

## تقدير عرض الحزمة المتاحة في الشبكات الحاسوبية باستخدام قطار سبر وحيد\*

م. موسى طالب\*\*

د. محمد أيمن العقاد\*\*\*

### الملخص

يؤثر عرض الحزمة المتاحة تأثيراً لا يستهان به في أداء كثير من التطبيقات التي تعمل عبر الشبكات الحاسوبية، خاصة تلك الحساسة للتأخير مثل نقل الصوت والصورة عبر الإنترنت. لذلك اهتم العديد من الباحثين بقياس عرض الحزمة المتاحة، وتقديم أدوات عملية لقياسه. ندرس في هذا البحث إمكانية قياس عرض الحزمة المتاحة عبر بناء عدد من رزم السبر وإرسالها واستقبالها تشكل مجموعها قطار سبر، بفواصل زمنية محددة بين تلك الرزم. يُقاس الزمن الفاصل بين رزم السبر قبل إرسالها، وبعد استقبالها، ثم يُقدَّر عرض الحزمة المتاحة للمسار الذي عبرته رزم السبر. تعدُّ خوارزمية القياس التي نعتمدها سهلة التطبيق وشفافة على الشبكة. يمكن للتطبيقات استخدام هذه الطريقة لمعرفة عرض الحزمة المتاحة قبل أن تتبادل أية معطيات عبر الشبكة.

الكلمات المفتاحية: عرض الحزمة المتاحة ، قطار السبر، رزمة السبر، معدل السبر، المرور العابر.

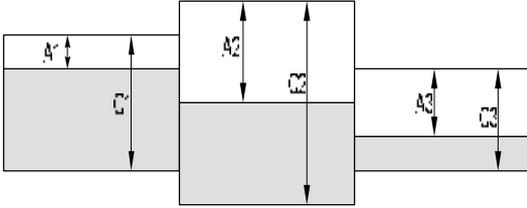
\* أعدَّ البحث في سياق رسالة الماجستير للمهندس موسى طالب بإشراف الدكتور المهندس محمد أيمن العقاد.

\*\* قسم هندسة الحواسيب والأتمتة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

\*\*\* قسم هندسة الحواسيب والأتمتة - كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية - جامعة دمشق.

## 1. مقدمة:

من هذه الوصلة، في حين تمثل المساحة البيضاء عرض الحزمة المتاحة عند الوصلة. تملك الوصلة الثالثة أصغر سعة وتملك الوصلة الأولى أصغر عرض حزمة متاحة.



الشكل(1): نموذج أنبوبي لمسار شبكة مكون من ثلاث وصلات.

عند النظر إلى مسار شبكة معين، أحد الأمور الأساسية التي يمكن السؤال عنها هي كمية المعطيات التي يمكن لهذا المسار أن ينقلها بين المرسل والمستقبل دون أن تعاني من ضياع جزء منها، أو تتعرض لتأخير يمكن أن يؤثر في جودة الخدمة.

إذا كنا مسؤولين عن إدارة الشبكة، أو لدينا صلاحية الدخول إليها والحصول على بعض المعلومات عن حالة بعض وصلاتها، فهذا جيد، لكن ذلك في الغالب ليس متاحاً لنا. لذلك يجب علينا أن نلجأ إلى أسلوب آخر لتحديد عرض الحزمة المتاحة لمسار الشبكة الذي ستسلكه المعطيات التي نريد إرسالها. يُحدّد عرض الحزمة المتاحة عبر حقن مجموعة من الرزم -ندعوها رزم السبر Probing packets- عبر الشبكة بفاصل زمني محدد فيما بينها، ثم نقوم باستقبال تلك الرزم وتحديد تأثير الشبكة فيها من خلال قياس تغيّر الفواصل الزمنية فيما بينها عند استقبالها.

تُعرّف السعة لوصلة ما capacity بأنها العدد الأعظم من البتات التي يستطيع عنصر شبكة ما نقلها في الثانية الواحدة عبر تلك الوصلة. يمكن توسيع التعريف السابق للسعة بحيث يشمل كامل المسار على الشبكة، تكون السعة لمسار ما أعلى معدّل يمكن للمسار أن ينقله من المرسل إلى المستقبل [1].

يُعرّف عرض الحزمة المتاحة available bandwidth لوصلة بأنه المقدار غير المستخدم من سعة هذه الوصلة عند لحظة أو زمن محدد. بينما تكون سعة الوصلة ثابتة مع الزمن، يكون عرض الحزمة المتاحة متغيّراً وتابِعاً للحمل أو الحركة التي تمر عبر الوصلة التي تسمى الحركة العابرة cross-traffic، وهي مقدار متغيّر مع الزمن.

يُميّز المهتمون بدراسة السعة لمسار ما عبر الشبكة بين الوصلة الضيقة Narrow link والوصلة محكمة الإغلاق Tight link [2]. الوصلة الضيقة لمسار هي تلك الوصلة التي تملك أقل سعة بالنسبة إلى بقية الوصلات المكونة لذلك المسار. أمّا الوصلة محكمة الإغلاق فهي التي تملك أقل عرض حزمة متاحة بين بقية الوصلات.

يبين الشكل(1) نموذجاً أنبوبياً لمسار شبكة مكون من ثلاث وصلات، يمثل C سعة الوصلة و A عرض الحزمة المتاحة. يمثل عرض كل أنبوب سعة الوصلة التي يمثلها، تشير المنطقة الرمادية إلى الجزء المستخدم

مرة. عندما يكون معدل الإرسال أكبر من عرض الحزمة المتاحة، تعاني عندها رزم السبر من التأخير الناتج عن الوقوف في رتل الانتظار داخل الشبكة، يكون عندها معدل الاستقبال أصغر من معدل الإرسال. يعدّ معدل الإرسال الذي تبدأ عنده رزم السبر في الوقوف في رتل الانتظار بأنه مساوٍ لعرض الحزمة المتاحة. يُدعى هذا الأسلوب بنموذج معدل السبر Probe Rate Model (PRM) [2]. من الأدوات التي تعتمد هذا الأسلوب TOPP [4]، Pathload [5] و PTR [6].

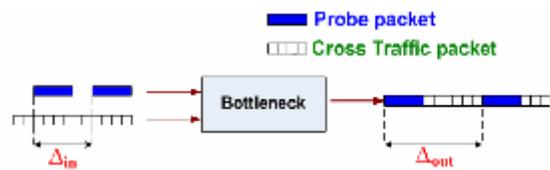
معظم آليات تقدير عرض الحزمة المتاحة المقدمة حتى تاريخه تعتمد أحد مبدئين، أمّا استخدام مبدأ إرسال رزم بحجم ثابت وفاصل زمني متغيّر (أسلوب PGM)، أو مبدأ إرسال رزم بحجم متغيّر وفاصل زمني ثابت (أسلوب PRM).

وقد دلّت الدراسات أن الأدوات التي تستخدم قطار السبر (أسلوب PRM) تعطي دقة أفضل من تلك التي تستخدم زوجاً من رزم السبر (أسلوب PGM)، إلا أنها تتطلب زمن سبر أطول [8]. اعتمدت الدراسات السابقة على افتراض بقاء عرض الحزمة المتاحة ثابتاً في أثناء عملية التقدير، وهذا الافتراض لا يمكن قبوله إلا خلال زمن قصير، لأن عرض الحزمة المتاحة هو مقدار متغيّر مع الزمن. لذلك كلما طال زمن عملية التقدير تأثرت دقة النتائج بشكل سلبي. هذا الأمر شكل حافزاً لنا للعمل على دمج الأسلوبين السابقين (PGM, PRM) معاً، بهدف

اعتماد نموذجان لتقدير عرض الحزمة المتاحة لمسار شبكة ما [2]: النموذج الأول يعتمد أسلوب إرسال رزمي سبر متعاقبتين (زوج من رزم السبر) بفاصل زمني محدد  $\Delta_{in}$ ، وقياس هذا الفاصل الزمني عند المستقبل  $\Delta_{out}$ ، يُحدّد عرض الحزمة المتاحة من خلال العلاقة التالية [2]:

$$A = C \times \left(1 - \frac{\Delta_{out} - \Delta_{in}}{\Delta_{in}}\right) \quad (1)$$

إذ  $A$  عرض الحزمة المتاحة،  $C$  سعة المسار، انظر الشكل (2). سيئة هذا الأسلوب أنه يحتاج إلى معرفة سعة الوصلة بشكل مسبق قبل القيام بعملية التقدير. يُدعى هذا النموذج بنموذج فجوة السبر Probe Gap Model (PGM) [2].



الشكل (2): تغيير الفاصل الزمني بين رزم السبر نتيجة عبور وصلة ضيقة.

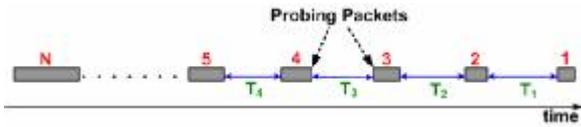
من أدوات تقدير عرض الحزمة المتاحة التي تعتمد هذا الأسلوب Spruce [2]، IGI [6]، و Delphi [7].

النموذج الثاني يرسل مجموعة من رزم السبر على شكل قطار، بمعدل إرسال أصغر من عرض الحزمة المتاحة، تصل رزم السبر إلى المستقبل بمعدل مساوٍ لمعدل إرسالها، تُكرّر العملية مع زيادة معدل الإرسال في كل

الحزمة المتاحة أكثر منها عند القيم المرتفعة (تزداد المشكلات التي تعاني منها الرزم من تأخير وضياح عندما يكون عرض الحزمة المتاحة صغيراً).

سنعتمد في عملية التقدير على أن قطار السبر يجمع بين الأسلوبين (PRM, PGM)، يتم فيه تغيير الفاصل الزمني بين رزم السبر (أسلوب PGM) وتغيير حجم تلك الرزم (أسلوب PRM).

يقوم المرسل بإرسال قطار سبر وحيد مؤلف من  $N$  رزمة تختلف بحجمها عن بعضها بعضاً بعلاقة خطية، أي إنه إذا كانت الرزمة  $i$  لها الحجم  $P_i$ ، يكون للرزمة  $i+1$  الحجم  $P_{i+1} = P_i + \Delta P$ . حجم أول رزمة يتم إرسالها هو  $P_1$ . يتم الإرسال باستخدام بروتوكول UDP. يبيّن الشكل (3) قطار رزم السبر الذي يشكله المرسل ثم يقوم بإرساله. تُرسل الرزمة الأولى وبعد فاصل زمني  $T_1$  تُرسل الرزمة الثانية، وهكذا حتى تُرسل آخر رزمة. لاحظ كيف يزداد حجم الرزمة مع زيادة ترتيبها ضمن قطار السبر، إذ يعبر طول المستطيل عن حجم الرزمة التي يمثلها.



الشكل (3): قطار سبر مكون من  $N$  رزمة سبر، يتغير فيه الفاصل الزمني بين الرزم وحجم تلك الرزم.

لمّا كانت لكل رزمة في قطار السبر حجم محدد يتبع ترتيبها ضمن قطار السبر، فمن خلال معرفة حجم الرزمة المُستقبلة، يمكن للمستقبل تحديد أي الرزم

الحصول على أسلوب يعطي نتائج مقبولة خلال زمن قصير (أي محاولة التوفيق مطلبّي بين الدقة والسرعة).

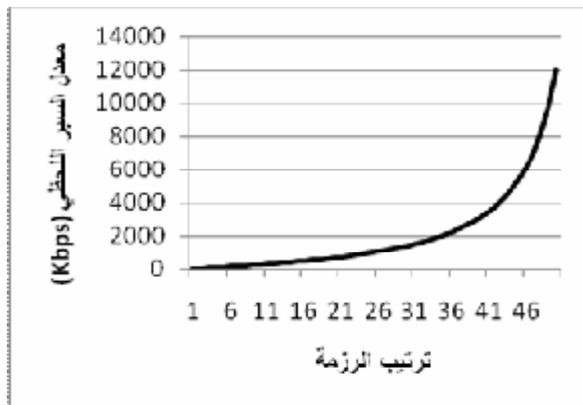
### 1. تصميم قطار السبر:

من أجل تصميم قطار السبر الذي سنستخدمه في تقدير عرض الحزمة المتاحة، وضعنا بعض الضوابط التي يجب على عملية التقدير أن تلتزم بها وتلبيها. من هذه الضوابط،

- عدم الحاجة إلى حصول أية عملية مزامنة بين المرسل والمستقبل: يُعطى برنامج المستقبل صورة كاملة عن شكل قطار السبر المستخدم في عملية التقدير قبل القيام بها (عدد الرزم، حجم كل رزمة، ترتيبها ضمن قطار السبر، الفاصل الزمني بين كل رزمتي سبر متتاليتين عند الإرسال).
- إلغاء عملية التكرار بشكل كامل: أي يكفي إرسال قطار سبر واحد لإنجاز عملية التقدير، في حين نجد أدوات التقدير التي تتبنى قطار السبر (نموذج PRM) تحتاج إلى تكرار إرساله أكثر من مرة لإنجاز عملية التقدير. إن إعادة إرسال قطار السبر مرة أخرى يُطيل زمن عملية التقدير وهذا أمر سيئ.
- أن تكون عملية السبر ذات شفافية مقبولة بالنسبة إلى الشبكة: أي إتمام عملية التقدير بإرسال عدد قليل من الرزم، بحيث لا تشكل عبئاً على الشبكة.
- الدقة في عملية التقدير: تعدّ الدقة شيئاً نسبياً، وبرأينا يجب أن تكون الدقة كبيرة عند القيم المتدنية لعرض

$$\left\{ \begin{array}{l} R_i = \frac{P_1 + \Delta P \times (i - 1)}{T_1 - \Delta T \times (i - 1)} \\ i = 1, 2, 3, \dots, N. \end{array} \right. \quad (4)$$

نلاحظ أن معدل السبر اللحظي هو تابع لترتيب الرزمة ضمن قطار السبر. إذ إنَّ قيم كل من المتوسطات الآتية:  $P_1$ ،  $T_1$ ،  $\Delta P$  و  $\Delta T$  هي قيم معلومة ومحددة مسبقاً يعلمها كل من المرسل والمستقبل. انظر الشكل(4).



الشكل(4): العلاقة بين معدل السبر اللحظي وترتيب الرزمة ضمن قطار السبر للقيم الآتية:  $\Delta P=30\text{bytes}$ ،  $\Delta T=0.2\text{ms}$ ،  $P_1=30\text{bytes}$ ،  $T_1=10.8\text{ms}$

تقوم خوارزمية الاستقبال على أن المستقبل يملك معرفة مسبقة عن الفاصل الزمني بين الرزم المكونة لقطار السبر عند إرسالها، وهو بدوره يقوم بتسجيل زمن وصول كل رزمة وحساب الفاصل الزمني بين الرزم المتتالية. لذلك تكون مهمة المستقبل مقارنة الفواصل الزمنية بين رزم السبر عند إرسالها وعند استقبالها. عند إرسال رزم السبر بمعدل مساوٍ أو أقل من قيمة عرض الحزمة المتاحة، أي  $ABW \geq R_{\text{send}}$ ، يكون معدل استقبال الرزم مساوياً لمعدل إرسالها أي  $R_{i,\text{snd}} = R_{i,\text{rcv}}$ . في هذه الحالة، تعبر رزم السبر الشبكة دون أن

استقبلت وأيها تم ضياعها على الطريق، وهل أن رزم قطار السبر وصلت بترتيب إرسالها نفسه أو بترتيب مغاير. فالمستقبل يستطيع تحديد موقع أية رزمة في قطار السبر عند معرفة حجم تلك الرزمة.

يكون الفاصل الزمني بين الرزم المكونة لقطار السبر ثابتاً بين كل رزمتي سبر متتاليتين، لكن قيمته ليست واحدة للرزم جميعها. يُفصّل الفاصل الزمني بين الرزم المتتالية بشكل خطي بقيمة محددة  $\Delta T$ . أي إنه إذا كان الفاصل الزمني عند الرزمة  $i$  هو  $T_i$ ، يكون الفاصل الزمني عند الرزمة التالية  $i+1$  هو  $T_{i+1} = T_i - \Delta T$ . أي:

$$T_1 > T_2 > T_3 > \dots > T_{N-1} > T_N \quad (2)$$

يكون معدل إرسال الرزمة الأولى  $R_1 = \frac{P_1}{T_1}$ ، والرزمة

الثانية  $R_2 = \frac{P_2}{T_2}$ . في حين يكون معدل إرسال السبر

$$R_i = \frac{P_i}{T_i} \quad \text{اللحظي عند الرزمة } i \text{ كما يأتي:}$$

أمّا معدل السبر اللحظي للرزمة التالية  $i+1$ :

$$R_{i+1} = \frac{P_{i+1}}{T_{i+1}} = \frac{P_i + \Delta P}{T_i - \Delta T} \quad (3)$$

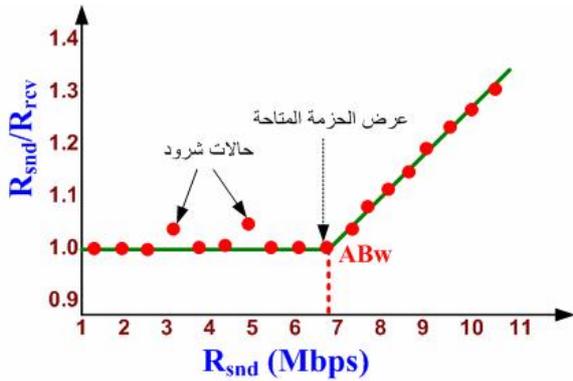
يمكن تعميم العلاقة (3) بحيث يكون معدل السبر اللحظي عند الرزمة  $i$ ، تابعاً للقيم البدائية، كما يأتي:

يمكن تلخيص ما سبق بالعلاقة الآتية:

$$\begin{aligned} T_{i,snd} = T_{i,rcv} &\Leftrightarrow R_i \leq ABw \\ T_{i,snd} < T_{i,rcv} &\Leftrightarrow R_i > ABw \end{aligned} \quad (6)$$

## 2. ظهور حالة شُرود

قد تظهر بعض الحالات التي يكون فيها تغيّر الفاصل الزمني بين رزم السبر هو تغيّراً عابراً لا تعاني منه الرزم التالية جميعها، نسمي هذه الحالات بحالة شُرود. يمكن أن تظهر حالة شُرود عندما لا تسلك بعض الرزم الطريق ذاته التي تسلكها بقية رزم قطار السبر. يبيّن الشكل (6) ظهور بعض حالات الشُرود.



الشكل (6): ظهور بعض حالات الشُرود.

تُحدّد حالات الشُرود كما يأتي: بفرض لدينا ثلاث رزم سبر متتالية  $(i,j,k)$ ، يكون لدينا حالة شُرود عندما تتحقق العلاقة الآتية:

$$\begin{cases} T_{i,snd} = T_{i,rcv} \\ T_{j,snd} < T_{j,rcv} \\ T_{k,snd} = T_{k,rcv} \end{cases} \quad (7)$$

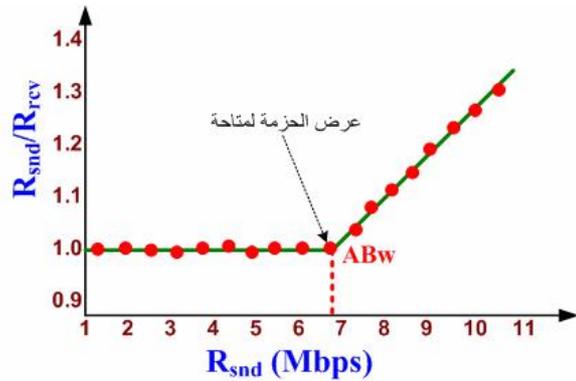
## 3. تحديد حدود مجال السبر المتاح

من خلال ما سبق يتضح لنا بأن معدل السبر اللحظي يتغيّر مع الزمن ضمن مجال نسميه مجال السبر الممكن

تقف في رتل الانتظار، ومن ثمّ تتعرض رزم قطار السبر جميعها للتأخير نفسه أثناء عبورها الشبكة (وهو الزمن الذي تحتاجه رزم السبر لعبور الشبكة بين المرسل والمستقبل دون الوقوف في أي رتل انتظار)، لذلك يبقى الفاصل الزمني فيما بينها دون تغيير. أي يكون لدينا

$$\begin{cases} R_i = \frac{P_1 + \Delta P \times (i - 1)}{T_1 - \Delta T \times (i - 1)} \\ i = 1, 2, 3, \dots, N. \end{cases} \quad (5)$$

في الحالة التي يتجاوز فيها معدل إرسال رزم السبر عرض الحزمة المتاحة، تصبح العلاقة (5) غير صحيحة في بعض حدودها، إذ تتعرض بعض رزم السبر، في أثناء عبورها الشبكة، للوقوف في رتل الانتظار مما يزيد من الفواصل الزمنية بين رزم السبر المتتالية عند استقبالها، يصبح عندها معدل استقبال الرزم أصغر من معدل إرسالها. عندها يحدد المستقبل عرض الحزمة المتاحة عند الرزمة التي يبدأ فيها الفاصل الزمني بين رزم السبر المتتالية بالزيادة مقارنة بالفواصل الزمني بين رزم السبر عند إرسالها، أي الرزمة التي يصبح عندها معدل إرسالها أعلى من معدل استقبالها، انظر الشكل (5).



الشكل (5): تحديد عرض الحزمة المتاحة عند الحالة التي يصبح فيها معدل إرسال الرزمة أعلى من معدل استقبالها.

الشبكة [3]. يقصد بالتطبيقات مجموعة البرامج التي نتعامل معها بشكل مباشر مثل متصفح الإنترنت. يوجد في طبقة النقل بروتوكولان مهمان TCP و UDP، سنستخدم في تطبيقنا بروتوكول UDP لأنه لا يتطلب عملية مزامنة بين المرسل و المستقبل. كما هو معلوم، يحتاج بروتوكول UDP إلى 8 Bytes، يضيفها إلى الرزمة قبل إرسالها. نتعامل في طبقة الإنترنت مع بروتوكول IP، وهو بدوره يحتاج إلى 20 Bytes يضيفها إلى الرزمة قبل إرسالها. إذا كانت بطاقة الشبكة من نوع إيثرنت (Ethernet)، يتم عندها إضافة 14 Bytes إلى الرزمة قبل إرسالها. أصبح لدينا مجموع البايتات المضافة إلى الرزمة قبل إرسالها 42 Bytes.

من خلال ما سبق يمكننا الاستنتاج بأنه لا يمكن إرسال رزمة بحجم أقل من 42 Bytes. ومن المعلوم أيضاً أن أعظم حجم رزمة يمكن استخدامه عند الإرسال باستخدام شبكات الإنترنت (Ethernet) هو 1514 Bytes، وذلك كي لا تتعرض الرزمة المرسله لعملية التقطيع (Fragment)، وتكون أكبر كمية معطيات (Data) يمكن إرسالها في رزمة واحدة  $1514 - 42 = 1472$  Bytes. لمزيد من التفاصيل يمكن مراجعة [3].

سننكلم فيما يأتي على مستوى طبقة IP فقط، دون النزول إلى مستوى بطاقة الشبكة (لأن نوع بطاقة الشبكة قد يتغير من شبكة إلى أخرى مثل Ethernet، Token Ring، ...).

أو المتاح. مجال السبر المتاح يتحدد من خلال قيمتين حديتين: معدل السبر الأدنى  $R_{min}$ ، ومعدل السبر الأعظم  $R_{max}$ . يمكن حساب القيمتين السابقتين من خلال العلاقاتين الآتيتين:

$$R_{min} = \frac{P_1}{T_1} \quad (8)$$

$$R_{max} = \frac{P_N}{T_N} = \frac{P_1 + (N - 1)\Delta P}{T_1 - (N - 1)\Delta T} \quad (9)$$

إذ  $N$  عدد الرزم المكونة لقطار السبر.

يصعب تحديد عرض حزمة قابل للقياس يمكن لأداة قياس أن تقيسه، بحيث يرضي الأذواق جميعها. ونظراً إلى أن الغالبية العظمى من تبادل المعطيات بين الأشخاص يتم حالياً عبر شبكة الإنترنت، لذلك سوف نركز على قيم عرض الحزمة المتاحة المتوافقة مع شبكة الإنترنت. في سورية مثلاً، يقدم أشهر مزود لخدمة الإنترنت (Syriatel) خدمة بسرعة 7,2Mbps في الواقع، وفي أحسن الأحوال، إن عرض الحزمة في معظم دول العالم لا يمكن أن يتجاوز تلك السرعة. لذلك، سنفترض أن قطار السبر يمكنه تقدير عرض الحزمة المتاحة ضمن  $[0,12]$ Mbps، آخذين بالحسبان التطورات المستقبلية الممكنة، مع التركيز على القيم المنخفضة لعرض الحزمة المتاحة.

بحسب نموذج TCP/IP يكون لدينا أربعة مستويات أو طبقات للشبكة (التطبيقات، النقل، الإنترنت، بطاقة

تقدير عرض الحزمة المتاحة في الشبكات الحاسوبية باستخدام قطار سبر وحيد

$$R_{\min} = \frac{P_1}{T_1} = \frac{30 \times 8}{10.8} = 22.2 \text{ Kbps}$$

$$R_{\max} = \frac{P_N}{T_N} = \frac{1500 \times 8}{1} = 12 \text{ Mbps}$$

أما جميع معدلات الإرسال اللحظي التي يحتويها قطار السبر فنوردها في الجدول الآتي:

ترتيب الرزمة	الفاصل الزمني عند الإرسال ms	حجم الرزمة Bytes	معدل الإرسال Kbps
1	10.8	30	22.2
2	10.6	60	45.3
3	10.4	90	69.2
4	10.2	120	94.1
5	10	150	120
6	9.8	180	146.9
7	9.6	210	175
8	9.4	240	204.3
9	9.2	270	234.8
10	9	300	266.7
11	8.8	330	300
12	8.6	360	334.9
13	8.4	390	371.4
14	8.2	420	409.8
15	8	450	450
16	7.8	480	492.3
17	7.6	510	536.8
18	7.4	540	583.8
19	7.2	570	633.3
20	7	600	685.7
21	6.8	630	741.2
22	6.6	660	800
23	6.4	690	862.5
24	6.2	720	929
25	6	750	1000
26	5.8	780	1075.9
27	5.6	810	1157.1
28	5.4	840	1244.4
29	5.2	870	1338.5

لنفرض أن أكبر حجم رزمة سنقوم بإرسالها 1500 Bytes (أخذين بالحسبان ما يضيفه البروتوكول UDP وIP إلى حجم الرزمة الأصلي)، في حين يتحدد أصغر حجم رزمة يتم إرسالها بناء على عدد الرزم المرسل N، وعلى مقدار التغير في الحجم  $\Delta P$ .

يحدد عدد الرزم المستخدمة في قطار السبر عدد معدلات الإرسال اللحظية الموجودة في قطار السبر، وهذا بدوره يحدد عدد مستويات عرض الحزمة المتاحة الممكن تقديرها، وهذا يحدد مستوى الدقة المطلوب. فإذا كان عدد الرزم المستخدمة هو  $N = 50$  packets، وكان الفارق في حجم الرزمة بين رزمتين متتاليتين هو  $\Delta P = 30$  Bytes، تكون قيم أحجام الرزم المكونة لقطار السبر هي القيم الآتية: 30، 60، 90، ...، 1500 بايت.

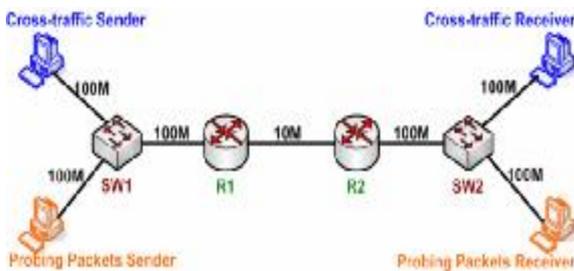
من أجل تحديد الفاصل الزمني بين الرزم المتتالية، كما قلنا سابقاً، يتناقص الفاصل الزمني بين رزم السبر خطياً مع تتابع إرسال الرزم. فإذا كان الفاصل الزمني للرزمة الأولى هو  $T_1 = 10.8$  ms، وذلك لكي يكون الفاصل الزمني للرزمة الأخيرة  $T_N = 1$  ms، مع عد أن عدد الرزم  $N = 50$  packets وكان مقدار النقصان في الزمن  $\Delta T = 0.2$ ms.

من خلال ما سبق، يبني قطار السبر اعتماداً على قيم المتوسطات الآتية:  $T_1 = 10.8$ ms،  $P_1 = 30$  Bytes،  $N = 50$  Packets،  $\Delta T = 0.2$ ms،  $\Delta P = 30$  Bytes. العلاقات (8) و(9) نحسب معدلات الإرسال الدنيا والعظمى:

وأخيراً قطار السبر الذي تكلمنا عنه في الفقرة السابقة كنموذج يحاول الجمع بين الأسلوبين PGM و PRM. اختيرت الأدوات Spruce و Pathload بوصفهما من أكثر الأدوات تمثيلاً للأسلوبين PGM و PRM [9].

من أجل القيام بعملية التقدير لعرض الحزمة المتاحة، صُمِّمَت شبكة ضمن بيئة متحكم بها (نقصد أننا تحكم بكمية الحركة العابرة)، يمكن استخدام أية شبكة لأداء عملية التقدير، إلا أن عدم تحديد كمية الحركة العابرة لا يمكننا من التأكد من صحة نتائج التقدير التي نحرزها. استُخدمت أربعة حواسيب من أجل توليد وإرسال واستقبال كل من الحركة العابرة ورزم السبر، فضلاً عن مسيرين Routers ومبدلين Switches. انظر الشكل (7).

يجري في عملية التقدير، قياس عرض الحزمة المتاحة للوصلة ذات السعة 10 Mbps، الواقعة بين المسيرين. يقوم مولد الحركة العابرة بتوليد رزم مرور عابر بمعدل ثابت.



الشكل (7): شبكة اختبار مكونة من مسيرين، مبدلين، ومولد الحركة العابرة، ومستقبل الحركة العابرة، ومولد رزم السبر، وأخيراً مستقبل رزم السبر.

30	5	900	1440
31	4.8	930	1550
32	4.6	960	1669.6
33	4.4	990	1800
34	4.2	1020	1942.9
35	4	1050	2100
36	3.8	1080	2273.7
37	3.6	1110	2466.7
38	3.4	1140	2682.4
39	3.2	1170	2925
40	3	1200	3200
41	2.8	1230	3514.3
42	2.6	1260	3876.9
43	2.4	1290	4300
44	2.2	1320	4800
45	2	1350	5400
46	1.8	1380	6133.3
47	1.6	1410	7050
48	1.4	1440	8228.6
49	1.2	1470	9800
50	1	1500	12000

نلاحظ من الجدول السابق أن العدد الأكبر من معدلات الإرسال تتركز عند قيم منخفضة، وهذا يتماشى مع ما عرضناه سابقاً بأننا نهتم بالأثر الناتج عن عملية التقدير في عمل الشبكة، فكلما زاد معدل الإرسال زاد التأثير في الشبكة، وكذلك الاهتمام بتقدير عرض الحزمة المتاحة عند قيمها المنخفضة ضمن مجال السبر [0, 12] Mbps.

#### 4. إجراء عملية تقدير عرض الحزمة المتاحة:

سنقوم بتقدير عرض الحزمة المتاحة باستخدام ثلاث أدوات، الأداة Spruce [2] كنموذج عن أسلوب PGM، والأداة Pathload [5] كنموذج عن أسلوب PRM،

للقيم التي تم إحصاؤها. الجدول الآتي يوضح النتائج التي حصلنا عليها.

عرض الحزمة المتاحة الحقيقي (Mbps)	عرض الحزمة المتاحة المقاس (Mbps)		
	Probing train	Spruce	Pathload
2	2.05	1	1.9
3	3.16	1.7	2.85
4	3.93	3	4
5	5.21	4	4.8
6	6.72	5.6	6.1
7	7.65	6.78	7.2
8	7.84	7.6	8.3
9	8.7	8.8	9.07
10	9.64	9.75	10.2

عند تمثيل قيم الجدول السابق بيانياً نحصل على الشكل (8).

نلاحظ من نتائج عملية التقدير ما يأتي:

- تقدّم الأداة Pathload أفضل النتائج سواء عند القيم المنخفضة أو العالية للحركة العابرة.

- يعطي قطار السير نتائج جيدة إذ نلاحظ أن الخطأ المرتكب يعدّ قليلاً نسبياً، خاصةً عند القيم العالية للحركة العابرة (أي القيم المنخفضة لعرض الحزمة المتاحة، وهذا يلبي أحد أهدافنا بأننا نهتم بالقيم المتدنية لعرض الحزمة المتاحة، كما أشرنا سابقاً).

قيم الحركة العابرة التي استُخدمت في التجارب هي القيم الآتية: 0Mbps، 1Mbps، 2Mbps، 3Mbps، 4Mbps، 5Mbps، 6Mbps، 7Mbps، 8Mbps.

بالنسبة إلى مولد ومستقبل قطار السير ومستقبل إلى مولد الحركة العابرة، كُتبت البرامج جميعها بلغة C#، واستُخدم البرنامج Wireshark لقياس الفواصل الزمنية وتحديدها بدقة بين رزم السير عند إرسالها وعند استقبالها.

يرسل مولد رزم الحركة العابرة رزماً بحجم 1000 Bytes (8000 bits) بمعدل ثابت وبشكل مستمر. يُغيّر الفاصل الزمني بين رزم الحركة العابرة المولدة، كلما أردنا تغيير معدل توليد الحركة العابرة. مثلاً يكون الفاصل الزمني بين رزمي حركة عابرة متتاليتين هو 1 ms (لحظة إرسالها من مولد رزم الحركة العابرة) وذلك للحصول على معدل إرسال 8 Mbps للحركة العابرة، أي  $(1000 \times 8 / 0.001 = 8 \text{ Mbps})$ .

أمّا بالنسبة إلى الأداة Spruce و Pathload فقد كُتبت برامجهما باستخدام C++، ويمكن الحصول عليها من [10].

##### 5. النتائج:

بدايةً نذكر بأنه عندما نرسل رزم الحركة العابرة بمعدل 8Mbps، يكون عرض الحزمة المتاحة للوصلة 2Mbps، لأن سعة الوصلة هي 10 Mbps.

قمنا بتكرار عملية التقدير عدة مرات. الهدف من التكرار هو الحصول على قيم دقيقة من خلال حساب المتوسط

• (مثلاً 5 مرات)، ويزداد زمن التنفيذ مع زيادة مرات التكرار. عند الاكتفاء بخمس مرات، كان زمن إنجاز عملية التقدير أقل من ثانية واحدة.

• أمّا تنفيذ قطار السبر فيستهلك ثانيتين تقريباً.

يمكن أيضاً مقارنة الكلفة (عدد الرزم التي تحتاجها

الأداة لإنجاز عملية التقدير) للأدوات الثلاث السابقة:

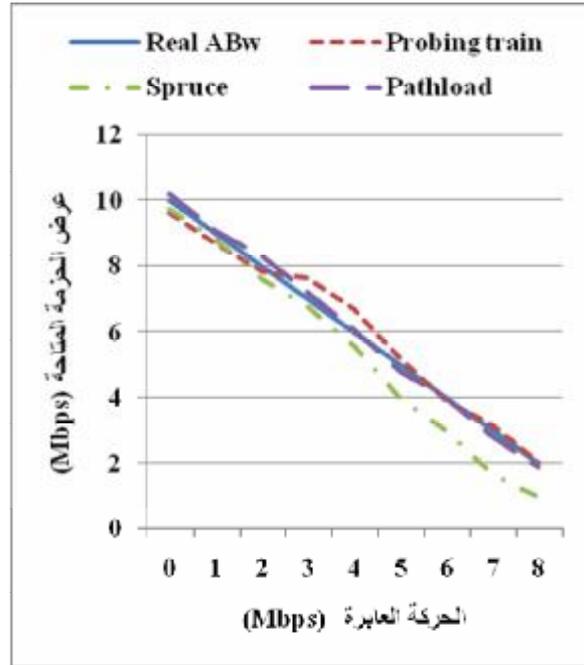
- لا يمكن تحديد كمية الرزم التي تحتاجها الأداة Pathload لإنجاز عملية التقدير بدقة، إلا أنّ أقل عدد يمكن أن تستخدمه الأداة Pathload هو 1200 رزمة (ترسل 12 قطاراً، وكل قطار مكون من 100 رزمة) [5].

- تحتاج الأداة Spruce إلى 10 رزم لإنجاز عملية التقدير (في حالة تكرار عملية التقدير خمس مرات فقط).

- بينما يرسل قطار السبر 50 رزمة فقط لإنجاز عملية التقدير.

من خلال ما سبق، يمكننا القول: إنّ تنفيذ قطار السبر حقق الهدف منه، وهو أن يكون حلاً وسطاً بين أسلوب PRM و PGM، بحيث نحصل على قيم بدقة جيدة خلال زمن قليل. الجدير بالذكر أيضاً أن قطار السبر هو الأداة الوحيدة بين الأدوات السابقة التي تستطيع تحديد أن رزم السبر وصلت بترتيب إرسالها نفسه أم لا، (يطلب المستقبل من المرسل إعادة إرسال قطار السبر من جديد في حال وصل عدد من رزم سبر إلى المستقبل بترتيب مغاير لترتيب إرسالها، من أجل إعادة عملية التقدير).

- نجد الأداة Spruce تعطي نتائج مقبولة عند القيم المنخفضة للحركة العابرة ويزداد الخطأ بشكل ملحوظ عند القيم العالية للحركة العابرة.



الشكل (8): نتائج تقدير عرض الحزمة المتاحة.

حُسِبَ الزمن الذي تستهلكه الطرق الثلاث لإنجاز عملية التقدير (أي الزمن من لحظة البدء وحتى إعطاء النتيجة)، وذلك بهدف المقارنة فيما بينها. كانت النتائج كما يأتي:

- تحتاج الأداة Pathload زمناً طويلاً نسبياً، وفي التجارب كانت Pathload تستهلك زمناً بين 10 إلى 12 ثانية.

- تسمح الأداة Spruce بتحديد عدد مرات تكرار عملية التقدير قبل أن تبدأ بالتنفيذ. تعدّ Spruce الأسرع عند تنفيذها بعدد قليل من مرات التكرار

Proc. of ITC specialist seminar on IP traffic Measurement ,September 2000.

## المراجع

8. M. Jain and C. Dovrolis, "Ten fallacies and pitfalls on end-to-end available bandwidth estimation," ACM IMC, pp. 272–277, 2004.
9. Cesar D. Guerrero, Miguel A. Labrador, "Traceband: A fast, low overhead and accurate tool for available bandwidth estimation and monitoring". University of South Florida, Tampa, FL 33647, United States, <http://www.ScienceDirect.com/science/journal/13891286>, 2009.
10. <http://netlab-mn.unipv.it/available/bw/tools>
1. Ravi Prasad, Constantinos Dovrolis, Margareth Murray, and Kimberly C. Cla\_y. Bandwidth estimation: Metrics, measurements techniques, and tools. IEEE Network, November 2003.
2. Strauss, J., Katabi, D., Kaashoek, F.: A measurement study of available bandwidth estimation tools. In: Proceedings of the 3rd ACM SIGCOMM conference on Internet measurement IMC'03 (2003)
3. Behrouz A. Forouzan. TCP/IP Protocol Suite. McGraw-Hill Professional, 2002.
4. B. Melander, M. Bjorkman, and P. Gunningberg. A New End-to-End Probing and Analysis Method for Estimating Bandwidth Bottlenecks. In Global Internet Symposium ,2000.
5. M. Jain and C. Dovrolis. Pathload: A Measurement Tool for End-to-End Available Bandwidth. In Passive and Active Measurements, Fort Collins, CO, March 2002.
6. N. Hu and P. Steenkiste. Evaluation and Characterization of Available Bandwidth Techniques. IEEE JSAC Special Issue in Internet and WWW Measurement, Mapping, and Modeling, 2003.
7. V. J. Ribeiro, M. Coates, R. H. Riedi, S. Sarvotham, and R. G. Baraniuk. Multifractal cross traffic estimation. In

تاريخ ورود البحث إلى مجلة جامعة دمشق 2011/3/13.