مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (5) العدد(1) 2021
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (5) No. (1) 2021

تحسين أداء الشبكات اللاسلكيةAd Hoc بالاعتماد على مسارات التوجيه وتقنيات الترميز

د. محمد ياسين صبيح*

م. علي أبو سعيد**

(تاريخ الإيداع 2 /12 /2020. قُبِل للنشر في 24 /1 /2021)

□ 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 في هذه الشبكات لإرسال 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 من خلال الاستفادة من فرص الترميز الممكنة في هذا النوع من الشبكات. نقترح في بحثنا بروتوكول للتوجيه والترميز في شبكات الـ Ad Hoc معدل من بروتوكول التوجيه DSR فيما يتعلق في عملية اكتشاف المسار ويتكون من مجموعة جديدة من شروط الترميز ومقياس توجيه جديد يأخذ في الاعتبار كل من فرص الترميز وعبء العمل في الشبكة يسمى DSR _NC حيث أظهرت نتائج محاكاة شاملة أن البروتوكول المقترح يعطي أداء جيد بالنسبة لهذا النوع من الشبكات.

الكلمات المفتاحية: شبكات Ad Hoc, ترميز الشبكة، مقياس التوجيه، شروط الترميز.

* مدرس مساعد في جامعة تشرين – كلية الهندسة المعلوماتية. –قسم النظم والشبكات الحاسوبية.

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

مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (5) العدد(1) 2021
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (5) No. (1) 2021

Improving the performance of Ad-hoc based on routing paths and coding techniques

Dr. Ing. Mohammad Yassin Sobeih*
Ali Abo Saeed **

(Received 2/ 12/2020. Accepted 24/ 1/2021)

□ ABSTRACT □

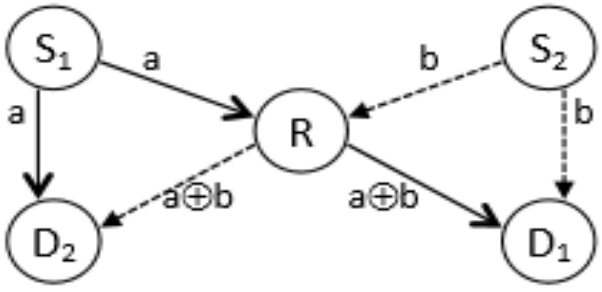
Network coding is one of the important researches in multi-hop wireless networks domain and it widely participates in improving the performance of these networks, since it benefits from the broadcasting nature of transmission processes to transmit more than single packet in one broadcasting transmission. 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 . In this paper, we propose the Network Coding Routing (NC_ DSR) protocol modified from the DSR routing protocol with respect to the path discovery process and consists of a new set of coding conditions, and new routing metric that takes into consideration both coding opportunities and network workload. Comprehensive simulation studies showed that the proposed protocol gives good performance for this type of network.

Keywords: Wireless ad hoc networks, Network coding, Routing metrics, Coding conditions.

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

1- مقدمة

تعتبر الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات هي اتصالاً لاسلكياً خلال واحد أو أكثر من العقد الوسيطة على طول المسار الذي يستقبل ويرسل الرزم لذا فإن الأجهزة لا تحتاج إلى الكثير من استطاعة الإرسال من أجل الوصلات الطويلة،عندما تريد عقدة لاسلكية ارسال الرزم الى عقدة آخر يجب أن توجد ضمن مجال البث الخاص بها فترسل له بشكل مباشر وفي حال عدم وجود العقدة الهدف ضمن مجال البث فإنها تستعين بالعقد الأخرى في الشبكة بالاعتماد على بروتوكول التوجيه المسؤول عن تحديد المسارات بين العقد. 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 (Mobile Ad Hoc Networks) MANET 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 ومما يسهم أيضاً في حفظ طاقة الأجهزة المتحركة. وفي 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. يمكن وصف فائدة ترميز الشبكة[1] من خلال الشبكة الموضحة في الشكل (1)، باستخدام المعامل المنطقي XOR وبالاستفادة من عملية الاستماع الانتهازية [2] على الشبكة حيث يمكن للعقدتين D1 و D2 الاستماع إلى العقدتين S1 و S2 ، على التوالي، عندما تتلقى العقدة D2 (a ⊕ b) من العقدة R ، العقدة D2 يمكنها استرداد b عن طريق فك الترميز(a⊕ b) باستخدام a والذي سمعته من العقدة S1. وبنفس الطريقة يمكن للعقدة D1 أيضًا استرداد a .



الشكل(1): شبكة Ad Hoc توضح كيف يعمل الترميز على تحسين المردود .

يسمح ترميز الشبكة بدمج الحزم معاً للاستفادة القصوى من سعة القناة بشرط تحقق شروط الترميز ومن أهم النقاط الأساسية التي يعتمد عليها ترميز الشبكة في شبكات 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، ويتحقق ذلك باستخدام 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 وتستخدم المعيار CSMA/CA 802.11 والذي ينظم عملية الوصول إلى القناة اللاسلكية المشتركة، وبناءً على ذلك فإن عملية الإرسال للعقد المختلفة ستتم في حيزات زمنية ينظمها البروتوكولCSMA/CA.

بالاستفادة من شروط الترميز السابقة اقترحنا مجموعة جديدة من شروط الترميز تتلخص ببروتوكول توجيه مخصص جديد انطلاقا من البروتوكول DSR[9] يسمى برتوكول الترميز والتوجيه NC_ DSR، بالإضافة إلى مقياس توجيه يأخذ بعين الاعتبار كل من فرص الترميز وكثافة العقد، يمكن تلخيص مقترحات العمل كما يلي:

- تصميم مجموعة من شروط الترميز لتحديد أكبر عدد ممكن من فرص الترميز مع ضمان استرداد الرزم الأصلية من الرزم المرمزة .
- تصميم بروتوكول توجيه مخصص انطلاقا من البروتوكول DSR يسمح للعقد بجمع المعلومات اللازمة أثناء اكتشافات المسار لتحديد إمكانية ترميز الرزم معا على أساس شروط الترميز المقترحة.
- تصميم مقياس التوجيه لتوجيه العقدة المصدر في اختيار المسار المناسب لإرسال الرزم، وآلية تحديث هذا المقياس بشكل دوري. سوف نقوم أولا بمراجعة بعض الأعمال ذات الصلة ومن ثم تصميم المقترح الجديد ومن ثم نبين نتائج المحاكاة و نختتم بالتوصيات المقترحة .

2- أهمية البحث وأهدافه:

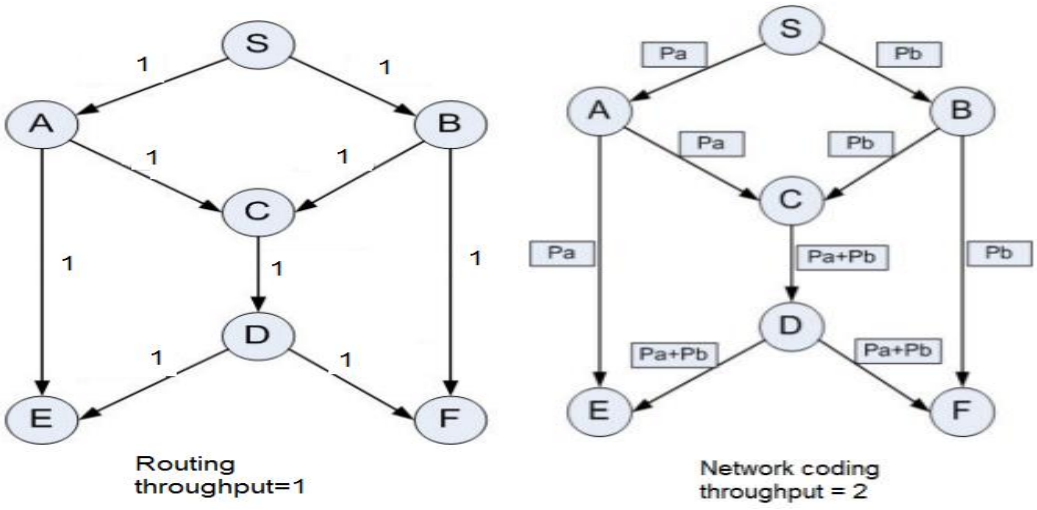
تكمن أهمية البحث في استكمال تحسين عمل الشبكات اللاسلكية Ad Hoc وزيادة فعاليتها من خلال استخدام تقنيات الترميز. ويهدف الى تقديم خوارزمية جديدة مخصصة للتوجيه والترميز على أكثر من مسار في الشبكات اللاسلكية Ad Hoc وتستخدم مقياس للتوجيه والترميز للاستفادة الكاملة من فائدة ترميز الشبكة وتسريع عملية البحث عن فرص الترميز ويحافظ على موارد العقدة. يتميز بأنه يسمح لجميع العقد المتحركة في الشبكة بتبادل المعلومات عبر مسارات متغيرة وعشوائية، تم تصميمه انطلاقا من البروتوكول التوجيه DSR .

3- الدراسات المرجعية:

يعد 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.

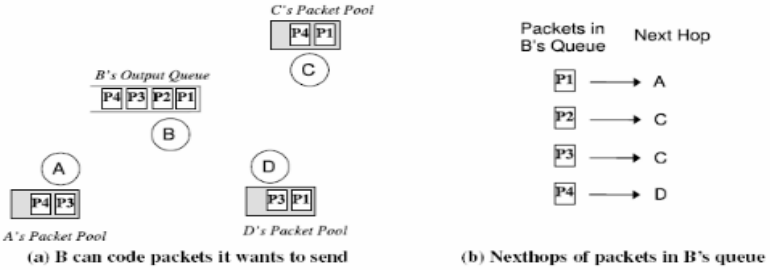
قام الباحثون في [3] بتقييم أداء الترميز IXNC من خلال المقارنة بين الترميز ضمن نفس الجلسة أو الاتصال (Intra session coding)والترميز بين الجلسات (Inter session coding) مع عملية الإرسال التقليدية. إن الترميز ضمن الجلسة هو عملية محدودة فقط ضمن نفس الاتصال أو الجلسة . أماالترميز بين أكثر من جلسة فهو يقوم على ترميز رزم تابعة لجلسات مختلفة أو مسارات مختلفة. بين البحث فكرة هذا الترميز فيً الشبكة الموضحة بالشكل(2)، حيث تتألف هذه الشبكة من مصدر(S) وحيد ومستقبلين(E،F) وعقد تتابع سعة كل وصلة في الشبكة هي بت واحد في الثانية. من أجل حالة التوجيه التقليدية (بدون الترميز) القيمة العظمى لكل مسار من العقدة المصدر إلى كل من العقدتين الهدف هي مثلا 1وبالتالي فإن المردود هو 1. باستخدام ترميز الشبكة فيمكن لبعض العقد التي تقوم بتوجيه البتات المتتابعة أن تقوم بعملية ترميز لهذه البتات باستخدام المعامل المنطقي XOR وإرسالها معاً في إرسال واحد. وبالمحصلة سيصبح المردود لكلا المستقبلين يساوي 2 أي مضاعفة انتاجية الشبكة وهذه هي الفائدة الأساسية لهذا الترميز.



الشكل(2): المقارنة بين الترميز ضمن نفس الجلسة أو الاتصال والترميز بين الجلسات.

قام الباحثون في [4] بتقييم أداء بروتوكول الترميز COPE 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، يضيف COPE 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 (Overhearing) 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 بنتيجة عملية البحث وفي حال وجود أي فرصة للترميز فإن COPE [5] يحسب احتمال نجاح عملية الترميز كما يبين الشكل(3) فإذا تجاوزت نسبة معينة يقوم بعملية الترميز وإلا فإنه لا يرمز، 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. تتم عملية الترميز من خلال القيام بعمليةXOR للرزم التي تحقق ذلك معاً ومن ثم إرسال الرزمة المرمزة بواسطة الإرسال الإذاعي. البروتوكول COPE يقلل من عدد عمليات الإرسال وبالتالي يزيد من إنتاجية الشبكة بين ثلاث وأربع أضعاف 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 التي تحصل عليها العقد من خلال تبادل (File report)، ولكن هناك احتمال لضياع الملف في الشبكة وخاصة أثناء الازدحام مما يعني فشل في اتخاذ قرار الترميز، في نموذج الترميزCOPE فرصة الترميز معتمدة وبشكل أساسي على مسار التوجيه المؤسس لأن نموذج الترميز COPE لا يتخذ قرار التوجيه و بنية الترميز تكون محدودة ضمن منطقة قفزتين فقط.



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

Coding Options

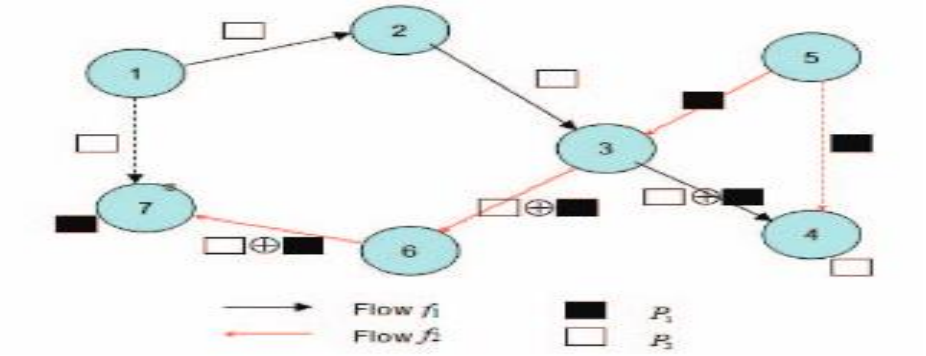
P1 + P2: BAD: C Can decode, but A can't

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):شبكة Ad Hoc تبين آلية عمل التقنية COPE.

أما 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 الترميزCOPE . يعتبر 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 الشكل(4) وبنفس الوقت البحث عن فرصة الترميز الممكنة هو(Coding-aware Routing-Metric) CRM من خلال اختبار تحقق شروط الترميز الخاصة بهذا البروتوكول على الرزم المرسلة.



الشكل(4):شبكة Ad Hoc توضح آلية اكتشاف المسارات مع اعتبار الترميز في البروتوكولCRM.

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. يمكن أن ترمز الرزم في هذه الحالة أكثر من مرة على طول المسار إلى الهدف مما يعني زيادة أكبر لمردود الشبكة بشكل عام. تعمل تقنية الترميزDCAR 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 .

يُستخدم مقياس التوجيه لترتيب المسارات وفقاً لبعض المعايير ويستخدم في صنع قرارات التوجيه والبحث عن فرص الترميز حيث تحدد جدولة عملية البحث عن فرص للترميز الاستخدام الأمثل لعمل شبكة Ad Hoc باستخدام ترميز الشبكة. يتكون مقياس التوجيه في FORM[8] من جزأين الأول الفائدة المعدلة ويسمى Bm الهدف منه حساب الفرق بين النقص والزيادة في عدد القفزات لإرسال حزمة على المسار المدروس بدلا من إرسال الحزمة على المسار الأقصر ، والثاني DegFR والذي يقوم بحساب عدد فرص الترميز في المسار المدروس، بالتالي المسار الذي يملك أعلى قيمة يستخدم لنقل الرزم.أما في بروتوكول التوجيه والترميز CAMP[9] فأن مقياس التوجيه المستخدم هو عدد عمليات الإرسال المتوقعة ETX[10] حيث في البرتوكول CAMP العقدة المصدر تنقل عملية الإرسال من مسار إلى أخر في حال وجد مسار يعطي ربح ترميز أكثر أي يتضمن فرص ترميز أكبر.

4- طرائق البحث ومواده

تعتمد طريقة البحث على دراسة أهمية الترميز في شبكات الـ Ad Hoc واقتراح خوارزمية ترميز وتوجيه جديدة معدلة من برتوكول التوجيه DSR، حيث قمنا باستخدام برنامج المحاكاة NS3 وهو محاكي خاص بالأبحاث الشبكية[11] ومتاح للعموم حيث يتضمن حزمة برمجية مفتوحة المصدر(open source)، كما أنه مجهز بشكل كامل من ناحية البروتوكولات والخوارزميات والأدوات المساعدة ، ومن أجل اختبار ترميز الشبكة مع الخوارزمية الجديدة ، 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 DSR و برتوكول التوجيه والترميز FORM ومن ثم التعديل المقترح ونحدد البارامترات المرغوب دراستها وصولاً الى إتمام عملية المحاكاة وإظهار النتائج ومقارنتها.

5- الدراسة النظرية:

5-1 بروتوكول التوجيه والترميز والية اكتشاف المسار:

يتميز برتوكول التوجيه والترميز (NC_DSR) المقترح بأنه يسمح لجميع العقد المتحركة في الشبكة بتبادل المعلومات عبر مسارات متغيرة وعشوائية، تم تصميمه انطلاقا من البروتوكول[12]DSR(وهو نوع من بروتوكولات التوجيه التفاعلية (reactive)، ويتم اكتشاف هذه المسارات خلال عملية إرسال العقد لمعلوماتها وتتميز بأنها أكثر مقاومة للأعطال ومن أهم ميزاته بأنه يكفل عدم حصول حلقات بسبب المدخل الجديد لجدول التوجيه وهو الرقم التسلسلي (Sequence Number)، ولا يوجد فيه تأخير زمني بسبب عمليات اكتشاف المسار، كما أنه يسمح بردة فعل سريعة لتغيرات توضع العقد في الشبكة. حيث ترسل كل عقدة في الشبكة وبشكل دوري التحديثات (معلومات التوجيه)، ويمكن أن ترسل هذه التحديثات بشكل فوري عندما يحصل تغيير في توضع العقد في الشبكة كما وتحتوي رزم التوجيه الخاصة بهذا البروتوكول على العناوين المنطقية IP) (Addresses، وتذاع باستخدام البث العام (Broadcasting) أو الإرسال المتعدد (Multicasting). والسبب الأساسي لاختيار هذا البروتوكول هو ملائمته لآلية ترميز الشبكة لأننا نكون بحاجة لاستخدام جداول التوجيه الخاصة بهذا البروتوكول وفي أي وقت، وتحتوي هذه الجداول على كل العناوين التي تحتاجها خوارزميات الترميز لاختبار شروط الترميز.

تحدد العقدة المصدر المسار الأفضل لإرسال الرزم وفقا لمقياس التوجيه والترميز المستخدم و يتم تعديل DSRعلى النحو التالي للسماح للعقدة لتجميع المعلومات التي تحتاجها للترميز والتوجيه:

1. بدء عملية اكتشاف مسار جديدة: عند وجود عقدة تريد إرسال رزمة ولكن ليس لها مسار إلى الهدف ، تبدأ العقدة عملية اكتشاف مسار جديدة عن طريق إرسال طلب توجيه (RREQ).

2-معالجة RREQs المستلمة: لتجنب حلقة التوجيه ، عندما تتلقى العقدة RREQ ، فإنها تفحص سجل مسارRREQ وتقوم بحذفها إذا كانت العقدة هي الهدف ثم ترسل العقدة رسالة رد مسار (RREP).إلى مصدر RREQ. إذا لم تكن العقدة هدف ، تضع عنوانها في سجل مسار RREQ ومعلومات جيرانها ومن ثم تقوم بإرسالها. وعندما تصل RREQ إلى العقدة الهدف ترسل رسالة جوابRREP على المسار العكسي بعد تهيئة مقياس التوجيه على القيمة0 ووضع عناوين جيرانها وهكذا من اجل جميع العقد في المسار العكسي حتى تصل إلى العقدة المصدر .

3-رسالة تحديث مقياس التوجيه في المسار العكسي(RERUP) Reverse Route Update:وهي تشبه الى حد كبير رسالة RREP من حيث الهيكلية هدفها تحديث قيم مقياس التوجيه عبر المسار وإرسالها إلى العقدة المصدر في NCRT، تراقب العقد المسارات الواردة وترسل RERUP دوريًا إلى العقد المصدر لتحديث قيم مقياس التوجيه للمسارات في العقد المصدر، يتم استخدام RERUP أيضًا لتحديث العقد بأحدث المعلومات المتعلقة بالعقد الأخرى ضمن المسار وجيرانها. من خلال الرسالة RERUP تحصل العقدة المصدر على أحدث المعلومات حول الشبكة وتختار أفضل مسار وفقًا لمقياس التوجيه لإرسال الرزم.

5-2 شروط الترميز:

التحدي الأساسي الذي يواجه عملية الترميز هو القدرة على فك الترميز في العقدة الهدف واسترجاع الرزم الأصلية الموجهة لكل عقدة وإلا فإنه سيؤدي إلى تأخير زمني وهدر موارد الشبكة بدلاً من حفظها،

ولتحقيق ذلك لا بد من وضع شروط تضمن وبنسبة عالية تحقق هذه العملية. تعتمد هذه الشروط على الاستفادة من آلية العمل الجديدة باستخدام ترميز الشبكة من حيث أن العقدة تحتفظ بالرزم التي لا تكون موجهة لها (بعملية الاستماع للوسط)، وبالتالي يكون لدينا وفرة من الرزم في كافة العقد ومن خلال معرفة كيفية توضع العقد في الشبكة (أي معرفة العقد المتجاورة) يمكننا تحديد مواقع توافر هذه الرزم في مختلف العقد بالشبكة. وبناءً على ذلك قمنا بتطوير مجموعة جديدة من شروط الترميز تملك الخصائص التالية:

1- التوافق: يجب أن تضمن شروط الترميز عملية استرداد الرزم الأصلية من الرزم المرمزة (فك الترميز) وهنا لدينا ثلاثة سيناريوهات بالنسبة للعقدة الهدف:

أولا : العقدة لديها رزم كافية لفك ترميز الرزم المرمزة بنفسها.

ثانيًا : الرزم يتم فك ترميزها جزئيًا بواسطة عقدة واحد أو أكثر على المسار والباقي لدى العقدة الهدف .

ثالثا : تستقبل الرزم وتقوم بإرسالها إلى العقدة الهدف .

2- الملائمة: لا ينبغي أن تكون شروط الترميز صارمة أكثر من اللازم لأن هذا قد يسبب نقص فرص الترميز. من اجل وضع شروط الترميز المناسبة نعرف المتحولات التالية:

Fr: المسارات الأساسية للرزم المستقبلة.Fq: المسار الأساسي للرزم المرمزة.

Next_hop(x,f):القفزة التالية للعقدة x في المسار D(x,f).f :مجموعة العقد التي تستقبل الرزم من العقدة x في المسار f. U(x,f): مجموعة العقد التي ترسل الرزم الى العقدة x في المسار N(x).f: مجموعة العقد الجيران ل x .Pr: العقدة المصدر أو الهدف التي تمتلك رزم تحصل عليها بخاصية الاستماع للوسط الموجودة في شبكات الـ Ad Hoc(رزم مزيفة). وبالتالي يكون لدينا شروط الترميز هي:

1- مستقبل القفزة التالية للرزمة في المسار الأول أو الثاني لا يساوي مستقبل القفزة التالية للرزمة في مسار الترميز وذلك بالنسبة للعقدة التي تقوم بعملية الترميز(في حال الترميز على أكثر من مسارين مستقبل القفزة التالية لعقدة الترميز ليس عقدة مصدر للمسارين الآخرين).يعبر عن هذا الشرط من خلال العلاقة الرياضية التالية: $next_hop(n, fi) \neq next_hop(n, fj)$.

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

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

يمكن التعبير عن الشرطين السابقين من خلال العلاقتين التاليتين:

يوجد عقدة ولتكن x أو احدي جيرانها تستقبل رزم من g في المسار الأول الذي يتضمن عقد لديها فرص ترميز وترسل إلى g في المسار الثاني الذي يتضمن عقد ترسل رزم أصلية غير مرمزة .

$$\exists x \in d(n, fj) or(N(n, fj)) wihout..n) : x \in Un(n, fi), \forall fi \in F)$$

يوجد عقدة ولتكن y أو احدي جيرانها تستقبل رزم من g في المسار الأول الذي يتضمن عقد ترسل رزم أصلية غير مرمزة وترسل إلى g في المسار الثاني الذي يتضمن عقد لديها فرص ترميز.

$$\exists y \in d(n, fi) or(N(n, fi)) wihout..n) : x \in Un(n, fj), \forall fj \in F)$$

5-3 مقياس التوجيه:

بغض النظر عن شروط الترميز، نحتاج مقياس توجيه جديد للاستفادة الكاملة من ميزة ترميز الشبكة لتحسين إنتاجية الشبكة. قبل أن نصف مقياس التوجيه نوضح بعض خصائص المسار المثالي لنقل الرزم.

1. انخفاض عدد عمليات الإرسال وبالتالي عملية اكتشاف المسارات التي تحتوي فرص ترميز عديدة يجب أن لا يتضمن زيادة في عدد عمليات الإرسال المطلوبة لإيصال الرزم إلى العقدة الهدف.(تطبيق مبدأ استخدام اقل عدد ممكن من عدد عمليات الإرسال من المصدر إلى الهدف مع مراعاة وجود فرص ترميز).

2. زيادة عدد فرص الترميز: المسارات التي تتضمن فرص الترميز كثيرة تتيح عملية دمج الرزم معاً وبالتالي الاستفادة القصوى من عرض الحزمة المستخدم.

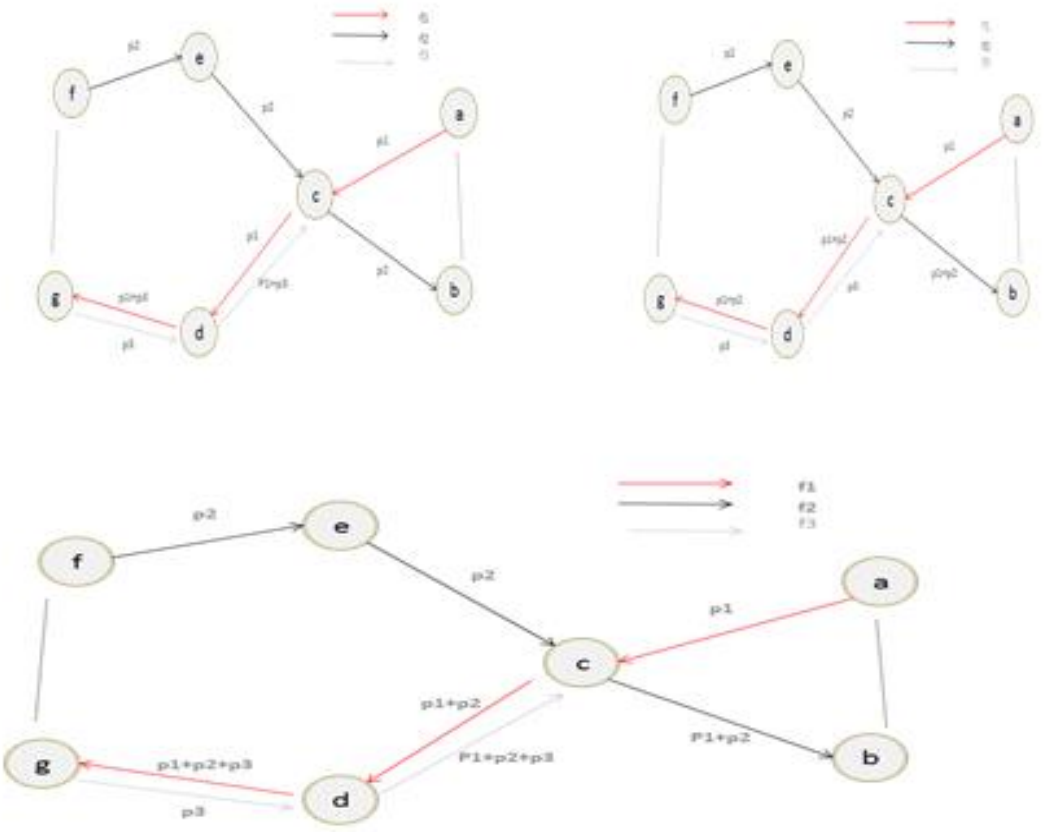
3. تجنب العقد المزدحمة. تحدد جدولة عملية البحث عن فرص للترميز الاستخدام الأمثل لعمل شبكة Ad Hoc باستخدام ترميز الشبكة. لتحقيق ذلك يجب جعل عملية البحث عن فرص للترميز تتم وفق عتبة معينة (قابلة للتغيير) بالنسبة لعدد الرزم الموجودة في رتل الخرج، ويتم اختيار قيمة عتبة بحيث تحقق التوازن بين البحث عن أكبر عدد فرص للترميز وعدم تأخير إرسال الرزم وذلك بهدف الحصول على أفضل أداء للشبكة.

لتحقيق 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 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 صفر 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 12 تحقق أفضل مردود للشبكة مقارنة بالقيم الأخرى كما سنرى لاحقاً بالنتائج. ومعنى ذلك أنه عندما يصبح عدد الرزم في رتل الخرج 12 تتوقف عملية البحث عن فرص للترميز مما يحقق:

1- ضمان عملية الفصل بين إرسال الرزم وعملية البحث عن فرص ترميز.
2- يحصل وفرة للرزم في أرتال الانتظار للرزم تسمح بوجود فرص ترميز أكثر.
3- 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.

سنعرض تفاصيل تصميم وآلية تطبيق ترميز الشبكة من خلال الشبكة الموضحة بالشكل (5) والمؤلفة من سبع عقد لاسلكية a,b,c,d,e,f,g تشكل شبكة Ad Hoc حيث يوجد ثلاث مسارات لإرسال الرزم f1,f2,f3 في المخطط الأول والثاني لدينا حالة ترميز رزمتين تابعين لمسارين فقط وهي حالة تعطي نفس النتيجة بالنسبة للبروتوكول المقترح والبروتوكول FORM كما سنرى لاحقا في دراسة النتائج، في المخطط الثالث لدينا حالة ترميز ثلاث رزم P1,P2,P3 تابعة للمسارات الثلاثة f1,f2,f3 على التوالي وبالتالي لكي تتم عملية الترميز بشكل صحيح أي القدرة على استعادة الرزم الأصلية من الرزم المرمزة في العقدة الهدف يجب تحقق شروط الترميز المقترحة حتى نضمن العمل الصحيح للبروتوكول المقترح NC_DSR.



الشكل(5): شبكة Ad Hoc من سبع عقد بتوضع عشوائي.

لدينا ثلاث مسارات مقترحة لنقل الرزم : $f1 = a \to c \to d \to g$, $f2 = f \to e \to c \to b$, $f3 = g \to d \to c$.

الشرط الأول: $next_hop(n, fi) \neq next_hop(n, fj)$ حيث n=d عقدة الترميز حيث fi={f1,f2}، fj={f3} Next_hop(n=d,f1)=c, next_hop(n=d,f3)=g وبالتالي الشرط الأول محقق

الشرط الثاني : $\exists x \in d(n, fj) or(N(n, fj)) wihout..n) : x \in Un(n, fi), \forall fi \in F)$

$d(n=d,f3)$ ={c}, $(N(n,fj))wihout..n))$ ={a,e,b},

$d(d,f3)or(N(d,f1))wihout..n)=\{c,a,e,b\})$, $Un(n=d,f1)=\{a\}$, $Un(n=d,f2)=\{e,f\}$

وبالتالي العقدتين a,e تحققان الشرط الثاني .

الشرط الثالث: $\exists y\in d(n,fi)or(N(n,fi))wihout..n):x\in Un(n,fj),\forall fj\in F$

$d(n=d,f1)=g,(N(n=d,f1)without_n)=\{f\},Un(n=d,f3)=\{g\}$

$(d(n=d,f1)=g)or(N(n=d,f1)without_n)=\{f,g\}$

وبالتالي العقدة g تحقق الشرط الثالث و بالتالي تحققت شروط الترميز الثلاث.

6- النتائج والمناقشة:

تم تقديم خوارزمية جديدة مخصصة للتوجيه والترميز على أكثر من مسار في الشبكات اللاسلكية Ad Hoc وتستخدم مقياس للتوجيه والترميز للاستفادة الكاملة من فائدة ترميز الشبكة وتسريع عملية البحث عن فرص الترميز وتحافظ على موارد العقدة. تتميز بأنها تسمح لجميع العقد المتحركة في الشبكة بتبادل المعلومات عبر مسارات متغيرة وعشوائية، تم تصميمها انطلاقا من بروتوكول التوجيه DSR و برتوكول الترميز FORM.من أجل دراسة الأداء سوف نأخذ عدة حالات للشبكة ووفق نماذج مختلفة لحركة البيانات بين العقد باستخدام المحاكي NS3، بمحاكاة الشبكة من أجل حالات مختلفة لعدد العقد حيث الشبكة المدروسة هي من النوع Ad Hoc، وعند إنشاء الشبكة نقوم بتحديد عدد العقد في الشبكة وأيضاً تحديد العقد المتجاورة منها، وبفرض أن المسافة بين العقد المتجاورة هي 100 متر وأن مجال التحسس للعقدة (Sensing Range) يشمل جميع العقد المجاورة لها، ومعدل نقل البيانات في هذه الشبكة هو 10Mbps، بروتوكول النقل UDP أما بروتوكول التوجيه فهو DSR، وبالنسبة لكل الارتال فهي ذات طول غير محدود وتعمل بحسب التقنية FIFO، والبيانات التي تقوم العقد بتوليدها هي من النمطCBR وحجم الرزم ثابت ويساوي 1000 bytes للرزمة. نقارن بين ثلاث تقنيات إرسال: الأولى هي النموذج التقليدي للإرسال أي دون استخدام الترميز باستخدام بروتوكول التوجيهDSR، والثانية هي نموذج الإرسال باستخدام ترميز الشبكة مع البروتوكول FORM والثالثة هي البروتوكول المقترح وذلك من حيث انتاجية الشبكة ونسبة تسليم الرزم .

- انتاجية 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:

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Number of Received Packets X Packet Size}}{\text{Total Delay}} \text{Mbps} \quad -1-$$

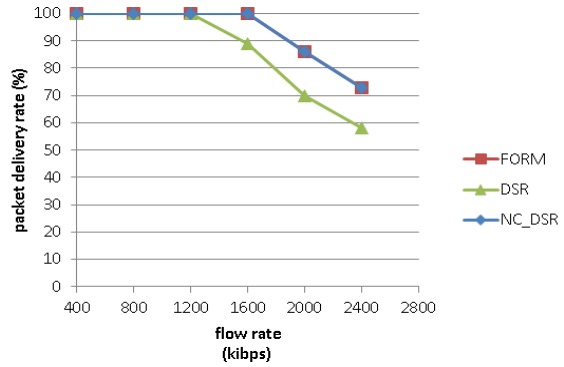
6-1 حالة شبكة تتكون من ثلاث عقد على شكل سلسلة (Chain)

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 في حالتي وجود فرص للترميز وعدم وجود فرص، وذلك من

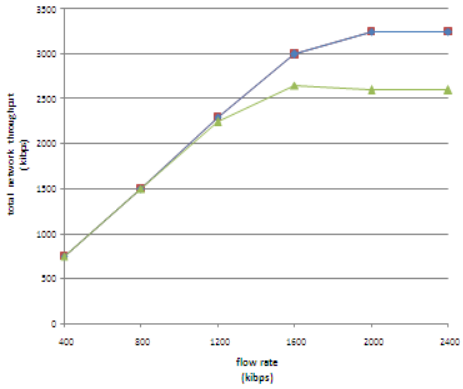
خلال دراسة حالات مختلفة لحركة البيانات بين العقد. نقوم أولاً بإنشاء هذه الشبكة من خلال تحديد عدد العقد وأي العقد المتجاورة ومقارنة أداء الشبكة مع البرتوكول FORM والبروتوكول DSR(بدون ترميز) وذلك عن طريق تحديد أن العقدة B مجاورة لكل من العقدتين C،A (غير المتجاورتين) كما هو مبين في الشكل (6). ومن ثم نقوم بتعريف ملف التوجيه لهذه الشبكة بحسب آلية عمل البروتوكول DSR، ونحدد نموذج البيانات بين العقد في الشبكة مع تطبيق أحمال مختلفة لهذه البيانات.

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

يوجد مسارين للتوجيه والترميز في هذا النوع من الشبكات الأول من A إلى C عبر B والثاني من C إلى A عبر B. الغرض من هذا الاختبار هو تقديم فكرة هامة على مقدار التحسين الذي يقدمه ترميز الشبكة في هذا النوع من الشبكات وذلك بسبب كثرة فرص الترميز. تظهر النتائج التي تم الحصول عليها أن NC_DSR و FORM متشابهان من حيث نسبة تسليم الرزم الشكل(7) ، انتاجية الشبكة الشكل(8) وسبب التقارب هو وجود مسارين فقط وسهولة اكتشاف فرص الترميز في هذا النوع من الشبكات البسيطة، وكلاهما تفوق على DSR الذي يقوم بعملية اكتشاف المسار وإرسال الرزم بدون ترميز.



الشكل(7): معدل تسليم الرزم في الشبكة Chain.



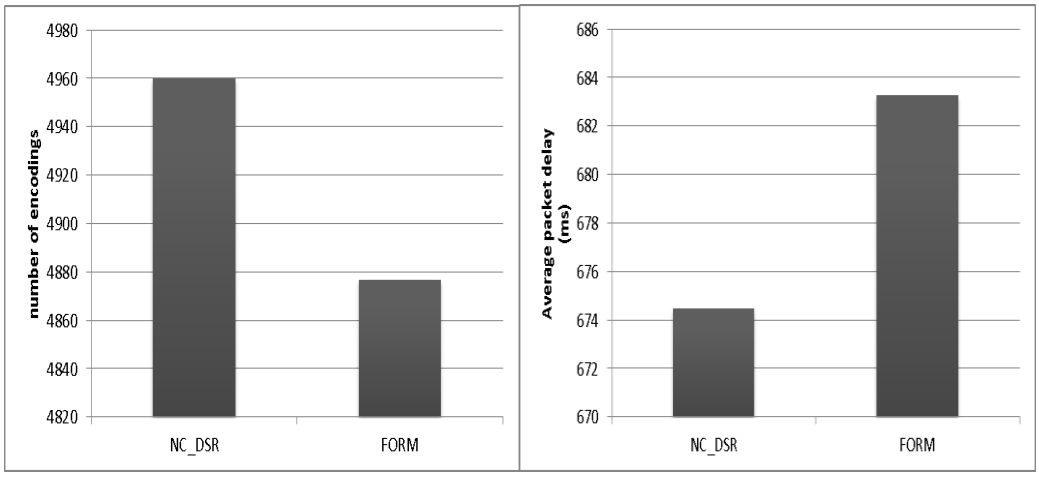
الشكل(8): انتاجية الشبكة الشبكة Chain.

6-2 حالة شبكة من سبع عقد بتوضع عشوائي (Random Topology):

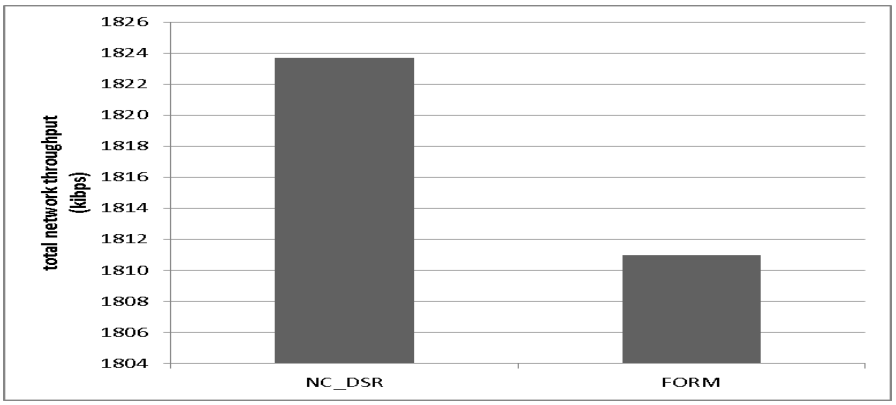
قمنا بتقييم NC_DSR في شبكة Ad Hoc تتكون من 7 عقدة موضوعة بشكل عشوائي الشكل (5) في مساحة 250 ×250 م 2. معدلات التدفق المستخدمة حتى 800Kibps.

يبين الشكل (9) أن NC_DSR تقوم بترميز عدد رزم أكثر من FORM. وذلك لأن NC_DSR تقوم بترميز رزم تابعة لثلاث تدفقات معا حيث تقوم بترميز الرزمة الأصلية من التدفق f1 مع الرزم الأصلية من التدفق f2 وذلك في العقدة d، كما تقوم بترميز الرزمة الأصلية من التدفق f1 مع الرزم الأصلية من التدفق f3 وذلك في العقدة G. وتقوم ايضا بترميز الرزمة المرمزة من التدفق f2 ⊕ f1 مع الرزم الأصلية من التدفق f3 وذلك في العقدة G.أما بالنسبة لـ FORM فانه يقوم بعملية الترميز على مسارين فقط .

ومن الشكل(10)والشكل (11) نلاحظ أن NC_DSR يعطي مردود أفضل قليلاً ومعدل تأخير أقل مقارنة مع FORM .



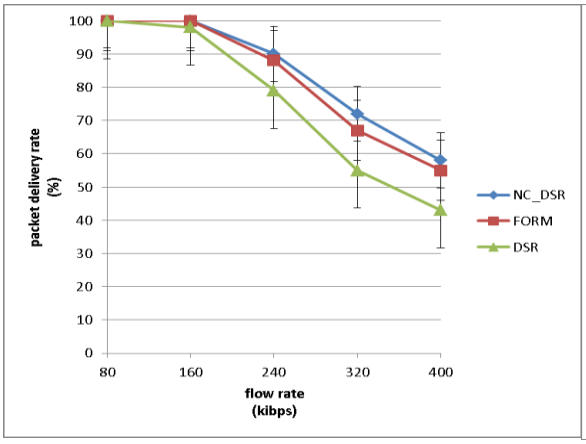
الشكل(9):عدد الرزم المرمزة . **الشكل(10): معدل التأخير في تسليم الرزم .**



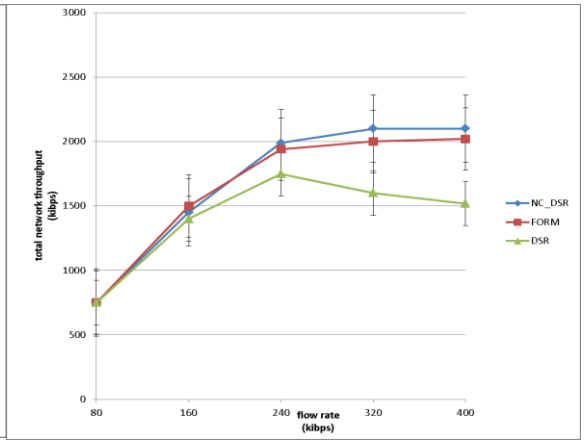
الشكل(11): مردود الشبكة .

6-3 حالة شبكة من 25 عقدة بتموضع عشوائي (Random Topology):

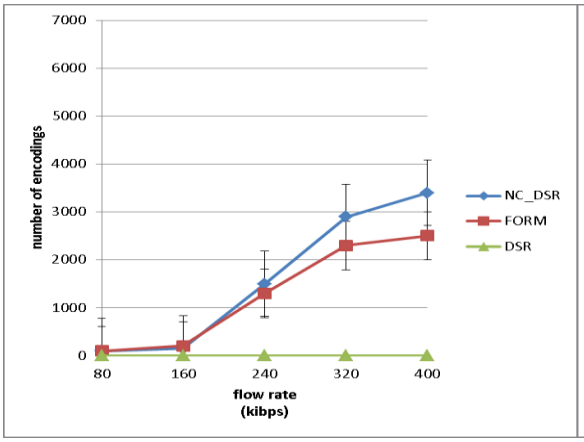
قمنا بتقييم NC_DSR في شبكة Ad Hoc تتكون من 25 عقدة موزعة بشكل عشوائي ، معدلات التدفق المستخدمة هي 400-800 Kibps بزيادة 80 Kibps لكل معدل تدفق، تمثل الشبكة المؤلفة من 25 عقدة حالة عامة لشبكة Ad Hoc حيث تتوضع العقد في هذه الشبكة بشكل عشوائي وهو مماثل للحالة الواقعية لهذا النوع من الشبكات. سندرس أداء هذه الشبكة من أجل عدة حالات لمسارات البيانات بين العقد.



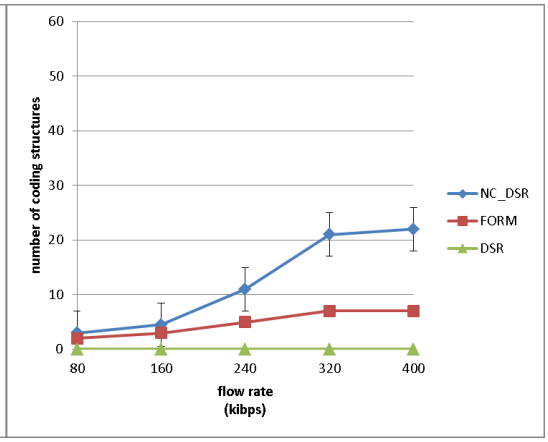
الشكل(12): متوسط مردود الشبكة.



الشكل(13): نسبة تسليم الرزم.

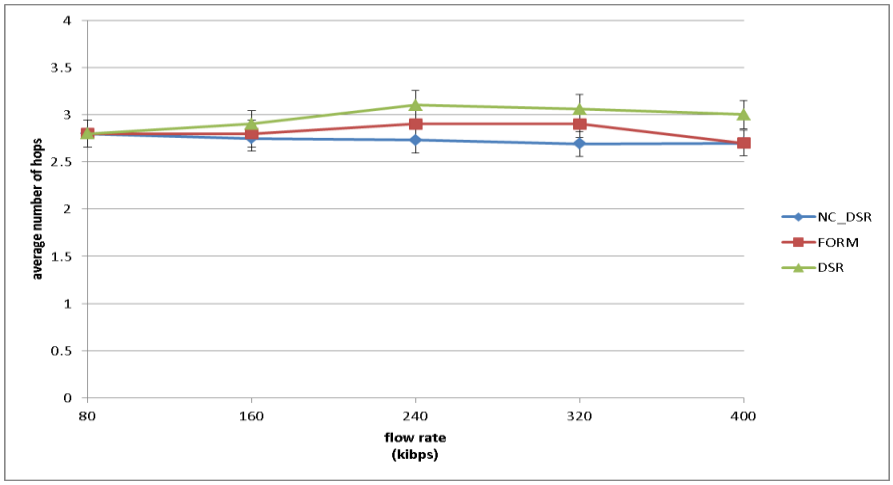


الشكل(14): عدد الرزم المرمزة .



الشكل(15):عدد فرص الترميز المكتشفة.

يبين الشكل (12) متوسط مردود الشبكة والشكل(13)نسبة تسليم الرزم. نلاحظ أن NC_DSR تفوق على FORM و DSR ، كما أن NC_DSR و FORM تتفوق حوالي 40٪ و33٪ على التوالي مقارنةً بـ DSR . عند مقارنة النتائج التي حصلنا عليها مع نتائج شبكة السلسلة نلاحظ أن نسبة تسليم الرزم وإجمالي إنتاجية الشبكة التي تم الحصول عليها في هذا الاختبار أقل من تلك التي تم الحصول عليها في اختبار شبكة السلسلة نتيجة كثافة العقدة في هذا الاختبار. إلى جانب ذلك ، قد تتسبب العقد الموضوعة عشوائيًا وأكثر كثافة في بعض المناطق نزاع على القناة والتداخل في تلك المناطق، وتكون هذه مشكلة أقل في الشبكة Chain حيث يتم توزيع العقد بانتظام. يوضح الشكل (14) أن NC_DSR يكتشف فرص ترميز أكثر مقارنة FORM. يوضح الشكل (15) أن عدد الرزم المرمزة معا في NC_DSR أكثر من FORM.



الشكل(16):متوسط عدد القفزات.

يوضح الشكل (16) متوسط عدد القفزات اللازم لتسليم الرزم إلى العقدة الهدف . نلاحظ أن الرزم اجتازت مسارات أقصر باستخدام DSR. مع ذلك NC_DSR يتفوق قليلا على FORM وذلك نتيجة كثافة العقد في بعض المناطق وبالتالي مسارات متكررة وبالتالي إسقاط رسالة RREQs المتكرر. كما يبين الشكل أن مقياس التوجيه المستخدم في NC_DSR ، حقق الهدف الأساسي للعقدة المصدر وهو اختيار المسارات التي تملك العديد من فرص الترميز ومحاولة تجنب المسارات التي تتضمن عقد مزدحمة في الشبكة . وبالتالي زيادة عدد الرزم المرمزة معا عبر تلك المسارات وبالتالي تحسين مردود الشبكة.

7- الاستنتاجات والتوصيات:

تعاني الشبكات المخصصة اللاسلكية من انخفاض إنتاجية الشبكة بسبب زيادة عدد الرزم المطلوب إرسالها إلى العقدة الهدف الموجودة على مسارات متعددة القفزات. يمكن أن يقلل ترميز الشبكة من عدد عمليات الإرسال

وذلك من خلال دمج بعض الرزم معا وإرسالها في نفس الحيز الزمني وبالتالي زيادة مردود الشبكة اللاسلكية Ad Hoc. هناك العديد من التحديات في استخدام ترميز الشبكة في الشبكات اللاسلكية المخصصة Ad Hoc: (1) تحديد الرزم التي يمكن ترميزها معًا ، (2) دمج شروط الترميز في بروتوكولات التوجيه.

في هذا البحث اقترحنا بروتوكول توجيه مخصص يتضمن ترميز الشبكة ويستخدم مقياس للتوجيه والترميز للاستفادة الكاملة من فائدة ترميز الشبكة. بعد دراسة واختبار أداء شبكة Ad Hoc باستخدام ترميز الشبكة مع التحسين المقترح نتوصل إلى الاستنتاجات الرئيسية التالية:

1- يساهم ترميز الشبكة في زيادة مردود شبكات Ad Hoc، ويزداد هذا المردود بزيادة فرص الترميز الممكنة بالشبكة وأيضاً بزيادة عدد الرزم المرمزة معاً.

2- يكون ترميز الشبكة مفيداً جداً وذو جدوى مثلى من أجل الشبكات الكبيرة والكثيفة وفي حالات الازدحام.

3- في حال عدم وجود فرص للترميز بالشبكة لا يحصل تأخير لإرسال الرزم.

4- يساهم البرتوكول المطور المستخدم 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 من خلال استخدام مسارات لا تتضمن عقد مزدحمة .

8- المراجع:

[1]Sheenu 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] S. Katti, H. Rahul, W. Hu, D. Katabi, M. Medard, J. Crowcroft. *"XORs in the air: practical wireless network coding"*. IEEE/ACM Trans. Network,16,3,2008.

[3] V.Prashanthi1;D.Suresh Babu2;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; Mohamed Hossam Ahmed, Senior Member, IEEE .*"Joint Inter-flow Network Coding and Opportunistic Routing in Multi-hop Wireless Mesh Networks: A Comprehensive Survey"*. 1, Mar, 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"*.2014.

[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] D.S.J. De Couto; D. Aguayo; J. Bicket; R. Morris.*" A high-throughput path metric for multi-hop wireless routing"*. in: Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking ,2016.

[10] S. Han, Z. Zhong, H. Li, G. Chen, E. Chan, A.K. Mok, Coding-aware multi-path routing in multi-hop wireless networks,'' in: 2008 IEEE International Performance, Computing and Communications Conference, 2008, no. 978, pp. 93–100

[11] 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.

[12] Kuldeep Vats; Monika Sachdeva; Dr. Krishan Saluja. *Simulation and Performance Analysis of OLSR,GRP and DSR routing protocol* .in International Journal of Emerging trends in Engineering and Development, Issue 2, Vol.2 (March-2012).