



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

E.736

(03/2000)

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

Calidad de servicio, gestión de la red e ingeniería de
tráfico – Ingeniería de tráfico – Ingeniería de tráfico
de RDSI

**Métodos para el control de tráfico a nivel de
célula en la RDSI-BA**

Recomendación UIT-T E.736

(Anteriormente Recomendación del CCITT)

RECOMENDACIONES UIT-T DE LA SERIE E
**EXPLOTACIÓN GENERAL DE LA RED, SERVICIO TELEFÓNICO, EXPLOTACIÓN DEL SERVICIO Y
FACTORES HUMANOS**

EXPLOTACIÓN, NUMERACIÓN, ENCAMINAMIENTO Y SERVICIO MÓVIL	
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	
Plan de encaminamiento internacional	E.350–E.399
CALIDAD DE SERVICIO, GESTIÓN DE LA RED E INGENIERÍA DE TRÁFICO	
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.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

**MÉTODOS PARA EL CONTROL DE TRÁFICO
A NIVEL DE CÉLULA EN LA RDSI-BA**

Resumen

La presente Recomendación se refiere a la definición de los procedimientos de control que permiten cumplir los objetivos de grado de servicio a nivel de célula. El objetivo fundamental es definir los procedimientos prácticos del CAC que permitan al operador de la red decidir cuándo puede aceptarse una nueva conexión en enlaces ATM individuales o VPC de red. Se incluyen fundamentos teóricos cuando son necesarios para aclarar las hipótesis y fijar el contexto de las opciones de control propuestas. Esta Recomendación también considera las técnicas de gestión de recursos adaptativa, cuando las necesitan las capacidades de transferencia ATM definidas, e identifica procedimientos para la integración de servicios.

Orígenes

La Recomendación UIT-T E.736, ha sido revisada por la Comisión de Estudio 2 (1997-2000) del UIT-T y fue aprobada por el procedimiento de la Resolución N.º 1 de la CMNT el 13 de marzo de 2000.

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 Conferencia Mundial de Normalización de las Telecomunicaciones (CMNT), 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 N.º 1 de la CMNT.

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 no 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 2001

Es propiedad. Ninguna parte de esta publicación puede reproducirse o utilizarse, de ninguna forma o por ningún medio, sea éste electrónico o mecánico, de fotocopia o de microfilm, sin previa autorización escrita por parte de la UIT.

ÍNDICE

Página

1	Alcance	1
2	Referencias.....	1
3	Términos y definiciones.....	1
4	Abreviaturas.....	2
5	Introducción	3
6	Parámetro de tráfico y control de parámetros	4
6.1	Descriptor del tráfico de origen	4
6.1.1	Velocidad de cresta de fuente y tolerancia en la variación del retardo de células	5
6.1.2	Conjunto de parámetros de velocidad de célula sostenible	5
6.2	Variables del tráfico de células.....	5
6.3	Requisitos de calidad de servicio.....	6
6.4	Bit de prioridad de pérdida de células.....	6
6.5	Control de parámetros.....	6
6.6	Conformación del tráfico	7
7	Funcionamiento de un multiplexor ATM.....	8
7.1	Multiplexación de trenes a velocidad binaria constante	8
7.1.1	Probabilidad de desbordamiento de la memoria intermedia.....	8
7.1.2	Influencia de la variación del retardo de célula	10
7.1.3	Variación del retardo de célula despreciable para trenes de velocidad binaria constante	10
7.1.4	Velocidad nominal del multiplexor	11
7.2	Multiplexación de envolvente de velocidad	11
7.2.1	Tasa de pérdida de células	12
7.2.2	Eficacia de la multiplexación	13
7.2.3	Prioridad de pérdida de células.....	14
7.2.4	Prioridad de retardo de células	14
7.3	Multiplexación estadística con compartición de velocidad	15
7.3.1	Probabilidad de saturación de la memoria intermedia.....	15
7.3.2	Prioridad de pérdida de células.....	15
7.3.3	Prioridad de retardo de células	16
7.4	Redes de colas de espera de multiplexor	16
7.4.1	Multiplexación de trenes de velocidad constante	16
7.4.2	Multiplexación de envolvente de velocidad	16
7.4.3	Compartición de velocidad.....	16

	Página
8	Control de admisión de conexión para capacidades de transferencia DBR y SBR 17
8.1	CAC para la asignación de velocidad de cresta 17
8.2	CAC para multiplexación de envolvente de velocidad..... 18
8.2.1	Variables conocidas del tráfico de células..... 19
8.2.2	Asignación de recursos en el caso más desfavorable 21
8.2.3	CAC adaptativo 21
8.3	CAC para la multiplexación estadística con compartición de velocidad..... 23
8.3.1	Variables conocidas del tráfico de células..... 23
8.3.2	Asignación de recursos en el caso más desfavorable 24
8.3.3	CAC adaptativo 24
9	Gestión de recursos adaptativa..... 24
9.1	Gestión de recursos ABT 24
9.1.1	REM y transferencia de bloques..... 25
9.1.2	Compartición de velocidad y transferencia de bloques 25
9.2	Gestión de recursos ABR..... 25
9.3	Ingeniería de tráfico para "tráfico elástico" 26
9.3.1	Características de tráfico..... 26
9.3.2	Requisitos de calidad de funcionamiento 26
9.3.3	Algoritmos de compartición de anchura de banda..... 26
9.3.4	Modelado de la calidad de funcionamiento 27
9.3.5	Control de admisión de conexión 27
10	Integración de servicios 28
10.1	Recursos dedicados..... 28
10.2	Prioridades de pérdida..... 28
10.3	Prioridades de retardo 29
10.3.1	Velocidad de célula equivalente para servicio prioritario 29
10.4	Sistemas de planificación..... 30
11	Bibliografía 30
12	Historial 31
Apéndice I – Ejemplos de métodos de cálculo de velocidad de células equivalente para multiplexación de envolvente de velocidad..... 31	
I.1	Método 1 para el cálculo de la velocidad de células equivalente [RMV96]..... 32
I.2	Método 2 para el cálculo de la velocidad de células equivalente [RMV96]..... 32
I.3	Método 3 para el cálculo de la velocidad de células equivalente [ViS 97] 33

Recomendación E.736

MÉTODOS PARA EL CONTROL DE TRÁFICO A NIVEL DE CÉLULA EN LA RDSI-BA

1 Alcance

Esta Recomendación describe métodos de evaluación de la calidad de funcionamiento y métodos de control de tráfico que permiten a una entidad operadora de red cumplir los objetivos de funcionamiento de la red a nivel de célula. La presente Recomendación aclara las consecuencias que tienen para la ingeniería de tráfico los mecanismos y procedimientos de control y de la congestión definidos en la Recomendación I.371. La Recomendación E.735, relativa al marco de atribución de recursos para la RDSI-BA, y la Recomendación E.737, que ofrece directrices para el dimensionamiento que permitan al operador de la red satisfacer los objetivos de calidad de funcionamiento a nivel de llamada, pueden considerarse Recomendaciones complementarias.

2 Referencias

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.177 (1996), *Encaminamiento en la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA)*.
- Recomendación UIT-T E.716 (1996), *Modelado de la demanda de usuario en la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA)*.
- Recomendación UIT-T E.735 (1997), *Marco para el control del tráfico y el dimensionamiento en la (RDSI-BA)*.
- Recomendación UIT-T E.737 (1997), *Métodos de dimensionamiento en la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA)*.
- Recomendación UIT-T I.356 (2000), *Calidad de funcionamiento en la transferencia de células en la capa de modo de transferencia asíncrono de la red digital de servicios integrados de banda ancha*.
- Recomendación UIT-T I.371 (2000), *Control de tráfico y control de congestión en la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA)*.

3 Términos y definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

3.1 velocidad de célula equivalente: Velocidad de célula atribuida a una conexión tal que los objetivos GOS a nivel de célula se satisfacen en un enlace ATM o en una VPC de red siempre que la suma de las velocidades de célula equivalentes no sea superior a la velocidad del enlace ATM o de la VPC.

3.2 multiplexación de envoltante de velocidad: Esquema de multiplexación estadística en el que el CAC tiene por objeto hacer despreciable la probabilidad de que la velocidad de llegada combinada de las conexiones multiplexadas rebase la capacidad del multiplexor; el almacenamiento en memoria intermedia se utiliza únicamente para tener en cuenta la desviación del proceso de llegada de células con respecto al caso de un fluido ideal en el que no se necesita ningún tipo de memoria intermedia para satisfacer los objetivos GOS a nivel de célula.

3.3 compartición de la velocidad: Esquema de multiplexación estadística en el que se utiliza una memoria intermedia para absorber el exceso de células cuando la velocidad de llegada es superior a la velocidad de salida del multiplexor durante periodos de tiempo significativos; sería necesario utilizar una memoria intermedia para satisfacer los objetivos GOS a nivel de célula, incluso en el caso de fluido ideal.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

ABR	Velocidad binaria disponible (<i>available bit rate</i>)
ABT	Transferencia de bloques ATM (<i>ATM block transfer</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BECN	Notificación de congestión explícita hacia atrás (<i>backward explicit congestion notification</i>)
CAC	Control de admisión de conexión (<i>connection admission control</i>)
CDV	Variación del retardo de célula (<i>cell delay variation</i>)
CLR	Tasa de pérdida de células (<i>cell loss ratio</i>)
DBR	Velocidad binaria determinística (<i>deterministic bit rate</i>)
ECR	Velocidad de células equivalente (<i>equivalent cell rate</i>)
FECN	Notificación de congestión explícita hacia adelante (<i>forward explicit congestion notification</i>)
GCRA	Algoritmo genérico de velocidad de célula (<i>generic cell rate algorithm</i>)
GOS	Grado de servicio (<i>grade of service</i>)
IBT	Tolerancia intrínseca a las ráfagas (<i>intrinsic burst tolerance</i>)
INI	Interfaz inter-red (<i>inter-network interface</i>)
MBS	Tamaño máximo de ráfaga (<i>maximum burst size</i>)
NPC	Control de parámetros de red (<i>network parameter control</i>)
PCR	Velocidad de células de cresta (<i>peak cell rate</i>)
QOS	Calidad de servicio (<i>quality of service</i>)
REM	Multiplexación de envoltante de velocidad (<i>rate envelope multiplexing</i>)
RM	Gestión de recursos (<i>resource management</i>)
SBR	Velocidad binaria estadística (<i>statistical bit rate</i>)
SCR	Velocidad de célula sostenible (<i>sustainable cell rate</i>)
STD	Descriptor del tráfico de origen (<i>source traffic descriptor</i>)
UNI	Interfaz usuario-red (<i>user-network interface</i>)

UPC	Control de parámetro de utilización (<i>usage parameter control</i>)
VCC	Conexión de canal virtual (<i>virtual channel connection</i>)
VPC	Conexión de trayecto virtual (<i>virtual path connection</i>)

5 Introducción

La Recomendación I.371 define el alcance del control de tráfico y el control de congestión de la capa ATM identificando una variedad de funciones que comprenden desde la gestión de recursos de red hasta los controles de prioridad, y actúa en una amplia gama de escalas de tiempos. La presente Recomendación se refiere a las implicaciones de ingeniería de tráfico de las distintas capacidades de transferencia ATM normalizadas en la Recomendación I.371 incluida la definición de control de admisión de conexión (CAC, *connection admission control*) y los procedimientos de asignación de recursos. Otras acciones de control, tales como el control de parámetros de utilización, se consideran brevemente en la medida en que es necesario para lograr un alto nivel de coherencia entre las diversas capacidades de control.

Los controles de tráfico se pueden distinguir según si su función es garantizar la calidad de servicio a nivel de célula (por ejemplo, tasa de pérdida de células) o a nivel de llamada (por ejemplo, probabilidad de bloqueo de llamadas). Esta Recomendación se relaciona con los controles a nivel de célula. La consideración se limita al procedimiento de CAC aplicado a un solo enlace ATM o a una VPC de red a red que determina simplemente si el enlace ATM o la VPC es capaz o no de manejar la conexión solicitada. El tema del encaminamiento del tráfico (es decir, la determinación de un trayecto de red entre todos los posibles) se considera en la Recomendación E.177.

La red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA) es una red con conexiones. Cada conexión es definida por un conjunto de parámetros de tráfico y requisitos de calidad de servicio. Cuando se solicita el establecimiento de una nueva conexión, la red debe decidir si tiene suficientes recursos para aceptarla sin infringir los requisitos de GOS a nivel de célula para todas las conexiones establecidas así como de la nueva conexión; éste es el cometido del CAC. Cuando se acepta una conexión, la red debe asegurar que el usuario, de hecho, emite tráfico de conformidad con los parámetros de tráfico declarados. Éste es el cometido del control de parámetro de utilización (UPC, *usage parameter control*). Cuando en una conexión participan más de una red, corresponde también a cada red verificar que el tráfico que recibe de la red vecina es conforme; esto es el control de parámetros de red (NPC, *network parameter control*). Los parámetros de tráfico normalizados y los algoritmos por los cuales se puede verificar la conformidad de las conexiones en los mecanismos UPC/NPC se definen en la Recomendación I.371. Esta Recomendación se relaciona esencialmente con la definición de los procedimientos CAC que permiten satisfacer los requisitos de calidad de servicio teniendo en cuenta la información disponible sobre tráfico de conexiones y la exactitud con la cual puede ser controlado. La presente Recomendación también considera las técnicas de gestión de recursos adaptativa cuando son necesarias para las capacidades de transferencia ATM definidas e identifica procedimientos para la integración de servicios.

Según la arquitectura de la red, se pueden aplicar controles de tráfico a nivel de célula a diferentes entidades de transmisión. La Recomendación E.735 define las entidades de red físicas y lógicas que constituyen el marco para el control del tráfico a nivel de célula. En la presente Recomendación se supone generalmente que se ofrece una conexión a un enlace ATM o a una VPC de red a red definida por un descriptor de tráfico de DBR o por variables de tráfico, como se considera en la Recomendación E.735 (es decir, una VPC de velocidad constante incontrolada o una VPC de velocidad variable).

El control de tráfico efectivo de las conexiones ATM, en particular cuando es un objetivo para realizar la multiplexación estadística de conexiones a velocidad binaria variable, se basa en una comprensión profunda de cómo las etapas del funcionamiento de la multiplexación dependen de las características del tráfico fuente. Gran parte de esta comprensión sólo se obtendrá mediante la

experiencia en el funcionamiento de la RDSI-BA. Aunque en los últimos años se han hecho progresos importantes, es necesario reconocer que el conocimiento de las características del tráfico y su repercusión en la calidad de funcionamiento de la red es aún limitado. Es cierto también que hay aún una considerable divergencia en la comunidad científica sobre la efectividad de diferentes enfoques de modelado y su aplicabilidad a la gama de tipos de conexión. Por estos motivos, la presente Recomendación no está limitada a una simple lista de recetas de control de tráfico. El propósito ha sido incluir también algunos antecedentes teóricos para aclarar las hipótesis y situar el contexto de las opciones de control propuestas. Cuando es posible, se presentan en el texto de esta Recomendación reglas de control y algoritmos definidos sin ambigüedad y pueden ser aplicados sin conocimiento del material complementario.

En la Recomendación I.371 se definen las siguientes capacidades de servicio de transferencia ATM:

- Velocidad binaria determinística (DBR, *deterministic bit rate*).
- Velocidad binaria estadística (SBR, *statistical bit rate*).
- Velocidad binaria disponible (ABR, *available bit rate*).
- Transferencia de bloques ATM (ABT, *ATM block transfer*).

Esta Recomendación considera las implicaciones que tiene en la ingeniería de tráfico la aplicación de estas diferentes categorías de servicio.

En la cláusula 6 se examina la cuestión de la definición de los parámetros de tráfico y los algoritmos UPC/NPC puesto que éstos influyen considerablemente en la elección de posibles procedimientos de CAC y su eficacia. En la cláusula 7 se presentan varias consideraciones relativas al modelado del tráfico que soportan la relación entre tráfico, capacidad y calidad de funcionamiento. Esta relación es la base de asignación de recursos en el control de la admisión de conexión. La cláusula 8 presenta varias posibilidades de CAC. La cláusula 9 está dedicada a la utilización de procedimientos de gestión de recursos para adaptar la asignación de recursos a las condiciones cambiantes del tráfico mientras dura una conexión permitida por las capacidades de servicio de transferencia ABR y ABT. Por último, en la cláusula 10, se examinan los controles de tráfico a nivel de célula que permiten compartir recursos de red entre conexiones con diferentes características y diferentes requisitos de calidad de servicio establecidos mediante la utilización de distintas capacidades de transferencia ATM.

6 Parámetro de tráfico y control de parámetros

Una petición de conexión se especifica mediante un descriptor de tráfico, la tolerancia en la variación de retardo de célula (CDV, *cell delay variation*) y los requisitos de calidad de servicio. De acuerdo con las condiciones de tráfico vigentes, la red debe decidir si es posible o no aceptar la petición de conexión (control de admisión de conexión). Si se acepta la conexión, se establece implícitamente un contrato de tráfico por el cual la entidad operadora de la red proporciona la calidad de servicio solicitada a condición de que el usuario emita tráfico de conformidad con el descriptor de tráfico declarado. Obsérvese que el CAC puede efectuarse basándose en los parámetros de tráfico incluidos en el descriptor de tráfico o, alternativamente, en las variables del tráfico de células definidas en la Recomendación E.716 cuando son conocidas o pueden deducirse.

6.1 Descriptor del tráfico de origen

El descriptor del tráfico de origen es una lista de parámetros de tráfico, cada uno de los cuales (véase la Recomendación I.371) debe:

- ser comprensible para el usuario o su terminal; la conformidad debe ser posible;
- participar en esquemas de asignación de recursos que satisfagan los requisitos de calidad de funcionamiento de la red;
- ser aplicable por el UPC y el NPC.

Los parámetros de tráfico pueden relacionarse explícitamente con las características de tráfico de la conexión, tales como velocidad de células de cresta, o definir implícitamente estas características por referencia a un tipo de servicio.

6.1.1 Velocidad de cresta de fuente y tolerancia en la variación del retardo de células

La velocidad de células de cresta (*PCR, peak cell rate*) se define en la Recomendación I.371 como la inversa del mínimo intervalo entre llegadas de células observado en un determinado terminal equivalente. Sin embargo, para que la red verifique la conformidad con un valor declarado, es necesario tener en cuenta la variación del retardo de células que aparece entre el terminal equivalente y el punto de observación. La conformidad a la velocidad de células de cresta declarada se determina mediante el denominado algoritmo genérico de velocidad de célula (*GCRA, generic cell rate algorithm*) definido en la Recomendación I.371 y basado en el valor τ de la tolerancia en la variación del retardo de células.

Cuando la *PCR* es inferior a la velocidad del enlace por el que se cursa una conexión, la tolerancia en la CDV permite una cierta variabilidad en la velocidad binaria de la conexión. Tiene cierto interés la máxima longitud de una ráfaga a la velocidad del enlace compatible con los parámetros *PCR* y τ . Una sucesión de tales ráfagas, separadas por periodos de silencio, puede considerarse como el tráfico de caso más desfavorable a efectos de ingeniería de tráfico. Siendo *LR* la velocidad del enlace, τ se define de forma que el tamaño máximo de ráfaga (*MBS, maximum burst size*) es:

$$MBS = \lfloor 1 + \tau / (1/PCR - 1/LR) \rfloor \quad (6-1)$$

donde $\lfloor x \rfloor$ se refiere a la parte entera x .

6.1.2 Conjunto de parámetros de velocidad de célula sostenible

En la Recomendación I.371 se definen los parámetros de tráfico de velocidad de célula sostenible (*SCR, sustainable cell rate*) y tolerancia intrínseca a las ráfagas (*IBT, intrinsic burst tolerance*) con respecto al algoritmo genérico de velocidad de célula.

El conjunto de parámetros *SCR/IBT* se aplica a una amplia gama de trenes de tráfico con distintas variables de tráfico de células. A efectos de ingeniería de tráfico, es útil caracterizar el tráfico de caso más desfavorable compatible con un STD determinado. En esta Recomendación se supone que el tráfico de caso más desfavorable compatible con unos parámetros *PCR, SCR* e *IBT* determinados es un tren de longitud de ráfagas máxima a la velocidad de células de cresta (*PCR*). El tamaño máximo de ráfaga (*MBS*), medido en células, es:

$$MBS = \lfloor 1 + IBT / (1/SCR - 1/PCR) \rfloor \quad (6-2)$$

Para una tolerancia en la CDV distinta a cero, las ráfagas con "velocidad de cresta" pueden ser una sucesión de ráfaga a la velocidad del enlace, como se indica en 6.1.1.

6.2 Variables del tráfico de células

Los parámetros de tráfico del descriptor del tráfico de origen (*STD, source traffic descriptor*) se definen necesariamente con respecto a una regla que permita la aplicación en el UPC y el NPC. En algunos casos, fundamentalmente cuando una conexión se describe por un tipo de servicio o cuando las características del tráfico están determinadas por operaciones controladas por la red (por ejemplo, la formación de una VPC de red a red), puede que sea posible caracterizar con mayor precisión una conexión utilizando variables del tráfico de células. Estas variables se refieren directamente a las propiedades estadísticas del tráfico de conexión. En la Recomendación E.716 figuran ejemplos de variables del tráfico de células útiles para su aplicación a la ingeniería de tráfico.

Las variables de tráfico de células que describen la distribución de probabilidad de la velocidad de fuente en un instante arbitrario t denominado Λ_t tiene especial importancia para los procedimientos de CAC considerados en esta Recomendación relativos a la multiplexación de envolvente de

velocidad (véase 7.2). Por ejemplo, las variables del tráfico de células para una fuente activada/desactivada pueden describir la velocidad de la fuente en estado activo (su velocidad de cresta) y la probabilidad de que la fuente se encuentre en dicho estado.

Para predecir la calidad de funcionamiento, y por consiguiente llevar a cabo el CAC en el caso de compartición de velocidad (véase 7.3), son necesarias más variables del tráfico de células que describan la naturaleza transitoria de las variaciones de velocidad (es decir, no solamente la distribución de probabilidad estacionaria de la velocidad instantánea). Tales variables de tráfico se refieren al número de células que llegan en ciertos intervalos de tiempo o al número de llegadas que rebasan una cierta velocidad, como se indica en la Recomendación E.716.

En la Recomendación E.716 se considera la relación entre las variables del tráfico de células y los parámetros del descriptor del tráfico de origen.

6.3 Requisitos de calidad de servicio

Los criterios de calidad de servicio a nivel de célula de extremo a extremo utilizan los siguientes parámetros de calidad de funcionamiento definidos en la Recomendación I.356:

- retardo de transferencia de células;
- variación del retardo de células;
- tasa de pérdida de células.

Los objetivos de calidad de funcionamiento de extremo a extremo relativos a la ingeniería de tráfico se definen en la Recomendación E.735 de la forma siguiente:

- máximo retardo de espera en cola de extremo a extremo, definido como un cuantil distante (por ejemplo 10^{-8}) de la distribución del retardo;
- retardo medio de espera en cola;
- tasa de pérdida de células.

Estos objetivos de calidad de funcionamiento deben distribuirse entre los distintos elementos de red que intervienen en la degradación del comportamiento de una determinada conexión de manera que se satisfagan los criterios de calidad de servicio de extremo a extremo.

En la presente Recomendación se supone que a cada enlace se le han asignado valores deseados para los tres objetivos de calidad de funcionamiento. Dichos valores deseados definidos deben ser mutuamente compatibles (por ejemplo, el retardo medio debe ser inferior al retardo máximo) pero no tienen por qué intervenir necesariamente los tres en el procedimiento de CAC.

6.4 Bit de prioridad de pérdida de células

La utilización del bit CLP en el encabezamiento de las células tiene por objeto asignar prioridades de pérdidas alta (CLP = 0) y baja (CLP = 1) en las células ofrecidas a la red. La asignación la realiza el usuario pero, como opción, el UPC/NPC puede rotular a las células no acordadas poniendo su bit CLP a 1. Se entiende que, en caso de congestión, una red puede descartar células de CLP = 1 de preferencia a células de CLP = 0. Los parámetros de tráfico y de calidad de servicio deben en ese caso declararse para distinguir los dos tipos de células. Actualmente, (la Recomendación I.371, por ejemplo) sugiere que los parámetros se declaren para el tren de CLP = 0, por un lado, y para el tren combinado de CLP = 0 + 1, por otro lado.

6.5 Control de parámetros

Uno de los tres requisitos de los parámetros de tráfico incluidos en el STD es que sean aplicables por el UPC y el NPC. Ello ha conducido a una definición de los siguientes parámetros de tráfico: velocidad de células de cresta, velocidad de célula sostenible y tolerancia intrínseca a las ráfagas

permitiendo determinar la conformidad de usuario con referencia a una regla o algoritmo, a saber, el algoritmo genérico de velocidad de célula.

El GCRA se encuentra normalizado en la Recomendación I.371. Sin embargo, el algoritmo empleado realmente para el control de parámetros no está normalizado. El algoritmo aplicado debe ser transparente con tren de células conforme y debe llevar a cabo las acciones adecuadas cuando se rebase un valor de parámetro declarado a fin de proteger la calidad de servicio de otras conexiones.

La red puede implementar un contrato de tráfico con parámetros de tráfico declarado para células de $CLP = 0$ solamente y parámetros de tráfico declarado para células de $CLP = 0 + 1$. Las células de $CLP = 0$ no conformes pueden ser "rotuladas" y admitidas en la red como células de $CLP = 1$. Posteriormente será necesario estudiar las repercusiones de estas posibilidades para la ingeniería de tráfico.

6.6 Conformación del tráfico

Los usuarios o redes pueden introducir retardos de células suplementarios para conformar las características de un tren determinado. Suavizando las variaciones en la velocidad de células, la conformación normalmente permite aumentar la utilización de los recursos de red, lo que da lugar a mayores ganancias en la multiplexación. Por otro lado, la conformación puede introducir retardos no despreciables y una parte del objetivo de GOS de extremo a extremo debe atribuirse al conformador.

La conformación puede llevarla a cabo el usuario a fin de asegurar el cumplimiento de los parámetros de tráfico declarados y la tolerancia en la CDV. El operador de red puede utilizar conformación a la entrada de la misma, dentro de la red o a la salida de ella (para satisfacer las limitaciones de las características de tráfico de salida). La conformación es una opción de usuarios y redes.

Un ejemplo particular de conformación es la reducción de la CDV mediante el espaciado de las células. El espaciador intenta producir un tren de células con un intervalo de tiempo entre células consecutivas cuya duración sea al menos igual al intervalo de emisión de células de cresta (la inversa de la PCR) imponiendo un retardo variable en cada célula. En la figura 6-1 se representa un espaciador actuando sobre una línea de acceso de velocidad LR con un total de m conexiones virtuales que van a espaciarse a su parámetro de velocidad de cresta individual PCR_i siendo $\sum PCR_i \leq LR$. Las células en la conexión i se distribuyen a una cola FIFO servida a la velocidad PCR_i antes de reintegrarse a las células de otras conexiones en una cola FIFO servida a la velocidad LR . La CDV residual a la salida de este espaciador es equivalente a la generada por una sola etapa de multiplexación FIFO que recibe trenes de células periódicos. Las actuaciones del espaciador se basan generalmente en algoritmos de planificación y no implican una cola física para cada conexión. Existen diseños de espaciadores alternativos que utilizan algoritmos de planificación más sofisticados que pueden producir conexiones con CDV inferiores a las del ejemplo anterior.

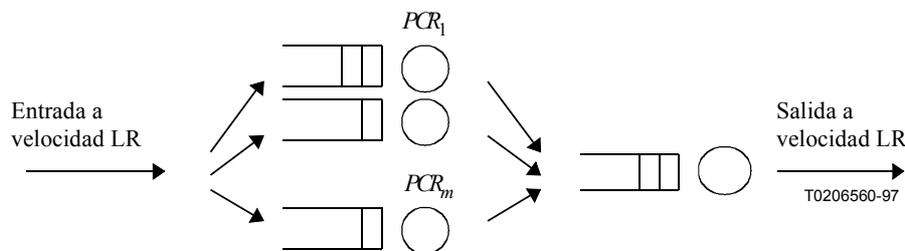


Figura 6-1/E.736 – Espaciador conceptual para m conexiones asignadas a la velocidad de cresta ($\sum PCR_i \leq LR$)

Otro ejemplo de conformación es la reducción de la PCR para conexiones de velocidad variable.

7 Funcionamiento de un multiplexor ATM

El elemento de red genérico que determina la calidad de funcionamiento de la red es el multiplexor ATM. Para lo que interesa, se define como un dispositivo que permite a varios trenes de células compartir con carácter exclusivo una capacidad de transmisión de velocidad c (por ejemplo un enlace ATM o una VPC de DBR) con una memoria intermedia de capacidad B , de modo que las células puedan almacenarse temporalmente en espera de la transmisión. El multiplexor puede implementar distintas disciplinas de puesta en cola de espera o políticas de planificación. En esta cláusula se supone generalmente que se aplica la disciplina de servicio FIFO ("primero en entrar, primero en salir"). Sin embargo, en 7.2.3 y 7.3.2 se examinan las disciplinas de servicio que discriminan entre células de acuerdo con el bit CLP. Los algoritmos de prioridad de cabeza de línea y de planificación se consideran en la cláusula 10 relativa a la integración de servicios. Obsérvese que la capacidad B de la memoria intermedia puede corresponder a la capacidad física del equipo o puede venir determinada por la limitación de calidad de funcionamiento con máximo retardo: si el máximo retardo es $W_{\text{máx}}$ se supone que el multiplexor ATM tiene una memoria intermedia de un tamaño B que viene dado por la expresión:

$$B = \min \{cW_{\text{máx}}, \text{capacidad física}\} \quad (7-1)$$

En esta cláusula se estudian modelos que pueden utilizarse para predecir la calidad de funcionamiento de un multiplexor ATM. Dichos modelos pueden ser útiles para dimensionar las memorias intermedias del multiplexor o para determinar el volumen de tráfico que puede manejar un multiplexor de unas dimensiones determinadas. Se supone que las características de tráfico de fuente son independientes de la calidad de funcionamiento del multiplexor. Los modelos considerados, por consiguiente, no se aplican a la capacidad de transferencia velocidad binaria disponible. La calidad de funcionamiento de la multiplexación ABR se considera en la cláusula 9.

Conviene distinguir entre tres principios de funcionamiento distintos: multiplexación de trenes a velocidad binaria constante (7.1), multiplexación estadística de trenes de velocidad binaria variable con "multiplexación de envolvente de velocidad" (7.2), y multiplexación estadística de trenes de velocidad binaria variable con "compartición de velocidad" (7.3). La repercusión en la calidad de funcionamiento de una sucesión de etapas del multiplexor se examina en 7.4.

7.1 Multiplexación de trenes a velocidad binaria constante

Se parte de la hipótesis de que la suma de velocidades binarias de los trenes a velocidad binaria constante (CBR) multiplexados es inferior a la velocidad binaria del multiplexor. Se supone en primer lugar que los trenes son perfectamente periódicos a la entrada del multiplexor (es decir, no se produce ninguna variación del retardo de células). La velocidad de multiplexación es de c células/s y se consideran N trenes, todos ellos con el mismo intervalo entre llegadas de células de T segundos, emitiendo células independientemente en el sentido de que, en cualquier intervalo de duración T , el instante de llegada de cada una de las N células tiene una distribución uniforme e independiente en el intervalo. El intervalo normalizado entre llegadas de células es $D = Tc$, cuando el tiempo de transmisión de células se toma como unidad de tiempo.

7.1.1 Probabilidad de desbordamiento de la memoria intermedia

Para cualquier conjunto de trenes fijo, el estado de la ocupación de la memoria intermedia es un proceso periódico de periodo T . Si la memoria intermedia se desborda durante este periodo y se pierden células, algunos trenes perderán todas sus células y otros no perderán ninguna. Para que la probabilidad de este suceso sea inferior a un nivel deseado (por ejemplo, 10^{-9}), la memoria intermedia del multiplexor puede dimensionarse de manera que para un conjunto de fases de tren elegido aleatoriamente, la probabilidad $Q(B)$ de la cola en una memoria intermedia ilimitada que rebasa la capacidad de B células en un instante arbitrario sea inferior al valor deseado. Para las probabilidades de valor reducido consideradas generalmente, $Q(B)$ puede asimilarse a la

probabilidad de saturación de una memoria intermedia de capacidad B . Esta probabilidad puede expresarse mediante la siguiente fórmula [RMV96]:

$$Q(B) = \sum_{B < n \leq N} \binom{N}{n} \left(\frac{n-B}{D} \right)^n \left(1 - \frac{n-B}{D} \right)^{N-n} \frac{D-N+B}{D-n+B} \quad (7-2)$$

Obsérvese que la probabilidad equivalente evaluada en el instante de llegada viene dada por la misma fórmula sustituyendo N por $N-1$. Una fórmula aproximada más sencilla que proporciona una buena estimación del orden de magnitud para una carga (N/D) superior a 0,8 es [RMV96]:

$$Q(B) \approx \exp \left\{ -2B \left(\frac{B}{N} + \frac{D-N}{N} \right) \right\} \quad (7-3)$$

Para las probabilidades de interés, de valor muy reducido, $Q(B)$ constituye un límite superior estricto de la tasa de pérdida de células.

Por regla general, los trenes no tienen la misma velocidad. La combinación de velocidades amplía el periodo del proceso de cola de espera al mínimo común múltiplo de los intervalos entre llegadas de células de los trenes y atenúa la posible concentración de pérdida de células en unos trenes determinados. Los N trenes multiplexados tienen unos intervalos entre llegadas normalizados D_i , para $i = 1, \dots, N$: La carga del multiplexor es $\Sigma 1/D_i$. El cálculo de la probabilidad de saturación de la memoria intermedia $Q(B)$ para esa combinación de velocidades binarias es bastante complicado. Sin embargo, los resultados empíricos sugieren que puede obtenerse un límite superior en cuanto a la necesidad de memoria intermedia suponiendo N trenes idénticos de periodo $D = N \times (\Sigma 1/D_i)^{-1}$ y utilizando la fórmula 7-2.

Las evaluaciones numéricas de la fórmula 7-2 proporcionan los resultados del cuadro 7-1, en el que se indica el tamaño de la memoria intermedia, B , expresado en células, de modo que $Q(B) < 10^{-9}$ para diversos números de fuentes y cargas de multiplexor.

Cuadro 7-1/E.736

N	50	50	500	500	5000	5000	∞	∞
N/D	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95	0,80	0,95
B	19	22	37	61	47	135	48	204

Las dos últimas columnas corresponden a los resultados para la cola M/D/1; es decir, suponiendo llegadas con la distribución de Poisson. Este modelo de tráfico puede utilizarse como herramienta para dimensionar el caso más desfavorable en ausencia de un límite superior para el número de conexiones multiplexadas. Según se observa en el cuadro 7-1, los resultados M/D/1 proporcionan estimaciones conservadoras de las necesidades de memoria intermedia y constituyen una buena aproximación cuando el número de fuentes es elevado y la carga del multiplexor no está muy próxima a 1. Una aproximación bastante precisa para la distribución de longitud de la cola M/D/1 es [RMV96]:

$$Q(B) \approx C e^{-rB} \quad (7-4)$$

siendo $C = (1 - \rho) / (\rho e^r - 1)$ y r la solución de la ecuación $\rho(e^r - 1) - r = 0$.

Obsérvese que la hipótesis de llegadas con la distribución de Poisson corresponde al modelo de tráfico del caso más desfavorable para cualquier superposición de trenes periódicos (homogéneos o heterogéneos) con la misma velocidad de llegada media global en el sentido de que todos los cuantiles de la distribución del retardo son mayores. En particular, la tasa de pérdida de células (CLR, *cell loss ratio*) estimada por $Q(B)$ es la mayor para las llegadas con la distribución de Poisson.

A veces conviene definir procesos de llegada en lote en los que aparecen exactamente k células en cada instante de llegada. La fórmula anterior puede utilizarse para realizar una estimación de la probabilidad de saturación de la memoria intermedia en los correspondientes sistemas de llegada en lote sustituyendo B por B/k . Por ejemplo, la probabilidad de saturación de la memoria intermedia cuando las células llegan en lotes de tamaño k de acuerdo con un proceso de Poisson (la cola $M^{(k)}/D/1$) puede estimarse mediante $Q(B/k)$ donde $Q(\cdot)$ se determina por la fórmula 7-4.

7.1.2 Influencia de la variación del retardo de célula

La variación del retardo de célula (CDV), debido a una variedad de razones discutidas en la Recomendación I.371, altera la periodicidad precisa de un tren de CBR. En particular, la CDV se adquiere por un tren de CBR a medida que atraviesa cada una de las etapas de multiplexación en su trayecto a través de una red, debido a los diferentes retardos de cola que afectan a células sucesivas. A efectos de ingeniería de tráfico, y fundamentalmente para el CAC, es importante comprender la influencia de esta CDV en el funcionamiento del multiplexor.

De hecho, a menudo es suficiente caracterizar un tren sujeto a CDV determinando si provoca o no un mejor comportamiento en comparación con un tren de referencia concreto en el sentido de que los parámetros de calidad de funcionamiento pertinentes [por ejemplo, la CLR o la probabilidad de saturación de la memoria intermedia $Q(B)$] serían peores si el tren considerado se sustituyese por el tren de referencia. En ese sentido, como se ha indicado en 7.1.1, cualquier superposición de fuentes de CBR periódicas es una situación mejor que un proceso de llegadas con una distribución de Poisson de la misma velocidad media.

En esta Recomendación, la repercusión de la CDV en los trenes de CBR puede ser "despreciable" o "no despreciable". La noción de CDV despreciable se define en la subcláusula siguiente y permite la aplicación de procedimientos de CAC muy sencillos. La influencia de la CDV no despreciable sobre la calidad de funcionamiento y la ingeniería de tráfico queda en estudio.

7.1.3 Variación del retardo de célula despreciable para trenes de velocidad binaria constante

La noción de CDV despreciable se define con respecto a un proceso de llegada de referencia y a un parámetro de calidad de funcionamiento determinado. Se dice que un tren tiene una CDV despreciable si el valor observado del parámetro de calidad de funcionamiento considerado no mejoraría si el tren fuese sustituido por el proceso de referencia con la misma velocidad. Un parámetro de calidad de funcionamiento adecuado para trenes de CBR es la probabilidad de saturación que tiene en cuenta las limitaciones tanto por pérdidas como por retardo. El proceso de referencia define el tráfico supuesto a efectos de ingeniería de tráfico. Obsérvese que mediante esta definición, el propio proceso de referencia tiene una CDV despreciable y cualquier superposición de trenes independientes con CDV despreciable también tiene una CDV despreciable.

En esta Recomendación, el proceso de referencia considerado es un proceso de llegadas en lote con la distribución de Poisson, teniendo los lotes un tamaño constante de k células siendo $k \geq 1$. Este proceso se denominará proceso de Poisson de k lotes (o simplemente proceso de Poisson si $k = 1$). Esta elección viene motivada por el hecho de que la superposición de trenes que satisfacen la condición $\tau \cdot PCR \leq k - 1$ tiene una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson de k lotes.

Si todas las conexiones tratadas por un multiplexador tienen velocidades definidas con una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson de k lotes (con un valor común de k), la calidad de funcionamiento es mejor que la de la correspondiente cola $M^{(k)}/D/1$ y la probabilidad de saturación puede estimarse de forma conservadora mediante $Q(B/k)$, como indica la fórmula 7-4.

Para determinar si un tren en concreto tiene una CDV despreciable se sugiere dar los siguientes pasos:

- si un tren de velocidad PCR ha sido conformado en un espaciador de células como el representado en la figura 6-1, tienen una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson de velocidad PCR ;
- si un tren está caracterizado por el descriptor de tráfico PCR y una tolerancia a la CDV asociada τ , tiene una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson de k lotes, siendo $k \geq \tau \cdot PCR + 1$;
- de acuerdo con la hipótesis formulada en 7.4.1, un tren con una CDV despreciable y que se multiplexa en colas estables con otros trenes de CDV despreciable (con respecto al mismo proceso de referencia) mantiene la propiedad de CDV despreciable a la salida.

Basándose en lo anterior, un posible método de actuación del operador fundamentado en la noción de CDV despreciable podría ser el siguiente:

- fijar un cierto proceso de referencia (es decir, un cierto valor de k) y utilizarle para llevar a cabo la ingeniería de tráfico como se indica en la presente Recomendación;
- conformar las conexiones para las cuales la tolerancia a la CDV τ satisface la condición $\tau \cdot PCR > k - 1$.

7.1.4 Velocidad nominal del multiplexor

En un multiplexor de velocidad de salida dada c y tamaño de la memoria intermedia B , es útil definir la capacidad nominal del multiplexor c' determinada de tal forma que el objetivo CLR se satisfaga cuando la suma de los parámetros PCR de conexión no es mayor que c' . La elección de c' debe tener en cuenta la tolerancia a la CDV de las conexiones que van a multiplexarse sin ser específica a una combinación concreta de conexiones (por ejemplo, un cálculo del caso más desfavorable compatible con la máxima tolerancia a la CDV permitida). Se acepta una nueva conexión si su PCR añadida a la suma de los valores de la PCR de las conexiones existentes es menor o igual que c' .

Esta noción de velocidad nominal puede relacionarse con la de CDV despreciable considerada en 7.1.3. Supóngase que el valor de c' viene determinado de forma que un tráfico de referencia dado (por ejemplo, un tren de células con la distribución de Poisson) da lugar a una pérdida de células inferior a ε siempre que la carga del multiplexor sea inferior a c'/c . El criterio de admisión sencillo consistente en comparar la suma de los valores de PCR con c' se aplica en ese caso a los trenes de tráfico con una CDV despreciable con respecto al proceso de llegada de referencia dado.

7.2 Multiplexación de envolvente de velocidad

En muchos tipos de servicios es natural identificar los estados de fuente durante los cuales la velocidad de emisión de células es aproximadamente constante (por ejemplo, fuentes activadas/desactivadas o fuentes cuya velocidad cambia según los distintos niveles). A estos efectos, se supone que la noción de la velocidad de llegada de células instantánea está bien definida para una conexión o grupo de conexiones. Por ejemplo, la velocidad de llegada instantánea de un grupo de fuentes activadas/desactivadas sería la suma de las velocidades de las fuentes activas en ese instante.

La multiplexación estadística de los trenes de velocidad variable puede llevarse a cabo asegurando que la velocidad de entrada instantánea combinada, como se indica anteriormente, no es superior a la velocidad de servicio del multiplexor. Ello puede lograrse restringiendo el tren de células ofrecido mediante mecanismos adecuados de CAC y de UPC/NPC y/o modificando la velocidad de servicio del multiplexor mediante gestión dinámica de recursos, por ejemplo. El objetivo es mantener la velocidad de llegada de células dentro de los límites definidos por la velocidad de servicio; este esquema de multiplexación se denomina multiplexación de envolvente de velocidad (REM, *rate envelope multiplexing*).

En una analogía de fluido en la que un tren de llegada de células la velocidad combinada λ se considera como un flujo de fluido de la misma velocidad, la REM se distingue claramente de otros esquemas de multiplexación por el hecho de que no se basa en la utilización de una memoria intermedia. Siempre que la velocidad de entrada λ es superior a la velocidad de servicio c , se pierden células a la velocidad $(\lambda - c)$. En esta analogía de fluido, los procedimientos de control de tráfico son notablemente más sencillos que los necesarios para los multiplexadores que se basan en memorias intermedias para absorber las sobrecargas de velocidad momentáneas. Esta simplificación motiva la presente definición de REM que adapta los procedimientos de control aplicables en la analogía de fluido a los trenes de tráfico célula a célula de la red real.

Con la REM se necesita una pequeña memoria tampón en el multiplexor (aproximadamente 100 plazas de células) simplemente para manejar la cola que aparece debida a las llegadas asíncronas de los trenes cuya velocidad combinada es inferior a la velocidad del multiplexor. Sin embargo, los controles de tráfico REM no explotan ninguna ganancia en la eficacia debida a la absorción de las sobrecargas de velocidad por esta memoria intermedia. El tamaño de la memoria intermedia se determina por lo que respecta a los trenes de CBR de multiplexación de manera que el tiempo para servir a una célula que entra en último lugar es compatible con los objetivos de GOS del retardo de conexión.

Entre los motivos para utilizar REM como estrategia de compartición de recursos pueden citarse los siguientes:

- es posible proporcionar garantías de calidad de funcionamiento sin conocer detalles estadísticos de la estructura de ráfaga (sólo es pertinente la distribución de velocidad estacionaria);
- sólo se requieren memorias intermedias de pequeño tamaño, lo cual simplifica el diseño del multiplexor;
- el retardo de transferencia de células es muy pequeño y satisface objetivos de calidad de funcionamiento estrictos.

A su vez, la REM puede considerarse necesaria cuando las características del tráfico que describen la estructura de ráfaga son desconocidas, cuando los multiplexores no van equipados con memorias intermedias de gran tamaño o cuando los requisitos de retardo de transferencia de células son muy estrictos. Otra ventaja de la REM es que los procedimientos del CAC se simplifican.

7.2.1 Tasa de pérdida de células

Es conveniente en el caso de la REM descomponer la tasa de pérdida de células en una componente de "escala de ráfaga" CLR_{bs} correspondiente a las pérdidas debidas a tasas mayores que la capacidad del multiplexor calculada utilizando la analogía de fluido y en la componente de "escala de célula" CLR_{cs} correspondiente al término de corrección necesario para tener en cuenta la desviación del proceso real de llegada de células con respecto al fluido ideal.

Siendo Λ_t la velocidad binaria combinada de todos los trenes en el instante t , la componente de escala de ráfaga de CLR es:

$$CLR_{bs} = E\left\{(\Lambda_t - c)^+\right\} / E\{\Lambda_t\} \quad (7-5)$$

Es difícil realizar una estimación exacta de la componente de escala de célula. Sin embargo, cuando la velocidad de los trenes de tráfico multiplexados se define con una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson de k lotes, la siguiente aproximación es satisfactoria a efectos de ingeniería de tráfico:

$$CLR_{cs} \approx Q(B/k) \quad (7-6)$$

donde Q' (B/k) se obtiene a partir de la fórmula 7-4 evaluada para una velocidad de llegada igual a la velocidad de llegada media de los trenes multiplexados. En 7.1.3 figuran algunas directrices para determinar cuándo se definen las velocidades con una CDV despreciable.

7.2.2 Eficacia de la multiplexación

Una limitación de la CLR_{bs} define una relación implícita entre las características del tráfico ofrecido y la ocupación del multiplexor que puede lograrse. En particular, considérese el siguiente ejemplo que ilustra el cometido de la velocidad de cresta de la conexión.

Un número N idéntico de fuentes activadas/desactivadas de velocidad de cresta p y de velocidad media m se multiplexan en un enlace de capacidad c . El valor de CLR_{bs} se determina entonces mediante la fórmula:

$$CLR_{bs} \approx \sum_{ip > c'} (ip - c) \binom{N}{i} \left(\frac{m}{p}\right)^i \left(1 - \frac{m}{p}\right)^{N-i} \times \frac{1}{Nm} \quad (7-7)$$

Una limitación en la CLR_{bs} (por ejemplo, $CLR_{bs} < 10^{-9}$) impone un límite en la utilización múltiplex alcanzable Nm/c . Suponiendo un valor deseado de la CLR_{bs} de 10^{-9} , la carga alcanzable compatible con la probabilidad de sobrecarga limitante puede calcularse en función de la velocidad de cresta de fuente. Esta función se representa en la figura 7-1 para diversos valores de N (incluido el caso límite en que el número de fuentes tiende a infinito) y distintos valores de la relación p/m . En la figura puede observarse que una utilización elevada del enlace sólo es posible cuando la velocidad de cresta es una pequeña fracción de la velocidad del enlace múltiplex, a menos que las fuentes tengan una relación velocidad de cresta/velocidad media de valor bajo. A efectos ilustrativos considérese un enlace de capacidad 100 Mbit/s; para dar acomodo a ráfagas con velocidad de cresta de 20 Mbit/s ($c/p = 5$) con una CLR_{bs} de 10^{-9} debería limitarse la utilización media a aproximadamente el 2%; para lograr una utilización del 50% con el mismo objetivo es preciso que las fuentes tengan un carácter de ráfaga muy pequeño (por ejemplo, $p/m = 2$) cuando N es pequeño, o una velocidad de cresta muy baja ($p \ll c$) cuando N toma un valor elevado.

Por regla general, si bien la carga del enlace alcanzable depende de la combinación precisa del tráfico, puede asegurarse que la REM será eficaz para fuentes con ráfagas con velocidades de cresta relativamente bajas, pero ello puede exigir una utilización del enlace de red menos intensa cuando hay que cursar trenes con ráfagas de velocidades de cresta comparables a la velocidad del enlace. Sin embargo, en todos los casos la REM nunca es menos eficaz que la asignación de la velocidad de cresta.

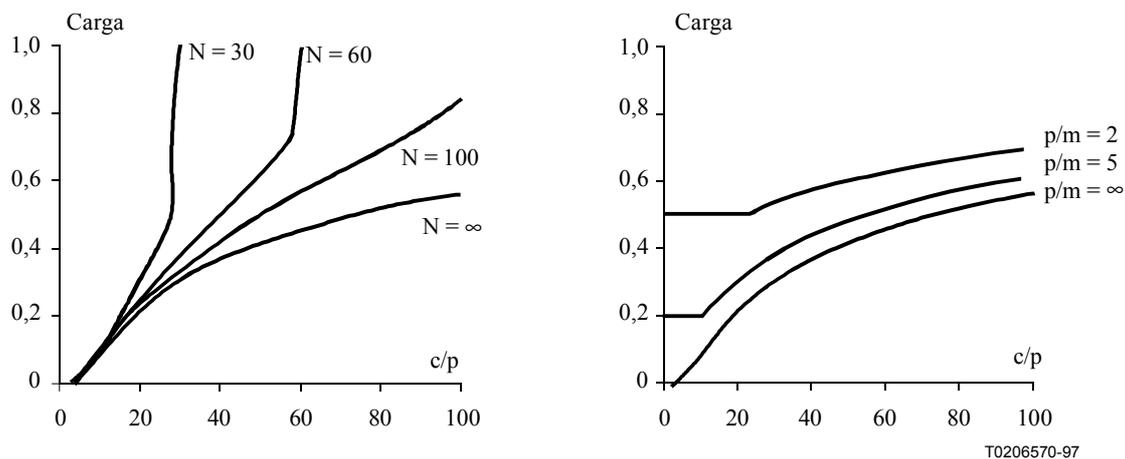


Figura 7-1/E.736 – Carga alcanzable en función de la relación velocidad de enlace/velocidad de cresta (c/p)

7.2.3 Prioridad de pérdida de células

El bit CLP permite a un multiplexor implementar un descarte de células discriminatorio para satisfacer de esa forma dos limitaciones de tasa de pérdida de células, una para células de CLP = 0 y otra para células de CLP = 1 (o CLP = 0 + 1). También es posible discriminar entre distintas conexiones rechazando células en un cierto orden de prioridad de acuerdo con el valor del identificador de conexión virtual. En el caso del bit CLP, se han identificado dos estrategias de descarte:

- la estrategia de "umbral" o compartición parcial de la memoria intermedia, en la que las células de CLP = 1 se descartan por el multiplexor cuando su longitud de cola de espera supera un determinado umbral; y
- estrategia de "expulsión", en la que las células de CLP = 0 que encuentran al llegar una cola de espera completa pueden desplazar una célula de CLP = 1 que está en la cola de espera.

A estos mecanismos de puesta en cola de espera se les denomina mecanismos de "prioridad de pérdida", por oposición a las disciplinas tradicionales de cabeza de línea que ofrecen prioridad de retardo. Los mecanismos de prioridad de pérdida deben preservar el orden de las células en una conexión dada, tanto si las células son de CLP = 0 como de CLP = 1. El funcionamiento de tales disciplinas de puesta en cola se ha estudiado en [RMV96] y [LuP90].

Como primera aproximación puede suponerse que, en caso de sobrecarga, no se descarta ninguna célula de CLP = 0, a menos que la velocidad de llegada combinada de células de CLP = 0 sea superior a la velocidad nominal del multiplexor; pueden utilizarse los modelos descritos en 7.2 para predecir la calidad de funcionamiento de las células de CLP = 0 solamente (utilizando la velocidad de llegadas de CLP = 0 como la Λ_t) y de todas las células (utilizando la velocidad de llegadas global como Λ_t).

Cuando se discriminan entre las distintas conexiones, no es necesario como en el caso de CLP mantener la integridad de la secuencia de células. Sin embargo, la utilización de las anteriores disciplinas de establecimiento de colas con prioridad de pérdida asegura una limitación en los retardos de las células transmitidas.

7.2.4 Prioridad de retardo de células

Las disciplinas de puesta en cola de espera de cabeza de línea pueden utilizarse para proporcionar prioridades de retardo a distintas conexiones. Sin embargo, este tipo de funcionamiento impide aprovechar las ventajas de utilización de la REM, como se indica en 7.2. La prioridad de retardo de células es la opción más adecuada en el caso de compartición de la velocidad. La prioridad de retardo puede emplearse igualmente para permitir la utilización de la REM por un grupo de

conexiones de prioridad más elevada mientras que el resto de conexiones utilizan memoria intermedia para compartir la anchura de banda restante.

7.3 Multiplexación estadística con compartición de velocidad

La multiplexación estadística de trenes VBR se puede realizar con una mayor utilización del enlace que la que se puede lograr con REM si los multiplexores están equipados con una memoria intermedia mayor grande para absorber el exceso de tráfico que llega cuando la velocidad de llegada combinada es momentáneamente mayor que la velocidad de transmisión del enlace. Este esquema de multiplexación estadística se denomina compartición de la velocidad para distinguirla de la de la REM donde es como si los trenes tuviesen una velocidad binaria especializada siempre que la requieren. En general, mientras mayor es la memoria intermedia, mayor es la utilización que se puede lograr del enlace para una tasa de pérdida de células dada. Sin embargo, las memorias tampones más grandes suponen también potencialmente retardos más largos y es necesario verificar que éstos son compatibles con los objetivos de GOS.

7.3.1 Probabilidad de saturación de la memoria intermedia

En la literatura especializada se han propuesto varios modelos de multiplexor ATM con compartición de la velocidad. Estos modelos se basan en alguna representación particular del tráfico ofrecido y normalmente, son más complejos a medida que las características de los trenes multiplexados son más generales. Es necesario realizar más estudios a fin de recomendar algún modelo como instrumento de dimensionamiento que permita definir combinaciones de tráfico aceptables para un tamaño de memoria intermedia dado.

Sin embargo, algunos resultados más sencillos, válidos en un régimen asintótico, pueden proporcionar reglas prácticas de ingeniería para determinadas clases de tráfico. Se ha demostrado que, para una amplia clase de procesos de llegada, la función de superviviente de la longitud de la cola de espera en un multiplexor equipado con una memoria intermedia ilimitada sería asintóticamente exponencial para valores de x elevados, es decir $Pr \{ \text{longitud de la cola} > x \} \approx \alpha e^{-\gamma x}$ (véase, por ejemplo, [RMV96]). Cabe señalar que este límite asintótico sólo puede ser útil para estimar probabilidades muy pequeñas [CLW 94]. Además, el límite exponencial no es válido para determinados tipos de tráfico que presentan dependencia a largo plazo [RMV96].

Se han utilizado modelos de puesta en cola para investigar la repercusión de diferentes características del tráfico sobre la calidad de funcionamiento. Se ha demostrado que para trenes del tráfico del tipo activado/desactivado (véase la Recomendación E.716) en particular, esa calidad de funcionamiento depende significativamente de los dos primeros momentos de la ráfaga y de las distribuciones de los periodos de silencio. Las correlaciones en el proceso de generación de ráfagas (ráfagas de ráfagas, etc.) afectan también considerablemente la distribución de la longitud de la cola de multiplexor. De ello se deduce que para predecir los valores de parámetros de calidad de funcionamiento, tales como la tasa de pérdida de células, y los retardos máximo y mínimo de espera en cola, se requiere el conocimiento de estas complejas características del tráfico.

Reviste interés particular un modelo para una superposición de fuentes activadas/desactivadas periódicas que constituyen un "tráfico de caso más desfavorable" compatible con los parámetros de tráfico *SCR* e *IBT*. Tales modelos han sido estudiados en diversos textos (por ejemplo, véase [RMV96]) pero la deducción de los procedimientos de ingeniería de tráfico útiles en la práctica quedan en estudio.

7.3.2 Prioridad de pérdida de células

Las estrategias para discriminar entre células de $CLP = 0$ y $CLP = 1$ que se describen en 7.2.3 también son aplicables en este caso. Es posible igualmente distinguir prioridades de pérdida entre todas las células de diferentes conexiones. No obstante, la predicción de la calidad de

funcionamiento de los diferentes trenes de prioridad resulta afectada por el mismo problema señalado en 7.3.1.

7.3.3 Prioridad de retardo de células

Las disciplinas de puesta en cola con prioridad de retardo de cabeza de línea pueden utilizarse para proporcionar distintas calidades de servicio a grupos específicos de conexiones. La calidad de funcionamiento global del grupo de prioridad más elevada puede evaluarse aproximadamente considerando únicamente el proceso de llegada de este grupo. El retardo medio global de los i grupos más elevados puede también evaluarse considerando el proceso de llegada global de estos i grupos.

7.4 Redes de colas de espera de multiplexor

Las características de los trenes de tráfico de conexión resultan alteradas a medida que las células avanzan a través de las etapas de multiplexación del trayecto de red. Es necesario poder tener en cuenta estas alteraciones, fundamentalmente al realizar el CAC. La influencia en el tren de células es distinta según el tipo de multiplexación utilizado.

7.4.1 Multiplexación de trenes de velocidad constante

Los trenes de CBR se definen mediante el parámetro PCR y su tolerancia CDV asociada. La siguiente afirmación viene soportada por la evidencia de estudios analíticos y de simulación sobre el comportamiento de la red pero no ha sido probada de manera formal.

Si la CDV de todos los trenes es despreciable con respecto a un proceso de referencia de Poisson de k lotes a la entrada de la red (es decir en la UNI o la INI) y se realiza una multiplexación sujeta a la condición de que la suma de los valores de la PCR sea inferior a la velocidad de servicio en cada etapa de multiplexación, la CDV permanece despreciable con respecto al mismo proceso de referencia a lo largo de toda la red.

En particular, los trenes que en el inicio eran exactamente periódicos o que en su entrada a la red han sido espaciados a su PCR nominal no tienen una CDV no despreciable con respecto a un proceso de Poisson, independientemente del número de etapas de multiplexación que atraviesen. Si todos los trenes de la red tienen una tolerancia a la CDV inferior a $(k - 1)$ intervalos de emisión de cresta ($\tau \leq (k - 1) T$), poseen y mantienen una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson de k lotes.

7.4.2 Multiplexación de envolvente de velocidad

Con la REM, la suma de las velocidades de las fuentes activas puede rebasar la velocidad del multiplexor c y pueden perderse algunas células. La pérdida de células modifica las características de la fuente. Sin embargo, si las velocidades del tren a la entrada se definen con una CDV despreciable comparada con un proceso de referencia de Poisson o de Poisson de k lotes, mantienen la CDV despreciable a la salida en comparación con el mismo proceso de referencia (es decir, un tren de Poisson o un tren de Poisson de k lotes con la velocidad del proceso de entrada y no la velocidad modificada que tienen en cuenta la pérdida de células). Esta propiedad permite llevar a cabo el CAC en todos los multiplexores dentro de la red suponiendo que la distribución de velocidad es la misma que la que puede observarse a la entrada de la red.

7.4.3 Compartición de velocidad

La influencia de la multiplexación con compartición de velocidad sobre las características del tráfico de conexión queda en estudio.

8 Control de admisión de conexión para capacidades de transferencia DBR y SBR

Cuando un usuario solicita el establecimiento de una nueva conexión, es preciso que la red decida si se puede admitir la conexión y satisfacer al mismo tiempo los requisitos de calidad de servicio de las conexiones nuevas y existentes. Esta decisión puede tomarse a veces asignando recursos a conexiones o grupos de conexiones específicas y rechazando nuevas peticiones cuando no se dispone de recursos suficientes. Obsérvese que la asignación normalmente es lógica: no se atribuyen recursos físicos particulares a una conexión específica. Los recursos en cuestión son generalmente la anchura de banda y el espacio en memoria intermedia. Se supone en lo que sigue que los recursos se asignan independientemente para cada enlace ATM o VPC de un trayecto, tomando una decisión distinta para cada sentido de transmisión de una conexión virtual. Se establecerá una conexión únicamente si los recursos están disponibles en cada enlace de su trayecto, en ambos sentidos.

El análisis que sigue se refiere a un solo enlace ATM o VPC, como se define en la Recomendación E.735. Una VPC de DBR conformada se considera como un enlace ATM y se supone que ambos son caracterizados completamente por una velocidad binaria de salida de c células/s y una capacidad de almacenamiento en memoria intermedia de B células. Para cada VPC de DBR conformada, el tamaño de la memoria intermedia viene determinado por el algoritmo de conformación como se indica en la Recomendación E.735. Las VPC de velocidad constante incontrolada y de velocidad variable se caracterizan por las variables de tráfico. En todos los casos se supone que la velocidad binaria de salida es "totalmente accesible" en el sentido de que la única restricción de acceso proviene de la magnitud total de la velocidad binaria asignada. Se considera que un conjunto único de objetivos de calidad de funcionamiento (tasa de pérdida de células, retardos máximo y medio) corresponde a los requisitos más estrictos de todas las conexiones multiplexadas. En la cláusula 10 se consideran esquemas de compartición de recursos más generales incluidos los controles prioridad.

Los recursos pueden atribuirse de una vez al comienzo de una llamada o, tras la renegociación, en algún instante durante el transcurso de la misma. La renegociación de los recursos puede efectuarse utilizando las células de gestión de recursos (RM, *resource management*), en el caso de capacidades de transferencia de ABR y ABT, o utilizando el sistema de señalización fuera de banda. Esta cláusula se limita a describir los procedimientos de CAC para las capacidades de transferencia de DBR y SBR. Se supone que estos procedimientos son aplicables tanto en la asignación de recursos inicial al establecer la llamada como posteriormente en el caso de una renegociación llevada a cabo mediante la señalización. La utilización de los procedimientos de gestión de recursos adaptativos en las capacidades de transferencia de ABR y ABT se considera en la cláusula 9.

A continuación se estudia la forma de relacionar las asignaciones de recursos a las características de la conexión, en los tres esquemas de multiplexación indicados en la cláusula 7.

8.1 CAC para la asignación de velocidad de cresta

Cuando se multiplexan trenes de velocidad binaria constante, un esquema obvio de asignación de recursos consiste en asignar a cada conexión una anchura de banda en cada enlace igual a su velocidad binaria declarada (teniendo debidamente en cuenta la CDV). El mismo procedimiento de asignación de recursos se puede aplicar a conexiones de velocidad binaria variable si en cada enlace se reserva una anchura de banda igual a la velocidad binaria de cresta de la conexión.

Las conexiones se caracterizan por su PCR y su parámetro de tolerancia a la CDV τ o por su PCR y el hecho de que la CDV es despreciable con respecto a un proceso de referencia de Poisson de k lotes. El CAC se puede aplicar comparando valores de PCR con respecto a una velocidad de multiplexor nominal c' o comparando una velocidad equivalente a la capacidad de multiplexor real c . La velocidad nominal del multiplexor se define en 7.1.4. La velocidad equivalente en este caso se define de la forma siguiente:

Velocidad de células equivalente

A cada conexión se atribuye una velocidad de células equivalente (ECR, *equivalent cell rate*) de manera que si la suma de los valores de ECR de todas las conexiones multiplexadas es inferior a la velocidad de salida del multiplexor c , se satisface el objetivo de CLR. La definición de ECR en general queda en estudio. Sin embargo, en el caso de una CDV despreciable, la ECR puede considerarse igual a la PCR multiplicada por la relación c/c' , siendo c' la velocidad nominal de salida definida en 7.1.4.

Ejemplo de procedimiento de CAC para un enlace ATM o una VPC de DBR conformada de velocidad c y tamaño de memoria intermedia B .

- Se supone que las velocidades de cresta de conexión se definen con una CDV despreciable comparada con el proceso de referencia de Poisson de k lotes (véase 7.1.3).
- Se estima la velocidad nominal c' de manera que la probabilidad de desbordamiento de una cola $M^{(k)}/D/1/B$ sea inferior al valor deseado ϵ . El valor de $Q(B/k)$ indicado por la fórmula 7-4 puede utilizarse para estimar la probabilidad de desbordamiento siempre que ϵ sea pequeño.
- Se admiten conexiones de velocidades pcr_i siempre que se cumpla $\sum pcr_i \leq c'$.
- De forma equivalente, se calcula la velocidad de células equivalente para la conexión i como $ecr_i = pcr_i \times c/c'$ y se admiten conexiones siempre que $\sum ecr_i \leq c$.

Obsérvese que se suponen satisfechos los requisitos de retardos medio y máximo de establecimiento de cola para todas las combinaciones de tráfico admisibles durante la elección del tamaño de memoria intermedia B y la capacidad nominal c' .

Ejemplo de procedimiento de CAC para una VPC de velocidad constante incontrolada r_{VPC} .

- Se supone que la VPC y las VCC multiplexadas tienen una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson común de k lotes.
- Se admiten conexiones de velocidades pcr_i siempre que $\sum pcr_i \leq r_{VPC}$.

Obsérvese que no es necesario aplicar el factor c/c' para evaluar una velocidad equivalente puesto que ya se ha tenido en cuenta en el CAC del enlace aplicado a la VPC. En este caso $ecr_i = pcr_i$.

Una VPC de velocidad variable es equivalente a una VPC de velocidad constante incontrolada en este caso de asignación de velocidad de cresta y, por consiguiente, tiene el mismo procedimiento de CAC.

8.2 CAC para multiplexación de envolvente de velocidad

La multiplexación de trenes de velocidad binaria variable utilizando la asignación de velocidad de cresta puede provocar un empleo ineficaz del enlace. Puede que sea posible utilizar los recursos de forma más eficaz a la vez que se satisfacen los objetivos de GOS reservando en exceso anchura de banda del enlace en los esquemas de multiplexación estadística que utilizan REM como se indica en 7.2.

El objetivo de GOS $CLR \leq \epsilon$ debe descomponerse en dos partes, una para la escala de células, $CLR_{cs} \leq \epsilon_{cs}$, y otra para la escala de ráfagas $CLR_{bs} \leq \epsilon_{bs}$, siendo $\epsilon = \epsilon_{cs} + \epsilon_{bs}$. Para asegurar que $CLR_{cs} \leq \epsilon_{cs}$ cuando las velocidades se definen con una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson de k lotes se propone comparar las velocidades de llegada medias a una capacidad nominal c' determinada de tal forma que $Q(B/k) \leq \epsilon_{cs}$, donde Q viene dado por la fórmula 7-4 con $\rho = c'/c$. El control de la componente de escala de ráfaga CLR_{bs} se basa en la posibilidad de estimar la distribución de probabilidad estacionaria de la velocidad binaria instantánea de los trenes

multiplexados (o, al menos, sus primeros momentos) de forma colectiva para todas las conexiones existentes o de manera individual para cada conexión.

8.2.1 Variables conocidas del tráfico de células

Si se conocen las variables estadísticas del tráfico de células relativas a la estructura de ráfagas, como se define en la Recomendación E.716 (por ejemplo para un tipo de fuente dada), estas variables pueden utilizarse en el CAC. Por ejemplo, una conexión vocal codificada de acuerdo a un algoritmo determinado con eliminación del silencio (es decir, sólo se transmiten las células que transportan una señal significativa) puede caracterizarse con precisión como una fuente activada/desactivada de velocidad de cresta p y velocidad media m determinadas. La multiplexación de envolvente de velocidad de tales fuentes puede efectuarse en un enlace ATM o en una VPC y la componente de escala de ráfaga CLR_{bs} puede estimarse utilizando la fórmula 7-7.

Una combinación de fuentes con distribuciones de velocidad conocidas pero distintas puede manejarse de la misma forma determinando CLR_{bs} mediante la fórmula 7-5, y calculando las expectativas mediante la distribución de Λ_t obtenida por convolución de las distribuciones individuales. El CAC debe asegurar que se admite una nueva conexión únicamente si la CLR_{bs} resultante es menor que el valor deseado para todas las conexiones.

Velocidad de célula equivalente

El CAC se simplifica en gran medida explotando las propiedades conocidas de la convolución de las distribuciones de velocidad. En particular, es posible atribuir a cada conexión una velocidad de célula equivalente (ECR) de manera que los objetivos de GOS se satisfagan si la suma de los valores de ECR es inferior a la velocidad del multiplexor c . En otras palabras, a una conexión i se le asigna una ECR de ecr_i de manera que $CLR_{bs} < \epsilon_{bs}$ mientras que $\sum ecr_i \leq c$. La ECR puede calcularse utilizando una regla que depende únicamente de las características del tráfico de conexión y de los parámetros estáticos que describen el multiplexador y su combinación de tráfico esperado. Alternativamente, puede depender también de las características del tráfico en las otras conexiones que utilizan el multiplexador y, en consecuencia, puede variar dinámicamente a medida que las conexiones se establecen y se liberan. En el apéndice I se describen algunos posibles métodos para calcular ecr_i .

Ejemplo de procedimiento de CAC para un enlace ATM o una VPC de DBR conformada de velocidad c y tamaño de la memoria intermedia B

- Se supone en este ejemplo que las velocidades se dan para una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson de k lotes, como se define en 7.1.3, y que se conoce la velocidad media de células de cada conexión; mcr_i es la velocidad media de la conexión i .
- Se asignan unos valores objetivos ϵ_{cs} y ϵ_{bs} a CLR_{cs} y CLR_{bs} , respectivamente, de manera que $\epsilon_{cs} + \epsilon_{bs}$ es inferior al objetivo GOS de la CLR .
- La capacidad nominal del multiplexor c' se determina a partir de la velocidad del enlace c y de la capacidad de la memoria intermedia B , de manera que $Q(B/k) \leq \epsilon_{cs}$ siendo $Q(B/k)$ la probabilidad de saturación de la memoria intermedia en una cola $M^{(k)}/D/1$ estimada según la fórmula 7-4 para una carga de $\rho = c'/c$.
- Se calcula la velocidad de células equivalente ecr_i de la conexión i según uno de los métodos descritos en el apéndice I; dependiendo de la definición de velocidad de células equivalente puede ser necesario calcular ecr_i de una vez por todas, cuando se solicita la conexión, o reevaluarla cuando se producen cambios en el estado de ocupación.
- Se admiten conexiones mientras se cumple $\sum mcr_i \leq c'$ y $\sum ecr_i \leq c$.

Ejemplo de procedimiento de CAC para una VPC de velocidad constante incontrolada r_{VPC}

- Se supone que la VPC y las conexiones multiplexadas tienen una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson de k lotes común.
- Se evalúa una velocidad de células equivalente ecr_i para cada conexión i (por ejemplo, utilizando uno de los métodos del apéndice I) introduciendo, sin embargo, r_{VPC} en lugar de c .
- Se admiten conexiones mientras se da la condición $\Sigma ecr_i \leq r_{VPC}$.

La condición de la suma de las velocidades medias de las VCC que aparece en el ejemplo precedente no es aplicable en este caso puesto que se tiene en cuenta la congestión de escala de células en el CAC del enlace aplicado a la VPC. Obsérvese que en este caso la CLR_{bs} no es estrictamente una tasa de pérdida de células sino la fracción de células que no cumplen la velocidad r_{VPC} declarada para la VPC. De esa forma, el objetivo ϵ_{bs} para la CLR_{bs} es aquí despreciable comparado con la CLR deseada de los enlaces ATM del trayecto de la VPC para evitar la degradación de la calidad de funcionamiento de otras conexiones que comparten estos enlaces.

Ejemplo de procedimiento de CAC para una VPC de velocidad variable

Las VPC de velocidad variable proporcionan una multiplexación más eficaz a costa de un CAC más complejo teniendo en cuenta de forma individual los enlaces ATM sobre los cuales se encamina la VPC. El CAC se facilita cuando la VPC de velocidad variable se caracteriza por un conjunto de velocidades de células equivalentes, como se indica en la Recomendación E.735.

- Se supone que todas las conexiones multiplexadas de los enlaces considerados tienen velocidades definidas con una CDV despreciable con respecto a un proceso de Poisson de k lotes común.
- Cada enlace ATM j de la VPC se caracteriza en el nodo VC de origen por el siguiente conjunto de parámetros:
 - ECR^j , se trata de una velocidad de células equivalente determinada fuera de línea por un procedimiento dimensionado de red que tiene en cuenta la capacidad necesaria de la VPC y la velocidad y combinación de tráfico esperado en el enlace j , como se indica en la Recomendación E.735.
 - Los parámetros de velocidad del enlace y de combinación de tráfico esperados necesarios para permitir el cálculo de las velocidades de células equivalentes de las VCC que van a multiplexarse en la VPC (que son los mismos parámetros utilizados para calcular la velocidad de células equivalente de todas las VCC y las VPC tratadas por el enlace ATM).
- La VPC también se caracteriza por una velocidad de células media (MCR, *mean cell rate*), siendo mcr_i la velocidad de células media de VCC_i .
- Para cada VCC_i que va a manejarse en la VPC se evalúa una velocidad de células equivalente ecr_i^j para cada enlace j , utilizando las características del enlace especificadas anteriormente.
- Se acepta una nueva conexión mientras se cumple la condición $\Sigma_i ecr_i^j \leq ECR^j$ para cada enlace j y $\Sigma_i mcr_i \leq MCR$.

En este caso de VPC de velocidad variable, no se prevé que las velocidades de células equivalentes dependan de los estados de ocupación reales de los enlaces. Para los métodos de velocidad de células equivalente detallados en el apéndice I, el método 1 no utiliza un parámetro de combinación de tráfico y los métodos 2 y 3 emplean un solo parámetro denominado α . Los parámetros que describen

el segundo enlace y los siguientes enlaces de la VPC deben comunicarse al nodo VC de origen mediante el plano de gestión cuando se establece o se modifica la VPC.

8.2.2 Asignación de recursos en el caso más desfavorable

Los objetivos de calidad de funcionamiento pueden satisfacerse mediante la asignación de recursos suponiendo unas características de tráfico "en caso más desfavorable"¹ compatibles con los valores declarados de los parámetros de tráfico. Si sólo se declara la *PCR*, el CAC es equivalente a la asignación de velocidad de cresta (véase 8.1).

Si se conocen la *PCR* y la *SCR*, puede deducirse una asignación de caso más desfavorable suponiendo que la fuente es de tipo activada/desactivada con *PCR* de velocidad de cresta y *SCR* de velocidad media. En ese caso, el CAC puede seguir los procedimientos indicados en 8.2.1. Obsérvese que el parámetro *IBT* no afecta al CAC cuando se utiliza REM.

8.2.3 CAC adaptativo

La decisión del CAC depende de las características de tráfico de la conexión que pide la admisión, así como de las características de las conexiones existentes. Pueden asignarse más eficazmente los recursos que en el caso más desfavorable si estas últimas pueden estimarse exactamente por mediciones en tiempo real. Dichas mediciones pueden realizarse a la velocidad de célula de entrada combinada de todas las conexiones o a las velocidades individuales de las clases de conexión predefinidas.

Mediciones a la velocidad global

La admisibilidad de una nueva conexión puede basarse en una estimación de la velocidad de llegada de célula global, de su variabilidad y de los parámetros de tráfico de las conexiones en curso.

Considérese una VPC de enlace de velocidad c . Sea M la velocidad de célula media global medida. Supóngase que las conexiones han declarado parámetros de tráfico pcr_i y scr_i (para una conexión DBR, póngase $scr_i = pcr_i$). Supóngase que la conexión i tiene una velocidad media real m_i y adóptese la hipótesis del caso más desfavorable, a saber, que las variaciones de velocidad son del tipo todo o nada. Utilizando las fórmulas de velocidad de célula equivalente de los métodos 2 ó 3 del apéndice I, es posible estimar los requisitos de anchura de banda de las conexiones existentes. Para garantizar que el error relativo a la decisión de admisión está del lado seguro, las m_i deben ponerse de manera que la suma de las velocidades equivalentes sea máxima teniendo en cuenta los imperativos: $\sum m_i = M$ y $0 \leq m_i \leq scr_i$. Este problema puede resolverse como se indica en [ViS98], lo que da una estimación de los requisitos de velocidad global de las conexiones existentes: $E = \sum ecr_i$. La velocidad de célula equivalente ecr_0 de una nueva conexión de parámetros pcr_0 y scr_0 puede evaluarse suponiendo que su velocidad media es igual a scr_0 . La conexión se admitirá si $E + ecr_0 \leq c$. En el caso de una VPC de velocidad variable, esta condición debe verificarse para cada uno de los enlaces j en los que la VPC se establece. La condición se expresa entonces $E^j + ecr_0^j \leq ECR^j$, para cada enlace j . Obsérvese que, si bien M representa la velocidad media global de la VPC (que es evidentemente la misma en todos los enlaces en los que se establece la VPC), las m_i pueden ser diferentes en cada enlace.

Una aproximación conservadora obtenida ignorando la limitación de la velocidad media $0 \leq m_i \leq scr_i$ arroja una fórmula simple para las m_i . Supóngase que la meta es satisfacer una probabilidad de

¹ Por caso más desfavorable se entiende aquel en que las características de tráfico son compatibles con el descriptor de tráfico declarado que requiere la mayor asignación de recursos para satisfacer los requisitos de calidad de servicio.

sobrecarga $e^{-\gamma}$ ($\approx 100 \times \text{CLR}$). Entonces, las m_i se obtienen invirtiendo el límite de Chernoff (véase el método 2 del apéndice I):

$$m_i = \frac{1}{n} \left(M + \sum \frac{pcr_j}{e^{\beta pcr_j} - 1} \right) - \frac{pcr_i}{e^{\beta pcr_i} - 1} \quad (8-1)$$

donde n es el número de conexiones y β es un parámetro relacionado con α_c y α_p , introducidas en el apéndice I. Una buena aproximación de β en este caso viene dada por $\beta = 2 \frac{\gamma}{c-M}$. Las velocidades de célula equivalentes ecr_i pueden entonces calcularse utilizando el método 2 o el método 3 del apéndice I, suponiendo fuentes de tipo "todo o nada" de velocidad de cresta pcr_i y velocidad media m_i y poniendo $\alpha_c = \beta$ en el método 2 y $\alpha_p = \beta/2$ en el método 3. En el caso de una VPC de velocidad variable, no se supone que α_c o α_p (y, en consecuencia, β) dependen de la mezcla de tráfico real de la velocidad medida, sino de la mezcla de tráfico esperada.

Se han propuesto en la literatura métodos de CAC adaptativo un poco más simples pero menos precisos. Se basan en el cálculo de la tolerancia necesaria por encima de la velocidad medida que debe reservarse con el fin de tener en cuenta la variabilidad de velocidad esperada. De acuerdo con este método, se admitiría una nueva conexión con un valor pcr_0 de la PCR en caso de que se cumpla la condición siguiente:

$$c \geq M + \sqrt{kV} + pcr_0 \quad (8-2)$$

donde $k = -2\gamma$ y V es un límite superior de la varianza de la velocidad derivado de los parámetros de tráfico de conexión. Si se utilizan únicamente los valores de PCR, un valor apropiado para V es $\Sigma pcr_i^2/4$ y la fórmula 8-2 corresponde al denominado límite de Hoeffding (véase [GK97]). Queda en estudio el examen de posibilidades alternativas para V que utilicen la información adicional sobre las velocidades de conexión dada por los valores de SCR.

Mediciones de la velocidad clase por clase

Los métodos anteriores pueden generalizarse al caso en que las conexiones se dividen en clases, según el valor de sus parámetros de tráfico PCR y SCR, y se dispone de una estimación de la velocidad M_c para cada clase c . Esto permite tener un límite más estrecho de la tolerancia necesaria para tener en cuenta las variaciones de velocidad, en particular cuando las clases tienen valores de PCR muy diferentes.

Estimación de las velocidades medias

Los enfoques de CAC anteriores suponen que M es una estimación conservadora de la velocidad global. Para estimar la velocidad media se contempla contar las llegadas de células en una sucesión de intervalos de longitud fija. Sea T la duración del intervalo y sea N_i el número de llegadas de célula en un intervalo $[(i-1)T, iT)$. Las siguientes son maneras posibles de estimar M :

- 1) velocidad instantánea: en cualquier instante de $[iT, (i+1)T)$, $M = N_i/T$;
- 2) velocidad media aritmética: en cualquier instante de $[iT, (i+1)T)$, $M = \sum_{j=i-n+1}^i N_j / nT$, para un determinado n ;
- 3) velocidad media geométrica: en cualquier instante de $[iT, (i+1)T)$, $M = \beta M_{old} + (1-\beta) N_i/T$, para $0 < \beta < 1$, donde M_{old} es el valor de M que pertenece al intervalo de tiempo anterior;
- 4) velocidad máxima: en cualquier instante de $[iT, (i+1)T)$, $M = \sum_{j=i-n+1}^i \max_{i-n < j \leq i} [N_j/T]$, para un determinado n .

La estimación de M puede aumentarse para tener en cuenta el tráfico de las conexiones recientemente admitidas y no incluidas en las mediciones de la velocidad.

Quedan en estudio las Recomendaciones relativas a la elección de los valores de T , n y b , así como la evaluación comparativa de los métodos anteriores.

Estrategia de seguridad

Para que el CAC basado en la medición sea más robusto, en particular cuando hay sobrecargas de tráfico, puede emplearse la siguiente estrategia de seguridad. Cuando falle una petición de admisión de conexión en un enlace dado, se rechazarán todas las peticiones de admisión subsiguientes cuyo requisito de velocidad de célula equivalente sea igual o superior, hasta que por lo menos una de las conexiones en curso sea liberada. Esta estrategia aumenta la seguridad de los procedimientos de CAC adaptativo, al mantener la "memoria" de una sobrecarga reciente que contrarreste la medición actual que puede ser demasiado optimista.

8.3 CAC para la multiplexación estadística con compartición de velocidad

Como se examina en 7.3, para lograr una elevada utilización del enlace cuando se multiplexan conexiones cuya velocidad binaria de cresta no es una pequeña fracción de la velocidad binaria del multiplexor, se requiere una memoria intermedia grande para absorber las células que lleguen durante los periodos momentáneos de sobrecarga. Este tipo de multiplexación se ha denominado compartición de velocidad (RS, *rate sharing*). La RS también puede utilizarse para conexiones con velocidades de cresta bajas; la diferencia fundamental con la REM radica en la utilización de una memoria intermedia de gran capacidad para absorber las sobrecargas de velocidad de entrada que aparecen con probabilidad no despreciable. Con la RS puede ser necesario aplicar el CAC asignando una cantidad de anchura de banda y de espacio en memoria intermedia a cada conexión.

Al igual que la REM, se pueden distinguir tres posibilidades para estimar las características del tráfico necesarias para predecir la calidad de funcionamiento del multiplexor.

8.3.1 Variables conocidas del tráfico de células

Si todas las variables de tráfico necesarias² de las conexiones multiplexadas se pueden deducir a partir del hecho de que pertenecen a un tipo de fuente dado, el CAC se puede realizar con referencia a un modelo matemático para predecir la calidad de funcionamiento del multiplexor (es decir, la tasa de pérdida de células y los retardos medio y máximo de espera en cola). La definición de este modelo, queda en estudio.

Velocidad de célula equivalente

Al igual que para REM, el CAC se puede simplificar en ciertos casos cuando es posible atribuir a cada conexión una velocidad de célula equivalente, (ECR) dependiendo de la velocidad del multiplexor, de la capacidad de almacenamiento en memoria intermedia y de las propiedades intrínsecas propias de la conexión. El procedimiento de CAC consiste en aceptar conexiones hasta que la suma de los valores de ECR sea mayor que la velocidad del multiplexor.

Una definición posible de ECR para las conexiones SBR se basa en el descriptor de tráfico SCR y es:

$$ecr_i = \alpha \cdot scr_i$$

donde scr_i es la SCR de la i -ésima conexión y α es una constante.

² Por variables de tráfico necesarias se entienden todos los parámetros del proceso de llegada de células que tienen una influencia significativa en la calidad de funcionamiento del multiplexor (véase la Recomendación E.716).

Una determinación teórica del parámetro α dependería de numerosos factores, incluidas las características adicionales de las conexiones individuales además de la SCR. Sin embargo, un enfoque más heurístico podría basarse en las mediciones históricas de las conexiones realizadas y la calidad de funcionamiento de la red. De hecho, hace ya algunos años que varios operadores de red utilizan este método para las redes de retransmisión de trama, donde la velocidad de información concertada (CIR, *committed information rate*) es análoga a la SCR.

Podría tomarse inicialmente un valor conservador de α , y reducirlo ulteriormente mientras siga cumpliéndose la calidad de funcionamiento concertada para las conexiones. Desde una perspectiva conservadora, considerando el caso más desfavorable, al tener en cuenta que la velocidad media realizada podría ser tan elevada como la SCR, α tendría que ser mayor que uno. No obstante, en las redes de retransmisión de trama, las mediciones han mostrado que la velocidad media es significativamente inferior a la CIR, y se han utilizado valores de 1/2 o incluso de 1/4 para α . Por supuesto, el proveedor de servicio debería efectuar mediciones de manera continua para seguir los cambios de carga global y las características de conexión durante los periodos en que la red está muy cargada. Por ejemplo, teniendo en cuenta que las redes ATM incluyen conexiones conmutadas así como conexiones semipermanentes, tendrá que incrementarse el valor de α .

8.3.2 Asignación de recursos en el caso más desfavorable

Al igual que para REM, se pueden garantizar los objetivos de GOS si los recursos se asignan para el tráfico del "caso más desfavorable" que corresponde a los descriptores de tráfico declarados. El tráfico del caso más desfavorable cuando sólo se declara PCR, es un tren CBR y el CAC es equivalente a la asignación de velocidad de cresta (véase 8.1).

Si se declaran los parámetros PCR, SCR e IBT, un candidato de tráfico más desfavorable es una fuente activada/desactivada con una longitud de ráfagas máxima y periodos de silencio (véase 6.1.2). La definición de las reglas de CAC basadas en dicho modelo de caso más desfavorable quedan en estudio.

8.3.3 CAC adaptativo

Las mediciones de tráfico (por ejemplo, observaciones de la ocupación de la memoria intermedia) se pueden utilizar para obtener una estimación de la capacidad de aceptar nuevas conexiones sin infringir los objetivos de calidad de funcionamiento. La definición de estas mediciones y los correspondientes procedimientos de CAC quedan en estudio.

9 Gestión de recursos adaptativa

La eficacia en la compartición de recursos puede mejorarse utilizando la gestión de recursos dinámicamente adaptativa, especialmente cuando no es posible declarar todas las características del tráfico de conexión durante el establecimiento. Las capacidades de servicio de transferencia ABR y ABT se basan en la utilización de células de gestión de recursos (RM) para ajustar la asignación de recursos durante la vida útil de una conexión. En la ABR, es la red quien determina la velocidad binaria disponible para una conexión dada e informa de ello al usuario. Por otro lado, el servicio ABT se basa en las peticiones a iniciativa del usuario para modificar la asignación de recursos.

9.1 Gestión de recursos ABT

En esta subcláusula se considera la posibilidad de asignación de recursos con renegociación de usuario durante la vida útil de una conexión para adaptarse con mayor exactitud a la demanda del tráfico de usuario vigente.

9.1.1 REM y transferencia de bloques

Cuando los multiplexores están equipados con pequeñas memorias intermedias dimensionadas como se indica en 7.2 sobre la REM, toda sobrecarga de velocidad prolongada (velocidad binaria instantánea combinada mayor que la velocidad nominal del enlace) da lugar a una pérdida de células para todas las conexiones. Esto puede tener consecuencias importantes si, por ejemplo, la pérdida de células provoca la retransmisión de las unidades de datos de protocolo (PDU, *protocol data units*) afectadas. Esta posibilidad se evita con la asignación de velocidad de cresta indicada en 8.1. Una manera de preservar esta propiedad deseable, a la vez que se obtienen las ventajas de multiplexación estadística, es exigir a las conexiones que reserven de forma dinámica suficiente anchura de banda para sus requisitos instantáneos vigentes. Por ejemplo, un usuario que emite ráfagas de células intermitentemente a una velocidad binaria dada, reservaría anchura de banda a esa velocidad en el comienzo de una ráfaga y la dejaría al final de la ráfaga.

El CAC se aplicaría en gran medida como se describe en 8.2 aunque los criterios de admisión de conexión pueden ser distintos teniendo en cuenta la consecuencia menos grave de bloquear un aumento de anchura de banda solicitada (que afecta solamente a un usuario) en comparación con la pérdida de células generalizada en un sistema sin reserva de anchura de banda a este nivel. Sería conveniente especificar criterios de calidad de servicio explícitamente relacionados con la probabilidad de fallo de petición de gestión de recursos.

9.1.2 Compartición de velocidad y transferencia de bloques

Los procedimientos de gestión de recursos empleados por el usuario pueden utilizarse con multiplexación estadística con compartición de velocidad para adaptar con mayor exactitud el volumen de recursos asignado a una conexión a su nivel vigente de actividad. Tanto la anchura de banda como el espacio de la memoria intermedia pueden asignarse de forma dinámica.

Para conexiones con velocidad binaria de cresta próxima a la velocidad del multiplexor, no parece adecuado tratar de reservar una anchura de banda igual a esta velocidad de cresta para cada ráfaga de actividad. A fin de realizar esta acción con una probabilidad adecuadamente baja de bloqueo de ráfaga se necesitaría que la utilización media del multiplexor fuese muy baja. Ello se deduce de consideraciones similares a las de 7.2.2. La asignación de memoria intermedia también puede adaptarse a las necesidades vigentes de una conexión establecida. Sólo es necesario reservar espacio en la memoria intermedia cuando la conexión está realmente transmitiendo datos.

9.2 Gestión de recursos ABR

La capacidad de transferencia ABR está diseñada fundamentalmente para la multiplexación estadística con compartición de velocidad. Con compartición de velocidad, las longitudes de cola en las memorias intermedias pueden ser elevadas y tener una dependencia muy sensible con los atributos de los procesos de llegada, lo cual no sucede con REM. Sin ningún mecanismo de realimentación con las fuentes, es difícil diseñar la capacidad de la memoria intermedia y la anchura de banda necesarias para satisfacer el criterio de pérdida de células. Con ABR, las fuentes reciben una realimentación entrante de la velocidad que puede soportarse en ese instante. Cuando las memorias intermedias están congestionadas, puede indicarse a las fuentes (seleccionadas) que disminuyan su velocidad de células permitida vigente.

El dimensionado apropiado y el CAC para la ABR dependen de la naturaleza del servicio que pretende ofrecer el operador de red con ABR. Por ejemplo, basándose en decisiones comerciales que están fuera del ámbito de la presente Recomendación, un operador puede fijar una cantidad determinada de anchura de banda para dedicarla al servicio basado en ABR; el operador puede elegir entre admitir todas las peticiones de conexión o establecer un límite superior. En otros casos el operador puede ofrecer un servicio basado en ABR con el compromiso de que cuando una conexión esté activa recibirá al menos una velocidad de células determinada con una probabilidad dada.

Los usuarios de la capacidad de transferencia ABR tienen la opción de solicitar una velocidad mínima de células (MCR, *minimum cell rate*). De garantizarse, la red se compromete a proporcionar al menos esta velocidad a la fuente mientras dure la conexión. De esa forma, la parte del CAC que maneja la mínima velocidad de células de las conexiones ABR puede ser similar a la de la capacidad de transferencia DBR; véase la cláusula 8.

Las implicaciones que tiene en la ingeniería de tráfico la capacidad del servicio de transferencia ABR quedan en estudio.

9.3 Ingeniería de tráfico para "tráfico elástico"

La noción de "tráfico elástico" se refiere al transporte de ficheros u otros documentos digitales que pueden transmitirse por la red a velocidad variable determinada por la disponibilidad de anchura de banda. La principal fuente de tráfico elástico hoy día son las sesiones de consulta en la World Wide (Web). Las capacidades de transferencia en modo elástico ABR y ABT se han diseñado explícitamente para conexiones que cursan tráfico elástico. Puede establecerse una conexión para una sola transferencia de documento o para un grupo de transferencias entre un origen y un destino dados. Las conexiones pueden establecerse a petición o de manera permanente o semipermanente.

9.3.1 Características de tráfico

Observaciones recientes del tráfico en la Web revelan la naturaleza compleja del tráfico elástico [FGWK98]. Los momentos de inicio de las sesiones Web en marcos de tiempo de una hora pueden representarse de manera exacta mediante un proceso de Poisson. En una sesión, un usuario extrae cierto número de páginas, cada una de las cuales requiere posiblemente el establecimiento simultáneo de varios flujos TCP. El número de flujos iniciados en una sesión es muy variable (distribución de varianza infinita), y produce una autosimilaridad en el proceso de llegada de flujos. El volumen de datos transferidos en cada flujo TCP es muy variable. Las mediciones realizadas en páginas Web revelan una distribución con una cola de gran tamaño y varianza infinita.

9.3.2 Requisitos de calidad de funcionamiento

En el caso de una transferencia de documento individual, la calidad de servicio puede medirse por el tiempo de respuesta o el caudal realizado (tamaño del documento dividido por el tiempo de respuesta). Los objetivos de calidad de funcionamiento de la red pueden expresarse, por ejemplo, en términos de la media o de los cuantiles del caudal realizado. Alternativamente, puede diseñarse la red de manera que garantice que la velocidad instantánea atribuida a cualquier flujo satisfaga determinados objetivos de calidad de funcionamiento. La definición precisa de los requisitos de calidad de funcionamiento en materia de caudal o de velocidad instantánea queda en estudio.

Las conexiones en modo elástico ABR y ABT pueden tener una velocidad de célula mínima asociada. La disponibilidad de esta velocidad es un requisito de calidad de funcionamiento obvio que debe asegurarse mediante el control de admisión.

Otro requisito de calidad de funcionamiento es que las conexiones conformes a las atribuciones de velocidad de red deben tener pérdidas de células despreciables. Este requisito debe cumplirse mediante el dimensionado de memorias intermedias de conmutación para evitar la saturación debida al tiempo de reacción de los usuarios con relación a las instrucciones de ajuste de velocidad de la red. El dimensionado de la memoria intermedia queda fuera del alcance de la presente Recomendación.

9.3.3 Algoritmos de compartición de anchura de banda

Al implementar el modo elástico ABR o ABT, el operador de red tiene una libertad considerable para escoger los objetivos en materia de compartición de anchura de banda y los algoritmos mediante los cuales se realizan estos objetivos. Esta elección puede tener efectos importantes sobre la calidad de funcionamiento de la red y sobre la eficacia del cumplimiento de los requisitos de

calidad de funcionamiento. Posibles objetivos de compartición de anchura de banda son la equidad máxima/mínima [BG87] y la equidad proporcional [KMT98]. Estudios recientes sugieren que la característica de caudal puede mejorarse sacrificando la equidad en aras de la eficacia global [RM98]. Quedan en estudio las Recomendaciones relativas a la elección de los algoritmos de compartición de anchura de banda.

9.3.4 Modelado de la calidad de funcionamiento

A partir de modelos de tráfico simples pueden derivarse algunas ideas acerca de la calidad de funcionamiento de una red que implementa la compartición de anchura de banda para el tráfico elástico. Considérese un solo enlace de velocidad c y supóngase que la anchura de banda se comparte de manera igual entre todos los flujos cursados actualmente, es decir que, si hay n flujos, cada uno recibe una anchura de banda c/n .

Supóngase primero que los flujos se inician de conformidad con un proceso de Poisson. El número de flujos cursados en un determinado instante t , N_t , se comporta entonces como el número de clientes en la cola de compartición de procesador $M/G/1$ [Kle75]. La distribución de N_t es geométrica: $Pr[N_t = n] = \rho^n(1 - \rho)$, donde $\rho = \text{velocidad de llegada} \times \text{tamaño medio}/c$ es la carga del enlace. El caudal esperado de cualquier flujo es $c(1 - \rho)$. Estos resultados son válidos únicamente si $\rho < 1$.

Un modelo de tráfico alternativo consiste en suponer que un número fijo de conexiones transfieren una sucesión de documentos, estando separados el fin de una transferencia y el comienzo de la siguiente por un "tiempo de reflexión". Este sistema puede modelarse como una red de cola cerrada para la que se conocen algunos resultados analíticos. Sea S el número de conexiones y $\gamma = \text{tamaño medio}/(c \times \text{tiempo de reflexión medio})$. La distribución del número de flujos en curso puede escribirse entonces:

$$Pr[N_t = n] = \frac{\gamma^{S-n}}{(S-n)!} / \sum_{0 \leq k \leq S} \frac{\gamma^k}{k!}$$

En [BK98] se dan expresiones para la esperanza y los cuantiles de la distribución de la anchura de banda atribuida a cualquier flujo.

En un tercer modelo, las sesiones llegan como un proceso de Poisson y transfieren sucesivamente un número de documentos distribuido geoméricamente, estando cada transferencia separada de la siguiente por un tiempo de reflexión. Este sistema puede representarse como una red de cola abierta con una estación de compartición de procesador (el enlace) y una estación de servidor infinito (el tiempo de reflexión). Una transferencia de documento (cliente servido en la estación de compartición de procesador) es seguida con una determinada probabilidad fija p por otra transferencia después de un tiempo de reflexión (servicio en la estación de servidor infinito). Con la probabilidad $1 - p$, la sesión se termina después de la compleción de una transferencia de documento específica. La distribución del número de flujos en curso es, una vez más, geométrica, y la carga es $\rho = \text{velocidad de llegada de sesiones} \times \text{tamaño combinado de documentos de sesión}/c$, siempre que $\rho < 1$.

9.3.5 Control de admisión de conexión

El control de admisión de conexión es necesario para dar garantías de velocidad mínima, en particular en el caso de la capacidad ABR. Si la conexión i tiene una velocidad de célula mínima mcr_i , el control de admisión podría aplicarse como se describe en 8.2 para la atribución de la velocidad de cresta, sustituyendo pcr_i por mcr_i , y teniendo debidamente en cuenta la tolerancia de CDV. No obstante, especialmente en el caso de conexiones semipermanentes o permanentes utilizadas de manera intermitente, un operador de red puede escoger aplicar un factor de sobrecarga, como se examina en 8.3.1 para el caso del control de admisión con compartición de velocidad.

Un operador de red puede escoger también el empleo del control de admisión, incluso cuando el requisito de velocidad de célula mínima es cero. Esto puede considerarse como un control de

sobrecarga necesario cuando el número de conexiones puede ser muy grande, como en el caso de los modelos de llegada de Poisson examinados en 9.3.4 con una carga ofrecida $\rho > 1$. Un criterio de CAC posible sería la atribución por la red de un requisito de velocidad mínima pequeña pero diferente de cero $mcr_{default}$ a cada conexión con $MCR = 0$.

Velocidad de célula equivalente

Por analogía con los procedimientos de CAC definidos para las conexiones DBR y SBR, es posible basar el control de admisión para el tráfico elástico en la noción de una velocidad de células equivalente: se atribuye a la conexión i una velocidad de células equivalente ecr_i , y las conexiones se admiten siempre que $\sum ecr_i < c$, donde c es la velocidad del enlace.

Si el único requisito de calidad de funcionamiento consiste en garantizar una velocidad de célula mínima, ecr_i puede ponerse igual a esta velocidad mínima: $ecr_i = mcr_i$. De modo más general, el control de admisión podría incorporar un parámetro α como en 8.3.1: $ecr_i = \alpha \cdot mcr_i$. Puede ser más conveniente escoger un valor $\alpha < 1$ cuando se establecen conexiones ABR para una serie de transferencias de documento y dichas conexiones se utilizan sólo intermitentemente. Sin embargo, la calidad de funcionamiento es garantizada entonces únicamente sobre una base estadística y la elección precisa de α depende del conocimiento cabal de las características de tráfico reales de la conexión.

Otros requisitos de calidad de funcionamiento, por ejemplo, relativos al caudal esperado de una transferencia de documentos, necesitarían definiciones diferentes de la velocidad de célula efectiva. Estas definiciones quedan en estudio.

10 Integración de servicios

Si todas las células de las colas de espera de un multiplexor son servidas según el principio de primero en entrar, primero en salir (FIFO, *first-in first-out*), los requisitos más rigurosos sobre el retardo de transferencia de células y la variación del retardo de las células de los tipos de conexión que han de multiplexarse determinan el tamaño máximo de la memoria intermedia. En particular, si han de tratarse servicios con necesidades de respuesta en tiempo real, tales como la conversación interactiva, no parece posible efectuar la multiplexación estadística con memorias intermedias grandes como se analiza en 7.3, a menos que se emplee una disciplina de servicio más compleja.

10.1 Recursos dedicados

Para satisfacer los requisitos de GOS de diferentes clases de servicio, pueden dedicarse recursos específicos a grupos de servicios que tengan necesidades similares. En concreto, pueden utilizarse enlaces ATM distintos o conexiones de trayectos virtuales con DBR conformadas distintas que tengan su anchura de banda adaptada a la demanda esperada de un determinado grupo de servicios. El espacio en la memoria intermedia reservada para una conexión de trayecto virtual (VPC) determinada se elegiría igualmente de manera apropiada (por ejemplo, memorias intermedias pequeñas para servicios con necesidades de respuesta en tiempo real, memorias intermedias grandes para servicios que toleran retardos de velocidad elevada). Obsérvese que las VPC no conformadas no pueden utilizarse a tales efectos; para proporcionar distintos GOS a diferentes conexiones que utilizan VPC incontroladas es preciso aplicar mecanismos de prioridad o de planificación como se discute más adelante.

10.2 Prioridades de pérdida

Pueden utilizarse los mecanismos de prioridad indicados en 7.2.3 y 7.3.2 para diferenciar la *CLR* ofrecida a las células de una determinada conexión de acuerdo con el valor del bit CLP o para

ofrecer diferentes tasas de pérdida de células a distintas conexiones. Los mecanismos de prioridad de pérdidas pueden combinarse con los de prioridad de retardo.

La definición de las reglas de ingeniería de tráfico para proporcionar garantías concretas de QOS quedan en estudio.

10.3 Prioridades de retardo

Puede darse prioridad de cabeza de línea a ciertos trenes de tráfico, sobre todo para reducir el tiempo de espera de sus células en multiplexores equipados con memorias intermedias de gran tamaño. Podrían definirse varios niveles de prioridad, identificándose el nivel a que pertenece un determinado tren por el campo identificador de trayecto virtual/identificador de canal virtual (VPI/VCI) del encabezamiento de la célula. Es posible combinar las prioridades de cabeza de línea y de pérdida utilizando el bit CLP (véanse 7.2.3 y 7.3.2).

Esta estructura de prioridades es útil para satisfacer los diferentes requisitos de los distintos tráficos que serán cursados en las redes ATM. Las implementaciones típicas tienen entre dos y cuatro clases de prioridad. La clase de prioridad más alta podría ser para el tráfico de velocidad binaria constante (CBR, *constant bit rate*). La siguiente clase de prioridad podría ser para el tráfico vídeo en tiempo real (interactivo). El tráfico en tiempo no real a velocidad binaria variable (VBR, *variable bit rate*) podría constituir una clase prioritaria más baja, que podría subdividirse en dos prioridades, asignándose la más baja al tráfico que se cursa en la medida de lo posible.

10.3.1 Velocidad de célula equivalente para servicio prioritario

El concepto de velocidad de célula equivalente ha sido desarrollado para memorias intermedias que utilizan el sistema primero en entrar, primero en salir (FIFO). En esta subcláusula se amplía la noción de velocidad de célula equivalente para tener en cuenta el servicio prioritario.

Para mayor comodidad, supóngase que hay P prioridades, y sea 1 la clase de prioridad más alta, 2 la segunda, etc. Sea ecr_{ip} la ECR de la i -ésima conexión de prioridad p , y supóngase que hay I_p conexiones en la prioridad p . Entonces, si no se hacen modificaciones para tener en cuenta el efecto de las prioridades, la condición CAC de 8.2.1 pasa a ser, en la presente notación:

$$\sum_{p=1}^P \sum_{i=1}^{I_p} ecr_{ip} \leq c$$

A menudo, cuando las conexiones de prioridad 1 han "llenado el enlace", en el sentido de que la suma de sus ECR es igual a la anchura de banda del enlace, el grado de ocupación del enlace es inferior a 100%, y puede incluso ser de sólo 50%. En este caso podrían admitirse algunas conexiones de prioridad 2 en el enlace, dado el criterio de calidad de funcionamiento más vago de las conexiones de baja prioridad. Para sacar provecho de esta posibilidad se requieren otras condiciones de desigualdad cuando una determinada conexión está asociada con *múltiples* ECR, una para su propio nivel de prioridad y otra para cada nivel de prioridad inferior. Por ejemplo, si hay dos prioridades, $P = 2$ y la condición anterior quedaría reemplazada por las dos condiciones siguientes:

$$\sum_{i=1}^{I_1} ecr_{i1} \leq c$$

$$\sum_{i=1}^{I_1} ecr_{i1}^2 + \sum_{i=1}^{I_2} ecr_{i2} \leq c$$

donde ecr_{ip}^k es la ECR de la i -ésima conexión de prioridad p vista por la prioridad k . ecr_{ip}^k es inferior a ecr_p para $k > p$, y para facilitar la notación, ecr_{ip}^p designa a ecr_p .

Para un número arbitrario de prioridades P , hay P condiciones:

$$\sum_{p=1}^k \sum_{i=1}^{I_p} ecr_{ip}^k \leq c \text{ para } k = 1, \dots, P$$

Las ecuaciones anteriores no están ligadas a ningún método en particular para la determinación del valor de las ECR individuales. En particular, los métodos empleados para determinar la ECR en el contexto de un servicio FIFO pueden ampliarse al presente contexto.

En la medida en que el grado de ocupación es inferior a 1 cuando las conexiones de una determinada prioridad están en su límite admisible, mayor es la ganancia potencial del empleo de estas condiciones múltiples y ECR por prioridad. En la referencia [BW98] figuran más detalles acerca de este método.

10.4 Sistemas de planificación

La prioridad de cabeza de línea puede utilizarse para asegurar un retardo mínimo en el caso de servicios con limitaciones de tiempo de respuesta en tiempo real. Puede conseguirse una discriminación de servicios más general a expensas de unas disciplinas de planificación de las colas de espera más complejas, tales como la disposición puesta en cola de espera justa ponderada [RMV96]. La repercusión de tales disciplinas en la calidad de funcionamiento del multiplexor y el control de tráfico queda en estudio.

11 Bibliografía

- [CLW94] CHOUDURY (G.L.), LUCANTONI (D.M.), WHITT (W.): On the effectiveness of effective bandwidth for admission control in ATM networks, *Proceedings of ITC 14*, Junio de 1994.
- [BG87] BERTSEKAS (D.), GALLAGER (R.): *Data Networks*, Prentice Hall, 1987.
- [BK98] BERGER (A.), KOGAN (Y.): Dimensioning bandwidth for elastic traffic in high-speed data networks, *INFORMS Telecommunications Conference*, Boca Ratón, 1998.
- [BW98] BERGER (A.W.), WHITT (W.): Extending the effective bandwidth concept to networks with priority classes, *IEEE Communications Magazine*, agosto de 1998.
- [FGWK98] FELDMAN (A.), GILBERT (A.C.), WILLINGER (W.), KURTZ (T.G.): The changing nature of network traffic: Scaling phenomena, *Computer Communications Review*, Vol. 28, No. 2, abril de 1998.
- [GK97] GIBBENS (R.), KELLY (F.): Measurement-based connection admission control, *Proceedings of ITC 15*, págs. 879-888, 1997.
- [Kle75] KLEINROCK (L.): *Queueing Systems*, Vol. 2, Computer Applications, John Wiley & Sons (1975).
- [KMT98] KELLY (F.), MAULLOO (A.), TAN (D.): Rate control for communication networks: shadow prices, proportional fairness and stability, *Journal of the Operational Research Society* 49 (1998).
- [LuP90] LUCANTONI (D.M.), PAREKH (S.): Selective cell discarding mechanisms for a B-ISDN congestion control architecture, *ITC Seminar*, Morristown 1990.

- [RMV96] ROBERTS (J.), MOCCI (U.), VIRTAMO (J.), (Eds): Broadband Network Teletraffic, *Lecture Notes in Computer Science*, Vol. 1155, Springer-Verlag 1996.
- [RM98] ROBERTS (J.), MASSOULIÉ (L.): Bandwidth sharing and admission control for elastic traffic, *11th ITC Specialist Seminar*, Yokohama, octubre 1998.
- [ViS 97] VILLÉN-ALTAMIRANO (M.), SÁNCHEZ-CAÑABATE (M.F.): Effective bandwidth dependent of the actual traffic mix: an approach for bufferless CAC, *ITC 15*, junio de 1997.
- [ViS98] VILLEN-ALTAMIRANO (M.), SANCHEZ-CANABATE (M.F.): A tight admission control for stream traffic based on measurements. Submitted.

12 Historial

Se trata de una Recomendación revisada.

APÉNDICE I

Ejemplos de métodos de cálculo de velocidad de células equivalente para multiplexación de envolvente de velocidad

Los tres métodos siguientes para el cálculo de la velocidad de célula equivalente (ECR) de una conexión, ecr_i , están diseñados para el caso de multiplexación de envolvente de velocidad. Los tres métodos asimilan el flujo de células a un fluido y utilizan como entrada la velocidad del enlace ATM (o la VPC) y el parámetro ε del criterio de calidad de funcionamiento $CLR_{bs} < \varepsilon$.

Como se indica en la Recomendación E.735, la ECR depende generalmente de las características del tráfico de las otras conexiones multiplexadas en el mismo enlace ATM o la VPC. En algunos casos, esta dependencia puede tenerse en cuenta mediante un solo parámetro, denominado α en la Recomendación E.735. Este parámetro puede evaluarse para el tráfico real o, a fin de simplificar el CAC, para un conjunto de conexiones representativo R . Dicho conjunto R es tal que los números de las conexiones de distintos tipos están en proporción a las de una combinación de tráfico esperada lográndose el objetivo ε de la CLR_{bs} (es decir el conjunto de conexiones representativos se sitúa en la frontera de la región admisible). La utilización de un parámetro α es una característica de los métodos 2 y 3 indicados más adelante. Para ambos métodos, si bien α se define de manera distinta, es sabido que el valor de ECR no depende de forma crítica del conjunto de conexiones concreto considerado y que la estimación siempre es conservadora; es decir, la ECR calculada es mayor que la determinada para el conjunto de conexiones real.

El primer método supone fuentes activadas/desactivadas cuyas velocidades media y de cresta se eligen de manera que se adapten a la media y la varianza de la velocidad instantánea de la fuente. Con este método, el cálculo de la anchura de banda efectiva de una conexión no depende de las variables de tráfico de ninguna otra conexión. Este método es el más sencillo de los tres pero a la vez es el menos preciso y no asegura que los resultados sean conservadores (es decir, que el criterio de calidad de funcionamiento se satisface cuando $\sum ecr_i \leq c$).

El segundo método utiliza directamente la distribución de la velocidad instantánea del flujo de células en un instante arbitrario. Basándose en el límite de Chernoff, este método calcula un parámetro α_c que tiene en cuenta las características del tráfico del conjunto de conexiones real o de uno representativo. En este último caso, α_c puede calcularse fuera de línea de manera que el método puede utilizarse en tiempo real para el CAC. El cálculo exacto de α_c en tiempo real para el tráfico

vigente no parece posible teniendo en cuenta la complejidad de los cálculos necesarios. Más adelante se describe una buena aproximación derivada de los resultados del tercer método.

El tercer método basado en el límite de un polinomio supone fuentes activadas/desactivadas y se basa en el cálculo de un parámetro α_p que depende de las características del conjunto de conexiones real o de uno representativo. El algoritmo para determinar α_p en el caso del tráfico real es más sencillo que el del método 2 para α_c y posiblemente puede aplicarse en tiempo real.

En las evaluaciones numéricas presentadas en [ViS98] se establece una relación empírica entre los valores de α calculados mediante los métodos 2 y 3. Se muestra que $\alpha_c \approx 2 \times \alpha_p$, de suerte que puede emplearse el cálculo sencillo de α_p conforme al método 3 para el realizar el CAC utilizando el límite de Chernoff descrito en el método 2.

Los métodos 2 y 3 se propusieron inicialmente para evaluar una velocidad de células equivalente utilizada en un algoritmo de CAC que asegure que la probabilidad de velocidad de llegada Λ_t que supera la velocidad de servicio c es inferior a un valor deseado. En este caso, los métodos están adaptados para los algoritmos de CAC basados en la CLR utilizando la relación de magnitud sencilla $CLR \approx Pr\{\Lambda_t > c\}/100$ (véase [RMV96] página 446).

I.1 Método 1 para el cálculo de la velocidad de células equivalente [RMV96]

- Para una fuente de velocidad media dada m_i y varianza σ_i^2 , se considera una fuente activada/desactivada equivalente de velocidad de cresta h_i tal que: $\sigma_i^2 = m_i(h_i - m_i)$.
- Se obtiene la "anchura de banda efectiva" eb_i de la forma siguiente:

$$eb_i = \begin{cases} am_i(1 + 3z_i(1 - m_i / h_i)), & \text{para } 3z_i \leq \min(3, h_i / m_i) \\ am_i(1 + 3z_i^2(1 - m_i / h_i)), & \text{para } 3 < 3z_i^2 \leq h_i / m_i \\ ah_i, & \text{en cualquier otro caso} \end{cases} \quad (I-1)$$

siendo $\alpha = 1 - \frac{\log_{10} \epsilon}{50}$ y $z_i = \frac{-2 \log_{10} \epsilon}{c / h}$

- La velocidad de célula equivalente para $CLR_{bs} \leq \epsilon$ es $ecr_i = eb_i$.

I.2 Método 2 para el cálculo de la velocidad de células equivalente [RMV96]

- Siendo $\lambda_i(t)$ la velocidad de la fuente i en el instante t se obtiene la función generadora del momento logarítmico de su distribución de la forma siguiente: $M_i(s) = \log_e E\{e^{s\lambda_i(t)}\}$.
- Se determina α de manera que la función $\sum_{i \in S} M_i(s) - sc$ se minimice para $s = \alpha_c$.

α_c puede evaluarse para dos definiciones del conjunto de conexiones S considerado en los sumatorios:

- el conjunto de conexiones real manejado en ese instante por el enlace o la VPC (método 2a);
- el conjunto de conexiones representativo R descrito anteriormente (método 2b).
- Se calcula la "anchura de banda efectiva" de la fuente i como $eb_i = M_i(\alpha_c) / \alpha_c$.
- Si se admiten conexiones mientras $\sum_I eb_i \leq c - \gamma / \alpha_c$, se asegura $Pr\{\sum \lambda_i(t) > c\} \leq e^{-\gamma}$.

- Se emplea la aproximación del orden de magnitud $CLR_{bs} \approx Pr \left\{ \sum \lambda_i(t) > c \right\} / 100$ a fin de obtener la velocidad de células equivalente para $CLR_{bs} \leq \varepsilon$:

$$ecr_i = \frac{eb_i}{c + \log_e(100\varepsilon) / \alpha_c} \times c \quad (I-2)$$

I.3 Método 3 para el cálculo de la velocidad de células equivalente [ViS 97]

- Para una fuente de una velocidad media dada m_i y una varianza σ_i^2 , se considera una fuente activada/desactivada equivalente de velocidad de cresta h_i de forma que $\sigma_i^2 = m_i(h_i - m_i)$.
- $e^{-\gamma}$ es la probabilidad de sobrecarga deseada y se define $\gamma_i = -\log_e \left(\frac{m_i}{h_i} \right)$.
- Se obtiene α_p y M de la forma siguiente:

$$\alpha_p = \frac{\gamma - \sum_{i \in P} \gamma_i}{c - \sum_{i \in P} h_i - \sum_{i \notin P} m_i}; M = c - \frac{\gamma}{\alpha_p} \quad (I-3)$$

siendo \mathbf{P} el conjunto de fuentes que satisfacen la condición: $\gamma_i / (h_i - m_i) < \alpha_p$.

- Como en el método 2, α_p puede evaluarse para dos definiciones del conjunto de conexiones consideradas en los sumatorios:
 - el conjunto de conexiones real manejado en ese instante por el enlace o la VPC (método 3a);
 - el conjunto de conexiones representativo \mathbf{R} descrito anteriormente (método 3b).
- Se calcula la "anchura de banda efectiva", eb_i , y la velocidad media modificada, m'_i , de la fuente i de la manera siguiente:

$$eb_i = \begin{cases} h_i & \text{si } i \in \mathbf{P} \\ h_i \sum_{k=0}^3 a_k^{(pi)} (\alpha_p h_i)^k & \text{si } i \notin \mathbf{P} \end{cases}$$

$$m'_i = \begin{cases} h_i - \frac{\gamma_i}{\alpha_p} & \text{si } i \in \mathbf{P} \\ m_i & \text{si } i \notin \mathbf{P} \end{cases} \quad (I-4)$$

siendo:

$$\begin{aligned} P_i &= m_i / h_i \\ a_0^{(pi)} &= P_i \\ a_1^{(pi)} &= 1,7 p_i (1 - p_i) \\ a_2^{(pi)} &= \begin{cases} p_i (1 - p_i) (1,72 - 4,06 p_i + 1,55 p_i^2) & \text{si } p_i \geq 0,04 \\ p_i (1 - p_i) (0,9 + 16,6 p_i) & \text{si } p_i < 0,04 \end{cases} \\ a_3^{(pi)} &= \frac{(1 - p_i)^4 - a_i^{(pi)} (1 - p_i)^2 |\log p_i| - a_2^{(pi)} (1 - p_i) |\log p_i|^2}{|\log p_i|^3} \end{aligned} \quad (I-5)$$

- Admitiendo conexiones mientras se cumple la condición:

$$\sum_I (eb_i + m_i) \leq c + M \quad (I-6)$$

se asegura una probabilidad de sobrecarga inferior a $e^{-\gamma}$. Obsérvese que con el método 3a, $\sum_I m_i = M$ y, por consiguiente, la anterior condición puede expresarse de la forma siguiente: $\sum_i eb_i \leq c$

- La ECR para una $CLR_{bs} \leq \varepsilon \approx e^{-\gamma}/100$ es:

$$ecr_i = \frac{c}{c + M} (eb_i + m_i) \quad (I-7)$$

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	Transmisiones de señales radiofónicas, de televisión 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 protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación