مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

تحسين جودة الخدمة لتطبيقات الزمن الحقيقي وغير الحقيقي عبر شبكة الانترنت

الدكتور محمد حجازية*

(تاريخ الإيداع 6 / 2 / 2017. قُبِل للنشر في 7/ 3 / 2017)

□ ملخّص □

تُصنف الخدمات التي يطلبها المستخدمون عبر شبكة الانترنت إلى نوعين أساسيين، خدمات تعمل بالزمن الحقيقي مثل تطبيقات الفيديو والصوت بالزمن الحقيقي وهي تستخدم بروتوكول UDP (Unit Datagram Protocol)، وخدمات أخرى تعمل بالزمن غير الحقيقي مثل تطبيقات تصفح الويب HTTP (Hiyber Text Transfer Protocol) ونقل الملفات FTP (File Transfer Protocol) وتستخدم بروتوكول TCP(Transmission Control Protocol). يتم في هذا البحث دراسة وتحليل الخوارزميات التي تحسن جودة الخدمة لمختلف هذه التطبيقات، فمن أجل تطبيقات الزمن الحقيقي يتم استخدام قواعد الرتل التي تعطي أفضلية لهذه الخدمات وتحقق أقل تأخير زمني، أما من أجل تطبيقات الزمني غير الحقيقي فيتم دراسة خوارزميات التحكم بالازدحام التي تحقق أفضل أداء لعملية النقل الموثوق بوجود الازدحام عبر شبكة الانترنت. تم استخدام برنامج المحاكاة Opnet 14.5 لمحاكاة الخدمات المختلفة عبر شبكة الانترنت، وتبين نتائج الدراسة الحصول على أقل تأخير زمني لخدمة الصوت، وتحقيق معدل إرسال عالي لتطبيق FTP بوجود ضياع للرزم في الشبكة.

الكلمات المفتاحية: تطبيقات الزمن الحقيقي، تطبيقات الزمن غير الحقيقي، TCP، التحكم بالازدحام ،قواعد الرتل، خوارزمية البداية البطيئة، تجنب الازدحام، خوارزمية إعادة الإرسال السريع والاستعادة السريعة

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

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (39) العدد (1) 2017
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (39) No. (1) 2017

Enhancing the Quality of Service for Real Time and non-Real Time Application via Internet Network

Dr. Mohammed Hijazieh*

(Received 6 / 2 / 2017. Accepted 7 / 3 / 2017)

□ ABSTRACT □

Services that demanded by users via internet network are classified in two main kinds, Services work in real time such as video and voice in real time and use UDP protocol, and other services that work in non-real time such as web browsing (HTTP) and file transfer (FTP) which use TCP Protocol.

In this research, we study and analyze algorithms that enhance the quality of service for various applications. For real time application, we use queues disciplines, which gives high priority for these services and achieves minimum delay. For non-real time application, we study congestion control algorithms, which achieve best performance for reliable transfer process with existing the congestion in the network. We used OPNET 14.5 program for simulating various services via internet network. Simulation results show achieving minimum delay for voice service, and achieving high transmission rate for FTP application with existing of packets loss in the network.

Key words: Real Time application, non-real time application, Congestion Control, Queue disciplines, Slow start algorithms ,Congestion avoidance algorithms, Fast retransmit and Fast recovery.

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

مقدمة:

يعد بروتوكول التحكم بالنقل TCP برتوكول طبقة النقل المسؤول عن تحقيق وثوقية النقل للمعطيات في شبكة الانترنت، ولتحقيق ذلك يحتوي هذا البروتوكول على آليات محددة مثل التحكم بالتدفق وتجنب الازدحام والترقيم التسلسلي للمقاطع المرسلة والإشعار باستلام هذه المقاطع [1]. ومن الخدمات التي تستخدم هذا البروتوكول لتحقيق عملية النقل الموثوق هي خدمات تصفح الويب وخدمة نقل الملفات وخدمة البريد الإلكتروني، حيث يكون مهم بالنسبة لهذه الخدمات وثوقية النقل أكثر من زمن النقل ولذلك تسمى خدمات زمن غير الحقيقي. ولتحقيق جودة الخدمة لهذه الخدمات باستخدام البروتوكول TCP يتم استخدام خوارزمية للتحكم بالازدحام في شبكة الانترنت، حيث تمنع هذه الخوارزمية المرسل من تجاوز السعة المحددة للشبكة (مثلاً، وصلات الـ WAN البطيئة). ويمكن لبروتوكول TCP ملاءمة معدل المرسل بحيث يصبح مناسباً سعة الشبكة ويحاول تجنب مواقف الازدحام المحتملة. وإن إدارة البروتوكول لعملية التحكم بالازدحام تعتمد على نافذة تسمى نافذة الازدحام، وهذا يعني أن البروتوكول يغير حجم النافذة للتكيف مع حالة الازدحام الموجودة، وهنالك تحسينات مختلفة لخوارزميات الازدحام أضيفت واقترحت لبروتوكول TCP عبر السنين [2]. سندرس أبرز هذه التحسينات والتي تحقق أفضل جودة خدمة لهذه التطبيقات. أما بالنسبة لتطبيقات الزمن الحقيقي التي يعتبر التأخير الزمني موضوع حساس جداً لذلك فهي تهتم بموضوع الزمن أكثر من وثوقية النقل على خلاف تطبيقات الزمن غير الحقيقي، ولذلك فهي تستخدم بروتوكول مخطط المستخدم UDP، وهو كذلك بروتوكول طبقة النقل ولكنه لا يحتوي على الآليات الموجودة في بروتوكول TCP، لذلك فهو يحقق سرعة نقل لهذه الخدمات ولكن على حساب وثوقية النقل. ولتحسين جودة الخدمة لتطبيقات الزمن الحقيقي عبر شبكة الانترنت وبوجود الازدحام والاختناقات في الشبكة، تم استخدام قواعد الرتل في الموجهات بحيث يتم إعطاء أفضلية لخدمات الزمن الحقيقي على الخدمات الأخرى[3]. تحدد هذه القواعد أي الرزم يجب إرسالها وأي الرزم التي يمكن تأخيرها، لذلك فهي تؤثر بشكل أساسي على التأخير الزمني للرزم في الشبكة. وسندرس قواعد الرتل التي تحقق أقل تأخير زمني لخدمة الصوت وبالتالي أفضل جودة خدمة لهذه التطبيقات.

أهمية البحث وأهدافه:

يهدف هذا البحث إلى تحسين جودة الخدمة لتطبيقات الزمن الحقيقي وغير الحقيقي في شبكة الانترنت، فمن أجل تطبيقات الزمن غير الحقيقي تم دراسة وتحديد أفضل خوارزميات التحكم بالازدحام الموجودة في البروتوكول TCP والتي تُحقق معدل إرسال عالي بوجود ازدحام وضياع للرزم في الشبكة، أما من أجل تطبيقات الزمن الحقيقي فتم إعطاء تطبيق مبدأ الأفضلية في هذه التطبيقات باستخدام قواعد الرتل مما يُقلل من التأخير الزمني بشكل كبير ويُصبح التأخير مناسب بالرغم من الازدحام الكبير في الشبكة.

طرائق البحث ومواده:

1 - خوارزميات النقل الموثوق في البروتوكول TCP[4,5]:

أبرز خوارزميات التحكم بالازدحام في البروتوكول TCP هي خوارزمية البداية البطيئة مع تجنب الازدحام وخوارزمية إعادة الإرسال السريع والاستعادة السريعة.

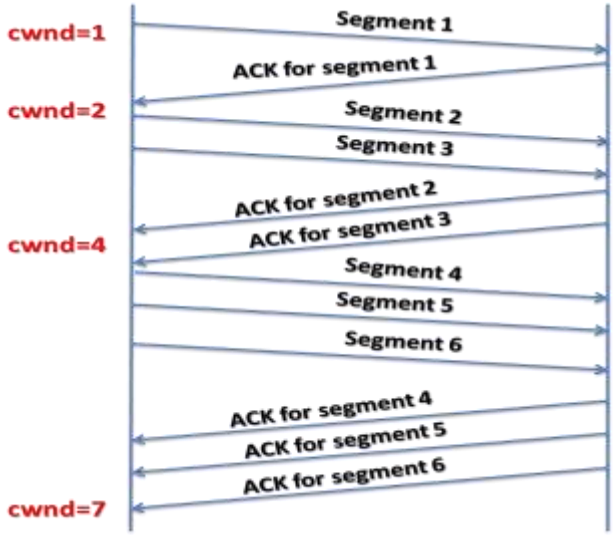
1 ‡ خوارزمية البداية البطيئة (Slow start) وتجنب الازدحام (Congestion avoidance):

– **خوارزمية البداية البطيئة (Slow start)** و تجنب الازدحام **(Congestion avoidance)**:

مبدأ هذه الخوارزمية هو أن معدل وضع رزم جديدة في الشبكة يتحدد بمعدل استقبال الإشعارات بالاستلام (ACK) من طرف المستقبل. و يتم وفق هذه يتم الخوارزمية مضاعفة الرزم في كل مرة يتم فيها استلام الاشارات ACK.

تستخدم هذه الخوارزمية عند مرسل TCP بارامتر هو نافذة الازدحام congestion window(cwnd) وهي عبارة عن متغير يُعبر عن عدد الرزم التي يرسلها المصدر TCP من اجل كل اتصال قبل استلام إشعار تأكيد الاستلام Ack وحجم هذه النافذة يتحكم بمعدل الرزم المنقولة في تدفق المعطيات بين المصدر والمستلم.[9]

عندما يتم تأسيس اتصال جديد مع مضيف في شبكة أخرى، يتم يتحدد حجم نافذة الازدحام بمقطع واحد فقط، يبدأ المرسل بإرسال مقطع واحد وينتظر وصول الإشعار ACK الخاص به. عندما يتم استقبال هذا الإشعار، فإن نافذة الازدحام تزداد بمقدار واحد لتُصبح قيمتها اثنان، وبذلك يمكن إرسال مقطعين. وعندما يتم وصول إشعار لهذين المقطعين، تزاد نافذة الازدحام إلى أربعة، وهذا يعني ازدياد أسي لحجم النافذة. ويمكن للمرسل إرسال القيمة الأقل لنافذة الازدحام أو النافذة المعلنة. حيث أن نافذة الازدحام يتم التحكم بها بواسطة المرسل عن طريق تقدير قيمة الازدحام في الشبكة، بينما النافذة المعلنة فيتم التحكم بها بواسطة المستقبل وهي متعلقة بكمية مجال التخزين المتوفر لدى المستقبل لهذا الاتصال. الشكل (1)



الشكل (1) خوارزمية البداية البطيئة Slow Start

تبدأ Slow Start بإرسال المعطيات بمعدل بطيء بداية تكون رزمتين cwndINT =1 ولكن يزداد بشكل سريع(أسي) وكذلك إشعارات الاستلام الواصلة من المستلم حتى الوصول إلى إحدى الحالتين:

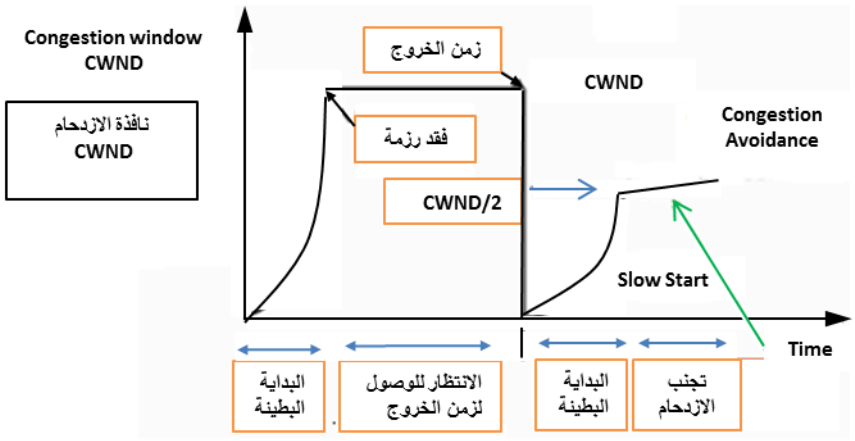
– خسارة محددة exponential

– الوصول للعتبة (sst) slow-start threshold

حيث: عتبة البداية البطيئة slow-start threshold: هي القيمة التي توقف البداية البطيئة الابتدائية initial slow-start وتتابع بعدها خطيا.

و زمن الخروج timeout: هو الزمن الذي يحدد عند حدوث خسارة رزمة عند حدوث خسارة محددة فإن نافذة الازدحام cwnd تُقسم إلى النصف وعند الوصول لزمن الخروج time_out توضع قيمة عتبة البداية البطيئة sst مساوية لمنتصف نافذة الازدحام أي sst=cwnd/2 أما قيمة حجم نافذة الازدحام تعود لقيمتها الابتدائية $cwndINT=1$.

بعد وصول النافذة إلى العتبة التي تعرف كعتبة البداية البطيئة sstأي $cwnd > sst$ تبدأ **إجرائيات تجنب الازدحام** حيث يزداد عرض النافذة cwnd بشكل بطيء بمعدل خطي أي بمعدل رزمة واحدة خلال زمن الذهاب والإياب والشكل (2) يوضح آلية مرحلتي slow –start وتجنب الازدحام [10,11]

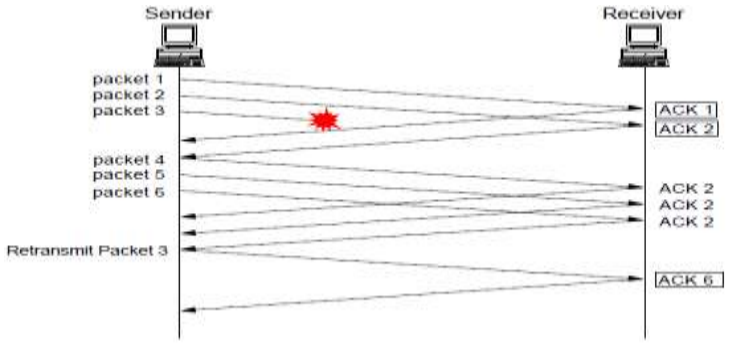


الشكل (2) آلية مرحلتي slow –start وتجنب الازدحام

تجدر الاشارة إلى ان خوارزمية البداية البطيئة (Slow start) و تجنب الازدحام (Congestion avoidance تعتبر بمثابة خوارزميتين مستقلتين وبأهداف مختلفة ولكن تعملان معاً وبشكل متلازم، فعند حصول الازدحام يجب على TCP أن يُقلل معدل إرساله للرزم في الشبكة باستخدام خوارزمية تجنب الازدحام، ويستدعي خوارزمية البداية البطيئة لجعل آلية العمل تبدأ من جديد بهدف زيادة معدل الإرسال عند تجنب حالة الازدحام الموجودة.

2-1 خوارزمية إعادة الإرسال السريع والاستعادة السريعة (Fast retransmit and Fast Recovery): خوارزمية إعادة الإرسال السريع تزيد معدل الإرسال في الشبكة، وذلك بأن تمنع انتظار حصول نفاذ الزمن (timeout) لإعادة إرسال المقاطع الضائعة عند استقبال نفس الإشعار ثلاث مرات، وللتمييز بين حالة وجود عدم ترتيب بوصول الإشعارات عن حالة الضياع يتم انتظار وصول ثلاثة إشعارات متشابهة على التتالي، فيعتبر ذلك دليل قوي على حصول ضياع للمقطع المحدد، فيقوم TCP بتنفيذ إعادة إرسال سريع للمقطع المفقود دون انتظار حصول نفاذ المؤقت الزمني لإعادة إرسال هذا المقطع، مما يسرع من عملية الاستعادة لهذه المقاطع الضائعة.

الشكل (3)



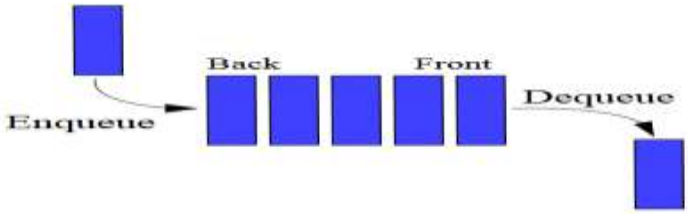
الشكل (3) خوارزمية إعادة الإرسال السريع والاستعادة السريعة

2 - قواعد الرتل (الترتيب) (Queue Despline)[6,7] :

كجزء من آليات تخصيص الموارد يجب على كل موجه أن يطبق بعض قواعد الرتل التي تحكم كيف يمكن للرزم أن تُخزن ريثما يتم إرسالها، يتم دراسة القواعد الأساسية للرتل (FIFO, PQ, WFQ) واستنتاج القواعد المناسبة التي تحسن جودة الخدمة لتطبيقات الزمن الحقيقي في شبكة الانترنت.

2-1 رتل الداخل أولاً – خارج أولاً (FIFO) First In First Out:

تُعد من أقدم قواعد الرتل وأبسطها، تقوم فكرة الرتل FIFO على أن أول رزمة تصل إلى الموجه هي أول رزمة يجب أن ترسل، وبفرض أن مساحة الرتل لكل موجه تكون محدودة، إذا وصلت الرزمة إلى الرتل وكان الرتل ممتلئ سوف يُهمل (يُسقط) الموجه الرزم الواردة، وهذا يتم بصرف النظر عن نوع مسار الرزم أو عن أهمية الرزم فيه الشكل (3)

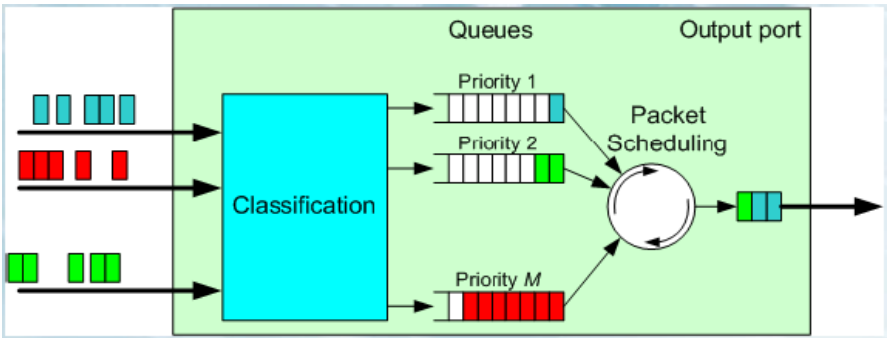


الشكل (3) الترتيب الداخل أولاً – خارج أولاً First In First Out (FIFO)

2 2 الرتل حسب الأفضلية Priority Queuing (PQ) :

فكرة هذا الرتل تقوم على إعطاء أفضلية إرسال أعلى للرزم ذات الأهمية العالية. حيث يتم الإشارة لكل رزمة بأفضلية معينة، ويكون ذلك من خلال حقل نوع الخدمة (ToS) في IP Datagram، ومن ثم يقوم الموجه بإنشاء عدة أرتال FIFO، كل رتل من أجل صنف معين من درجات الأفضلية، وضمن كل رتل أفضلية تكون الإدارة بطريقة FIFO. بناءً على ذلك، تصنف الحركة (Traffic) حسب درجة الأفضلية وتذهب إلى واحد من ثلاث أرتال: عالي- متوسط – منخفض. وعندما يصبح الموجه جاهز لإرسال الرزم فإنه يبحث في الرتل ذو أعلى أفضلية ، إذا وجد فيه رزمة فإنه يبدأ بإرسالها وإلا فإنه ينتقل للبحث في الرتل ذو الأهمية المتوسطة، وأيضاً إذا وجد رزمة يبدأ بإرسالها وإلا يبحث في الرتل ذو الأفضلية المنخفضة. ومن أجل عملية إرسال الرزمة التالية فإنه يكرر نفس خطوات الآلية السابقة الشكل (4). يتميز(**PQ**) بأن تخصيص الأفضلية فيه يكون صارم للتحكم بترتيب خدمة الأرتال، كما ان الأفضلية

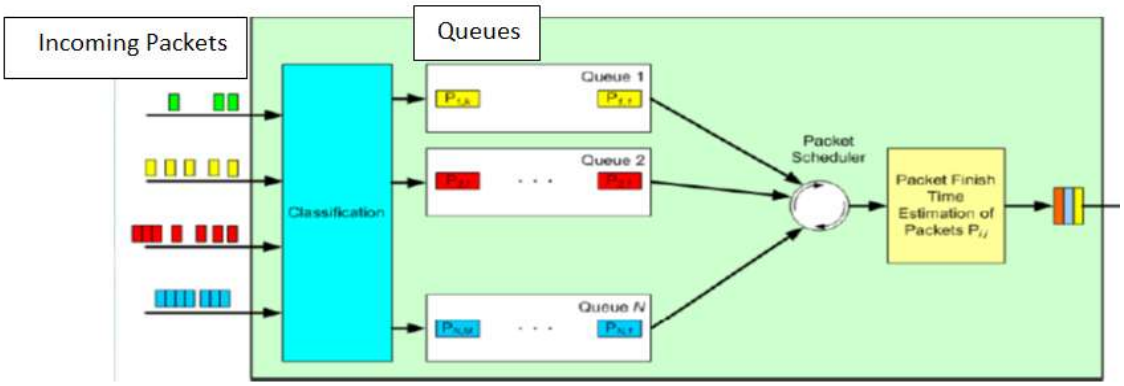
تكون في هذا النظام ذات قيم مطلقة و لذلك يُستخدم **(PQ)** بشكل أساسي في الأنظمة التي تحتاج أفضلية عالية لخدمات الزمن الحقيقي،مثلVoIP.[10,11]



الشكل (4) الترتيب حسب الأفضلية Priority Queuing (PQ)

3-2 الرتل العادل الموزون Weighted Fair Queuing (WFQ):

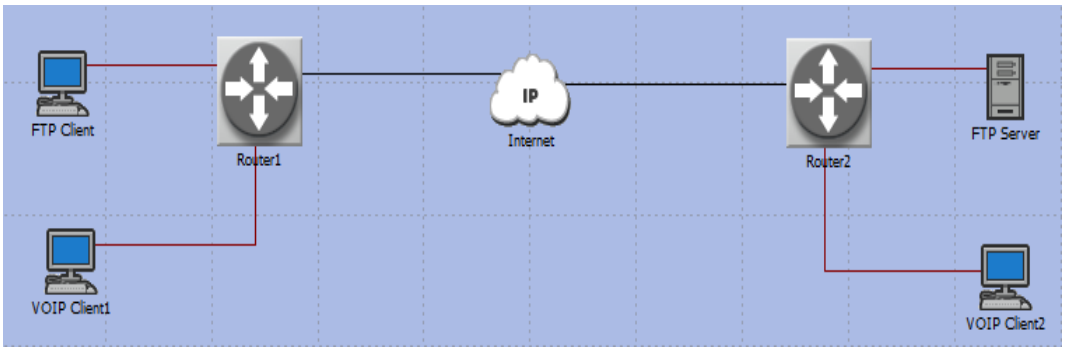
مبدأ قاعدة الرتل WFQ هو الاحتفاظ بأرتال رزم بيانات منفصلة من أجل كل مسار يُعالج من قبل الموجه، ومن ثم يخدم الموجه هذه الأرتال بطريقة دورية (round-robin) من خلال أوزان مخصصة لكل مسار، بحيث يتم إعطاء أولوية لخدمات معينة ولكن هذه الأولوية ليست مطلقة، فيتم بالوقت نفسه تخديم تطبيقات أخرى ولو بشكل نسبي حيث يتميز أسلوب العمل في **(WFQ)** بالتعامل مع رزم البيانات المختلفة بشكل مختلف، حسب الصنف الذي تتبع إليه الرزمة، كما ان معدل ارسال البيانات النسبي مستقل عن طول الرزمة حيث يخصص لكل رتل وزن معين متناسب مع عرض الحزمة المطلوب الشكل (5).



الشكل (5) الترتيب العادل الموزون Weighted Fair Queuing (WFQ)

النتائج والمناقشة:

الشبكة المدروسة هي شبكة WAN تتألف من موجهين تتصلان عبر شبكة الانترنت كما يبين الشكل (6)، يتصل بهاذين الموجهين طرفيات تستخدم خدمات متنوعة بالزمن الحقيقي وبالزمن غير الحقيقي، تم محاكاة هذه الشبكات باستخدام برنامج Opnet 14.5 [11]. وتم دراسة هذه الشبكة وقياس الأداء بعدة حالات من أجل تطبيقات الزمن الحقيقي وتطبيقات الزمن غير الحقيقي باستخدام الخوارزميات المختلفة.



الشكل (6) الشبكة المدروسة

تمت الدراسة على الشبكة المقترحة وفقاً للبارامترات المبينة في الجدول (1):

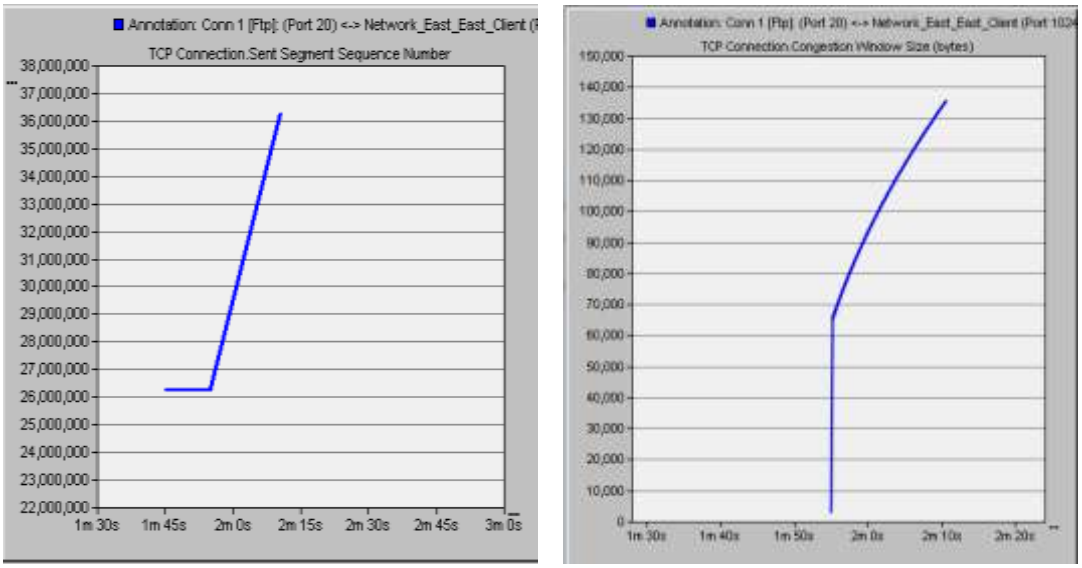
جدول (1) بارامترات الشبكة المدروسة

Non Real Time Application	FTP
Real Time Application	Voice
Data Rate	WAN Link (1.544 Mbps) Ethernet Link (10 Mbps)
Network Scale	WAN
Simulation Duration	10 minute

3-1 دراسة خوارزميات الازدحام لتطبيقات الزمن الحقيقي:

<u>الحالة الأولى:</u> حالة عدم وجود ضياع للرزم في الشبكة:

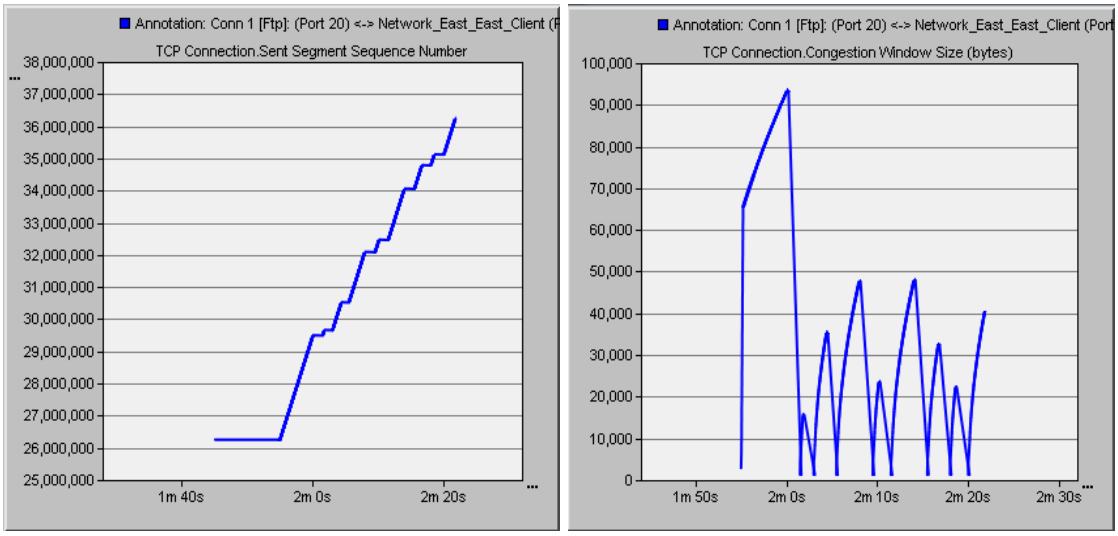
تمت الدراسة من أجل الحالة المثالية حيث لا يوجد ضياع في شبكة الانترنت التي تصل بين الموجهين، ووفقاً لنتائج المحاكاة نجد ان التزايد الأسي في منحني نافذة الازدحام حيث يكون هنا الدور الأساسي لخوارزمية Slow Start بسبب عدم حصول ضياع في الشبكة الشكل (7a) و كذلك نلاحظ استمرارية التزايد الخطي في منحني مقاطع TCP المرسلة دون تشوه(7b).



(a) نافذة الازدحام **(b) مقاطع TCP المرسلة**

الشكل (6) أداء خوارزمية Start Slow بحال عدم وجود ضياع

الحالة الثانية: أداء خوارزمية Start Slow في حالة وجود ضياع في الشبكة بنسبة 0.05%:



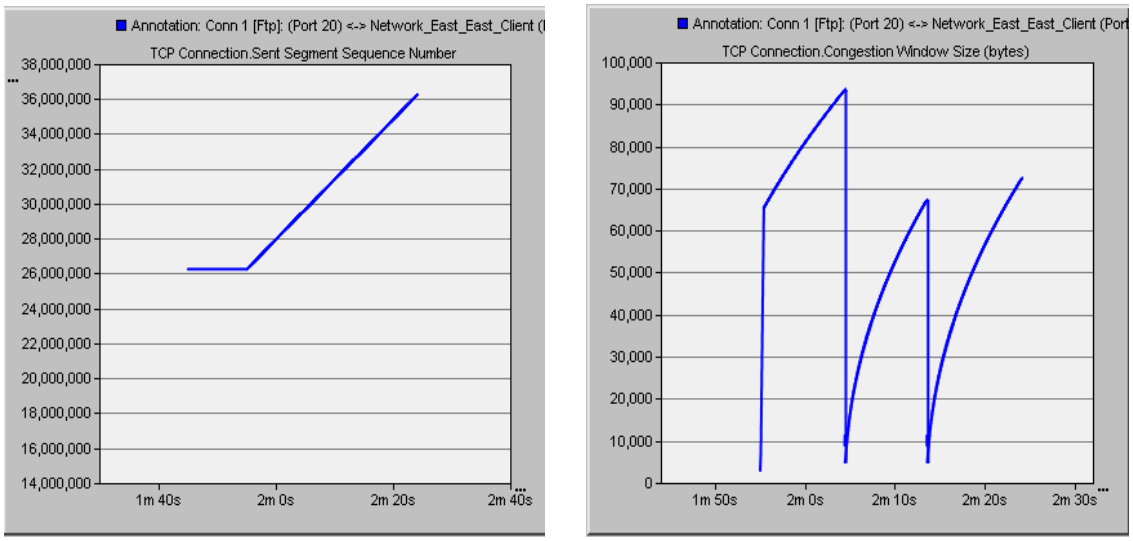
(a) نافذة الازدحام **(b) مقاطع TCP المرسلة**

الشكل (8) أداء خوارزمية Start Slow بحال وجود ضياع 0.05%

نجد التغيرات الكثيرة لحجم نافذة الازدحام باستخدام آلية Slow Start في الحالة الثانية، حيث أنه في خوارزمية Slow Start يتم انتظار انتهاء المؤقتات الزمنية (Timeout) حتى تحصل عملية إعادة الإرسال، مما يؤدي إلى أولاً تأخير زمني وثانياً تنقسم نافذة الازدحام إلى النصف عند كل عملية Timeout مما يقلل من معدل الإرسال ويبطئ عملية استعادة الرزم المفقودة في الشبكة(8b)، ويأخذ منحني عدد المقاطع المرسلة نتيجة ذلك شكل متغير وغير خطي كما في الحالة الأولى(8a).

الحالة الثالثة: أداء خوارزمية Fast Retransmit بحال وجود ضياع في الشبكة بنسبة 0.05%:

باستخدام خوارزمية Fast retransmit and Fast recovery تكون نافذة الازدحام ذات تغيرات أقل وقيمة أكبر لحجم النافذة كما يبين الشكل (9b) و. يعود السبب في ذلك إلى آلية إعادة الإرسال السريع والتي تسهم في استعادة الرزم بشكل أسرع ونتيجة ذلك يكون شكل منحني عدد رزم المقاطع المرسلة بشكل خطي(9a).



(a) نافذة الازدحام (b) مقاطع TCP المرسلة

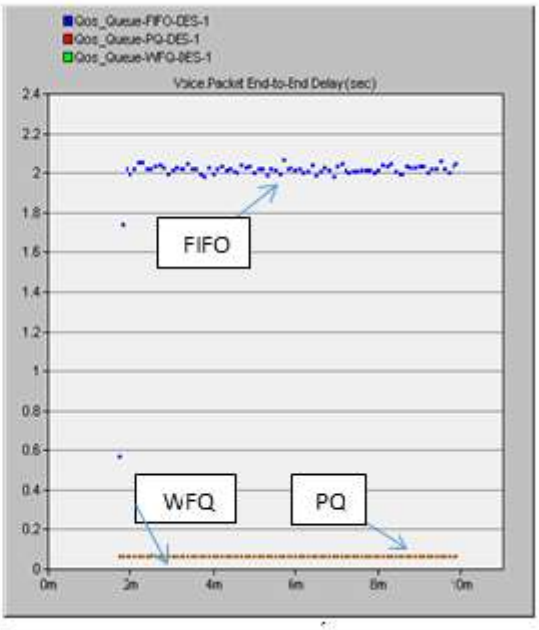
الشكل (9) أداء خوارزمية Fast Retransmit بحال وجود ضياع 0.05%

بمقارنة بارامتر عدد مقاطع TCP المرسلة في اتصالات TCP من أجل الحالات الثلاثة السابقة والمبينة في الشكل (10)، نجد الأداء المثالي تقريباً لخوارزمية إعادة الإرسال السريع بالرغم من وجود ضياع للرزم، حيث ينطبق تقريباً المنحني الخاص بهذه الحالة مع المنحني في الحالة الأولى عند عدم وجود أي ضياع للرزم، بينما تقل قيمة المنحني في حالة Slow Start مع وجود ضياع للرزم (الحالة الثانية) عن قيمة المنحنيين السابقين. أي أنه باستخدام خوارزمية إعادة الإرسال السريع يتم المحافظة على معدل إرسال عالي في حال وجود ضياع، وبذلك فإنه يتم تحقيق أفضل أداء لجودة الخدمة الخاصة بتطبيقات الزمن الحقيقي باستخدام هذه الخوارزمية.

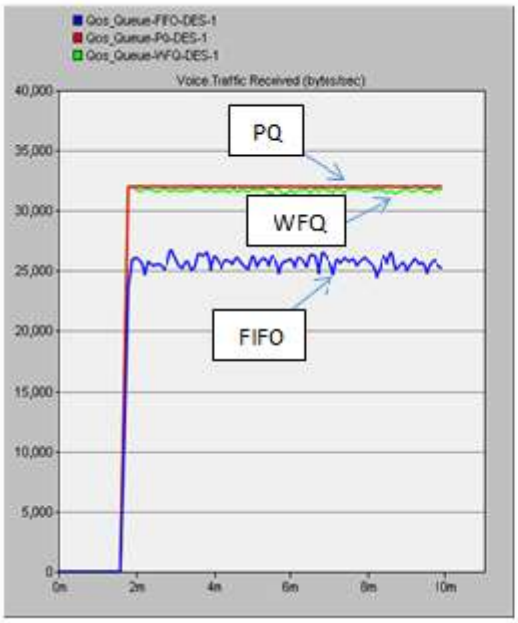
الشكل (10) مقاطع TCP المرسلة في الحالات الثلاثة المدروسة

3 2 دراسة قواعد الرتل بالنسبة لتطبيقات الزمن الحقيقي:

تم دراسة تطبيق الصوت عبر الانترنت وبوجود تطبيق FTP في الشبكة المبينة بالشكل (6) باستخدام القواعد الثلاثة للرتل (FIFO, PQ, WFQ). تبين نتائج المحاكاة المبينة في الشكل (11) التأخير الزمني للصوت في الشبكة لمختلف قواعد الرتل، وتكون قيمة التأخير الزمني من أجل الأرتال (WFQ,PQ) أقل من قيمتها من أجل الرتل (FIFO)، بسبب الأولوية التي تعطيها هذه الأرتال لخدمة الصوت فيتم تخديمها مباشرة ودون حصول انتظار، على خلاف القيمة الكبيرة للتأخير باستخدام الرتل FIFO كونه لا يوجد أي أفضلية لهذه الخدمة فتُخدم بحسب ترتيب وصولها إلى الموجه.



الشكل (11) التأخير الزمني لتطبيق الصوت



الشكل (12) البيانات المستقبلة لتطبيق الصوت

ويبين الشكل (12) قيمة البيانات المستقبلة للصوت باستخدام القواعد السابقة للرتل، وبمقارنة هذه النتائج نجد أنه في الأرتال PQ يتم إعطاء أفضلية مطلقة لبيانات الصوت لذلك يأخذ أكبر قيمة لحجم البيانات المستقبلة، بينما في الأرتال WFQ يتم إعطاء أفضلية كبيرة ولكن ليست مطلقة لبيانات الصوت لذلك تكون قيمة البيانات المستقبلة أقل بقليل من الحالة السابقة. وأخيراً في الرتل FIFO لا يوجد أولوية لهذا النوع من البيانات أو غيره، لذلك تكون قيمة البيانات المستقبلة للصوت أقل بكثير من قيمتها في الحالتين السابقتين وتكون قيمتها متغيرة بحسب ترتيب وصول بياناتها إلى الرتل المحدد.

الاستنتاجات والتوصيات:

تم في هذا البحث دراسة الخوارزميات المستخدمة مع تطبيقات الزمن الحقيقي وغير الحقيقي عبر شبكة الانترنت وتم التوصل الى أنه لتحسين جودة الخدمة لمختلف هذه التطبيقات يفضل استخدام خوارزمية إعادة الإرسال السريع مع الاستعادة السريعة حيث تُحقق معدل إرسال عالي مع استعادة سريعة للرزم الضائعة. وبالنسبة لتطبيقات الزمن الحقيقي تم دراسة تأثير و تحديد قواعد الرتل التي تحقق أقل تأخير زمني لهذه التطبيقات. وكأبرز التوصيات

للعمل المستقبلي هو دراسة تطبيقات الزمن الحقيقي وغير الحقيقي في الشبكات اللاسلكية المتصلة بالإنترنت واستنتاج الخوارزميات التي تحقق أفضل جودة الخدمة لهذه التطبيقات.

المراجع:

[1] CAVENDISH, D. GERLA,M. AND MASCOLO,S. *"A control theoretical approach to congestion control in packet networks,"* IEEE/ACM Trans .Network., vol. 12, no. 5, pp. 893–906, Oct. 2004.

[2] AZUMA, T. AND FUJITA :M. ``*Congestion Controlin Computer Networks"* , Journal of The Society of Instrument and Control Engineers, Vol. 41, No. 7, pp. 496--501 (2002--7)

[3] PETERSON, L.L. ; DAVIE, B.S. "*computer networks*", fourth edition, Elsevier, USA, 2007,pp. 461-475.

[4] JAMES; K, ROSS, K. COMPUTER NETWORKING: : *a top-down approach, sixth edition*, Pearson Education, ISBN-10: 0-13-285620-4, 2012, 588-623.

[5] SAPNA GUPTA, NITIN KUMAR SHARMA ; K.P. YADAV *"A Survey on Congestion Control & Avoidance",* Vol. 2 (9), 2012, 790-797

[6] WEI LIU, et al. TCP/IP Tutorial and Technical Overview. An IBM Redbooks publication. ISBN-13: 9780738494685, 2006, 313-350.

[7] BOBBI SANDBERG. *Networking The Complete Reference*, 3rd Edition, McGraw-Hill , 291-346.

[8] 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).

[9] KAROL MOLNÁR, Transmission Control Protocol III, BRNO UNIVERSITY Of TECHNOLOGY,2010

[10] MILLS, ET AL, Study Of Proposed Internet Congestion Control Mechanisms, NIST. Special Publication 2011

[11] http://www.riverbed.com/13/8/2016