



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

E.527

(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 – Determinación
del número de circuitos necesarios en explotación
automática y semiautomática

**Dimensionado de un haz de circuitos con
servicios portadores multiintervalo y tráfico
de desbordamiento**

Recomendación UIT-T E.527

(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 SERVICIOS MÓVILES	
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

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

RECOMENDACIÓN UIT-T E.527

DIMENSIONADO DE UN HAZ DE CIRCUITOS CON SERVICIOS PORTADORES MULTIINTERVALO Y TRÁFICO DE DESBORDAMIENTO

Resumen

La presente Recomendación aborda los métodos de dimensionado de un conjunto de haces de circuitos con servicios portadores multiintervalo que consta de haces de primera elección y un haz de desbordamiento al que se ofrece el tráfico de desbordamiento de los haces de primera elección. A estos efectos, la presente Recomendación suministra ejemplos de métodos para el cálculo del grado de irregularidad del tráfico de desbordamiento y ejemplos de métodos para el cálculo de las probabilidades de bloqueo de llamada del haz de desbordamiento.

Orígenes

La Recomendación UIT-T E.527, 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 2000

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 de la presente Recomendación.....	1
2	Referencias.....	1
3	Términos y definiciones.....	1
4	Introducción.....	1
5	Modelado para el dimensionado de haces de circuitos.....	2
5.1	Modelado del tráfico ofrecido.....	2
5.2	Categorías de haces de circuitos.....	2
5.3	Objetivos de grado de servicio (GOS, <i>grade of service</i>).....	2
6	Caracterización del tráfico de desbordamiento de un haz de primera elección.....	3
6.1	Cálculo de la intensidad de tráfico de los flujos de desbordamiento individuales.....	3
6.2	Cálculo del factor de irregularidad de los flujos de desbordamiento individuales.....	3
7	Métodos de dimensionado de un haz de desbordamiento.....	3
7.1	Principios.....	3
7.2	Cálculo de las probabilidades individuales de bloqueo de llamada.....	4
8	Historial.....	4
9	Bibliografía.....	4
Anexo A – Ejemplos de métodos para calcular las varianzas de los flujos de desbordamiento procedentes de un haz de primera elección.....		4
A.1	Hipótesis y notaciones.....	4
A.2	Métodos de cálculo de la varianza.....	5
A.2.1	Método de la solución exacta.....	5
A.2.2	Método aproximado.....	6
Anexo B – Ejemplo de método para calcular las probabilidades individuales de bloqueo de llamada de un haz de desbordamiento.....		7
B.1	Método de red reducida.....	7
B.2	Notaciones.....	7
B.3	Determinación de la capacidad equivalente n_i	8
B.4	Congestión temporal Π	9
B.5	Probabilidad de bloqueo B_i	9
B.6	El segundo desbordamiento.....	9
B.7	Campo de aplicación.....	10
B.8	Tiempo de procesamiento y exigencias de programación.....	10

Recomendación E.527

DIMENSIONADO DE UN HAZ DE CIRCUITOS CON SERVICIOS PORTADORES MULTIINTERVALO Y TRÁFICO DE DESBORDAMIENTO

(revisada en 2000)

1 Alcance de la presente Recomendación

La presente Recomendación aborda los métodos de dimensionado de un conjunto de haces de circuitos con servicios portadores multiintervalo que consta de haces de primera elección y un haz de desbordamiento al que se ofrece el tráfico de desbordamiento de los haces de primera elección. A estos efectos, la presente Recomendación suministra ejemplos de métodos para el cálculo del grado de irregularidad del tráfico de desbordamiento y ejemplos de métodos para el cálculo de las probabilidades de bloqueo de llamada del haz de desbordamiento.

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.524 (1999), *Aproximaciones del tráfico de desbordamiento para flujos de tráfico no aleatorios.*
- Recomendación UIT-T E.526 (1993), *Dimensionamiento de haces de circuitos con servicios portadores multiintervalo y sin entradas de desbordamiento.*
- Recomendación CCITT E.731 (1992), *Métodos para dimensionar recursos que funcionan en modo conmutación de circuitos.*
- Recomendación UIT-T E.737 (1997), *Métodos de dimensionamiento en la red digital de servicios integrados de banda ancha.*

3 Términos y definiciones

En la Recomendación E.600 figura la terminología general sobre ingeniería de tráfico utilizada en esta Recomendación.

4 Introducción

Esta Recomendación presenta métodos para el dimensionado de haces de circuitos con servicios portadores multiintervalo y tráfico de desbordamiento. En la Recomendación E.526 se presentan métodos para el dimensionado de haces de circuitos con servicios portadores multiintervalo y sin tráfico de desbordamiento. Así, la presente Recomendación complementa la Recomendación E.526.

Esta Recomendación contempla un haz de desbordamiento al que se ofrecen múltiples flujos de tráfico de desbordamiento de los haces de primera elección. Se supone que tanto los haces de

desbordamiento como los haces de primera elección funcionan con total disponibilidad (véase la Recomendación E.731).

Los flujos de tráfico individuales se expresarán, por un lado, en llamadas como en la Recomendación E.524 y, por otro lado, en circuitos ocupados como en la Recomendación E.526.

La presente Recomendación está vinculada también con las Recomendaciones E.731 y E.737, ya que los métodos de dimensionado presentados en esas Recomendaciones se basan en la técnica de modelado de tráfico multiintervalo de una red con conmutación de circuitos que cursa tráfico mixto con diferentes requisitos de anchura de banda.

5 Modelado para el dimensionado de haces de circuitos

5.1 Modelado del tráfico ofrecido

Para la ingeniería de tráfico, el tráfico portador multiintervalo se caracteriza frecuentemente por los parámetros siguientes:

- identificación del flujo de tráfico, denominada i ;
- tasa de llegada de llamadas del flujo de tráfico i , denominada λ_i ;
- tiempo medio de ocupación del flujo de tráfico i , denominado $1/\mu_i$;
- número de circuitos ocupados por una llamada en el flujo de tráfico i , denominado d_i ;
- intensidad de tráfico medida en número de llamadas en el flujo de tráfico i , denominada A_i ($A_i = \lambda_i/\mu_i$);
- factor de irregularidad del flujo de tráfico i , denominado Z_i .

5.2 Categorías de haces de circuitos

En esta Recomendación se examinan las dos categorías siguientes de haces de circuitos con servicios portadores multiintervalo.

a) *Haz de primera elección*

Un haz de primera elección es un haz de circuitos al que se ofrece tráfico fresco. El tráfico fresco se modela mediante un proceso de llegada de Poisson, de suerte que su factor de irregularidad es uno. El haz de primera elección con servicios portadores multiintervalo puede cursar varios flujos de tráfico de llamadas que ocupan diferentes números de intervalos de tiempo cuando son aceptadas.

De conformidad con las definiciones y notaciones de la Recomendación E.526, el tamaño del haz de primera elección viene representado por el número de circuitos del haz.

b) *Haz de desbordamiento*

Un haz de desbordamiento es un haz de circuitos al que se ofrece tráfico de desbordamiento de los haces de primera elección. Puede cursar también el tráfico fresco que se le ofrezca.

El tamaño del haz de desbordamiento es representado también por el número de circuitos del haz.

5.3 Objetivos de grado de servicio (GOS, *grade of service*)

A los efectos del dimensionamiento de los haces de circuitos con servicios portadores multiintervalo, las probabilidades de bloqueo de llamada se consideran parámetros importantes de GOS. Así, en el proceso de dimensionamiento de una red que consta de haces de circuitos se utilizan a menudo los objetivos de probabilidades de bloqueo de llamada de enlace y/o de llamada de extremo a extremo. Teniendo en cuenta que las probabilidades de bloqueo de llamada de extremo a extremo se calculan

frecuentemente a partir de las probabilidades de bloqueo de llamada de enlace y de los diagramas de encaminamiento descritos en la Recomendación E.737, es importante evaluar las probabilidades de bloqueo de llamada individual en un haz de circuitos. Por consiguiente, esta Recomendación se centra en los métodos de cálculo de las probabilidades de bloqueo de llamada individual a nivel del haz de circuitos.

6 Caracterización del tráfico de desbordamiento de un haz de primera elección

6.1 Cálculo de la intensidad de tráfico de los flujos de desbordamiento individuales

Una vez obtenidas las probabilidades individuales de bloqueo de llamada en un haz de primera elección, las intensidades de tráfico O_i de los flujos de desbordamiento individuales pueden evaluarse como sigue:

$$O_i = A_i B_i \quad (6-1)$$

donde B_i indica la probabilidad de bloqueo de llamada del i -ésimo flujo de tráfico en el primer haz de primera elección. En las Recomendaciones E.526, E.731 y E.737 figuran ejemplos de métodos de cálculo de la probabilidad de bloqueo de llamada B_i .

6.2 Cálculo del factor de irregularidad de los flujos de desbordamiento individuales

Para caracterizar el tráfico de desbordamiento con miras a dimensionar el haz de desbordamiento, se emplean a menudo los factores de irregularidad de los flujos de tráfico de desbordamiento individuales ofrecidos al haz de desbordamiento. El factor de irregularidad Z_i se define como:

$$Z_i = V_i / O_i \quad (6-2)$$

donde V_i indica la varianza del tráfico de desbordamiento.

En el anexo A figuran ejemplos de métodos de cálculo de las varianzas y, por ende, de los factores de irregularidad de los flujos de desbordamiento individuales.

7 Métodos de dimensionado de un haz de desbordamiento

7.1 Principios

El problema básico del dimensionado de un haz de desbordamiento consiste en la determinación del tamaño del haz y de los valores de los parámetros de los diagramas de protección del servicio, tales como la reserva de circuitos (véanse las Recomendaciones E.731 y E.737) si procede, teniendo en cuenta los objetivos de bloqueo de llamada, de manera económica para una determinada condición de tráfico ofrecido. Obsérvese que los flujos de tráfico de desbordamiento ofrecidos al haz pueden caracterizarse mediante su intensidad y su factor de irregularidad de tráfico. Si el tráfico de desbordamiento es ofrecido directamente a partir de un haz de primera elección, su intensidad y su factor de irregularidad pueden calcularse utilizando los métodos expuestos en la cláusula 6.

Para dimensionar el haz de desbordamiento, se utiliza, en principio, el siguiente procedimiento iterativo:

Paso 1: Empezar con un conjunto inicial de valores de tamaño de haz y, si procede, de parámetros de diagramas de protección de servicio.

Paso 2: Evaluar las probabilidades individuales de bloqueo de llamada en el haz para el conjunto actual de tamaño de haz y de valores de parámetros, a fin de verificar si se cumplen los objetivos en materia de bloqueo.

Paso 3: Si se cumplen todos los objetivos, además de un determinado criterio de optimización, terminar el procedimiento. En caso contrario, modificar el tamaño del haz y/o los valores de los parámetros de los diagramas de protección del servicio y volver al paso 2.

Como se ve en el paso 2 anterior, es necesario calcular todas las probabilidades de bloqueo de llamada del haz.

7.2 Cálculo de las probabilidades individuales de bloqueo de llamada

Existen varios métodos para calcular probabilidades aproximadas individuales de bloqueo de llamada en el haz de desbordamiento. En el cuadro A.1/E.737 se da una lista (no exhaustiva) de los métodos disponibles.

En el anexo B se presenta otro ejemplo de método que no figura en el cuadro A.1/E.737.

8 Historial

Primera versión en 1995, revisada en 2000.

9 Bibliografía

- [1] ODA (T.): Moment Analysis for Traffic Associated with Markovian queueing Systems, *IEEE Transactions on Communications*, Vol. 39, No. 5, págs. 737-746, mayo de 1991.
- [2] LE GALL (P.): Overflow traffic combination and cluster engineering, *Proceedings of ITC-11*, Documento 2.2 B-1, Kyoto 1985.
- [3] de PAZ, (C.): A non linear dynamic analysis of overflow traffic, *Comunicaciones de Telefónica I + D*, N.º 19, diciembre de 2000.

ANEXO A

Ejemplos de métodos para calcular las varianzas de los flujos de desbordamiento procedentes de un haz de primera elección

A.1 Hipótesis y notaciones

Considérese un haz de primera elección con servicios portadores multiintervalo al que se le introducen flujos de tráfico que siguen la distribución de Poisson. Se supone que el haz de circuitos funciona con total disponibilidad. Se emplean las notaciones siguientes:

Parámetros del modelo

- N capacidad del haz (número de intervalos del haz).
- I número de flujos de tráfico.
- i identificador de flujo de tráfico, $i = 1, 2, \dots, I$.
- λ_i tasa de llegada del flujo de tráfico i .
- μ_i recíproca del tiempo de ocupación medio de las llamadas en el flujo i .
- A_i intensidad de tráfico medida en número de llamadas, $A_i = \lambda_i/\mu_i$.
- d_i número de circuitos utilizados por una llamada en el flujo i .
- B_i probabilidad de bloqueo de llamada del flujo de tráfico i del haz de primera elección.
- O_i media de desbordamiento i .

V_i varianza de desbordamiento i .
 Z_i factor de irregularidad de desbordamiento i .

Notaciones para el cálculo

n_i número de llamadas en curso en el flujo i .
 \mathbf{n} estado del haz, $\mathbf{n} = (n_1, n_2, \dots, n_I)$.
 E espacio de estados del haz $E = (\mathbf{n})$.
 $|E|$ número total de estados del espacio de estados E .
 \mathbf{Q} matriz de coeficientes $|E| \times |E|$ de las ecuaciones de régimen permanente.
 π vector de probabilidades de estado permanente del haz.
 \mathbf{R}_i matriz de tasas de desbordamiento $|E| \times |E|$ del flujo de tráfico i .
 \mathbf{f}_i vector del primer momento del flujo de desbordamiento i .
 F_i primer momento del flujo de desbordamiento i .
 S_i segundo momento del flujo del desbordamiento i .
 \mathbf{e} vector $|E| \times 1$ cuyos elementos son todos iguales a la unidad.
 \mathbf{I} matriz diagonal $|E| \times |E|$ cuyos elementos de la diagonal son todos iguales a la unidad.

Obsérvese que las probabilidades de estado permanente π se dan como solución de $\pi\mathbf{Q} = 0$ y $\pi\mathbf{e} = 1$ y que, en casos especiales, la solución reviste la forma de un producto, como se indica en las Recomendaciones E.526, E.731 y E.737.

La matriz de tasas de desbordamiento $\mathbf{R}_i = [r_i(\mathbf{n}_1, \mathbf{n}_2)]$ es una matriz diagonal cuyo \mathbf{n} -ésimo elemento de la diagonal, $r_i(\mathbf{n}, \mathbf{n})$, es:

$$r_i(\mathbf{n}, \mathbf{n}) = \begin{cases} \lambda_i & : \text{ si una llamada entrante en el flujo } i \text{ es rechazada en el estado } \mathbf{n}, \\ 0 & : \text{ en los demás casos.} \end{cases} \quad (\text{A.1-1})$$

A.2 Métodos de cálculo de la varianza

A.2.1 Método de la solución exacta

La media y la varianza del desbordamiento del flujo i pueden calcularse mediante el procedimiento de cálculo exacto siguiente:

Procedimiento de método de cálculo

Paso 1) Calcular π y B_i .

Paso 2) Calcular la media O_i de $O_i = A_i B_i$.

Paso 3) Resolver el siguiente sistema de ecuaciones lineales para determinar el vector \mathbf{f}_i :

$$\mathbf{f}_i (\mu_i \mathbf{I} - \mathbf{Q}) = \pi \mathbf{R}_i \quad (\text{A.2-1})$$

Paso 4) Calcular F_i y S_i mediante:

$$F_i = O_i \quad (\text{A.2-2})$$

$$S_i = \left(\frac{1}{\mu_i} \right) \mathbf{f}_i \mathbf{R}_i \mathbf{e} + F_i \quad (\text{A.2-3})$$

Paso 5) Calcular la varianza V_i y el factor de irregularidad Z_i mediante:

$$V_i = S_i - (F_i)^2 \quad (\text{A.2-4})$$

$$Z_i = V_i / O_i \quad (\text{A.2-5})$$

En [1] se expone la justificación de las ecuaciones (A.2-1) a (A.2-3) y se ofrecen ejemplos numéricos. El anterior procedimiento de cálculo de las varianzas puede aplicarse también a los haces multiintervalo en los que se emplea un esquema de protección tal como la reserva de circuitos descrito en las Recomendaciones E.526, E.731 y E.737.

Debe observarse que, cuando el tamaño del haz y/o el número de flujos de tráfico son grandes, la complejidad del cálculo de la solución de la ecuación (A.2-1) del paso 3) es considerable debido al gran número de dimensiones.

A.2.2 Método aproximado

Con el fin de reducir la complejidad del cálculo para obtener el segundo momento S_i , puede utilizarse el siguiente método aproximado cuando el haz de circuitos funciona con plena disponibilidad.

El principio del método aproximado consiste en establecer un proceso estocástico hipotético cuyo espacio de estados tiene un tamaño manejable, más pequeño que el del espacio de estados original E . Considérese un espacio de estados $E' = (j : 0 \leq j \leq N)$. Suponiendo que el haz es explotado con una política de compartición completa y que se conocen las probabilidades π , y siendo E_j un subespacio de E del haz tal que $J = (\mathbf{n} : \sum_{i=1,2,\dots,I} d_i n_i = j)$, las tasas de transición de estado $q(j_1, j_2)$ en el espacio de estados E' son:

$$q(j_1, j_2) = \begin{cases} \lambda_i & : 0 \leq j_1 \leq N - d_i, j_2 = j_1 + d_i, \text{ para todos los valores de } i, \\ \xi_i(j_i) & : d_i \leq j_1 \leq N, j_2 = j_1 - d_i, \text{ para todos los valores de } i, \\ 0 & : \text{ en los demás casos} \end{cases} \quad (\text{A.2-6})$$

donde $\xi_i(j)$ viene dado por:

$$\xi_i(j) = \mu_i E \left[n_i \mid \sum_{i=1,2,\dots,I} d_i n_i = j \right] = \mu_i \left\{ \sum_{\mathbf{n} \in E_j} n_i \pi(\mathbf{n}) \right\} / \left\{ \sum_{\mathbf{n} \in E_j} \pi(\mathbf{n}) \right\} \quad (\text{A.2-7})$$

Se utilizan las notaciones siguientes en lo concerniente al modelo de transición de estados:

Q' matriz $N \times N$ de los coeficientes de las ecuaciones de estado permanente, $Q' = [q(j_1, j_2)]$.

π' vector $N \times 1$ con N elementos que satisface el sistema de ecuaciones $\pi' Q' = 0$ y $\pi' \mathbf{e} = 1$

R_i' matriz $N \times N$ de tasas de desbordamiento del flujo de tráfico i .

f_i' vector del primer momento del flujo de desbordamiento i .

S_i' segundo momento aproximado del flujo de desbordamiento i .

Obsérvese que $\pi'(j) = \sum_{\mathbf{n} \in E_j} \pi(\mathbf{n})$. La matriz $R_i' = [r_i'(j_1, j_2)]$ es una matriz diagonal cuyo j -ésimo elemento de la diagonal $r_i'(j, j)$ es:

$$r_i'(j, j) = \begin{cases} \lambda_i & : \text{ si una llamada entrante en el flujo } i \text{ es rechazada en el estado } j, \\ 0 & : \text{ en los demás casos.} \end{cases} \quad (\text{A.2-8})$$

El procedimiento de cálculo de una aproximación de la varianza de cada flujo de desbordamiento puede construirse como sigue:

Procedimiento de aproximación

Paso 1) Calcular π y B_i .

Paso 2) Calcular la media O_i de $O_i = A_i B_i$.

Paso 3) Resolver el siguiente sistema de ecuaciones lineales para determinar el vector f_i' :

$$f_i' (\mu_i I - Q') = \pi' R_i' \quad (\text{A.2-9})$$

Paso 4) Calcular F_i y S_i' mediante:

$$F_i = O_i \quad (\text{A.2-10})$$

$$S_i' = (1/\mu_i) f_i' R_i' e + F_i \quad (\text{A.2-11})$$

Paso 5) Calcular la varianza V_i y el grado de irregularidad Z_i aproximados mediante:

$$V_i' = S_i' - (F_i)^2 \quad (\text{A.2-12})$$

$$Z_i' = V_i' / O_i \quad (\text{A.2-13})$$

En [1] pueden hallarse ejemplos numéricos. En particular, cuando todas las tasas de servicio μ_i son iguales y no se aplica la reservación de circuitos, la aproximación es buena.

ANEXO B

Ejemplo de método para calcular las probabilidades individuales de bloqueo de llamada de un haz de desbordamiento

B.1 Método de red reducida

Este método se deriva de [2].

B.2 Notaciones

Para el tráfico de desbordamiento parcial de $n^{0,i}$ ($i = 1, \dots, x$)

- número de intervalos de tiempo simultáneos: d_i .
- intensidad de tráfico (en llamadas): b_i .
- intensidad de tráfico (en circuitos): $(b_i \cdot d_i)$.
- función de desbordamiento: $\rho_i(n)$.
- factor de irregularidad: $z_i = \frac{\text{varianza}}{\text{media}}$ (de tráfico).
- capacidad equivalente (en llamadas): n_i .

Para el haz de circuitos de primera elección de $n^{0,i}$

- número de circuitos: m_i .
- intensidad de tráfico ofrecida (en llamadas): a_i .
- probabilidad de desbordamiento: $p_i = E_{m_i/d_i}(a_i)$, donde $E_n(a)$ es la fórmula de pérdida de llamadas de Erlang ampliada al caso en que n no tiene que ser un entero. Tenemos la relación: $b_i = a_i p_i$.

Para el haz de desbordamiento

- número de circuitos: N .
- intensidad de tráfico total (en llamadas): $b = \sum_{i=1}^x b_i$
- intensidad de tráfico total (en circuitos): $M = \sum_{i=1}^x b_i d_i$
- factor de reducción: Z_0 .
- congestión temporal: Π
 - segunda intensidad de tráfico de desbordamiento (en llamadas): O_i .
 - probabilidad de bloqueo parcial: $B_i = O_i/b_i$.

B.3 Determinación de la capacidad equivalente n_i

La función de desbordamiento $\rho_i(n)$ se define mediante el siguiente proceso recurrente, derivado del proceso recurrente (6-1) de E.524:

$$\rho_i(0) = p_i = E_{m_i/d_i}, \rho_i(n) = p_i = E_{m_i/d_i} \left(a_i, \frac{n}{\rho_i(n)} = \left(\frac{m_i}{d_i} + n - a_i \right) + a_i \rho_i(n-1) \right) \quad (\text{B-1})$$

Este proceso recurrente puede producir inestabilidades numéricas, que a su vez provocan valores con errores numéricos apreciables cuando se cumple la siguiente condición:

$$\frac{\alpha_i(n) - \sqrt{a_i \cdot (n+1)}}{a_i} < \rho_i(n) < \frac{\alpha_i(n) + \sqrt{a_i \cdot (n+1)}}{a_i} \quad (\text{B-2})$$

con:

$$\alpha_i(n) = a_i - \frac{m_i}{d_i} - n - 1 \quad (\text{B-3})$$

Para evitar esta dificultad de cálculo puede utilizarse el siguiente límite superior estricto de $\rho_i(n)$ (véase [3]):

$$\rho_i(n) < \frac{\sqrt{\alpha_i^2(n) + 4a_i \cdot (n+1)} - \alpha_i(n)}{2a_i} \quad (\text{B-4})$$

con $\alpha_i(n)$ dado por la fórmula (B-3). Este límite superior tiene las dos propiedades siguientes:

- a) El límite superior se hace más estricto cuando n aumenta;
- b) Se calcula directamente por la fórmula (B-4) sin el proceso recursivo.

La *capacidad equivalente* n_i (en llamadas) es la solución del siguiente conjunto de ecuaciones, derivado del conjunto (6-2) de la Recomendación E.524:

$$\frac{n_i}{N} = \frac{a_i \rho_i(n_i) / D_i(n_i + 1)}{\sum_{k=1}^x a_k d_k \rho_k(n_k) / D_k(n_k + 1)}, \quad i = 1, \dots, x \quad (\text{B-5})$$

con:

$$D_i(n) = 1 + a_i [\rho_i(n) - \rho_i(n-1)] \quad (\text{B-6})$$

La única modificación es la inserción del parámetro d_k en el denominador de (6-2) de E.524. El factor de irregularidad z_i viene dado por la expresión:

$$z_i = D_i(1) \quad (\text{B-7})$$

NOTA – Para el tráfico directo tenemos: $m_i = 0, b_i = a_i, \rho_i(n) = D_i(n) = 1$.

B.4 Congestión temporal Π

La expresión (A-3) del anexo A/E.526 se transforma en:

$$\Pi = B_1 \approx \left(\frac{1}{Z_0} \right) \cdot E_{N/Z_0} \left(\frac{M}{Z_0} \right) \quad (\text{B-8})$$

siendo entonces el factor de reducción:

$$Z_0 = \frac{\sum_{i=1}^x a_i d_i^2 \rho_i(n_i)}{\sum_{i=1}^x b_i d_i} \quad (\text{B-9})$$

$E_n(a)$ es la fórmula de pérdida de llamadas de Erlang con n fraccionario. Se recordará que Π es igual a la probabilidad de bloqueo B_1 de un tráfico directo ($m_i = 0$) con intervalos de tiempo simples ($d_i = 1$) y llegadas de conformidad con la ley de distribución de Poisson.

B.5 Probabilidad de bloqueo B_i

El factor $H_i(d_i)$ es el mismo que el factor H_i del anexo A/E.526. Así, obtenemos para la probabilidad de bloqueo del flujo de tráfico parcial $n^{0,i}$:

$$B_i = B_1 \cdot \frac{\rho_i(n_i)}{E_{m_i/d_i}(a_i)} \cdot H_i(d_i) \quad \text{con} \quad H_i(d_i) = \frac{K^{d_i} - 1}{K - 1} \quad (\text{B-10})$$

donde el término K se define como:

$$K = \left[\frac{N}{M} \right]^{1/Z} \quad \text{con:} \quad V = \sum_{i=1}^x b_i d_i^2 \quad \text{y} \quad Z = \frac{V}{M} \quad (\text{B-11})$$

B.6 El segundo desbordamiento

La fórmula (6-4) de E.524 da ahora, para la intensidad del *segundo desbordamiento parcial* O_i (en llamadas):

$$O_i = a_i \rho_i(n_i) H_i(d_i) \times \Pi \quad (\text{B-12})$$

De manera similar, la fórmula (6-5) de E.524 modificada da, para la igualdad de grado de servicio parcial:

$$\rho_i(n_i) \cdot H_i(d_i) = C \quad (\text{B-13})$$

donde C es una constante adecuada desde el punto de vista económico.

NOTA – Esta igualdad sólo es posible para un valor d_i bastante bajo. Para las comunicaciones vídeo (d_i grande), es necesario recurrir a métodos de protección del servicio.

B.7 Campo de aplicación

Este método de aproximación puede utilizarse para:

$$d \leq 10, \quad z \leq 3 \quad (\text{B-14})$$

B.8 Tiempo de procesamiento y exigencias de programación

Tienen validez aproximada los valores que figuran en el cuadro 2/E.524.

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 del protocolo Internet
Serie Z	Lenguajes y aspectos generales de soporte lógico para sistemas de telecomunicación

18545

Impreso en Suiza
Ginebra, 2001