مجلة جامعة تشرين للبحوث والدراسات العلمية _ سلسلة العلوم الهندسية المجلد (32) العدد (4) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (32) No. (4) 2010

تحليل أداء بعض بروتوكولات التحكم بأخطاء الإرسال عند استخدامها في القناة الفضائية للربط بين محطات VSATs عبر محطة HUB مركزية

الدكتور صادق علي*
الدكتور علي أحمد **
سهاد حلّوم***

(تاريخ الإيداع 19 / 1 / 2010. قُبِل للنشر في 30/ 6 / 2010)

□ ملخّص □

يتضمن البحث تحليل أداء القناة الفضائية عند استخدام البروتوكولات المعتمدة في الاتصالات الأرضية للتحكم بأخطاء الإرسال، وذلك بسبب خصوصية الاتصالات الفضائية، والتي تظهر بشكل أساسي في كل من:

1- أزمنة التأخير الكبيرة في الوصلات الفضائية مقارنة بالاتصالات الأرضية، والتي تعود إلى بعد المسافة مابين المرسل والمستقبل.

2- معدل خطأ الخانة BER (bite error rate) المرتفع في الوصلات الفضائية بالنسبة للاتصالات الأرضية، وذلك نظراً لطبيعة القناة الفضائية.

اعتمد البحث على دراسة قناة فضائية تربط بين محطات أرضية من نوع VSAT (very small aperture terminal) عبر محطة مركزية HUB, باعتبار أن محطة الـ VSAT أو محطة الـ HUB تمثل عقداً (nodes) في الشبكة المرجوة، فقد ركزنا في الدراسة على الطبقات الثلاث الدنيا في نموذج الطبقات السبع OSI وخصوصاً طبقة وصلة المعطيات (Data link) لأنها تحتوي على البروتوكولات المسؤولة عن إيصال البيانات بشكل موثوق وصحيح إلى المستقبل عن طريق التحكم بالكشف عن الأخطاء، إضافة إلى تحكمها بآلية الإرسال. لقد تم تحليل عمل البروتوكولات ضمن هذه الطبقات من أجل الوصول إلى البروتوكول المناسب للقناة الفضائية وفق نوع المعلومات المنقولة وحجمها ومعدلات إرسالها، وذلك من أجل تحقيق الاستخدام الفعال للقناة الفضائية، وبالتالي تخفيض التكلفة الاقتصادية الناتجة من الاستثمار غير الفعال للقناة الفضائية.

الكلمات المفتاحية: نظم الاتصالات الفضائية، الطرفية ذات الفتحة الصغيرة جداً VSAT، شبكات الطرفية ذات الفتحة الصغيرة جداً، القناة الفضائية، البرتوكولات المستخدمة في الاتصالات القضائية.

* أستاذ مساعد- قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات-كلية الهندسة الميكانيكية والكهربائية- جامعة تشرين- اللاذقية- سورية.
**أستاذ مساعد- قسم هندسة الاتصالات والإلكترونيات- 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 (32) العدد (4) 2010
Tishreen University Journal for Research and Scientific Studies - Engineering Sciences Series Vol. (32) No. (4) 2010

Analyzing The Performance of Error Control Protocols When Using for Satellite Channel to Connect Vsats Stations Through Central HUB Station

Dr. Sadek Ali *
Dr. Ali Ahmad**
Sohad Hlloum***

(Received 19 / 1 / 2010. Accepted 30 / 6 / 2010)

□ ABSTRACT □

This research contains an analysis of the performance of satellite channel while using the error control protocols which are used in terrestrial communication because of the specialty of satellite communication which appears basically in:

1. The great delay in the satellite links comparing with the terrestrial communication which is caused by the large distance between the transmitter and receiver.
2. The bit error rate (BER) in the satellite links is higher than it is in terrestrial one which is caused by the nature of satellite channel.

The research is based on a study of the satellite channel which connect between VSATs through central station (HUB). Taking in consideration that the VSAT and HUB represent nodes in the network, we studied the three lower layers in OSI model especially data link layer which is contains the protocols which deliver the data in a successful and reliable way to the receiver by detecting the errors in addition to controlling the access to the channel. We have analyzed those layers' protocols to achieve suitable protocol for the satellite channel according to the transported data types, their sizes and their bit rate in order to achieve the most useful use of the satellite channel which in turn leads to reducing the cost which is usually caused by the improper investigation of the satellite channel.

Keywords: Satellite communication, Very Small Aperture Terminal, VSAT network, satellite channel, satellite communications protocols.

* **Associate professor, Department of communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
** **Associate professor, Department of communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**
*** **Postgraduate Student, Department of communication Engineering, Faculty of Mechanical and Electrical Engineering, Tishreen University, Lattakia, Syria.**

مقدمة:

يُعدّ استخدام الاتصالات الفضائية لربط الشبكات الحاسوبية المحلية (LANs) من أهم التقنيات الحديثة في عالم الاتصال.

تتعرض الإشارة أثناء انتشارها في الفضاء إلى عدة تأثيرات تؤدي إلى حدوث أخطاء في عملية الإرسال، مما يتطلب التركيز على البرتوكولات المسؤولة عن إيصال البيانات بشكل موثوق وصحيح من المرسل إلى المستقبل عن طريق البرتوكول المناسب للقناة الفضائية، وذلك لتحقيق الاستثمار الأمثل للقناة الفضائية.

أهمية البحث وأهدافه:

نهدف من خلال هذه الدراسة إلى إجراء مقارنة بين أداء القناة الفضائية و أداء القناة الأرضية عند استخدام بعض برتوكولات طبقة المعطيات (data link) المسؤولة عن إيصال البيانات بشكل موثوق وصحيح، من المرسل إلى المستقبل، عن طريق التحكم بالكشف عن الأخطاء، إضافة إلى تحكمها بآلية الإرسال .لقد تم تحليل عمل هذه البرتوكولات ضمن هذه الطبقات من أجل الوصول إلى البرتوكول المناسب للقناة الفضائية، وفق نوع المعلومات المنقولة و حجمها ومعدلات إرسالها، وذلك لتحقيق الاستثمار الأمثل للقناة الفضائية.

طرائق البحث ومواده:

لقد اعتمدنا في بحثنا هذا على طريقة التحليل الرياضي لأداء قناة فضائية افتراضية تربط محطات VSATs بعضها ببعض عبر محطة مركزية HUB . لقد تم اختيار بعض برتوكولات طبقة المعطيات التي تستخدم في ربط محطات الـVSATs بعضها ببعض، ومقارنتها بالبروتوكولات ذاتها حينما تستخدم في الشبكات الأرضية.

بناءً على التحليل الرياضي المذكور أعلاه قمنا بنمذجة رياضية للنتائج، وأجرينا محاكاة حاسوبية باستخدام لغة الـ MATLAB . لتحقيق هدف البحث قمنا بتحليل أداء القناة الفضائية فيما لو استخدمنا برتوكولات الشبكات الأرضية، ثم قمنا بتحليل أداء برتوكولات طبقة المعطيات للقناة الفضائية.

1 . تحليل أداء القناة الفضائية عند استخدام البرتوكولات المستخدمة في الاتصالات الأرضية:

إن تحليل أداء القناة الفضائية عند استخدام البرتوكولات المستخدمة في الاتصالات الأرضية له أهمية كبيرة عند تصميم الشبكات التي تعتمد على القناة الفضائية (الاتصال عبر الأقمار الصناعية) بسبب خصوصية الاتصالات الفضائية، والتي تظهر بشكل أساسي في نقطتين:

1- أزمنة التأخير الكبيرة في الوصلات الفضائية مقارنة بالاتصالات الأرضية التي تعود إلى بعد المسافة بين المرسل والمستقبل .يكون التأخير حوالي 250ms بينما تكون في الوصلات الأرضية عدة عشرات من الميلي ثانية.

2- معدل خطأ الخانة BER (bite error rate) المرتفع في الاتصالات الفضائية مقارنة بالقناة الأرضية، نظراً لتعرض القناة الفضائية للضجيج الذي يؤثر في عملية كشف الإشارة .

■ بالتالي فإن البرتوكولات المستخدمة في الاتصالات الأرضية لا يمكن أن تكون فعالة عند استخدامها في القناة الفضائية، وهذا يتطلب إجراء تعديلات على هذه البرتوكولات لكي تلائم القناة الفضائية، وهذا التعديل لا يمكن أن يطبق على كامل مسار الاتصال؛ أي من المصدر إلى الهدف (end-to-end)؛ لأنه يوجب تغييراً في تجهيزات المستخدم، هو غير مقبول؛ لذلك نلجأ إلى ما يلي:

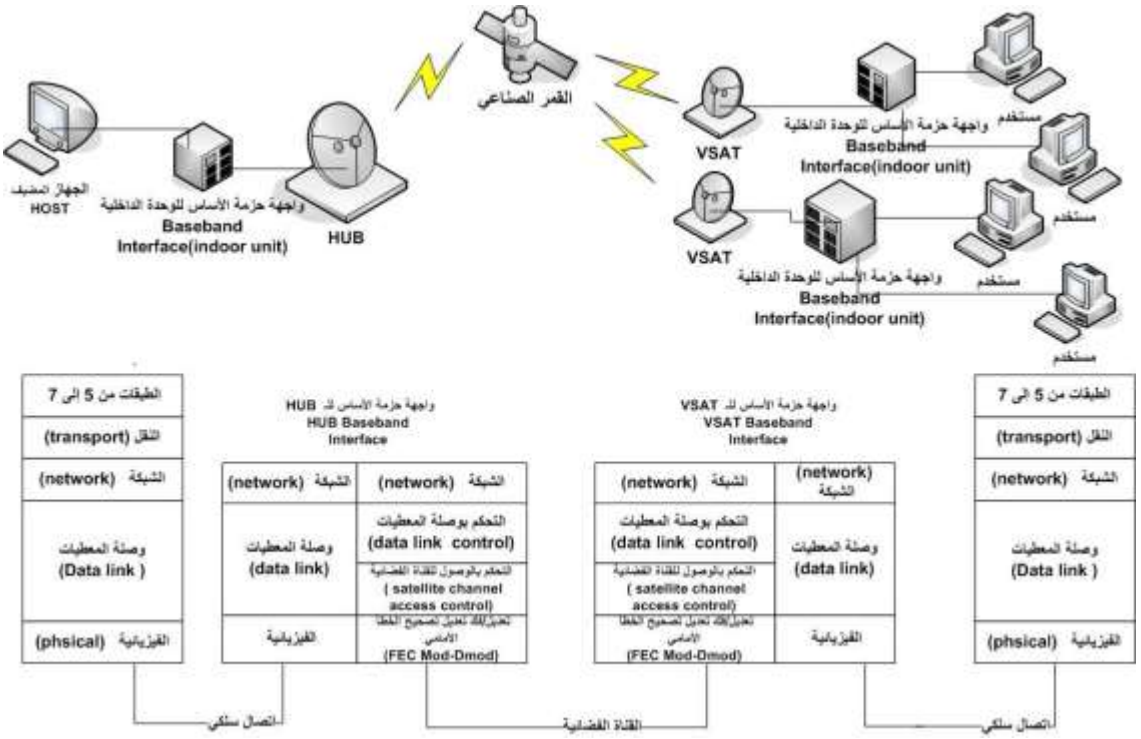
A – تبقى البرتوكولات نفسها بين المستخدم والمحطة(VSAT أو HUB).

B – يتم تحويل البرتوكولات الخاصة بالوصلة الفضائية .

إذاً التحويل لا يطبق إلا الطبقات الثلاث الأولى، وهي:

1. الطبقة الفيزيائية
2. طبقة وصلة المعطيات
3. طبقة الشبكة

■ يوضح الشكل التالي طبقات البرتوكولات للوصلة الأرضية وكيفية تحويلها لتعمل مع الوصلة الفضائية:[5]



الشكل(1) تحويل طبقات البرتوكولات

■ بالنسبة إلى طبقة الشبكة يقتصر عملها على إضافة عناوين جديدة خاصة بعناوين محطات الـ VSATs بشكل مستقل عن عناوين طرفيات المستخدمين؛ أما بالنسبة للطبقة الفيزيائية فستتم دراستها عند تصميم الوصلات الفضائية للشبكة .لذلك سنركز في دراستنا على طبقة وصلة المعطيات والغاية من إجراء عملية تحويل البرتوكولات في هذه الطبقة.

2. تحليل أداء البرتوكولات المستخدمة في طبقة المعطيات:

تم تحليل عمل البرتوكولات المستخدمة في طبقة المعطيات عند استخدامها في القناة الفضائية من خلال تقسيم هذه الطبقة إلى طبقتين هما:

1. وصلة التحكم بالمعطيات (data link control layer): تتحكم هذه الطبقة بالمعطيات المرسلة عبر الوصلة الفضائية بشكل مستقل عن التحكم بالمعطيات بين طرفية المستخدم و محطة الـVSAT .

2. طبقة التحكم بالوصول إلى القناة الفضائية (satellite channel access link control layer) : تتحكم هذه الطبقة بالوصول إلى القناة الفضائية عن طريق الحامل المفرد أو الحوامل المتعددة، وتقوم أيضاً بإدارة عرض الحزمة الترددية المطلوبة من أجل الحوامل التي تؤمن الاتصال عبر الطبقة الفيزيائية عن طريق التحكم بطريقة حجز الحزمة الترددية (دائم أوعند الطلب) وذلك حسب نوع الحركة المرسلة (bursty traffic, stream traffic).

2-1. تحليل أداء البرتوكولات المستخدمة في طبقة التحكم بوصلة المعطيات:

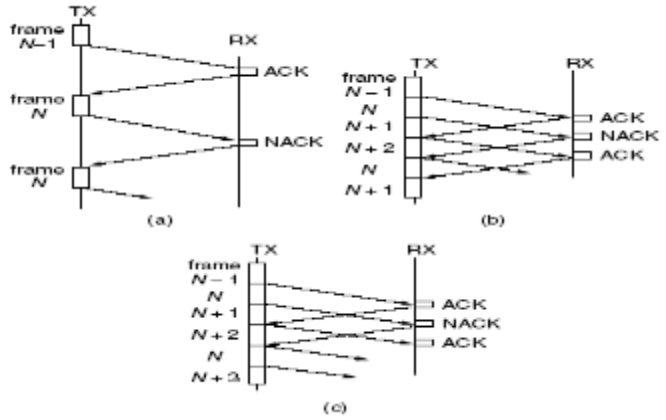
سيتم تحليل أداء ثلاثة برتوكولات أساسية مستخدمة في هذه الطبقة من أجل اكتشاف الأخطاء الناتجة من الإرسال، وهي:

(a) برتوكول توقف الإرسال بانتظار الرد من قبل المستقبل((stop-and-wait protocol (SW)

(b) برتوكول إعادة الإرسال بدءاً من الإطار رقم N الخاطئ((go-back-N protocol (GBN)

(c) برتوكول إعادة إرسال الإطار الخاطئ فقط((selective-repeat protocol (SR)

يوضح الشكل رقم(2)آلية عمل كل برتوكول:



الشكل(2) آلية عمل البرتوكولات(a . SW-b. GBN-c. SR)

يوضح الشكل (2-a) آلية عمل البروتوكول SW حيث يقوم المرسل بإرسال إطار المعلومات والتوقف عن الإرسال إلى حين وصول الرد من المستقبل، فإذا كان الرد إيجابياً (ACK) يعبر عن وصول الإطار بشكل صحيح، عندها يقوم بإرسال الإطار التالي، أما إذا كان الرد سلبياً (NACK) أي أن الإطار لم يصل بشكل صحيح يقوم عندها المرسل بإعادة إرسال الإطار.

بينما يوضح الشكل(2-b) آلية عمل البرتوكول GBN ، إذ يقوم المرسل بإرسال الإطارات بشكل متتالٍ دون انتظار الرد لكل إطار، و طالما أن المرسل يستقبل ردوداً إيجابية عن الإطارات المرسلة يستمر بإرسال الإطارات، أما عندما يستقبل رداً سلبياً يعبر عن عدم وصول الإطار رقم N بشكل صحيح فعندها سيقوم المرسل بإعادة إرسال الإطارات ابتداءً من الإطار رقم N .

أخيراً الشكل(2-c) يوضح آلية عمل البروتوكول SR إذ يقوم المرسل بإرسال الإطارات بشكل متتالٍ دون انتظار الرد لكل إطار و طالما أن المرسل يستقبل ردوداً إيجابية عن الإطارات المرسلة فإنه سيستمر بإرسال الإطارات،

أما عندما يستقبل رداً سلبي يعبر عن عدم وصول الإطار رقم N بشكل صحيح فعندها سيقوم المرسل بإعادة إرسال الإطار رقم N فقط، و يتابع عملية الإرسال من النقطة التي كان وصل إليها قبل ورود هذه الرسالة .

النتائج والمناقشة:

إن تحليل أداء قناة الاتصال عند استخدام تلك البرتوكولات الثلاثة يتم من خلال تحليل عدة بارمترات مهمة للوصول إلى النتيجة المرجوة من الدراسة كما يلي:

a. تحليل أداء قناة الاتصال من خلال علاقتها بمعدل خطأ البت BER و تأثير البرتوكول المستخدم في تلك العلاقة:

سنقوم بالمقارنة بين هذه البرتوكولات من حيث فاعلية القناة ومدى قدرتها على العمل في القناة الفضائية ومقدار تأثره بمعدلات خطأ البت BER.

تعطى العلاقات التي تحدد فاعلية القناة للبروتوكولات الثلاث بالشكل:[5]

$$\eta_{csw} = \frac{D(1-P_f)}{R_b T_{RT}} \quad \text{..... (1)}$$

$$\eta_{CGBN} = \frac{D(1-P_f)}{L(1-P_f)+R_b T_{RT} P_f} \quad \text{.....(2)}$$

$$\eta_{CSR} = \frac{D(1-P_f)}{L} \quad \text{..... (3)}$$

إذ إن:

D(bits) :عدد بتات المعلومات في كل إطار.

L(bits)=D+H :طول الإطار، H :عدد بتات الترويسة.

$P_f=1-(1-BER)^L$: احتمال الخطأ في الإطار.

R_b(b/s) : معدل بت المعلومات.

T_{RT}(s) : الزمن اللازم للإرسال من المرسل إلى المستقبل واستقبال الرد من المستقبل إلى المرسل (زمن الاستجابة).

وبفرض القيم التالية:

D = 1000 bits, H = 48 bits, L = 1048 bits, R_b= 64kb/s

- يمكننا حساب قيمة T_{RT} لكل من الوصلتين الفضائية و الأرضية كما يلي:

$$T_{RT} = \frac{L}{R_b} + 2T_P + \frac{A}{R_{BACK}} \quad (4)$$

إذ إن:

L/R_b: الزمن اللازم لإرسال الإطار من المحطة المرسلة.

A/R_{BACK}: الزمن اللازم لإرسال رسالة الرد من المستقبل (رسالة ACK) التي طولها A(bits) .

$2T_P$: الزمن اللازم لإرسال و استقبال الرد عبر قناة الاتصال .

بإهمال قيمة A/R_{BACK} أمام قيمة L/R_b لأن A صغير جداً مقارنة بـ L ، ومن جهة أخرى فإن الـ R_{BACK} ضمن outbound link أي من الـ hub باتجاه محطة الـ VSAT وتكون قيمته أكبر من R_b وبالتالي تصبح العلاقة بالشكل:

$$T_{RT} = \frac{L}{R_b} + 2T_P \qquad (5)$$

و باعتبار أن $T_P = 5$ ms للوصلات الأرضية و بالتعويض بالعلاقة(5) نجد: $T_{RT} = 26$ms

أما للوصلات الفضائية فإن قيمة T_P تكون حوالي $T_P = 260$ ms و بالتعويض بالعلاقة(5) نجد: T_{RT}=536ms

بالاستفادة من العلاقات(1,2,3) و القيم المفروضة نحصل على المقارنة التالية مابين أداء القناتين الأرضية والفضائية، عند استخدام البروتوكولات السابقة، عند معدلات خطأ بت BER مختلفة:

الجدول(1) تأثير البرتوكول المستخدم في أداء قناة الاتصال عند $BER=10^{-5}$

$BER=10^{-5}$	η_{CSW}	η_{CGBN}	η_{CSR}
الاتصالات الأرضية	45%	81%	86%
الاتصالات الفضائية	2.6%	20%	86%

الجدول(2) تأثير البرتوكول المستخدم على أداء قناة الاتصال عند $BER=10^{-7}$

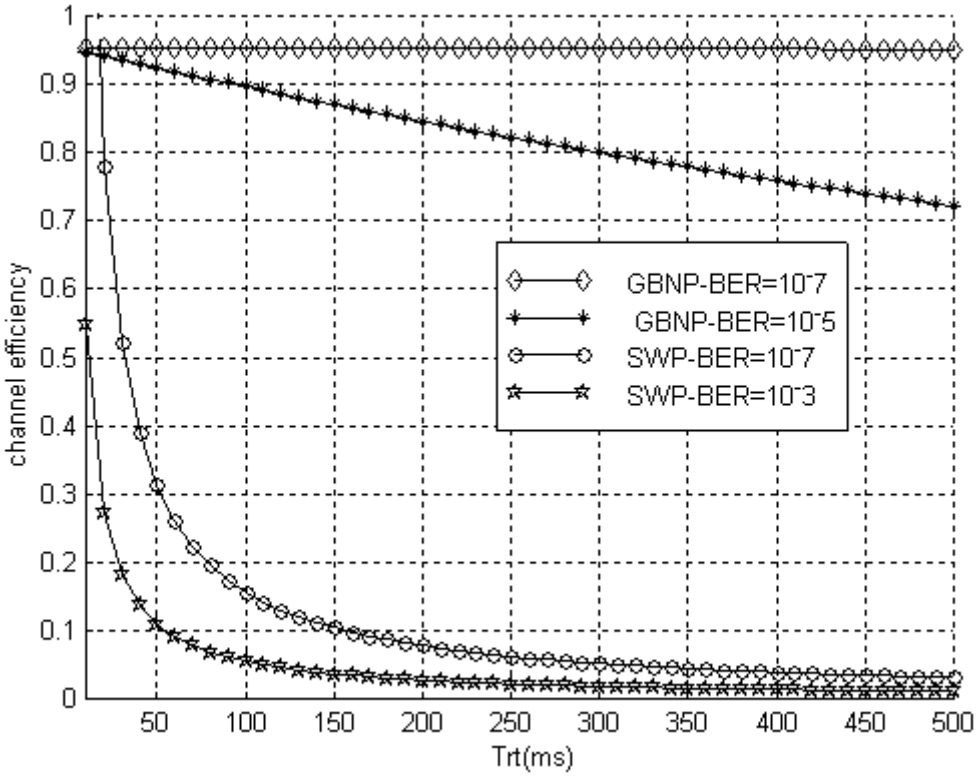
$BER=10^{-7}$	η_{CSW}	η_{CGBN}	η_{CSR}
الاتصالات الأرضية	60%	96%	96%
الاتصالات الفضائية	2.9%	95%	96%

- من الجدولين (1.2) نلاحظ تأثر فاعلية القناة عند استخدام البروتوكولين SW,GBN في القناة الفضائية بشكل كبير جداً بينما تبقى قيمتها ثابتة عند استخدام البرتوكول SR، كما نلاحظ تحسن أداء القناة عند قيم BER منخفضة .

b. تحليل أداء قناة الاتصال عند استخدام البروتوكولات الثلاثة السابقة من خلال علاقتها بأزمنة الاستجابة في هذه القناة :

يمكننا تحليل أداء القناة أيضاً عند استخدام إحدى البروتوكولات السابقة من خلال زمن الاستجابة الناتج من كل بروتوكول، وذلك عند قيم مختلفة لـ BER .بالاستفادة من العلاقات(1,2,3) وبفرض القيم التالية

(R_b=64kb/s – D=1000 bits-H=48 bits- L=1048 bits) يمكن الحصول على المخطط البياني التالي الذي يعبر عن علاقة فاعلية القناة مع زمن الاستجابة عند معدلات خطأ بت مختلفة، وباعتبار بقية البارمترات ثابتة:



الشكل(3) تأثير زمن الاستجابة في قناة الاتصال في أداء القناة عند استخدام برتوكولين مختلفين لكشف الأخطاء و عند قيم BER مختلفة

- من الشكل (3) نلاحظ أن فاعلية القناة تتأثر بشكل كبير بزمن الاستجابة (التأخير الزمني) عند استخدام البروتوكولين SW,GBN، ويكون التأثير الأكبر في البروتوكول SW ؛ لأنه يعتمد في عمله على رسالة إقرار الوصول للإطار السابق (ACK) كما هو موضح سابقاً، وبالتالي كلما كان زمن الاستجابة طويلاً كان زمن الانتظار للإرسال أكبر، وهذا يؤدي إلى عدم الاستفادة من عرض الحزمة الترددية المحجوزة للإرسال في هذه الفترة، مما يعكس ذلك على فاعلية القناة بشكل سلبي ،بينما نلاحظ أن تأثير زمن الاستجابة يكون أقل في البروتوكول GBN وهذا يفسر آلية عمله التي تقوم بإرسال الإطارات دون انتظار الرد من المستقبل وطالما كان الرد ايجابياً (ACK) تستمر عملية الإرسال، أما عند وصول رد سلبي (NACK) فيقوم المرسل بإعادة إرسال الإطارات ابتداءً من الإطار الذي تعرض للضياع، وبالتالي كلما كان زمن الاستجابة أطول كان عدد الإطارات المرسلة قبل وصول الرد السلبي أكبر، وهذا يؤدي بالضرورة إلى إعادة إرسال هذه الإطارات من جديد مما يؤدي إلى انخفاض فاعلية القناة كما هو موضح في الشكل السابق. كما نلاحظ أيضاً أن فاعلية القناة تتحسن عند انخفاض قيمة الBER وخصوصاً للبروتوكول GBN التي تصبح شبه ثابتة مع ازدياد زمن الاستجابة وهذا ما يؤكد أن عدد رسائل الرد السلبي (NACK) تصبح أقل ما يمكن نتيجة زيادة وثوقية النظام، وذلك بتخفيض معدل خطأ البت، والذي يقلل بدوره عدد الإطارات المعاد إرسالها نتيجة تعرضها للخطأ وبالتالي ضمان زيادة فاعلية القناة، وهذا ما تؤكده النتائج التي حصلنا عليها من الجدولين (1,2) .أما بالنسبة للبرتوكول SR فنستنتج أنه غير مرتبط بزمن الاستجابة، لأن مبدأ عمله يعتمد على إعادة إرسال الإطار الذي تعرض للخطأ فقط كما هو موضح سابقاً.

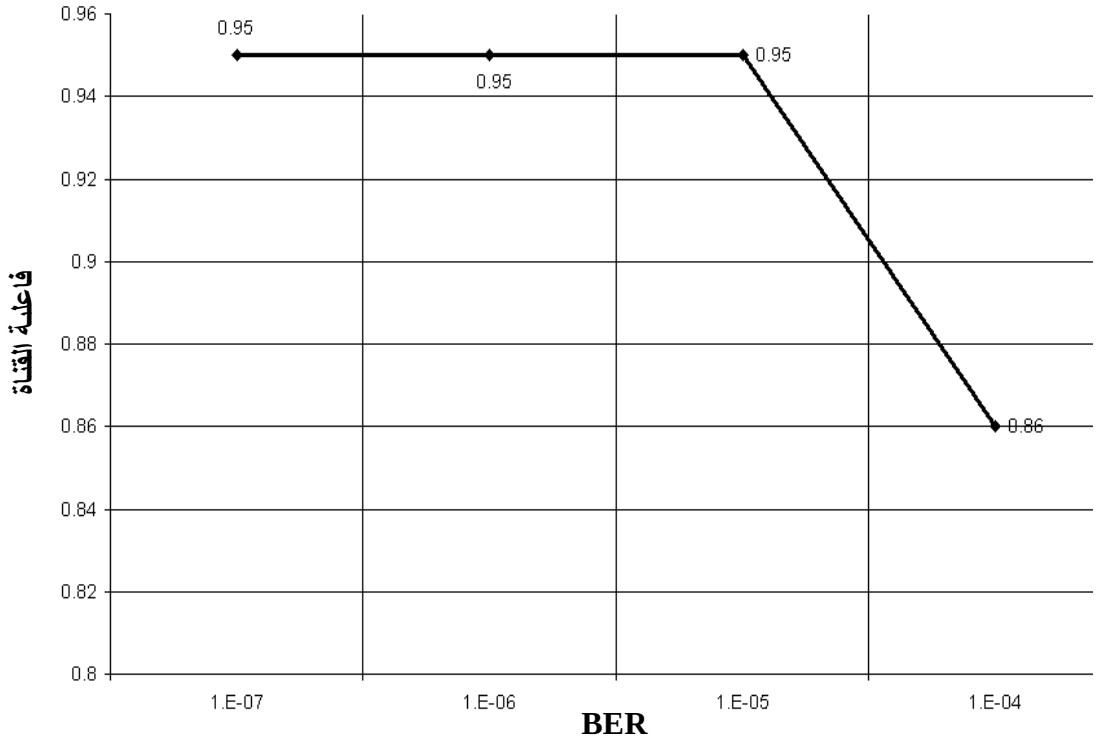
• لدراسة علاقة فاعلية القناة عند استخدام البروتوكول SRP ،نلاحظ من العلاقة (3) أنها غير متعلقة بزمن الاستجابة، لذلك ندرس علاقتها بتغير معدل خطأ البت، وذلك عند القيم التالية:

R_b=64kb/s – D=1000 bits-H=48 bits- L=1048 bits و بالتعويض بالعلاقة(3) نحصل على الجدول التالي:

الجدول(3) أداء قناة الاتصال من خلال علاقتها بمعدل خطأ البت BER عند استخدام SRP

BER	10^{-4}	10^{-5}	10^{-6}	10^{-7}
η_{CSR}	86%	94.5%	95.3%	95.4 %

وبرسم المخطط البياني المقابل للنتائج السابقة نحصل على الشكل التالي:



الشكل(4) تأثير معدل خطأ البت BER في أداء قناة الاتصال عند استخدام البرتوكولSR

• نلاحظ من الجدول(3) والشكل(4) أن فاعلية قناة الاتصال عند استخدام البرتوكول SR تحافظ على قيمة ثابتة تقريباً طالما أن قيمة الـ BER منخفضة نسبياً، وهذا يؤكد ما توصلنا إليه بالنتيجة السابقة بأن برتوكول SR مستقل عن زمن الاستجابة؛ لأن عرض الحزمة المتاحة للإرسال كبير بما فيه الكفاية بالنسبة لكمية المعلومات المتبادلة، ولكنه من جهة ثانية غير مستقل عن قيمة الـ BER والتي يصبح تأثيرها شبه معدوم في فاعلية القناة عند القيم المنخفضة نتيجة زيادة وثوقية النظام بتخفيض قيمة الـBER ، وبالتالي انخفاض عدد الإطارات المعاد إرسالها.

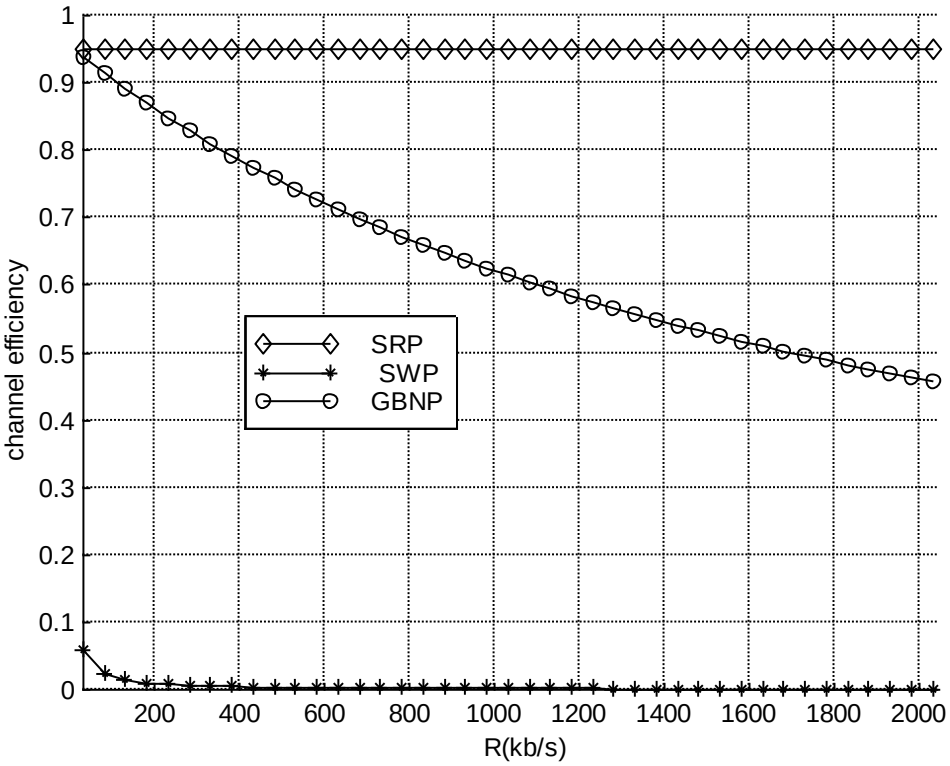
c. تحليل أداء القناة الفضائية من خلال علاقتها بمعدل الإرسال وتأثير البروتوكول المطبق في تلك العلاقة:

لدراسة علاقة فاعلية القناة الفضائية عند استخدام البروتوكولات السابقة بتغير معدل الإرسال، وذلك عند القيم التالية: T_{RT}=536ms -BER=10^{-7} - D=1000 bits-H=48 bits- L=1048 bits وبالتعويض في العلاقات(1,2,3) نحصل على الجدول التالي:

الجدول(4) أداء القناة الفضائية من خلال علاقتها بمعدل الإرسال و تأثير البرتوكول المطبق

$R_b(Kbs^{-1})$	32	64	128	256	2048
η_{CSW}	5.8%	2.9%	1.4%	0.72%	0.1%
η_{CGBN}	93%	92.2%	89.3%	83.9%	45.5%
η_{CSR}	95%	95%	95%	95%	95%

و برسم المخططات البيانية المقابلة للنتائج السابقة نحصل على الشكل التالي:



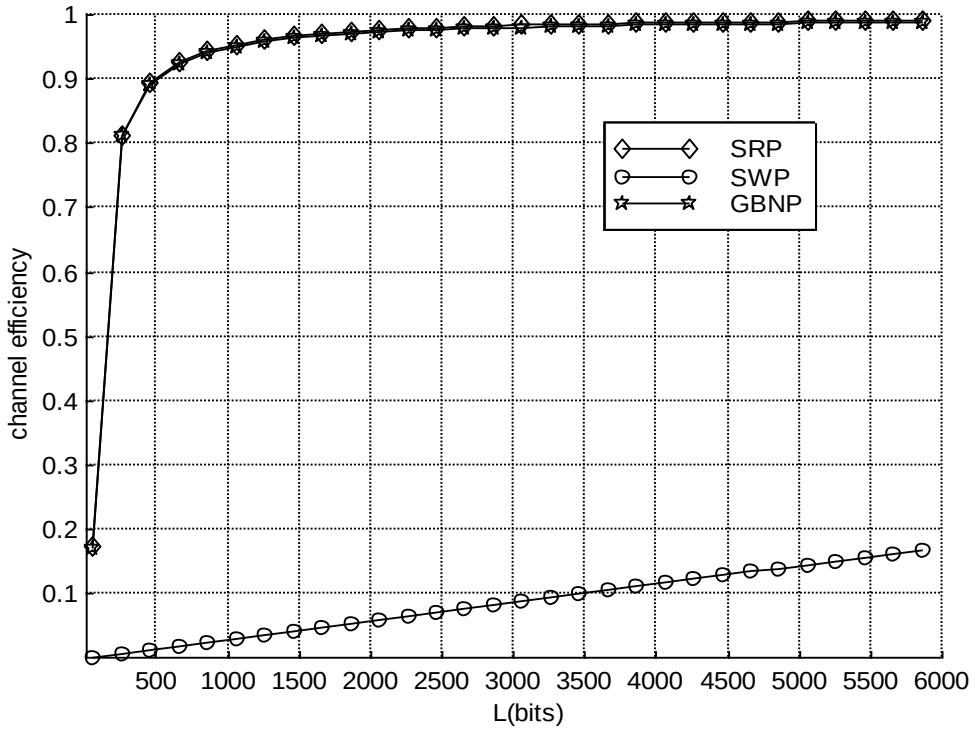
الشكل(5) تأثير معدل الإرسال في أداء القناة الفضائية عند استخدام برتوكولات مختلفة لكشف الأخطاء

من الجدول (4) والشكل (5) نلاحظ أن فاعلية القناة الفضائية غير مرتبطة بمعدل الإرسال عند استخدام البرتوكول SR ، بينما تتأثر بشكل كبير عند استخدام البرتوكولين الآخرين: يعود السبب في ذلك إلى أن برتوكول SR مرتبط فقط بقيمة الـ BER كما وضحنا سابقاً، ويكون أداؤه جيداً عند BER منخفضاً، ومن جهة أخرى غير مرتبط بمعدل الإرسال؛ لأن عرض الحزمة المتاحة للإرسال(حجم نافذة الإرسال) كبير بما فيه الكفاية بالنسبة لكمية المعلومات

المتبادلة لكي لا نصل إلى حالة الازدحام و التصادم بين الإطارات(كما سنرى في فقرات لاحقة). أما بالنسبة للبروتوكولين GBN,SW فازدياد معدل الإرسال سوف يزيد عدد الإطارات المعاد إرسالها نتيجة ثبات قيمة الـBER مما ينعكس على فاعلية القناة سلباً .

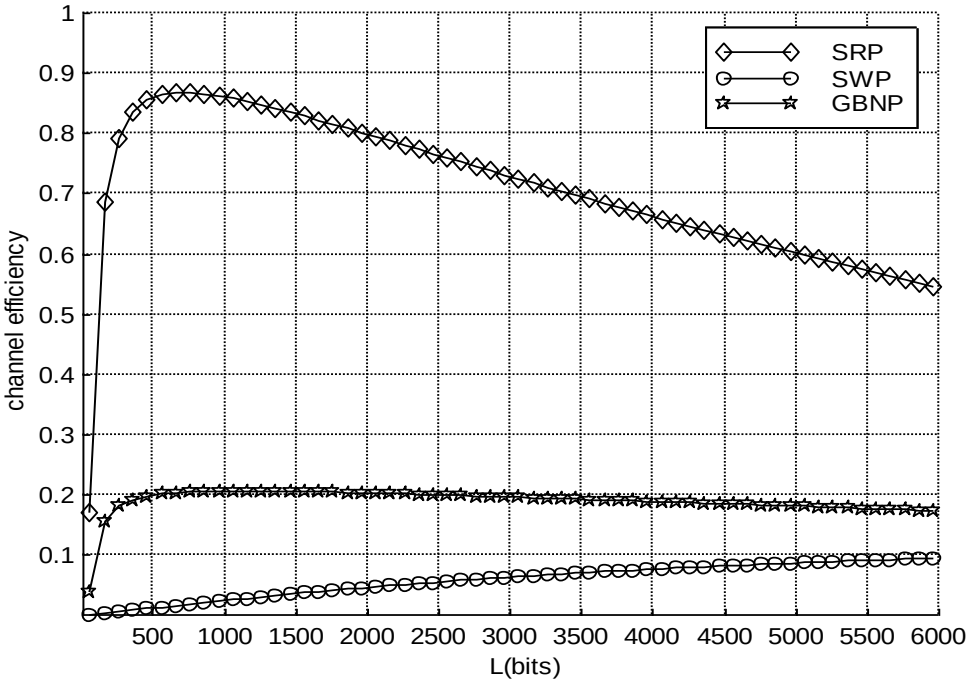
d. تحليل أداء القناة الفضائية من خلال علاقتها بحجم الباكيت المرسل و تأثير البرتوكول المطبق في تلك العلاقة:

لدراسة علاقة فاعلية القناة الفضائية عند استخدام البرتوكولات السابقة بتغير طول الباكيت المرسل، وذلك عند القيم التالية $BER=10^{-7}$ - $T_{RT}=536ms$ - $R_b=64kb/s$ - $H=48$ bits- $D=1000$ bits و بالتعويض بالعلاقات (1,2,3)نحصل على الشكل التالي:



الشكل(6) تأثير طول الباكيت المرسل في أداء القناة الفضائية عند استخدام برتوكولات مختلفة لكشف الأخطاء

- لدراسة علاقة فاعلية القناة الفضائية بتغير طول باكيت المعلومات المرسل وذلك عند القيم السابقة نفسها، ولكن عند معدل خطأ بت أكبر $BER=10^{-4}$ نحصل على الشكل التالي:

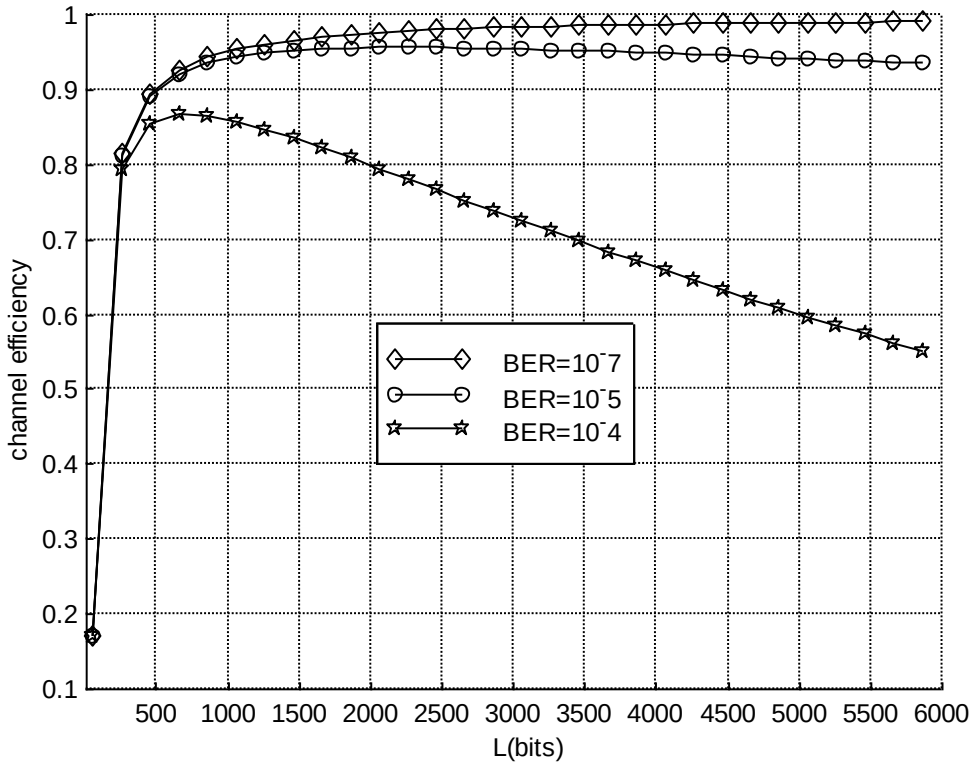


الشكل(7) تأثير طول الباكيت المرسل في أداء القناة الفضائية عند استخدام برتوكولات مختلفة لكشف الأخطاء

▪ نلاحظ من الشكل(6) أنه عند استخدام معدل خطأ بت BER منخفض، فإن كلاً من البرتوكولين GBNP و SRP يحققان أداء جيداً ومستقراً تقريباً للقناة الفضائية، وذلك عندما يكون طول الباكيت L>500 bits (عند القيم المفروضة لباقي البارمترات) بينما يكون أداء القناة الفضائية سيئاً جداً عند استخدام البروتوكول SW عند أطوال الباكيتات الصغيرة، ولا يتحسن بازدياد طول الباكيت فكلما كان الباكيت أطول كان استخدام الحزمة الترددية المحجوزة للإرسال أفضل بالنسبة لهذا البرتوكول .

▪ نلاحظ من الشكل (7) عندما يصبح معدل خطأ البت أكبر، فإن أداء القناة الفضائية عند استخدام البرتوكول SRP يصل إلى قيمة أعظمية عند ازدياد طول الباكيت، ثم يتناقص، وكذلك عند استخدام البرتوكول GBNP حيث تصبح قيم فاعلية القناة الفضائية منخفضة بشكل كبير ولا تضاهي أداء البرتوكول SRP بينما يصبح أداء القناة الفضائية أسوأ عند استخدام البروتوكول SW، وهذا يؤكد أن عدد الباكيتات المعاد إرسالها عند قيم BER مرتفعة يكون أكبر، وبالتالي بازدياد طول الباكيت المعاد إرساله أكثر من قيمة معينة يزداد الزمن اللازم لإعادة إرساله بشكل كبير، مما يخفّض فاعلية القناة .

■ لدراسة تأثير قيم الـ BER في فاعلية القناة الفضائية مع تغير طول باكيت المعلومات المرسل عند استخدم البرتوكولSRP وذلك عند القيم التالية R_b=64kb/sT_{RT}=536ms H=48 bits- وبالتعويض في العلاقات(1,2,3) نحصل على الشكل التالي:



الشكل(8) تأثير طول الباكيت المرسل في أداء القناة الفضائية عند استخدام SR عند قيم BER مختلفة

● نلاحظ من الشكل(8) أن فاعلية القناة تكون تابعة لطول الباكيت و أيضاً للـ BER ، فعند BER مرتفع نلاحظ ازدياد فاعلية القناة بازدياد طول الباكيت لتصل إلى قيمة عظمى، ثم تبدأ بالتناقص نتيجة ازدياد الباكيتات الخاطئة، أما بالنسبة للـ BER المنخفض فنلاحظ تزايد الفاعلية مع ازدياد طول الباكيت لتصل إلى قيمة عظمى تبقى ثابتة مهما ازداد طول الباكيت نتيجة الحفاظ على عدد منخفض من الباكيتات المعاد إرسالها نتيجة قيمة الـ BER المنخفضة.

■ الخلاصة مما سبق:

1. فاعلية القناة تتأثر بشكل كبير بزمن الاستجابة (أزمنة التأخير) وبالتالي هذا يؤكد أن معظم البرتوكولات المستخدمة في القنوات الأرضية لا تحقق الفاعلية نفسها عند استخدامها في القنوات الفضائية، لذلك كانت الحاجة إلى تحويلها.

2. فاعلية القناة تتأثر أيضاً بمعدل خطأ البت BER .

3. نلاحظ أن فاعلية القناة الفضائية تكون سيئة جداً عند استخدام برتوكول SW مهما كانت قيمة الـ BER، بينما تتحسن بالنسبة لبرتوكول GBN مع تحسن قيمة الـ BER .

4. نلاحظ أن فاعلية القناة عند استخدام البرتوكول SR غير مرتبطة بزمن الاستجابة، أو بمعدل الإرسال، كما نلاحظ ثبات قيمته عند تحسن BER ، وهذا ما يجعل استخدام البروتوكول SRP مناسباً في القنوات الفضائية، وذلك باعتبار أن عرض الحزمة المتاحة للإرسال(حجم نافذة الإرسال) كبير بما فيه الكفاية بالنسبة لكمية المعلومات المتبادلة، لكي لا نصل إلى حالة الازدحام و التصادم بين الإطارات.

5. نلاحظ أن زيادة عدد بتات المعلومات المرسلة في الإطار سوف تؤدي إلى استخدام القناة بشكل أكثر فاعلية، وذلك عند BER منخفض، ونجد أن الأداء الأفضل باستخدام البرتوكول SRP .

2-2 . دراسة تأثير البرتوكول SR في التحكم بالمعلومات المرسلة(flow control) :[7]

إن البرتوكولات التي ذكرناها سابقاً عادة ما تستخدم نوافذ من خلال طبقة المعطيات أو طبقة النقل من أجل التحكم بحجم المعلومات المرسلة، إذ إن كل نافذة لها حجم معين يحدد عدد الرسائل التي ترسل من خلاله، لذلك عند استخدام البرتوكول SR السابق عند نافذة ذات حجم محدود، فإن العلاقة السابقة لحساب فاعلية الوصلة تصبح غير دقيقة، وفي هذه الحالة نستخدم علاقة جديدة بمساعدة برتوكول جديد يعمل مع البرتوكول السابق، وهو sliding windows حيث يقوم هذا البروتوكول بتحرير نافذة حالما يستقبل رسالة تؤكد وصول الإطار بشكل سليم إلى الهدف.

ويتم حساب فاعلية القناة في هذه الحالة من العلاقات التالية:**[8]**

$$\eta_{CSR}=\frac{D(1-P_f)W}{L+R_bT_{RT}} \qquad W<1+\frac{R_bT_{RT}}{L} \qquad (6)$$

$$\eta_{CSR}=\frac{D(1-P_f)}{L} \qquad W>>1+\frac{R_bT_{RT}}{L} \qquad (7)$$

إذ إن القيمة: (R_bT_{RT}/L) تعبر عن عدد وحدات البيانات للبروتوكول التي يمكن أن تنقل بين المرسل و المستقبل بالاتجاهين. نلاحظ أن العلاقة الثانية هي نفسها العلاقة المدروسة في الحالة السابقة، باعتبار أن عدد النوافذ أكبر بكثير من عدد الرسائل المرسلة و المستقبلة.

a. تحليل أداء القناة الفضائية من خلال علاقتها بحجم النافذة عند استخدام البرتوكول SRP :

نقوم بدراسة تأثير حجم النافذة للبرتوكول SRP في أداء القناة الفضائية، نفرض لدينا القيم التالية:

$BER=10^{-7}$ $-R_b=64kb/s$ $T_{RT}=563ms$ $-$ D=1000 bits-H=48 bits- L=1048 bits

وبالتعويض بالعلاقتين (6,7) نحصل على الجدول التالي:

الجدول(5) أداء القناة الفضائية من خلال علاقتها بحجم النافذة عند استخدام البرتوكول SRP

W $(BER=10^{-7})$	1	2	6	10	15	30
η_{CSR} $W<1+R_bT_{RT}/L$	2.8%	5.6%	16.8%	28%	42%	84%
η_{CSR} $W>>1+R_bT_{RT}/L$	95%	95%	95%	95%	95%	95%

▪ نلاحظ أن فاعلية القناة تتأثر بحجم نافذة البرتوكول حيث تكون ذات قيمة صغيرة، عندما يكون حجم النافذة أصغر من القيمة التي تعبر عن عدد وحدات البيانات للبروتوكول التي يمكن أن تنقل بين المرسل و المستقبل بالاتجاهين، كما نلاحظ عدم ارتباطها بحجم النافذة عندما يكون حجم النافذة أكبر بكثير من القيمة السابقة.

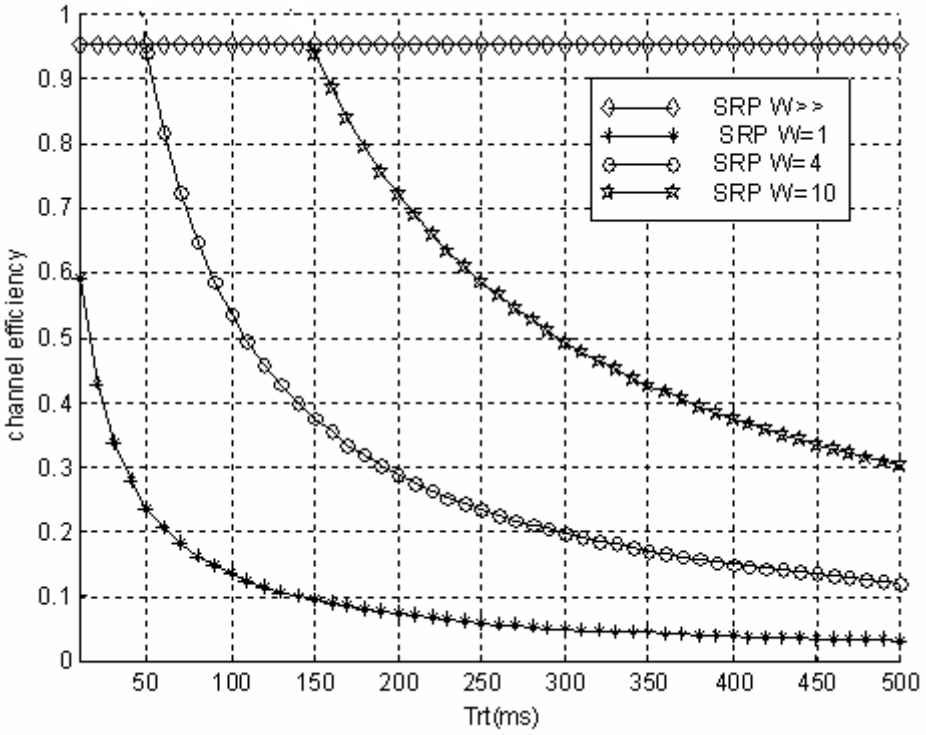
b. تحليل أداء القناة من خلال علاقتها بأزمنة الاستجابة عند استخدام برتوكول SRP ذي حجم نافذة محدود:

نلاحظ من العلاقة(6) أن أداء القناة عند استخدام البرتوكول SRP ذي حجم نافذة محدود أصبح متعلقاً بأزمة الاستجابة: بفرض W=2 ذي قيمة ثابتة و $BER=10^{-7}$ D=1000 bits-H=48 bits- L=1048 bits R_b=64kb/s و بالتعويض بالعلاقتين السابقتين نحصل على الجدول التالي:

الجدول(6) أداء القناة من خلال علاقتها مع أزمنة الاستجابة عند استخدام برتوكول SRP ذو حجم نافذة محدود

$T_{RT(ms)}$	30	60	90	120	200	536
η_{CSR} $W<1+R_bT_{RT}/L$	67%	50%	29%	23%	14%	5.6%

و برسم المخطط البياني الموافق للعلاقة(6) عند الثوابت السابقة نفسها نحصل على الشكل التالي:



الشكل(9) تأثير زمن الاستجابة في قناة الاتصال في أداء القناة الفضائية عند استخدام SR ذي حجم نافذة محدود

● نلاحظ أن فاعلية القناة عند استخدام برتوكول SR أصبحت مرتبطة بزمن الاستجابة، وذلك عند حجم محدود للنافذة، لأن عرض الحزمة المحدود سوف يسبب ازدحاماً وتصادماً بين الإطارات مما يتطلب استخدام برتوكول

مساعد وهو sliding windows الذي يقوم بالحفاظ على كمية معلومات مرسلة ضمن حجم نافذة معين لتجنب عملية الازدحام والتصادم، وبالتالي انقطاع الاتصال، يعتمد هذا البرتوكول على رسائل تقرير الوصول(ACK) فكلما وصلت رسالة تعبر عن رد إيجابي (ACK) يقوم بزيادة حجم نافذة الإرسال بمقدار باكيت إلى حين الوصول إلى القيمة العظمى لحجم النافذة المحددة، وبالتالي كلما كان زمن الاستجابة قصيراً وصلت رسائل الـ(ACK) بشكل أسرع، و ازداد حجم نافذة الإرسال، وهذا يؤدي إلى زيادة فاعلية القناة .كما نلاحظ أنه بزيادة حجم نافذة الإرسال الأعظمي تزداد فاعلية القناة، وهذا يؤكد ما سبق .[7]

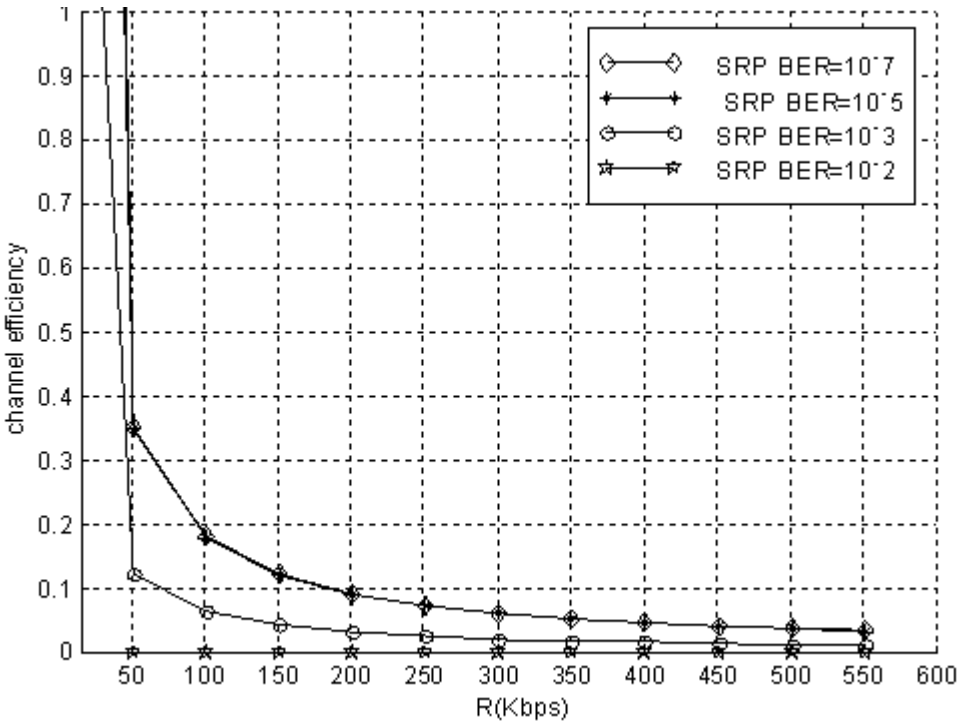
c. تحليل أداء القناة الفضائية من خلال علاقتها بمعدل الإرسال عند استخدام برتوكولSRP ذي حجم نافذة محدود:

بدراسة علاقة فاعلية القناة بمعدل الإرسال بفرض أن لدينا القيم التالية: T_{TR}=536ms و w=10 – $BER=10^{-7}$
D=1000 bits-H=48 bits- L=1048 bits و بالتعويض بالعلاقة (6) نحصل على الجدول التالي:

الجدول(7) أداء القناة الفضائية من خلال علاقتها بمعدل الإرسال عند استخدام برتوكولSRP ذي حجم نافذة محدود

R_b(Kb/s)	16	32	64	128	256	2048
η_{CSR} $W<1+R_bT_{RT}/L$	100%	55%	28%	14%	7.2%	1%

وبرسم المخطط البياني المقابل لهذه العلاقة نحصل على الشكل التالي:



الشكل(10) تأثير معدل إرسال البت في أداء القناة الفضائية عند استخدام SR ذي حجم نافذة محدود عند قيم BER مختلفة

■ نلاحظ من الجداول و المخططات البيانية السابقة ما يلي:

▪ تتأثر فاعلية القناة الفضائية عند استخدام البرتوكول SR بشكل كبير بحجم نافذة البرتوكول المستخدمة، وللوصول إلى قيم جيدة يجب أن يكون حجم النافذة أكبر من عدد وحدات البيانات التي تنتقل بين المرسل والمستقبل، بحيث تقوم المحطة المرسلة بالإرسال دائماً دون الحاجة لانتظار رسالة ACK من المحطة المستقبلة وفي هذه الحالة تكون فاعلية القناة مستقلة عن زمن الاستجابة في النظام ككل و يتطلب هذا الأمر وجود buffer ذي حجم كبير في كل من VSAT و HUB لكي تحتفظ بالباكيتات حتى التأكد من وصولها بشكل صحيح، وهذا يتطلب منها زمن (0.5sec وذلك بإهمال أزمنة المعالجة و أزمنة التأخير للبرتوكولات.....) وبالتالي يجب أن يكون حجم الـ buffer كبير ليحتفظ بكل الباكيتات الجديدة، والتي تصل قبل انتهاء هذه المدة. يمكن تجنب تأمين مثل هذا الـ buffer عن طريق تطبيق آلية تصحيح الخطأ على مستوى طبقة النقل؛ أي يقوم جهاز المضيف أو أجهزة المستخدم بإعادة إرسال الباكيتات التي يحدث فيها خطأ ما، ولكن هذا سوف يزيد التأخير الزمني.

▪ نلاحظ أن فاعلية القناة عند استخدام البرتوكول SR تصبح غير مستقلة عن زمن الاستجابة عندما يكون حجم نافذة البرتوكول محدوداً، لذلك يُستخدم برتوكول جديد لمساعدة البرتوكول SR على تحسين الفاعلية للقناة الفضائية وهو sliding windows .

▪ نلاحظ أن فاعلية القناة عند استخدام البرتوكول SR تصبح مرتبطة بمعدل إرسال البت للمعلومات R_b عندما يكون حجم نافذة البرتوكول محدوداً، ونلاحظ انخفاضها بشكل كبير عند زيادة معدل إرسال بتات المعلومات.

الاستنتاجات والتوصيات:

■ ناقشت الدراسة أداء قناة فضائية لربط شبكة VSAT عند استخدام ثلاثة برتوكولات مختلفة ضمن طبقة وصلة المعطيات و المسؤولة عن آلية كشف الأخطاء، وإعادة إرسال الباكيتات المستقبلة بشكل خاطئ، أظهرت الدراسة أن البرتوكولات التي تستخدم في الاتصالات الأرضية بشكل فعال لن تعمل بتلك الفاعلية في الاتصالات الفضائية نتيجة التأخير الزمني الكبير، لذلك كان من الضروري إجراء عملية تحويل لتلك البرتوكولات في كل من واجهة الربط مابين الـ HUB والجهاز المضيف HOST، وواجهة الربط مابين محطة الـ VSAT و طرفيات المستخدم.

■ ووجدنا أنه يمكن تطبيق آلية تصحيح الأخطاء الناتجة من الإرسال على مستوى طبقة وصلة المعطيات وبشكل متوافق مع زمن التأخير للإرسال الفضائي، حيث تقوم محطة الـVSAT أو محطة الـ HUB بإعادة إرسال الباكيت الذي فيه أخطاء، وبالتالي يتطلب هذا الأمر وجود buffer ذي حجم كبير في كل من VSAT و HUB لكي تحتفظ بالباكيتات حتى التأكد من وصولها بشكل صحيح، وهذا يتطلب منها زمن (0.5sec وذلك بإهمال أزمنة المعالجة و أزمنة التأخير للبرتوكولات.....) وبالتالي يجب أن يكون حجم الـ buffer كبيراً ليحتفظ بكل الباكيتات الجديدة، والتي تصل قبل انتهاء هذه المدة. يمكن تجنب تأمين مثل هذا الـ buffer عن طريق تطبيق آلية تصحيح الخطأ على مستوى طبقة النقل، أي يقوم جهاز المضيف أو أجهزة المستخدم بإعادة إرسال الباكيتات التي يحدث فيها خطأ ما ولكن هذا سوف يزيد التأخير الزمني.

■ واستنتجنا من الدراسة أن فاعلية القناة عند استخدام برتوكولات طبقة المعطيات تتأثر بشكل كبير بزمن الاستجابة و بمعدل خطأ البت BER ، وهذا يؤكد أن معظم البرتوكولات المستخدمة في القنوات الأرضية لا تحقق الفاعلية نفسها عند استخدامها في القنوات الفضائية، لذلك كانت الحاجة إلى تحويلها. ووجدنا أن فاعلية القناة عند

استخدام البرتوكول SR تقدم أفضل فاعلية للقناة، ونلاحظ ثبات قيمته عند تحسن BER ، وهذا ما يجعل استخدام هذا البروتوكول مناسباً في القنوات الفضائية، وكما وجدنا أن استخدام القناة بشكل فعال ومستقر يكون بزيادة طول الإطار المرسل عند قيم BER منخفضة.

■ فاعلية القناة الفضائية عند استخدام البرتوكول SR تتأثر بشكل كبير بحجم نافذة البرتوكول المستخدمة . كي نصل إلى قيم جيدة يجب أن يكون حجم النافذة أكبر من عدد وحدات البيانات التي تنتقل بين المرسل والمستقبل، بحيث تقوم المحطة المرسلة بالإرسال دائماً دون الحاجة لانتظار رسالة تأكيد الوصول الصحيح للباكيت ACK من المحطة المستقبلة، وفي هذه الحالة تكون فاعلية القناة مستقلة عن زمن التأخير في النظام ككل، لذلك يُستخدم برتوكول جديد لمساعدة البرتوكول SR على تحسين فاعلية للقناة الفضائية، وهذا البرتوكول هو sliding windows.

المراجع:

1- *INTELSAT Earth Station Technology ,Revision 5*, Washington, June 1999,316.
2- DECOLA, T.; PECORELLA, T.; RONGA, L. *communication and networking over satellites :SatNEX experimental activities and testbeds* .International journal of satellite communications, 27,2009,1-33.
3- *INTELSAT Digital Satellite Communication Technology* .Revision 2,Washington, April 1995,455.
4- *INTELSAT VSAT HANDBOOK* ,Washington ,September, 1998,193 .
5- *MARAL, G. VSAT NETWORKS ,Second Edition ,England*, 2003,271.
6- DING, Z. *Improving link layer performance on satellite channels with shadowing via delayed two-copy selective repeat ARQ*. IEEE journal on selective areas in communications, Vol. 22, No.3. 2004,472-481.
7- CHENY, HA.; YAW, CH.; CHENY, CH. Fast retransmitted and fast recovery schemes of transport protocols: A survey and taxonomy. computer network, 52, 2008, 1308-1327.
8- *Tanenbum. A.S. Computer Network,2nd edition*, 1989, 243.