

الاتحاد الدولي للاتصالات

ITU-R

قطاع الاتصالات الراديوية في الاتحاد الدولي للاتصالات

التوصية ITU-R S.1897
(2012/01)

توفير نوعية الخدمة عبر الطبقات في الشبكات الهجينة
الساتلية-للأرض القائمة على بروتوكول الإنترنت

السلسلة S
الخدمة الثابتة الساتلية

تمهيد

يضطلع قطاع الاتصالات الراديوية بدور يتمثل في تأمين الترشيد والإنصاف والفعالية والاقتصاد في استعمال طيف الترددات الراديوية في جميع خدمات الاتصالات الراديوية، بما فيها الخدمات الساتلية، وإجراء دراسات دون تحديد مدى الترددات، تكون أساساً لإعداد التوصيات واعتمادها. ويؤدي قطاع الاتصالات الراديوية وظائفه التنظيمية والسياساتية من خلال المؤتمرات العالمية والإقليمية للاتصالات الراديوية وجمعيات الاتصالات الراديوية بمساعدة لجان الدراسات.

سياسة قطاع الاتصالات الراديوية بشأن حقوق الملكية الفكرية (IPR)

يرد وصف للسياسة التي يتبعها قطاع الاتصالات الراديوية فيما يتعلق بحقوق الملكية الفكرية في سياسة البراءات المشتركة بين قطاع تقييس الاتصالات وقطاع الاتصالات الراديوية والمنظمة الدولية للتوحيد القياسي واللجنة الكهروتقنية الدولية (ITU-T/ITU-R/ISO/IEC) والمشار إليها في الملحق 1 بالقرار ITU-R 1. وترد الاستثمارات التي ينبغي لحاملي البراءات استعمالها لتقديم بيان عن البراءات أو للتصريح عن منح رخص في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/en> حيث يمكن أيضاً الاطلاع على المبادئ التوجيهية الخاصة بتطبيق سياسة البراءات المشتركة وعلى قاعدة بيانات قطاع الاتصالات الراديوية التي تتضمن معلومات عن البراءات.

سلاسل توصيات قطاع الاتصالات الراديوية

(يمكن الاطلاع عليها أيضاً في الموقع الإلكتروني <http://www.itu.int/publ/R-REC/en>)

العنوان	السلسلة
البث الساتلي	BO
التسجيل من أجل الإنتاج والأرشفة والعرض؛ الأفلام التلفزيونية	BR
الخدمة الإذاعية (الصوتية)	BS
الخدمة الإذاعية (التلفزيونية)	BT
الخدمة الثابتة	F
الخدمة المتنقلة وخدمة التحديد الراديوي للموقع وخدمة الهواة والخدمات الساتلية ذات الصلة	M
انتشار الموجات الراديوية	P
علم الفلك الراديوي	RA
أنظمة الاستشعار عن بعد	RS
الخدمة الثابتة الساتلية	S
التطبيقات الفضائية والأرصاد الجوية	SA
تقاسم الترددات والتنسيق بين أنظمة الخدمة الثابتة الساتلية والخدمة الثابتة	SF
إدارة الطيف	SM
التجميع الساتلي للأخبار	SNG
إرسالات الترددات المعيارية وإشارات التوقيت	TF
المفردات والمواضيع ذات الصلة	V

ملاحظة: تمت الموافقة على النسخة الإنكليزية لهذه التوصية الصادرة عن قطاع الاتصالات الراديوية بموجب الإجراء الموضح في القرار ITU-R 1.

النشر الإلكتروني

جنيف، 2012

© ITU 2012

جميع حقوق النشر محفوظة. لا يمكن استنساخ أي جزء من هذه المنشورة بأي شكل كان ولا بأي وسيلة إلا بإذن خطي من الاتحاد الدولي للاتصالات (ITU).

التوصية ITU-R S.1897

توفير نوعية الخدمة عبر الطبقات في الشبكات الهجينة الساتلية-للأرض
القائمة على بروتوكول الإنترنت

(2011)

مجال التطبيق

تقدم هذه التوصية مبادئ توجيهية بشأن تنفيذ نُهج التصميم عبر الطبقات لتحسين أداء التطبيقات متعددة الوسائط عبر الشبكات الساتلية (سواء القائمة بذاتها أم الهجينة).

إن جمعية الاتصالات الراديوية للاتحاد الدولي للاتصالات،

إذ تضع في اعتبارها

(أ) أن استعمال الأنظمة الساتلية ما فتى يزداد من أجل توفير تطبيقات النطاق العريض مباشرة إلى المستعملين بالإضافة إلى دورها بمثابة وصلات فقرية؛

(ب) أن أحداث الحبو تؤثر في نهاية المطاف في طبقة التطبيقات للخدمات التي توفرها هذه الأنظمة الساتلية؛

(ج) أن التصميم عبر الطبقات ينطوي على تمكين التفاعلات وتقاسم متغيرات الحالة بين مختلف طبقات البروتوكول (بما فيها الطبقات غير المتاخمة) بغية النهوض بقدرة الشبكة ومستوى الأداء؛

(د) أن نهج العبور الطبقي الذي صُمم لتحقيق قدر أفضل من التكيف مع ديناميات الإرسال الساتلي ينطوي على إمكانية تخفيف أثر أحداث الحبو؛

(هـ) أن من الممكن أيضاً استعمال نهج العبور الطبقي لتكييف متطلبات الإرسال في حالة حدث يوتر في عرض النطاق المتاح؛

(و) أن الأداء الإجمالي لوصلة ساتلية قد يتأثر بعوامل شتى (من تأخيرات، وتغيرات في التأخير، والصبيب، وغيرها) يمكن رصدها باتباع نهج العبور الطبقي،

وإذ تلاحظ

(أ) أن التوصية ITU-R S.1711 توفر مبادئ توجيهية بشأن تنفيذ عدد من تحسينات أداء بروتوكول التحكم في النقل (TCP) عبر الشبكات الساتلية القائمة على بروتوكول الإنترنت؛

(ب) أن مختلف تطبيقات العبور الطبقي قد خضعت للدراسة والتجربة (انظر التقرير ITU-R S.2222)،

توصي

1 باستعمال نهج تصميم عبر الطبقات في الشبكات الساتلية (سواء القائمة بذاتها أم الهجينة)؛

2 باعتبار المعاري المرجعية، الواردة في الملحق 1 في هذه التوصية، بمثابة الأساس لدى تنفيذ نُهج تصميم العبور الطبقي؛

3 بأن يؤخذ الملحق 2 في الاعتبار، لدى تقييم أثر أحداث الحبو في مختلف الطبقات؛

4 بأن تؤخذ نُهج التصميم عبر الطبقات في الوصلات الساتلية التي تستخدم بروتوكول التحكم في النقل (TCP) في الاعتبار لدى تقييم أداء الصبيب والتأخير (انظر الملحق 3).

ملاحظة - يوفر التقرير ITU-R S.2222 مواد خلفية تتناول مفاهيم ومنهجيات تصميم العبور الطبقي.

جدول المحتويات

الصفحة

6	..... الملحق 1 - المماريات المرجعية من أجل تنفيذ نُهج التصميم عبر الطبقات	
6	..... مجال التطبيق	1
6	..... المماريات المرجعية	2
7	..... 1.2 معمارية الشبكة الهجينة الساتلية -WiFi	
8	..... 2.2 معمارية الشبكة الهجينة الساتلية -WiMAX	
9	..... 1.2.2 معمارية بروتوكول شبكة هجينة ساتلية -WiMAX	
11	..... الملحق 2 - أداء نوعية الخدمة (QoS) عبر الطبقات في الشبكات الهجينة الساتلية - للأرض	
11	..... مجال التطبيق	1
11	..... 2 تخفيف الخبو الناجم عن المطر وتصميم نوعية الخدمة عبر الطبقات	
11	..... 3 آثار الخبو على نوعية الخدمة (QoS) في الشبكات الساتلية - WiFi المتعددة الوسائط	
11	..... 1.3 نموذج شبكة المحاكاة	
12	..... 2.3 مخطط عرض النطاق على الطلب (BOD) المستخدم في عمليات محاكاة OPNET	
13	..... 1.2.3 حوارزمية توزيع عرض نطاق قناة العودة	
14	..... 3.3 تجارب المحاكاة ونتائج الأداء - السيناريو 1	
14	..... 1.3.3 نموذج المحاكاة	
15	..... 2.3.3 نتائج تجربة المحاكاة	
21	..... 3.3.3 الخلاصة	
21	..... 4.3 تجارب المحاكاة ونتائج الأداء - السيناريو 2	
21	..... 1.4.3 نموذج شبكة المحاكاة	
22	..... 2.4.3 توفير نوعية الخدمة	
22	..... 3.4.3 نموذج الحركة	
22	..... 4.4.3 تحميل الوصلة الساتلية	
23	..... 5.4.3 معلمات المحاكاة	
24	..... 6.4.3 نتائج تجارب المحاكاة	
32	..... 7.4.3 الخلاصة	
	..... 4 نوعية الخدمة القائمة على عبور الطبقات من أجل نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP)	
32	..... في الشبكات الهجينة الساتلية - WiMAX	
32	..... 1.4 مقدمة	
32	..... 2.4 تكييف معدل VoIP عبر الطبقات	
32	..... 1.2.4 النهج القائم على بروتوكول التحكم في النقل في الوقت الفعلي (RTCP)	
33	..... 2.2.4 نهج النطاق العريض متعدد المعدلات التكميني (AMR-WB)	

34	..... نموذج أداء شبكة الساتل – WiMAX	3.4
34	..... نموذج التأخر	1.3.4
35	..... نتائج الأداء	4.4
35	..... الشبكة الفرعية الساتلية: تكييف المعدلات الكلي	1.4.4
37	..... أداء الشبكة الفرعية للأرض	2.4.4
38	..... الخلاصة	5.4
38	الملحق 3 – التصميم عبر الطبقات لوصلة ساتلية باستخدام بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP). بمثابة بروتوكول نقل	
38	..... مجال التطبيق	1
38	..... مقدمة	2
39	..... معمارية الشبكة المرجعية	3
40	..... معلمات المحاكاة	1.3
40	..... إفتراضات	2.3
41	..... نتائج الأداء	4
43	..... الخلاصة	5
43	..... الاستنتاجات	6

قائمة المختصرات

الجيل الثالث	(Third generation)	3G
الجيل الرابع	(Fourth generation)	4G
طبقة تكيف ATM	(ATM adaptation layer)	AAL
النبؤ الخطي الجبري باستدارة الشفرة	(Algebraic code excitation linear prediction)	ACELP
إشعار	(Acknowledgment)	ACK
التشفير والتشكيل التكييفيان	(Adaptive coding and modulation)	ACM
نطاق عريض تكييفي متعدد معدلات السرعة	(Adaptive multirate wideband)	AMR-WB
تطبيق	(Application)	APP
طلب تكرار تلقائي	(Automotive repeat request)	ARQ
شبكة خدمة نفاذ	(Access service network)	ASN
أسلوب نقل غير المتزامن	(Asynchronous transfer mode)	ATM
ضوضاء غوسية بيضاء إضافية	(Additive white Gaussian noise)	AWGN
نتاج التأخر في النطاق العريض	(Bandwidth delay product)	BDP
التحكم في ترايد الازدحام الاثنيني	(Binary increase congestion control)	BIC
نطاق عريض على الطلب	(Bandwidth on demand)	BOD
إبراق بزحزة الطور ثنائي الحالة	(Binary phase-shift keying)	BPSK
التشفير والتشكيل الثابتان	(Constant coding and modulation)	CCM
طلب نموذج شفري	(Code model request)	CMR
معلومات نوعية القناة	(Channel quality information)	CQI
تخصيص مستمر المعدل	(Continuous-rate assignment)	CRA
بروتوكول التحكم في النقل مركب	(Compound TCP)	C-TCP
نفاذ متعدد مع تخصيص حسب الطلب	(Demand assignment multiple access)	DAMA
تأخير منذ تقرير آخر مرسل	(Delay since last sender report)	DLSR
بث فيديو رقمي	(Digital video broadcast)	DVB
بث فيديو رقمي - قناة العودة بالساتل	(Digital video broadcast – return channel by satellite)	DVB-RCS
بث فيديو رقمي بالساتل	(Digital video broadcast by satellite)	DVB-S
بث فيديو رقمي - إرسال ساتلي من الجيل الثاني	(Digital video broadcast – satellite transmission 2 nd generation)	DVB-S2
إرسال عاجل	(Expedited forward)	EF
إترنت	(Ethernet)	ETH
المعهد الأوروبي لمعايير الاتصالات	(European Telecommunications Standards Institute)	ETSI
تصحيح أمامي للأخطاء	(Forward error correction)	FEC
خدمة ثابتة ساتلية	(Fixed satellite service)	FSS
بروتوكول نقل الملفات	(File transfer protocol)	FTP
مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض	(Geostationary earth orbit)	GEO
النظام العالمي للاتصالات المتنقلة	(Global system for mobile communications)	GSM
نظام GSM تكييفي متعدد معدلات السرعة	(GSM adaptive multi-rate)	GSM-AMR

GSM-EFR	نظام GSM محسّن كامل المعدل (<i>GSM enhanced full rate</i>)
GT	مطراف بوابة (<i>Gateway terminal</i>)
GW	بوابة (<i>Gateway</i>)
HTTP	بروتوكول نقل النصوص المترابطة (<i>Hypertext transfer protocol</i>)
IEEE	معهد المهندسين الكهربائيين والإلكترونيين (<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>)
IP	بروتوكول الإنترنت (<i>Internet protocol</i>)
ISO	المنظمة الدولية للتوحيد القياسي (<i>International Organization for Standardization</i>)
ITU-R SG	لجنة دراسات قطاع الاتصالات الراديوية (<i>ITU-R Study Group</i>)
ITU-R WP	فرقة عمل قطاع الاتصالات الراديوية (<i>ITU-R Working Party</i>)
LAN	شبكة منطقة محلية (<i>Local area network</i>)
LOS	خط البصر (<i>Line of sight</i>)
MAC	تحكم في النفاذ إلى الوسائط (<i>Medium access control</i>)
MAC-CPS	MAC - الطبقة الفرعية في الجزء المشترك (<i>MAC common part sublayer</i>)
MAC-CS	MAC - الطبقة الفرعية في التقارب (<i>MAC convergence sublayer</i>)
MF-TDMA	النفاذ المتعدد التردد بتقسيم الزمن (<i>Multiple-frequency time-division multiple access</i>)
MIMD	زيادة متضاعفة - نقصان متضاعف (<i>Multiplicative increase multiplicative decrease</i>)
MODCOD	تشكيل وتشفير (<i>Modulation and coding</i>)
MPEG	فريق خبراء الصور المتحركة (<i>Moving picture experts group</i>)
NCC	مركز تحكم في الشبكة (<i>Network control center</i>)
OFDM	تعدد إرسال بتقسيم تعامدي للتردد (<i>Orthogonal frequency division multiplexing</i>)
OSI	توصيل بيني مفتوح النظام (<i>Open system interconnect</i>)
PDU	وحدة رزمة بيانات (<i>Packet data unit</i>)
PER	معدل أخطاء الرزمة (<i>Packet error rate</i>)
PHY	الطبقة المادية (<i>Physical layer</i>)
PSK	إبراق بزحزة الطور (<i>Phase shift keying</i>)
QoS	نوعية الخدمة (<i>Quality of service</i>)
QPSK	تشكيل تربيعي بزحزة الطور (<i>Quadrature phase-shift keying</i>)
RCS	ساتل قناة العودة (<i>Return channel satellite</i>)
RCST	مطراف ساتلي لقناة العودة (<i>Return channel satellite terminal</i>)
RR	تقرير المستقبل (<i>Receiver report</i>)
RRA	توزيع الموارد الراديوية (<i>Radio resource allocation</i>)
RRM	إدارة الموارد الراديوية (<i>Radio resource management</i>)
RT	الوقت الفعلي (<i>Real time</i>)
RTCP	بروتوكول التحكم في النقل في الوقت الفعلي (<i>Real time transport control protocol</i>)
RTO	إعادة الإرسال عند انتهاء الزمن (<i>Retransmission on time out</i>)
RTT	زمن الذهاب والإياب (<i>Roundtrip time</i>)
SACK	إشعار انتقائي (<i>Selective acknowledgement</i>)
SNIR	نسبة تداخل الإشارة إلى الضوضاء (<i>Signal to noise interference ratio</i>)

تقرير المرسل (Sender report)	SR
بروتوكول تحكم في النقل قابل للتوسيع (Scalable TCP)	S-TCP
بروتوكول تحكم في الإرسال (Transmission control protocol)	TCP
بروتوكول تحكم في النقل (Time division multiplexing)	TDM
نفاذ متعدد بتقسيم الزمن (Time division multiple access)	TDMA
زمن تقرير آخر مرسل (Time of last sender report)	TLSR
نمط الخدمة (Type of service)	ToS
تلفزيون (Television)	TV
بروتوكول وحدة بيانات المستعمل (User datagram protocol)	UDP
تجهيزات المستعمل (User equipment)	UE
التشفير والتشكيل المتغيران (Variable coding and modulation)	VCM
نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (Voice over Internet protocol)	VoIP
حركة الوقت الفعلي متغيرة المعدل التي تتحمل الارتعاش (Variable rate real time traffic jitter tolerant)	VR-JT
حركة الوقت الفعلي متغيرة المعدل (Variable rate real time traffic)	VR-RT
واي فاي - شبكة لا سلكية عالية الدقة (منتجات على أساس معايير IEEE 802.11) (Wireless fidelity (products based on IEEE 802.11 standards)	WiFi
واي ماكس - التشغيلية البينية العالمية للنفاذ بالموجات الصغيرة (Worldwide interoperability for microwave access)	WiMAX

الملحق 1

المعماريات المرجعية من أجل تنفيذ نُهج التصميم عبر الطبقات

1 مجال التطبيق

يقدم هذا الملحق معماريات مرجعية لساتل هجين - شبكات لا سلكية بما فيها وصلات ساتلية وإما جزء للأرض WiFi أو WiMAX. ويتبع ذلك وصف لتحسين نوعية الخدمة في الشبكات المتعددة الوسائط باستعمال نُهج التصميم عبر الطبقات.

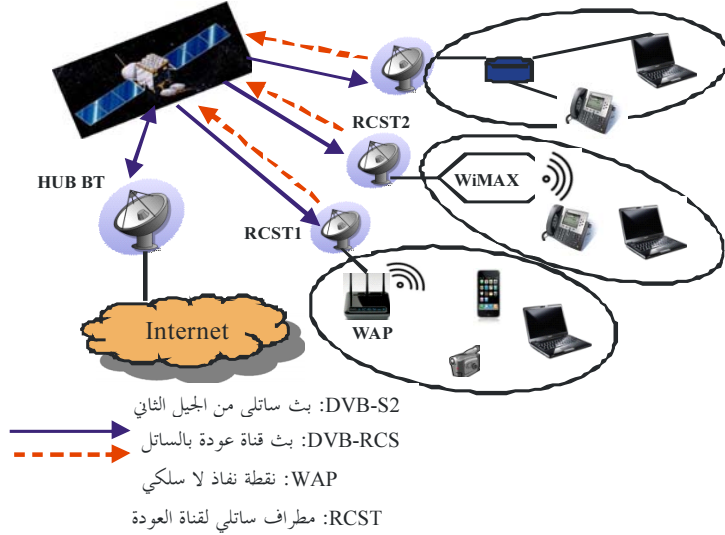
2 المعماريات المرجعية

يبين الشكل 1 شبكة ساتلية لا سلكية هجينة تعمل في النطاق Ka لدعم التطبيقات المتعددة الوسائط. ويمكن أن تشمل مختلف السيناريوهات نظام ساتل في مدار مستقر بالنسبة إلى الأرض (GEO) له سطح بيني لاسلكي لإذاعة فيديو رقمية (DVB-S2) قناة عودة بالساتل (RCS) موصول بجزء للأرض إما WiFi و/أو WiMAX. وكما يبدو في الشكل، يمكن لمطاريق DVB-RCS (أي RCST) أيضاً أن تدعم مباشرة تطبيقات من قبيل VoIP والتدفق المتعدد الوسائط وعقد الاجتماعات بالفيديو ونقل البيانات بالجملة. ويتألف النظام من مطاريق بوابة (GTs) ومطاريق RCST ومركز للتحكم في الشبكة وإدارتها. وتتبع

الوصلة الأمامية، أي من البوابة إلى مطراف المستعمل (أسهم زرقاء مستمرة) DVB-S2 بتشفير وتشكيل تكيفيين (ACM). وتعتمد وصلة العودة من المطراف إلى البوابات (أسهم حمراء متقطعة) على مطاريف DVB-RCS.

الشكل 1

شبكة مطاريف DVB-S2/RCS و WiFi/WiMAX



S.1897-01

ويتميز البث DVB-S2 بنوعين أساسيين من التحسين مقارنة بالبث الأسبق، DVB-S. فهو يمتاز أولاً بطبقة مادية محسنة، توفر عدة أشكال موجية ذات رتبة تشكيل أعلى وتصحيح أمامي للأخطاء (FEC) أقوى. وهو ثانياً قادر على تكيف في الوقت الفعلي لظروف الوصلة والانتشار. وهو قادر على دعم 28 توليفة من أنساق التشكيل ومخططات التشفير لتحقيق معدل منخفض من أخطاء الرزم عبر مجال واسع من معدل ضوضاء الإشارة زائد التداخل (SNIR). وتشمل أشكال التشغيل الثلاثة الممكنة (أ) التشفير والتشكيل المستمران (CCM) و(ب) التشفير والتشكيل المتغيران (VCM) و(ج) التشفير والتشكيل التكيفيان (ACM).

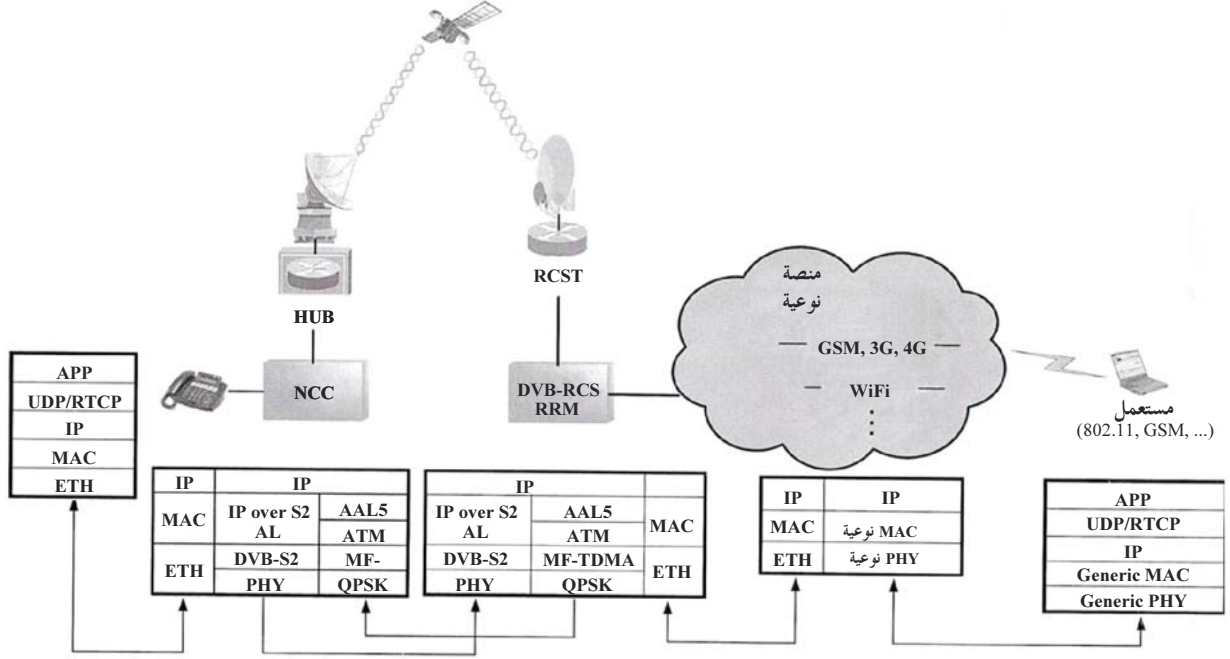
ويقوم البث DVB-RCS المستخدم في وصلة العودة بعملية النفاذ المتعدد التردد بتقسيم الزمن (MF-TDMA) والتشفير التكيفي. وتمكنه وصلة العودة MF-TDMA من ترتيب ثنائي الأبعاد حيث تكون كل نافذة تردد- زمن مجزأة إلى موجات حاملة وأرتال ثانوية وأرتال وفواصل. وتتسم وصلة العودة MF-TDMA بتشفير سلسالي تلافيفي وتشفير Reed Solomon. ويمكن أن تكون البيانات مكبسلة في خلايا أسلوب النقل غير المتزامن (ATM) باستعمال طبقة التكيف 5 في أسلوب ATM أو يمكنها أن تستعمل كبسلة بروتوكول الإنترنت الأصلية عبر معيار فريق خبراء الصور المتحركة (MPEG-2). وتمكن هذه البروتوكولات من إرسال حركة بروتوكول الإنترنت عبر الطبقة المادية التي تستخدم في تجارب المحاكاة. ويصبح المطر أكثر الأحداث الجوية تأثيراً بالنسبة إلى الإرسال في النطاق Ka. لذلك لا بد من تقييم أثر الخبو على مختلف معالم التحكم في النفاذ إلى الوسائط (MAC) وطبقة التطبيقات التي تتبع نهج التصميم عبر الطبقات. ومن المفترض أن يحدد نموذج الخدمات التفاضلية (DiffServ) أولويات السطوح البينية للشبكات القائمة على بروتوكول الإنترنت مع أجزاء WiFi و WiMAX.

1.2 معمارية الشبكة الهجينة الساتلية-WiFi

من أجل توفير توصيلية النطاق العريض في شبكات كل من المناطق منخفضة الكثافة بالسكان (أي المناطق الريفية) والمناطق عالية الكثافة بالسكان (أي المناطق الحضرية وشبه الحضرية)، تتألف الشبكات الهجينة من التكنولوجيا الساتلية وتكنولوجيا النفاذ الراديوي للأرض على السواء.

الشكل 2

معمارية بروتوكول شبكة ساتلية - لا سلكية



S.1897-02

يبين الشكل 2 معمارية بروتوكول الشبكة الساتلية - اللاسلكية للأرض. ويمكن للجزء اللاسلكي أن يستعمل بروتوكولات من قبيل GSM و 3G و WiFi و WiMAX و 4G. ويوفر كل من الجزء الساتلي والشبكة للأرض خوارزميات لتوزيع الموارد ونظاماً لإدارة التحكم.

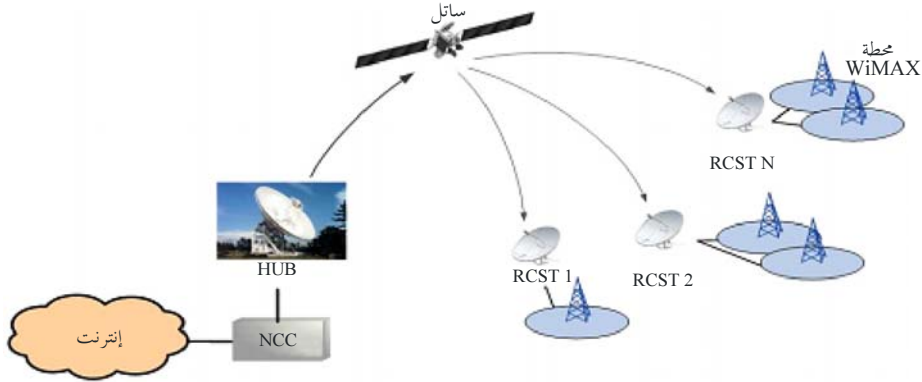
ومن المكونات الأخرى في معمارية الشبكة، بوابة شبكة النفاذ إلى الخدمة وإدارة الموارد الراديوية (RRM) للبت DVB-RCS. وتحقق RRM في مطراف الساتل من توفر القدر الكافي من الموارد لتمكين قبول تجهيزات مستعمل جديدة تلتبس الخدمات من البوابة إلى الوصلة الساتلية. ويتواصل المطراف RCST مع مركز التوصيل (HUB) المنتمي إلى مركز للتحكم في الشبكة (NCC). ويتحكم المركز NCC بالشبكة التفاعلية وبطلب الخدمة من جانب المستعمل من خلال النفاذ الساتلي ويدير الطيف الساتلي تبعاً للطلبات من المطراف الساتلية.

2.2 معمارية الشبكة الهجينة الساتلية-WiMAX

يبين الشكل 3 شبكة ساتلية هجينة تستخدم مطراف DVB-S2/RCS موصولة بشبكة WiMAX.

الشكل 3

شبكة DVB-S2/RCS WiMAX ساتلية هجينة



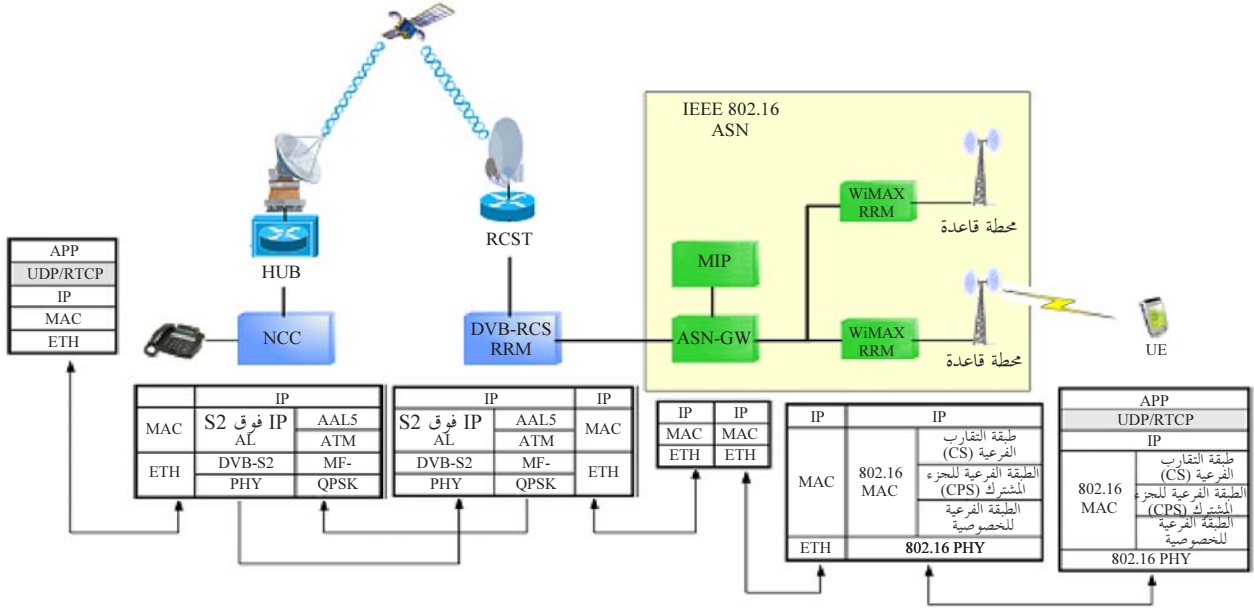
S.1897-03

1.2.2 معمارية بروتوكول شبكة هجينة ساتلية-WiMAX

يبين الشكل 4 معمارية بروتوكول شبكة هجينة ساتلية-WiMAX. وتعتمد الوصلة للأرض على معيار IEEE 802.16، حيث يوجه المستعمل في الشبكة الأساسية الحركة (مثل محادثة VoIP) إلى مستعمل متنقل، يدعى تجهيزات المستعمل (UE). وتوضع UE في منطقة تخدمها شبكة WiMAX. والمحطة القاعدة (BS) مسؤولة عن التوصيلية IEEE 802.16 من خلال الوصلة الراديوية إلى UE الواقعة داخل منطقة تغطيتها. وتقوم طبقة مادية تكيفية بتعظيم معدل البيانات وذلك بتعديل أساليب الإرسال بما يتواءم مع تغيرات القناة والحفاظ في الوقت ذاته على معدل أخطاء رزم (PER) محدد. وتضطلع إدارة الموارد الراديوية (RRM) في WiMAX باستخدام موارد الطيف الراديوي المحدودة والبنية التحتية للشبكة الراديوية لدى المحطة القاعدة المصاحبة لها من خلال كفاءة استعمال الاستراتيجيات والخوارزميات للتحكم في المعلمات. ويشتمل الشكل 4 على بوابة شبكة خدمة النفاذ (ASN) وعلى إدارة الموارد الراديوية (RRM) في البث DVB-RCS. وتتحقق الإدارة RRM في مطراف الساتل من توفر القدر الكافي من الموارد لتمكين قبول تجهيزات مستعمل جديدة تلتزم الخدمات من البوابة إلى الوصلة الساتلية. ويتواصل المطراف RCST مع مركز التوصيل (HUB) المنتمي إلى مركز للتحكم في الشبكة (NCC). ويتحكم المركز NCC بالشبكة التفاعلية وبطلبات المستعمل للخدمة من خلال النفاذ الساتلي ويدير الطيف الساتلي تبعاً للطلبات الواردة من المطراف الساتلية. ويتألف بروتوكول WiMAX RRM من ثلاث طبقات فرعية تشكل طبقة MAC بأكملها. وتوفر طبقة التقارب الفرعية (MAC-CS) تحويل أو مقابلة بيانات الشبكة الخارجية (مثل إترنت وبروتوكول الإترنت). وتؤدي الطبقة الفرعية في الجزء المشترك (MAC-CPS) عملية الترميز إلى وحدات بيانات الرزم (MPDU MAC) للمعلومات الآتية من MAC-CS، والطبقة الفرعية للخصوصية، وتوفر الاستيقان وتبادل المفاتيح وتجزير البيانات. ومن أبرز مزايا الطبقة المادية في معيار IEEE 802.16 هي استعمال تعدد الإرسال بتقسيم تعامدي للتردد (OFDM) وتعدد الإرسال بتقسيم الزمن (TDM) والتحكم في الطاقة في النطاق S (حول 3,5 GHz أساساً). والجزء MAC-CPS هو صلب الطبقة MAC. وهو يوفر نوعية الخدمة (QoS) ويدير عرض النطاق وتدفعات تعددات الإرسال VoIP الموجهة إلى المحطة القاعدة (BS) وقيم التوصيل ويحافظ عليه ويؤدي التصحيح الأمامي للأخطاء (FEC) ويمكن آليات طلب التكرار التلقائي (ARQ).

الشكل 4

المعمارية المرجعية ومكدس البروتوكول لشبكة IEEE 802.16e-2005 / DVB-RCS



S.1897-04

- وقد تم تحديد بضعة أنماط من شبكات خدمة النفاذ (ASN) في شبكة WiMAX كأداة لإدارة استخدام وتنفيذ عقدة التنوع:
- النمط A: نموذج شبكة ASN مركزية مع بوابة ASN-GW ومحطة BS في منصات منفصلة وإدارة موارد راديوية (RRM) منقسمة. توزيع الموارد الراديوية (RRA) في BS والتحكم في الموارد الراديوية (RRC) في البوابة؛
 - النمط B: يتم تنفيذ وظائف المحطة BS وASN-GW في منصة واحدة؛
 - النمط C: منصات منفصلة، والتحكم في RRM من جانب BS.
- النمط A مناسب من أجل إحالة لينة، ويستخدم في أجهزة متنقلة عالية السرعة، حيث الجهات المستعملة إجمالاً هي أجهزة متنقلة داخل منطقة ريفية. ومع أن النمط B هو أبسط الأنماط، فإن المشغلين يفضلون منصات منفصلة حيث من الأسهل تكيف بروتوكول الإنترنت والوظائف اللاسلكية. ويشمل النمط C البوابة ASN-GW بين الإدارتين RRM، أي في المطراف الساتلي وفي شبكة WiMAX. وهو يمكن من التفاعل بين الاثنتين ويدير الموارد في شكل ميسور. ويمكن هذا الخيار كل محطة BS من إدارة خدمة IEEE 802.16 ضمن منطقتها، بينما يقوم المطراف RCST بتخصيص موارد جميع شبكات ASN. وتشتمل البوابة ASN-GW على بروتوكول إنترنت متنقل، وذلك لتوفير آلية تتسم بالكفاءة وإمكانية التوسع من أجل التجوال ضمن الإنترنت.

الملحق 2

أداء نوعية الخدمة (QoS) عبر الطبقات في الشبكات الهجينة الساتلية-للأرض

1 مجال التطبيق

يقدم هذا الملحق نتائج تجارب المحاكاة التي أجريت في الشبكات الهجينة الساتلية - للأرض (مثل WiFi و WiMAX) التي تبين مزايا أداء نوعية الخدمة بناء على منهجيات التصميم عبر الطبقات. وتشمل التطبيقات المؤتمرات الفيديوية ونقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) ونقل البيانات على أساس أفضل جهد ممكن (بروتوكولات نقل النصوص المترابطة HTTPs، وبروتوكولات نقل الملفات FTPs). ويشمل أثر الخبو على معلمات نوعية الخدمة التي جرى قياسها التأخير وتغاير التأخير والارتعاش ومعدل فقدان الرزم، الأمر الذي يوفر معلومات قيمة لمصممي الأنظمة الساتلية. لمزيد من التفاصيل عن منهجيات العبور الطبقي، انظر التقرير ITU-R S.2222.

2 تخفيف الخبو الناجم عن المطر وتصميم نوعية الخدمة عبر الطبقات

إن تقنية تخفيف الخبو الناجم عن المطر الموصوف في هذا القسم تتبع البث DVB-S2. ومن أبرز مزايا البث DVB-S2 هي عملية التشفير والتشكيل من أجل أطوال فدرات تصحيح أمامي للأخطاء (FEC) عادية (800 64 بته) وقصيرة (200 16 بته). ومن مزايا التشفير والتشكيل أن بالإمكان تغييرهما تكيفياً على أساس كل رتل في حد ذاته لأنماط معينة من تدفقات النقل. ويتوقف التكيف على استلام معلومات نسبة الإشارة إلى الضوضاء + التداخل في المحطة المرسله من المحطة (المحطات المقصودة). والغرض من هذه الميزة هو المساعدة على تخفيف آثار الخبو الناجم عن المطر، لا سيما في النطاق Ka ونطاقات التردد الأعلى. وينطوي تخفيف الخبو الناجم عن المطر على تفاعل عبر الطبقات بين الطبقة المادية في المطاريف على الأرض التي تتأثر الإشارة التي تتلقاها من جراء الخبو الناجم عن المطر وطبقة التحكم MAC في البوابة التي تتحكم في التشفير والتشكيل في تدفق الحركة الأمامي الموجهة نحو المطراف (المطاريف) على الأرض. وفي أثناء حدث خبو ناجم عن المطر، تتغير النسبة $Es/(N+I)$ الواردة عند مطراف على الأرض وتلاحظ من جانب الطبقة المادية وتبلغ إلى بوابة التحكم MAC بإرسال رسائل خاصة في الاتجاه المعاكس. وتستجيب البوابة MAC بتغيير التشفير والتشكيل في تدفق الحركة الموجهة إلى مطاريف الأرض المتأثرة على هذا النحو بحيث تحافظ على معدل أخطاء البتات في المطراف على الأرض عند مستوى مقبول. وهذا أمر ممكن لأن من المعلوم، عند نسبة $Es/(N+I)$ معينة ضمن مدى مناسب، أن معدل شفرة FEC وتشكيل معينين سوف يؤديان إلى معدل خطأ بتات معين في المطراف (المطاريف) على الأرض. ويتم تطوير هذه العلاقة بحيث تعطي معدل خطأ رزم بحسب MPEG أقل من 10⁻⁷.

وتعتمد طواقم البروتوكولات الراهنة من أجل التوصيل البيئي مفتوح النظام (ISO/OSI) وبروتوكول التحكم في الإرسال (TCP/IP) على تشكيلة طبقية في كل طبقة، حيث تضطلع البروتوكولات بوظيفة محددة باستعمال الخدمة التي تقدمها الوحدات النموذجية في الطبقة الأدنى وتقدم خدمة جديدة إلى الطبقات الأعلى. وقد تؤدي شروط نوعية الخدمة القائمة على تشكيل صارم من الوحدات النموذجية والاستقلالية الطبقية إلى أداء دون المستوى الأمثل في الشبكات الساتلية القائمة على بروتوكول الإنترنت. ولذلك يستدعي الأمر نهجاً مستمثلاً عبر الطبقات لكي يأخذ في الحسبان التفاعلات بين طبقات البروتوكولات غير المتجاورة.

3 آثار الخبو على نوعية الخدمة (QoS) في الشبكات الساتلية-WiFi المتعددة الوسائط

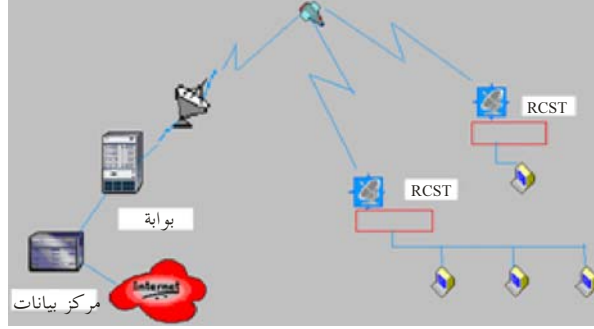
1.3 نموذج شبكة المحاكاة

يبين الشكل 5 شبكة ساتلية متعددة الوسائط مع ساتل معالجة على متن الشبكة يعمل لتوفير خدمات ساتلية قائمة على بروتوكول الإنترنت من أجل محتوى متعدد الوسائط، من نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) إلى عقد

المؤتمرات الفيديوية وحركة أفضل جهد ممكن لمطارييف البوابة (GT) والمطراف الساتلي لقناة العودة (RCST). وتتبع الوصلة الأمامية البث DVB-S2 بتشفير وتشكيل تكيفيين (ACM) وتقوم وصلة العودة على البث DVB-RCS الذي يتبع النفاذ المتعدد التردد بتقسيم الزمن (MF-TDMA).

الشكل 5

شبكة ساتلية متعددة الوسائط



S.1897-05

إن البث DVB-S2 هو المواصفة من الجيل الثاني المستخدمة في الوصلة الأمامية وهي تمكن من خدمات الإذاعة السمعية والنفاذ إلى الإنترنت وخدمات أخرى مثل مساهمات التغذية التلفزيونية وتجميع الأخبار الساتلية الرقمية. وهو يستخدم التشفير والتشكيل التكيفيين (ACM) اللذين يقتربان من حد Shannon لسعة القناة. ويمكن تطبيق عملية التشفير والتشكيل على نحو تكيفي من وصلة إلى وصلة بغية التخفيف من خبو الإشارة الناجم عن المطر.

ويحدد البث DVB-RCS، المستخدم في وصلة العودة، مطراف ساتل يدعم نظام ساتل DVB ثنائي الاتجاه يمثل فيه المسار الأمامي لمعيار DVB-S2. ويتم تشفير وصلة العودة للنفاذ المتعدد التردد بتقسيم الزمن (MF-TDMA) بشفرة تلافيفية سلسالية وشفرة Reed Solomon. ويمكن كبسلة البيانات في خلايا أسلوب النقل غير المترام (A(TM) باستخدام طبقة التكيف 5 أو يمكنها استخدام كبسلة بروتوكول الإنترنت الأصلي فوق MPEG-2.

وقد تم تصنيف الحركة إلى خدمات محادثة وخدمات تفاعلية وخدمات تدفق مع معلمات نوعية خدمة موصى بها، من قبيل التأخير وتغاير التأخير ومعدلات أخطاء الرزم. ويتم تجميع أصناف الخدمة من حيث التطبيقات التي تتحمل أو لا تتحمل الخطأ ولها حدود تأخير متغايرة.

2.3 مخطط عرض النطاق على الطلب (BOD) المستخدم في عمليات محاكاة OPNET

يتضمن مخطط عرض النطاق على الطلب عمليات في المطارييف على الأرض وفي ضابط الموارد في الساتل. والترتيب الأساسي للعمليات من أجل توزيع النطاق على الطلب هو كما يلي:

- يتقدم مطراف الأرض (i) $(GT[i])$ بطلب عند الرتل n من أجل فواصل بيانات في الوصلة الصاعدة موزعة دينامياً على أساس الشروط المتوفرة في المطراف (طول صف انتظار الصنف وعدد الرزم الواصلة أثناء الرتل n-1). انظر الشكل 6 لتعريف الرتل.
- عند الرتل n+5 (في $GT[i]$) يتلقى الساتل الطلب إلى جانب الطلبات من جميع مطارييف البوابات GTs الأخرى. وبناء على معلومات الطلب والمعلومات المختزنة، بما فيها التوزيع بمعدل ثابت (CRA) لكل مطراف بوابة، يقوم الساتل بتوزيع إجمالي لفواصل بيانات الوصلة الصاعدة لكل مطراف بوابة و"بيث" التوزيعات إلى جميع مطارييف البوابات.

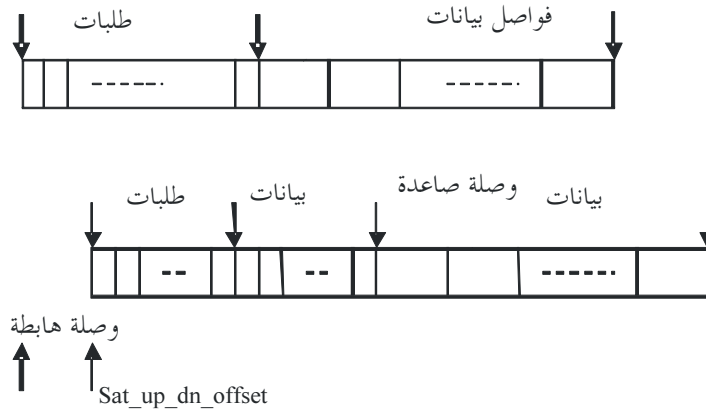
- في أثناء رتل الوصلة الهابطة n+9 (عند GT[i]) يتلقى المطراف GT[i] توزيعاً إجمالياً، يشمل التوزيع بمعدل ثابت، لكي يستخدمه في رتلته التالي في الوصلة الصاعدة. ويقوم المطراف GT[i] بتقسيم التوزيع الإجمالي بين أصناف الحركة لديه بناء على التوزيع بمعدل ثابت وعلى طول صفوف الانتظار (n+9) باستخدام خوارزمية مرجحة بحسب الصنف من أجل الجزء الموزع دينامياً.

1.2.3 خوارزمية توزيع عرض نطاق قناة العودة

- يتألف توزيع عرض النطاق إلى مطاريف الأرض من توزيع ثابت وتوزيع دينامي، على النحو التالي:
- حركة معدل البتات الثابت - التوزيع لحركة الزمن الفعلي ثابت ومتواصل؛
- التوزيع الدينامي - يعتمد التوزيع لحركة بروتوكول الإنترنت على معدل وصول الرزم وطول صفوف الانتظار الثلاثة باستخدام خوارزمية مرجحة بحسب الصنف.

الشكل 6

أرتال الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة في الساتل



S.1897-06

يبين الشكل 6 بنية رتل تعدد الإرسال بتقسيم الزمن (TDM) التي تتألف من فواصل الطلب وفواصل البيانات المقابلة للوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة.

ويتم بجميع التوزيعات وترسل جملة إلى كل مطراف أرض على أساس كل رتل على حدة. ويحتفظ كل مطراف أرض بصفوف انتظار 0-3 بحسب الصنف. فالحركة التي تحمل علامة نمط الخدمة (TOS) 4 فما فوق توجه إلى صف انتظار الصنف 0. والحركة التي تحمل علامة 3 توجه إلى صف انتظار الصنف 1. والحركة التي تحمل علامة 2 توجه إلى صف انتظار الصنف 2 والحركة التي تحمل علامة 1 و0 توجه إلى صف انتظار الصنف 3. ويقوم كل مطراف أرض بتقسيم توزيعات الجملة لديه إلى صفوف الانتظار بحسب الأصناف الأربعة. ويجري التوزيع بمعدل ثابت (CRA) الذي يتبع مواصفات توزيع النطاق العريض DVB-RCS أولاً إلى صف انتظار الصنف 0. بمجرد الاعتماد على القيمة المحسوبة وقت التدميث. ويجري توجيه باقي توزيع الجملة تابعية إلى صفوف انتظار الصنف 1 و2 و3، على النحو التالي:

عملية التدميث:

```
total_avail = bulk_alloc - CRA;
score[i] = queue_length[i]*class_weight[i], i=1..3;
total_score = sum(score[i]), i=1..3;
total_length = sum(queue_length[i]), i=1..3;
for(i = 1; i < 4; i++)
```

```

{
  if(total_avail >= total_length) then
  alloc = queue_length[i];
  else alloc = total_avail*score[i]/total_score;
  total_avail -= alloc;
  total_length -= queue_length[i];
}

```

ويمكن تشغيل صفوف انتظار الصنف إما بطول غير محدود أو بطول أعظمي ما. وفي الحالة الأخيرة، تكون الحركة متغايرة إلى حد ما وبما أن مخطط النفاذ المتعدد مع التخصيص حسب الطلب (DAMA) لا يستطيع أن يستجيب في أقل من زمن رحلة ذهاباً وإياباً فإن الأطوال الأعظمية تحدد عادة بقيمة متوسط معدل التدفق عبر أزمدة صفوف الانتظار المكافئة لزمن حوالي رحلتين ذهاباً وإياباً.

3.3 تجارب المحاكاة ونتائج الأداء - السيناريو 1

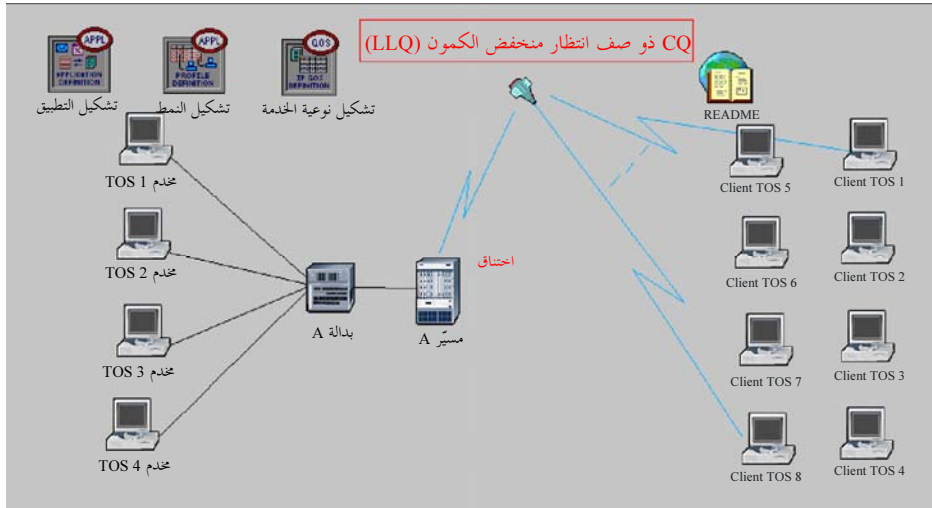
1.3.3 نموذج المحاكاة

يبين الشكل 7 إطار محاكاة مبدئي لشبكة DVB ساتلية قائمة على أساس بروتوكول الإنترنت لدعم تطبيقات متعددة الوسائط. ويعمل المسير A بمثابة بوابة للشبكة الفرعية المؤلفة من البدالة A والخدمات الأربعة. وهو يعمل أيضاً بمثابة مطراف أرض بينما تمثل الشبكة الفرعية شبكة الإنترنت.

ويمثل الساتل نقطة اختناق عرض النطاق في الشبكة. ويطلب العملاء الخدمات من الخدمات وتُنقل الاتصالات بواسطة الحركة بالاتجاه العكسي.

الشكل 7

نموذج OPNET لشبكة محاكاة



S.1897-07

1.1.3.3 نموذج الحركة

يفترض أن تبدأ الحركة عند 110 ثانية وتستمر حتى نهاية المحاكاة. وفيما يلي موجز تدفقات حركة خط الأساس وشروط الحدود:

المؤتمرات الفيديوية: بين العميل نمط الخدمة TOS 1 والعميل TOS 8 من خلال مخدومي TOS 1 و4 ممثلة في الأشكال التالية بوصفها الحالات 1-4 على التوالي. وقد تم توزيع حركة الاتجاه الأمامي أسياً بمتوسط 1000 بايتة لكل رتل، وتم توزيع حركة الاتجاه العكسي أسياً بمتوسط 250 بايتة لكل رتل بمعدل 30 رتل/ثانية في كلا الاتجاهين.

نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP): كبت الصمت بحسب G.729: بين المخدم 1 والعميلين 1 و5 ونمط الخدمة TOS = 1. يتم توزيع "نفثات" الكلام أسياً بمتوسط مدة 0,352 ثانية وفواصل صمت موزعة أسياً بمتوسط مدة 0,65 ثانية. وأثناء نفثة الكلام، تتولد رزمة من 80 بايتة بما فيها الرأسيات 100 مرة في الثانية. ولم يرسل أي بيانات أثناء فواصل الصمت.

بروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP): بين المخدم 2 والعميلين 2 و6 و TOS = 1. تتألف الحركة الأمامية من رزمة قوامها 1 000 بايتة وخمس رزم موزعة بانتظام ما بين 500 و2 000 بايتة واقعة بمتوسط فاصل موزع أسياً قدره 30 ثانية. وكانت الحركة في الاتجاه العكسي مؤلفة من ست رزم في كل منها 350 بايتة واقعة بمتوسط فاصل موزع أسياً قدره 30 ثانية.

استجواب قاعدة البيانات: بين المخدم 3 والعميلين 3 و7 و TOS = 1. يتألف كل من الحركة الأمامية والعكسية من رزمة قوامها 512 بايتة بمتوسط فاصل موزع أسياً قدره 12 ثانية.

بروتوكول نقل الملفات (FTP): بين المخدم 4 والعميلين 4 و8 و TOS = 3. يتألف كل من الحركة الأمامية والحركة العكسية من رزمة تحكم قوامها 512 بايتة ورزمة بيانات قوامها 8 000 بايتة (50% حصول و50% وضع). بمتوسط فاصل موزع أسياً قدره 60 ثانية.

2.1.3.3 معلمات المحاكاة

فيما يلي المعلمات الرئيسية للوصلة الساتلية بتقسيم الزمن:

Mbit/s 2,048	معدل البتات الأساسي
150	عدد فواصل الطلب
128	عدد فواصل البيانات
20	فاصل الطلب في الوصلة الهابطة (بتات)
47	فاصل الطلب في الوصلة الصاعدة (بتات)
32	تخصيص فاصل البيانات (بتات)
424	فاصل بيانات أساسي (بتات)

معلمات الخبو

يقع حدث الخبو الناجم عن المطر بمقدار 10 dB أثناء المحاكاة في الوصلة الهابطة لجميع العملاء وهو يتسم بالخصائص التالية:

140 ثانية	زمن البدء
0,25 dB/s	معدل الرشقة
40 ثانية	مدة الرشقة
180 ثانية	زمن بدء الاستعادة
0,125 dB/s	معدل الاستعادة
260 ثانية	نهاية الخبو الناجم عن المطر

2.3.3 نتائج تجربة المحاكاة

يقدم هذا القسم نتائج المحاكاة في حالة توزيع النطاق العريض وتفاعلات الطبقة المادية للتطبيق والطبقة المادية للنقل آخذة في الحسبان على وجه التحديد أثر الخبو الناجم عن المطر.

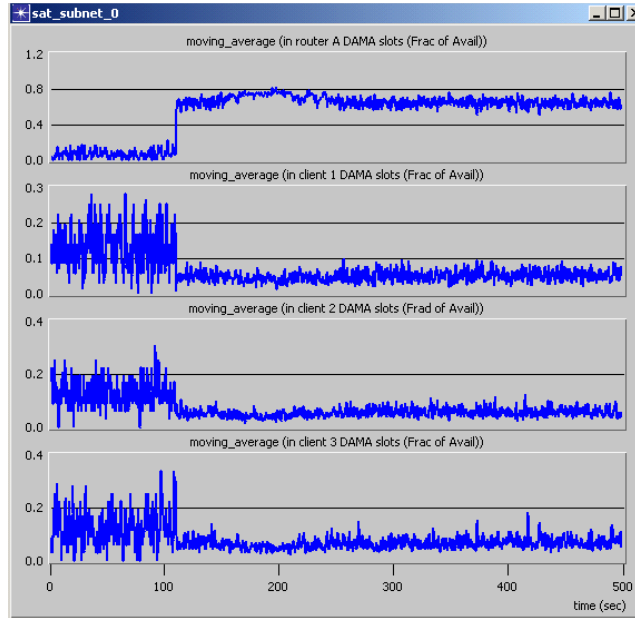
1.2.3.3 تفاعل الطبقة المادية-طبقة التحكم في النفاذ إلى الوسائط (PHY-MAC): عرض النطاق حسب الطلب بوجود الخبو الناجم عن المطر

يبين الشكل 8 التوزيع الإجمالي لفواصل البيانات إلى البوابة والمطاريف، كدالة لزمن المحاكاة. وتستخدم حوارزمية عرض النطاق حسب الطلب لتوفير توزيعات فواصل البيانات من أجل المسير والعملاء.

ويبين كل منحني ذلك الجزء من أصل مجموع فواصل البيانات المتاحة المخصص إلى العقدة المعرفة بوسم المنحني. (في المسير A مثلاً ثمة 80% من فواصل النفاذ المتعدد مع التخصيص حسب الطلب متاحة بمعدل 200 ميلي ثانية). تبدأ الحركة بعد 150 ثانية، ولذا فإن التوزيع قبل هذا الزمن هو مجرد توزيع عشوائي من الفواصل الحرة. بعد أن تبدأ الحركة، من الملاحظ أن ثمة توزيع متوسط الزمن منصف على أساس الطلبات النسبية من فرادى العُقد قد تحقق. (عند 200 ميلي ثانية لدى العملاء 1 و 2 و 3 ثمة 5% من الفواصل متاحة).

الشكل 8

المتوسط المتحرك لتوزيع فواصل البيانات للمسير A والعملاء 1-3،
بوجود خبو ناجم عن المطر



S.1897-08

2.2.3.3 تفاعل الطبقة المادية-طبقة التطبيق

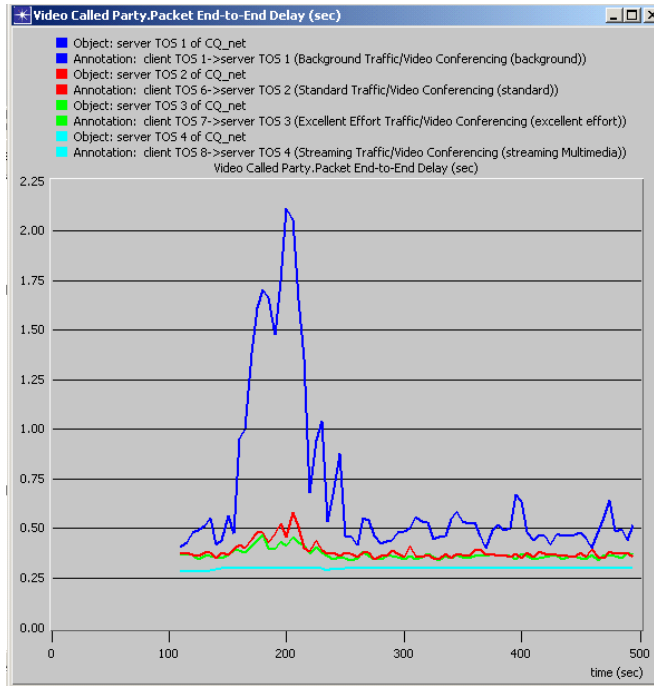
يصف هذا القسم الفرعي أداء التأخر في تطبيقات المؤتمرات الفيديوية ونقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) وبروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP) بسبب الخبو.

ويبين الشكل 9 التأخر من طرف إلى طرف بشأن حركة المؤتمر الفيديوي في الاتجاه العكسي من العملاء 1-4 مقيساً عند الخدمات 1-4. وهو يبين الدرجة الأعلى من تأخر وتغاير الحركة التي تمر من خلال صفوف انتظار الأصناف الأخفض. وكذلك تعاني حركة الأولوية الأدنى، في حالة الازدحام، أكثر مما تعانيه حركة الأولوية الأعلى.

وتبين هذه المنحنيات انتشار التأخيرات بالنسبة إلى أصناف الحركة الأربعة. وفي أثناء الخبو الناجم عن المطر تتعرض الحركة ذات الأولوية الأدنى لقدر أكبر بكثير من التأخير مما تتعرض له الحركة ذات الأولوية الأعلى. ولم تتأثر الحركة ذات الأولوية الأعلى جراء الخبو الناجم عن المطر لأن تخصيصها كان من توزيع المعدل الثابت، أي الذي تم التفاوض بشأنه مسبقاً، وليس من الحركة الدينامية.

الشكل 9

التأخر من طرف إلى طرف في حركة المؤتمر الفيديوي في الاتجاه العكسي
من العملاء 4-1 مقيساً عند الخدمات 4-1



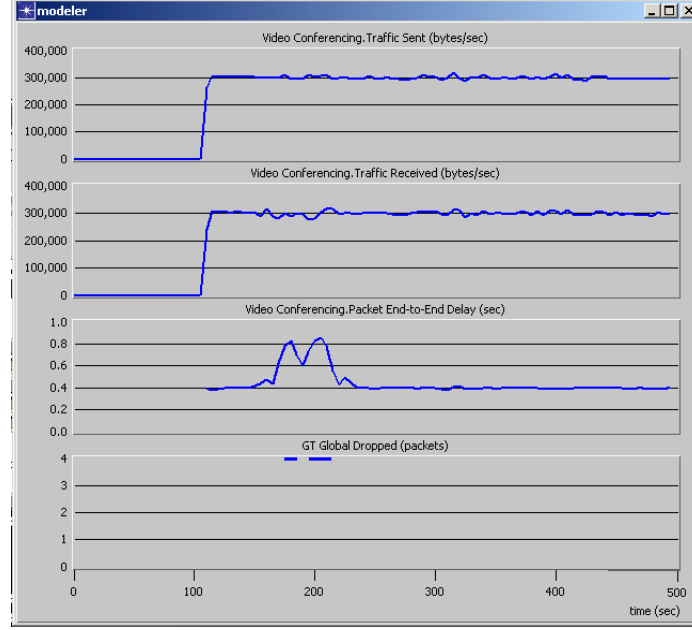
S.1897-09

يبين الشكل 10 الحركة الكلية لمؤتمر فيديوي، المرسل والمستقبل والتأخر من طرف إلى طرف والرزم الساقطة. وقد سقط ما مجموعه 287 رزمة أثناء الخبو الناجم عن المطر. ومن أصل هذه الرزم سقطت 165 رزمة في صف انتظار الصنف 3 في المسير A و122 في صف انتظار الصنف 3 لدى العميل 1. وفي أثناء الخبو الناجم عن المطر بلغ مجموع ذروة التأخر حوالي 0,859 ثانية. وفي الأوقات الأخرى، ظل في حدود 0,4 ثانية.

ويشير المنحنيان الأعلىان إلى أن معدلات الإرسال والاستقبال للحركة الكلية للمؤتمر الفيديوي كانت متساوية تقريباً سوى أثناء الخبو الناجم عن المطر حيث انخفض معدل الاستقبال قليلاً دون معدل الإرسال. وفي أعقاب الخبو الناجم عن المطر مباشرة تجاوز معدل الاستقبال معدل الإرسال لفترة قصيرة. وكان ذلك كافياً للتخلص من التراكم في صف الانتظار. ويبين المنحنى الثالث من الأعلى مجموع تراكم تأخر الرزم. ويبين المنحنى الأسفل متى سقطت الرزم.

الشكل 10

الحركة الكلية للمؤتمر الفيديوي، المرسل والمستقبل والتأخر من طرف إلى طرف والرزم الساقطة، وتساوي مستويات الحركة عند نمط الخدمة (TOS) 4-1، بوجود الخبو الناجم عن المطر

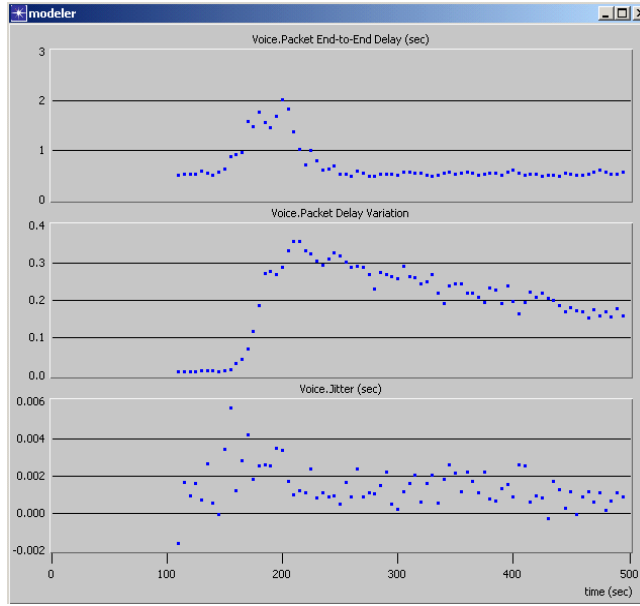


S.1897-10

يبين الشكل 11 مجموع تأخر رزم الصوت من طرف إلى طرف وتغاير التأخر والارتعاش. ويبين المنحنى الأعلى التأخر الكلي من طرف إلى طرف للتدفقات السمعية الأربعة (اثان نحو الأمام واثان عكسياً). وقد تجاوز التأخر مجرد ثانيتين أثناء الخبو الناجم عن المطر. وهذا التأخر غير مقبول في محادثة تفاعلية. وبعد انتهاء فترة الخبو الناجم عن المطر كان التأخر حوالي 0,5 ثانية، أي ما زال أعلى من المرجو. ويبين المنحنى الأوسط تغاير التأخر. وقد بلغ ذروة في حوالي 0,36 ثانية إثر نهاية الخبو الناجم عن المطر مباشرة ثم انخفض إلى نحو 0,17 ثانية في نهاية التجربة. ويبين المنحنى الأسفل الارتعاش في تأخر الرزمة، أي مقدار الفرق في تأخر الرزم المتعاقبة. وكان ذلك في مجال حوالي 6 ms.

الشكل 11

مجموع تأخر الرزم من طرف إلى طرف وتغاير تأخر الرزم والارتعاش عند نمط الخدمة TOS = 1، بوجود الحبو الناجم عن المطر

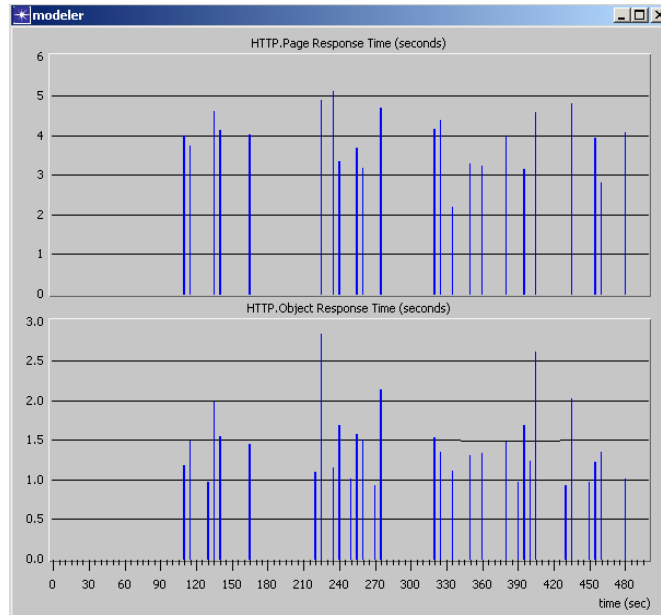


S.1897-11

يبين الشكل 12 أزمدة الاستجابة الكلية في بروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP). ويبين الرسم الأعلى زمن الاستجابة الكلي من أجل الصفحات. وتتراوح هذه الأزمنة من مجرد ما يزيد عن ثانيتين إلى نحو 5 ثوان. وكانت كل معاملة تتألف من صفحتين: صفحة رأسية و صفحة نتيجة. واشتملت الصفحة الرأسية على غرض واحد بحجم 1 000 بايت. واشتملت صفحة النتيجة على 5 أغراض متراوحة من أحجام موزعة بانتظام من 500 إلى 2 000 بايت. وتراوح زمن الاستجابة للأغراض من مجرد ما دون ثانية واحدة إلى حوالي 2,75 ثانية. وكان متوسطا هذين الزمنين 3,907 ثانية للصفحة و1,436 ثانية للغرض.

الشكل 12

زمن الاستجابة الكلي للصفحة والغرض في بروتوكول HTTP في نمط الخدمة TOS = 1، بوجود حبو ناجم عن المطر



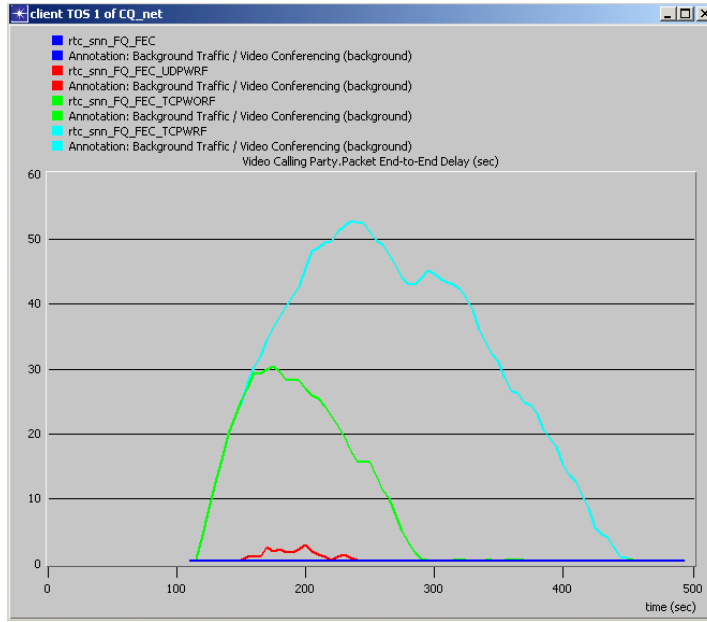
S.1897-12

3.2.3.3 تفاعل الطبقة المادية وطبقة النقل: أداء بروتوكول التحكم في الإرسال/بروتوكول وحدات بيانات المستعمل (TCP/UDP)

ينطوي بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) على مشكلات خاصة عند حدوث الازدحام أو أخطاء الإرسال. ويبين الشكل 13 أربع حالات تأخر من طرف إلى طرف لحركة مؤتمر فيديو في الاتجاه الأمامي بين المخدم 1 والعميل 1. وتتناول الحالات الأربع نقل بروتوكول وحدة بيانات المستعمل (UDP) دون خبو ناجم عن المطر، ونقل بروتوكول UDP بوجود خبو ناجم عن المطر، ونقل بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) دون خبو ناجم عن المطر، ونقل بروتوكول TCP بوجود خبو ناجم عن المطر. وفي كلتا حالتي TCP تم استخدام الإشعار الانتقائي (SACK) لإعادة تطبيع (RENO) البروتوكول. وتعرض البروتوكول TCP لتأخر ذروة بنحو 30 ثانية بعد حوالي 175 ثانية من زمن المحاكاة بسبب عملية الانطلاق. وفي تجربة TCP بوجود الخبو الناجم عن المطر، لم يتدارك البروتوكول تأخر الانطلاق عندما بدأ الخبو الناجم عن المطر. وأدى ذلك إلى تأخر ذروة بنحو 53 ثانية بعد مرور 240 ثانية من زمن المحاكاة.

الشكل 13

التأخرات من طرف إلى طرف لحركة مؤتمر فيديو في الاتجاه الأمامي بين المخدم 1 والعميل 1 لبروتوكول UDP دون خبو ناجم عن المطر، و UDP بوجود خبو ناجم عن المطر، وبروتوكول TCP دون خبو ناجم عن المطر، و TCP بوجود خبو ناجم عن المطر



S.1897-13

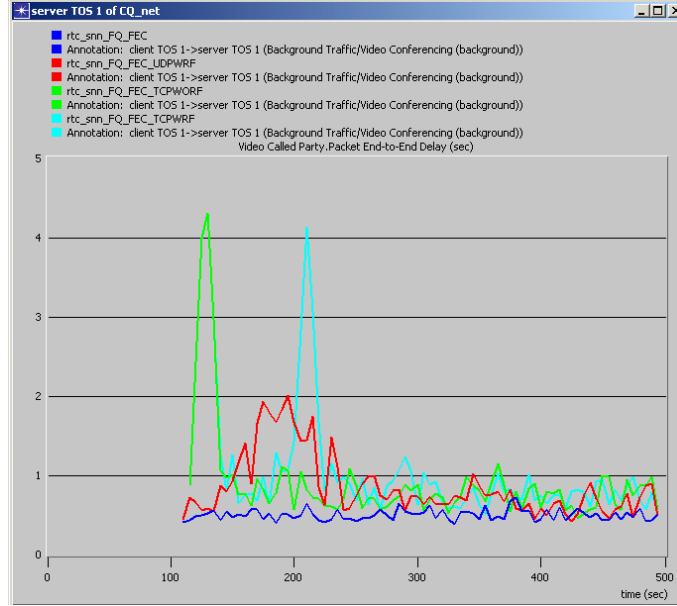
ويبين الشكل 14 الحالات الأربع ذاتها سوى أنه يتناول الحركة في الاتجاه العكسي، أي من العميل 1 إلى المخدم 1 حيث مستوى الحركة هو مجرد ربع الحركة في الاتجاه الأمامي. وفي كلتا حالتي TCP هنالك تأخر ذروة بسبب الانطلاق بنحو 4,2 ثواني يحدث بعد حوالي 130 ثانية تعقبه استعادة. وفي حالة الخبو الناجم عن المطر ثمة ذروة أخرى بنحو 4,1 ثواني تحدث بعد حوالي 210 ثواني من زمن المحاكاة ولكن سرعان ما تستأنف الحركة.

وفي كلا الشكلين 13 و14 لتجربتي TCP لم يسقط أي من الحركة في صفوف انتظار الصنف في مطراف التحكم في النفاذ إلى الوسائط (MAC). وقد منع البروتوكول TCP بكل بساطة التطبيق من ملء احتياطي دخله مما جعل التطبيق يضعه في صف الانتظار عند ذلك المستوى. وفي جميع هذه الحالات تم تسليم كامل الحركة في نهاية المطاف.

وتبين مقارنة الشكلين 13 و14 أثر حجم الحركة على التأخر باستخدام التحكم في الإرسال (TCP). بمثابة بروتوكول نقل باستخدام نفس المعلمات.

الشكل 14

التأخرات من طرف إلى طرف لحركة مؤتمر فيديو في الاتجاه العكسي بين العميل 1 والمخدم 1 لبروتوكول UDP دون خبو ناجم عن المطر، و UDP بوجود خبو ناجم عن المطر، و بروتوكول TCP دون خبو ناجم عن المطر، و TCP بوجود خبو ناجم عن المطر



S.1897-14

3.3.3 الخلاصة

تتطلب الشبكات الساتلية من الجيل التالي القائمة على أساس بروتوكول الإنترنت والتي تدعم التطبيقات المتعددة الوسائط ضمانات من حيث نوعية الخدمة. وتؤثر تفاعلات طبقة البروتوكول غير المجاورة على أداء نوعية الخدمة وعلى القدرة. وتبين نتائج المحاكاة التي تأخذ في الاعتبار أساليب تخفيف الخبو الناجم عن البث الفيديوي الرقمي DVB-S2 /DVB-RCS تأثير الخبو على معالم نوعية الخدمة، من قبيل توزيع عرض النطاق والتأخر وتغاير التأخر في المؤتمرات الفيديوية ونقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) وتطبيقات البيانات وبروتوكول التحكم في الإرسال وبروتوكول وحدة بيانات المستعمل (TCP/UDP).

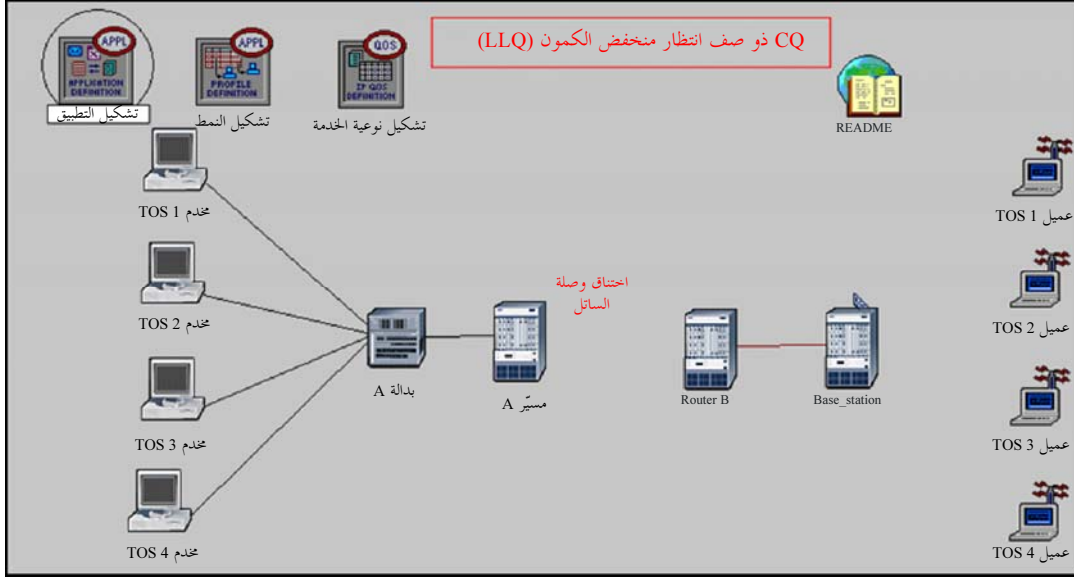
4.3 تجارب المحاكاة ونتائج الأداء – السيناريو 2

يقدم هذا القسم نتائج المحاكاة لنموذج شبكة هجينة باستخدام تصميم عابر للطبقات مع التأكيد الخاص على أثر الخبو على التوزيع الدينامي للموارد، أي التفاعل بين الطبقة المادية وطبقة التحكم في النفاذ إلى الوسائط (PHY-MAC) والتفاعل بين بروتوكول الطبقة المادية وبروتوكول طبقة النقل من قبيل بروتوكول التحكم في الإرسال/بروتوكول وحدة بيانات المستعمل (TCP/UDP). وقد استخدم نموذج نظام يستعمل البث DVB-S2 للوصلة الأمامية والبث DVB-RCS لوصلة العودة وهو موصول بشبكة WiFi للأرض. واستخدم نموذج OPNET لعمليات محاكاة الشبكة من المنبع إلى المصب.

1.4.3 نموذج شبكة المحاكاة

يتألف نموذج شبكة المحاكاة المبين في الشكل 15، وهو مقتبس من نموذج OPNET، من محطة قاعدة وأربعة محطات لا سلكية عميلة. والمسير A هو البوابة إلى طلبات الإنترنت التي تمثلها عقد المخدمات في يسار الشكل. ويؤدي المسير A أيضاً دور مطراف أرض للنفاذ إلى الساتل. ويؤدي المسير B دور مطراف أرض للساتل للعقد العميلة في شبكة المنطقة المحلية اللاسلكية في يمين الشكل. وهو موصول بالمحطة القاعدة في شبكة المنطقة المحلية اللاسلكية بواسطة وصلة إترنت. ويتصل العملاء في شبكة المنطقة المحلية اللاسلكية بالمخدمات في الاتجاه العكسي بإرسال الرزم عبر السطح البيني اللاسلكي إلى المحطة القاعدة.

الشكل 15
نموذج شبكة المحاكاة



S.1897-15

تحليل الخطة القاعدة الرزم إلى المستّر B الذي يحيلها بدوره عبر الساتل إلى المستّر A. ويحيل المستّر A الرزم التي يتلقاها من الساتل إلى المخدم الملائم. وتبع الحركة في الاتجاه الأمامي (من المخدم إلى العميل) عكس مسير العودة الموصوف لتوّه.

2.4.3 توفير نوعية الخدمة

رغبة في توفير نوعية الخدمة لمختلف التطبيقات، مثل المؤتمرات الفيديوية ونقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) وبروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP) واستجواب قواعد البيانات وبروتوكول نقل الملفات (FTP)، تم تصنيف الحركة إلى فئات بحيث تتألف عملية التحكم في النفاذ إلى الوسائط (MAC) في كل مطراف أرض من أربعة صفوف انتظار احتياطي لحركة الدخول. ويتم تصنيف الخدمة التفاضلية (DiffServ) للحركة، وتبعاً لنمط مجال الخدمة يُدخل صنف الحركة في احتياطي الصنف الملائم، أي وقت فعلي (RT) ومعدل تغاير-وقت فعلي (VR-RT) ومعدل تغاير-تحميل ارتعاش (VR-JT) وتحميل ارتعاش (JT). ويبين الجدول 1 تقابل مستوى التطبيقات و صفوف الانتظار الأربعة.

3.4.3 نموذج الحركة

يتضمن نموذج الحركة لتجارب المحاكاة الموصوفة في الفقرة 1.1.3.3 خمسة أصناف، وهي: المؤتمرات الفيديوية، ونقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP)، وبروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP)، واستجواب قواعد البيانات، وبروتوكول نقل الملفات (FTP)، كما هو مبين في الجدول 2. وتقدم هذه الحركة في أربعة أصناف من الخدمة تشتمل على أربعة صفوف انتظار عند التحكم في النفاذ إلى الوسائط (MAC) في مطراف الأرض.

4.4.3 تحميل الوصلة الساتلية

يؤدي استخدام نموذج الحركة إلى تحميل الوصلة الساتلية بنسبة 88,52% من سعتها. ويأخذ هذا الحمل في الحسبان حجم فواصل البيانات ومختلف أحجام رزم التطبيقات ورأسية التشفير والتشكيل التكيفيين (ACM) في الوصلة الأمامية ورأسية وصلة العودة.

5.4.3 معلمات المحاكاة

حدث الخبو الناجم عن المطر

يحدث حدث الخبو الناجم عن المطر بمقدار 10 dB أثناء المحاكاة في الوصلة الهابطة لعميل نمط الخدمة (TOS) 1 وعميل نمط الخدمة 2 ويتسم بالخصائص التالية:

الجدول 1

توفير نوعية الخدمة (الخدمة التفاضلية)

التقابل	صفوف الانتظار		مستوى التطبيق
0,1 -> JT	RT - معدل بتات ثابت في الوقت الفعلي	0	أفضل جهد
2 -> VR-JT	VR-RT - حركة معدل متغير في الوقت الفعلي	1	خلفية
3 -> VR-RT	VR-JT - حركة معدل متغير في الوقت الفعلي تتحمل الارتعاش	2	عادي
4,5,6 -> RT	JT - الحركة التي تتحمل الارتعاش وكل أنواع الحركة الأخرى	3	جهد ممتاز
		4	تدفق متعدد الوسائط
		5	وسائط متعددة تفاعلية
		6	صوت تفاعلي

معلمات الخبو

140 ثانية	زمن البدء
0,25 dB/s	معدل الرشقة
40 ثانية	مدة الرشقة
180 ثانية	زمن بدء الاستعادة
0,125 dB/s	معدل الاستعادة
260 ثانية	نهاية الخبو الناجم عن المطر

معلمات الرتل

فيما يلي المعلمات الرئيسية للوصلة الساتلية بتقسيم الزمن:

2,048 Mbit/s (مرفوعة للقوة 2)	معدل البتات الأساسي
150	عدد فواصل الطلب
128	عدد فواصل البيانات
20 بنة	فواصل الطلب في الوصلة الهابطة
47 بنة	فواصل الطلب في الوصلة الصاعدة
32 بنة	مخصص فواصل البيانات
424 بنة (مرفوعة للقوة 2)	فواصل البيانات الأساسية

يستخدم تقابل مستوى التطبيق ونوعية الخدمة، وحدث الخبو وأنساق الوصلة التي بحثت أعلاه بغية إجراء تجارب المحاكاة الموصوفة في الباب 5.

الجدول 2

نموذج الحركة

التطبيق	من	إلى	الحجم	الأولوية (نمط الخدمة)
مؤتمر فيديو	العميل 1	المخدم 1	kbit/s 15	خلفية (1)
نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP)	العميل 1	المخدم 1		أفضل جهد (0)
مؤتمر فيديو	المخدم 1	العميل 1	kbit/s 60	أفضل جهد (0)
نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP)	المخدم 1	العميل 1		أفضل جهد (0)
مؤتمر فيديو	العميل 2	المخدم 2	kbit/s 15	عادي (2)
مؤتمر فيديو	المخدم 2	العميل 2	kbit/s 60	عادي (2)
بروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP)	العميل 2	المخدم 2	طلب رزمة	أفضل جهد (0)
بروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP)	المخدم 2	العميل 2	صفحة استجابة	أفضل جهد (0)
مؤتمر فيديو	العميل 3	المخدم 3	kbit/s 15	جهد ممتاز (3)
مؤتمر فيديو	المخدم 3	العميل 3	kbit/s 60	جهد ممتاز (3)
استجاب قاعدة بيانات	العميل 3	المخدم 3	رزمة استجاب	أفضل جهد (0)
استجابة قاعدة بيانات	المخدم 3	العميل 3	kbit/s 0,512	أفضل جهد (0)
مؤتمر فيديو	العميل 4	المخدم 4	kbit/s 15	تدفق متعدد الوسائط (4)
مؤتمر فيديو	المخدم 4	العميل 4	kbit/s 60	تدفق متعدد الوسائط (4)
بروتوكول نقل الملفات (FTP)	العميل 4	المخدم 4	ملف 8 kbit/s في رزم 1 500 بايتة	جهد ممتاز (3)
بروتوكول نقل الملفات (FTP)	المخدم 4	العميل 4	ملف 8 kbit/s في رزم 1 500 بايتة	أفضل جهد (3)

6.4.3 نتائج تجارب المحاكاة

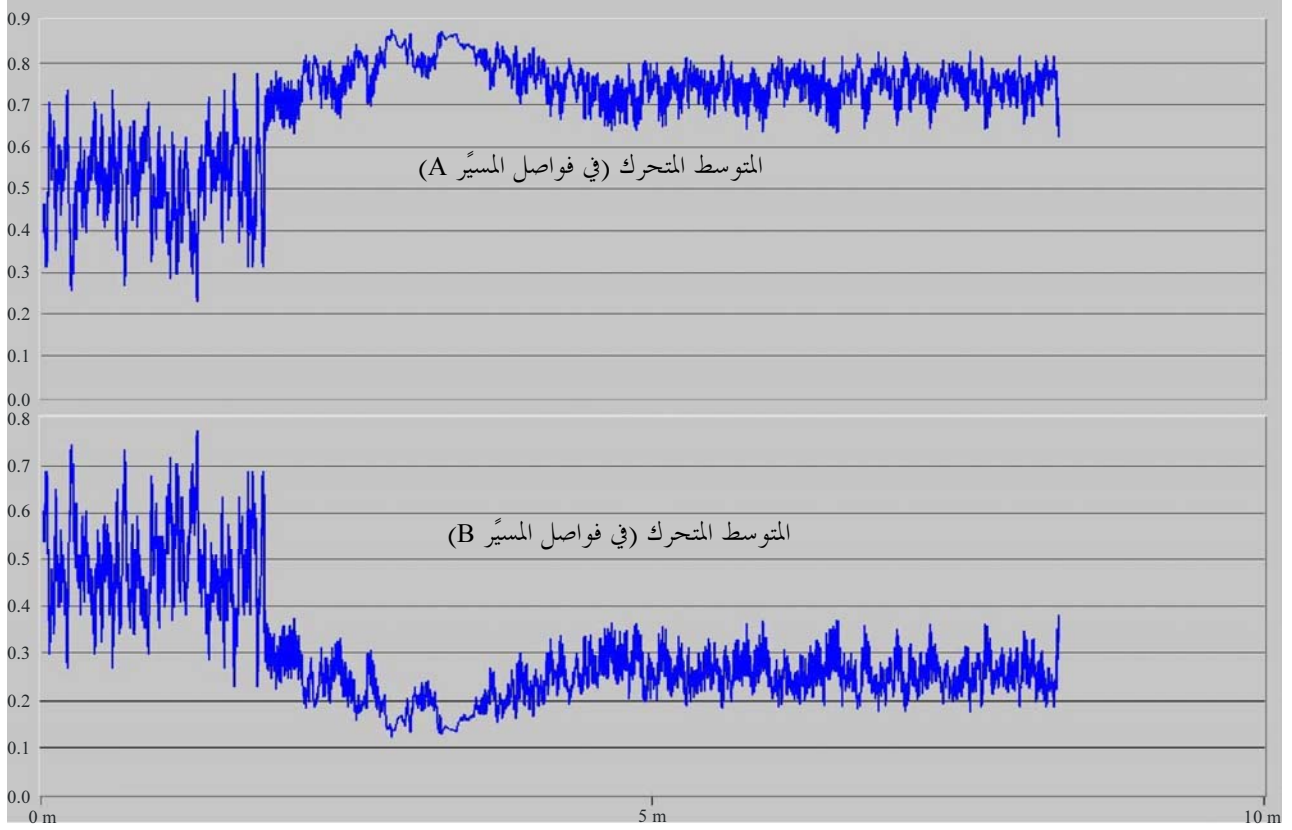
يقدم هذا القسم نتائج تجارب المحاكاة لتوزيع النطاق العريض بوجود الخبوء. ويرد فيه وصف أثر الخبوء على معالم نوعية الخدمة في التطبيقات المتعددة الوسائط، من قبيل تغاير تأخر الرزم والارتعاش وزمن الاستجابة والحركة المستقبلية، من طرف إلى طرف. ومن التطبيقات التي كانت موضوع المحاكاة: المؤتمرات الفيديوية، ونقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) (الصمت بحسب التوصية G.729) وبروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP) واستجاب قواعد البيانات وبروتوكول نقل الملفات (FTP). ويتألف نموذج الشبكة من شبكة ساتلية SATCOM موصولة بشبكة WiFi من خلال محطة قاعدة وأربع عُقد، وتتألف شبكة SATCOM من بث DVB-S2 لبروتوكول الوصلة الأمامية وبث DVB-RCS لوصلة العودة.

1.6.4.3 توزيع عرض النطاق بوجود الخبوء

يبين الشكل 16 التوزيع الإجمالي لفواصل البيانات إلى مطراف البوابة A (GTA) ومطراف البوابة B (GTB) بوجود الخبوء الناجم عن المطر كدالة في زمن المحاكاة. وتستخدم خوارزمية عرض النطاق حسب الطلب، التي بحثت في الفقرة 2.3، لتحديد توزيع فواصل البيانات للمسيريات. ويبين كل منحني ذلك الجزء من مجموع فواصل البيانات المتاحة والمخصصة للعقد المعرفة بوسم المنحني.

الشكل 16

المتوسط المتحرك لتوزيع فواصل بيانات DAMA من أجل البوابتين GT_A و GT_B بوجود خبو ناجم عن المطر



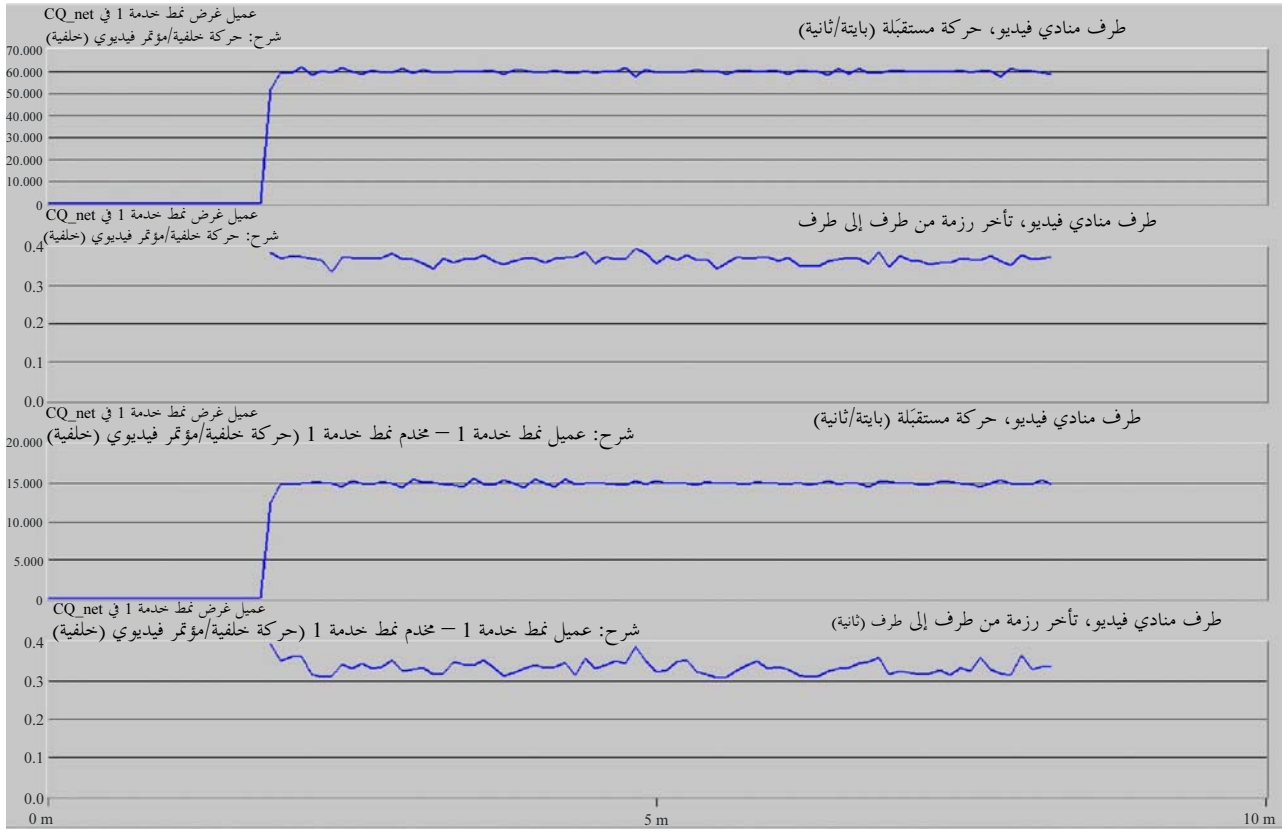
S.1897-16

2.6.4.3 المؤتمرات الفيديوية

يصف هذا القسم أداء التأخر من طرف إلى طرف والحركة المرسله والمستقبلة في المؤتمرات الفيديوية. وهو يتناول أربعة أصناف مختلفة من أنماط الخدمة (TOS) بما فيها الخلفية والعادي والجهد الممتاز وحركة تدفق الوسائط المتعددة. ويبين الشكل 17a نمط خدمة حركة المؤتمر الفيديوي بين العميل 1 والمستخدم 1 دون خبو والشكل 17b بوجود الخبو. ويزداد التأخر من طرف إلى طرف لكل من الطرف المنادي والطرف المنادى بوجود الخبو. ويبين الشكل 17c مختلف أصناف المؤتمر الفيديوي لتدفق الوسائط المتعددة بوجود الخبو الناجم عن المطر. وتبين هذه المنحنيات انتشار التأخر لمختلف أصناف الحركة. وفي أثناء الخبو الناجم عن المطر، تعاني الحركة ذات الأولوية الأقل من قدر أكبر بكثير من التأخر مما تعانيه الحركة ذات الأولوية الأعلى.

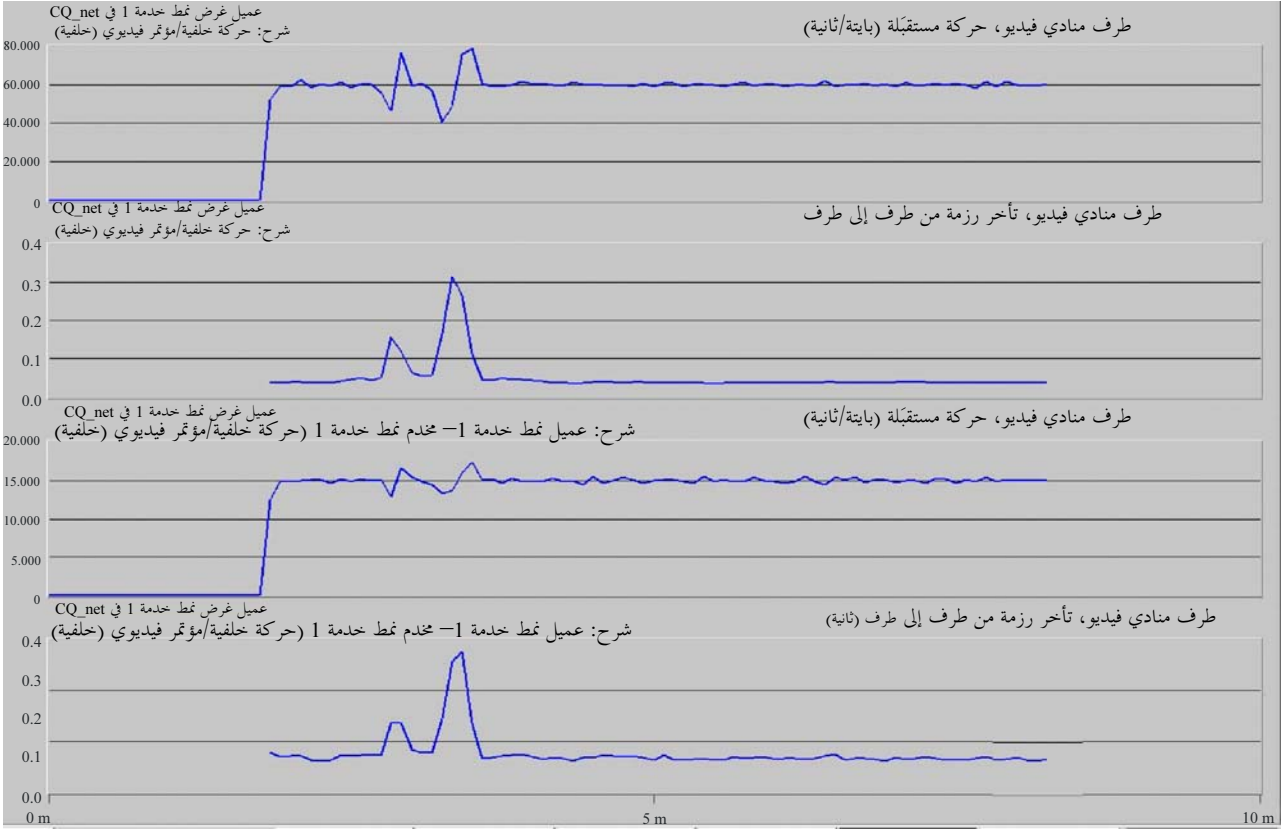
الشكل 17a

المؤتمر الفيديوي بين العميل 1 والمخدم 1، نمط الخدمة TOS = خلفية دون خبو ناجم عن المطر



الشكل 17b

المؤتمر الفيديوي بين العميل 1 والمخدم 1، نمط الخدمة TOS = خلفية بوجود خبو ناجم عن المطر

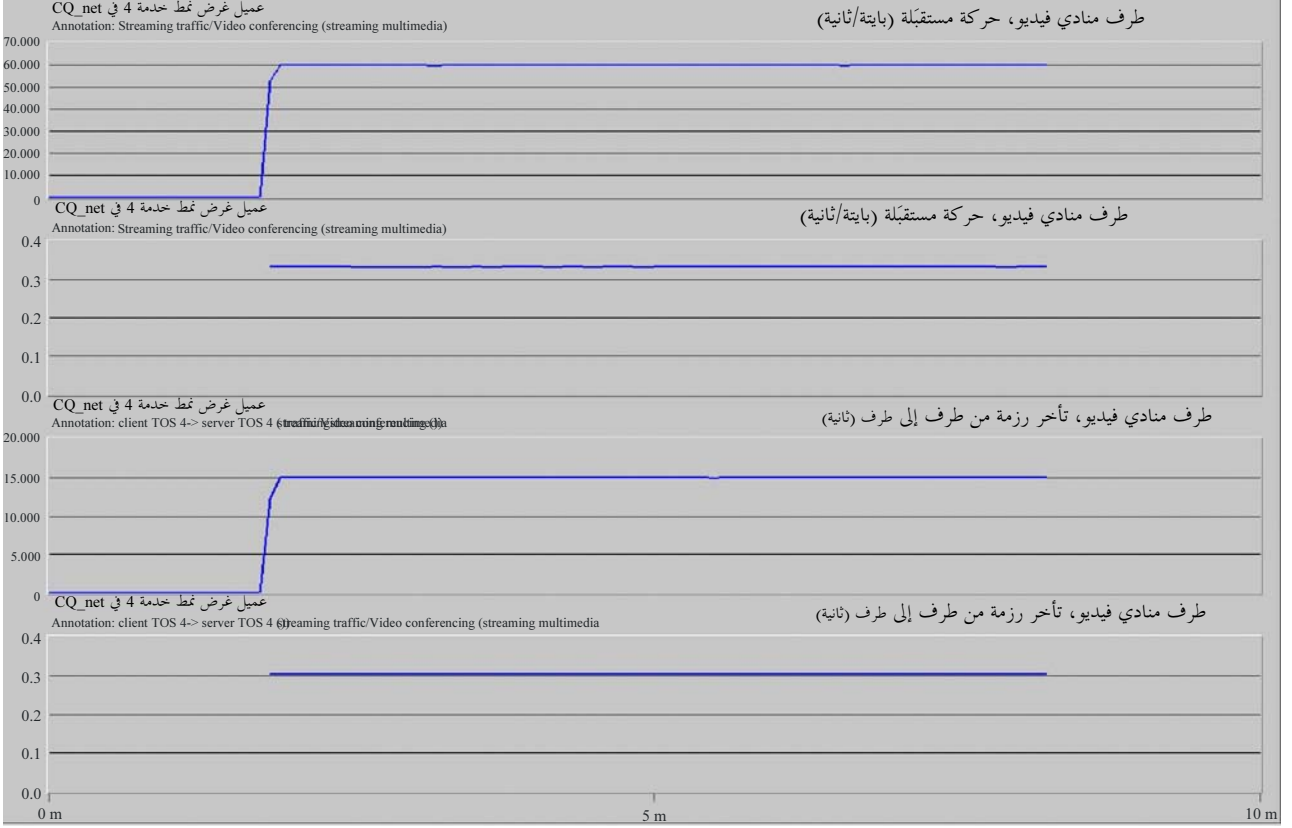


S.1897-17b

لم تتأثر الحركة ذات الأولوية الأعلى، مثل تدفق الوسائط المتعددة أو الصوت التفاعلي، بالخبو الناجم عن المطر لأن تخصيصها كان من توزيع مسبق التفاوض بشأنه. إذ ينخفض مثلاً التأخر من طرف إلى طرف بالنسبة إلى الطرف المنادي من 3 ثوان (الشكل 17b) في صنف الخلفية إلى 0,58 ثانية في حركة الجهد الممتاز إلى 0,32 ثانية في التدفق المتعدد الوسائط بوجود الخبو الناجم عن المطر.

الشكل 17c

مؤتمر فيديو بين العميل 4 والمخدم 4، نمط الخدمة TOS = تدفق متعدد الوسائط بوجود خبو ناجم عن المطر



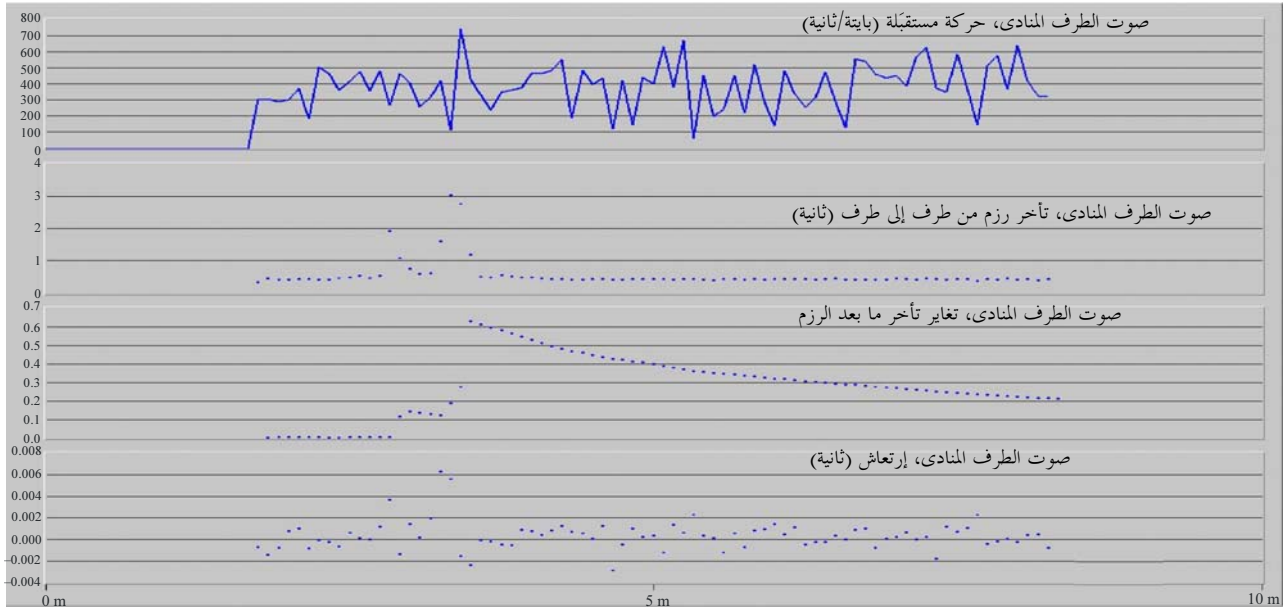
S.1897-17c

3.6.4.3 تأخر وارتعاش نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP): صنف أفضل جهد بوجود الخبو

يبين الشكل 18 المجموع الكلي لتغاير وارتعاش تأخر رزمة الصوت من طرف إلى طرف بوجود خبو ناجم عن المطر. وقد بلغ التأخر من طرف إلى طرف 1,5 ثانية أثناء الخبو الناجم عن المطر وبقي قريباً من 0,5 ثانية في الأوقات الأخرى. وكان لتغاير تأخر الرزمة ذروة قريبة من 0,08 ثانية تريبع ثم انحدر إلى 0,025 ثانية في نهاية عملية المحاكاة. وبلغت ذروة الارتعاش نحو 0,0045 ثانية أثناء الخبو الناجم عن المطر. وكان في الأوقات الأخرى يتراوح من 0,0025 إلى 0,002 ثانية.

الشكل 18

حركة VoIP (صمت حسب التوصية G.729) المستقبلة عند المخدم 1،
نمط الخدمة TOS = أفضل جهد بوجود الحبو الناجم عن المطر



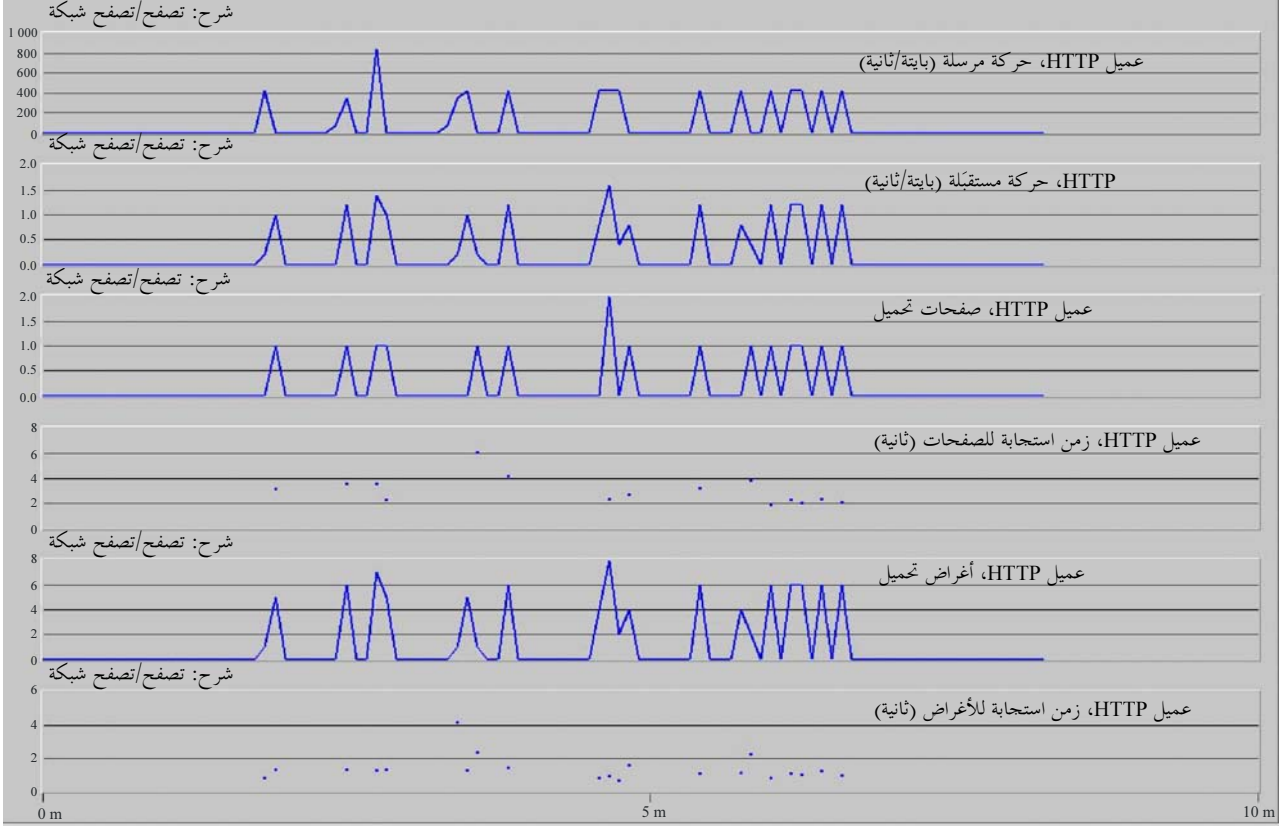
S.1897-18

4.6.4.3 بروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP): زمن الصفحة والاستجابة

يبين الشكل 19 الحركة المرسل والمستقبلة، وصفحات التنزيل، والأغراض. ويتراوح زمن استجابة الصفحة من ثانيتين إلى حوالي 6 ثوان. ويتفاوت زمن استجابة الغرض من ثانية واحدة إلى 4 ثوان في ظروف الحبو الناجم عن المطر بافتراض أفضل جهد لصنف الحركة.

الشكل 19

حركة بروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP) بين العميل 2 والمخدم 2،
نقط الخدمة TOS = أفضل جهد، بوجود الحبو الناجم عن المطر



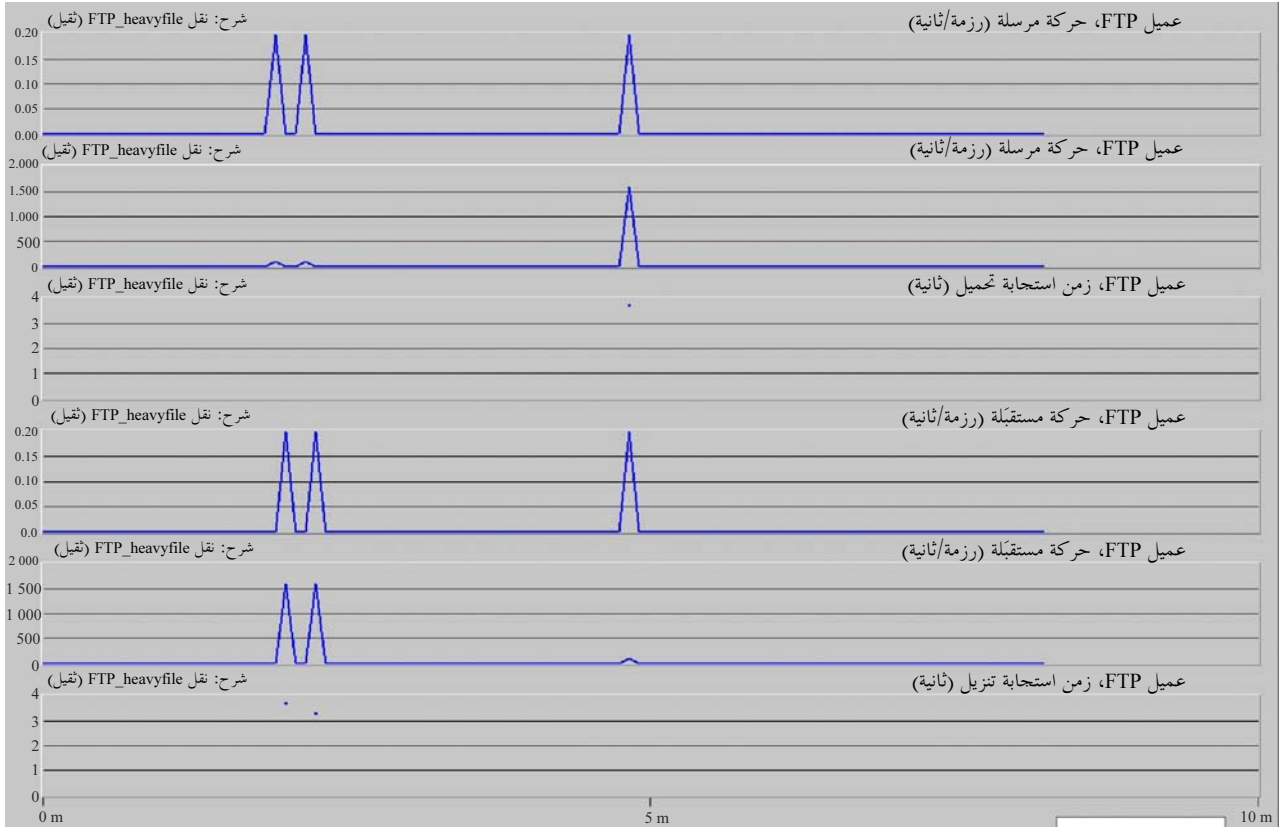
S.1897-19

5.6.4.3 حركة بروتوكول نقل الملفات (FTP)

يبين الشكل 20 صنف أفضل جهد لحركة بروتوكول نقل الملفات، الرزم المرسله في الثانية والرزم المستقبله في الثانية وأزمان الاستجابة.

الشكل 20

حركة بروتوكول نقل الملفات (FTP) بين العميل 4 والمخدم 4



S.1897-20

يبين الجدول 3 الأداء النسبي لكل من أصناف نمط الخدمة (TOS) بالنسبة إلى الفيديو والصوت وبروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP). والحركة المرسله بموجب أعلى نمط خدمة (4) (وهي تستخدم تخصيصاً بمعدل ثابت، CRA) أقل تأثيراً بحدوث الخبو الناجم عن المطر وتتسم بأقل قدر من التأخر. أما الحركة ذات الأولوية الأقل (TOS 1) فهي تعاني من تأخر كبير ومن تساقط في الرزم أثناء الخبو الناجم عن المطر. وربما لا تناسب هذه الأولوية تطبيقات النطاق العريض العالية التي تستخدم بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP).

الجدول 3

الأداء النسبي لأصناف نمط الخدمة (TOS)

الأداء النسبي لنمط الخدمة						
HTTP		صوت		فيديو		
غرض	صفحة	خلف	أمام	خلف	أمام	
1,404	3,927	0,4319	0,5036	0,4458	0,4619	TOS 1
1,338	3,312	0,4341	0,5024	0,3823	0,4433	TOS 2
1,262	2,984	0,4265	0,4399	0,3625	0,3911	TOS 3
-----	-----	0,3484	0,4071	0,2937	0,3713	TOS 4

ملاحظة - كل النتائج معبر عنها بالثواني.

7.4.3 الخلاصة

يستخدم إطار المحاكاة القائم على التصميم عبر الطبقات لتقييم أثر الخبو الناجم عن المطر والتخفيف الذي يعزى إلى البث DVB-S2 في التطبيقات المتعددة الوسائط. وقد بينت عمليات المحاكاة أثر الخبو على التطبيقات، من قبيل المؤتمرات الفيديوية ونقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) وبروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP) واستجواب قواعد البيانات وبروتوكول نقل الملفات (FTP) من حيث معلمات نوعية الخدمة (QoS). وقد شملت معلمات نوعية الخدمة توزيع عرض النطاق والتأخر من طرف إلى طرف وتغاير التأخر والارتعاش.

4 نوعية الخدمة القائمة على عبور الطبقات من أجل نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) في الشبكات الهجينة الساتلية-WiMAX

1.4 مقدمة

يقدم هذا القسم نتائج الاستمثال عبر الطبقات لإرسال الحركة في الوقت الفعلي عبر شبكات هجينة تستخدم الساتل DVB-RCS/S2 وشبكة WiMAX المبينة في الشكل 4. وتركز هذه المحاكاة على تجارب نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP). بما يخفف مجموع تأخر الإرسال والارتعاش. وقد جرى استخدام سيناريو يدور حول المستعمل النهائي مع تكييف معدل كودك. كما جرى تحليل تكييفين ممكنين لمعدل كودك عبر الطبقات: (أ) ثمّة مصرف كودك متوفر في كلا طرفي الإرسال وثمّة بدالة كودك تدار بواسطة تقارير بروتوكول التحكم في النقل في الوقت الفعلي (RTCP)؛ (ب) استعمال كودكات النطاق العريض التكيفية (وهي في صميمها عابرة للطبقات عبر الشبكات). وتشهد آليات التصميم عبر الطبقات على الميزة المحتملة في تخفيض مجموع تأخر الإرسال والارتعاش وفي زيادة مجموع السعة إلى حد كبير حتى في بيئات السواتل المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GEO).

2.4 تكييف معدل VoIP عبر الطبقات

تقترح هذه المساهمة اتباع نهج تحكم في معدل موزع عبر الطبقات من أجل تدفقات نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) اعتماداً على تقارير بروتوكول التحكم في النقل في الوقت الفعلي (RTCP). وثمّة مصرف كودك متوفر في كلا طرفي الإرسال وبدالة كودك تدار بواسطة تقارير RTCP. ويبين الشكل 21 معمارية بروتوكول الشبكة وتدفقات المعلومات المطلوبة.

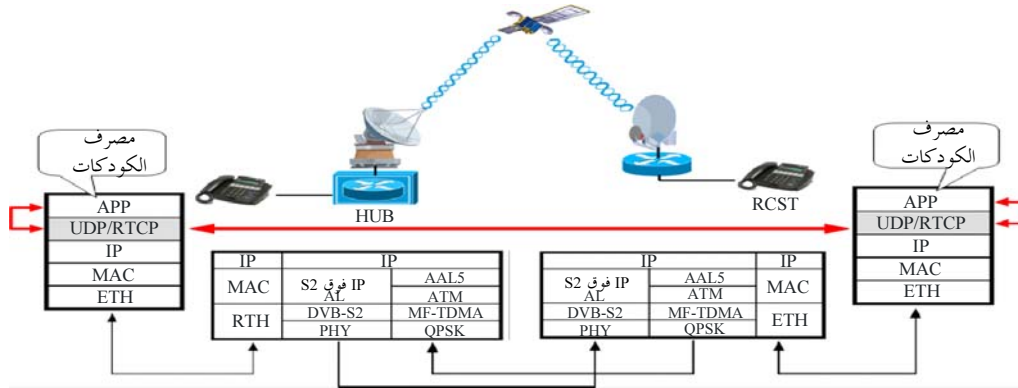
1.2.4 النهج القائم على بروتوكول التحكم في النقل في الوقت الفعلي (RTCP)

توفر مستقبلات بروتوكول الوقت الفعلي (RTP) معلومات مرتجعة عن نوعية الاستقبال باستخدام رزم تقارير RTCP التي قد تتخذ أحد شكلين تبعاً لما إذا كان المستقبل مرسلًا أيضاً أم لا. والفارق الوحيد بين شكل تقرير المرسل (SR) وتقرير المستقبل (RR)، إلى جانب شفرة نمط الرزمة، هو أن تقرير المرسل يتضمن قسماً لمعلومات المرسل قوامه 20 بايتة ليستخدمه المرسلون النشطون. ويُصدّر تقرير المرسل إذا أرسل موقع ما أي رزم بيانات أثناء الفترة منذ إصدار آخر تقرير أو التقرير الأسبق، وإلا يُصدّر تقرير المستقبل.

وُستخلص المعلومات عن الارتعاش والتأخر وفقدان الرزم من هذه التقارير في كل من طرفي الإرسال وترسل إلى طبقة التطبيقات. ويقاس الارتعاش بواسطة بروتوكول RTCP ويُدْرَج القياس في رسائل RR التي يرسلها المستقبل. وبما أن هذه القيمة تقاس في وحدات المعاينة، بغية تحويلها إلى وحدات زمن، فلا بد من تقسيمها على معدل المعاينة في كودك الوسائط.

الشكل 21

العمارية القائمة على بروتوكول التحكم في النقل في الوقت الفعلي (RTCP)



S.1897-21

الجدول 4

الكودكات التي نظر فيها من أجل سيناريو قائم على بروتوكول RTCP

سبب الانتقاء	معدل بتات التشفير (kbps)	نمط التشكيل	كودك ITU-T
نطاق ضيق، شائع الاستعمال، "نوعية أداة"	64	انضغاط وتمدد PCM	G.711
نطاق ضيق، شائع الاستعمال بعد توصية G.711	8	*CS-ACELP	G.729
نطاق عريض	32 / 24	تشفير تحويلي	G.722.1

* تنبؤ خطي مستنار الشفرة ذو بنية اقتران جبري.

يمكن حساب التأخر بين نظيرين بحساب الفرق بين ثلاثة أزمنة، مثل التأخر منذ آخر تقرير من المرسل (DLSR)، وحقول زمن آخر تقرير من المرسل (TLSR) في رزم مستقبل بروتوكول RTCP وخاتم توقيت استلام التقرير. ويتم الحصول على معدل التأخر بين مواعيد الوصول والارتعاش وفقدان الرزم من حقل الارتعاش بين جهات الوصول وحقول العدد الإجمالي للرزيم المفقودة في رزمة تقرير مستقبل RTCP، على التوالي. ويمكن حساب تأخر الارتعاش بين جهات المقصد من قيم التأخر المتلقاة من جميع عناصر مجموعات البث المتعدد الأخرى.

1.1.2.4 مصرف الكودكات

يفترض وجود مصرف كودكات في نهاية كل إرسال، وهو افتراض واقعي بالنسبة إلى العديد من رزم برمجيات نقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) المتوفرة حالياً. ويمكن أن يتحول التطبيق إلى كودك مختلف وفقاً للمعلومات المستخلصة من تقارير بروتوكول RTCP. وعلى وجه الخصوص، فإن التحول إلى كودك بمعدل بتات أدنى (أو أعلى) يحدث كلما كانت قيمة التأخر أو الارتعاش التي يبلغ عنها بروتوكول RTCP فوق (أو دون) القيم المطلوبة. ويتضمن الجدول 4 الكودكات وأهم خصائصها التقنية.

2.2.4 نهج النطاق العريض متعدد المعدلات التكيفي (AMR-WB)

تقوم الآلية الثانية عبر الطبقات على تقارير بروتوكول التحكم في النقل في الوقت الفعلي (RTCP) التي تفسر إلى جانب التشوير المستخلص من رزم النطاق العريض متعدد المعدلات التكيفي (AMR-WB).

1.2.2.4 كودك النطاق العريض متعدد المعدلات التكيفي (AMR-WB)

تقوم خوارزميات تشفير النطاق العريض متعدد المعدلات التكيفي على أساس تكنولوجيا تنبؤ خطي مستتار الشفرة ذي بنية اقتران جبري (ACELP) تتألف من 9 معدلات خطاب. وكانت هذه التكنولوجيا ذاتها تستخدم في مختلف معايير كودك الخطاب، مثل المعدل الكامل المعزز (EFR) للنظام العالمي للاتصالات المتنقلة (GSM) (3GPP TS 06.51) والنطاق الضيق المتعدد المعدلات التكيفي (AMR) للنظام GSM (3GPP TS 26.071). وعنصر الجودة الرئيسي في النطاق العريض متعدد المعدلات التكيفي (AMR-WB) هو بنية النطاق الفرعي التي تمكن من وفورات هامة من حيث التعقيد واستهلاك الذاكرة. وينقسم النطاق السمعي إلى نطاقي تردد بحيث يكون تردد المعاينة الداخلي للأساس بمقدار 12,8 kHz، وعرض نطاق سمعي في مجال 50-6 400 Hz. وتجري معالجة منفصلة لمدى التردد من 6 400 إلى 7 000 Hz، حيث يمكن توزيع المزيد من البتات للنطاق الأدنى الهام من حيث الإدراك. وعند التشغيل بمعدل بتات منخفض، يتم اصطناع النطاق الأعلى بناءً على خصائص النطاق الأدنى، بينما يتم عند أعلى معدل بتات الاحتفاظ ببتات إضافية لتشفير إشارة النطاق العالي. وثمة ميزة أخرى لبنية النطاق الفرعي وهي أن الرتل الذي يدوم 20 ms يحتوي، بفضل المعاينة بتردد 12,8 kHz، 256 عينة ومن ثم يكفل كفاءة العمليات في مستوى البتات ومخططات التكمية (من أجل خوارزميات التنبؤ الخطي الجبري باستشارة الشفرة (ACELP) مثلاً).

ولا بد من التأكيد على أن استعمال خطاب نطاق عريض في شبكة بروتوكول إنترنت لا يجلب المزيد من التعقيد إلى النظام مقارنة بالنطاق الضيق. وفي إطار شبكة بروتوكول الإنترنت يكون التشغيل بحكم التعريف متحرراً من محوّل الشفرة، إذ يرسل الخطاب المضغوط في رزم بروتوكول إنترنت من طرف إلى طرف.

2.2.2.4 تكييف المعدل عبر الطبقات - طلب أسلوب كودك (CMR)

تستخدم في عمليات المحاكاة بيانات التشوير عبر الطبقات لرزمة النطاق العريض متعدد المعدلات التكيفي (AMR-WB) وتُدعى طلب أسلوب كودك لتكييف معدل تدفق VoIP. ويبين الطلب CMR للطرف الآخر أسلوب التشفير المطلوب. ثم يجب بعدئذ احتساب الطلب CMR (لكي يكتب في الحمولة النافعة للصوت في بروتوكول الإنترنت) واستخلاصه من الحمولة النافعة في بروتوكول الإنترنت، وذلك لانتقاء الكودك الملائم من أجل الإرسال. ويتم احتساب CMR بناءً على قياسات النوعية، ويفترض أن يعتمد على كل من حالة الوصلة وتقارير البروتوكول RTCP. وثمة فارقان رئيسيان بين السيناريو القائم على بروتوكول RTCP التكيفي والسيناريو القائم على النطاق AMR-WB، وهما: (1) أن تواتر التقارير التي يرسلها البروتوكول RTCP قد لا يكون متزامناً مع سرعة التكييف التي تتطلبها الطبقة المادية، (2) وأن أعلى معدل بتات في كودكات AMR-WB هو أقل من نصف ما جاء في التوصية ITU-T G.711 ومن ثم تمكّن نفس حمولة النظام عدداً أكبر من توصيلات نقل الصوت VoIP.

ويلاحظ أن التشوير الوارد عبر الطبقات في كلا النطاق AMR-WB والبروتوكول RTCP يسمح بتكييف موزع بالكامل لمعدل بتات نقل الصوت VoIP عبر الطبقات.

3.4 نموذج أداء شبكة الساتل-WiMAX

1.3.4 نموذج التأخر

يتمثل نموذج ميزانية التأخر لكل شبكة فرعية كما يلي:

$$(1) \quad T_{tot} = T_{codec} + T_{network1} + T_{network2} + T_{layout}$$

$$(2) \quad T_{network\ i} = T_{MAC}^i + T_{trans}^i + T_{prop}^i, \quad i=1 \text{ (DVB-S2/RCS)}, \quad 2 \text{ (WiMAX)}$$

حيث T_{codec} هو التأخر الذي يدخله الكودك، وهو كما يلي:

$$(3) \quad T_{codec} = T_{fr} + T_{la} + T_{proc} + T_{pack}$$

حيث T_{pack} هو التأخر المدخل لدى كبسلة أكثر من رزمة صوت لكل رزمة IP، و T_{fr} هو تأخر الترتيل، و T_{la} هو تأخر الاستشراق (لأغراض التنبؤ) و T_{proc} هو تأخر المعالجة. و T_{MAC}^i هو التأخر المدخل في صف انتظار التحكم في النفاذ إلى الوسائط (MAC) والبرمجة الزمنية في الشبكة i . و T_{trans}^i هو زمن الإرسال في الشبكة i . و T_{prop}^i هو زمن الانتشار في الشبكة i ، شبكة ساتلية مستقرة بالنسبة إلى الأرض (GEO). وأخيراً $T_{playout}$ هو تأخر القراءة لتسوية الارتعاش.

4.4 نتائج الأداء

1.4.4 الشبكة الفرعية الساتلية: تكييف المعدلات الكلي

يقدم هذا القسم نتائج المحاكاة للشبكة الفرعية الساتلية. وتجري محاكاة الحركة الكلية من نمط الإرسال العاجل (EF) في الوصلة الأمامية التي تتحكم فيها طبقة التحكم في النفاذ إلى الوسائط (MAC) لضمان تأخر لا يتجاوز 270 ms (أي 20 ms زيادة على تأخر الانتشار). ويقابل النظام المحمل بالكامل حمولة إرسال عاجل (EF) بمعدل 10 Mbit/s مع مصرف كودكات ومعدل 3,5 Mbit/s باستخدام كودك النطاق AMR-WB. وقد وضعت عتبتان، واحدة لتتقيص عدد الشفرات وأخرى لزيادتها، ما يشكل مدى من التخلفية المغنطيسية من أجل تجنب التقلبات السريعة بين معدلات خطاب VoIP عندما تقوم القناة بخبو سريع.

ويبين يسار الشكل 22 سيناريو تكييفي قائم على بروتوكول RTCP ويعاكس أثر خبو ناجم عن المطر قدره 12 dB. ويلاحظ أن تكييف المعدل الكلي أثناء أحداث المطر يبلغ حوالي خمس دقائق. وفي كلتا الحالتين يوفر النظام التأخر المضمون إذ لا يلاحظ توهين القناة من جانب حركة الإرسال العاجل (EF). ويلاحظ أيضاً أن هذه الحالة الأخيرة تفوق من حيث الأداء تكييف المعدل القائم على بروتوكول RTCP وذلك للأسباب التالية:

- (1) لا يضيف السيناريو عابر الطبقات رأسية تشوير (تقارير RTCP) في النظام؛
- (2) يتسم كودك النطاق AMR-WB بنوعية صوت متأصلة أعلى (نطاق عريض)؛
- (3) يبقى أعلى معدل بتات AMR-WB أخفض من معدل بتات التوصية ITU-T G.711 ومن ثم يستطيع النظام قبول عدد أكبر من التوصيلات؛
- (4) على غرار خط الأساس التكييفي القائم على بروتوكول RTCP، يمكن اعتبار تكييف نقل الصوت VoIP بمثابة تحكم في حمولة النظام.

ولا يقتصر النموذجان على توفير تأخر مضمون بل يمكن أيضاً من توفر القدر الكافي من الموارد لخدمة كل المستعملين. ويُنظر في استعمال قناة بعرض نطاق 30 MHz (R_s) من أجل بث DVB-S2 له 23 أسلوباً للتشكيل والتشفير التكييفين (ACM) (حيث η_m هي الكفاءة الطيفية للتشكيل والتشفير m). ولذا تتحقق السعة القصوى في المطراف الساتلي لقناة العودة (RCST) لدى المستعملين ($N_{u,max}$) عندما يستعملون كلهم أعلى معدل خطاب VoIP على النحو التالي:

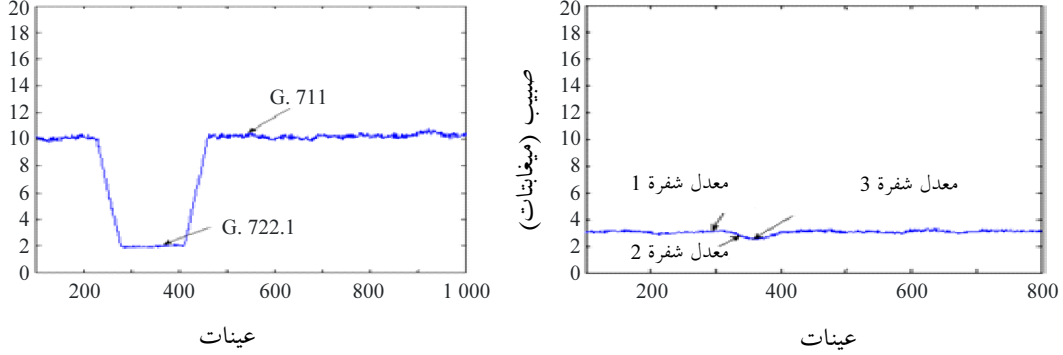
يبلغ طول كل رزمة حمولة نافعة من الخطاب مقدار $R_{VoIP} \cdot t_{pkt}$ ، حيث يشار إلى R_{VoIP} في الجدول 4، و t_{pkt} هي فترة الرزمة وتبلغ 20 ميلي ثانية لجميع الشفرات. وبعد إضافة جميع الراسيات (RTP/UDP/IP) بمقدار 12/8/20 بايتة على التوالي، يكون العدد الكلي لبايتات تدفق VoIP (n_{VoIP}) هو: $n_{VoIP}^i = n_{RTP}^i + n_{UDP}^i + n_{IP}^i$ ، حيث i هي شفرة الخطاب المستعملة. ومن جهة أخرى، يكون عدد بتات كل رتل في معيار البث DVB-S2 هو $R_s \cdot \eta_m \cdot T_f$. حيث T_f هي فترة إرسال عدد N من أرتال النطاق الأساس.

ولذلك فإن عدد المستعملين الذين يمكن خدمتهم هو:

$$(4) \quad N_u = \left\lfloor \frac{T_f \cdot \eta_m \cdot R_s}{n_{VoIP}^i} \right\rfloor$$

الشكل 22

صبيب 100 مطراف بث DVB-RCS مجمعة ومرسلة عاجلاً في حال توهين قناة بمقدار 12 dB ومعدل تحكم قائم على بروتوكول RTCP (يسار) ونطاق عرض تكميفي AMR-WB (يمين). يلاحظ أن حمولة نظام AMR-WB أخفض بحكم معدلات بتات أخفض لتحقيق أفضل نوعية

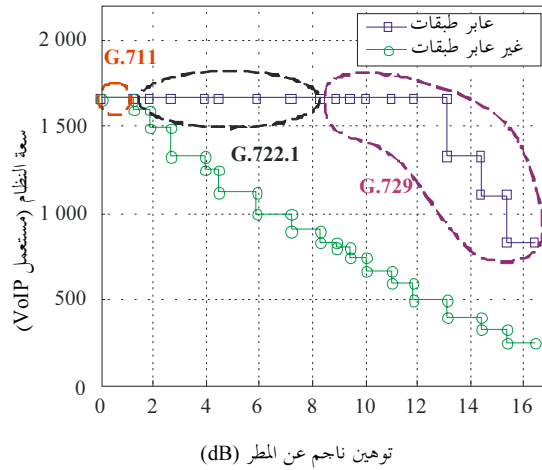


S.1897-22

يقدم الشكل 23 مقارنة بين النهج عابر الطبقات والنهج غير عابر الطبقات. وتتحقق السعة القصوى في ظروف سماء صافية (0 dB). ويعزى شكل التدرج السلبي لتكثيف التشكيل والتشفير إزاء توهين القناة. وتنخفض الكفاءة الطيفية بتزايد التوهين بسبب المطر ومن ثم تتناقص السعة. ويلاحظ أن التصميم عابر الطبقات يسمح بالحفاظ على عدد المستعملين بالنسبة إلى أحوال توهين أدنى من 13 dB، بل لتوهين يصل إلى 15 dB، حيث لا تنخفض السعة لدرجة خطيرة. ولكن إذا لم يطبق النهج عبر الطبقات، فإن السعة تتناقص إلى حد كبير، حيث تسجل خسارة في السعة بنسبة 50% عندما يبلغ التوهين 8 dB.

الشكل 23

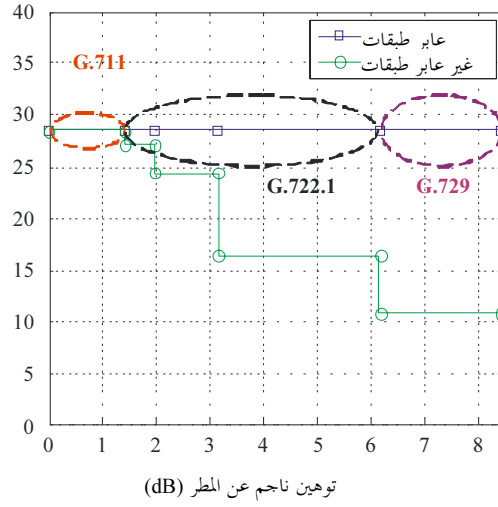
سعة VoIP لشبكة فرعية ساتلية كدالة لأحوال قناة الوصلة الأمامية (DVB-S2)



S.1897-23

الشكل 24

سعة VoIP لشبكة فرعية ساتلية كدالة لأحوال
قناة وصلة العودة (DVB-RCS)



S.1897-24

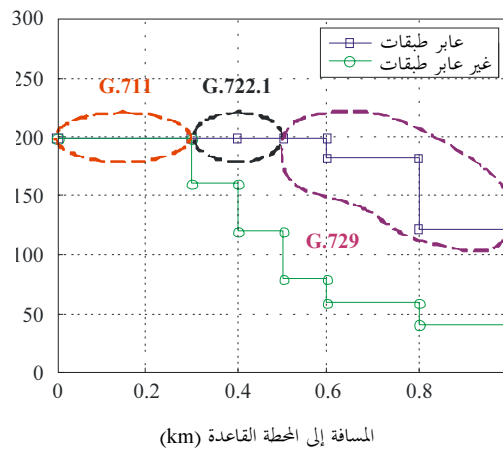
في الشكل 24، اتبع إجراء مماثل لحساب السعة في قناة العودة (DVB-RCS). في هذه الحالة يفترض وجود قناة بتردد 1 MHz ومدة رتل (T_p) قدرها 26,5 ms. ويلاحظ أن تكييف مشفر الخطاب عبر الطبقات يتجنب أي تخفيض في عدد مستعملي VoIP.

2.4.4 أداء الشبكة الفرعية للأرض

يعرض هذا القسم نتائج محاكاة أداء شبكة فرعية. ويُؤخذ بتكييف معدل في مستوى المستعمل النهائي، ما بين المحطة القاعدة (BS) وتجهيزات المستعمل (UE) للحفاظ على السعة التي توفرها الشبكة الفرعية WiMAX. وتتوفر نتائج أداء السعة باتباع وعدم اتباع نهج التصميم عبر الطبقات.

الشكل 25

أداء سعة WiMAX VoIP لنهج عابر وغير عابر للطبقات
تبعاً لأحوال القناة



S.1897-25

وعلى غرار الشبكة الفرعية الساتلية، يفترض وجود طبقة مادية تكيفية تتألف من 6 تشكيلات وتشفيرات في الجزء للأرض لمعاكسة تأثير الخبو في القناة. وتتوفر معلومات نوعية القناة (CQI) للمستعمل في مبرمج زمن التشفير والتشكيل التكيفيين (ACM). وعليه يفترض أن كلاً من الطبقة المادية والبروتوكول VoIP قادر على التكيف مع التغيرات المتوسطة والطويلة الأجل الناجمة عن خسائر الانتشار (وليس مع الخبو القصير الأجل). ويُنظر في استخدام وصلة هابطة في قناة بعرض نطاق 2 MHz من أجل مطراف ساتلي لقناة العودة (RCST) والمحطة القاعدة (BS) المصاحبة له. ويبين الشكل 25 سعة النظام للشبكة الفرعية للأرض، كما يبين كسب سعة VoIP عبر الطبقات إزاء تصميم غير تكيفي. ويفترض أن تغطية WiMAX تبلغ 2 km. وبافتراض وجود جميع المستعملين على أطراف الخلية فإن السعة باستخدام النهج التكيفي تتجاوز 60%، بينما تكون في الحالة الأخرى أدنى من 20%.

5.4 الخلاصة

يقدم هذا الملحق تصميماً عبر الطبقات لإرسال VoIP عبر شبكة ساتلية باستخدام بروتوكول البث DVB-S2/RCS ونظام WiMAX. وقد تم اقتراح نهجين يقومان على التحكم في المعدل والمفاهيم الموزعة وجرت المقارنة بينهما. وتبين أن من الممكن، بفضل التصميم عبر الطبقات، التحكم في سعة VoIP من خلال تكيف المعدل بغية الحيولة دون تناقص السعة الذي يعزى إلى سوء أحوال القناة في كلتا الشبكتين الفرعيتين: (1) التكيف الكلي لمعدل VoIP للحفاظ على السعة التي يوفرها الساتل لشبكة الأرض؛ (2) وتكيف المعدل لدى المستعمل النهائي للحفاظ على السعة التي توفرها الشبكة الفرعية WiMAX. ويمكن الخلوص إلى أن نهج التصميم عبر الطبقات يتمخض عن تحسين السعة بنسبة 70% لجزء الساتل و43% لشبكة الأرض.

الملحق 3

التصميم عبر الطبقات لوصلة ساتلية باستخدام بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) بمثابة بروتوكول نقل

1 مجال التطبيق

تتسم الوصلات الساتلية المستقرة بالنسبة إلى الأرض (GEO) بتوليفة فريدة من الخصائص التي تؤثر في صيب الحركة القائمة على بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP). والعناصر الحرجة هي على السواء طول زمن الذهاب والإياب (RTT) وارتفاع معدل أخطاء الرزم (PER). وتتضمن التوصية ITU-R S.1711 تحسينات بروتوكول TCP المحددة من أجل شبكات في بيئة واسعة من نتائج التأخر في النطاق العريض (BDP). ويقدم هذا الملحق أداء بروتوكول TCP نتيجة التفاعلات مع بروتوكولات الطبقة الأخفض، وعلى وجه الخصوص مستويات التشكيل والتشفير. وتأخذ هذه المحاكاة في الاعتبار مختلف صيغ بروتوكول TCP، أي New Reno وSACK وHybla وWestwood+.

2 مقدمة

يُنظر في مختلف صيغ بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) من قبيل New Reno وSACK وWestwood+ وHybla وVeno وCompound وScalable والتحكم في تزايد الازدحام الاثنيبي (BIC). وثمة تحسين ممكن للتغلب على تعدد فقدان في نافذة البيانات، وهو يتمثل في بروتوكول NewReno الذي يعدل مرحلة الاستعادة السريعة في بروتوكول Reno. ويستطيع بروتوكول NewReno أن يتغلب على فقدان رزم متعددة (دون انتظار إعادة الإرسال عند انتهاء الزمن RTO) باستخدام 'إشعارات ACKs الجزئية' المستقبلية أثناء مرحلة الاستعادة السريعة.

وفي حالة الإشعار الانتقائي (SACK)، يُعلم المستقبل المرسل عن الرزم التي نجح في استقبالها، بحيث يقتصر المرسل على إعادة إرسال الرزم المفقودة فعلاً. ويمكن تنفيذ الإشعار SACK في كل من خوارزمية الاستعادة السريعة وخوارزمية إعادة الإرسال السريع في صيغة بروتوكول NewReno. وتضع صيغة بروتوكول Westwood+ و Westwood نافذة الازدحام ($cwnd$) وعتبة البداية البطيئة ($ssthresh$) بعد حدث الفقدان على أساس تقدير لعرض النطاق من طرف إلى طرف، B_{we} ، وذلك قبل اكتشاف حدث الفقدان. وتوضع العتبة $ssthresh$ بحيث تساوي $RTT \times B_{we}$. ويتجنب بروتوكول Westwood تخفيضاً متحفظاً لنافذة الازدحام $cwnd$ ، مما يمكن من مرحلة استعادة أسرع. ويتم تعديل مماثل عندما تنتهي مدة RTO : $RTT \times B_{we} = ssthresh$. وتعاد $cwnd$ إلى قيمتها الأولى. ويقدر عرض النطاق B_{we} باستمرار في ضوء كمية البيانات المرسله وزمن تفاوت وصول الإشعارات ACK.

ويقترح بروتوكول Hybla للتحكم في الإرسال تعديلاً لخوارزمية تحديث $cwnd$ لدى استلام إشعار ACK ما بغية تسريع زيادة $cwnd$ في كل من مرحلة البداية البطيئة ومرحلة تجنب الازدحام للتوصيلات التي لها قيم زمن ذهاب وإياب RTT عالية. ويستبق بروتوكول Hybla اعتماد إشعار SACK لكي يتدارك بسرعة حالات الفقدان الناجمة عن كل من أخطاء القناة وحقن البيانات الأكثر غزواً في الشبكة.

وبروتوكول Veno عبارة عن مخطط للتحكم في الازدحام من طرف إلى طرف من شأنه تحسين أداء بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP). وهو يعزز خوارزمية Reno للتحكم في الازدحام باستخدام الحالة المقدرة لتوصيل ما على أساس Vegas. وبدلاً من استخدام تقدير Vegas بشأن حالة الشبكة لاستباق منع فقدان الرزم، يمكن استخدامه لمعرفة ما إذا كان فقدان الرزم يعزى إلى ازدحام الشبكة أم إلى القناة اللاسلكية. وعلى وجه التحديد، إذا اكتشف فقدان الرزمة بينما يدل التقدير على أن الشبكة ليست مزدحمة، عندئذ يعزى الفقدان إلى القناة اللاسلكية، بحيث يتم تخفيض النافذة $cwnd$ تخفيضاً يسيراً، مما يحول دون انخراط الصبيب دون داع.

ويعمل بروتوكول التحكم في الإرسال القابل للتوسيع (S-TCP) على تعديل خوارزمية التحكم في الازدحام في بروتوكول TCP. وبروتوكول S-TCP "يتطابق" جيداً مع قيمة نافذة الازدحام، وبالتالي مع ناتج التأخر في النطاق العريض (BDP). ويستند بروتوكول S-TCP إلى خوارزمية زيادة متضاعفة - نقصان متضاعف (MIMD)، وتبعاً لذلك تزداد نافذة الازدحام بعامل α لدى استلام الإشعار ACK وتخضع بعامل β لدى فقدان رزمة ما. وقد افترضت تجارب المحاكاة أن $\alpha = 0,0,1$ و $\beta = 0,125$.

وفي بروتوكول التحكم في الإرسال المركب (C-TCP)، يُدخل متغير حالة جديد هو نافذة التأخر ($dwnd$)، يتحكم في مكونة التأخر في البروتوكول C-TCP. وتبقى نافذة الازدحام $cwnd$ التقليدية على حالها لكي تتحكم في مكونة الفقدان في البروتوكول C-TCP. وتخضع نافذة الإرسال في بروتوكول C-TCP الآن للتحكم من جانب كل من نافذة الازدحام $cwnd$ و نافذة التأخر $dwnd$ على السواء.

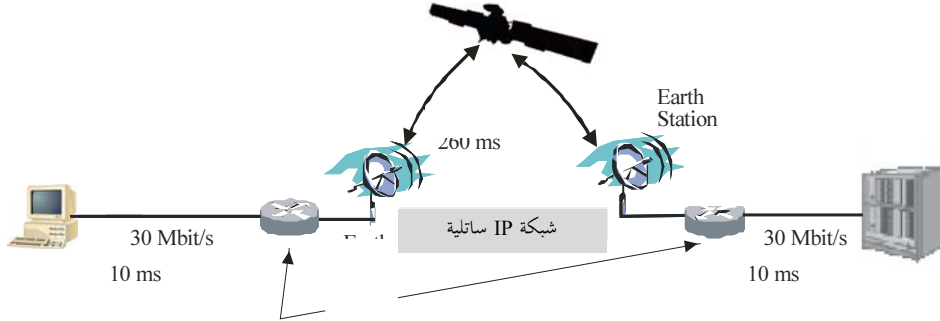
أما بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) على أساس التحكم في تزايد الازدحام الاثنيي (BIC) فهو شكل مغاير من بروتوكول TCP من أجل الشبكات عالية السرعة طويلة المسافة. وعند فقدان رزمة ما، يقوم التحكم BIC بتخفيض نافذته بعامل مضاعف. ويوضع حجم النافذة قبل التخفيض مباشرة عند القيمة القصوى ويوضع حجم النافذة بعد التخفيض مباشرة عند القيمة الدنيا. ويقوم التحكم BIC بأداء بحث اثنيي باستخدام هاتين المعلمتين وذلك بالقفز إلى النقطة الوسيطة بين القيمة القصوى والقيمة الدنيا.

3 معمارية الشبكة المرجعية

يبين الشكل 26 معمارية شبكة تشتمل على ساتل في شكل أنبوب منحني مستقر بالنسبة إلى الأرض (GEO) تستخدم لأغراض تجارب المحاكاة. وثمة عميل (مستقبل TCP) موصول بمحطة مسير-أرض موصولة عبر ساتل بمحطة مسير-أرض أخرى موصولة بمخدم ناء (مرسل TCP) يجري منه تنزيل الملفات. وتستخدم قناة عودة عبر ساتل لكي ترسل تشوير الطبقة الأخفض (أي تقدير نوعية الوصلة لتكليف التشكيل والتشفير) وإشعارات ACKs طبقة النقل على السواء.

الشكل 26

معمارية شبكة مرجعية



S.1897-26

تؤخذ وصلة ساتل مستقر بالنسبة إلى الأرض (GEO) في نطاق التردد Ka بعرض نطاق 2 MHz لكل من الوصلة الصاعدة والوصلة الهابطة على السواء. وهناك خياران للتشكيل والتشفير (MODCOD) في الطبقة المادية (PHY)، يشيران إلى تكييف نظام على غرار البث DVB-S2. ويحدد انتقاء MODCOD في الطبقة المادية معدل بتات المعلومات المتاحة لنقل وحدات بيانات بروتوكول الإنترنت (IP datagrams).

1.3 معلمات المحاكاة

يبلغ تأخر الانتشار وحيد الاتجاه من محطة أرضية إلى محطة أرضية حوالي 260 ms. ويبلغ معدل وصلات الأرض من المحطة الأرضية والعميل ومن المحطة الأرضية الأخرى إلى المحطة 30 Mbit/s مع تأخر انتشار (وحيد الاتجاه) بمقدار 10 ms. ومن ثم فإن الوصلة الساتلية هي نقطة اختناق النظام ويساوي نصيب تأخر الانتشار نسبة إلى زمن الذهاب والإياب (RTT) مقدار 560 ms.

2.3 افتراضات

من جملة الافتراضات: '1' محطات أرضية مع مسير خط البصر (LoS) إلى الساتل المستقر بالنسبة إلى الأرض؛ '2' قناة دون ذاكرة مع حالات فقدان غير مترابطة (مستعملون ثابتون)؛ '3' تقلب التوهين يعزى فقط إلى أحداث بطيئة في التروبوسفير (تقلبات طويلة الأجل لقوة الإشارة المستقبلية بسبب توهين الغيوم والخبو بسبب المطر) بحيث يمكن اعتبار القناة من نمط ضوضاء غوسية بيضاء إضافية (AWGN)؛ '4' حالات فقدان رزم متبقية بعد عملية إزالة التشفير غير مترابطة وتحديث وفقاً لمعدل أخطاء بتات (PER) محدد في مستوى النقل؛ '5' تقلبات القناة بطيئة جداً مقارنة بتأخر إشارة الارتجاع لإعلام المحطة الأرضية المرسله لكي تعدل أسلوب الإرسال لديها؛ '6' لا يستخدم أي أسلوب تكرار طلب تلقائي (ARQ) في الطبقة 2، إذ إن اعتماد مخطط ARQ يترتب عليه تأخر طويل لاستعادة الرزم المفقودة مما قد يسبب إعادة الإرسال عند انتهاء الزمن (RTO) في مستوى البروتوكول TCP.

وقد نُظر في حسن أداء TCP بشأن الرزم المرسله. ويُفترض تطبيق بروتوكول نقل ملفات (FTP) (توصيل TCP مستمر) يوفر حركة TCP وفقاً لنموذج إشعار ACK مرتبط بمقتاتية. ويُستخدم التشفير والتشكيل التكييفيان (ACM) للوصلة الساتلية لكي يوفر نوعية مقبولة في ظروف قناة راديوية مختلفة. ويتم تكييف أسلوب الإرسال (أي MODCOD) من جانب المحطة الأرضية المرسله

على أساس قياس نوعية القناة الذي تجرّبه المحطة الأرضية المستقبلية. وافترض وجود تشكيلين، أي BPSK و QPSK ومشفر تلافيفي ومزبل تشفير Viterbi، وشفرة تلافيف NASA المعيارية بمعدل 1/2 وطول مقيّد بمقدار 7 وشفرة مثقوبة مشتقة بمعدل 3/4. ونظر في أسلوب إرسال (MODCODs) يشغلان عند تكافؤ عرض نطاق الإرسال (2 MHz) والقدرة، وهما:

الأسلوب #1: أسلوب إبراق بزحزحة الطور ثنائي الحالة (BPSK) بمعدل 1/2 مشفر تلافيفي، ومعدل بتات للمعلومات الناتجة بمقدار 1 Mbit/s؛

الأسلوب #2: تشكيل تريبيعي بزحزحة الطور (QPSK) بمعدل 3/4 مشفر تلافيفي، ومعدل بتات للمعلومات الناتجة بمقدار 3 Mbit/s.

وأخذت رزمة إيترنت قدرها 1 500 بايتة. لذلك يكون ناتج التأخر في النطاق العريض (BDP) هو 560 000 بتة (نحو 47 رزمة) للأسلوب #1 و 1 680 000 بتة (140 رزمة) للأسلوب #2. ويشتمل كل مسير على احتياطي بسعة رزم تساوي BDP للأسلوب #2 (أي القيمة القصوى BDP بين الأسلوب #1 والأسلوب #2). وتعتمد صفوف الانتظار سياسة "طرح الفائض" للتحكم في الازدحام، أي أن الرزم الواصلة تُفقد تبعاً للسعة الاحتياطية.

4 نتائج الأداء

استخدمت تجارب المحاكاة الصيغة ns-2 2.29. وأجريت عمليات المحاكاة لظروف قناة لا سلكية ساكنة، أي بافتراض وصلات مع E_b/N_0 ثابتة طوال فترة المحاكاة. ومن أجل تحديد عتبة E_b/N_0 مثالية للانتقاء بين الأسلوب #1 والأسلوب #2، تمت مقارنة معيارين:

المخطط a: ينتقى أسلوب الإرسال على أساس قيمة عتبة معدل أخطاء الرزمة (PER) (أي نهج تقليدي، غير عابر للطبقات للسطوح البينية اللاسلكية الراهنة مع التشفير والتشكيل التكميين (ACM)؛

المخطط b: ينتقى أسلوب الإرسال بهدف تعظيم أداء "الصبيب النافع" في طبقة النقل (تصميم ضمني عابر للطبقات، طريقة الانحدار من القمة).

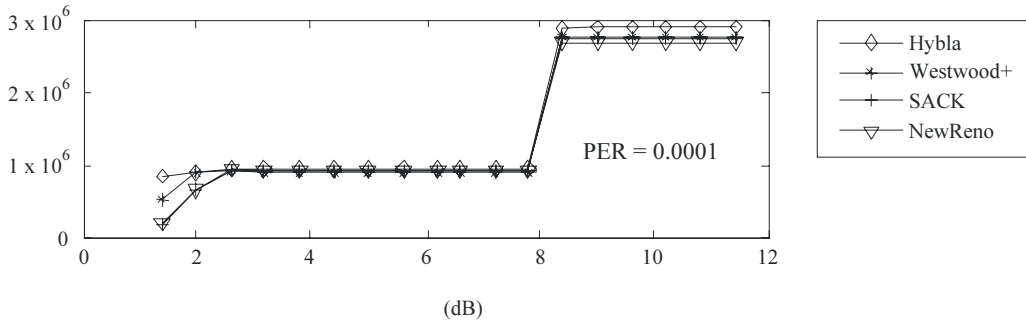
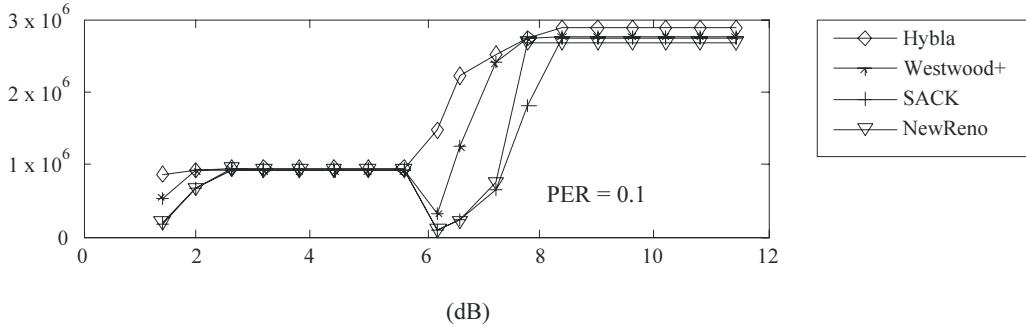
وتتوقف أيسر نقطة تبديل، من حيث نسبة E_b/N_0 ، على معاوضة مناسبة بين عرض نطاق واسع ومعدل PER أعلى، من أجل أداء جيد لبروتوكول TCP. وتتوقف هذه المعاوضة على الصيغة المعتمدة من بروتوكول TCP.

وإشارة إلى المخطط التقليدي a، يبين الشكل 27 الصبيب النافع TCP كدالة من قيمة E_b/N_0 باعتبار عتبة تبديل PER تساوي إما 10^{-1} (الرسم الأعلى) أو 10^{-4} (الرسم الأسفل). وفي كلتا الحالتين، لا يتسم معيار الانتقاء بالكفاءة. ففي الرسم الأعلى تكون نقطة التبديل مستبقة جداً بالنسبة إلى بعض صيغ TCP، مما يؤدي إلى انخفاض في الأداء لدى التغيير من أسلوب الإرسال #1 إلى أسلوب الإرسال #2. أما في الرسم الأسفل فتكون نقطة التبديل متأخرة جداً بحيث يضطر النظام إلى استخدام الأسلوب #1 عندما يكون من الأيسر استخدام الأسلوب #2. ومن ثم لا يتسم استخدام الموارد بالكفاءة. وتبرهن النتائج في الشكل 27 على أن معيار الانتقاء الملائم بين الأسلوب #1 والأسلوب #2 ينبغي ألا يعتمد على أداء PER وإنما على أداء طبقة النقل وأن يكون مرتبطاً مباشرة بقيمة E_b/N_0 (النهج عابر للطبقات). وهذا هو سبب انتقاء المخطط b. والنتائج مبينة في الشكل 28 من أجل بروتوكولات التحكم في الإرسال NewReno و SACK و Hybla و Westwood+، وفي الشكل 29 من أجل VenO و TCP المركب و TCP القابل للتوسيع و BIC-TCP. ومن الواضح، بناء على هذه النتائج، أن الانتقاء القائم على سلوك الصبيب النافع TCP يمكن من تحقيق درجة أعلى من الكفاءة، ويلاحظ أداء أفضل من حيث نوعية الخدمة في طبقة التطبيق. ولذا من الواضح أن الانتقاء الأمثل ما بين الأسلوب #1 والأسلوب #2 يتوقف على الصيغة المعتمدة من TCP. وأخيراً، تبين النتائج، من بين جميع صيغ TCP المقارنة، أن Hybla يحقق أفضل أداء يليه Westwood+.

** "الصبيب النافع" هو صبيب طبقة التطبيق، أي عدد بتات المعلومات المفيدة، الذي تنفذه الشبكة في وحدة الزمن، باستثناء رأسية البروتوكول وكذلك الرزم المعاد إرسالها.

الشكل 27

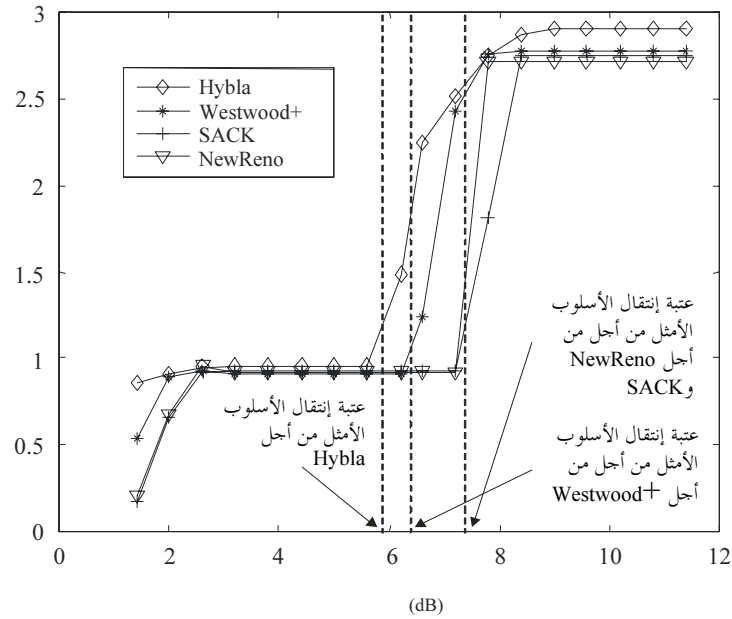
نتائج المحاكاة لمختلف صيغ بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) كدالة لنسبة E_b/N_0 (القيمة المرجعية من أجل BPSK) في حالة المخطط b ؛ اتساع فاصل الثقة الأعظمي بنسبة 95% من أجل جميع المنحنيات هو $\pm 7\%$



S.1897-27

الشكل 28

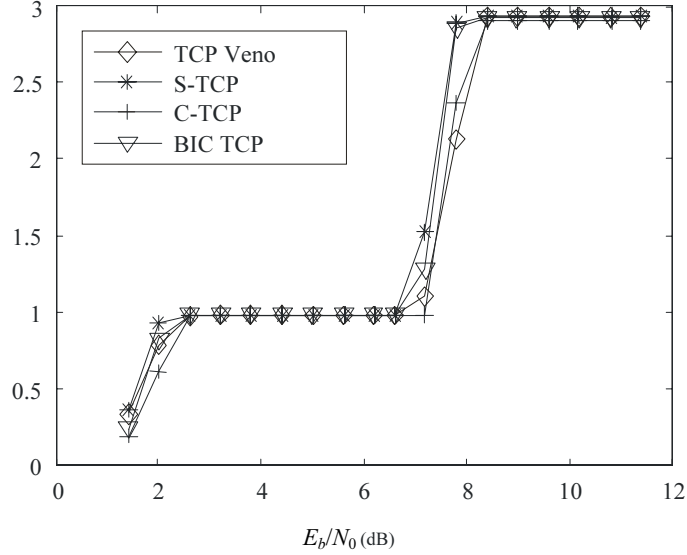
نتائج المحاكاة لمختلف صيغ TCP (Hybla و Westwood+ و SACK و NewReno) كدالة لنسبة E_b/N_0 (القيمة المرجعية من أجل BPSK) في حالة المخطط b ؛ اتساع فاصل الثقة الأعظمي بنسبة 95% من أجل جميع المنحنيات هو $\pm 7\%$



S.1897-28

الشكل 29

نتائج المحاكاة لمختلف صيغ TCP (Veno و Compound و Scalable و BIC) كدالة لنسبة E_b/N_0 (القيمة المرجعية من أجل BPSK) في حالة المخطط b ؛ اتساع فاصل الثقة الأعظمي بنسبة 95% من أجل جميع المنحنيات هو $\pm 7\%$



S.1897-29

5 الخلاصة

إن التصميم عبر الطبقات أمر بالغ الأهمية في سبيل تحسين أداء الصيغ وتوفير نوعية الخدمة في شبكات الاتصالات الساتلية القائمة على بروتوكول الإنترنت. وقد نظرت تجارب المحاكاة في التفاعلات بين تكيفية الأسلوب في الطبقة 1 وسلوك "الصيغ النافع" في بروتوكول التحكم في الإرسال (TCP) في الطبقة 4 في وجود قناة ساتلية عرضة للخطأ. وتبين نتائج المحاكاة أن انتقاء أسلوب الطبقة المادية ينبغي أن تملئه صيغة بروتوكول TCP وما يتصل بها من أداء "الصيغ النافع". وتبين هذه النتائج مزايا التنسيق أو التفاعلات عبر الطبقات بين سلوك الطبقة المادية (PHY) وبروتوكول التحكم في الإرسال (TCP). وينبغي تحديد عتبات التبديل في الطبقة المادية بين أساليب الإرسال على أساس الأداء في الطبقة الأعلى بغية تحقيق كفاءة استعمال الموارد الراديوية الساتلية.

6 الاستنتاجات

توفر نتائج مختلف تجارب عمليات المحاكاة المعروضة في هذا الملحق الإرشاد بشأن تصميم الشبكات الهجينة الساتلية للأرض تبعاً لمعمارية الشبكة.

وتتميز النتائج التالية بأهمية خاصة في التصميم عابر الطبقات لمثل هذه الشبكات الهجينة:

- نتائج الأداء للشبكات الهجينة الساتلية - WiFi، تبين أثر الخبو على معالم نوعية الخدمة، مثل توزيع عرض النطاق والتأخر وتغيرات التأخر للمؤتمرات الفيديوية ونقل الصوت باستعمال بروتوكول الإنترنت (VoIP) وبروتوكول نقل النصوص المترابطة (HTTP) وتطبيقات بروتوكول التحكم في الإرسال/بروتوكول وحدة بيانات المستعمل (TCP/UDP) (انظر البند 3)؛
- لم تتأثر حركة الأولوية العليا، مثل تدفق الوسائط المتعددة أو حركة الصوت التفاعلية، بسبب الخبو الناجم عن المطر (انظر البند 2)؛

- بالنسبة إلى المؤتمرات الفيديوية، تسبب الخبو الناجم عن المطر في تأخر ذروة بحوالي 0,859 ثانية (انظر البند 3)؛
- بلغ التأخر من طرف إلى طرف لنقل الصوت VoIP مقدار 1,5 ثانية (أفضل جهد) أثناء الخبو الناجم عن المطر؛
- كان لتغير تأخر الرزم ذروة تقارب 0,08 ثانية تريبع، أثناء الخبو الناجم عن المطر، وانحدر إلى 0,025 بحلول النهاية (انظر البند 3)؛
- بلغت ذروة الارتعاش 0,0045 ثانية أثناء الخبو الناجم عن المطر وتراوح من 0,0025 إلى 0,002 ثانية في الأوقات الأخرى؛
- تراوح زمن استجابة الصفحة في بروتوكول HTTP من 2 إلى 6 ثوان وتراوح زمن استجابة الشيء من 1 إلى 4 ثوان أثناء الخبو الناجم عن المطر بالنسبة لصنف حركة أفضل جهد (انظر البند 3)؛
- بالنسبة إلى إرسالات VoIP عبر شبكات ساتلية-WiMAX، يمكن التصميم عبر الطبقات من الحفاظ على عدد المستعملين بوجود توهين أقل من 13 dB، بل حتى بوجود توهين يصل إلى 15 dB. ولا تنخفض السعة لدرجة حرجة. ولكن في غياب تصميم عبر الطبقات تبلغ خسارة السعة 50% لتوهين قدره 8 dB (انظر البند 4)؛
- يتمخض التصميم عبر الطبقات للشبكات الهجينة الساتلية-WiMAX عن تحسين في السعة بمقدار 70% لجزء الساتل و43% لجزء الأرض (انظر البند 4)؛
- التنسيق بين الطبقة المادية وطبقة النقل مطلوب، وينبغي تحديد تبديل أسلوب الإرسال في الطبقة المادية بناء على أداء الطبقة الأعلى حرصاً على كفاءة استخدام الموارد الساتلية (انظر البند 5).