

دراسة أداء وفعالية ترميز الشبكة الخطي العشوائي في تحقيق النقل الموثوق للبيانات في الشبكات اللاسلكية ذات الضياع

الدكتور محمد حجازية*

احمد ابراهيم**

(تاريخ الإيداع 28 / 3 / 2017. قُبل للنشر في 2 / 5 / 2017)

□ ملخص □

تعاني الشبكات اللاسلكية من الضياع المتكرر للرزق لأسباب عديدة منها التداخلات والتصادم والخفوت، مما يجعل من الوسط اللاسلكي وسط غير موثوق لنقل البيانات. أبرز طرق ضمان وثوقية النقل عبر هذا الوسط هي باستخدام بروتوكول التحكم بالنقل (TCP) وبروتوكول إعادة الطلب التلقائي (ARQ). مؤخراً وجد ترميز الشبكة كتقنية جديدة تغير من طريقة التوجيه التقليدية (خزن ووجه) في الشبكات إلى طريقة أكثر ذكاءً وفعالية هي (رمز ووجه)، مما يسهم في زيادة سعة وإنتاجية النقل لهذه الشبكات.

تم في هذا البحث استخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي كتقنية واعدة تهدف إلى تحقيق النقل الموثوق للبيانات في الشبكات اللاسلكية ذات الضياع، وكذلك دراسة التحسين الذي تقدمه لأداء هذه الشبكات بحالتي الإرسال الوحيد والمتعدد. لتقييم فعالية هذه التقنية ومقارنة أدائها مع أداء بروتوكولات النقل الموثوق تم استخدام محاكي الشبكات NS3. وقد بينت نتائج المحاكاة تحقيق ترميز الشبكة الخطي العشوائي عملية النقل الموثوق للبيانات بإنتاجية أكبر وتأخير زمني وعدد عمليات إرسال أقل مقارنة بالبروتوكولين (ARQ، TCP).

الكلمات المفتاحية: الشبكات اللاسلكية، ترميز الشبكة الخطي العشوائي، الوثوقية، بروتوكول التحكم بالإرسال، بروتوكول إعادة الطلب التلقائي.

* أستاذ مساعد - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية - سورية.
** طالب دراسات عليا (دكتوراه) - قسم هندسة الحاسبات والتحكم الآلي - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة تشرين - اللاذقية، سورية.

Studying the performance and the Efficiency of random linear network coding in achieving the reliable transfer of data in losing wireless networks

Dr. Mohammed Hijazieh*
Ahmad Ibrahim**

(Received 28 / 3 / 2017. Accepted 2 / 5 / 2017)

□ ABSTRACT □

Wireless networks suffer from frequent loss of packets for many reasons such as interference, collision and fading. This makes wireless medium unreliable medium for data transfer. The main methods for ensuring the reliability in this medium are using transmission control protocol (TCP) and the automatic repeat request (ARQ). Recently, network coding has been found as new technology that changes the traditional forwarding method (Store- and- Forward) in the networks to more effective and intelligent method (Code- and- Forward), which contributes to the increase of both capacity and throughput of these networks.

In this research, random linear network coding is used as promising technology that aims to achieve the reliable transfer of data in losing wireless networks, and studying the enhancement that this technology presents to the performance of these networks in unicast and multicast transmission. For evaluating the efficiency of this technology and comparing its performance with the performance of reliable transfer protocols, we use the networks simulator (NS3). Simulation results showed that random linear network coding achieve the reliable transfer of data with bigger throughput and less delay and number of transmission compared with the protocols (TCP, ARQ).

Keywords: Wireless networks, Random Linear Network Coding, Reliability, TCP, ARQ.

*Assistant Professor, Department of Computer & Automatic Control, Faculty of Mechanical &Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria. University, Lattakia, Syria.

**Postgraduate Student, Department of Computer & Automatic Control, Faculty of Mechanical &Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.

مقدمة:

تعاني الشبكات اللاسلكية من مشكلة أساسية هي مشكلة ضياع الرزم بسبب ظواهر فيزيائية موجودة في الوسط اللاسلكي مثل الخفوت والتصادم والتشويش والتداخلات [1]. أقدم وأبسط طرق تحقيق وثوقية النقل في الشبكات عموماً هي باستخدام بروتوكول إعادة الطلب التلقائي (ARQ) والذي يقوم على إعادة إرسال الرزم بعد مدة معينة على عدم وصول إشعار باستلامها، ولكن تعاني هذه الطريقة من التأخير الزمني مما يقلل من أداء عملية النقل الموثوق [2]. أما الطريقة الأكثر شيوعاً فهي باستخدام بروتوكول التحكم بالنقل TCP، الذي يحتوي على خوارزميات للتحكم بالتدفق وتجنب الازدحام تعمل على تخفيض معدل الإرسال عند وجود ازدحام في مما يساهم في المحافظة على موارد الشبكة. ولكن في الشبكات اللاسلكية، السبب الرئيسي لضياع الرزم هو العوامل المؤثرة على الاتصال اللاسلكي وليس الازدحام [3]، ألا أن خوارزميات التحكم بالازدحام في البروتوكول TCP تفسر عملية الضياع في هذا الوسط على أنها ازدحام فيتم تخفيض معدل الإرسال بدلاً من زيادته لتصحيح هذا الضياع، مما يقلل من أداء عملية النقل الموثوق في هذه الشبكات. مؤخراً، اقترحت تقنية ترميز الشبكة من قبل Ahlswede et al [4] بهدف زيادة سعة النقل في الشبكات السلكية، وطبقت هذه التقنية لاحقاً في الشبكات اللاسلكية، حيث أثبتت فعالية كبيرة في زيادة إنتاجية النقل لهذه الشبكات. أبرز أنواع ترميز الشبكة هو ترميز الشبكة الخطي العشوائي (RLNC) والذي يقوم على دمج عدة رزم في العقد المصدر برزمة مرمزة واحدة لها نفس حجم الرزم الأصلية، وعند الحاجة يقوم بعملية إعادة الترميز للرزم المرمزة في العقد المتوسطة من الشبكة متعددة القفزات، ويكمن دور عمليتي الترميز وإعادة الترميز في تحسين فعالية الإرسال عن طريق استخدام الرزم المرمزة أو المعاد ترميزها لمعالجة الضياع الحاصل للرزم في الشبكة، حيث أن الرزم المرسله لاحقاً يمكن أن تستخدم لتصحيح الضياع في الرزم المرسله سابقاً، فلا تحتاج العقد المصدر عند القيام بعملية تصحيح الضياع إلى معرفة أي الرزم التي استقبلت وأي الرزم التي ضاعت بل تحتاج إلى معرفة عددها فقط، على خلاف طريقة الإرسال التقليدية (بدون استخدام ترميز الشبكة) والتي تتطلب إعادة إرسال الرزم نفسها عند حصول عملية ضياع لهذه الرزم، وبالنتيجة تتم عملية استعادة ضياع الرزم بفعالية وسرعة كبيرة [5,6].

أهمية البحث وأهدافه:

تم في هذا البحث استخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي كتقنية مسؤولة عن تحقيق النقل الموثوق للبيانات في الشبكات اللاسلكية ذات الضياع، بالاستفادة من فعالية هذه التقنية في عملية تصحيح الضياع بخاصة في حالات الإرسال المتعدد وكذلك لعدم احتوائها على خوارزميات تحكم بالازدحام. تم دراسة أداء هذه التقنية من أجل القيم المختلفة للضياع في القنوات اللاسلكية، وكذلك مقارنتها مع بروتوكول التحكم بالنقل TCP وبروتوكول إعادة الطلب التلقائي (ARQ). وأظهرت نتائج هذه الدراسة أن ترميز الشبكة الخطي العشوائي يمكن اعتماده كتقنية فعالة وموثوقة لنقل البيانات في الشبكات اللاسلكية ذات الضياع بحالتي الإرسال الوحيد (Unicast) والمتعدد (Multicast)، حيث أنه يحقق الوثوقية في نقل البيانات كما أنه يقلل من عدد عمليات الإرسال وزمن الإرسال ويزيد بالنتيجة من إنتاجية النقل لهذه الشبكات.

طرائق البحث ومواده:

1- ترميز الشبكة الخطي العشوائي: [7,8]

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، وتجري كافة العمليات الرياضية لهذا الترميز عبر حقل غوص $GF(2^m)$ بهدف الحصول على نفس حجم الرزم الأصلية في الرزم المرزمة. يتألف ترميز الشبكة الخطي العشوائي من ثلاث عمليات أساسية هي الترميز وإعادة الترميز وفك الترميز.

عملية الترميز:

تحصل هذه العملية في العقد المصدر، حيث يتم في البداية تجزئة الملف المطلوب إرساله إلى مجموعة كتل (Blocks) بعدد n مثلاً، وتكون كل كتلة مؤلف من عدد $(block_size = j)$ من الرزم الأصلية. ومن ثم يتم تشكيل رزم مرزمة P' هي تركيب خطي عشوائي من الرزم التابعة لنفس الكتلة وفق العلاقة:

$$P' = \sum_{i=1}^j c_i P_i \quad (1)$$

حيث P_i الرزم الأصلية في الكتلة، c_i معاملات الترميز التي يتم اختيارها بشكل عشوائي من حقل غوص والتي تشكل شعاع الترميز $C = [c_1, c_2, \dots, c_j]$ الذي يتم إرفاقه بترويسة الرزمة مرزمة. فمثلاً إذا كان لدينا الرزم الأصلية (P_1, P_2, P_3, P_4) تكون الرزم المرزمة هي:

$$\begin{aligned} P'_1 &= C_{11}P_1 + C_{12}P_2 + C_{13}P_3 + C_{14}P_4 \\ P'_2 &= C_{21}P_1 + C_{22}P_2 + C_{23}P_3 + C_{24}P_4 \\ P'_3 &= C_{31}P_1 + C_{32}P_2 + C_{33}P_3 + C_{34}P_4 \\ P'_4 &= C_{41}P_1 + C_{42}P_2 + C_{43}P_3 + C_{44}P_4 \end{aligned}$$

عملية إعادة الترميز:

تجري هذه العملية في العقد المتوسطة (الموجهة) من الشبكة متعددة القفزات، وهي مشابهة لعملية الترميز إلا أنها أكثر تعقيداً لأن الرزم المرزمة الجديدة هي تركيب خطي عشوائي من الرزم المرزمة القديمة. تفيد عملية إعادة الترميز في الحصول على وفرة من الرزم المرزمة خلال مسار انتقال الرزم في الشبكة متعددة القفزات.

عملية فك الترميز:

تحصل عملية فك الترميز في العقد الهدف من الشبكة فقط بهدف استرجاع الرزم الأصلية بنجاح وتحقيق وثوقية النقل، حيث يتم تخزين الرزم المستقبلية في مصفوفتين، الأولى خاصة ببيانات الرزمة المرزمة $P' = [P'_1; P'_2; \dots; P'_j]$ تسمى مصفوفة البيانات، والثانية خاصة بأشعة الترميز الموافقة $C = [c_1; c_2; \dots; c_j]$ وتسمى مصفوفة المعاملات. وعند استقبال العقدة الهدف للعدد المطلوب من الرزم المرزمة المستقلة خطياً، يتم القيام بعملية فك الترميز واسترجاع الرزم الأصلية باستخدام عملية (Gaussian Elimination) وفق العلاقة التالية.

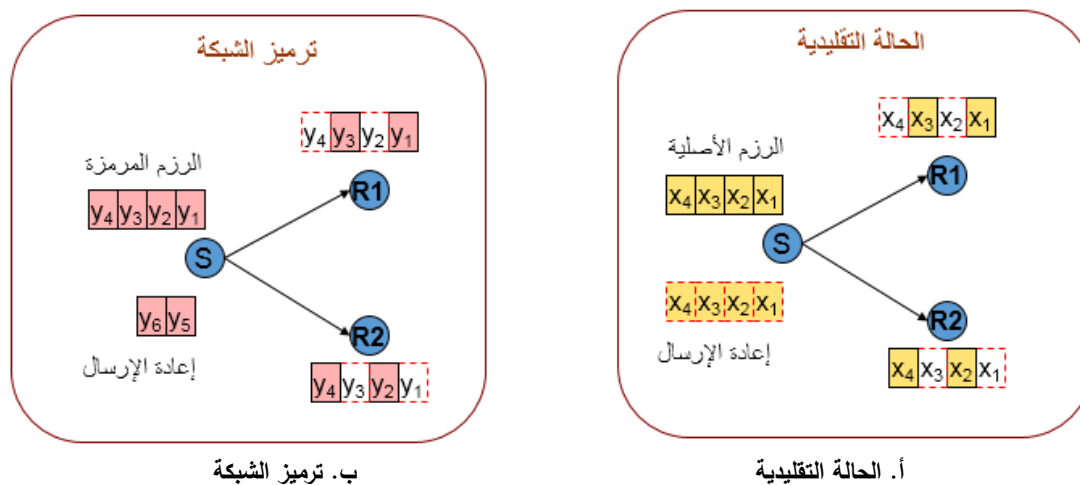
$$P = C^{-1} \times P' \quad (2) \quad \text{ex:} \quad \begin{pmatrix} P_1 \\ \vdots \\ P_j \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} c_{11} & \dots & c_{1j} \\ \vdots & & \vdots \\ c_{j1} & \dots & c_{jj} \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} P'_1 \\ \vdots \\ P'_j \end{pmatrix}$$

1.1 تحقيق ترميز الشبكة RLNC لموثوقية النقل في الشبكات اللاسلكية:

آلية عمل ترميز الشبكة الخطي العشوائي تقوم على إرسال عدد غير محدود من الرزم المرمزة من كل كتلة لغاية نجاح عملية فك الترميز، لذلك يسمى هذا النوع من الترميز (Rateless). وبالتفصيل، تستمر العقدة المصدر بإرسال الرزم المرمزة من نفس الكتلة حتى وصول إشعار من العقدة الهدف بنجاح عملية فك الترميز أي الإرسال الكامل والصحيح لجميع الرزم في هذه الكتلة، عندئذ تنتقل العقدة المصدر لترميز وإرسال الرزم المرمزة من الكتلة التالية، وتتكرر هذه الآلية من أجل جميع الكتل التي يتألف منها الملف المطلوب إرساله. وبذلك يمكن استنتاج أن النقل الموثوق للبيانات باستخدام هذا النوع من الترميز يكون محقق حكماً.

2.1 فعالية ترميز الشبكة RLNC في تصحيح الضياع بحالة الإرسال المتعدد: [9]

لتوضيح دور ترميز الشبكة وأهميته في حالة تصحيح ضياع الرزم في الشبكات اللاسلكية ذات الضياع، لدينا في الشكل (1) شبكة لاسلكية من نوع Ad Hoc بحالة الإرسال المتعدد، مؤلفة من عقدة مصدر (S) ومستقبلين R1, R2. تحتاج العقدة المصدر إلى إرسال أربع رزم إلى كلا المستقبلين، بفرض وجود ضياع بنسبة 50% في الوصلات اللاسلكية لكلا المستقبلين.



الشكل (1) شبكة Ad Hoc بحالة تصحيح الضياع

في الحالة التقليدية لتصحيح الضياع كما في الشكل (1-أ)، بفرض حصول ضياع للرزمتين x_2, x_4 عند المستقبل R1 وللرزمتين x_1, x_3 عند المستقبل R2، يكون المصدر بحاجة لإعادة إرسال الرزم الأربعة لتصحيح هذا الضياع. أما باستخدام ترميز الشبكة كما في الشكل (1-ب)، يتم في المصدر (S) الحصول على أربع رزم مرمزة هي (y_1, y_2, y_3, y_4) من الرزم الأصلية (x_1, x_2, x_3, x_4) ، وعند حصول ضياع للرزمتين y_4, y_2 عند المستقبل R1 وللرزمتين y_1, y_3 عند المستقبل R2، يكون المصدر بحاجة إلى إعادة إرسال رزمتين مرمزتين فقط من أجل تصحيح هذا الضياع، حيث أنه من غير الضروري معرفة أي الرزم التي ضاعت (كون جميعها رزم مرمزة) بل المهم معرفة عددها فقط، وتجدر الإشارة أيضاً إلى أن ترميز الشبكة يساهم في التقليل من التغذية الراجعة (الإشعارات بالوصول) من

العقد الهدف إلى حد كبير، لأنه يتلقى إشعار واحد فقط عند نجاح الإرسال لكل كتلة من الرزم. بالنتيجة، فإن استخدام ترميز الشبكة يقلل من عدد عمليات الإرسال ويسهم بتصحيح الضياع بسرعة وفعالية كبيرة.

2.2 بروتوكول التحكم بالنقل TCP:

هو أحد البروتوكولات الأساسية المسؤول عن إرسال البيانات بشكل موثوق عبر الشبكة، طُوّر في العام 1974 وله تعديلات مختلفة مثل TCP Reno, New Reno, Tahoe and TCP Vegas [10,11]. يطبق هذا البروتوكول مجموعة من القواعد مثل الترقيم التسلسلي للمقاطع المرسل (Sequencing) والعدادات (Timers) والإشعارات بالوصول (ACK) وخوارزميات تجنب الازدحام، بهدف ضمان إرسال رزم البيانات بشكل صحيح وبدون تجاوز معدل الإرسال الموجود في الشبكة. يراقب هذا البروتوكول عن طريق الإشعارات بالوصول نجاح عمليات الإرسال للرمز ضمن النافذة المسماة بنافاذة الازدحام (CWND)، وبذلك يتحكم بمعدل الإرسال للبيانات من العقد المصدر. فمن أجل كل رزمة مستقبلية بنجاح يرسل المستقبل إشعار بالوصول إلى المرسل يحمل رقم تسلسلي أعلى بقيمة واحد من رقم آخر بايت في هذه الرزمة، ويقوم المرسل عندئذ بزيادة حجم هذه النافذة. وفي حال حصول نفاذ الزمن (Timeout) لوصول إشعار باستلام رزمة معينه أو في حال استقبال ثلاثة إشعارات متشابهة فإن ذلك إشارة إلى حصول عملية ضياع لهذه الرزمة، يفسر بروتوكول TCP سبب الضياع بوجود ازدحام، لذلك يقوم بتقليل معدل الإرسال لتجنب الازدحام عن طريق إنقاص حجم نافذة الازدحام، وبهذه الطريقة فإن بروتوكول TCP يحقق وثوقية النقل ويحافظ على موارد الشبكة. ولكن تبقى المشكلة الأساسية لاستخدام هذا البروتوكول في الشبكات اللاسلكية، كونه يفسر كل أخطاء الإرسال كازدحام، لذلك يعتبر ضياع الرزم بسبب الخلل في الاتصال اللاسلكي على أنه ازدحام فيقلل من معدل الإرسال، مما يقلل بالنتيجة من أداء هذه الشبكات.

3.2 بروتوكول إعادة الطلب التفاضلي ARQ: [11]

من التقنيات المستخدمة من أجل الإرسال الصحيح للبيانات إلى المستخدمين ومعالجة الأخطاء التي قد تحصل خلال عملية الإرسال. أبسط خوارزمية لهذا البروتوكول هي Stop-and-Wait والتي تقوم على إرسال المصدر لرزمة معينة ومن ثم الانتظار لحين وصول إشعار بوصول هذه الرزمة ليتم بعدها البدء بإرسال الرزمة التالية، وإذا لم يصل هذا الإشعار خلال مدة محددة من الزمن فإن المرسل يعيد إرسال هذه الرزمة. وهناك خوارزميات مطورة لهذا البروتوكول تسمى (Pipelined) أهمها Go-Back-N و Selective Repeat، والتي تقوم على إرسال مجموعة من الرزم قبل انتظار وصول الإشعارات الخاصة بها من أجل البدء بعملية تصحيح الضياع. مما يساهم في تحسين عملية الإرسال والتقليل من التأخير الزمني. وعلى خلاف البروتوكول TCP، لا يحتوي بروتوكول ARQ على خوارزميات للتحكم بالازدحام.

النتائج والمناقشة:

تم في الجانب العملي من هذا البحث دراسة أداء عملية النقل الموثوق لملفات خاصة بتطبيق تصفح الويب (HTTP) في شبكة لاسلكية ذات ضياع من نوع Ad Hoc. لمحاكاة هذه الشبكة من أجل حالتي الإرسال الوحيد والمتعدد ومقارنة أداء عملية النقل الموثوق باستخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي مع أداء كل من البروتوكولين TCP و ARQ تم استخدام محاكي الشبكات NS3 [12,13]، وذلك بالانطلاق من البارامترات الموضحة في الجدول (1).

جدول (1) بارامترات الشبكة المدروسة

Data Rate	5 Mbps
Physical mode	DSSS
Channel Type	Erasure
RSS (Receiver Signal Strength)	-93Dbm
Packet Size	536 byte
Inter-arrival time	0.1 Sec

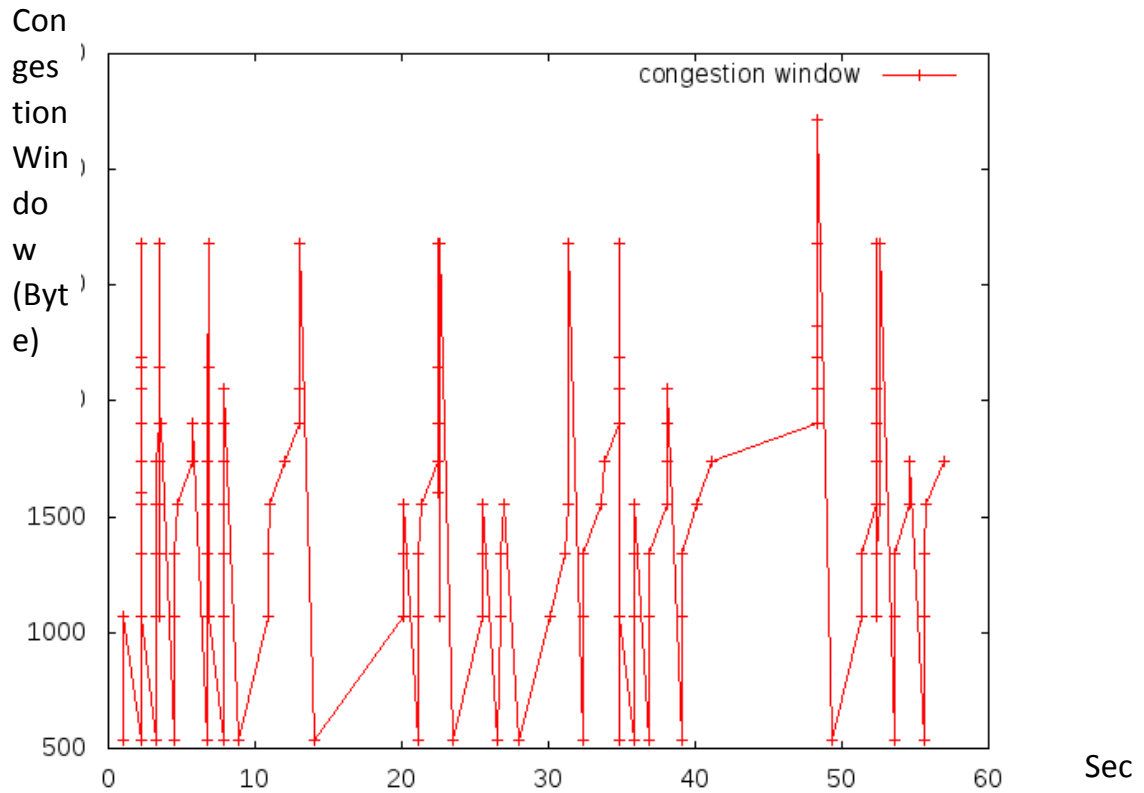
1.2 مقارنة أداء الترميز RLNC مع البروتوكول TCP في حالة الإرسال الوحيد Unicast:

تم في هذه الحالة دراسة ومحاكاة شبكة Ad Hoc المبنية في الشكل (2) والمؤلفة من عقدة مصدر (مخدم) وعقدة هدف (زبون)، بفرض وجود نسبة ضياع 30% في الوصلة اللاسلكية بين العقدتين. يطلب الزبون من المخدم تطبيق تصفح الويب (HTTP) لملفات بحجم 100Kbyte، تم المقارنة بين أداء كل من بروتوكول TCP وترميز الشبكة الخطي العشوائي عند النقل الموثوق لملفات التطبيق المذكور.

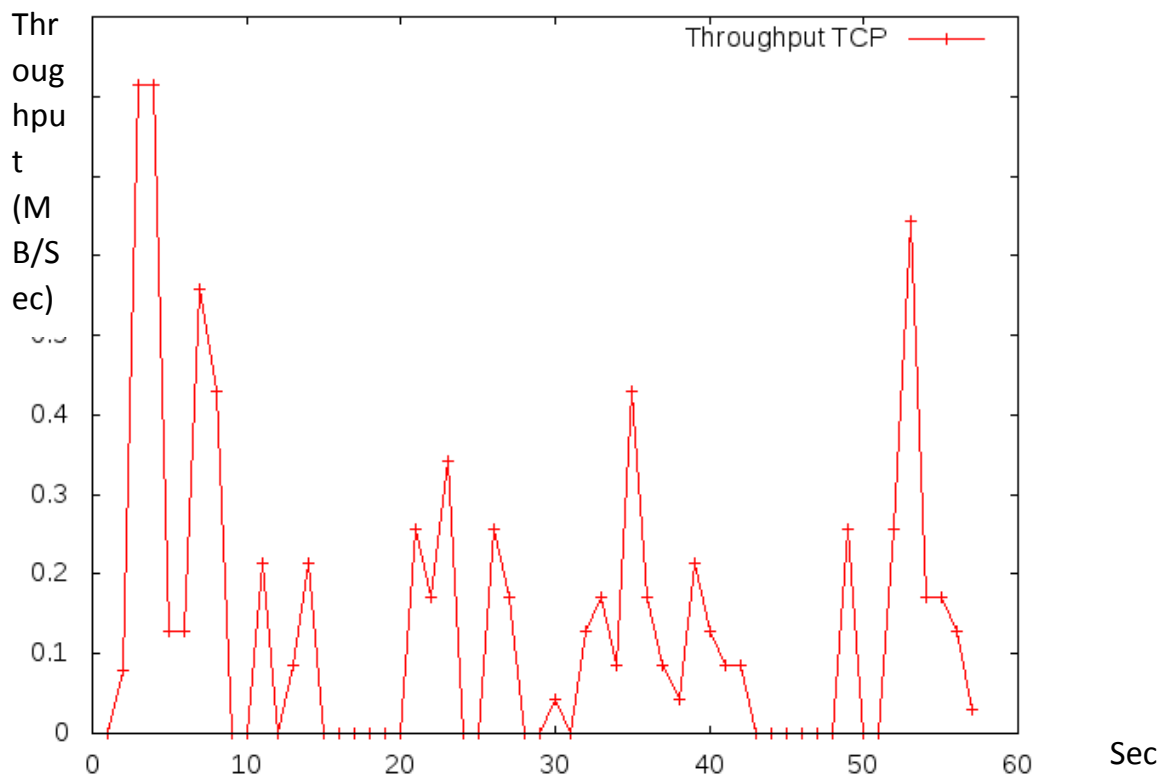


الشكل (2) شبكة Ad Hoc وحيدة القفزة بحالة الإرسال Unicast

تبين النتائج الموضحة في الشكل (3) حجم نافذة الازدحام لبروتوكول TCP مقدر بالبايت. نلاحظ أن حجم هذه النافذة ينخفض إلى قيمة حجم مقطع واحد عند كل حصول لعملية ضياع، تفسير ذلك هو لتقليل معدل الإرسال وتجنب الازدحام المفترض، ولكن حقيقة الأمر، إن سبب ضياع الرزم في هذه الشبكة هو الضياع المفروض في الوصلة اللاسلكية بين العقدتين وليس الازدحام، لكن لا تستطيع خوارزميات تجنب الازدحام التمييز بين ضياع الرزم لهذا السبب وضياعه بسبب الازدحام، ونتيجة ذلك فإن إنتاجية الشبكة سوف تنخفض نتيجة انخفاض معدل الإرسال، ويوضح الشكل (4) إنتاجية الشبكة وقيم انخفاضها في مقابل انخفاض قيمة حجم نافذة الازدحام. ويتبين بالنتيجة أن العقدة المصدر تحتاج إلى حوالي 60 ثانية من أجل إرسال ملفات بحجم 100 Kbyte بوجود ضياع بنسبة 30%.

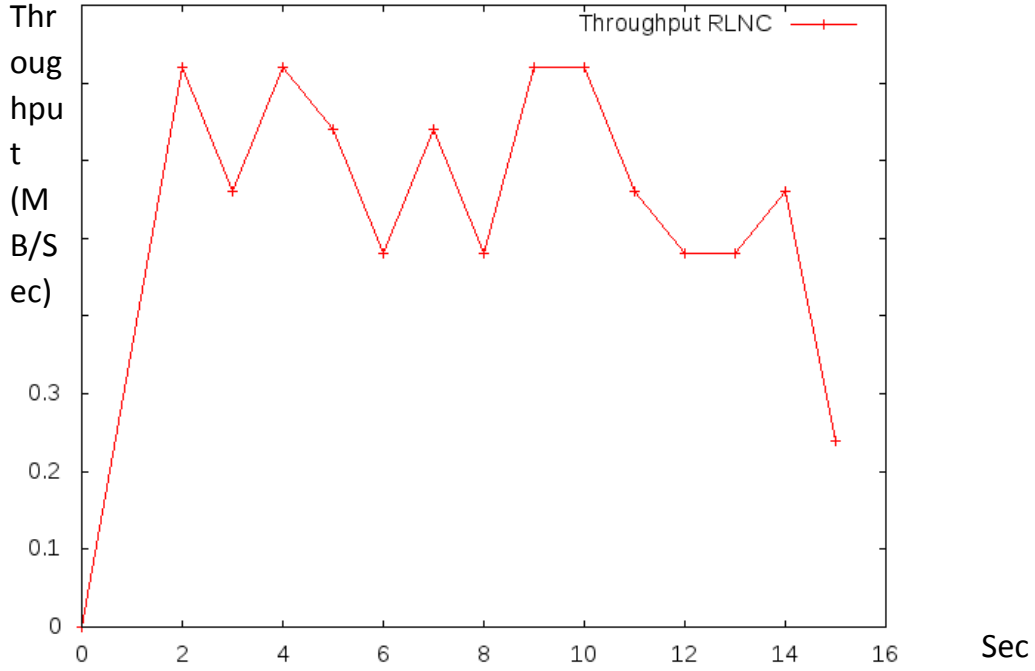


الشكل (3) حجم نافذة الازدحام لبروتوكول TCP

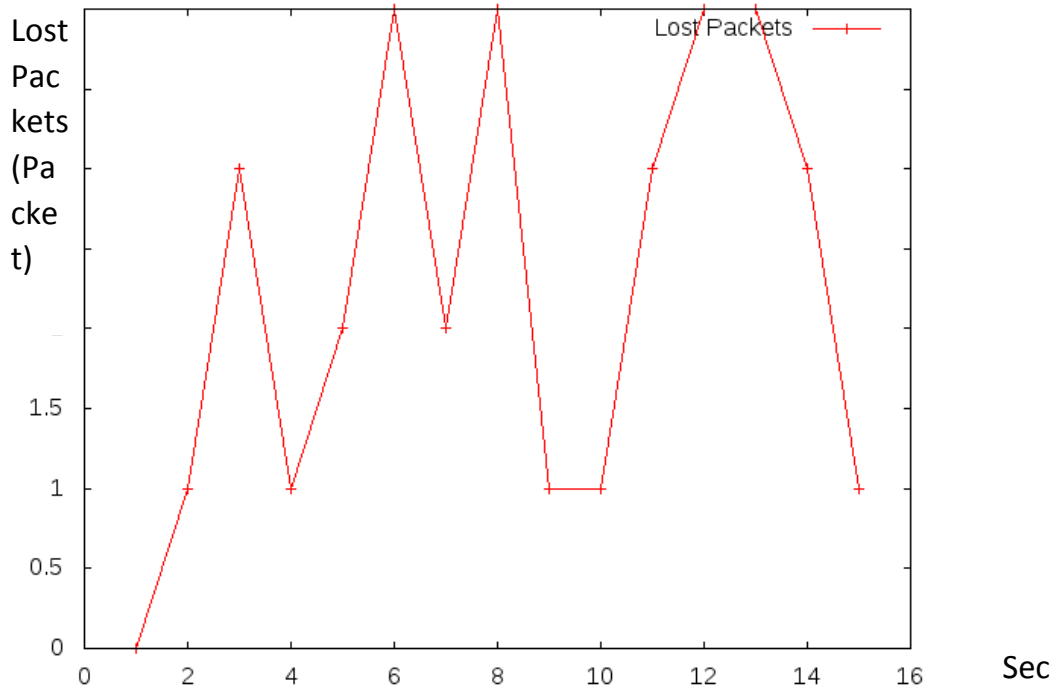


الشكل (4) إنتاجية الشبكة باستخدام بروتوكول TCP

أما باستخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي حيث لا توجد آليات للتحكم بالازدحام كما في البروتوكول TCP، عند حصول ضياع لبعض الرزم المرمزة من كتلة معينة فإن العقدة المصدر تستمر بعملية الإرسال المرمز إلى أن تستلم إشعار بنجاح عملية فك الترميز وحصول العقدة الهدف على كامل الرزم الأصلية بنجاح. وبذلك تحافظ الشبكة على قيمة عالية للإنتاجية، وتتنخفض هذه القيمة في مقابل الضياع الحاصل للرزم كما يبين الشكلين (4,5).



الشكل (5) إنتاجية الشبكة باستخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي



الشكل (6) الرزم الضائعة خلال الزمن

بالنتيجة تحتاج العقدة المصدر لتحقيق النقل الموثوق باستخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي لملفات التطبيق HTTP إلى حوالي 15 ثانية، بينما تحتاج إلى أربعة أضعاف هذا الزمن باستخدام البروتوكول TCP. ويوضح الجدول (2) مقارنة أزمنة نقل هذا الملفات من أجل قيم مختلفة للضياع في القناة اللاسلكية بين العقتين.

جدول (2) أزمنة الإرسال بالنسبة لطريقتي النقل الموثوق (TCP, RLNC) من أجل قيم مختلفة للضياع

Loss Rate	Transmission Time (sec)		Gain
	TCP	RLNC	
0%	11.1	10.9	1.8%
20%	35.5	13.1	63%
40%	102.1	16.4	83.9%
50%	259	19.2	92.5%

نستنتج مما سبق أن ترميز الشبكة RLNC يقدم أداء موثوق وفعال في مواجهة الضياع في هذه الشبكات، وبالمقابل ينخفض أداء بروتوكول TCP بزيادة نسبة الضياع في الوسط اللاسلكي حيث يصل نسبة ربح ترميز الشبكة بالنسبة لزمن الإرسال مقارنة بالبروتوكول TCP إلى حوالي 92% من أجل نسبة ضياع 50%.

2.3 مقارنة أداء الترميز RLNC مع البروتوكول ARQ في حالة الإرسال المتعدد:

عملية مقارنة الأداء السابقة كانت مع بروتوكول TCP الذي يحتوي خوارزميات التحكم بالازدحام، أما بهذه الحالة فتمت المقارنة مع بروتوكول ARQ الذي لا يطبق خوارزميات تحكم بالازدحام كما في ترميز الشبكة RLNC.

1.2.3 مقارنة الأداء من حيث نسبة الضياع في الوسط:

تم في هذه الحالة مقارنة أداء عملية النقل الموثوق لشبكة Ad Hoc بحالة الإرسال المتعدد بين بروتوكول ARQ وترميز الشبكة RLNC بالنسبة للقيم المختلفة للضياع في الوصلات اللاسلكية لهذه المستقبلات. تتألف الشبكة المدروسة من مصدر وثلاث مستقبلات، تقوم العقدة المصدر بإرسال ملفات لتطبيق تصفح الويب إلى المستقبلات بواسطة الإرسال الإذاعي. تمت عملية مقارنة الأداء من حيث متوسط عدد عمليات الإرسال ETX (Expected Transmission Count) اللازمة لإرسال كل من هذه الملفات.



الشكل (6) شبكة Ad Hoc بحالة الإرسال Multicast

جدول (3) عدد عمليات الإرسال بالنسبة لطريقتي النقل (ARQ, RLNC) من أجل القيم المختلفة للضياع

Loss Rate	Number Of Files	ETX (Average)		Gain
		ARQ	RLNC	
10%	100	130	111	14.6%
20%	100	163	130	20.25%
30%	100	203	139	31.52%
40%	100	249	164	34.13%
50%	100	316	208	34.17%
60%	100	411	262	36.25%

تظهر النتائج في الجدول السابق أن متوسط عدد عمليات الإرسال الكلية باستخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي أقل منها باستخدام البروتوكول ARQ، ومرد ذلك إلى فعالية هذا الترميز بتصحيح الضياع وتحقيقه لوثوقية النقل بسرعة كبيرة. لذلك فهو يقدم ربح لأداء الشبكة بالمقارنة مع البروتوكول ARQ بالنسبة لعدد عمليات الإرسال، ويزداد هذا الربح بزيادة نسبة الضياع في الشبكة.

2.2.3 مقارنة الأداء من حيث عدد المستقبلات في الوسط:

تم في هذه الحالة مقارنة أداء عملية النقل الموثوق لشبكة Ad Hoc بحالة الإرسال المتعدد بالنسبة لعدد المستقبلات الخاصة بعملية الإرسال المتعدد بفرض وجود نسبة ضياع 30% لجميع هذه المستقبلات.

جدول (4) عدد عمليات الإرسال بالنسبة لطريقتي النقل الموثوق (ARQ, RLNC) من حيث عدد المستقبلات

Number of Receivers	Number Of Files	ETX (Average)		Gain
		ARQ	RLNC	
2	100	174	139	20.11%
3	100	203	139	31.52%
4	100	222	141	36.48%
5	100	240	152	36.6%
6	100	255	152	40%
7	100	266	157	41%
8	100	276	161	41.66%
10	100	293	155	47%

تبين النتائج السابقة أن متوسط عدد عمليات الإرسال الكلية لعملية النقل الموثوق لملفات تطبيق HTTP باستخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي أقل من عددها باستخدام البروتوكول ARQ، مما يقدم ربحاً لأداء الشبكة بالنسبة لعدد عمليات الإرسال ويزداد هذا الربح بزيادة عدد المستقبلات في الشبكة.

الاستنتاجات والتوصيات:

بعد دراسة استخدام ترميز الشبكة الخطي العشوائي لتحقيق عملية النقل الموثوق في الشبكات اللاسلكية بحالتي الإرسال المتعدد والوحيد ومقارنة أدائه مع أداء البروتوكولين (TCP, ARQ)، نستنتج أن هذا الترميز يحقق وثوقية نقل البيانات بالدرجة الأولى ويقدم أداء فعال في عملية النقل الموثوق، حيث أنه بالمقارنة مع البروتوكول TCP يعالج ضياع الرزم بشكل حقيقي ويقدم إنتاجية نقل أعلى، كما أنه يقلل عدد عمليات الإرسال بحالة الإرسال المتعدد مقارنة بالبروتوكول ARQ، ويقدم ربح لأداء الشبكة بزيادة عدد المستقبلات وكذلك بزيادة نسبة الضياع في الوسط. أبرز

التوصيات للعمل المستقبلي هو دراسة فعالية استخدام الترميز RLNC من أجل عملية النقل الموثوق لتطبيق الفيديو بحالة الإرسال المتعدد في الشبكات اللاسلكية المحلية ذات الضياع، حيث من المتوقع أن يقدم هذا الترميز أداء فعال من حيث الزمن لعملية النقل الموثوق الخاصة بهذا التطبيق.

المراجع:

- [1] Andrea Goldsmith, "Wireless Communication", Cambridge University Press, 1st South Asian Edition 2009.
- [2] P. Bhagwat, P. P. Mishra, and S. K. Tripathi, "Effect of topology on performance of reliable multicast communications," in Proc. IEEE INFOCOM, Toronto, Canada, June 1994, pp. 602–609.
- [3] B. Sardar and D.Saha, "A survey of TCP enhancements for last-hop wireless networks," IEEE. Surveys and Tutorials, Vol. 8, pp. 20-34, 2006.
- [4] R. Ahlswede, N. Cai, S.-Y. Li, and R. W. Yeung. Network information flow. Information Theory, IEEE Transactions on, 46(4):1204-1216, 2000.
- [5] Ralf Koetter and Frank R. Kschischang, "Coding for Errors and Erasures in Random Network Coding", IEEE Tran. on Information Theory, Vol. 54, No. 8, pp. 3579-3591 August 2008.
- [6] OSTOVARI, P.; Wu, J.; Khreishah, A. Network Coding Techniques for Wireless and Sensor Networks., Springer, Vol. 1, 2014, 129-162.
- [7] MEDARD, M.; SPRINTSON, A. Network Coding Fundamentals and Applications, Elsevier, ISBN: 978-0-12-380918-6, 2012, 332.
- [8] M. Pedersen, J. Heide, and F. Fitzek. Kodo: An open and research oriented network coding library. In Networking 2011 Workshops, volume 6827 of Lecture Notes in Computer Science, pages 145-152. Valencia, Spain, 2011.
- [9] T. Ho, M. Medard, R. Koetter, D. R. Karger, M. Eros, J. Shi, and B. Leong. A random linear network coding approach to multicast. Information Theory, IEEE Transactions on, 52(10):4413-4430, 2006.
- [10] "The TCP/IP guide" in <http://www.tcpipguide.com/>
- [11] James F. Kurose, Keith W. Ross. Computer networking: a top-down approach, 6th ed. ISBN-10: 0-13-285620-4. 2013, pp 204-280.
- [12] Ns3 official website, [Online]. Available: <https://www.nsnam.org/> .
- [13] Néstor J. Hernández M. et al. Getting Kodo: Network Coding for the ns-3 Simulator. WNS3 '16 Proceedings of the Workshop on ns-3, ISBN: 978-1-4503-4216-2. Seattle, WA, USA — June 15 - 16, 2016.