مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (9) 2013
TishreenUniversity Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (9) 2013

تحسين أداء شبكات Ad Hoc اللاسلكية متعددة القفزات بتطبيق ترميز الشبكة مع الأرتال الافتراضية

الدكتور محمد حجازية*
الدكتور معين يونس**
احمد ابراهيم***

(تاريخ الإيداع 23 / 9 / 2013. قُبِل للنشر في 2013/12/3)

∇ملخّص∇

يعتبر ترميز الشبكةأحد الأبحاث الهامة في مجال الشبكات اللاسلكيةمتعددة القفزات،ويساهم إلى حد كبير في تحسين أداء هذه الشبكات، إذيستفيد من الطبيعة الإذاعية لعمليات الإرسال في هذه الشبكاتلإرسال أكثر من رزمة في إرسال إذاعي واحد، لذافإنه يحقق استفادة مضاعفة من عرض الحزمة المتوفر،مما يزيد من مردود الشبكة ويقللمن الازدحام. هدفنا في هذا البحث هو التحقق من التحسين الذي يقدمه ترميز الشبكة لأداء شبكات Ad Hocاللاسلكية متعددة القفزات، وكذلك دراسةتسريع عملية البحث عن فرص الترميز من خلال بناءأرتالافتراضية بحسب مسارات الرزم التي تمر عبر العقد، وتطبيق طريقة فعالة لإدارة هذه الأرتال.

الكلمات المفتاحية:شبكات Ad Hoc، ترميز الشبكة، الأرتال الافتراضية، إدارة الأرتال.

*مدرس– قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية–سورية.
**أستاذ– قسم هندسة الاتصالات– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية–سورية.
***طالب دراسات عليا (ماجستير)– قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي– كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية– جامعة تشرين– اللاذقية، سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (35) العدد (9) 2013
TishreenUniversity Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (35) No. (9) 2013

Improving The performance of Multi-hop Wireless Ad-hoc Networksby applying network coding with virtual queues

Dr. Mohammed Hijazieh*
Dr. MouinYounes**
Ahmad Ibrahim***

(Received 23 / 9 / 2013. Accepted 3 / 12 / 2013)

∇ABSTRACT∇

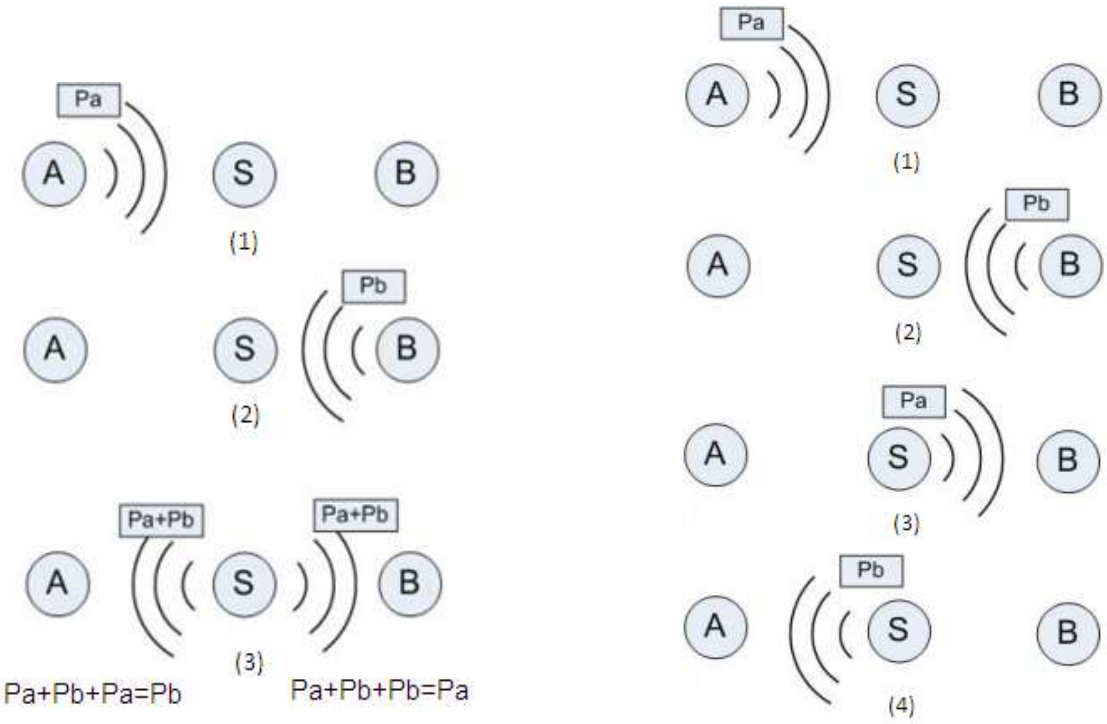
Network coding isone of the important researches in multi-hop wireless networks domain and it widely participates in improving the performance of these networks, since it benefits from the broadcasting nature of transmission processes to transmit more than single packet in one broadcasting transmission. 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 theperformance of multi-hops wireless Ad-hoc networks, and to study the accelerating of research process for coding chances through constructing a virtual queues according to the packets flows that pass the node, and applying affective manner to manage this queues.

Keywords: Ad Hoc networks, Network coding, Virtual queues, Queues management.

*Assistant Professor, Department of Computing & Automatic Control, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
**Professor, Department of communication, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
***Postgraduate Student, Department of Computing & Automatic Control, Faculty of Mechanical & Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

يستخدم ترميز الشبكةفي شبكات Ad Hoc[1]عن طريق تمكين العقد الموجهة في الشبكة من القيام بعملية ترميز للرزمعند تحقيقها شروطاً معينة،ومن ثم توجيه هذه الرزم معاًبواسطةالإرسال الإذاعيالواحد بدلاً من توجيه كل منها في إرسال على حدة،والهدف من ذلك هوالتقليل من عدد عمليات الإرسال والاستفادة القصوى من عرض الحزمة المتوفر في الشبكة.ولتوضيح فكرة هذا الترميز نأخذ مثلاً شبكة Ad Hocمؤلفة من ثلاث عقد لاسلكية A,B,Sحيث تتبادل العقدتان A,B الرزم عبر العقدةالمتوسطةS(عقدة التوجيه).



الشكل(1-1) طريقة التوجيه التقليديالشكل(1-2) طريقة التوجيه باستخدام الترميز

أولاً بحسب النموذج التقليدي للتوجيه ترسل كل من العقدتين A,B الرزم الخاصة بها إلى العقدة S التي تقوم بتوجيه هذه الرزم إلى أهدافها من دون إجراء أي عملية معالجة لهاكما يبين الشكل (1-1)،لذا لكي تقوم كل عقدة بإرسال رزمة واحدة فقط إلى العقدة الهدف تحصل عمليتا إرسال، وبالمجمل تقوم العقد بأربع عمليات إرسال لتبادل الرزمتين.

أما بحسب نموذج التوجيه باستخدامالترميز فسيكون لدينا آلية معالجة جديدة في عقدة التوجيهS قبل عملية الإرسال، وهي استخدام ترميز الشبكة، الذييقوم علىترميزرزممن مسارات مختلفة معاً (بعد التأكد من إمكانية فك ترميزها في العقد الهدف)في رزمة واحدة باستخدام المعامل المنطقي XOR، ومن ثم القيام بتوجيه هذه الرزمةالمرمزةبواسطةالإرسال الإذاعيكما يبين الشكل(1-2)، وفي جهة الاستقبال تجري عملية فك الترميز أيضاً

باستخدام المعامل XORللحصول على الرزم الأصلية بالشكل غير المرمز[3] [2].يتبين أنه بحالة استخدام ترميز الشبكة فإن العقدتقوم بثلاث عمليات إرساللتبادل الرزمتين، بدلاً من أربععمليات في حالة التوجيه التقليديةوهذا يعني حفظ25% من موارد الشبكة، وبشكل عام لا تقتصر عملية الترميز على رزمتين فقط بل يمكن ترميز رزم أكثر،وذلك بشرط تحقق إمكانية الترميز، وهذا يعني وفرة أكبر لموارد الشبكة[4].إضافة لذلك فإن لترميز الشبكة فوائد أخرى للعقدولحماية البيانات في الشبكة،ويمكن تلخيص هذه الفوائد بما يلي:

- التقليل من مشغولية الشبكة اللاسلكية مما يؤدي إلى التقليل من الازدحام.
- زيادة مردود الشبكة اللاسلكية.
- التقليل من طاقة الأجهزة المستهلكة عند الإرسال.
- ترميز الرزم معاً له دور أمني كون معطيات هذه الرزم أصبحت مرمزة.

دراسات سابقة:

يوجد الكثير من الدراسات التي تناولت الآليات المختلفة لاستخدام ترميز الشبكة في الشبكات اللاسلكية، أهمها النموذج[5](COPE(Coding Opportunistically)الذي يعتبر أول نموذج عملي لتطبيق ترميز الشبكة في الشبكات اللاسلكيةمتعددة القفزات،وقدمطريقة لتطبيق تقنية الترميز من خلال إنشاء طبقة وسيطة بين طبقتي ربط المعطيات والشبكة تسمى طبقة الترميز، تحتوي جميع خوارزميات الترميز اللازمة لتطبيق ترميز الشبكة. وهناك نموذج آخر يسمى [6](DCAR (Distributed Coding-Aware Routing يقوم على إنشاء بروتوكول توجيه في طبقة الشبكة هو(CRM (Coding-aware Routing-Metric،يضاف له مهمة اكتشاف فرص الترميز المحتملة، وبالتالي يصبح بروتوكول توجيه وترميز بآن معاً. والنموذج الأهم هو [7]BEND الذي يعمل على الطبقة الفرعية (MAC Layer) ويطبق خوارزمية للبحث عن فرصة للترميز تقوم على اختبار تحقق شروط معينة.ويعتبر هذا النموذج من أفضل تقنيات الترميز المستخدمة،إذ يتميز بتحقيق سرعة عالية للشبكة مقارنة مع الحالة التقليدية ومع تقنيات الترميز السابقة، والسبب الرئيس في ذلك هو قدرته على إيجاد أكبر عدد ممكن من فرص الترميز، كما أنه يضمن وبنسبة عالية نجاح عملية الترميز.وتعتمد دراستنا في هذا البحث على آلية عملهذا النموذج.

أهمية البحث وأهدافه:

محور بحثنا هو دراسةآلية جديدة لتطبيق خوارزمياتالبحث عن فرص للترميز، وذلك من خلال بناء أرتالافتراضية بحسب مسارات الرزمالتي تمر عبر العقد وبشكل متوافق مع تطبيق شروط الترميز، وبالتالي تصبح عملية البحث عن فرص الترميز عملية خطية بالنسبة لعدد المسارات 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 وعلى أداء ثابت لعملية البحث.

طرائق البحث ومواده:

3-1 محددات ترميز الشبكة:

يعتمد ترميز الشبكة في شبكات Ad Hoc على النقاط الأساسية التالية:

- الخاصية الإذاعية للقناة اللاسلكية (Broadcasting)[8]: 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 الموجودة في العقد هي هوائيات بجميع الاتجاهات Omni-directional Antenna.
- خاصية الاستماع (Overhearing): معنى هذه الخاصية أن 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 ترميزالشبكة (فك الترميز). ولتحقيق ذلك يجب أن يكون لدى العقد ذاكرة مؤقتة (Buffer) تستخدم للاحتفاظ بالرزم (التي تستمع لها من الوسط المجاور) لمدة زمنية معينة.

-تتم عملية الترميز وفك الترميز باستخدام المعامل المنطقي XOR.

-يتم تعريف كل مسار للرزم يمر عبر العقد بعنواني العقدتين:موجهة القفزة السابقة ومستقبلة القفزة التالية.

-يتم اتخاذ قرار الترميز عند تحقق الشرطين التاليين:

1- مستقبل القفزة التالية للرزمة الأولى هو موجه سابق للرزمة الثانية، أو أحد العقد المجاورة لها.

2- مستقبل القفزة التالية للرزمة الثانية هو موجه سابق للرزمة الأولى، أو أحد العقد المجاورة لها.

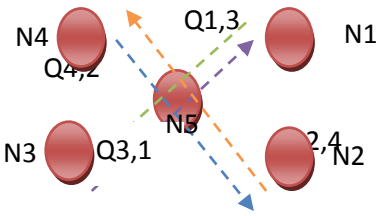
3-2الأرتال الافتراضية(Virtual Queues):

يحدد إمكانية ترميز الرزم معاً وفق نموذج الترميز BENDبتطبيق 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 تأخيراً زمنياًويستهلكأيضاً من موارد العقدة بسبب عمليات المعالجة والبحث المذكورة.لذلك لا بد من إيجاد آلية جديدة لعملية البحث تكون غير مكلفة للعقدة ولا تضيف تأخيراً زمنياً لإرسال الرزم.

الآلية المقترحة هي استخدام أرتالالانتظار الافتراضية في عقد الشبكة، وذلكبالاستفادة من قاعدة أن نوع الترميز المستخدم في هذه الشبكات هو ترميز بين تدفقات أو مسارات الرزم[9] (Inter Session Coding). وبالتالي لا يمكن أبداً ترميز الرزم التابعة للمسار نفسه معاً، وهذه القاعدة تساعدنا على تسهيل عملية البحث عن فرص للترميز،وذلك من خلال إنشاء أرتال افتراضية من أجل المسارات المختلفة التي تمر عبر العقد ومن ثم وضع الرزم الخاصة بكل مسار في الرتل الافتراضي المقابل له، وعند تنفيذ عملية البحث عن فرص للترميزمن أجل رزمة معينة فإننا نبحث فقط في الرزم التي تكون في قمة كل رتل افتراضي بدلاً 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.ولتوضيح آلية الأرتال الافتراضية هذه نأخذ مثالاً عن شبكة Ad Hocمؤلفة من خمس عقد،يمر عبر العقدة N5أربعة مسارات رزم كما يبين الشكل(3-1). نقوم بحسب آلية الأرتال الافتراضية بإنشاء أربع أرتال افتراضية لهذه المسارات ثم نضع الرزم الخاصة بكل مسار في الرتل المقابل كما في الشكل(3-2)، وعلى فرض أنه يوجد 50 رزمة في كل رتل من هذه الأرتال الافتراضية فإن عدد عمليات البحث بحسب النموذج BEND يمكن أن يصل

إلى199عملية بحث كحد أقصى، بينما يكون باستخدام آلية الأرتال الافتراضية ثلاث عمليات بحث فقطبحدٍ أقصى. يعود سببذلك لأن آلية الأرتال الافتراضية المقترحة تجعل عملية البحث عن فرص للترميز متعلقة بعدد مسارات الرزم وليس بعدد الرزم، وهو ما يقلل إلى حد كبير من عمليات البحث والمعالجة، وتكون هذهالآلية مفيدة جداً بخاصة عندما يحصل ازدحام ويكون هناك عدد كبير من الرزم في العقدة، والنتيجة التي نحصل عليها هي زيادة سرعة الشبكة والمحافظة على موارد العقدة (طاقة البطارية والذواكر والمعالج) وأيضاً على أداء ثابت لعملية البحث.

...	P15	P14	P13	P12	P11	Q1,3
...	P25	P24	P23	P22	P21	Q2,4
...	P35	P34	P33	P32	P31	Q3,1
...	P45	P44	P43	P42	P41	Q4,2



الشكل(3-1) شبكة Ad الشكل(3-2) الأرتال الافتراضية في العقدة N5Hoc

3-2-1آلية إدارة الأرتال الافتراضية:

يكمنالتحدي الأساسي في آلية الأرتال الافتراضية في عملية إدارة هذه الأرتال،لأنه سيصبحلدينا في كل عقدة مجموعة من الأرتال غير الثابتة (وجود الرتل أو عدمه مرتبط بمسارات الرزم بين العقد في الشبكة) بدلاً من الرتل الخطي الوحيد،لذالا بد من وضع آلية إدارة فعالة لتنسيق عمل هذه الأرتالوتنظيمه،بحيث لا تكون معقدة ولا تسبب تأخيراً في الإرسال،ويتم ذلك وفق ما يلي:

أولاً:في آلية الأرتال الافتراضية 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.نضع في هذا الرتل العناوين المعرفة للمسار(عنواني العقدتين موجهة القفزة السابقة ومستقبلة القفزة التالية للرزمة)، إضافة إلى معرف الرزمة.

ثانياً: إنشاء رتل افتراضي خاص بكل مسار ومن ثم وضع رزم المسار في هذا الرتل.

ثالثاً:عند بدء كل عملية البحث عن فرصللترميز يتم إنشاء قائمة تسمى قائمة الترميز نضع فيها أولاً الرزمة التي نبحث لها عن فرص للترميز ولاحقاً الرزم التي تحقق شروط الترميز مع هذه الرزمة.

رابعاً: يتم حذف الرتلبعد مضي فترة زمنية (خمس دقائق) علىكونه فارغاً.

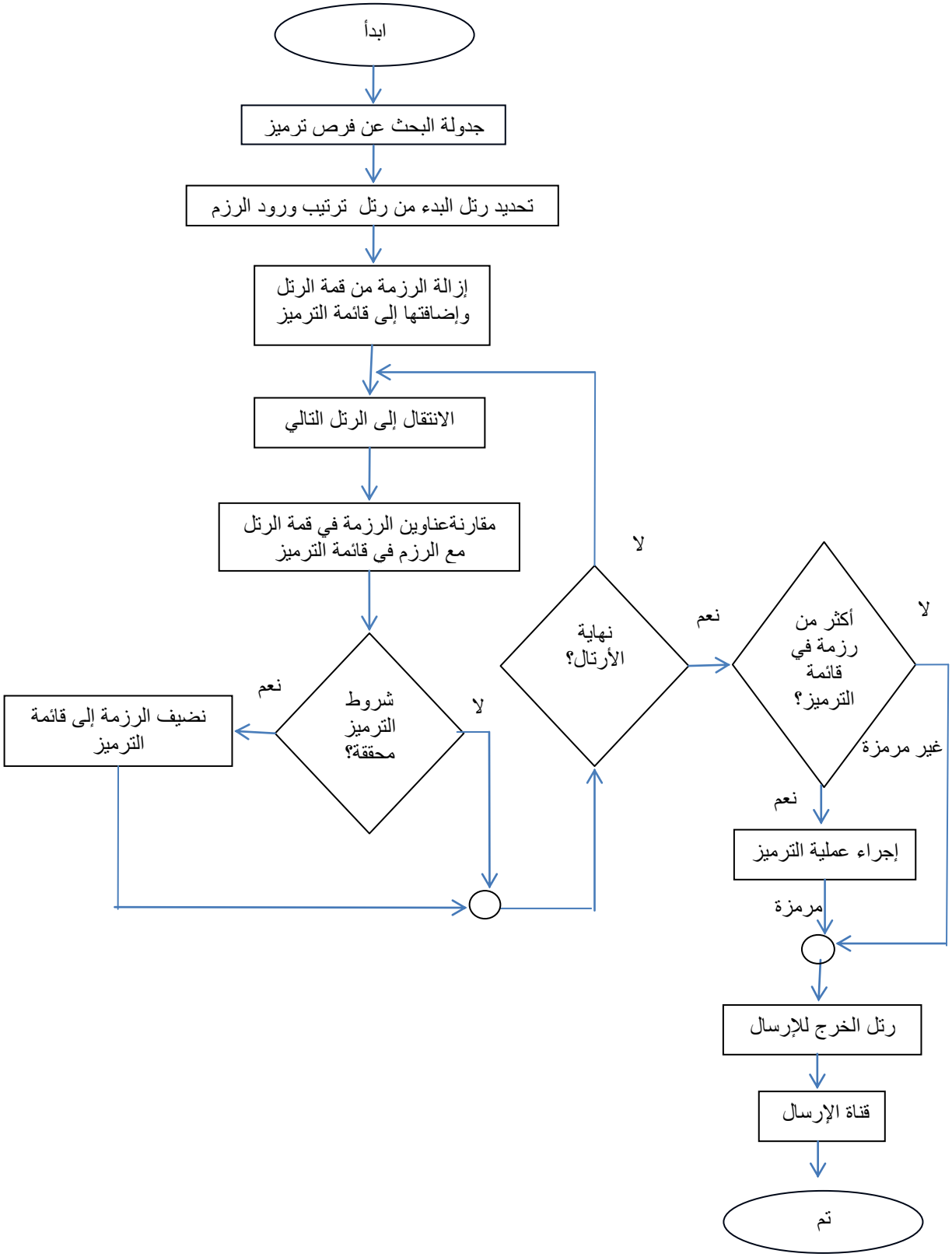
وعند جدولة عملية البحث عن فرص للترميز نأخذ أولاً العناوين الموجودة في قمة رتل ترتيب ورود الرزم لتحديد من أي رتلسوف نبدأ عملية البحث، ومن ثم ننتقل إلى هذا الرتلونزيل الرزمة التي تكون في قمته ونضيفها إلى قائمة الترميزومن ثم ننتقل إلى الرتلالذي يليه،نختبر تحقق شروط الترميز بينالرزمة الموجودة في قمة هذا 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 مؤخراً (لا يمكن ترميز رزمتين من نفس المسار نفسه).وإذا لم تتحقق الشروط فإننا ننتقل إلى الرتل التالي (من دون إضافة الرزمة إلى قائمة الترميز) وأيضاً من دون البحث في بقية الرزم في الرتل لأنها حكماً لا تحقق شروط الترميز كونها من مسار الرزمة الموجودة في قمة الرتلنفسه،وهكذا نكرر العمليةنفسها بالنسبة لبقية الأرتال.وعند الانتهاء من عملية البحث في كافة الأرتالسيكون لدينا حالتان: أولاً في حال كان هناك أكثر

من رزمة في قائمة الترميز، فإننا نقوم بعملية ترميز هذه الرزم لنحصل على الرزمة المرمزةالتي نضعها بالنهاية في رتل الخرج لإرسالها لاحقاً، وثانياً في حال لم توجد إلا رزمة واحدة في قائمة الترميز فنضعها مباشرة في رتل الخرج.

3-2-2جدولة البحث عن فرص للترميز:

تحدد جدولة عملية البحث عن فرص للترميز الاستخدام الأمثل لعمل شبكة Ad Hocباستخدام ترميز الشبكة، ولتحقيق ذلك 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 إرسالالرزم،ولتحقيق ذلك يجب جعل عملية البحث عن فرص للترميز تتم وفق عتبة معينة (قابلة للتغيير) بالنسبة لعدد الرزم الموجودة في رتل الخرج.

يتحقق المبدأ الأول من خلال وضع قيمة هذه العتبة مساوية للصفر ، ومعنى ذلك أنه عندما لا يوجدرزم في رتل الخرجيتم تنفيذ عملية البحث عن فرص للترميز. أما بالنسبة للمبدأ الثاني ومن أجل قيمة العتبة 0تكون عملية الإرسال مرتبطة بمرحلةالترميز (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 (كما سنرى لاحقاً بالنتائج) اخترناالقيمة المناسبة للعتبة وهي 10، ومعنى ذلك أنه عندما يصبح عدد الرزم في رتل الخرج 10 تتوقف عملية البحث عن فرص للترميز ،وبذلك نضمن عملية الفصل المطلوبة.لذافمن خلال عملية جدولة البحث هذه نكون قد طبقناترميز 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 10، يتم إيقاف عملية البحث فيحصل وفرة من الرزم في الأرتال الافتراضية تعطي مجالاً لوجود فرص ترميز أكبر، وبالتالي إرسال عدد من الرزم أكثر وزيادة في مردود الشبكة، وبالنتيجة حل مشكلة الازدحام. يبين الشكل (3-3) الخوارزمية الممثلة لاستخدام ترميز الشبكة مع آلية الأرتال الافتراضية.



الشكل(3-3) خوارزمية ترميز الشبكة باستخدام آلية الأرتال الافتراضية

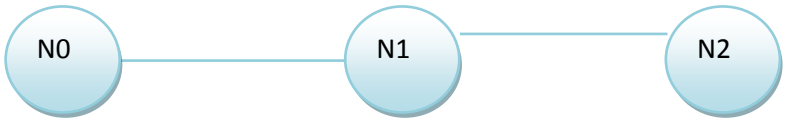
النتائج والمناقشة:

لاختبار ترميز الشبكة مع آلية الأرتال الافتراضية،سنكونبحاجة لبرمجة خوارزميات الترميز وربطها مع بنية العقدةمن أجل دراسة أداء الشبكة ومقارنته مع الحالة التقليدية وقياس التحسين المفترض. وسنستخدملتحقيق ذلك لغة البرمجةC Sharp(C#)[10] لما تتميز به هذه اللغة من ديناميكية وسهولة التعامل مع الأرتال والقوائم المرتبطةوالملفات والتي نحتاجهالتمثيلبنية العقدوتوليد الحركة المطلوبةبين العقد في الشبكة. ننطلق في دراستنا لهذه الشبكات من كون العقد فيها غير متحركة أي أن الشبكةمن نوعSANET(Static Ad Hoc Networks)، وعند إنشاء الشبكة يقوم المستخدم بتحديد عدد العقد فيها وأيضاً تحديد العقد المتجاورة منها، وبفرض أن المسافة بين العقد المتجاورة هي 100متر ومعدل نقل البيانات في هذه الشبكة هو 10Mbps، بروتوكول النقل UDP أما بروتوكول التوجيه فهو DSDV(Distance Sequence Distance Victor)[11]، وبالنسبة لكل الأرتال فهي ذات طول غير محدود وتعمل بحسب التقنيةFIFO (First Input First Output)، والبيانات التي تقوم العقد بتوليدها هي من النمط CBR(Constant Bit Rate) وحجم الرزم ثابت ويساوي 1000 bytes للرزمة.

وبمحاكاة الشبكة من أجل حالات مختلفة لعدد العقد نقارن بين تقنيتي إرسال: الأولى هي النموذج التقليدي للإرسال أي دون استخدام الترميز (no Coding) والثانية هي نموذج ترميز الشبكة باستخدام الأرتال الافتراضية والذي نسميه (Enhanced)، وذلك من حيث مردودالشبكة(Network Throughput)وربح الترميز الذي نحصل عليه.

4-1 حالة شبكة من ثلاث عقد على شكل سلسلة (Chain Topology):

نقوم أولاً بإنشاء هذه الشبكة من خلال تحديد عدد العقد وأي العقد المتجاورة وذلك عن طريق تحديد أن العقدة N1 مجاورة لكل من العقدتين N0،N2 (غير المتجاورتين) كما هو مبين في الشكل (4-1).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.

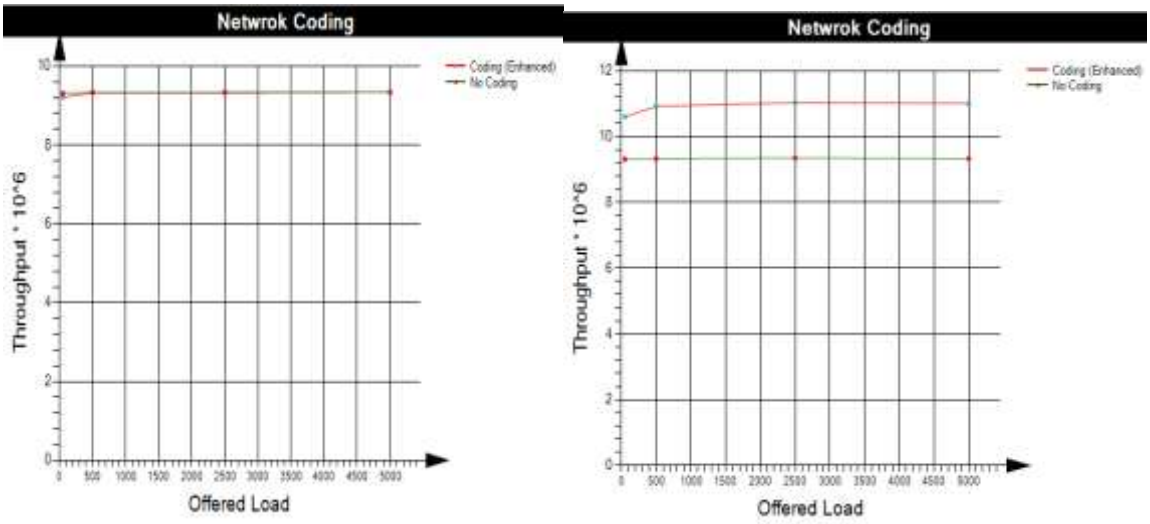


الشكل(4-1) شبكة Ad Hoc من ثلاث عقد

ندرس أداء الشبكة أولاً في الحالة التقليدية (عدم استخدام ترميز الشبكة)، وثانياً بحالة استخدام ترميز الشبكة (في حالتي وجود فرص للترميزوعدم وجودها)، وأخيراً نحسب ربح الترميز الذي نحصل عليه بالمقارنة مع الحالة التقليدية. ويبين الجدول (1) حالة وجود فرص للترميز في الشبكة.

الجدول(1):حالة وجود فرص للترميز

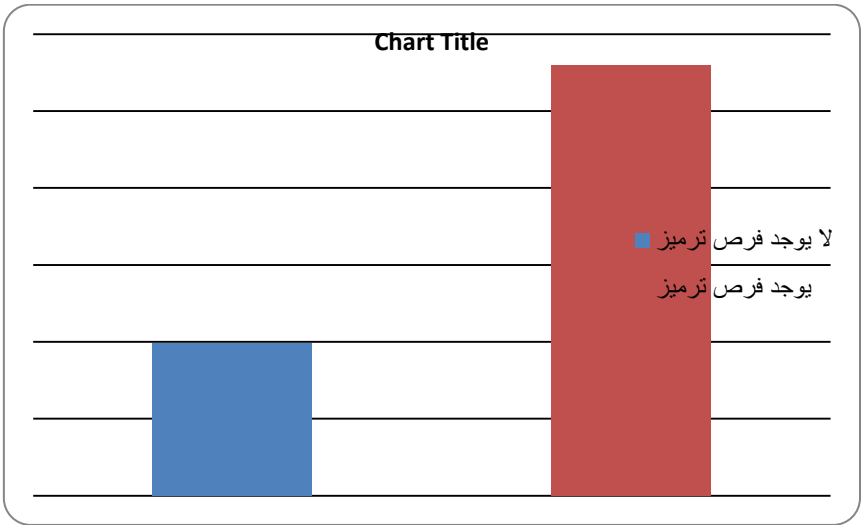
Traffic Pattern		Load (Packets)	Throughput (no Coding) Mbps	Throughput (Coding) Mbps	Coding Gain
Source	Destination	10	9.311	10.602	1.138
No	N2	100	9.327	10.922	1.171
N1	N2	500	9.349	11.035	1.18
N2	N0	1000	9.331	11.012	1.18



a:حالة عدم وجود فرص للترميز b: حالة وجود فرص للترميز

الشكل(4-2) مردودالشبكة

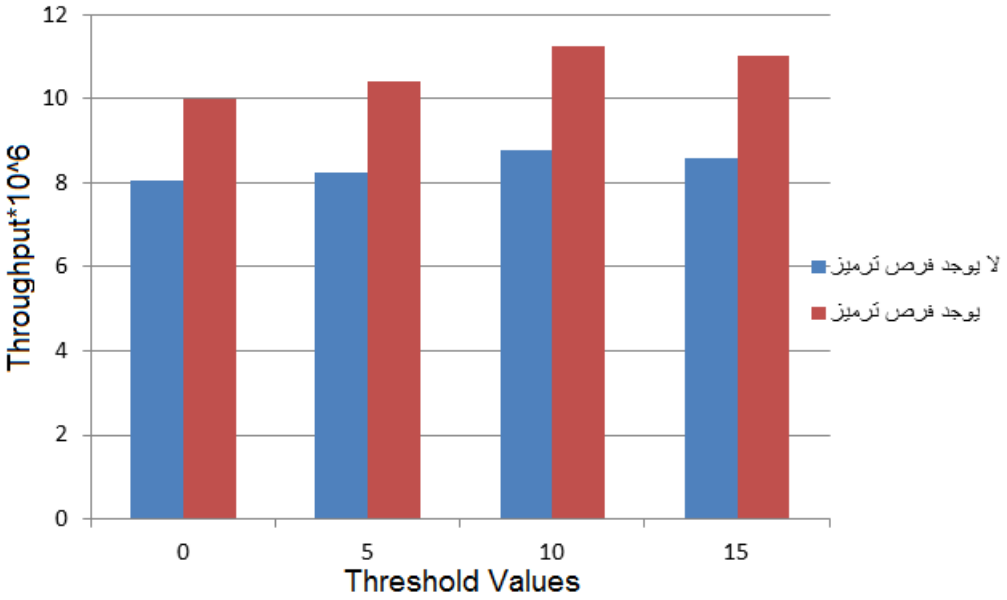
نستنتج أنه عند تطبيق تقنية الترميز في الشبكة ولم توجد أي فرصة للترميز، فإنه لا يحصل تأخير في إرسال الرزم وتحافظ الشبكة على سرعتهانفسهاتقريباً كما يبين الشكل (4-2-a)،وذلك بسببعمليةجدولة البحث عن فرص للترميز التيتقوم على عدم تأخير عملية الإرسال. أما في حال وجود فرص للترميز فإننا نحصل على زيادة في مردود الشبكة كما يبين الشكل(4-2-b)، وبالتالي ربح الترميز الذي نحصل عليه(وهو النسبة بين سرعة الشبكة بحالة استخدام الترميز مع آلية الأرتال الافتراضية إلى سرعتها بحالة عدم استخدام الترميز)يصل إلى حوالي 18%كما يبين الشكل(4-3).



الشكل(4-3) ربح الترميز

4-1-1 عتبة جدولة البحث عن فرص للترميز:

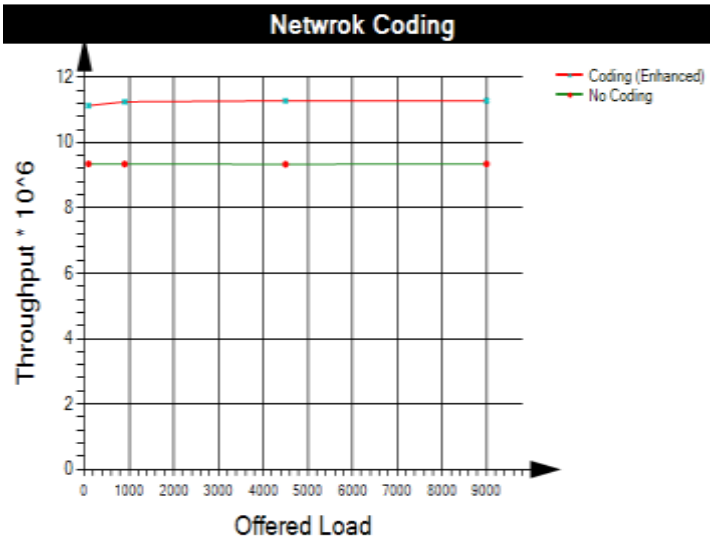
يتم اختيار قيمة عتبة جدولة البحثبحيث تحقق التوازن بين البحث عن أكبر عدد فرص للترميز وعدم تأخير إرسال الرزم وذلك بهدف الحصول على أفضل أداء للشبكة، وقد درسنا أداءشبكة Ad Hocالمؤلفة من ثلاث عقد في حالتي وجود فرص للترميزوعدم وجودها،وذلكمن أجل قيم مختلفة لهذه العتبة، ووجدنا أن القيمة 10 تحقق أفضلمردودللشبكةمقارنة بالقيم الأخريكما يبين الشكل (4-4).

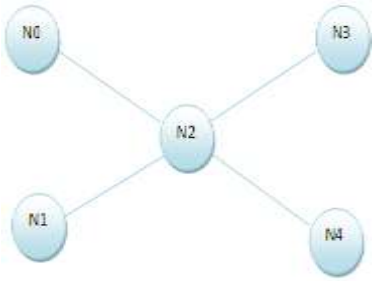


الشكل (4-4) أداء الشبكة بالنسبة لقيم عتبة جدولة البحث

4-2 حالة شبكة من خمس عقد على شكل X(X Topology):

4-2-1 حالة ترميز رزمتين فقط معاً:



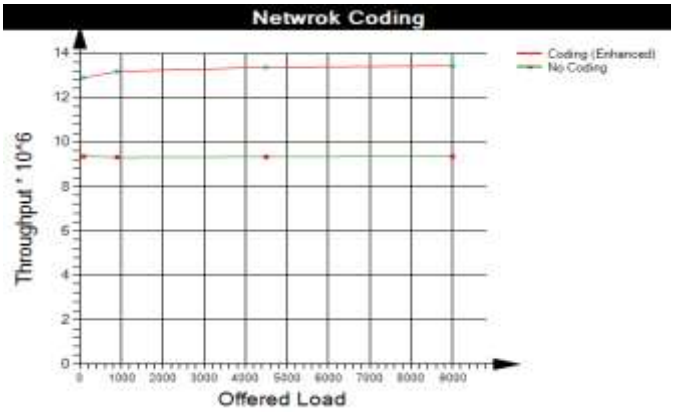


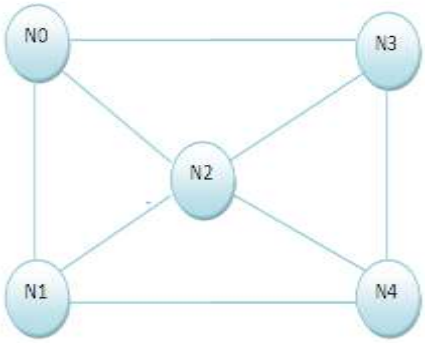
a:شبكة Ad Hoc من خمس عقدb:مردود الشبكة

الشكل(4-5)حالة ترميز رزمتين معاً

في حال وجود فرصة لترميز رزمتين فقط (وهنا احتمال الترميز أكبر بسبب زيادة عدد العقد في الشبكة) نحصل على زيادة في مردود الشبكة يقدر بحوالى20% كما يبين الشكل (4-5-b).

4-2-2 حالة ترميز أكثر من رزمتين معاً:



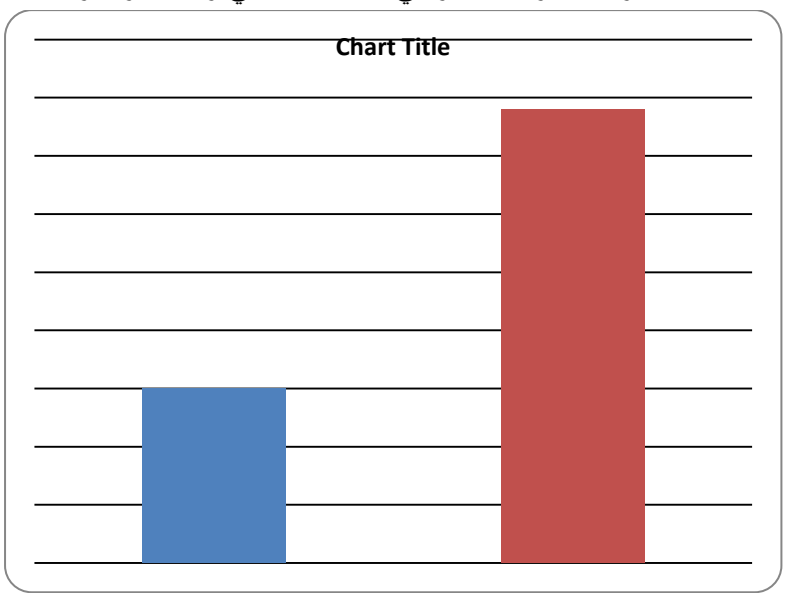


a:شبكة Ad Hocمن خمس عقدb:مردود الشبكة

الشكل(4-6) حالة ترميز أربع رزم معاً

في حالة وجود فرصة لترميز أربع رزم معاً،يتبين وجود زيادة كبيرة في مردود الشبكة مقارنةًبالحالة التقليدية كما يبين الشكل (4-6-b)، لذا يتمالحصول على ربح ترميز يصل إلىحوالي 43% كما يظهر الشكل(4-7)، مع العلم أن وجود فرص ترميز لأربع رزم معاً يتطلب توضعاً معيناً للعقد في الشبكة كما هي الحال في الشكل(4-6-a)وذلك حتى

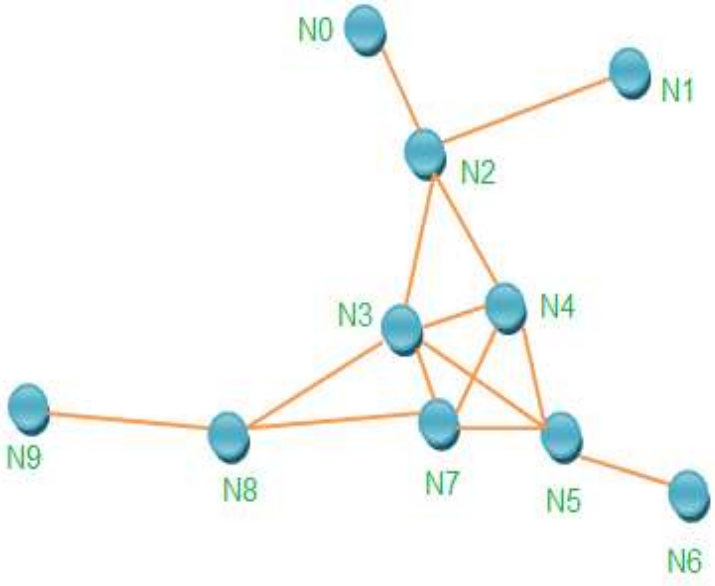
تتحقق شروط الترميز ثم إمكانيته.يعود تفسير الزيادة في الربحإلى وجود فرصة لترميز أربع رزم معاً بدلاً من رزمتين، مما يعني مضاعفة الاستفادة من عرض الحزمة المتوفر في الشبكة، وبالتالي زيادة أكبر لمردود الشبكة.



الشكل(4-7) ربح الترميز

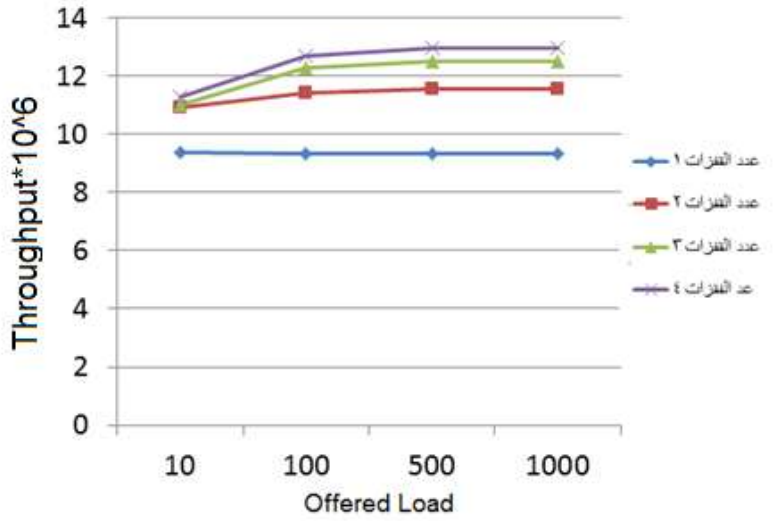
4-3 حالة شبكة من عشر عقد بتوضع عشوائي (Random Topology):

تمثل الشبكة المؤلفة من عشر عقد المبينة بالشكل(4-8) حالة عامة لشبكة Ad Hocإذتتوضع العقد في هذه الشبكة بشكل عشوائي وهو مماثل للحالة الواقعيةلهذا النوع من الشبكات. سندرس أداء هذه الشبكة في عدة حالات لحركة البيانات بين العقد ولكن من حيث عدد القفزات،ففي كل حالة سيكون لدينا أربعة مسارات، ولكن الاختلاف سيكون في عدد قفزات هذه المسارات.في الحالة الأولى سندرس هذه المسارات بعدد قفزاتمقداره:اثنان، والحالة الثانية بثلاث قفزات والحالة الثالثة بأربع قفزات.مع العلمأنه 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).

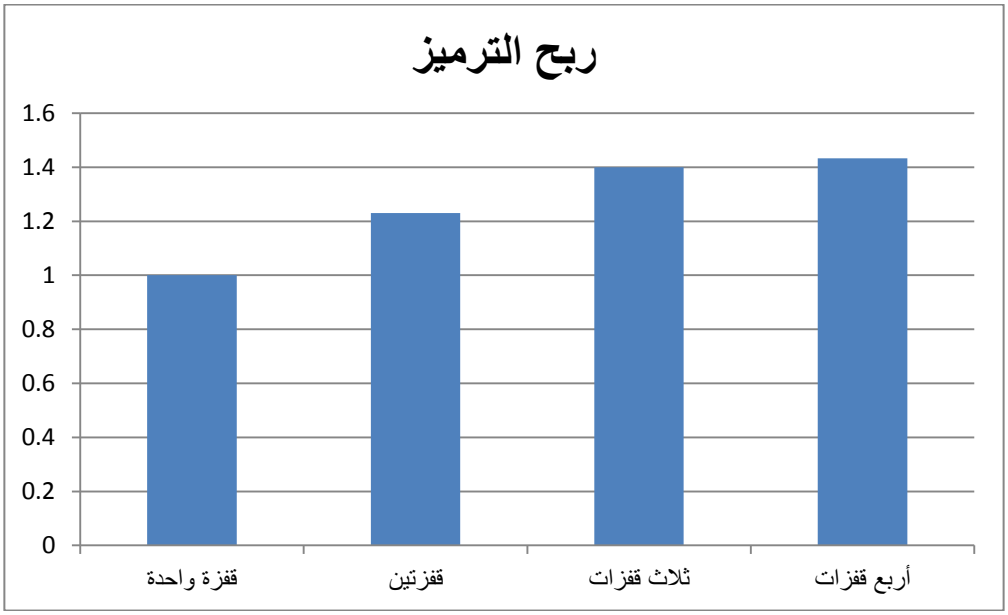


الشكل(4-8) شبكة Ad Hoc من عشر عقد وتوضع العقد عشوائي

بمحاكاة الشبكة من أجلالحالات الأربعةلعدد القفزاتنجد ازدياد مردود بزيادة عدد قفزات المساراتكما يبين الشكل(4-9)، ونحصل على ربح ترميز يصل إلى حوالى42%من أجل مسارات بعدد قفزات أربعة كما هو موضح في الشكل(4-10)،وتفسير زيادةمردود الشبكة بزيادة عدد القفزات هو بسبب زيادة فرص الترميز المحتملة على طول المسار. نستنتج أن ترميز الشبكة يناسب الشبكات الكبيرة بسبب زيادة فرص الترميزوتنوّعها وبالتالي احتمالية الترميز مما يعني زيادة أكبر لمردود هذه الشبكات.



الشكل(4-9)مردود الشبكة



الشكل(4-10) ربح الترميز

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد دراسة أداء شبكة Ad Hocواختباره باستخدام ترميز الشبكة مع آلية الأرتال الافتراضية نتوصل إلى ما يلي:

1- يساهم ترميز الشبكة في زيادة مردودشبكات Ad Hoc.

2- يزداد مردود الشبكة بزيادة عدد الرزم المرمزة معاً.

3- يكون ترميز الشبكة مفيداً جداً من أجل الشبكات الكبيرة والكثيفة.

4- لا يحصل تأخير للإرسالفي حال عدم وجود فرص للترميز.

5- تساهم آلية الأرتال الافتراضية في الاستخدام الأمثل لترميز الشبكة.

يمكن معالجة مشكلة الازدحام في الشبكة بفعالية أكبر من خلال إعطاء أولوية أعلى لإرسال الرزم المرمزة، كونها تحقق سرعة أكبر للشبكة،ويكون ذلك من خلال بناء ثلاثةأرتالخرج بدلاً من رتل الخرج الوحيد، الرتل الأول خاص بالرزم المرمزةله أعلى أولوية إرسال،والثاني مخصص لرزم العقدة نفسها له أولوية أقل،والرتل الثالث خاص بالرزم غير المرمزةله أدنى أولوية، وبهذه الطريقة يمكننا تحقيق أداء أفضل للشبكة وبخاصة في حالات الازدحام.

المراجع:

[1] SARKAR, S.K. ; BASAVARAJU, T.G. ; PUTTAMADAPPA, C. "*Ad Hoc Mobile Wireless Networks. Principles, Protocols, and Applications".* Taylor & Francis Group, 2008, pp.21-95.

[2] PELUSI, L. ; PASSARELLA, A. ; CONTI, M. "*Encoding for Efficient Data Distribution in Multihop Ad Hoc Networks*", IIT-CNR, Pisa, Italy, 2009, pp.87-125.

[3] FRAGOULLI, C. ; SOLJANIN, E. *"Network Coding Fundamentals",* Foundations and Trends in Networking, Vol. 2, No. 1, 2007,pp 1-133.

[4] LE, J. ; LUI, J.C.S ; CHIU, D.M. "*How Many Packets Can We Encode? - An Analysis of Practical Wireless Network Coding*". Proceedings of IEEE INFOCOM :371 , 2008.

[5] KATTI, S. ; Rahul, H. ; HU, W. ; KATABI, D. ; MÉDARD, M. ; CROWCROFT, J. "*Xors in the air:practical wireless network coding"*. SIGCOMM. Pisa, Italy: ACM,September 2006, pp. 24 –254.

[6] LE, J. ; Lui, J.C.S ; CHIU, D.M."*DCAR: Distributed Coding- Routing in Wireless Networks"*.The 28th International Conference on Distributed Computing Systems, 2008, pp 462-469.

[7] ZHANG, J.; CHEN, Y. P. ; MARSIC, I."*MAC-layer proactive mixing for network coding in multi-hop wireless networks*". Computer Networks 54: 196–207, 2010.

[8] FRAGOULI, C. ; WIDMER, J. ; BOUDEC, J.Y. "*Efficient Broadcasting Using Network Coding*". IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 16, no. 2, 2008, 450-463.

[9] KOETTER R. ; MÉDARD, M. "An Algebraic *Approach to Network Coding*". IEEE/ACM Transactions on Networking, VOL. 11, NO. 5, OCTOBER 2003, p.1256-1269.

[10] DEITEL, P. ; Deitel, H. "*C# 2010 for Programmers* ". 4th Edition, DEITEL® DEVELOPER SERIES, 2010, 1239.

[11] HE, G. "*Destination-Sequenced Distance Vector (DSDV) Protocol*". Technical report, Helsinki University of Technology, Finland, 2005.