تحسين أداء الشبكات اللاسلكيةAd Hoc باستخدام تقنية الترميز BEND

د. محمد ياسين صبيح*

علي أبو سعيد**

(تاريخ الإيداع 23 / 6 / 2020. قُبِل للنشر في 13/ 9 / 2020)

□ ملخّص □

يعد ترميز الشبكة أحد الأبحاث الهامة في مجال الشبكات اللاسلكية ويساهم إلى حد كبير في تحسين أداء هذه الشبكات، حيث يستفيد من الطبيعة الإذاعية لعمليات الإرسال للتحكم بإرسال أكثر من رزمة في إرسال إذاعي واحد، لذا فإنه يحقق استفادة مضاعفة من عرض الحزمة المتوفر مما يزيد من مردود الشبكة ويقلل من الازدحام. هدفنا في هذا البحث هو التحقق من التحسين الذي يقدمه الترميز لأداء الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات Ad Hoc من خلال الاستفادة من فرص الترميز الممكنة وزيادة عددها في هذا النوع من الشبكات وذلك بتحسين تقنية الترميز BEND التي تعمل على الطبقة MAC بتغيير طريقة بناء أرتال الانتظار لكل عقدة وإضافة أرتال جديدة حسب المسارات المكتشفة.

الكلمات المفتاحية: شبكات Ad Hoc, ترميز الشبكة، عتبة الترميز، شروط الترميز، الارتال.

* أستاذ مساعد – جامعة تشرين – قسم النظم والشبكات الحاسوبية– كلية الهندسة المعلوماتية– جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

** طالب دكتوراه – جامعة تشرين –قسم النظم والشبكات الحاسوبية – كلية الهندسة المعلوماتية – جامعة تشرين– اللاذقية– سورية.

Improving the Performance of Wireless Networks with BEND Coding Technology

Dr. Mohammad Yassin Sobeih*
Ali Abo Saeed**

(Received 23 / 6 / 2020. Accepted 13 / 9 / 2020)

□ ABSTRACT □

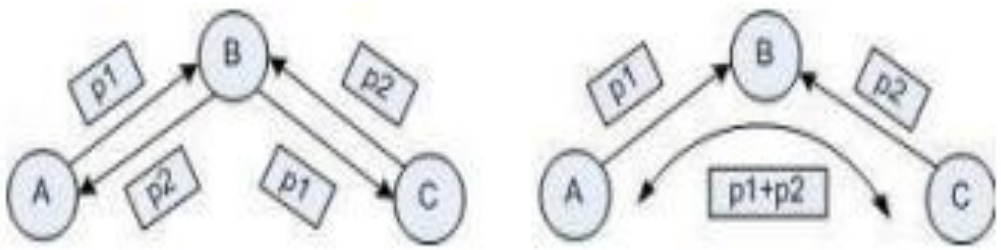
Network coding is one of the important researches in multi-hop wireless networks domain and it widely participates in improving the performance of these networks, since it benefits from the broadcasting nature of transmission processes to transmit more than single packet in one broadcasting transmission. So it achieves double use of the available bandwidth, which can increase the throughput of the network and reduce the congestion. Our aim in this research is to verify the improvement that network coding presents to the performance of multi-hops wireless Ad Hoc networks by taking advantage of the possible coding opportunities and increasing their number in this type of network by improving the BEND coding technology that works on the MAC layer by changing the method of building queues for each node and adding new queues according to the detected paths.

Keywords: Wireless Ad Hoc Networks, Network Coding, Coding Threshold, Coding Conditions, Queues.

* **Associate Professor, Faculty of Informatics, Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Postgraduate Student (PhD), Faculty of Informatics Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

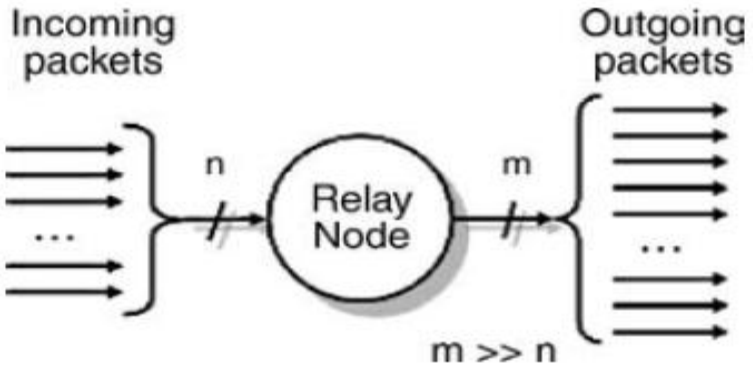
تعد الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات اتصالاً لاسلكياً خلال واحد أو أكثر من العقد الوسيطة على طول المسار الذي يستقبل ويرسل الرزم، لذا فإن أجهزة الاتصال لا تحتاج إلى الكثير من استطاعة الإرسال من أجل الوصلات الطويلة وعندما يريد جهاز الاتصال مع جهاز آخر يجب أن يتواجد الجهاز الهدف ضمن مجال الجهاز المرسل فيرسل له بشكل مباشر، وفي حال عدم وجود الجهاز الهدف ضمن مجال التغطية فإنه يستعين بالأجهزة الأخرى في الشبكة والتي تقع بين هذين الجهازين ليمر الإرسال عبر جهاز أو أكثر للوصول إلى الهدف، ويمكن أن يوجد أكثر من مسار يؤدي إلى الجهاز الهدف، والمسؤول عن تحديد الأجهزة (أو المسار) الذي تسلكه البيانات للوصول إلى الهدف من بين عدة مسارات موجودة هو بروتوكول التوجيه. وبالمقارنة مع الشبكات اللاسلكية وحيدة القفزة فإن الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات يمكن أن توسع مجال تغطية الشبكة وتحسن الاتصال، ومن الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات شبكات MESH (Wireless Mesh Networks)والشبكات MANET (Mobile Ad Hoc Networks)وشبكات الحساسات اللاسلكية (Multi-hop Sensor Networks). يطبق ترميز الشبكة بالاستفادة من الطبيعة المتعددة القفزات للنقل في هذه الشبكات وباستثمار الخاصية الإذاعية في الوسط اللاسلكي (باستخدام الهوائيات Omni-Directional Antenna)،وذلك عن طريق السماح للعقد الوسيطة في هذه الشبكات بإجراء عملية ترميز للمعطيات معاً وإرسالها عبر الإرسال الإذاعي للوصول إلى أكثر من هدف في الإرسال الواحد، وبالتالي تمكننا من استثمار مضاعف لعرض الحزمة الموجود في الشبكة وزيادة السرعة والتقليل من عدد عمليات الإرسال الذي يسهم أيضاً في حفظ طاقة الأجهزة المتحركة. في بحثنا هذا سندرس تطبيق ترميز الشبكة في نوع من الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات هو شبكات Ad Hoc، وسنتحقق من التحسين الذي يقدمه ترميز الشبكة لأدائها، ولتحقيق ذلك يجب تغيير بنية العقد في هذه الشبكات من أجل إضافة الخوارزميات المتعلقة بترميز الشبكة وإجراء التعديلات المطلوبة، ولكن قبل ذلك يجب دراسة الخصائص العامة لهذه الشبكات وبنية العقد اللاسلكية وآليات العمل الرئيسية فيها حيث يبين الشكل(1-1) أهمية ترميز الشبكة[1] . حيث تمتلك العقدة A رزمة P1 تريد إرسالها إلى العقدة C والعقدة C لديها الرزمة P2 تريد إرسالها إلى A، نحتاج إلى أربع عمليات نقل لتبادل الرزم بدون استخدام الترميز. يمكن تخفيض عدد عمليات الإرسال إلى ثلاثة فقط باستخدام ترميز شبكة و باستخدام المعامل المنطقي XOR وبالاستفادة من عملية الاستماع الانتهازية.



الشكل(1-1): أهمية الترميز في الشبكات اللاسلكية Ad Hoc.

ترميز الشبكة بحث جديد نسبياً في الشبكات الحاسوبية ويعتبر تكاملاً لنظريتي الترميز والمعلومات. الفكرة الأساسية من عملية الترميز هي القيام بعملية معالجة للمعلومات قبل إرسالها، تقوم عملية المعالجة هذه على دمج البيانات في العقد المتوسطة (Intermediate Node) من الشبكة ومن ثم إرسالها معاً بدلاً من عملية التوجيه التقليدية

(Store and Forward) التي تخزن البيانات ومن ثم تقوم بإعادة توجيهها من دون إجراء أي عملية معالجة لها. الهدف من عملية المعالجة هذه هو الاستفادة الفعالة من عرض الحزم المتوفر عن طريق زيادة كمية المعلومات خلال الإرسال الواحد،وبالتالي نحصل على زيادة في المردود وبالنتيجة تحسين في أداء الشبكة كما يوضح الشكل(1-2)، حيث تستقبل العقدة الهدف n رزمة مرمزة لتحصل منها على الزم الاصلية m باستخدام عملية فك الترميز و بالاستفادة من خاصية الاستماع الى الوسط اللاسلكي حيث m أكبر من n.



الشكل (1-2) : دور ترميز الشبكة في زيادة مردود الشبكة.

تتم عملية الترميز باستخدام المعامل المنطقي XOR ، وبالنسبة لآلية عمل هذا المعامل فإنه يأخذ بتين ثنائيين بالدخل ويعيد بت واحد بالخرج ،عملية الترميز هذه تحافظ على نفس عرض الحزمة لرسالة المعلومات (payload)، ولكن تزيد حجم ترويسة الرزم (Header) لأنه سيصبح في الرزمة المرمة أكثر من عنوان لعقدة هدف. أما بالنسبة لآلية فك الترميز فإنها عملية مماثلة لعملية الترميز وتتم أيضاً باستخدام المعامل المنطقي XOR للحصول على الرزم الأصلية بالشكل غير المرمز. النموذج BEND[2] يعتبر أفضل النماذج المرجعية وأكثرها ربحاً وتحسيناً في مردود الشبكة،وهو النموذج الذي سوف نعتمده في دراستنا هذه ولكن هذا النموذج يقوم بالبحث عن جميع فرص الترميز الممكنة وعملية البحث هذه خطية بالنسبة لطول أرتال الانتظار وبالتالي عند امتلاء هذه الأرتال فإن عملية البحث تكون صعبة وتستغرق وقت زمني وإضافة إلى أنها تستهلك من موارد العقدة لأنها تتطلب عمليات معالجة كبيرة (عمليات المقارنة للتحقق من شروط الترميز) وطاقة إضافية لإتمام عمليات البحث اللازمة وبالتالي دراستنا في هذا البحث تتركز على التقليل من زمن البحث وتسهيل عمليات البحث عن فرص للترميز وذلك من خلال اقتراح تحسين على النموذج BEND من خلال إضافة أرتال جديدة في العقد من أجل المسارات المختلفة التي تمر عبرها،ومن ثم وضع الرزم الخاصة بكل مسار في الرتل الجديد المقابل له، الهدف منها إيجاد آلية أفضل لتطبيق تقنية الترميز في طبقة MAC للحصول بالنهاية على أداء أفضل لتطبيق تقنية الترميز في الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات.

أهمية البحث وأهدافه:

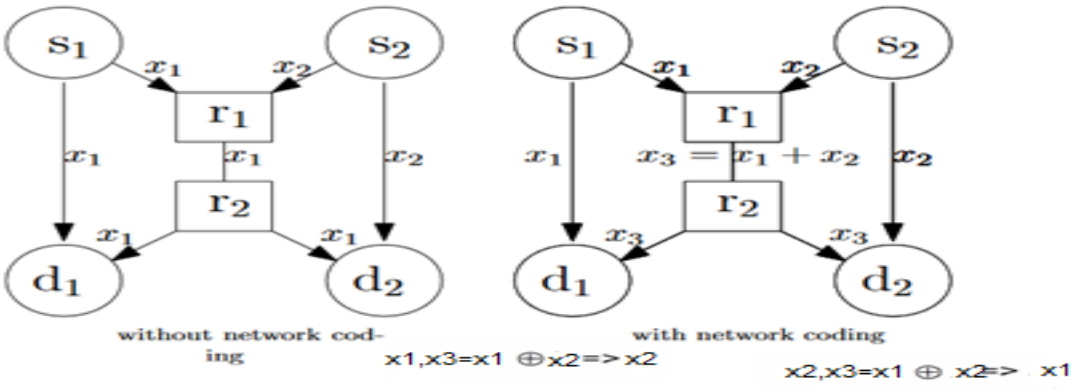
تكمن أهمية البحث في استكمال تحسين عمل الشبكات اللاسلكية Ad Hoc وزيادة فعاليتها من خلال استخدام تقنيات الترميز. ويهدف إلى تقديم خوارزمية جديدة لتحسين تطبيق ترميز الشبكة وتسريع عملية البحث عن فرص ترميز، وذلك من خلال بناء أرتال جديدة بحسب مسارات الرزم التي تمر عبر العقد وبشكل متوافق مع تطبيق شروط

الترميز، وبالتالي تصبح عملية البحث عن فرص الترميز عملية خطية بالنسبة لعدد المسا رات وليس بالنسبة لعدد الرزم، وهو ما يقلل إلى حد كبير من عمليات البحث والمعالجة، وبالنتيجة فإنه يقلل من زمن البحث إلى أدنى حد ممكن ويحافظ على موارد العقدة.

1- الدراسات المرجعية:

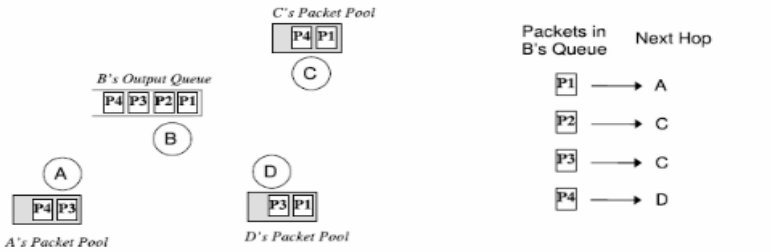
بالرغم من أن ترميز الشبكة تقنية جديدة في الشبكات اللاسلكية إلا أنها لاقت مؤخراً اهتماماً ملحوظاً نظراً للتحسين الذي تقدمه للشبكة من خلال الاستفادة الفعالة من عرض الحزمة المتوفر وبالتالي زيادة مردود الشبكة، ويوجد الكثير من الدراسات السابقة التي تناولت الآليات المختلفة لاستخدام ترميز الشبكة في الشبكات اللاسلكية

قدم الباحثون في [3] بتقييم أهمية الترميز من خلال المقارنة بين الترميز ضمن نفس الجلسة (Intra session coding)والترميز بين الجلسات (Inter session coding) مع عملية الإرسال التقليدية. الترميز ضمن الجلسة تكون عملية الترميز محدودة فقط ضمن نفس الاتصال أو الجلسة . أما الترميز بين أكثر من جلسة يقوم على ترميز رزم تابعة لجلسات مختلفة أو مسارات مختلفة. بين البحث فكرة هذا الترميز فيً الشبكة الموضحة بالشكل(3-1).



الشكل(3-1): مقارنة بين الترميز ضمن نفس الجلسة والترميز بين الجلسات.

قدم الباحثون في [5] [4] تقييم أداء بروتوكول الترميز COPE Coding Opportunistically ومقارنته مع عملية الإرسال التقليدية. يغير النموذج COPE من بنية النموذج المعياري OSI للعقد في الشبكات اللاسلكية Ad Hoc من خلال إنشاء طبقة وسيطة بين طبقتي ربط المعطيات والشبكة تسمى طبقة الترميز تحتوي جميع خوارزميات ومحددات تطبيق تقنية الترميز الجديدة في عقد الشبكة، يضيفCOPE ترويسة (Header) خاصة به إلى إطار البيانات. يستفيد النموذج COPE من الطبيعة الإذاعية للوسط اللاسلكي، حيث تذاع الرزم في جوار المسارات وكل عقدة تخزن الرزم غير الموجهة إليها بعملية الاستماع إلى الوسط لمدة معينة من الزمن، وتخبر العقد المجاورة بأي الرزم التي تحتفظ بها من خلال تبادل تقرير بين العقد يسمى (File report).بناءً على هذه المعلومات يتم البحث عن فرصة للترميز كما في الشكل(3-2). البروتوكول COPE يقلل من عدد عمليات الإرسال وبالتالي يزيد من إنتاجية الشبكة بالمقارنة مع النموذج 802.11[6]، لكنه يعاني من بعض التعقيد والتأخير الزمني الملحوظ نسبياً بسبب تبادل معلومات الرزم بين العقد في الشبكة وعمليات التحقق من إمكانية الترميز، كما أنه يعتمد في اتخاذ قرار الترميز على معلومات الترميز الذي تحصل عليها العقد من خلال تبادل (File report).



(a) B can code packets it wants to send (b) Nexthops of packets in B's queue

Coding Options

P1 + P2: BAD: C Can decode, but A can't

P1 + P3: Suboptimal Coding Option: Both A and C can, but D can't decode

P1 + P3 + P4: Better coding: A, C and D can decode

الشكل(3-2):شبكة Ad Hoc تبين آلية عمل التقنية COPE.

تعتمد فرصة الترميز في البرتوكول COPE وبشكل أساسي على مسار التوجيه لأنه لا يتخذ قرار التوجيه، كما إن بنية الترميز تكون محدودة ضمن منطقة قفزتين فقط. أما في بروتوكول التوجيه والترميز **DCAR**[7] فأنه يقوم بإنشاء مسارات التوجيه وبنفس الوقت البحث عن فرصة الترميز الممكنة، والهدف الأساسي من ذلك هو زيادة فرص الترميز الممكنة في الشبكة وتجاوز نقاط الضعف في نموذج الترميز COPE . تعتبر DCAR الآلية الجديدة التي تدمج بين: أولاً اكتشاف المسارات المتوفرة بين مصدر وهدف معطى وثانياً اكتشاف فرص الترميز الممكنة في الشبكة. تعمل هذه التقنية على إيجاد بروتوكول للتوجيه يقوم بإنشاء مسارات التوجيه وبنفس الوقت البحث عن فرصة الترميز الممكنة والتحقق من شرطي الترميز هو CRM(Coding aware Routing Metric)

حيث تشير النتائج إلى زيادة في مردود الشبكة باستخدام الترميز DCAR. تفسير ذلك هو زيادة عدد فرص الترميز في الشبكة بسبب زيادة عدد العقد التي تقوم بتوجيه البيانات وبالتالي زيادة إمكانية الترميز في الشبكة. الرزم في هذه الحالة ممكن أن ترمز أكثر من مرة على طول المسار إلى الهدف مما يعني زيادة أكبر لمردود الشبكة بشكل عام. تعمل تقنية الترميز DCAR, على تصميم بروتوكول للتوجيه واكتشاف فرص الترميز معا مما يسبب تأخير زمني في عملية الإرسال نتيجة الوقت اللازم لإيجاد فرص ترميز ممكنة على مسار معين . تقنيات الترميز CAR, XCOR,CAR[8] تعمل على تصميم بروتوكول للتوجيه واكتشاف فرص الترميز معا . أما بالنسبة لتقنية الترميز BEND[2] فأنها تعمل على البحث عن فرص الترميز بشكل مسبق في الطبقة MAC ومن ثم القيام بعملية الترميز للفرص المحققة وإرسالها لاحقاً بواسطة الإرسال الإذاعي. تعتمد هذه التقنية على تطبيق خوارزميات الترميز التي فيها البحث عن فرص الترميز المحتملة من خلال اختبار شرطين يسميان شرطي الترميز:

يجب أن يكون مستقبل القفزة التالية للرزمة الأولى هو موجه سابق للرزمة الثانية أو أحد العقد المجاورة لها.

يجب أن يكون مستقبل القفزة التالية للرزمة الثانية هو موجه سابق للرزمة الأولى أو أحد العقد المجاورة لها.

حتى نقوم بعملية ترميز لرزمتين معاً يجب أن يتحقق أحد شقي الشرط الأولى و أحد شقي الشرط الثاني.

الهدف من هذه الشروط هو ضمان نجاح عملية الترميز أي القدرة على فك ترميز الرزم المرمزة في طرف الاستقبال. تقنية الترميز BEND تعمل من خلال شروط الترميز هذه وتضمن بنسبة كبيرة جداً أن العقد المستقبلة للرزم المرمزة قادرة على فك الترميز واسترجاع الرزم الأصلية الموجهة لها، وبالتالي عند تحقق هذه الشروط تقوم العقدة بترميز الرزم

التي تحقق ذلك، ومن ثم إرسالها في إرسال إذاعي واحد، وإن لم يتحقق الشرط تقوم بإرسال الرزمة بالشكل غير المرمز وهذا ما نطلق عليه اسم فرصة الترميز. والمقصود بكلمة البحث المسبق عن فرص الترميز هو أن العقد الموجهة تقوم بعملية البحث عن فرص الترميز في وقت انتظار الرزم في الصفوف تمهيداً للإرسال وليس عند إرسال الرزم وهذه ميزة أساسية لهذه التقنية لتقليل التأخير الزمني، حيث تحتفظ كل عقدة بثلاث أرتال :

1- Mixing-Q : خاص بالرزم التي تحقق فرص الترميز.

2- Q1 وهذا الرتل خاص بالرزم الموجهة للعقدة كي تقوم بتوجيهها.

3- Q2 وهو خاص بالرزم التي تحصل العقدة عليها من الوسط بعملية الاستماع للوسط (هذه الرزم غير موجهة أصلاً للعقدة).عندما تنتقل الرزمة من طبقة الشبكة إلى طبقة MACتقوم BEND بالبحث في هذه الأرتال الثلاثة السابقة عن فرصة ترميز محتملة. تبدأ البحث من قمة الرتل، ويحاول BEND ترميز أكبر عدد من الرزم معاً في إرسال واحد لأنه كلما كان عدد الرزم المرمزة معاً أكبر كلما كان المردود أكبر.

قدمت هذه التقنية تحسيناً في مردود الشبكة بحوالي من 29% إلى 51% عن تقنية الترميزCOPE، ولكن معدل الترميز في تقنية BEND ينخفض بزيادة عدد الرزم وذلك بسبب ازدياد عدد عمليات البحث الخطية عن فرص الترميز، حيث أنه بازدياد عدد الرزم تصبح عملية البحث مكلفة وتتطلب عدداً كبيراً من عمليات المعالجة بسبب عمليات التحقق من شروط الترميز، وتسبب تأخير زمني واستهلاك أكبر لطاقة العقد المتحركة. الأمر الذي دعا إلى البحث عن طرق أخرى لتسهيل عملية البحث عن فرص الترميز ووضع آليات معينة لجعل ترميز الشبكة عملية ديناميكية بحيث يحصل المستخدم على أفضل أداء. اقترحنا تعديل جديد على هذه التقنية نسميه N_BEND من خلال تغيير طريقة بناء الأرتال لكل عقدة وإضافة أرتال جديدة حسب المسارات المكتشفة . حيث أن نوع الترميز المستخدم في هذه الشبكات هو ترميز بين تدفقات أو مسارات الرزم (Inter Session Coding)، بالتالي لا يمكن أبداً ترميز الرزم التابعة لنفس المسار معاً لأنها حكماً لا تحقق شروط الترميز، وأيضاً في حال اختبار شروط الترميز من أجل رزمة معينة مع رزمة من هذا المسار ولم تحقق شروط الترميز فإن كل الرزم في هذا المسار أيضاً لا تحقق شروط الترميز لأن ما ينطبق على هذه الرزمة ينطبق على بقية الرزم في المسار، أما في حال حققت شروط الترميز فإن بقية الرزم تصبح لا تحقق شروط الترميز كونها لا يمكن أن ترمز مع الرزمة السابقة من نفس المسار. تساعدنا هذه القاعدة على تبسيط وتسهيل عملية البحث عن فرص للترميز وذلك من خلال إضافة أرتال جديدة من أجل المسارات المختلفة التي تمر عبر العقد ، ومن ثم وضع الرزم الخاصة بكل مسار في الرتل الجديد المقابل له، وعند تنفيذ عملية البحث عن فرص للترميز من أجل رزمة معينة فإننا نبحث فقط في الرزمة التي تكون في قمة كل رتل جديد بدلاً من البحث في كامل الرزم الموجودة في الرتل وبذلك تقتصر عملية البحث عن فرص ترميز من أجل مسار معين على رزمة واحدة فقط بدلاً من كامل الرزم في المسار، وبهذه الطريقة نستطيع التخلص من عمليات البحث غير اللازمة ونجعل عملية البحث عن فرص للترميز عملية حقيقية.

طرائق البحث ومواده:

تعتمد طريقة البحث على دراسة أهمية الترميز في شبكات الـ Ad Hoc واقتراح خوارزمية ترميز جديدة معدلة من تقنية الترميز BEND ، حيث قمنا باستخدام برنامج المحاكاة NS3[9] وهو محاكي خاص بالأبحاث الشبكية يتضمن حزمة برمجية مفتوحة المصدر(open source)، كما انه مجهز بشكل كامل من ناحية البروتوكولات والخوارزميات

والأدوات المساعدة ، ومن اجل اختبار ترميز الشبكة مع الأرتال الجديدة المضافة ، نحتاج لبرمجة خوارزميات الترميز وربطها مع بنية العقدة من أجل دراسة أداء الشبكة ومقارنته مع الحالة التقليدية وقياس التحسين المقترح. كما سوف ندرس حالات مختلفة لشبكة Ad Hoc من حيث عدد العقد وتوضعها ونطبق عليها البرتوكول BEND ومن ثم التعديل المقترح ونحدد البارامترات المرغوب دراستها وصولا الى اتمام عملية المحاكاة واظهار النتائج ومقارنتها.

2- الدراسة النظرية

2- 1 محددات ترميز الشبكة Ad Hoc :

- الخاصية الإذاعية للقناة اللاسلكية (Broadcasting): إن الطبيعة الإذاعية للقناة اللاسلكية تعني أن أي عملية إرسال لأي عقدة سوف تصل إلى كل العقد المجاورة لهذه العقدة، وتتحقق هذه الطبيعة بأن يكون نوع الهوائيات في العقد هي هوائيات بجميع الاتجاهات Omni-directional Antenna.
- خاصية الاستماع (Overhearing): العقد سوف تتنصت على كافة عمليات الإرسال للعقد المجاورة لها، وتحتفظ بنسخة من الإرساليات التي لا تكون موجهة لها لمدة زمنية معينة (بدلاً من إهمالها) للاستفادة منها في ترميز الشبكة (فك الترميز).
- تطبق تقنية الترميز في طبقة MAC : تستخدم المعيار 802.11 ، والذي ينظم عملية الوصول إلى القناة اللاسلكية المشتركة، وبناءً على ذلك فإن عملية الإرسال للعقد المختلفة ستتم في حيزات زمنية ينظمها البروتوكول(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance)CSMA/CA.
- معامل الترميز: تتم عملية الترميز وفك الترميز باستخدام المعامل المنطقي XOR.
- أرتال الانتظار(Queues): تستخدم هذه الأرتال من أجل التخزين المؤقت للرزم ريثما يتم إرسالها.

يحدد إمكانية ترميز الرزم معا وفق نموذج الترميزBEND بتطبيق خوارزميات بحث عن فرص للترميز وفق شروط معينة، وتطبق عملية البحث على كافة الرزم الموجودة في أرتال الانتظار، لذا ستكون عملية البحث خطية بالنسبة لعدد الرزم وتزداد هذه العملية كلفة بزيادة عدد الرزم في العقدة مما يضيف تأخيرا زمنيا ويستهلك أيضا من موارد العقدة بسبب عمليات المعالجة والبحث المذكورة. لذلك لا بد من إيجاد آلية جديدة لعملية البحث تكون غير مكلفة للعقدة ولا تضيف تأخيرا زمنيا لإرسال الرزم.الآلية المقترحة هي استخدام أرتال جديدة في كل عقدة ترميز مختلفة عن الارتال الثلاثة الموجودة في تقنية الترميز BEND، وذلك بالاستفادة من قاعدة أن نوع الترميز المستخدم في هذه الشبكات هو ترميز بين تدفقات أو مسارات الرزم (Inter Session Coding) ،وبالتالي لا يمكن أبدا ترميز الرزم التابعة للمسار نفسه معا، وهذه القاعدة تساعدنا على تسهيل عملية البحث عن فرص للترميز وذلك من خلال إنشاء أرتال إضافية جديدة من أجل المسارات المختلفة التي تمر عبر العقد .

2-2 عتبة الترميز:

تحدد جدولة عملية البحث عن فرص للترميز الاستخدام الأمثل لعمل شبكات الـ Ad Hoc باستخدام ترميز الشبكة. لتحقيق ذلك يجب جعل عملية البحث عن فرص للترميز تتم وفق عتبة معينة (قابلة للتغيير) بالنسبة لعدد الرزم الموجودة في رتل الخرج، ويتم اختيار قيمة عتبة جدولة البحث بحيث تحقق التوازن بين البحث عن أكبر عدد فرص للترميز وعدم تأخير إرسال الرزم وذلك بهدف الحصول على أفضل أداء للشبكة، وبالتالي يجب أن تتم عملية الجدولة هذه وفق مبدأين أساسيين: الأول عدم تأخير إرسال الرزم (التي يجب توجيهها في العقدة)، والثاني فصل مرحلة ترميز الشبكة عن عملية إرسال الرزم. يتحقق المبدأ الأول من خلال وضع قيمة العتبة مساوية للصفر، ومعنى ذلك أنه عندما

لا يوجد رزم في رتل الخرج يتم تنفيذ عملية البحث عن فرص للترميز. أما بالنسبة للمبدأ الثاني ومن أجل قيمة العتبة 0 تكون عملية الإرسال مرتبطة بمرحلة الترميز (لأنه لا يحصل إرسال حتى تنجز عمليتا البحث عن فرص ترميز ومن ثم ترميز الرزم معاً) مما يسبب تأخيراً زمنياً للإرسال. للتخلص من هذا التأخير لا بد من زيادة قيمة هذه العتبة، وبعد دراسة عدة قيم تجريبية من خلال دراسة أداء شبكة Ad Hoc المؤلفة من ثلاث عقد في حالتي وجود وعدم وجود فرص للترميز، من أجل قيم مختلفة لهذه العتبة، وجدنا أن القيمة 15 تحقق أفضل مردود للشبكة مقارنة بالقيم الأخرى كما سنرى لاحقاً بالنتائج. أي عندما يصبح عدد الرزم في رتل الخرج 15 تتوقف عملية البحث عن فرص للترميز مما يحقق:

- ضمان عملية الفصل بين إرسال الرزم وعملية البحث عن فرص ترميز.
- يحصل وفرة للرزم في أرتال الانتظار للرزم تسمح بوجود فرص ترميز أكثر.
- يتم إرسال الرزم الخاصة بالعقدة(الأصلية) بشكل أسرع كونها لا تدخل مرحلة الترميز.

لذلك نكون قد طبقنا من خلال عملية جدولة البحث هذه ترميز الشبكة مع عدم تأخير إرسال الرزم في الأحوال العادية للشبكة (عندما لا يوجد ازدحام). أما في حالة الازدحام وعندما يصبح عدد الرزم في رتل الخرج 12، يتم إيقاف عملية البحث فيحصل وفرة من الرزم في الأرتال تعطي مجالاً لوجود فرص ترميز أكبر وبالتالي إرسال عدد من الرزم أكثر وزيادة في مردود الشبكة وبالنتيجة حل مشكلة الازدحام، وبنفس الوقت إرسال الرزم الخاصة بالعقدة نفسها بسرعة أكبر.

2-3 آلية عمل التحسين المقترح:

نضيف ثلاثة أرتال جديدة إلى كل عقدة ترميز في الشبكة وهي:

• رتل ترتيب الرزم: توضع الرزم الواردة إلى عقدة التوجيه في أرتال مختلفة (بحسب مسارات الرزم المختلفة)، لذلك لا بد من معرفة الترتيب الصحيح لورود الرزم إلى هذه الأرتال، وذلك عن طريق إنشاء رتل ثابت يسمى رتل ترتيب ورود الرزم مهمته أخذ الترتيب الصحيح لهذا الورود، و نضع في هذا الرتل العناوين المعرفة للمسار(عنواني العقدتين موجهة القفزة السابقة ومستقبلة القفزة التالية للرزمة)، إضافة إلى معّرف الرزمة.

• رتل المسار: رتل جديد خاص بكل مسار، حيث يتم وضع رزم المسار في هذا الرتل.

• رتل قائمة الترميز: عند بدء كل عملية البحث عن فرص للترميز يتم إنشاء قائمة تسمى قائمة الترميز نضع فيها أولا الرزمة التي نبحث لها عن فرص للترميز ولاحقا الرزم التي تحقق شروط الترميز مع هذه الرزمة.وعند البحث عن فرص للترميز نأخذ أولا العناوين الموجودة في قمة رتل ترتيب ورود الرزم لتحديد من أي رتل سوف نبدأ عملية البحث، ومن رم ننتقل إلى هذا الرتل ونزيل الرزمة التي تكون في قمته ونضيفها إلى قائمة الترميز ومن ثم ننتقل إلى الرتل الذي يليه نختبر تحقق شروط الترميز بين الرزمة الموجودة في قمة هذا الرتل وكافة الرزم الموجودة في قائمة الترميز(في البداية لدينا رزمة واحدة)، فإذا تحققت شروط الترميز فإننا نضيف هذه الرزمة (التي تكون في قمة الرتل) إلى قائمة الترميز، وننتقل إلى الرتل التالي من دون أن نبحث في الرزم الأخرى في الرتل لأنها لا تحقق شروط الترميز مع الرزمة المضافة مؤخرا (لا يمكن ترميز رزمتين من نفس المسار نفسه) وإذا لم تتحقق الشروط فإننا ننتقل إلى الرتل التالي (من دون إضافة الرزمة إلى قائمة الترميز) وأيضا من دون البحث في بقية الرزم في الرتل لأنها حكما لا تحقق شروط الترميز كونها من مسار الرزمة الموجودة في قمة الرتل نفسه وهكذا نكرر العملية نفسها بالنسبة لبقية الأرتال. وعند الانتهاء من عملية البحث في كافة الأرتال سيكون لدينا حالتان: أولا في حال كان هناك أكثر من رزمة في قائمة الترميز، فإننا نقوم بعملية ترميز هذه الرزم لنحصل على الرزمة المرمزة التي نضعها بالنهاية في رتل الخرج لإرسالها لاحقا، وثانيا في حال لم توجد إلا رزمة واحدة في قائمة الترميز فنضعها مباشرة في رتل الخرج .

النتائج والمناقشة:

تم تحسين خوارزمية الترميز BEND من خلال تغيير طريقة بناء الأرتال لكل عقدة وإضافة أرتال جديدة حسب المسارات المكتشفة، ومن ثم وضع الرزم الخاصة بكل مسار في الرتل الجديد المقابل له، وعند تنفيذ عملية البحث عن فرص للترميز من أجل رزمة معينة فإننا نبحث فقط في الرزم التي تكون في قمة كل رتل جديد بدلا من البحث في كامل الرزم الموجودة في الرتل ونستطيع بهذه الطريقة التخلص من عمليات البحث غير اللازمة ونجعل عملية البحث عن فرص للترميز عملية حقيقية ،حيث نسمى الخوارزمية المقترحة BEND _N.

الشبكة اللاسلكية المدروسة هي من النوع Ad Hoc، وعند إنشاءها نقوم بتحديد عدد العقد في الشبكة وأيضاً تحديد العقد المتجاورة، حيث القيم المستخدمة في المحاكاة موضحة في الجدول (6-1). من أجل دراسة الأداء سوف نأخذ عدة حالات للشبكة ووفق نماذج مختلفة لحركة البيانات بين العقد باستخدام المحاكيNS3. حيث نقارن بين ثلاث تقنيات إرسال: الأولى هي النموذج التقليدي للإرسال أي دون استخدام الترميز باستخدام بروتوكول التوجيه DSDV[10]، والثانية هي نموذج الإرسال باستخدام ترميز الشبكة مع البروتوكول BEND والثالثة هي نموذج الإرسال باستخدام الخوارزمية المقترحة وذلك من حيث مردود الشبكة وربح الترميز :

- مردود الشبكة (Network Throughput): سوف ندرس أداء الشبكة بشكل أساسي من خلال قياس هذا البارامتر والذي يعرف بأنه حجم الرزم الواصلة بنجاح إلى زمن المحاكاة ويعطى بالصيغة التالية:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Number of Received Packets X Packet Size}}{\text{Total Delay}} \text{Mbps}$$

- ربح الترميز (Coding Gain): يعرف بأنه عبارة عن نسبة مردود الشبكة باستخدام ترميز الشبكة إلى مردود الشبكة في حال عدم استخدام الترميز ويعطى بالعلاقة التالية:

$$\text{Coding Gain} = \frac{\text{Network Throughput With Coding}}{\text{Network Throughput Without Coding}}$$

الجدول(6-1):القيم المستخدمة في المحاكاة.

اسم المتحول	قيمة المتحول	اسم المتحول	قيمة المتحول
عدد العقد	حسب السيناريو	بروتوكول التوجيه	DSDV
طول الرتل	غير محدود وتعمل بتقنية FIFO	نمط المعطيات	CBR
معدل نقل البيانات	10Mbps	بروتوكول النقل	UDP
حجم الرزم	1000 bytes	زمن المحاكاة	500 sec
المسافة بين العقد المتجاورة	(20-70)m	Antenna model	Omni-antenna

1- حالة شبكة تتكون من ثلاث عقد على شكل سلسلة (Chain):

سندرس أبسط شبكة لاسلكية متعددة القفزات من نوع Ad Hoc وهي الشبكة المؤلفة من ثلاث عقد على شكل سلسلة (Chain) تم وضعها في خط مستقيم مع تباعد بين العقدة 20 م. في حالتي وجود فرص للترميز وعدم وجود فرص، وذلك من خلال دراسة حالات مختلفة لحركة البيانات بين العقد. نقوم أولاً بإنشاء هذه الشبكة من خلال تحديد عدد العقد وأي العقد المتجاورة ومقارنة أداء الشبكة مع البرتوكول BEND والبروتوكول DSDV(بدون ترميز) وذلك عن طريق تحديد أن العقدة B مجاورة لكل من العقدتين A،C (غير المتجاورتين) كما هو مبين في الشكل (6-1). ومن ثم نقوم بتعريف ملف التوجيه لهذه الشبكة بحسب آلية عمل البروتوكول DSDV ، ونحدد نموذج البيانات بين العقد في الشبكة مع تطبيق أحمال مختلفة لهذه البيانات.

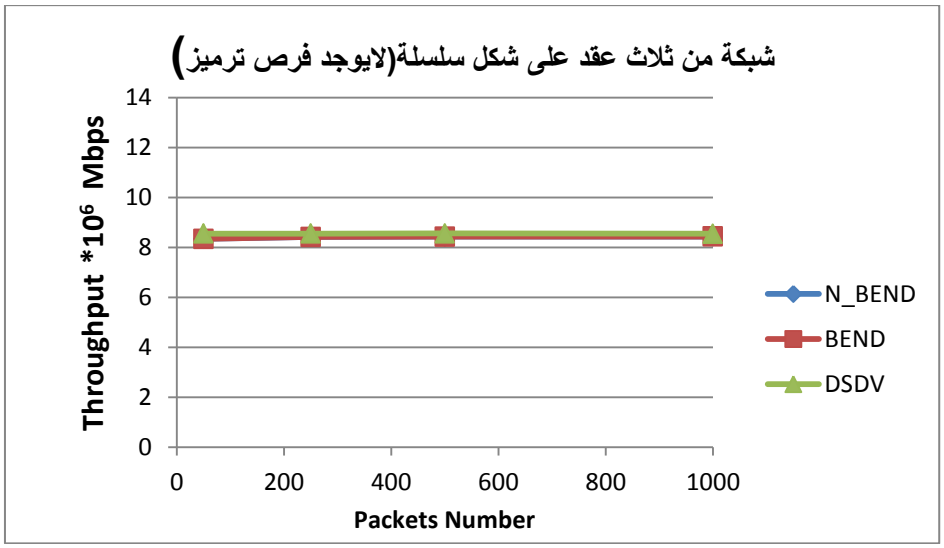
الشكل (6-1): شبكة تتكون من ثلاث عقد على شكل سلسلة .

لتحقيق حالة عدم وجود فرص للترميز في الشبكة السابقة نحدد مسارات البيانات بين العقد ونطبق أحمال مختلفة على هذه المسارات فنحصل على النتائج كما هو مبين في الجدول(6-2)، حيث يوجد مسارين للترميز الأول من A إلى C عبر B والثاني من C إلى A عبر B.

الجدول(6-2):حالة عدم وجود فرص ترميز.

Path	Packets Number	Throughput(without coding) Mbps	Throughput (BEND) Mbps	Throughput (N_BEND) Mbps	Coding Gain	
					BEND	N_ BEND
A→B →C	50	8.552	8.342	8.342	0.986	0.986
B →C	250	8.557	8.423	8.423	0.995	0.995
B →A	500	8.559	8.431	8.431	0.996	0.996
C→B	1000	8.550	8.437	8.437	0.998	0. 998

تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن N_ BEND و BENDوDSDV متشابهة من حيث نسبة تسليم الرزم والمردود الشكل(6-2) وسبب التقارب وجود مسارين فقط وعدم وجود فرص الترميز.



الشكل(6-2): مردود الشبكة: حالة عدم وجود فرص للترميز.

في حالة وجود فرص للترميز يجب توافر أكثر من مسار لرزم البيانات يمر عبر العقدة المتوسطة (B) من الشبكة، وكذلك يجب تحقق شروط الترميز بين الرزم التابعة لهذه المسارات، لتحقيق هذه الحالة نحدد مسارات البيانات بين العقد ونطبق أحمال مختلفة على المسارات فنحصل على النتائج كما هو مبين في الجدول(6-3) والشكل(6-3).

الجدول(6-3):حالة وجود فرصة للترميز.

Path	Packets Number	Throughput (without coding) Mbps	Throughput (BEND) Mbps	Throughput (N_BEND) Mbps	Coding Gain	
					BEND	N_ BEND
A→B → C	50	8.452	8.765	9.378	1.001	1.109
B → C	250	8.457	8.850	9.480	1.046	1.120
B → A	500	8.459	9.030	9.935	1.067	1.174
C→B → A	1000	8.470	9.089	10.043	1.073	1. 185

الشكل(6-3) مردود الشبكة: حالة وجود فرص للترميز.

نستنتج أنه في حال وجود فرص للترميز نحصل على زيادة في مردود الشبكة وبالتالي ربح في الترميز (النسبة بين سرعة الشبكة بحالة استخدام الترميز إلى سرعتها بحالة عدم استخدام الترميز) يصل إلى حوالي 20%.

2- حالة شبكة من خمس عقد بتموضع X (X Topology):

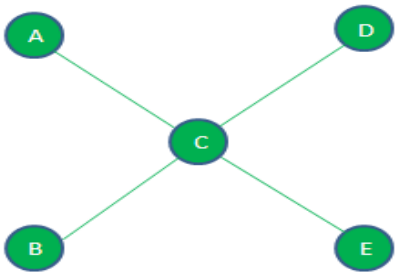
لدينا في هذه الحالة شبكةAd Hoc مؤلفة من خمس عقد وطريقة توضع العقد في هذه الشبكة هو على شكل حرف X. فبزيادة عدد العقد في هذه الحالة يصبح لدينا مسارات أكثر وبالتالي يصبح احتمال وجود فرص للترميز أكبر، ويتعلق ذلك أيضاً بنوع مسارات البيانات بين العقد في الشبكة وتحقيقها لشروط الترميز. وسندرس حالتين مختلفتين بالنسبة لمسارات البيانات بين العقد: الأولى هي حالة وجود فرص للترميز بين مسارات البيانات ويكون عدد الرزم المرمزة معاً اثنين فقط، والحالة الثانية هي وجود فرص لترميز أكثر من رزمتين معاً (أربع رزم معاً)، وسنناقش إمكانية وجود مثل هذه الحالات وتأثيرها على مردود الشبكة.

2-1 حالة ترميز رزمتين فقط معاً:

لتحقيق هذه الحالة لدينا الشبكة المبينة بالشكل(4-4)،بحيث تكون العقد C،B،A متجاورة مع بعضها و العقد E،D،C متجاورة مع بعضها البعض(أي أن العقدة C مجاورة لجميع العقد الأخرى بالشبكة فهي ممر إجباري لمرور مسارات الرزم بين العقد غير المتجاورة)،وتكون مسارات البيانات بين العقد مبينة في الجدول(6-4).

جدول(6-4) المسارات في حالة ترميز رزمتين فقط.

SOURCE	DES	Flows
A	B	A→C→D
B	E	B→C→E
C	B	C→B
D	A	D→C→A
E	B	E→C→B



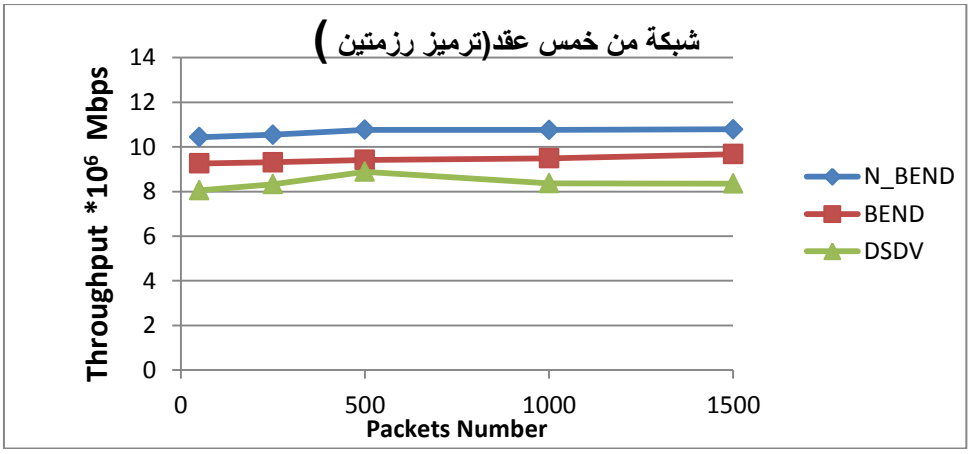
الشكل(6-4) شبكة Ad Hoc من خمس عقد.

في حال وجود فرصة لترميز رزمتين فقط نحصل على النتائج الموضحة بالجدول(6-5).

الجدول(6-5): حال ترميز رزمتين فقط.

Path	Packets Number	Throughput (without coding) Mbps	Throughput (BEND) Mbps	Throughput (N_BEND) Mbps	Coding Gain	
					BEND	N_ BEND
A→C→D	50	8.054	9.262	10.432	1.150	1.295
B→C→E	250	8.324	9.312	10.543	1.118	1.266
C→B	500	8.889	9.415	10.765	1.069	1.211
D→C→A	1000	8.370	9.489	10.759	1.133	1. 285
E→C→B	1500	8.357	9.674	10.785	1.157	1. 290

حيث نحصل على زيادة في مردود الشبكة يقدر بحوالي 15% عند استخدام التقنية BEND و بحوالي 25% عند استخدام التقنية N_BEND بالمقارنة مع الحالة التقليدية (بدون ترميز)كما يبين الشكل (6-5).



الشكل(6-5):مردود الشبكة: حالة ترميز رزمتين معا.

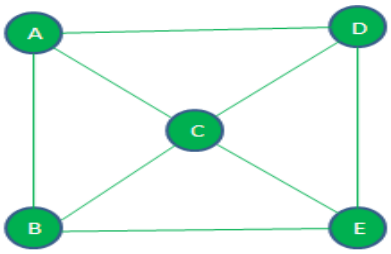
2-2 حالة ترميز أكثر من رزمتين معاً:

لتحقيق هذه الحالة لدينا الشبكة المبينة بالشكل(6-6) بحيث تكون جميع العقد متجاورة في هذه الشبكة باستثناء العقدتينA،E وكذلك العقدتين B،D،وتكون مسارات البيانات بين العقد محددة بحسب الجدول(6-6)، حيث نحصل على النتائج الموضحة بالجدول(6-7).

جدول(6-6) المسارات في حالة ترميز أكثر من رزمتين معاً.

SOURCE	DES	Flows
A	E	A→C→E
B	D	B→C→D
C	B	C→B
D	B	D→C→B
E	A	E→C→A

.



الشكل(6-6) شبكة Ad Hoc من خمس عقد.

الجدول(6-7): حالة ترميز أكثر من رزمتين.

Path	Packets Number	Throughput (without coding) Mbps	Throughput (BEND) Mbps	Throughput (N_BEND) Mbps	Coding Gain	
					BEND	N_ BEND
A→C→E	50	8.546	11.372	12.452	1.330	1.457
B→C→D	250	8.556	11.457	12.583	1.339	1.470
C→B	500	8.597	11.685	12.869	1.360	1.496
D→C→B	1000	8.639	11.976	13.154	1.386	1. 522
E→C→A	1500	8.678	12.230	13.324	1.409	1. 535

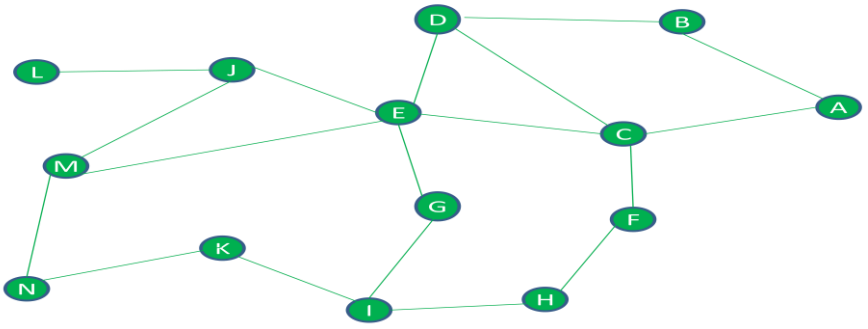
الشكل(6-7) مردود الشبكة: حالة ترميز أكثر من رزمتين.

في حالة وجود فرصة لترميز أربع رزم معاً، يتبين وجود زيادة كبيرة في مردود الشبكة مقارنةً بالحالة التقليدية كما يبين الشكل (6-7)، وتكون هذه الزيادة كبيرة أيضاً بالنسبة لحالة ترميز رزمتين فقط مع العلم أن وجود فرص ترميز لأربع رزم معاً يتطلب توضعاً معيناً للعقد في الشبكة كما يبين الشكل(6-6)،وذلك حتى تتحقق شروط الترميز وبالتالي

إمكانية الترميز لأربع رزم معاً. ويتم الحصول على ربح ترميز يصل إلى حوالي 34% ويعود تفسير الزيادة في الربح إلى وجود فرصة لترميز أربع رزم معاً بدلاً من رزمتين، مما يعني مضاعفة الاستفادة من عرض الحزمة المتوفر في الشبكة وبالتالي زيادة لمردود الشبكة.

3- حالة شبكة من أربعة عشر عقدة بتموضع عشوائي (Random Topology):

تمثل الشبكة المؤلفة من أربعة عشر عقدة والمبينة بالشكل(6-8) حالة عامة لشبكة Ad Hoc حيث تتوضع العقد في هذه الشبكة بشكل عشوائي وهو مماثل للحالة الواقعية لهذا النوع من الشبكات. سندرس أداء هذه الشبكة من أجل عدة حالات لمسارات البيانات بين العقد ولكن من حيث عدد القفزات، ففي كل حالة سيكون لدينا خمس مسارات ولكن الاختلاف سيكون في عدد قفزات هذه المسارات كما يوضح الجدول(6-8). مع العلم أنه عندما تكون المسارات وحيدة القفزات فإن الرزم لا تدخل إلى مرحلة الترميز بل توضع مباشرة في رتل الخرج، لذا تنطبق هذه الحالة مع الحالة التقليدية للتوجيه (دون استخدام الترميز).



الشكل(6-8) شبكة Ad Hoc من أربعة عشر عقدة بتوضع عشوائي.

جدول(6-8) عدد قفزات المسارات.

a:المسارات بعدد قفزات ثلاثة.

Source	Des	Flows
A	J	A→C→E→J
D	M	D→E→J→M
A	H	A→C→F→H
D	H	D→C→F→H
D	N	D→M→E→N

b:المسارات بعدد قفزات أربعة.

Source	Des	Flows
A	N	A→C→E→M→N
B	N	B→D→E→M→N
L	F	L→D→E→M→N
K	D	K→I→G→E→D
A	L	A→C→E→J→L

c:المسارات بعدد قفزات خمسة.

Source	Des	Flows
A	L	A→B→D→E→J→L
A	N	A→C→E→J→M→N
A	K	A→C→E→G→I→K
K	A	K→I→G→E→C→A
L	B	L→J→E→C→A→B

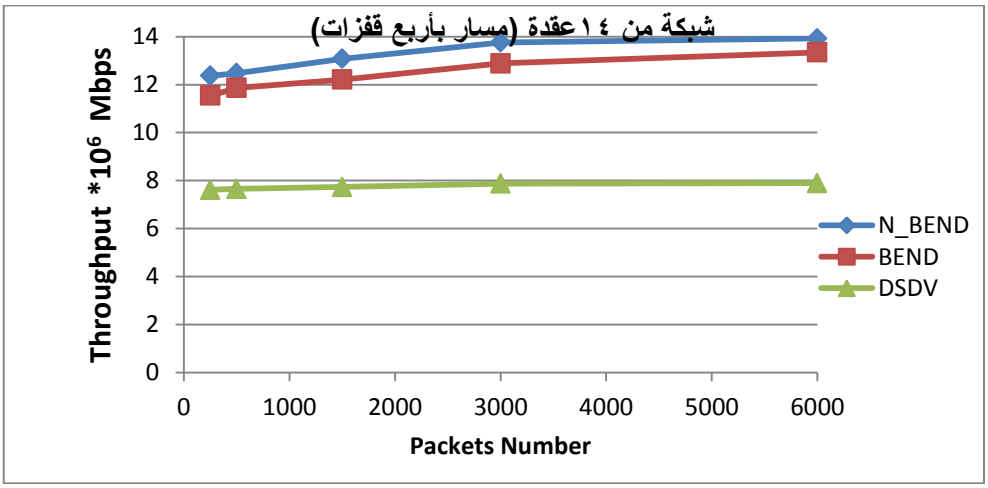
3-1 حالة مسارات بثلاث قفزات:

نحدد في هذه الحالة مسارات البيانات بين العقد بحيث يكون عدد القفزات بين العقد مساوٍ إلى ثلاث قفزات كما في الجدول(6-8-a). نختبر أداء الشبكة من أجل الحالة التقليدية وحالتي ترميز الشبكة فنحصل على النتائج المبينة في الشكل(6-9) والتي تشير إلى زيادة في مردود الشبكة بالنسبة للحالة التقليدية، وتفسير ذلك هو زيادة عدد فرص الترميز في الشبكة بسبب زيادة عدد العقد التي تقوم بتوجيه البيانات وبالتالي زيادة إمكانية الترميز في الشبكة، أي أن الرزم في هذه الحالة ممكن أن ترمز أكثر من مرة على طول المسار إلى الهدف مما يعني زيادة أكبر لمردود الشبكة بشكل عام.

الشكل(6-9) مردود الشبكة: حالة مسارات بعدد قفزات ثلاثة.

3-2 حالة مسارات بأربع قفزات:

نحدد حركة البيانات بين العقد بحيث يكون عدد القفزات بين العقد مساوٍ إلى أربع قفزات كما بالجدول(6-8-b)، فنحصل على النتائج المبينة بالشكل(6-10)، ونلاحظ أن مردود الشبكة يأخذ قيمة كبيرة ، وهي أعلى قيمة أيضاً بالنسبة للحالة السابقة، وتفسير ذلك هو بسبب زيادة فرص الترميز المحتملة على طول المسار بسبب زيادة طول المسارات بالشبكة مما ينعكس تحسيناً كبيراً لأداء الشبكة.



الشكل(6-10)مردود الشبكة: حالة مسارات بعدد قفزات أربعة.

3-3 حالة مسارات بخمس قفزات:

نحدد مسارات البيانات بين العقد بحيث يكون عدد القفزات للمسارات الخمس مساوياً إلى خمس قفزا ت كما يوضح الجدول(6-8-c).ونختبر أداء الشبكة من أجل الحالة التقليدية وحالتي ترميز الشبكة فنحصل على النتائج المبينة بالشكل (6-11). ونلاحظ أن مردود الشبكة يأخذ قيمة كبيرة ، وهي أعلى قيمة أيضاً بالنسبة للحالات السابقة، وتفسير ذلك هو بسبب زيادة فرص الترميز المحتملة على طول المسار بسبب زيادة طول المسارات بالشبكة مما ينعكس تحسيناً كبيراً لأداء الشبكة.

الشكل(6-11)مردود الشبكة: حالة مسارات بعدد قفزات خمسة.

الاستنتاجات والتوصيات:

1- قمنا بتحسين خوارزمية الترميز BEND من خلال تغيير طريقة بناء الأرتال لكل عقدة وإضافة أرتال جديدة حسب المسارات المكتشفة، ومن ثم وضع الرزم الخاصة بكل مسار في الرتل الجديد المقابل له، وعند تنفيذ عملية البحث عن فرص للترميز من أجل رزمة معينة فإننا نبحث فقط في الرزم التي تكون في قمة كل رتل جديد بدلا من البحث في كامل الرزم الموجودة في الرتل ونستطيع بهذه الطريقة التخلص من عمليات البحث غير اللازمة ونجعل عملية البحث عن فرص للترميز عملية حقيقية ،حيث نسمى الخوارزمية المقترحة N_ BEND.

2- بعد دراسة واختبار أداء شبكة Ad Hoc باستخدام ترميز الشبكة مع التحسين المقترح توصلنا إلى الاستنتاجات الرئيسية التالية:

- يساهم ترميز الشبكة في زيادة مردود شبكات Ad Hoc، ويزداد هذا المردود بزيادة فرص الترميز الممكنة بالشبكة وأيضاً بزيادة عدد الرزم المرمزة معاً.
- يكون ترميز الشبكة مفيداً جداً وذو جدوى مثلى من أجل الشبكات الكبيرة والكثيفة وفي حالات الازدحام.
- في حال عدم وجود فرص للترميز بالشبكة لا يحصل تأخير لإرسال الرزم.
- تساهم عملية إضافة ارتال جديدة إلى العقد بحسب المسارات في الاستخدام الأمثل لترميز الشبكة، وذلك من خلال تنفيذ عملية البحث عن فرص للترميز بأقل تأخير زمني ممكن ومن دون التقليل من فرص الترميز المحتملة.

هناك العديد من التحديات في استخدام ترميز الشبكة في الشبكات اللاسلكية المخصصة Ad Hocأهمها تحديد الرزم التي يمكن ترميزها معا وتخفيض الزمن اللازم للبحث عن فرص الترميز وعملية كثافة الرزم ويمكن معالجتها من خلال تعديل عدد وبنية أرتال الخرج للعقد في الشبكة، من خلال إعطاء أولوية أعلى لإرسال الرزم المرمزة ،كونها تحقق سرعة أكبر للشبكة ،ويكون ذلك من خلال بناء أكثر من رتل للخرج ، مثلا رتل خاص بالرزم المرمزة وله أعلى أولوية إرسال، ورتل مخصص لرزم العقدة نفسها له أولوية أقل، ورتل خاص بالرزم غير المرمزة وله أدنى أولوية، وبهذه الطريقة يمكننا تحقيق أداء أفضل للشبكة وبخاصة في حالات الازدحام.

References:

[1]Sheena Toms ;Deepa John .*Comparative Study of Network Coding Techniques in Wireless Network.* International Journal of Advanced Research in Computer and Communication Engineering Vol. 2 , Issue 5, May 2013.

[2] Jian Zhang ; Yuanzhu Peter Chen ; Ivan Marsic .*MAC-layer proactive mixing for network coding in multi-hop wireless networks*. Department of Electrical and Computer Engineering, Rutgers University,2015.

[3] V.Prashanthi; D.Suresh Babu;C.V.Guru Rao. *Survey on Network Coding-aware Routing* .Department of CSE,Vaagdevi College of Engineering, India,2016.

[4] Somayeh Kafaie, Student Member, IEEE, Yuanzhu Chen, Member, IEEE, Octavia A. Dobre, Senior Member, IEEE, and Mohamed Hossam Ahmed, SeniorMember, IEEE.Joint *Inter-flow Network Coding and Opportunistic Routing in Multi-hop Wireless Mesh Networks: A Comprehensive Survey*.2018.

[5]JUN ZHENG; JIAN MA.*"COPE: A CODING-AWARE OPPORTUNISTIC ROUTING MECHANISM FOR WIRELESS AD-HOC NETWORKS".* GRADUATE UNIVERSITY OF THE CHINESE ACADEMY OF SCIENCES,2017.

[6] B. Bellalta; E. Belyaev, M. Jonsson; A. Vinel. *Performance evaluation of IEEE 802.11p-Enabled vehicular video surveillance system.* IEEE Commun . Lett. 18 (4) (2014) 708–711.

[7]Jilin Le;John C.S. Lui;Dah-Ming Chiu*." DCAR: Distributed Coding-Aware Routing in Wireless Networks"* .Computer Science & Engineering Department+ Information Engineering Department The Chinese University of Hong Kong, 2017.

[8] B. Guo, H. Li; C. Zhou; Y. Cheng. *Analysis of general network coding conditions and design of a free-ride-oriented routing metric.* IEEE Trans. Veh. Technol. 60 (4), 2011, 1714–1727.

[9] Sujata V. Mallapur*;* Siddarama . R. Patil.*Survey on Simulation Tools for Mobile Ad-Hoc Networks.* IRACST – International Journal of Computer Networks and Wireless Communications (IJCNWC), ISSN: 2250-3501 Vol.2, No.2, April 2012.

[10] Gulfishan Firdose Ahmed; Raju Barskar;Nepal Barskar.*An Improved DSDV Routing Protocol For Wireless Ad Hoc Networks*.. Volume 6, 2012, Pages 822-83.