التوصية ITU-R S.1711

تحسين أداء بروتوكول التحكم في الإرسال على الشبكات بساتل

(المسألة ITU-R 263/4)

(2005)

مجال التطبيق

تستعمل معظم إرسالات بروتوكول الإنترنت الحالية بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) كبروتوكول للنقل. غير أن بروتوكول التحكم في الإرسال يمثل بعض أوجه القصور عند استعماله في الشبكات بساتل. ولذلك جرى تطوير تقنيات متعددة، يشار إليها إجمالاً بعبارة "عوامل تعزيز أداء بروتوكول التحكم في الإرسال" وذلك للتغلب على أوجه القصور هذه. وتقدم هذه التوصية لمحة عامة عن هذه التقنيات وذلك بوصفها بإيجاز وتشير إلى المجالات التي تحسن فيها أداء بروتوكول TCP على الشبكات بساتل. كما تتضمن التوصية نتائج اختبارات وقياسات تُمكن من الحصول على رؤية أكثر دقة لفعالية بعض هذه التقنيات.

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

أ) أن أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية يجري استعمالها على نطاق واسع من أجل إرسال رزم بروتوكول الإنترنت، لا سيما في إطار تزويد المستعملين بتطبيقات عريضة النطاق إضافة إلى دورها كشبكة أساسية للوصلات؛

ب) إن إرسال رزم بروتوكول الإنترنت على الوصلات بساتل يتطلب أهداف أداء تختلف عن تلك الواردة في التوصية ITU-T G.826 وفي التوصية ITU-R S.1062 وفي التوصية ITU-R S.1420؛

ج) أن أداء بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) قد يتأثر من الانحطاط الناجم عن وقت إرسال الساتل الطويل، الذي يؤثر على نوعية الخدمة والتطبيقات المخصصة لمستعمل الطرف؛

د) أن تعزيز أداء بروتوكول TCP يشكل بالتالي هدفاً حرجاً في تصميم الوصلات بساتل المخصصة لنقل رزم بروتوكول الإنترنت؛

هـ) أن موارد التردد الراديوي لا تستعمل على نحو كاف إذا لم تدخل تحسينات على أداء بروتوكول TCP على الساتل في بعض بيئات الشبكة،

وإذ تلاحظ

أ) أن تحسين أداء بروتوكول TCP قد لا يكون لازماً للوصلات منخفضة الصبيب (انظر الملحق 1)،

توصي

1 بالنظر في النماذج المرجعية الواردة في الملحق 1 بهذه التوصية كأساس لوضع الطرائق الرامية إلى تحسين أداء بروتوكول TCP على الوصلات بساتل؛

2 باستعمال مصممي الأنظمة للملحق 2 كمبادئ توجيهية عند تطبيق الوصلات في الشبكة بما في ذلك الوصلات بساتل.

الملاحظة 1 – يتضمن الملحق 3 مجموعة من الاختبارات والقياسات التي أجريت لتقييم فعالية الطرائق المتعددة التي ورد وصفها في الملحق 2 كما يوفر معلومات قيمة لمصممي الأنظمة بساتل.

المحتويات

	الصفحة
الملحق 1 – النماذج المرجعية لنظام بساتل	5
1 النطاق	5
2 النماذج المرجعية	5
1.2 وصلات من نقطة إلى نقطة	7
2.2 شبكات VSAT	7
1.2.2 طوبولوجيا النجمة	7
2.2.2 طوبولوجيا متشابكة	8
3.2 النفاذ عريض النطاق	8
3 أوجه قصور بروتوكول TCP على الوصلات بساتل	8
1.3 ناتج مهلة عرض النطاق BDP	9
2.3 البدء البطيء وتفادي الازدحام	9
3.3 إعادة الإرسال السريع والاسترجاع السريع	11
4.3 أثر الخطأ في البتات على صبيب بروتوكول TCP	11
الملحق 2 – منهجيات تحسين بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP)	12
1 مجال التطبيق	12
2 التغييرات في بروتوكول خط الأساس TCP	12
3 منهجيات الفلق إلى قطع	19
1.3 منهجية الفلق إلى قطعتين	19
2.3 منهجية الفلق إلى ثلاث قطع	21
3.3 مناقشة	22
4 مفوض تحسين الأداء	22
1.4 التحايل على بروتوكول TCP	23
2.4 آليات PEP	23
3.4 النتائج المرتبطة باستعمال PEP	23
1.3.4 الأمن من طرف لآخر	23
2.3.4 الاعتمادية من طرف لآخر	23
الملحق 3 – اختبارات وقياسات أداء تحسين بروتوكول TCP	24
1 مجال التطبيق	24
2 أداء بروتوكول TCP مع تحسين الفلق	24
1.2 اختبار أداء توصيلة بروتوكول TCP واحدة دون أي تحسّن	24
1.1.2 اختبار أداء توصيلة بروتوكول TCP واحدة	24
2.1.2 بروتوكول TCP بدون تحسين الأداء	24
3.1.2 أداء توصيلة TCP واحدة بدون تحسين الأداء	24
2.2 الفلق إلى قطعتين	25
1.2.2 تشكيلة شبكات بساتل	25

الصفحة

2.2.2 نتائج الاختبار 27
3.2.2 الاستنتاجات 33
3.2 الفلق إلى ثلاث قطع 33
1.3.2 تشكيلة الشبكات بساتل 33
2.3.2 إجرءات الاختبار 33
3.3.2 نتائج الاختبار 35
4.3.2 الاستنتاجات 40
3 أداء بروتوكول TCP على شبكة بساتل ATM 40
1.3 تشكيلة الشبكة 40
2.3 أداء بروتوكول TCP على شبكة بساتل تقوم فقط على أسلوب ATM 42
3.3 سلوك بروتوكول TCP على شبكة غير متجانسة تتضمن وصلة بساتل 42
1.3.3 محاكاة قد الذاكرة الوسيطة 45
2.3.3 أداء بروتوكول TCP مع التحكم في حركة مرسل TCP 47
4.3 الاستنتاجات 49
4 أداء بروتوكول TCP على شبكات نفاذ بساتل 49
1.4 معمارية الشبكة وتشكيلها 49
1.1.4 معمارية الشبكة 49
2.1.4 التشكيلة 50
2.4 نتائج قياس الأداء 52
1.2.4 التيسر 52
2.2.4 الصبيب 56
3.2.4 الحركة 58
5 قياس بروتوكول التطبيق (بروتوكول نقل الملف FTP وبروتوكول نقل نص فوقي HTTP) 60
1.5 تشكيلة شبكة بساتل ATM 60
2.5 صبيب بروتوكول FTP على وصلة بساتل OC-3 61
3.5 صبيب بروتوكول HTTP على وصلة بساتل OC-3 62
1.3.5 بروتوكول HTTP 1.0 بتوصيلات غير مستمرة 62
2.3.5 بروتوكول HTTP 1.0 مع خيار "توصيلة مستمرة" 63
3.3.5 بروتوكول HTTP 1.1 بدون/تنفيذ متزامن للطلبات (pipelining) 63
4.3.5 بروتوكول HTTP 1.1 مع تنفيذ متزامن للطلبات (pipelining) 64
5.3.5 نتائج الاختبار 64
4.5 الاستنتاجات 67

الملحق 1

النماذج المرجعية لنظام بساتل

1 النطاق

يقدم هذا الملحق نماذج مرجعية لشبكات تتضمن وصلة بساتل، لحمل رزم بروتوكول الإنترنت يعقبها وصفاً لحدود بروتوكول TCP عبر وصلات بساتل.

2 النماذج المرجعية

AAL	طبقة تكييف أسلوب النقل غير المتزامن (ATM)
ACK	إشعار بالاستلام
ATM	أسلوب نقل غير متزامن
BDP	ناتج مهلة عرض النطاق
BER	نسبة الخطأ في البتات
BW	عرض النطاق
CE	بتة الازدحام
CPU	وحدة المعالجة المركزية
cwnd	نافذة الازدحام (متغيرة في بروتوكول TCP)
DA	النفاذ المكرس
DACK	إشعار الاستلام المؤجل
DAMA	نفاذ متعدد مع تخصيص حسب الطلب
DVB-S	إذاعة فيديوية رقمية بواسطة ساتل
ECN	تبليغ صريح بالازدحام
EIRP	قدرة مشعة مكافئة متناحية
FEC	تصحيح أمامي للخطأ
FIN	القطعة النهائية (في وصلة بروتوكول TCP)
FTP	بروتوكول نقل الملف
G/T	نسبة الكسب إلى درجة الحرارة المكافئة للنظام
GSO	مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض
GW	بوابة
HEO	مدار ساتلي إهليلجي شديد الانحناء
HPA	مسرع محور الصفحة
HSP	معالج ساتل المُركز
HTML	لغة تصوية نص فوقي
HTTP	بروتوكول نقل نص فوقي
ICMP	بروتوكول رسالة التحكم في الإنترنت
IETF	فريق مهام هندسة الإنترنت

I/O	دخل/خرج
IP	بروتوكول الإنترنت
IPSEC	بروتوكول أمن بروتوكول الإنترنت
ISP	مورد خدمة الإنترنت
LAN	شبكة المنطقة المحلية
LEO	مدار أرضي منخفض
LFN	شبكة ضخمة
MEO	مدار أرضي متوسط
MF-TDMA	منافذ متعددة بتقسيم زمني متعدد الترددات
MPEG	فريق الخبراء المعني بالصور المتحركة
MPLS	تبديل متعدد البروتوكولات مع توسيم
MSS	أقصى قد للقطعة
MTU	وحدة الإرسال القصوى
NNTP	بروتوكول شبكة نقل الأخبار
NTP	بروتوكول وقت الشبكة
OS	نظام التشغيل
PAD	بايتة تحشية
PAWS	الحماية من التتبعات الملفوفة
PC	حاسوب شخصي
PDU	وحدة معطيات للبروتوكول
PEP	مفوض تحسين الأداء
RA	نفاذ عشوائي
RAM	ذاكرة نفاذ عشوائي
RBP	الضبط القائم على المعدل
rcvwnd	نافذة الاستقبال (متغيرة في بروتوكول TCP)
RFC	طلبات الحصول على التعليقات (يصدرها فريق مهام هندسة الإنترنت)
RPA	مُسرع الصفحة البعيدة
RS	شفرة ريد–سولومون
RTT	وقت الانتشار ذهاباً وإياباً
RTTM	قياس وقت الانتشار ذهاباً وإياباً
Rx	مستقبل
SACK	إشعار الاستلام الانتقائي
SCPC	قناة واحدة لكل موجة حاملة
SSPA	مكبر قدرة بالحالة الصلبة
ssthres	عتبة بداية بطيئة (متغيرة في بروتوكول TCP)
SYN	قطعة بداية متزامنة (تستعمل لإنشاء توصيلة TCP)
T/TCP	بروتوكول التحكم في الإرسال من أجل المعاملات

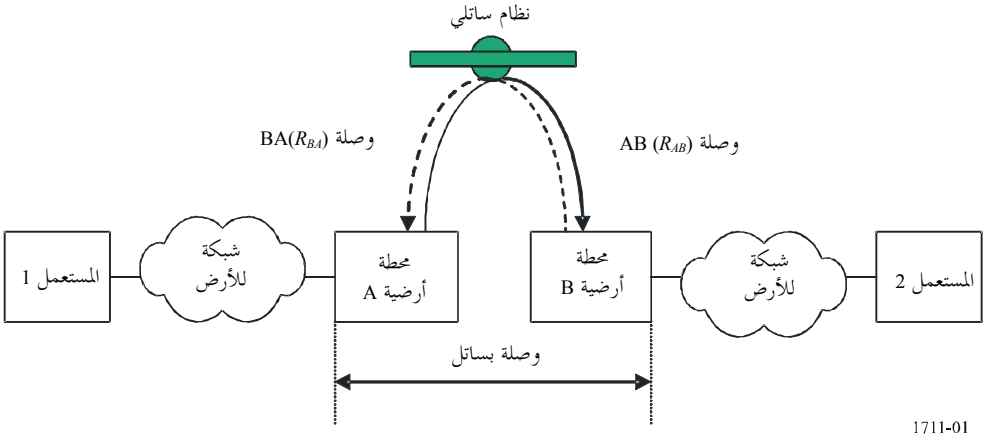
TBF	مرشاح دائرة رمزية
TCP	بروتوكول التحكم في النقل
TDMA	نفاذ متعدد بتقسيم الزمن
TWTA	مكبر ذو أنبوبة بموجات متنقلة
Tx	مرسل
UDP	بروتوكول بيان معطيات المستعمل
URL	الواسم الموحد للموارد
VSAT	جهاز طرفي بفتحة صغيرة جداً
WAN	شبكة ممتدة

1.2 وصلات من نقطة إلى نقطة

يقدم الشكل 1 النموذج المرجعي لشبكة تنقل إرسالات رزم بروتوكول الإنترنت. وتتألف الشبكة من وصلة بساتل وشبكات للأرض مرتبطة بين اثنين من مستعملي الطرف. والوصلة بساتل ثنائية الاتجاه وتتألف من وصلة AB (تربط المحطة الأرضية A بالمحطة الأرضية B مع معدل بتات للمعلومات، R_{AB} والوصلة BA (تربط المحطة الأرضية B بالمحطة الأرضية A مع معدل بتات للمعلومات، R_{AB}). ويمكن لشبكات الأرض أن تستعمل بروتوكولات مختلفة لطبقة وصلة معطيات (أي أسلوب نقل غير متزامن (ATM) ، وترحيل الرتل، وتبديل متعدد البروتوكولات مع توسيم (MPLS))

الشكل 1

نموذج مرجعي لوصلة من نقطة إلى نقطة
بما في ذلك وصلة ساتلية



الملاحظة 1 – ينظر النموذج المرجعي أعلاه في قفزة واحدة لكل ساتل. في كل هذه التوصية يرد وصف التقنيات التي تقسم توصيل بروتوكول TCP بهدف تحسين أداء TCP على الوصلات بساتل من أجل قفزة لكل ساتل. غير أنه يمكن أن يشمل التوصيل من نقطة إلى نقطة عدة قفزات لكل ساتل. وفي هذه الحالة، يجب تطبيق التقنيات من هذا النمط على كل وصلة مفردة.

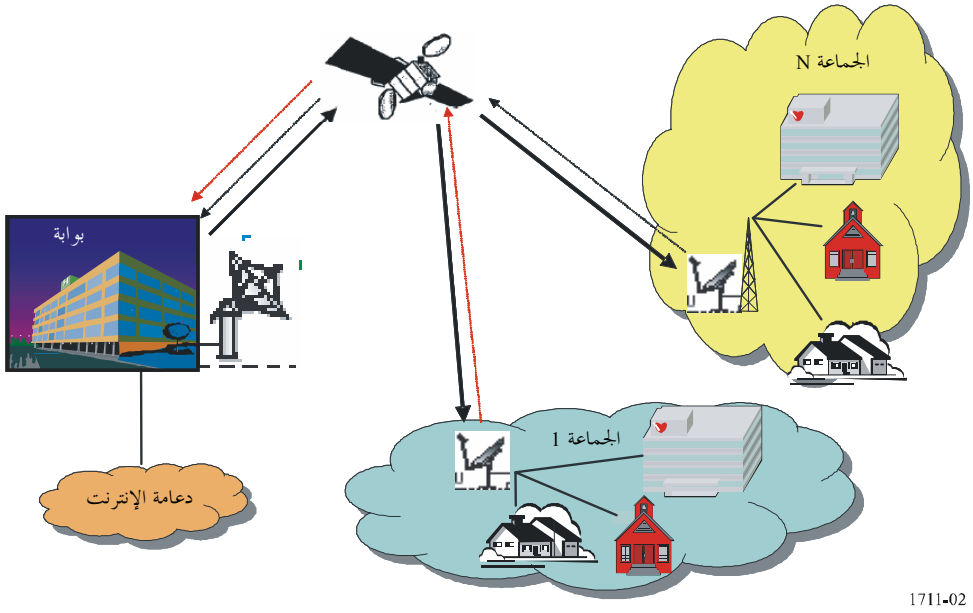
2.2 شبكات VSAT

1.2.2 طوبولوجيا النجمة

يصف الشكل 2 تشكيلة بنجمة معيارية يتم فيها توصيل الإشارات الصادرة من عدد المستعملين البعيدين ببوابة محطة للأرض توصل بدورها مع شبكة للأرض.

الشكل 2

طوبولوجيا النجمة

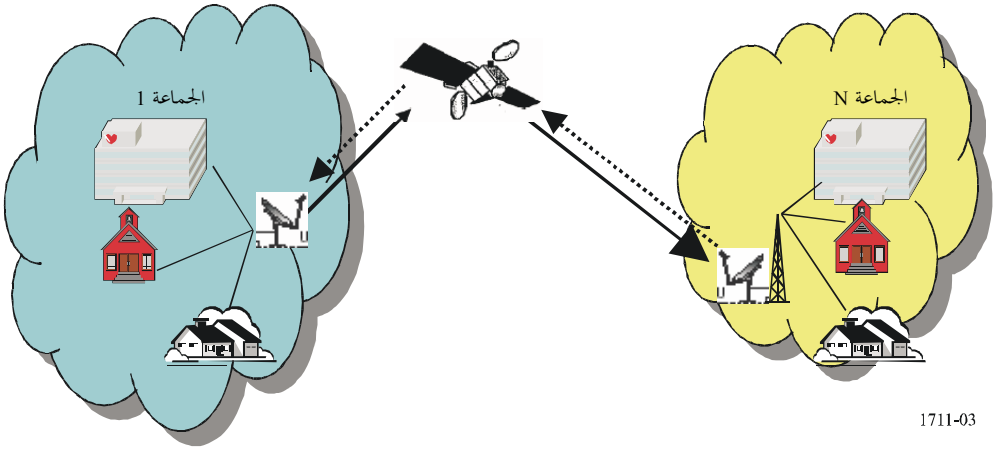


2.2.2 طوبولوجيا متشابكة

يبين الشكل 3 تشكيلة متشابكة يمكن بموجبها توصيل زوج من محطات للأرض مباشرة بواسطة ساتل.

الشكل 3

طوبولوجيا متشابكة



3.2 النفاذ عريض النطاق

تستعمل شبكات النفاذ عريض النطاق عموماً، حتى وإن لم تكن مماثلة تماماً لشبكات VSAT، الطوبولوجيا ذاتها (أي النجمة أو المتشابكة).

3 أوجه قصور بروتوكول TCP على الوصلات بساتل

لا يستطيع بروتوكول TCP تمييز الانحطاط في الأداء الناجم عن أخطاء الوصلة للإزدحام. ومن المفترض أن أي خسارة في الشبكة تعزى إلى الازدحام فقط ويستجيب المرسل بتخفيض معدل نقل الرزمة.

ويحدد بروتوكول خط الأساس TCP البدء البطيء، وتفادي الازدحام، وإعادة الإرسال السريع والاسترجاع السريع للتحكم في الازدحام. ويستعمل بروتوكول TCP آلية التحكم في تدفق النافذة بحيث تسمح نافذة الإرسال لبروتوكول TCP المستقبل بالتحكم في مقدار المعطيات المرسلة إليه في وقت معين. ويعلن المستقبل قد النافذة للمرسل. وتقوم النافذة بقياس حجم المعطيات غير المستلمة بالبتات التي تمر عبر المرسل إلى المستقبل.

1.3 ناتج مهلة عرض النطاق BDP

يحدد ناتج مهلة عرض النطاق BDP مقدار المعطيات في توصيلة بروتوكول TCP "المُحَلقة" (المعيطات المرسلة ولكن لم تستلم بعد) في وقت معين وذلك لاستعمال قدرة القناة المتاحة بالكامل. والمهلة هي وقت الانتشار ذهاباً وإياباً RTT وعرض النطاق هو قدرة وصلة الاختناق على المسير.

وبالنسبة للوصلات ذات ناتج مهلة عرض النطاق العريض، مثل شبكات السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض، لن تستطيع أجهزة إرسال وأجهزة استقبال بروتوكول TCP ذات الازدحام/النوافذ المحدودة أن تستفيد من عرض النطاق المتيسر. وتعتبر نافذة بروتوكول TCP المعيارية القصوى من 535 65 بتة غير ملائمة لتوصيلة TCP وحيدة لاستعمال عرض النطاق المتيسر على بعض القنوات الساتلية. وفي الشبكات الخالية من الخسارة يحدد صبيب TCP بالمعادلة (1):

$$\text{الصبيب الأقصى} = \frac{\text{قد النافذة}}{\text{وقت الانتشار ذهاباً وإياباً}} \qquad (1)$$

ولذلك، وعند استعمال قد أقصى لنافذة TCP من 64 kbytes ووصلات بساتل بوقت انتشار ذهاباً وإياباً متغير، يكون الصبيب الأقصى كما يلي:

الجدول 1

أقصى صبيب وفقاً لقيم RTT

نمط الشبكة بساتل	وقت الانتشار ذهاباً وإياباً (ms)	أقصى صبيب (kbyte/s)
مدار أرضي منخفض	20~	3 200~
مدار أرضي متوسط	200~	320~
مدار ساتلي إهليجي شديد الانحناء	600~	110~
مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض	520~	120~

الملاحظة 1 – لا يؤخذ وقت الانتشار ذهاباً وإياباً المذكور أعلاه في اعتباره أي مهلة دارئة ولكنه يحسب على أساس مهلة الانتشار.

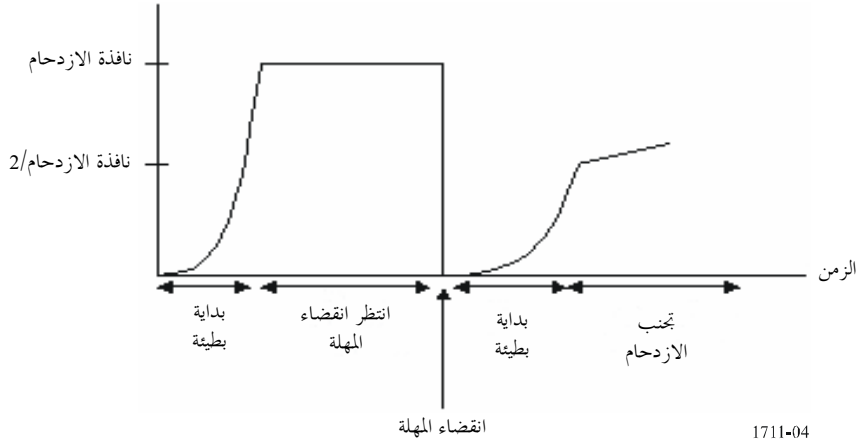
2.3 البدء البطيء وتفادي الازدحام

يبقى مرسل بروتوكول TCP على نافذة الازدحام لقياس قدرة الشبكة. ويقتصر عدد رزم الإشعار بالاستلام على هذه القيمة (أو على النافذة المعلنة بواسطة المستقبل أيهما أقل). وعند بدء توصيل بروتوكول TCP، تضبط نافذة الازدحام على أحد قطع بروتوكول TCP. وتتزايد النافذة بقطعة واحدة عند استلام كل إشعار جديد بالاستلام إلى أن تبلغ أقصى قيمة قدرها 64 Kbytes. ويبقى المرسل على مهلة إعادة الإرسال لآخر رزمة إشعار بالاستلام. ويكشف عن الازدحام بواسطة انقضاء مهلة إعادة الإرسال. وعندما تنقضي مهلة المُؤقت، يسجل المُؤقت قيمة نصف نافذة الازدحام (التي يطلق عليها عتبة البدء البطيء) ويضبطها عند قطعة واحدة. وبعد ذلك يرسل المرسل القطع بدءاً من القطعة المفقودة. وتزيد نافذة الازدحام بقطعة واحدة بمجرد استلام إشعار الاستلام الجديد إلى أن تبلغ عتبة البدء البطيء. وهذا هو طور البدء البطيء. بعد ذلك، تزداد نافذة الازدحام بقطعة واحدة لكل وقت انتشار ذهاباً وإياباً RTT. ويؤدي ذلك إلى زيادة خطية في نافذة الازدحام لكل

RTT ويطلق عليها طور تجنب الازدحام. ويبين الشكل 4 طور البدء البطيء وطور تجنب الازدحام لتوصيلة TCP نمطية (في الشكل يعني المختصر cwnd نافذة الازدحام).

الشكل 4

البدء البطيء لبروتوكول TCP وتجنب الازدحام



ويستنتج الوقت المطلوب من آلية البدء البطيء حتى يبلغ معدل بتات B من المعادلة (2):

$$\text{مدة البدء البطيء} = RTT\left(1+\log_2\frac{B\cdot RTT}{l}\right) \quad (2)$$

حيث l هي متوسط طول الرزمة مُقيّم بالبتات.

ويوضح الجدول 2 مدة طور البدء البطيء لمختلف مدارات السواتل ومختلف قيم معدل البتات B، عند l = 1 kbit.

الجدول 2

مدة البدء البطيء لمختلف مدارات السواتل

نمط الساتل	وقت الانتشار ذهاباً وإياباً (ms)	مدة البدء البطيء		
		B = 1 Mbit/s	B = 10 Mbit/s	B = 155 Mbit/s
مدار أرضي منخفض	~20	0,05	0,11	0,19
مدار أرضي متوسط	~200	1,14	1,80	2,59
مدار ساتلي إهليليجي شديد الانحناء	~600	4,36	6,35	8,73
مدار السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض	~520	3,67	5,40	7,45

إذا طبقت آلية إشعار الاستلام المؤجل يستنتج الوقت اللازم للبدء البطيء للوصول إلى معدل البتات B بالمعادلة الآتية:

$$\text{مدة البدء البطيء} = RTT\left(1+\log_{1,5}\frac{B\cdot RTT}{l}\right) \quad (3)$$

وينطوي ذلك على أن تصبح مدة البدء البطيء أطول مقارنة بالحالة السابقة. وبالتالي، يبدد إشعار الاستلام المؤجل قدرته خلال طور البدء البطيء.

وزيادة معدل المعطيات، في طور تجنب الازدحام، هي دالة ناتج عرض نطاق المهلة. وفي الواقع يزداد معدل المعطيات بمقدار $1/(B.RTT)$، أثناء كل وقت الانتشار RTT. وبالتالي، إذا كانت توصيلة بروتوكول TCP معينة في طور تجنب الازدحام وإذا توفر عرض نطاق إضافي، لن تستعمله هذه التوصيلة لفترة طويلة. وسيكون هذا الوقت أطول في حالة وجود خسارة في الإرسال. ولهذا السبب سيكون أداء آلية تجنب الازدحام في الشبكات بساتل ذات وقت الانتشار RTT المرتفع أقل منه في شبكة للأرض.

3.3 إعادة الإرسال السريع والاسترجاع السريع

في الوقت الراهن تستعمل تطبيقات بروتوكول TCP مؤقت بتحبب تقريبي (يبلغ 500 ms عموماً) أثناء إمهال إعادة الإرسال. وكنتيجة لذلك، وفي حالة الازدحام تضيع توصيلة بروتوكول TCP الوقت في انتظار الإمهال. ويبين في الشكل 1، الخط الأفقي (عند قيمة نافذة الازدحام cwnd) الوقت الضائع في انتظار حدوث الإمهال. وأثناء هذا الوقت، لا يرسل بروتوكول TCP أي رزم جديدة ولا يعيد إرسال الرزم المفقودة. بالإضافة إلى ذلك، وعند حدوث الإمهال، تضبط النافذة على قطعة واحدة، وتقوم التوصيلة بعد فترات لوقت الانتشار ذهاباً وإياباً لكي تستعمل الشبكة بكفاءة. ويطبق بروتوكول TCP Reno خوارزميات إعادة إرسال سريع واسترجاع سريع تسمح للتوصيلة بأن تسترجع بسرعة في حالة خسارة القطع المعزولة.

وإذا أسقطت الشبكة قطعة، تكون القطع التالية الواصلة إلى المُستقبل غير مرتبة. ويقوم مرسل بروتوكول TCP بإرسال إشعار استلام، لكل منها، إلى المرسل مشيراً إلى رقم تتابع القطعة المفقودة. ويطلق على إشعار الاستلام هذا إشعار استلام في نسختين. وعندما يستقبل المرسل ثلاثة إشعارات استلام في نسختين، يخلص إلى أن إشعار الاستلام قد فقد ويعيد على الفور إرسال القطعة المفقودة. عندئذ يخفض المرسل نافذة الازدحام بمقدار النصف زائد ثلاث قطع، ويحفظ نصف قيمة نافذة الازدحام الأصلية في عتبة البدء البطيء ويزيد المرسل لكل إشعار استلام لاحق من نسختين نافذة الازدحام بمقدار قطعة واحدة ويحاول إرسال قطعة جديدة. وفي الواقع، ينتظر المرسل وقت الانتشار ذهاباً وإياباً قبل إرسال قطعة واحدة لكل إشعار استلام لاحق من نسختين يستلمه. وكنتيجة لذلك، يبقى المرسل وصلة الشبكة عند نصف قدرتها حالما يعيد الإرسال السريع.

وعقب وقت انتشار ذهاباً وإياباً واحد من إعادة إرسال القطعة المفقودة، يستلم إشعار الاستلام (بافتراض أن الطبقة التي أعيد إرسالها لم تفقد). عندئذ، وبدلاً من وضع نافذة ازدحام عند قطعة واحدة والقيام ببدء بطيء، يضبط بروتوكول TCP على الفور نافذة الازدحام عند عتبة البدء البطيء. وهذه هي خوارزمية الاسترجاع السريع.

تتأثر آليات إعادة الإرسال السريع والاسترجاع السريع بطول RTT شأنها شأن تلك التي تواجه على الوصلات بساتل. ويؤدي تعدد إعادة إرسال إشعارات الاستلام من نسختين إلى تبديد في عرض النطاق، وفي الموارد المحدودة في الشبكات بساتل.

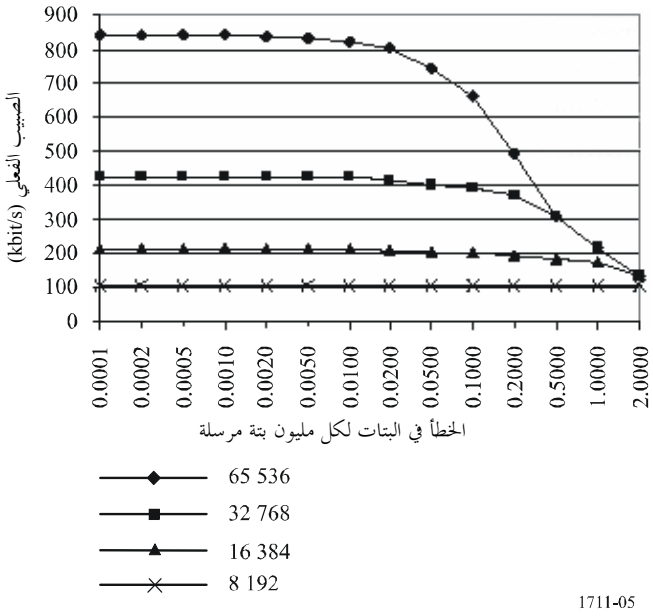
4.3 أثر الخطأ في البتات على صبيب بروتوكول TCP

يكون أداء بروتوكول TCP أسوأ ما يكون في وجود أخطاء الوصلة، والبروتوكول أكثر حساسية لهذه الأخطاء عندما يكون قد النافذة أكبر (انظر الشكل 5) ولإنجاز صبيب أفضل باستعمال بروتوكول TCP، يجب ألا تعاني الوصلة من أي خسارة وبالتالي يجب أن تكون نسبة الخطأ في البتات BER منخفضة.

الشكل 5

أثر نسبة BER على صبيب بروتوكول TCP

(kbit/s 2 048 = B وms 590 = RTT)



الملحق 2

منهجيات تحسين بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP)

1 مجال التطبيق

يمكن إدخال عدة تحسينات على بروتوكول خط الأساس TCP من أجل تخفيف حدة انحطاط توصيلات بروتوكول TCP في الشبكات على غرار تلك المنمذجة في الملحق 1. ويقوم هذا الملحق بوصف التحسينات وبوضع قائمة بمزاياها ومثالبها لاستعمالها على الشبكات بساتل.

2 التغييرات في بروتوكول خط الأساس TCP

يمكن استخدام عدة تغيرات في بروتوكول TCP، أو تحسينات في بروتوكول TCP لتخفيف حدة الانحطاط في الوصلات بساتل. واقترح فريق مهام هندسة الإنترنت (IETF) تحسينات مختلفة موثقة في طلبات الحصول على تعليقات RFC. وترد في الجدول 3 قائمة بالتحسينات على بروتوكول TCP، ووضع لكل منها رقم RFC مقابل وملخصاً يصف مضمونها. كما يشير الجدول إلى أوجه الانحطاط الذي تتسبب فيه الوصلة بساتل (وعلى سبيل المثال، الكمون، أو ناتج مهلة عرض النطاق الكبير BDP أو نسبة الخطأ في البتات BER المرتفعة) التي يمكن تصحيحها بواسطة كل تحسين.

الجدول 3

التحسينات على بروتوكول TCP

التحسينات على بروتوكول TCP	رقم طلب الحصول على التعليقات (RFC) [1]	انحطاط بروتوكول TCP على الوصلات بساتل			ملخص
		الكمون	BDP كبير	أخطاء الوصلة	
نافذة أولية كبيرة	2414 2581	نعم	نعم	لا	RFC 2414 "زيادة نافذة بروتوكول TCP الأولية "(1998) تحدد هذه الوثيقة أن الزيادة المسموح بها في النافذة الأولية لبروتوكول TCP انطلاقاً من طبقة واحدة محددة بزهاء 4 kbit/s تقريباً. كما تناقش مزايا ومثالب تغيير من هذا النمط. RFC 2581 "التحكم في ازدحام بروتوكول TCP" (1999) تعرف هذه الوثيقة الخوارزميات الأربع المرتبطة فيما بينها للتحكم في الازدحام: البدء البطيء، وتجنب الازدحام، وإعادة الإرسال السريع والاسترجاع السريع. كما تحدد فضلاً عن ذلك كيف يستطيع بروتوكول TCP بدء الإرسال بعد فترة خمود طويلة نسبياً وتتناول مختلف طرائق توليد الإشعار بالاستلام.
حساب البايتات	2414	نعم	لا	لا	RFC 2414 "زيادة نافذة بروتوكول TCP الأولية (1998) تزيد آلية حساب البايتات قد نافذة الازدحام استناداً إلى عدد البايتات المرسلة المستلمة بإشعار من ACK الواصلة بالأخرى لا على عدد ACK المستلمة. وبالنسبة للمسيرات ذات وقت الانتشار الطويل، تبين أن هذه الطريقة تسمح بتخفيض الوقت اللازم للوصول إلى القد الأمثل لنافذة الازدحام.
تدريج النافذة 1323	1323	نعم	نعم	لا	RFC 1323 "تمديد بروتوكول TCP من أجل أداء أفضل" (1992) تقدم هذه الوثيقة مجموعة من تمديدات TCP الرامية إلى تحسين الأداء على المسيرات ذات ناتج عرض النطاق والمهلة العالية وتوفير تشغيل موثوق على مسيرات فائقة السرعة. وتحدد الوثيقة خيارات جديدة لبروتوكول TCP للنوافذ المتدرجة ومؤرخات الزمن، المصممة لتيسير التشغيل البيني المتلائم مع بروتوكول TCP لا يطبق التمديدات. وتستعمل مؤرخات الزمن لآليتين مختلفتين: قياس وقت الانتشار ذهاباً وإياباً (RTTM) والحماية من التتبعات الملفوفة (PAWS).

الجدول 3 (*تابع*)

التحسينات على بروتوكول TCP	رقم طلب الحصول على التعليقات (RFC)[1]	انحطاط بروتوكول TCP على الوصلات بساتل			ملخص
		الكمون	BDP كبير	أخطاء الوصلة	
ضبط طبقات TCP	2760	نعم	نعم	لا	RTC 2760 "الأبحاث المتطورة بشأن بروتوكول TCP المرتبطة بالسواتل" (2000) الضبط القائم على المعدل RBP هو تقنية تستعمل في غيبة إشعار باستلام ACK واصل، يقوم مرسل المعطيات بموجبه بضبط مؤقت لطبقات TCP بمعدل معين وذلك لإعادة تشغيل ميقاتية ACK. وبمجرد استلام أول إشعار بالاستلام ACK، يتوقف الضبط وتستأنف ميقاتية ACK لبروتوكول TCP عملها. ويمكن استنتاج معدل الضبط من تقديرات الحركة الأخيرة (عند إعادة بدء توصيلة خامدة أو انطلاقاً من توصيلات سابقة حديثة)، أو بواسطة أساليب خارجية (ربما على شبكة بساتل من نقطة إلى نقطة أو من نقطة إلى نقاط متعددة، أو يمكن افتراض أن عرض النطاق المتيسر كبير). بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يسمح ضبط المعطيات أثناء وقت الانتشار RTT الأول لنقل معين لبروتوكول TCP بالاستعمال الفعال للوصلات ذات عرض النطاق والمهلة العالية حتى في إطار النقل القصير. غير أنه، كيما يمكن ضبط القطع أثناء أول وقت انتشار RTT، يجب أن يستعمل بروتوكول TCP نافذة ازدحام أولية غير معيارية وآلية جديدة لضبط القطع الخارجي، بدلاً من إرسالها على التواصل. ويمكن استعمال الضبط لتخفيض الرشقات بشكل عام.
بروتوكول TCP VEgas	غير متاح	نعم	نعم	لا	يستعمل بروتوكول TCP Vegas بدء بطيء معدل وآلية إعادة إرسال جديدة. وتحاول خوارزمية البدء البطيء المعدل العثور على قد نافذة الازدحام الملائم دون التسبب في أي خسارة للقطع.
إشعار الاستلام المؤجل DACK	1122	نعم	لا	لا	RFC 1122 "متطلبات مراكز الإنترنت – طبقات الاتصالات" (1989) يستعمل مستقبل بروتوكول TCP إشعار الاستلام المؤجل بحيث يمكن استلام إشعار بقطعتين مستلمتين في آن معاً ومن ثم يمكن تخفيض حركة إشعارات الاستلام. بيد أن التأخير لفترة طويلة للغاية قد يتسبب في انقضاء المهلة وإعادة الإرسال إلى جانب مرسل بروتوكول TCP. ويجب على المستقبل عدم تأخير إشعار الاستلام بأكثر من 0,5 ثانية.

الجدول 3 *(تابع)*

التحسينات على بروتوكول TCP	رقم طلب الحصول على التعليقات (RFC)[1]	انحطاط بروتوكول TCP على الوصلات بساتل			ملخص
		الكمون	BDP كبير	أخطاء الوصلة	
إشعار الاستلام الانتقائي (SACK) لبروتوكول TCP	2018	نعم	نعم	نعم	REC 2018 "خيارات إشعار الاستلام الانتقائي لبروتوكول TCP (1996) قد يعاني بروتوكول TCP من أداء سيء عندما تفقد رزم متعددة انطلاقاً من نافذة معطيات واحدة. ومع تيسر معلومات محدودة من إشعارات استلام متراكمة، لا يستطيع مرسل بروتوكول TCP أن يعلم سوى بفقد رزمة واحدة لكل وقت انتشار ذهاباً وإياباً. ويمكن لمرسل مغامر أن يختار إعادة إرسال الرزم قبل الأوان، غير أن هذه القطع التي أعيد إرسالها يمكن أن تكون قد استلمت بالفعل بنجاح. ويمكن لآلية SACK، مقترنة بسياسة انتقائية لتكرار إعادة الإرسال، أن تساعد على التغلب على أوجه القصور هذه. ويعيد بروتوكول TCP المستقبل إرسال إشعار بالاستلام الانتقائي إلى المرسل معلناً للمرسل بأن المعطيات قد تم استلامها. عندئذ يستطيع المرسل إعادة إرسال قطع المعطيات المفقودة فقط.
	2883				RFC 2883 "تمديد إشعار الاستلام الانتقائي SACK لبروتوكول TCP" (2000) يعتبر هذا الطلب امتداداً للطلب 2018 بتحديد استعمال خيار الإشعار SACK من أجل إشعار استلام الرزم المستنسخة. وعندما تستلم الرزم المستنسخة، يمكن استعمال أول فدرة في مجال الخيار SACK للإفادة بعدد التتابعات التي أطلقت إشعار الاستلام. ويسمح هذا التمديد في خيار الإشعار SACK لمرسل بروتوكول TCP بالاستدلال عما إذا كان قد أعاد إرسال رزمة على نحو غير ضروري. عندئذ يستطيع مرسل بروتوكول TCP استعمال هذه المعلومة لتشغيل أكثر نشاطاً في بيئة رزم أكثر تنظيماً، وخسارة ACK و/أو انقضاء إمهال إعادة الإرسال قبل أوانه.

الجدول 3 (*تابع*)

التحسينات على بروتوكول TCP	رقم طلب الحصول على التعليقات (RFC)[1]	انحطاط بروتوكول TCP على الوصلات بساتل			ملخص
		الكمون	BDP كبير	أخطاء الوصلة	
بروتوكول TCP Reno جديد	2582	نعم	نعم	نعم	RFC 2852 "التعديلات المدخلة بواسطة بروتوكول Reno الجديد على خوارزمية الاسترجاع السريع لبروتوكول TCP" (1999) يطرح طلب الحصول على التعليقات RFC 2581 مفهوم إشعار الاستلام الجزئي (ACK الذي يغطي المعطيات الجديدة، لكنه لا يغطي مجموع المعطيات المعلقة عند اكتشاف الخسارة) في غيبة الإشعار SACK. ويصف طلب الحصول على التعليقات RFC 2582 خوارزمية محددة للاستجابة لإشعارات الاستلام الجزئي، التي يشار إليها بتعبير Reno الجديد.
تبليغ صريح بالازدحام ECN	2481	نعم	نعم	جزئية	RFC 2481 "اقتراح بإضافة تبليغ صريح بالازدحام (ECN) إلى بروتوكول الإنترنت" (1999) يصف الاقتراح بإضافة ECN إلى بروتوكول الإنترنت وذلك بوضع بتة ازدحام مجربة في المفرعات. كما يصف التعديلات التي قد يلزم إدخالها على بروتوكول TCP لجعله قادراً على إرسال تبليغ صريح بالازدحام. وفي الوصلات بساتل، قد يساعد ذلك على تمييز السبب في فقد رزمة معينة: أخطاء الوصلة أو ازدحام الشبكة.

الجدول 3 *(تابع)*

التحسينات على بروتوكول TCP	رقم طلب الحصول على التعليقات (RFC)[1]	انحطاط بروتوكول TCP على الوصلات بساتل			ملخص
		الكمون	BDP كبير	أخطاء الوصلة	
انضغاط الرأسية	2507	لا	لا	نعم	RFC 2507 "انضغاط رأسية بروتوكول الإنترنت" (1999) يصف كيفية ضغط رأسيات متعددة لبروتوكول الإنترنت ورأسيات بروتوكول TCP ورأسيات بروتوكول UDP لكل قفزة على وصلة من نقطة إلى نقطة. ويمكن تطبيق الطرائق الموصوفة على رأسية بروتوكول خط الأساس للإنترنت من الصيغة السادسة (IPv6) وعلى رأسيات التمديد ورأسيات بروتوكول الإنترنت من الصيغة الرابعة (IPv4) ورأسيات بروتوكول TCP وبروتوكول UDP، ورأسيات بروتوكول الإنترنت من الصيغة السادسة وبروتوكول الإنترنت من الصيغة الرابعة المغلفة. ويمكن أن تنضغط رأسيات رزم بروتوكول UDP أو بروتوكول TCP إلى ما بين 4 إلى 7 بايتة بما في ذلك مجموع تدقيقي UDP أو TCP من 2 بايتة. ويزيل ذلك الأثر السلبي لرأسيات بروتوكول الإنترنت الكبيرة ويسمح بالاستعمال الفعال لعرض النطاق على الوصلات منخفضة ومتوسطة السرعة. وخوارزمية الانضغاط مصممة خصيصاً لتشغيلها على نحو سليم على الوصلات بمعدل خسارة رزم غير تافه.
اكتشاف مسير بواسطة وحدة الإرسال القصوى MTU	1191	نعم	نعم	لا	RFC 1191 "اكتشاف مسير MTU" (1990) يصف تقنية تسمح باكتشاف ديناميكي لوحدة الإرسال القصوى MTU لمسير إنترنت عشوائي. ويسمح اكتشاف مسير MTU لبروتوكول TCP باستعمال أكبر قد ممكن للزرمة، دون تحمل تكلفة التجزئة أو إعادة التجميع. تستند نافذة ازدحام بروتوكول TCP المتزايدة إلى القطاع لا إلى البايتات ولذلك تمكن القطاع الأكبر قداً لمرسلات بروتوكول TCP بزيادة قد نافذة الازدحام، من حيث البايتات، بسرعة أكبر من القطع الأصغر.

الجدول 3 *(تابع)*

التحسينات على بروتوكول TCP	رقم طلب الحصول على التعليقات (RFC)[1]	انحطاط بروتوكول TCP على الوصلات بساتل			ملخص
		الكمون	BDP كبير	أخطاء الوصلة	
اكتشاف مسير بواسطة وحدة الإرسال القصوى MTU	2488	نعم	نعم	لا	RFC 2488 "تحسين بروتوكول TCP على قنوات الساتل باستعمال آليات معيارية" (1999) يمكن أن يؤدي اكتشاف المسير بواسطة الوحدة MTU إلى مهلة قبل أن يتمكن بروتوكول TCP من بدء إرسال المعطيات. ومهل السواتل يمكن أن تؤدي إلى تفاقم هذه المشكلة. بيد أن اكتشاف المسير بواسطة الوحدة MTU، في الممارسة، لا يستهلك الكثير من الوقت بسبب الدعم واسع النطاق لقيم الوحدة MTU عموماً. بالإضافة إلى ذلك، يمكن أن يؤدي إخفاء قيم MTU إلى إزالة وقت الاكتشاف في كثير من الحالات.
T/TCP	1644	نعم	غير مناسب	غير مناسب	RFC 1664 "T/TCP – تمديد بروتوكولات TCP للمعاملات والمواصفات الوظيفية" (1994) تحدد هذه المذكرة T/TCP، تمديد تجريبي لبروتوكول TCP يرمي إلى جعل الخدمة الموجهة إلى المعاملات (الطلب/الاستجابة) أكثر فعالية. ويمكن لهذا التمديد المتلائم خلفياً أن يملأ الفجوة بين البروتوكول الحالي TCP الموجه إلى التوصيلات وبروتوكول UDP القائم على وحدة معطيات مكتفية.
تصحيح أمامي للخطأ FEC	2488	غير مناسب	غير مناسب	نعم	RFC 2488 "تحسين بروتوكول TCP على قنوات بساتل باستعمال آليات معيارية" (1999) ييسر بروتوكول TCP تسليم موثوق للمعطيات عبر أي مسير شبكة، بما في ذلك مسيرات الشبكة التي تتضمن قنوات بساتل. وإن كان بروتوكول TCP يعمل على قنوات بساتل، يسمح تصحيح FEC لبروتوكول TCP بطريقة غير مباشرة بأن يستعمل قدرة القنوات المتيسرة بطريقة أكثر فعالية وذلك بتصحيح أخطاء الوصلة قبل الاقتراب من طبقة بروتوكول TCP.

[1] يعني مختصر RFC طلب الحصول على تعليقات ووثائق يصدره فريق مهام هندسة الإنترنت.

3 منهجيات الفلق إلى قطع

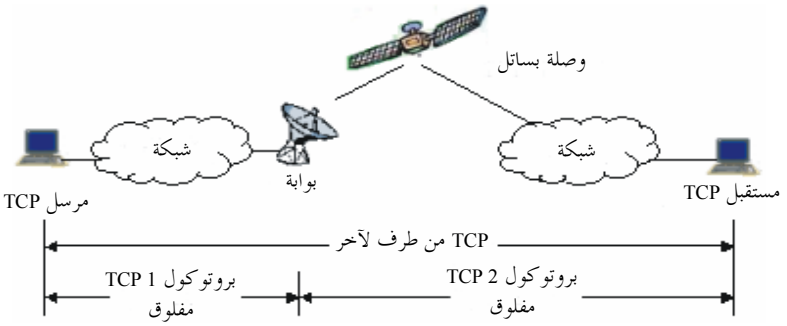
فلق بروتوكول TCP إلى قطع هو مخطط تُقَسَّم بموجبه توصيلة شبكة من نقطة إلى نقطة إلى عدة توصيلات أو قطع TCP. وتقسم القطعة بشكل عام إلى مكونات للأرض ولساتل، بالإضافة إلى ذلك يمكن تعديل توصيلة TCP على طبقة بساتل لكي يتسنى التغلب على الانحطاط في الوصلة بساتل.

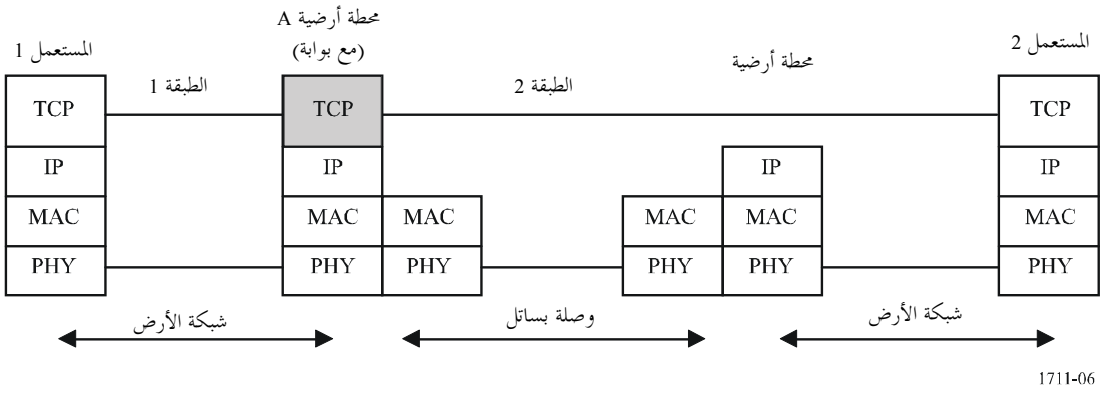
ويطبق مخطط الفلق إلى قطع عموماً في بوابة قبل و/أو بعد مودم الساتل (وفقاً لنمط الفلق). ورغم عدم الإبقاء على توصيلة TCP من طرف لآخر، يستطيع جميع مستعملي الطرف الاتصال ببعضهم بعضاً دون إدراك وظيفة البوابة حيث إنها تنافس توصيلة TCP وحيدة.

1.3 منهجية الفلق إلى قطعتين

تقسم منهجية الفلق إلى قطعتين توصيلات بروتوكول TCP من طرف لآخر إلى قطعتين. ويرد وصف لطوبولوجيا الشبكة ولكدسة البروتوكول المرتبطة بهذه الطريقة في الشكل 6. ويرد وصف لمقارنة تتابع TCP بين بروتوكول TCP وتقنية الفلق إلى قطعتين في الشكل 7.

الشكل 6
الفلق إلى قطعتين

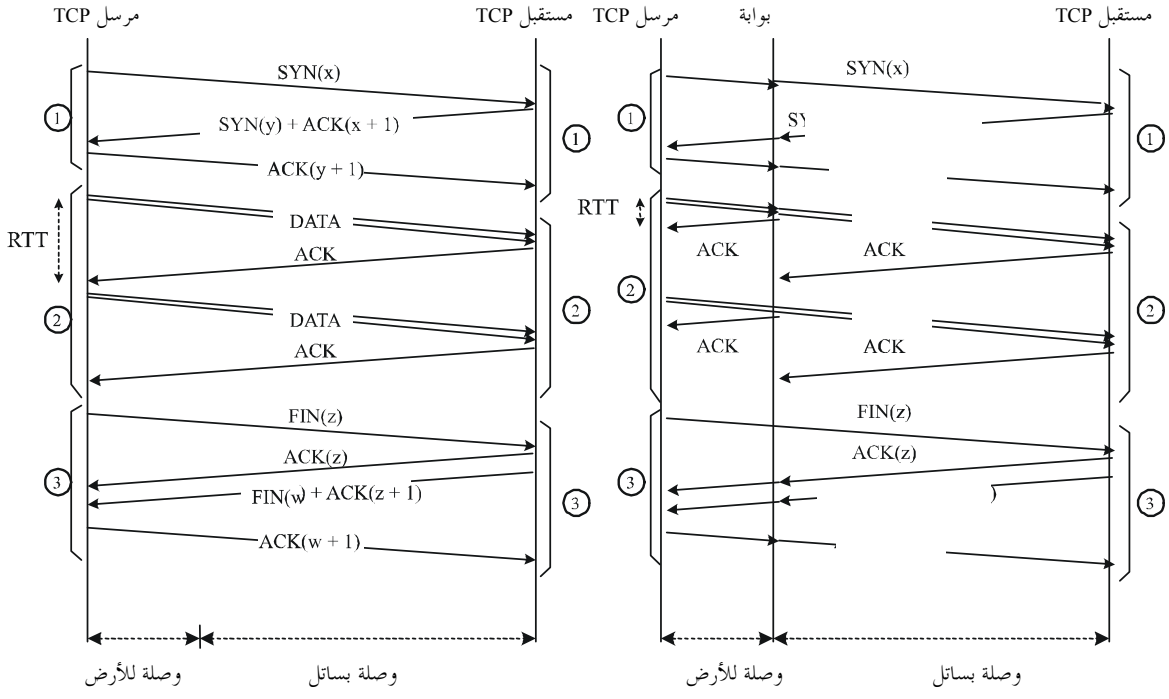




وفي كلتا القطعتين، يستعمل بروتوكول TCP المعياري للاتصالات بين مرسل/مستقبل TCP والبوابة. وعندما تستلم البوابة في المحطة الأرضية A رزمة معطيات من المستعمل 1 على القطعة 1 وترسلها إلى المستعمل 2 على القطعة 2، فهي تعيد إشعار الاستلام إلى المستعمل 1 بغض النظر عما إذا كانت البوابة قد استلمت إشعار الاستلام من المستعمل 2. والغرض هو طلب إرسال المعطيات بواسطة المستعمل 1، مما يسمح بتحسين صبيب التوصيلة TCP من طرف لآخر. وبهذه الطريقة، يحسن صبيب التوصيلات TCP في اتجاه واحد (في هذا المثال من المستعمل 1 إلى المستعمل 2). وتكمن الميزة الرئيسية لهذه الطريقة في واقع أن البوابة تكون مطلوبة فقط في المحطة الأرضية على جانب الإرسال (أي المحطة الأرضية A). وهذه الطريقة مناسبة بصورة خاصة للشبكات بساتل ذات طوبولوجيا النجمة (انظر الشكل 2)، لأن تحسين صبيب بروتوكول TCP ليس ضرورياً سوى في اتجاه واحد (من المحطة الرئيسية إلى جهاز طرفي بفتحة صغيرة جداً VSAT). بالإضافة إلى ذلك يعتبر تطبيق وظائف البوابة على العديد من المحطات البعيدة غير ممكن اقتصادياً.

الشكل7

مقارنة بروتوكول TCP المعياري بتقنية الفلق إلى قطعتين



ب) تتابع الإرسال للفلق إلى طبقتين

أ) تتابع إرسال بروتوكول TCP المعياري

① طور إنشاء التوصيلة
② طول نقل المعطيات
③ طور تحرير التوصيلة

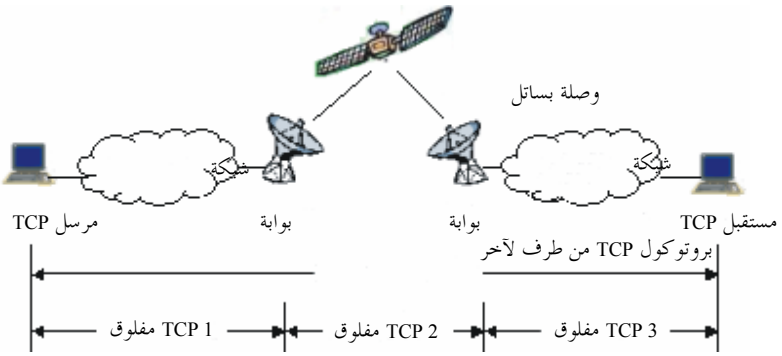
2.3 منهجية الفلق إلى ثلاث قطع

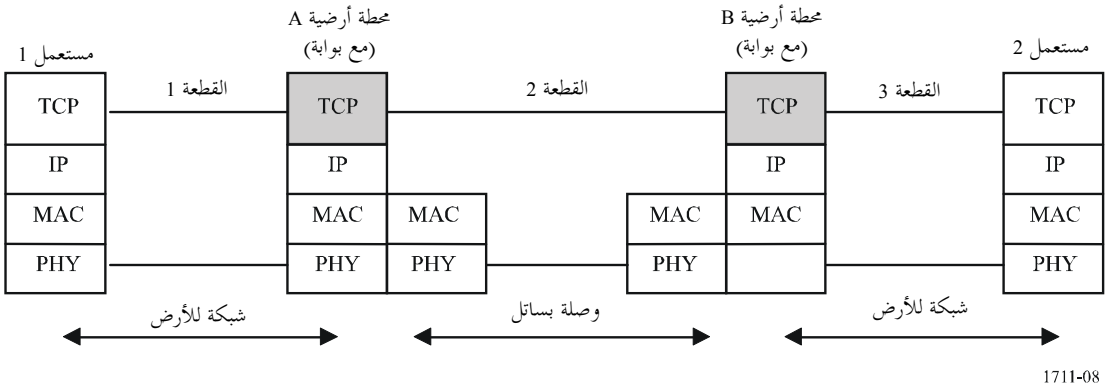
تقسم تقنية الفلق إلى ثلاث توصيلات بروتوكول TCP من طرف لآخر إلى ثلاث قطع. ويوضح الشكل 8 طوبولوجيا الشبكة وكذلك كدسة البروتوكول لتقنية الفلق إلى ثلاث قطع، حيث تستعمل القطع للأرض (القطعتان 1 و3) بروتوكول TCP المعياري في حين تطبق القطع للساتل (القطعة 3) بروتوكول أمثل. ويرد تتابع بروتوكول TCP للفلق إلى ثلاث قطع في الشكل 9. وتولد إشعارات الاستلام بواسطة بوابة بدلاً من انتظار تلك المستلمة من مستعمل الطرف. وفي هذه الحالة، تعمل البوابة كمفوض.

وفي هذه الطريقة، يحسن صبيب توصيلات بروتوكول TCP في كلا الاتجاهين. وهذه الطريقة مناسبة لشبكات من نقطة إلى نقطة مثل توصيلة مورد خدمة الإنترنت (ISP) والشبكة الأساسية لبروتوكول الإنترنت. (انظر الشكل 1).

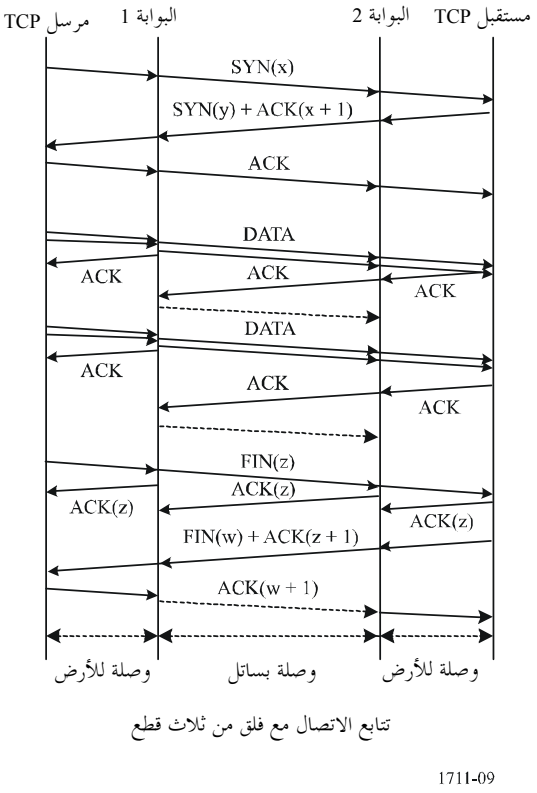
الشكل 8

فلق إلى ثلاث قطع





الشكل 9
تقنية الفلق إلى ثلاث قطع



تتابع الاتصال مع فلق من ثلاث قطع

1711-09

3.3 مناقشة

يكون اعتماد طرائق الفلق إلى قطع صالحاً عندما تجاوز R_{AB} وR_{BA} 256 kbit/s. وعندما تنشط وظيفة البوابة، يتجاوز تجميع[1] صبيب بروتوكول TCP 70% معدل معلومات وصلة بساتل (R_{AB} وR_{BA} في الشكل 1) في كلا الاتجاهين ونسبة BER قدرها 10^{-8} وزمن انتشار ذهاباً وإياباً قدره 700 ms. ويعتمد أقصى عدد للتوصيلات المحسنة لبروتوكول TCP على تشكيلة برمجيات البوابة (أي سرعة الوحدة CPU والذاكرة RAM المتيسرة).

4 مفوض تحسين الأداء

يمثل مفوّض تحسين الأداء PEP حلاً واقعياً لبروتوكول TCP على الوصلات بساتل (انظر RFC 3135 "مفوض تحسين الأداء بهدف تخفيف حدة الانحطاط المرتبط بالوصلة" (2001). وتوجد أنماط متعددة لمفوض PEP التي يمكن تطبيقها على أي طبقة بروتوكول. ويطبق المفوض PEP عادة على طبقات نقل أو تطبيق. ويعمل بعض مفوضي PEP على طبقة وصلة المعطيات ولكنهم لا يدخلون في نطاق هذه التوصية. وتصمم معظم طبقات نقل PEP للتفاعل مع بروتوكول TCP ولتخفيف حدة العيوب التي يواجهها بروتوكول TCP على الوصلات بساتل. وهذا المفوض يعتبر شفافاً لبروتوكولات التطبيق من طرف لآخر.

[1] يعرف تجميع صبيب TCP بأنه مجموع الصبيب الآني لتوصيلات TCP من طرف إلى طرف في الشبكة.

ويمكن أن يكون تطبيق PEP تناظري أو لا تناظري، ويتم تصنيفه وفقاً لدرجة الشفافية. وعند طرف معيّن، تكون تطبيقات PEP شفافة تماماً على أنظمة الطرف، ونقاط الطرف للنقل و/أو للتطبيقات التي لا تتطلب أية تعديلات على أنظمة الطرف. وفي حالة غيبة الشفافية، يمكن أن يطلب المفوض PEP إجراء تعديلات على مستعمل الطرف أو على اثنين من مستعملي الطرف.

وتوجد استراتيجيتان رئيسيتان لتصميم PEP: محاكاة بروتوكول TCP وفلق بروتوكول TCP (انظر الفقرة 3). وفي كلتا الحالتين، فالهدف هو حماية قطع الشبكة مرتفعة الكمون والساتل مرتفع الكمون مع خسارة في بقية الشبكة وفي الوقت ذاته الإبقاء على الشفافية في التطبيقات.

1.4 التحايل على بروتوكول TCP

يستند مبدأ التحايل على بروتوكول TCP إلى مسير (بوابة) يقع بالقرب من مصدر يعيد إرسال إشعارات استلام قطع بروتوكول TCP والإيهام بمسير قصير، مما يعجل إرسال معطيات مرسل بروتوكول TCP. عندئذ تلغي البوابة تدفق إشعارات استلام الساتل المضيف وترسل المعطيات المفتقدة.

2.4 آليات PEP

تشمل آليات PEP، مباعدة إشعارات الاستلام، وإعادة توليد إشعارات الاستلام، وإشعارات الاستلام المحلية، وإعادة الإرسال المحلي، والإنفاق الرامية إلى التحكم في إرسال الرزم، وانضغاط الرأسية، وانضغاط الحمولة النافعة وتعدد الإرسال القائم إلى الأولويات.

3.4 النتائج المرتبطة باستعمال PEP

1.3.4 الأمن من طرف لآخر

لا يستطيع مفوض تحسين الأداء PEP العمل مع أي إرسال مجفر مثل بروتوكول أمن بروتوكول الإنترنت IPSEC حيث يجب عليه أن يقرأ رأسية رزم بروتوكول الإنترنت، وفي بعض التطبيقات، تولد رزم بروتوكول الإنترنت نيابة عن نظام الطرف. وبشكل عام، يمكن استعمال آليات الأمن الواقعة فوق طبقة النقل أو أعلى هذه الطبقة (أي من طبقة النقل TLS أو SSL) مع PEP.

2.3.4 الاعتمادية من طرف لآخر

في المعماريات التي تنطوي على استعمال PEP، لا تعتمد التطبيقات سوى على السوية الدنيا (أي بروتوكول التحكم في النقل TCP) لإشعارات الاستلام وذلك لضمان الاعتمادية في التسليم من طرف لآخر. ولا يتداخل المفوض PEP لبروتوكول TCP بشكل عام مع إشعارات استلام طبقة التطبيق.

الملحق 3

اختبارات وقياسات أداء تحسين بروتوكول TCP

1 مجال التطبيق

يتضمن الملحق 3 نتائج اختبارات وقياسات أجرتها هيئات مستقلة لتجريب بعض الطرائق الموصوفة في الملحق 2 ويوفر معلومات قيمة لمصممي الأنظمة بساتل.

2 أداء بروتوكول TCP مع تحسين الفلق

قامت كل من شبكة إنتلسات INTELSAT وشركة KIDDI اليابانية بقياسات لأداء بروتوكول TCP باستعمال تقنيات الفلق (الفلق إلى قطعتين والفلق إلى ثلاث قطع) للتحقق من مدى فعالية هذه التقنيات. ويوفر هذا الجزء نتائج هذه القياسات.

ويقدم القسم 1.2 نتائج اختبار أداء توصيلة واحدة لبروتوكول TCP بدون أي بوابة ويتضمن القسم 2.2 نتائج اختبار تقنية الفلق إلى قطعتين. ويورد القسم 3.2 نتائج اختبار تقنية الفلق إلى ثلاث قطع.

1.2 اختبار أداء توصيلة بروتوكول TCP واحدة دون أي تحسّن

1.1.2 اختبار أداء توصيلة بروتوكول TCP واحدة

تناولت أول مجموعة من الاختبارات صبيب توصيلة TCP واحدة. وأجريت الاختبارات مع تحسن بوابة البروتوكول أو بدون تحسين بوابة البروتوكول مع وقت انتشار ذهاباً وإياباً قدره 200 ms، يحاكي توصيلة WAN للأرض، و700 ms، يحاكي وصلة بساتل مندمجة في شبكة أساسية للأرض.

2.1.2 بروتوكول TCP بدون تحسين الأداء

تناولت أول مجموعة من الاختبارات توصيلات TCP وحيدة بدون تحسين الأداء. وضبط قد نافذة العميل عند 8 kbytes وذلك كيما تطابق ضبط الخطأ على Windows 95، Windows 98، Windows NT وغيرها من أنظمة التشغيل الشائعة الأخرى. وضبط وقت الانتشار ذهاباً وإياباً RTT لوصلة الأرض عند 200 ms والوصلة بساتل/الأرض عند 700 ms.

3.1.2 أداء توصيلة TCP واحدة بدون تحسين الأداء

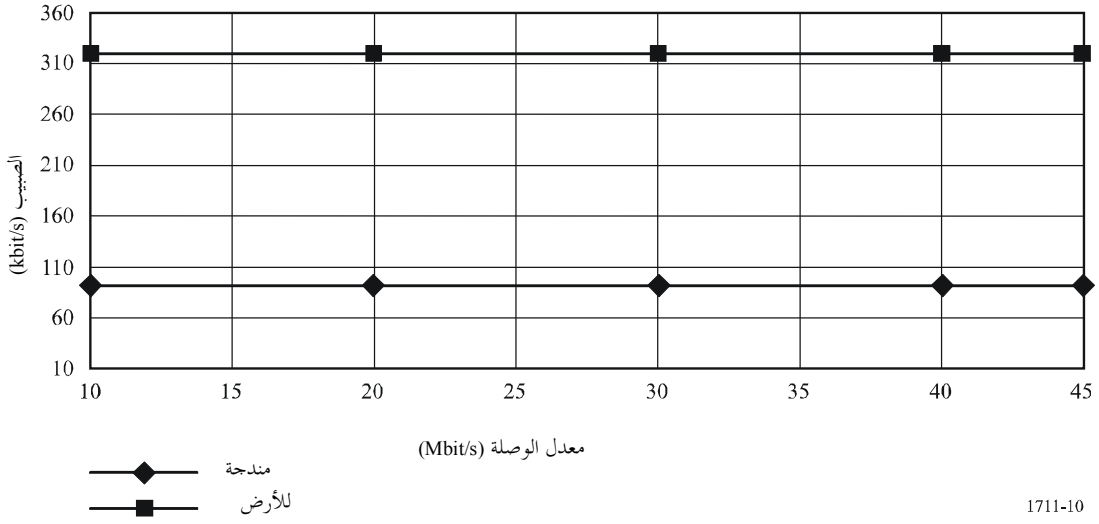
يبلغ أقصى صبيب بدون تحسين الأداء 320 kbit/s للتوصيلات بالأرض و91 kbit/s لوصلة بساتل (انظر الشكل 10). وتبين هذه النتائج أنه بدون تحسين الأداء، يكون الصبيب الأقصى لتوصيلة TCP واحدة مساوياً تقريباً لقد النافذة،

$$\frac{8\ \text{kbytes} \cdot 8\ \text{bits}}{RTT = 200\ \text{ms}} = 320\ \text{kbit/s}$$

حتى إذا جرت زيادة معدل الوصلة.

الشكل 10

توصيلة TCP واحدة على وصلات بالأرض وبساتل بدون تحسين



2.2 الفلق إلى قطعتين

1.2.2 تشكيلة شبكات بساتل

أجريت الاختبارات التالية للتحقق من مدى فعالية تقنيات الفلق إلى قطعتين:

الاختبار A: قياس ميداني باستعمال نظام VSAT حقيقي على وصلة بساتل

الاختبار B: قياس باستعمال محاكي لوصلة بساتل

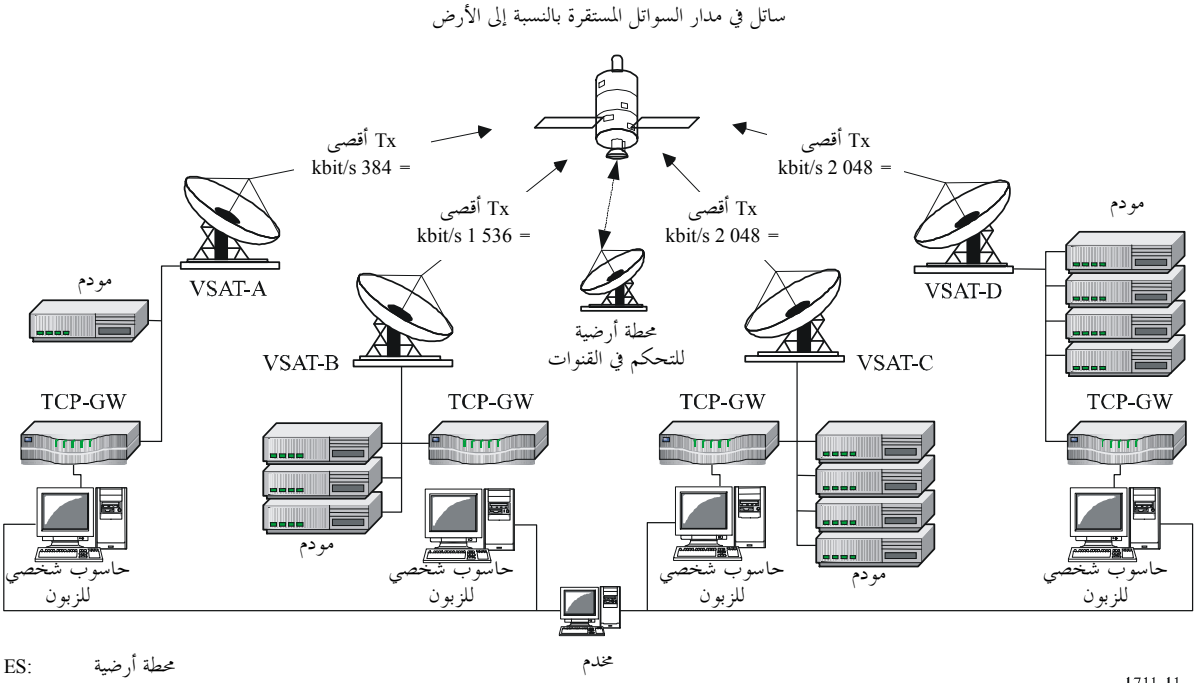
1.1.2.2 الاختبار-A: قياس ميداني باستعمال نظام VSAT حقيقي على وصلة بساتل

تم إجراء الاختبار-A باستعمال نفاذ متعدد مع تخصيص حسب الطلب DAMA يقوم على شبكة بروتوكول الإنترنت بساتل بطوبولوجيا متشابكة باستعمال تكنولوجيا بقناة واحدة لكل موجة حاملة (SCPC) بصبيب متغير. وشمل الاختبار قياس وصلة TCP واحدة وتوصيلة متعددة لمختلف معدلات الوصلة، وتوصيلات UDP وخليط من توصيلات UDP وTCP. وأجري الاختبار باستعمال شبكة بساتل لا تناظري وبساتل تناظري بمعدلات وصلة بلغت 384 kbit/s و1 536 kbit/s و2 048 kbit/s.

وترد الشبكة المستعملة في الاختبار-A في الشكل 11. وتتألف الشبكة بساتل DAMA من محطة الأرض للتحكم في قنوات الإرسال وأربعة أجهزة طرفية بفتحة صغيرة جداً VSAT. وزود كل جهاز VSAT ببوابة منشطة بواسطة تقنية الفلق إلى قطعتين لتحسين صبيب الاتجاه الأمامي. وتبين في الجدول 4 المواصفات الرئيسية لكل جهاز VSAT. ويجدر التذكير بأنه تم استعمال نمطين من البوابات (النمط 1 والنمط 2) من بائعين مختلفين في هذا الاختبار. والوصلة بساتل مصممة مع تيسير وصلة يبلغ 99,9% بين VSAT وHUB، و99,85% بين VSAT وVSAT.

الشكل 11

تشكيلة شبكة الاختبار من أجل الاختبار –A



الجدول 4

مواصفات محطة الأرض VSAT

محطة أرضية	قد الهوائي	قدرة SSPA (w)	أقصى معدل للإرسال (kbit/s)	مخدم بوابة بروتوكول TCP
محطة أرضية للتحكم	7,6	N/A	N/A	N/A
VSAT-A	1,2	10	384	Type-1
VSAT-B	1,2	40	1 536	Type-2
VSAT-C	1,8	40	2 048	Type-2
VSAT-D	1,8	120	2 048	Type-2

محطة أرضية	نظام التشغيل	وحدة المعالجة المركزية	الذاكرة (Mbit)	التطبيق
VSAT-A	FreeBSD 4,3	Pentium III 1 GHz	256	Iperf 1.1.1
VSAT-B	FreeBSD 4,3	Pentium III 1 GHz	512	Iperf 1.1.1
VSAT-C	FreeBSD 4,3	Pentium III 1 GHz	256	Iperf 1.1.1
VSAT-D	FreeBSD 4,3	Pentium III 1 GHz	512	Iperf 1.1.1
NTP server	Windows 2000	Pentium III 600 MHz	256	

ويركب نظام تشغيل FreeBSD 4.5 على كل حاسوب شخصي للزبون، ثم يوصل بعد ذلك بمخدم NTP لكي يتزامن التوقيت لكل حاسوب شخصي. ويزود كل جهاز VSAT ببرمجيات Iperf[2] يسمح بتوليد رزم بروتوكول الإنترنت وقياس الصبيب.

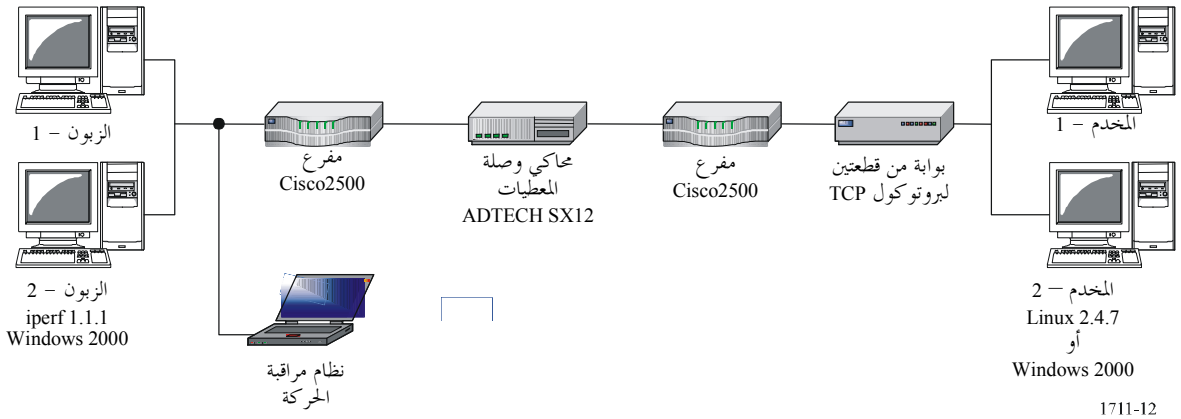
2.1.2.2 الاختبار-B: القياس باستعمال محاكي لوصلة بساتل

تم إجراء الاختبار-B بتشكيلة من نقطة إلى نقطة باستعمال محاكي وصلة معطيات يمكن أن تُدرج أخطاء المهلة والقنوات. وشمل الاختبار قياس الصبيب من أجل 1 و2 و4 و8 توصيلة متزامنة ببروتوكول TCP مع معدلات وصلة مختلفة (تتراوح بين 384 kbit/s و536 1 kbit/s) تحاكي مختلف حالات الخطأ في البتات (10^{-8} و10^{-7} و10^{-6} و10^{-5}، الخطأ العشوائي/الخطأ لكل رشقة) و250 ms زمن انتشار الساتل (في اتجاه واحد). ولأغراض المقارنة، تم قياس الصبيب باستعمال وبدون استعمال تجهيز البوابة.

وترد الشبكة المختبرة في الشكل 12، وتتضمن محاكي وصلة المعطيات لمحاكاة أثر ظروف وصلة بساتل على شبكات من نقطة إلى نقطة. ويستعمل محاكي وصلة المعطيات سطح بيني متسلسل، في وجود مفرعين مركبين على جانبي محاكي وصلة المعطيات لتكييف السطح البيني. وتقوم الحواسيب الشخصية للزبون بتطبيق نظام التشغيل Microsoft Windows 2000 (SP2) ويقوم الحاسوب الشخصي للمخدم بتطبيق نظام Microsoft Windows 2000 (SP2) أو Linux من الصيغة 2.4.7.

الشكل 12

تشكيلة شبكة الاختبار المستعملة للاختبار B



2.2.2 نتائج الاختبار

1.2.2.2 الاختبار-A

أجريت الاختبارات الأربعة في يوم صحو. وتقدم النتائج في الفقرات التالية:

- توصيلة بروتوكول UDP (الفقرة 1.1.2.2.2)
- توصيلة واحدة لبروتوكول TCP/بروتوكول الإنترنت (الفقرة 2.1.2.2.2) (انظر الملاحظة 1)

[2] Iperf هو تطبيق لتوليد الحركة وقياس صبيب رزمة بروتوكول الإنترنت. والصيغة 1.1.1 من Iperf برنامج مجاني يمكن تنـــزيله من العنوان التالي: http://dast.nlanr.net/Projects/Iperf1.1.1/release.html.

– توصيلة متعددة لبروتوكول TCP/بروتوكول الإنترنت (الفقرة 3.1.2.2.2) (انظر الملاحظة 2)

– دورة بروتوكول TCP واحدة (60% من معدل الوصلة) ودورة بروتوكول UDP (40% من معدل الوصلة) (الفقرة 4.1.2.2.2) (انظر الملاحظة 2).

الملاحظة 1– عدد الدورات 4 على حاسوب شخصي واحد. بعض أجهزة VSAT لا تستطيع إنشاء أربع دورات IP/TCP في آن معاً.

الملاحظة 2– يفترض في الصبيب المقاس في توصيلة بروتوكول UDP أن يكون أقصى صبيب لدورة بروتوكول TCP.

لوحظ على النحو الواجب أثر التحسن على البوابة الناجم عن تقنية الفلق إلى قطعتين طوال جميع الاختبارات، حيث تم الحصول على صبيب قدره أكثر من 95% من أقصى الصبيب.

1.1.2.2.2 نتائج توصيلة بروتوكول UDP

الجدول 5

معدل الوصلة: 384 kbit/s، المتوسط: 360,2 kbit/s (93,8%) (بدون معطيات إضافية)

		الإرسال (يضبط معدل الوصلة عند 384 kbit/s)			
		VSAT-A (kbit/s)	VSAT-B (kbit/s)	VSAT-C (kbit/s)	VSAT-D (kbit/s)
الاستقبال (384 kbit/s)	VSAT-A		365	365	365
	VSAT-B	345		365	365
	VSAT-C	346	365		365
	VSAT-D	346	365	365	

الجدول 6

معدل الوصلة: 536 1 kbit/s، المتوسط: 397,5 1 kbit/s (95,5%) (بدون معطيات إضافية)

		الإرسال (يضبط معدل الوصلة عند 536 1 kbit/s)			
		VSAT-A	VSAT-B	VSAT-C	VSAT-D
الاستقبال (384 kbit/s)	VSAT-A			463 1 kbit/s	

الجدول 7

معدل الوصلة: 048 2 kbit/s، المتوسط: 947,5 1 kbit/s (95,1%)

		الإرسال (يضبط معدل الوصلة عند 048 2 kbit/s)			
		A (384 kbit/s)	B (536 1 kbit/s)	C (048 2 kbit/s)	D (048 2 kbit/s)
الاستقبال (536 1 kbit/s)	VSAT-B			946 1 kbit/s	949 1 kbit/s

1.1.2.2.2 نتائج توصيلة بروتوكول UDP

الجدول 8

معدل الوصلة: 384 kbit/s، المتوسط: 349,2 kbit/s (96,9%) (بدون معطيات إضافية)

		الإرسال (يضبط معدل الوصلة عند 384 kbit/s)			
		VSAT-A (kbit/s)	VSAT-B (kbit/s)	VSAT-C (kbit/s)	VSAT-D (kbit/s)
الاستقبال (384 kbit/s)	VSAT-A		359,0	359,0	359,0
	VSAT-B	327,8		358,5	358,3
	VSAT-C	328,0	348,3		357,8
	VSAT-D	328,0	358,5	348,3	

يبين الجدول 8 المتوسط للأربع دورات.

الجدول 9

معدل الوصلة: 1 536 kbit/s، المتوسط: 1 397,5 kbit/s (95,5%) (بدون معطيات إضافية)

		الإرسال (يضبط معدل الوصلة عند 1 536 kbit/s)			
		VSAT-A (384 kbit/s)	VSAT-B (1 536 kbit/s)	VSAT-C (2 048 kbit/s)	VSAT-D (2 048 kbit/s)
الاستقبال (384 kbit/s)	VSAT-A			1 397,5 kbit/s	

يبين الجدول 9 المتوسط على مدى أربع دورات.

الجدول 10

معدل الوصلة: 2 048 kbit/s، المتوسط: 1 890,1 kbit/s (97,1%) (بدون معطيات إضافية)

		الإرسال (يضبط معدل الوصلة عند 2 048 kbit/s)			
		VSAT-A (384 kbit/s)	VSAT-B (1 536 kbit/s)	VSAT-C (2 048 kbit/s)	VSAT-D (2 048 kbit/s)
الاستقبال (1 536 kbit/s)	VSAT-B			1 888,3 kbit/s	1 891,8 kbit/s

3.1.2.2.2 نتائج توصيلة بروتوكول TCP متعددة

الجدول 11

معدل الوصلة: 1 536 kbit/s، المتوسط: 1 370,5 kbit/s (95,5%) (بدون معطيات إضافية)

		الإرسال (يضبط معدل الوصلة عند 1 536 kbit/s)			
		VSAT-A (384 kbit/s)	VSAT-B (1 536 kbit/s)	VSAT-C (2 048 kbit/s) (kbit/s)	VSAT-D (2 048 kbit/s) (kbit/s)
الاستقبال	VSAT-A (384 kbit/s)			360 358 345 345	338 337 329 329
	المجموع			1 408	1 333

الجدول 12

معدل الوصلة: 2 048 kbit/s، المتوسط: 1 910 kbit/s (98,1%) (بدون معطيات إضافية)

		الإرسال (يضبط معدل الوصلة عند 2 048 kbit/s)			
		VSAT-A (384 kbit/s)	VSAT-B (1 536 kbit/s)	VSAT-C (2 048 kbit/s) (kbit/s)	VSAT-D (2 048 kbit/s) (kbit/s)
الاستقبال	VSAT-B (1 536 kbit/s)			759 597 562	680 565 657
	المجموع			1 918	1 902

4.1.2.2.2 نتائج تركيبة دورات بروتوكول UDP وبروتوكول TCP

الجدول 13

تركيبة من توصيلة واحدة لبروتوكول TCP (60%) وتوصيلة واحدة لبروتوكول UDP (40%)

		الإرسال (384 kbit/s)			
		VSAT-A (384 kbit/s)	VSAT-B (1 536 kbit/s)	VSAT-C (2 048 kbit/s) (kbit/s)	VSAT-D (2 048 kbit/s) (kbit/s)
الاستقبال	VSAT-B			1241 687	1102 841

الصف الأعلى: توصيلة بروتوكول TCP؛ الصف الأدنى: توصيلة بروتوكول UDP.

2.2.2.2 الاختبار-B

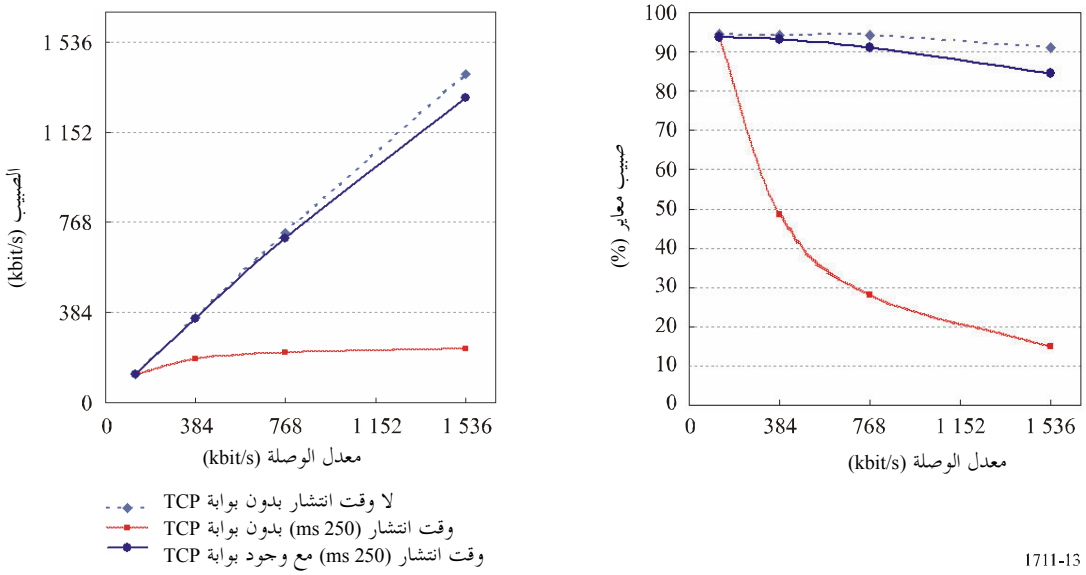
تقدّم نتائج الاختبار-B في الأشكال من 13 إلى 17. وقيم الصبيب الواردة في مخطط دورات بروتوكول TCP 1 و2 و8 هي مجموع صبيب جميع دورات بروتوكول TCP. لوحظ على النحو الواجب أثر التحسن على البوابة الناجم عن تقنية الفلق إلى قطعتين طوال جميع الاختبارات.

وكما يلاحظ من الشكلين 13 و14، يقتصر الصبيب الأقصى لدورة IP/TCP على نحو 200 kbit/s في حالة عدم تنشيط البوابة. وعلى سبيل المثال، في حالة الدورتين TCP (انظر الشكل 14)، يقتصر إجمالي الصبيب (بدون بوابة TCP) على نحو 400 kbit/s. ومن ناحية أخرى، في حالة 8 دورات TCP (انظر الشكل 15)، يبلغ إجمالي الصبيب (بدون بوابة TCP) 1,5 Mbit/s تقريباً ولا يلاحظ أي اختلاف ملحوظ بين الحالات "بدون بوابة TCP" وفي "وجود بوابة TCP".

ومع ارتفاع النسبة BER (أي $BER = 10^{-6}$) ينخفض أثر التحسن كما هو مبين في الشكل 16.

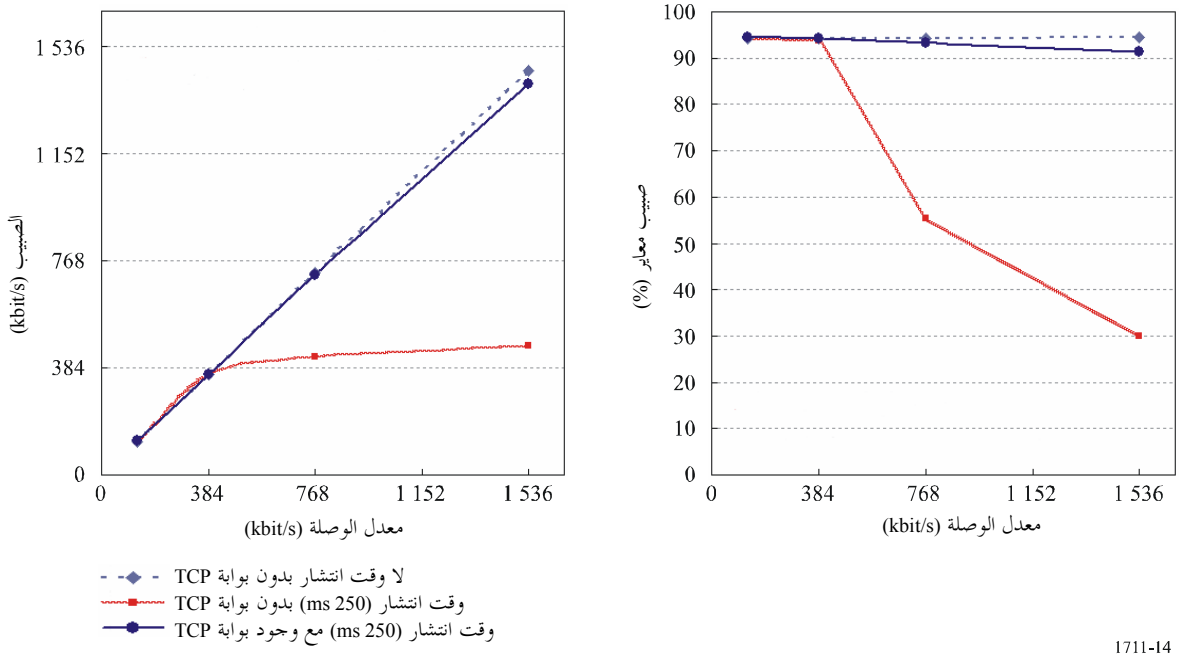
الشكل 13

نتيجة دورة واحدة TCP ($BER=10^{-8}$)



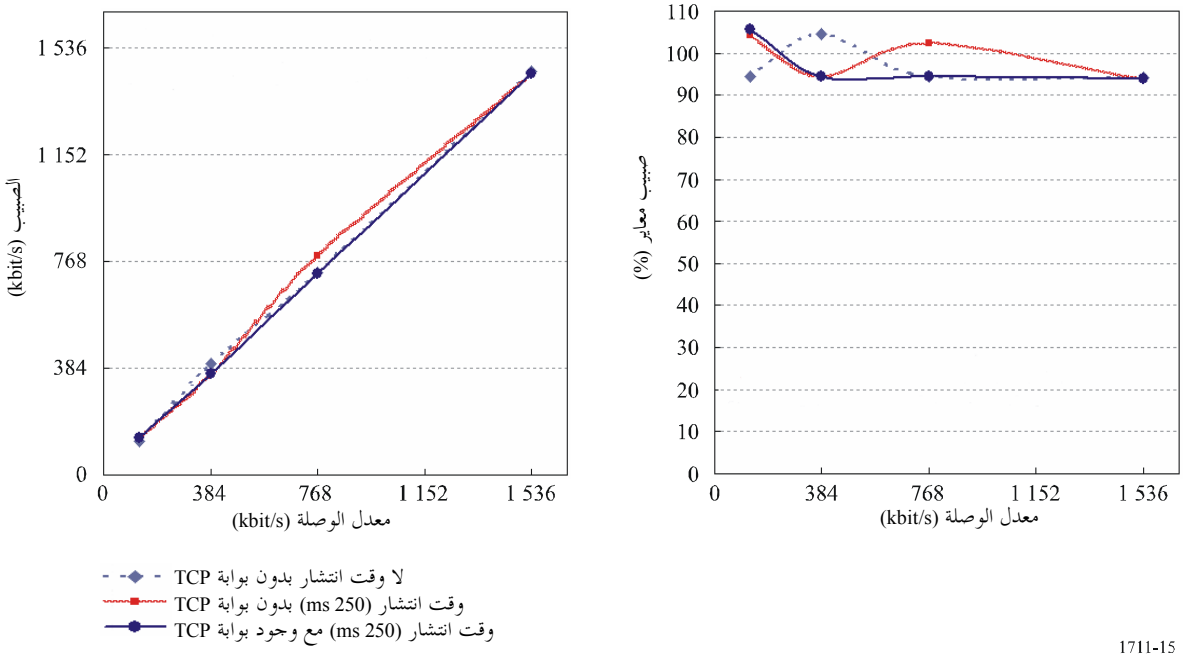
الشكل 14

نتيجة لدورتين TCP ($BER=10^{-8}$)



الشكل 15

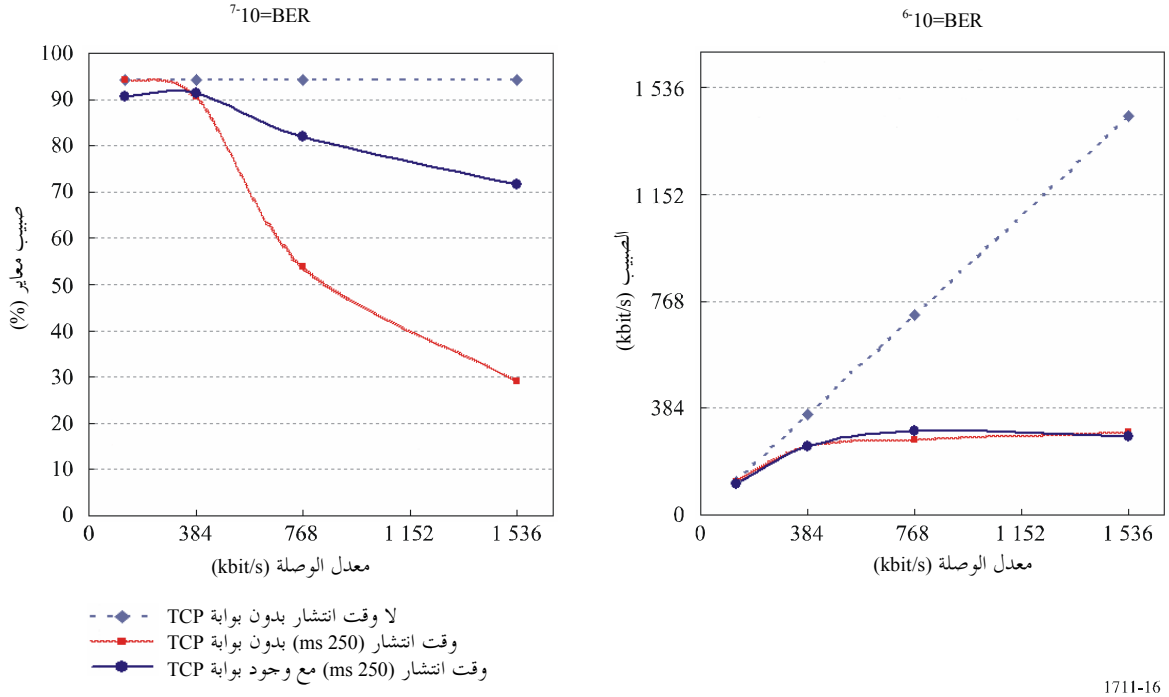
نتيجة لثماني دورات TCP (BER=10^{-8})



1711-15

الشكل 16

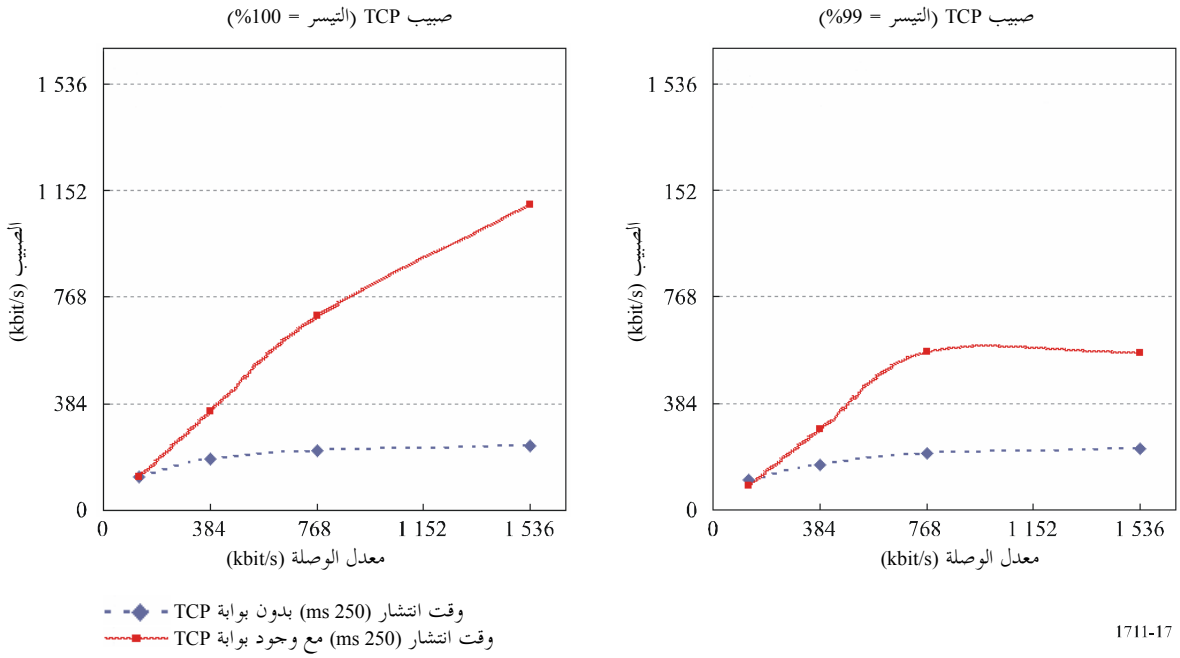
نتائج الدورتين TCP (BER = 10^{-7}، 10^{-6})



1711-16

الشكل 17

نتائج دورة واحدة TCP في حالة أخطاء مختلفة في الرشقات



3.2.2 الاستنتاجات

تبين النتائج أن طريقة الفلق إلى طبقتين يمكن أن تحسن بشكل ملموس صبيب بروتوكول TCP على وصلة بساتل وتكون نسبة BER 10^{-7} أو أقل من ذلك. وتم الحصول على أداء الصبيب الإجمالي المطابق لزهاء 95% من القدرة مع توصيلة واحدة وتوصيلتين و8 توصيلات TCP متزامنة في وجود وقت طويل للانتشار، كما هو الشأن في حالة شبكة بساتل. بالإضافة إلى ذلك، جرى توضيح أن تقنية الفلق إلى قطعتين مناسبة لشبكات بساتل تناظري ولاتناظري.

وتسمح تقنيات الفلق إلى قطعتين بتطبيق نظام لتوازن الحمولة الأمثل على توصيلات تقع على قطع ساتل وذلك لتجنب الانحطاط غير المطلوب على نافذة إرسال بروتوكول TCP بواسطة خوارزميات تفادي الازدحام. ونظام توازن الحمولة هذا ممكن حيث تعمل تجهيزات البوابة بمثابة وسيط بين مستخدمي طرف بروتوكول TCP.

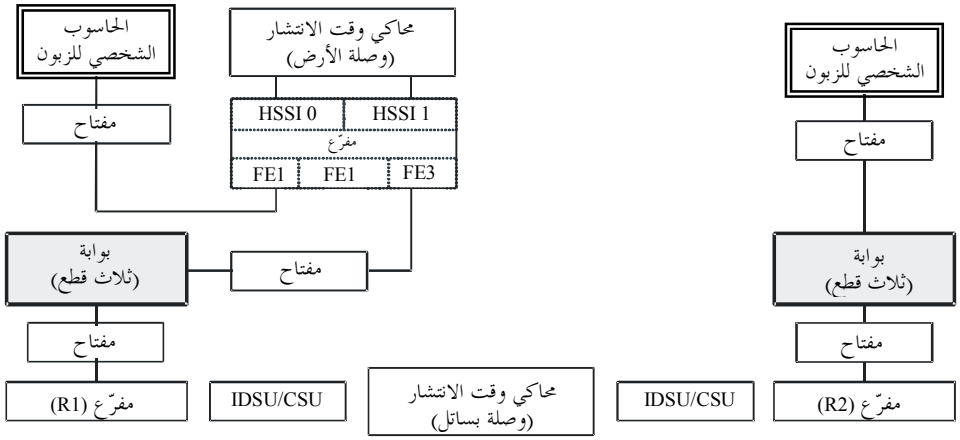
3.2 الفلق إلى ثلاث قطع

1.3.2 تشكيلة الشبكات بساتل

ترد شبكة الاختبار في الشكل 18. وهي تتضمن اثنان من تجهيزات محاكاة الوصلة يحفزان آثار ظروف الوصلة بساتل والشبكة الأساسية للإنترنت للأرض. وكيما تختبر ظروف الوصلة بساتل فحسب، لم يدرج محاكي وقت انتشار وصلة الأرض والمفرع Cisco 7206 في الشبكة. وتم توصيل آلة الزبون مباشرة بتبديل الإثرنت الموصول ببوابة البروتوكول.

وآلات الزبون والمخدم هي Sun Enterprise 450 (2 × UltraSPARC-II 296 MHz) مزودة بذاكرة من 2 048 ميغابايت تدير نظام التشغيل Solaris 7. واستعمل تطبيق العميل – الزبون لمولد الحمولة.

الشكل 18
تشكيلة شبكة الاختبار



الملاحظة 1 – "المفتاح" يمثل مفتاح الإثرنت من 100 Mbit/s

2.3.2 إجرءات الاختبار

استهدفت الاختبارات إجراء اختبار مستقل للتحقق من مدى فعّالية بوابات البروتوكول في ظل ظروف تحميل مختلفة، ومعدلات توصيلة بروتوكول TCP، ومعدلات الخطأ في إطار نمطي لوصلة بساتل. وبالإضافة إلى حفز ظروف ساتل معيّن، بحث الاختبار أيضاً في آثار ازدحام الإنترنت على الصبيب من طرف لآخر في وجود بوابة بروتوكول وفي وحالة عدم وجودها.

وأجريت ثلاثة أنماط من الاختبارات:

الاختبار 1: صبيب وصلة TCP واحدة لأعراض نطاق مختلفة لوصلة

وصممت هذه الاختبارات لمحاكاة شبكة المنطقة المحلية فائقة السرعة وتطبيقات Internet-2 حيث يعتبر النقل بسرعة عالية لملفات المعطيات الضخمة من الأمور الشائعة، وذلك بمقارنة الأداء في وجود بوابة بروتوكول أو في حالة عدم وجودها.

الاختبار 2: توصيلات TCP متعددة مع عرض نطاق لكل توصيلة ثابتة

صممت هذه الاختبارات لدراسة منافع أداء بوابة البروتوكول لوصلات ISP التي تدعم عدة توصيلات صغيرة TCP. وأجريت اختبارات لوقت انتشار ذهاباً وإياباً من 200 ms لمحاكاة وصلة شبكة WAN للأرض، و700 ms لمحاكاة تركيبة قفزة لكل ساتل من 500 ms انطلاقاً من المستعمل إلى الشبكة الأساسية للإنترنت و200 ms للوصول إلى المخدم. وحرصاً على التبسيط، أضيفت أخطاء التأخر وأخطاء في البتات إلى نقطة واحدة، مع تواجد البوابتين على كل جانب من جوانب محاكي الوصلة.

الاختبار 3: توصيلات TCP متعددة مع خسارة رزم الأرض

جرى توسيع الاختبارات السابقة لكي تدرس عن كثب آثار وقت الانتشار والأخطاء عبر الشبكة الأساسية للإنترنت، بغض النظر عن قفزة لكل ساتل. وأضيف محاكي وصلة آخر وذلك لمحاكاة ظروف الساتل وظروف الأرض. وضبطت القفزة لكل ساتل، من أجل هذه الاختبارات، عند وقت انتشار ذهاباً وإياباً قدره 500 ms بدون أية أخطاء، وضبطت وصلة الشبكة الأساسية عند مهلة قدرها 200 ms مع معدلات خسارة مختلفة.

3.3.2 نتائج الاختبار

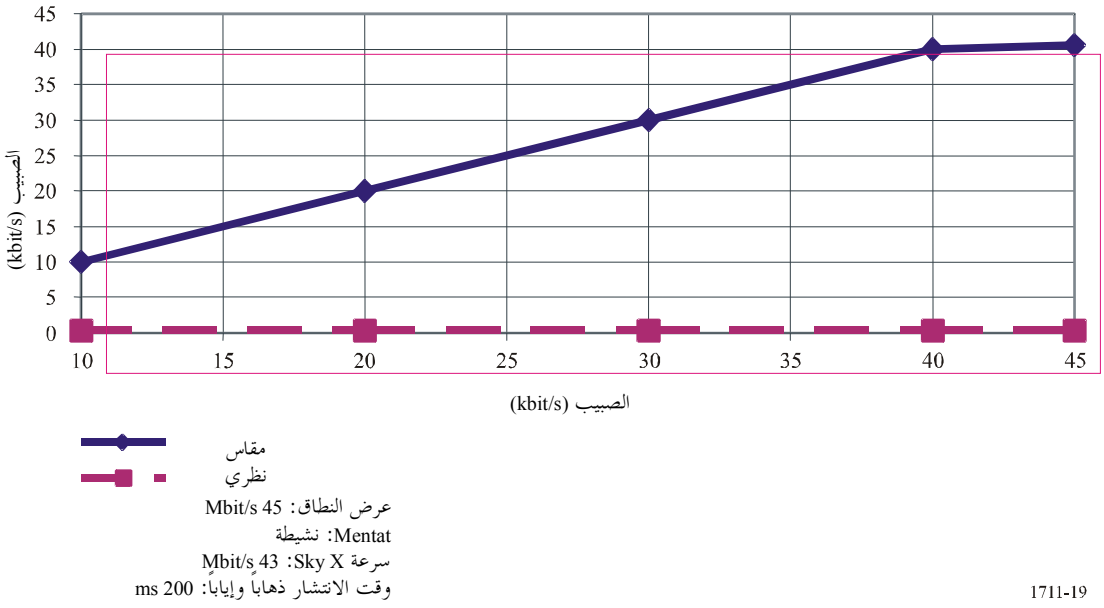
1.3.3.2 بروتوكول TCP مع تحسين بوابة البروتوكول

درست المجموعة التالية من الاختبارات تحسين الأداء الذي توفره بوابة البروتوكول من أجل توصيلة TCP واحدة. يبين الشكل 19 الصبيب بوصفه دالة عرض نطاق الوصلة من أجل وقت انتشار ذهاباً وإياباً قدره 200 ms، وذلك بمقارنة الصبيب المقاس باستعمال بوابة البروتوكول مع صبيب نظري أقصى لبروتوكول TCP غير محسّن. ويبين الشكل 20 نتائج الاختبارات لوقت انتشار ذهاباً وإياباً قدره 700 ms.

وفي حالتين لوقت انتشار قدرهما 200 ms و700 ms، ما من شك أن النتائج المتحصلة من استعمال بوابة البروتوكول أفضل عدة أمثال من الصبيب النظري الأقصى لبروتوكول TCP. وحتى مع وقت انتشار قدره 700 ms، تسمح بوابة البروتوكول للتوصيلة بالاستفادة من كامل عرض النطاق المتيسر.

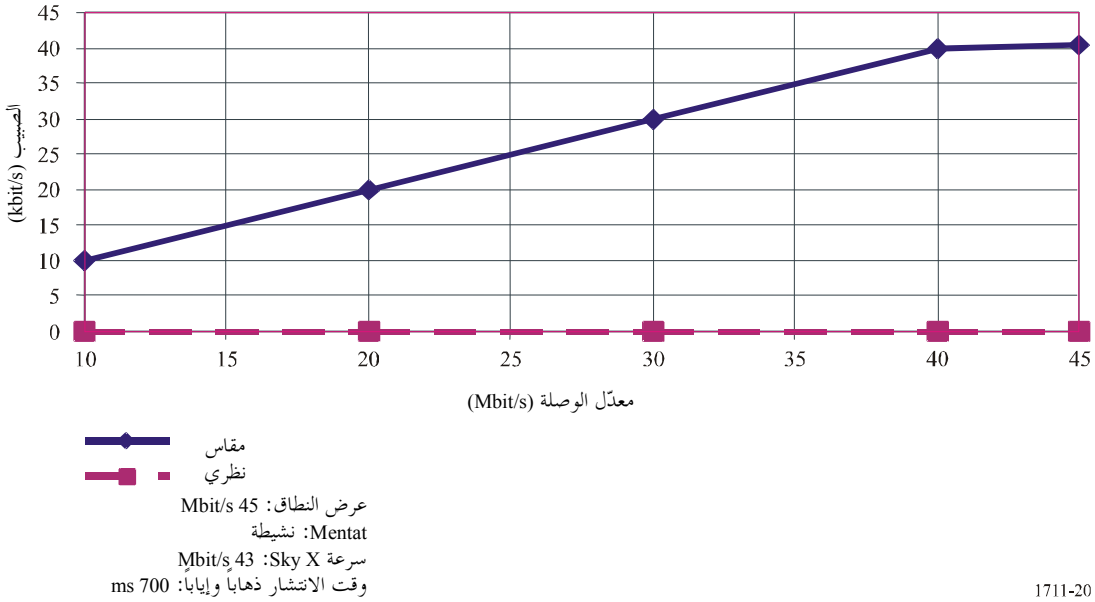
الشكل 19

توصيلة بروتوكول TCP واحدة على وصلة للأرض مع تحسين بوابة البروتوكول



الشكل 20

توصيلات بروتوكول TCP واحدة على وصلة بساتل مع تحسين بوابة البروتوكول



2.3.3.2 اختبار لأداء توصيلات متعددة لبروتوكول TCP

وبدلاً من وجود توصيلة TCP كبيرة واحدة، يتحمل موردو خدمات الإنترنت (ISP) الذين يقدمون الخدمات للمستعملين في المنازل الذين يوصلون بالإنترنت أعداد كبيرة من التوصيلات الصغيرة على شبكاتهم. ويحدد معدلات توصيل TCP عموماً بسرعة توصيل المستعمل بالمورد ISP. ولذلك صممت المجموعة التالية من الاختبارات لدراسة تحسين أداء TCP في وجود بوابة بروتوكول وفي حالة عدم وجودها لأعداد كبيرة من توصيلات TCP، على أن تحدد كل منها عند 128 kbit/s. وأجريت الاختبارات لوقت انتشار ذهاباً وإياباً قدره 200 ms و700 ms وذلك لمقارنة الأداء للأرض وبساتل. واختبرت معدلات الخطأ في البتات متعددة لكل حالة.

3.3.3.2 توصيلات بروتوكول TCP متعددة بدون تحسين

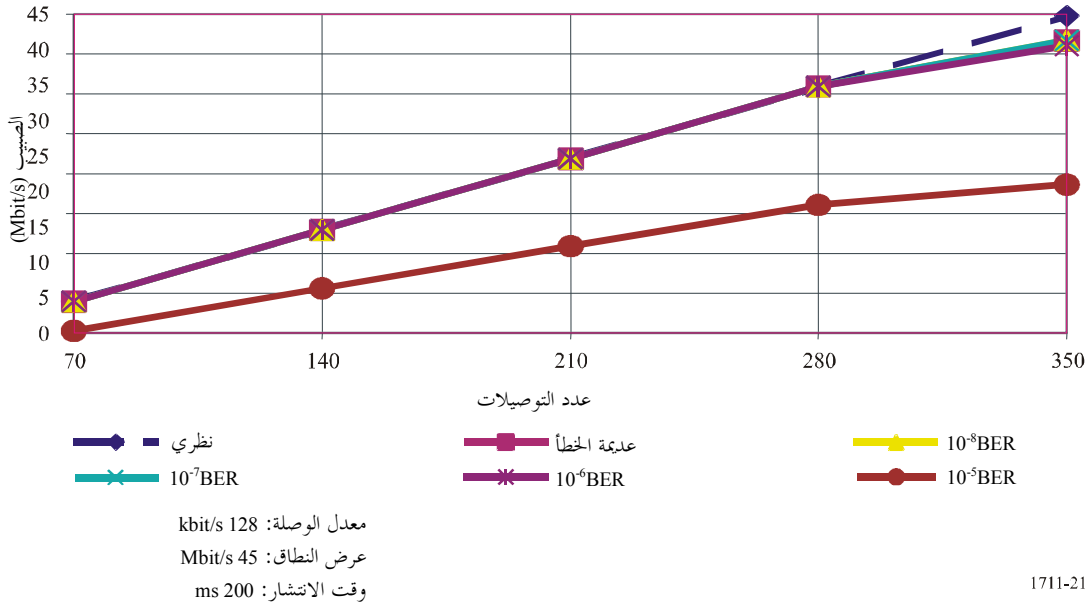
يبين الشكلان 21 و22 الصبيب الكلي بين الزبون والمخدم بدون تحسين بروتوكول TCP لعدة توصيلات TCP من 128 kbit/s في ظل ظروف مختلفة لمعدّل الخطأ في البتات. ومع حد قدره 128 kbit/s لكل توصيلة، سيلزم 350 توصيلة لملء وصلة من 45 Mbit/s.

ويبين الشكل 21 الصبيب الكلي لوصلة الأرض. ومع وقت انتشار قدره 200 ms، يستطيع بروتوكول TCP توفير معدلات صبيب كلي قريبة من الحد الأقصى النظري، باستثناء معدلات الخطأ في البتات المرتفعة.

ويبين الشكل 22 الصبيب الكلي لوصلة لكل ساتل. ومع وقت انتشار قدره 700 ms، حتى بدون أخطاء، يحدد بروتوكول TCP بمقدار 31 Mbit/s لكل 350 توصيلة. وعند معدلات خطأ مرتفعة، يتناقص أداء بروتوكول TCP بسرعة.

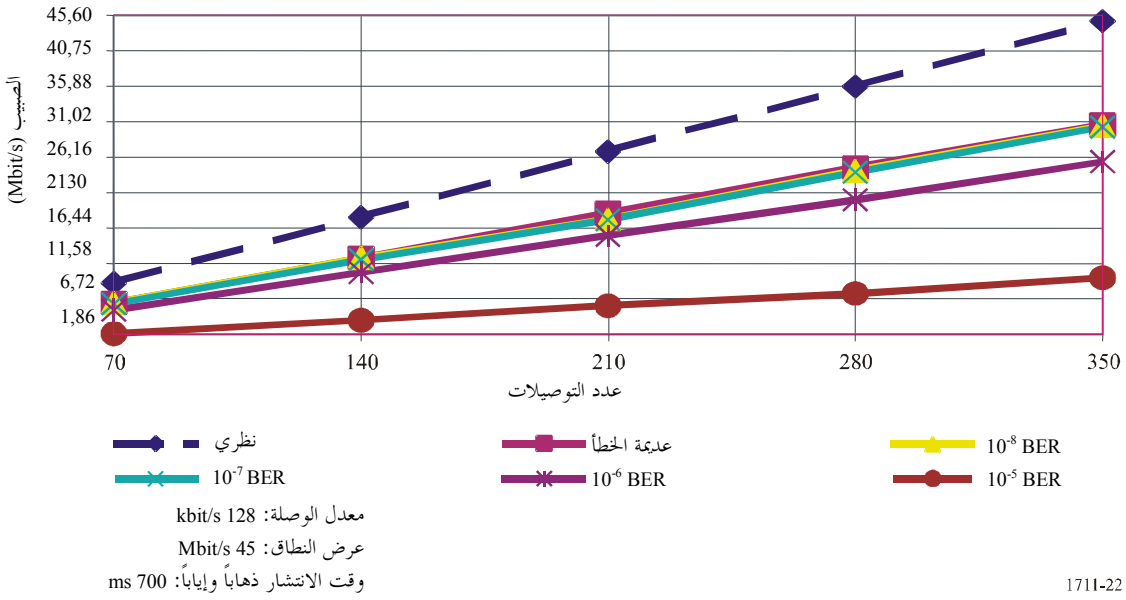
الشكل 21

توصيلات بروتوكول TCP متعددة على وصلة للأرض بدون تحسين



الشكل 22

توصيلات بروتوكول TCP متعددة على وصلة بساتل بدون تحسين



4.3.3.2 توصيلات بروتوكول TCP متعددة مع تحسين بوابة البروتوكول

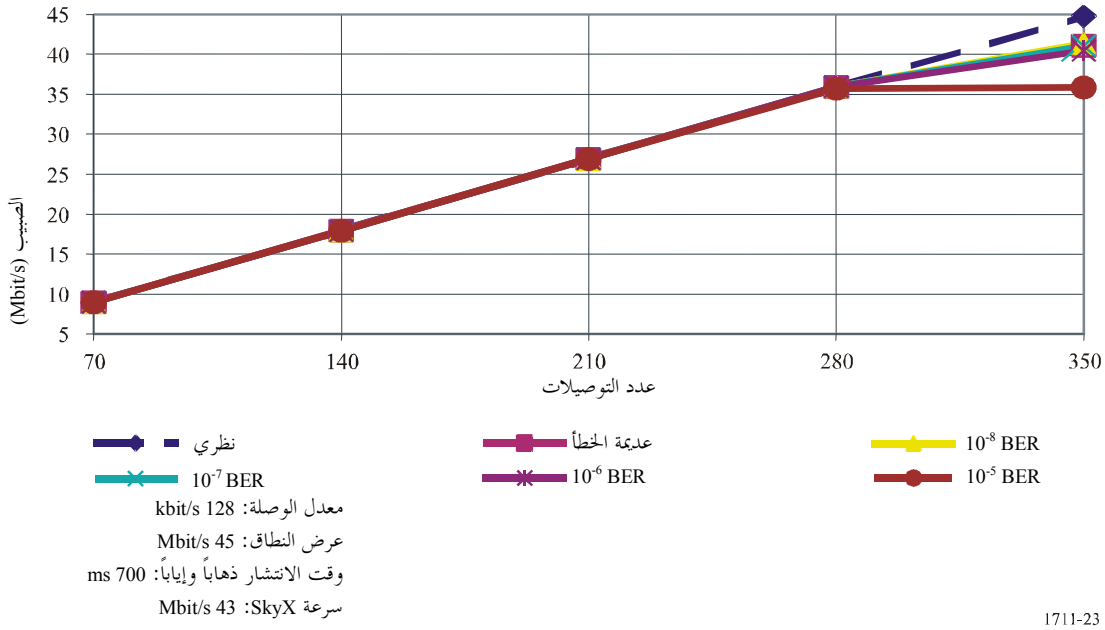
يوضح الشكلان 23 و24 آثار إضافة بوابة بروتوكول إلى الشبكة. يبين الشكل 23 الصبيب الكلي لوقت انتشار قدره 200 ms، في حين يعرض الشكل 24 نتائج وقت انتشار قدره 700 ms.

وسواء لحالة وصلة الأرض أو لحالة وصلة بساتل، تسمح بوابة البروتوكول للتوصيلة باستعمال كامل عرض النطاق المتيسر. ولكلتا الحالتين، يكون الأداء مماثلاً أساساً للحد النظري لنحو 280 توصيلة.

ومقارنة بالفقرة 3.3.3.2 توفر بوابة البروتوكول تحسناً يقارب 100% من الصبيب الكلي، مع معدل خسارة في الرزمة يبلغ 10% (ما يطابق نسبة خطأ في البتات BER قدرها 1×10^{-5} لرزم من 1500 بايتة). وبالنسبة لشبكة بساتل، توفر بوابة البروتوكول زيادة ملموسة في عرض النطاق الكلي عند معدلات خطأ في البتات منخفضة، ومعدل خسارة في الرزمة يبلغ 10%، ويبلغ الصبيب الكلي لزهاء 350 توصيلة مع بوابة البروتوكول 33 Mbit/s مقارنة بزهاء 10 Mbit/s فقط لبروتوكول TCP محسن.

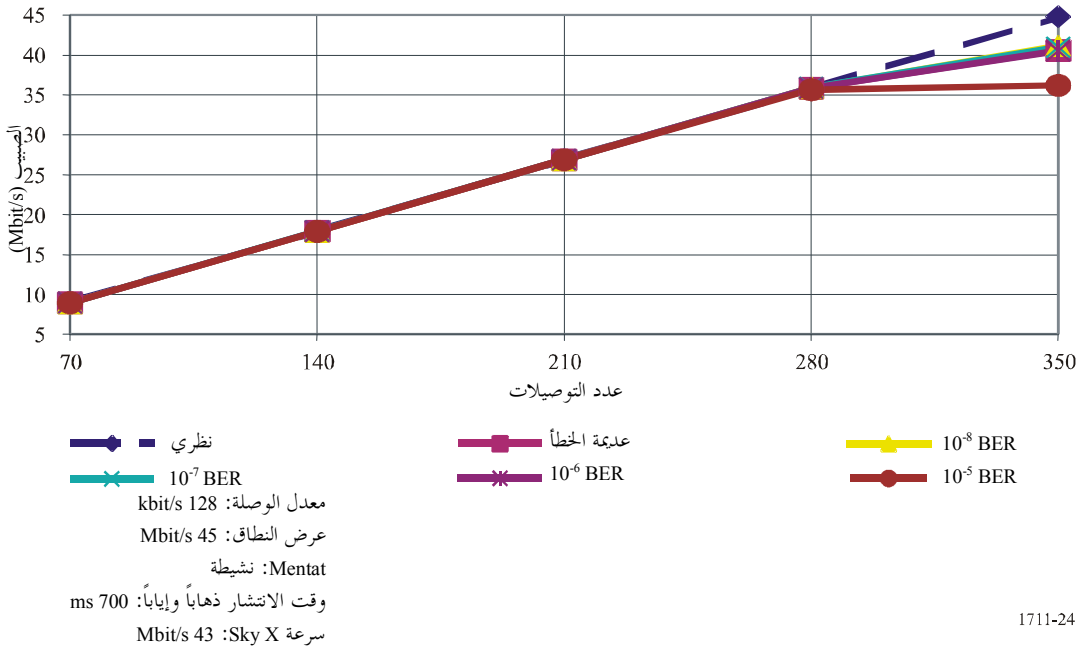
الشكل 23

توصيلات بروتوكول TCP متعددة على وصلة للأرض مع تحسين بوابة البروتوكول



الشكل 24

توصيلات بروتوكول TCP متعددة على وصلة بساتل مع تحسين بوابة البروتوكول



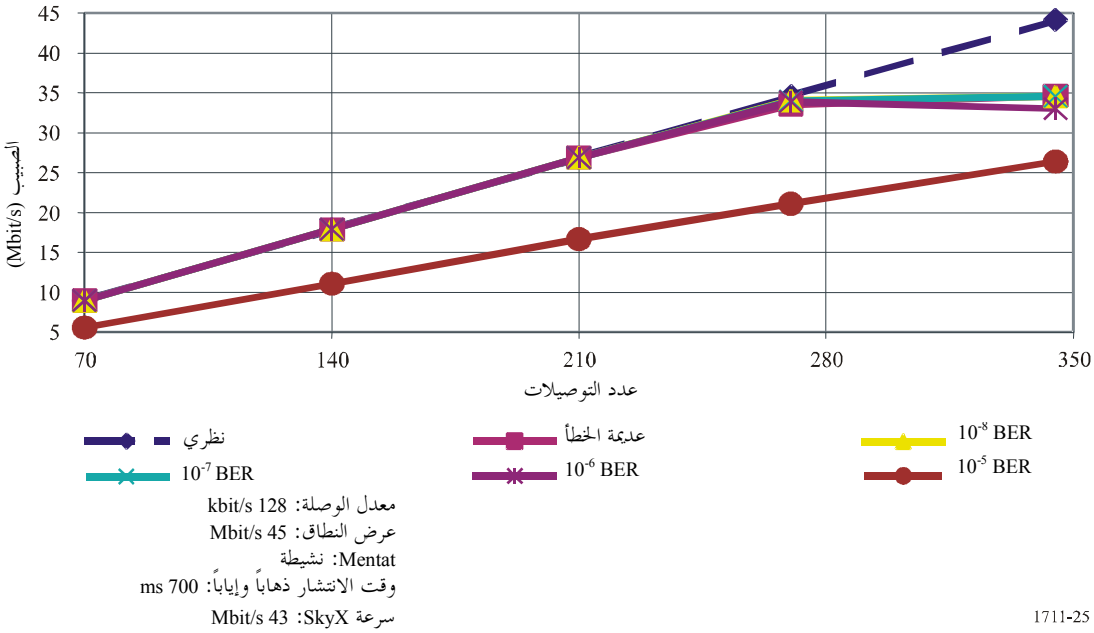
5.3.3.2 توصيلات بروتوكول TCP متعددة مع خسارة معطيات الأرض

وفيما يتعلق بأداء مستعملي الإنترنت الموصلين عن طريق مورد لخدمة الإنترنت عبر ساتل، تعبر التوصيلة قفزة لكل ساتل لكي تعبر فيما بعد الشبكة الأساسية للإنترنت لتصل إلى المخدم. ويمكن للتوصيلة أن تواجه خسارة المعطيات الناجمة عن ازدحام الشبكة الأساسية للإنترنت. ولنمذجة الظروف بصورة أدق التي يواجهها مستعمل الطرف في مجموعة الاختبارات التالية، تقسم التوصيلة إلى وصلة بساتل عديمة الخسارة مع وقت انتشار قدره 500 ms، مركبة مع مسير شبكة أساسية بوقت انتشار قدره 200 ms ومعدلات خطأ مختلفة. وفي هذه الاختبارات، تتواجد بوابات البروتوكول على جانبي الوصلة بساتل. ويستعمل بروتوكول TCP المعياري لجزء التوصيلة الذي يمر بالشبكة الأساسية بين المخدم وبوابة البروتوكول على جانب المخدم.

وكما هو مبين في الشكل 25، تسمح بوابة البروتوكول بالإبقاء على سرعتها كاملة مع عدم وجود انحطاط تقريباً، باستثناء على معدلات خسارة رزم مرتفعة. وعند مقارنة الشكل 25 بالشكلين 22 و24 يتضح أن بوابة البروتوكول قادرة على التغلب على الكمون والأخطاء في الوصلة بساتل وكذلك في وقت الانتشار ومعظم خسارة الرزم على وصلة الشبكة الأساسية.

الشكل 25

توصيلات بروتوكول TCP متعددة على وصلة مركبة ساتلية للأرض
مع تحسين بوابة البروتوكول



4.3.2 الاستنتاجات

تبين نتائج هذا الاختبار أن تجهيزات بوابة البروتوكول/فلق التوصيلة تستطيع أن تحسن صبيب الموجات الحاملة للحركة من نمط بروتوكول TCP على الوصلات بساتل التي يكون وقت انتشارها أقل أو مساوياً لزهاء 700 ms. كما تبين الاختبارات أن صبيب بروتوكول TCP لا يتأثر طالما كانت وصلة نسبة الخطأ في البتات BER أفضل من 10^{-7}.

3 أداء بروتوكول TCP على شبكة بساتل ATM

تصف الفقرة 1.3 بيئة وتشكيلات شبكة تجريبية. وتقدم الفقرة 2.3 نتائج صبيب TCP عندما يقاس على شبكة بساتل تقوم على أسلوب نقل غير متزامن ATM بحت. وتناقش الفقرة 3.3 سلوك بروتوكول TCP عندما توصل بينيّاً شبكة عريضة النطاق بساتل يقوم على ATM مع شبكات للأرض عالية السرعة مثل إثرنت جيغابايت. وتلخص الفقرة 4.3 الاستنتاجات التي تتوصل إليها هذه التجربة.

1.3 تشكيلة الشبكة

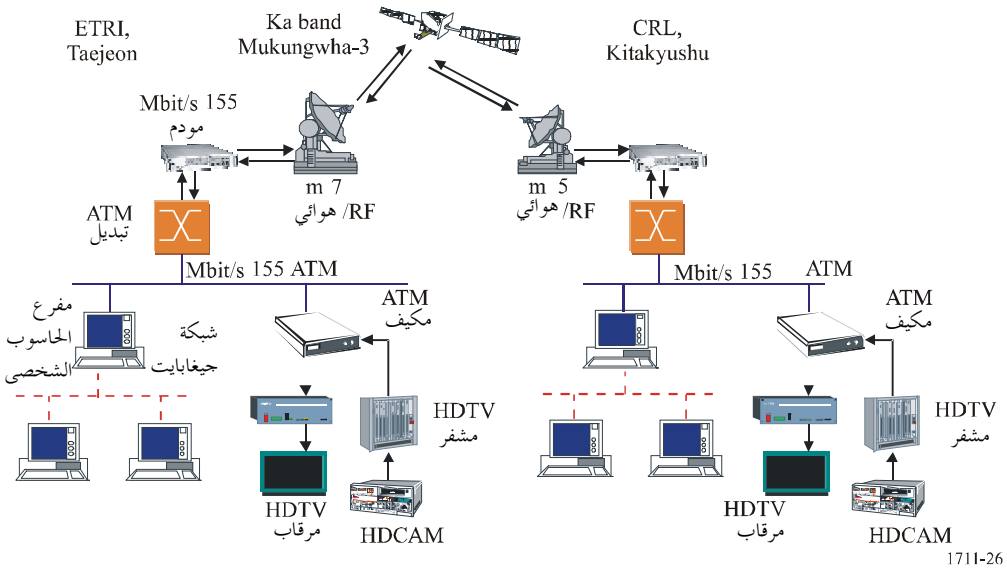
يبين الشكل 26 تشكيلات شبكة ATM بساتل عالي السرعة ياباني–كوري. ولهذه التجربة المشتركة، تم تركيب محطتين للأرض مزودتين بهوائي من 7 m في معهد البحوث الإلكترونية وبحوث الاتصالات ETRI في كوريا، وبهوائي من 5 m في مركز بحوث المكتبات CRL في اليابان، على التوالي. وترد فيما يلي المواصفات الرئيسية لوصلة ATM يابانية–كورية بساتل عند 155 Mbit/s:

- الساتل: Mukungwha-3
- نطاق التردد: الوصلة الصاعدة: 31-27,5 GHz، الوصلة الهابطة 21,2-17,7 GHz
- أقصى قدرة للمكبر بأنبوبة بموجات متنقلة TWAT: 125 W
- القدرة المشعة المكافئة المتناحية (e.i.r.p.) العادية (Mukungwha-3): 71 dBW

- نسبة الكسب إلى درجة الحرارة المكافئة للنظام *G/T* (زاوية الارتفاع 45°): تشكيل 32 dB/k (كحد أدنى)
- إزالة تشكيل تقارب الإرسال TC 8 - إبراق بزحزحة الطور PSK
- التشفير: $K = 7$، 8/7 شفرة ريد – سولومون تلافيفية
- معدل البتات: 155,52 Mbit/s
- عرض النطاق الموزع: قناتان من 80 MHz

الشكل 26

تشكيل شبكة التجارب اليابانية–الكورية

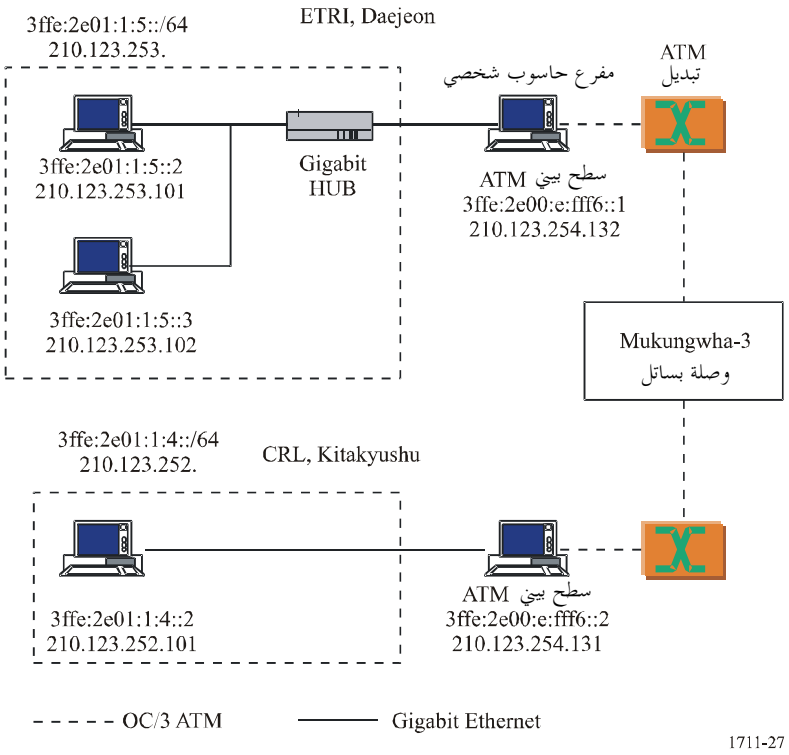


ويمكن تقسيم الشبكة بأسرها إلى شبكتين – شبكة فرعية جيغابايت وشبكة أساسية ATM OC-3 تتضمن وصلة بساتل GSO. توصل بينياً المفرعات الموجودة على الحواسيب الشخصية المزودة في آن واحد بسطح بيني صوب شبكة جيغابايت وصوب شبكة ATM لشبكتين. وتم تشكيل الشبكة التجريبية بعناوين بروتوكول الإنترنت من الصيغة الرابعة (IPv4) وبروتوكول الإنترنت من الصيغة السادسة (IPv6). وتستعمل الشبكة بساتل القائمة على أسلوب ATM من أجل تجربة إرسال MPEG.

ومن أجل نمطين من التطبيقات – الإرسال عبر الإنترنت والإرسال الفيديوي في الوقت الفعلي – تم إنشاء شبكة تقوم على أسلوب ATM من أجل هذه التجربة. يبين الشكلان 27 و28 التشكيلات التفصيلية وكدسات بروتوكول الشبكة التجريبية.

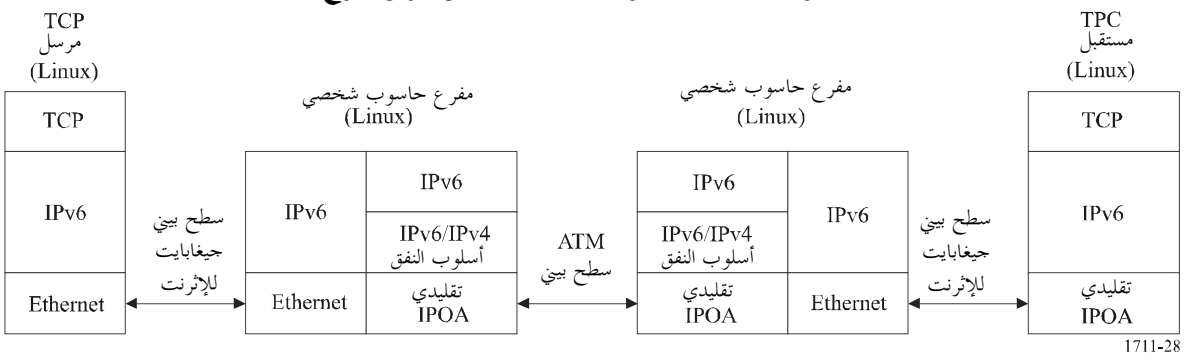
الشكل 27

تشكيلة الشبكة التجريبية



الشكل 28

كدسات بروتوكول شبكة تجريبية موصلة بينيّاً عن طريق مفرع PC

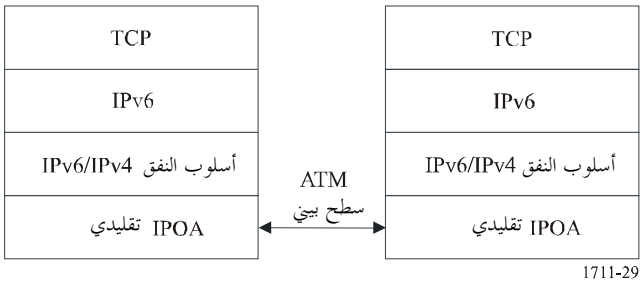


2.3 أداء بروتوكول TCP على شبكة بساتل تقوم فقط على أسلوب ATM

تم في المقام الأول قياس صبيب بروتوكول TCP على شبكة بحتة ATM مع وقت انتشار ذهاباً وإياباً على ساتل GSO قدره 540 ms. واستعمل أسلوب النفق IPv4/IPv6 لأن الصيغة IPv6 في بروتوكول الإنترنت على ATM لم تكن مطبقة بالكامل. وتبين في الشكل 29 كدسة البروتوكول بأسلوب النفق IPv4/IPv6 على شبكة بساتل يقوم على أسلوب ATM.

الشكل 29

كدسة بروتوكول أسلوب النفق IPv4/IPv6 على ATM



يبلغ قد وحدة الإرسال القصوى MTU في بروتوكول الإنترنت بأسلوب ATM عادة 9180 بايتة. ويبلغ قد MTU في السطح البيني لأسلوب النفق IPv6/IPv4 زهاء 160 9 بايتة لأن قد رأسية IPv4 يبلغ 20 بايتة. وأقصى قد للقطعة (MSS) هو 100 9 بايتة (قد كل من رأسية IPv6 ورأسية قد بروتوكول TCP هو 40 و20 بايتة على التوالي). إلاّ أنه، عند استعمال خيار تدريج بروتوكول TCP لتوسيع قد نافذة TCP على شبكة بساتل تقوم على أسلوب ATM، يخفض أقصى قد للقطعة MSS بمقدار بتات بروتوكول TCP. وعندما تغلف رزم بروتوكول الإنترنت في AAL5، يمكن حساب عرض النطاق النظري الأقصى. ويكون عدد بايتات الحشو اللازمة على النحو التالي:

$$PAD = 48 - ((8+20+40+20+9100+8) MOD\ 48) = 20$$

في حين أنه عند استعمال وحدة معطيات البروتوكول (PDU) يكون الناتج:

$$\eta = \frac{9100}{(8+20+40+20+9100+20+8)} = \frac{9100}{9224} = 0.986$$

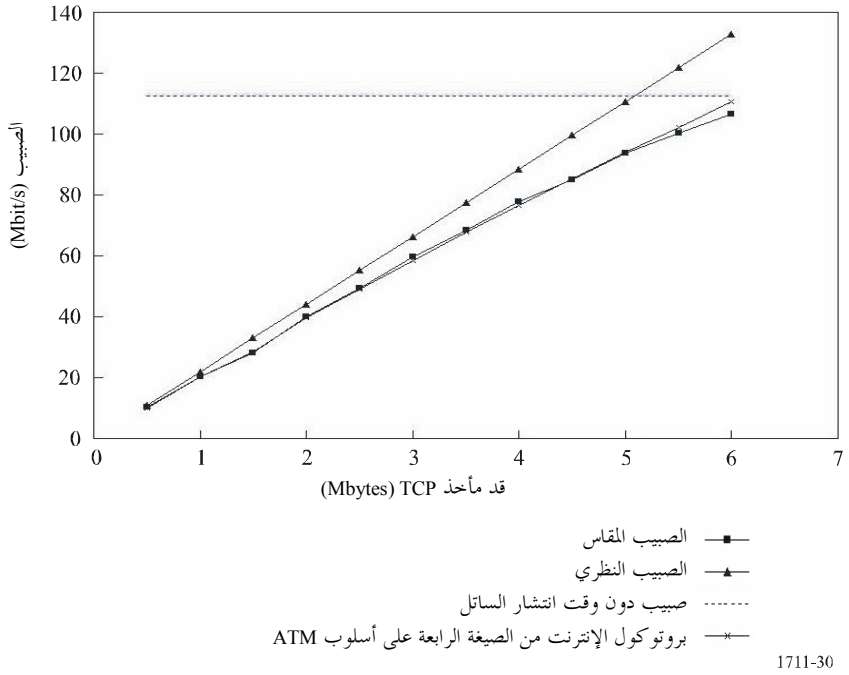
ويكون المعدل الخلوي الصافي STM-1 نحو 149 Mbit/s وعرض نطاق الحمولة النافعة 48 بايتة وفي خلايا أسلوب ATM نحو 134,94 Mbit/s. وبالتالي يستنتج عرض النطاق النظري الأقصى لبروتوكول TCP على الشبكة OC-3 بالمعادلة التالية:

$$BW_{TCP} = 134.94 \cdot \eta \cong 133.05 \text{ Mbit/s}$$

يبين الشكل 30 صبيب بروتوكول TCP لمختلف قدود التوصيل (أو النافذة) لبروتوكول TCP. وحينما كان قد توصيل TCP 6 Mbit/s، كان الصبيب المتحصل 113 Mbit/s مع IPv4 و106 Mbit/s مع IPv6. وبلغ الأداء 95% من صبيب بدون مهلة لساتل. وبعد ذلك تم قياس صبيب TCP على شبكة بأسلوب ATM بحتة مع وقت انتشار ذهاباً وإياباً لساتل GSO قدره 540 ms.

الشكل 30

صبيب بروتوكول TCP لشبكة بساتل تقوم على أسلوب ATM مع قدود مختلفة لنافذة TCP

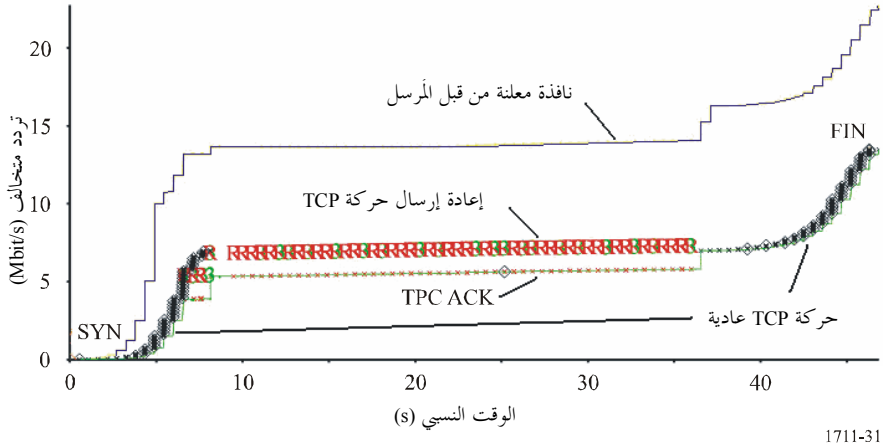


3.3 سلوك بروتوكول TCP على شبكة غير متجانسة تتضمن وصلة بساتل

وفيما بعد، تم قياس صبيب TCP عندما كان المصدر يقع على شبكة فرعية جيغابايت والمقصد يقع على شبكة جيغابايت أخرى. وعندما يضبط قد توصيل TCP عند نحو 6 بايتة على شبكة ذات وقت انتشار لساتل قدره 540 ms، كان الصبيب الأقصى يقتصر على 2 و3 Mbit/s. ويعزى ذلك إلى تشتت حركة TCP حينما يحدد قد كبير لنافذة بروتوكول TCP للسماح بصبيب ملائم على الشبكات الضخمة LFN. وعند زيادة قد نافذة TCP لاستعمال كامل النطاق المار LFN، تصبح حركة بروتوكول TCP متدفقة لأن السطح البيني المادي للمرسل (أي جيغابايت الإثرنت) يكون أسرع من الشبكة الأساسية ATM. ويجب أن يزوّد المفرّع الوسيط بذاكرة وسيطة كبيرة لمنع خسارة الرزم. والمفرعات الموجودة حالياً غير مزودة بذاكرة وسيطة كافية بحيث تسمح بقد نافذة TCP كبير. ولذلك تؤدي خسارة رزم المفرّع الوسيط إلى انحطاط صبيب بروتوكول TCP. ويبين الشكل 31 مخطط تتابع TCP لمرسل TCP. وخلال الثواني الثماني الأولى، نلاحظ بدء بطيء لبروتوكول TCP. ومع تزايد قد نافذة TCP، تحدث خسارة في الرزم تنتج عن تجاوز قدرة الذاكرة الوسيطة للمفرع الوسيط. وتؤدي خسارة الرزم إلى عدد كبير من حالات إعادة الإرسال. ويعاود بروتوكول TCP سلوك البدء البطيء بعد فترة طويلة (بعد 27 ثانية). ويتكرر مخطط الإرسال هذا (الخسارة وإعادة الإرسال) ويصبح الأداء الكلي لصبيب TCP هزيلاً.

الشكل 31

مخطط لتتابع TCP لمصدر حركة TCP

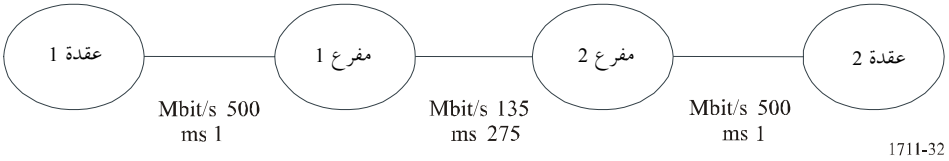


1.3.3 محاكاة قد الذاكرة الوسيطة

يمكن تقدير قد الذاكرة الوسيطة للمفرع الوسيط عن طريق الحساب والمحاكاة. وتشكيلة نموذج المحاكاة الذي يستعمل مُحاكي الشبكة مبينة في الشكل 32. ولأغراض المحاكاة، يحدد أقصى عرض نطاق TCP المتيسر على شبكة جيغابايت وشبكة ATM بزهاء Mbit/s 500 وMbit/s 135 على التوالي.

الشكل 32

تشكيلة نموذج المحاكاة



ووقت انتشار الشبكة الفرعية جيغابايت جدير بالإهمال مقارنة بوقت الانتشار لساتل GSO على وصلة بأسلوب ATM وأقصى قد للقطعة MSS للإثرنت والبالغ 1430 s في بروتوكول الإنترنت من الصيغة السادسة (IPv6). ولذلك يكون قد نافذة بروتوكول TCP المطلوب هو:

$$W = \frac{BW \cdot RTT}{8} = \frac{135 \times 10^6 \times 0.540}{8 \times 1\,430} \cong 6\,374 \text{ رزمة}$$

$R1$ و$R2$ هما صبيب رزم شبكة جيغابايت وشبكة ATM على التوالي ($R1 > R2$)، ويحدد معدل إشعارات استلام TCP بواسطة $R2$ (أدنى وصلة في توصيلة من طرف لآخر). ويكون معدل الرزم في طور البدء البطيء $R1 = 2 \times R2$ لأن مرسل بروتوكول TCP يرسل رزمتين عندما يستلم إشعار واحد بالاستلام (ACK). وعلى افتراض أن W_{max} هي القد الأقصى لنافذة TCP أثناء البدء البطيء، يستنتج عدد الرزم في صف انتظار المفرّع الوسيط من المعادلة التالية:

$$P(t) = [R1 - R2] \cdot t = [2 \cdot R2 - R2] \cdot t = R2 \cdot t$$

$$t = \frac{T}{R2}, 2 \cdot \frac{T}{R2}, 3 \cdot \frac{T}{R2} \cdots \leq \frac{W_{max}}{2 \cdot R2}$$

حيث T هي وقت بدء نافذة بروتوكول TCP خلال البدء البطيء.

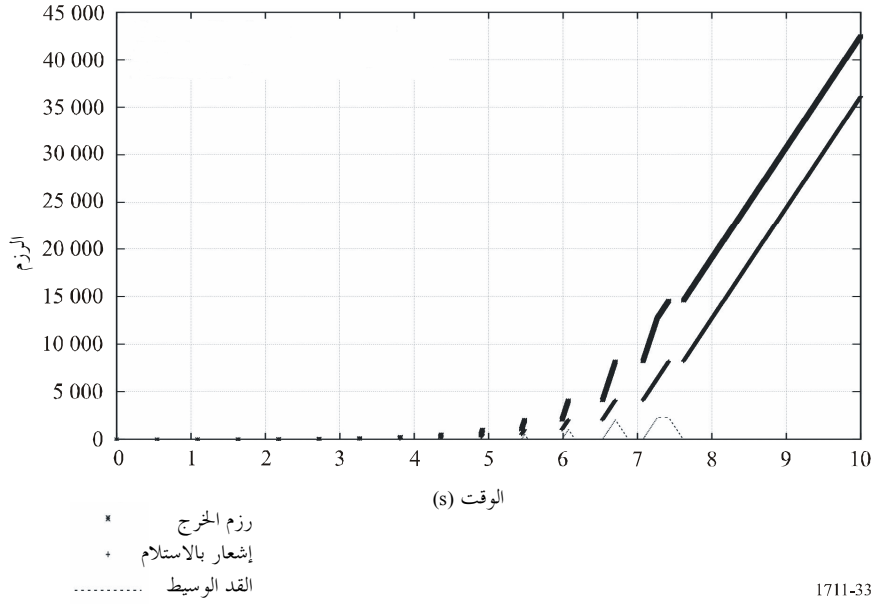
وبالتالي يكون القد الأقصى للرزم في صف الانتظار هو:

$$P\left(\frac{W_{max}}{2 \cdot R2}\right) = R2 \cdot \frac{W_{max}}{2 \cdot R2} = \frac{W_{max}}{2}$$

ويعني هذا أن المرسل يرسل أثناء البدء البطيء ضعف عدد الإشعارات بالاستلام ACK مقارنة بما يستقبله خلال وقت انتشار RTT واحد. والقد اللازم للذاكرة الوسيطة لصف انتظار العقدة الوسيطة هو نصف القد الأقصى لنافذة TCP وذلك لأنه خلال النصف الأول من وقت الانتشار RTT، يستلم المفرّع ضعف المعدّل الذي يرسله وبالتالي فإنه يفرغ صف الانتظار في النصف الثاني من وقت الانتشار RTT. وعندما يكون عرض النطاق المتيسر الأقصى لبروتوكول TCP على الشبكة جيغابايت وعلى الشبكة ATM هو 500 Mbit/s و135 Mbit/s على التوالي، يبلغ القد النظري اللازم للذاكرة الوسيطة للشبكة التجريبية نحو 187 3 رزمة. والشكلان 33 و34 هما نتيجة المحاكاة باستعمال الشبكة NS-2. ويبين الشكل 33 تتابع TCP، والإشعار ACK وعدد الرزم في صف الانتظار الوسيط. ويبين الشكل 34 صبيب بروتوكول TCP خلال الثوان العشر الأولى في المرسل وفي المستقبل. ويحصل على الصبيب الأقصى عندما يكون قد الذاكرة الوسيطة لبروتوكول TCP نحو 374 6 رزمة ويكون في ذلك الوقت القد الأقصى لصف الانتظار في المفرع الوسيط زهاء 279 2 رزمة.

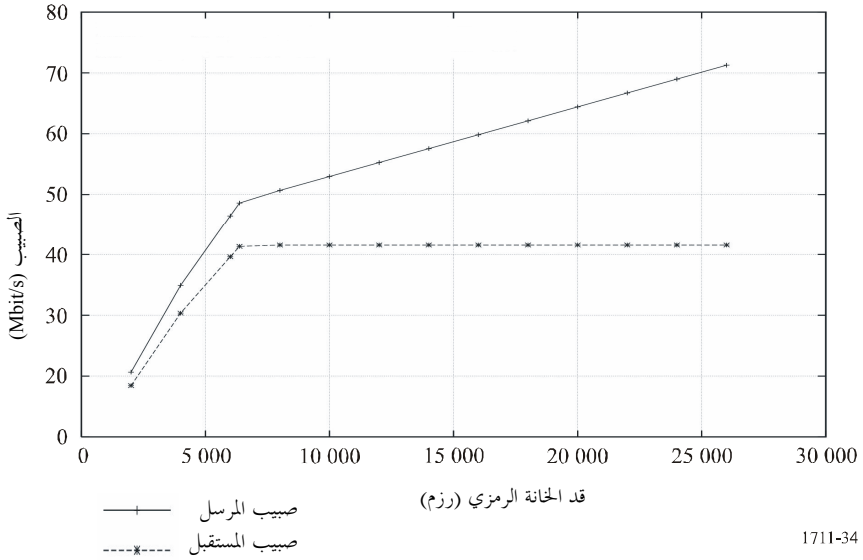
الشكل 33

تتابع بروتوكول TCP، والإشعار بالاستلام والقد الوسيط المتضمن في صف انتظار المفرّع الوسيط



الشكل 34

صبيب بروتوكول TCP مع قدود وسيطة مختلفة

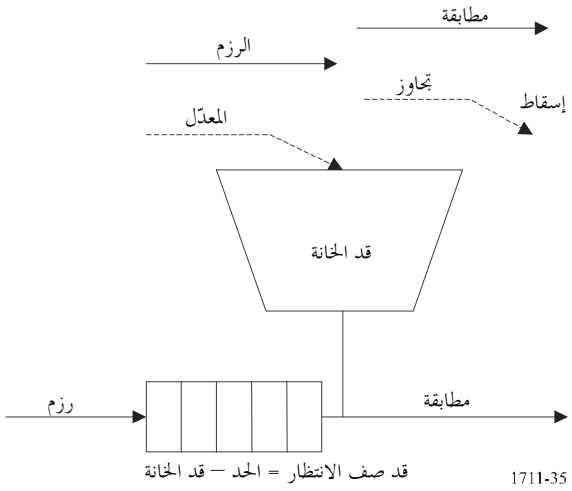


2.3.3 أداء بروتوكول TCP مع التحكم في حركة مرسل TCP

واستعملت آلية تشكيل الحركة التي يطلق عليها مرشاح دائرة رمزية TBF (مدعم بخيار إدارة الشبكة المتقدمة Linux). وينظم TBF معدل رشقات حركة TCP. ويبين الشكل 35 المعلمات الأساسية لضبط إنشاء صف انتظار TBF. وتعبير Rate أي معدل ملء الخانة بالرموز – وهو ما يمثل معدل الإرسال المتوسط لتدفق الحركة. وقد الخانة Bucket size أو قد الرشقة Burst Size هو عدد الرموز التي يمكن أن تخزنها الخانة. ومعلمة الحد هي مجموع قد الخانة وقد صف الانتظار. وإذا كان الحد يساوي قد الخانة وقد صف الانتظار هو صفر، تسقط الرزم غير المطابقة. وهكذا يمكن التحكم في التدفق. وإذا كان الحد أكبر من قد الخانة توضع بعض الرزم غير المطابقة في صف الانتظار.

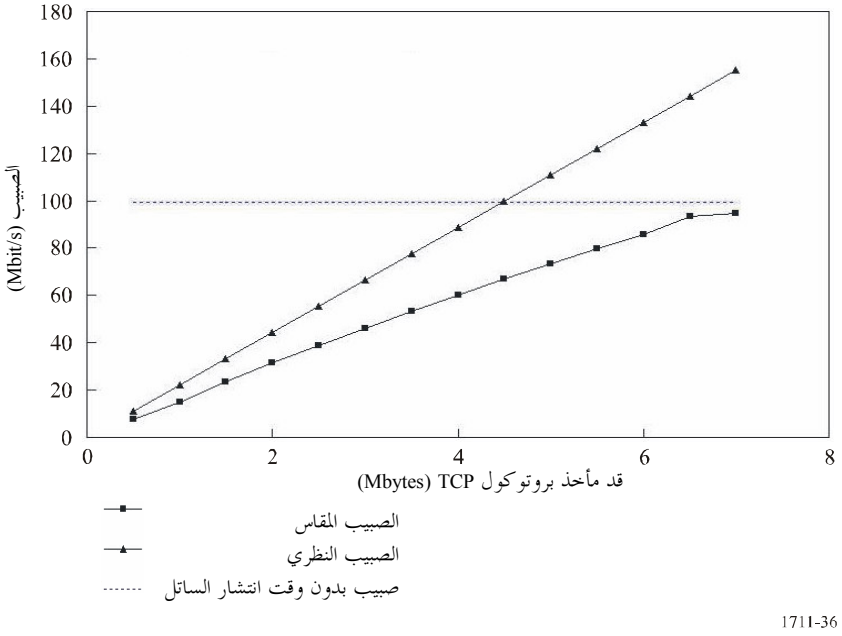
الشكل 35

المعلمات الأساسية لضبط إنشاء صف انتظار TBF



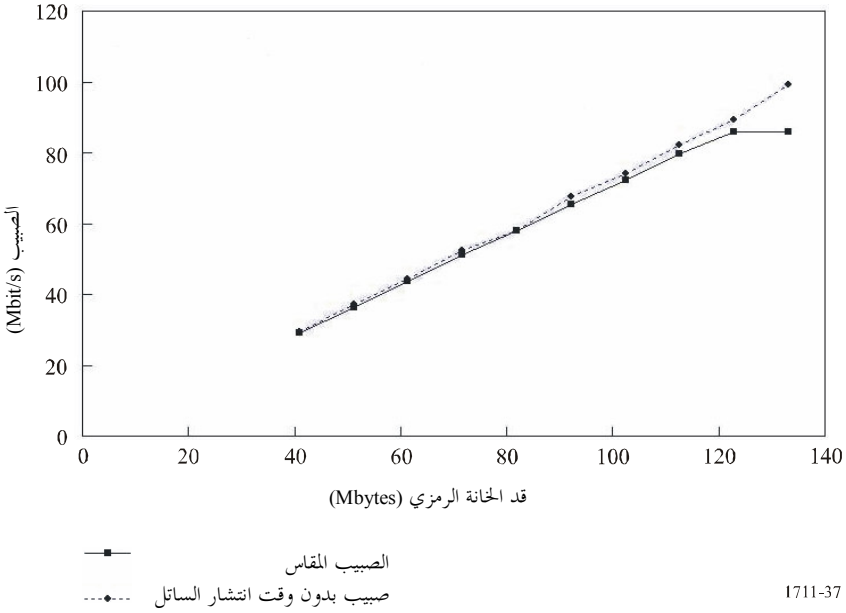
يبين الشكل 36 صبيب بروتوكول TCP مع قد مفتاح بروتوكول TCP مختلف عندما يستعمل TBF في مرسل TCP مع قد نافذة TCP ثابت قدره 6 Mbytes (وللمقارنة، الحالة التي لا يوجد فيها وقت انتشار الساتل مقدمة أيضاً). ويبين الشكل 37

صبيب TCP مع قد مختلف للخانة. وتسمح خانة رمزية من 120-130 kbits بتحقيق أفضل صبيب. وحينما يكون قد الخانة أكبر من 130 ميغابايت تحدث خسارة في رزم المفرع الوسيط تنجم عن طابق تدفق حركة بروتوكول TCP.



الشكل 37

صبيب TCP بقد مختلف للخانة الرمزية



4.3 الاستنتاجات

تم قياس صبيب بروتوكول TCP وتحليل السلوك الداخلي لبروتوكول TCP على شبكة غير متجانسة عالية السرعة تتضمن وصلة بساتل GSO. ويرد تلخيص نتائج التجربة فيما يلي:

1 من أجل أقصى صبيب لبروتوكول TCP يبلغ 155 Mbit/s على شبكة بساتل، يلزم قد مفتاح لبروتوكول TCP يبلغ نحو 6 ميغابايت.

2 عندما يتواجد مصدر TCP على وسيط شبكة آخر يكون أسرع من الشبكة الأساسية لساتل يقوم على أسلوب ATM، من اللازم وجود آليات تسمح بتخفيض رشقات الحركة الناجمة عن القد الكبير لنافذة TCP. ويمكن النظر في حلّين: ذاكرة وسيطة كبيرة القد في المفرّعات الوسيطة أو التحكم في الحركة عند مصدر بروتوكول TCP. وفي حالة الذاكرة الوسيطة كبيرة القد في المفرعات الوسيطة، تم تقدير قد الذاكرة الوسيطة لصف الانتظار لمنع خسارة الرزم الناجم عن حركة رشق بروتوكول TCP والتحقق منها بالمحاكاة. والحل الثاني، النظر في آلية للتحكم في الحركة على مصدر بروتوكول TCP: تم تحقيق صبيب قدره نحو 95 Mbit/s (أي 95% من أقصى صبيب بدون وقت انتشار ساتل).

3 وخيار تدريج نافذة بروتوكول TCP لنوافذ TCP كبيرة القد هو أحد الحلول التي تسمح بتحسين أداء بروتوكول TCP على شبكات بوقت انتشار طويل تتضمن وصلة بساتل GSO. واستعمال نوافذ TCP كبيرة القد على شبكة بوقت انتشار طويل تتضمن وصلة بساتل GSO. واستعمال نوافذ TCP كبيرة القد على شبكة بوقت انتشار طويل يُحسن الصبيب حتى نحو 90% من الأقصى النظري. لكن نوافذ بروتوكول TCP كبيرة القد تولد حركة رشق في وقت قصير. وتوجد بشكل خاص في حالة الشبكة غير المتجانسة التي تتألف من وسيط مادي مختلف وبروتوكولات مختلفة للتحكم في الوصلة–الطبقة، وخسارة كبيرة في الرزم في المفرغ الوسيط تنجم عن حركة الرشق. ولتجنب هذا الوضع، ينبغي أن ينظر مصمم الشبكة في حلول ممكنة والتحقق منها بالتجارب.

4 أداء بروتوكول TCP على شبكات نفاذ بساتل

يقدم هذا القسم نتائج الاختبارات التي أجراها Star One، وهي شركة برازيلية للاتصالات بساتل. وتصف الفقرة 1.4 معمارية الشبكة المستعملة في الاختبارات. وتعرض الفقرة 2.4 قياسات أداء النظام باستعمال الفلق إلى ثلاث قطع وتتضمن نتائج الأداء.

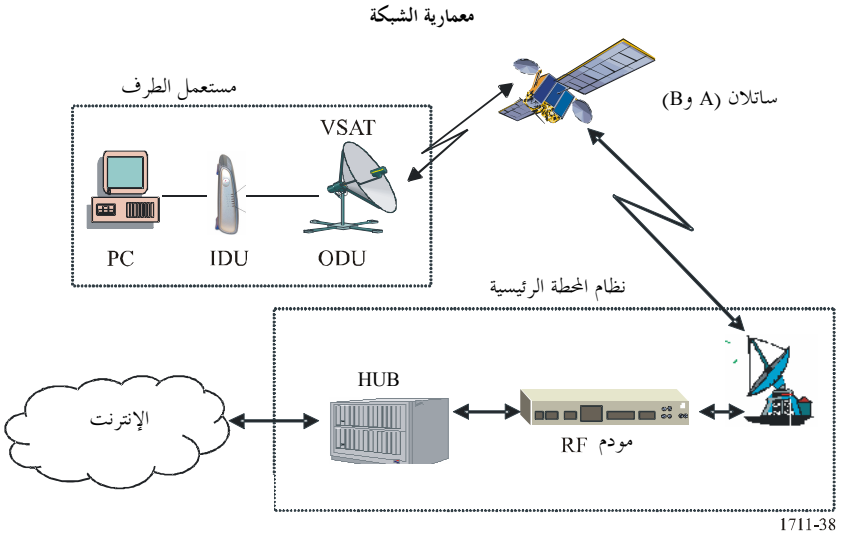
وتسمح إشعارات الاستلام المحلية للمحطة الرئيسية Hub ولجهاز VSAT بتحسين أداء بروتوكول TCP وذلك بإزالة حدود النوفذة. وتزيل إشعارات الاستلام المحلية آلية البدء البطيء وتُحسن كفاءة صبيب TCP. ويخفف انضغاط رأسية بروتوكول الإنترنت المستعملة في هذا الاختبار وقت النظام وتزيد الكفاءة.

1.4 معمارية الشبكة وتشكيلها

1.1.4 معمارية الشبكة

تشتمل معمارية النظام على محطة رئيسية Hub واحدة مع تدفق DVB-S (خارج) ووصلة معكوسة مالكة (داخلة). والمحطة الرئيسية المركزية موصولة بشبكة أساسية للإنترنت. ويوضح الشكل 38 معمارية النظام المستعمل للحصول على معطيات الأداء.

الشبكة 38



2.1.4 التشكيلة

1.2.1.4 خصائص الجهاز الطرفي بفتحة صغيرة جداً VSAT وخصائص الساتل

يعمل ساتلان مستقران بالنسبة للأرض في المدى من 14 068 kHz و14 214 kHz (وصلة صاعدة) ومن 11 774 kHz إلى 11 919 kHz (وصلة هابطة).

وكل منصة مستعملة مزودة بوصلة أمامية (خارجة) قدرها 48 Mbit/s و140 وقناة عودة (داخلة) قدرها 76,8 kbit/s.

ويشكل ذلك ثلاث زمر (الزمرة 1 والزمرة 2 والزمرة 3) باستعمال ساتلين مختلفين (الساتل A والساتل B) في نطاق الترددات 11/14 GHz مع إجمالي من 8 000 جهاز طرفي بفتحة صغيرة جداً VSAT مُركب على أراضي البرازيل. ووقت الانتشار ذهاباً وإياباً قيد الدراسة هو 800 ms.

وتوضح خصائص الزمر فيما يلي:

الزمرة 1 (الساتل A): مقسمة إلى ثلاثة ASP بنحو 1 200 VSAT

الزمرة 2 (الساتل A): مقسمة إلى ثلاثة HSP بنحو 3 200 VSAT

الزمرة 3 (الساتل B): مقسمة إلى ثلاثة HSP بنحو 3 600 VSAT

وتوضح خصائص VSAT في الجدول 14 الوارد أدناه. وتوضح مختلف نسب E_b/N_0 اللازمة على وصلة خارجة في الجدول 15.

الجدول 14

خصائص VSAT

الزمرة المستعملة	قد الهوائي	قدرة SSPA (W)	المعدل الداخلي الأقصى (kbit/s)	المعدل الخارجي الأقصى (kbit/s)
1 و2 و3	0,96	1	50	320

الجدول 15

خصائص الوصلة الخارجة

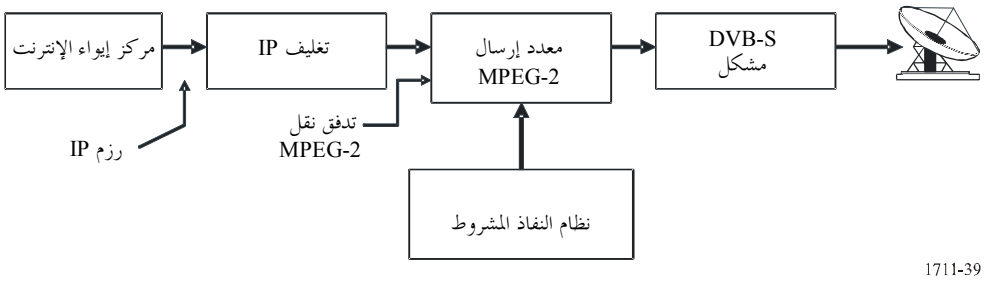
نسب التصحيح الأمامي للخطأ	أسلوب DVB-S
	أدنى Eb/N0 (dB)
1/2	4,5
2/3	5,0
3/4	5,5
5/6	6,0
7/8	6,4

2.2.1.4 البروتوكولات

البروتوكول المستعمل على الوصلة الصاعدة للمحطة الرئيسية (Hub) صوب VSAT الخارجة هو تدفق نقل MPEG-2 على DVB-S، ورزم بروتوكول الإنترنت مغلفة، ومتعددة الإرسال ومشكلة في المحطة Hub، وفقاً للوصف المشار إليه في الشكلين 39 و40.

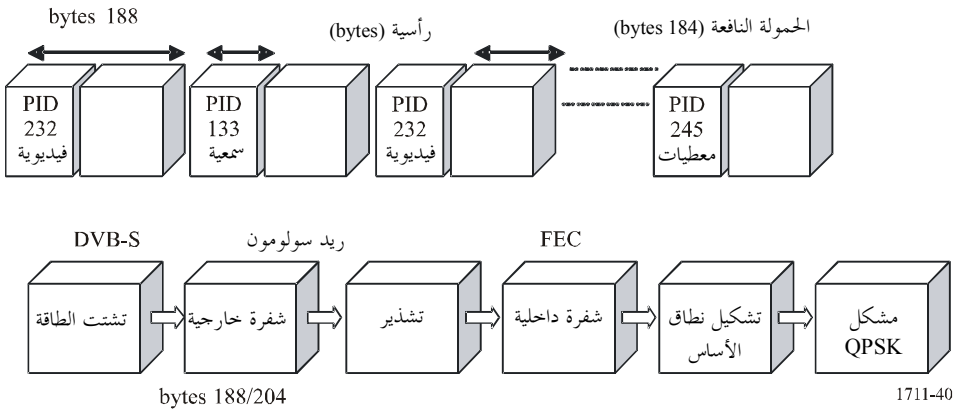
الشكل 39

MPEG على DVB-S



الشكل 40

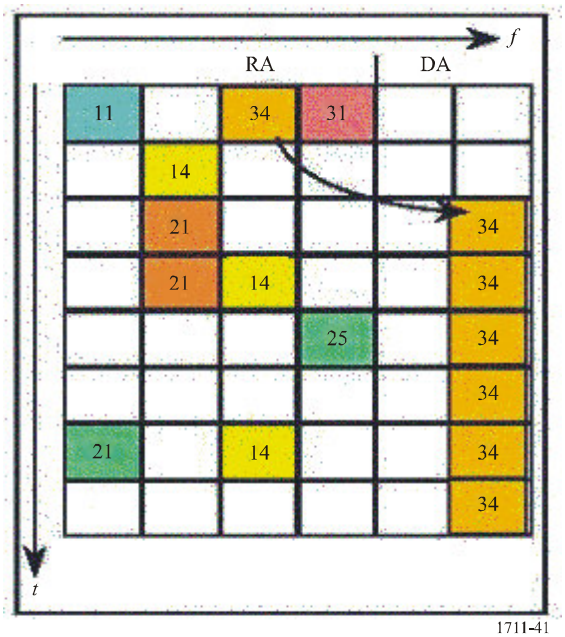
تدفق نقل-MPEG



وقنوات الإرسال العكسية (وصلة داخلة) هي قنوات إرسال MF-TDMA، مقسمة إلى قنوات إرسال بنفاذ عشوائي RA وقنوات إرسال بنفاذ محجوز DA، كما يرد وصفها في الشكل 41.

الشكل 41

قنوات عكسية



2.4 نتائج قياس الأداء

يشمل قياس التيسر الزمر 1 و2 و3. ولا يشمل قياس عدم التيسر سوى الزمرتين 2 و3.

1.2.4 التيسر

يبين الجدول 16 التيسر لكل زمرة وتيسر أو عدم تيسر النظام الناجم عن المطر أو سائر الظروف الجوية خلال كل شهر من عام 2003.

الجدول 16

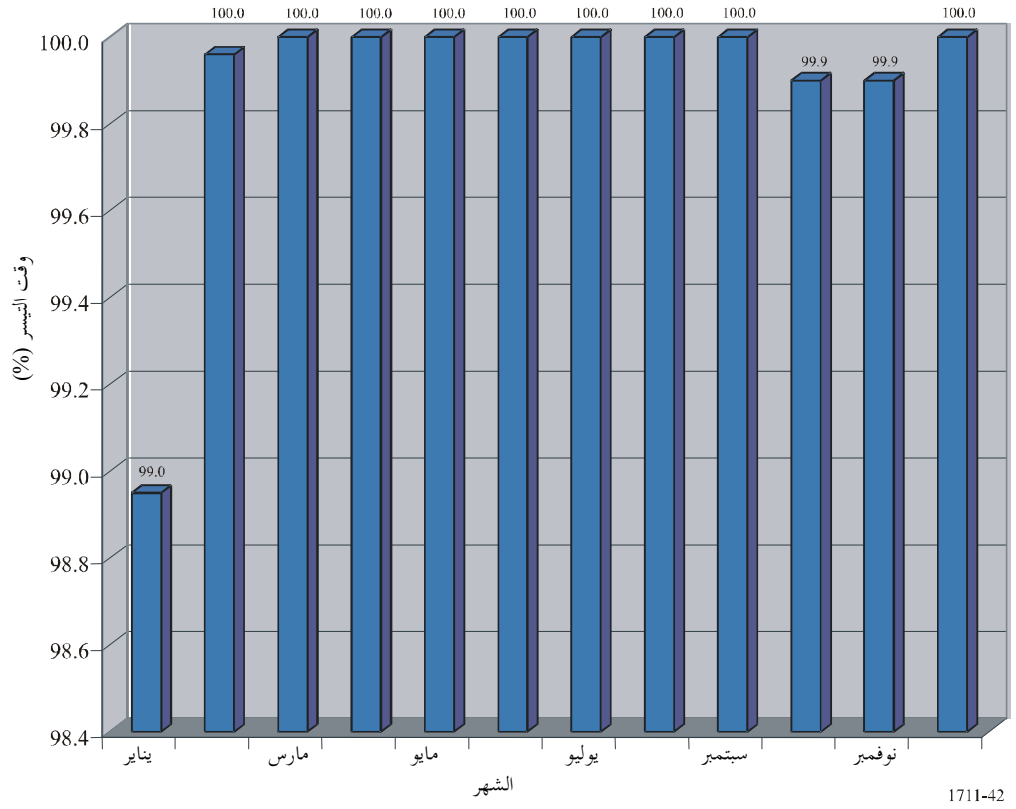
تيسر النظام الخارج

الشهر	الزمر			النظام			
	الزمرة 1	الزمرة 2	الزمرة 3	التيسر (المطر، التلألؤ، إلخ)	عدم التيسر (المطر، التلألؤ، إلخ)	عدم التيسر (المطر، التلألؤ، إلخ) الساعة (من شهر لآخر)	التيسر (المطر، التلألؤ، إلخ) الساعة (من شهر لآخر)
يناير	100,0	99,0	N/A	98,6	1,4	10,416	733,584
فبراير	100,0	100,0	N/A	98,9	1,1	7,392	664,608
مارس	99,9	100,0	N/A	99,8	0,2	1,488	742,512
أبريل	100,0	100,0	N/A	100,0	0,0	0,000	744,000
مايو	100,0	100,0	99,9	100,0	0,0	0,000	720,000
يونيه	100,0	100,0	99,9	100,0	0,0	0,000	744,000
يوليو	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	720,000
أغسطس	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	744,000
سبتمبر	100,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,000	720,000
أكتوبر	99,9	99,9	99,9	100,0	0,0	0,000	744,000
نوفمبر	100,0	99,9	100,0	99,9	0,1	0,720	719,280
ديسمبر	100,0	100,0	100,0	99,9	0,1	0,744	743,256
المتوسط السنوي	100,0	99,9	100,0	99,8	0,2	1,730	728,270

يبين الشكل 42 تيسر الزمرة 2 التي تستعمل VSAT 3 200 والساتل A، كنتيجة للظروف الجوية في كل شهر من عام 2003.

الشكل 42

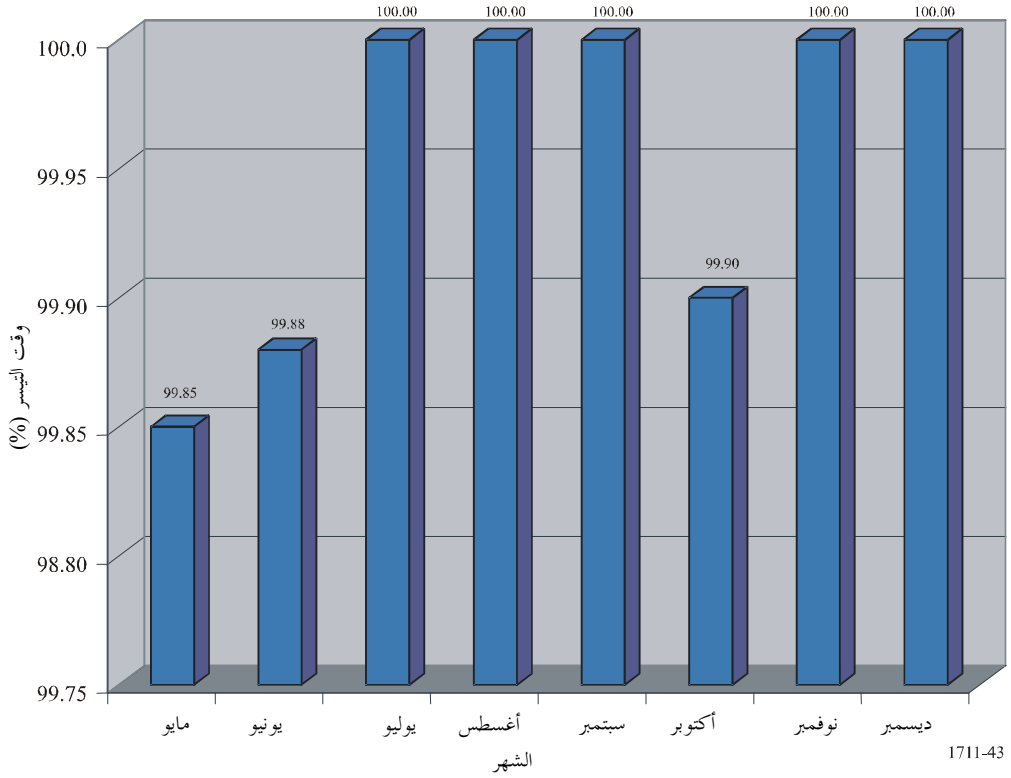
تيسر الزمرة الخارجة 2 - الساتل A



يبين الشكل 43 تيسر الزمرة 3 التي تستعمل VSAT 3 600 والساتل B، كنتيجة للمطر وسائر الظروف الجوية من مايو إلى ديسمبر عام 2003.

الشكل 43

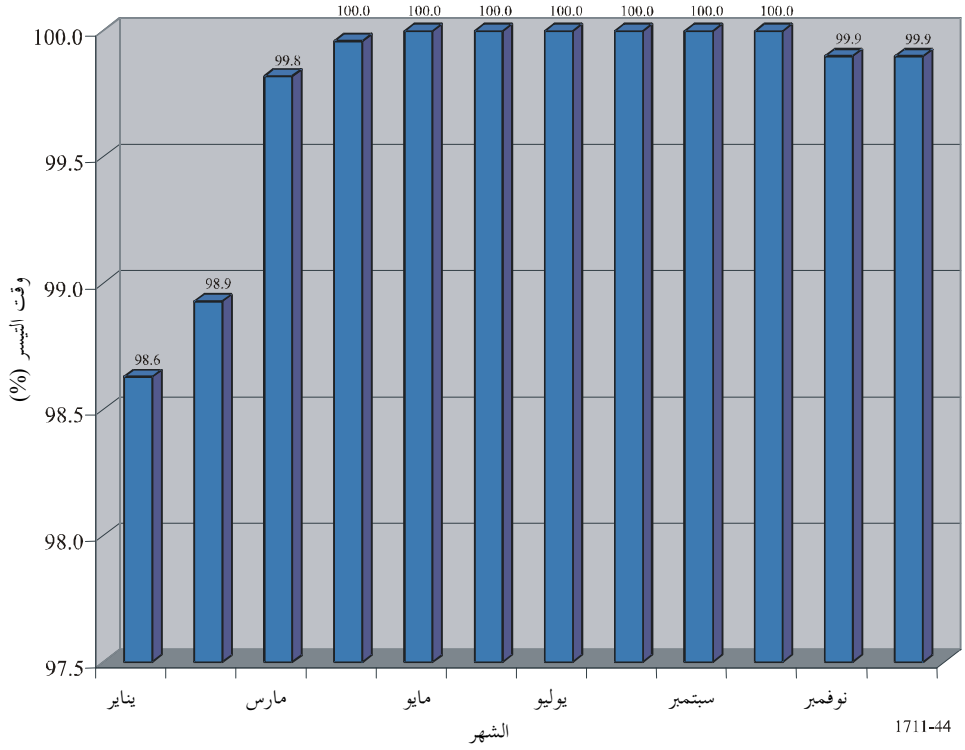
تيسر الزمرة 3 الخارجة – الساتل B



يبين الشكل 44 تيسر النظام الخارج (VSAT 8 000) الذي يستعمل الساتلين A وB كنتيجة للمطر وسائر الظروف الجوية في كل شهر من عام 2003.

الشكل 44

تيسر النظام الخارج



2.2.4 الصبيب

يبين الجدول 17 صبيب الزمرة 2 ومعالج ساتل المركز HSP الخاص بها وأجرى نحو 200 قياساً كل يوم من أيام فبراير 2004. وبلغ الصبيب الأقصى 319,11 kbit/s.

الجدول 17

الصبيب المتوسط للزمرة 2

التاريخ المرجعي	قيمة متوسطة (kbit/s)			
	الزمرة 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
04/01/02	314,14	314,96	313,13	314,32
04/02/02	307,66	314,31	303,18	305,49
04/03/02	306,35	312,83	303,72	302,51
04/04/02	306,85	313,92	303,61	303,02
04/05/02	304,75	308,57	303,19	302,48
04/06/02	303,58	306,76	305,28	298,70
04/07/02	310,87	311,00	309,50	312,10
04/08/02	314,78	316,82	311,92	315,60
04/09/02	303,58	305,23	304,28	301,23
04/10/02	302,13	304,34	301,11	300,93
04/11/02	302,33	304,77	299,06	303,16
04/12/02	313,03	312,16	316,88	310,04
04/13/02	306,89	304,71	312,99	302,97
04/14/02	311,65	311,76	316,49	306,69
04/15/02	319,11	317,44	321,36	318,52
04/16/02	305,80	307,72	309,28	300,40
04/17/02	313,06	313,62	316,66	308,90
04/18/02	306,48	305,78	310,73	302,93
04/19/02	312,25	304,46	308,19	324,09
04/20/02	303,92	304,96	305,54	301,26
04/21/02	311,64	313,07	311,59	310,25
04/22/02	314,45	316,07	312,51	314,77
04/23/02	311,23	312,86	310,76	310,08
04/24/02	312,89	313,44	313,04	312,19
04/25/02	306,45	307,98	304,75	306,63
04/26/02	303,26	304,03	301,08	304,68
04/27/02	304,36	306,54	304,20	302,35
04/28/02	312,95	314,71	313,99	310,15
04/29/02	313,78	314,66	313,43	313,26

يبين الجدول 18 صبيب الزمرة 3 ومعالج HSP الخاص بها. وأجرى نحو 200 قياساً كل يوم من أيام فبراير 2004. وبلغ الصبيب الأقصى 262,35 kbit/s.

الجدول 18

صبيب الزمرة 3

التاريخ المرجعي	قيمة متوسطة (kbit/s)				
	الزمرة 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
04/01/02	255,55	250,85	256,56	263,72	263,72
04/02/02	253,18	244,96	252,73	267,17	267,17
04/03/02	248,84	242,61	248,14	261,28	261,28
04/04/02	247,09	241,08	245,35	255,85	255,85
04/05/02	250,08	245,11	247,89	263,84	263,84
04/06/02	247,32	240,75	244,80	259,46	259,46
04/07/02	249,72	243,19	247,17	267,40	267,40
04/08/02	249,80	242,75	249,98	266,99	266,99
04/09/02	253,24	244,22	248,74	274,18	274,18
04/10/02	247,89	237,55	245,33	267,71	267,71
04/11/02	253,98	247,96	252,15	266,42	266,42
04/12/02	254,68	246,75	253,03	272,60	272,60
04/13/02	254,59	248,29	252,55	266,69	266,69
04/14/02	262,35	256,94	259,45	282,42	282,42
04/15/02	256,41	250,58	256,43	270,07	270,07
04/16/02	256,46	248,50	256,95	265,66	265,66
04/17/02	256,73	247,34	256,32	270,59	270,59
04/18/02	252,14	244,07	249,90	266,22	266,22
04/19/02	253,13	246,87	253,71	264,87	264,87
04/20/02	250,83	243,26	244,38	270,81	270,81
04/21/02	256,81	256,27	252,30	264,39	264,39
04/22/02	254,83	253,47	254,08	263,59	263,59
04/23/02	258,27	251,77	256,24	275,64	275,64
04/24/02	259,50	256,27	254,82	276,89	276,89
04/25/02	252,52	246,91	247,29	267,84	267,84
04/26/02	246,89	246,56	245,30	250,36	250,36
04/27/02	243,98	240,79	241,94	249,46	249,46
04/28/02	254,07	246,89	249,99	270,75	270,75
04/29/02	257,48	252,96	256,60	272,69	272,69

3.2.4 الحركة

يبين الجدول 12 الحركة الداخلة الكلية للزمرة 2 التي جرى قياسها كل يوم من أيام فبراير 2004.

الجدول 19

حركة الزمرة 2

التاريخ المرجعي	الحركة الكلية/يومياً (Gbyte)			
	الزمرة 2	HSP 1	HSP 2	HSP 3
04/01/02	4,158	3,787	4,198	4,488
04/02/02	7,566	7,052	8,095	7,552
04/03/02	7,346	7,568	7,059	7,412
04/04/02	7,241	7,302	6,575	7,844
04/05/02	7,160	6,925	7,050	7,505
04/06/02	7,483	7,031	7,978	7,440
04/07/02	4,582	4,001	4,269	5,476
04/08/02	3,648	3,303	3,801	3,840
04/09/02	7,243	7,187	7,635	6,906
04/10/02	7,418	6,823	7,754	7,676
04/11/02	6,979	7,322	6,619	6,996
04/12/02	7,650	7,267	7,972	7,712
04/13/02	7,050	6,759	6,995	7,396
04/14/02	4,660	4,348	4,131	5,500
04/15/02	3,729	3,339	3,849	3,998
04/16/02	7,438	6,639	7,681	7,993
04/17/02	7,295	6,600	7,337	7,947
04/18/02	6,911	6,977	6,817	6,939
04/19/02	7,137	6,618	7,192	7,600
04/20/02	7,158	6,240	7,570	7,666
04/21/02	4,698	4,521	5,250	4,324
04/22/02	3,558	3,146	3,899	3,629
04/23/02	4,873	4,442	5,420	4,758
04/24/02	4,212	3,920	4,059	4,658
04/25/02	6,351	5,895	7,072	6,086
04/26/02	7,020	6,205	7,200	7,654
04/27/02	7,452	7,069	7,971	7,317
04/28/02	4,309	3,999	4,045	4,882
04/29/02	3,961	3,638	4,733	3,513

يبين الجدول 20 الحركة الداخلة الكلية للزمرة 3 التي جرى قياسها كل يوم من أيام فبراير 2004.

الجدول 20

حركة الزمرة 3

التاريخ المرجعي	الحركة الكلية/يومياً (Gbyte)				
	الزمرة 3	HSP 1	HSP 2	HSP 3	HSP 4
04/01/02	3,106	3,822	2,920	3,677	2,004
04/02/02	6,159	7,339	5,982	7,229	4,084
04/03/02	5,411	6,684	4,441	7,009	3,510
04/04/02	6,334	7,370	6,105	7,530	4,330
04/05/02	5,926	7,060	6,002	6,903	3,739
04/06/02	3,738	3,769	4,280	4,239	2,663
04/07/02	2,642	3,374	2,677	2,633	1,885
04/08/02	4,649	5,895	4,378	5,769	2,555
04/09/02	6,317	7,440	5,840	7,537	4,452
04/10/02	5,403	6,229	5,175	6,431	3,777
04/11/02	6,042	6,971	5,171	7,459	4,566
04/12/02	5,797	6,449	5,532	6,927	4,279
04/13/02	3,757	3,637	4,035	4,730	2,624
04/14/02	3,052	2,790	2,984	4,229	2,208
04/15/02	5,865	6,723	5,203	7,058	4,477
04/16/02	5,052	6,445	3,839	5,812	4,113
04/17/02	5,983	6,939	5,309	7,486	4,199
04/18/02	5,730	6,297	4,864	7,332	4,428
04/19/02	5,996	7,087	5,427	7,231	4,238
04/20/02	3,948	3,699	3,919	4,534	3,640
04/21/02	2,792	3,269	2,391	2,935	2,574
04/22/02	4,155	4,041	4,269	4,330	3,978
04/23/02	3,146	3,163	3,172	3,530	2,721
04/24/02	5,264	5,228	5,360	6,264	4,204
04/25/02	6,081	6,896	5,658	6,630	5,142
04/26/02	6,202	6,964	6,342	7,218	4,282
04/27/02	3,707	3,528	4,133	4,308	2,860
04/28/02	3,167	3,193	2,918	3,857	2,702

5 قياس بروتوكول التطبيق (بروتوكول نقل الملف FTP وبروتوكول نقل نص فوقي HTTP)

بدأ ETRI في كوريا وCRL في اليابان التجربة المشتركة للاتصال بساتل بمعدّل معطيات عالي في عام 2000. واختبر تطبيقان تقليديان لبروتوكول TCP – FTP وHTTP- على شبكة بساتل تقوم على أسلوب ATM. وجرى إرسال FTB وHTTP بواسطة ساتل MUKUNGWHA-3 في النطاق Ka.

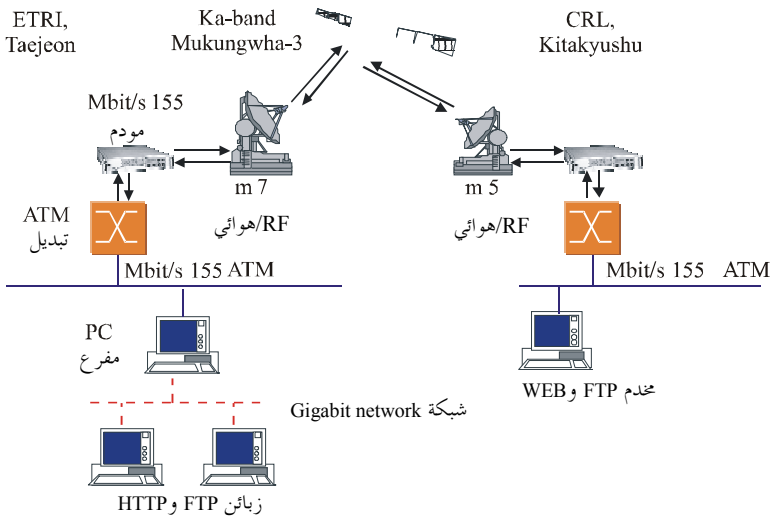
تصف الفقرة 1.5 تشكيلة الشبكة لإجراء التجربة. وتقدم الفقرة 2.5 النتائج التجريبية للاختبارات التي أجريت باستعمال البروتوكول FTP. وتقدم الفقرة 3.5 شرحاً موجزاً لبروتوكول HTTP وتقدم النتائج التجريبية للاختبارات التي أجريت باستعمال بروتوكول HTTP. وتوجز الفقرة 4.5 الاستنتاجات.

1.5 تشكيلة شبكة بساتل ATM

يبين الشكل 45 تشكيلات شبكة بساتل ATM عالي السرعة ياباني – كوري. ولهذه التجربة المشتركة، تم تركيب محطتين للأرض بهوائي من m 7 في ETRI في كوريا وبهوائي m 5 في CRL باليابان، على التوالي. وللحصول على المواصفات الرئيسية للشبكة بساتل ATM ياباني–كوري، انظر الفقرة 2.3.

الشكل 45

تشكيلة شبكة بساتل تقوم على أسلوب ATM



تم تركيب مخدم بروتوكول FTP وبروتوكول HTTP في CRL باستعمال حاسوب شخصي Linux. وكان المخدم موصول مباشرة بالشبكة ATM. وفي ETRI، تم تركيب حاسوبين للزبونين باستعمال نظام Windows 2000 وLinux على التوالي. وتم توصيلهما بمفرع حاسوب شخص مزود بزوج من السطوح البينية الشبكية: ATM وجيغابايت الإثرنت. وأجرى توصيل بيني بين شبكة فرعية جيغابايت ومخدم بواسطة شبكة بساتل تقوم على أسلوب ATM.

وبالنسبة لتجربة بروتوكول FTP، استعمل NCFTP 3.0 كزبون بروتوكول FTP وWUFTPD 2.6.1 كمخدم. يسمح WUFTPD بتحديد القد الأقصى لنافذة بروتوكول TCP بالنسبة لقيمة نظام التشغيل. ويطبق NCFTP خيار تدريج نافذة بروتوكول TCP.

وبالنسبة لتجربة بروتوكول HTTP، استعمل Apache 1.3.12 كمخدّم للشبكة العالمية على Linux. وضبط قد نافذة بروتوكول TCP عند 10 Mbytes. ومن أجل مراقبة التشغيل الداخلي وأداء HTTP 1.0 وHTTP 1.1، استعمل برنامجاً تصفّح: Netscape 4.77 من الصيغة Linux من أجل HTTP 1.0، وWebbot 5.2.8 من إنتاج W3C من أجل HTTP 1.1.

وعندما استرجعت صفحات شبكة الويب بناءً على طلب الزبون، التقطت الرزم المنقولة من جانب الزبون باستعمال tcpdump وعولجت فيما بعد باستعمال وحدة بروتوكول HTTP، tcptrace. واستعملت خمس صفحات نمطية من الشبكة العالمية في تجربة بروتوكول HTTP ويرد وصفها في الجدول 21.

الجدول 21

تفاصيل صفحات الشبكة العالمية

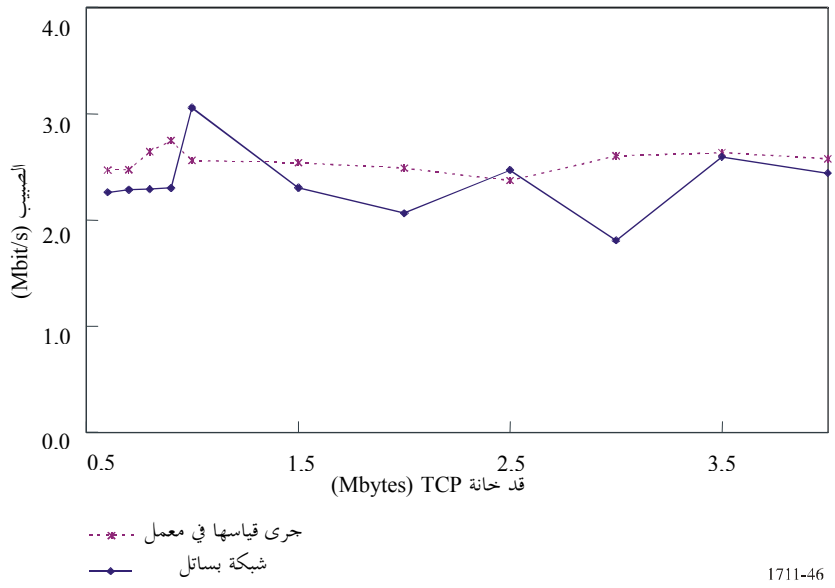
صفحة الشبكة العالمية	عدد العناصر	قد الصفحة (bytes)
China2008	30	212 207
CRL	21	80 333
FIFA	33	176 105
LionKing	16	393 672
RBLAB	8	72 103

2.5 FTP صبيب بروتوكول FTP على وصلة بساتل OC-3

كان الهدف هو قياس صبيب توصيلة FTP على وصلة بساتل تقوم على ATM. ولتسهيل المقارنة، تم قياس صبيب FTP على وصلة قدرها 155 Mbit/s بدون وقت انتشار أيضاً؛ وتم الحصول على صبيب قدره 118,32 Mbit/s مع قد مأخذ يبلغ 64 Kbytes (أي 87,5% من الصبيب النظري). وإذا افترضنا قد ملف يبلغ 92,1 Mbytes، فإنه تم قياس صبيب FTP بعد تغيير قد الذاكرة الوسيطة لموصل بروتوكول TCP. ويبين الشكل 46 صبيب بروتوكول FTP باستعمال محاكاة وصلة بساتل ووصلة حقيقية.

الشكل 46

صبيب بروتوكول FTP على شبكة بساتل ذات 155 Mbit/s



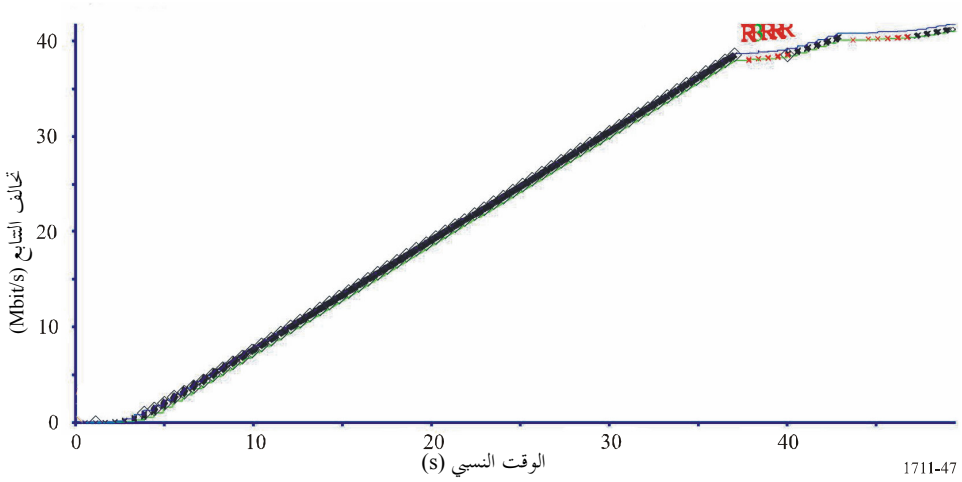
وفي حالة صبيب بروتوكول FTP، تؤثر عوامل كثيرة على أداء الصبيب مثل استعمال CPU، ودخل/خرج القرص وتخصيص الذاكرة الداخلية لمحفزي الشبكة ومحفزي القرص. ويبين الشكلان 47 و48 مخططات تتابع وقت بروتوكول TCP ونافذة ازدحام بروتوكول TCP على التوالي لقد الذاكرة الوسيطة لموصل TCP قدره 1 Mbytes. وخلال الثواني 38 الأولى، يجري نقل الملف بطريقة عادية، بعد ذلك حدثت بعض الخسارة في المعطيات تطلبت إعادة الإرسال (حيث أدرك بروتوكول TCP بأن خسارة الرزم تعزي إلى ازدحام الشبكة). وفي الشكل 48 تخفض آلية ازدحام بروتوكول TCP قد النافذة بمقدار النصف. ويبين الشكل 47 بدء بطيء آخر بعد 38 ثانية. وكنتيجة لذلك كان الصبيب الكلي منحطاً بشدة. وبالتالي، يجدر في حالة

التشغيل العادي لبروتوكول FTP بذاكرة وسيطة لموصل TCP كبير القد، تشكيل نظام معلمات وموارد أخرى مثل توزيع الذاكرة لدخل/خرج القرص وإيقاف محفز الشبكة.

الشكل 47

مخطط لتتابع وقت بروتوكول TCP

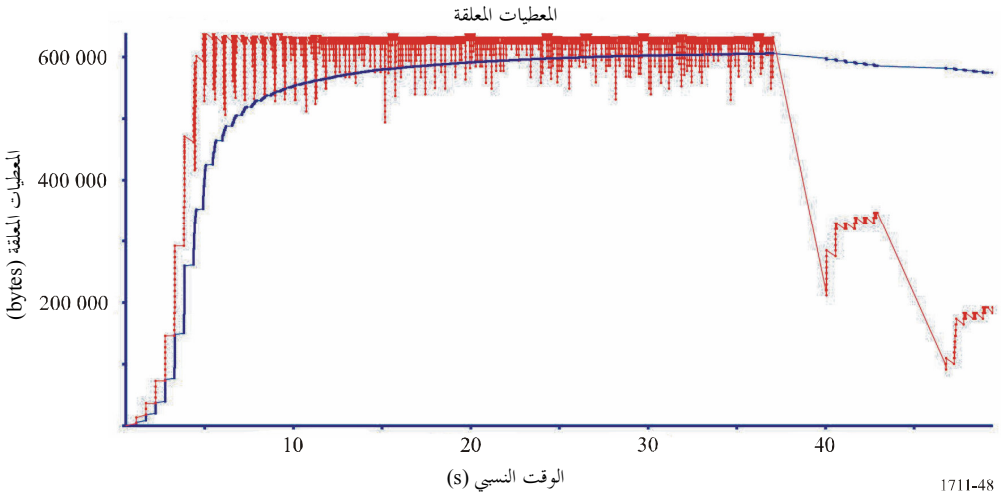
(قد الذاكرة الوسيطة لبروتوكول TCP = 1 Mbyte)



الشكل 48

مخطط لنافذة ازدحام بروتوكول TCP

(قد الذاكرة الوسيطة لبروتوكول TCP = 1 Mbyte)



3.5 صبيب بروتوكول HTTP على وصلة بساتل OC-3

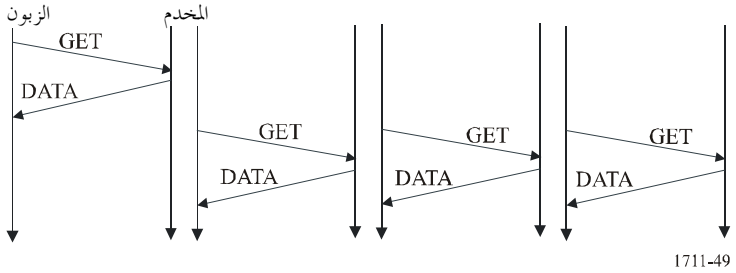
1.3.5 بروتوكول HTTP 1.0 بتوصيلات غير مستمرة

في حالة بروتوكول HTTP 1.0 ولتحميل صفحة كاملة من شبكة الويب، من الضروري وجود توصيلة TCP منفصلة لاسترجاع كل شي من بروتوكول HTTP وارد على صفحة من شبكة الويب. ويبين الشكل 49 التفاعلات بين زبون ومخدّم HTTP 1.0 حينما تتضمن صفحة من شبكة الويب ثلاثة أشياء. وتنقل صفحة الأساس HTML بواسطة توصيلة لبروتوكول TCP. وبعد ذلك تغلق توصيلة بروتوكول TCP وتنشأ ثلاثة توصيلات جديدة TCP في آن معاً من أجل التحميل الموازي

للأشياء الثلاثة المرتبطة فيما بينها. وقد لا يكون ذلك فعالاً، حيث تلقى توصيلة أو عدة توصيلات TCP عبأ إضافياً على الشبكة.

الشكل 49

توصيلات غير مستمرة – HTTP 1.0

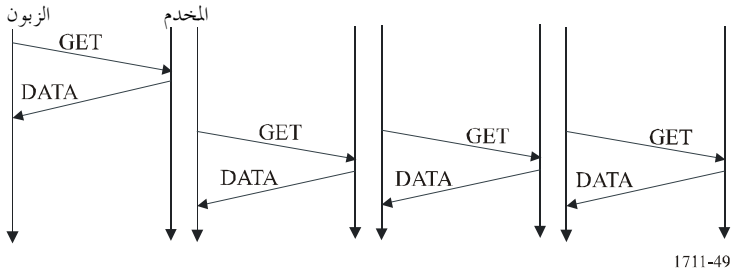


2.3.5 بروتوكول HTTP 1.0 مع خيار "توصيلة مستمرة"

تدعم بعض آلات التصفح أو المخدمين الذين يستعملون بروتوكول HTTP 1.0 خيار "التوصيلة المستمرة" وذلك للتغلب على أوجه الافتقار إلى الكفاءة المذكورة أعلاه. وتستعمل هذه الطريقة توصيلة TCP واحدة لحمل طلبات متعددة لبروتوكول HTTP. إلاّ أن آلات التصفح التي تستعمل هذا الخيار تستطيع إنشاء عدة توصيلات TCP. ويبين الشكل 50 تشغيل توصيلة HTTP مصحوبة بخيار "التوصيلة المستمرة". وتنقل الوثيقة الأساسية وشيء من الأشياء الثلاثة بواسطة أول توصيلة TCP. أما الشيئان الآخران فيتم نقلهما عن طريق توصيلتين TCP جديدتين.

الشكل 50

خيار "توصيلة مستمرة" – HTTP 1.0

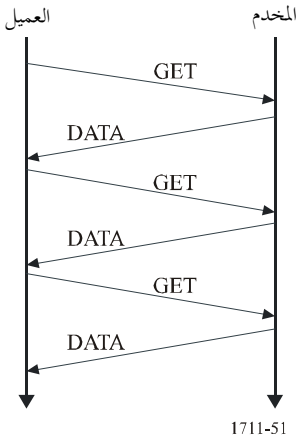


3.3.5 بروتوكول HTTP 1.1 بدون/تنفيذ متزامن للطلبات (pipelining)

التمديد "توصيل مستمر" هو شكل من التوصيل المستمر، سبق تعريفه في بروتوكول HTTP 1.1. وتسمح التوصيلات المستمرة بطلبات متعددة. ويمكن أن ترد الاستجابة في توصيلة TCP واحدة ولا تتطلب توصيلات TCP متعددة. ويتحسن أداء HTTP بتوصيلة مستمرة لأنه يسمح بالالتفاف حول عدة أطوار للبدء البطيء الذي قد يحدث لولا ذلك. ويبين الشكل 51 آلية HTTP 1.1 بتوصيلة مستمرة. وتنقل مختلفة الأشياء في سلاسل. وفي حالة وثيقة الأساس HTLM والأشياء الثلاثة، تكفي 4 RTT بدون تعدد إرسال عدة طلبات للأشياء pipelining.

الشكل 51

بدون تنفيذ متزامن للطلبات



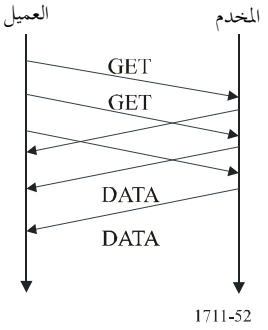
4.3.5 بروتوكول HTTP 1.1 مع تنفيذ متزامن للطلبات (pipelining)

يسمح بروتوكول HTTP 1.1 مع تنفيذ متزامن للطلبات، للطلبات المتعددة بأن ترسل دون انتظار استجابة. ويمكن استعمال التنفيذ المتزامن للطلبات لتجنب العديد من أوقات الانتشار ذهاباً وإياباً وتحسين الأداء لأنه يزيل وقت الراحة بين استرجاع الأشياء المتتالي.

ويوضح الشكل 52 التفاعلات بين الزبون والعميل باستعمال بروتوكول HTTP 1.1 مع تنفيذ متزامن للطلبات. وتنقل وثيقة الأساس وثلاثة أشياء عن طريق توصيلة بروتوكول TCP واحدة.

الشكل 52

مع تنفيذ متزامن للطلبات



5.3.5 نتائج الاختبار

كان الغرض الأساسي هو قياس أداء استرجاع صفحات الويب عبر شبكة بساتل باستعمال عدة صيغ لبروتوكول HTTP. ويوجز الجدول 22 نتائج نقل بروتوكول HTTP عبر شبكة بساتل من أجل خمس صفحات مرجعية. وعندما استعمل راجل سريع جداً للتتابع (Webbot) تم إنشاء وصلة TCP واحدة فقط (يحتاج بروتوكول HTTP 1.1 إلى توصيلة TCP واحدة فقط). وعندما استعمل Netscape، كان عدد توصيلات TCP التي أنشئت يطابق عدد العناصر المرتبطة بصفحة الويب. وفي حالة بروتوكول HTTP 1.0، تعتبر كل توصيلة TCP مستقلة عن الأخرى. وهذا يعني، أن كل توصيلة TCP تطبق آلية بدء بطيء وتجنب الازدحام. وعندما استعمل بروتوكول HTTP 1.0 كان عدد الرزم المولدة أكبر لنقل صفحة الويب والعناصر

المرتبطة بها. وكان الوقت الكلي للاستجابة أقل في حالة بروتوكول HTTP 1.1 بدون خيار التنفيذ المتزامن للطلبات. وهذا يعني أنه في حالة شبكة بوقت انتشار طويل، وإذا لم يكن هناك ازدحام في الشبكة، يمكن لعدة توصيلات TCP متزامنة أن تكون أكثر فعالية من توصيلة واحدة (خاصة حينما يكون قد العناصر صغيراً). غير أن هناك عدة جوانب سلبية في استعمال توصيلات متزامنة متعددة (العبء على المخدم، ازدحام الشبكة الناجم عن عدد أكبر من الرزم مثلاً).

الجدول 22

أداء نقل بروتوكول HTTP

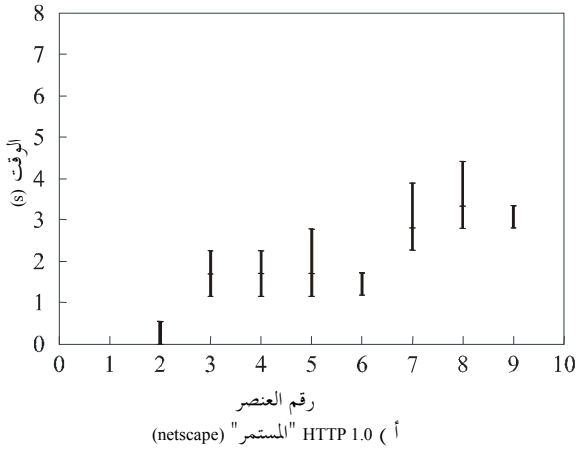
صفحة الويب	آلة تصفح الويب	عدد توصيلات TCP	عدد الرزم	وقت الاستجابة الكلي (s)	الصبيب المتوسط (bit/s)
China2008 (30 objects, 212 207 bytes)	Netscape 4.77	41	655	14,764	14 373
	بدون تنفيذ متزامن للطلبات	1	306	21,158	10 030
	مع تنفيذ متزامن للطلبات	1	318	4,363	48 638
CRL (21 objects, 80 333 bytes)	Netscape 4.77	22	307	8,642	9 296
	بدون تنفيذ متزامن للطلبات	1	133	13,547	5 930
	مع تنفيذ متزامن للطلبات	1	137	3,247	24 741
FIFA (33 objects, 176 105 bytes)	Netscape 4.77	34	551	13,054	13 491
	بدون تنفيذ متزامن للطلبات	1	282	21,682	8 122
	مع تنفيذ متزامن للطلبات	1	285	4,328	40 690
LionKing (16 objects, 393 672 bytes)	Netscape 4.77	14	660	8,277	47 562
	بدون تنفيذ متزامن للطلبات	1	514	12,529	31 421
	مع تنفيذ متزامن للطلبات	1	564	4,882	80 637
RBLAB (8 objects, 72 103 bytes)	Netscape 4.77	8	166	4,365	16 518
	بدون تنفيذ متزامن للطلبات	1	104	6,540	11 025
	مع تنفيذ متزامن للطلبات	1	119	3,822	18 865

وعندما تطلب صفحة الويب، تصدر آلة التصفح أمر GET لبروتوكول HTTP لوثيقة الأساس HTML. وبعد وقت انتشار ذهاباً وإياباً RTT، تستلم وثيقة الأساس. بعدئذٍ تصدر آلة التصفح المزيد من أوامر GET لكل عنصر مرتبط في وثيقة الأساس. وفي حالة خيار التنفيذ المتزامن للطلبات لبروتوكول HTTP 1.1، يمكن توليد هذه الأوامر GET بمجرد استلام المرجع بواسطة آلة التصفح دون الحاجة إلى انتظار نهاية المعطيات الجاري انطلاقاً من المخدم. وفي حالة بروتوكول HTTP 1.0، تنشئ توصيلة TCP منفصلة لنقل كل عنصر.

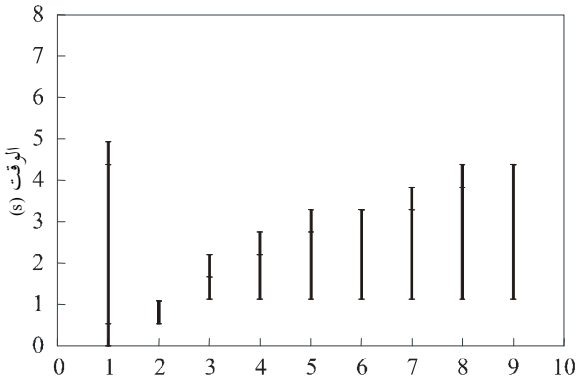
يبين الشكل 53 تتابع طلب استرجاع العنصر ونقل العنصر لصفحة RBLAB (سبعة عناصر). يمثل البند 1 في الشكل 53 ب) و53 ج) وقت النقل الكلي لصفحة الأساس والأشياء المرتبطة بها. وتصف العناصر الأخرى وقت نقل كل شيء. والبند 2 هو الوثيقة الأولى من مخدم الويب بناءً على طلب آلة التصفح. ومدة النقل مماثلة بغض النظر عن صيغة أو خيارات HTTP. إلاّ أن البنود التالية لها أوقات مختلفة للبدء وأوقات نقل تتوقف على صيغة وخيارات HTTP. وفي حالة HTTP 1.0 (انظر الشكل 51 أ)، عند استلام وثائق الأساس، تصدر آلة التصفح عدة أوامر GET للأشياء المرتبطة بصفحة الأساس. ولذلك ينشأ عدد من توصيلات TCP بواسطة اتصال في ثلاثة اتجاهات مع طلب توصيل مختلف لكل عنصر. وعند تحميل صفحة RBLAB بواسطة بروتوكول HTTP 1.1 مع خيار التنفيذ المتزامن للطلبات، يبدأ نقل الأشياء التالية بمجرد استلام عنصر الأساس. وبدون خيار التنفيذ المتزامن للطلبات، لا يمكن أن يبدأ نقل الأشياء الأخرى طالما لم ينتهي نقل الأشياء السابقة. وبرتوكول HTTP 1.1 لا ينشئ سوى توصيلة TCP واحدة وبالتالي لا يطلق سوى بدء بطيء واحد.

الشكل 53

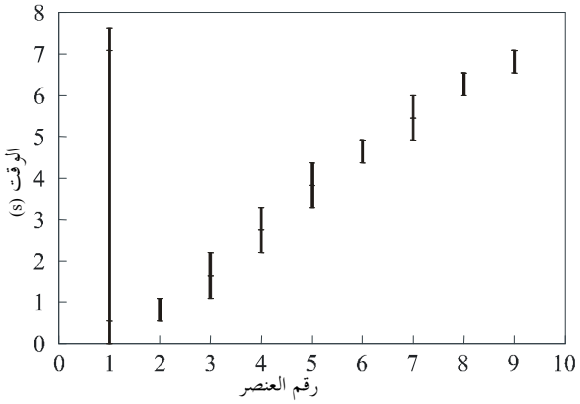
صفحة الويب RBLAB ومخطط لتتابع نقل عناصرها



أ) HTTP 1.0 "المستمر" (netscape)



ب) HTTP 1.1 "مع تنفيذ متزامن للطلبات" (webbot)



ج) HTTP 1.1 "بدون تنفيذ متزامن للطلبات" (webbot)

1711-53

وحينما يكون خيار التنفيذ المتزامن للطلبات نشيطاً، تنقل عدة عناصر في ذات التوصيلة وتبدو بمثابة نقل كتلة وحيد. وبينت تجارب عديدة أن نقل جملة المعطيات ييسر أداء جدياً في شبكة ضخمة LFN على غرار شبكة بساتل GSO. ويبدو بالتالي أن بروتوكول HTTP 1.1 مع خيار التنفيذ المتزامن للطلبات هو الأفضل أداءً.

4.5 الاستنتاجات

كان أقصى صبيب لبروتوكول FTP نحو 3 Mbit/s مع قد وسيط قدره 1 Mbytes. وفي حالة قد توصيلة TCP أكبر من 1 Mbytes، يميل الصبيب إلى الانحطاط. وفي حالة النقل من ذاكرة لأخرى عبر قناة بساتل، يتوقف الصبيب أساساً على قد نافذة بروتوكول TCP. وزيادة قد الذاكرة الوسيطة TCP لتحسين صبيب TCP يمكن أن يؤدي إلى انحطاط أداء TCP وذلك بالتأثير على دخل/خرج القرص أو التأثير على نظام الذاكرة.

ونتيجة لقياس صبيب HTTP متعدد، وجد أن بروتوكول HTTP 1.1 مع تنفيذ متزامن للطلبات أسفر عن أداء أفضل.

_____