_4 \vee X_2 X_4 X_6 \vee X_1 X_2 X_3 X_5 \vee X_1 X_2 X_5 X_6).$$

وبالتالي، فإن الحل الأصغري لمسألة التغطية يحتوي على ثلاثة صفوف محجوزة والتي يمكن أن تغطي 8 أخطاء في مصفوفة الذاكرة: $Y = X_2 X_4 X_6$.

كما أنه عند استخدام هذه الطريقة المقترحة في عملية إصلاح الذاكرة، فإنه لابد أن نأخذ بعين الاعتبار أن كل خطأ F_i في مصفوفة الذاكرة ينتمي إلى صف و عمود بآن واحد. وبالتالي فإن تطبيق الانتقال من نموذج خطأ تبولوجي إلى مصفوفة التغطية يتألف من تحديد عدد الصفوف والأعمدة، والتي شوهدت بواسطة الخطأ المعطى، لكل خطأ (انظر الشكل 3: حيث هنالك 5 خلايا خطأ، والتي تغطي بواسطة 3 أعمدة و 4 أسطر)



الشكل 3. مصفوفة الذاكرة مع خلايا الخطأ

وإن هذه الطريقة للإصلاح الأمثل لأخطاء الذاكرة تختلف عن الطرق الأخرى باستخدامها مبادئ جبر المنطق وأساسه لتغطية الأخطاء بواسطة تركيب مصفوفي للذاكرة ببعدين والتي تمكننا من إيجاد جميع الحلول الأصغرية للإصلاحات المتتالية آنياً، والمعتمدة على استخدام الخلايا الاحتياطية والتي على شكل صفوف أو أعمدة لمصفوفة الذاكرة [25].

6- الخاتمة

إن ذاكرة النظام المدمج في الرقاقة الحاسوبية سوف تحتل في المستقبل أكثر من 90% من مساحة الرقاقة والموجهة لاستخدام البرمجيات المرنة (البسيطة والرخيصة). كما أن تطوير الطرق والنماذج من أجل التشخيص السريع والدقيق، فضلاً عن تطوير تقنيات إصلاح الخلايا الخطأ بواسطة الخدمات المدمجة في الرقاقة في الوقت الحقيقي وفي كل مراحل التصميم والإنتاج هي مسائل ملحة وهامة. وإن استخدام هذه الخوارزمية في عملية تصحيح أخطاء الذاكرة سيسمح لنا بإنقاص عدد دبابيس الرقاقة الحاسوبية والذي بالنتيجة يقلص زمن الإنتاج والتسويق وبالتالي التكاليف الخدمية. كما أن عملية إصلاح الأخطاء على الرقاقة الحاسوبية يمكن اعتمادها وتطبيقها على جميع المكونات المادية للحاسب الآلي والتي يمكن عنونها مثل الذاكرة ومصفوفة المعالجات وكذلك العديد من الأجهزة الإلكترونية. فضلاً عن ذلك، فإن إصلاح الأخطاء لأجهزة ذات بنية مختلفة يمكن أن يتم إذا كان تصميمها يسمح بعنونة مكوناتها المادية. إن العنونة والتناسق والتنظيم للمكونات تحول أي نظام رقمي إلى نظام موثوق، مضبوط، دقيق، متين وقابل للإصلاح.

وإن بحثنا المستقبلي سوف يتركز على تطوير بنية تركيبية قابلة لاختبار النظام والمعدات BIRA لإصلاح الذاكرة المدمجة عند ظهور الأخطاء في كل مراحل الإنتاج والتشغيل. وأخيراً، وحسب معطيات أحدث البحوث العلمية في هذا المجال، فإن المسألة الرئيسية الأساسية الملحة لإصلاح الرقاقة الحاسوبية في النظام المدمج هي تطوير تقنيات مدمجة وطرق منطقية والتي سوف لن تحتل أكثر من 10% من مساحة الرقاقة الحاسوبية.

المراجع العلمية المقتبسة:

- [1] V. I. Hahanov, I. V. Hahanova, "VHDL + Verilog = Synthesis for minutes", Kharkov: SMIT, 2007, 264 p.
- [2] Z. Yervant, "What is Infrastructure IP?", IEEE Design & Test of Computers, May-June 2002, pp. 5-7.
- [3] Z. Yervant, G. Dmytris, "Guest editors' introduction: Design for Yield and reliability", IEEE Design & Test of Computers, May-June 2004, pp. 177-182.

- [4] D. S. Suk, and S. M. Reddy, "A March Test for Functional Faults in Semiconductor Random Access memories", IEEE Trans. On Computers, Vol.30, May 1981.
- [5] G. Bodean, D. Bodean, and A. Labunetz, "New Schemes for Self-Testing RAM", Proc. DATE, 2006.
- [6] B. Sokol, and V. N. Yarmolik, "Memory Faults Detection Techniques with Use of Degrees of Freedom in March Tests", Proc. IEEE East-West Design & Test Workshop (EWDWTW'05), Odessa, Ukraine, Sept 2005.
- [7] S. Hamdioui, Testing Static Random Access Memories: Defects, Fault Models and test Patterns, Kluwer Academic Publisher, 2004, 240 p.
- [8] Y. Zorian, "Today's SoC Test Challenges", ITC International Test Conference, 2008.
- [9] D. Densmore, R. Passerone, A. Sangiovanni-Vincentelli, "A Platform-Based taxonomy for ESL design", Design & Test of Computers, September-October 2006, pp. 359-373.
- [10] M. F. Bondarenko, G. F. Krivoula, V. G. Ryabtsev, S. A. Fradkov, V. I. Hahanov, "Design and diagnosis of computer systems and networks", Kiev: NMTS VO, 2007, 306 p.
- [11] Y. Zorian, S. Shoukourian, "Embedded-Memory Test and Repair: Infrastructure IP for SoC Yield", IEEE Design and Test of Computers, 2003, pp.58-66.
- [12] P. Rashinkar, P. Paterson, L. Singh "System-on-chip Verification: Methodology and Techniques", Kluwer Academic Publishers, 2002, 393 p.
- [13] IEEE-1800 IEEE Standard for System Verilog Language, 2005, 586 p.
- [14] S. Shoukourian, V. Vardanian, Y. Zorian, "SoC Yield Optimization via an Embedded-Memory Test and Repair Infrastructure", IEEE Design and Test of Computers, 2008, pp.200-207.
- [15] L. Youngs, S. Paramanandam, "Mapping and Repairing Embedded-Memory Defects", IEEE Design and Test of Computers, 1997, pp. 18-24.
- [16] Y. Zorian, A. Yessayan, "IEEE 1500 Utilization in SoC Design and Test", ITC International Test Conference, 2005.
- [17] F. DaSilva, Y. Zorian, L. Whetsel, K. Arabi, R. Kapur "Overview of the IEEE P1500 Standard", ITC International Test Conference, pp. 988-997, 2003.
- [18] Vladimir Hahanov, Eugenia Litvinova, Wajeb Gharibi, Olesya Guz, "Algebra-Logical Repair Method For FPGA Logic Blocks", Journal of Radioelectronics and Informatics, No.2, Vol. 45, pp. 49-56, April – June 2009,
- [19] V. Hahanov, W. Gharibi, K. Mostovaya, "Embedded Method of SOC Memory Repairing", Electronics and Electrical Engineering, ISSN 1392-1215, No. 2(90), 2009.
- [20] V. Hahanov, E. Litvinova, V. Obrizan, W. Gharibi, "Embedded Method of SoC Diagnosis", Electronics and Electrical Engineering, ISSN 1392-1215, No. 8(88), 2008.
- [21] Vladimir Hahanov, Eugenia Litvinova, Svetlana Chumachenko, Wajeb Gharibi, "Logic Vector Analysis of Associative Matrices", IEEE EAST-WEST DESIGN & TEST SYMPOSIUM 2010, St. Petersburg, Russia, September 17-20, 2010.
- [22] Vladimir Hahanov, Eugenia Litvinova, Wajeb Gharibi, Olesya Guz, "Coverage Method for FPGA Fault Logic Blocks by Spares", 7th IEEE EAST-WEST DESIGN & TEST SYMPOSIUM EWDTs 2009, Moscow, Russia, September 18 -21, 2009.
- [23] V. Hahanov, W. Gharibi, K. Mostovaya, "Embedded Methods of SOC Memory Repairing", the 13th International Conference ELECTRONICS, (Kaunas and Vilnius, LITHUANIA) 12-14 of May 2009.

- [24] Vladimir Hahanov, Eugenia Litvinova, Wajeb Gharibi, Olesya Guz, "Embedded Memory Repair Technique for SoC", 15th conference on Information and Software Technologies, Kaunas, Lithuania, April 23th - 24th 2009.
- [25] V. I. Hahanov, S. V. Chumachenko, W. Gharibi, "Algebra-Logical Method of SoC Embedded Memory Repair", 15th International Conference "MIXED DESIGN OF INTEGRATED CIRCUITS AND SYSTEMS", Poznan, Poland, 19 - 21 June 2008.

A New Algorithm for Repairing the Embedded Memory Faults of a Modern Digital System on a Chip

Dr. Wajeb Gharibi, Gharib Gharibi

Dept. of Computer Networks, College of Computer Science &
Information Systems, Jazan University, P. O. Box 4425 Arrawabi, Unit
#1, Jazan 82822-6694, KSA.

gharibw2002@yahoo.com gharibw@hotmail.com

ABSTRACT

In this paper, we propose a new optimal method based on the Logical Algebra for solving problems of embedded memory of a modern digital system on a chip, by covering the faulty cells using the reserve ones.

This method enables to carry out the memory repair automatically in the operating process through built-in embedded hardware or software implementation.

Our proposed algorithm has many applications through its contribution in raising the level of effectiveness of embedded memory on a chip which is used in all modern electronic equipments and devices.

Keywords: System-on-Chip, embedded memory, diagnosis, faults repairing.

System-on-Chip	النظام المبنى على الرقاقة
Embedded memory	الذاكرة المدمجة
Diagnosis	تشخيص
Logical Algebra	جبر المنطق
Faulty cells	الخلايا الخطأ (المعطوبة)
Covering matrix	مصفوفة التغطية
Logic gates	البوابات المنطقية
March Algorithm	خوارزمية مارش
RAM	ذاكرة الوصول العشوائي
Register	المسجل
Pipelined stacks	خطوط أنابيب المكثفات
Cells	خلايا
Matrix	مصفوفة
Controller	حاكم
Built-In Self- Repair (BISR)	مسجل الإصلاح الذاتي المدمج
Built-In Self-Test (BIST)	الاختبار الذاتي المدمج
Objective function	دالة الهدف
Covering problem	مسألة التغطية
Boolean function	الدالة البوليانية

حَوْسِب: أنظمة الحوسبة الشبكية الشخصية المحمولة

هبة كردي¹، نغم سعيد²، حامد الرويشدي²
¹جامعة الإمام محمد بن سعود الإسلامية، كلية علوم الحاسب والمعلومات
 ص.ب. 7525، الرمز البريدي 12832-3519، الرياض، المملكة العربية السعودية
²جامعة برونيل، كلية الهندسة والتصميم
 الرمز البريدي UB8 3PH، غرب لندن، المملكة المتحدة

البريد الإلكتروني: hakurdi@imamu.edu.sa
 {nagham.saeed, hamed.al-raweshidy}@brunel.ac.uk

الخلاصة. تهدف هذه الورقة إلى تقديم أنظمة الحوسبة الشبكية الشخصية المحمولة (حَوْسِب) كنموذج فريد للحوسبة الشبكية قادر على زيادة نطاق البنى التحتية لها لتشمل الأجهزة المحمولة وتوسيع دائرة مستخدميها لتضم المستخدمين الشخصيين حيث تقدم الورقة تصاميم هيكلية ونماذج محاكاة لأنظمة حَوْسِب وتعرض كيف تمت عملية اختبارها وتقييمها بدقة من خلال إطار تجريبي محكم. وتشير نتائج التجارب إلى فعالية أنظمة حَوْسِب المقترحة وأهميتها في تحقيق التطلعات والرؤى المستقبلية في مجال الحوسبة الشبكية، لذا توصي الورقة بدعم إجراء المزيد من الاختبارات لتوظيفها في مجالات الحياة الواقعية.

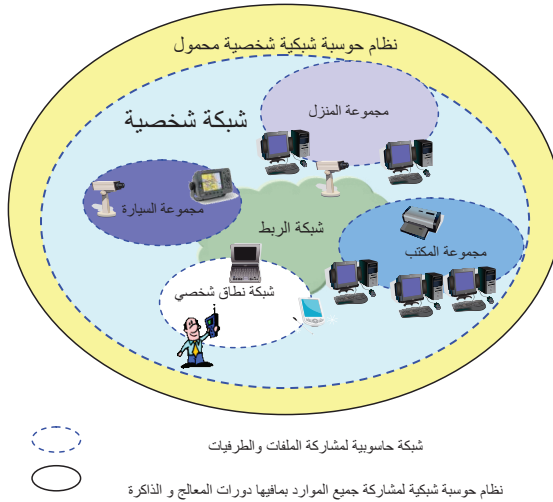
الكلمات الجوهرية: الحوسبة الشبكية، الأجهزة المحمولة، الشبكات الشخصية، النظم الموزعة، الحوسبة المتنقلة.

1 مقدمة

التقدم المطرد في تصنيع وتصميم المعالجات الدقيقة انعكس إيجابياً على صناعة الأجهزة الإلكترونية فغدت أقل وزناً وأصغر حجماً وأكثر فعالية مما مكن الأفراد من التنقل باصطحاب عدد من الأدوات الإلكترونية مثل الهاتف المحمول، ونظام الملاحة لتحديد المواقع، والحاسوب المحمول الخ. ومع توفر تقنيات الاتصال السلكية مثل الناقل التسلسلي العام وفايرواير، أو تقنيات الاتصال اللاسلكي مثل الواي فاي و الزجبي أمكن توصيل هذه الأجهزة لتشكيل شبكة خاصة بالمستخدم ترافقه حيثما ذهب كقفاعة خفيفة الوزن وهذا مايعرف بشبكة النطاق الشخصي [1].

وبالإضافة الى هذه المجموعة الأساسية من الأجهزة الإلكترونية ضمن شبكة النطاق الشخصي، يمتلك الفرد عادة أجهزة أخرى في مواقع مختلفة كالمنزل والمكتب والسيارة. يمكن توصيل هذه الأجهزة، التي يملكها نفس الشخص، معا بغض النظر عن مواقعها الجغرافية لتشكيل مايعرف بالشبكة الشخصية [2]، وهكذا يمكن للمرء الوصول إلى أجهزته الإلكترونية، ومشاركة الموارد فيما بينها في أي وقت وفي أي مكان.

وبما أن الشبكات الشخصية قد أصبحت متوفرة حالياً ممكّنة مستخدميها من مشاركة الملفات والطرفيات بين أجهزتهم، فإن الخطوة المنطقية التالية هي السماح لأصحاب هذه الشبكات من مشاركة جميع موارد الشبكة الأخرى بما في ذلك دورات المعالجات المركزية وذاكرات وقت التشغيل، وبعبارة أخرى، إضافة وظيفة الحوسبة الشبكية إلى الشبكات الشخصية، كما هو مبين في الشكل 1.



الشكل 1. نظام حوسبة للشبكات الشخصية المحمولة

الحوسبة الشبكية هي مجال بحثي جديد نسبياً حيث يتم ربط أجهزة الحاسوب بشبكة لتشكيل منظومة موزعة واسعة النطاق تشترك في جميع الموارد، بما في ذلك دورات المعالج والذاكرات [3]. وعلى الرغم من تصاعد شعبية الحوسبة الشبكية في كل من مجالات البحوث والمشاريع إلا أن المستخدمين الشخصيين، أي الأفراد خارج هذه المجالات، لا يمكنهم الاستفادة من أنظمة الحوسبة الشبكية الحالية فضلاً عن امتلاكها حيث لا توفر هذه الأنظمة دعماً لهم [4]. علاوة على ذلك، فإن بناء أنظمة الحوسبة الشبكية من ناحية تطبيقية يتم من خلال توظيف أجهزة حاسب غنية بالموارد مثل الحواسيب العملاقة أو الخوادم. ونتيجة لذلك يرى العديد من الباحثين أن الأجهزة الشخصية خاصة المحمولة منها هي أبعد ما يكون علاقة بالحوسبة الشبكية وذلك للأسباب التالية:

- محدودة موارد هذه الأجهزة، من حيث: القدرة على المعالجة والتخزين وعمر البطارية ومحدودية طرق الإدخال ومالئ ذلك مقارنة بالأجهزة الثابتة.
- الثغرات الأمنية الكبيرة ومتطلبات الخصوصية الحرجة المرتبطة بهذه الأجهزة.
- عدم التجانس وقلة التوافق من حيث أنظمة التشغيل والأجهزة والتطبيقات بين هذه الأجهزة.
- طبيعة الاتصال المتقطع مع عرض النطاق الترددي المنخفض الملازم للأجهزة المحمولة.

- المتطلبات العالية لتطبيقات الأجهزة المحمولة حيث ينبغي أن تصمم بعناية حتى يمكن تقسيمها إلى أجزاء صغير يمكن توزيعها بين العديد من الأجهزة.

على الجهة المقابلة، يؤكد [3] على ضرورة توسيع نطاق أنظمة الحوسبة الشبكية لتشمل شرائح مختلفة من المستخدمين وأحجاماً أصغر من الأجهزة. كما أن هناك العديد من المؤشرات التي تدعم هذه الضرورة: أولاً، جميع عناصر الأداء المرتبطة بهذه الأجهزة أخذ في التحسن بما في ذلك سرعة المعالج وسعة الذاكرة، ويتوقع أن يستمر ذلك بمعدل أسي طبقاً لقانون مور لزيادة كثافة الترانزستور [5]. ثانياً، عدد الأجهزة المحمولة في العالم يتزايد بشكل مطرد ويتوقع أن يضاهي قريباً عدد الحواسيب المكتبية [6]. وطبقاً لمنتدى البحوث اللاسلكية العالمي فإنه من المتوقع أن يكون هناك ألف جهاز لاسلكي في المتوسط للشخص الواحد بحلول عام 2017 [7]. ثالثاً، في كثير من حالات الطوارئ التي ترتبط بتدمير البنى التحتية، مثل الكوارث الطبيعية والحروب، قد تكون الأجهزة المحمولة هي وسيلة الاتصال والحوسبة الوحيدة التي يمكن استخدامها. رابعاً، توافر وجودة الاتصال اللاسلكي في تحسن مستمر كما هو واضح في شبكات الجيل الثالث.

ومن هنا تهدف هذه الورقة إلى تجسير الهوة بين شبكات الحوسبة والمستخدمين الشخصيين بأجهزتهم المحمولة محدودة الموارد بتقديم نموذج حوسب ليشكل انطلاقة للحوسبة الشبكية الشخصية والمحمولة. وقد تم تنظيم ما تبقى من هذه الورقة على النحو التالي: القسم الثاني يقترح تصاميم معمارية لأنظمة حوسب، بينما يشرح القسم الثالث منهجية البحث وألية التقييم والاختبار و يقدم القسم الرابع تحليلاً للنتائج ثم يختتم القسم الخامس الورقة بالتأكيد على أهم النتائج والتوصيات.

2 أنظمة حوسب

2.1 ماهو نظام حوسب

نظام حوسب عبارة عن بيئة حوسبة شبكية يمكن امتلاكها واستخدامها من قبل فرد أو مستخدم شخصي، فهي مبنية من أجهزته الشخصية ويمكن أن تتمدد لتشمل أي أجهزة أخرى يثق بها. الهدف منها هو السماح بالتنقل على حد سواء للمستخدمين الذين يطلبون الدخول لبيئة حوسب والموارد التي هي جزء من البيئة، وبالتالي فإن السمة المميزة لنظام حوسب هو أنه مشيد ومملوك ومستخدم في المقام الأول من قبل فرد أو مجموعة من الأفراد بينهم ثقة متبادلة. هذا على النقيض من أنظمة الحوسبة الشبكية التقليدية التي يتم لا يمكن بناءها أو تملكها أو استخدامها إلا من قبل منظمات وكيانات كبرى. وبعبارة أخرى، في حين أن أنظمة الحوسبة الشبكية التقليدية موجهة لكيانات ضخمة من المستخدمين كالدول والشركات ومراكز الأبحاث، إلا أن أنظمة حوسب موجهة لمستخدم واحد. كما أن هناك أيضاً اختلاف من حيث نوع التطبيقات المستهدفة؛ فأنظمة الحوسبة الشبكية التقليدية تهتم بالتطبيقات التي تتطلب حسابات معقدة وواسعة النطاق قد تمتد على مستوى الكرة الأرضية، في حين أن أنظمة حوسب تهتم بالتطبيقات الشخصية التي هي أصغر بكثير من حيث النطاق والحجم والتعقيد. إضافة إلى ذلك، فإن أنظمة الحوسبة الشبكية التقليدية بحاجة

إلى بنية تحتية راسخة ثابتة للعمل على حين أن أنظمة حوسب يمكن استيعابها بالكامل في الأجهزة المحمولة المتصلة عبر الشبكات الشخصية.

2.2 السيناريوهات المحفزة لأنظمة حوسب

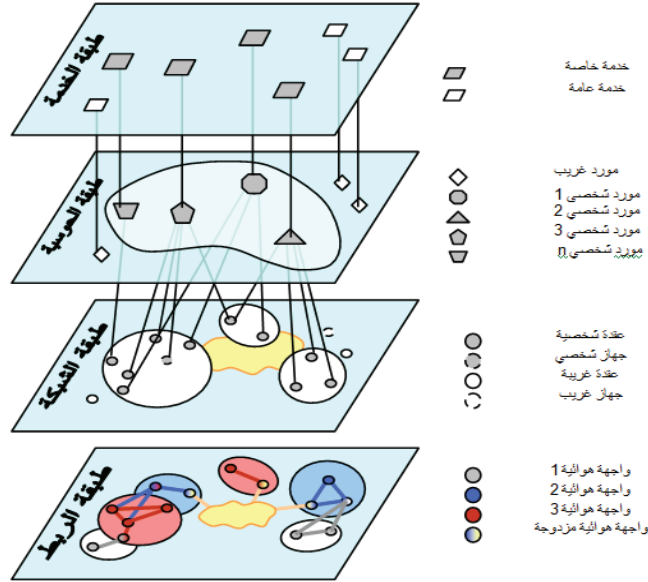
يحرص الناس بشكل متزايد على استبدال أو ترقية أجهزة الحاسب الخاصة بهم للحصول على المزيد من قوة المعالجة والذاكرة. وأحيانا يحتاجون إلى تشغيل وظائف حسابية معقدة لا يمكن تستوعبها أجهزتهم، أو أثناء تجولهم بعيدا عن المنزل. وكثيرا ما يصابون بخيبة أمل نتيجة حاجتهم المتكررة إلى نقل البيانات بين أجهزتهم الإلكترونية المختلفة و نتيجة وجود عدة دفاتر عناوين أو قوائم من المفضلة متناثرة بين أجهزتهم لا تتوافق مع بعضها. كما أن هناك سيناريوهات أخرى يمكن اعتبارها أيضا، فقد تحتاج شركة صغيرة إلى تشغيل برنامج محاكاة للتنبؤ بالأحوال الاقتصادية واتخاذ قرارات مالية حرجة بناء على ذلك، أو قد تحتاج مؤسسة خيرية إلى بناء وإدارة قاعدة بيانات كبيرة من الوسائط المتعددة وإتاحة الوصول إليها من قبل عدة جهات وكل ذلك يتطلب أجهزة حاسب غنية بالموارد باهظة التكلفة.

بتحليل هذه السياقات يتضح أن هناك حاجة للسماح للأفراد أو المؤسسات محدودة النطاق بتسخير جميع الموارد والبيانات المبعثرة بين أجهزتهم الإلكترونية بحيث تبدو وكأنها جهاز حاسب عملاق له موارد غير منتهية ومتواجدة في أي وقت وفي أي مكان ، وهذه تماما هي جوهر فكرة نظام حوسب. وهذا يفتح الأبواب لأنظمة الحوسبة الشبكية للوجود في مواقع جغرافية وأوساط اجتماعية أكثر ، وخاصة في حالات الطوارئ ومكافحة الحرائق والكوارث الطبيعية ، فضلا عن العديد من التطبيقات المتنقلة التي ظهرت حديثا في التعليم الإلكتروني، والبريد والرعاية الصحية ، والمحفظ الإلكترونية وما إلى ذلك.

2.3 العمارة الطبقيّة لأنظمة حوسب

التصميم المعماري المقترح لأنظمة حوسب يعتمد على التصميم المعماري للشبكات الشخصية والمفصل في [2] بحيث يتم إضافة طبقة حوسبة مابين طبقتي الشبكة والخدمة في الشبكات الشخصية، وبالتالي فإن عمارة نظام حوسب تتكون من أربعة طبقات: طبقة الربط، وطبقة الشبكة، وطبقة الحوسبة وطبقة الخدمة، كما هو مبين في الشكل 2. هذه الطبقات مجتمعة تعمل بمثابة برنامج بسيط أو مايعرف بالميدل وير لإدارة وظائف النظام تلقائيا بدون تدخل من المستخدم. وتعمل طبقة الحوسبة بمثابة طبقة محاكاة افتراضية لإخفاء تعقيد تسخير الموارد الحاسوبية الغير متجانسة عن المستخدم، ففي هذه الطبقة يتم تجميع الموارد المتاحة من طبقة الشبكة في فئتين رئيسيتين: الموارد الشخصية والموارد الغريبة بناء على نوع علاقة الثقة القائمة بين هذه الموارد. ومن ثم يتم تجميع وتقديم الموارد الشخصية على شكل موارد أكبر استنادا إلى طبيعة الوظائف التي توفرها مثل دورات وحدة المعالجة المركزية، والتخزين ودفتر العناوين والطباعة وهكذا.

يتكون نظام حوسيب من مجموعات من الأجهزة يملكها شخص واحد وعادة ما تستخدم من قبل الشخص نفسه. وترتبط كل هذه الأجهزة عن طريق شبكات شخصية موثوقة. وتعالج الأمور المتعلقة بالاتصال الشبكي في الطبقة السفلى وهي طبقة الربط. بينما يتم التعامل مع الأمور المتعلقة بالأمن والتكتلات في طبقة الشبكة الشخصية، في حين أن المسائل المتصلة بطريقة العرض ونوعية الخدمة يتم التعامل معها في طبقة الخدمة.



الشكل 2. العمارة الطبقة لنظام حوسيب

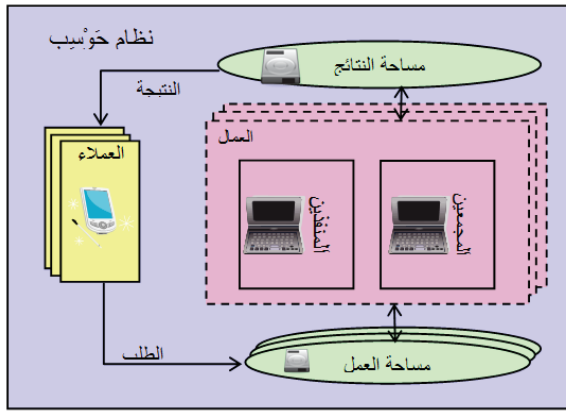
يتضح من العرض السابق أن العنصر الوظيفي الأساسي المفقود ليتم تحويل الشبكات الشخصية إلى أنظمة حوسيب للحوسبة الشبكية هو نظام لإدارة الموارد المضافة وهي الموارد الخاصة بالحوسبة متمثلة في دورات وحدة المعالجة المركزية وذاكرات وقت التشغيل، حيث تتطلب هذه الموارد معالجة خاصة لتنفيذ البرامج والوظائف الحسابية بالتنسيق فيما بينها. ولذا فإن المهام الرئيسية لنظام إدارة هذا المورد هي تقسيم البرامج الواردة للنظام إلى مجموعة من المهام صغيرة الحجم يمكن استيعابها من قبل الأجهزة الشخصية ليتم تنفيذها على التوازي، ومن ثم توزيع المهام على الموارد المناسبة، وبعد التنفيذ يتم تجميع النتائج في صيغتها النهائية وإعادتها للمستخدم. لذا فقد تم تصميم نظام حوسيب بحيث يتكون من ثلاثة عناصر وظيفية رئيسية وهي: العملاء والعمال والأماكن. كما هو مبين في الشكل 3.

تتكون مجموعة العملاء في معظمها من الأجهزة محدودة الموارد خاصة المحمولة ، مثل الهواتف المحمولة وتستخدم بشكل رئيسي لإرسال وظائف بسيطة أو طلبات تنفيذ وظائف حسابية معقدة مخزنة في أي مكان آخر، إلى أجهزة أكثر قدرة على الشبكة.

وبالنسبة لمجموعة العمال فهي مكونة من أجهزة قد تكون قابلة للحمل ولكن ومواردها الحاسوبية أفضل من موارد مجموعة العملاء مثل أجهزة الكمبيوتر المحمولة. وهي مقسمة كالتالي:

- منفذين : وتضم الأجهزة ذات الموارد الحاسوبية القادرة على تنفيذ البرامج المطلوبة بعد تقسيمها إلى مهام أصغر.

- مجمعين : حيث يتم تحليل الوظائف إلى مهام أصغر تنفذ كل منها بشكل مستقل عن المهام الأخرى داخل نفس الوظيفة، فهناك حاجة إلى تجميع النتائج بشكل صحيح وتقديمها بشكل مناسب لجهاز العميل الخاص بالمستخدم وهذا ما تقوم به مجموعة المجمعين.



الشكل 3. العمارة التفصيلية لنظام حوسب

أما المساحات فتتكون من مجموعة من الأجهزة الغنية بموارد التخزين الثابتة في المنزل أو المكتب مثلاً. ويقوم العملاء والعمال بالتواصل مع بعضهم البعض باستخدام هذه المساحات التي تعمل بمثابة ذاكرة مؤقتة. ويعد استخدام تقنية التخزين المؤقت هذه أمر مهم جداً خاصة في البيئات المتنقلة للحد من تأثير الانقطاع المتكرر للاتصال الشبكي. وتستند فكرة المساحات على التبل سبيسز التي استحدثت بواسطة لغة النظام ليندا. والتبل سبيس هو شكل من أشكال الذاكرة المؤقتة. بحيث أن العملاء يرسلون البرامج التي يريدون تنفيذها إلى هذه المساحات ويقوم المنفذ بأخذ المهام التي سيقومون بتنفيذها منها ثم يرسلون نتائج التنفيذ إليها حيث يقوم المجمعون بترتيبها وتجهيزها للعملاء مرة أخرى وهناك نوعان من المساحات :

- مساحات العمل : أماكن تجمع الوظائف المطلوب تنفيذها.
- مساحة النتيجة : هو تجمع كبير للنتائج التي يتم إنشاؤها بواسطة المنفذ.

يوضح الشكل 4 العلاقة الهرمية بين العناصر الرئيسية لأنظمة حوسب. وعلى الرغم من أنه تم تعريف كل عنصر في السابق على أنه جهاز أو مجموعة من الأجهزة، إلا أن العنصر يمثل في

الواقع دوراً أو وظيفة يمكن إضافتها إلى أي جهاز على الشبكة على أساس قدراته بحيث تكون الأدوار متوافقة تصاعدياً، أي أنه يمكن للعمال أن يقوموا بدور العمال في حين أن المساحات يمكن أن تعمل بمثابة عمال أو عملاء كذلك. وخلال مرحلة تهيئة النظام، يتم تعيين الدور الأولي لكل جهاز على أساس رصيده من النقاط في معادلة رصيد الجهاز (DS) التالية:

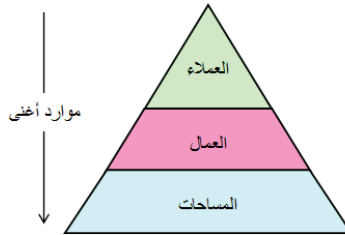
$$DS = \sum_{i=1}^n w_i A_i$$

حيث A_i تمثل سمة معيارية ثابت لأداء الجهاز مثل سرعة المعالج أو سعة الذاكرة العشوائية أو زمن البطارية أو الثبات من عدمه. و w_i عبارة عن وزن مدى أهمية السمة المعيارية في معادلة رصيد الجهاز مع ملاحظة أن:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

$$w_1, w_2, \dots, w_n \geq 0$$

خلال مرحلة التشغيل يمكن أن يتغير دور الجهاز فيسند إليه دور أعلى فعلى سبيل المثال قد تتم ترقية أحد العمال إلى عميل بناء على الدرجة التي يحصل عليها في معادلة الرصيد بعد التعويض فيها باستخدام السمات المتغيرة بدلاً من الثابتة كسرعة المعالج الحالية نتيجة العبء أو الذاكرة المتاحة أثناء التشغيل أو الزمن المتبقي من البطارية وهكذا.



الشكل 4. العلاقة الهرمية بين العناصر الوظيفية لنظام حوسيب

3 منهجية البحث

بدأ البحث بمسح لمجالَي الحوسبة الشبكية والنظم الموزعة بحثاً عن نماذج ذات صلة بأنظمة حوسيب. وكشف الاستطلاع عن نتجتين رئيسيتين. أولاً، هناك قلة من المشاريع التي تطرقت لموضوع دعم التنقل في الحوسبة الشبكية [8] وكان ذلك فقط على المستوى المؤسسي. الثانية، المشاريع التي تطرقت للحوسبة الشبكية على المستوى الشخصي محدودة جداً [9، 10]، وتركز فقط على تسهيل تطبيقات تبادل الملفات. وبالتالي فإن فكرة أنظمة حوسيب هي فكرة فريدة لذا تم وضع تصميم معماري يجمع بين الخاصيتين الرئيسيتين لنظام حوسيب وهي إضافة إمكانية التنقل في الحوسبة الشبكية وأتاحتها وتخصيصها للأفراد.

بعد ذلك تم بناء العنصر الأساسي من برنامج المبدل وير لنظام حوسيب وهو مجدول الموارد الذي يعمل على تقسيم العمليات المطلوب تنفيذها إلى أجزاء أصغر يمكن استيعابها في الأجهزة المحمولة ثم يعمل بطريقة تلقائية على توزيع هذه الأجزاء الصغيرة على أجهزة العمال لتقوم بتنفيذها ومن ثم يقوم المنفذون بتجميع النتائج المجرّأة إلى كل يقابل الطلب الذي أرسله العميل وذلك بناء على خوارزمية ملهمة بطريقة توزيع العمل في مملكة نحل العسل ولذا أطلق اسم "ملهم" على مجدول الموارد المقترح [11].

بعد ذلك تم التقييم الشامل لتصاميم حوسيب وطريقة عمل ملهم من خلال دراسة تجريبية دقيقة ضمن إطار رقابة صارم بهدف تقييم أداء نظام حوسيب باعتبار عنصرين رئيسيين من عناصر أداء أنظمة الحوسبة الشبكية وهما : القابلية للتوسع لعدد أكبر من العقد والتحمل للأحمال المختلفة. وشملت الدراسة الخطوات التالية:

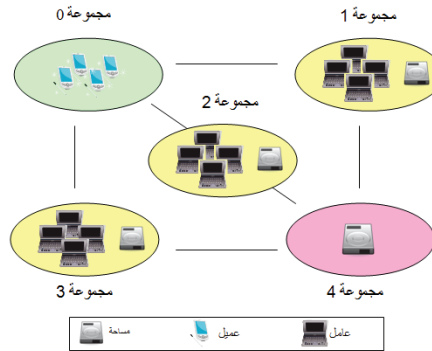
- تحديد مجموعة العناصر المهمة في تصميم أنظمة الحوسبة الشبكية واختيار ماسيتم اختباره منها وهي: متوسط الفترة الزمنية مابين وصول طلبين متوالين لتنفيذ وظائف إلى النظام (الزمن البيني) وعدد العقد (الأجهزة) في الكتلة الواحدة (منطقة جغرافية واحدة مثل المنزل أو المكتب) بالإضافة إلى حجم الوظيفة وسعة المعالج.
- اعتبار قيم مختلفة للمتغيرات التجريبية وهي الزمن البيني و عدد العقد لمحاكاة عمل النظام في ظل ظروف مختلفة. قيم الزمن البيني تم اختيارها لتكون في المدى مابين قيمتين قصوتين من الاستخدام الشخصي المتوقع للنظام وهي 4 و 180 ثانية. أما عدد العقد فتم اختياره ليقع ضمن نطاق متوسط عدد الأجهزة الموجودة في مكان معين وتتبع لشخص واحد أو مؤسسة صغيرة وهو مابين 4 إلى 16 عقدة في الكتلة الواحدة.
- التحكم في المتغيرات الدخيلة (اكسترناليس فاريلبل) وهي حجم الوظيفة وسعة المعالج من خلال الاختيار العشوائي لضمان عينة ممثلة في كل التجارب. وقد تمت محاكاة عدم التجانس في سعة المعالج بافتراض ثلاثة أنواع من المعالجات التي تختلف عن بعضها في السعة فقط. أما عدم التجانس في حجم الوظيفة فقد تمت محاكاته بافتراض ثلاثة أنواع من الوظائف التي تختلف عن بعضها من حيث الحجم فقط، وقد ولدت الأرقام المقابلة عشوائيا على أساس خطوط مماثلة من الأبحاث التي أجريت من قبل [7].
- تحديد الجدول المعياري الذي سيتم مقارنته بالجدول ملهم لاختبار أدائه وقد تم اختبار الجدول الانتهازي لهذا الغرض وهو من الجدولات الراسخة والشهيرة في مجال الحوسبة عالية الإنتاجية مثل الحوسبة الشبكية.
- تحديد مقاييس الأداء المناسبة وهي:

- نسبة الاستقرار: حيث معدلات دخول طلبات الوظائف إلى النظام مساوية لمعدلات خروجها منه.
- الزمن الكلي: ويقصد به متوسط الزمن الذي المستغرق من حين إرسال العميل لطلب تنفيذ وظيفة على نظام حوسب لحين تلقى العميل النتائج المقابلة.
- الإنتاجية: وتمثل كمية العمل المنجز من قبل النظام على مدى فترة من الزمن. ويقاس بعدد الوظائف التي تم الانتهاء منها خلال فترة محددة.

- التسريع: ويشير إلى أي مدى يكون النظام المتوازي أسرع من النظام التسلسلي المقابل.
- التأكد من صحة النتائج ومصادقيتها من خلال مقارنة الأداء بالقيم المثلى والحدود الدنيا والعليا الافتراضية.
- زيادة دقة هذه الدراسة القائمة على المحاكاة من خلال :
 - تكرار كل تجربة محاكاة عشر مرات وقبول نتائج متوسط النتائج.
 - تجاهل نتائج المحاكاة التي تم توليدها في أول 60 ثانية.
 - قياس نسبة الخطأ في النتائج باستخدام الانحراف المعياري، واحتساب الأخطاء المطلقة والنسبية لفحص جودة النتائج.

4 النتائج والمناقشة

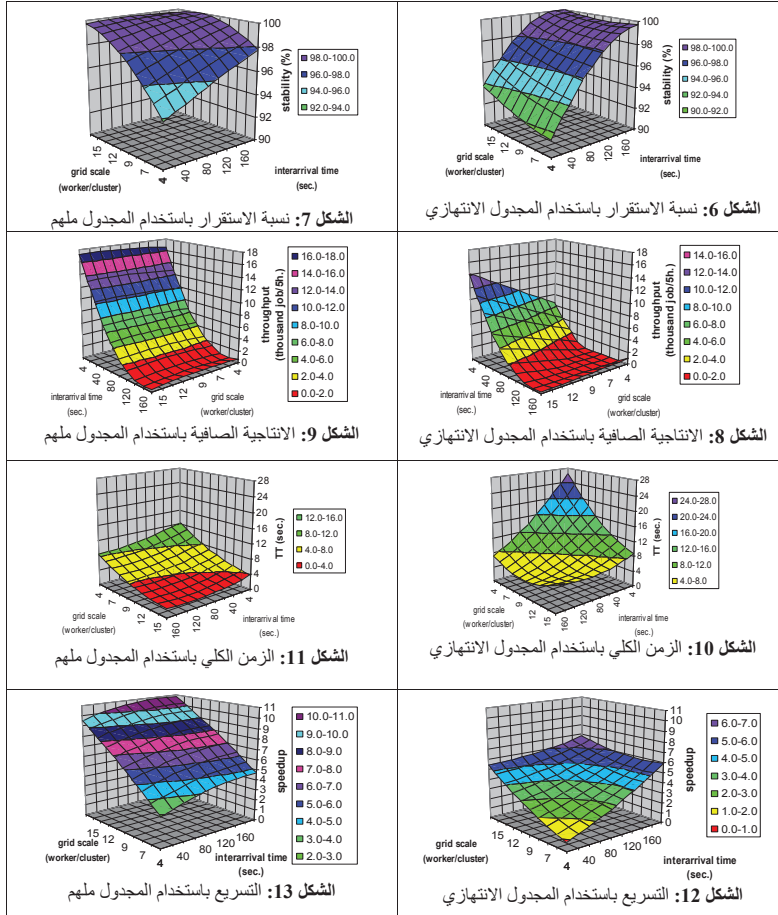
تم بناء بيئة تحاكي نظام حوسيب باستخدام برنامج محاكاة الشبكات الشهير أوبنت® Opnet وتكونت بيئة المحاكاة من خمسة كتل (مجموعات) كما هو موضح بالشكل 5 بحيث تمثل المجموعة 0 شبكة النطاق الشخصي وتحتوي على أربعة عملاء بينما تمثل المجموعة 4 مساحة النتائج أما باقي المجموعات الثلاثة فتتمثل بمجموعات العمال ومساحات العمل وتم في كل تجربة زيادة عدد الأجهزة بكل مجموعة من المجموعات الثلاث مابين 4 إلى 16 جهاز وفق الموضح في منهجية البحث أعلاه. وقد نُفذ كل من الجدول ملهم والمجدول الانتهازي باستخدام لغة البرمجة سي بلس بلس ++C حيث هي اللغة الأكثر توافقاً مع بيئة أوبنت.



الشكل 5. نموذج المحاكاة لنظام حوسيب

تُظهر الأشكال من شكل 6 إلى شكل 13 نتائج المحاكاة التي تم الحصول عليها بعد تشغيل كل تجربة لمدة خمس ساعات و توليد وظائف الحوسبة عن طريق أربعة عملاء باستخدام بويسن بروسيس لتوليد زمن بيني آسي في المدى مابين 4 حتي 180 ثانية. كل وظيفة حوسبة تمثل تطبيق تشفير لأعداد صحيحة كبيرة (تصل إلى أكثر من 4×10^9) بحيث أن كل وظيفة متضمنة ضمن حزمة واحدة وينتج عنها ملف واحد للنتائج النهائية، وللسهولة تم تجاهل تكلفة الاتصالات في هذه المرحلة. وافترض أن الجهاز الواحد يمكنه معالجة عملية واحدة فقط في لحظة معينة (قيود

الموارد) وأنه حين تبدأ عملية في التنفيذ فإنه لا يمكن مقاطعتها لحين أن تنتهي. تشير النتائج التجريبية إلى قدرة حوسب على العمل بفعالية ضمن ظروف مختلفة من حيث عدد العقد والأحمال، و هيمنة أداء ملهم على أداء المجدول الانتهازي حيث حقق أداء أفضل من حيث الثبات وزمن التنفيذ والإنتاجية ونسبة التسريع. حيث حافظ ملهم بنجاح على الاستقرار والإنتاجية الأمثل في أكثر من 95 ٪ من التجارب خاصة تحت الأحمال الثقيلة للغاية حيث حقق نتائج تفوق ثلاثة أضعاف النتائج التي حققها المجدول الانتهازي. أما بشأن الزمن الكلي للتنفيذ فقد حقق نظام حوسب باستخدام المجدول ملهم نسبة أقل من 50 ٪ من الزمن الكلي المستغرق بواسطة المجدول الانتهازي في حين حقق نسبة تسريع مضاعفة في أكثر من 60 ٪ من التجارب.



في هذه الورقة تم تقديم أنظمة الحوسبة الشبكية الشخصية المحمولة (حوسب) كنموذج جديد للحوسبة الشبكية يمكن امتلاكه واستخدامه وإدارته من قبل أفراد واستيعابه ضمن الأجهزة المحمولة. وتم اقتراح و بناء واختبار تصاميم هيكلية له. وتشير نتائج التجارب إلى أهمية أنظمة حوسب في تحقيق الرؤى المستقبلية لتوسيع نطاق الحوسبة الشبكية لعدد أكبر من الكيانات وحجم أصغر من الأجهزة وكذلك زيادة مجالات تطبيقها بحيث تغطي مناطق جغرافية ومجالات اجتماعية أوسع من أي وقت مضى. كما أوضحت النتائج تفوق المجدول المقترح (ملهم) في الأداء مقارنة بالمجدول التقليدي المستخدم في الأنظمة المشابهة. لذا توصي الورقة بإقامة أنظمة حوسب في سيناريوهات الحياة الحقيقية وتوفير الدعم الكافي لاجراء المزيد من التجارب لاختبارها والاستفادة منها في تطبيقات أخرى وكذلك دعم اختبار وتوظيف المجدول ملهم في الأنظمة متعددة المعالجات والحوسبة عالية الإنتاجية.

المراجع

- [1] IEEE 802.15 Working Group for WPAN [online]. Available: <http://ieee802.org/15/>, [accessed Feb. 2, 2010].
- [2] My Personal Adaptive Global NET (MAGNET) (IST 507102) [online]. Available: <http://www.ist-magnet.org>, [accessed Feb. 2, 2010].
- [3] I. Foster and C. Kesselman, Eds., *The Grid2: Blueprint for a Future Computing Infrastructure*. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2003.
- [4] J. Han and D. Park, "A lightweight personal grid using a supernode network", in *Proc. 3rd Int. Conf. P2P 2003*, pp. 168-175.
- [5] K. Michael, (2003, Feb. 10) Moore's law to roll on for another decade, cnet news [online]. Available: <http://news.cnet.com/2100-1001-984051.html>, [accessed Feb. 2, 2010].
- [6] Ipsos Insight, "Mobile phones could soon rival the PC As world's dominant Internet platform," Market study rep., summary, Apr. 2006 [online]. Available: <http://www.ipsos-na.com/news/pressrelease.cfm?id=3049>, [accessed Feb. 2, 2010].
- [7] N. Jefferies, "Global vision for a wireless world," 18th meeting of WWRF, 2007, Helsinki, Finland.
- [8] Akogrimo [online]. Available: <http://www.mobilegrids.org/>, [accessed Feb. 2, 2010].
- [9] J. Han and D. Park, "A lightweight personal grid using a supernode network," in *Proc. 3rd Int. Conf. P2P2003*, pp. 168-175.
- [10] W. Li, Z. Xu, B. Li, Y. Gong, "The Vega Personal Grid: A lightweight grid architecture," in *Proc. IASTED*, 2002, pp. 6-11.
- [11] H. Kurdi, M. Li and H. S. Al-Rawashidy, "A generic framework for resource scheduling in Personal Mobile Grids based on honeybee colony," in *Proc. of the IEEE 3rd International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies IEEE NGMAST '09*, pp. 297-302, Sep. 2008, Cardiff, UK.

الملخص باللغة الانجليزية

Title: Personal Mobile Grids: Ubiquitous Grid Environments for Personal Users

Abstract.

The overall aim of this paper is to introduce Personal Mobile Grids (PM-Grids) as a novel paradigm in grid computing that scales grid infrastructures to mobile devices and extends grid entities to individual personal users. In this paper, architectural designs and simulation models for PM-Grids are developed and evaluated thoroughly through a strictly controlled empirical evaluation framework. The results indicate the potential of PM-Grids as ubiquitous grid environments. Therefore considering the deployment of PM-Grids in real life scenarios is highly recommended.

Keywords: grid computing, personal networks, mobile devices, resource scheduling.

المصطلحات

عرض النطاق الترددي	Bandwidth
عميل	Client
كتلة أو مجموعة	Cluster
مجمع	Composer
دورات المعالج المركزي	CPU cycles
تشفير	Cryptography
رصيد الجهاز	Device score
منفذ	Executer
أسّي	Exponential
متغيرات دخيلة (اكسترا نيس فاريل)	Extraneous variables
فايرواير	Firewire
موارد غريبة	Foreign resources
حوسبة الشبكية	Grid Computing
الحوسبة عالية الانتاجية	High throughput computing
مجدول ملهم بنحل العسل	Honeybee-inspired resource scheduling heuristic
زمن البيني	Interarrival time
برنامج وسيط	Middleware
عقدة	Node

المجدول الانتهازى	Opportunistic resource scheduling heuristic
مقاييس الأداء	Performance measures
شبكات النطاق الشخصي	Personal Area Network (PAN)
بويسن بروسيس	Poisson Process
الشبكات الشخصية	Personal Network (PN)
مساحة النتائج	Result-space
ذاكرة وقت التشغيل	Runtime memory
مساحات	Space
التسريع	Speedup
الاستقرار	Stability
كمبيوتر عملاق	Supercomputer
التحمل	Sustainability
الانتاجية	Throughput
تبل سبيس	Tuple space
الزمن الكلي	Turnaround time (TT)
متواجد في أي وقت في أي مكان	Ubiquitous
الناقل التسلسلي العام	Universal Serial Bus (USB)
الواي فاي	WiFi
عامل	Worker
مساحة العمل	Work-space
الزجبي	Zigbee

تصوّر نموذج لمرسوم التفاعل

في

الأنظمة المتعددة الوكلاء

¹أبرهان مرزوقي، كمال البركاوي
المعهد العالي للدراسات التكنولوجية بمدنين، تونس،
²المركز القومي للتقنيات والمهن، باريس، فرنسا،
marzougui_bor@yahoo.fr
kamel.barkaoui@cnam.fr

الخلاصة. تقدّم هذه المقالة نموذجاً جديداً للمواصفات التفاعلية بين الوكلاء. وقد تمّ الاعتماد في إنشائها على "شبكات بيتري ذات الوكلاء" (ش.ب.و). ذلك أنّ المنهجيات القائمة على الوكلاء تتطلب أسلوباً ذو قدرة تعبيرية، دالة وفعالة. هذه الخصائص تمكنها من عرض المواصفات السلوكية لمجموعة الوكلاء المتفاعلة. لقد قمنا بعرض المراسم الأساسية "لفييا" لإبراز القدرة التعبيرية ل ش.ب.و. النماذج المتحصّل عليها قائمة على الوكلاء الذكية، المتصلة والقادرة على إدراك المحيط وجميع مكوناته.

الكلمات الجوهرية: نموذج، تفاعلية، شبكات بيتري ذات الوكلاء، المراسم.

1 مقدّمة

الوظيفة الأساسية لمرسوم التفاعل هي تقديم طريقة فعّالة للتواصل بين الوكلاء دون اللجوء مباشرة لطريقة معينة للبرمجة. ذلك أنّه يتحقّق اللجوء إلى طريقة ما لتضييق وحصر فضاء الإجابة الممكنة بين الوكلاء. فعندما نستعمل مرسوم للتفاعل فنحن نقترح، خلال التّصور، تحليلاً كافياً يضمن لنا أنّ هذا المرسوم قادر على الوصول إلى الهدف المراد والوقوف على الحالات القصوى والنهائية [1]. بقدر ما يكون المرسوم ناجح بقدر ما تكون المعلومات المراد نقلها خلال الاتّصال بين الوكلاء قليلة ولكن دالة في وقت جدّاً مختصر. ذلك أنّ الوكلاء تشارك في مختلف المراسم من خلال التفاعل فيما بينها وبطريقتها الخاصة مثل الإجابة على الرّسائل و القيام بمهام في نطاق تحويل ذاتي أو داخل المجموعة بكاملها. وبذلك تكون المراسم أداة فعّالة لوصف المنهجية التي يجب على الوكلاء إتباعها خلال عملية التّواصل فيما بينها. فمثلاً تحدّد المنهجية الشّروط التي يجب إدراجها ومن ثمّ إتباعها. أحياناً عندما يكون المشكل الذي وقع حلّه بإتباع مكوّنين فأكثر معقّداً جدّاً، يكون المرسوم الذي يحدّد طريقة الاتّصال معقّداً أيضاً. وهذا ما حدّد على الباحثين استنباط هندسة المراسم. فمثلاً تعريف معمارية البرامج بصفة عامّة يقدّم تواصلًا للوسائط داخل محيطها الحيويّ باستخدام المراسم [2] وهذا ما تأكّده العديد من مجموعات البحث والتي قامت بإنشاء نموذجها الخاصّ مثل: جنرال مبيك، أ.م.ج، زوس و فيبا. هذا الأخير، قدّم محيطاً لتواجد وخدمة الوكلاء بالإضافة إلى نماذج تصف الوكيل، يشنّأها، يحذفها ويميّزها. ومن هنا تظهر لنا الطّرق المؤدّة لتبرز العديد من الخصائص الأساسية لهندسة المراسم. نهتمّ من

خلال هذا العمل بتصوير التفاعل بين الوكلاء بالاعتماد على شبكات بيتري ذات الوكلاء [3]. ذلك أن التقارب و التكامل الذي نبحث عنه بين الأنظمة المتعددة الوكلاء (م.و) وشبكات بيتري يبدو كذلك جلياً: النموذج قائم على الوكلاء يتطلب طريقة ناجعة وفعالة. هذا البحث يبين في محوره الثاني أهمية التفاعل بين الوكلاء ويحلل مراسم التفاعل المتقدمة في البحوث المنجزة. نقترح في المحور الثالث نموذجاً جديداً لتصوير التفاعل بين الوكلاء بالاعتماد على ش.ب.و. وفي المحور الأخير، نقدم ملخصاً لنتائج هذا البحث ونقترح بعض التحسينات و التطويرات لها مستقبلاً.

2 التفاعل بين الوكلاء

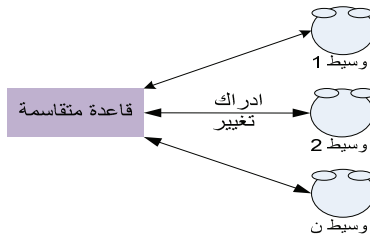
التفاعل هو أحد المفاهيم الأساسية المعتمدة في الأنظمة ذات الوكلاء. حسب [4] فإن التفاعل يمثل بالنسبة للوسيط، عنصراً لتعزيز قدرته على التواصل مع الوكلاء الأخرى. ذلك أن التعاون بين الوكلاء هو أحد مظاهر الذكاء و القدرة على حل المشاكل المستعصية للمجموعة، ولكن يعتبر هذا أيضاً سبباً من أسباب ظهور التداخل والتباين في تصرفاتها. إن مفهوم التفاعل يمثل وسيلة التخاطب الأساسية بين الوكلاء المتعاونة داخل نظام ما معقد. وهذا ما يمثل شريان التواصل فيما بينها وبالتالي فإننا نعتبر التفاعل هو مجموعة مواصفات نتاج تجمع الوكلاء التي يجب عليها التعاون لتحقيق أهدافها باعتبار كثرة الشروط المقامة على المعطيات. لتجاوز تعقيدات هذه الشروط يمتلك كل وسيط مجموعة من القدرات والخصائص الذاتية التي تأهله للتأثير على مجموعة الوكلاء الأخرى داخل محيطه. وتختلف درجة التفاعل بين الوكلاء باختلاف أنواعها. يقترح [5] تصنيفاً لدرجات التفاعل حسب العديد من الخصائص:

- وجود، على الأقل، هدف مشترك بين الوكلاء،
- استعمال موحد للمعطيات،
- تقسيم الأدوار فيما بينها.

هذا التصنيف للتفاعل يختلف من نظام إلى آخر بحسب معدل تحقيق كل حاجياته ونوع الوكلاء المندمجة داخله. كما يمكننا تصنيف التفاعلات إلى صنفين: التفاعل المباشر و الغير مباشر.

2.1 التفاعل غير المباشر

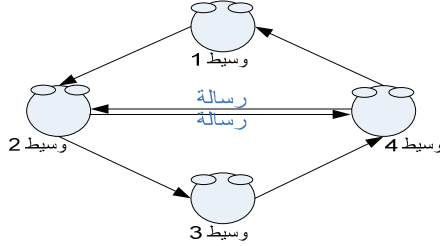
يعتبر التفاعل غير المباشر في حالة توجهه مباشرة إلى وسيط آخر و إلى المحيط بأكمله والذي يحتفظ بقائمة التتبع [6]. الوكلاء التي تشترك في هذا التفاعل هي وسائط تعتمد بالأساس على إدراك متغيرات المحيط وهي قادرة على معرفة غيرها من الوكلاء التي هي في حالة تفاعل. وذلك بسبب جهل أي من الوكلاء الذي سيغير سلوكياته من خلال إدراك التغيرات داخل المحيط مثلما يوضحه الرسم الأول.



الرسم الأول: التفاعل غير المباشر بين الوكلاء

2.2 التفاعل المباشر

يعتبر هذا النوع من التفاعل دقيقاً ودالاً [1] ومُتَّجهاً مباشرة نحو المرسل إليه (وسيط أو مجموعة من الوكلاء). والهدف من ذلك تغيير سلوكياته (أو حالته الداخلية) دون أن يتم المساس بالمحيط مباشرة التتبع [6]. هذا التفاعل قائم على التراسل بين الوكلاء والتغيرات في المعلومات [7] وتعتبر نتائجه محدّدة من خلال إتباع قوانين سلوكيّة للوسائط مثلما يظهر في الرّسم الثّاني.



الرّسم الثّاني: التفاعل المباشر بين الوكلاء

وحسب نوع الوكلاء المستعملة يمكن أن يأخذ التفاعل المباشر العديد من الأشكال. فيمكن إبرازه للوسائط المتفاعلة عن طريق ذبذبات بسيطة مثلما هو الحال في حلول [5]. وبالنسبة للوسائط الواعية فيكون ذلك عن طريق لغات ومراسم تواصل معتمدة. و بالتالي فإنّ البحوث المتقدّمة في أ.م و أصبحت مُتَّجِهة نحو نماذج تواصل أكثر تعقيداً بحسب القدرة التّعبيريّة للغات و الوحدة الأساسيّة للتّخاطب.

2.3.1 مراسم التفاعل

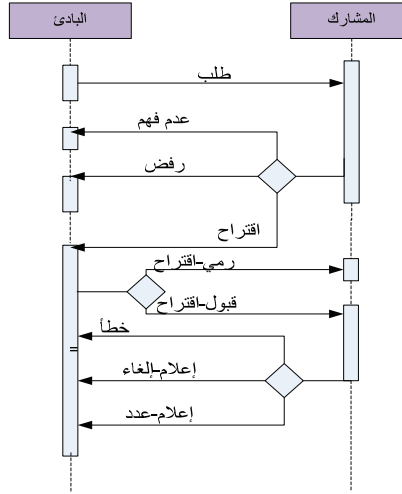
معالجة مشكل التفاعل في ميادين ن.م. و هو بالأساس تقديم أدوات تحليل وتصميم مختلف أشكال التفاعل التي بإمكان الوكلاء تطبيقها لاستكمال عملها وتأمين أهدافها. وبالتالي تبقى مراسم التفاعل هي الطّريقة الوحيدة التي تمكّن مختلف وحدات أ.م.و من عمل مؤطد. فمرسوم التفاعل هو مجموعة القواعد المحدّدة للتخاطب خلال التفاعل بين الوكلاء. وبذلك فإنّها تقدّم مجموعة الرّسائل المستلمة خلال التفاعل. فخلال حالة معيّنة للمرسوم يوجد عدد محدّد من الرّسائل المبعوثة والمستقبلة. حيث أنّه إذا وافق الوكيل على استعمال المرسوم، فإنّه يوافق على تطابقه معه أيضاً [8] ويجب عليه احترام القواعد الإعرابيّة (الخاصة بمعماريات المراسم) والذّالة المعرفّة لأفعال الوكلاء التي يجب القيام بها خلال إرسال أو استقبال الرّسائل). ويمكن تقسيم مراسل التفاعل إلى ثلاثة أنواع حسب نوعيّة الوكيل (متعاون، متنافس أو له أهداف مشتركة):

- مراسم التنسيق،
- مراسم التعاون،
- مراسم التفاوض.

2.3.1.1 مراسم التنسيق

تمكّن الوكيل من التّحكم في اندماجه في المحيط وإبراز مستوى علاقته بالوكلاء الأخرى. ويعتبر مرسوم "عقد-نات" [9] من أبرز هذه المراسم، إذ يقوم بالتنسيق بين وظائف الوكلاء من خلال تأمين الحدّ الأقصى لها.

القيام بطلب عروض لتنفيذ مهمة ما حسبما يوضّحه الرّسم الرابع. حيث يجب على الوكلاء التي تعتزم تنفيذ المهمة المطلوبة أن تعرض خدماتها. وحسب هذه العروض المقترحة فإنّ المتحكّم يقرّر إسناد المهمة لإحداها. ذلك أنّه يحدّد لأيّ وسيط سيسند له تنفيذ المهمة. وفي النهاية يقوم الوكيل الذي وقع عليه العرض بإعلام المتحكّم بتمام المهمة الموكلة إليه.



الرّسم الرابع: تصوّر مرسوم شبكة العقود لفيبا باستعمال لغة النمذجة الموحّدة

3 عرض مراسم التّفاعل بشبكات بيتري ذات الوكلاء

في هذا الجزء من المقالة، نقدّم تصوّر جديد لمراسم التّفاعل داخل الأنظمة المتعدّدة الوكلاء باستعمال أسلوب مؤطد قائم على ش.ب.و.

3.1 خصائص تصوّر مرسوم التّفاعل في الأنظمة المتعدّدة الوكلاء

عندما نهتمّ بعرض مرسوم التّفاعل بين الوكلاء فإنّ أهمّ الخصائص التي يجب دراستها هي المرونة و الموصافة [2].

3.1.1 المرونة

من المهمّ تصميم مرسوم مرّن قادر على تحقيق الأهداف المرجوة دون المساس باستقلاليّة الوكيل [13]. فحسب [14]، من المهمّ جدّاً اعتبار مراسم التّفاعل صغيرة الحجم والمسماة مراسم مجهريّة وبالإمكان جمعها لتكوين مراسم أخرى أكثر تعقيدا قادرة على إنجاز مهمة محدّدة. هذه التّقنيّة تساهم في تنشيط استعمالها مجدّداً [15] وبذلك تكون أكثر مرونة في استعمالات أخرى مطوّرة.

3.1.2 الموصافة

لوصف مراسم التّفاعل بتجرّد عال الدّرجة، يجب استعمال أسلوب مؤطد. خلال هذه المرحلة، حسب [14] يجب على المرسوم أن يكون مستقلاً عن النّطاق وعن معماريّة الوكلاء التي سيقع استعمالها. يبيّن [13]، أيضاً، أنّه من المهمّ اتّخاذ منهج تصريحي للتّصريح مباشرة لقواعد

المراسم المتبعة. ذلك أن المؤتد المستعمل يجب عليه مواصفة مراسم التفاعل بالطريقة الأكثر وضوحا وفي نفس الوقت له قدرة تعبيرية فعالة.

3.2 شبكات بيترى ذات الوكلاء

بطريقة مؤتدة تعرّف شبكات بيترى ذات الوكلاء ب 9 أقسام: ش، ح، م، ت، و، م، ق، م، ب، ش، ر، د، و، ظ، مح، حيث أن:

- م: مجموعة تامة وغير فارغة من الأمكنة،
- ت: مجموعة تامة وغير فارغة من التحوّلات،
- و: مجموعة تامة وغير فارغة من الوكلاء،
- م ق: م $\times$ ت $\leftarrow$ ن: تطبيق سابق،
- م ب: م $\times$ ت $\leftarrow$ ن: تطبيق لاحق،
- شر: شرط لاتمام التحوّلات،
- د (وس 1، وس 2): وظيفة تتحكم في التحوّلات بين وسيطين وس 1 و وس 2،
- وظ (ت ج) = <استقبال، قيمة، ردّ> : وظيفة الوكيل،
- مح: محيط النظام المتعدد الوكلاء.

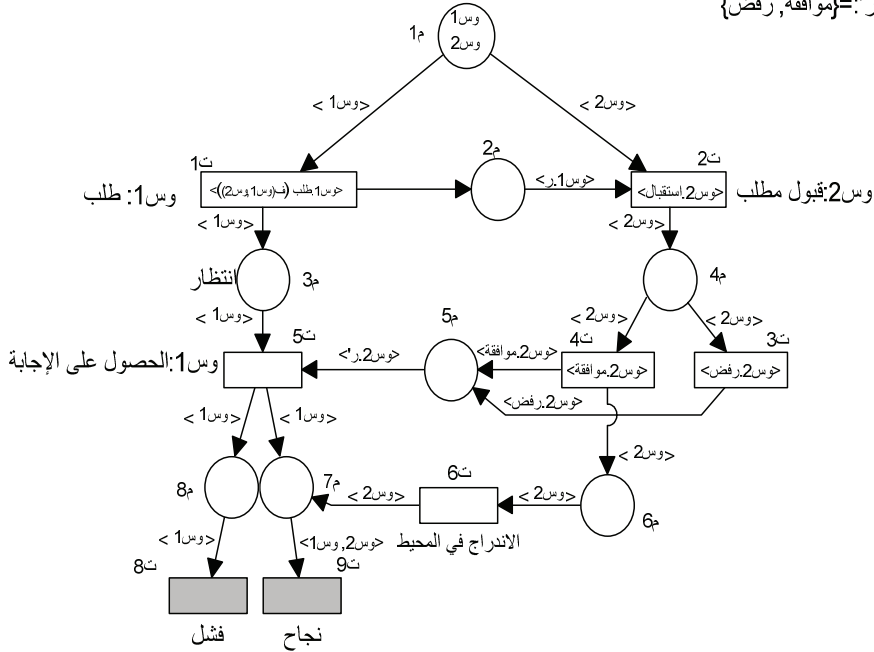
فيما يلي عرض لكيفية استعمال ش.ب.و لنمذجة مراسم التفاعل.

3.3 عرض فتح اتصال بين وسيطين:

إنّ عرض مرسوم التفاعل باستعمال منهجية ش.ب.و يتمّ بطريقة تكرارية وعلى مراحل: في البداية يكون نموذج ش.ب.و سهل ويغطّي المناطق الأساسية للنظام ويلغي خصائص أخرى تعدّ ثانوية. بعد ذلك يتمّ توسيع نطاق عمل النموذج ليغطّي الخصائص الدقيقة مع عملية إصلاح متصاعدة ومقننة للحصول في نهاية المطاف على النموذج النهائي. إنّ أيّ منهجية مؤتدة تعتبر فعالة في حال ضمانها لمجموعة من الخصائص المهمة مثل التلاقي، التزامن، التنافس وإعادة الاستعمال. لذلك من الطبيعيّ تكوين النموذج المعقّد للمرسوم انطلاقا من مراسم سهلة أو مجموعة من المراسم تربط مكوناتها بأقواس وأماكن التلاقي. وبالتالي فإننا نسعى منذ البداية لتصوير نموذج "فتح الاتصال" بين وس 1 و وس 2. هذا المرسوم المصور هو جزئيّ ويمكن استعماله في أمثلة أخرى. فالوكيل الأوّل وس 1 يبعث بطلب إجراء للوسيط وس 2 من خلال بعث "إرسالية (د (وس 1، وس 2)). هذا الأخير وبعد استقباله لهذا الطلب، يمكنه قبول الاتصال من خلال الردّ ببعث "إرسالية موافقة" أو أنّه يقوم ببعث "إرسالية رفض" في الحالة المعاكسة. وبذلك ستكون الإرسالية = {رفض، موافقة}. والمرسوم ينتهي باستقبال جواب "موافقة" وانخراط أو اندماج الوكيل وس 2 في عملية التّخاطب والاتصال مع وس 1 في داخل المحيط. وبذلك بفعل الوكيلين النقل النهائي (نجاح ت7) أو استقبال إرسالية "رفض" من طرف وس 1 (فشل ت8) مثلما يوضّحه الرّسم الخامس.

ر: طلب (ف) وس 1, وس 2))

ر: "موافقة, رفض"



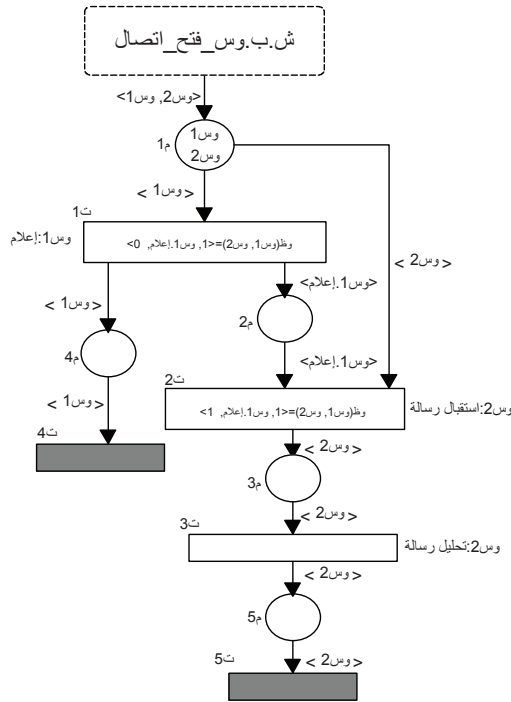
الرسم الخامس: عرض فتح اتصال بين وسيطين بش.ب.و

في حال فشل الاتصال، بسبب الرفض من طرف وس 2، فإن ذلك يعود إما لعدم رغبة الدخول في اتصال مع وس 1 أو لأن هذا الأخير في حالة انشغال. وبذلك يمكننا اقتراح نقاط إعادة "طلب اتصال" في نموذجنا. ذلك أن وس 2 يبعث الإرسالية < وس 2. رفض > ومن ثم يعود إلى حالته الأولى بانتظار أمر أو اتصال آخر.

3.4 نمذجة لمرسوم "فييا_إعلام"

فييا_إعلام هو فصل لتمرير المعلومة من وسيط إلى آخر ومن خلاله يتفاعل الوكيلين. فالوكيل البادئ وس 1 يبعث بإرسالية "إعلام" (ت 1) إلى وسيط آخر مرسل إليه وس 2. هذا الأخير يتلقى الإرسالية ويعالجها (ت 2). المحادثة تنتهي عند اجتيازه للتحويلات النهائية (ت 3 و ت 4) مثلما يوضحه النموذج بالرسم السادس.

لقد افترضنا في هذا المرسوم أن الوكيلين هما بحالة تخاطب، ذلك أننا صوّرنا فتح الاتصال في أول النموذج وأبرزنا مناداة لمرسوم جزئي ش.ب.و_فتح اتصال وهذا ما يؤكد مبدأ "إعادة الاستعمال".



الرسم السادس: نموذج ش.ب.و لمرسوم "فيبا_إعلام"

الوكيل وس1 يبعث الإرسالية "إعلام" باستعمال الوظيفة وظ(وس1، وس2) ≥ 1 ، وس1. إعلام، < 0 والتي تحدد أنّ الوكيلين المتصلين هما وس1 و وس2. حيث أنّ وس1 هو الباعث و وس2 هو المتقبل وأنّ محتوى الإرسالية هو "إعلام". ومن ثمّ فإنّ استقبال الإرسالية مفعّل من خلال القيمة 1 في الخانة الثالثة من الوظيفة و ض1 (وس1، وس2) خلال الاستقبال. باستعمال الوظيفة و ض1 يمكننا نمذجة بعث إرسالية "إعلام" للعديد من الوكلاء والمحافظة على نفس البناء: المرسل إليهم مدرجون بين قوسين والباعث هو وس1. مثلاً لإعلام وس2، وس3 ووس4 نستعمل إذا: و ض1 (وس1، وس2، وس3، وس4) ≥ 1 ، وس1. إعلام، < 1 .

3.5 نمذجة فيبا_طلب

يوضّح الرسم السابع نموذج لمرسوم فيبا_طلب باستعمال شبكات بيتري العادية (قيمة أقواس العلاقات بين التدفّقات كلّها تساوي 1). كلّ وسيط ينفذ شبكة بيتري، حيث أنّ الأمكنة توافق حالتها وحالة التحوّلات توافق بعث واستقبال الإرسالية.



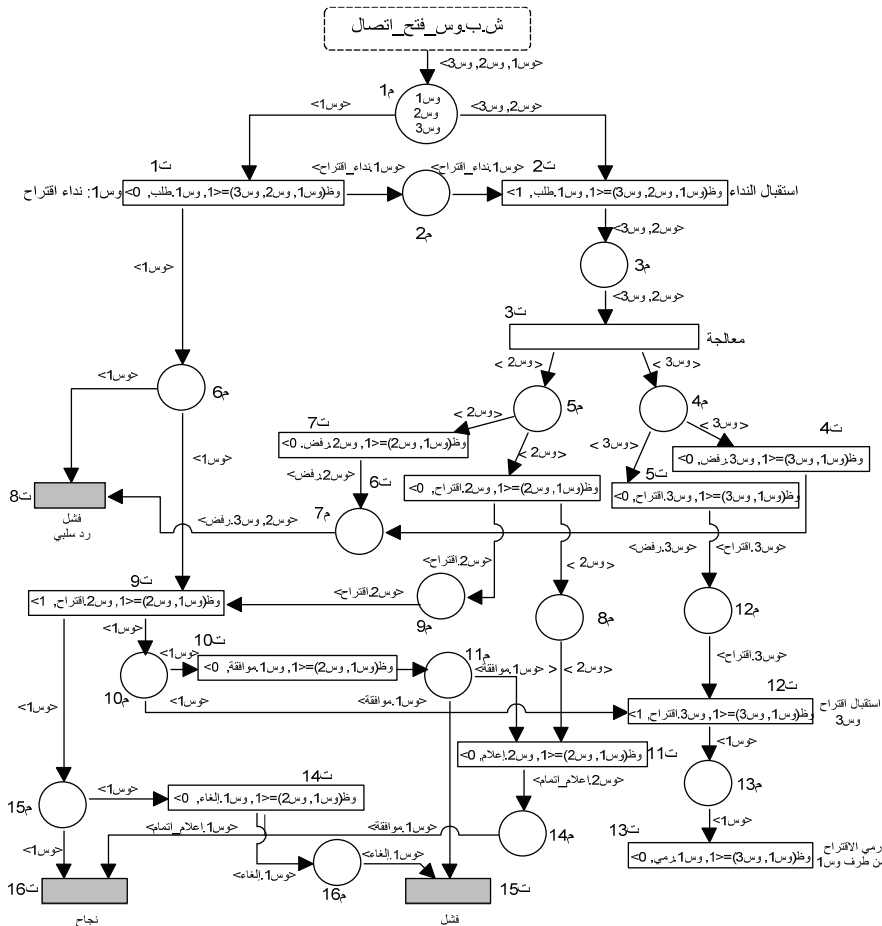
رغم سهولة المرسوم، فهناك العديد من الأمكنة، التحوّلات والأقواس التي وقع استعمالها فقط لتصوير حالة التّخاطب والوكلاء كامل عملية الاتّصال في النموذج الأصلي، المصمّم مطالب بتصوير كلتا الحالتين كلّ مرّة. مثلاً الوكيل "ب" يريد القيام بالعمل "ع" حيث لا يترك له المجال لاختيار الوكيل المراد مخاطبته، ذلك أنّه لا يمكن التّمييز بين الأقراس. لذلك فإنّ هدفنا هو استنباط نموذج تامّ وصحيح ليتمكّن كلا من الوكيل من اتّخاذ القرار بطريقة مباشرة. وهذا من خلال استعمال الوكيل كقرص محدّد باسمه. هذا النموذج يستعمل بدائيّات لغات "نظرية القانون" حيث أنّ: وس1 يبعث طلب اتّصال مع وس2 باستعمال بدائيّة "طلب". وس2 يمكنه قبول الطّلب وذلك بالردّ في هذه الحالة بإرسالية < وس2.موافقة> أو بإرسالية <وس2.رفض> في حالة الرّفص للطّلب. ورغم هذا الرّفص فيمكن إعادة الطّلب مرّة أخرى. ولتحقيق ذلك يمكننا إضافة نقاط عودة لنموذجنا. لقد بيّنا خلال ل نموذج ش.ب. و لفييا طلب مختلف الرّسائل المتبادلة بين الوكلاء حسب هيكلتها التي قمنا بصياغتها داخل الوظيفة وظ (وس1، وس2) والتي تحدّد كلّ مرّة الوكيل المرسل و المرسل إليه. في حالة نمذجة "فشل الاتصال" فإنّه يمكن إضافة نقاط عودة للمرسوم، ذلك أنّ على الوكيل وس2 إبراز سبب رفضه للاتّصال فإمّا أنّ تكون قدراته محدودة

ليتمكّن من تحقيق العمل المطلوب أو أنّه لا يريد القيام بهذا العمل المناط إليه. خلال الحالة الأولى فإنّ الوكيلين سيقومان بتنفيذ تحوّل النّهاية ت 6 و بإمكانهما العودة إلى نقطة البداية بزيادة القوس من ت 6 إلى م 1 أمّا في الحالة الثّانية وهي بسبب مشكل في التّطبيق وتنفيذ الوظيفة فإنّ الوكيل و س2 يمكن أن يقرّر إعادة طلب القيام بمهمّة التنفيذ وذلك بزيادة القوس الرّابط بين ت 9 و م 8. هذا بالإضافة إلى القوس الرّابط بين ت 12 وم 1 الذي من خلاله يتمكّن و س1 من إعادة بعث الطّلب.

ولا ننسى أنّ الوكلاء المستعملة هي وسائط ذكيّة وواعية لها القدرة على اتّخاذ القرارات و التّفاعل حسب قواعد تحدّدها مرسوم التّفاعل. فالوكيل يمكنه البقاء في حالة عطب مؤقتة في انتظار إجابة ولكن هذه الحالة لا تتكرّر بسبب قدرته على التّجاوب مع الحالات السابقة وحسن تسجيلها في قاعدة معلوماته. وبالمقارنة مع نموذجنا فإنّ الموافقة باستعمال شبكات بيتري مكان _تحوّل يجب عليها أن تكون مباشرة وذلك بنمذجة مكانين مختلفين: موافقة ورفض لقناة الاتّصال بسبب عدم "الحريّة" في اختيار أحد التّحوّلات دون الآخر. وهذا لا يمكن حلّه بالتّحكم في قناة الاتّصال وحسب وإنّما بتحديد نوعيّة الإرساليّة المبعوثة أو المستقبلّة. هذا الإشكال وقع حلّه في نموذجنا المقترح، ذلك أنّ الوكلاء محدّدة باسمها وتصرفاتها مستقلّة عن قناة الاتّصال وفي المقابل تقوم بانجاز مهامها من خلال عمليّة تبادل الإرساليّات .

3.6 نمذجة فيبا_ عقد_ نات

من خلال الرّسم الثّامن نحاول إبراز القدرة التّعبيرية للمؤطد ش.ب.و بتصويره لمراسم تستعمل العديد من الوكلاء وبمختلف أنواعها مثل فيبا_ عقد_ نات.



الرسم الثامن: نموذج ش.ب.و. فيبا_ عقد_ نات

في هذا المرسوم، هناك وسيط متحكم يختار أحد الوكلاء، دون علمه بقدرات هذا الأخير وذلك للقيام بعمل ما. هذه العملية تتم من خلال توزيعه لإرسالية طلب تنفيذ مهمة ما إلى جميع الوكلاء داخل محيطه و من ثم انتظار الأجوبة الصادرة عنها. وهكذا فإننا نقترح الاحتمالات التالية:

- كل الوكلاء ترفض عرض الوكيل المتحكم إذا فشل،
- وجود جواب ايجابي : في هذه الحالة هناك ثلاثة احتمالات:
 - إذا وافق الوكيل المتحكم علي الاقتراح، إذا نجاح (موافقة، اقتراح)،
 - إذا ألغى الوكيل المتحكم مفاوضاته، إذا فشل،
 - إذا رفض الوكيل المتحكم كل الاقتراحات إذا رمي_ اقتراح.

إن تنفيذ نموذجنا محدد بقواعد التحويلات التي تمكن من الحصول علي تسلسل الأفعال أو المهام داخل المرسوم. فمثلا تحقيق التحويل استقبال_نداء(ت2) حيث أن القوس يحمل القيمة (و.س2،

وس3) يحتمل وجود وسيطين في المكان الأسبق وهذه إحدى قواعد انجاز التحوّل. هذه الدلالة في نموذجنا تسهّل انجاز "رسم الوصول" في مرحلة التأكيد والتثبيت. إن ش.ب.و تحصل مجموعة الموصفات الأساسية لتحقيق التفاعل بين الوكلاء. فالنماذج المقترحة تمكّن من إبراز استقلالية الوكيل وقدرته على اتخاذ القرارات بطريقة مباشرة، سهلة ودالّة. ذلك أنّها قائمة على وحدات أو أسس رياضية متجانسة مع أدوات رسومية لتكوّن مؤطد ناجع وفعلّ. هذا ما يؤكّده حملها لتعبيرات نصيّة واضحة في الرّسم مع دلالات يمكن تنفيذها بأيّ لغة برمجيات. النماذج المتحصّل عليها يمكن محاكاتها وهذا ما يمثل أحد أهمّ الايجابيات لفهم التفاعل بين الوكلاء ومن ثمّ حسن استغلالها لتطوير الأنظمة القائمة عليها. فخاصيّة ش.ب.و التي عملنا على إنشائها تمكّن من مراقبة الأنظمة المعقّدة و ذلك بإدراج جملة من الشّروط أو القواعد داخل التحوّلات.

4 الختام

في هذا العمل، اقترحنا نموذج لتحديد مراسم الاتّصال في الأنظمة المتعدّدة الوكلاء باستعمال شبكات بيتري ذات الوكلاء. كان هدفنا هو تصوير التفاعل بين الوكلاء عن طريق اقتراح نموذج يجعل فهمها وتطبيقها أسهل على الرّغم من تعقيدها. ولا جدال في أنّ استخدام مراسم التفاعل بالنسبة للمحادثات يسهم إلى حدّ كبير في تطوير الأنظمة القائمة على التّواصل. ونحن نوّكد على أنّ القيود المتأصّلة في الطّرق العادية الأخرى تجعل من الضّروري استعمال الطّرق المؤطّدة لدعم القدرة التّعبيريّة والذّالة ممّا يسمح للمواصفات من التّحقّق في مرسوم التفاعل من خلال تحليل خصائصه. ومن المعلوم، على سبيل المثال، أن يصبح إدراك خصائص معيّنة للنظام أمرا مغلوّطا عندما يصل النموذج إلى مستوى عال من التّعقيد. وهكذا، فإنّ إضافة شبكات بيتري للأقواس المانعة (السّماح لاختبار عدم وجود قرص في المكان) يمكننا من زيادة كبيرة في الاختيارات خلال التّمدجة ولكن يقلّل من إمكانيات تحليل الشّبكة. بعض النّقاط ما زالت مفتوحة للتّطويرات مستقبلا، مثل تحديد المعايير والثّوابت من المراسم ويمكن أن يكون إدراج شروط زمنيّة إلى القواعد التّعبيريّة التي تنطبق على المراسم. على سبيل المثال، خلال المزايدة، كم من الوقت يجب على مدير هذه العملية الانتظار قبل اتّخاذ أي تدخّل؟ بشكل أعمّ، فإن المشرفين على المواعيد النهائيّة ليست لهم رؤية واضحة، لتقرير موعدا لإنهاء المحادثة التي لم تكتمل. خلاف ذلك، يمكننا تطوير نموذجنا من خلال دمج آليّة مهلة وإدارة الاستثناءات لتجنّب العرقلة خلال المحادثات بين الوكلاء.

5 شكر وتقدير

هذا العمل هو إهداء لروح أستاذي و مؤطري الشّهيد الدكتور "حاتم بالطاهر".
لك منّي كل الاحترام و رزقك الله الجنّة.

برهان مرزوقي

هذه المقالة هي تحية لمجهودات زميلنا الشّهيد الدكتور "حاتم بالطاهر".

كمال البركاوي

- [1] Sibertin-Blanc C. Cardoso J. and Hanachi C. *Spécification of interaction protocole with Petri Net*. In actes des *JFIADSMA'01*, Montréal, Canada, November 2001, Hermes, pp 121 - 147.
- [2] Chaib-draa B., Jarras I. and Moulin B. **Multi Agent Systems: General principles and applications**, in J. P. Briot et Y. Demazeau , Hermès, 2001.
- [3] B. Marzougui , K. Hassine , K. Barkaoui. *A New Formalism for Modeling a Multi Agent Systems: Agent Petri Nets*, Journal of Software Engineering and Applications (JSEA), vol. 3(12), pp. 1118-1124, 2010.
- [4] Ferber J. and Carle P. *Actors and Agents as Reflective Concurrent Objects: a Mering IV Perspective*, IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol. 21, No. 6, 1991.
- [5] Ferber J. *Multiagent Technology, Engineering and Computer Science*, Vol. 16, No. 8, Hermes, 1997.
- [6] Koning J.L. and Hernández I.V. *Generating Machine Processable Representations of Textual Representations of AUML*, in Third International Workshop, AOSE'02, Bologna, Italy, LN CS, Vol. 2585, Springer, 2003.
- [7] Campbell. J., Dinverno. M. *Knowledge Interchange Protocol*, in Demazeau Y., Muller J.P., editors, *Decentralized AI*, Vol. I, Amsterdam, Netherlands, Elsevier Science Publishers B.V., pages 63-80, 1990.
- [8] Conry S. E., Kuwabara K., Lesser V. R. and Meyer R. A. *Multistage Negotiation for Distributed Constraint Satisfaction*, IEEE Transaction on Systems, Man, and Cybernetics, Vol. 21, No. 6, 1991.
- [9] Smith R. G. *The Contract Net Protocol: High-Level Communication and Control in a Distributed Problem Solver*, IEEE Transactions on Computers, Vol. C-29, No. 12, 1980.
- [10] Durfee E.H and Montgomery T.A. *A Hierarchal protocol for coordinating multiagent behaviours*, In Proc. of American Association for Artificial Intelligence(AAAI), Boston, USA, 1990.
- [11] Sandholm T. and Lesser V. *Issues in Automated Negotiation and Electronic Commerce: Extending the Contract Net Framework*, in First International Conference on Multi-Agent Systems ICMAS'95, San Francisco, USA, AAAI Press, June 1995.
- [12] Foundation for Intelligent Physical Agents. FIPA 2001. *Specification: Agent Communication Language*, Available at <http://www.fipa.org>, 2001.
- [13] Singh S., Kearns M. and Littman M. *Graphical models for game theory*, In Proc. of the 17th Conference in Uncertainty in Artificial Intelligence, pp 253-260, Morgan Kaufmann Publishers, 2001
- [14] Greaves M., Holmback H. and Bradshaw J. *What Is a Conversation Policy*, In LNCS, Issues on Agent communication, vol. 19, No. 16, 2000.
- [15] Burkhard H.D. *Liveness and Fairness Properties in Multi-Agent Systems*, International Joint Conference on Artificial Intelligence IJCAI'93, Chambéry, France, 1993.

الحوصلة بالّلغة الانجليزية

Title: Modeling of Interaction Protocol in Multi Agent Systems

Abstract : This article presents a new model for the specification of multi agent Systems. The existing methodology on the agent requires a method with the ability of expression effectively so we used Agent Petri nets (A. P. N) to establish the new model. These characteristics enable it to display behavioral specifications of an interactive Agent. We have introduced the basic protocol to understanding the environment and all its components.

Keywords: Model, Multi Agent Systems, Agent Petri Nets, Interactive, protocol.

المصطلحات

في هذه المقالة استعملنا العديد من الألفاظ التقنيّة. الجدول التالي يضع ترجمة لها بالّلغة الانجليزية.

انجليزي	عربي
Protocol	مرسوم
Multi Agent Systems	الأنظمة المتعددة الوكلاء
Specification	المواصفات
Interaction	التفاعل
Petri Net	شبكات بيترى
FIPA	فيبا
General Magic	جنرال مجيك
Zus	زوس
Formal Method	الطرق المؤطرة
Environnement	محيط
Cognitive Agent	الوكلاء الواعية
Coordination	التنسيق
Cooperation	التعاون
Negotiation	التفاوض
Unified Modeling Language (UML)	لغة النمذجة المؤحدة
Model	النموذج
FIPA-Inform	فيبا_إعلام
FIPA-Request	فيبا_طلب
Contract-net	عقد_نات
Token	الأقراص
Transition	التحوّلات
Arc	الأقواس

تقليل عدد المناولات الغير ضرورية في الشبكات اللاسلكية (IEEE 802.11)

مهدي هزاع عبده أحمد

العنوان الحالي: جامعة الملك خالد، كلية علوم الحاسب الآلي
ص.ب. 394، أبها، المملكة العربية السعودية
العنوان الدائم: جامعة تعز، كلية الهندسة وتقنية المعلومات
ص.ب. 6169، تعز، اليمن

البريد الإلكتروني: dr_mahdi@gawab.com

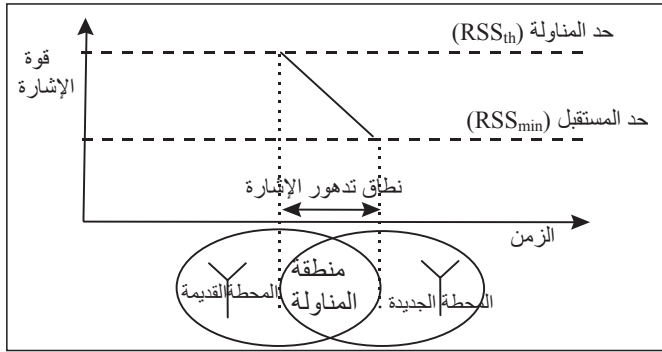
الخلاصة : تمثل المناولة عملية مزعجة يعاني منها المستخدم المتنقل. لذلك كان من المجدي تقليل عدد مرات المناولة (تغيير محطة الوصول التي يرتبط بها المستخدم حالياً إلى أخرى ذات طاقة أقوى لضمان استمرار الاتصال بالجودة المطلوبة). إلى جانب ذلك من الضروري تحديد لحظة بدء المناولة وكذلك أفضل محطة وصول يمكن الارتباط بها. عادة اختيار لحظة المناولة وكذا محطة الارتباط من قبل المحطة المتنقلة يسبب حصول عدد كبير وغير ضروري من عمليات المناولة. وهذا يؤدي إلى زيادة الكلفة بالنسبة للمستخدم والشبكة وبالذات في حالة وجود عمليات معقدة مثل عملية التحقق والتوثيق باستخدام المفتاح العام. في هذا البحث نحاول التخلص أو التقليل من ظاهرة تكرار عمليات المناولة الغير ضرورية أو ما يسمى بظاهرة البينج بونج. وللقيام بذلك نستخدم تباين قوة الإشارة المستقبلية مع عملية الاستيفاء الطرفي. وفي هذه الطريقة يتم استخدام أحدث قراءتين للإشارة مع الفارق الزمني للقراءتين لتقدير الزمن المتوقع لفقد الاتصال بإيجاد نقطة تقاطع المنحنى الناتج من العملية مع خط القيمة الصغرى لحد الإشارة والتي بعدها يقطع الاتصال. بعد إيجاد هذا الزمن يتم مقارنته مع الزمن اللازم للقيام بعملية المناولة بحيث تبدأ عملية المناولة قبل أن يكون هذا الزمن قد وصل إلى قيمة أقل من وقت المناولة وذلك ليتيسر إتمام المناولة قبل فقدان الإشارة وقطع الاتصال.

الكلمات الجوهرية: شبكات لاسلكية، واي فاي، مناولة، الإستيفاء، التخلفية، عتبة المناولة

1. مقدمة

قد يؤدي تذبذب الإشارة بسبب التضال بالمحمول (المحطة المتنقلة) إلى التغيير المتكرر لنقطة (محطة) الوصول التي توصله بالشبكة قبل أن يستقر الإتصال بنقطة وصول واحدة أو ينقطع الإتصال عند وصول مستوى الإشارة إلى مستوى غير مقبول. تسمى عملية تغيير نقطة الوصول المتكرر هذه بظاهرة البينج بونج. وتؤثر عملية تكرار التغيير (المناولة) هذه على جودة الاتصال وزيادة الحمل على الشبكة اللاسلكية. وقد يؤدي هذا إلى ما هو أسوأ إذا كانت محطتا الوصول القديمة

والجديدة ضمن نطاقات انترنت مختلفة، حيث يؤدي ذلك إلى ضرورة تغيير عنوان الانترنت للمحطة المتنقلة (المحمول) وهذا يؤدي إلى انقطاع الاتصال لبعض التطبيقات مثل FTP و Telnet [1]. من الطرق التي تمكننا من التخلص أو التقليل من ظاهرة تكرار المناولة غير الضرورية أن تظل المحطة المتنقلة مرتبطة بنقطة الوصول الحالية لأطول مدة ممكنة. لكن تواجهنا مشكلة تأخير حصول عملية المناولة أو تغيير محطة الوصول ما يؤدي إلى ضعف الإشارة وبالتالي انخفاض جودة الخدمة أو انقطاع الإتصال. ويستدعي هذا إيجاد خوارزميات أكثر تعقيداً لتحديد اللحظة المناسبة للمناولة [2]. وفي المناطق ذات الكثافة في عدد محطات الوصول تسبب عملية المناولة المتكررة معالجة إضافية تتمثل في التسجيل عند والتخلي عن محطات الوصول وهذا يؤدي إلى تكرار تعديل بيانات المحطة المتنقلة في قاعدة بيانات العناوين المؤقتة لكل مرة تحصل فيها مناولة.



الشكل 1. منطقة وحدود المناولة

عملية المناولة هي عملية تغيير محطة الوصول نتيجة تنقل المحطة المتنقلة بين نطاقات التغطية لمحطات الوصول المتجاورة أو لعمل توازن في داخل الشبكة أو نتيجة ضعف الإشارة من المحطة الحالية [3]. كما يتضح من الشكل 1 تكون عملية المناولة مطلوبة عندما يصبح مستوى الإشارة المستقبلية من المحطة الحالية (التي تستخدمها المحطة المتنقلة حالياً كوسيط في الاتصال) أقل من حد المناولة (وهو المستوى الذي يجب أن تتم عنده المناولة أو ينقطع الاتصال - RSS_{th}). في هذه الحالة تحاول المحطة المتنقلة أن تقترب بمحطة إتصال أخرى بينما هي ضمن منطقة المناولة (فترة تدهور مستوى الإشارة). عملية المناولة ينبغي أن تتم قبل أن تنخفض قوة الإشارة إلى مستوى غير مقبول (حد المستقبل - RSS_{min}).

2. دراسة الطرق السابقة

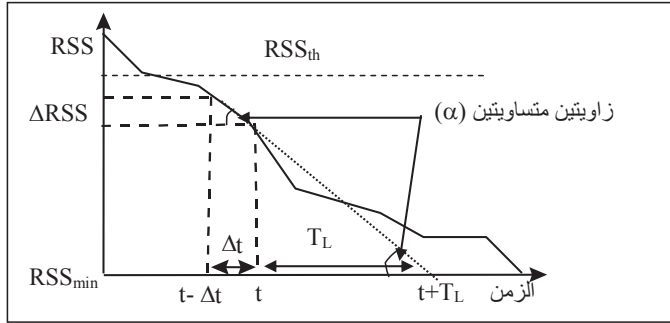
هناك العديد من معايير البدء في عملية المناولة والتي تعتمد على قوة الإشارة المستقبلية (RSS) [4]، وهي:

1. قوة الإشارة النسبية (RSS): هنا يتم اختيار محطة الوصول ذات الإشارة الأقوى (للاقتران بها). وتتم العملية على أساس قياس متوسط الإشارة المستقبلية.

2. قوة الإشارة النسبية (RSS) مع الحد (العتبة) : وهنا تتم عملية المناولة فقط إذا كان مستوى الإشارة من محطة الوصول الحالية أقل من حد العتبة للمناولة ومستوى الإشارة من المحطة الجديدة أقوى من إشارة المحطة الحالية (القديمة).
3. قوة الإشارة النسبية (RSS) مع التخلفية: تتم المناولة فقط عندما يكون مستوى الإشارة من المحطة الجديدة قوي بقدر كافي (هامش التخلفية) من الإشارة الحالية.
4. قوة الإشارة النسبية (RSS) مع حد العتبة ومع التخلفية : تغيير المحطة المتنقلة محطة الوصول هنا فقط إذا تدنت الإشارة الحالية تحت مستوى العتبة وكانت الإشارة من المحطة الجديدة أقوى من الحالية بمقدار التخلفية.

3. الطريقة المقترحة

قد تتعرض المحطة المتنقلة الى منعطف حاد عند التنقل وقد تتوقف فجأة في مكان ما لوقت محدود. في الحالة الأولى سنلاحظ تغير سريع في مستوى الإشارة بينما في الثانية سيبقى مستوى الإشارة ثابتاً.



الشكل 2. طريقة حساب T_L رسوما

نستخدم في الطريقة المقترحة فكرة المستوى التبايني للإشارة المستقبلية (ΔRSS) والفارق الزمني (Δt) الذي يتم قياس (ΔRSS) فيه لتقدير الوقت المتوقع (T_L) لانقطاع الإتصال الحالي. يتم هذا من خلال عملية الإستيفاء لأحدث قيمتي قياس للإشارة وإيجاد نقطة التقاطع مع المستقيم لأقل قيمة مقبولة للإشارة (RSS_{min}) [5]. ويمثل الفرق بين الزمن الحالي وزمن نقطة التقاطع الزمن المتوقع (T_L)، ومن خلال شكل 2 يمكن حسابه كالتالي:

$$\therefore \lg(\alpha) = \frac{RSS(t - \Delta t) - RSS(t)}{\Delta t} = \frac{RSS(t) - RSS_{min}}{T_L}$$

$$\therefore \frac{RSS(t - \Delta t) - RSS(t)}{RSS(t) - RSS_{min}} = \frac{\Delta t}{T_L},$$

حيث يمثل البسط في الجهة اليسرى تباين الإشارة المستقبلية (ΔRSS)، لذلك نجد أن:

$$\frac{\Delta RSS}{RSS(t) - RSS_{min}} = \frac{\Delta t}{T_L}$$

ومن هنا نحصل على التالي:

$$T_L = \frac{\Delta t * (RSS(t) - RSS_{min})}{\Delta RSS} \quad (1)$$

حيث، $RSS(t)$ تعني قوة الإشارة المستقبلية في اللحظة t .

وبعد إيجاد قيمة الوقت T_L التقديرية ، نستخدمه لتحديد لحظة بدء عملية المناولة.

ونسستخدم الشروط التالية لتحديد لحظة بداية عملية المناولة:

1. يجب أن تكون إشارة المحطة الحالية (القديمة) ضعيفة بحيث تقل عن عتبة المناولة (RSS_{th}) ، أي: $RSS_{old} < RSS_{th}$.

2. في نفس الوقت ينبغي أن تكون إشارة المحطة الجديدة (المؤهلة للإقتران) على الأقل أقوى من عتبة المستقبل (RSS_{min}) ، أي: $RSS_{new} > RSS_{min}$. ويجب أن تكون تساوي أو أقوى من إشارة المحطة القديمة RSS_{old} ، أي: $RSS_{new} \geq RSS_{old}$ ، وهذا الشرط نحتاجه عند عدم استخدام التخلفية.

3. أن يكون الفرق بين إشارتي المحطات الجديدة والقديمة على الأقل يساوي هامش التخلفية h ، أي: $RSS_{new} - RSS_{old} \geq h$.

4. أخيراً، وما يهمنا في طريقتنا، أن عملية المناولة لا تبدأ حتى يكون الوقت المتوقع لانقطاع الاتصال (T_L) أقل بمرتين من الوقت الذي تستغرقه عملية المناولة T_{ho} ، أي: $T_{ho} \leq T_L \leq 2 * T_{ho}$.

يضمن الشرط الأخير أن يكون هناك وقت كاف لإتمام عملية المناولة وكذلك يضمن عدم حصول عملية مناولة غير ضرورية بالذات عند ثبات مستوى الإشارة حتى ولو كانت ضعيفة. هذا بالتالي سيقبل من تكرار المناولة وبالتالي التخلص من ظاهرة البينج بونج. ينبغي كذلك ملاحظة أن تباين مستوى الإشارة يمكن استخدامه من قبل المحطة المتحركة من أجل تحديد محطة الوصول المناسبة للإقتران بها.

3.1 نموذج التنقل (التجوال)

لإجراء المحاكاة إختارنا نموذج التنقل لنطاق المحاكاة غير المحدود [6]، مع التعديلات المذكورة في [7] والتي تدخل تغيير الزمن Δt كعامل مؤثر على موقع المحطة المتحركة XY . في هذا النموذج نرسم لسرعة المحطة v ، وموقعها (x, y) وإتجاه الحركة θ ، وتحديث قيمها في كل Δt ، كالتالي:

$$\theta(t + \Delta t) = \theta(t) + \Delta \theta,$$

حيث أن: $\Delta \theta$ هي متغير عشوائي يتبع التوزيع المنتظم في الفترة $[0, 360^\circ]$.

$$v(t + \Delta t), \text{ متغير عشوائي منتظم في الفترة: } [speed_{min}, speed_{max}]$$

$$x(t + \Delta t) = x(t) + v(t) * \Delta t * \cos \theta(t + \Delta t); \quad (2)$$

$$y(t + \Delta t) = y(t) + v(t) * \Delta t * \sin \theta(t + \Delta t); \quad (3)$$

3.2 تقدير قوة الإشارة

سنقوم بحساب قوة إشارة محطة الوصول من المعادلة (4). هذا النموذج يستخدم لحساب قوة الإشارة بالإعتماد على المسافة بين محطة الوصول والمحطة المتنقلة وتستخدم نماذج مشابهة في الكثير من أوراق البحث كما في [8].

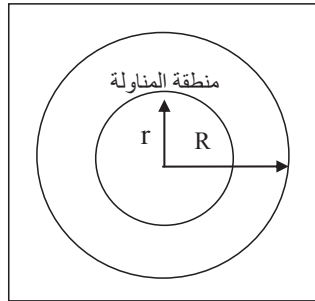
$$RSS = P - 10\beta \log(d) + N(\mu, \sigma); \quad (4)$$

حيث أن، P هي طاقة إرسال محطة الوصول، β ثابت يمثل خسارة المسار عادة بين [2، 4]، d المسافة بين محطة الوصول والمحطة المتنقلة و $N(\mu, \sigma)$ تضالو الظل والذي يمثل من خلال توزيع جاوس بمتوسط $\mu=0$ وانحراف معياري σ بين 3 و 10.

4. المحاكاة ونموذج المحاكاة والفرضيات

يتكون نموذج المحاكاة من خلية واحدة مع مناطق تقاطع مع الخلايا المجاورة كما في الشكل 3، حيث r هو مسافة عتبة المناولة و R مسافة عتبة المستقبل. إختيار نموذج الخلية الواحدة مبرر لأنه يعطي نفس النتائج كما في الخلايا المتعددة [9]. وتضمنين منطقة التقاطع مع الخلايا المجاورة يمكننا من تقدير عدد مرات المناولة الغير ضرورية التي قد تحصل من وإلى الخلية قيد الدراسة.

تم افتراض ما يلي: أبعاد الخلية ك 100×100 م، وذلك لأننا بصدد دراسة شبكات واي فاي، كذلك طاقة محطة الوصول 100 مليفولت ($P=20\text{dB}$) وهذه هي القيمة المعيارية في شبكات واي فاي، وأيضا $\beta = 3$. كذلك تضالو الظل أعتبر كمتمغير عشوائي بتوزيع اعتيادي مع متوسط $\mu = 0$ وانحراف معياري $\sigma = 4$.



شكل 3. خلية المحاكاة

الوقت البيئي للوصول ووقت استمرار الإتصال للمحطات المتنقلة نمذج كمتمغير عشوائي أسي بمتوسطات 1 ثانية و 150 ثانية على التوالي. كذلك الموقع الابتدائي xy للمحطة المتنقلة متمغير عشوائي منتظم ضمن نطاق الخلية. سرعة الحركة اعتبرت كسرعة ماشي بقدميه وموزعة عشوائيا بشكل منتظم بين [0، 2 م/ث]. كذلك اتجاه الحركة اعتبر عشوائيا ومنتظم في النطاق $[0, 360^\circ]$.

العتبات RSS_{thr} و RSS_{min} أحتسبت من المعادلة 4 بافتراض أن المحطة المتنقلة تبدأ (نتهي) لعملية المناولة عندما تكون على بعد 80% من نصف قطر الخلية (r في شكل 3) من محطة الوصول وتفقد

الإشارة عندما تكون على بعد 120% (**R** في شكل 3). في حالتنا نصف قطر الخلية 50 متر لذا نعوض $d = 40m$ في معادلة 4 لإيجاد العتبة العليا ونحصل على: $RSS_{thr} \sim -33 \text{ dB}$. وافترض فقدان الإشارة على بعد 60 متر من منتصف الخلية نعوض $d = 60m$ ونحصل على العتبة الدنيا: $RSS_{min} \sim -38 \text{ dB}$. وبتخاذ التخلفية كالحده الأعلى للفرق بين العتبة العليا والدنيا نحصل على: $h = -22 - (-38) = 4 \text{ dB}$.

يعتبر إختيار معدل فترة القياس (Δt) مهم جداً، ويجب تحديده بحد أعلى لتحجيم وقت استجابة النظام وذلك لأنه لو كان كبيراً فربما تجبر المحطة المتحركة على قطع الإتصال. وكما هو موضح في [4] فإن الحد الأعلى ل (Δt) هو:

$$\Delta t \leq (RSS_{thr} - RSS_{min}) / (\Delta RSS / \Delta t) - T_{ho};$$

حيث وأن ($\Delta RSS / \Delta t$) هو المعدل الأقصى الممكن لانحدار مستوى الإشارة. ولو اخترنا لمحطة بطيئة الحركة (2 م/ث) مثلاً $(\Delta RSS / \Delta t) = 2 \text{ dBm}$ واعتبرنا وقت المناولة $T_{ho} = 1 \text{ s}$ فسنحصل على $\Delta t \leq 1.5 \text{ s}$. في محاكائنا اخترنا $\Delta t = 1 \text{ s}$. لإجراء عملية المحاكاة تم تطوير برنامج محاكاة خاص بلغة جافا، مع مراعاة استخدام مولد قيم عشوائية مناسبة لإقتراضات المحاكاة.

4.1 مناقشة نتائج المحاكاة

في المحاكاة تمت عملية مقارنة للطريقة المقترحة مع طريقتين أساسيتين وهما المعتمدة على قوة الإشارة والعتبة وكذلك المعتمدة على التخلفية. بالنسبة للمعتمدة على العتبة ينبغي أن تحقق ثلاثة شروط من المذكورة آنفاً وهي:

$$(RSS_{new} \geq RSS_{old} \text{ و } RSS_{new} > RSS_{min} \text{ و } RSS_{old} < RSS_{thr})$$

أما الطريقة الثانية فينبغي أن تحقق الشروط:

$$(RSS_{new} - RSS_{old} \geq h \text{ و } RSS_{new} > RSS_{min} \text{ و } RSS_{old} < RSS_{thr})$$

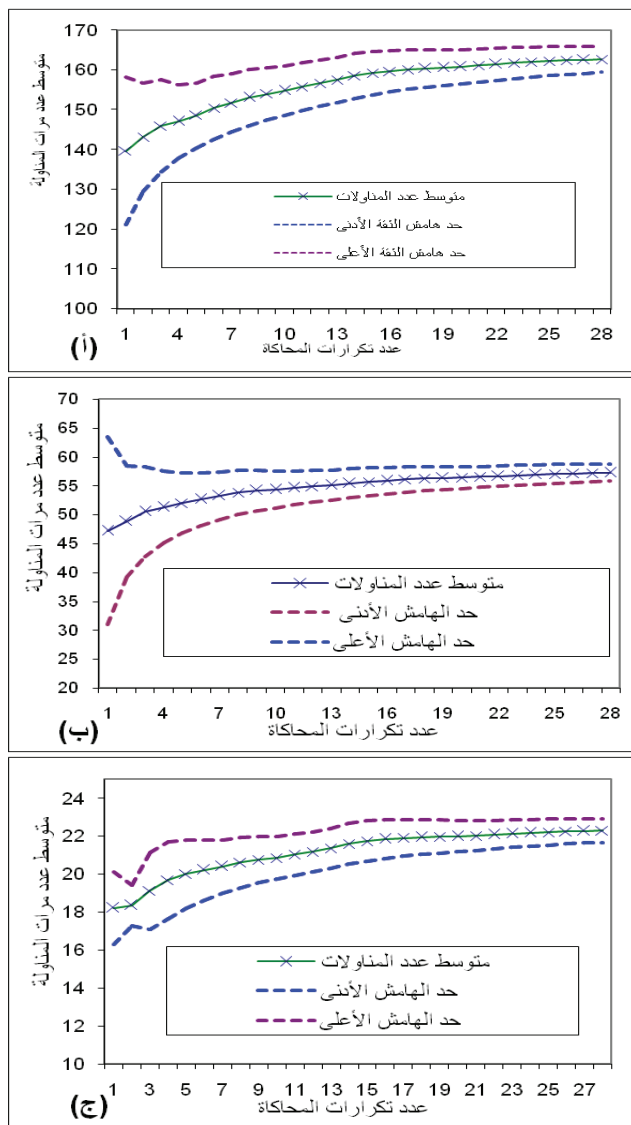
وبالنسبة للطريقة المقترحة فقد فرضنا تحقيق الشروط:

$$(T_{ho} \leq T_L \leq 2 * T_{ho} \text{ و } RSS_{new} > RSS_{min} \text{ و } RSS_{old} < RSS_{thr})$$

وذلك لضمان مقارنة صحيحة وعادلة للطرق الثلاثة. وينبغي الإنتباه إلى أنه عند تنفيذ الكريقة المقترحة عملاً فينبغي فرض جميع الشروط لتكون الخوارزمية أكثر دقة وسرعة.

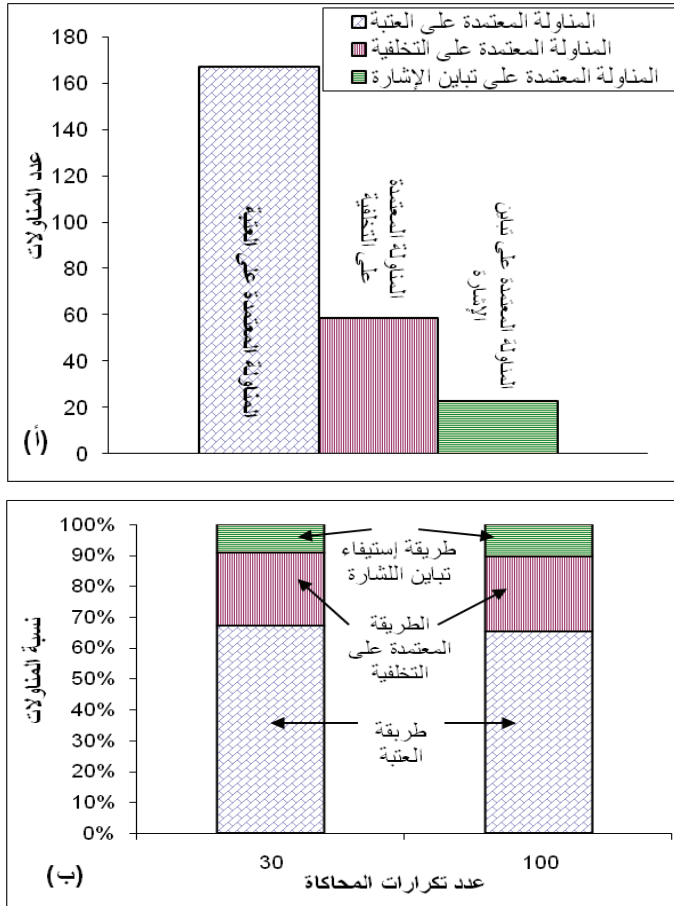
في هذه المحاكاة قمنا بمقارنة الثلاثة خوارزميات فيما يخص عدد مرات المناولة التي حصلت عند استخدام كل منها على حدة. النتائج موضحة في الشكل 4 وتظهر متوسط عدد المناولات محاطاً بهامش الثقة (الدقة) لمستوى دلالة 95% (0.05).

نتائج المقارنة موضحة أيضاً في شكل 5 على هيئة أعمدة ونستنتج منها أن خوارزمية التخلفية تتسبب في عدد مناولات أقل من خوارزمية العتبة بينما الطريقة المقترحة هي الأفضل من حيث عدد مرات المناولة.



شكل 5. قياس أداء الخوارزميات الثلاث مع مستوى دلالة (0.05). (أ) الطريقة المعتمدة على مستوى الإشارة والعتبة، (ب) الطريقة المعتمدة على التخلفية، (ج) الطريقة المقترحة (الإستيفاء وتباين الإشارة).

من الشكل 5، نرى أن طريقة العتبة تسبب 68% من العدد الكلي للمناولات بينما خوارزمية التخلفية تسبب 25% من العدد الكلي وبقية النسبة 7% وهي الأقل ناتجة عن استخدام الطريقة المقترحة.



شكل 5. مقارنة الخوارزميات بحسب (أ) عدد المناولات، (ب) نسبة المناولات

وعند حساب معدل التحسين في أداء الطريقة المقترحة فإننا نجد أنها قللت عدد المناولات بنسبة 85% وذلك كما يلي:

$$\text{معدل التحسين} = \frac{(\text{العدد الكلي للمناولات} - \text{عدد المناولات للطريقة})}{\text{العدد الكلي للمناولات}}$$

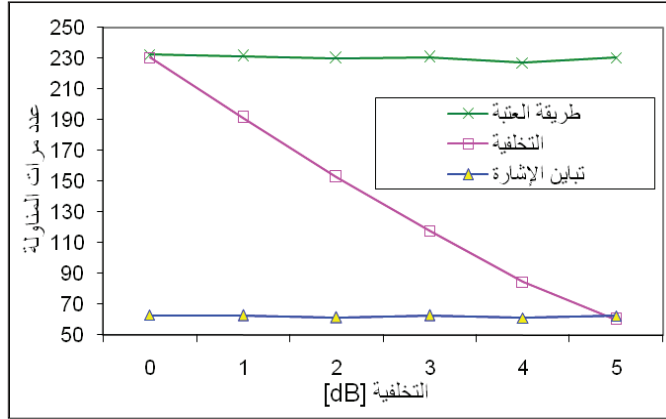
$$\text{وباعتبار العدد الكلي} = 167, \text{ وعدد المناولات لطريقة الاستيفاء لتبين الإشارة} = 23$$

$$\text{فإن معد التحسين لطريقتنا} = 0.85 = 167 / (23 - 167)$$

وبنفس الطريقة نجد أيضاً أن معدل التحسين للطريقة التخلفية = 65%.

4.2. محاكاة أثر التخلفية

تم القيام بعمل اختبار لتأثير تغير قيمة التخلفية على الطريقة المعتمدة عليها ومقارنة نتائجها بالطرق الأخرى. وقد أظهرت النتائج أن الطريقة المعتمدة على التخلفية تفوق في أدائها طريقة العتبة لمختلف قيم التخلفية ما عدا عندما ($h = 0$). بينما الطريقة المقترحة تفوق الطرق الأخرى في الأداء، كما هو موضح في شكل 6. وعندما نعطي التخلفية قيمة الحد الأعلى للفرق بين عتبة المناولة وعتبة المستقبل ($h = -33 - (-38) = 5$) وهذه القيمة غير ممكنة لأنها تعتبر قيمة حرجة تصل عندها الإشارة إلى حدّها الأدنى وبعدها ينقطع الإتصال) فإننا نجد أن الطريقة المقترحة والطريقة المعتمدة على التخلفية تتساويان في الأداء.



شكل 6. تأثير تغير قيمة التخلفية

5. الإستنتاجات

الإسهام الأساسي لهذه الورقة هو تقليل أو التخلص من المناولات غير الضرورية التي تحدث نتيجة حركة المحطات المتنقلة بين خلايا الشبكة اللاسلكية وبالذات عندما تكون هذه الخلايا صغيرة كما في شبكات 802.11. وقد اقترحت هذه الورقة طريقة الإستيفاء الطرفي للإشارة المستقبلية بهدف تحديد الوقت المناسب لإجراء عملية المناولة من خلال تقدير الوقت الذي بعده ينقطع الإتصال T_L .

المحاكاة التي أجريت للطريقة المقترحة وطريقة مستوى الإشارة مع العتبة والطريقة المعتمدة على التخلفية أثبتت أفضلية الطريقة المقترحة فيما يخص تقليل عدد المناولات غي الضرورية. وقد كانت أفضل 20% من الطريقة المعتمدة على التخلفية وقيم مختلفة للتخلفية تصل إلى الحد الأعلى المسموح به.

صحة المحاكاة فحصت من خلال حساب هامش الثقة عند مستوى دلالي 95% (0.05). وقد تبين أن قيم المحاكاة لعدد مختلف من التكرارات كانت ضمن الهامش المحسوب.

1. **Tin-Yu Wu et al.**, "Efficient IEEE 802.11 handoff based on a novel geographical fingerprint scheme", Wireless Communications and Mobile Computing, www.interscience.wiley.com, 9 Jan. 2006.
2. **K. Pahlavan**, et al., "Handoff in Hybrid Mobile Data Networks", IEEE Personal Communications, April 2000.
3. **Mahdi H.A. Ahmed**, "Handoff Techniques in IEEE 802.11 Wireless Networks", Information Technologies Conference, Ti'07, May 2007, Gdansk, Poland.
4. **Pollini G. P.**, "Trends in Handover Design", IEEE Communications Magazine, March 1996.
5. **H. Ebersman and O. Tonguz**, "Handoff Ordering Using Signal Prediction Priority Queuing in Personal Communication Systems", IEEE Trans. On Vehicular Tech. vol. 48, No. 1, Jan. 1999.
6. **Z. Haas**, "A New Routing Protocol for the Reconfigurable Wireless Networks." IEEE 6th International Conf. on Universal Personal Comm. (ICUPC '97), 1997.
7. **Mahdi H. A. Ahmed**, "Minimizing Handoff Ping-Pong Effect in 802.11 Data Networks Using Differential RSS and Extrapolation", Journal of Science and Technology, Vol.14, No.1, 2009.
8. **K. Murakami**, et al., "Mobility management alternatives for migration to mobile internet session- based services", IEEE Journal on Selected Areas in Communi. 22(5) (June 2004), pp. 834-848.
9. **S. Tekinay and B. Jabbari**, "A measurement-based prioritization scheme for handovers in mobile cellular networks", IEEE J. on Selected Areas in Commun., vol. 10, no. 8, 1992.

Title: Reduction Of Unnecessary Handoffs In IEEE 802.11 Networks

Abstract. Handoff is a potentially disruptive process that a mobile client is likely to frequently experience. Therefore, it is desirable to minimize the number of performed handoffs. It is also necessary to intelligently decide when to handoff and which new access point to connect to. Mobile nodes that choose the handoff instant and handoff access point may cause excessively frequent handoffs. This may result in high cost to both the clients and the infrastructure, especially if a handoff involves expensive operations, such as public key authentication. In this paper, we try to eliminate the ping-pong effect and minimize unnecessary handoffs by applying the concept of differential RSS (Received Signal Strength) and extrapolating the measured points in order to estimate the time for a connection to be lost. We perform some simulations to proof the effectiveness of this approach and compare it to the handoff decisions based on RSS thresholds and hysteresis.

Keywords: 802.11 wireless networks, differential RSS, extrapolation, handoff, hysteresis, ping-pong effect.

قاموس المصطلحات :

Association	الإقتران
Handoff initiation	بدء (تهيئة) المناولة
Hysteresis	التخلفية
Deregistration	التخلي عن
Fluctuation	تذبذب
Registration	التسجيل
Shadow fading	تضاؤل الظل – خفوت ظلي
Estimation	تقدير
Mobility	تنقل ، تجوال
Gaussian (normal) distribution	توزيع جاوس (اعتيادي)
Uniform distribution	توزيع منظم
Handoff threshold	حد (عتبة) المناولة
Lower limit	الحد الأدنى
Cell	خلية
Upper limit	الحد الأعلى (الأقصى)
WiFi (IEEE 802.11)	شبكات واي فاي
Ping Pong effect	ظاهرة البينج بونج
Receiver threshold	عتبة المستقبل
IP Address	عنوان انترنت
Care of address	عنوان مؤقت
Assumptions	الفرضيات
Received signal strength - RSS	قوة الإشارة المستقبلية
Relative signal Strength	قوة الإشارة النسبية
Simulation	محاكاة
Mobile Node	محطة متنقلة - محمول
Access Point	محطة وصول
Differential RSS	المستوى التباين للإشارة المستقبلية
Level of significance	مستوى الدلالة
Handoff	المناولة (تغيير محطة الوصول)
Overlapping area	منطقة التقاطع
Handoff area	منطقة المناولة
Boundless simulation area	نطاق المحاكاة اللامحدود
Internet domain	نطاق انترنت
Signal degradation interval	نطاق تدهور الإشارة
Model	نموذج
Confidence Interval	هامش الثقة – نطاق الدقة
Interarrival time	الوقت البيني للوصول

