

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R S.1897
(01/2012)

**Configuración de la QoS entre
capas en redes IP híbridas
de satélite-terrenal**

Serie S
Servicio fijo por satélite



Prólogo

El Sector de Radiocomunicaciones tiene como cometido garantizar la utilización racional, equitativa, eficaz y económica del espectro de frecuencias radioeléctricas por todos los servicios de radiocomunicaciones, incluidos los servicios por satélite, y realizar, sin limitación de gamas de frecuencias, estudios que sirvan de base para la adopción de las Recomendaciones UIT-R.

Las Conferencias Mundiales y Regionales de Radiocomunicaciones y las Asambleas de Radiocomunicaciones, con la colaboración de las Comisiones de Estudio, cumplen las funciones reglamentarias y políticas del Sector de Radiocomunicaciones.

Política sobre Derechos de Propiedad Intelectual (IPR)

La política del UIT-R sobre Derechos de Propiedad Intelectual se describe en la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI a la que se hace referencia en el Anexo 1 a la Resolución UIT-R 1. Los formularios que deben utilizarse en la declaración sobre patentes y utilización de patentes por los titulares de las mismas figuran en la dirección web <http://www.itu.int/ITU-R/go/patents/es>, donde también aparecen las Directrices para la implementación de la Política Común de Patentes UIT-T/UIT-R/ISO/CEI y la base de datos sobre información de patentes del UIT-R sobre este asunto.

Series de las Recomendaciones UIT-R

(También disponible en línea en <http://www.itu.int/publ/R-REC/es>)

Series	Título
BO	Distribución por satélite
BR	Registro para producción, archivo y reproducción; películas en televisión
BS	Servicio de radiodifusión sonora
BT	Servicio de radiodifusión (televisión)
F	Servicio fijo
M	Servicios móviles, de radiodeterminación, de aficionados y otros servicios por satélite conexos
P	Propagación de las ondas radioeléctricas
RA	Radio astronomía
RS	Sistemas de detección a distancia
S	Servicio fijo por satélite
SA	Aplicaciones espaciales y meteorología
SF	Compartición de frecuencias y coordinación entre los sistemas del servicio fijo por satélite y del servicio fijo
SM	Gestión del espectro
SNG	Periodismo electrónico por satélite
TF	Emisiones de frecuencias patrón y señales horarias
V	Vocabulario y cuestiones afines

Nota: Esta Recomendación UIT-R fue aprobada en inglés conforme al procedimiento detallado en la Resolución UIT-R 1.

Publicación electrónica
Ginebra, 2012

© UIT 2012

Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse por ningún procedimiento sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

RECOMENDACIÓN UIT-R S.1897

Configuración de la QoS entre capas en redes IP híbridas de satélite-terrenal

(2011)

Cometido

En esta Recomendación se dan directrices sobre diseños que mejoren el funcionamiento entre capas de aplicaciones multimedia en redes de satélite (autónomas o híbridas).

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que cada vez se utilizan más los sistemas de satélite para facilitar aplicaciones de banda ancha directamente a los usuarios, además de como enlaces de red dorsal;
- b) que, en último término, el desvanecimiento afecta a la capa de aplicación de los servicios prestados mediante esos sistemas de satélite;
- c) que el diseño entre capas consiste en permitir interacciones y compartir variables de estado entre diversas capas de protocolo (incluso no adyacentes) a fin de aumentar la capacidad y la calidad de funcionamiento de la red;
- d) que un enfoque entre capas concebido para lograr una mejor adaptación a la dinámica de transmisión de satélite puede mitigar los efectos del desvanecimiento;
- e) que los enfoques entre capas también se pueden emplear para adaptar los requisitos de transmisión cuando se vea afectado el ancho de banda disponible;
- f) que la calidad de funcionamiento global de un enlace de satélite puede verse afectada por diversos factores (retardo, variaciones de retardo, caudal, etc.), que pueden controlarse con un enfoque entre capas,

observando

- a) que en la Recomendación UIT-R S.1711 se dan directrices para realizar una serie de mejoras en el comportamiento del protocolo de control de transmisión por redes de satélite IP;
- b) que se han estudiado y experimentado diversas aplicaciones entre capas (véase el Informe UIT-R S.2222),

recomienda

- 1** que se utilice un método de diseño entre capas para las redes de satélite (autónomas o híbridas);
- 2** que, para la aplicación de los enfoques de diseño entre capas, se consideren como fundamento las arquitecturas de referencia expuestas en el Anexo 1 de la presente Recomendación;
- 3** que, al evaluar la repercusión del desvanecimiento en distintas capas, se tenga en cuenta el Anexo 2;
- 4** que se tengan en cuenta los enfoques de diseño entre capas en los enlaces de satélite que emplean el protocolo de control de transporte a la hora de evaluar el comportamiento del caudal y el retardo (véase el Anexo 3).

NOTA – El Informe UIT-R S.2222 contiene información básica sobre conceptos y metodologías de diseño entre capas.

ÍNDICE

Página

Anexo 1 – Arquitecturas de referencia para la aplicación de métodos de diseño entre capas.	7
1 Alcance	7
2 Arquitecturas de referencia.....	7
2.1 Arquitectura de red híbrida de satélite-WiFi	9
2.2 Arquitectura de red híbrida de satélite-WiMAX	9
2.2.1 Arquitectura de protocolo de red híbrida de satélite-WiMAX.....	9
Anexo 2 – QoS entre capas en redes híbridas de satélite-terrenal	11
1 Alcance	11
2 Mitigación del desvanecimiento por lluvia y diseño de QoS entre capas	11
3 Efectos de desvanecimiento en la QoS de redes multimedios de satélite-WiFi.....	12
3.1 Modelo de red de simulación.....	12
3.2 Esquema de anchura de banda a la carta (BOD, <i>bandwidth on demand</i>) utilizado en las simulaciones OPNET	13
3.2.1 Algoritmo de atribución de anchura de banda del canal de retorno.....	13
3.3 Simulaciones experimentales y resultados del rendimiento – Caso 1	15
3.3.1 Modelo de simulación	15
3.3.2 Resultados de la simulación experimental	16
3.3.3 Resumen.....	22
3.4 Simulación experimental y resultados de rendimiento – Caso 2.....	22
3.4.1 Modelo de red de la simulación	22
3.4.2 Configuración de la QoS.....	23
3.4.3 Modelo de tráfico	23
3.4.4 Carga del enlace de satélite	23
3.4.5 Parámetros de la simulación	24
3.4.6 Resultados de la simulación experimental	25
3.4.7 Resumen.....	32
4 Calidad de servicio entre capas para la VoIP en redes híbridas de satélite-WiMAX	32
4.1 Introducción.....	32
4.2 Adaptación de velocidad VoIP entre capas	32
4.2.1 Método basado en RTCP	32
4.2.2 Método de banda amplia multivelocidad adaptable (AMR-WB)	34

	Página
4.3	Modelo de rendimiento satélite-WiMAX..... 34
4.3.1	Modelo de retardo 34
4.4	Rendimiento..... 35
4.4.1	Subred de satélite: adaptación de velocidad combinada..... 35
4.4.2	Rendimiento de la subred terrenal 37
4.5	Resumen 39
Anexo 3 – Diseño entre capas para el enlace de satélite utilizando TCP como protocolo de transporte 38	
1	Alcance 38
2	Introducción..... 38
3	Arquitectura de la red de referencia 39
3.1	Parámetros de la simulación 40
3.2	Supuestos 40
4	Rendimiento 41
5	Resumen 43
6	Conclusiones..... 43

Lista de acrónimos

3G	Tercera generación
4G	Cuarta generación
AAL	Capa de adaptación ATM (<i>ATM adaptation layer</i>)
ACELP	Predicción lineal con excitación por código algebraico (<i>algebraic code excitation linear prediction</i>)
ACK	Acuse de recibo (<i>acknowledgment</i>)
ACM	Modulación y codificación adaptables (<i>adaptive coding and modulation</i>)
AMR-WB	Banda ancha multivelocidad adaptativa (<i>adaptive multirate wideband</i>)
APP	Aplicación (<i>application</i>)
ARQ	Petición automática de repetición (<i>automotive repeat request</i>)
ASN	Red de servicio de acceso (<i>access service network</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
AWGN	Ruido gaussiano blanco aditivo (<i>additive white gaussian noise</i>)
BDP	Producto retardo ancho de banda (<i>bandwidth delay product</i>)
BIC	Control de congestión de incremento binario (<i>binary increase congestion control</i>)
BOD	Ancho de banda a la carta (<i>bandwidth on demand</i>)
BPSK	Modulación por desplazamiento de fase bivalente (<i>binary phase-shift keying</i>)
CCM	Modulación y codificación constantes (<i>constant coding and modulation</i>)
CE UIT-R	Comisión de Estudio del UIT-R
CMR	Petición de modelo de código (<i>code model request</i>)
CQI	Información de calidad de canal (<i>channel quality information</i>)
CRA	Asignación de velocidad continua (<i>continuous-rate assignment</i>)
C-TCP	TCP compuesto (<i>compound TCP</i>)
DAMA	Acceso múltiple con asignación por demanda (<i>demand assignment multiple access</i>)
DLSR	Informe de retardo desde el último emisor (<i>delay since last sender report</i>)
DVB	Radiodifusión digital de vídeo (<i>digital video broadcast</i>)
DVB-RCS	Radiodifusión digital de vídeo – canal de retorno por satélite (<i>digital video broadcast – return channel by satellite</i>)
DVB-S	Radiodifusión digital de vídeo por satélite (<i>digital video broadcast by satellite</i>)
DVB-S2	Radiodifusión digital de vídeo – transmisión por satélite de segunda generación (<i>digital video broadcast – satellite transmisión 2nd generation</i>)
EF	Renvío acelerado (<i>expedited forward</i>)
ETH	Ethernet
ETSI	Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (<i>European Telecommunications Standards Institute</i>)
FEC	Corrección de errores en recepción (<i>forward error correction</i>)

FTP	Protocolo de transferencia de ficheros (<i>file transfer protocolo</i>)
GSM	Sistema mundial para comunicaciones móviles (<i>global system for mobile communications</i>)
GSM-AMR	GSM multivelocidad adaptable (<i>GSM adaptive multi-rate</i>)
GSM-EFR	GSM velocidad completa mejorada (<i>GSM enhanced full rate</i>)
GT UIT-R	Grupo de Trabajo del UIT-R
GT	Terminal de pasarela (<i>gateway terminal</i>)
GW	Pasarela (<i>gateway</i>)
HTTP	Protocolo de transferencia hipertexto (<i>hypertext transfer protocolo</i>)
IEEE	Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrotécnicos (<i>Institute of Electrical and Electronics Engineers</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>Internet protocol</i>)
ISO	Organización Internacional de Normalización (<i>International Organization for Standardization</i>)
LAN	Red de área local (<i>local area network</i>)
LOS	Visibilidad directa (<i>line of sight</i>)
MAC	Control de acceso a los medios (<i>medium access control</i>)
MAC-CPS	Subcapa de parte común MAC (<i>MAC common part sublayer</i>)
MAC-CS	Subcapa de convergencia MAC (<i>MAC convergence sublayer</i>)
MF-TDMA	Acceso múltiple por división en el tiempo multifrecuencia (<i>multiple-frequency time-division multiple access</i>)
MIMD	Incremento multiplicativo decremento multiplicativo (<i>multiplicative increase multiplicative decrease</i>)
MODCOD	Modulación y codificación (<i>modulation and coding</i>)
MPEG	Grupo de Expertos en imágenes en movimiento (<i>moving picture Experts Group</i>)
NCC	Centro de control de red (<i>network control center</i>)
OFDM	Multiplexación por división ortogonal de frecuencia (<i>orthogonal frequency division multiplexing</i>)
OSG	Órbita de los satélites geoestacionarios
OSI	Interconexión de sistemas abiertos (<i>open system interconnect</i>)
PDU	Unidad de datos de paquete (<i>packet data unit</i>)
PER	Tasa de errores en paquetes (<i>packet error rate</i>)
PHY	Capa física (<i>physical layer</i>)
PSK	Modulación por desplazamiento de fase (<i>phase shift keying</i>)
QoS	Calidad de servicio (<i>quality of service</i>)
QPSK	Modulación por desplazamiento de fase cuadrática (<i>quadrature phase-shift keying</i>)
RCS	Satélite de canal de retorno (<i>return channel satellite</i>)
RCST	Terminal de satélite de canal de retorno (<i>return channel satellite terminal</i>)

RR	Informe de receptor (<i>receiver report</i>)
RRA	Atribución de recursos radioeléctricos (<i>radio resource allocation</i>)
RRM	Gestión de recursos radioeléctricos (<i>radio resource management</i>)
RT	Tiempo real (<i>real time</i>)
RTCP	Protocolo de control de transporte en tiempo real (<i>real time transport control protocol</i>)
RTO	Retransmisión con temporización (<i>retransmission on time out</i>)
RTT	Tiempo de ida y retorno (<i>roundtrip time</i>)
SACK	Acuse de recibo selectivo (<i>selective acknowledgement</i>)
SFS	Servicio fijo por satélite
SNIR	Relación de interferencia señal ruido (<i>signal to noise interference ratio</i>)
SR	Informe de emisor (<i>sender report</i>)
S-TCP	TCP adaptable (<i>scalable TCP</i>)
TCP	Protocolo de control de transmisión (<i>transmission control protocol</i>)
TDM	Multiplexación por división en el tiempo (<i>time division multiplexing</i>)
TDMA	Acceso múltiple por división en el tiempo (<i>time division multiple access</i>)
TLSR	Tiempo del último informe de emisor (<i>time of last sender report</i>)
ToS	Tipo de servicio (<i>type of service</i>)
TV	Televisión (<i>television</i>)
UDP	Protocolo de datagrama de usuario (<i>user datagram protocol</i>)
UE	Equipo de usuario (<i>user equipment</i>)
VCM	Modulación y codificación variables (<i>variable coding and modulation</i>)
VoIP	Protocolo de transmisión de la voz por Internet (<i>voice over Internet protocol</i>)
VR-JT	Tráfico en tiempo real a velocidad variable con tolerancia a la fluctuación de fase (<i>variable rate real time traffic jitter tolerant</i>)
VR-RT	Tráfico en tiempo real a velocidad variable (<i>variable rate real time traffic</i>)
WiFi	Fidelidad inalámbrica (productos basados en las normas IEEE 802.11) (<i>wireless fidelity (products based on IEEE 802.11 standards)</i>)
WiMAX	Interoperabilidad mundial para acceso por microondas (<i>worldwide interoperability for microwave access</i>)

DVB-S2 presenta dos mejoras notables en comparación con su predecesor, DVB-S. En primer lugar está la capa física mejorada, que ofrece varias formas de onda de modulación de orden superior con una corrección de errores en recepción (FEC, *forward error correction*) más potente. En segundo lugar, soporta la adaptación en tiempo real al enlace y las condiciones de propagación. Se soportan 28 combinaciones de formatos de modulación y esquemas de codificación para garantizar una baja tasa de errores en los paquetes con una amplia gama de relaciones de interferencia señal ruido (SNIR, *signalled noise plus interference ratio*). Los tres modos operativos posibles son a) modulación y codificación constantes (CCM, *constant coding and modulation*); b) modulación y codificación variables, (VCM, *variable coding and modulation*); y c) modulación y codificación adaptables (ACM).

En el enlace de retorno, DVB-RCS emplea el acceso múltiple por división en el tiempo multifrecuencia (MF-TDMA, *multi-frequency – time-division multiple access*) y la codificación adaptable. El MF-TDMA del enlace de retorno le permite tener un entramado bidimensional donde cada ventana tiempo-frecuencia se divide en portadoras, supertramas, tramas e intervalos. El enlace de retorno MF-TDMA está codificado con códigos convolucionales y Reed Solomon. Los datos pueden estar encapsulados en células del modo de transferencia asíncrono (ATM, *asynchronous transfer mode*) utilizando la capa de adaptación ATM 5 o puede emplear la encapsulación IP nativa en MPEG-2. Estos protocolos permiten la transmisión de tráfico IP por la capa física que se utiliza en las simulaciones experimentales. La lluvia es el fenómeno atmosférico que más afecta a la transmisión en banda Ka, por lo que se ha de evaluar el efecto del desvanecimiento en los diversos parámetros MAC y de la capa de aplicación empleando un enfoque de diseño entre capas. Se supone que el modelo de servicios diferenciados (DiffServ, *differentiated services*) da prioridad a las redes IP conectadas a segmentos WiFi y WiMAX.

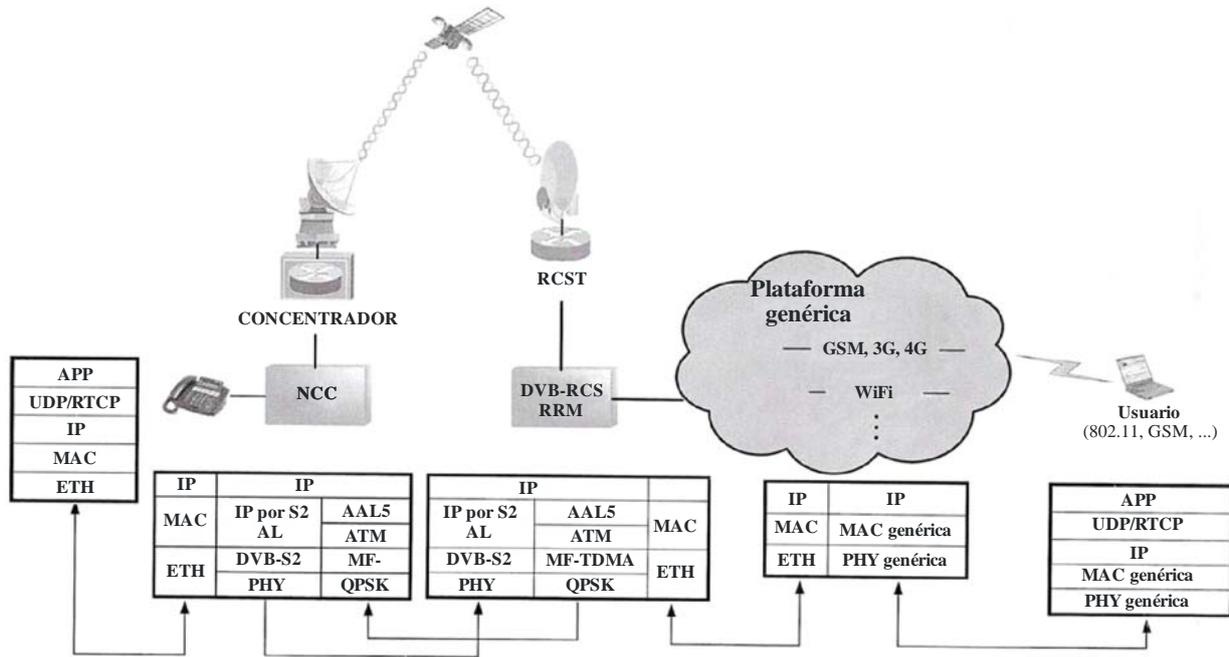
2.1 Arquitectura de red híbrida de satélite-WiFi

Para dar conectividad en banda ancha tanto a zonas con baja densidad de población (es decir, zonas rurales) como a zonas con alta densidad de población (es decir, zonas urbanas o suburbanas), las redes híbridas aúnan tecnologías de acceso radioeléctrico tanto terrenales como de satélite.

En la Fig. 2 se muestra la arquitectura de protocolo de red de satélite-terrenal inalámbrica. El segmento inalámbrico puede utilizar protocolos como GSM, 3G, WiFi, WiMAX y 4G. Tanto el segmento de satélite como la red terrenal cuentan con algoritmos de atribución de recursos y un sistema de gestión de control.

Otros componentes de la arquitectura de red son la pasarela de red de servicio de acceso y la gestión de recursos radioeléctricos (RRM, *radio resource management*) DVB-RCS. La RRM del terminal de satélite verifica si hay disponibles recursos suficientes para permitir la admisión de nuevos equipos de usuarios que soliciten servicios desde la pasarela al enlace de satélite. El RCST comunica con el concentrador, que está asociado a un centro de control de red (NCC, *network control center*). El NCC controla la red interactiva, la petición de servicio de usuario a través del acceso de satélite y gestiona el espectro del satélite en función de las peticiones de terminales de satélite.

FIGURA 2
Arquitectura de protocolo de red de satélite-inalámbrica

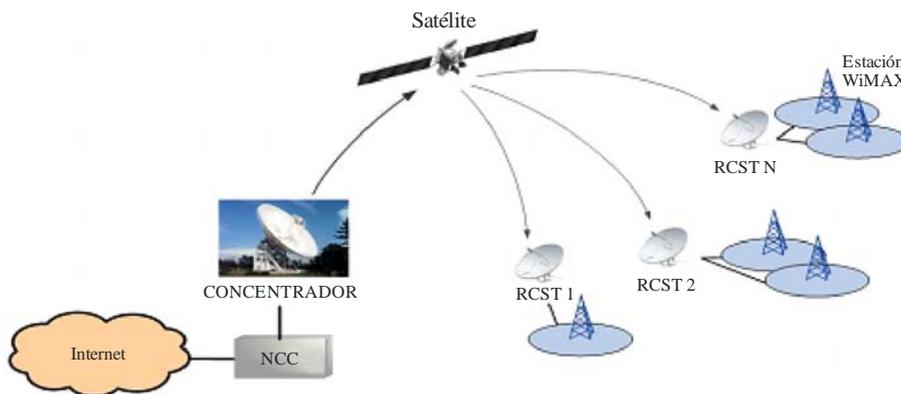


S.1897-02

2.2 Arquitectura de red híbrida de satélite-WiMAX

En la Fig. 3 se muestra una red híbrida de satélite con terminales DVB-S2/RCS conectados a una red WiMAX.

FIGURA 3
Red híbrida de satélite DVB-S2/RCS-WiMAX



S.1897-03

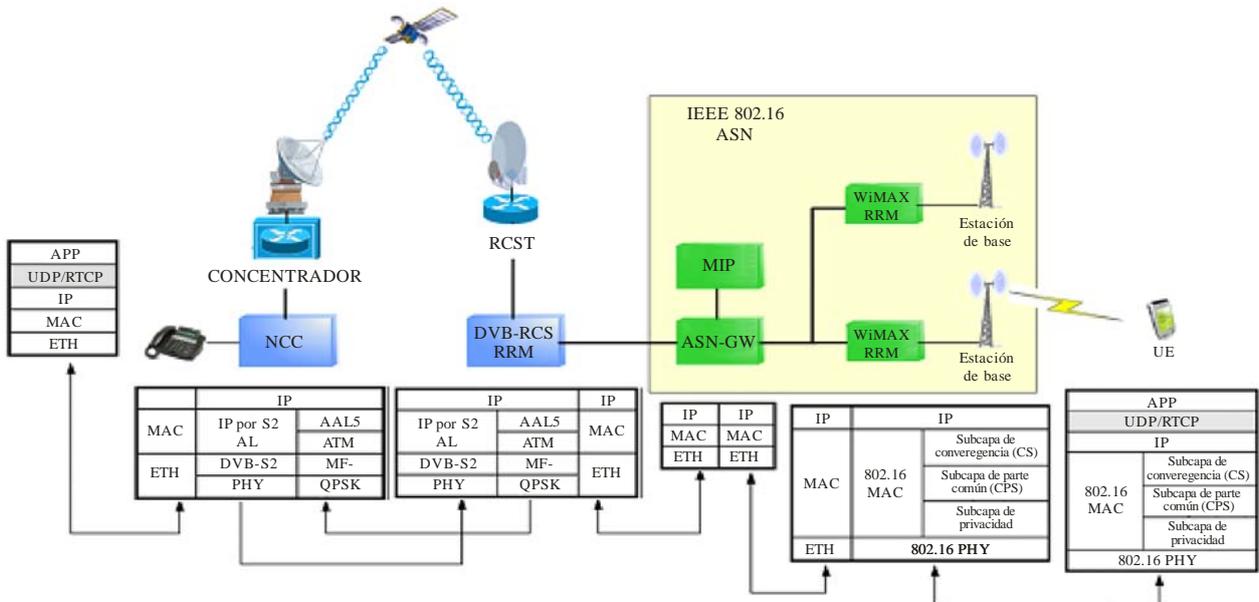
2.2.1 Arquitectura de protocolo de red híbrida de satélite-WiMAX

En la Fig. 4 se muestra la arquitectura del protocolo de red híbrida de satélite-WiMAX. El enlace terrenal se basa en IEEE 802.16, según la cual un usuario de la red dorsal dirige el tráfico (por ejemplo, una conversación VoIP) a un usuario móvil, denominado equipo de usuario (UE, *user equipment*). El UE se sitúa en la zona de servicio de una red WiMAX. La estación de base (BS, *base station*) es responsable de la conectividad IEEE 802.16 a través del enlace radioeléctrico hasta el UE ubicado dentro de su zona de cobertura. Una capa física adaptable maximiza la velocidad de

datos ajustando los modos de transmisión a las variaciones del canal, al tiempo que mantiene una tasa de errores en los paquetes (PER, *packet error rate*) definida. La gestión de recursos radioeléctricos (RRM, *radio resource management*) WiMAX se encarga de utilizar los limitados recursos radioeléctricos y la infraestructura de red de radiocomunicaciones de su BS asociada de manera eficiente empleando estrategias y algoritmos para controlar los parámetros. En la Fig. 4 se incluye una pasarela de red de servicio de acceso (ASN, *access service network*) y la RRM DVB-RCS. La RRM del terminal de satélite verifica si hay recursos suficientes disponibles para permitir la admisión de nuevos UE que solicitan servicios de la pasarela al enlace de satélite. El RCST comunica con el concentrador asociado a un centro de control de red (NCC, *network control center*). El NCC controla la red interactiva y las peticiones de servicio de los usuarios a través del acceso de satélite, y gestiona el espectro de satélite en función de las peticiones de los terminales de satélite. La pila de protocolo de la RRM WiMAX está formada por tres subcapas que forman toda la capa MAC. La subcapa de convergencia (MAC-CS) se encarga de la transformación o el mapeado de los datos de la red externa (por ejemplo, Ethernet, IP). La subcapa de parte común (MAC-CPS) empaqueta la información procedente de la MAC-CS en unidades de datos de paquetes MAC (MPDU, *MAC packet data unit*), y la subcapa de privacidad realiza la autenticación, el intercambio de claves y la encriptación de los datos. Las principales características de la capa física IEEE 802.16 son la utilización de la multiplexación por división ortogonal de frecuencia (OFDM, *orthogonal frequency division multiplexing*), la multiplexación por división en el tiempo (TDM, *time division multiplexing*) y el control de potencia en banda S (principalmente en torno a 3,5 GHz). MAC-CPS es el núcleo de la capa MAC. Se encarga de la QoS, gestiona la anchura de banda, multiplexa los flujos VoIP destinados a la BS, establece y mantiene la conexión, realiza la corrección de errores en recepción (FEC, *forward error correction*) y activa los mecanismos de petición automática de repetición (ARQ, *automatic repeat request*).

FIGURA 4

Arquitectura de referencia y pila de protocolo de la red IEEE 802.16e-2005/DVB-RCS



En WiMAX se han especificado varios perfiles ASN como herramienta para gestionar la utilización y aplicación del nodo de diversidad:

- Perfil A: Modelo ASN centralizado con ASN-GW y BS en plataformas separadas con RRM dividida. Atribución de recursos radioeléctricos (RRA) en la BS y control de recursos radioeléctricos (RRC) en la pasarela.
- Perfil B: Funcionalidades de BS y ASN-GW aplicadas en una única plataforma.
- Perfil C: Plataformas distintas con RRM controlada por la BS.

El Perfil A conviene a la entrega flexible, que se utiliza en los móviles de alta velocidad, donde los usuarios típicos son móviles dentro de una zona rural. Aunque el Perfil B es el más simple, los operadores prefieren emplear plataformas distintas, pues resulta más fácil personalizar las funciones IP e inalámbricas. El Perfil C incluye la ASN-GW entre las dos RRM, es decir, la del terminal de satélite y la de la red WiMAX. Permite la interacción entre ambos y gestiona los recursos sin conflictos. Esta opción permite que cada BS gestione el servicio IEEE 802.16 dentro de su zona, mientras que el RCST se ocupa de la asignación de recursos de todas las ASN. La ASN-GW incorpora el IP móvil para ofrecer un mecanismo eficaz y adaptable de itinerancia dentro de Internet.

Anexo 2

QoS entre capas en redes híbridas de satélite-terrenal

1 Alcance

En este Anexo se presentan los resultados de las simulaciones experimentales realizadas en redes híbridas de satélite-terrenal (por ejemplo, WiFi y WiMAX), que demuestran la mejor QoS lograda por los métodos de diseño entre capas. Las aplicaciones comprenden la teleconferencia de vídeo, la VoIP y la transferencia de datos sin garantías (HTTP, FTP). La repercusión del desvanecimiento en la QoS se ha medido con el retardo, la variación del retardo, la fluctuación de fase y la tasa de pérdidas de paquetes, con lo que se obtiene valiosa información para los diseñadores de sistemas de satélites. Pueden encontrarse más detalles sobre los métodos entre capas en el Informe UIT-R S.2222.

2 Mitigación del desvanecimiento por lluvia y diseño de QoS entre capas

La técnica de mitigación del desvanecimiento por lluvia que aquí se describe se basa en DVB-S2. Una de las principales características de DVB-S2 es su codificación y modulación para longitudes de bloque FEC normal (64 800 bits) y corta (16 200 bits). Un aspecto interesante es que la modulación y la codificación pueden modificarse de manera adaptable trama por trama en determinados tipos de trenes de transporte. La adaptación depende de la información de interferencia + señal/ruido recibida en la estación emisora procedente de la(s) estación(es) receptora(s). Con esta característica se pretende mitigar los efectos del desvanecimiento por lluvia, en particular en la banda Ka y en bandas de frecuencias superiores. La mitigación del desvanecimiento por lluvia supone una interacción entre la capa física de los terminales en tierra cuya señal recibida se ve afectada por el desvanecimiento y la MAC en la pasarela que controla la

DVB-RCS, que se utiliza en el enlace de retorno, especifica un terminal de satélite que soporta un sistema de satélite DVB bidireccional, donde el trayecto de ida se ajusta a DVB-S2. El enlace de retorno MF-TDMA está codificado con el código convolucional concatenado y el código Reed Solomon. Los datos pueden estar encapsulados en células del modo de transferencia asíncrono (ATM) utilizando la capa de adaptación ATM 5, o se puede emplear la encapsulación IP nativa en MPEG-2.

El tráfico se ha clasificado en servicios conversacionales, servicios interactivos y servicios de difusión con parámetros de QoS recomendados, por ejemplo, retardo de paquetes, variación del retardo y tasa de errores en los paquetes. Las clases de servicio se agrupan en términos de aplicaciones tolerantes e intolerantes a los errores con diversos límites de retardo.

3.2 Esquema de anchura de banda a la carta (BOD, *bandwidth on demand*) utilizado en las simulaciones OPNET

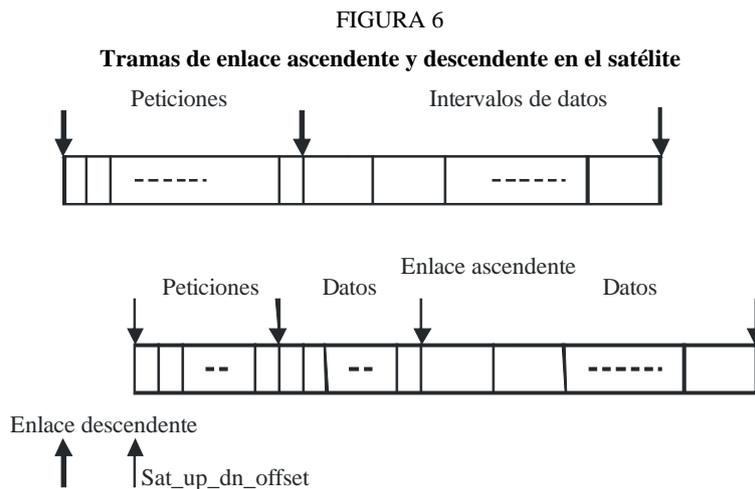
El esquema BOD comprende las operaciones en los terminales en tierra y en el controlador de recursos del satélite. La secuencia básica de operaciones para la atribución de BOD es la siguiente:

- El terminal en tierra(i) (GT[i]) formula en una trama n una petición de intervalos de datos de enlace ascendente atribuidos dinámicamente en función de las condiciones del terminal (tamaño de las colas de clase y número de llegadas de paquetes durante la trama n-1). Véase la definición de trama en la Fig. 6.
- En la trama n+5 (en el GT[i]), el satélite recibe la petición, así como las peticiones de todos los demás GT. Basándose en la información de las peticiones y en la información almacenada, incluida la atribución de velocidad constante (CRA, constant rate allocation) para cada GT, el satélite efectúa una atribución masiva de intervalos de datos de enlace ascendente para cada GT y «difunde» las atribuciones a todos los GT.
- Durante la trama n+9 de enlace descendente (en el GT[i]) el GT[i] recibe la atribución masiva, incluida la atribución de velocidad constante, que ha de utilizar en su siguiente trama de enlace ascendente. El GT[i] divide la atribución masiva entre sus clases de tráfico basándose en la atribución de velocidad constante y en el tamaño de la cola en la trama (n+9) utilizando un algoritmo de ponderación de clase para la porción atribuida dinámicamente. Entonces utiliza la atribución dividida en su siguiente trama de enlace ascendente (n+10).

3.2.1 Algoritmo de atribución de anchura de banda del canal de retorno

La atribución de la anchura de banda en los terminales de tierra consiste en la atribución fija y la atribución dinámica siguientes:

- Tráfico de velocidad binaria constante – La atribución para el tráfico en tiempo real es constante y persistente.
- Atribución dinámica – La atribución para el tráfico IP se basa en la tasa de llegada de paquetes y en el tamaño de las tres colas de clase, empleando un algoritmo de prioridad de ponderación de clase.



S.1897-06

La Fig. 6 muestra la estructura de la trama TDM formada por intervalos de petición e intervalos de datos correspondientes al enlace ascendente y el enlace descendente.

Las atribuciones se agregan y se efectúan masivamente a cada terminal en tierra trama por trama. Cada GT mantiene colas de clase 0-3. El tráfico con marca tipo de servicio (TOS, *type of service*) 4 y superior se dirige a la cola de clase 0. El tráfico con marca TOS 3 se dirige a la cola de clase 1. El tráfico con marca TOS 2 se dirige a la cola de clase 2 y el tráfico con TOS 1 y 0 se dirige a la cola de clase 3. Cada GT divide su atribución masiva entre sus cuatro colas de clase. La atribución de velocidad constante (CRA), que sigue las especificaciones de atribución de anchura de banda DVB-RCS, se realiza en primer lugar a la cola de clase 0, basándose únicamente en el valor calculado en el momento de inicialización. El resto de la atribución masiva se reparte secuencialmente entre las colas de clase 1, 2 y 3, de la siguiente manera:

Initialization:

```

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];
}

```

Las colas de clase pueden tener un tamaño ilimitado o un tamaño máximo definido. En este último caso, el tráfico es algo variable y, dado que el esquema DAMA no puede responder en un tiempo inferior al tiempo de ida y vuelta, el tamaño máximo se suele definir en función de la velocidad de flujo media en los tiempos de cola equivalentes a un par de idas y vueltas.

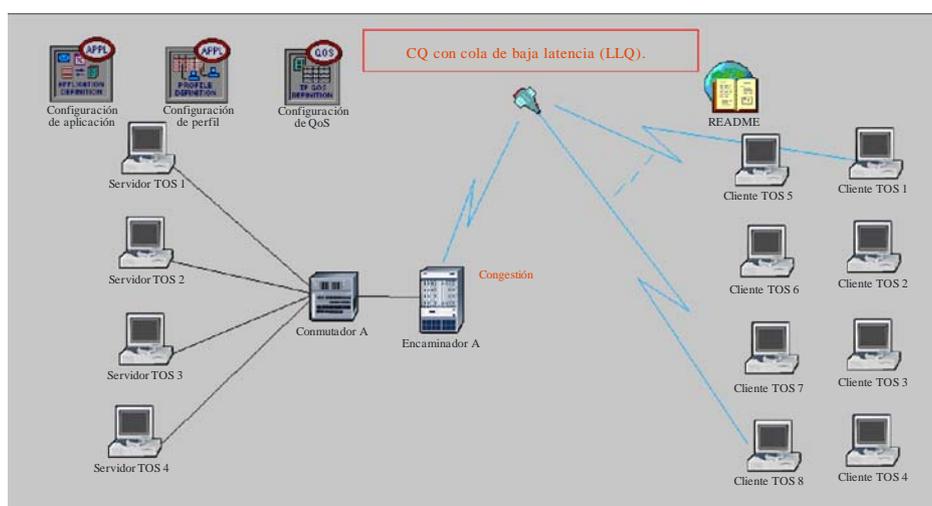
3.3 Simulaciones experimentales y resultados del rendimiento – Caso 1

3.3.1 Modelo de simulación

En la Fig. 7 se muestra el esquema inicial de la simulación con una red DVB de satélite IP para el soporte de aplicaciones multimedia. El encaminador A sirve de pasarela con la subred compuesta por el conmutador A y los cuatro servidores. También sirve de terminal en tierra y la subred representa a Internet.

El satélite representa la congestión de anchura de banda de la red. El cliente solicita servicios a los servidores y las comunicaciones se transmiten con tráfico en dirección inversa.

FIGURA 7
Modelo OPNET de red de simulación



S.1897-07

3.3.1.1 Modelo de tráfico

Se supone que el tráfico empieza a 110 segundos y se mantiene hasta el final de la simulación. A continuación se resumen los flujos de tráfico básicos y las condiciones de frontera:

Videoconferencia: Entre el cliente TOS 1 y el cliente TOS 8 por los servidores TOS 1 y 4, se representa en las siguientes Figuras como casos 1 a 4, respectivamente. La dirección de ida se distribuyó exponencialmente con una media de 1 000 bytes por trama, y la dirección de vuelta se distribuyó exponencialmente con una media de 250 bytes por trama a 30 tramas/segundo en ambas direcciones.

VoIP: Supresión de silencio G.729: Entre el servidor 1 y los clientes 1 y 5 con TOS = 1. Las ráfagas de habla se distribuyeron exponencialmente con una duración media de 0,352 segundos y los intervalos de silencio se distribuyeron exponencialmente con una duración media de 0,65 segundos. Durante la ráfaga de habla, se generaron paquetes de 80 bytes, incluido el encabezamiento, a 100 veces por segundo. No se enviaron datos durante los intervalos de silencio.

HTTP: Entre el servidor 2 y los clientes 2 y 6 con TOS = 1. El tráfico de ida se compuso de un paquete de 1 000 bytes y cinco paquetes uniformemente distribuidos entre 500 y 2 000 bytes con un intervalo medio exponencialmente distribuido de 30 segundos. El tráfico de vuelta se compuso de seis paquetes de 350 bytes con una distribución exponencial media de 30 segundos.

Interrogación a la base de datos: entre el servidor 3 y los clientes 3 y 7 con TOS = 1. La ida y la vuelta consistieron en un paquete de 512 bytes con un intervalo medio exponencialmente distribuido de 12 segundos.

FTP: Entre el servidor 4 y los clientes 4 y 8 con TOS = 3. El tráfico de ida y el de vuelta consistieron en un paquete de control de 512 bytes y un paquete de datos de 8 000 bytes (50% dar y 50% tomar) exponencialmente distribuidos con un intervalo medio de 60 segundos.

3.3.1.2 Parámetros de la simulación

Los principales parámetros del enlace de satélite con división en el tiempo son los siguientes:

Velocidad binaria básica	2,048 Mbit/s
Número de intervalos de petición	150
Número de intervalos de datos	128
Intervalo de petición de enlace descendente (bits)	20
Intervalo de petición de enlace ascendente (bits)	47
Asignación de intervalos de datos (bits)	32
Intervalo de datos básico (bits)	424

Parámetros de desvanecimiento

A continuación se indican las características del intervalo de desvanecimiento por lluvia de 10 dB introducido durante la simulación del enlace descendente para todos los clientes:

Tiempo de inicio	140 segundos
Velocidad de ataque	0,25 dB/s
Duración del ataque	40 segundos
Tiempo de inicio de recuperación	180 segundos
Velocidad de recuperación	0,125 dB/s
Final del desvanecimiento por lluvia	260 segundos

3.3.2 Resultados de la simulación experimental

En esta cláusula se presentan los resultados de la simulación para la atribución de la anchura de banda, y las interacciones entre las capas de aplicación-PHY y de transporte-PHY, teniendo específicamente en cuenta el efecto del desvanecimiento por lluvia.

3.3.2.1 Interacción de las capas PHY-MAC: anchura de banda a la demanda con desvanecimiento por lluvia

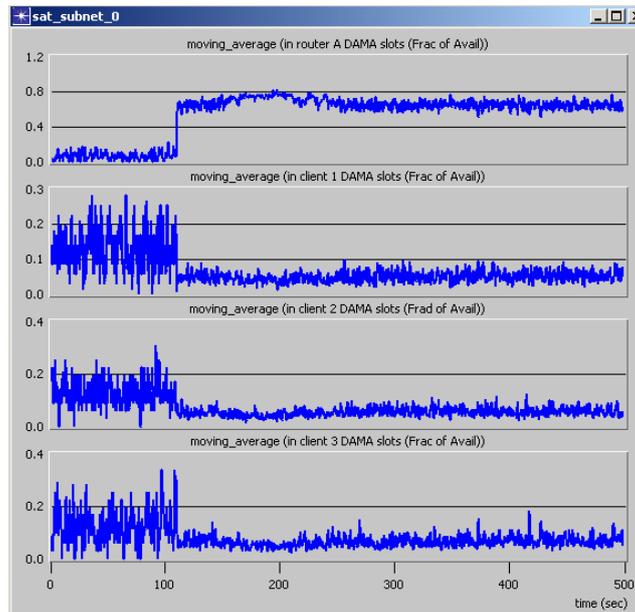
En la Fig. 8 se muestra la atribución masiva de intervalos de datos a la pasarela y a los terminales, como una función del tiempo de la simulación. Se utiliza un algoritmo de anchura de banda a la demanda para atribuir intervalos de datos al encaminador y a los clientes.

Cada curva muestra una fracción del total de intervalos de datos disponible asignado al nodo identificado por el nombre de la curva. (Por ejemplo, en el encaminador A DAMA el 80% de los intervalos están disponibles a 200 ms.) El tráfico empieza tras 150 segundos, por lo que la atribución antes de ese momento es simplemente una atribución aleatoria de intervalos libres.

Una vez iniciado el tráfico, puede verse que la atribución se media equitativamente en el tiempo en función de las demandas relativas de cada nodo (a 200 ms en los clientes 1, 2 y 3, el 5% de los intervalos está disponible).

FIGURA 8

Media móvil de la atribución de intervalos de datos al encaminador A y a los clientes 1-3, con desvanecimiento por lluvia



S.1897-08

3.3.2.2 Interacción de las capas PHY-de aplicación

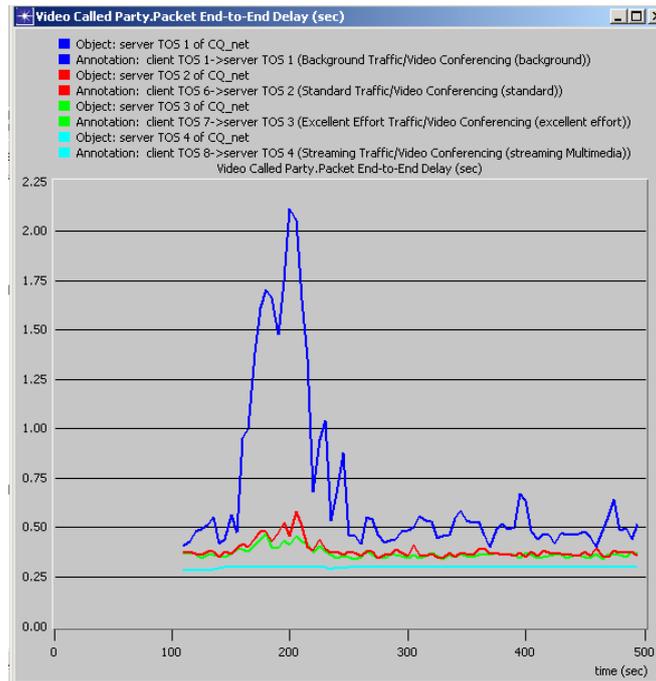
En esta subcláusula se describe el rendimiento del retardo de las aplicaciones de videoconferencia, VoIP y HTTP debido al desvanecimiento.

En la Fig. 9 se muestra el retardo de extremo a extremo para el tráfico de videoconferencia de retorno de los clientes 1-4, medido en los servidores 1-4. También se muestra el mayor retardo y variabilidad del tráfico que atraviesa las colas de clase inferior. Del mismo modo, en caso de congestión, el tráfico de baja prioridad sufre más que el tráfico de alta prioridad.

Estas curvas indican la amplitud del retardo para las cuatro clases de tráfico. Durante el desvanecimiento por lluvia, el tráfico de menor prioridad experimenta un retardo mucho mayor que el del tráfico de mayor prioridad. El tráfico de prioridad más alta no se vio afectado por el desvanecimiento por lluvia porque su asignación era una atribución a velocidad constante, es decir negociada previamente y no dinámica con respecto al tráfico.

FIGURA 9

Retardo de extremo a extremo para el tráfico de videoconferencia de retorno de los clientes 1-4, medido en los servidores 1-4



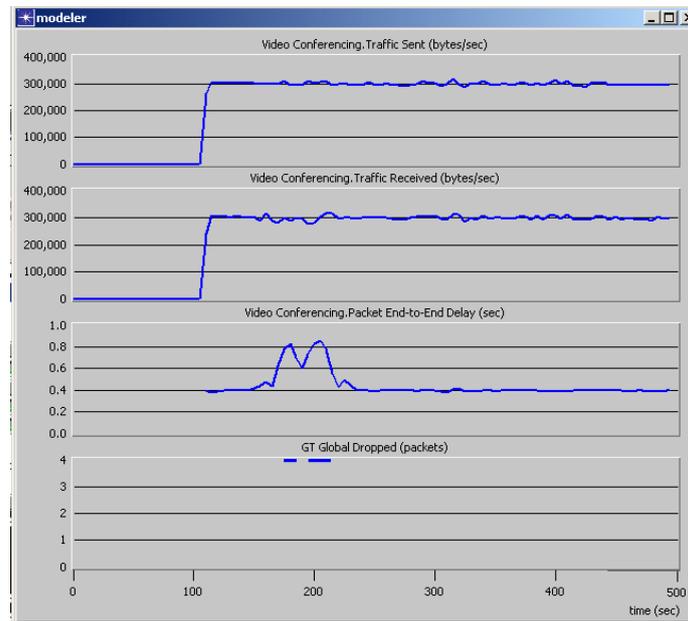
S.1897-09

En la Fig. 10 se muestra el tráfico global de videoconferencia enviado, recibido, su retardo de extremo a extremo y los paquetes abandonados. En total, se abandonaron 287 paquetes durante el desvanecimiento por lluvia. De éstos, 165 se abandonaron en la cola de clase 3 del encaminador A y 122 en la cola 3 del cliente 1. Durante el desvanecimiento por lluvia, el retardo máximo combinado alcanzó aproximadamente 0,859 segundos. En otros momentos, se mantuvo alrededor de 0,4 segundos.

Las dos curvas superiores muestran que las tasas de envío y recepción del tráfico de videoconferencia global fueron prácticamente iguales, excepto durante el desvanecimiento por lluvia, momento en que la tasa de recepción fue ligeramente inferior a la de envío. Inmediatamente después del desvanecimiento por lluvia, la tasa de recepción fue superior a la de envío durante un breve periodo de tiempo, lo que bastó para eliminar el retraso acumulado. La tercera curva empezando por arriba muestra la acumulación del retardo total de paquetes. La última curva indica el momento en que se abandonaron los paquetes.

FIGURA 10

Trafico de videoconferencia global enviado, recibido, retardo de extremo a extremo y paquetes abandonados; niveles de tráfico idénticos en TOS 1-4, desvanecimiento por lluvia

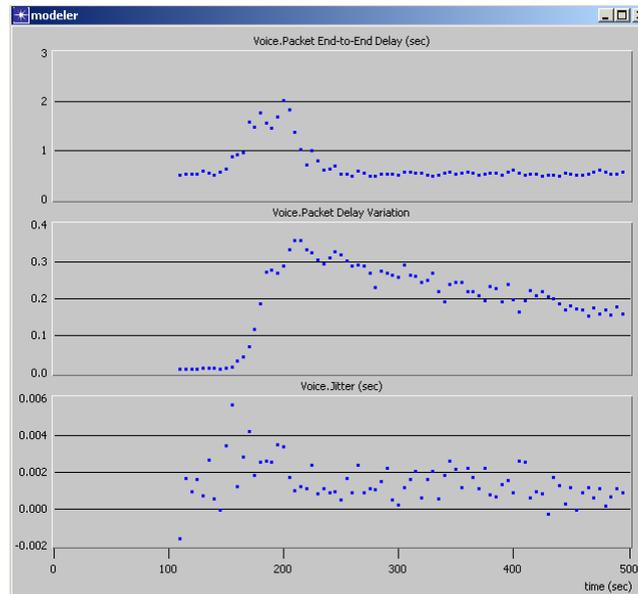


S.1897-10

En la Fig. 11 se muestra el retardo de extremo a extremo del total de paquetes de voz, la variación del retardo de paquetes y la fluctuación de base. La curva superior muestra el retardo global de extremo a extremo de cuatro trenes de audio (dos de ida y dos de vuelta). El retardo fue ligeramente superior a dos segundos durante el desvanecimiento por lluvia. Tal retardo sería inaceptable para una conversación interactiva. Una vez terminado el desvanecimiento por lluvia, el retardo era aproximadamente de 0,5 segundos, es decir, aun inaceptablemente alto. La curva del medio muestra la variación del retardo, que alcanzó un máximo de unos 0,36 segundos justo al final del desvanecimiento por lluvia y cayó hasta unos 0,17 segundos al final de la prueba. La última curva indica la fluctuación de fase del retardo de paquetes, es decir, la magnitud de la diferencia del retardo de paquetes consecutivos, que fue de alrededor de 6 ms.

FIGURA 11

Retardo de extremo a extremo total de paquetes de voz, variación del retardo de paquetes y fluctuación de fase en TOS = 1, desvanecimiento por lluvia

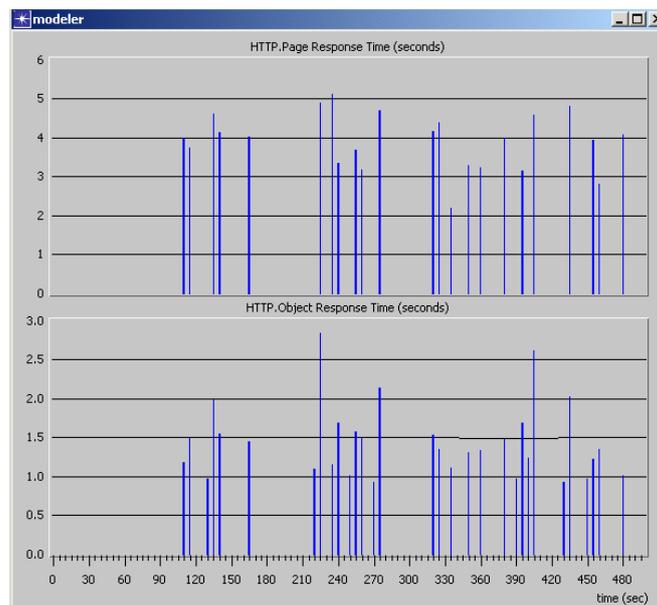


S.1897-11

En la Fig. 12 se muestran los tiempos de respuesta HTTP globales. El primer gráfico muestra el tiempo global de respuesta para las páginas. Estos tiempos van de apenas más de 2 segundos hasta cerca de 5 segundos. Cada transacción consistió en dos páginas: una portada y una página de resultados. La portada contenía un único objeto de 1 000 bytes de tamaño. La página de resultados contenía 5 objetos con una talla uniformemente distribuida de entre 500 y 2 000 bytes. El tiempo de respuesta para los objetos osciló entre menos de 1 segundo y alrededor de 2,75 segundos. De media, el tiempo fue de 3,907 s para las páginas y 1,436 s para los objetos.

FIGURA 12

Tiempos de respuesta globales para páginas HTTP y objetos en TOS =1, desvanecimiento por lluvia



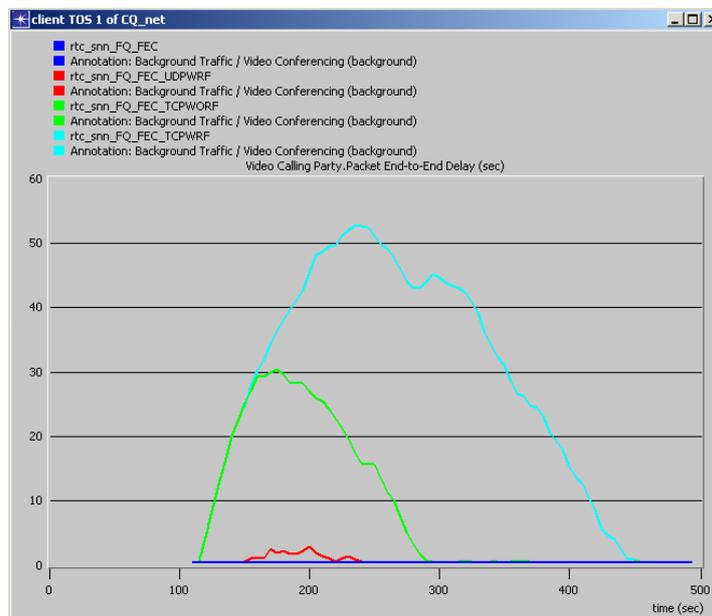
S.1897-12

3.3.2.3 interacción de las capas PHY-Transporte: rendimiento TCP/UDP

TCP plantea problemas particulares en caso de congestión o errores de transmisión. En la Fig. 13 se muestran cuatro casos de retardo de extremo a extremo para el tráfico de videoconferencia en sentido de ida entre el servidor 1 y el cliente 1. Estos cuatro casos son: transporte UDP sin desvanecimiento por lluvia, transporte UDP con desvanecimiento por lluvia, transporte TCP sin desvanecimiento por lluvia y TCP con desvanecimiento por lluvia. En los dos casos TCP, se utilizó TCP RENO SACK. TCP sufrió un retardo máximo de aproximadamente 30 segundos cerca de los 175 segundos de la simulación debido a la inicialización. En la simulación TCP con desvanecimiento por lluvia, cuando se inició el desvanecimiento por lluvia, aún no se había recuperado el retardo de la inicialización, lo que causó un pico de retardo de cerca de 53 segundos a los 240 segundos de la simulación.

FIGURA 13

Retardos de extremo a extremo para el tráfico de videoconferencia en sentido de ida entre el servidor 1 y el cliente 1 con UDP sin desvanecimiento por lluvia, UDP con desvanecimiento por lluvia, TCP sin desvanecimiento por lluvia y TCP con desvanecimiento por lluvia



S.1897-13

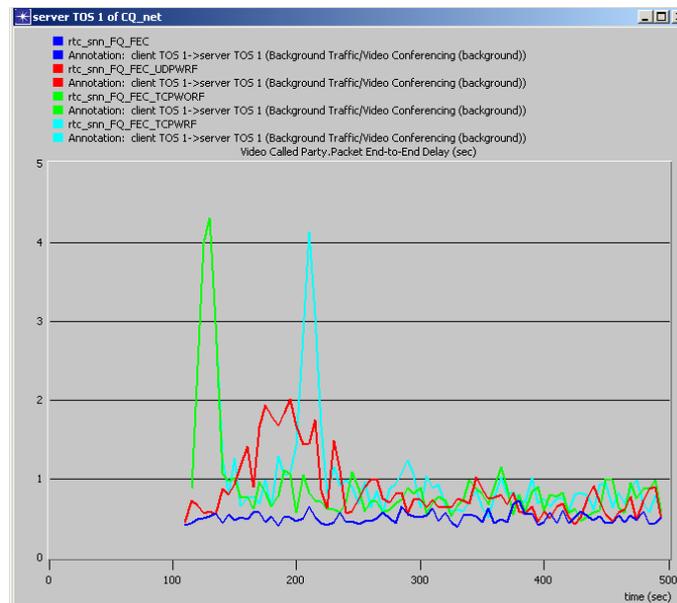
En la Fig. 14 se muestran los mismos cuatro casos, pero para el tráfico en dirección de retorno, es decir, del cliente 1 al servidor 1, donde el nivel de tráfico es un cuarto del tráfico en sentido de ida. En los dos casos TCP, hay un pico de retardo de inicialización de unos 4,2 segundos a los 130 segundos, seguido de una recuperación. En el caso que incluye el desvanecimiento por lluvia, se experimentó otro pico de unos 4,1 segundos a los 210 segundos de la simulación y nuevamente una rápida recuperación.

En las simulaciones TCP de las Figs. 13 y 14, no se abandonó tráfico en las colas de clase MAC del terminal. TCP simplemente impidió que la aplicación llenara su memoria temporal de entrada, lo que hizo que la aplicación se pusiera en cola a ese nivel. En todos los casos, todo el tráfico acabó entregándose.

Una comparación de las Figs. 13 y 14 muestra el efecto del volumen de tráfico en el retardo empleando TCP como protocolo de transporte con los mismos parámetros.

FIGURA 14

Retardo de extremo a extremo para el tráfico de videoconferencia en sentido de vuelta entre el cliente 1 y el servidor 1 para UDP sin desvanecimiento por lluvia, UDP con desvanecimiento por lluvia, TCP sin desvanecimiento por lluvia y TCP con desvanecimiento por lluvia



S.1897-14

3.3.3 Resumen

La próxima generación de redes de satélite IP con soporte de aplicaciones multimedia exige garantías de QoS. Las interacciones entre capas de protocolo no adyacentes afectan a la QoS y a la capacidad. Los resultados de la simulación de las técnicas de mitigación del desvanecimiento de DVB-S2 /DVB-RCS muestran la influencia del desvanecimiento en parámetros de QoS como la atribución de anchura de banda, el retardo y la variación del retardo para las aplicaciones de videoconferencia, VoIP, datos y TCP/UDP.

3.4 Simulación experimental y resultados de rendimiento – Caso 2

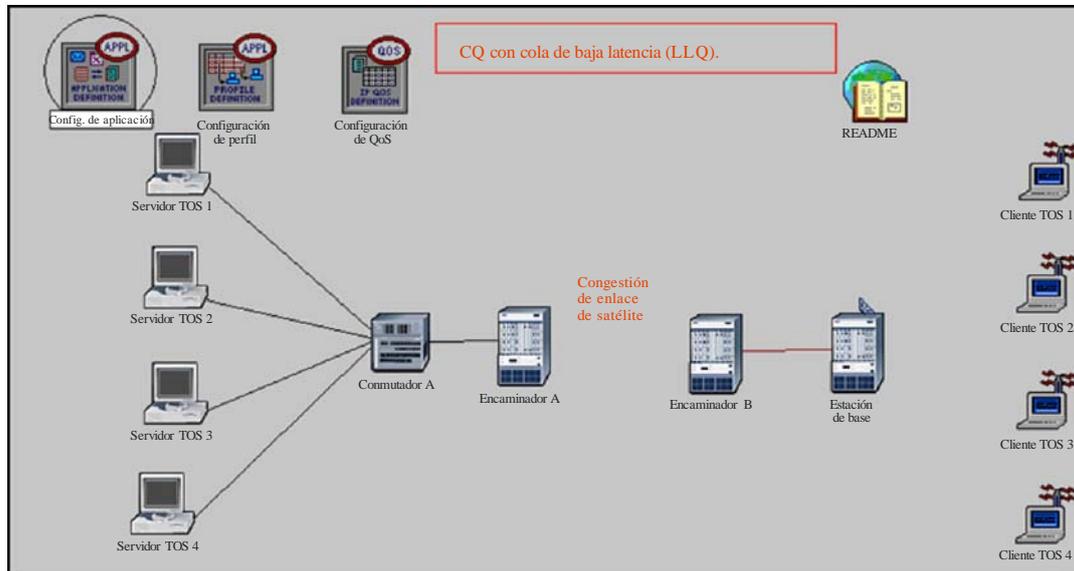
En esta cláusula se presentan los resultados de la simulación del modelo de red híbrida empleando el diseño entre capas, poniendo especial énfasis en el efecto del desvanecimientos sobre la atribución dinámica de recursos, es decir, la interacción entre la capa física y la capa de control de acceso a los medios (PHY-MAC) y la interacción entre los protocolos de la capa física y la capa de transporte, como el protocolo de control de transmisión/protocolo de datagrama de usuario (TCP/UDP). El modelo de sistema utilizó DVB-S2 para el enlace de ida y DVB-RCS para el enlace de retorno, conectado a una red terrenal WiFi. Se utilizó OPNET para la simulación de red de origen a destino.

3.4.1 Modelo de red de la simulación

En la Fig. 15 se muestra el modelo de red de la simulación, adaptado de OPNET, que está formada por una estación de base y cuatro clientes inalámbricos. El encaminador A es la pasarela a las peticiones Internet, que se representa mediante los nodos servidor de la izquierda. El encaminador A también ejerce de terminal en tierra para el acceso por satélite. El encaminador B es un terminal de tierra al satélite para los nodos cliente de la LAN inalámbrica de la derecha. Está conectado a la estación de base de la LAN inalámbrica mediante un enlace Ethernet. Los clientes de la LAN

inalámbrica comunican con los servidores en sentido de retorno enviando paquetes por la interfaz aérea a la estación de base.

FIGURA 15
Modelo de red de la simulación



S.1897-15

La estación de base remite los paquetes al encaminador B que, a su vez, los remite por satélite al encaminador A. El encaminador A remite los paquetes recibidos del satélite al servidor correspondiente. El tráfico de ida (servidor a cliente) sigue el camino inverso al que se acaba de describir.

3.4.2 Configuración de la QoS

A fin de dar la calidad de servicio conveniente a cada aplicación, como la videoconferencia, la voz por IP, HTTP, interrogación de base de datos y FTP, se han definido categorías de tráfico y cada terminal MAC en tierra estará formado por cuatro colas de memoria tampón de entrada. Se efectúa la clasificación DiffServ del tráfico y, en función del tipo de campo servicio, el tráfico se introduce en la clase de memoria tampón correspondiente, es decir, RT, VR-RT, VR-JT y JT. En el Cuadro 1 se muestra la correspondencia entre el nivel de aplicación y las cuatro colas.

3.4.3 Modelo de tráfico

El modelo de tráfico empleado en la simulación descrita en § 3.3.1.1 comprende cinco clases: videoconferencia, voz por IP, HTTP, interrogación de base de datos y FTP, como se muestra en el Cuadro 2. El tráfico se divide en cuatro clases de servicio según las cuatro colas del terminal MAC en tierra.

3.4.4 Carga del enlace de satélite

El modelo de tráfico hace que se cargue el enlace de satélite al 88,52% de su capacidad. Esta carga tiene en cuenta el tamaño del intervalo de datos, el tamaño de paquetes de las diversas aplicaciones, la tara del ACM de enlace de emisión y la tara del enlace de retorno.

3.4.5 Parámetros de la simulación

Desvanecimiento por lluvia

Durante la simulación se experimenta un desvanecimiento por lluvia de 10 dB en el enlace descendente para el tiempo de servicio cliente (TOS) 1 y el TOS cliente 2 con las siguientes características:

CUADRO 1
Configuración de QoS (DiffServ)

Nivel de aplicación		Colas	Correspondencia
Mejor esfuerzo	0	RT – velocidad binaria constante en tiempo real	0,1 -> JT
Fondo	1	VR-RT – tráfico en tiempo real a velocidad variable	2 -> VR-JT
Normalizado	2	VR-JT – tráfico en tiempo real a velocidad variable con tolerancia a la fluctuación de fase	3 -> VR-RT
Excelente esfuerzo	3	JT – tráfico con tolerancia a la fluctuación de fase y demás tráfico	4,5,6 -> RT
Difusión multimedios	4		
Multimedios interactivos	5		
Voz interactiva	6		

Parámetros de desvanecimiento

Tiempo de inicio	140 seg
Velocidad de ataque	0,25 dB/s
Duración de ataque	40 seg
Tiempo de inicio de recuperación	180 seg
Velocidad de recuperación	0,125 dB/s
Fin desvanecimiento por lluvia	260 seg

Parámetros de trama

A continuación se indican los principales parámetros del enlace de satélite con división en el tiempo:

Velocidad binaria básica 2,048 Mbit/s (adaptado al cuadrado)

Número de intervalos de solicitud	150
Número de intervalos de datos	128
Intervalo de solicitud de enlace descendente	20 bits
Intervalo de solicitud de enlace ascendente	47 bits
Asignación de intervalos de datos	32 bits

Intervalo de datos básico 424 bits (adaptado al cuadrado)

La correspondencia de QoS del nivel de aplicación, el desvanecimiento por lluvia y el formato de enlace de simulación indicados anteriormente se emplean para realizar la simulación experimental descrita en § 5.

CUADRO 2
Modelo de tráfico

Aplicación	De	A	Tamaño	Prioridad (TOS)
Videoconferencia	Cliente 1	Servidor 1	15 kbit/s	Fondo (1)
VoIP	Cliente 1	Servidor 1		Mejor esfuerzo (0)
Videoconferencia	Servidor 1	Cliente 1	60 kbit/s	Mejor esfuerzo (0)
VoIP	Servidor 1	Cliente 1		Mejor esfuerzo (0)
Videoconferencia	Cliente 2	Servidor 2	15 kbit/s	Normalizado (2)
Videoconferencia	Servidor 2	Cliente 2	60 kbit/s	Normalizado (2)
HTTP	Cliente 2	Servidor 2	Paquete de solicitud	Mejor esfuerzo (0)
HTTP	Servidor 2	Cliente 2	Página de respuesta	Mejor esfuerzo (0)
Videoconferencia	Cliente 3	Servidor 3	15 kbit/s	Excelente esfuerzo (3)
Videoconferencia	Servidor 3	Cliente 3	60 kbit/s	Excelente esfuerzo (3)
Interrogación base de datos	Cliente 3	Servidor 3	Paquete interrogación	Mejor esfuerzo (0)
Respuesta base de datos	Servidor 3	Cliente 3	0,512 kbit/s	Mejor esfuerzo (0)
Videoconferencia	Cliente 4	Servidor 4	15 kbit/s	Difusión multimedios (4)
Videoconferencia	Servidor 4	Cliente 4	60 kbit/s	Difusión multimedios (4)
FTP	Cliente 4	Servidor 4	Fichero de 8 kbit/s en paquetes de 1 500 bytes	Excelente esfuerzo (3)
FTP	Servidor 4	Cliente 4	Fichero de 8 kbit/s en paquetes de 1 500 bytes	Mejor esfuerzo (3)

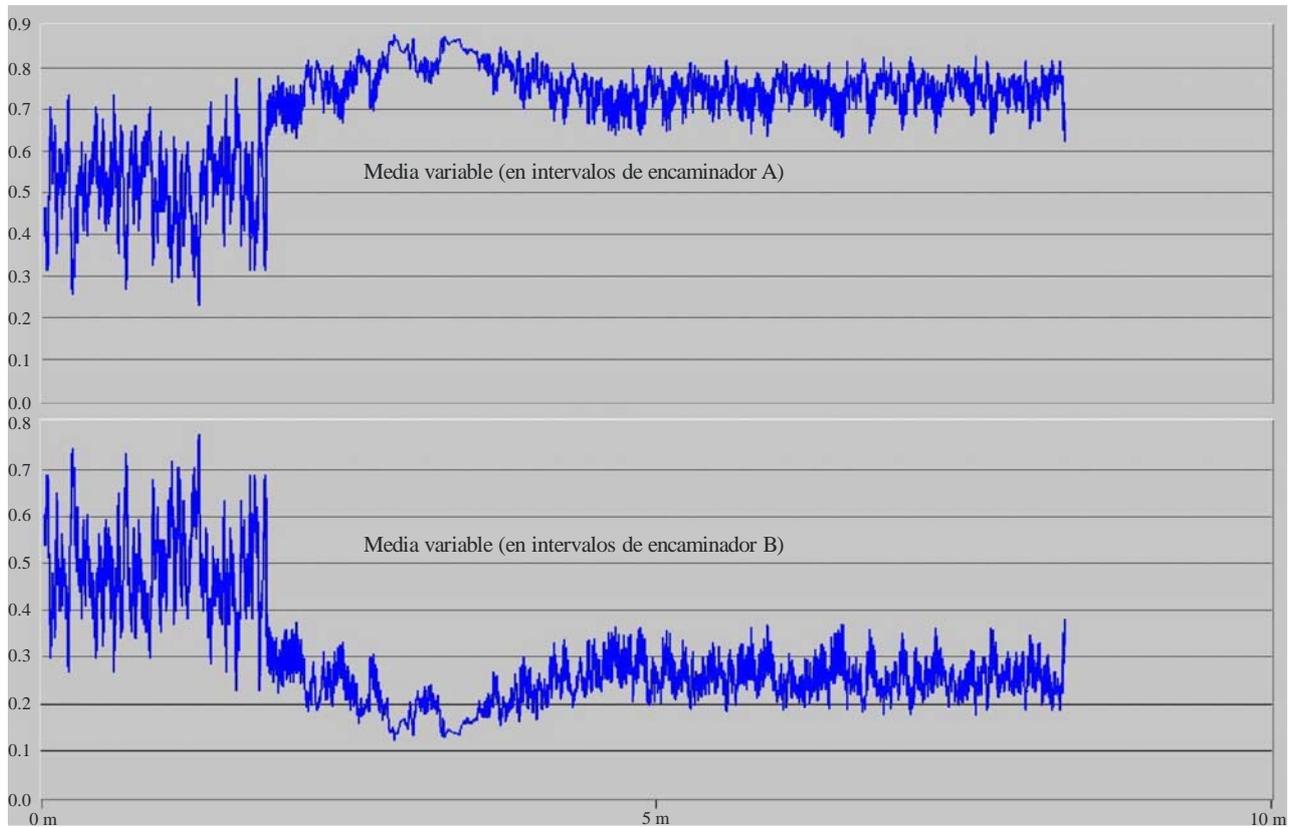
3.4.6 Resultados de la simulación experimental

En esta cláusula se presentan los resultados de la atribución de anchura de banda en presencia de desvanecimiento. Se describen las consecuencias del desvanecimiento sobre los parámetros de QoS de la aplicación multimedios, por ejemplo, extremo a extremo, variación del retardo de paquetes, fluctuación de fase, tiempo de respuesta y tráfico recibido. Las aplicaciones observadas en la simulación son: videoconferencia, VoIP (G.729 Silencio), HTTP, base de datos y FTP. El modelo de red es una red SATCOM conectada a la red WiFi mediante una estación de base y cuatro nodos, y la red SATCOM está formada por DVB-S2 para el protocolo de enlace de ida y DVB-RCS para el enlace de retorno.

3.4.6.1 Atribución de anchura de banda con desvanecimiento

En la Fig. 16 se muestra la atribución masiva de intervalos de datos al terminal de pasarela A (GTA) y el terminal de pasarela B (GTB) con desvanecimiento por lluvia como función del tiempo de simulación. El algoritmo de demanda de anchura de banda descrito en § 3.2 se emplea para determinar la atribución de intervalos de datos a los encaminadores. Cada una de las curvas muestra la fracción del total de intervalos de datos disponibles asignados a los nodos identificados por la curva en cuestión.

FIGURA 16
**Media variable de atribución de intervalos de datos DAMA a GT_A
 y GT_B con desvanecimiento por lluvia**



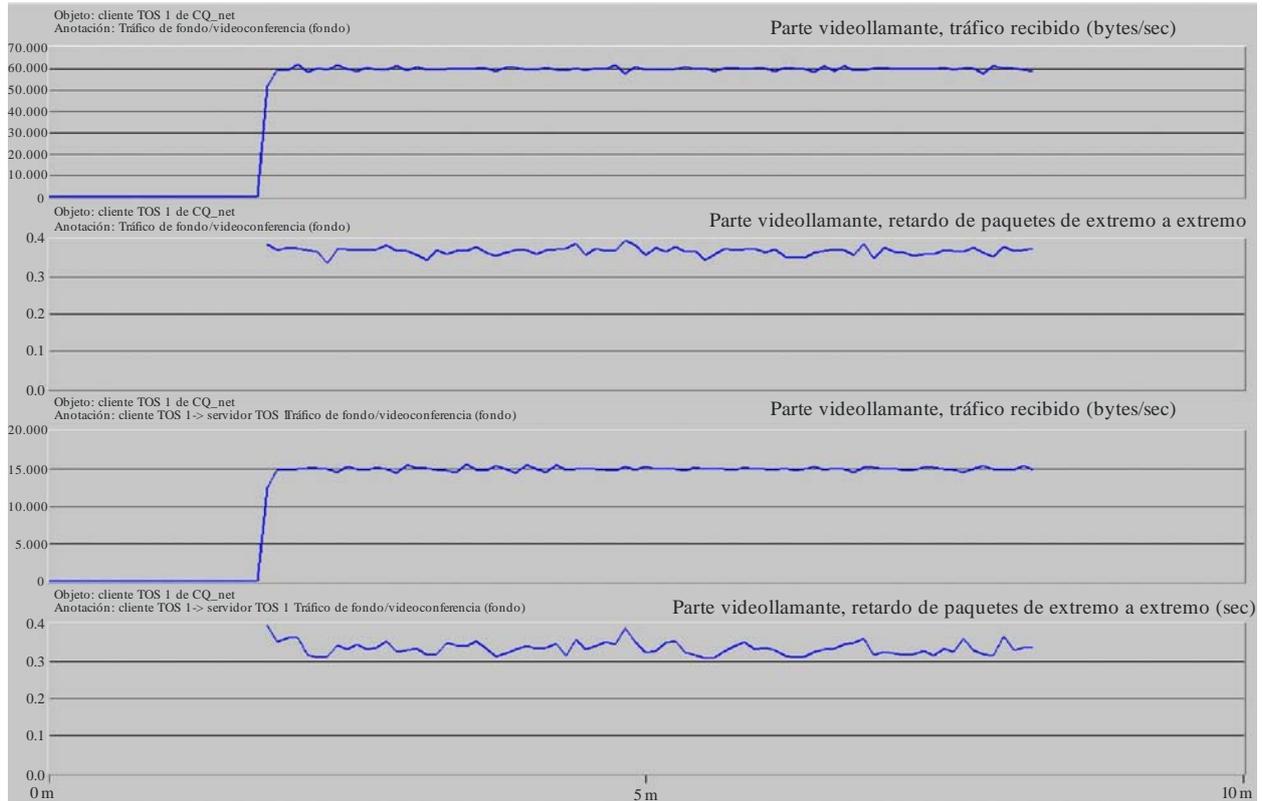
S.1897-16

3.4.6.2 Videoconferencia

En esta subcláusula se describe el rendimiento de retardo de extremo a extremo y el tráfico enviado y recibido en la aplicación de videoconferencia. Las cuatro clases de TOS consideradas son: fondo, normalizado, excelente esfuerzo y difusión de multimedios. En la Fig. 17a se muestra el TOS tráfico de videoconferencia de clase fondo entre el cliente 1 y el servidor 1 sin desvanecimiento; y en la Fig. 17b con desvanecimiento. El retardo de extremo a extremo tanto para la parte llamante como para la parte llamada aumenta con el desvanecimiento. En la Fig. 17c se ven las clases videoconferencia y difusión de multimedios con desvanecimiento por lluvia. Estas curvas muestran el alcance del retardo para cada clase de tráfico. Durante el desvanecimiento por lluvia, el tráfico de menor prioridad experimenta un retardo mucho mayor que el tráfico de prioridad más alta.

FIGURA 17a

Videokonferencia entre el cliente 1 y el servidor 1, TOS = Fondo sin desvanecimiento por lluvia



S.1897-17a

FIGURA 17b

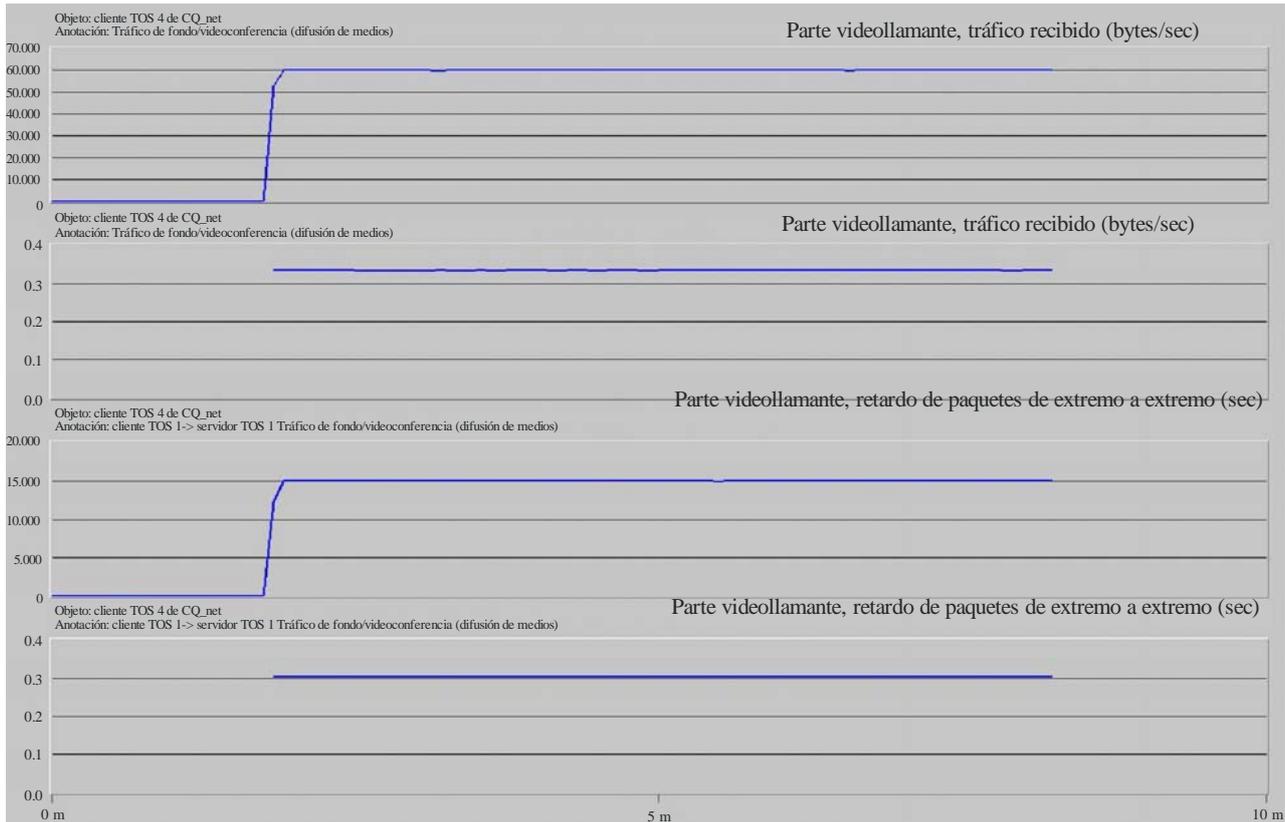
Videokonferencia entre el cliente 1 y el servidor 1, TOS = Fondo con desvanecimiento por lluvia



S.1897-17b

El tráfico de mayor prioridad, como la difusión de multimedios o la voz interactiva, no se vio afectado por el desvanecimiento por lluvia porque su asignación procede de una atribución negociada previamente. Por ejemplo, el retardo de extremo a extremo para la parte llamada va de los 3 segundos (Fig. 17b) en la clase fondo a 0,58 segundos para el tráfico de excelente esfuerzo y a 0,32 segundos para la difusión de multimedios con desvanecimiento por lluvia.

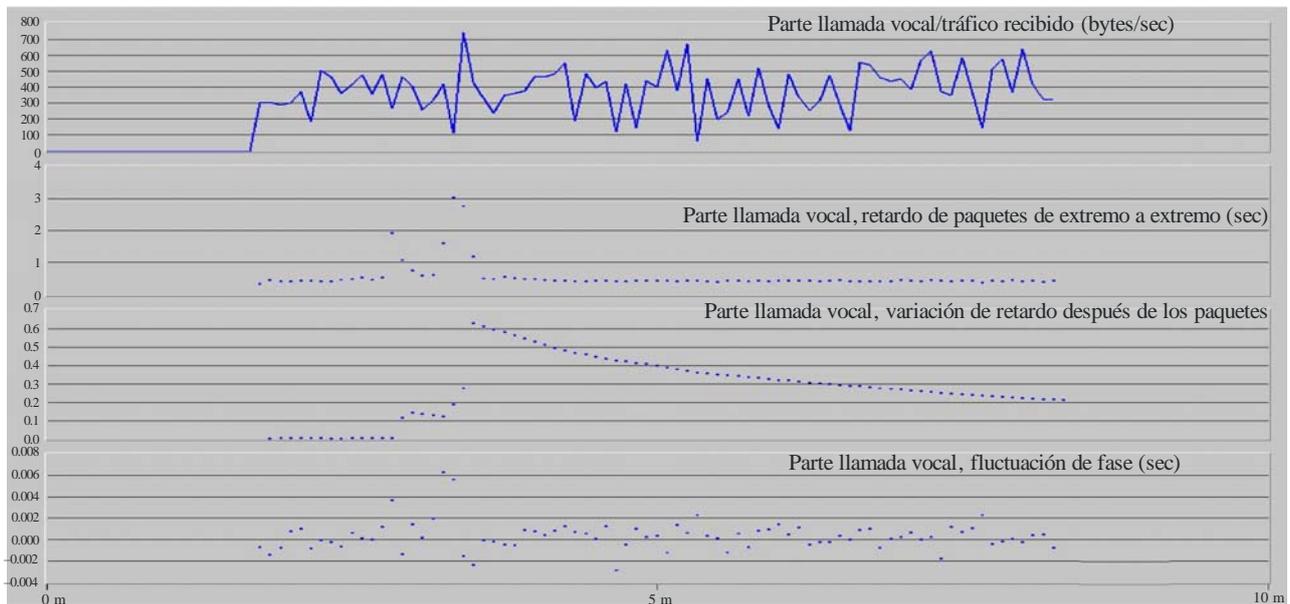
FIGURA 17c
**Videoconferencia entre el cliente 4 y el servidor 4,
 TOS = Difusión de multimedios con desvanecimiento por lluvia**



3.4.6.3 Retardo y fluctuación de fase de voz por IP (VoIP): clase mejor esfuerzo con desvanecimiento

En la Fig. 18 se muestra la variación de retardo de extremo a extremo para paquetes de voz combinada y la fluctuación de fase con desvanecimiento por lluvia. El retardo de extremo a extremo alcanza los 1,5 segundos durante el desvanecimiento por lluvia y se mantiene a unos 0,5 segundos el resto del tiempo. La variación del retardo de paquetes alcanza una cresta de 0,08 segundos al cuadrado y luego desciende hasta los 0,025 segundos al final de la simulación. La fluctuación de fase llega a una cresta cercana a 0,0045 segundos durante el desvanecimiento por lluvia. El resto del tiempo oscila entre $-0,0025$ y $0,002$.

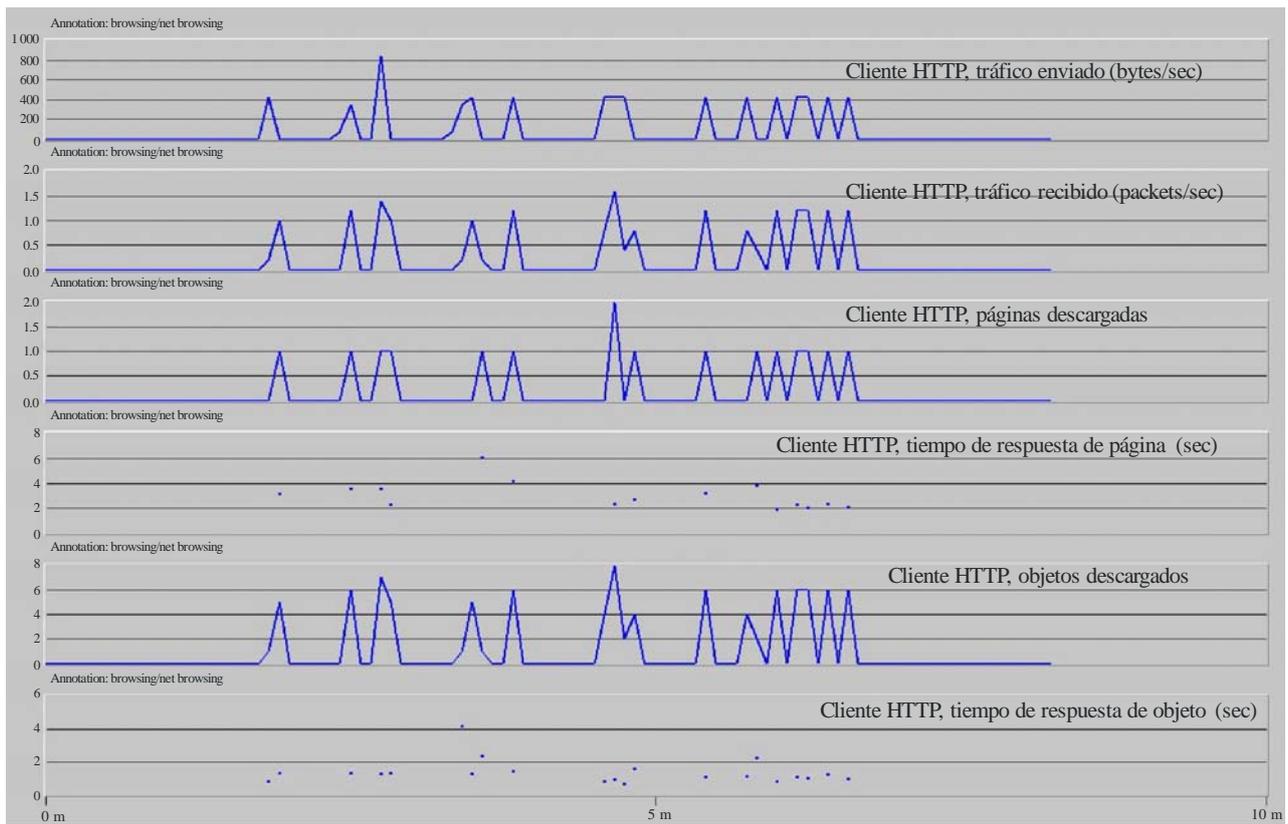
FIGURA 18
**Tráfico VoIP (G.729 Silencio) recibido en el servidor 1,
 TOS = Mejor esfuerzo, con desvanecimiento por lluvia**



3.4.6.4 HTTP: Tiempo de página y de respuesta

En la Fig. 19 se muestra el tráfico enviado y recibido, las páginas descargadas y los objetos. El tiempo de respuesta de página va de 2 segundos a unos 6 segundos. El tiempo de respuesta de objeto oscila entre 1 y 4 segundos en condiciones de desvanecimiento por lluvia con un tráfico de clase mejor esfuerzo.

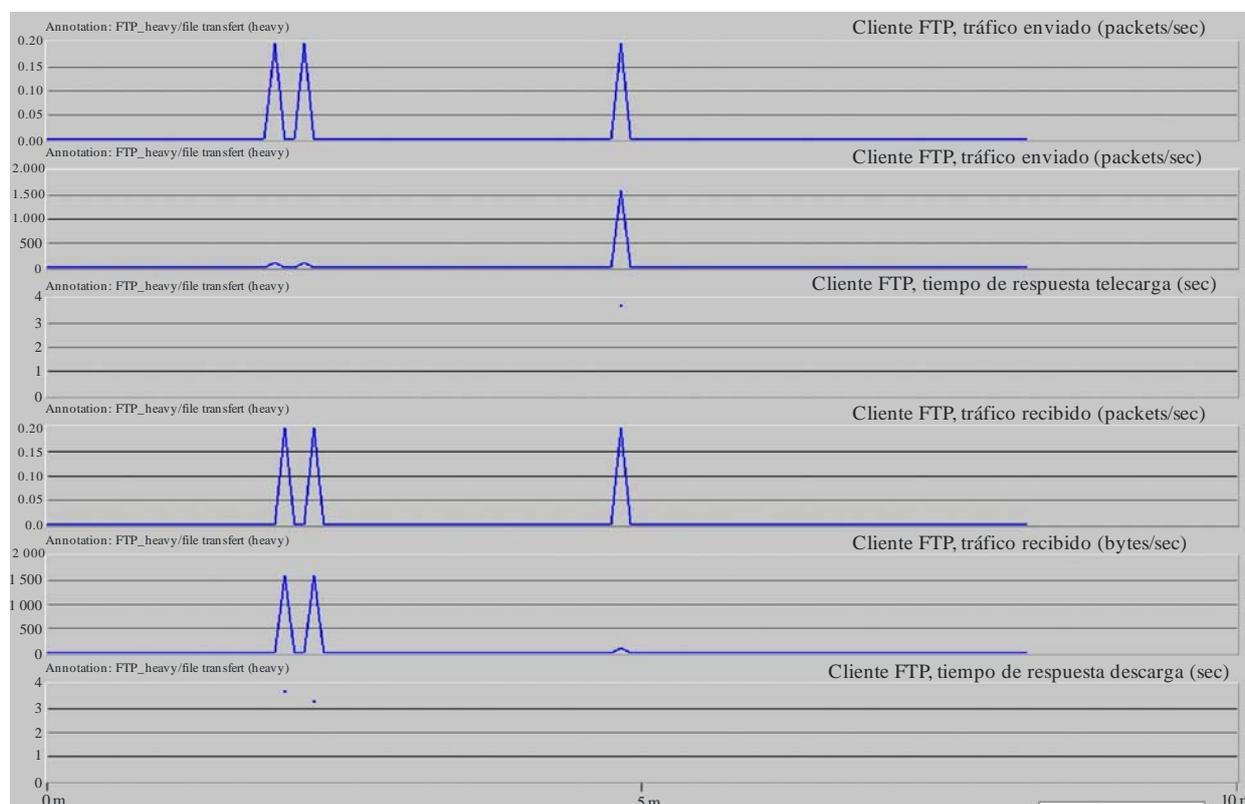
FIGURA 19
Tráfico HTTP entre el cliente 2 y el servidor 2,
TOS = Mejor esfuerzo, con desvanecimiento por lluvia



3.4.6.5 Tráfico FTP

En la Fig. 20 se muestra el tráfico FTP de clase mejor esfuerzo enviado y recibido, en paquetes por segundo, y los tiempos de respuesta.

FIGURA 20
Tráfico FTP entre el cliente 4 y el servidor 4



S.1897-20

En el Cuadro 3 se muestra el rendimiento relativo de las clases TOS de vídeo, voz y HTTP. El tráfico enviado con el TOS más alto (4) (utilizando CRA) se ve menos afectado por el desvanecimiento por lluvia y es el que menos retardo tiene. El tráfico de menor prioridad (TOS 1) experimenta un retardo considerable y hay pérdida de paquetes durante el desvanecimiento por lluvia. Esta prioridad probablemente no es la adecuada para aplicaciones de gran anchura de banda que utilizan TCP.

CUADRO 3
Rendimiento relativo de las clases TOS

Rendimiento relativo de TOS						
	Vídeo		Voz		HTTP	
	IDA	VUELTA	IDA	VUELTA	Página	Objeto
TOS 1	0,4619	0,4458	0,5036	0,4319	3,927	1,404
TOS 2	0,4433	0,3823	0,5024	0,4341	3,312	1,338
TOS 3	0,3911	0,3625	0,4399	0,4265	2,984	1,262
TOS 4	0,3713	0,2937	0,4071	0,3484	-----	-----

NOTA – Todos los resultados se expresan en segundos.

3.4.7 Resumen

El marco de simulación basada en el diseño entre capas se emplea para evaluar las consecuencias del desvanecimiento por lluvia y la mitigación debida a DVB-S2 en las aplicaciones multimedios. Las simulaciones demuestran el efecto del desvanecimiento en las aplicaciones, por ejemplo, videoconferencia, VoIP, HTTP, interrogación de base de datos y FTP, en términos de parámetros de QoS, que comprenden la atribución de ancho de banda, retardo de extremo a extremo, variación del retardo y fluctuación de fase.

4 Calidad de servicio entre capas para la VoIP en redes híbridas de satélite-WiMAX

4.1 Introducción

En esta cláusula se presentan los resultados de la optimización entre capas de la transmisión de tráfico en tiempo real por redes híbridas utilizando DVB-RCS/S2 de satélite y WiMAX, como se muestra en la Fig. 4. Esta simulación se centra en los experimentos de transmisión de voz por IP (VoIP) reduciendo el retardo total de la transmisión y la fluctuación de fase. Se utiliza una hipótesis centrada en el usuario extremo con adaptación de la velocidad de código. Se han analizado dos posibles adaptaciones de la velocidad de código entre capas: a) banco de código disponible en ambos extremos de la transmisión y conmutación de código determinada por los informes RTCP (protocolo de control en tiempo real); b) utilización de códigos de banda amplia adaptables (naturalmente entre capas o por las redes). Los mecanismos de diseño entre capas demuestran tener la capacidad de reducir el retardo total de la transmisión y la fluctuación de fase, e incrementan notablemente la capacidad total, incluso en entornos de satélite OSG.

4.2 Adaptación de velocidad VoIP entre capas

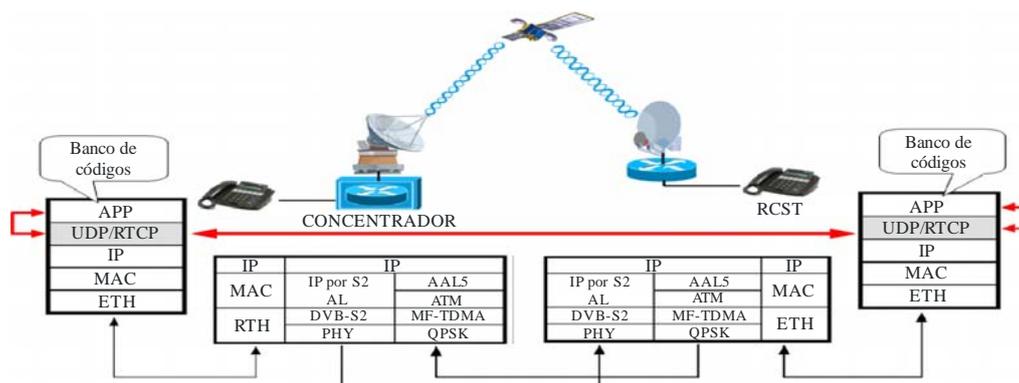
Esta contribución propone aplicar a los flujos VoIP un control de velocidad distribuido entre capas basándose en los informes del protocolo de control en tiempo real (RTCP). El banco de códigos está disponible en ambos extremos de la transmisión y la conmutación de código se efectúa en función de los informes RTCP. En la Fig. 21 se muestran la arquitectura del protocolo de red y los flujos de información necesarios.

4.2.1 Método basado en RTCP

Los receptores de protocolo en tiempo real (RTP) ofrecen información sobre la calidad de recepción mediante paquetes de informe RTCP, que pueden adoptar dos formas diferentes, en función de si el receptor es o no también emisor. La única diferencia entre los informes de emisor (SR) y los informes de receptor (RR), aparte del código de tipo de paquete, es que el informe de emisor incluye una sección de información de emisor de 20 bytes para su utilización por los emisores activos. Se efectúa un SR cuando un sitio ha enviado paquetes de datos durante el intervalo transcurrido desde la generación del último informe o del anterior. En caso contrario, se genera un RR.

La información sobre la fluctuación de fase, el retardo y la pérdida de paquetes se extrae de esos informes en cada extremo de la transmisión y se envía a la capa de aplicación. El RTCP mide la fluctuación de fase e incluye la información en los mensajes RR enviados por el receptor. Como este valor se mide en unidades de muestreo, para convertirlo a unidades de tiempo, se ha de dividir por la velocidad de muestreo del código de medios.

FIGURA 21
Arquitectura definida por RTCP



S.1897-21

CUADRO 4
Códigos utilizados en el experimento RTCP

Código UIT-T	Tipo de modulación	Velocidad binaria de codificación (kbps)	Motivos para su selección
G.711	PCM comprimido	64	Banda estrecha, más comúnmente utilizado, «calidad herramienta»
G.729	CS-ACELP*	8	Banda estrecha, más comúnmente utilizado después de G.711
G.722.1	Código de transformación	24/32	Banda amplia

* Predicción lineal con excitación por código algebraico de estructura conjugada.

El retardo entre dos puntos puede calcularse gracias a las diferencias entre tres tiempos, a saber, los campos retardo desde el último informe de emisor (DLSR) y tiempo desde el último informe de emisor (TLRS) de los paquetes informe de receptor RTCP y el sello temporal de recepción del informe. La fluctuación de fase de retardo entre llegadas y la tasa de pérdida de paquetes se obtienen del campo fluctuación de fase entre llegadas y de la suma de campos paquete perdido del informe de receptor RTCP, respectivamente. La fluctuación de fase entre destinos puede calcularse con los valores de retardo recibidos de todos los demás miembros del grupo de multidifusión.

4.2.1.1 Banco de códigos

Se supone que en cada extremo de la transmisión hay un banco de códigos, lo que es una hipótesis realista para muchos de los lotes de software VoIP disponibles hoy en día. La aplicación puede conmutar a un código diferente en función de la información extraída de los informes RTCP. En concreto, la conmutación a un código de velocidad binaria inferior (superior) se efectúa cuando el valor de retardo o fluctuación de fase indicado por el RTCP es superior (inferior) al necesario. En el Cuadro 4 se muestran los códigos y sus principales características técnicas.

4.2.2 Método de banda amplia multivelocidad adaptable (AMR-WB)

El segundo mecanismo entre capas se basa en los informes RTCP interpretados junto con la señalización extraída de los paquetes de banda ampliada multivelocidad adaptable (AMR-WB).

4.2.2.1 Código AMR-WB

Los algoritmos de codificación AMR-WB se basan en la tecnología de predicción lineal con excitación por código algebraico (ACELP), que consta de velocidades de habla. Esta misma tecnología se utiliza en diversas normas de codificación de la voz, como la velocidad completa mejorada GSM (GSM-EFR) (3GPP TS 06.51) y GSM-AMR de banda estrecha (3GPP TS 26.071). La principal novedad de AMR-WB es la estructura de subbanda, que permite efectuar importantes ahorros de complejidad y consume de memoria. La banda de audio se divide en dos bandas de frecuencias, de manera que la frecuencia de muestreo interna del núcleo es 12,8 kHz con un ancho de banda de audio de 50-6 400 Hz. En la gama de frecuencias 6 400-7 000 Hz se efectúa un procesamiento diferente: se pueden atribuir más bits a la banda inferior, que es importante para la percepción. El funcionamiento a baja velocidad binaria de la banda superior se sintetiza en función de las características de la banda inferior, mientras que a la mayor velocidad binaria, se reservan bits para la codificación de la señal de la banda superior. Otra ventaja de la estructura de subbanda es que con un muestreo a 12,8 kHz, la trama de 20 ms contiene 256 muestras, permitiendo así un funcionamiento y un esquema de cuantización eficaces a nivel de bit (por ejemplo, para algoritmos ACELP).

Cabe subrayar que la utilización de la voz en banda amplia en una red IP no añade complejidad al sistema en comparación con la banda estrecha. Dentro de la red IP el funcionamiento carece por definición de transcodificador, pues la voz comprimida se transmite en paquetes IP de extremo a extremo.

4.2.2.2 Adaptación de velocidad entre capas – CMR

En las simulaciones se utilizan los datos de señalización entre capas del paquete AMR-WB, denominado petición de modo de códec (CMR), para la adaptación de la velocidad de flujo VoIP. La CMR indica el modo de codificación deseado al otro extremo. Por tanto, la CMR se ha de calcular (para escribirla en la carga útil de voz IP) y de extraer de la carga útil IP recibida para seleccionar el códec adecuado para la transmisión. La CMR se calcula en función de mediciones de calidad, que se supone se basan tanto en el estado del enlace como en los informes RTCP. Hay dos grandes diferencias entre el experimento RTCP adaptable y el experimento AMR-WB: 1) la frecuencia con que RTCP envía los informes puede no estar sincronizada con la velocidad de la adaptación que exige la PHY; y 2) la velocidad binaria más alta de los códec AMR-WB es inferior a la mitad de la Recomendación UIT-T G.711 por lo que con la misma carga de sistema se pueden establecer más conexiones VoIP.

Téngase en cuenta que la señalización entre capas entrante tanto de AMR-WB como de RTCP permite una adaptación de velocidad binaria VoIP entre capas plenamente distribuida.

4.3 Modelo de rendimiento satélite-WiMAX

4.3.1 Modelo de retardo

El modelo de presupuesto de retardo para cada subred se obtiene con la siguiente ecuación:

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

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

T_{codec} es el retardo introducido por el códec, es decir:

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

donde T_{pack} es el retardo introducido al encapsular más de un paquete de voz por paquete IP; T_{fr} es el retardo de entramado; T_{la} es el retardo previsto (para la predicción); y T_{proc} es el retardo de procesamiento. T_{MAC}^i es el retardo introducido por la red i en la cola y el horario MAC. T_{trans}^i es el tiempo de transmisión en la red i . T_{prop}^i es el tiempo de propagación en la red i , que es una red de satélites OSG. Y, por último, $T_{playout}$ es el retardo de reproducción para atenuar la fluctuación de fase.

4.4 Rendimiento

4.4.1 Subred de satélite: adaptación de velocidad combinada

En esta cláusula se presentan los resultados de la simulación efectuada para la subred de satélite. Se simula un tráfico de tipo renvío acelerado (EF) combinado en el enlace de ida, controlado en la capa MAC para garantizar un retardo máximo de 270 ms (es decir, 20 ms además del retardo de propagación). La carga total del sistema equivale a una carga EF de 10 Mbit/s con un banco de códigos y 3,5 Mbit/s empleando el códec AMR-WB (debido a la velocidad binaria máxima más baja). Se fijan dos umbrales, uno para el código de reducción y otro para el código de incremento, formando así una gama cerrada para evitar fluctuaciones rápidas de una velocidad vocal VoIP a otra cuando el canal efectúa desvanecimientos rápidos.

En la Fig. 22 izquierda se ve la hipótesis en que RTCP contrarresta un desvanecimiento por lluvia de 12 dB. Téngase en cuenta que la adaptación de velocidad combinada durante los intervalos de lluvia es de 5 minutos aproximadamente. En ambos casos, el sistema garantiza el retardo, pues la atenuación del canal no afecta al tráfico EF. También puede observarse que esta última opción ofrece mejores resultados que la adaptación de velocidad RTCP por los siguientes motivos:

- 1) *el funcionamiento entre capas no añade una tara de señalización (informes RTCP) al sistema;*
- 2) *el códec AMR-WB tiene naturalmente una mejor calidad vocal (banda amplia);*
- 3) *la velocidad binaria más alta de AMR-WB es inferior a la velocidad binaria de la Recomendación UIT-T G.711 y, por consiguiente, el sistema puede admitir un mayor número de conexiones;*
- 4) *al igual que la adaptación RTCP básica, la adaptación VoIP puede considerarse un control de la carga del sistema.*

Estos dos modelos no sólo garantizan el retardo, sino que también permiten que el sistema tenga recursos suficientes para dar servicio a todos los usuarios. Se considera un canal (R_s) de 30 MHz de ancho de banda para DVB-S2 con 23 modos ACM (siendo η_m la eficiencia espectral de ModCod m). Por tanto, cuando todos los usuarios están utilizando la velocidad vocal VoIP más alta, la capacidad máxima de un RCST, en usuarios, ($N_{u,max}$), se logra de la siguiente manera.

Cada paquete de carga útil vocal tiene una longitud $R_{VoIP} \cdot t_{pkt}$, donde R_{VoIP} es como se indica en el Cuadro 4, y t_{pkt} es la duración del paquete, 20 ms para todos los códigos. Una vez añadida la tara (RTP/UDP/IP of 12/8/20 bytes, respectivamente), el número total de bytes del flujo VoIP (n_{VoIP}) es:

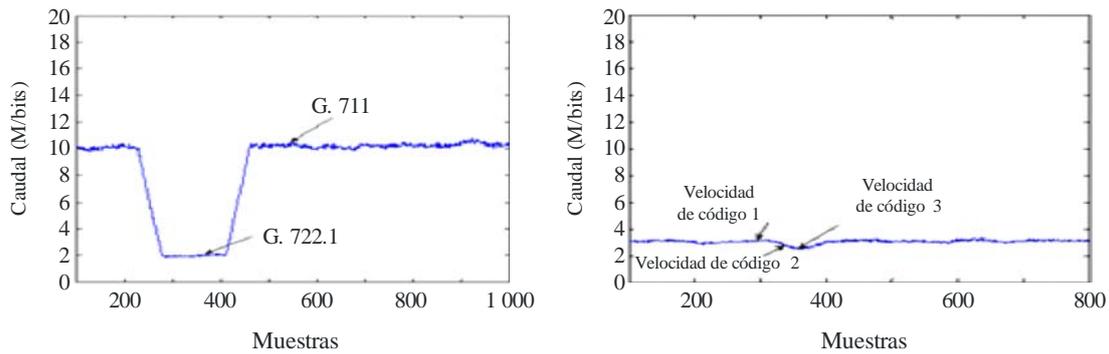
$n_{VoIP}^i = n_{RTP}^i + h_{RTP} + h_{UDP} + h_{IP}$, donde i es el código vocal utilizado. Por otra parte, el número de bits por trama en la norma DVB-S2 es $T_f \cdot \eta_m \cdot R_s$. Donde T_f es la duración de N tramas de banda base (BBFRAME) transmitidas.

Por consiguiente, el número de usuarios a los que se puede dar servicio se calcula con la siguiente fórmula:

$$N_u = \left\lfloor \frac{T_f \cdot \eta_m \cdot R_s}{n^{i_{VoIP}}} \right\rfloor \tag{4}$$

FIGURA 22

Caudal de revive acelerado combinado de 100 terminales DVB-RCS con una atenuación de canal de 12 dB y control de velocidad RTCP (izquierda) y AMR-WB adaptable (derecha). Véase que la carga del sistema AMR-WB es inferior debido a una más baja velocidad binaria para una calidad óptima

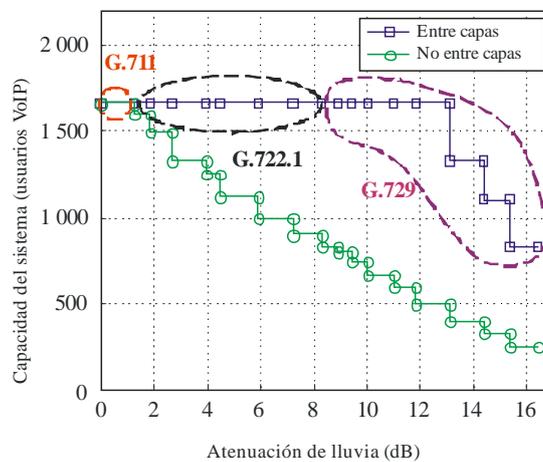


S.1897-22

En la Fig. 23 se comparan el funcionamiento entre capas y no entre capas. La capacidad máxima se logra en condiciones de cielo despejado (0 dB). La forma de escalera se debe a la modulación y la adaptación de código a la atenuación del canal. La eficacia espectral disminuye al aumentar la atenuación por lluvia, que reduce la capacidad. Puede verse que el diseño entre capas permite mantener el número de usuarios con atenuaciones inferiores a 13 dB, e incluso con una atenuación de 15 dB la capacidad no se reduce de manera crítica. Sin embargo, de no aplicarse el diseño entre capas, la capacidad se reduce drásticamente. Por ejemplo, cuando la atenuación alcanza 8 dB, se pierde el 50% de la capacidad.

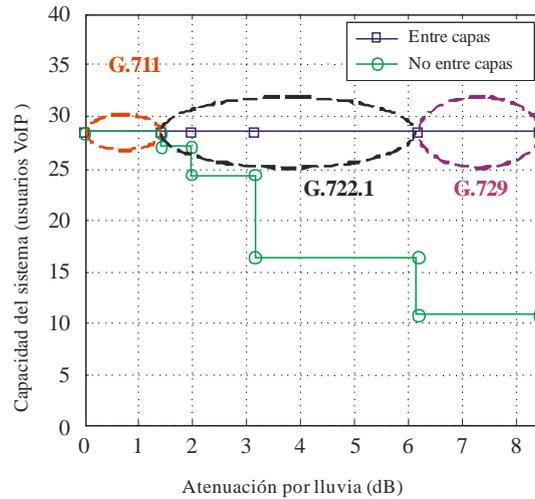
FIGURA 23

Capacidad VoIP de la subred de satélite, como función de las condiciones de canal del enlace de ida (DVB-S2)



S.1897-23

FIGURA 24
Capacidad VoIP de la subred de satélite, como función de las condiciones de canal del enlace de retorno (DVB-RCS)



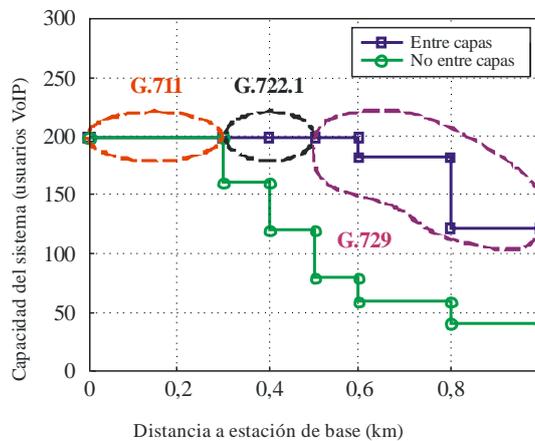
S.1897-24

En la Fig. 24 se muestra un procedimiento semejante para calcular la capacidad del canal de retorno (DVB-RCS). En este caso, se toman un canal de 1 MHz y una duración de trama (T_f) de 26,5 ms. Puede observarse que la adaptación del codificador vocal entre capas evita reducir el número de usuarios VoIP.

4.4.2 Rendimiento de la subred terrenal

En esta cláusula se presentan los resultados de la simulación efectuada en la subred. Se aplica la adaptación de velocidad a nivel de usuario extremo entre la estación de base (BS) y el equipo de usuario (UE) para mantener la capacidad que ofrece la subred WiMAX. Se presentan los resultados del rendimiento de la capacidad con y sin diseño entre capas.

FIGURA 25
Rendimiento de la capacidad VoIP WiMAX con y sin diseño entre capas, en función de las condiciones del canal



S.1897-25

Al igual que en la subred de satélite, se utiliza en el segmento terrenal una capa física adaptable compuesta por 6 ModCod para contrarrestar el desvanecimiento del canal. El planificador ACM dispone de la información de calidad del canal (CQI) del usuario. Así, se supone que tanto la capa física como VoIP pueden adaptarse a variaciones de media-larga duración debidas a las pérdidas de propagación (no al desvanecimiento a corto plazo). Se supone la presencia de un enlace descendente de 2 MHz de ancho de banda de canal para RCST y su BS asociada. En la Fig. 25 se muestra la capacidad del sistema de la red terrenal y cómo el diseño entre capas permite aumentar la capacidad VoIP con respecto al diseño no adaptable. Se supone que la cobertura WiMAX es de 2 km. Considerando que todos los usuarios se encuentran en el borde de la célula, la capacidad con el método adaptable es superior al 60%, mientras que en el otro caso es inferior a 20%.

4.5 Resumen

En este Anexo se presenta un diseño entre capas para la transmisión VoIP por una red de satélite utilizando el protocolo DVB-S2/RCS y un sistema WiMAX. Se han propuesto y comparado dos hipótesis basadas en el control de la velocidad y la distribución. Se ha demostrado que con el diseño entre capas es posible controlar la capacidad VoIP gracias a la adaptación de la velocidad a fin de contrarrestar la reducción de la capacidad causada por malas condiciones del canal en ambas subredes: 1) el satélite ofrece a la red terrenal una adaptación de velocidad VoIP combinada para mantener la capacidad; 2) la subred WiMAX ofrece la adaptación de velocidad de usuario extremo para mantener la capacidad. Puede concluirse que el diseño entre capas ofrece una mejora de la capacidad del 70% en el segmento de satélite y del 43% en la red terrenal.

Anexo 3

Diseño entre capas para el enlace de satélite utilizando TCP como protocolo de transporte

1 Alcance

Los enlaces de satélite OSG tienen una combinación de características única que afecta al caudal del tráfico TCP. Los elementos más importantes son tanto el dilatado tiempo de ida y retorno (RTT) como la alta tasa de errores en los paquetes (PER). En la Recomendación UIT-R S.1711 se presentan las mejoras de TCP definidas para las redes con un elevado producto retardo ancho de banda (BDP). En este Anexo se muestra el rendimiento TCP como resultado de las interacciones con protocolos de capas inferiores y, en particular, los niveles de modulación y codificación. En esta simulación se utilizan diversas versiones de TCP: New Reno, SACK, Hybla y Westwood+.

2 Introducción

Se consideran las siguientes versiones de TCP: NewReno, SACK, Westwood+, Hybla, VenO, Compuesto, Adaptable y Control de congestión con incremento binario (BIC). TCP New Reno puede resultar mejor para afrontar múltiples pérdidas en una ventana de datos, pues modifica la fase de recuperación rápida de TCP Reno. TCP NewReno puede recuperarse de la pérdida de múltiples paquetes (sin esperar a la expiración RTO) utilizando los acuses de recibo (ACK) parciales recibidos durante la fase de recuperación rápida.

Con el acuse de recibo selectivo (SACK), el receptor informa al emisor de los paquetes recibido satisfactoriamente para que el emisor pueda volver a transmitir únicamente los paquetes realmente perdidos. SACK puede utilizarse tanto con algoritmos de recuperación rápida como de retransmisión rápida con la versión TCP NewReno. TCP Westwood y Westwood+ fijan $cwnd$ y la *slow start threshold* ($ssthresh$) tras un episodio de pérdida basándose en una estimación de ancho de banda de extremo a extremo, B_{we} , efectuada antes de detectar el evento de pérdida. El $ssthresh$ se equipara a $B_{we} \times RTT$. Así, TCP Westwood evita una reducción de $cwnd$ conservadora, permitiendo que la fase de recuperación sea más rápida. Cuando RTO expira se efectúa una modificación similar: $ssthresh = B_{we} \times RTT$ y $cwnd$ se vuelve a poner a su valor inicial. El ancho de banda, B_{we} , de una conexión se estima continuamente en función de la cantidad de datos enviados y del intervalo entre ACK.

TCP Hybla propone una modificación del algoritmo de actualización $cwnd$ en el receptor de un ACK a fin de acelerar el incremento $cwnd$ tanto en la fase de inicio lento como en la fase de evitación de congestión para las conexiones con valores RTT elevados. Hybla prevé la adopción de SACK para efectuar una recuperación rápida tras las pérdidas debidas a errores del canal y a la inyección más agresiva de datos en la red.

TCP Veno es un esquema de control de la congestión de extremo a extremo que puede mejorar el rendimiento de TCP. Veno mejora el algoritmo de control de la congestión Reno empleando una estimación del estado de la conexión basada en Vegas. En lugar de utilizar la estimación de las condiciones de la red de Vegas para prevenir proactivamente la pérdida de paquetes, se puede emplear para determinar si la pérdida de los paquetes se debe a una congestión de la red o al canal inalámbrico. Concretamente, si se detecta una pérdida de paquetes cuando la estimación indica que la red no está congestionada, es que la pérdida se debe al canal radioeléctrico, por lo que se reduce $cwnd$ menos agresivamente, evitando una degradación innecesaria del caudal.

TCP Adaptable (S-TCP) modifica el algoritmo de control de la congestión de TCP. S-TCP se «adapta» bien al valor de la ventana de congestión y, por tanto, a BDP. S-TCP se basa en un algoritmo de incremento multiplicativo decrecimiento multiplicativo (MIMD), de acuerdo con el cual se incrementa la ventana de congestión por un factor α al recibirse un ACK y se reduce por un factor β en caso de pérdida de paquetes. En la simulación experimental se supone que $\alpha = 0,01$ y $\beta = 0,125$.

TCP Compuesto (C-TCP) introduce un nuevo estado variable, $dwnd$ (*ventana de retardo*), que controla el componente de retardo de C-TCP. La $cwnd$ convencional permanece intacta para controlar el componente de pérdida de C-TCP. La ventana de emisión C-TCP está controlada por $cwnd$ y $dwnd$.

BIC TCP es una variante de TCP para las redes de larga distancia y alta velocidad. En caso de pérdida de paquetes, BIC reduce su ventana por un factor multiplicativo. Se fija como máximo el tamaño de la ventana justo antes de la reducción y como mínimo el tamaño justo después de la reducción. BIC realiza una búsqueda binaria utilizando esos dos parámetros saltando al punto medio entre el máximo y el mínimo.

3 Arquitectura de la red de referencia

En la Fig. 26 se muestra la arquitectura de red con un satélite OSG acodado utilizada para la simulación. Hay un cliente (receptor TCP) conectado a una estación terrena-encaminador, a su vez conectada vía satélite a otra estación terrena-encaminador vinculada a un servidor distante (emisor TCP) desde el que se descargan los ficheros. Se utiliza un canal de retorno por satélite para el envío tanto de la señalización de capas inferiores (es decir, la estimación de la calidad del enlace para la modulación y la adaptación de la codificación) como los ACK de la capa de transporte.

FIGURA 26
Arquitectura de red de referencia



S.1897-26

Se toma un enlace de satélite OSG en banda Ka con un ancho de banda de 2 MHz tanto para el enlace ascendente como para el descendente. Se emplean dos opciones de modulación y codificación (MODCOD) en PHY en referencia a la adaptación de un sistema semejante a DVB-S2. La selección de la MODCOD en PHY determina la velocidad binaria de la información disponible para la transmisión de datagramas IP.

3.1 Parámetros de la simulación

El retardo de propagación unidireccional de una estación terrestre a otra es de unos 260 ms. Los enlaces terrenales entre una estación terrestre y el cliente y la otra estación terrestre y el servidor tienen una velocidad de 30 Mbit/s con un retardo de propagación (unidireccional) de 10 ms. Por tanto, el enlace de satélite es el punto de congestión del sistema y la contribución del retardo de propagación al RTT equivale a 560 ms.

3.2 Supuestos

Entre los supuestos de la simulación se cuentan los siguientes: *i)* estaciones terrenales con trayecto de visibilidad directa (LoS) al satélite OSG; *ii)* canal sin memoria con pérdidas no correlacionadas (usuarios fijos); *iii)* fluctuación de la atenuación debida únicamente a eventos troposféricos lentos (variaciones a largo plazo de la intensidad de la señal recibida debido a atenuación por nubes y desvanecimiento por lluvia), de manera que se puede considerar que el canal es de tipo AWGN; *iv)* las pérdidas residuales de paquetes tras el proceso de decodificación no están correlacionadas y ocurren en función de una PER determinada en el nivel de transporte; *v)* las variaciones de canal son muy lentas en comparación con el retardo de la señal de retroceso que informa a la estación terrestre emisora que ha de modificar su modo de transmisión; *vi)* no se aplica la técnica de repetición automática de petición (ARQ) en la capa 2, pues la adopción de ARQ conllevaría un gran retardo para recuperar las pérdidas de paquetes, que podría llevar a la expiración del RTO en el nivel TCP.

Se ha solucionado el rendimiento de caudal eficaz TCP de los paquetes transmitidos. Se supone la presencia de una aplicación FTP (conexión TCP persistente) que produce tráfico TCP en función de un modelo de ACK temporizado. Se utiliza ACM para que el enlace de satélite ofrezca una calidad aceptable en diversas condiciones del canal radioeléctrico. En función de la calidad del canal medida por la estación terrestre receptora, la estación terrestre emisora efectúa la adaptación del modo

de transmisión (es decir, MODCOD). Se utilizan dos modulaciones, a saber, BPSK y QPSK, además de un codificador convolucional/descodificador Viterbi, y el código convolucional a velocidad 1/2 NASA normalizado con limitación de longitud 7 y el código perforado derivado a velocidad 3/4. Los dos modos de transmisión (MODCOD) utilizados con idéntico ancho de banda de transmisión (2 MHz) y potencia son:

Modo #1: BPSK con codificador convolucional a velocidad 1/2 y velocidad binaria de información resultante de 1 Mbit/s.

Modo #2: QPSK con codificador convolucional a velocidad 3/4 y velocidad binaria de información resultante de 3 Mbit/s.

Se emplea un paquete Ethernet de 1 500 bytes, por lo que el producto BDP es 560 000 bits (unos 47 paquetes) para el modo #1 y 1 680 000 bits (140 paquetes) para el modo #2. Cada encaminador tiene una memoria tampón con una capacidad de paquetes igual al BDP para el modo #2 (es decir, el valor BDP máximo entre el modo #1 y el modo #2). Las colas adoptan una política de «abandono» para gestionar la congestión, es decir que los paquetes que llegan se pierden en función de la capacidad de la memoria tampón.

4 Rendimiento

En la simulación se utilizó ns-2 versión 2.29. Las simulaciones se han realizado en condiciones estáticas del canal radioeléctrico, es decir suponiendo enlaces con E_b/N_0 fija durante toda la simulación. Para definir un umbral de E_b/N_0 óptimo para elegir entre el modo #1 y el modo #2, se han comparado dos criterios:

Esquema a: Selección del modo de transmisión en función de un valor umbral de PER (es decir *no entre capas, enfoque clásico* para las interfaces aéreas existentes con ACM).

Esquema b: Selección del modo de transmisión con el objetivo de maximizar el rendimiento de caudal eficaz* en la capa de transporte (diseño entre capas implícito, método descendente).

El punto de conmutación más conveniente, en términos de E_b/N_0 , depende del establecimiento de un equilibrio adecuado entre una gran anchura de banda y una PER más elevada a fin de lograr un rendimiento TCP adecuado. Tal equilibrio dependerá de la versión TCP adoptada.

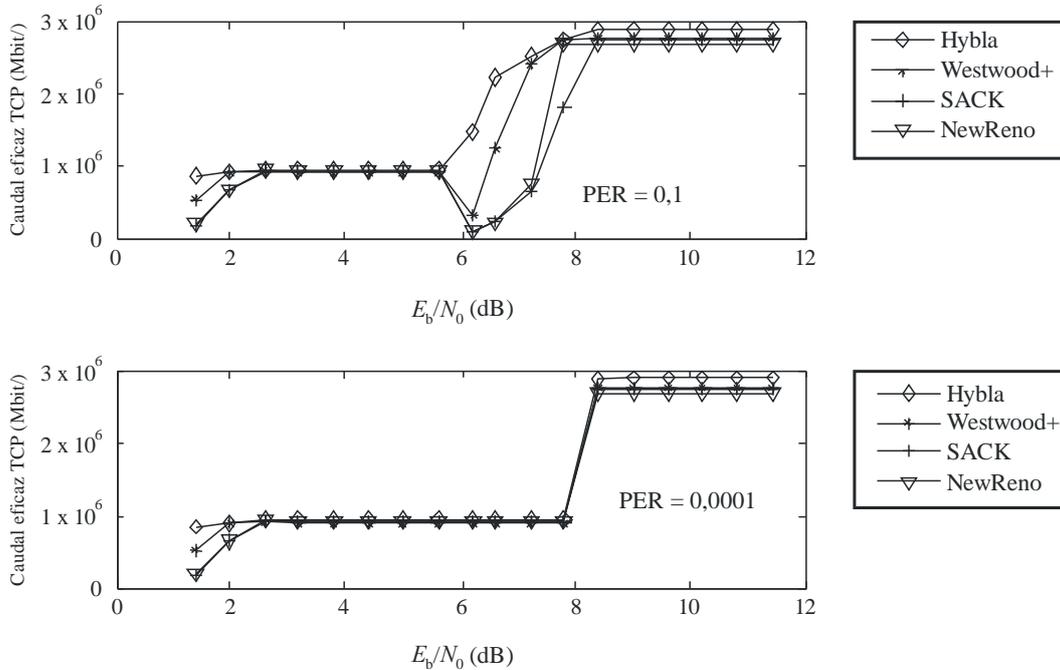
En lo que se refiere al esquema clásico a, en la Fig. 27 se muestra el caudal eficaz TCP como una función del valor E_b/N_0 considerando un valor umbral de conmutación PER igual a 10^{-1} (gráfico superior) o 10^{-4} (gráfico inferior). En ambos casos, este criterio de selección no es eficaz. De hecho, en el gráfico superior el punto de conmutación está demasiado adelantado para algunas versiones TCP, lo que redundaría en una caída del rendimiento cuando se pasa del modo de transmisión #1 al modo de transmisión #2. Por el contrario, en el gráfico inferior el punto de conmutación está demasiado retrasado, por lo que el sistema está obligado a utilizar el modo de transmisión #1 cuando el modo #2 resultaría más conveniente. No se utilizan eficazmente los recursos. Los resultados de la Fig. 27 demuestran que el criterio para optar por el modo #1 o el modo #2 no se ha de basar en el rendimiento PER, sino en el rendimiento de la capa de transporte, además de estar directamente relacionado con E_b/N_0 (diseño entre capas). Por ese motivo, se elige el esquema b. En la Fig. 28 se muestran los resultados obtenidos con TCP NewReno, SACK, Westwood+ e Hybla, y en la Fig. 29 los de TCP Venó, TCP Compuesto, TCP Adaptable y BIC-TCP. De esos resultados se desprende la selección efectuada a partir del caudal eficaz TCP permite lograr una mayor eficacia y una mejor QoS percibida en la capa de aplicación. Resulta así evidente que la selección óptima

* El caudal eficaz es el caudal en la capa de aplicación, es decir, el número de bits de información útil entregado por la red por unidad de tiempo, excluidos la tara de protocolo y los paquetes retransmitidos.

entre el modo #1 y el modo #2 depende de la versión TCP adoptada. Por último, los resultados indican que, de entre todas las versiones TCP comparadas, TCP Hybla logra los mejores resultados, seguido de Westwood+.

FIGURA 27

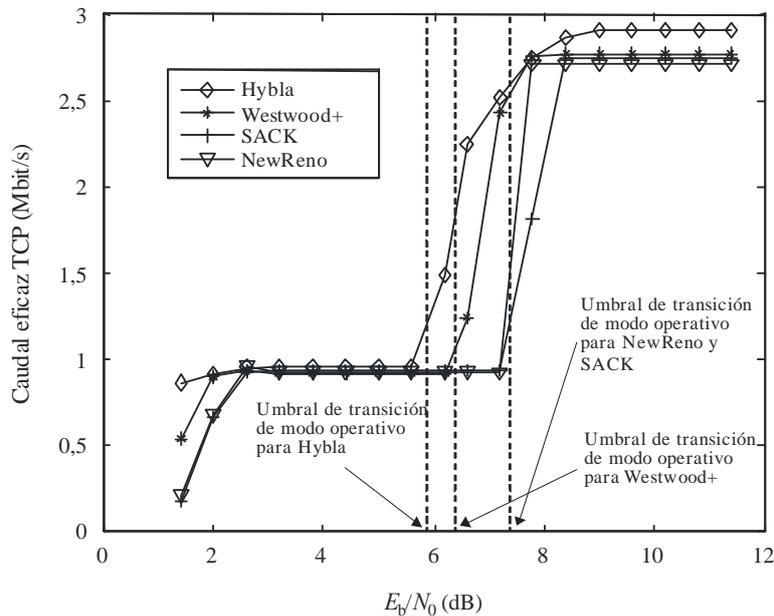
Resultados de la simulación con diferentes versiones de TCP como función de E_b/N_0 (valor de referencia para BPSK) con el esquema a; la amplitud del intervalo de confianza 95% máximo para todas las curvas es $\pm 7\%$



S.1897-27

FIGURA 28

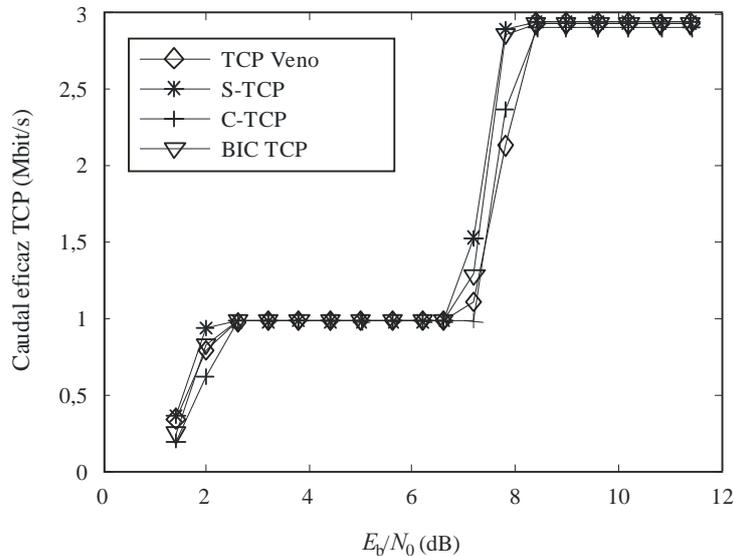
Resultados de la simulación con distintas versiones de TCP (NewReno, SACK, Westwood+, Hybla) como función de E_b/N_0 (valor de referencia para BPSK) con el esquema b; la amplitud del intervalo de confianza 95% máximo para todas las curvas es $\pm 7\%$



S.1897-28

FIGURA 29

Resultados de la simulación con distintas versiones de TCP (Veno, Compound, Scalable y BIC) como función de E_b/N_0 (valor de referencia para BPSK) con el esquema b ; la amplitud del intervalo de confianza 95% máximo para todas las curvas es $\pm 7\%$



S.1897-29

5 Resumen

El diseño entre capas es fundamental para mejorar el caudal y la configuración de la QoS en las redes de comunicaciones por satélite IP. En estas simulaciones se han estudiado las interacciones entre la adaptabilidad del modo en la capa 1 y el caudal eficaz de TCP en la capa 4 en presencia de un canal de satélite proclive a los errores. Los resultados de la simulación demuestran las ventajas de la coordinación o la interacción entre capas entre PHY y TCP. Los umbrales de conmutación de PHY entre modos de transmisión deben determinarse a partir del rendimiento de la capa superior a fin de utilizar eficazmente los recursos de radiocomunicaciones por satélite.

6 Conclusiones

Los resultados de las diversas simulaciones que se presentan en este Anexo dan orientaciones para el diseño de redes híbridas de satélite-terrenal, dependiendo de la arquitectura de la red.

Los siguientes resultados son particularmente importantes para el diseño entre capas de tales redes híbridas:

- El rendimiento de las redes híbridas de satélite – WiFi muestra la influencia del desvanecimiento en parámetros de QoS como la atribución de ancho de banda, el retardo y las variaciones del retardo para aplicaciones de videoconferencia, VoIP, HTTP y TCP/UDP (véase el § 3).
- El tráfico de mayor prioridad, como la difusión multimedios o el tráfico de voz interactiva, no se ve afectado por el desvanecimiento por lluvia (véase el § 2).
- Para la videoconferencia, el desvanecimiento por lluvia causó un pico de retardo de unos 0,859 segundos (véase el § 3).
- El retardo de extremo a extremo para VoIP alcanzó los 1,5 segundos (en mejor esfuerzo) durante el desvanecimiento por lluvia.

- La variación del retardo de paquetes alcanzó un máximo cercano a 0,08 segundos cuadrados durante el desvanecimiento por lluvia y se redujo a 0,025 segundos al final (véase el § 3).
 - La fluctuación de fase experimentó un pico de 0,0045 segundos durante el desvanecimiento por lluvia, mientras que el resto del tiempo osciló entre 0,0025 y 0,002.
 - Para el tráfico de mejor esfuerzo durante el desvanecimiento por ruido, el tiempo de respuesta de página HTTP oscila entre 2-6 segundos y el tiempo de respuesta de objeto entre 1-4 segundos (véase el § 3).
 - Para las transmisiones VoIP por redes de satélite-WiMAX, el diseño entre capas permite mantener el número de usuarios con una atenuación inferior a 13 dB, e incluso con una atenuación de 15 dB. La capacidad no se reduce de manera importante. Sin embargo, sin el diseño entre capas, se pierde el 50% de la capacidad con una atenuación de 8 dB (véase el § 4).
 - El diseño entre capas en las redes híbridas de satélite-WiMAX permite alcanzar una mejora de 70% del segmento de satélite y del 43% del segmento terrenal (véase el § 4).
 - Es necesario que haya coordinación entre la capa física y la capa de transporte, y la conmutación del modo de transmisión en la capa física se ha de determinar a partir del rendimiento de la capa superior a fin de utilizar eficientemente los recursos del satélite (véase el § 5).
-