تحسين أحد بروتوكولات التوجيه في الشبكات التشابكية

م . ماهر العاصي ، د . م . أكرم مرعي

الملخص

لقد حظيت الشبكات التشابكية باهتمامٍ متزايدٍ في مجال الشبكات اللاسلكية في السنوات الماضية من قبل مصنعي تجهيزات الشبكات اللاسلكية، المهندسين و الشركات التجاريّة. يعود الفضل في هذا الاهتمام المتزايد إلى عدّة أسبابٍ منها الوثوقية وسهولة الاستخدام وتخفيض النفقات وتقليل استهلاك ,وتملك عدة خصائص منها: تأمين بنية مرنة قابلة للتعديل ، فضلاً عن كونها تمثل حلاً اقتصادياً مناسباً لمزودي الخدمة ، كما تعد الشبكات اللاسلكية التشابكية حلاً جيداً للتزويد باتصال إنترنت لاسلكي ضمن مساحة جغرافية واسعة.

IEEE 802.11s هو معيار MAC تم اقتراحه كتعزيز لـ(WMN) Wireless mesh network.

في هذا البحث تم اختيار بروتوكول التوجيه Hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP)في الشبكات التشابكية لكي يتم تعديله وتم استخدام بيئة المحاكاة Network Simulator 3 (NS3) للتحقق من صحة الفكرة المقترحة.

في هذا البحث، تم اقتراح تحسينات للبروتوكول HWMP وذلك لاصلاح المسارات بين العقد وحمايتها من الانقطاع لأطول فترة ممكنة وذلك من خلال خوارزمية اصلاح المسارات.

أثبتت الدراسة إلى أن التعديل على الخوارزمية الاساسية للبروتوكول متمثلا بزيادة عمر المسارات الفعالة أدى الى زيادة قدرة النظام على تخديم عدد أكبر من العقد.

الكلمات المفتاحية: الشبكات التشابكية، بروتوكولات التوجيه، بروتوكول الشبكات اللاسلكية الهجين HWMP .

طالب ماجستير ـ قسم هندسة النظم والشبكات الحاسوبية كلية الهندسة المعلوماتية جامعة البعث .

أستاذ مساعد ـ قسم هندسة النظم والشبكات الحاسوبية كلية الهندسة المعلوماتية جامعة البعث.

Improving one of the routing protocols in mesh networks

Eng. Maher ALASSI, Dr.Eng. Akram ALMORIE

ABSTRACT

Mesh networks have received increasing interest in wireless networking in recent years from wireless network equipment manufacturers, engineers and commercial companies.
The credit for this growing interest is due to several reasons, including reliability, ease of use, cost reduction and consumption, and it has several characteristics, including: Providing a flexible and adjustable structure, as well as being a suitable economical solution for service providers, and mesh wireless networks are a good solution to provide a wireless Internet connection Within a wide geographical area.
IEEE 802.11s is a MAC standard that has been proposed as an enhancement to Wireless mesh network (WMN).
In this paper, the Hybrid Wireless Mesh Protocol (HWMP) routing protocol in mesh networks was chosen to be modified and the Network Simulator 3 (NS3) simulation environment was used to validate the proposed idea.
In this paper, improvements to the HWMP protocol are proposed to repair the paths between nodes and protect them from being interrupted for as long as possible through the path repair algorithm.
The study proved that the modification to the basic algorithm of the protocol represented by increasing the life of the active paths led to an increase in the system's ability to serve a larger number of nodes.

Keywords: mesh networks, routing protocols, hybrid wireless networking protocol HWMP**.**

Postgraduate Student, Department of System Engineering and Computer Network, Faculty Of Informatics Engineering, AL-BAATH University, Homs, Syria.
Assistant Professor, Department of System Engineering and Computer Network, Faculty Of Informatics Engineering, AL-BAATH University, Homs, Syria.

1.مقدمة:

شهدت السنوات الأخيرة تطوراً واسعاً في مجال الشبكات اللاسلكية بمختلف أنواعها وقد صممت الشبكات اللاسلكية لتعمل ضمن ظروف بيئية غير موثوقة وقابلة للتوسع .

حيث تشكل الشبكات التشابكية جزءاً اساسياً من شبكات الاتصالات في العالم، و تتكون من موجهات لاسلكية (Mesh Access Points) واجهزة اتصال طرفية لاسلكية تشابكية (Mesh Clients) مثل الكمبيوتر المحمول او الخلوي الذكي.

لتحسين أداء شبكات WLAN المتداخلة ، تم تطوير عدد قليل من بروتوكولات الاتصال الجديدة في السنوات الأخيرة. ومع ذلك ، عادة ما تكون هذه الحلول مملوكة وتمنع شبكات (Wireless Lan (WLAN من العمل البيني مع بعضها البعض.

بدأت الشبكات المعشقة اللاسلكية (WMN) كمجموعة دراسة لـ IEEE 802.11 في سبتمبر 2003 ، ولا تزال تتقدم مع التعديلات المختلفة.

لقد حصلت مؤخرًا على انتشار واسع في الاتصال اللاسلكي في كل مكان ، نظرًا لمرونتها وموثوقيتها وخدماتها القوية في دعم تطبيقات الوسائط المتعددة.

يمكن تصنيف شبكات WMN إلى ثلاث مجموعات رئيسية ، بناءً على بنياتها: شبكات WMN للبنية التحتية ، وشبكات WMN العميلة ، وشبكات WMN الهجينة ، حيث تكون شبكات WMN الهجينة هي الأكثر استخدامًا.

تُستخدم التقنيات الشبكية الموجودة مثلIEEE 802.11 لتنفيذ الشبكات اللاسلكية التشابكية تقوم مجموعة العمل IEEE Working group 802.11S بوضع المعايير الخاصة بالشبكات اللاسلكية التشابكية المحلية.

لعل هذا التقدم سمح بنشر تعديل على شبكات 802.11 حيث تم تطبيقه على الشبكات التشابكية، أطلق عليه 802.11 s ، حيث يُعرف ويستخدم بروتوكول الشبكات اللاسلكية الهجين HWMP .

لعل هذا التعديل والذي لم يكن محصوراً بالشبكات التشابكية سيضفي آليات جرى استثمارها من قبل العديد من الشركات التي عملت على مبدأ المنافسة للوصول إلى بروتوكول التوجيه الأمثل لتحقيق أكبر مردود ممكن على مستوى الشبكات التشابكية.

أثناء العمل على التحكم في الازدحام ، يفكر بعض الباحثين في آلية عمل المكدس وقدرة الارتباط وبروتوكولات التوجيه.

نظراً لأنه يتم التعامل مع آلية تحديد المسار في طبقة الـ MAC ، فيمكن أيضاً معالجة الازدحام عند طبقة MAC .

في سيناريو الازدحام اللاسلكي ، يحدث فقدان الحزمة أو تجاوز سعة المكدس بسبب مشكلات الاتصال اللاسلكي ، على سبيل المثال معدل خطأ أكبر بسبب القناة اللاسلكية وعرض النطاق الترددي اللاسلكي وما إلى ذلك.

في الاتصال اللاسلكي ترسل عقدة واحدة بيانات في كل مرة بسبب الخصائص المشتركة للقناة اللاسلكية. تؤدي الزيادة في تأخير الحزم وطول المكدس إلى الازدحام.

في شبكة WMN ، يتم تجميع حركة المرور في عقد البوابة.

في حال زيادة حمل حركة المرور تعاني العقد على الحواف الخارجية للشبكة من إنتاجية منخفضة وخسارة أكبر للحزم في غياب أي آلية للتحكم في الازدحام.

وكما نعلم في أنظمة تراسل المعطيات تكون الكلفة إذا قدرت بالزمن مرتفعة عند وقوع فشل في الإرسال نظرا للتأخير الزمني الذي سيحدث في إرسال الرزم ، إذ لا بد من إعادة الإرسال عدة مرات و الانتظار حتى انتهاء المهلة المحددة مسبقا لكل نظام حتى بعد هذا المسار خارج الخدمة ، بالمحصلة حين فشل مسار هناك خسارة زمنية كبيرة و ستعاني رزم المعلومات من تأخير زمني ضخم إلى أن يتم التأكد من الفشل، و ما يليه من زمن ضائع في إعادة إنشاء مسار بديل .

في هذا البحث سنستعرض خوارزمية جديدة تعتمد على علاقات رياضية بسيطة في علم المثلثات يمكن استخدامها في صيانة المسارات الفعالة و إبقائها قيد الاستخدام لفترة أطول وذلك بإيجاد وصلات بديلة عن الوصلات التي في طريقها للانقطاع و إدخالها في المسار الكلي قبل حدوث الانقطاع.

2. الهدف من البحث:

يهدف البحث إلى تحسين أداء الشبكات التشابكية من خلال تحسين أداء بروتوكول التوجيه HWMP المستخدم من خلال خوارزمية اصلاح المسارات.

تمت مقارنة البروتوكول المُحسّن مع البروتوكول الأصلي، وتوصلت الدراسة لمجموعة من التوصيات والمقترحات للدارسات القادمة حيث تم اقتراح البروتوكول المُحسّن كبروتوكول توجيه أفضل من البروتوكول الأساسي ويمكن إضافة تعديلات مفيدة عليه.

3. الدراسات المرجعية:

هناك العديد من الدراسات السابقة تناولت مواضيع مختلفة لتحسين بروتوكول HWMP.

الدراسة الاولى اقترحت آلية معدلة موزعة مع آلية التغذية الراجعة لمعلومات الازدحام. التقنية المقترحة خاصة بشبكات WMN مع MAC متعدد القنوات ، مع وجود بطاقتي NIC على العقدة الواحدة في نفس الوقت حيث يعمل كلا NIC بشكل مستقل.

إنهم يعملون على خوارزمية end–to–end ، ثم يطورون خوارزمية التحكم في الازدحام التي تتحكم في معدل المصدر مباشرة.

يتمثل الحد من التقنية المقترحة في أنها تستخدم آلية التغذية الراجعة التي تزيد من رسائل التحكم في الشبكة.

يؤدي الجمع بين خوارزميتين للتحكم في الازدحام إلى زيادة تكلفة المعالجة على كل عقدة أيضًا ويجب أن تتطلب كل عقدة بطاقتي NIC.

في دراسة اخرى هناك خوارزمية منسقة للتحكم في الازدحام تم اقتراحها لتوفير أقصى حد من الإنصاف لخوارزمية end–to–end لكل تدفق.

تم تصميم هذه الخوارزمية لكل من التدفقات الداخلية والتدفقات الداخلية والعمل مع ارتباط لاسلكي متعدد القفزات حيث وفقاً للمؤلف يمكن للبوابة أن تعمل كمنسق مركزي لأداء هندسة المرور.

تمت مناقشة مشكلة مماثلة للتحكم في ازدحام في دراسة اخرى.

في[1] اقترحت تقنية تجنب الازدحام تسمى بروتوكول الشبكة اللاسلكية الهجين لتجنب الازدحام (CA-HWMP) Congestion Avoidance Hybrid Wireless Mesh Protocol

في هذا البروتوكول ، عندما يصل مستوى المكدس في العقدة إلى قيمة عتبة محددة ، فإنه يبث CCNF إلى جيرانه المباشرين.

تبحث العقدة المجاورة عن مسار الجديد لإرسال الحزمة إلى الوجهة عند استلام CCNF ولتجنب المسار الذي به ازدحام بالفعل.

ستتوقف الحزمة عن الإرسال على الوصلة المزدحمة.

وهذا يؤدي بالتأكيد إلى تدهور الإنتاجية ، لذلك بالنسبة للتطبيقات الحساسة مثل إدارة الأزمات والسلامة ، فإنه لا يكفي للتعامل مع سيناريو الازدحام.

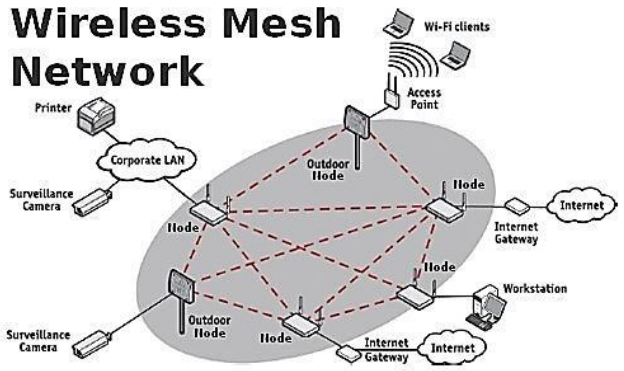
في[2] اقترحت خوارزمية لتحسين التوجيه في HWMP لآلية التحكم في الازدحام في الشبكة التشابكية اللاسلكية. اقترحت الخوارزمية التدفق المستمر للحزم في المسار المزدحم حتى يتم إعادة توجيهها إلى مسار جديد وبعد ذلك سيتم حذف هذا المسار. ولكن لم يتم فيها دراسة اصلاح المسارات بين العقد وحمايتها والتي سنقوم بتحسينها في هذا البحث.

4. الشبكات التشابكية:

تعتبر الشبكات التشابكية إحدى الطبولوجيات الشبكية الموجودة في عالم الشبكات، ولعل الكثير من التعاريف ظهرت حول شبكات و طبولوجيات MESH ، لنذكر بعض التعاريف البسيطة لهذه الشبكات:

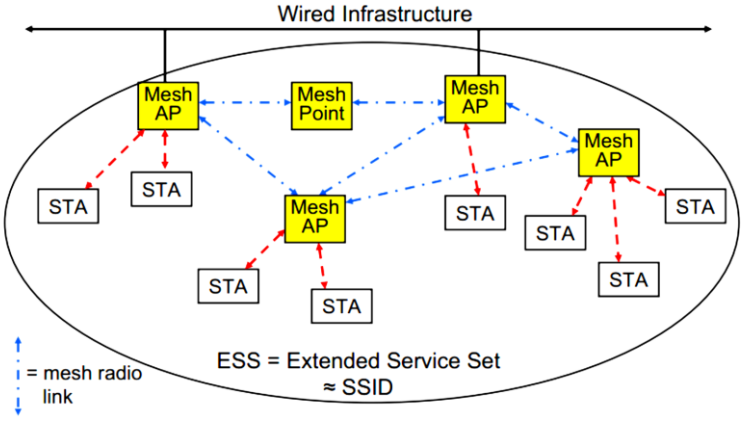
الشبكات التشابكية: هي شبكة تتكون من عقد لاسلكية مختلفة مع نقاط وصول. تعمل كل عقدة في الشبكة كعقدة إعادة توجيه لنقل البيانات. نظرًا لأن الشبكة لا مركزية ، فإن إعادة توجيه البيانات ممكن فقط إلى العقدة المجاورة. ينتج عن هذا بنية الشبكة بسيطة وسهلة. تجعل شبكة WMN الأشخاص المتصلين بالإنترنت الذين يعملون في المناطق النائية ويديرون الأعمال.

الشبكات التشابكية: هي الشبكات التي تعطي لكل جهاز موجود ضمن الشبكة أكثر من امكانية لإجراء الاتصال بالتجهيزات الأخرى كما يبين الشكل(1) ، حيث تستطيع هذه الشبكات العمل بشكل سلكي أو لاسلكي. [3]



الشكل (1) نموذج للشبكات التشابكية

إن التعديل المضاف على شبكة MESH يوضح من خلال المقارنة بين الشكل (1) و الشكل (2) ، حيث يتم توزيع شبكة الإنترنت من شبكة سلكية إلى أخرى لاسلكية وهكذا لأخرى لاسلكية وهكذا دواليك دون الحاجة لوجود أي اتصال فيزيائي سلكي بين نقاط البث.



الشكل (2) نموذج لشبكة لاسلكية ضمن الشبكة التشابكية

إن ما يهمنا في بحثنا هذا هو الشبكات التشابكية اللاسلكية، حيث نستطيع أن نطلق عليها شبكات WMNs ، و تعرف على أنها شبكات MESH إلا أنها تتصل فيما بينها بشكل لاسلكي، ولعل هناك الكثير من الأمور و الأسباب التي جعلت هذه الشبكات تلاقي رواجاً كبيراً في المجالات التطبيقية.

تعريف ببروتوكولHWMP

إنّ معظم البنية التحتية في شبكات WMNs تميل لجعل الحركية أصغرية ، وتميل أيضاً لجعل معظم الدفق (Traffic) من وإلى شبكة الانترنت، ولكن معظم العقد مثل التجهيزات الحاسوبية(مثلاً) Laptop وغيرها يمكن أن تعمل كمحطات تشابكية ولكن بلا شك تحتاج لأن تكون مدعومة بالحركية.

إذاً لجعل معظم التجهيزات على اختلاف أنواعها فعالة وأن تتواجد في هذه البيئة التي نريدها لابد من خلق بروتوكول توجيه يكون فعال لمختلف السيناريوهات، وهذا البروتوكول هو HWMP الذي تم تخصيصه لشبكات 802.11s ، والذي يستخدم مجموعة من قواعد البروتوكول من حيث توليد ومعالجة الإجرائيات المستوحاة من البروتوكول AODV ، حيث نستطيع أن نعبر عن البروتوكول HWMP بأنه آلية تجمع بين العناصر الاستباقية(القَبلية) (Proactive) والاستجابية (البعدية) (Reactive) لطرق اختيار المسار والتي تضفي أمثليه وفعالية لطريقة اختيار المسار في بيئات تشابكية متعددة ومتنوعة، وذلك بوجود أو غياب البنية التحتية.

في بروتوكول HWMP لدينا منهجيتين على اختلاف الطوبولوجيا التي لدينا وهما:

✓نمط اختيار المسار On-Demand : تم تبنيه من أجل العقد التشابكية التي تختبر البيئات المتغيرة.

✓نمط اختيار المسار Tree-Based الاستباقي : تم تبنيه وهو اختيار فعال من أجل العقد التشابكية في طوبولوجيا الشبكات الثابتة.

☒ **ملاحظة** :النمطين السابقين يمكن أن يعملان بوقت واحد (concurrently) ، حيث يستطيع النمط Tree-Based أن يسمح للاتصال بأن يبدأ فوراً بين عقدتين ضمن نفس الشبكة التشابكية، بينما النمط On-Demand فيعمل على إعطاء المسار الأفضل بين العقدتين ضمن الشبكة الموجودة.

5 .الأدوات المستخدمة في البحث:

تم في هذا البحث استخدام محاكي الشبكات NS3 حيث تم تنصيبه على Ubuntu 20 وتم تنصيب الحزم الضرورية والتأكد من عملية تنصيب هذا المحاكي بشكل ناجح.

مقاييس الأداء:

هناك أنواع عديدة من مقاييس الأداء لتقييم الأداء والتي تملك كل منها سلوك مختلف لأداء الشبكة الإجمالي ومنها الانتاجية.

الانتاجية (Throughput): هي معدل الرزم أو البتات التي تستطيع الشبكة نقلها بنجاح خلال واحدة الزمن، وتقدر الإنتاجية ب(bits/sec) ، ويوجد العديد من العوامل التي تؤثر على إنتاجية الشبكة منها عرض الحزمة المتاح ، والازدحام وعلميات إعادة الإرسال والتأخير.

الأدوات المستخدمة : Gnuplot، ،NS3

NS3: عبارة عن محاكي منفصل لشبكة الأحداث ، حيث يتتبع جهاز المحاكاة عددًا كبيرًا من الأحداث التي يتم تنفيذها كما هو مخطط لها خلال وقت محاكاة محدد.

وظيفة المحاكي هي تنفيذ الأحداث في سلسلة زمنية متسلسلة. بمجرد تنفيذ حدث ما ، سينتقل المحاكي لتنفيذ الحدث التالي (أو سيخرج إذا لم يكن هناك المزيد من الأحداث في قائمة انتظار الحدث).

الأداة Gnuplot: تعتبر من أهم الأدوات التي تستخدم لرسم مخططات بيانية لمعطيات يمكن تخزينها في ملفات، و تتميز هذه الأداة بالعديد من الوظائف والمهام. يمكن الاستفادة من هذه الأداة لتسييل عملية رسم ومقارنة مخططات نتائج المحاكاة بعد استخدام أداة الفلترة AWK ، ويكون خرج هذه الأداة عبارة عن صور لمخططات المطلوبة.

6 .منهج البحث:

تحسين صيانة المسارات في البروتوكول HWMP

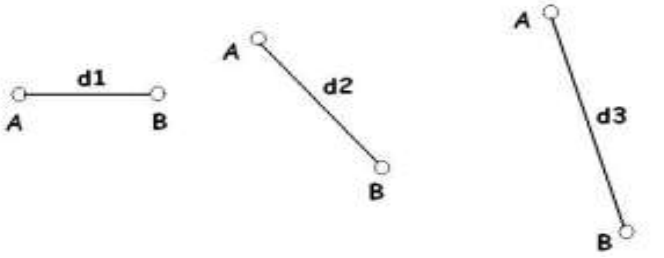
عندما تزداد أحجام الشبكات و تزايد المساحات التي تنتشر عليها العقد مما يعني ازدياد أطوال المسارات لا بد حينها من أن تعاني من ازدياد في عدد الانقطاعات و طلبات الإصلاح، خصوصا عند ازدياد حركية و سرعة تمثل أماكن تلك العقد مما يعني أن العقدة المرسلة قد لا تجد الوقت الكافي لاكتشاف مسار آخر قبل أن يعاني من انقطاع في وصلة أخرى فيه.

في دراسات سابقة طرحت فكرة الإصلاح المحلي أي عندما يتم سؤال العقد المحيطة في منطقة حدوث الانقطاع فيما إذا كانت أي منها العقدة الهدف أي العقدة المراد إيصال الرسالة إليها أو تعرف طريقاً إلى تلك العقدة مما يوفر الكثير من الوقت و الطاقة وذلك بعدم إشغال كامل المسار و العقدة المصدر باكتشاف مسار جديد وإضاعة الوقت بإعادة الإرسال على كامل المسارات الجديدة و إنما الاعتماد على العقدة التي يتم عندها الانقطاع لاكتشاف وصلة أو مسار بديل عن الوصلة المقطوعة يمكن ضمه إلى المسار الأصلي و إصلاح الانقطاع.

على الرغم من التحسن الملحوظ في أداء البروتوكول باستخدام هذه الخوارزمية إلا أننا نلاحظ أنها تنتظر حتى حصول الانقطاع حتى تبدأ بالعمل مما يعني أنه يجب تخزين رزم المعلومات و الانتظار حتى إصلاح المسار مما يعني مزيدا من التأخير و أسوا ما يمكن أن يحدث هو أن لا تمتلك العقدة المعنية بالإصلاح مسارا إلى الهدف، من جهة أخرى و على طريق السعي لتحسين أداء هذه الخوارزمية وجدت عدة دراسات حاولت تلافي مثل هذه السلبية من خلال توقع الانقطاع قبل حدوثه و اعتماد مقاربات مختلفة لإصلاح الانقطاع المفترض قبل حدوثه .

7 .الخوارزمية المقترحة في تطوير برتوكول HWMP :

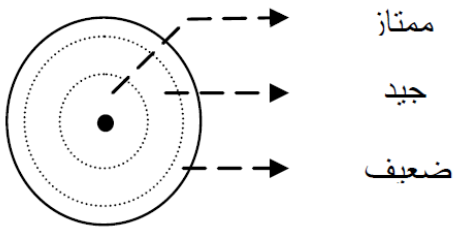
لنفترض وجود عقدتان A و B كما في الشكل رقم (3) تتحركان بشكل عشوائي و لكل منهما مدى بث ممثل بكرة نصف قطرها r تكون العقدة في مركزها مما يعني أن أية عقدة تقع ضمن r يمكن أن تستقبل أية إشارة مرسلة من العقدة الواقعة في المركز و لكن بقوة إشارة مختلفة.



d1<r d2=r d3>r

الشكل رقم (3) يوضح التوضع العشوائي و التغير في المسافة بين عقدتين متراسلتين

لذا يمكن أن نفترض أن المجالات الثلاثة تعتمد على قوة الإشارة كما في الشكل رقم (4) ، و تعني الوصلة الضعيفة أنها سوف تنقطع بعد زمن Tb.



الشكل رقم (4) يوضح المجالات الثلاثة لقوة الإشارة حول العقدة

سنعتمد في هذه الدراسة على الانعكاس الأرضي ثنائي الإشعاع (Two Ray Ground Reflection) كنموذج للانتشار و ستعتمد على القوانين الخاصة بهذا النوع من الانتشار في شرح الخوارزمية لأننا نفترض هنا أن العمل يجري في أرض مستوية وهمنا الأساسي هو فقط حالة دخول أو خروج عقدتين من أو إلى مجاليهما الراديويين

، لذا سنستخدم تخامد الفضاء الحر مساو ل $(1/r^2)$ للطرف القريب و تخامد مساو لـ $(1/r^4)$ من اجل الطرف البعيد أي عند المستقبل.
تحسب قوة الإشارة عند المستقبل وفقا للمعادلة التالية:

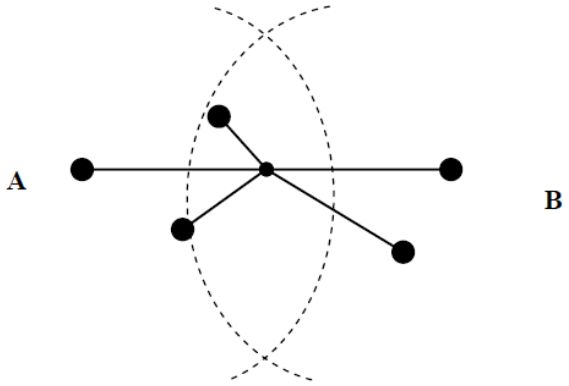
$$P = \frac{P_t * G_t * G_r * (h_t^2 * h_r^2)}{d^4} \qquad (1)$$

P: قوة الإشارة
P_t: قوة الإشارة عند المرسل
G_t: ربح الإشارة في المرسل
G_r: ربح الإشارة في المستقبل
h_t :ارتفاع هوائي المرسل
h_r: ارتفاع هوائي المستقبل
d: المسافة بين المرسل و المستقبل

بفرض أن P_t ثابت لجميع العقد و أن الأرض مستوية و جميع العقد متشابهة بالمواصفات فإن $h_t = h_t$= const مما يؤدي إلى تبسيط المعادلة السابقة لتصبح كالتالي:

$$d^4 = K \frac{P_t}{P} \qquad (2)$$

تظهر هذه المعادلة انه يمكن حساب المسافة بين عقدتين حين معرفة قيمة الاستطاعة المستقبلة وهو أمر يمكن تدبره بسهولة ضمن ظروف المحاكاة المفروضة لهذه الدراسة.
كما ذكرنا سابقا عندما يصبح الاتصال ضعيفا و قبل أن ينقطع تقوم العقدة المستقبلة B كما في الشكل رقم (5) بإرسال رزمة خاصة تطلب فيها من العقد الواقعة في منطقة التقاطع إبلاغها ببعد كل منها عن نقطة المنتصف.



الشكل رقم (5) حالة الوصلة الضعيفة و بدء البحث عن العقدة الوسيطة في منطقة التقاطع

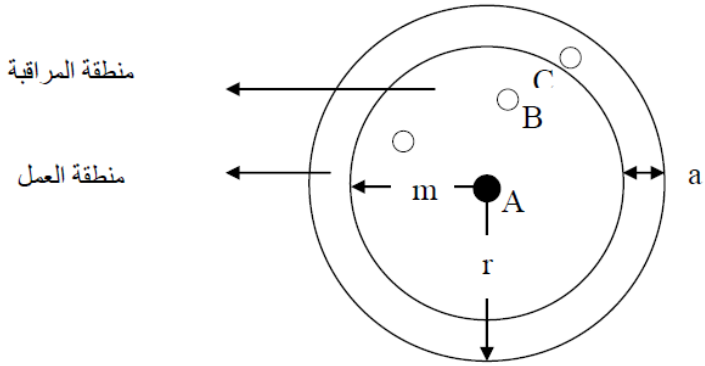
تقوم هذه العقد بالرد على العقدة B و إعلامها بالبعد، فتعمل الأخيرة على انتقاء العقدة التي تمتلك المسافة الأقصر عن المنتصف لاستخدامها حالما ينقطع الاتصال و في الوقت نفسه تبلغ العقدة المصدر انه يجب تغير المسار في ترويسة الرزمة إلى المسار الجديد.

من أجل اختيار عقدة من العقد المتوضعة في الوسط تقوم العقدة B باستخدام تابع قياس لاختيار العقدة الأقرب إلى المنتصف على اعتبار أن العقدة الأقرب إلى المنتصف يكون احتمال بقائها في المنطقة المشتركة اكبر من بقية العقد.

تطبيق الخوارزمية

لنطلق تسمية ما لهذه الرزمة الخاصة بهذه الخوارزمية و لتكن إيجاد العقدة المتوسطة (FIN) أو اختصارا (Find intermediate node)

تولد هذه الرزمة حينما تنخفض قوة إشارة الرزمة المستقبلة تحت مستوى العتبة و التي يجب اختيارها بدقة بحيث يعطى الوقت الكافي لإيجاد مسار بديل قبل حدوث الانقطاع و بحيث لا تؤدي قيمتها إلى البدء بالبحث بشكل أبكر من اللازم.



الشكل رقم (6) يبين مدى الإرسال لكل عقدة و حدود منطقة إطلاق الخوارزمية

يوضح الشكل رقم (6) مدى الإرسال لكل عقدة و حدود المناطق التي يبدأ عندها إطلاق الخوارزمية حيث:

r : نصف قطر منطقة الإرسال

m : نصف قطر منطقة المراقبة

a : الفرق بين القطرين و الذي يمثل المسافة التي تعمل فيها الخوارزمية

$a=r-m$

ملاحظة: لا نستطيع اعتبار تلك الأبعاد ثابتة و إنما تختلف من شبكة إلى شبكة أخرى و حتى لو تشابهت مواصفات تلك العقد في الشبكات المختلفة، فعلى سبيل المثال في الشبكات ذات الحركية العالية يجب أن نأخذ بالحسبان أن منطقة الإشارة الضعيفة سوف تكون أكبر منها في الشبكات ذات الحركية المنخفضة أي أن الخوارزمية سوف تنطلق بشكل أبكر حتى يتوفر لها الوقت الكافي لإصلاح المسار قبل خروج العقدة المشكلة للوصلة الضعيفة وذات السرعة العالية من مدى الإرسال، و تحدد كل من m و a بالاعتماد على سرعة و اتجاه العقد، و أسوا حالة هي حينما تنطلق عقدتان بأقصى سرعة باتجاهين متعاكسين عن بعضهما ، ولتوضيح هذه الفكرة لنأخذ المثال التالي: لنفرض أن السرعة القصوى لأية عقدة في شبكة ما هي 20 m/s في منطقة

مستوية يكون فيها المدى الأقصى للإرسال 400 m و لنفرض أن a = 25m و لنفرض أن الزمن اللازم لإيجاد عقدة جديدة و إعلام المصدر عندها يكون

$$a = T.(VI-V2)$$
$$a = T.\ [20-(20)]$$
$$25 = T.\ (20+20)$$
$$T = 0.625s$$

أي بعد هذا الزمن فإن الوصلة سوف تنقطع. في الحقيقة هذا الزمن أكثر من كاف لإيجاد عقدة جديدة ولكنه اختير للتأكد من أن المصدر يمتلك الوقت الكافي لتغيير المسار قبل انقطاع الاتصال مهما كان عدد القفزات.

4.الخوارزمية النهائية

تقوم الخوارزمية النهائية بتطبيق الإجراءات التالية بالترتيب:

1.افحص قوة الإشارة .

2. البحث في الذاكرة عن مسار آخر .

3. البحث عن عقدة وسيطة بين العقدين السابقة و التالية للعقدة التي اكتشفت ضعفا في قوة الإشارة.

4. البحث عن عقدة وسيطة ما بين العقدة نفسها و العقدة التي تسبقها.

5. العودة إلى الحالة الطبيعية للخوارزمية ما قبل التعديل

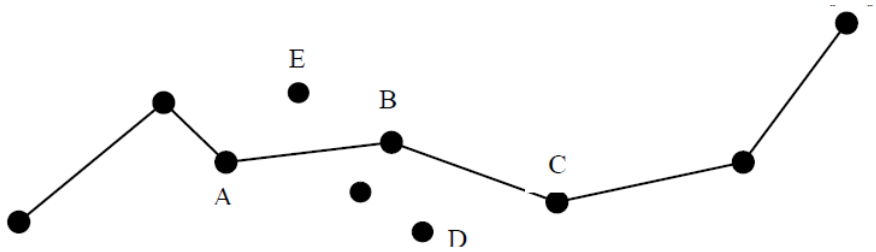
و لنشرح الآن ماذا يعني كل إجراء من الإجراءات السابقة:

1.افحص قوة الإشارة : تقوم العقد باستمرار بقراءة قوة الإشارات المستقبلة و تقوم بتحديد بعدها اعتمادا على قوة تلك الإشارات و تهتم خصوصا عندما تنخفض قوة الإشارة عن حد العتبة إذ إن قوة الإشارة تعكم بعدها عن الجهة المستقبلة.

2. البحث في الذواكر عن مسار بديل : عندما تكتشف عقدة وسيطة ما إن وصلتها سوف تنقطع بعد فترة قصيرة من الزمن تلجأ حينها إلى طريقة مجانية تختصر الكثير

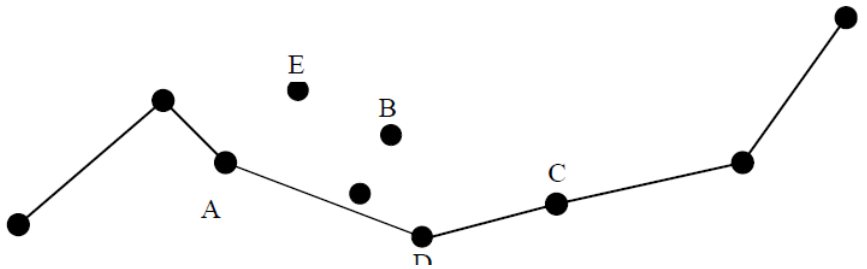
من المعالجة و وقت البحث و رزم التحكم و ذلك عن طريق البحث في ذوا كرها عن مسارات مخزنة مسبقا و تصلح لتحل محل الوصلة المقطوعة.

3. البحث عن عقدة وسيطة بين العين السابقة و التالية : تهدف هذه الطريقة إلى إنقاص عدد القفزات الناتجة عند محاولة العقدة المصدر إخبار العقدة الهدف في الطرف الآخر للمسار عن وصلة ضعيفة ضمن المسار الكلي في الطرق التقليدية الأخرى لإصلاح المسار حيث تلجا هذا العدة المعنية بالوصلة الضعيفة إلى الحصول على مسار أخر إلى العقدة التي تلي الوصلة الضعيفة عن طريق إرسال رسالة طلب مسار تسال فيه عن تلك العقدة بالذات.



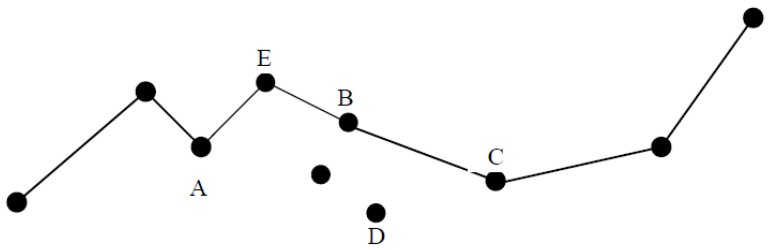
الشكل رقم (7) يبين اكتشاف وصلة ضعيفة في المسار

يوضح الشكل رقم (7) هذه الآلية حيث تكتشف العقدة B أن الوصلة AB ضعيفة و عندها ترسل B إلى A لتعلمها بأن الوصلة ضعيفة و بما أن A تعلم مسبقا بأن القفزة التالية بعد B هي C تقوم بإرسال طلب مسار و تثبته بشكل عام مع زمن حياة مساو لـ2= TTL (time to live) أي أن هذا الطلب فعال لقفزتين فقط نسأل فيه عن أي عقدة تعرف طريقا إلى العقدة C ، فترد عليها في مثالنا هذا العقدة D أو ترد C نفسها عبر D، بالمحصلة تخبر العقدة A المصدر لتغيير المسار من ABC إلى ADC ليصبح المسار كما في الشكل رقم (8)



الشكل رقم (8) إصلاح المسار باستخدام عقدة وسيطة بين العقدتين السابقة و التالية

4. البحث عن عقدة وسيطة ما بين العقدة الحالية و العقدة التي تسبقها : إذا فشلت الآلية السابقة و تعذر وجود عقدة قادرة على إصلاح الوصلة و الحلول مكان العقدة التي رصدت الإشارة الضعيفة حينها تلجأ هذه العقدة إلى إطلاق الخوارزمية الجديدة التي تقوم بالبحث عن عقدة وسيطة تستطيع أن تكون بمثابة جسر ما بين العقدة الحالية والعقدة السابقة أي يتم البحث عن عدة بين A و B بحسب المثال السابق. نقوم B بإرسال رسالة خاصة كنا قد عرفناها سابقا ب(FIN) تطلب فيها من العقد المتواجدة في المنطقة المحيطة بإخبارها عن مسافة كل عقدة عن نقطة المنتصف ما بين A و B ثم تقوم B بعد استقبال ردود هذه العقد باختيار العقدة الأقرب من المنتصف لاستخدامها لإصلاح المسار قبل الانقطاع و في الوقت نفسه تخبر العقدة المصدر لتحديث المسار بحسب التغييرات الجديدة كما في الشكل رقم (9) وتغيير معلومات المسار في ترويسة رزم المعلومات الجديدة.



الشكل رقم (9) إصلاح المسار باستخدام الخوارزمية المقترحة

نلاحظ أن هذه الخوارزمية أخذت أولوية أقل من الآلية السابقة أي أن عملها يبدأ بعد فشل الخوارزمية رقم 3 السابقة و السبب واضح لكونها تزيد عدد القفزات بمقدار قفزة عن الحالة السابقة.

5. العودة إلى الحالة الطبيعية للخوارزمية ما قبل التعديل : حين يتم تنفيذ الإجراءات 2 و 3 و 4 ولا يتم كشف مسار جديد عندها يعود الوضع إلى الحالة الطبيعية للبروتوكول حيث تقوم العقدة المعنية بالانقطاع بإرسال رسالة خطا مسار (ROUT ERROR) تعلم فيها المصدر حال حدوث الانقطاع فتقوم عندها جميع العقد التي تستلم رسالة الخطأ بإزالة هذا المسار من ذواكرها وصولا إلى العقدة المنبع التي تبدأ عندها عملية بحث جديدة عن مسار أخر إلى الهدف .

عملية المحاكاة SIMULATION :

- **البيئة**

الجدول رقم (1) يبين البارامترات المستخدمة في بيئة المحاكاة:

عدد العقد	من 10 إلى 10000
مدى الإرسال للعقدة	250 متر
سعة القناة	2MB/S
مساحة المحاكاة	3000 م ×3000 م
سرعة حركة العقد	0 – 20 م / ثانية
زمن المحاكاة	3600 ثانية
وقت التوقف	3000-2000-1500-1000-500-100-30-10
معدل إرسال الرزم للعقدة	1 Packet every 0.1 s
حجم المعلومات لكل رزمة	512 Bytes
نموذج الحركة	Random waypoint

يستخدم المحاكي لتقييم عمل البروتوكول و التعديلات المضافة إليه و ذلك في بيئة مكتبة (GLOMOSIM) و التي تعتبر بيئة مناسبة لمحاكاة الأنظمة اللاسلكية

لامتلاكها قدرة محاكاة للأنظمة المتوازية المعقدة (PARSEC). أما البارامترات المستخدمة في هذه المحاكاة قد عرضت في الجدول السابق.

النتائج و المناقشة

أولا: باعتبار أن البروتوكول الذي تعمل عليه هو بروتوكول مخصص للشبكات اللاسلكية المتحركة لذا فان من الضروري دراسة تأثير الحركية في أداء البروتوكول بعد التعديل و مقارنتها مع تلك التي أخذت قبل التعديل حيث اعتبرنا هنا أن كل عقدة تتحرك بطريقة عشوائية (random waypoint) حيث تختار العقدة المتحركة نقطة ضمن منطقة التجربة و تسير باتجاهها بسرعة تختارها عشوائيا قيمتها تتراوح بين الصفر و 20 مترا بالثانية ثم تتوقف لفترة زمنية ما في تلك النقطة و بعدها تعاود تكرار العملية السابقة.

بالنسبة للشروط المطبقة في هذه التجربة لدينا عدد من المتغيرات يكفي أن تتغير إحداها حتي تؤدي إلى تغيير الحركية و هنا على اعتبار أن السرعة الدنيا للعقدة هي 0 والسرعة القصوى هي 20 متر بالثانية أي كلتا السرعتين الدنيا و العليا ثابتتان بعكس زمن التوقف للعقدة الذي يتغير في هذه التجربة من 10 ثوان إلى 3000 ثانية و سندرس تأثير هذا التغير في أداء البروتوكول.

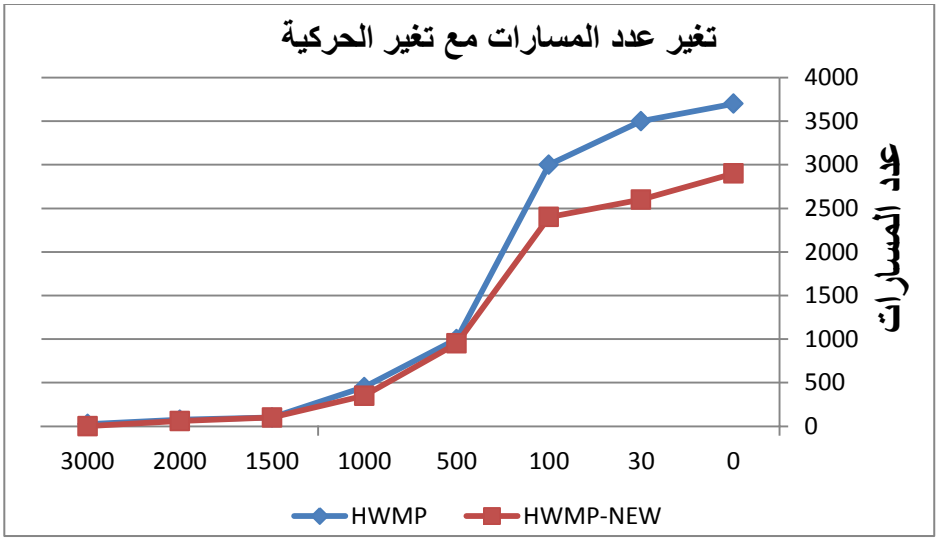
هدفا من خلال هذه الدراسة هو زيادة زمن حياة المسارات المنشأة، و على الرغم من أنه لا يمكن قياس زمن الحياة من خلال هذه المحاكاة إلا أنه يمكن استنباط ذلك كون التغير في عدد المسارات المولدة يعكس ازدياد أو نقصان زمن الحياة لهذه المسارات كما في الشكل رقم (10) الذي يبين بوضوح تزايد عدد المسارات المولدة مع ازدياد الحركية أي عندما يقل زمن التوقف عن 100 ثانية بسبب الانقطاعات المتزايدة مع تزايد الحركية مما يؤدي إلى تزايد عدد المسارات المولدة أي انخفاض زمن الحياة.

عند مقارنة كلا البروتوكولين قبل و بعد التعديل نلاحظ وجود فرق واضح في الأداء لصالح البروتوكول الذي يستخدم خوارزمية عدم الانقطاع و يزداد هذا التحسن مع ازدياد الحركية أي أننا نجحنا من خلال هذه الخوارزمية في زيادة زمن الحياة للمسارات المولدة، و زدنا من مرونة هذا البروتوكول في التعامل مع الحركية العالية.

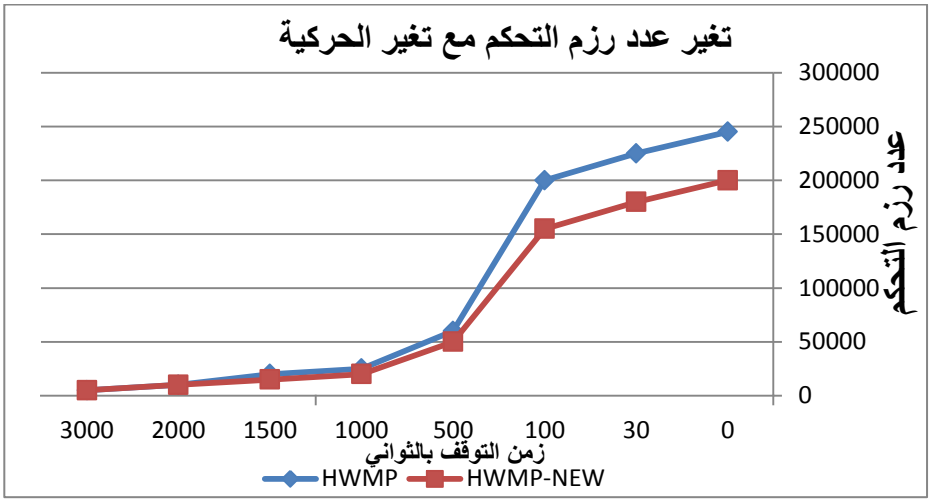
إضافة إلى ذلك تستطيع ملاحظة فائدة أخرى لهذه الخوارزمية و لربما هي الأهم و تتمثل بتوفير لا بأس به في استهلاك عرض الحزمة مستندين في ذلك إلى نتيجة مقارنة عند حزم التحكم والذي انخفض بعد التعديل كما هو موضح بالشكل رقم (11) نتيجة لانخفاض عدد المسارات المولدة مما يعني انقطاعات أقل و من ثم رسائل خطأ أقل و رسائل طلبات بحث عن مسارات جديدة أقل مما يؤدي بالنتيجة إلى توفير في استهلاك عرض الحزمة، و كما يوضح الشكل نلاحظ أن البروتوكول المعدل أفضل من البروتوكول القديم و تزداد أفضليته مع تزايد الحركية و هي نقطة إيجابية أخرى تضاف إلى هذه الخوارزمية.

الهدف الأساسي لهذه الخوارزمية هو إصلاح المسارات و حمايتها من الانقطاع لأطول فترة ممكنة وهذا ما يوضحه الشكل رقم (12) الذي يظهر تزايدا في عدد القفزات بعد التعديل و الذي قد يبدو للوهلة الأولى أمرا سلبيا وفي غير مصلحة الخوارزمية إلا أنه في الحقيقة أمر ايجابي لأنه يعني أن الخوارزمية قد عملت فعلياً و أدت الغرض المطلوب منها في إضافة عدة وسيطة لإنقاذ المسار، و كونها قد زادت عند القفزات إلا أنها وفرت عددا اكبر و غير محدود من القفزات الضائعة عند إرسال رسائل الخطأ و رسائل طلب المسار إضافة إلى توفير الزمن الضائع في إعادة البحث و الاكتشاف.

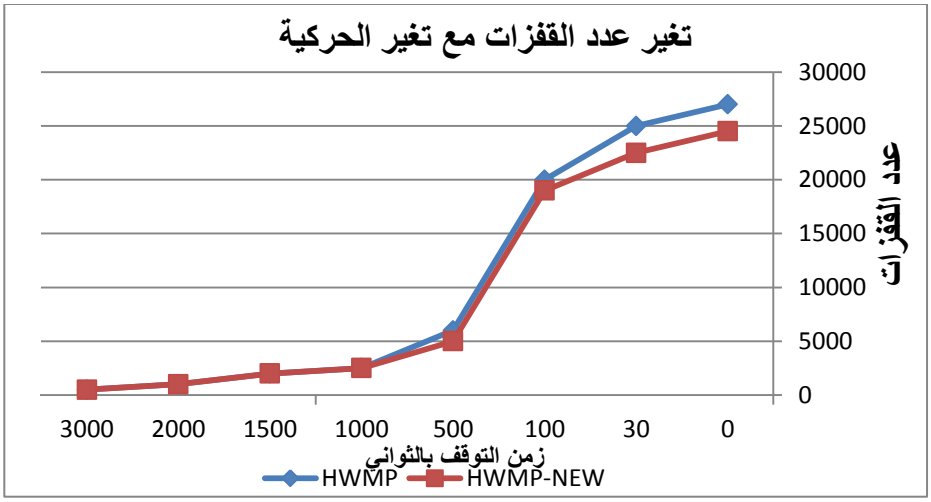
بالمحصلة نلاحظ أن الخوارزمية قد وفرت في استهلاك عرض الحزمة و وفرت في الزمن الضائع نتيجة الانقطاع و إعادة البحث مما يعني زيادة في كمية المعلومات المستقبلة عند العقدة الهدف و هذا ما يوضحه كل من الشكلين (13) و (14)



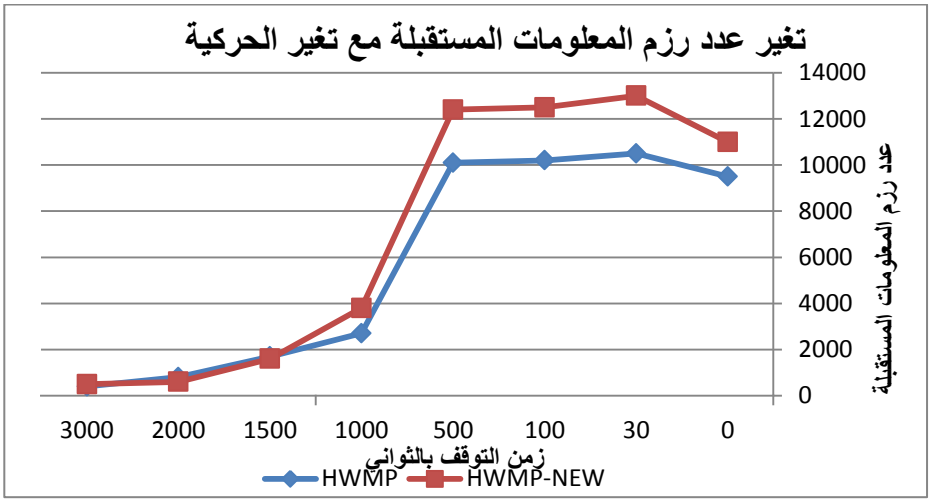
الشكل رقم (10) تغير عدد المسارات مع تغير الحركية



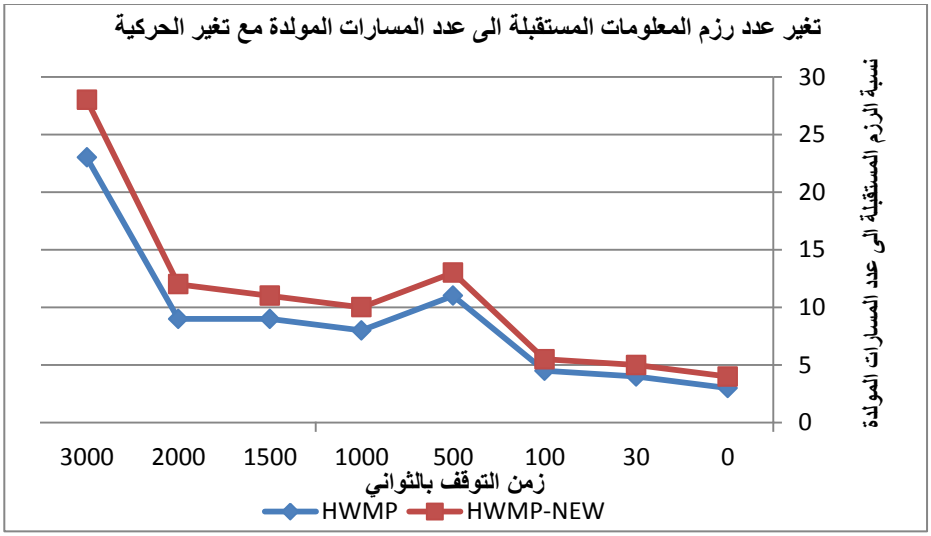
الشكل رقم (11) تغير عدد رزم التحكم مع تغير الحركية



الشكل رقم (12) تغير عدد الفلزات مع نفير الحركية



رقم (13) تغير عند نزع المعلومات المستقبلة مع تغير الحركة



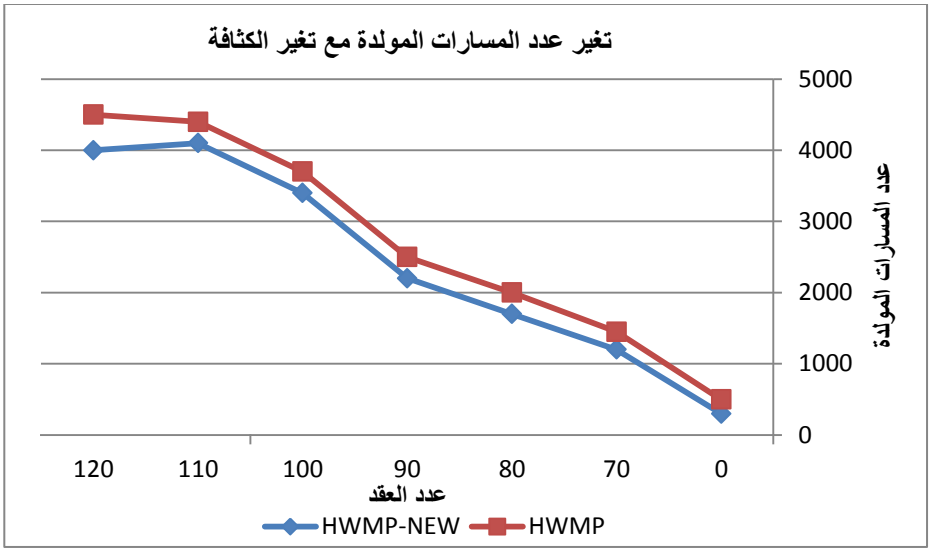
الشكل رقم (14) نسبة عدد الرزم المستقبلة إلى عدد المسارات المولدة مع تغير الحركية

ثانيا: ناحية أخرى يجب دراسة تأثيرها في البروتوكول وهي أداؤه في ظروف تغير الكثافة أي قدرة البروتوكول على تقديم الخدمة مع زيادة عدد العقد المشكلة للنظام فكما نعلم إن إحدى نقاط الضعف لمثل هذه الأنظمة هي محدودية عدد العقد التي تستطيع هذه الأنظمة تخديمها و السبب الأساسي واضح وهو محدودية عرض الحزمة التي تستطيع هذه العقد تشاركه، في ظروف هذه الدراسة تبلغ 2MB/s ، لذا مع ازدياد عدد العقد الذي سيؤدي إلى ازدياد عدد العقد المتخاطبة و ازدياد حجم المعلومات المطلوب نقلها ناهيك عن رسائل الخطأ و رسائل التحكم المتعلقة بطلبات الكشف و الإصلاح للمسارات المستخدمة كل هذه الأمور مجتمعة ستنعكس سلباً على قدرة البروتوكول و هو أمر ستراه بشكل واضح من خلال الرسوم البيانية التي تظهر انخفاض الأداء مع زيادة الكثافة ، ومع ذلك سندرس تأثر الخوارزمية على أداء البروتوكول التقدير التحسن الذي طرأ على هذه الناحية و الذي يعني في حال حصوله أن البروتوكول قد أصبح قادرا على استيعاب عدد أكبر من العقد و هو التحسين الأهم الذي نطمح إليه في هذه الدراسة شروط الدراسة ستكون بحسب الجدول التالي:

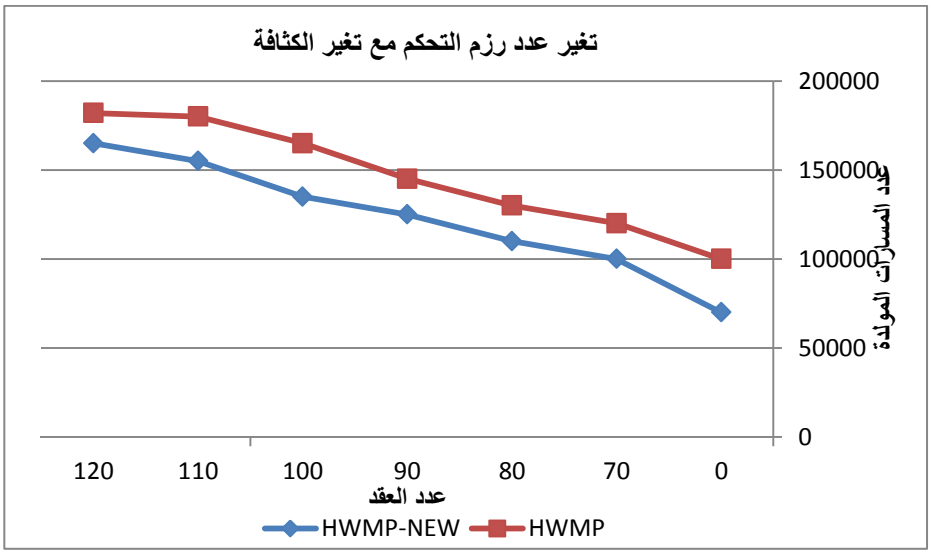
الجدول رقم (2) يبين البارامترات المستخدمة في بيئة المحاكاة للحالة الثانية:

عدد العقد	120-110-100-90-80-70
توضع العقد	عشوائي
سرعة العقد	من 0 إلى 20 m/s
مساحة المحاكاة	3000 م ×3000 م
زمن المحاكاة	3600 ثانية
زمن التوقف	30 s
نموذج الحركة	Random waypoint

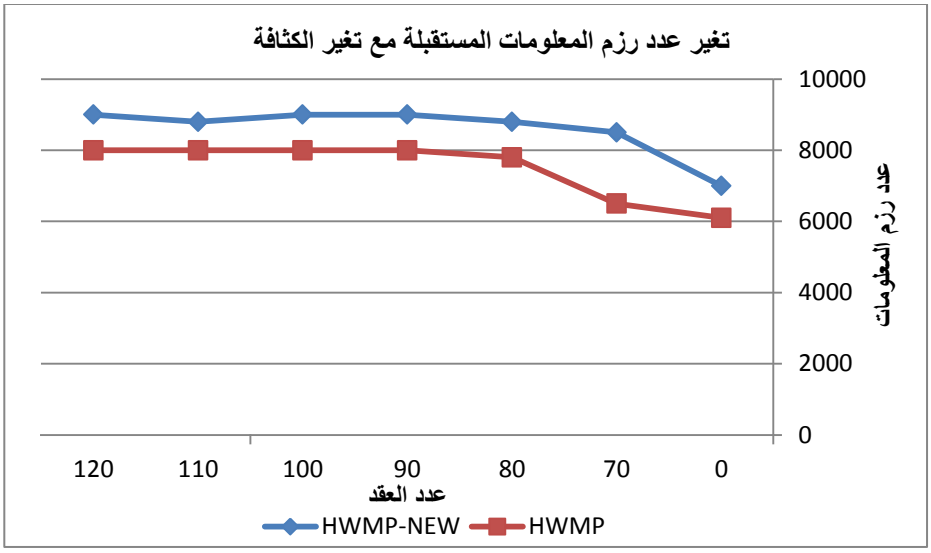
بالنظر إلى الشكل رقم (16) نلاحظ التحسن في أداء البروتوكول بعد تطبيق الخوارزمية المتمثل في انخفاض عند المسارات المولدة مما يعني زيادة من الحياة للمسارات المولدة مما يعني انخفاضا في عدد رزم التحكم التي تنشا بعد الانقطاعات مثل رسائل خطا المسارات التي تسلك كامل المسار وصولا إلى الهدف و الذي يضطر بدوره إلى إرسال رسائل طلب مسارات جديدة الأمر الذي يعني زيادة في استهلاك حجم القناة يسيب رسائل التحكم المتزايدة التي تتجول ضمن الشبكة ، وهو أمر عالجته الخوارزمية الجديدة كون رزم التحكم أصبحت تتجول فقط في أماكن الانقطاعات وليس على طول المسار و قلصت بالتالي من الضغط المطبق على العقدة المتبع في عملية إعادة الكشف ، وهذا التحسن موضح ضمن الشكل رقم (17) ، وهو أمر يقودنا إلى استنتاج أخر شديد الأهمية بالنسبة لهذه الدراسة و المتمثل بالزيادة المتوقعة في عدد رزم المعلومات انطلاقا من النتائج السابقة التي لاحظنا فيها ازدياداً في زمن الحياة للمسارات و إنقاصاً في رزم التحكم مما يعني توفيرا في عرض الحزمة الكلي الذي يجب أن يؤدي بشكل منطقي إلى ازدياد في قدرة البروتوكول على إيصال عدد أكبر من رزم المعلومات و هو ما نلاحظه بالفعل في الشكل رقم (18).



الشكل رقم (16) تغير عن المسارات المودة مع تغير المكثفة



الشكل رقم (17) تغير عدد يتم التحكم مع تغير الكثافة



الشكل رقم (18) تغير عند رزم المعلومات المستقبلة مع تغير الكثافة

8.الاستنتاجات والتوصيات المستقبلية:

يزداد الاستخدام اللاسلكي المحمول للإنترنت بوتيرة سريعة.

حيث توضح حركة البيانات على الإنترنت أن المستخدمين يهتمون أكثر بالتطبيقات التفاعلية.

من بين التقنيات المتطورة ، تعد شبكة WMN تقنية لاسلكية توفر نطاقًا ترددياً عالياً وتخدم مستخدمي الهواتف المحمولة حيث إنها مناسبة لتوفير الشبكة في المناطق التي يكون فيها الاتصال عبر الوسائط السلكية عملية صعبة نسبياً.

IEEE 802.11sهو أول معيار MAC تم اقتراحه لشبكات WMN ويتضمن هذا المعيار بروتوكول توجيه في طبقة.MAC

HWMPهو البروتوكول الإلزامي الذي اقترحه IEEE 802.11s ، والذي يوفر مزايا كل من النهج التفاعلية والاستباقية.

في السيناريو اللاسلكي يحدث ضياع للحزمة بشكل عام بسبب مشكلات الاتصال اللاسلكي ، مثل الازدحام أو التنافس ، وما إلى ذلك في الشبكات اللاسلكية المستندة على المعيار IEEE 802.11 ، ولكن يمكن لعقدة واحدة نقل البيانات في كل مرة ، بسبب خصائص القناة المشتركة، يضيف هذا التقييد تأخيراً كبيراً مع زيادة عدد القفزات.

تؤدي الزيادة في تأخير تسليم الحزم وطول المكدس إلى ازدحام بين العقد اللاسلكية. في شبكة WMN ، في حالة وجود حمل أكبر لحركة المرور ، يتم تجميع حركة المرور في عقد البوابة، نتيجة لذلك في حالة عدم وجود أي آلية للتحكم في الازدحام فإن العقد الموجودة على الحواف الخارجية للشبكة تخضع لإنتاجية منخفضة وزيادة فقدان الحزمة.

اخترت للمقارنة التقنية المقترحة باستخدام IEEE 802.11s WMN مع بروتوكول التوجيه الإلزامي HWMP.

لتقييم الأداء استخدمنا المحاكي NS3 قمنا بتقييم البروتوكول المقترح من خلال الإنتاجية.

من المقارنة خلصت أن HWMP المُحسن يعمل بشكل أفضل من HWMP الاساسي.

استنادا إلى النتائج السابقة نلاحظ وجود تحسن أساسي على أداء البروتوكول متمثلا بزيادة عمر المسارات الفعالة و الذي تم الحصول عليه من خلال إدخال تعديل على الخوارزمية الأساسية للبروتوكول مما يعني ازدياد قدرة النظام على تخديم عدد اكبر من العقد وهو من الأهداف الرئيسية التي كنا نطمح لها من خلال هذه الدراسة، إذ نلاحظ انخفاض التحميل الزائد للنظام بنسبة 22% في حالة الحركية العالية و 15% في حالة الكثافة العالية إضافة إلى ارتفاع عدد رزم المعلومات المستقبلة في حالة الحركية العالية بنسبة 17% و أكثر من 13% في حالة الكثافة العالية.

نقترح في الدراسات المستقبلية أن يتم تحديد العقدة الوسيطة بشكل أكثر ثقة إذ إننا اعتبرناها العقدة الأقرب إلى المنتصف في زمن قياس الإشارة إلا أننا لم نأخذ في الاعتبار سرعة و اتجاه حركية هذه العقدة و بالتالي إمكانية ابتعادها عن المنطقة الفعالة وحصول انقطاع جديد للوصلة ، أي أن حل هذه المشكلة قد يعني ازدياداً في زمن الحياة للمسارات الفعالة.

9.المراجع:

[1] Kishwer Abdul Khaliq, Muhammad Sajjad Akbar, Amir Qayyum, Ehsan Elahi, Amer Zaheer, (2014) Congestion Avoidance Hybrid Wireless Mesh Protocol (CA-HWMP) for IEEE 802.11s, Procedia Computer Science, Volume 32, , Pages 229-236, ISSN 1877-0509.

[2] Dipak D.Upadhye1, VijayKumar V.Patil2, (2017) Enhance Routing in HWMP for Congestion Avoidance Mechanism in the Wireless Mesh Network International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET) e-ISSN: 2395 -0056 Volume: 03 Issue: 09.

[3] Jean Fendji. (2019) . Energy and performance evaluation of reactive, proactive, and hybrid routing protocols in wireless mesh network

[4] Pathak, P. (2017). A Comparison between WLAN (IEEE 802.11 a, b, g, n and ac) Standards

[5] Samo, S.D (2018).Evaluation of Energy Consumption of Proactive, Reactive, and Hybrid Routing Protocols in Wireless Mesh Networks Using 802.11 Standards. Journal of Computer and Communications.

[6] A.B Nataraju (2016). Quantitative analysis of hwmp based wireless mesh networks using ns-3.

[7] Amal A. Eltahir(2016).Evaluation and analysis of an enhanced hybrid wireless mesh protocol for vehicular ad hoc network.

[8] Parimalla Subhash(2016). Trust based hwmp protocol in high-performance wireless mesh networks.