مجلة جامعة طرطوس للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (6) العدد(7) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (7) 2022

تحسين أداء الشبكات اللاسلكية Ad Hoc باستخدام ترميز الشبكة

د. محمد ياسين صبيح*

م علي أبو سعيد**

(تاريخ الإيداع 6/7 /2022 . قُبِل للنشر في 28 /7/2022)

□ 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 إنتاجية الشبكة ويقلل من الازدحام.. هدفنا في هذا البحث هو التحقق من التحسين الذي يقدمه الترميز لأداء الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات Ad Hocوذلك بمقارنة تقنيتي الترميزN_BEND وNC_DSR المقترحتين سابقا، وكذلك عملية الأرسال التقليدية باستخدام البرتوكولات DSR,DSDV، حيث أظهرت نتائج محاكاة شاملة أن البروتوكولين المقترحين يعطيان أداء أعلى بالنسبة لهذا النوع من الشبكات مقارنةً مع عملية الإرسال التقليدية .

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

* 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 (6) العدد(7) 2022
Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (6) No. (7) 2022

Improve wireless Ad Hoc performance using network coding

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

(Received 6/7/ 2022 . Accepted 28 /7/ 2022)

□ ABSTRACT

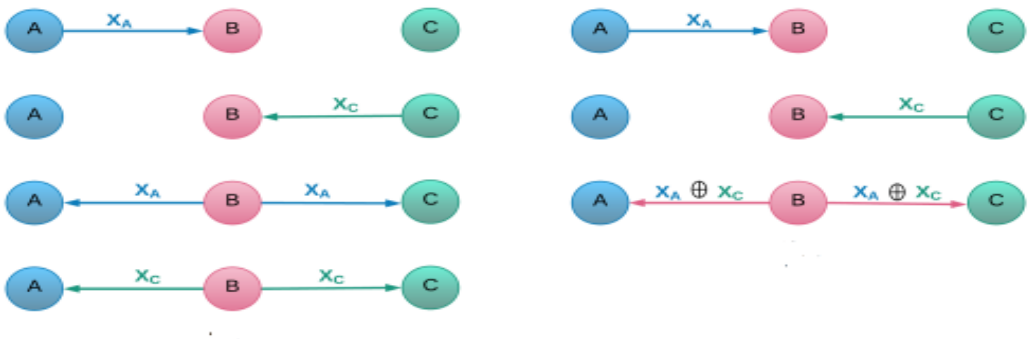
Network coding is one of the important researches in multi-hop wireless networks domain and it widely participates in improving the performance of these networks, since it benefits from the broadcasting nature of transmission processes to transmit more than single packet in one broadcasting transmission. 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 paper is to verify the coding's improvement in the performance of multi-hops wireless Ad Hoc networks by comparing the previously proposed N_BEND and NC_DSR as well as the traditional transmission process using the protocols DSR and DSDV. The results of comprehensive simulation showed that the proposed protocols gives higher performance compare to the traditional transmission process.

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

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

1- مقدمة

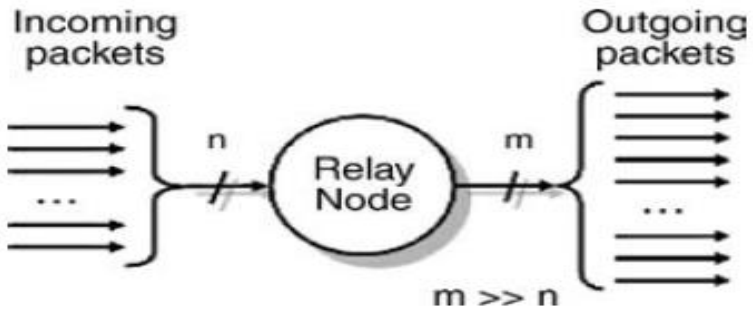
تعد الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات اتصالاً لاسلكياً خلال واحد أو أكثر من العقد الوسيطة على طول المسار الذي يستقبل ويرسل الرزم، لذا فإن أجهزة الاتصال لا تحتاج إلى الكثير من استطاعة الإرسال من أجل الوصلات الطويلة وعندما يريد جهاز الاتصال مع جهاز آخر يجب أن يتواجد الجهاز الهدف ضمن مجال الجهاز المرسل فيرسل 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 (Mobile Ad Hoc Networks) MANETوشبكات 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) أهمية ترميز الشبكة[1] . حيث تمتلك العقدة A رزمة تريد إرسالها إلى العقدة C والعقدة C لديها الرزمة 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 للوسط اللاسلكي.



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

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)[2] 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 الإنتاجية، وبالنتيجة تحسين في أداء الشبكة كما يوضح الشكل(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) : دور ترميز الشبكة في زيادة إنتاجية الشبكة.

تتم عملية الترميز باستخدام المعامل المنطقي XOR[3] ، 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. دراستنا في هذا البحث تتركز على دراسة وتحليل تقنيات الترميز NC–DSR[4] وتقنية الترميز N_BEND[5] المقترحة سابقا التي هي عبارة عن تقنية 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..ومن ثم نقوم بعملية مقارنة بين البرتوكولين وبين عملية الإرسال التقليدية من خلال عملية محاكاة لشبكات الـ Ad Hoc.

2- أهمية البحث وأهدافه:

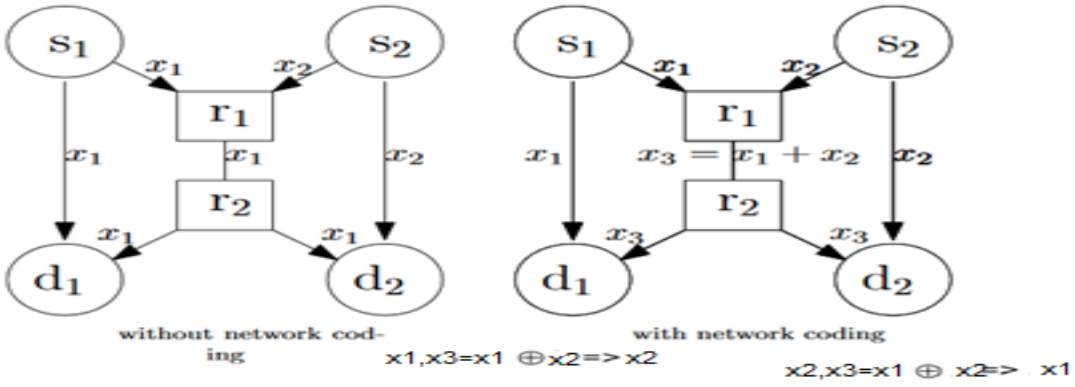
تكمن أهمية البحث في استكمال تحسين عمل الشبكات اللاسلكية Ad Hoc وزيادة فعاليتها من خلال استخدام تقنيات الترميز والمقارنة بينها. ويهدف البحث الى دراسة وتحليل تقنية الترميز N–BEND، والتي تهدف إلى تقديم طريقة جديدة لتحسين تطبيق ترميز الشبكة وتسريع عملية البحث عن فرص ترميز، وذلك من خلال بناء أرتال جديدة بحسب 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. ويهدف البحث أيضا الى دراسة وتحليل تقنية الترميز NC–DSR، التي هي عبارة عن تقنية مخصصة للتوجيه والترميز على أكثر من مسار في الشبكات اللاسلكية Ad Hoc، تستخدم هذه تستخدم 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.ومن ثم نقوم بعملية مقارنة بين البرتوكولين من خلال عملية محاكاة لشبكات الـ Ad Hoc.

3- الدراسات المرجعية:

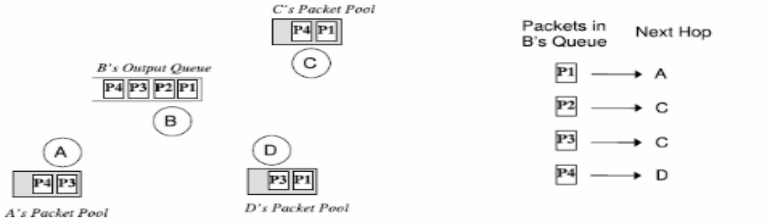
بالرغم من أن ترميز الشبكة تقنية جديدة في الشبكات اللاسلكية إلا أنها لاقت مؤخراً اهتماماً ملحوظاً نظراً للتحسين الذي تقدمه للشبكة من خلال الاستفادة الفعالة من عرض الحزمة المتوفر وبالتالي زيادة إنتاجية الشبكة، ويوجد الكثير من الدراسات السابقة التي تناولت الآليات المختلفة لاستخدام ترميز الشبكة في الشبكات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

قام الباحثون في [6] 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).



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

قدم الباحثون في [7] [8] 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(4). البروتوكول COPE يقلل من عدد عمليات الإرسال وبالتالي يزيد من إنتاجية الشبكة بالمقارنة مع النموذج 802.11[9]، 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(4):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[10] 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 إنتاجية 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 لإنتاجية 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 DCAR, XCOR,CAR[11] تعمل على تصميم بروتوكول للتوجيه واكتشاف فرص الترميز معا. أما بالنسبة لتقنية الترميز BEND[12] 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).

قدمت هذه التقنية تحسيناً في إنتاجية الشبكة بحوالي من 29% إلى 51% عن تقنية الترميز COPE، 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. يُستخدم مقياس التوجيه لترتيب المسارات وفقا 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 [13]FORM من جزأين الأول الفائدة المعدلة (modified benefit)، Bm تحسب الفرق بين الربح (النقص) والخسارة (الزيادة) في عدد القفزات لإرسال حزمة على المسار المدروس بدلا من إرسال الحزمة على المسار الأقصر ، والثاني free degree(

DegFR ride) يقوم بحساب عدد فرص الترميز في المسار المدروس، بالتالي المسار الذي يملك أعلى قيمة يستخدم لنقل الرزم.أما في بروتوكول التوجيه والترميز CAMP[14] مقياس التوجيه المستخدم هو عدد عمليات الإرسال المتوقعةETX[15] 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. والجدول(1) يقدم النتائج التي توصل اليها الباحثون في عمليات المقارنة بين تقنيات الترميز المختلفة.

جدول(1) نتائج المقارنة بين تقنيات الترميز المدروسة.

تقنية الترميز	Simulation tools	topology	TCP/UDP	Compared Protocol	gain Throughput
XCOR[16] (Interflow NC with Opportunistic Routing)	NS-2	4-node chain, hexagon	UDP	COPE	34% in chain 22% in hexagon
CAOR[17]	NS-2	200	UDP	COPE	On average15% Improvement
CAR[18] (Coding-Aware Routing)	NS-2	Cross	Both	COPE	TCP: 43% UDP:34%
CORE[19]	NS-2	200 nodes	UDP	COPE	On average22% improvement
BEND	NS-2	Cross, 5×5 grid	UDP	COPE, Traditional routing	On average about 25%(COPE)
FORM	NS-2	Cross 5×5 grid	UDP	COPE, Traditional	On average, by 19%, 29%.

بعد دراسة تقنيات الترميز السابقة نلخص بالنهاية الخصائص والمميزات الأساسية لهذه التقنيات من خلال الجدول(2) لتبيان تقنية الترميز التي سوف ننطلق بدراستها خلال هذا البحث.

جدول(2) مقارنة بين الدراسات المرجعية.

خوارزمية الترميز	فرص الترميز	بروتوكول التوجيه	منطقة الترميز	التحسين	الآلية	السلبية
COPE CORE	صغيرة نسبياً	بروتوكول التوجيه المستخدم	قفزتين	تحسين من 22%حتى 35% عن النموذج التقليدي	طبقة جديدة	التعقيد والتأخير الزمني احتمال لضياع الملف في الشبكة وخاصة أثناء الازدحام مما يعني فشل في اتخاذ قرار الترميز.
DCAR XCOR CAR FORM	كبيرة	بروتوكول خاص (توجيه + ترميز)	كامل المسار	تحسين من 15% حتى45% عن النموذج COPE	بروتوكول جديد	ترميز علي مسارين فقط
BEND	أكبر فرص ترميز ممكنة	بروتوكول التوجيه المستخدم	كامل المسار	تحسين حتى 51% عن النموذج COPE	على طبقةMAC	عملية البحث عن فرص للترميز خطية بالنسبة لعدد الرزم.

4- طرائق البحث ومواده:

تعتمد طريقة البحث على دراسة أهمية الترميز في شبكات الـ Ad Hoc من خلال المقارنة بين خوارزمية الترميز الجديدة المقترحة سابقا والمعدلة من تقنية الترميز BEND، وخوارزمية الترميز والتوجيه الجديدة المقترحة سابقا أيضا والمعدلة من برتوكول التوجيه DSR، 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 برتوكولات الترميز المقترحة ونحدد البارامترات المرغوب دراستها وصولا الى اتمام عملية المحاكاة واظهار النتائج ومقارنتها.

5_ الدراسة النظرية

5- 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.

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[11]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 وتشير هذه التحديثات إلى أي العقد يمكن الوصول إليها وعدد القفزات الضرورية للوصول إلى هذه العقد، ورزم التوجيه الخاصة بهذا البروتوكول تحتوي العناوين المنطقية(IP Addresses)، وتذاع باستخدام البث العام (Broadcasting) أو

الإرسال المتعدد (Multicasting). والسبب الأساسي لاختيار هذا البروتوكول هو ملاءمته 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.

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 .

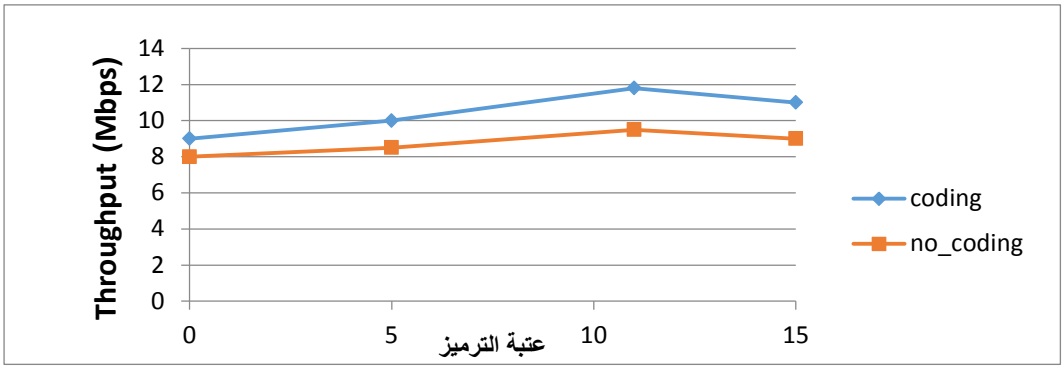
ثالثا : تستقبل الرزم وتقوم بإرسالها إلى العقدة الهدف .

2- الملائمة: لا ينبغي أن تكون شروط الترميز صارمة مما يسبب نقص فرص الترميز.

5-3 مقياس التوجيه:

بغض النظر عن شروط الترميز، نحتاج مقياس توجيه جديد للاستفادة الكاملة من ميزة ترميز الشبكة لتحسين إنتاجية 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، 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 إنتاجية للشبكة مقارنة بالقيم الأخرى كما يبين الشكل(5). ومعنى ذلك أنه عندما يصبح عدد الرزم في إحدى رتلي الخرج 12 تتوقف عملية البحث عن فرص للترميز.



الشكل(5):أداء الشبكة بالنسبة لقيم عتبة جدولة البحث.

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 أرتال 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 إنتاجية الشبكة وبالنتيجة حل مشكلة الازدحام، وبنفس الوقت إرسال الرزم الخاصة بالعقدة نفسها بسرعة أكبر.

6_ النتائج والمناقشة:

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 (3). 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[20]،في بعض السيناريوهات وبرتوكول التوجيه DSR في بعضها الأخر والثانية هي نموذج الإرسال باستخدام N_ BEND. والثالثة هي نموذج الإرسال باستخدام NC_DSR وذلك من حيث إنتاجية الشبكة وربح الترميز :

- إنتاجية الشبكة (Network Throughput[21]): 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[22]): يعرف بأنه عبارة عن نسبة إنتاجية الشبكة باستخدام ترميز الشبكة إلى إنتاجية الشبكة في حال عدم استخدام الترميز ويعطى بالعلاقة التالية:

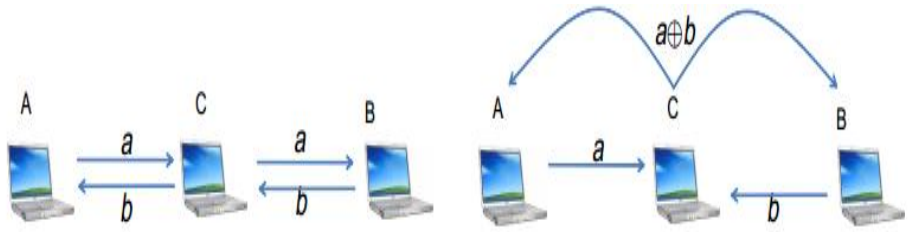
$$\text{Coding Gain} = \frac{\text{Network Throughput With Coding}}{\text{Network Throughput Without Coding}}$$

الجدول(3):القيم المستخدمة في المحاكاة.

اسم المتحول	قيمة المتحول	اسم المتحول	قيمة المتحول
عدد العقد	حسب السيناريو	بروتوكول التوجيه	DSDV,DSR
طول الرتل	غير محدود وتعمل بتقنية FIFO	نمط المعطيات	CBR
معدل نقل البيانات	حسب السيناريو	بروتوكول النقل	UDP
حجم الرزم	1000 bytes	زمن المحاكاة	حسب السيناريو
المسافة بين العقد المتجاورة	(25-100)m	Antenna model	Omni-antenna

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 مع تباعد بين العقدة 25 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 N_ BEND والبروتوكولNC_DSR والبروتوكول DSDV(بدون ترميز) وذلك عن طريق تحديد أن العقدة C مجاورة لكل من العقدتين B،A (غير المتجاورتين) كما هو مبين في الشكل (6). 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.

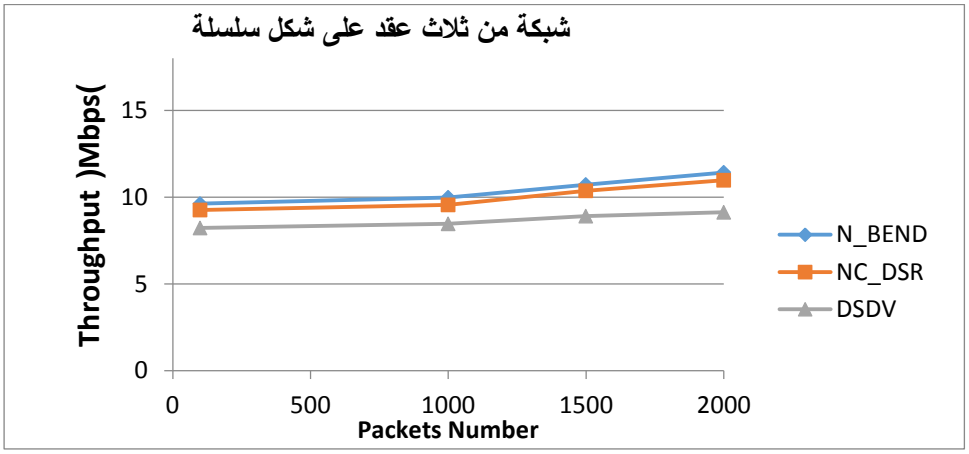


الشكل (6): شبكة تتكون من ثلاث عقد على شكل سلسلة .

لتحقيق حالة عدم وجود فرص للترميز في الشبكة السابقة نحدد مسارات البيانات بين العقد ونطبق أحمال مختلفة على هذه المسارات، حيث يوجد مسارين للترميز الأول من A إلى B عبر C والثاني من B إلى A عبر C. حيث في حالة وجود فرص للترميز يجب توافر أكثر من مسار لرزم البيانات يمر عبر العقدة المتوسطة (C) 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(4) والشكل(7).

الجدول(4):

Path NC_DSR	Packets Number	Throughput(without coding) Mbps	Throughput (N_BEND) Mbps	Throughput (NC_DSR Mbps	Coding Gain	
					N_BEND	NC_DSR
A→C →B	100	8.223	9.620	9.250	1.17	1.12
A→C →B	1000	8.456	9.980	9.552	1.18	1.13
B→C →A	1500	8.905	10.720	10.356	1.21	1.163
B→C →A	2000	9.123	11.420	10.968	1.252	1.202

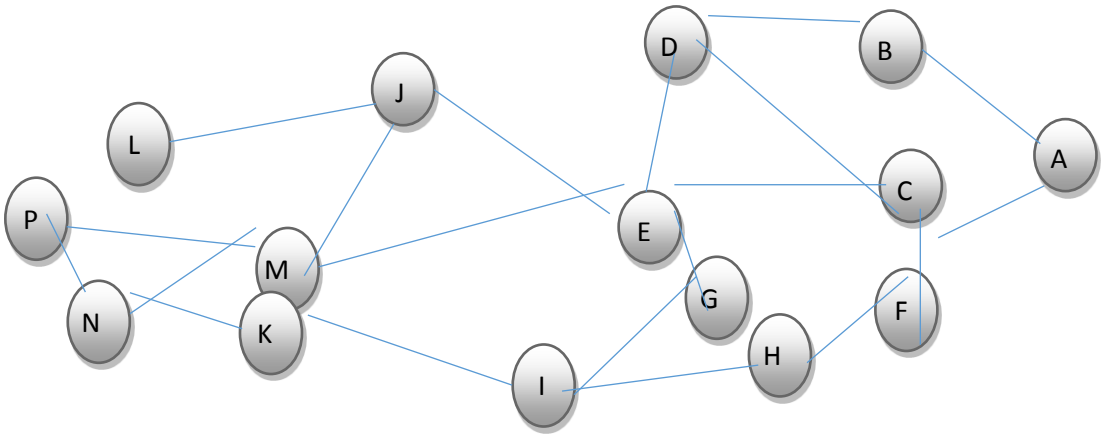


الشكل(7) إنتاجية الشبكة: حالة وجود فرص للترميز.

نستنتج أنه مع ازدياد عدد الرزم نحصل على زيادة في إنتاجية الشبكة وبالتالي ربح في الترميز يصل إلى حوالي 20% مقارنة بالحالة التقليدية للأرسال(البروتوكول DSDV).

6-2 حالة شبكة من 15 عقدة موزعة بشكل عشوائي :

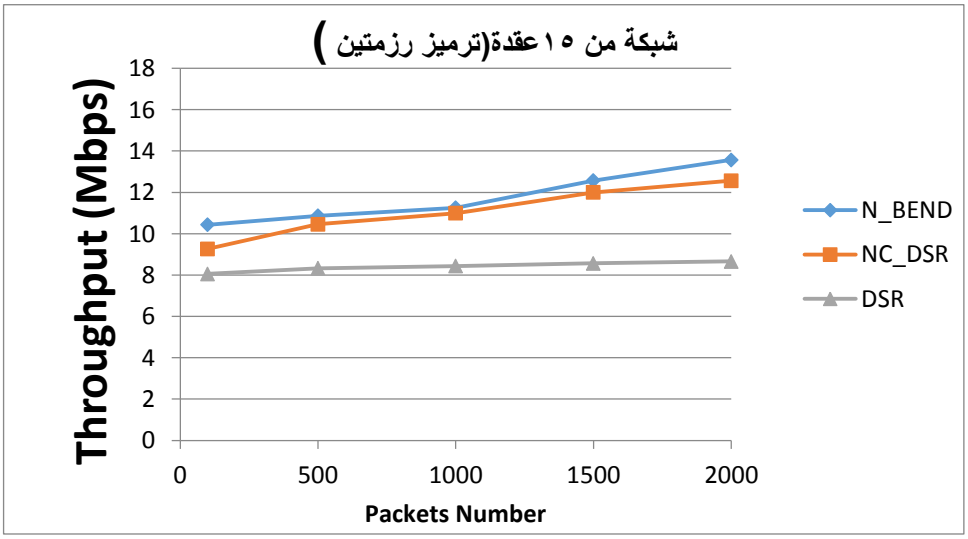
لدينا في هذه الحالة شبكة Ad Hoc مؤلفة من 15عقدة وطريقة توضع العقد في هذه الشبكة عشوائي موضحة بالشكل(8)، المسافة بين العقد تتراوح من 25الى100م. فبزيادة عدد العقد في هذه الحالة يصبح لدينا مسارات أكثر وبالتالي يصبح احتمال وجود فرص للترميز أكبر، ويتعلق ذلك أيضاً بنوع مسارات البيانات بين العقد في الشبكة وتحقيقها 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 إنتاجية الشبكة.



الشكل(8) شبكة Ad Hoc من 15 عقدة بتوضع عشوائي.

6-2-1 حالة ترميز رزمتين فقط معاً:

في حال وجود فرصة لترميز رزمتين فقط نحصل على زيادة في إنتاجية الشبكة يقدر بحوالي 25% عند استخدام التقنية N_BEND و بحوالي 35% عند استخدام التقنية NC_DSR بالمقارنة مع الحالة التقليدية (البرتوكول DSR)كما يبين الشكل (9).

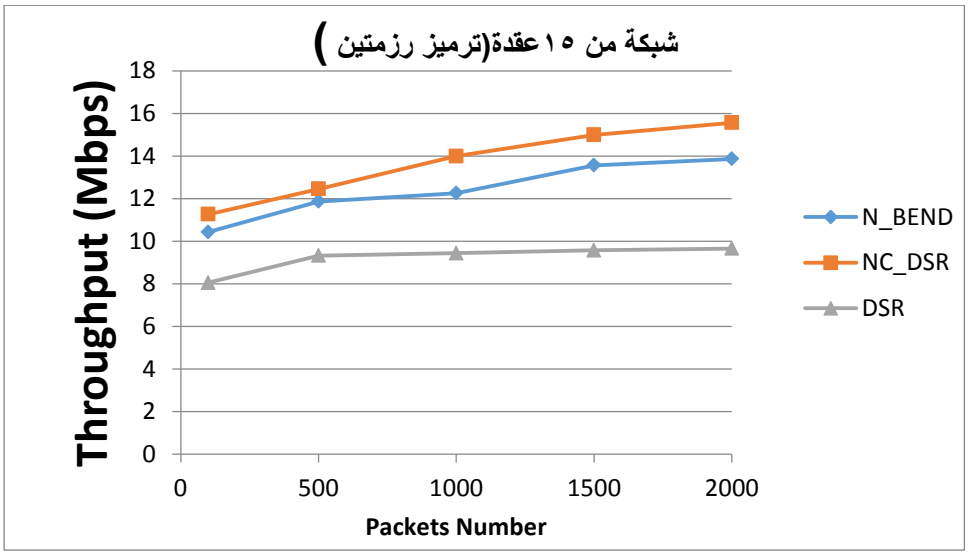


الشكل(9):إنتاجية الشبكة: حالة ترميز رزمتين معا.

6-2-2 حالة ترميز أكثر من رزمتين معاً:

لتحقيق هذه الحالة أخذنا عقد متوسطة تمر عبرها عدة مسارات، وبالتالي في حالة وجود فرصة لترميز أربع رزم معاً، يتبين وجود زيادة كبيرة في إنتاجية الشبكة مقارنةً بالحالة التقليدية كما يبين الشكل (10)، وتكون هذه الزيادة كبيرة أيضاً بالنسبة لحالة ترميز رزمتين فقط مع العلم أن وجود فرص ترميز لأربع رزم معاً

يتطلب توضعاً معيناً للعقد، وذلك حتى تتحقق شروط الترميز وبالتالي إمكانية الترميز لأربع رزم معاً. ويتم الحصول على إنتاجية أعلى حوالي 34% بالنسبة لتقنية الترميز N_BEND و 43% بالنسبة لتقنية الترميز NC_DSR، وذلك بسبب وجود فرصة لترميز أربع رزم معاً بدلاً من رزمتين، مما يعني مضاعفة الاستفادة من عرض الحزمة المتوفر في الشبكة وبالتالي زيادة ربح الترميز.

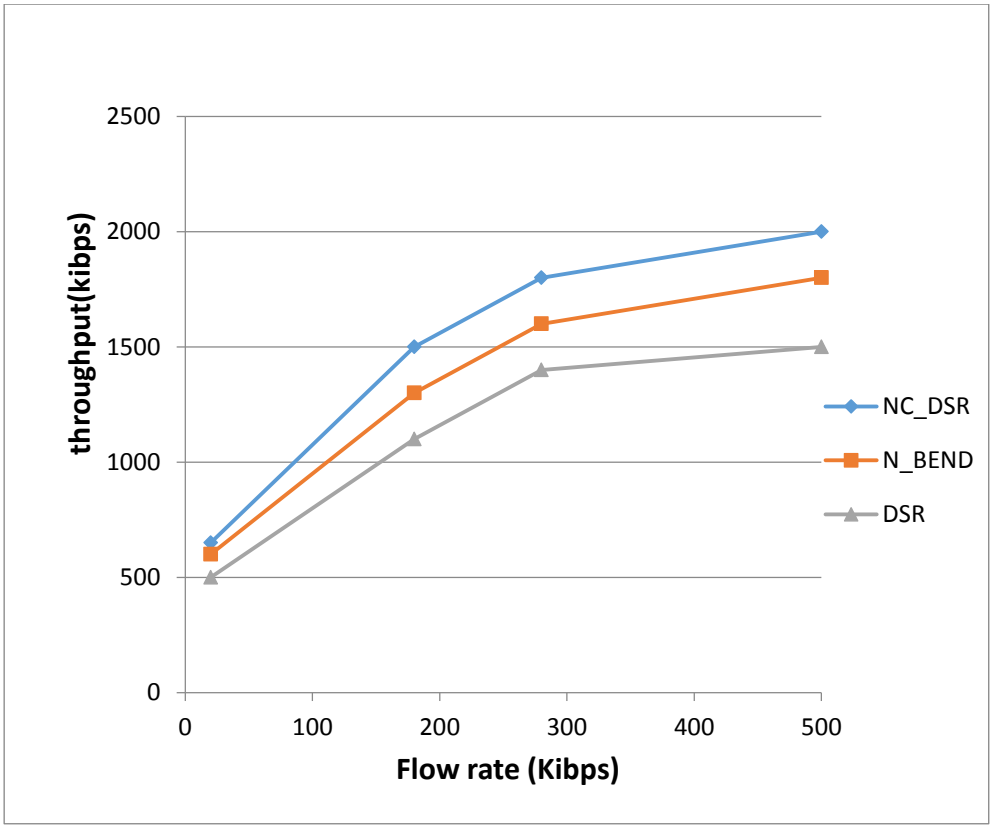


الشكل(10) إنتاجية الشبكة: حالة ترميز أكثر من رزمتين.

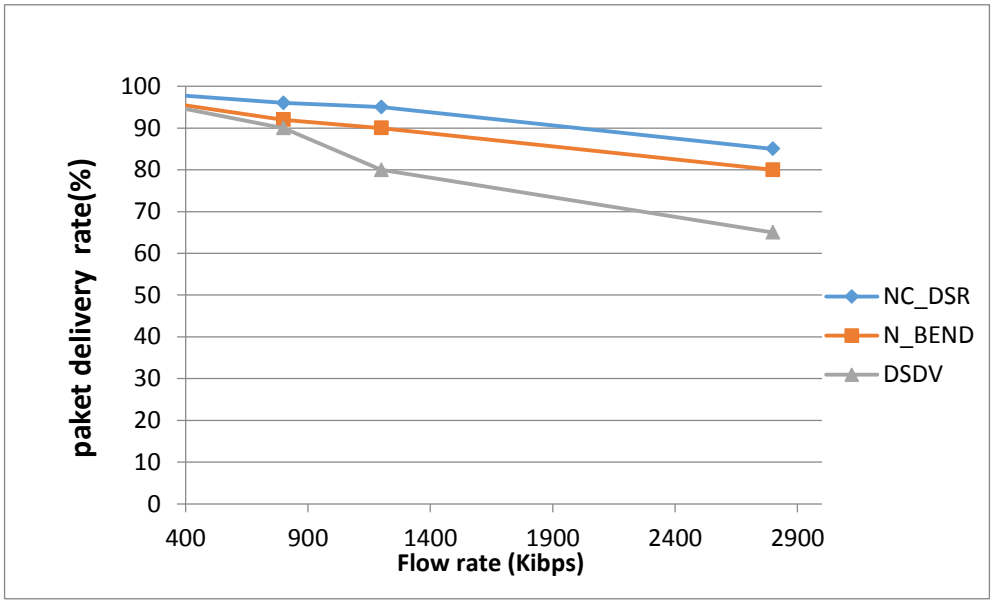
6-3 حالة شبكة من 200 عقدة بتموضع عشوائي (Random Topology):

تمثل الشبكة المقترحة والمؤلفة من 200 عقد 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، مع العلم أنه عندما تكون المسارات وحيدة القفزات فإن الرزم لا تدخل إلى مرحلة الترميز بل توضع مباشرة في رتل الخرج الخاص بالرزم غير المرمزة، لذا تنطبق هذه الحالة مع الحالة التقليدية للتوجيه(دون استخدام الترميز). قمنا بتقييم أداء ومقارنة كل من البرتوكول NC_DSR والبروتوكول N_BENDمع الحالة التقليدية للإرسال، في شبكة تتكون من 200 عقدة موزعة بشكل عشوائي.

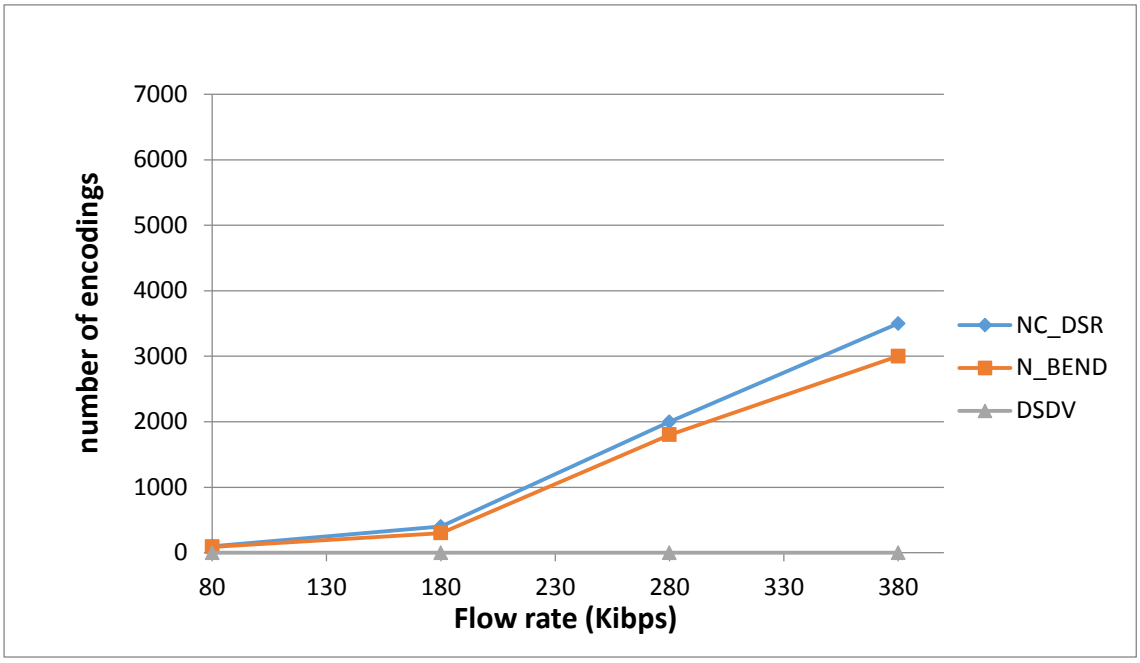
6-3-1 حالة مسارات بعدد قفزات 4:



الشكل(11): متوسط إنتاجية الشبكة.



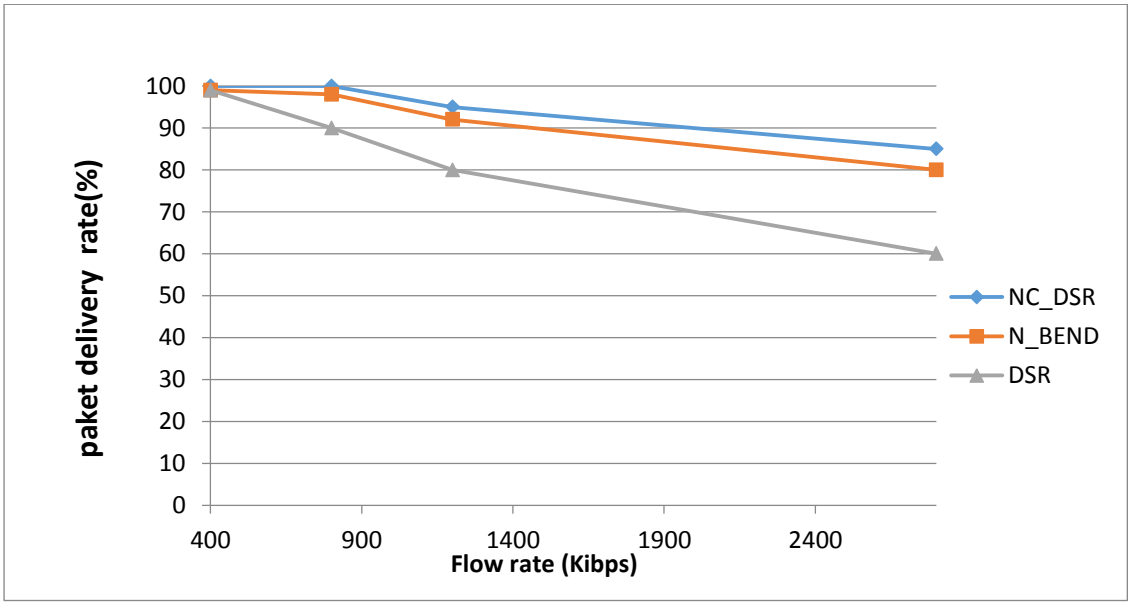
الشكل(12): نسبة تسليم الرزم.



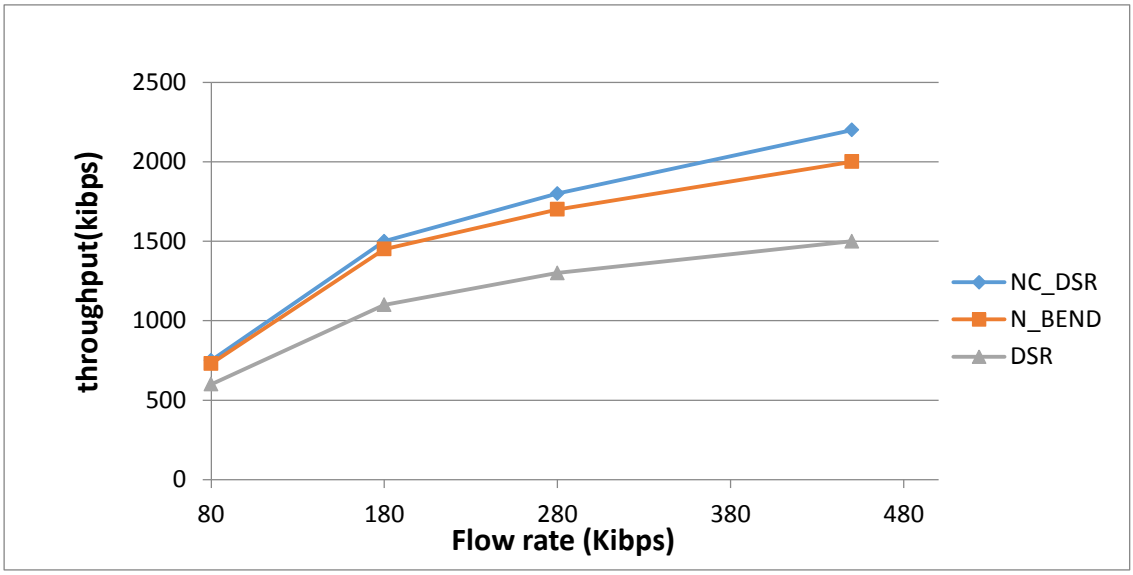
الشكل(13): عدد الرزم المرمزة.

يبين الشكل (11) متوسط إنتاجية الشبكة ، والشكل(12) نسبة تسليم الرزم. نلاحظ أن NC_DSR تفوق على N_BEND و DSR ، كما أن NC_DSR و N_BEND تتفوق حوالي 40٪ و38٪ على التوالي مقارنةً بـ DSR . يوضح الشكل (13) أن عدد الرزم المرمزة معا في NC_DSR و N_BEND أكثر بنسبة تتراوح بين 30% to 40%مقارنة مع الحالة التقليدية للإرسال باستخدام احد برتوكولات التوجيه DSR أو DSDV.

6-3-2 حالة مسارات بعدد قفزات 6:



الشكل(14): نسبة تسليم الرزم.



الشكل(15): متوسط إنتاجية الشبكة.

يبين الشكل (14) نسبة تسليم الرزم، والشكل(15) متوسط إنتاجية الشبكة. نلاحظ أن NC_DSR وN_BEND تتفوق بنسبة تتراوح بين 30% to 40% مقارنة مع الحالة التقليدية للإرسال باستخدام برتوكولات التوجيه DSR أو DSDV.

7- الاستنتاجات والتوصيات:

يحقق ترميز الشبكة وثوقيه في نقل البيانات ويقدم أداء فعال في الشبكات اللاسلكية، حيث أنه بينت النتائج عملية الأرسال باستخدام ترميز الشبكة تعطي إنتاجية نقل أعلى، وتقلل من عدد عمليات الإرسال ، بالمقارنة مع عملية الارسال التقليدية باستخدام البروتوكولات UDP,TCP بدون عملية الترميز .

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

- يساهم ترميز الشبكة في زيادة إنتاجية شبكات Ad Hoc، وتزداد الإنتاجية 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.
- 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

هناك العديد من التحديات في استخدام ترميز الشبكة في الشبكات اللاسلكية المخصصة Ad Hocأهمها

هناك العديد من التوصيات 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.
- دراسة أداء آلية الإرسال المقترحة لترميز الشبكة أجل الشبكاتِ اللاسلكية متعددة القفزات بحالة الحركة للعقد، مثل شبكات MANET .
- دراسة أداء آلية الإرسال المقترحة لترميز الشبكة في شبكات الحساسات اللاسلكية .
- دراسة أنواع مختلفة من الترميز مثل الترميز الخطي والعشوائي.

8- المراجع:

[1] 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.

[2] Somayeh Kafaie, Mohamed Hossam Ahmed ,Yuanzhu Chen, and Octavia A. Dobre, Senior ," Performance Analysis of Network Coding with IEEE 802.11 DCF in Multi-Hop Wireless Networks",arXiv:1801.02221v1 [cs.NI] 7 Jan 2018.

[3] Pingping Chen, Zhaopeng Xie, Yi Fang, Zhifeng Chen, Shahid Mumtaz, and Joel J. P. C. Rodrigue,"Physical-Layer Network Coding: An Efficient Technique for Wireless Communications",arXiv:1907.08983v2 [eess.SP] 24 Jul 2019.

[4] Dr. Ing. Mohammad Yassin Sobeih, Ali Abo Saeed, " Improving the performance of Ad-hoc based on routing paths and coding techniques ", Tartous University Journal for Research and Scientific Studies - engineering Sciences Series Vol. (5) No. (1) 2021.

[5]] Dr. Ing. Mohammad Yassin Sobeih, Ali Abo Saeed," Improving the Performance of Wireless Networks with BEND Coding Technology",Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (64) No.(5) 4242.

[6] Kiss, Zsuzsanna; Polgar, Zsolt; Stef, Mihai; Bota, Vasile. Improving transmission reliability in wireless sensor networks using network coding. Telecommunication Systems. Aug2015, Vol. 59 Issue 4, p509-521. 13p.

[7] Suelen Laurindo,Ricardo Moraes, Carlos Montez and Francisco Vasques "Combining Network Coding and Retransmission Techniques to Improve the Communication Reliability of Wireless Sensor Network"., 2021, 12, 184. https://doi.org/ 10.3390/info12050184.

[8] 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.

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

[11] 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).

[12] 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.

[13] Networks V. Prashanthi , D. Suresh Babu , C. V. Guru Rao," Network Coding aware Routing for Efficient Communication in Mobile Ad-hoc" , International Journal of Engineering & Technology, 7. (3) .(2018) 1474-1481.

[14] L. Hai, H. Wang, J. Wang, and Z. Tang, "HCOR: a High-throughput Coding-aware Opportunistic Routing for Inter-flow Network Coding in Wireless Mesh Networks," EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, vol.2014.

[15] Golsum Najafia, Sajjad Jahanbakhsh Gudakah, "A Stable Routing Protocol based on DSR Protocol for Mobile Ad Hoc Network I.J. Wireless and Microwave Technologies, 2018, 3,14-22 Published Online May 2018 in MECS(http://www.mecs-press.net)DOI: 10.5815/ijwmt.2018.03.02.

[16] Suelen Laurindo, Ricardo Moraes, Carlos Montez and Francisco Vasques "Combining Network Coding and Retransmission Techniques to Improve the Communication Reliability of Wireless Sensor Network"., 2021, 12, 184. https://doi.org/ 10.3390/info12050184.

[17] Pingping Chen, Zhaopeng Xie, Yi Fang, Zhifeng Chen, Shahid Mumtaz, and Joel J. P. C. Rodrigue,"Physical-Layer Network Coding: An Efficient Technique for Wireless Communications", 24 Jul 2019.

[18] Somayeh Kafaie, Mohamed Hossam Ahmed ,Yuanzhu Chen, and Octavia A. Dobre, Senior ," Performance Analysis of Network Coding with IEEE 802.11 DCF in Multi-Hop Wireless Networks",arXiv:1801.02221v1 [cs.NI] 7 Jan 2018.

[19] 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.

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

[21] Raphaël Naves, Hicham Khalife, Gentian Jakllari, Vania Conan, André-Luc

Beylot," A Framework for Evaluating Physical-Layer Network Coding Gains in Multi-hop Wireless Networks", https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-03003820 , Submitted on 17 Nov 2020.

[22] 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.