



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

E.681

(10/2001)

SERIE E: EXPLOTACIÓN GENERAL DE LA RED,
SERVICIO TELEFÓNICO, EXPLOTACIÓN DEL
SERVICIO Y FACTORES HUMANOS

Ingeniería de tráfico – Ingeniería de tráfico para redes
con protocolo Internet

**Métodos de ingeniería de tráfico para redes de
acceso con protocolo Internet basadas en el
sistema híbrido de fibra óptica/cable coaxial**

Recomendación UIT-T E.681

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE E

EXPLOTACIÓN GENERAL DE LA RED, SERVICIO TELEFÓNICO, EXPLOTACIÓN DEL SERVICIO Y FACTORES HUMANOS

EXPLOTACIÓN DE LAS RELACIONES INTERNACIONALES	
Definiciones	E.100–E.103
Disposiciones de carácter general relativas a las Administraciones	E.104–E.119
Disposiciones de carácter general relativas a los usuarios	E.120–E.139
Explotación de las relaciones telefónicas internacionales	E.140–E.159
Plan de numeración del servicio telefónico internacional	E.160–E.169
Plan de encaminamiento internacional	E.170–E.179
Tonos utilizados en los sistemas nacionales de señalización	E.180–E.189
Plan de numeración del servicio telefónico internacional	E.190–E.199
Servicio móvil marítimo y servicio móvil terrestre público	E.200–E.229
DISPOSICIONES OPERACIONALES RELATIVAS A LA TASACIÓN Y A LA CONTABILIDAD EN EL SERVICIO TELEFÓNICO INTERNACIONAL	
Tasación en el servicio internacional	E.230–E.249
Medidas y registro de la duración de las conferencias a efectos de la contabilidad	E.260–E.269
UTILIZACIÓN DE LA RED TELEFÓNICA INTERNACIONAL PARA APLICACIONES NO TELEFÓNICAS	
Generalidades	E.300–E.319
Telefotografía	E.320–E.329
DISPOSICIONES DE LA RDSI RELATIVAS A LOS USUARIOS	E.330–E.349
PLAN DE ENCAMINAMIENTO INTERNACIONAL	E.350–E.399
GESTIÓN DE RED	
Estadísticas relativas al servicio internacional	E.400–E.409
Gestión de la red internacional	E.410–E.419
Comprobación de la calidad del servicio telefónico internacional	E.420–E.489
INGENIERÍA DE TRÁFICO	
Medidas y registro del tráfico	E.490–E.505
Previsiones del tráfico	E.506–E.509
Determinación del número de circuitos necesarios en explotación manual	E.510–E.519
Determinación del número de circuitos necesarios en explotación automática y semiautomática	E.520–E.539
Grado de servicio	E.540–E.599
Definiciones	E.600–E.649
Ingeniería de tráfico para redes con protocolo Internet	E.650–E.699
Ingeniería de tráfico de RDSI	E.700–E.749
Ingeniería de tráfico de redes móviles	E.750–E.799
CALIDAD DE LOS SERVICIOS DE TELECOMUNICACIÓN: CONCEPTOS, MODELOS, OBJETIVOS, PLANIFICACIÓN DE LA SEGURIDAD DE FUNCIONAMIENTO	
Términos y definiciones relativos a la calidad de los servicios de telecomunicación	E.800–E.809
Modelos para los servicios de telecomunicación	E.810–E.844
Objetivos para la calidad de servicio y conceptos conexos de los servicios de telecomunicaciones	E.845–E.859
Utilización de los objetivos de calidad de servicio para la planificación de redes de telecomunicaciones.	E.860–E.879
Recopilación y evaluación de datos reales sobre la calidad de funcionamiento de equipos, redes y servicios	E.880–E.899

Para más información, véase la Lista de Recomendaciones del UIT-T.

Recomendación UIT-T E.681

Métodos de ingeniería de tráfico para redes de acceso con protocolo Internet basadas en el sistema híbrido de fibra óptica/cable coaxial

Resumen

Esta Recomendación describe los métodos genéricos preferidos para el control de tráfico y dimensionamiento de redes de acceso con protocolo Internet basadas en sistemas híbridos de fibra óptica/cable coaxial (HFC), teniendo en cuenta las capacidades y limitaciones de la tecnología de acceso basada en módem de cable. El interés principal se centra en la provisión a través del sistema HFC del servicio de telefonía IP en un entorno integrado de voz/datos. Se describen los factores que afectan a la capacidad del sistema para el soporte de conexiones de voz. Entre los temas tratados están el dimensionamiento de un único canal de transmisión en el sentido hacia el origen, la agrupación de canales en el sentido hacia el origen, y la interoperabilidad entre DOCSIS 1.0 y DOCSIS 1.1.

Orígenes

La Recomendación UIT-T E.681, preparada por la Comisión de Estudio 2 (2001-2004) del UIT-T, fue aprobada por el procedimiento de la Resolución 1 de la AMNT el 29 de octubre de 2001.

PREFACIO

La UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) es el organismo especializado de las Naciones Unidas en el campo de las telecomunicaciones. El UIT-T (Sector de Normalización de las Telecomunicaciones de la UIT) es un órgano permanente de la UIT. Este órgano estudia los aspectos técnicos, de explotación y tarifarios y publica Recomendaciones sobre los mismos, con miras a la normalización de las telecomunicaciones en el plano mundial.

La Asamblea Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (AMNT), que se celebra cada cuatro años, establece los temas que han de estudiar las Comisiones de Estudio del UIT-T, que a su vez producen Recomendaciones sobre dichos temas.

La aprobación de Recomendaciones por los Miembros del UIT-T es el objeto del procedimiento establecido en la Resolución 1 de la AMNT.

En ciertos sectores de la tecnología de la información que corresponden a la esfera de competencia del UIT-T, se preparan las normas necesarias en colaboración con la ISO y la CEI.

NOTA

En esta Recomendación, la expresión "Administración" se utiliza para designar, en forma abreviada, tanto una administración de telecomunicaciones como una empresa de explotación reconocida de telecomunicaciones.

PROPIEDAD INTELECTUAL

La UIT señala a la atención la posibilidad de que la utilización o aplicación de la presente Recomendación suponga el empleo de un derecho de propiedad intelectual reivindicado. La UIT no adopta ninguna posición en cuanto a la demostración, validez o aplicabilidad de los derechos de propiedad intelectual reivindicados, ya sea por los miembros de la UIT o por terceros ajenos al proceso de elaboración de Recomendaciones.

En la fecha de aprobación de la presente Recomendación, la UIT ha recibido notificación de propiedad intelectual, protegida por patente, que puede ser necesaria para aplicar esta Recomendación. Sin embargo, debe señalarse a los usuarios que puede que esta información no se encuentre totalmente actualizada al respecto, por lo que se les insta encarecidamente a consultar la base de datos sobre patentes de la TSB.

© UIT 2002

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

ÍNDICE

	Página
1 Alcance	1
2 Referencias	1
2.1 Referencias normativas	1
2.2 Referencias no normativas	2
3 Definiciones.....	2
4 Abreviaturas.....	2
5 Introducción.....	3
6 Parámetros de grado de servicio	4
7 Consideraciones de ingeniería de tráfico	4
7.1 Factores que afectan a la capacidad en sentido hacia el origen.....	5
7.1.1 Características de canal	5
7.1.2 Características de protocolo	5
7.1.3 Retardo de propagación.....	5
7.2 Protocolo para transmisión hacia el origen	6
8 Dimensionamiento de un canal único hacia el origen	6
8.1 Capacidad de voz.....	6
8.2 Capacidad disponible para datos	7
9 Interoperabilidad entre DOCSIS 1.0 y DOCSIS 1.1	8
10 Agrupación de canales hacia el origen	8
10.1 Cambio inmediato de canales hacia el origen	9
10.2 Fluctuación de intervalo de voz.....	9
10.3 Algoritmos de asignación.....	9
11 Historia	11
Apéndice I – Ejemplo de cálculo de la capacidad de canal en el sentido hacia el origen	11
Apéndice II – Ejemplo de ventana de fluctuación.....	12

Recomendación UIT-T E.681

Métodos de ingeniería de tráfico para redes de acceso con protocolo Internet basadas en el sistema híbrido de fibra óptica/cable coaxial

1 Alcance

Esta Recomendación describe los métodos genéricos preferidos para el control de tráfico y el dimensionamiento de redes de acceso con protocolo Internet basadas en sistemas híbridos de fibra óptica/cable coaxial (HFC, *hybrid fiber/coax*), teniendo en cuenta las capacidades y limitaciones de la tecnología de acceso basada en módem de cable. Formula principios de tráfico pertinentes para la planificación, operación, y gestión de redes de acceso IP basadas en HFC, para que puedan alcanzarse los objetivos de calidad del servicio (QoS) ofrecidos a los clientes.

A efectos de ingeniería de tráfico, esta Recomendación presupone que la red está disponible: o sea, no considera el equipo de la red en un estado de fallo.

La primera versión de esta Recomendación sólo se ocupa de la provisión a través del sistema HFC, del servicio de telefonía IP en un entorno integrado de voz/datos. Aunque se considera la repercusión del servicio de voz en la capacidad disponible para datos, los métodos de ingeniería de tráfico para servicios de datos soportados por TCP/IP, como la navegación por la web, el correo electrónico, la transferencia de ficheros, y el acceso a datos a alta velocidad, quedan en estudio. Otros servicios como la videotelefonía y vídeo a la carta, quedan también en estudio.

2 Referencias

2.1 Referencias normativas

Las siguientes Recomendaciones del UIT-T y otras referencias contienen disposiciones que, mediante su referencia en este texto, constituyen disposiciones de la presente Recomendación. Al efectuar esta publicación, estaban en vigor las ediciones indicadas. Todas las Recomendaciones y otras referencias son objeto de revisiones por lo que se preconiza que los usuarios de esta Recomendación investiguen la posibilidad de aplicar las ediciones más recientes de las Recomendaciones y otras referencias citadas a continuación. Se publica periódicamente una lista de las Recomendaciones UIT-T actualmente vigentes.

- Recomendación UIT-T E.526 (1993), *Dimensionamiento de haces de circuitos con servicios portadores multiintervalo y sin entradas de desbordamiento*.
- Recomendación UIT-T E.651 (2000), *Conexiones de referencia para ingeniería de tráfico de redes de acceso con protocolo Internet*.
- Recomendación UIT-T E.721 (1999), *Parámetros y valores objetivo de grado de servicio de red para servicios con conmutación de circuitos en la RDSI en evolución*.
- Recomendación UIT-T E.726 (2000), *Parámetros y valores objetivo de grado de servicio de red para la red digital de servicios integrados de banda ancha*.
- Recomendación UIT-T G.114 (2000), *Tiempo de transmisión en un sentido*.
- Recomendación UIT-T G.711 (1988), *Modulación por impulsos codificados (MIC) de frecuencias vocales*.
- Recomendación UIT-T G.728 (1992), *Codificación de señales vocales a 16 kbit/s utilizando predicción lineal con excitación por código de bajo retardo*.

- Recomendación UIT-T J.112 (1998), *Sistemas de transmisión para servicios interactivos de televisión por cable*.

2.2 Referencias no normativas

Las siguientes referencias se indican aquí para información

- DOCSIS 1 Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Radio Frequency Interface Specification 1.0, SP-RFI-I05-991105, Cable Television Laboratories, Inc., noviembre de 1999.
- DOCSIS 2 Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Radio Frequency Interface Specification 1.1, SP-RFIV1.1-I07-010829, Cable Television Laboratories, Inc., agosto de 2001.
- DOCSIS 3 Data-Over-Cable Service Interface Specifications, Cable Modem to Customer Premises Equipment Interface Specification, SP-CMCI-I05-001215, Cable Television Laboratories, Inc., diciembre de 2000.

3 Definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

3.1 Un **módem de cable (CM, cable modem)** es un modulador-demodulador en las instalaciones del abonado que se utiliza para transportar comunicaciones de datos en un sistema de televisión por cable.

3.2 Un **sistema de terminación de módem de cable (CMTS, cable modem termination system)**, ubicado en la cabecera o centro de distribución de un sistema de televisión por cable, proporciona una funcionalidad complementaria a los módems de cable para hacer posible la conectividad de datos con una red de área extensa.

3.3 Un **nodo de fibra** es un punto de interfaz entre un circuito troncal de fibra y la distribución coaxial.

3.4 Un **sistema híbrido de fibra óptica/cable coaxial (HFC, hybrid fiber/coax)** es un sistema bidireccional de transmisión con medios compartidos de banda ancha que utiliza circuitos troncales de fibra entre la cabecera y los nodos de fibra, y distribución coaxial desde los nodos de fibra hasta las instalaciones del cliente.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

- CM Módem de cable (*cable modem*)
- CMTS Sistema de terminación de módem de cable (*cable modem termination system*)
- CPE Equipo en las instalaciones del cliente (*customer premises equipment*)
- GoS Grado de servicio (*grade of service*)
- HFC Sistema híbrido de fibra óptica/cable coaxial (*hybrid fiber/coax system*)
- IP Protocolo Internet (*Internet protocol*)
- MTA Adaptador de terminal multimedios (*multi-media terminal adapter*)
- QoS Calidad de servicio (*quality of service*)
- TCP Protocolo de control de transmisión (*transmission control protocol*)

5 Introducción

Esta Recomendación utiliza la arquitectura de referencia de redes de acceso IP basadas en sistemas híbridos de fibra óptica/cable coaxial, como se especifica en 7.1/E.651. Por razones de conveniencia la figura 7-1/E.651 se reproduce a continuación como figura 5-1.

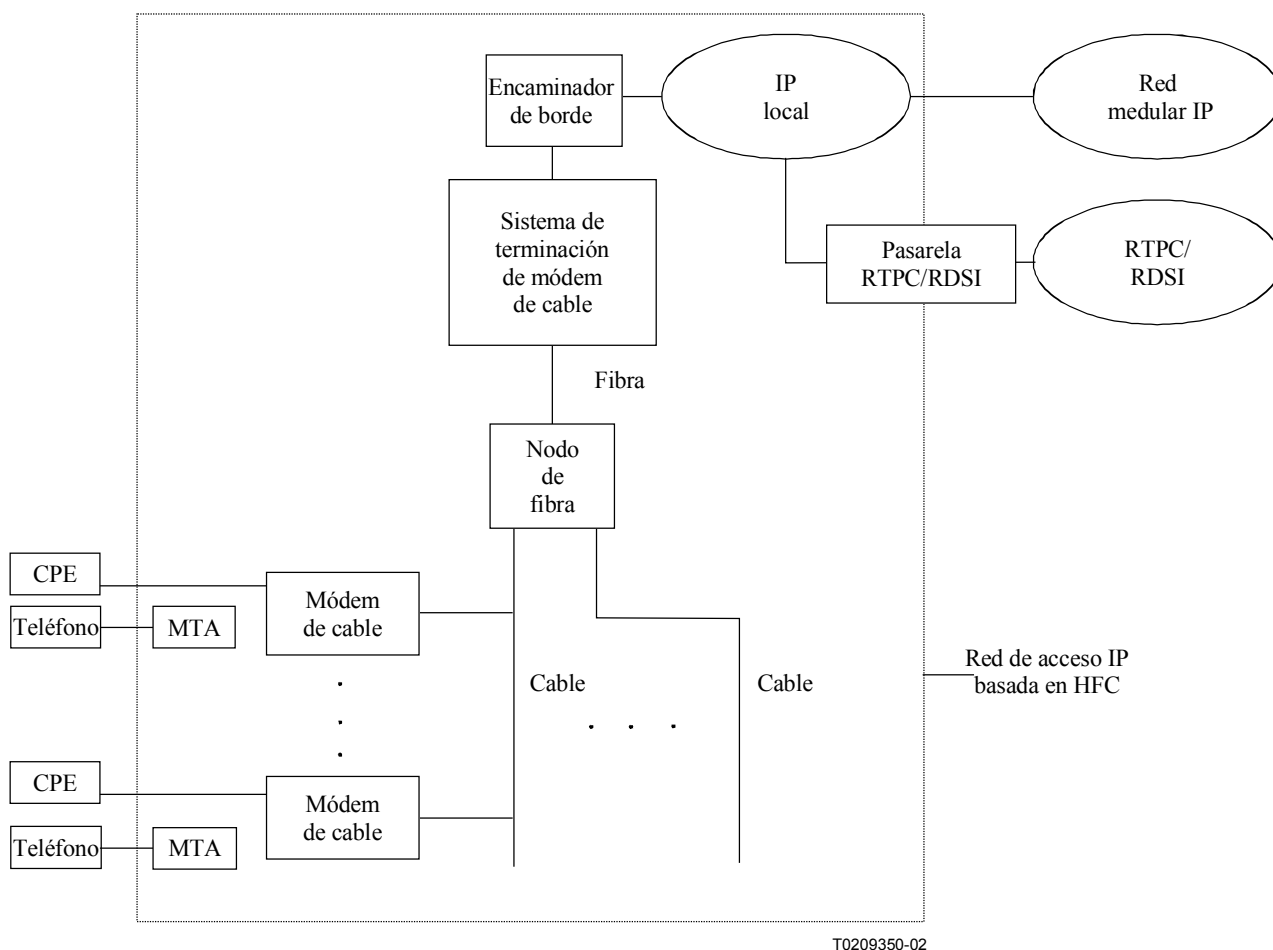


Figura 5-1/E.681 – Arquitectura de referencia de una red de acceso IP basada en HFC

Esta figura muestra una red de acceso IP basada en HFC con módems de cable (CM) ubicados en las instalaciones del cliente conectados a un sistema de terminación de módem de cable (CMTS) al extremo de cabeza. La planta de distribución HFC incluye enlaces de fibra entre un CMTS y un nodo de fibra, y este nodo efectúa la conversión óptica/eléctrica. El cable coaxial se utiliza para conectar varias instalaciones de cliente muy próximas al nodo de fibra. El equipo en las instalaciones del cliente, como una computadora personal, puede estar interconectado directamente con un CM. Un teléfono ordinario generalmente está interconectado a través de un adaptador de terminal multimedia (MTA) a un CM. El MTA puede estar integrado con el CM. A través de una red IP local gestionada y de un encaminador en borde, una red de acceso HFC se conecta a una red principal IP, bien para el acceso a Internet o bien para llamadas telefónicas todo IP de extremo a extremo. Se proporciona también conexión mediante una pasarela para el interfuncionamiento con RTPC/RDSI para llamadas telefónicas. El encaminador en borde puede estar integrado con el CMTS, y encamina el tráfico en la red local IP. Asimismo, este encaminador puede encargarse de aplicar las políticas de tráfico y, facultativamente, de funciones de control de admisión. La red local IP contiene todos los elementos de red y/o servidores necesarios para la gestión de conexiones y el procesamiento de llamadas.

Un CMTS y un CM transfieren tráfico IP utilizando las *Data-Over-Cable Service Interface Specifications*, Radio Frequency Interface Specification, Version 1.1 [DOCSIS 2]. Esta especificación se denomina comúnmente DOCSIS 1.1. Una versión anterior, DOCSIS 1.0 [DOCSIS 1], se desarrolló inicialmente para soportar el servicio de datos de alta velocidad de mejor esfuerzo. Las cuestiones de ingeniería de tráfico relacionadas con la interoperabilidad entre estas dos versiones se tratan en la cláusula 9.

6 Parámetros de grado de servicio

En esta cláusula se indican los parámetros GoS pertinentes para fines de ingeniería de tráfico. Sus definiciones y valores deseados son el tema de una Recomendación futura.

Para la telefonía IP se recomiendan los siguientes parámetros GoS de tráfico en el nivel de llamada:

- 1) probabilidad de bloqueo de llamada;
- 2) retardo de postselección;
- 3) retardo de señal de respuesta;
- 4) retardo de liberación de llamada.

NOTA 1 – Estos parámetros son funcionalmente similares a los parámetros correspondientes especificados en las Recomendaciones UIT-T E.721 y E.726.

NOTA 2 – En el presente contexto, el retardo de señal de respuesta es funcionalmente equivalente al retardo de postdescuelgue. O sea, el intervalo de tiempo a partir del momento en que se descuelga el teléfono de destino (después del timbre) hasta el momento en que se establece el trayecto de voz de extremo a extremo al teléfono de origen. Este intervalo se especifica para evitar el "hola recortado".

Tras el establecimiento de la comunicación, y a efectos de la transferencia de información, el término *paquete* designa un paquete que contiene una o más muestras de voz. En esta fase se recomiendan los siguientes parámetros GoS de tráfico:

- 1) retardo de transmisión vocal (incluido el retardo de paquetización y el retardo de transferencia de paquete en un solo sentido);
- 2) variación del retardo de paquete, también denominado fluctuación de fase;
- 3) pérdida de paquete (pérdida promedio y pérdida en ráfaga).

NOTA 3 – Estos parámetros son similares funcionalmente a los correspondientes parámetros GoS en el nivel de célula especificados en la Rec. UIT-T E.726.

7 Consideraciones de ingeniería de tráfico

En un sistema HFC, la interactividad en ambos sentidos se obtiene añadiendo a una red de difusión de televisión por cable un trayecto de retorno en el sentido de transmisión hacia el origen (es decir, un trayecto desde el cliente hasta la red). No obstante, debido a la parte relativamente pequeña del espectro atribuido para uso en el sentido hacia el origen (para fines de compatibilidad con la difusión de televisión) y las características de ruido allí presentes, las anchuras de banda disponibles en ambos sentidos son asimétricas: la anchura de banda hacia el origen es mucho más limitada que la anchura de banda hacia el destino. Debido a esta asimetría, un CMTS asocia generalmente un canal hacia el destino con múltiples (usualmente hasta ocho) canales hacia el origen. Sin embargo, un CM sólo puede obtener acceso a uno de estos canales hacia el origen en un momento dado para todas sus necesidades de comunicación, es decir, para el soporte de varias (generalmente hasta cuatro) llamadas de voz simultáneas y/o una conexión de datos de alta velocidad "siempre activa".

En las comunicaciones de datos de alta velocidad, las telecargas y las transferencias de ficheros de gran volumen suelen producirse en el sentido hacia el destino, mientras que en el sentido hacia el origen se transmiten principalmente paquetes pequeños que contienen acuses de recibo e instrucciones de los usuarios. A diferencia de las aplicaciones de datos, los requisitos de anchura de

banda bidireccionales de las comunicaciones vocales interactivas son intrínsecamente simétricos. En consecuencia, para el soporte de servicios integrados de voz/datos, los canales en el sentido hacia el origen, de anchura de banda limitada, pueden ser puntos sensibles a la congestión.

7.1 Factores que afectan a la capacidad en sentido hacia el origen

La capacidad de un canal hacia el origen depende de las características físicas y del protocolo usado para la comunicación. El retardo máximo de propagación de ida y vuelta entre un CM y un CMTS también afecta a la capacidad máxima de soporte del servicio de telefonía. El apéndice I contiene un ejemplo que muestra cómo los siguientes factores afectan a la capacidad, en el sentido hacia el origen, para conexiones vocales.

7.1.1 Características de canal

DOCSIS 1.1 permite a los operadores ser flexibles al seleccionar las características de capa física en sentido hacia el origen proporcionando dos formatos de modulación (QPSK o 16 QAM), un conjunto de cinco velocidades de símbolos, así como un conjunto correspondiente de anchos de canal. La velocidad binaria bruta de un canal hacia el origen depende principalmente de la anchura de banda del canal, del formato de modulación, y de la velocidad de símbolos seleccionada para dicho canal.

7.1.2 Características de protocolo

La cantidad de conexiones vocales que pueden estar soportadas en un canal depende del tipo de algoritmo de codificación del códec, del intervalo de paquetización de la voz, del uso de la supresión de encabezamientos de cabida útil, del tamaño de la palabra de código de corrección intrínseca de errores y del tamaño de un miniintervalo de tiempo.

DOCSIS especifica un miniintervalo como una unidad de tiempo para la asignación de anchura de banda hacia el origen. Por tanto, el canal en sentido hacia el origen se modela como un tren de miniintervalos contiguos, cada uno de los cuales representa el tiempo necesario para la transmisión de un número fijo de octetos. Los tamaños del miniintervalo comúnmente usados son 8 ó 16, octetos cada uno.

7.1.3 Retardo de propagación

DOCSIS especifica que se dedique, una vez cada 10 s, anchura de banda hacia el origen para permitir que nuevos CM se unan a la red y efectuar la determinación inicial. La determinación es el proceso mediante el cual un CM adquiere el desplazamiento de temporización correcto de tal manera que sus transmisiones estén alineadas con la demarcación de miniintervalo correcta. Denominada *mantenimiento inicial*, la anchura de banda para esta actividad de determinación requiere "un intervalo largo, equivalente al máximo retardo de propagación de ida y vuelta más el tiempo de transmisión del mensaje de petición de determinación (RNG-REQ, *ranging request*)". Durante este intervalo no pueden transmitirse paquetes de voz. Para evitar la repercusión de esto en la variación del retardo de paquete, la anchura de banda del canal hacia el origen no debe utilizarse completamente para voz. En consecuencia, cuanto más largo sea este intervalo, tanto menor será la capacidad de voz hacia el origen.

DOCSIS especifica un espaciamiento máximo de 160 km (100 millas) entre un CMTS y el CM más distante, aunque típicamente estas distancias sean del orden de 15-25 km. Dependiendo de la razón de longitudes de los medios (fibra a cobre), el retardo de propagación de los medios variará. Supóngase que la velocidad del medio es igual a 2/3 de la velocidad de la luz en el vacío (véase la Rec. UIT-T G.114); entonces, el máximo retardo de propagación de ida y vuelta será 1,61 ms.

En la práctica, las plantas de cable operan generalmente con distancias más cortas que las máximas especificadas por DOCSIS. A fin de obtener una mayor capacidad para conexiones vocales, puede ser aconsejable utilizar en dichas plantas de cable un valor inferior a dicho máximo retardo de propagación para fijar el intervalo de mantenimiento inicial.

7.2 Protocolo para transmisión hacia el origen

El acceso a los miniintervalos para la transmisión hacia el origen por un CM es controlado por el CMTS. Un CM puede enviar un paquete sólo después de que haya solicitado y obtenido del CMTS una concesión, es decir, un permiso para usar cierto número de miniintervalos contiguos. En respuesta a estas peticiones, el CMTS calendariza las transmisiones de cabida útil hacia el origen mediante concesiones sucesivas a diferentes CM. En comunicaciones de datos, cada vez que un CM está listo para enviar un paquete, solicita una concesión del CMTS.

Para las comunicaciones vocales a velocidad binaria constante (CBR, *constant bit rate*) conformes a DOCSIS 1.1, y con el fin de minimizar la tara, un CMTS proporciona automáticamente *concesiones no solicitadas* a un CM para transmisión periódica hacia el origen de paquetes de voz para cada conexión CBR que ha sido establecida por el CM. A fin de facilitar la comprensión, el término *intervalo de voz* alude a un flujo constante de concesiones no solicitadas periódicas para la utilización de una secuencia de miniintervalos contiguos sucesivos para transmitir los paquetes de voz de tamaño fijo generados, procedentes de una conexión CBR. Por lo tanto, se atribuye un intervalo de voz a un CM para cada conexión CBR que ha establecido.

8 Dimensionamiento de un canal único hacia el origen

La anchura de banda de un canal hacia el origen se comparte entre el tráfico de cabida útil tanto de telefonía IP como de datos de alta velocidad, el tráfico de tara de la señalización de telefonía y las actividades de mantenimiento DOCSIS, así como el tráfico que surge de las contiendas entre las peticiones de transmisión hacia el origen.

En esta cláusula, se supone que cada CM está configurado *estáticamente* para utilizar un determinado canal hacia el origen en el momento de su provisión (por ejemplo, en la instalación o cuando es energizado). En consecuencia, cada canal hacia el origen se diseña por separado.

8.1 Capacidad de voz

Se puede realizar un cálculo conservador de la capacidad de un canal hacia el origen para el soporte de conexiones vocales, mediante la fórmula Erlang-B, a saber:

$$\Pi = (a^n / n!) / \sum_{k=0}^n (a^k / k!)$$

donde Π es la congestión de llamadas (o probabilidad de bloqueo de llamada), a es la carga ofrecida, y n es la cantidad máxima de conexiones vocales que pueden ser soportadas por un canal hacia el origen. Este número n puede determinarse mediante un método similar al del apéndice I.

Para tener en cuenta el efecto de fuente finita, puede usarse la fórmula de Engset para congestión de llamada:

$$\Pi = \left[\binom{m-1}{n} \hat{a}^n \right] / \left[\sum_{k=0}^n \binom{m-1}{k} \hat{a}^k \right]$$

donde m es la cantidad de fuentes de tráfico, y \hat{a} es la carga ofrecida promedio por cada fuente en reposo. Sea $\alpha = a/m$ la carga ofrecida promedio por cada fuente. Se puede utilizar la relación $\hat{a} = \alpha / [1 - \alpha(1 - \Pi)] \approx \alpha / (1 - \alpha)$ para calcular la cantidad \hat{a} , cuando $\Pi \ll 1$.

Cuando el sistema soporta una combinación de esquemas de codificación (por ejemplo, tanto el de la Rec. UIT-T G.711 como el de la Rec. UIT-T G.728), llamadas vocales diferentes podrán requerir velocidades de datos diferentes. En este caso, se pueden utilizar para el dimensionamiento los métodos de la Rec. UIT-T E.526.

8.2 Capacidad disponible para datos

La capacidad de tráfico de datos hacia el origen depende en gran parte del grado de compartición de anchura de banda entre los servicios de voz y datos. En el esquema de partición dura, donde voz y datos utilizan regiones de anchura de banda separadas sin compartición, el tráfico de datos dispone sólo de lo que es asignado en su región de anchura de banda. Cualquier otro esquema de compartición permitirá una anchura de banda de datos promedio efectivo mayor, en comparación con el esquema de partición dura [CS01, L01].

Para facilitar la compartición voz/datos, se supone para fines de ingeniería de tráfico que la secuencia de los miniintervalos en un canal hacia el origen se divide en *tramas*, y que la longitud de cada una es el tiempo de paquetización para el muestreo de voz. En la mayoría de las aplicaciones de telefonía por paquetes en sistemas de acceso por cable, este tiempo es, típicamente, 10 ms para reducir al mínimo los retardos de transmisión de la conversación. Dentro de cada trama, el conjunto de miniintervalos se subdivide en dos regiones *fijas*. Una se designa para servicio de transmisión de datos solamente y acomoda paquetes de datos de tamaño variable. Se conoce como *región de sólo-datos*. La otra, conocida por *región de voz*, se utiliza tanto para servicios de voz como para servicios de datos, teniendo la voz prioridad sobre los datos. Los paquetes de voz son de tamaño fijo.

Para calcular la *máxima* cantidad de capacidad en reposo en la región de voz que está disponible para el servicio de datos, obsérvese que la probabilidad de que haya j intervalos de voz ocupados, P_j , es:

$$P_j = \left[\binom{m}{j} \hat{a}^j \right] / \left[\sum_{k=0}^n \binom{m}{k} \hat{a}^k \right] \quad (j = 0, 1, \dots, n)$$

La probabilidad de que haya al menos i intervalos de voz en reposo en la región de voz es $\sum_{j=0}^{n-i} P_j$.

Esta capacidad en reposo está disponible para ser utilizada por datos, además de la anchura de banda en la región de sólo datos.

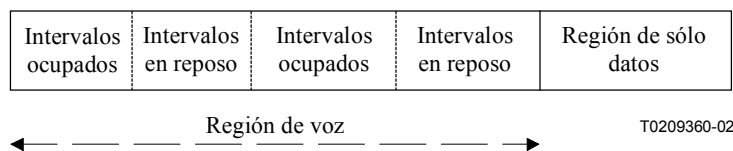


Figura 8-1/E.681 – Una región de voz con dos secciones de intervalos en reposo contiguos (es decir, dos "huecos")

Con el transcurso del tiempo, a medida que se establecen y liberan conexiones de voz, se crean "huecos", o secciones de intervalos de voz en reposo contiguos, en la anchura de banda de canal como se muestra en la figura 8-1. Para poder utilizar plenamente esta capacidad en reposo en la región de voz, DOCSIS 1.1 especifica un procedimiento de fragmentación de paquetes de datos mediante el cual unos paquetes de datos son fragmentados para llenar estos huecos. Una penalización por la utilización de este procedimiento es la tara suplementaria de 16 octetos por fragmento que se requiere para transportar la información sobre fragmentación y reensamblado. En comparación, nótese que el tamaño de un intervalo de voz con codificación G.711 es alrededor de 135 octetos (véase apéndice I).

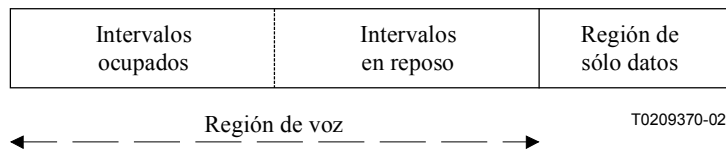


Figura 8-2/E.681 – Una región de voz con una sección única de intervalos en reposo contiguos

Es posible reducir la necesidad de fragmentación de paquetes de datos haciendo fluctuar algunos de los intervalos de voz ocupados hasta desplazarlos lejos de la región de datos, como se muestra en la figura 8-2. Al crear la mayor secuencia posible de intervalos de voz en reposo contiguos para la transmisión de datos, se mejora la eficiencia. Sin embargo, esa fluctuación de cualesquiera intervalos de voz asignados a conexiones vocales introducirá una variación adicional del retardo de paquete. Para reducir al mínimo el retardo de transmisión de conversación, se suele asignar al CMTS un presupuesto de unos 2 a 3 ms para la variación del retardo de paquete. En consecuencia, es aconsejable evitar lo más posible la fluctuación de cualesquiera intervalos de voz asignados.

En la práctica, la fluctuación de intervalos de voz ocupados para llenar huecos no siempre es necesaria. Esto se debe a que los huecos pueden utilizarse para la transmisión de pequeños paquetes de control, por ejemplo para el mantenimiento y la solución de contiendas entre peticiones de transmisión. Para calcular la capacidad disponible para datos con intervalos de voz asignados, dejados en su lugar sin cerrar los orificios, puede utilizarse el modelo presentado en [L01].

9 Interoperabilidad entre DOCSIS 1.0 y DOCSIS 1.1

DOCSIS 1.0 fue diseñado originalmente para el soporte del servicio de datos de alta velocidad de mejor esfuerzo en un sistema de acceso basado en cable. DOCSIS 1.1, un protocolo de la segunda generación, constituye una mejora respecto a DOCSIS 1.0 ya que proporciona funcionalidad adicional de tal manera que se cumplan los requisitos de calidad de funcionamiento del tráfico sensible a retardo/fluctuación de fase, como la telefonía IP. En particular, incluye características de protocolo como el servicio de concesión no solicitada (véase 7.2), la fragmentación de paquetes de datos (véase 8.2) y la supresión de encabezamiento de cabida útil.

Para mantener la interoperabilidad, un CMTS DOCSIS 1.1 debe ser retrocompatible con un CM DOCSIS 1.0. Puesto que los CM DOCSIS 1.0 generalmente no soportan fragmentación de paquete, un CMTS DOCSIS 1.1 no intentará, por consiguiente, fragmentar las transmisiones de paquetes procedentes de un CM DOCSIS 1.0. Como resultado de esto, puede haber alguna repercusión sobre la calidad de servicio para las necesidades de comunicación en tiempo real de los CM DOCSIS 1.1, cuando tanto los CM DOCSIS 1.0 como los DOCSIS 1.1 están aprovisionados para compartir el mismo canal hacia el origen. Para mitigar esta repercusión, se puede utilizar el algoritmo de atribución de intervalo de voz de *empaquetado* en el sentido hacia el origen descrito en [L01]. Además, dada una cantidad de CM DOCSIS 1.0 que habrán de estar soportados en un canal hacia el origen, hay un límite superior al número de fuentes de voz que pueden estar soportadas en el mismo canal, o viceversa, según se muestra en [L01].

10 Agrupación de canales hacia el origen

Como la anchura de banda de un canal hacia el origen es limitada, la cantidad de CM que un canal dado puede soportar estáticamente es pequeña. Para aumentar la cantidad total global de CM que puede ser soportada por un CMTS, es decir, para aumentar la utilización de los canales hacia el origen, es necesario agrupar estos canales para que sean utilizados por cualquier CM. Por lo tanto, además de aprovisionar inicialmente un CM para que utilice un canal determinado, un CMTS debe poder asignar dinámicamente CM a diferentes canales, basándose en condiciones de tráfico actualizadas.

10.1 Cambio inmediato de canales hacia el origen

Según DOCSIS 1.1, cuando el CMTS determina desplazar un CM del canal hacia el origen actualmente asignado, a otro canal, envía al CM un mensaje petición de cambio de canal hacia el origen (UCC-REQ, *upstream channel change request*). En respuesta, el CM transmite un mensaje respuesta de cambio de canal hacia el origen (UCC-RSP, *upstream channel change response*) en el canal actualmente asignado para señalar que está listo para utilizar el nuevo canal. Después de conmutar al nuevo canal, el CM suele ejecutar funciones de mantenimiento para hacer cualquier ajuste necesario a la temporización, potencia o frecuencia utilizadas. Este proceso se conoce por redeterminación.

Sin embargo, para reducir al mínimo la perturbación (por ejemplo, para prevenir la pérdida de paquetes) de llamadas en curso en el canal actualmente asignado, el CM debe poder usar directamente el nuevo canal sin efectuar la redeterminación, operación que toma mucho tiempo. Un procedimiento abreviado como éste, se denomina un cambio inmediato de canal hacia el origen (IUCC, *immediate upstream channel change*). Para efectuarlo, el CM debe conocer las características operativas del nuevo canal. A intervalos periódicos (máximo 2 s), el CMTS transmite a todos los CM información acerca de cada canal hacia el origen activo mediante un mensaje descriptor de canal hacia el origen (UCD, *upstream channel descriptor*). Un CM debe introducir regularmente la información UCD en memoria cache para evitar la redeterminación en las operaciones de conmutación de canales. Si un CM no introduce en memoria cache la información UCD (debido, por ejemplo, a falta de memoria), se recomienda que el CMTS envíe un mensaje unidifusión al CM inmediatamente después del mensaje UCC-REQ. Así, el CM podrá obtener de inmediato las características operativas del nuevo canal.

10.2 Fluctuación de intervalo de voz

La fluctuación, también denominada variación de retardo de paquete, es la desviación, medida en unidades de tiempo, con respecto al tiempo ideal o previsto de recepción de cada paquete. La fluctuación de intervalo de voz se convierte en un problema y debe ser controlado cuando se realiza un IUCC. La razón para esto es la siguiente: cuando se deba efectuar un IUCC para un CM, las posiciones relativas de intervalo de voz asignadas al CM para conexiones existentes deben aún mantenerse durante un intervalo máximo de fluctuación tolerada entre el actual canal hacia el origen y el nuevo. Para satisfacer la restricción relativa a la fluctuación, se utiliza el concepto de *ventana de fluctuación* para definir un conjunto de intervalos de voz contiguos en la región de voz cuya fluctuación es aceptable. Para mantener pequeña la fluctuación, el tamaño de la ventana tiene que ser pequeño. El apéndice II proporciona un ejemplo e información adicional sobre el uso de ventanas de fluctuación.

10.3 Algoritmos de asignación

Un CMTS asigna canales hacia el origen e intervalos de voz en reposo a CM, llamada por llamada, en respuesta a sus peticiones de establecimiento de comunicación. Un CMTS realiza asignaciones de canales para un CM en dos ocasiones:

- 1) bien en respuesta a la primera petición de llamada del CM; o
- 2) bien en respuesta a peticiones de llamada subsiguientes cuando todos los intervalos de voz en la región de voz del canal actualmente asignado al CM estén ocupados, requiriéndose por tanto que se efectúe el procedimiento IUCC.

En cualquiera de los dos casos, un canal es *asignable* sólo si puede acomodar la petición, es decir, si hay suficientes intervalos de voz en reposo para cualesquiera llamadas establecidas más la nueva llamada, siempre respetándose la restricción relativa a la fluctuación. Cuando sea necesario efectuar un IUCC, deben satisfacerse las dos condiciones siguientes. Primero, la cantidad de intervalos de voz en reposo en cada ventana de fluctuación en el nuevo canal debe ser no menor que la cantidad de intervalos de voz asignados al CM en la ventana de fluctuación correspondiente en el

canal actualmente asignado. Segundo, al menos una de las ventanas de fluctuación en el nuevo canal tiene espacio para acomodar la nueva llamada además de las llamadas existentes.

Al seleccionar un canal para asignación, un CMTS primero efectúa una búsqueda en todos los canales bajo su control para encontrar los que satisfacen el anterior criterio de asignación. Supóngase que un CMTS tiene c canales hacia el origen. En general, c no es mayor que ocho. Se supone que los canales se numeran consecutivamente y se identifican de 1 a c . El CMTS puede llevar a cabo la búsqueda de dos maneras:

- 1) *Búsqueda en sentidos opuestos*, es decir, ascendente desde el canal 1 para la primera llamada desde un CM, descendente desde el canal c para un IUCC subsiguiente; o viceversa.
- 2) *Búsqueda en el mismo sentido*, es decir, ascendente desde el canal 1 (o descendente desde el canal c) tanto para la primera llamada desde un CM como para un IUCC subsiguiente.

Al utilizar uno de estos procedimientos de búsqueda, el CMTS marca un subconjunto de los c canales que satisface el criterio de asignación. Si este subconjunto está vacío, la nueva llamada está bloqueada.

Si la búsqueda tiene éxito, el CMTS selecciona un canal del subconjunto marcado para asignación al CM con una nueva llamada. Se puede utilizar uno de los siguientes procedimientos:

- 1) *Empaquetado con primer ajuste*: Se asigna el primer canal en el sentido de búsqueda especificado. Por ejemplo, si se utiliza el procedimiento de búsqueda ascendente se selecciona el canal más bajo que satisface el criterio de asignación.
- 2) *Empaquetado mínimo*: Se asigna un canal con la cantidad mínima de intervalos de voz en reposo, y cuando haya varios en el mismo caso la solución se basará en el sentido de búsqueda especificado. Por lo tanto, supóngase que existen múltiples canales que satisfacen el criterio de asignación y tienen la misma cantidad mínima de intervalos de voz en reposo. Si se utiliza el procedimiento ascendente de búsqueda, se selecciona el más bajo de estos canales.
- 3) *Dispersión máxima*: Se asigna un canal con la cantidad máxima de intervalos de voz en reposo, y cuando haya varios en el mismo caso la solución se basará en el sentido de búsqueda especificado.
- 4) *Aleatorio*: Se asigna un canal probabilísticamente.

Estos cuatro procedimientos pueden combinarse de diferentes maneras. Por ejemplo, el procedimiento de "empaquetado con primer ajuste" puede usarse para seleccionar un canal para la nueva primera llamada desde un CM, mientras que el procedimiento de "dispersión máxima" puede utilizarse para IUCC en nuevas llamadas subsiguientes desde el mismo CM.

Tras la selección de un canal para asignación, el CMTS hace lo siguiente. Si interviene un IUCC, todas las conexiones vocales existentes establecidas en el canal actualmente asignado para el CM se desplazan primero hacia el nuevo canal. En este desplazamiento, se preserva la relación de ventanas de fluctuación en los canales actuales y nuevos. Por lo tanto, las conexiones vocales existentes asignadas a una ventana de fluctuación en el canal actualmente asignado se mantienen en la misma ventana de fluctuación en el canal de nueva selección. Después de que se hayan desplazado de esta manera todas las conexiones existentes, se selecciona un intervalo de voz en reposo en el nuevo canal y se asigna a la nueva llamada. Desde luego, en el caso de una nueva primera llamada procedente del CM, no se necesita IUCC y el CMTS selecciona sencillamente un intervalo de voz en reposo en el canal y lo asigna al CM para la nueva llamada. Suponiendo que los intervalos de voz en la región de voz de un canal están numerados consecutivamente e identificados como tales, puede aplicarse uno de los siguientes procedimientos para la selección de un intervalo de voz en reposo:

- 1) *Empaquetado*: Se selecciona el intervalo de voz en reposo más bajo (o el más alto).

- 2) *Aleatorio*: Se selecciona primero aleatoriamente una ventana de fluctuación con al menos un intervalo de voz en reposo y luego se selecciona el intervalo de voz en reposo más bajo (o el más alto) en la ventana de fluctuación seleccionada.

Para una tolerancia máxima de fluctuación dada, los diferentes algoritmos alcanzan diferentes probabilidades de bloqueo [L00]. El algoritmo de dispersión máxima y el algoritmo aleatorio tienden a producir resultados de calidad de funcionamiento más favorables.

11 Historia

Ésta es la primera publicación de la Rec. UIT-T E.681.

Bibliografía

- [CS01] CHOUDHURY (G.L.), SEGAL (M.): Cable Infrastructure to Carry Voice and Data – Performance Analysis, Traffic Engineering and Cable Head-end Node Design Design, *Proc. 14th ITC Specialists Seminar on Access Networks and Systems*, Gerona, España, 25-27 de abril de 2001.
- [L00] LAI (W.S.): Upstream Bandwidth Allocation for Packet Telephony in Hybrid Fiber-Coax Systems, *Proc. 2000 Symposium on Performance Evaluation of Computer and Telecommunication Systems (SPECTS'2000)*, Vancouver, Canadá, 16-20 de julio de 2000, páginas 96-100. (Patrocinado por la Society for Computer Simulation International.)
- [L01] LAI (W.S.): DOCSIS-Based Cable Networks: Impact of Large Data Packets on Upstream Capacity, *Proc. 14th ITC Specialists Seminar on Access Networks and Systems*, Gerona, España, 25-27 de abril de 2001, páginas 57-67.

Apéndice I

Ejemplo de cálculo de la capacidad de canal en el sentido hacia el origen

Como un ejemplo, se supone el siguiente:

- 1) *Características del canal*: Un canal de 3,2 MHz hacia el origen que funciona con QPSK a una velocidad de símbolos de 2560 ksímbolo/s, lo que da un canal de 5,12 de Mbit/s. Ésta es la anchura de banda bruta para transmisión hacia el origen.
- 2) *Características del protocolo*: Codificación G.711 a un intervalo de paquetización de 10 ms con supresión de encabezamientos de cabida útil.
En este caso, un paquete de voz tiene una cabida útil de voz de 80 octetos. Incluyendo las taras en diversas capas de protocolos y utilizando la característica de supresión de encabezamiento de cabida útil de DOCSIS 1.1, un paquete de voz pueda llegar a tener una longitud de 135 octetos. En el caso de miniintervalos de 8 octetos, un intervalo de voz requerirá 17 miniintervalos, a una velocidad de 108,8 kbit/s. Un canal de 5,12 Mbit/s da entonces un máximo de 47 conexiones, cuando la anchura de banda total del canal se utiliza sólo para soportar voz. Cálculos similares indican que hay 44 conexiones para un miniintervalo de 16 octetos a 115,2 kbit/s. (Si se utilizan esquemas de codificación de velocidad binaria inferior, tales como G.728 y otros, se obtendrá una mayor cantidad de conexiones.)
- 3) *Retardo (o tiempo) de propagación*: El tiempo de transmisión para el mensaje de petición de determinación (RNG-REC) DOCSIS a 5,12 Mbit/s es 0,1 ms. Este lapso, junto con el máximo retardo de propagación de ida y vuelta de 1,61 ms, da un lapso máximo total de 1,71 ms.

Para un intervalo de paquetización de 10 ms, esto significa que se necesita el 17,1% de la anchura de banda hacia el origen para esta finalidad. Por consiguiente, en un entorno vocal puro, la capacidad vocal máxima admisible por canal es $(100\% - 17,1\%)$ de 5,12 Mbit/s = 4,24 Mbit/s. Para la codificación G.711 con supresión de encabezamientos de cabida útil, esto se traduce en un máximo de 38 conexiones para miniintervalo de 8 octetos a 108,8 kbit/s, o 36 conexiones para miniintervalo de 16 octetos a 115,2 kbit/s.

- 4) En un entorno integrado de voz/datos, la capacidad vocal máxima admisible se reduce aún más por la cantidad de anchura de banda que debe dedicarse al soporte de servicios de datos. Por ejemplo, cuando sólo se puede utilizar hasta un 60% de la anchura de banda del canal para voz, en los dos anteriores escenarios los máximos correspondientes son, entonces 28 y 26 conexiones de voz, respectivamente.

Como el mantenimiento inicial es una actividad de bajo nivel, su anchura de banda se deriva de la anchura de banda de datos en este caso.

Apéndice II

Ejemplo de ventana de fluctuación

Como un ejemplo, la figura II.1 muestra una trama de 10 ms con una región de voz 6,6 ms seguida de una región sólo datos de 3,4 ms. Esta figura ilustra un escenario típico donde la anchura de banda en una trama se divide según una razón de aproximadamente 2:1, para la compartición entre los servicios de voz y de datos. La región de voz tiene 15 intervalos de voz, siendo 15 un número impar. Los tamaños de las dos ventanas de fluctuación, que no se superponen, son aproximadamente iguales, con siete intervalos de voz en la ventana inferior y ocho en la ventana superior. La duración de la ventana inferior es $6,6 \times (7/15) = 3,08$ ms, mientras que la de la ventana superior es $6,6 \times (8/15) = 3,52$ ms.

Dividiendo la región de voz en dos ventanas aproximadamente iguales que no se superponen, y manteniendo llamadas dentro de la misma ventana de fluctuación en un procedimiento IUCC, la fluctuación se limita a la duración de la ventana de fluctuación. Esta duración es menor que la duración de la región de voz y que la de la trama. Además, disponiendo las ventanas de fluctuación de tal manera que no se superpongan y que cubran conjuntamente la totalidad de la región de voz, la fluctuación se reduce lo más posible mientras que el acceso por un CM a la anchura de banda del canal alcanza su máximo (y por tanto, se reduce al mínimo el bloqueo de llamada). Asimismo, todos los CM utilizarán el mismo conjunto de ventanas de fluctuación con lo que se simplifica la administración del sistema.

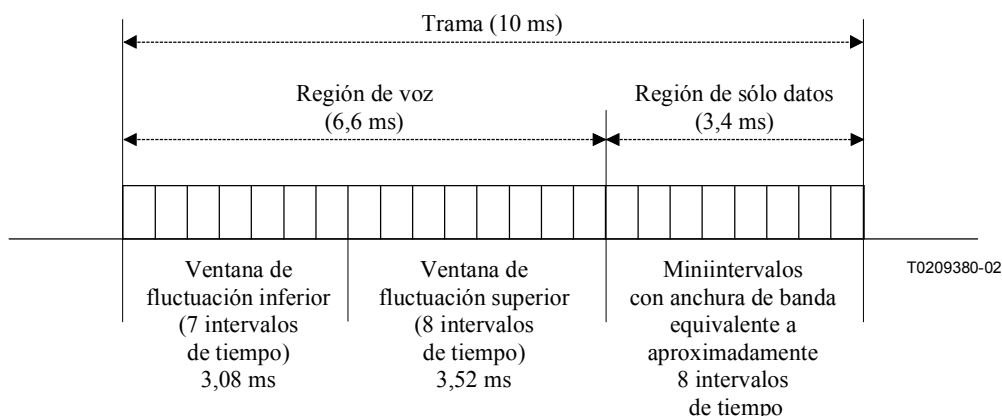


Figura II.1/E.681 – Ejemplo de estructura de trama con dos ventanas de fluctuación

SERIES DE RECOMENDACIONES DEL UIT-T

Serie A	Organización del trabajo del UIT-T
Serie B	Medios de expresión: definiciones, símbolos, clasificación
Serie C	Estadísticas generales de telecomunicaciones
Serie D	Principios generales de tarificación
Serie E	Explotación general de la red, servicio telefónico, explotación del servicio y factores humanos
Serie F	Servicios de telecomunicación no telefónicos
Serie G	Sistemas y medios de transmisión, sistemas y redes digitales
Serie H	Sistemas audiovisuales y multimedios
Serie I	Red digital de servicios integrados
Serie J	Redes de cable y transmisión de programas radiofónicos y televisivos, y de otras señales multimedios
Serie K	Protección contra las interferencias
Serie L	Construcción, instalación y protección de los cables y otros elementos de planta exterior
Serie M	RGT y mantenimiento de redes: sistemas de transmisión, circuitos telefónicos, telegrafía, facsímil y circuitos arrendados internacionales
Serie N	Mantenimiento: circuitos internacionales para transmisiones radiofónicas y de televisión
Serie O	Especificaciones de los aparatos de medida
Serie P	Calidad de transmisión telefónica, instalaciones telefónicas y redes locales
Serie Q	Conmutación y señalización
Serie R	Transmisión telegráfica
Serie S	Equipos terminales para servicios de telegrafía
Serie T	Terminales para servicios de telemática
Serie U	Conmutación telegráfica
Serie V	Comunicación de datos por la red telefónica
Serie X	Redes de datos y comunicación entre sistemas abiertos
Serie Y	Infraestructura mundial de la información y aspectos del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación