مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (4) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (4) 2008

دراسة تأثير حجم مخزن الموجِّه في أداء الشبكات

الدكتور حسن عباس *
الدكتور احمد صقر احمد
رواد خضور***

(تاريخ الإيداع 9 / 7 / 2008. قُبِل للنشر في 2008/9/17)

□ الملخّص □

تزداد فعالية استخدام الوصلة ويتناقص ضياع الرزم نتيجة الازدحام الحاصل على الوصلة المزدحمة، من خلال اختيار قيم لحجوم مخزن الموجِّه تتناسب مع حالة الشبكة.

وسندرس في هذا البحث القيم التي يمكن أن تأخذها حجوم هذه المخزنات بحيث تحقق متطلبات التخزين، وتأثير تغير حجم المخزن على زمن تأخير الرتل (Queue delay)، معدل ضياع الرزم (Packet drop)، فعالية استخدام الوصلة المزدحمة (Bottleneck Link Utilization). وسنستنتج العلاقة التي تربط معدل التدفق (Throughput) مع حجم مخزن الموجِّه.

الكلمات المفتاحية: مخزن الموجِّه– تأخير الرتل– الوصلة المزدحمة– التدفقات المتزامنة– فعالية استخدام الوصلة– ضياع الرزم.

* أستاذ مساعد – قسم هندسة الاتصالات – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
** أستاذ – قسم النظم والشبكات الحاسوبية – كلية الهندسة المعلوماتية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.
*** طالب دراسات عليا (ماجستير) – قسم هندسة الاتصالات والالكترونيات – كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية – جامعة تشرين – اللاذقية – سورية.

مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (30) العدد (4) 2008
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (30) No. (4) 2008

A Study of The Effect of Router Buffer Size on Performance of Networks

Dr. Hassan Abbas[*]
Dr.Ahmad Saker Ahmad[**]
Rawad Khaddoor[***]

(Received 9 / 7 / 2008. Accepted 17 / 9 / 2008)

□ ABSTRACT □

For a given network, choosing appropriate values of router buffer size maintains high Link Utilization and reduces packet loss resulting from the congestion of bottleneck links. In this paper, we investigate the router buffer size required to satisfy buffering requirement. We also discuss the effects of buffer size on queue delay time, packet drop rate, bottleneck link utilization, and flow throughput.

Keywords: Router buffer, Queue delay, Bottleneck link, Synchronized flows, Bottleneck link utilization, Packets drop.

[*] **Associate Professor, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria**
[**] **Professor, Department of Computer Network and Systems, Faculty of Information Technology, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
[***] **Postgraduate Student, Department of Communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

تقوم الموجِّهات (Routers) بالإضافة إلى عملها الأساسي في توجيه الرزم (Packets) وتحديد أفضل المسارات لتوجيه الرزم عبرها باتجاه الهدف، بدور هام يتمثل بتخزين الرزم الواردة بشكل مؤقت عند حدوث ازدحام (Congestion) على وصلة الخرج (Bottleneck Link)، وحتى لا يحدث ضياع لهذه الرزم وخسارة في تدفق البيانات، يتم استخدام مخزن (Buffer) في الموجِّه، وظيفته الأساسية تأمين حفظ مؤقت لهذه الرزم، ريثما يتم تصريفها عبر الوصلة المزدحمة، وهذا ما يحقق لنا استخداماً أمثليّاً وأعظميّاً للوصلة المزدحمة، والذي بدوره يعطينا استثمار أفضل للشبكة وتجهيزاتها.

ولكن الأمر الأهم والأعقد هو تحديد القيمة المناسبة لحجم هذا المخزن التي تؤمن الهدف الذي وضع من أجله، وهو الاستخدام الأمثل للوصلة المزدحمة. وما انعكاسات ذلك على بقية بارامترات الشبكة، وبالأخص زمن التأخير الذي يتعلق بطول رتل الرزم المصطفة داخل المخزن، معدل ضياع الرزم ومعدل تدفق البيانات. إذ لا يمكن اختيار حجم هذا المخزن كبيرا جدا لأنه سيزيد من زمن التأخير فوق الحد المسموح به بالنسبة لحركة البيانات TCP, UDP، ويجب أنّ يكون صغيرا جدا، بحيث لا يسمح الاستفادة من كامل سعة الوصلة في حال حدوث ازدحام عليها وخسارة في التدفق.

أهمية البحث وأهدافه:

تتجلى أهمية البحث في تبيان القيم التي يمكن أن يأخذها حجم المخزن للموجِّه وتحديد القيمة المثالية الأساسية، واختلاف هذه القيم تبعا لعدد وحالة التدفقات المارة عبر الوصلة المزدحمة على خرج الموجِّه. ودراسة تأثير حجم المخزن في بعض بارامترات الشبكة، كزمن تأخير الرتل، فعالية استخدام الوصلة، معدل ضياع الرزم، واستنتاج علاقة معدل تدفق البيانات. وبالتالي إمكانية تحديد قيمة المخزن الموافقة لقيم البارامترات السابقة المطلوبة للموجِّه.

طريقة البحث ومواده:

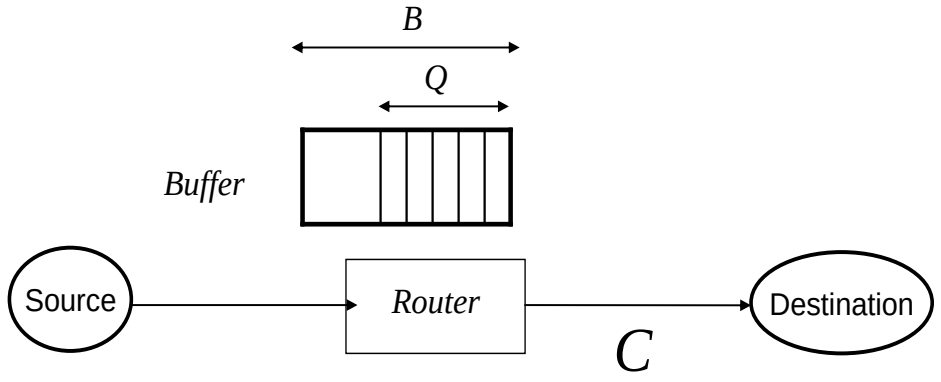
يتضمن هذا البحث عرضاً لمفهوم مخزن الموجِّه، ومسوغات وجوده، ووضع القاعدة العامة المحددة لحجم المخزن في البداية، وتبيان كيف أنه لكل حالة علاقة خاصة مع عدد التدفقات التي من خلالها تتحدد القيم المثالية لهذه المخازن. ثم سندرس ومن خلال بناء نموذج يحاكي الحقيقة عن طريق (Matlab 7.0) وتأثير حجم هذا المخزن في زمن تأخير الرتل وتأثيره في زمن التأخير الكلي، ودراسة تأثيره في فعالية استخدام الوصلة المزدحمة ومعدل ضياع الرزم، وفي النهاية تأثير حجم المخزن في معدل تدفق البيانات.

القاعدة العامة لحجم مخزن الموجِّه

المبدأ الأساس الذي يحدد حجم المخزن كان القاعدة العامة Rule of Thumb [1]، إذ تم حساب حجم المخزن بالاعتماد على خوارزمية التحكم بالازدحام TCP الديناميكية AIMD (Additive Increase Multiple Decrease). ومن خلال بعض التجارب، تبين أن حجم المخزن يجب أن يكون كافيا لتخزين الرزم خلال زمن دور كامل، أي يساوي إلى جداء معدل زمن رحلة الذهاب والإياب للتدفق المار عبر هذا الموجِّه (round-trip time (RTT)) في سعة (Capacity) الوصلة المزدحمة C، أي أن:

$$B = RTT * C \qquad (1)$$

تم التوصل إلى هذه القاعدة العامة من خلال الحاجة للإبقاء على الموجِّه في حالة عمل، أي استخدام دائم (busy) للوصلة المزدحمة الموجودة لدينا. يتألف الشكل (1) من مصدر (Source) وهدف (Destination) يتصلان عبر موجِّه وحيد، وهذا الموجِّه يدير رتلاً وفق نظام FIFO (First-In, First-Out)، ويستخدم خوارزمية Drop-Tail في إدارة الرتل، إذ تسقط رزمة من زيل الرتل عند امتلاء المخزن. فعندما يرسل المصدر الرزم إلى الهدف تمر عبر الموجِّه إلى الهدف، وهكذا يرسل الهدف إشعارات الوصول إلى المرسل الذي يزيد معدل إرساله من خلال زيادة حجم النافذة بحسب خوارزمية التحكم بالازدحام TCP المستخدمة، والخوارزمية الأكثر استخداما هي خوارزمية (AIMD) [2]، وعندما يستقبل الموجِّه رزماً بمعدل أعلى من معدل تصريف وصلة الازدحام C، عندها يتم تخزين الرزم بشكل مؤقت في المخزن بانتظار دورها على شكل رتل، وهكذا يزداد طول هذا الرتل تدريجيا مع ازدياد حجم نافذة الإرسال (Window Size) للمرسل تدريجيا حتى يمتلئ المخزن بالرزم، عند ذلك فالرزمة الأولى التي تصل بعد امتلاء المخزن لن تجد لها مكاناً (Q > B) لذلك ستضيع، عندها وحسب خوارزمية AIMD المتبعة فالمرسل سيتوقف لفترة عن الإرسال (إذ إنّ Q طول الرتل).

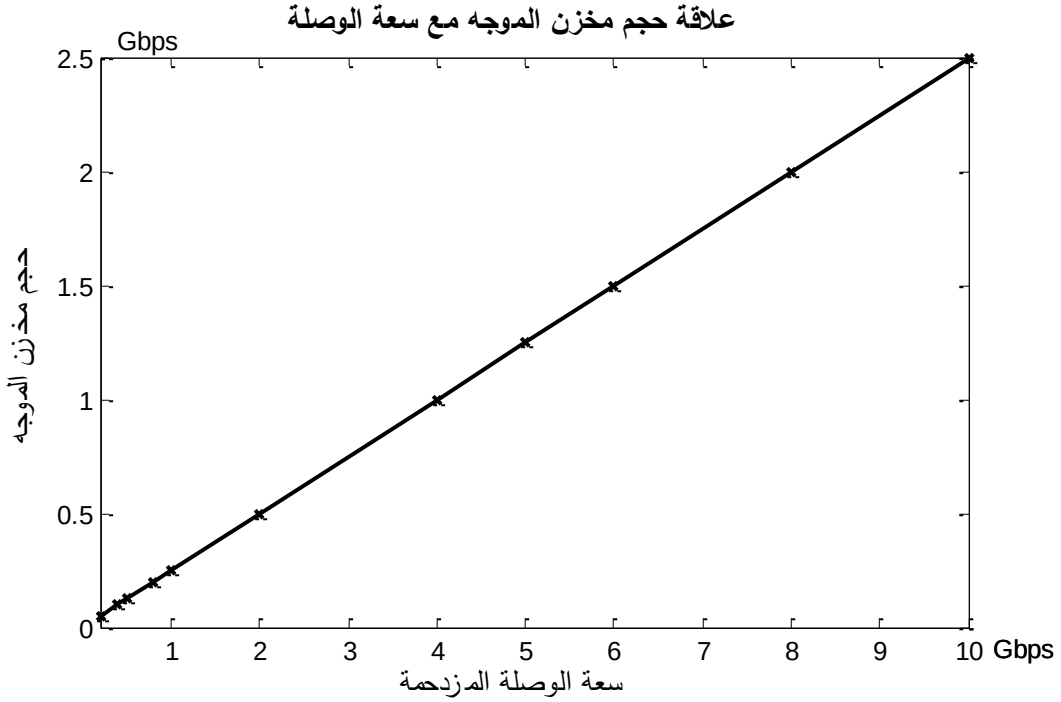


الشكل (1) يبين آلية تخزين الرزم في مخزن الموجِّه على شكل رتل، عند انتقال الرزم من المرسل إلى الهدف

خلال هذا التوقف الآني عن الإرسال، يبدأ الموجِّه بتفريغ المخزن من الرزم الموجودة فيه بمعدل ثابت يساوي إلى معدل وصلة الازدحام C، وهكذا يتفرغ المخزن تدريجيا، إلى أن يعاود المرسل إرسال الرزم من جديد قبل وصول الوصلة إلى حالة فراغ.

إن فترة تأخير زمن رحلة الذهاب والغياب للتدفق يتراوح من (10 to 300)ms أو حتى أكثر من ذلك بحسب تأخير الرتل، ولكن سنأخذ قيمة متوسطة ومعتبرة في كثير من المعايير العالمية [3] (RTT=250 ms). ومن خلال العلاقة (1) يتبين أن حجم المخزن يزداد خطيا مع زيادة سعة الوصلة وهذا ما يوضحه الشكل (2)، حيث نلاحظ من خلال هذا الشكل، ازدياد متطلبات التخزين للموجِّه بزيادة سعة الوصلة. وفي ضوء النمو المتسارع والكبير لسعة الوصلة يوماً بعد يوم، سيرافقه نمو بنفس النسبة لحجم المخزن وهذا سيىء من النواحي التالية [4]:

أ- الناحية التصميمية (Hardware): الحجوم الكبيرة للمخزنات سوف تؤدي إلى تعقيد في تصميم الموجِّهات، بسبب ازدياد عدد شرائح الذاكرة المستخدمة مما يزيد من حجم اللوحة الأم للموجِّه واستهلاك الطاقة، الأمر الذي يؤدي إلى تكلفة اقتصادية كبيرة.



الشكل (2) يبين العلاقة الخطية لنمو حجم المخزن مع نمو سعة الوصلة المزدحمة

ب- الناحية الحركية(Traffic): المتعلقة بزيادة معدل تدفق البيانات والأداء، فالتصور السابق كان يبنى على الاعتقاد بأن الحجوم الكبيرة لمخازن الموجِّه سوف تعطي فعالية استخدام أعلى للوصلة، وهذا يواجه مشكلتين أساسيتين:

1.ليس المطلوب دوما الحصول على فعالية الاستخدام الكاملة للوصلة لدينا، في الوقت الذي تتوفر فيه وصلات بسرعات كبيرة، وهي في معظم الأوقات تعمل على نسب منخفضة من الاستخدام. ويستثنى من هذه الحالة بعض الوصلات الخاصة التي تكون غالية الثمن، أو سعة الوصلة (عرض الحزمة) المتوفرة لدينا محدودة ويكون الهدف الأول لمدير الشبكة هو الاستثمار الكلي لكامل سعة الوصلة المتوفرة ولو على حساب بارامترات أخرى تتعلق بجودة الخدمة (Quality of Service (QoS))، والتي هي في الحالة العامة تؤخذ بعين الاعتبار على مستوى عالٍ مثل latency and Jitter التي تتحسن مع الحجوم الصغيرة للمخزن، وخاصة في تطبيقات real time إذ تتطلب أن يكون التأخير وقيمة هذين البارامترين أصغر ما يمكن ولو على حساب فعالية استخدام الوصلة.

2.لا تعطي الحجوم الكبيرة للمخازن دوما فعالية استخدام أعلى للوصلة وهذه الفرضية صحيحة في حالة التدفقات المتزامنة مع بعضها، وغير صحيحة في حالة التدفقات غير المتزامنة عندها تنخفض متطلبات التخزين مع ازدياد عدد التدفقات من أجل الحصول على فعالية استخدام أعلى للوصلة، وهذا ما يتضح في العلاقات التي تعطي حجم المخزن في الفقرة 2.2.

تحديد حجم المخزن

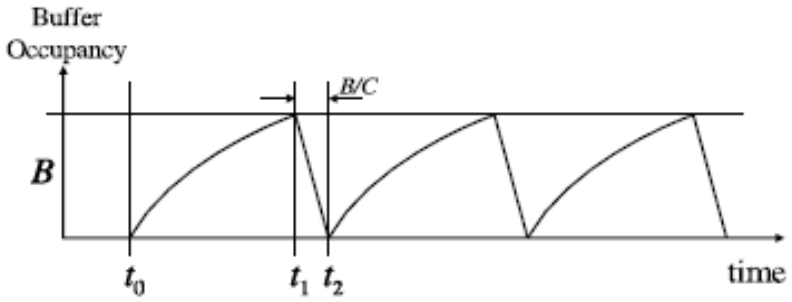
1-حجم المخزن من أجل تدفق وحيد

الشكل (3) يبين تغيرات حجم المخزن خلال الأدوار المختلفة للـ RTT، فالمرسل يجب أن يعاود الإرسال قبل أن نخسر التدفق وتتعطل الوصلة عن الاستخدام، فبين الزمنين t_0 إلى الزمن t_1 يزداد حجم النافذة وطول رتل المخزن وحجم المخزن تدريجيا، في اللحظة t_1 تسقط رزمة نتيجة امتلاء المخزن ويتوقف المرسل لمدة عن الإرسال وضمن هذه

الفترة بين الزمنين t_1 وt_2 يتفرغ المخزن بمعدل B/C، والمرسل يعاود الإرسال بعد استلام إشعارات الوصول ACK لنصف حجم النافذة الأعظمي $W_{max}/2$ والتي بدورها تصل إلى المرسل بمعدل C [4].

بمعنى أن المرسل يجب أن يستقبل إشعارات حول وصول $W_{max}/2$ رزمة خلال فترة $(W_{max}/2)/C$ أقل أو تساوي تماما الفترة التي يتفرغ خلالها المخزن B/C:

$$\frac{W_{max}/2}{C} \le \frac{B}{2} \qquad (2)$$



الشكل (3) تغيرات حجم المخزن خلال الأدوار المختلفة لـ RTT

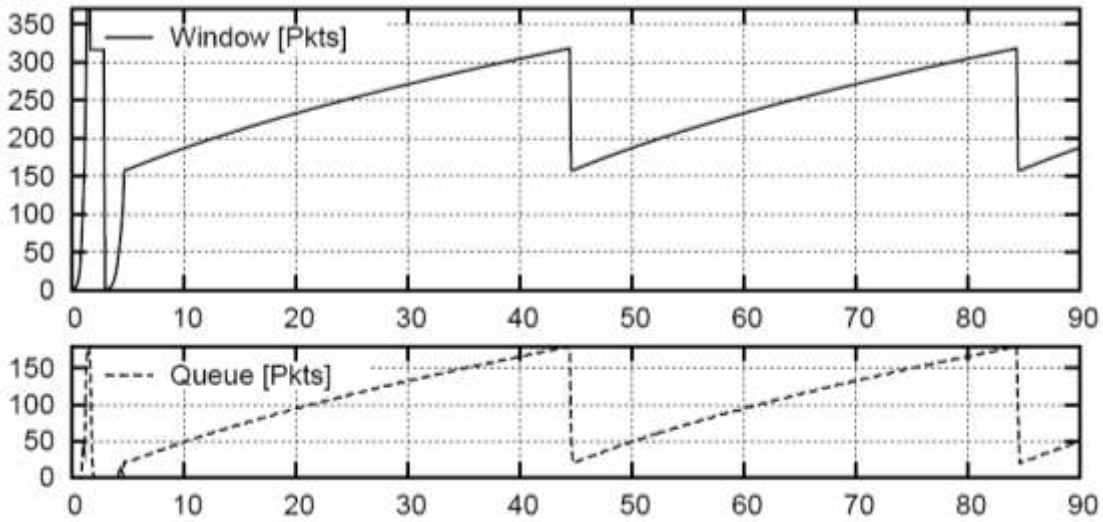
وبتحديد قيمة W_{max} تنتج علاقة القاعدة العامة لحجم المخزن:

$$B \ge \frac{W_{max}}{2} \qquad (3)$$

$$B = \overline{RTT} * C \qquad (4)$$

الآن سنناقش الحالات التالية لحجم المخزن اعتمادا على علاقة القاعدة العامة (4) [4]:

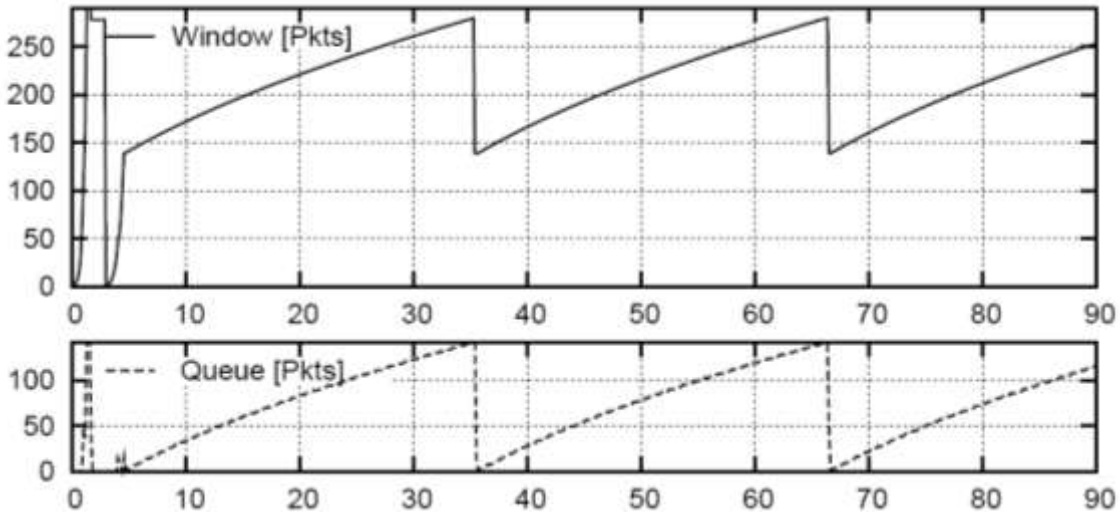
أ- الحالة الأولى: $B > \overline{RTT} * C$



الشكل (4) الجزء العلوي يبين تغيرات حجم النافذة خلال أدوار RTT، والجزء السفلي يبين تغيرات حجم المخزن خلال أدوار RTT، في حالة حجم المخزن أكبر من قيمة القاعدة العامة

يأخذ منحني تغير طول الرتل داخل مخزن الموجِّه نفس شكل منحني تغير حجم النافذة. فنلاحظ من الشكل (4) أن مخزن الموجِّه يحتفظ ببعض الرزم لفترة طويلة، إذ يعود ويملأ المخزن قبل أن يفرغ كل ما لديه، مما يضيف زمن تأخير أكبر للرزم الباقية وهذا سيّىء من أجل تطبيقات الزمن الحقيقي (real time).

ب- الحالة الثانية: $B = \overline{RTT} * C$

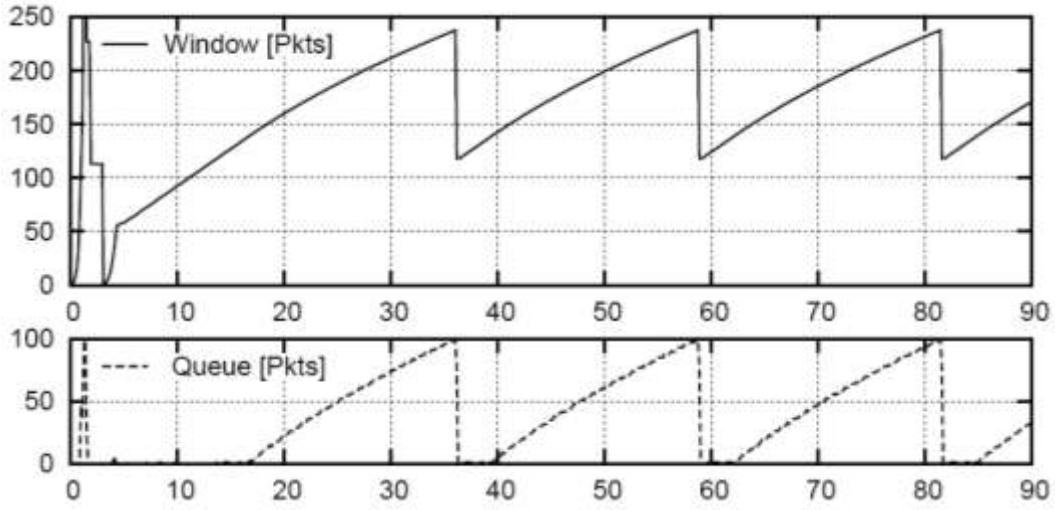


الشكل (5) الجزء العلوي يبين تغيرات حجم النافذة خلال أدوار RTT، والجزء السفلي يبين تغيرات حجم المخزن خلال أدوار RTT، في حالة حجم المخزن مساوية لقيمة القاعدة العامة

تمثل هذه الحالة القيمة المعطاة بعلاقة القاعدة العامة، وهذه القيمة مثالية لحجم المخزن من حيث الاستخدام الأمثل للوصلة بأقل زمن تأخير ممكن. في هذه الحالة تتطابق لحظة خلو الرتل من الرزم مع لحظة إعادة الارسال كما هو موضح في الشكل (5) وهي نادرة الحصول بهذا الشكل.

ت- الحالة الثالثة: $B < \overline{RTT} * C$

في هذه الحالة المخزن يفرغ كل الرزم الموجودة فيه، ويبقى لفترة بدون رزم (الموجِّه متعطل عن العمل) قبل أن تصل إليه رزم جديدة، مما يجعل الوصلة في حالة توقف عن العمل أيضا. من محاسن هذه الحالة يجعل زمن التأخير أقل ما يمكن ولكن على حساب انخفاض معدل التدفق وذلك كما هو موضح في الشكل (6).



الشكل (6) الجزء العلوي يبين تغيرات حجم النافذة خلال أدوار RTT، والجزء السفلي يبين تغيرات حجم المخزن خلال أدوار RTT، في حالة حجم المخزن أقل من قيمة القاعدة العامة

الحالات الثلاث السابقة توافق وجود تدفق وحيد مار عبر الموجِّه إلى الوصلة، ولكن وجود تدفق وحيد هو حالة نادرة وقد انطلقنا بها من أجل التبسيط، فالوصلات التي تصل الموجِّهات بعضها مع بعض قد تحمل الآلاف أو مئات الآلاف من التدفقات وهذا ما سنتطرق له لاحقا.

2-حجم المخزن من أجل عدة تدفقات

الوصلات التي تربط بين الموجِّهات بشكل عام، وموجِّهات الحافة (التي تربط بين الشبكات المختلفة) بشكل خاص، تحمل الآلاف وعشرات الآلاف من التدفقات المارة عبرها، ولهذا نميز الحالات التالية في تحديد حجم المخزن المار عبره عدد كبير من التدفقات:

1- التدفقات المتزامنة:

أ- تدفقات متزامنة بأزمنة RTT متماثلة:

عندئذ فإن حجم المخزن لن يتغير وسيبقى يعطى بالعلاقة العامة نفسها (4) [5]، وبالتالي سيبقى حجم المخزن كبيرا، الأمر الذي يزيد من زمن تأخير الرتل نتيجة طول هذا الرتل بالإضافة إلى التعقيدات الحركية والتصميمية التي تم ذكرها في الفقرة 1.

ب- تدفقات متزامنة بأزمنة RTT غير متماثلة:

باعتبار لدينا N تدفق، عندها يعطى حجم المخزن من خلال العلاقة التالية [5]:

$$B = C * \widetilde{RTT} \qquad (5)$$

إذ إنّ $\widetilde{RTT}$ عبارة عن المتوسط التوافقي للأزمنة RTT غير المتماثلة للتدفقات المارة عبر هذه الوصلة والذي يعطى بالعلاقة التالية :

$$\frac{1}{\overline{RTT}} = \frac{1}{N}\sum_{i=N}^{N}\frac{1}{RTT_i} \qquad (6)$$

2- التدفقات غير المتزامنة:

في الوصلات التي تحمل عدداً كبيراً من التدفقات فمن النادر جدا أن تكون هذه التدفقات متزامنة لأن اختلافاً بسيطاً في الزمن RTT، أو في زمن المعالجة سيكون كافيا لجعل هذه التدفقات غير متزامنة، وخاصة عندما يكون عدد التدفقات كبيرا، وفي هذه الحالة العلاقة التي تعطي حجم المخزن للموجِّه هي [4]:

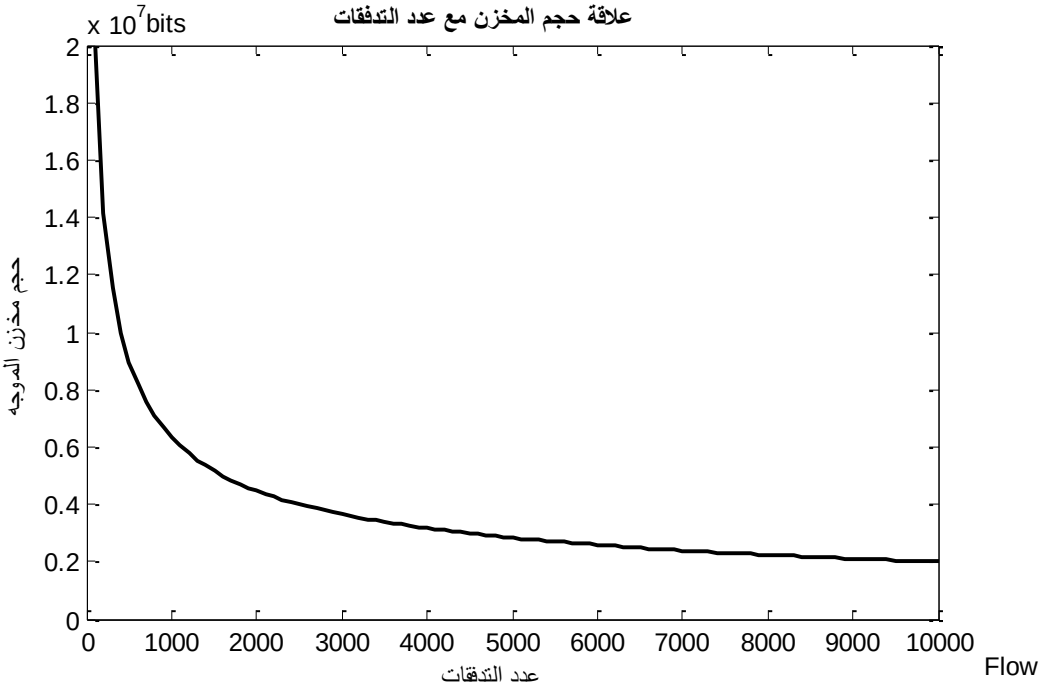
$$B = \frac{C * \overline{RTT}}{\sqrt{N}} \qquad (7)$$

إذ: N: عدد التدفقات المارة عبر الوصلة.

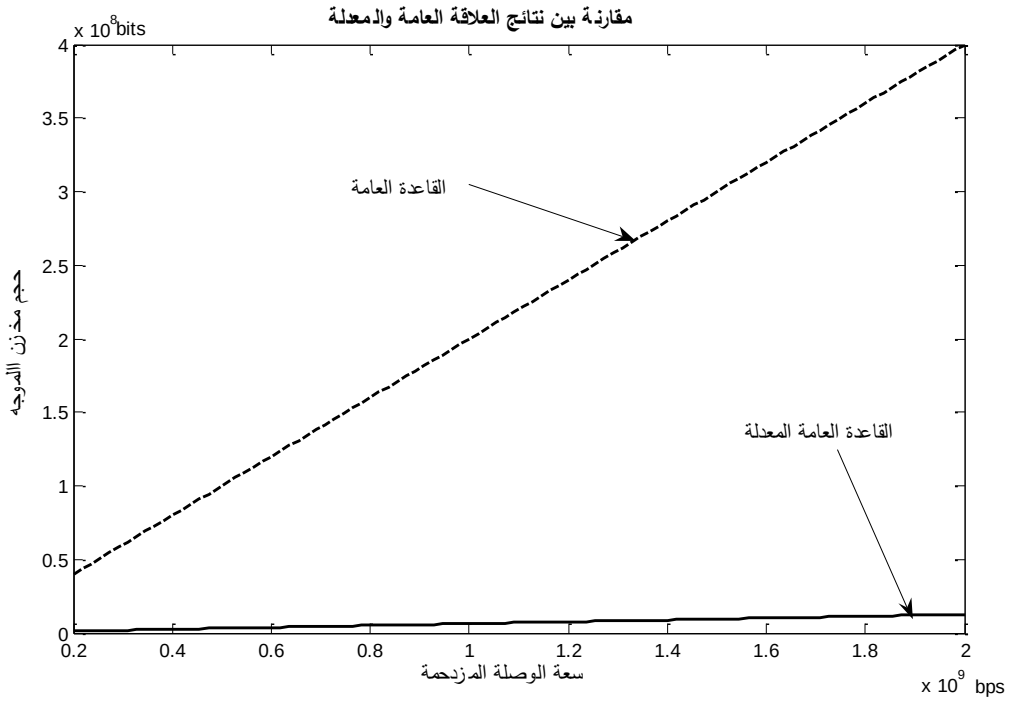
النتائج والمناقشة:

تختلف العلاقة الجديدة المعدلة (7) عن علاقة القاعدة العامة بأخذ عدد التدفقات المارة بعين الاعتبار، وهذا له دور هام وكبير في تخفيض حجم المخزن كما يظهر معنا من الشكل (7). هذا الشكل يبين مدى انخفاض حجم المخزن المطلوب مع زيادة عدد التدفقات وخاصة عندما يتجاوز عدد التدفقات القيمة 500 تدفق، من أجل RTT=200 ms, C=1 Gbps. وعلى مجال من التدفقات يتراوح بين 100 إلى 10000 تدفق.

بمقارنة هذه العلاقة المعدلة مع علاقة القاعدة العامة التي مانزال تستخدم بنسبة كبيرة في صناعة الموجِّهات عمليا. فالقاعدة العامة لم تكن تأخذ بعين الاعتبار عدد التدفقات المارة وكانت علاقة حجم المخزن (1) خطية مع سعة وصلة الازدحام C، ولكن في العلاقة المعدلة التي تأخذ عدد التدفقات بعين الاعتبار من خلال القسمة على الجذر التربيعي لعدد التدفقات المارة وبالتالي تخفيض كبير في متطلبات التخزين للموجِّه كما يبينه الشكل (8) الذي يوضح الفرق بين الحالتين من أجل N=10000 flows, RTT=200 ms، ومن أجل مجال من سعة الوصلة المزدحمة يتراوح بين 0.2 Gbps إلى 2 Gbps.



الشكل (7) يبين انخفاض حجم المخزن مع ازدياد عدد التدفقات المارة عبر الموجِّه



الشكل (8) يبين الفرق بين متطلبات التخزين في حالتي القاعدة العامة والعلاقة المعدلة

وسندرس فيمايلي تأثير حجم المخزن في بعض بارامترات الشبكة:

1. تأثير حجم المخزن على زمن تأخير وصول الرزم.

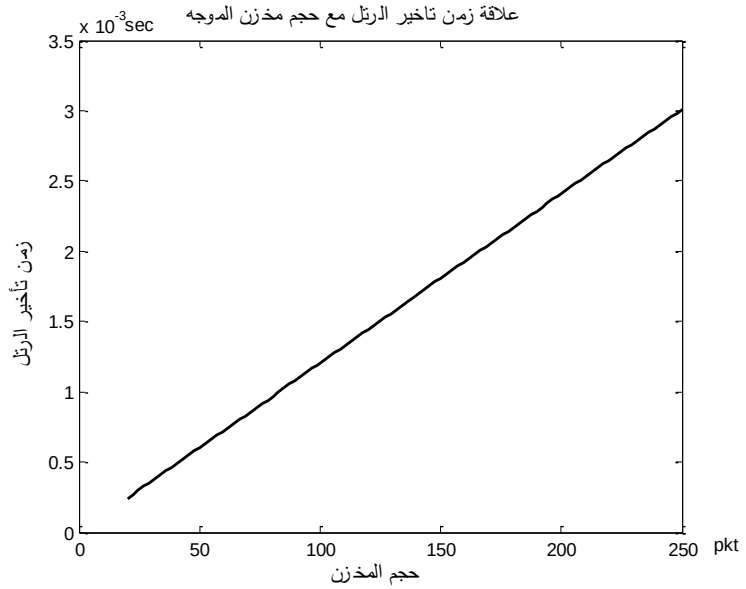
يشكل الزمن RTT معيارا هاما في تحيد جودة الخدمة للشبكة، فإذا تجاوز هذا الزمن القيمة To مثلا (Time Out)، تعتبر بعدها الرزمة بمنزلة المفقودة، ومن جانب آخر زيادة زمن التأخير يتناقض مع متطلبات تطبيقات الزمن الحقيقي real time، إذ تزداد جودة هذه الخدمات مع نقصان زمن التأخير. إن زمن رحلة الذهاب والإياب لأي تدفق RTT هو عبارة عن زمنين: زمن الانتشار PT (Propagation Time) وزمن تأخير الرتل QT (Queue Time) [5]:

$$RTT = PT + QT \qquad (8)$$

الزمن الأول PT ثابت لكل تدفق فهو يتحدد بزمن الانتشار في وصلات الربط وهي في حالة عدم ازدحام، أما الزمن الثاني QT فهو يتعلق بطول الرتل داخل المخزن للموجِّه وتعطى القيمة العظمى لزمن تأخير الرتل بالعلاقة:

$$QT_{\max} = \frac{B}{C} \qquad (9)$$

وبالتالي العلاقة خطية بين حجم المخزن وزمن تأخير الرتل كما يوضحها الشكل (9)



الشكل (9) يبين العلاقة الخطية بين زمن تأخير الرتل مع حجم المخزن

2. تأثير حجم المخزن على فعالية استخدام الوصلة وضياع الرزم.

يلعب حجم المخزن دورا كبيرا في مدى الاستفادة من كامل عرض الحزمة للوصلة المزدحمة المتوفرة لنا، وما لذلك تأثير على نسبة ضياع الرزم [6] كما هو موضح بالعلاقة التالية:

$$P = \theta^{B+1} \qquad (10)$$

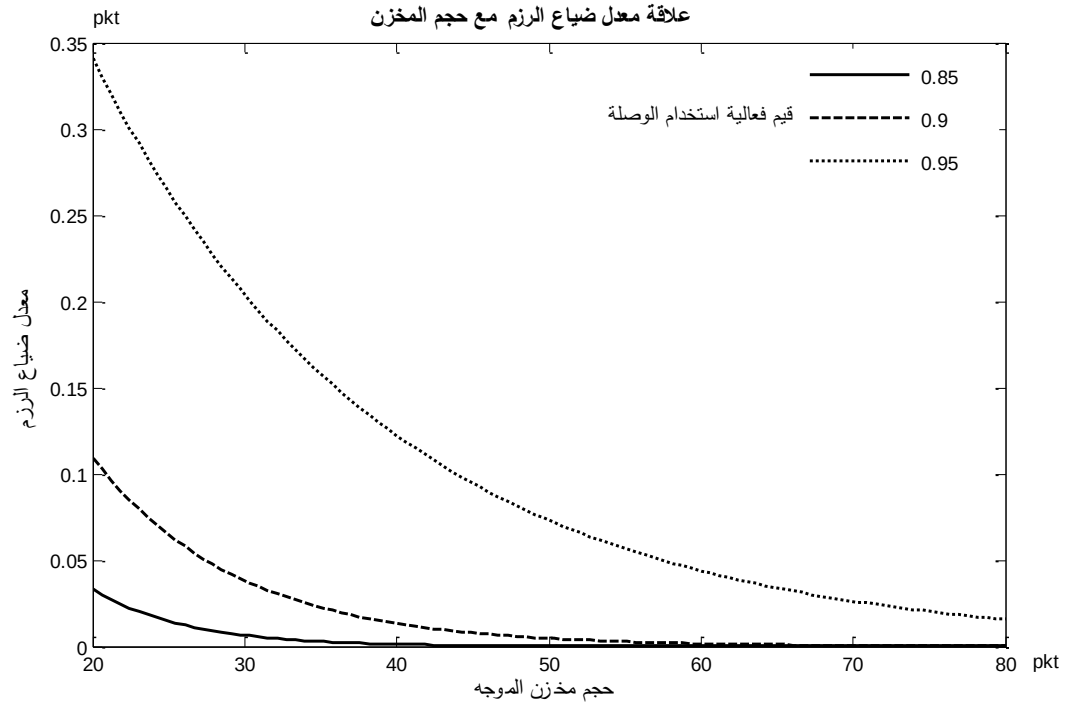
إذ إنّ

P: معدل ضياع الرزم.

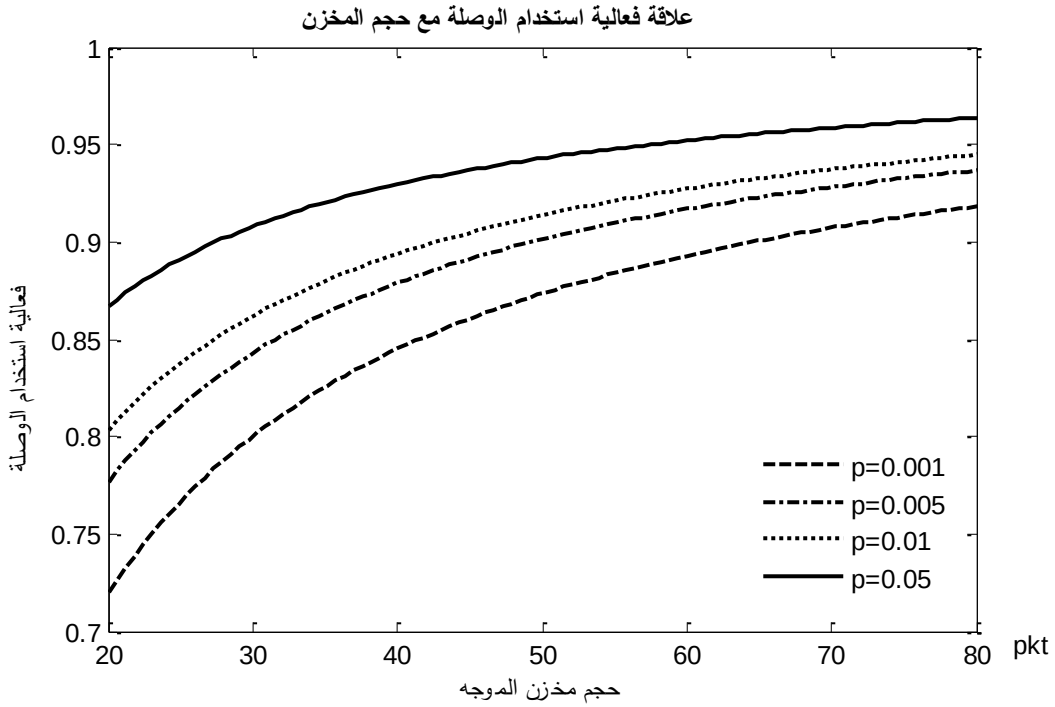
θ : عبارة عن فعالية استخدام الوصلة.

فمن خلال العلاقة (10) إن معدل ضياع الرزم يتعلق بحجم المخزن وفعالية استخدام الوصلة وهو مستقل عن سعة الوصلة المزدحمة وعدد التدفقات والزمن RTT.

يبين الشكل(10) العلاقة بين معدل ضياع الرزم كتابع لحجم المخزن من أجل القيم الثلاث التالية لفعالية استخدام الوصلة θ={0.85, 0.9, 0.95}. ونلاحظ من الشكل أنه بزيادة حجم المخزن تقل نسبة ضياع الرزم حتى تنعدم تقريبا عند قيم كبيرة لحجم المخزن وهذا ما يتأكد مع التحليل النظري، فبزيادة حجم المخزن يتم الاحتفاظ بمزيد من الرزم في المخزن ريثما يأتي دورها في التصريف عبر وصلة الخرج، بدل ضياعها من المخزن نتيجة امتلائه.



الشكل (10) يبين انخفاض معدل ضياع الرزم مع ازدياد حجم المخزن



الشكل (11) علاقة فعالية استخدام الوصلة مع حجم مخزن الموجِّه من أجل عدة قيم لمعدل ضياع الرزم

يبين الشكل (11) أنه بزيادة حجم المخزن تزداد نسبة فعالية استخدام الوصلة، لوجود مخزون أكبر من الرزم في المخزن تحافظ على فعالية استخدام الوصلة بنسبة أعلى عند التوقف المؤقت للمرسل عن الإرسال.

3. تأثير حجم المخزن على معدل تدفق البيانات

إن معدل التدفق من أجل تدفق مفرد وذي معدل ضياع رزم p يعطى من خلال العلاقة التالية [5]:

$$X = \frac{h}{RTT\sqrt{P}} \qquad (11)$$

إذ h = 0.87

توضح العلاقة (11) أن معدل تدفق البيانات يتناسب عكسا مع الزمن RTT، وعكسا مع الجذر التربيعي لمعدل ضياع الرزم.

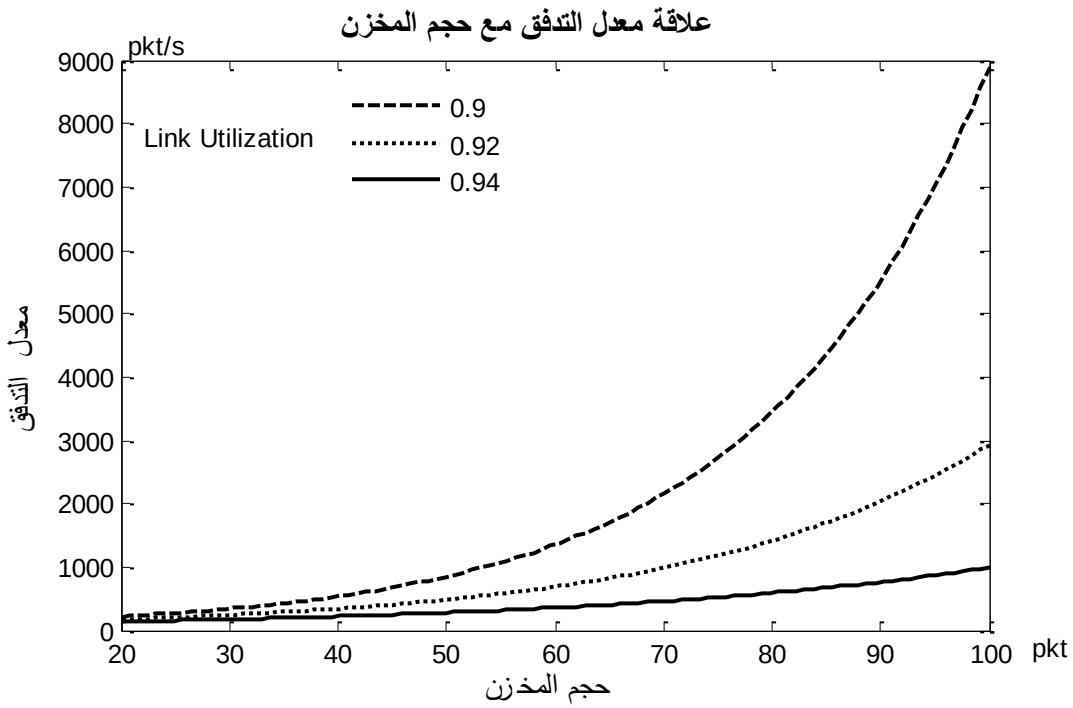
وبتعويض المعادلة (8) في (11) نجد:

$$X = \frac{h}{(PT + QT)\sqrt{P}} \qquad (12)$$

وبتعويض (9) و (10) في المعادلة (12) نحصل على:

$$x = \frac{h}{(PT + B/C)\theta^{0.5(B+1)}} \qquad (13)$$

وهكذا نتوصل إلى علاقة رياضية تربط بين حجم المخزن وفعالية استخدام الوصلة



الشكل (11) يبين علاقة معدل التدفق مع حجم المخزن في حال عدة قيم لفعالية استخدام الوصلة

نستنتج من الشكل (11) أنه بزيادة حجم المخزن يزداد التدفق، لوجود إمكانية تخزين أكبر للرزم الزائدة بدلاً من إسقاطها وفقدانها، وإرسال إشارة بالتوقف عن الإرسال آنيا إلى المرسل طبقا للخوارزمية AIMD المستخدمة للتحكم بالازدحام.

الاستنتاجات والتوصيات:

قدم هذا البحث فكرة واضحة عن مفهوم حجم مخزن الموجِّه وعمله. وكيفية التوصل إلى حجم مخزن الموجِّه المناسب لحالات التدفقات المختلفة، وبيّنا في هذا البحث أيضا مدى تأثير حجم المخزن السلبي في زمن التأخير، من خلال زيادة زمن التأخير هذا والذي بدوره يتناقض مع متطلبات تطبيقات نظم الزمن الحقيقي، والتأثير الإيجابي في فعالية استخدام الوصلة ومعدل ضياع الرزم ومعدل تدفق البيانات.

ولذلك يوصى عند استخدام موجِّه أن توضع دراسة معمّقة حول طبيعة وعدد التدفقات التي يمكن أن تمر عبر هذا الموجِّه، ومدى نسبة إمكانية الاستفادة من الوصلة الموصولة على خرج الموجِّه، واعتمادا على الدراسة السابقة اقتراح حجم المخزن المناسب الذي يحقق متطلبات الدراسة السابقة.

المراجع:

1. VILLAMIZAR, C. SONG, C. *High performance tcp in ansnet*. ACM Computer Communications Review, 1994, 24.
2. WELZL, M. *Network Congestion Control*, John Wiley & Sons Ltd, England, 2005, 263.
3. Cisco line cards. http://www.cisco.com/en/US/products/hw/modules/ps2710/products data sheets list.html.
4. APPENZELLER, G; KESLASSY, I; MCKEOWN, N. *Sizing router buffer*, SIGCOMM, 2004, 12.
5. WISCHIK, D; MCKEOWN, N. *Buffer sizes for core routers*, ACM/SIGCOMM CCR, July 2005, 75-78.
6. ENACHESCU, M; GANJALI, Y; GOEL, A; MCKEOWN, N; ROUGHGARDEN, T. *Routers with very small buffers*, ACM/SIGCOMM CCR, July 2005, 83-89.