

UIT-R

Sector de Radiocomunicaciones de la UIT

Recomendación UIT-R M.1741
(03/2006)

**Metodología para obtener los objetivos
de calidad de funcionamiento y su
optimización para aplicaciones
de paquetes IP del servicio
móvil por satélite**

Serie M

**Servicios móviles, de radiodeterminación,
de aficionados y otros servicios
por satélite conexos**



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, 2010

© UIT 2010

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 M.1741*

Metodología para obtener los objetivos de calidad de funcionamiento y su optimización para aplicaciones de paquetes IP del servicio móvil por satélite

(Cuestiones UIT-R 85/8, UIT-R 87/8, UIT-R 112/8 y UIT-R 233/8)

(2006)

Cometido

En esta Recomendación se estipula la metodología de obtención de los objetivos de calidad de funcionamiento y su optimización para aplicaciones de paquetes IP del servicio móvil por satélite. Los Anexos 1, 2 y 3 de la presente Recomendación contienen, respectivamente, las directrices para los parámetros de calidad de funcionamiento y objetivos para las capas física y MAC, la metodología de obtención de los objetivos de calidad de funcionamiento y las directrices para la optimización de la calidad de funcionamiento en TCP de las aplicaciones de datos en paquetes IP del servicio móvil por satélite.

La Asamblea de Radiocomunicaciones de la UIT,

considerando

- a) que la transmisión de paquetes mediante el Protocolo Internet (IP) se ha convertido en una de las aplicaciones más importantes que funcionan en las redes de comunicaciones modernas, entre ellas los sistemas del servicio móvil por satélite;
- b) que en varias Recomendaciones se definen los circuitos ficticios de referencia, las características técnicas, los objetivos de calidad de funcionamiento y los requisitos de disponibilidad para los servicios móviles por satélite (SMS) convencionales;
- c) que las características técnicas y de calidad de funcionamiento deben definirse con arreglo a las capas de paquetes IP, además de la calidad de funcionamiento de la transmisión digital básica del enlace portador del SMS;
- d) que la Recomendación UIT-R M.1636 define los modelos de referencia y los parámetros de la calidad de funcionamiento como base técnica de desarrollo de las aplicaciones de paquetes IP del SMS;
- e) que la directriz para los objetivos de calidad de funcionamiento de las capas física y de enlace de los sistemas del SMS que sirven paquetes IP, junto con la metodología de obtención de los objetivos de calidad de funcionamiento para la transmisión de paquetes IP del sistema resultan imprescindibles para facilitar la utilización eficaz de los recursos de espectro por parte del sistema;
- f) que el protocolo de control de transmisión (TCP) es uno de los protocolos de capa de transporte sobre IP más utilizados, siendo preciso prestar una atención especial a la optimización de los parámetros operativos cuando se aplica a sistemas con un gran retardo de transmisión como los enlaces del SMS,

* Esta Recomendación debe señalarse a la atención de la Comisión de Estudio 4 de Radiocomunicaciones y a la Comisión de Estudio 13 de Normalización de Telecomunicaciones.

recomienda

- 1 que en la transmisión de paquetes IP del SMS se apliquen las directrices para los objetivos de la calidad de funcionamiento del Anexo 1;
- 2 que se aplique la metodología del Anexo 2 a la obtención del objetivo de calidad de funcionamiento para las aplicaciones de paquetes IP del SMS;
- 3 que se tengan en cuenta las directrices del Anexo 3 en la determinación de los parámetros operacionales de la transmisión TCP sobre paquetes IP en el SMS.

Anexo 1

Directrices para los objetivos de calidad de funcionamiento de la transferencia de paquetes IP del SMS

1 Introducción

Los terminales del SMS reúnen una serie de requisitos de calidad de funcionamiento relativos a los protocolos empleados para garantizar que las características del enlace de satélite (tal como su gran retardo, su tasa de errores variable y la interrupción periódica) se toleran y manejan adecuadamente. Los protocolos a considerar, que funcionan con transmisión de paquetes IP por el enlace de satélite, incluyen la capa de control de acceso físico (PHY) y la de control de acceso de medios (MAC). En este punto se identifican las características y la calidad de funcionamiento de las capas PHY y MAC que contribuyen a la calidad de funcionamiento de la transmisión de paquetes IP por el enlace del SMS.

2 La capa física (Capa 1)

2.1 El canal de acceso múltiple basado en paquetes

Los canales de radiocomunicaciones y sus recursos suelen ser utilizados por diversos terminales del servicio móvil por satélite para conectarse a pasarelas de acceso a satélites por medio de enlaces del SMS con transmisión de paquetes IP. Los mecanismos de compartición de los canales radioeléctricos y de sus recursos para el acceso múltiple basado en paquetes suponen la utilización de un conjunto de técnicas combinadas. Uno de los posibles planteamientos de la gestión de recursos para que los terminales del servicio móvil por satélite puedan acceder a los canales radioeléctricos es la utilización de canales en sentido directo multiplexados por división en el tiempo (MDT) y en sentido de retorno con acceso múltiple por división en el tiempo (AMDT). En este caso, cada cabecera de acceso al satélite gestiona un conjunto de canales directos (al móvil) y de retorno (del móvil). Además, los terminales del servicio móvil por satélite pueden soportar uno o más pares transmisor/receptor.

El AMDT para la capa física requiere ciertos protocolos de planificación de la transmisión, que se describen en detalle en el § 4.4.

2.2 Funciones de la capa física

La capa PHY es la encargada de transferir el tren binario de información por el enlace de satélite, lo que comprende las siguientes funciones:

En el transmisor:

- codificación, aleatorización e intercalación;
- modulación del tren binario codificado;
- transmisión de la señal modulada por un canal multiplexado.

En el receptor:

- recepción de la señal modulada;
- modulación de la señal para formar un tren binario codificado;
- decodificación, desaleatorización y desintercalación.

La capa PHY transfiere una trama entera junto con la información relativa a las mediciones de los parámetros de la señal del satélite tales como la temporización y el nivel de potencia.

3 La capa MAC (Capa 2)

La capa MAC se encarga de controlar el acceso a la capa PHY (recursos del canal) por parte de cada conexión, así como del establecimiento y provisión de la conexión para la entrega de paquetes IP por el enlace del SMS. La capa MAC suele ejecutar las siguientes funciones:

- direccionamiento de los dispositivos físicos y de las conexiones lógicas, y planificación de los recursos para transferir la información entre estas entidades, tanto en sentido directo como inverso, por un canal multiplexado basado en paquetes;
- ensamblaje y descomposición de los paquetes IP en tramas MAC, incluida la segmentación y el reensamblaje, en su caso;
- almacenamiento en memoria intermedia y control del flujo de información de la capa superior (o sea de la capa IP);
- solicitud automática de repetición (ARQ, *automatic repeat request*) (cuando sea necesario para la conexión si ésta es sensible a errores).

4 Directrices de diseño del sistema de transmisión de datos de paquetes IP en el SMS que pueden repercutir en la calidad de funcionamiento de la capa de red (Capa 3) y superiores

En este punto se describen los parámetros de calidad de funcionamiento y las directrices para el diseño del sistema de transmisión de paquetes IP del SMS por las capas PHY y MAC, que pueden afectar al rendimiento de la transmisión de los paquetes IP por el enlace del SMS.

4.1 Tasa de errores en los bits

La tasa de errores en los bits (BER) del enlace del SMS puede obtenerse de su diseño, que depende de características de la capa física del enlace tales como el sistema de modulación y de codificación de errores, la potencia de transmisión y el margen del enlace, la sensibilidad del receptor, etc. El Cuadro 1 es un ejemplo de calidad de funcionamiento de la BER para un canal portador a 64 kbit/s.

CUADRO 1

Ejemplo de calidad de funcionamiento de la BER

Canal	BER del demodulador del terminal del SMS	BER del demodulador de la cabecera del SMS	Periodo de medición
64 kbit/s	$\leq 10^{-6}$	$\leq 10^{-6}$	1 500 s

Los valores del ejemplo del Cuadro 1 se miden una vez establecida la sincronización de la señal. Se incluyen todas las causas posibles de degradación de la BER, tales como el ruido de fase, la pérdida del enganche de sincronización, y los fallos del reloj y de los ciclos durante la medición, aunque se excluyen las degradaciones provocadas por errores de ráfagas debidos al desvanecimiento por trayectos múltiples, el bloqueo, el ensombrecimiento y la interferencia del canal adyacente.

4.2 Creación de la memoria intermedia y control de flujo

Los paquetes IP procedentes de la capa superior (es decir de la capa de interconexión de la red IP) se almacenarán en memoria intermedia en la subcapa de conexión de la MAC antes de que las transmita el canal de acceso múltiple basado en paquetes de la capa PHY. El mecanismo de control y el tamaño de la memoria intermedia repercutirán en la calidad de funcionamiento de la transmisión de paquetes IP. Por ejemplo, si el tamaño de la memoria intermedia es suficientemente grande, se puede reducir la pérdida de paquetes provocada por desbordamiento de la memoria intermedia, aunque el retardo de la memoria intermedia puede aumentar considerablemente si el tamaño de ésta es demasiado grande. Así pues, habrá que afinar el cálculo del mecanismo de control de la memoria intermedia, y especialmente del tamaño de ésta, teniendo en cuenta el compromiso entre las pérdidas y el retardo de transmisión de los paquetes IP.

4.3 ARQ

La capa MAC dispone de una facilidad de transmisión fiable, gracias a la cual se entrega la información sin errores y en secuencia, a expensas de un aumento del retardo de transmisión de los paquetes. El mecanismo de soporte del ARQ también necesita seleccionarse de modo que el compromiso entre errores y la calidad de funcionamiento quede bien resuelto.

4.4 Planificación

La planificación es el proceso de asignación de recursos del canal de acceso múltiple basado en paquetes a cada conexión, llevado a cabo por la cabecera del satélite. El método sencillo de asignación de recursos es el de primero en entrar primero en salir (FIFO, *first-in first-out*), en el que las prioridades de todas las conexiones se consideran iguales. Para distinguir entre la prioridad de cada conexión, el proceso de planificación puede basarse en los parámetros de servicio de cada conexión.

También puede utilizarse el estado de las colas en otras conexiones para determinar la prioridad de transferencia de los datos en el proceso de planificación.

Anexo 2

Metodología para obtener los parámetros de calidad de funcionamiento y la transferencia de paquetes IP en el SMS

1 Introducción

Las definiciones genéricas de los parámetros de calidad de funcionamiento y de sus objetivos aparecen en las Recomendaciones UIT-T Y.1540 e Y.1541, respectivamente, para las aplicaciones basadas en paquetes IP. En la transmisión de paquetes IP del SMS, los componentes predominantes tales como los parámetros de la calidad de funcionamiento son contribución de la sección del SMS del trayecto de la comunicación extremo a extremo. A la vista de las propiedades y de los parámetros de calidad de funcionamiento de los enlaces del SMS, definidos en la sección precedente, la presente resume varias metodologías posibles de obtención de los parámetros de calidad funcionamiento de la transmisión de paquetes IP por los enlaces del SMS. En este Anexo, la sección del satélite o enlace del SMS se refiere al enlace de satélite entre los terminales de acceso del satélite tanto en la estación terrena móvil como en la de cabecera pasando por el satélite, como se representa en las Figs. 1 y 2 de la Recomendación UIT-R M.1636.

2 Tasa de errores en los paquetes IP

La tasa de errores en los paquetes IP (*IPER*, *IP packet error ratio*) se define en la Recomendación UIT-T Y.1540 como la relación entre el número total de paquetes con errores y el número total de paquetes con o sin errores. El paquete con errores se define como aquél en el que el contenido binario del campo de información del paquete recibido no coincide exactamente con el del paquete enviado, o bien aquél en el que uno o más campos de cabecera del paquete recibido está corrupto.

En teoría se podría obtener la *IPER* correspondiente a los paquetes con error en la porción del enlace del SMS a partir de los parámetros de calidad de funcionamiento de la transmisión digital estipulados para los enlaces SMS. Suponiendo que los errores producidos son aleatorios, la *IPER*, es decir la probabilidad de que un bit de un paquete como mínimo sea erróneo, puede obtenerse estadísticamente del siguiente modo:

$$IPER = 1 - (1 - BER)^{\text{Tamaño_paquete} \times 8} \quad (1)$$

siendo:

BER: tasa de errores en los bits una vez aplicado el posible esquema de corrección de errores en recepción (FEC)

Tamaño_paquete: tamaño del paquete IP transferido por el enlace del SMS, en bytes.

Por ejemplo, la Recomendación UIT-R M.1476 estipula que el objetivo de calidad de funcionamiento del SMS que forma parte de la RDSI define una *BER* inferior a 9×10^{-7} . Si se supone que el tamaño del paquete IP es de 1 500 bytes, la *IPER* para un sistema que cumpla la Recomendación UIT-R puede llegar a 1×10^{-2} .

Se suele considerar que hay un compromiso entre la reducción de errores en los paquetes y el retardo de transferencia. Este compromiso depende del diseño del sistema.

Para aplicaciones sensibles a los errores, la Recomendación UIT-T Y.1541 estipula que el objetivo de calidad de funcionamiento para la *IPER* es inferior a 1×10^{-4} con carácter provisional. Para cumplir la Recomendación del UIT-T sobre clases QoS sensibles a los errores, una posible solución

es aplicar un esquema ARQ al enlace del SMS a fin de mejorar la IPER a expensas de un aumento del retardo de transferencia de los paquetes IP.

No se pueden utilizar técnicas de retransmisión tales como ARQ en aplicaciones sensibles al retardo. Así pues, la IPER viene únicamente determinada por la calidad de funcionamiento del canal del satélite, es decir, por la *BER* y por el tamaño de cada paquete IP, *Tamaño_paquete*, que debe definirse con la máxima precisión a lo largo del diseño del sistema.

3 Tasa de pérdidas de paquetes IP

La tasa de pérdidas de paquetes IP (*IPLR*, *IP packet loss ratio*) se define en la Recomendación UIT-T Y.1540 como la relación del número total de paquetes perdidos al número total de paquetes transmitidos. Las causas de pérdida de paquetes son, por ejemplo, los errores en la dirección de los paquetes IP debidos a la falta de coherencia en la actualización de las tablas de direccionamiento, el desbordamiento de las memorias intermedias de los encaminadores o de los equipos de transmisión de paquetes, la sobrecarga de los encaminadores, etc. Si se considera la sección del enlace del SMS del trayecto de comunicación de los paquetes IP, la causa principal, o sea el cuello de botella para las pérdidas de paquetes IP, es el desbordamiento de los paquetes que salen de la memoria intermedia en la interfaz del equipo de transmisión del satélite con la conexión del enlace del SMS a la sección terrenal.

La relación de pérdida de paquetes IP debida al desbordamiento de paquetes procedentes de la memoria intermedia de transmisión depende de los parámetros siguientes:

- del proceso de llegada de los paquetes IP;
- del tamaño de la memoria intermedia de transmisión en la interfaz que conecta el enlace del SMS con la sección terrenal;
- del esquema de planificación de los paquetes IP por el enlace del SMS.

Se admite comúnmente que el proceso de llegada en las aplicaciones de datos en paquetes IP se produce a ráfagas. Por ejemplo, hay definido un modelo de tráfico de exploración de la web para evaluar las tecnologías de transmisión radioeléctrica en las aplicaciones de telecomunicaciones móviles¹. En este modelo se emplea el denominado mecanismo de llegada de paquetes por interrupción (on-off). El periodo activo (on) corresponde a la descarga del fichero con la serie de paquetes mientras que el desactivado (off) corresponde al tiempo de lectura de dicho fichero. Este modelo constituye una buena representación de las actividades de exploración de la web; sin embargo, no se conoce ningún planteamiento analítico, ni se ha establecido ninguno hasta el momento, que permita evaluar la calidad de funcionamiento de las aplicaciones de datos en paquetes IP con arreglo al complicado modelo de tráfico de datos en paquetes por ráfagas. Un posible planteamiento de evaluación de la *IPLR* para tráfico por ráfagas consiste en aplicar la simulación de colas con las hipótesis adecuadas sobre los parámetros citados.

Suponiendo que la llegada de paquetes IP obedece a un proceso de Poisson y que la memoria intermedia es finita y dispone de un planificador FIFO, puede obtenerse, en teoría, otra posible aproximación a la tasa de pérdidas de paquetes, *IPLR*, debida al desbordamiento de la memoria intermedia a partir del análisis de la cola *M/M/1/K*, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$IPLR = \rho^K / \sum_{n=0}^K \rho^n \quad (2)$$

¹ UMTS TR 101 112, «Selection procedures for the choice of radio transmission technologies of the UMTS,» abril de 1998.

siendo:

- K : tamaño de la memoria intermedia en número de paquetes
- ρ : intensidad de tráfico, es decir $\rho = \lambda \cdot h$
- λ : tasa de llegada de paquetes (número de paquetes/s)
- h : tiempo de retención medio para la transmisión de paquetes.

4 Retardo de transferencia de paquetes IP (IPTD)

El retardo de transferencia de paquetes IP (IPTD, *IP packet transfer delay*) es el retardo total de transmisión de una conexión IP de extremo a extremo. Para calcular el IPTD es necesario que la conexión de extremo a extremo esté atribuida adecuadamente a todas las secciones que constituyen la conexión de extremo a extremo. Para la sección del enlace del SMS, la Recomendación UIT-R M.1636 define $IPTD_{sat}$ del siguiente modo:

$$IPTD_{sat} = \sum_{n=1}^{N+1} \{T_{n,propagación} + T_{n,procesamiento}\} + T_{memoria\ intermedia} \quad (3)$$

siendo:

- N : número de retransmisiones por ARQ
- $T_{n,propagación}$: retardo de propagación de un enlace del SMS para la n -ésima retransmisión de tiempo
- $T_{n,procesamiento}$: retardo de procesamiento para la transmisión de paquetes por el canal del satélite y la adaptación para la transmisión de la n -ésima vez por el enlace del SMS
- $T_{memoria\ intermedia}$: retardo de la memoria intermedia en la interfaz de conexión del enlace del SMS con la sección terrenal.

En la Recomendación UIT-R M.1636 se indican los valores normales del retardo de propagación de paquetes IP, $T_{n,propagación}$, para diversos sistemas del SMS junto con la variación del retardo. Para sistemas del SMS no OSG (MEO), $T_{n,propagación}$ es 69 ms en el punto subsatelital y 103 ms en el borde de la cobertura del satélite. El retardo de procesamiento, $T_{n,procesamiento}$, depende de características del sistema del SMS para la transmisión de paquetes IP, tales como:

- esquema de corrección de errores en recepción;
- estructura de la trama del enlace del SMS;
- longitud del paquete y la velocidad de transmisión de los paquetes (en bit/s);
- esquema de planificación de los paquetes IP en el enlace del SMS.

Estos parámetros pueden obtenerse de los objetivos de calidad de funcionamiento de las capas física y de enlace del SMS. El retardo de la memoria intermedia, $T_{memoria\ intermedia}$ puede obtenerse por análisis de colas o de algún tipo de estudio de simulación suponiendo que pueda encontrarse un modelo adecuado al proceso de llegada de paquetes, tamaño de la memoria intermedia y esquema de planificación y entramado de los paquetes IP en el enlace del SMS.

En la Recomendación UIT-T Y.1541 se define el objetivo de calidad de funcionamiento del retardo de transferencia de paquetes como el IPTD medio.

Para aplicaciones sensibles al retardo en las que no se admite la retransmisión de paquetes, el valor medio de $IPTD_{sat}$, $\overline{IPTD_{sat}}$ puede obtenerse sencillamente sumando $T_{n,propagación}$, $T_{n,procesamiento}$ y $T_{memoria\ intermedia}$.

En aplicaciones sensibles al error, \overline{IPTD}_{sat} depende del esquema ARQ utilizado.

Para ARQ de arranque-parada, \overline{IPTD}_{sat} puede obtenerse del siguiente modo:

$$\overline{IPTD}_{sat} = \bar{x} + \frac{\lambda \bar{x}^2}{2(1-\lambda \bar{x})} - (T_{propagación} + T_{acuse, procesamiento}) \quad (4)$$

$$\bar{x} = \frac{T_D}{1-p} \quad (5)$$

$$\bar{x}^2 = \frac{T_D^2 (1+p)}{(1-p)^2} \quad (6)$$

siendo:

λ : tasa de llegada de paquetes (paquetes/s)

p : tasa de errores en los paquetes IP, es decir *IPER*

T_D : retardo de ida y vuelta del enlace del SMS, $T_D = 2T_{propagación} + T_{datos, procesamiento} + T_{acuse, procesamiento}$

$T_{propagación}$: retardo de propagación medio en el enlace del SMS

$T_{datos, procesamiento}$ $T_{acuse, procesamiento}$: retardo medio de procesamiento para un paquete de datos y un paquete de acuse, respectivamente.

Para ARQ de ida-vuelta- N , \overline{IPTD}_{sat} puede obtenerse del siguiente modo:

$$\overline{IPTD}_{sat} = \bar{x} + \frac{\lambda \bar{x}^2}{2(1-\lambda \bar{x})} + (T_{propagación}) \quad (7)$$

$$\bar{x} = T_{datos, procesamiento} + T_D \cdot \frac{p}{1-p} \quad (8)$$

$$\bar{x}^2 = T_{datos, procesamiento}^2 + 2T_{datos, procesamiento} \cdot T_D \cdot \frac{p}{1-p} + T_D^2 \cdot \frac{p(1+p)}{(1-p)^2} \quad (9)$$

Finalmente, para ARQ de repetición selectiva, \overline{IPTD}_{sat} puede obtenerse del siguiente modo:

$$\overline{IPTD}_{sat} = \bar{x} + (T_D - T_{datos, procesamiento}) \cdot \frac{p}{1-p} + \frac{\lambda \bar{x}^2}{2(1-\lambda \bar{x})} + T_{propagación} \quad (10)$$

$$\bar{x} = \frac{T_{datos, procesamiento}}{1-p} \quad (11)$$

$$\bar{x}^2 = T_{datos, procesamiento}^2 \frac{1+p}{(1-p)^2} \quad (12)$$

5 Variación del retardo de los paquetes IP

En el Apéndice IV de la Recomendación UIT-T Y.1541 se presenta el cálculo de la variación del retardo de los paquetes (IPDV, *IP packet delay variation*), en la que se tienen en cuenta diversas contribuciones. Por otra parte, la fluctuación del retardo de propagación afecta además a la IPDV en

la transmisión de datos de paquetes IP por enlaces del SMS no OSG. En la Recomendación UIT-R M.1636 se indica un valor característico de la variación del retardo de propagación para la transmisión de datos de paquetes IP por enlaces del SMS no OSG. La IPDV global del enlace del SMS debe tener en cuenta los mencionados factores, resultando muy complicado calcularla por análisis de colas. Uno de los planteamientos posibles para la obtención de la IPDV del enlace del SMS consiste en generar una función de distribución del IPTD a partir de la medición de sistemas característicos del SMS existentes o mediante simulación.

Anexo 3

Directrices para la optimización de la calidad de funcionamiento de las aplicaciones de datos por paquetes IP del servicio móvil por satélite

1 Introducción

En las comunicaciones actuales por Internet, TCP es el protocolo predominante de capa de transporte por la capa IP. La calidad de funcionamiento de la transmisión de paquetes IP bajo TCP viene determinada principalmente por la anchura de banda de transmisión y por el retardo de transmisión. Cuando el retardo de propagación aumenta considerablemente, como ocurre en los enlaces de comunicaciones por satélite, la calidad de funcionamiento del caudal de TCP se degrada considerablemente. Por ejemplo, suponiendo un tiempo de ida y vuelta de 200 ms y un tamaño de ventana de 8 kbytes, el caudal de TCP queda limitado a 310 kbit/s con independencia de la anchura de banda de la red de acceso.

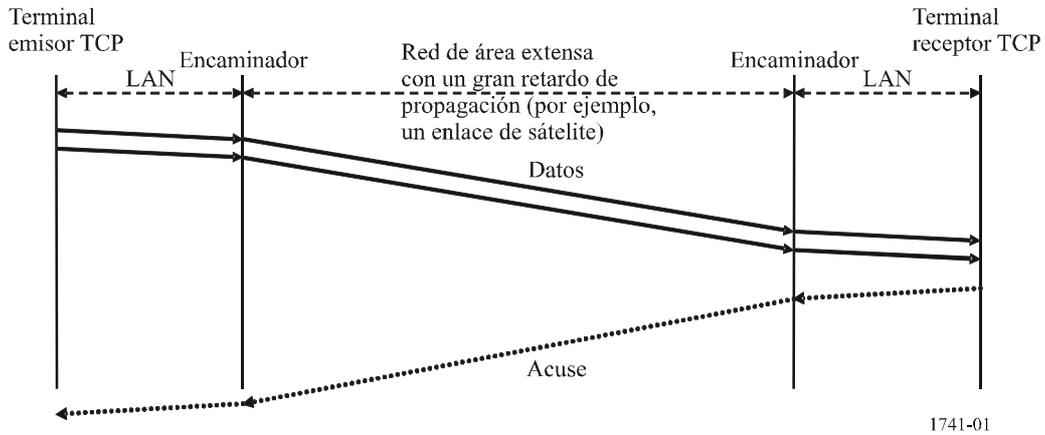
Para compensar el gran retardo de transmisión de los enlaces del SMS, la opción de escala de ventana, que permite al TCP utilizar un tamaño de ventana superior a 64 kbytes, se utiliza con carácter general en los diversos módulos informáticos de núcleo TCP de los últimos sistemas operativos. En esta sección se describe el ajuste de la escala de la ventana del TCP para un retardo de propagación grande.

2 Problemas de la comunicación extremo a extremo cuando el retardo de propagación es grande

El TCP controla el flujo mediante un mecanismo de ventana deslizando entre los terminales de extremo con arreglo a un mecanismo extremo a extremo como el representado en la Fig. 1. El control del flujo de datos lo ejecuta el programa informático de núcleo TCP en los PC o estaciones de trabajo. El tamaño de la ventana se utiliza para controlar el flujo de datos y especifica la cantidad de datos que pueden enviarse sin acuse. El tamaño máximo de la ventana TCP utilizada suele ser de 64 kbytes y 8 kbytes.

Este pequeño tamaño de ventana presenta graves inconvenientes cuando el retardo de propagación del enlace es grande, por ejemplo 80 ms de retardo entre la costa este de Estados Unidos de América y Japón por un cable de fibra óptica. Como se representa en la Fig. 1, un terminal TCP emisor no puede enviar datos aunque el enlace de acceso esté en reposo porque no recibe ACK durante muchas horas.

FIGURA 1
 Secuencia de control del flujo de extremo a extremo cuando el tamaño de la ventana es insuficiente

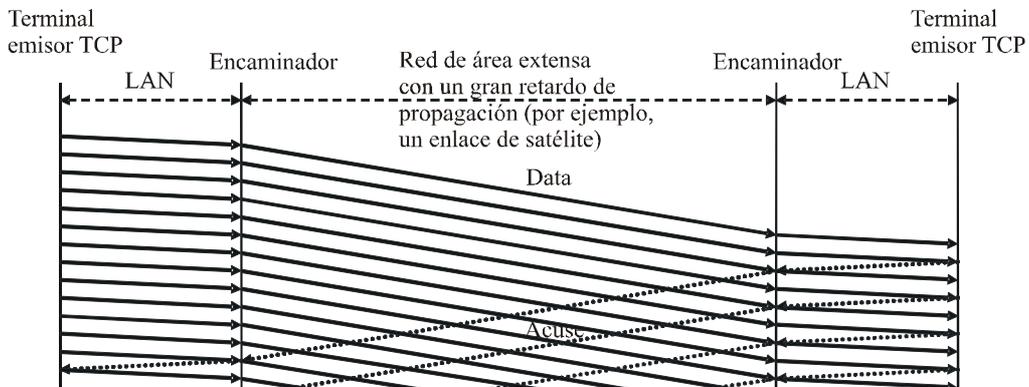


1741-01

3 Solución para mejorar la calidad de funcionamiento del caudal TCP

Una de las soluciones que permiten mejorar la calidad de funcionamiento del caudal TCP consiste en ajustar los parámetros del TCP. El parámetro TCP clave es el tamaño máximo de la ventana TCP. Se necesita un tamaño de ventana grande, superior a 64 kbytes, especialmente cuando el enlace de satélite forma parte de la red de área extensa. No obstante, los programas informáticos TCP tradicionales no admiten un tamaño de ventana máximo superior a 64 kbytes. Para resolver este problema, las extensiones TCP se especifican actualmente para una calidad de funcionamiento superior en un entorno de retardo más grande. La opción de escalado de ventana es una de las extensiones TCP a estos efectos. Permite obtener una elevada calidad de funcionamiento del caudal TCP incluso en enlaces de satélite. Como se muestra en la Fig. 2, el terminal TCP emisor siempre puede enviar datos aunque el entorno de retardo de propagación sea grande.

FIGURA 2
 Secuencia de control del flujo de extremo a extremo cuando el tamaño de la ventana es suficiente



1741-02

4 Caudal TCP estimado

Suponiendo que no haya pérdida de segmentos TCP en la red de área extensa, el caudal TCP estimado se calcula mediante la siguiente ecuación:

«Caudal TCP estimado» = «Tamaño máximo de la ventana TCP»/(«RTT (tiempo de ida y vuelta) entre emisor y receptor TCP» + «Tiempo de emisión del segmento TCP en el emisor»).

El Cuadro 2 muestra la relación entre el RTT y el caudal estimado para los dos tipos de tamaño máximo de ventana TCP. Los valores se calculan con la condición de que la MTU (tamaño máximo del segmento) sea de 1 460 bytes (o sea que la unidad de transmisión máxima sea de 1 500 bytes) y la velocidad de la línea de acceso del emisor sea de 400 kbit/s como anchura de banda de estrangulamiento (o sea que el tiempo de envío del segmento TCP en el emisor sea de 0,03 s).

CUADRO 2

Caudal TCP estimado

	Tamaño máximo de ventana = 64 kbytes	Tamaño máximo de ventana = 512 kbytes
RTT = 50 ms	6,55 Mbit/s	52,4 Mbit/s
RTT = 360 ms	1,34 Mbit/s	10,8 Mbit/s
RTT = 1 000 ms	0,51 Mbit/s	4,07 Mbit/s
RTT = 2 000 ms	0,26 Mbit/s	2,07 Mbit/s

El Cuadro 1 del Anexo 1, pone de manifiesto que es necesario ajustar el tamaño máximo de la ventana TCP con arreglo al RTT entre emisor y receptor. Debe observarse que el caudal TCP estimado debe alinearse con la anchura de banda de estrangulamiento (es decir la anchura de banda del enlace del SMS) cuando la anchura de banda de estrangulamiento sea menor que los resultados calculados. Por consiguiente, si el caudal TCP del Cuadro 2 es inferior a la anchura de banda de estrangulamiento, o sea a la anchura de banda del enlace de acceso del satélite del SMS, el tamaño máximo de la ventana TCP debe ser más grande, de modo que la transmisión de paquetes IP pueda utilizar la anchura de banda más eficientemente.

5 Otra solución para mejorar la calidad de funcionamiento del TCP/IP

Otra posible solución para mejorar la calidad de funcionamiento del TCP/IP en los canales de transmisión del satélite es utilizar el método de división en segmentos. Este método consiste en dividir las sesiones TCP de extremo a extremo en dos o tres segmentos de modo que un segmento del enlace de satélite que tenga un retardo de transmisión grande no deteriore la calidad de funcionamiento del TCP/IP extremo a extremo. El UIT-R ha estudiado esta solución de división en segmentos y ha presentado los resultados de dicho estudio en la Recomendación UIT-R S.1711. Las descripciones de la Recomendación UIT-R S.1711 con los resultados de las pruebas experimentales facilitan la comprensión de esta solución y de sus repercusiones sobre la mejora de la calidad de funcionamiento del TCP/IP en todos sus detalles.