مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (1) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (1) 2016

تحسين إنتاجية النقل الموثوق في الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات باستخدام النافذة المنزلقة وإعادة الإرسال السريع مع ترميز الشبكة الخطي العشوائي

الدكتور محمد حجازية*

احمد ابراهيم **

(تاريخ الإيداع 30 / 6 / 2015. قُبِل للنشر في 7/ 2 / 2016)

□ ملخّص □

يعد ترميز الشبكة الخطي العشوائي أحد الحلول الواعدة لتحقيق وثوقية النقل في الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات، حيث يعمل على تصحيح ضياع الرزم في الوسط من خلال الاستمرار في إرسال الرزم المرمزة من كل مقطع إلى حين الحصول على إشعار باستلام العدد المطلوب من هذه الرزم واللازم لفك الترميز. ولكن بسبب طبيعة الوسط اللاسلكي والنقل متعدد القفزات، قد يحصل ضياع أو تأخير لهذا الإشعار، مما يسبب إرسال فائض من الرزم وحصول تأخير زمني لإرسال المقاطع التالية، فيقل بالنتيجة من إنتاجية هذه الشبكات.

سنقدم في هذا البحث آلية إرسال مقترحة للنقل الموثوق في الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات تعتمد على استخدام مفهومي النافذة المنزلقة وإعادة الإرسال السريع مع ترميز الشبكة الخطي العشوائي، من أجل إرسال رزم المقاطع المتلاحقة بتدفق مستمر محدد والتصحيح السريع للضياع في هذه المقاطع. وقد بينت نتائج المحاكاة أن الآلية المقترحة تخفض التأخير الزمني لعملية الإرسال وتزيد من إنتاجية النقل لهذه الشبكات.

الكلمات المفتاحية: ترميز الشبكة الخطي العشوائي، الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات، النافذة المنزلقة، إعادة الإرسال السريع.

* أستاذ مساعد، قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

** طالب دراسات عليا (دكتوراه) ، قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات، كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية، جامعة تشرين، اللاذقية، سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (38) العدد (1) 2016
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (38) No. (1) 2016

Improving the throughput of reliable transfer in multi hop wireless networks using sliding window and fast retransmit with random linear network coding

Dr. Mohammed Hijazieh*
Ahmad Ibrahim**

(Received 30 / 6 / 2015. Accepted 7 / 2 / 2016)

□ ABSTRACT □

Random Linear Network Coding (RLNC) is considered to be one of the promised solutions to achieve the reliability of transmission in multi hop wireless networks, Since it is based on correcting the loss of the packets in the medium through the continuity of transmitting coded packets from each segment until receiving acknowledgment of getting the required number of these packets for decoding. However, because of the nature of wireless medium and multi hops transfer, a loss or delay of the ACK may occur, which causes transmitting extra packets and time delay to the next segments, consequently decreasing the throughput of these networks.

In this research, we propose a new transmission mechanism for reliable transfer in multi hops wireless networks through using the concepts of sliding window and fast retransmit with RLNC, for transmitting packets of consequent segments in specific continues flow and fast correcting the loss in these segments. Simulation results show that proposed mechanism decreases the time delay for transmission process and increases the transfer throughput of these networks.

Key Words: Random linear network coding, Multi hop wireless networks, Sliding window, Fast retransmit.

*Assistant Professor, Department of Computers and automatic control, Faculty of mechanical and electrical engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.
***Postgraduate Student, center Lattakia Faculty of information and communication technology engineering, Tishreen University Syria.

مقدمة:

تعاني الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات من مجموعة مشاكل أهمها التداخلات والخفوت والتصادم وفقد المسارات وغيرها من الظواهر اللاسلكية التي تجعل من عملية نقل البيانات في هذه الشبكات غير موثوقة [1,2]. الطريقة التقليدية لضمان وثوقية النقل هو استخدام برتوكول التحكم بالنقل TCP. إلا أن هذا البروتوكول لا يعد مناسباً للشبكات اللاسلكية، لأن ضياع الرزم في الوسط اللاسلكي يفسر وفق آلية عمل هذا البروتوكول على أنه عملية ازدحام، فيحصل خفض لمعدل الإرسال لتجنب الازدحام (غير الموجود) بدلاً من زيادته لتعويض الضياع الحاصل للرزم، حيث أظهرت دراسات أن وجود ضياع بمقدار 2% يسبب تقليل إنتاجية الشبكة بمقدار 60% [3].

كأحد الطرق الواعدة لمعالجة مشكلة ضياع الرزم في الشبكات اللاسلكية هو استخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي (RLNC) [4,5,6]، الذي يعمل على مستوى الرزم في الشبكة، ويقوم على تقسيم الملف المراد إرساله في العقد المصدر إلى مقاطع من الرزم، ومن ثم تشكيل رزم مرمزة هي عبارة عن تركيب خطي عشوائي من الرزم الأصلية في كل مقطع، وإرسال هذه الرزم عبر الشبكة إلى العقد الهدف. تستمر عملية الإرسال المرمز من كل مقطع إلى حين استقبال إشعار باستلام العدد المطلوب من هذه الرزم واللازم لفك الترميز، عندئذ تقوم العقد المصدر بالانتقال إلى ترميز وإرسال مقطع الرزم التالي، بينما تقوم العقد الهدف بعملية فك الترميز واستعادة الرزم الأصلية. كما يقدم ترميز الشبكة الخطي العشوائي ميزة هامة تتمثل بعملية إعادة الترميز، التي تسمح لعقد الشبكة المتوسطة (العقد الموجهة بين العقدتين المصدر والهدف) بتوليد رزم جديدة (معاد ترميزها)، هي عبارة عن التركيب الخطي من الرزم االمرمزة التي تم استقبالها مسبقاً. ويمكن تلخيص فوائد استخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي فيما يلي:

- ضمان وثوقية نقل البيانات لأن عملية إرسال الرزم المرمزة من كل مقطع تستمر إلى حين استقبال كامل العدد المطلوب من هذه الرزم في العقد الهدف.
- لا يتطلب هذا الترميز معرفة أي الرزم التي استقبلت وأي الرزم التي ضاعت، بل يتطلب فقط معرفة عددها، لذا فإنه يقلل من التغذية الراجعة، والتي تقتصر على الإعلام عن وصول العدد اللازم من هذه الرزم فقط.
- عملية إعادة الترميز تولد رزم مرمزة جديدة، مما يسهم في زيادة وفرة هذه الرزم في الشبكة خاصة في حالات الضياع، مما يحقق وثوقية النقل بسرعة أكبر.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى اقتراح آلية إرسال للنقل الموثوق في الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات باستخدام النافذة المنزلقة وإعادة الإرسال السريع مع ترميز الشبكة الخطي العشوائي. حيث تعمل هذه الآلية على تحقيق تدفق مستمر محدد لإرسال رزم المقاطع المتلاحقة باستخدام مفهوم النافذة المنزلقة (Sliding Window)، مع التصحيح السريع للضياع في رزم هذه المقاطع باستخدام مفهوم إعادة الإرسال السريع (Fast Retransmit). فيتم بذلك تحقيق وثوقية النقل على مستوى النافذة المنزلقة (عدة مقاطع) وليس على مستوى المقطع الواحد، مما يعني تحقيق زمن أقل لعملية الإرسال والتخلص من فائض الرزم عند تأخر أو ضياع الإشعار بالاستلام (ACK). فنحصل بالنتيجة على إنتاجية أكبر لهذه الشبكات مع وثوقية كاملة لعملية النقل.

طرائق البحث ومواده:

1 - ترميز الشبكة الخطي العشوائي:

ترميز الشبكة الخطي العشوائي هو صنف من أصناف ترميز الشبكة الخطي إلا أنه يختار معاملات الترميز بطريقة عشوائية، ويعد الطريقة الأساسية للترميز ضمن الجلسة (Intra-Session Network Coding)، والذي يقوم على ترميز الرزم من نفس المصدر. يتألف ترميز الشبكة الخطي العشوائي من ثلاث عمليات أساسية هي الترميز وإعادة الترميز وفك الترميز [7,8,9].

1 - عملية الترميز: تحصل هذه العملية عند العقد المصدر، حيث يتم تجزئة الملف المطلوب إرساله إلى مقاطع (Segments)، كل منها مؤلف من عدد i من الرزم الأصلية، ومن ثم يتم تشكيل رزم مرمزة هي تركيب خطي عشوائي من الرزم التابعة لنفس المقطع j كما يلي:

$$P'_{jm} = \sum_{i} C_{mi} P_i \quad (1)$$

$$ex: i=3, j=1 \begin{pmatrix} P'_{11} = C_{11}P_1 + C_{12}P_2 + C_{13}P_3 \\ P'_{12} = C_{21}P_1 + C_{22}P_2 + C_{23}P_3 \\ P'_{13} = C_{31}P_1 + C_{32}P_2 + C_{33}P_3 \end{pmatrix}$$

حيث Pi الرزم الأصلية من المقطع j، C_{mi} شعاع الترميز العشوائي الذي يتم ارفاقه بترويسة كل رزمة مرمزة، m عدد الرزم المرمزة التي يتم تشكيلها من المقطع j، وتحصل عمليات الترميز الرياضية عبر الحقل النهائي (Finite Field) بهدف المحافظة على نفس حجم الرزم الأصلية في الرزم المرمزة. تقوم العقد المصدر بإرسال رزم مرمزة من المقطع j بعدد $(m = i)$ كحد أدنى، وإذا لم تتلقى إشعار باستلام العدد المطلوب من هذه الرزم، فإنها تبقى في حالة إرسال $(m > i)$ إلى أن تستلم هذا الإشعار، فتنتقل عندئذ لترميز وإرسال المقطع التالي من الرزم. تستمر هذه العملية بنفس الآلية حتى نهاية مقاطع الملف المطلوب إرساله.

2 - عملية إعادة الترميز: تجري هذه العملية في العقد المتوسطة (الموجهة) من الشبكة والموجودة على طول المسار بين العقدتين المصدر والهدف للرزم، وهي مشابهة لعملية الترميز إلا أنها أكثر تعقيداً منها لأن الرزم المرمزة الجديدة هي تركيب خطي عشوائي من الرزم المرمزة القديمة كما تبين العلاقة (2).

$$P_{jn}'' = \sum_{k} r_{nk} P'_k \quad (2)$$

حيث P'_k هي الرزمة المرمزة القديمة، r_{nk} شعاع الترميز العشوائي. والنتيجة هي رزمة مرمزة جديدة P_{jn}'' يمكن أن نعبر عنها من ناحية الرزم غير المرمزة كما في العلاقة (3):

$$P''_{jn} = \sum_{k} r_{nk} \sum_{i} C_{mi} P_i = \sum_{i} \left(\sum_{k} r_{nk} C_{mi} \right) P_i \quad (3)$$

تحصل عملية إعادة الترميز بشرط وجود أكثر من رزمة مرمزة في العقدة المتوسطة، وتفيد هذه العملية في الحصول على وفرة من الرزم المرمزة في الشبكة، من أجل تعويض الضياع الحاصل لهذه الرزم.

3 - عملية فك الترميز: تحصل هذه العملية في العقد الهدف من الشبكة فقط، وذلك عندما تستقبل هذه العقد العدد المطلوب من الرزم المرمزة واللازم لفك الترميز، فمثلاً إذا كان عدد الرزم الأصلية في المقطع الواحد هو i، فإن العقدة الهدف تحتاج إلى m رزمة مرمزة حيث ($m \geq i$) من أجل القيام بعملية فك الترميز واسترجاع الرزم الأصلية بنجاح. وتحصل عملية فك الترميز باستخدام (Gaussian Elimination) كما يلي:

$$\begin{pmatrix} P_{j1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ P_{jm} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} C_{11} & \cdots & C_{1m} \\ & \cdot & \\ & \cdot & \\ & \cdot & \\ C_{m1} & \cdots & C_{mm} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} P'_{j1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ P'_{jm} \end{pmatrix} \quad (4)$$

2 – بروتوكولات النقل الموثوق:

أقدم وأبسط بروتوكولات النقل الموثوق هو بروتوكول التوقف والانتظار (Stop and Wait Protocol)، الذي يعتمد على إرسال كل رزمة في الشبكة ومن ثم الانتظار ريثما يتم وصول الإشعار باستلام هذه الرزمة ليصار بعدها الانتقال إلى إرسال الرزمة التالية كما في الشكل (1–أ)، تحد طريقة الإرسال هذه كثيراً من أداء الشبكة بسبب التأخير الزمني الحاصل عند انتظار الإشعار باستلام كل رزمة. الطريقة الأفضل لتحقيق الوثوقية إضافة إلى السرعة في عملية النقل هي باستخدام بروتوكولات التدفق (Pipelined Protocols)، التي تقوم على إرسال مجموعة من الرزم كما في الشكل (1–ب)، ومن ثم الإشعار عن استلام هذه الرزم، وتصحيح الضياع لاحقاً بإعادة إرسال الرزم المفقودة (التي لم يتم وصول إشعار باستلامها) [10].

(أ) آلية الإرسال Stop –and –Wait (ب) آلية الإرسال بتدفق مستمر Pipelined

الشكل (1) بروتوكولات النقل الموثوق

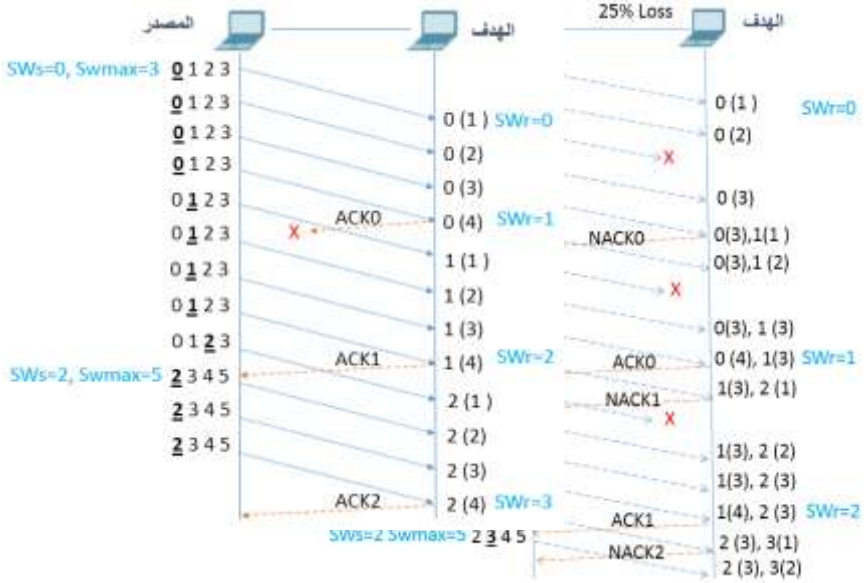
3 – ترميز الشبكة الخطي العشوائي مع النافذة المنزلقة وإعادة الإرسال السريع:

يعتمد تحقيق وثوقية النقل في الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات باستخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي على الاستمرار في إرسال الرزم المرمزة من كل مقطع إلى حين وصول الإشعار باستلام العدد المطلوب من هذه الرزم واللازم لفك الترميز واسترجاع الرزم الأصلية بنجاح. إلا أن ربط توقف عملية الإرسال المرمز من كل مقطع بوصول الإشعار بالاستلام (ACK)يحد من أداء الشبكة، بسبب احتمال تأخر وصول هذا الإشعار أو حتى ضياعه، الأمر الذي يفسر على أنه ضياع للرزم خلال الوسط، فتستمر العقدة المصدر بعملية الإرسال المرمز من نفس المقطع لتعويض هذا الضياع (غير الموجود). مما يؤدي إلى إرسال فائض من الرزم ويسبب تأخيراً زمنياً لعملية إرسال المقاطع التالية، وكذلك استهلاكاً لموارد الشبكة اللاسلكية، فيقلل بالنتيجة من إنتاجية النقل الموثوق لهذه الشبكات.

تعتمد آلية الإرسال المقترحة على استخدام مفهومي النافذة المنزلقة وإعادة الإرسال السريع مع ترميز الشبكة الخطي العشوائي. حيث يتم باستخدام النافذة المنزلقة (SW) إرسال الرزم المرمزة للمقاطع المتلاحقة بتدفق مستمر كمافيبروتوكولاتالتدفق (Pipelined Protocols)، ويكون هذا التدفق محدداً بحجم النافذة المنزلقة في العقد المصدر، ومع الإرسال الناجح لهذه المقاطع تنزلق النافذة للأمام لتشمل المقاطع التالية. ويتم تحقيق وثوقية النقل من خلال تزامن نافذة المصدر (SWs) الموجودة عند العقد المصدر مع نافذة المستقبل (SWr) ذات الحجم الجمعي والموجودة عند العقد الهدف، ويتحقق هذا التزامن بإرسال قيمة نافذة المستقبل مع التغذية الراجعة إلى العقد المصدر بهدف التحديث الدائم لقيمة نافذة المصدر.

أما بالنسبة لإعادة الإرسال السريع (FR) فتتحقق من خلال الإرسال السريع للرزم المفقودة من كل مقطع قبل البدء بترميز وإرسال رزم المقاطع التالية، وذلك عندما تقوم العقد الهدف بالإبلاغ عن عدد الرزم المفقودة من خلال الإشعار السلبي (NACK). فمثلاً إذا كانت العقدة الهدف تستقبل رزم من مقطع معين، واستقبلت لاحقاً رزم من مقطع آخر ولم يكتمل عدد الرزم المرمزة من المقطع السابق، تدرك العقدة الهدف حصول ضياع لرزم من تلك المقطع، فتقوم بإرسال إشعار (NACK)بعدد هذه الرزم المفقودة، ليحصل في العقدة المصدر إعادة إرسال العدد المطلوب من هذه الرزم قبل الانتقال لترميز وإرسال رزم المقطع التالي.

يبين الشكل (2) آلية الإرسال المقترحة لنافذة المصدر بحجم أربع مقاطع وحجم كل مقطع أربع رزم، حيث ترسل العقدة المصدر رزم مرمزة من المقطع (0) بعدد (4)، وتنتقل عملية الترميز والإرسال لرزم المقطع (1) ضمن النافذة كما يبين الشكل (2–أ). وبسبب حصول ضياع لرزمة من المقطع (0)، ترسل العقدة الهدف عند استقبالها أول رزمة من المقطع التالي (1) الإشعار (NACK0) بالرزم المفقودة من المقطع (0)، فيتم تصحيح الضياع عند المصدر بالإرسال السريع لهذه الرزمة قبل البدء بالإرسال المرمز من المقطع (2). أما في حال ضياع الإشعار (ACK0) للمقطع (0) كما في الشكل (2–ب)، تنتقل عملية الترميز والإرسال لرزم المقطع (1) ضمن النافذة، ويتم تعديل قيمة نافذة المصدر من خلال الإشعار بالاستلام التالي (ACK1).



(أ) **حالة ضياع رزم مرمزة (ب) حالة ضياع الإشعار بالاستلام ACK**

الشكل (2) آلية الإرسال المقترحة

3–1 خوارزمية عمل العقدة المصدر:

بعد تقسيم الملف المطلوب إرساله إلى مقاطع، يتم تعيين القيم الأولية للنافذة المنزلقة من خلال تحديد قيمتي نافذة المصدر (SWs=0) والحد الأعلى للنافذة (SWmax=SWs+n)، حيث nهي حجم النافذة المنزلقة.

يتم تشكيل رزم مرمزة من المقطع الأول (CSnum= 0) في النافذة بعدد الرزم الأصلية (i) في هذا المقطع، ومن ثم يعين عداد زمني خاص بهذا المقطع T(0)، وتوضع بعدئذ الرزم في رتل الخرج للإرسال.

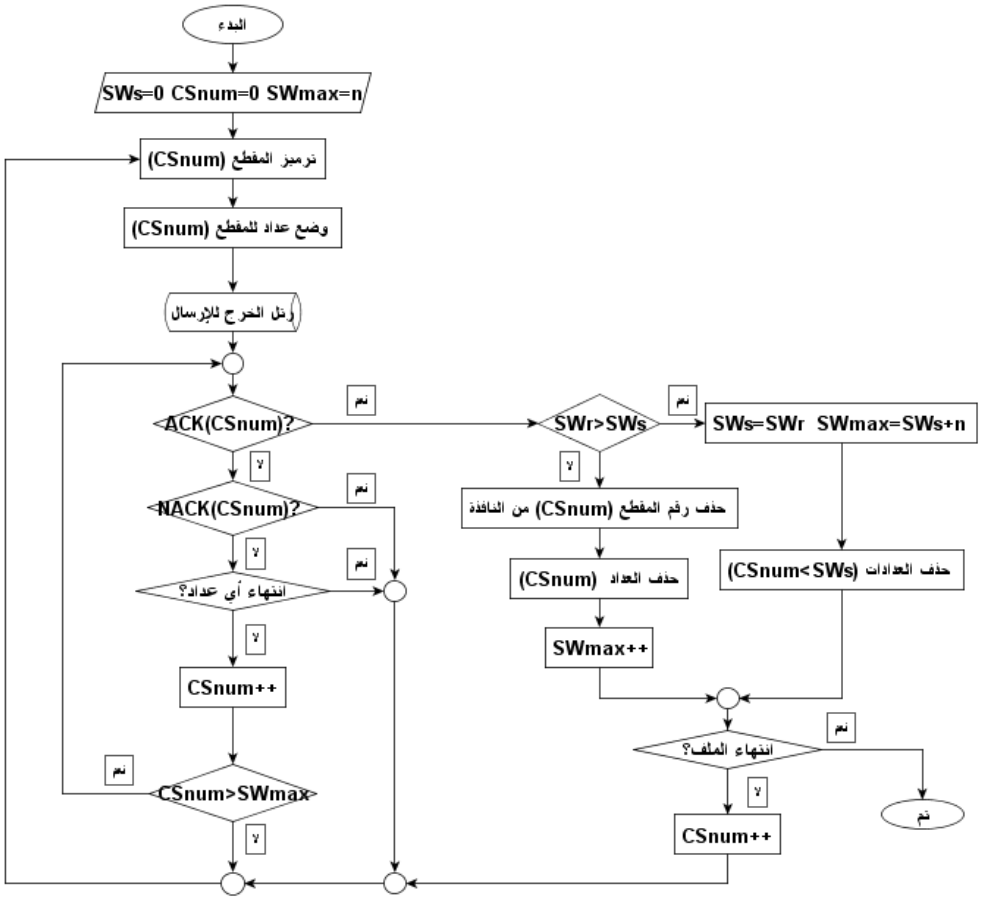
إذا تم استقبال إشعار ACK، يتم مقارنة قيمة نافذتي المرسل والمستقبل، فإذا كان (SWr>SWr)، يتم تعديل قيم النافذة المنزلقة لتصبح نافذة المصدر (SWs=SWr) والحد الأعلى للنافذة (SWmax=SWs+n)، وتحذف كذلك

عدادات المقاطع السابقة (CSnum<SWs). أما إذا كان (SWr=SWr)، يتم حذف رقم وعداد المقطع المقابل، وتزداد قيمة الحد الأعلى للنافذة (++SWmax) فقط.

في حال استقبال NACK يتم إعادة إرسال الرزم الضائعة من المقطع المحدد قبل إرسال رزم المقطع التالي في النافذة، كذلك يتم إعادة تعيين قيمة العداد الخاص بهذا المقطع.

طالما رقم المقطع التالي المراد إرساله أقل أو يساوي الحد الأعلى للنافذة يتم ترميز وإرسال رزم هذا المقطع. وإلا فإنه يتم انتظار استقبال أي إشعارات من العقدة الهدف أو انتهاء العدادات الزمنية للمقاطع الموجودة في النافذة المنزلقة من أجل حصول عملية الإرسال من جديد.

تتكرر الخطوات السابقة حتى إرسال كل مقاطع الملف المطلوب. كما في الخوارزمية المبينة في الشكل (3).



الشكل (3) خوارزمية عمل العقدة المصدر وفق آلية الإرسال المقترحة

3 2 خوارزمية عمل العقدة المتوسطة:

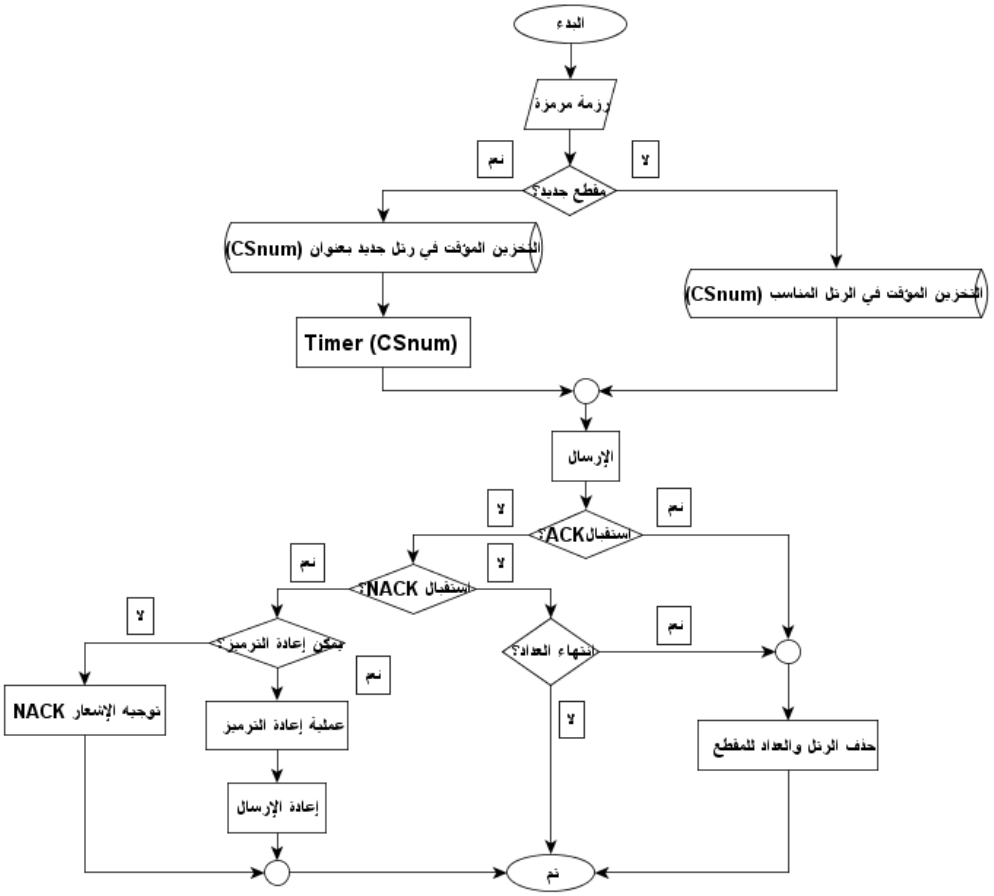
تعمل العقد المتوسطة من خلال موقعها في المسار بين العقدتين المصدر والهدف على استقبال الرزم ومن ثم القيام بتوجيهها إلى مستقبل القفزة التالية، مع احتفاظها بنسخة من هذه الرزم في مخزن مؤقت (رتل خاص بكل مقطع مع عداد لزمن بقاء هذا الرتل) من أجل الاستفادة منها في عملية إعادة ترميز.

فعندما تستقبل العقد المتوسطة الإشعار ACK، تقوم بحذف الرتل والعداد الخاص بالمقطع المقابل.

أما عندما تستقبل الإشعار (NACK)، تقوم بعملية إعادة الترميز في حال توفر لديها العدد الكافي من الرزم المرمزة، وفي حال عدم إمكانها القيام بعملية إعادة الترميز، تقوم بتوجيه (NACK) باتجاه العقدة المصدر.

وتقوم هذه العقدة بحذف الرتل والعداد الخاص بكل مقطع بعد فترة زمنية محددة هي قيمة العداد الزمني.

والخوارزمية الموضحة في الشكل (4) تبين خوارزمية عمل هذه العقدة وفق آلية الإرسال المقترحة.



الشكل (4) خوارزمية عمل العقدة المتوسطة (الموجهة) وفق آلية الإرسال المقترحة

3-3 خوارزمية عمل العقدة الهدف:

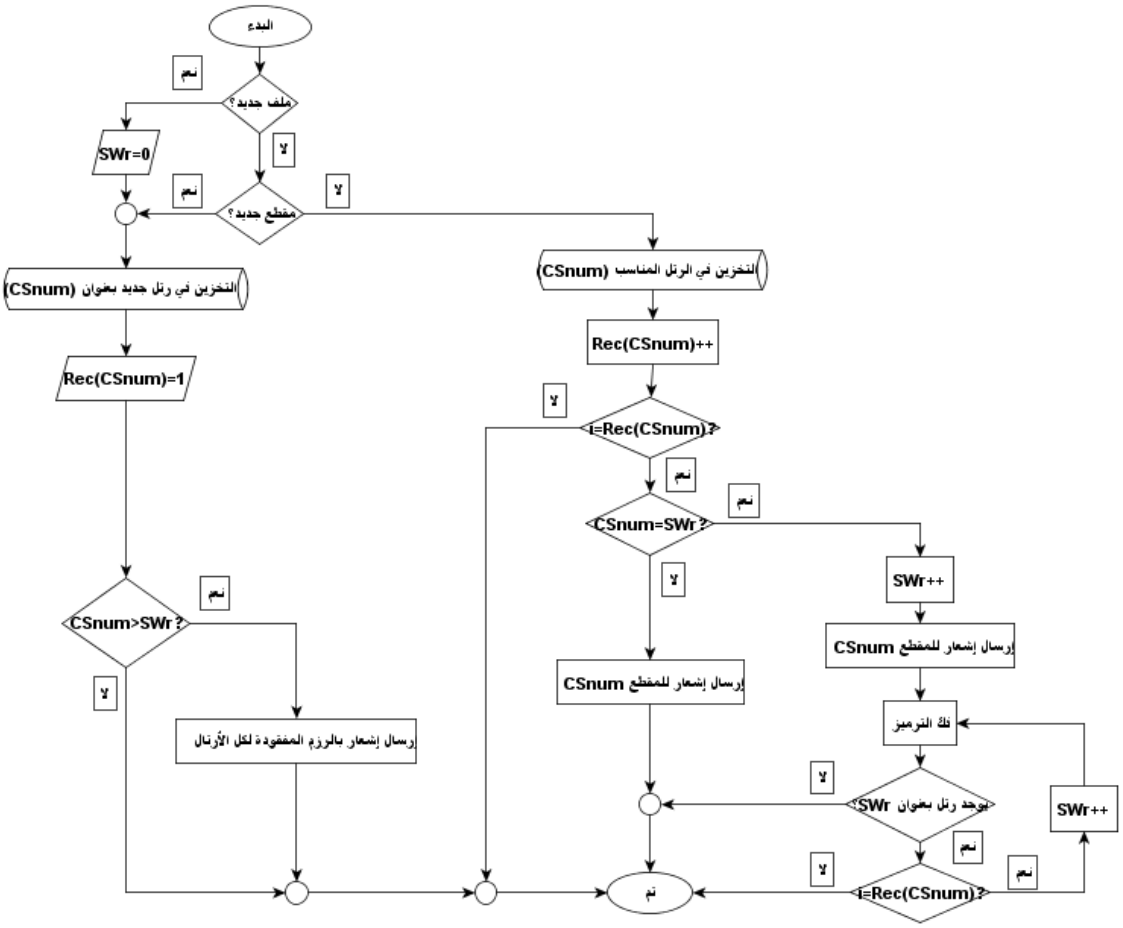
عندما تستقبل العقدة الهدف رزمة مرمزة من مقطع جديد يكون له رقم (ID=0)، أي مقطع من ملف جديد. يتم تحديد القيمة الأولية لنافذة المستقبل (SWr=0)، وتخزن هذه الرزمة في رتل جديد يكون محدده رقم هذا المقطع. أما إذا استقبلت رزمة من مقطع له رقم أكبر من الصفر وأكبر من أرقام المقاطع المستقبلة سابقاً، يتم فقط تخزين هذه الرزمة في رتل جديد (يكون أيضاً محدده رقم هذا المقطع). وفي كلا الحالتين يتم وضع عداد لعدد الرزم المستقبلة في كل رتل.

بعد استقبال أول رزمة من المقطع الجديد، يتم اختبار إذا كان رقم هذا المقطع مساوٍ نافذة المستقبل، فإذا كان لا يساويها فيعني ذلك أنه يوجد مقاطع سابقة غير مكتملة، فيتم إرسال إشعار سلبي (NACK) إلى العقدة الهدف بعدد الرزم الناقصة من تلك المقاطع.

أما عندما تستقبل رزماً أخرى من نفس المقطع، فيتم تخزينها في الرتل المقابل وتزداد قيمة عداد الرزم في هذا الرتل، ومن ثم يتم اختبار حالة اكتمال عدد الرزم المرمزة من هذا المقطع.

في حال اكتمال عدد الرزم من مقطع معين، يتم مقارنة رقم المقطع مع قيمة نافذة المستقبل المسؤولة عن الترتيب الصحيح للمقاطع في الهدف، فإذا كان رقم المقطع مطابقاً لرقم النافذة، يتم زيادة قيمة نافذة المستقبل وإرسال إشعار باستلام العدد المطلوب من رزم هذا المقطع إلى العقدة المصدر (ACK) متضمناً أيضاً قيمة (SWr)، يليه عملية فك الترميز ومن ثم التحقق من وجود مقاطع أخرى مكتملة بعد زيادة قيمة نافذة المستقبل وبنفس الآلية السابقة. وألا يتم فقط إرسال إشعار (ACK) إلى العقدة الهدف من دون زيادة قيمة نافذة المستقبل، لأنه لا تتم زيادة قيمة نافذة المستقبل إلا وفق الترتيب الصحيح لأرقام المقاطع عند العقد الهدف.

يوضح المخطط المبين في الشكل (5) خوارزمية عمل العقدة الهدف وفق آلية الإرسال المقترحة.



الشكل (5) خوارزمية عمل العقدة الهدف وفق آلية الإرسال المقترحة

النتائج والمناقشة:

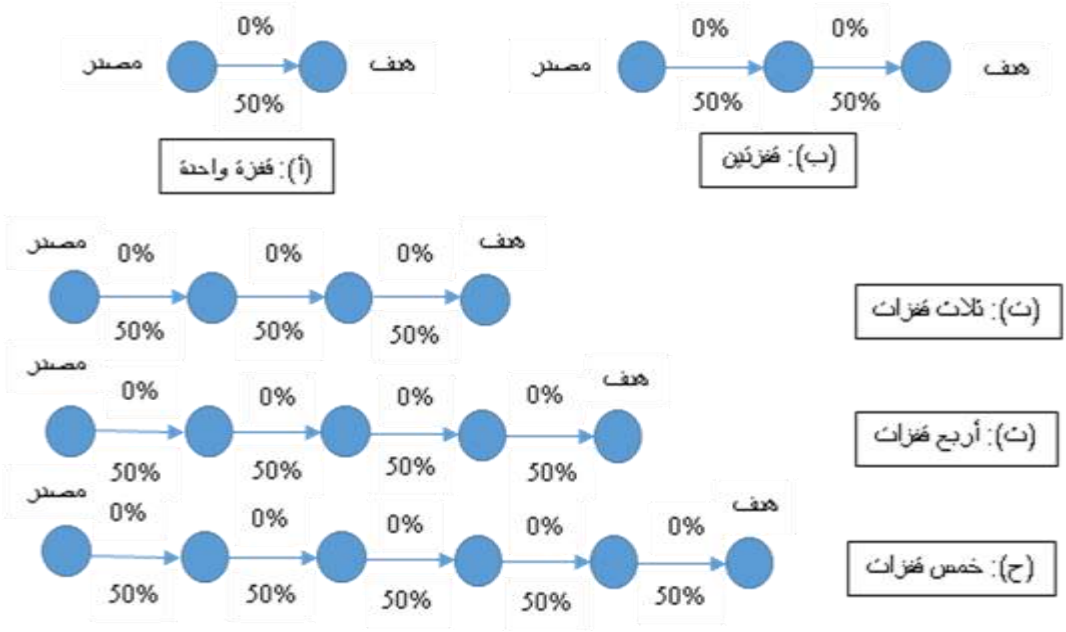
لدراسة واختبار آلية الإرسال المقترحة باستخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي مع النافذة المنزلقة وإعادة الإرسال السريع (RLNC with SW and FR)، ومقارنتها مع آلية الإرسال التقليدية لترميز الشبكة الخطي العشوائي (RLNC Traditional)، تم نمذجة آليات الإرسال في شبكة (Ad Hoc) لاسلكية متعددة القفزات ذات عقد ثابتة باستخدام برنامج MATLAB، ودرست الشبكة في حالات عدة بالنسبة لعدد القفزات ومن أجل قيم مختلفة للضياع في الوصلات اللاسلكية. وتم الانطلاق بالدراسة العملية من محددات الإرسال المبينة في الجدول (1).

جدول (1) بارامترات الشبكة ومحددات عملية الإرسال

حجم الملف	1MByte
حجم الرزم المرمزة	1000 Byte
معدل أزمنة الترميز (Inter-Coding time)	50msec
التأخير الزمني لكل قفزة Round Trip Time(RTT)	25msec
حجم المقطع	5رزم
حجم نافذة الترميز	4مقاطع

4-1 دراسة تأثير اختلاف عدد قفزات المسار على أداء الشبكة:

تم دراسة الحالات المختلفة لعدد القفزات بين المرسل والمستقبل على أداء الشبكة بالنسبة لآليتي الإرسال التقليدية والمقترحة، وذلك من أجل قيمتين مختلفتين للضياع الأولى هي 0% (حالة عدم وجود ضياع)، والثانية هي حالة وجود ضياع بنسبة 50%كما يبين الشكل (6).

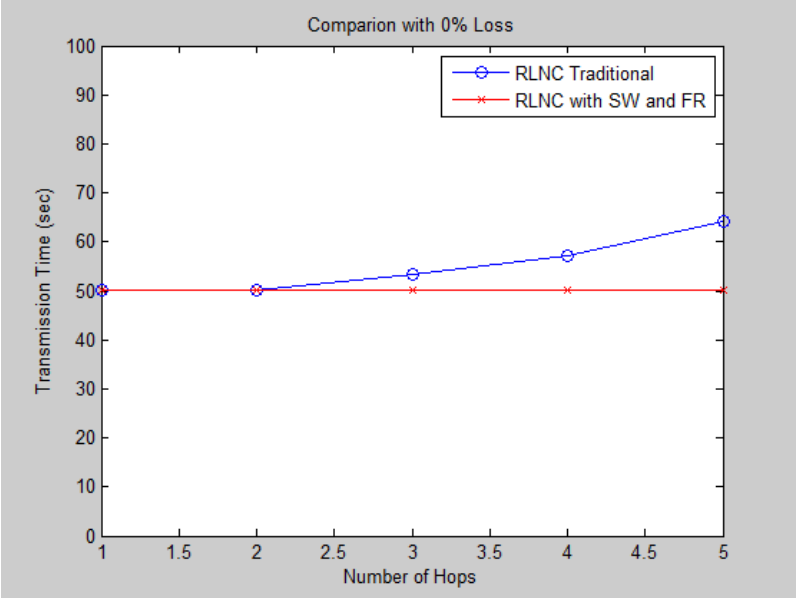


الشكل (6) شبكة لاسلكية بقفزات متعددة، في حالتين للضياع 50% -0%

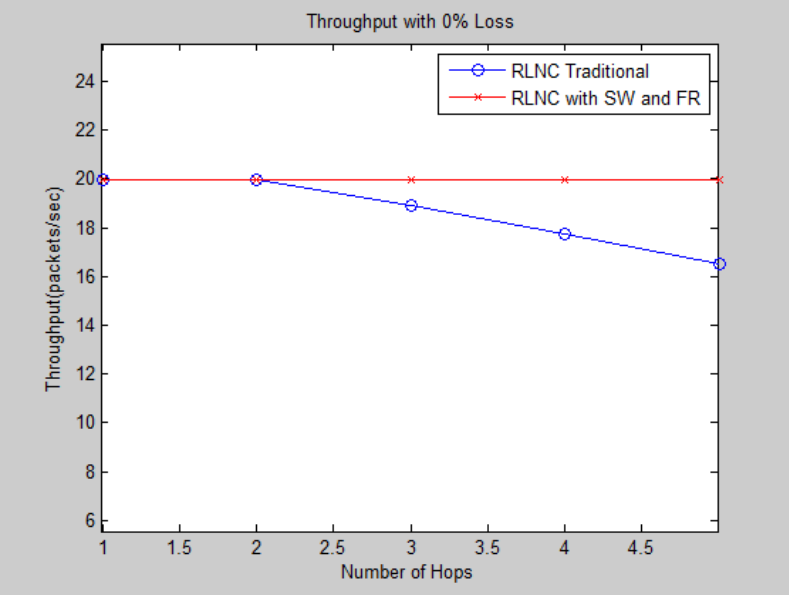
4-1-1 حالة عدم وجود ضياع:

عند عدم وجود ضياع في الوصلات اللاسلكية، تبين النتائج الموضحة في الشكل (7) أن الزمن الكلي للإرسال عند وجود قفزات بعدد (1و2) يكون نفسه في آليتي الإرسال التقليدية والمقترحة، لعدم تأخر وصول الإشعار بالاستلام. أما في حال وجود قفزات بعدد (3و4و5) نجد أن زمن الإرسال في الآلية التقليدية أكبر منه في الآلية المقترحة، ويفسر ذلك بتأخر وصول الإشعار بالاستلام بسبب زيادة عدد القفزات المسار، فيحصل إرسال فائض من الرزم وتأخير زمني للإرسال. بينما لا يحصل تأخير أو إرسال أي فائض في الآلية المقترحة بسبب استمرار إرسال المقاطع التالية ضمن النافذة والإشعار عن وصول المقاطع السابقة لاحقاً. بالنتيجة فإن قيمة إنتاجية الشبكة تنخفض

في آلية الإرسال التقليدية بعد القفزة الثانية، بينما تحافظ على نفس القيمة من أجل جميع القفزات في آلية الإرسال المقترحة كما يبين الشكل (8).



الشكل (7) الزمن الكلي للإرسال، حالة عدم وجود ضياع

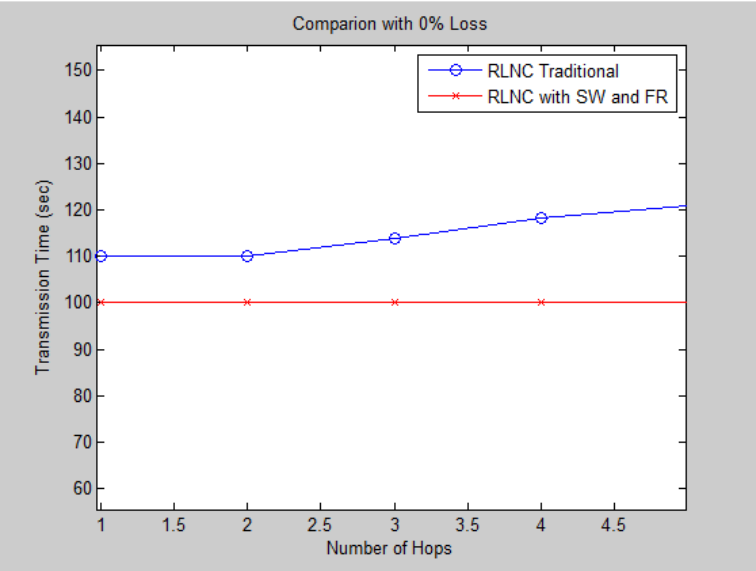


الشكل (8) إنتاجية الشبكة، حالة عدم وجود ضياع

4-1-2 حالة وجود ضياع (50%):

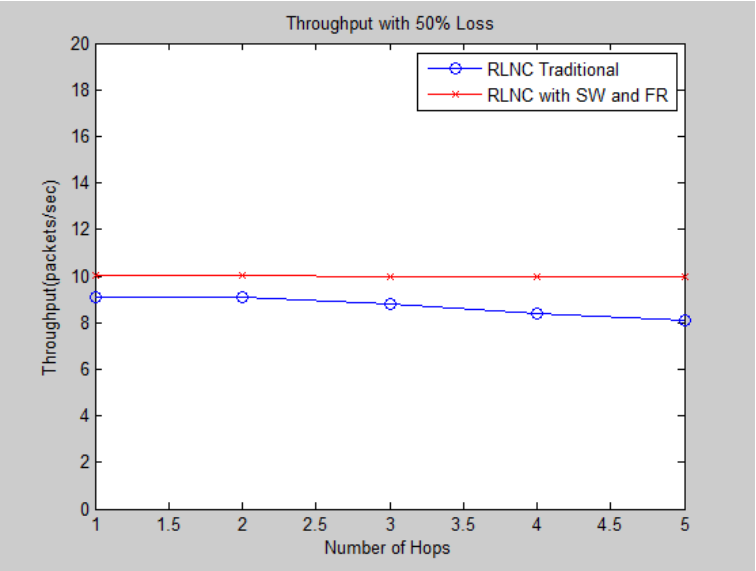
عندما يوجد ضياع بنسبة (50%) في الوصلات اللاسلكية، تظهر النتيجة المبينة في الشكل (9) زيادة الزمن الكلي لإرسال الملف في آلية الإرسال التقليدية عن زمن إرساله في الآلية المقترحة من أجل جميع حالات عدد القفزات، وتفسير ذلك بسبب الضياع الحاصل للإشعار بالاستلام مما يسبب إرسال فائض من الرزم، ويزداد هذا الزمن بعد القفزة الثانية بسبب الزمن الإضافي الناتج عن التأخير في وصول هذا الإشعار. ويتم تجنب الإرسال الفائض والتأخير الزمني

في الآلية المقترحة بسبب استمرار إرسال المقاطع ضمن النافذة المنزلقة ريثما يتم الإشعار عن استلام المقاطع المنجزة أو وصول هذه الإشعارات بعد تأخير زمني.



الشكل (9) الزمن الكلي للإرسال، حالة وجود ضياع 50%

بالنتيجة تتناقص قيمة الإنتاجية من أجل آلية الإرسال الموثوق التقليدية، بينما تحافظ قيمتها تقريباً في آلية الإرسال الموثوق المقترحة كما يبين الشكل (10). فنحصل بالنتيجة على زيادة في إنتاجية الشبكة في الآلية المقترحة عن آلية الإرسال التقليدية بنسبة تتراوح بين 9% و20% بحسب عدد القفزات بين المرسل والمستقبل.



الشكل (10) إنتاجية الشبكة، حالة وجود ضياع 50%

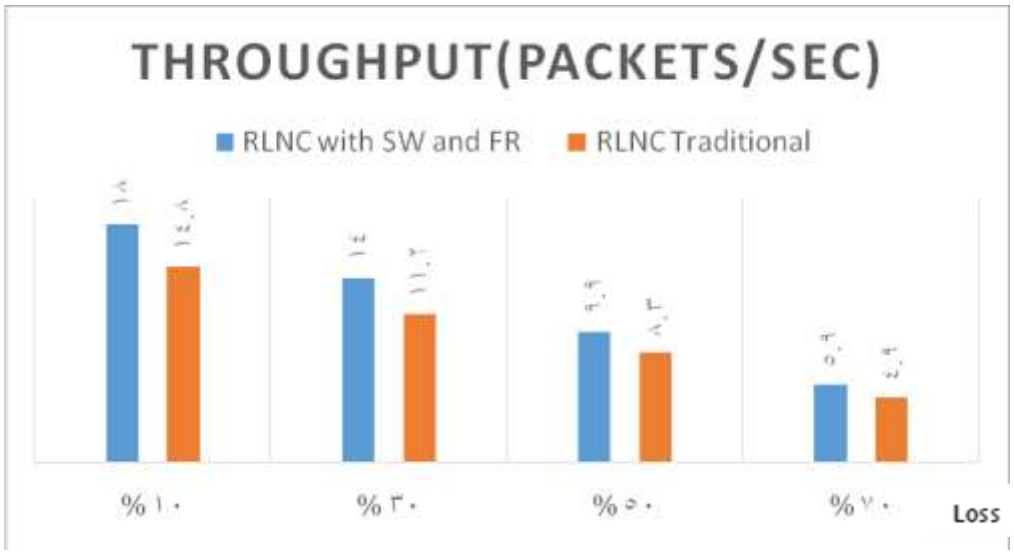
4-2 تأثير الضياع على أداء شبكة لاسلكية متعددة القفزات:

تم دراسة تأثير القيم المختلفة للضياع في الوصلات اللاسلكية (10%, 30%, 50%, 70%) على زمن الإرسال الكلي والإنتاجية لشبكة لاسلكية متوسطة الحجم (بخمس قفزات بين المرسل والمستقبل)، ومن أجل محددات الإرسال في الجدول (1). تظهر النتائج المبينة في الجدول (2) قيم الانخفاض في زمن إرسال الملف في آلية الإرسال المقترحة عن الآلية التقليدية من أجل قيم الضياع المختلفة.

جدول (2) مقارنة زمن الإرسال للآليتين بالنسبة لقيم ضياع مختلفة

Loss Rate	RLNC Traditional Transmission Time (sec)	RLNC with SW and FR Transmission Time (sec)
10%	68	50
30%	91	72
50%	122	100
70%	203	167

وكذلك تظهر النتائج في الشكل (11) مقدار زيادة إنتاجية الشبكة في آلية الإرسال المقترحة بحوالي 20%عن آلية الإرسال التقليدية، ومن الملاحظ أن قيمة إنتاجية الشبكة تنخفض في طريقتي الإرسال بسبب زيادة نسبة الضياع في الوصلات اللاسلكية.



الشكل (11) إنتاجية الشبكة في آليتي الإرسال المقترحة والتقليدية بالنسبة لقيم الضياع المختلفة

4-3 تأثير عدد الرزم المرمزة معاً على أداء الشبكة:

إن زيادة عدد الرزم في المقطع الواحد له سلبيتين أساسيتين عموماً، الأولى هي الحمل الإضافي المتمثل بشعاع الترميز العشوائي الذي يضاف إلى ترويسة كل رزمة مرمزة، حيث يزداد هذا الحمل بزيادة عدد الرزم المرمزة معاً، والثانية هي زيادة التعقيد الحسابي. وبالنتيجة فإن زيادة عدد الرزم المرمزة معاً يعني زيادة حجم الموارد (ترويسة الرزمة وعمليات المعالجة) اللازمة لتحقيق عملية الترميز [11].

سيتم في هذه الحالة دراسة تأثير زيادة عدد الرزم المرمزة معاً (حجم المقطع) في آليتي الإرسال التقليدية والمقترحة، على أداء شبكة لاسلكية مؤلفة من خمس قفزات وموجودة بالحالة العامة في بيئة ضياع بنسبة (50%)، وأيضاً بالانطلاق من محددات الإرسال الموجودة في الجدول (1).

تبين نتائج الدراسة المبينة في الجدول (3) أن الآلية المقترحة تحقق ربحاً أعلى بالنسبة للآلية التقليدية عندما يكون عدد الرزم المرمزة معاً صغيراً، وتفسير ذلك أن آلية الإرسال التقليدية تحقق وثوقية النقل على مستوى المقطع الواحد، لذلك يقل أداؤها كلما كان حجم المقطع أقل أي عدد المقاطع كبيراً، أما آلية الإرسال المقترحة فتحقق الوثوقية على مستوى النافذة المنزلقة فلا تأثير لحجم المقطع على أدائها، لذا فهي تعمل بفعالية من أجل أي عدد للرزم المرمزة

معاً. نتيجةً لذلك إذا كان عدد الرزم المرمزة معاً الأقل هو خيار مناسب بالنسبة لموارد الشبكة والعقد، فإن آلية الإرسال المقترحة تكون طريقة الإرسال المناسبة لهذا الخيار.

جدول (3) أداء الشبكة بالنسبة لعدد الرزم المرمزة معاً

Segment Size (Packets)	RLNC Traditional		RLNC with SW and FR		Gain
	Transmission Time(sec)	Throughput (Packets/s)	Transmission Time(sec)	Throughput (Packets/s)	
4	118	7.8	100	9.9	26.92%
8	113	8.8	100	9.9	12.5%
20	107	9.2	100	9.9	7.6%
50	103	9.7	100	9.9	2%

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد دراسة أداء شبكة لاسلكية في حالات عدة بالنسبة لعدد القفزات والضياع وعدد الرزم المرمزة معاً نستنتج:

من أجل الحالة المثالية للشبكة (عدم وجود ضياع)، يتطابق أداء آليتي الإرسال التقليدية والمقترحة عندما يكون التأخير الزمني لإرسال الرزم صغير (أقل من زمن توليد الرزم). أما عندما يكون التأخير الزمني كبيراً نسبياً فإن آلية الإرسال المقترحة تقلل زمن الإرسال وتحسن إنتاجية الشبكة مقارنة بآلية الإرسال التقليدية.

في حالات الضياع، تقدم آلية الإرسال المقترحة تحسيناً في إنتاجية الشبكة بالنسبة للآلية التقليدية، يختلف هذا التحسين باختلاف عدد القفزات بين المرسل والمستقبل وأيضاً باختلاف نسبة الضياع في الوصلات اللاسلكية.

تحافظ آلية الإرسال المقترحة على نفس الأداء باختلاف عدد الرزم المرمزة معاً، بينما ينخفض أداء الشبكة في آلية الإرسال التقليدية عندما يكون عدد الرزم المرمزة معاً صغير.

يمكن في المستقبل دراسة أداء آلية الإرسال المقترحة من أجل تطبيقات الزمن الحقيقي في الشبكات اللاسلكية متعددة القفزات، وكذلك دراسة تطبيق هذه الآلية في شبكات الحساسات اللاسلكية، حيث من المتوقع أن تعمل هذه الآلية بفعالية من أجل الموارد المحدودة لهذه الشبكات.

المراجع:

[1] SARKAR, S.K.; BASAVARAJU, T.G.; PUTTAMADAPPA, *C. Ad Hoc Mobile Wireless Networks. Principles, Protocols, and Applications*. Taylor & Francis Group, 2008, 835.

[2] LOYD, D.B; SIVAKUMAR, D. *A STUDY ON ADVANCEMENTS OF NETWORK*

CODING IN WIRELESS MESH NETWORK. International Journal of Science, Technology & Management Volume No 04, Special Issue No. 01, March 2015, 1392-1400.

[3] KARAFILLIS, P.; FOULI, K.; PARANDEHGHEIBI,A.;MÉDARD, M. *An Algorithm for Improving Sliding Window Network Coding in TCP*. 47th Annual Conference on Information Sciences and Systems (CISS) (March 2013).

[4] ZHANG, X.; LI, B. *Optimized multipath network coding in lossy wireless networks.*IEEE Journal on Selected Areas in Communications, vol. 27, no. 5, 2009, 622–634.

[5] YAN, W.; Yu, S.; CAI, Y. *Reliable Multicast with Network Coding in Lossy Wireless Networks*. Int. J. Communications, Network and System Sciences, 2010, 816-820.

[6] OSTOVARI, P.; Wu, J.; Khreishah, A. *Network Coding Techniques for Wireless and Sensor Networks.*, Springer, Vol. 1, 2014, 129-162.

[7] M´EDARD, M.; SPRINTSON, A. *Network Coding Fundamentals and Applications*, Elsevier, ISBN: 978-0-12-380918-6, 2012, 332.

[8] YEUNG, R.; CAI, N.; ZHANG, Z. *Network Coding Theory*, Foundation and Trends ® in Communications and Information Theory, ISBN: 1933019-24-7, 2006, 155.

[9] SUNDARARAJAN, J.K.; SHAH, D.; MÉDARD, M.; JAKUBCZAK S.; MITZENMACHER, M.; BARROS, J. NETWORK CODING MEETS TCP: THEORY AND IMPLEMENTATION. Proceedings of the IEEE 99 (3): (2011), 490-512.

[10] KUROSE, J.F.; ROSS, K.W. *Computer networking a top-down approach*. 6th. ed. Pearson Education, ISBN-10: 0-13-285620-4, 2013, 889.

[11] SAED, T.; SHADI, A.; AHMED, M. *Analysis the Performance of Network Coding for Ad Hoc Networks in Realistic Simulation Scenarios*. International Journal of Computer Applications (0975 8887) Volume 85 - No. 10, January 2014.