



UNIÓN INTERNACIONAL DE TELECOMUNICACIONES

UIT-T

SECTOR DE NORMALIZACIÓN
DE LAS TELECOMUNICACIONES
DE LA UIT

E.352

(03/2000)

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

Explotación, numeración, encaminamiento y servicio
móvil – Disposiciones de la RDSI relativas a los
usuarios – Plan de encaminamiento internacional

**Directrices sobre métodos de encaminamiento
eficaces**

Recomendación UIT-T E.352

(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

RECOMENDACIÓN UIT-T E.352

DIRECTRICES SOBRE MÉTODOS DE ENCAMINAMIENTO EFICACES

Resumen

Las políticas sobre encaminamiento que suelen utilizarse en redes ATM e IP no tienen del todo en cuenta las inestabilidades y pérdidas drásticas de caudal que pueden producirse cuando hay congestión de tráfico. En esos casos se recomienda reservar la anchura de banda y evitar largos trayectos, con lo cual se puede lograr una utilización más eficaz de los recursos de la red. Además, hay una marcada tendencia a utilizar métodos de encaminamiento dependiente del estado (SDR) en las redes ATM e IP. No obstante, las técnicas de inundación generalmente empleadas por estos métodos SDR para distribuir información sobre la situación de la red pueden ocasionar una utilización ineficaz de los recursos de la red. Se recomienda tener en cuenta otros criterios posibles, tales como el método de encaminamiento dependiente del evento (EDR) y/o una distribución más eficaz de la información sobre la situación de la red. Finalmente, para asegurar la calidad de funcionamiento del servicio se recomiendan reglas de encaminamiento orientado a la QoS, por ejemplo, evitar el retardo excesivo de transferencia limitando el número de saltos de satélite en una conexión de extremo a extremo.

Orígenes

La Recomendación UIT-T E.352 ha sido preparada 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	1
2 Referencias.....	2
3 Definiciones	2
4 Abreviaturas.....	3
5 Métodos de encaminamiento recomendados	4
5.1 Métodos de reserva de la anchura de banda.....	4
5.2 Selección de rutas	7
5.3 Encaminamiento con QoS	8
6 Ejemplos de métodos de encaminamiento recomendados.....	9
6.1 Ejemplo de métodos de reserva de anchura de banda.....	9
6.2 Ejemplo de métodos de selección de ruta.....	9
Anexo A – Métodos de encaminamiento intrarred TDM	11
A.1 Encaminamiento fijo (FR)	11
A.2 Encaminamiento dependiente del tiempo (TDR)	11
A.3 Encaminamiento dependiente del estado (SDR).....	12
A.4 Encaminamiento dependiente del evento (EDR).....	13
Apéndice I – Bibliografía.....	14

Introducción

Hay muchos operadores que han implementado redes múltiples en las que se emplean diferentes protocolos, entre ellas, las redes telefónicas públicas conmutadas (RTPC) que utilizan técnicas tales como la multiplexación por división en el tiempo (TDM), el modo de transferencia asíncrono (ATM) y/o el protocolo Internet (IP). En las redes basadas en las técnicas TDM, ATM e IP (en adelante, redes TDM, ATM e IP) se emplean diversos protocolos de encaminamiento. Por ejemplo, en la Recomendación E.350 se describen métodos de encaminamiento fijo y dinámico para utilizar en las redes TDM. En las redes ATM la norma sobre la interfaz red-red privada (PNNI) aprobada por el Foro ATM [ATM960055] estipula el intercambio de información sobre la situación de nodos y enlaces, la actualización y sincronización automáticas de las bases de datos de topología y la selección de rutas dinámicas basadas en la información sobre situación y topología de la red. En las redes IP, por ejemplo, la norma relativa al primer trayecto más corto abierto (OSPF) y otras normas aprobadas por el Grupo de tareas especiales de Ingeniería en Internet (IETF) [M98] y [S95] contemplan las mismas características que la norma de la PNNI, pero en una red de paquetes IP sin conexión. La norma OSPF prevé además el intercambio de información sobre la situación de nodos y enlaces, la actualización y sincronización automáticas de las bases de datos de topología y la selección de rutas dinámicas basadas en la información sobre situación y topología de la red.

En esta Recomendación se formulan directrices sobre métodos de encaminamiento eficaces que se han estudiado, aprendido e implementado a lo largo de muchos años de experiencia en redes TDM. Estas directrices y métodos de encaminamiento se aplican tanto a las redes ATM como a las redes IP, y se recomiendan para dichas redes. En la presente Recomendación se señala que las políticas sobre encaminamiento que suelen utilizarse en redes ATM e IP no tienen del todo en cuenta las inestabilidades y pérdidas drásticas de caudal que pueden producirse cuando hay congestión de tráfico. En tal caso se recomienda reservar la anchura de banda y evitar largos trayectos, con lo cual se puede lograr una utilización más eficaz de los recursos de la red. Además, hay una marcada tendencia a utilizar métodos de encaminamiento dependiente del estado (SDR) en las redes ATM e IP. No obstante, las técnicas de inundación generalmente empleadas por los métodos SDR para distribuir información sobre la situación de la red pueden ocasionar una utilización ineficaz de los recursos de la red. Se recomienda tener en cuenta otros criterios posibles, tales como el método de encaminamiento dependiente del evento (EDR) y la distribución más eficaz de la información sobre la situación de la red. Finalmente, para asegurar la calidad de funcionamiento del servicio, se recomiendan las reglas de encaminamiento orientado a la QoS, por ejemplo, evitar el retardo excesivo de transferencia limitando el número de saltos de satélite en una conexión de extremo a extremo.

Recomendación E.352

DIRECTRICES SOBRE MÉTODOS DE ENCAMINAMIENTO EFICACES

(Ginebra, 2000)

Introducción

Hay muchos operadores que han implementado redes múltiples en las que se emplean diferentes protocolos, entre ellas, las redes telefónicas públicas conmutadas (RTPC) que utilizan técnicas tales como la multiplexación por división en el tiempo (TDM, *time division multiplexing*), el modo de transferencia asíncrono (ATM, *asynchronous transfer mode*) y/o el protocolo Internet (IP, *Internet protocol*). En las redes basadas en las técnicas TDM, ATM e IP (en adelante, redes TDM, ATM e IP) se emplean diversos protocolos de encaminamiento. Por ejemplo, en la Recomendación E.350 se describen métodos de encaminamiento fijo y dinámico para utilizar en las redes TDM. En las redes ATM la norma sobre la interfaz red-red privada (PNNI, *private network-network interface*) aprobada por el Foro ATM [ATM960055] estipula el intercambio de información sobre la situación de nodos y enlaces, la actualización y sincronización automáticas de las bases de datos de topología y la selección de rutas dinámicas basadas en la información sobre situación y topología de la red. En las redes IP, por ejemplo, la norma relativa al primer trayecto más corto abierto (OSPF, *open shortest path first*) y otras normas aprobadas por el Grupo de tareas especiales de Ingeniería en Internet (IETF, *Internet engineering task force*) [M98] y [S95] contemplan las mismas características que la norma de la PNNI, pero en una red de paquetes IP sin conexión. La norma OSPF prevé además el intercambio de información sobre la situación de nodos y enlaces, la actualización y sincronización automáticas de las bases de datos de topología y la selección de rutas dinámicas basadas en la información sobre situación y topología de la red.

En esta Recomendación se formulan directrices sobre métodos de encaminamiento eficaces que se han estudiado, aprendido e implementado a lo largo de muchos años de experiencia en redes TDM. Estas directrices y métodos de encaminamiento se aplican tanto a las redes ATM como a las redes IP, y se recomiendan para dichas redes. En la presente Recomendación se señala que las políticas sobre encaminamiento que suelen utilizarse en redes ATM e IP no tienen del todo en cuenta las inestabilidades y pérdidas drásticas de caudal que pueden producirse cuando hay congestión de tráfico. En tal caso se recomienda reservar la anchura de banda y evitar largos trayectos, con lo cual se puede lograr una utilización más eficaz de los recursos de la red. Además, hay una marcada tendencia a utilizar métodos de encaminamiento dependiente del estado (SDR, *state-dependent-routing*) en las redes ATM e IP. No obstante, las técnicas de inundación generalmente empleadas por los métodos SDR para distribuir información sobre la situación de la red pueden ocasionar una utilización ineficaz de los recursos de la red. Se recomienda tener en cuenta otros criterios posibles, tales como el método de encaminamiento dependiente del evento (EDR, *event-dependent-routing*) y la distribución más eficaz de la información sobre la situación de la red. Finalmente, para asegurar la calidad de funcionamiento del servicio, se recomiendan las reglas de encaminamiento orientado a la QoS, por ejemplo, evitar el retardo excesivo de transferencia limitando el número de saltos de satélite en una conexión de extremo a extremo.

1 Alcance

La presente Recomendación formula directrices para el diseño de métodos de encaminamiento en redes TDM, ATM e IP y hace recomendaciones sobre la reserva de anchura de banda, la selección de rutas y el encaminamiento orientado a la QoS. Las directrices que se recomiendan se basan en prácticas establecidas (en particular cuando se aplican a redes RTPC con técnicas TDM), y se examinan los casos en que la RTPC ha evolucionado hasta incorporar técnicas IP o ATM. La

cláusula 5 establece directrices sobre métodos de encaminamiento y la cláusula 6 da ejemplos de utilización de dichos métodos.

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.

- [E.164] UIT-T E.164 (1997), *Plan internacional de numeración de telecomunicaciones públicas*.
- [E.170] UIT-T E.170 (1992), *Encaminamiento del tráfico*.
- [E.177] UIT-T E.177 (1996), *Encaminamiento en la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA)*.
- [E.350] UIT-T E.350 (2000), *Interfuncionamiento de encaminamiento dinámico*.
- [E.351] UIT-T E.351 (2000), *Encaminamiento de conexiones multimedios a través de redes TDM, ATM e IP*.
- [E.412] UIT-T E.412 (1998), *Controles de gestión de la red*.
- [E.525] UIT-T E.525 (1992), *Diseño de redes para controlar el grado de servicio*.
- [E.529] UIT-T E.529 (1997), *Dimensionado de redes utilizando los objetivos de grado de servicio de extremo a extremo*.

3 Definiciones

En esta Recomendación se definen los términos siguientes.

- 3.1 enlace:** Medio de transmisión de anchura de banda entre nodos proyectado como una unidad.
- 3.2 nodo de destino:** Nodo de terminación dentro de una determinada red.
- 3.3 nodo:** Elemento de red (conmutador, encaminador/conmutador, central) que ofrece capacidades de conmutación y encaminamiento, o un reagrupamiento de esos tipos de elementos que representan una red.
- 3.4 par O-D:** Par nodo de origen a nodo de destino para una determinada petición de conexión/asignación de anchura de banda.
- 3.5 nodo de origen:** Nodo de origen dentro de una determinada red.
- 3.6 ruta:** Concatenación de enlaces que proporcionan una conexión/asignación de anchura de banda entre un par O-D.
- 3.7 conjunto de rutas:** Rutas que conectan el mismo par O-D.
- 3.8 tabla de encaminamiento:** Describe las numerosas rutas y las reglas para seleccionar una ruta del conjunto de rutas en respuesta a una petición de conexión/asignación de anchura de banda.
- 3.9 flujo de tráfico:** Clase de peticiones de conexión con las mismas características de tráfico.
- 3.10 nodo intermedio:** Nodo situado en una ruta dentro de una determinada red.

4 Abreviaturas

En esta Recomendación se utilizan las siguientes siglas.

AAR	Encaminamiento alternativo automático (<i>automatic alternate routing</i>)
ABR	Velocidad binaria disponible (<i>available bit rate</i>)
AESA	Dirección de sistema de extremo del modo de transferencia asíncrono (<i>ATM end system address</i>)
ARR	Reencaminamiento automático (<i>automatic rerouting</i>)
AS	Sistema autónomo (<i>autonomous system</i>)
ATM	Modo de transferencia asíncrono (<i>asynchronous transfer mode</i>)
BGP	Protocolo de pasarela de frontera (<i>border gateway protocol</i>)
BW	Anchura de banda; ancho de banda (<i>bandwidth</i>)
CAC	Control de admisión de llamada (<i>call admission control</i>)
CBR	Velocidad binaria constante (<i>constant bit rate</i>)
CCS	Señalización por canal común (<i>common channel signalling</i>)
DADR	Encaminamiento dinámico adaptativo distribuido (<i>distributed adaptive dynamic routing</i>)
DAR	Encaminamiento alternativo dinámico (<i>dynamic alternate routing</i>)
DCR	Encaminamiento dinámicamente controlado (<i>dynamically controlled routing</i>)
DIFFSERV	Servicio diferenciado (<i>differentiated services</i>)
DN	Nodo de destino (<i>destination node</i>)
DNHR	Encaminamiento dinámico no jerárquico (<i>dynamic non-hierarchical routing</i>)
DTL	Lista de tránsito designada (<i>designated transit list</i>)
EDR	Encaminamiento dependiente del evento (<i>event dependent routing</i>)
FR	Encaminamiento fijo (<i>fixed routing</i>)
GCAC	Control de admisión de llamadas genéricas (<i>generic call admission control</i>)
GOS	Grado de servicio (<i>grade of service</i>)
IETF	Grupo de tareas especiales de ingeniería en Internet (<i>internet engineering task force</i>)
IP	Protocolo Internet (<i>internet protocol</i>)
LLR	Encaminamiento menos cargado (<i>least loaded routing</i>)
LSA	Advertencia del estado del enlace (<i>link state advertisement</i>)
LSP	Trayecto conmutado por etiquetas (<i>label switched path</i>)
MPLS	Conmutación por etiquetas multiprotocolo (<i>multiprotocol label switching</i>)
ODR	Encaminamiento dinámico optimizado (<i>optimized dynamic routing</i>)
ON	Nodo de origen (<i>originating node</i>)
OSPF	Primer trayecto más corto abierto (<i>open shortest path first</i>)
PNNI	Interfaz red-red privada (<i>private network-network interface</i>)
PTSE	Elementos del estado de la topología de la interfaz red-red privada (<i>PNNI topology state elements</i>)
QoS	Calidad de servicio (<i>quality of service</i>)
RDSI-BA	Red digital de servicios integrados de banda ancha
RDSI-BE	Red digital de servicios integrados de banda estrecha

RP	Procesador de encaminamiento (<i>routing processor</i>)
RSVP	Protocolo de reserva de recurso (<i>resource reservation protocol</i>)
RTNR	Encaminamiento de red en tiempo real (<i>real-time network routing</i>)
RTPC	Red telefónica pública conmutada
SCP	Punto de control de servicio (<i>service control point</i>)
SDR	Encaminamiento dependiente del estado (<i>state-dependent routing</i>)
STR	Encaminamiento dependiente del estado y del tiempo (<i>state- and time-dependent routing</i>)
TDR	Encaminamiento dependiente del tiempo (<i>time-dependent routing</i>)
UBR	Velocidad binaria no asignada (<i>unassigned bit rate</i>)
VBR	Velocidad binaria variable (<i>variable bit rate</i>)
VC	Circuito virtual (<i>virtual circuit</i>)
VN	Nodo intermedio (<i>via node</i>)
WIN	Red inteligente mundial (encaminamiento) [<i>worldwide intelligent network (routing)</i>]

5 Métodos de encaminamiento recomendados

Las políticas sobre encaminamiento que suelen utilizarse en redes ATM e IP no tienen del todo en cuenta las inestabilidades y pérdidas drásticas de caudal que pueden producirse cuando hay congestión de tráfico. En esta cláusula se recomienda reservar la anchura de banda y evitar largos trayectos en casos de congestión de tráfico para lograr una utilización más eficaz de los recursos de la red.

Además, hay una marcada tendencia a utilizar métodos SDR en las redes ATM e IP. No obstante, las técnicas de inundación generalmente empleadas por estos métodos SDR para distribuir información sobre la situación de la red pueden ocasionar una utilización ineficaz de los recursos de la red. Se recomienda tener en cuenta otros criterios posibles, tales como los métodos EDR y/o una distribución más eficaz de información sobre la situación de la red.

Finalmente, para asegurar la calidad de funcionamiento del servicio, se recomiendan reglas de encaminamiento orientado a la QoS, por ejemplo, evitar el retardo excesivo de transferencia limitando el número de saltos de satélite a un salto como máximo en conexiones de extremo a extremo cuando se trate de conexiones sensibles al retardo.

5.1 Métodos de reserva de la anchura de banda

La reserva de la anchura de banda (en las redes TDM se denomina "reserva de haces de circuitos") da prioridad al tráfico con preferencia permitiéndole medir cualquier anchura de banda en reposo en un enlace, mientras que el tráfico de encaminamiento sin preferencia sólo puede medir la anchura de banda si está disponible un nivel mínimo de anchura de banda en reposo, el umbral mínimo de la anchura de banda se denomina nivel de reserva. P.J. Burke [Bur61] fue el primero en analizar el comportamiento de la reserva de la anchura de banda a partir de la solución de las ecuaciones de nacimiento-muerte aplicadas al modelo de reserva de anchura de banda. El modelo de Burke muestra el nivel relativo de tráfico perdido en el caso de tráfico con preferencia no sujeto a restricciones de reserva de anchura de banda, en comparación con el tráfico sin preferencia, sujeto a esas restricciones. La figura 1 ilustra el porcentaje de tráfico con preferencia y tráfico sin preferencia perdido en un enlace típico con una sobrecarga de tráfico del 10%. Se observa que la pérdida del tráfico con preferencia es prácticamente nula en tanto que la del tráfico sin preferencia es mucho mayor, y que esta situación se mantiene a pesar de las amplias variaciones del porcentaje de la carga del tráfico con preferencia. Por consiguiente, la reserva de anchura de banda es muy resistente a las

variaciones de tráfico y ofrece una protección dinámica significativa de determinados flujos de tráfico.

La reserva de anchura de banda es una técnica fundamental utilizada en redes no jerárquicas para evitar la "inestabilidad", que puede reducir en gran medida el caudal de tráfico en periodos de congestión, hasta probablemente un 50% de la capacidad de una red para cursar tráfico [E.525]. El fenómeno de inestabilidad tiene una solución matemática interesante con las ecuaciones de flujo de la red, que se ha presentado en varios estudios [NaM73], [Kru82] y [Aki84]. En estos estudios se demuestra que, en casos de congestión, las redes no jerárquicas presentan dos estados estables (o biestabilidad) y que esas redes, cuando hay congestión, pueden transitar de un estado al otro, lo cual ha quedado probado mediante estudios de simulación. Una explicación sencilla de cómo aparece el fenómeno de la biestabilidad es que, cuando se produce congestión de tráfico, la red no suele estar en condiciones de completar una petición de conexión por la ruta directa o más corta que, en este ejemplo, consta de un solo enlace. Si se pueden utilizar rutas alternativas como, por ejemplo, rutas más largas de múltiples enlaces que, en este ejemplo se supone que están formadas por dos enlaces, la conexión pedida podría completarse por una ruta de dos enlaces seleccionada de entre un gran número de posibles rutas de dos enlaces, una sola de las cuales necesita anchura de banda en reposo suficiente por los dos enlaces que deben utilizarse para encaminar la conexión. Puesto que esta conexión de dos enlaces ocupa ahora los recursos que, de no ser así, podrían haberse utilizado para completar dos conexiones de un enlace, la utilización de los recursos de las redes menos eficaces en caso de congestión. Si una gran parte de las conexiones no pueden completarse por el enlace directo y ocupan, por el contrario, rutas de dos enlaces, la capacidad total del caudal de tráfico de la red se reduce a la mitad porque la mayoría de las conexiones utilizan el doble de los recursos necesarios. Éste es uno de los estados estables en el que la mayoría o la totalidad de las conexiones utilizan dos enlaces. El otro estado estable consiste en que la mayor parte de las conexiones, si no todas ellas, utilizan un enlace, que es la situación deseada.

La reserva de anchura de banda se utiliza para evitar este comportamiento inestable haciendo que el tráfico con preferencia por un enlace sea el tráfico directo por la ruta primaria y más corta, y que el tráfico sin preferencia, sujeto a las restricciones de la reserva de la anchura de banda descritas anteriormente, sea el tráfico con encaminamiento alternativo por las rutas más largas. De esta forma se evita que el tráfico con encaminamiento alternativo seleccione rutas alternativas más largas cuando no se dispone de una capacidad de haces de circuitos en reposo suficiente en todos los enlaces de una conexión con encaminamiento alternativo, que probablemente es lo que ocurre cuando existe congestión en los enlaces y la red. Los estudios del comportamiento biestable de una red han demostrado, matemáticamente, que la reserva de anchura de banda utilizada de esta forma para favorecer las conexiones directas más cortas elimina el problema de la biestabilidad en redes no jerárquicas y permite que esas redes mantengan una utilización eficaz en condiciones de congestión contribuyendo a que las conexiones se completen por la ruta más corta. Por este motivo, la reserva dinámica de haces de circuitos se aplica de forma universal en redes no jerárquicas [E.529] y, a menudo, en redes jerárquicas [Mun76].

Hay diferencias, no obstante, en cuanto a la manera de aplicar y el momento en que se aplica la reserva de anchura de banda, por ejemplo, la reserva de la anchura de banda para conexiones por rutas directas puede estar disponible en todo momento o activarse dinámicamente para utilizarla sólo en caso de congestión de la red o los enlaces. Se trata de una cuestión compleja que afecta al caudal de la red, ya que la reserva de la anchura de banda puede ocasionar cierta pérdida de caudal en condiciones normales o de baja congestión. La pérdida de caudal se produce porque si la anchura de banda se reserva para conexiones efectuadas por la ruta más corta, pero esas llamadas no llegan, la capacidad está reservada innecesariamente cuando podría utilizarse para completar el tráfico con encaminamiento alternativo que, de otro modo, podría quedar bloqueado. Sin embargo, cuando hay congestión en la red, la reserva de anchura de banda es fundamental para evitar la inestabilidad de la red, tal como se indicó anteriormente [E.525].

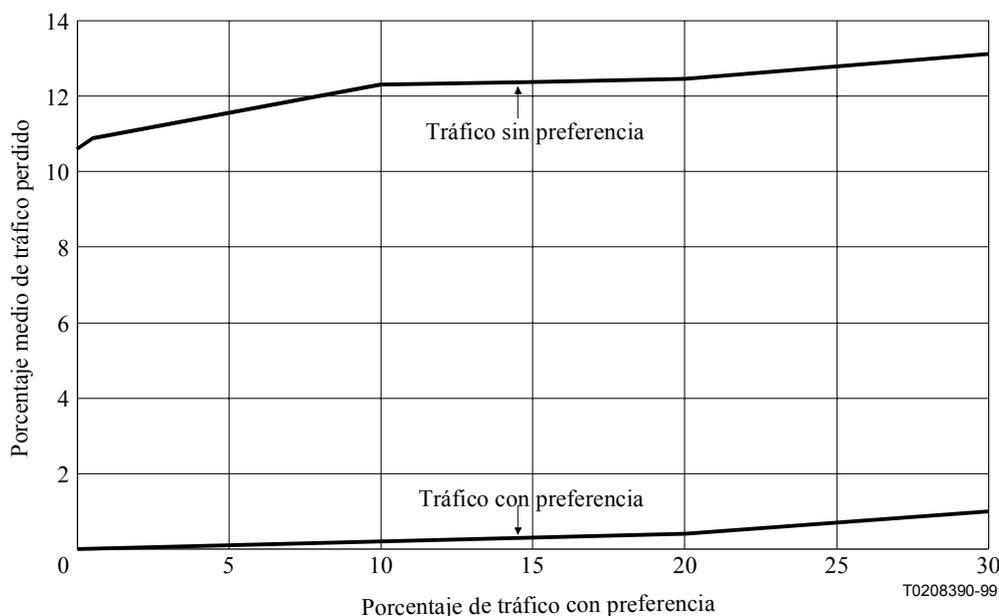


Figura 1/E.352 – Reserva dinámica de anchura de banda con una sobrecarga de tráfico del 10%

Se recomienda la inclusión de las técnicas de reserva de anchura de banda en los métodos de encaminamiento ATM e IP para asegurar la utilización eficaz de los recursos de la red, especialmente en casos de congestión. Los métodos de selección de rutas actualmente recomendados, tales como los métodos para "ingeniería de tráfico" en redes MPLS basadas en IP [AMAOM98], o selección de rutas en redes PNNI basadas en ATM [ATM960055] no dan ninguna orientación sobre la necesidad de utilizar técnicas de reservas de la anchura de banda. Esas orientaciones son esenciales para un funcionamiento aceptable de la red.

En [A98] se dan ejemplos relacionados con las técnicas de reserva de anchura de banda activadas dinámicamente sólo en casos de congestión de la red. Dichos métodos han mostrado su eficacia en el logro de un equilibrio adecuado entre protección de los recursos de la red en situaciones de congestión y seguridad de que se puede disponer de los mismos a efectos de compartición cuando las condiciones lo permiten. En [A98], el fenómeno de inestabilidad de la red se ilustra mediante estudios de simulación y se demuestra la eficacia de la reserva de anchura de banda para eliminar la inestabilidad. Se muestra también que la reserva de anchura de banda es una técnica eficaz para compartir la capacidad de la anchura de banda entre servicios integrados en un enlace directo, donde la reserva, en este caso, se invoca a fin de dar preferencia a la capacidad de enlaces directos de un determinado servicio frente a otro servicio cuando hay congestión en la red y los enlaces. En la cláusula 6 se ilustran estos dos aspectos de la reserva de anchura de banda, es decir, la evitación de la inestabilidad y la compartición de la capacidad de la anchura de banda entre servicios.

Además de aplicar los procedimientos de reserva de anchura de banda cuando se establece la petición de la conexión, suele utilizarse una capacidad de priorización de los servicios puestos en cola de espera mientras la conexión permanece establecida. Por ejemplo, en cada enlace de una conexión establecida, se mantiene la disciplina de la puesta en cola de espera de modo que a los paquetes o células servidos se les da prioridad en un cierto orden, por ejemplo:

- 1) servicios de velocidad constante;
- 2) servicios sensibles al retardo de velocidad variable;
- 3) servicios no sensibles al retardo de velocidad variable; y
- 4) servicios del mejor esfuerzo de velocidad variable.

Por ejemplo, el protocolo de servicios diferenciados del IETF (DIFFSERV) [B99], tiene prioridades de puesta en cola de espera designadas como de reenvío acelerado (EF, *expedited forwarding*), en las que puede reservarse anchura de banda para el caudal garantizado, y diversas categorías de reenvío asegurado (AF, *assured forwarding*) en las que no se reserva ni garantiza la anchura de banda. Por lo tanto, la reserva de anchura de banda cuando se establece la conexión debe estar vinculada también a la reserva de anchura de banda utilizada en la disciplina prioridad de puesta en cola de espera.

5.2 Selección de rutas

Un determinado método de encaminamiento de tráfico se caracteriza por la tabla de encaminamiento utilizada en el mismo. La tabla de encaminamiento consta de un conjunto de rutas y de reglas para seleccionar una ruta del conjunto de rutas para una determinada petición de conexión o atribución de anchura de banda. Cuando una petición de conexión/atribución de anchura de banda es iniciada por un nodo de origen (ON, *originating node*), el ON que implementa el método de encaminamiento aplica las reglas de selección de ruta asociadas con la tabla de encaminamiento para la conexión/atribución de anchura de banda a fin de encontrar en el conjunto de rutas la ruta conveniente que satisfaga esa petición. En un determinado método de encaminamiento, el conjunto de rutas asignables a la petición de conexión/atribución de anchura de banda se puede determinar de acuerdo con las reglas asociadas con la tabla de encaminamiento. En una red con control de conexión/atribución de anchura de banda en el origen, el ON mantiene el control de la petición de conexión/atribución de anchura de banda. Si se utiliza reencaminamiento automático/anchura de banda no disponible, por ejemplo, en un nodo intermedio (VN, *via node*), el nodo precedente mantiene el control de la petición de conexión/atribución de anchura de banda incluso si la petición es bloqueada en todos los enlaces que salen del VN.

Las tablas de encaminamiento están formadas por rutas, y el establecimiento de las mismas puede efectuarse para peticiones de conexión particulares, por ejemplo, por circuitos virtuales conmutados (SVC, *switched virtual circuits*). También pueden establecerse rutas para peticiones de atribución de anchura de banda asociadas con "conductos de anchura de banda" o "haces de circuitos virtuales", por ejemplo, por trayectos virtuales conmutados (SVP, *switched virtual paths*) en redes ATM o trayectos conmutados de indicación de encaminamiento con restricciones (CRLSP, *constraint-based routing label switched paths*) en redes IP. Las rutas se determinan mediante algoritmos (normalmente patentados) basados en la topología de la red y en información sobre la dirección alcanzable. Estas rutas pueden atravesar múltiples grupos pares en redes ATM y múltiples sistemas autónomos en redes IP, tal como se indica en [E.351]. Un ON puede seleccionar una ruta de la tabla de encaminamiento basándose en las reglas de encaminamiento y en los criterios de gestión de recursos orientada a la QoS, que deben satisfacerse en cada enlace de la ruta. Si no se autoriza un enlace basándose en criterios de QoS, se efectúa una liberación con el parámetro reencaminamiento automático hacia atrás/anchura de banda no disponible para señalar esa condición al ON a fin de devolverle la petición de conexión/atribución de anchura de banda, para que pueda seleccionar entonces una ruta alternativa.

Se recomienda que las reglas de selección de ruta utilizadas en las tablas de encaminamiento permitan la selección de ruta de encaminamiento fijo (FR, *fixed-routing*), encaminamiento dependiente del tiempo (TDR, *time-dependent routing*), encaminamiento dependiente del estado (SDR) y encaminamiento dependiente del evento (EDR), tal como se indica en el anexo A, y la utilización de las rutas multienlace más cortas en una topología de red dispersa. Las actuales técnicas de encaminamiento IP (como, por ejemplo, OSPF) y ATM (como, por ejemplo, PNNI) hacen hincapié en la selección de ruta SDR con inundación de parámetros estado del enlace utilizada para transmitir información dinámica sobre la situación del enlace. Generalmente se utiliza la velocidad de célula disponible (AvCR, *available-cell rate*) para determinar la ruta menos cargada en el método de encaminamiento SDR. La ruta menos cargada es la que tiene la capacidad máxima disponible en todos los enlaces de la ruta. No obstante, la inundación de cada enlace con la información AvCR, que es una información dinámica sumamente variable, hace un uso muy

intensivo de los recursos [ACFM99]. Es decir, se utiliza una parte importante de la capacidad del enlace para transmitir la información AvCR con inundación, y una parte importante de la capacidad de procesador, para procesar los mensajes sobre la situación con inundación. Ahora bien, hay otras alternativas para la selección de ruta SDR, tales como utilizar métodos de selección de ruta EDR o técnicas de actualización de la situación más eficaces en vez de la inundación de parámetros estado del enlace, tal como se describe en [E.350].

En un método de selección de ruta EDR, por ejemplo, el control de admisión de una conexión/atribución de anchura de banda para cada enlace de la ruta se basa en la situación local de cada enlace de la ruta y no en la información sobre la situación del enlace inundado. Normalmente, el ON selecciona la primera ruta más corta e intenta establecer una conexión por esa ruta identificando cada nodo intermedio (VN) de la misma en el procedimiento de establecimiento. A continuación, cada VN de la ruta prueba la capacidad disponible en el enlace al VN siguiente. Si no hay capacidad disponible en ningún enlace de la ruta, el VN devuelve el control de la conexión al ON mediante un procedimiento de reencaminamiento automático hacia atrás/anchura de banda no disponible. El ON selecciona entonces la última ruta alternativa satisfactoria denominada ruta satisfactoria hasta el final (STT, *success-to-the-top*). Se prueba la capacidad disponible en la ruta STT de la misma forma que se hace con la ruta más corta. Si la ruta alternativa STT vigente no está disponible, el ON puede seleccionar otra ruta alternativa y probar la capacidad disponible en esa ruta de la misma manera. Es decir, si en la ruta seleccionada no se puede utilizar un enlace, según determina cada uno de los VN de la ruta en base a la información local sobre la situación del enlace, se realiza una liberación con encaminamiento automático hacia atrás/anchura de banda no disponible para devolver el control al ON y seleccionar una ruta alternativa. El ON puede verificar de esta forma otras posibles rutas alternativas hasta que se encuentre una ruta nueva y satisfactoria hasta el final o hasta que el ON bloquee la petición de conexión. Este método de selección de rutas EDR encuentra rutas mediante el aprendizaje y la información sobre la situación local y no requiere la inundación de parámetros estado del enlace que cambian con frecuencia, tales como AvCR. El método EDR permite una reducción considerable de la frecuencia de inundación de parámetros estado del enlace y, como consecuencia de la reducción de los recursos de enlace y procesador consumidos, permite también tamaños de grupos pares mayores.

5.3 Encaminamiento con QoS

En los métodos de selección de ruta se recomienda tener en cuenta las restricciones del encaminamiento QoS, entre las que figuran el retardo de transferencia de extremo a extremo, la variación de retardo [G99a] y características de la calidad de la transmisión tales como la atenuación, el eco y el ruido [D99], [G99a] y [G99b]. Además, se recomienda la selección de capacidad de enlace [E.351], con la cual las peticiones de conexión pueden encaminarse por medios de transmisión específicos que tienen las características particulares requeridas por esas peticiones de conexión. Por ejemplo, si se requiere transmisión por fibra óptica, se utilizan únicamente rutas con enlaces que tienen Fibra óptica=Sí. Si se da preferencia a la presencia de la transmisión por fibra óptica, se utilizan primero las rutas que tienen todos los enlaces con Fibra óptica=Sí y, a continuación, las rutas que tienen algunos enlaces con Fibra óptica=No.

Una recomendación especial del encaminamiento orientado a la QoS es la relativa al retardo de transferencia de extremo a extremo introducido por la transmisión por satélite. En general, cada enlace de transmisión por satélite introduce aproximadamente 500 milisegundos de retardo, cifra superior al umbral de detección. Por consiguiente, se recomienda el encaminamiento de conexiones sensibles al retardo, tales como las conexiones vocales interactivas, para mantener una restricción de, como máximo, un salto de satélite en la conexión de extremo a extremo. Esto se logra normalmente llevando la cuenta de los enlaces de satélite que se atraviesan en el procedimiento de establecimiento de la llamada y evitando que prosiga el encaminamiento por enlaces de satélite una vez que se ha atravesado uno de esos enlaces.

6 Ejemplos de métodos de encaminamiento recomendados

A fin de ilustrar las recomendaciones formuladas en la cláusula 5, en esta cláusula se dan ejemplos de métodos de reserva de anchura de banda y de selección de ruta que podrían utilizarse en redes ATM o IP.

6.1 Ejemplo de métodos de reserva de anchura de banda

Como se indica en la cláusula 5, la reserva de la anchura de banda puede utilizarse para favorecer una categoría de tráfico sobre otra. Un ejemplo sencillo de la utilización de este método consiste en reservar anchura de banda para dar preferencia al tráfico por las rutas primarias más cortas con respecto al tráfico por rutas alternativas más largas. La manera más eficaz de hacerlo consiste en utilizar un método que reserve anchura de banda únicamente cuando haya congestión en los enlaces de la red. A continuación se da un ejemplo de este método y se compara el funcionamiento de una red cuando se utiliza la reserva de la anchura de banda en caso de congestión y cuando no se utiliza.

En el ejemplo, el tráfico se encamina primero por la ruta más corta y a continuación se le permite utilizar rutas alternativas (rutas más largas) si la ruta primaria no está disponible. Si se utiliza reserva de anchura de banda, el 5% de la anchura de banda del enlace se reserva para el tráfico por la ruta primaria cuando hay congestión en el enlace.

El cuadro 1 muestra el funcionamiento de los métodos de reserva de anchura de banda para el esquema de un día de carga elevada en la red. En el cuadro 1, las cargas de un día de actividad media para un modelo de red nacional con 65 conmutadores se aumentaron uniformemente en un 30% [A98]. El cuadro muestra el tráfico medio que se pierde por hora debido al bloqueo de las admisiones de conexión en los periodos de conjuntos de carga 2, 3 y 5, que corresponden a las horas punta del principio de la mañana y la hora punta de la tarde.

Cuadro 1/E.352 – Funcionamiento de los métodos de reserva de anchura de banda (Porcentaje de tráfico perdido con una sobrecarga del 30%; modelo de red de 65 nodos)

Hora	Sin reserva de anchura de banda	Con reserva de anchura de banda
2	12,19	0,22
3	22,38	0,18
5	18,90	0,24

De los resultados del cuadro 1 se desprende que el funcionamiento mejora cuando se reserva anchura de banda. El motivo de que exista un funcionamiento deficiente cuando no se reserva anchura de banda es la ausencia de capacidad reservada para favorecer el tráfico encaminado por las rutas primarias más directas en condiciones de congestión en red. Si no se reserva la anchura de banda, las redes no jerárquicas pueden mostrar un comportamiento inestable en el que todas las conexiones se establecen básicamente por rutas alternativas más largas en vez de rutas primarias más cortas, lo que reduce en gran medida el caudal de la red y aumenta su congestión [Aki84], [Kru82] y [NaM73]. Si se añade el mecanismo de reserva de anchura de banda, se obtiene una mejora notable del funcionamiento de la red.

6.2 Ejemplo de métodos de selección de ruta

A continuación se efectúa una comparación entre el encaminamiento dependiente del estado (SDR) y el encaminamiento dependiente del evento (EDR). Como ya se indicó en la cláusula 5, la inundación con parámetros estado del enlace para implementar el SDR, que es lo que suele hacerse cuando se utiliza encaminamiento PNNI en redes ATM o encaminamiento OSPF en redes IP, puede hacer un uso muy intensivo de los recursos. El EDR es una alternativa al SDR y a tener en cuenta si se considera que la tara representada por la inundación es demasiado grande. Como también se indicó

en la cláusula 5, el EDR puede utilizarse sin información dinámica sobre el estado del enlace y con este ejemplo se muestra que, con los métodos EDR, se puede obtener un funcionamiento correcto en comparación con los métodos SDR.

Seguidamente se hace una comparación sencilla entre los métodos de selección de ruta SDR y EDR. En el modelo de selección de ruta EDR, el ON encamina primero una petición de conexión por la ruta más corta. Si cada enlace tiene anchura de banda disponible suficiente, según los criterios de gestión de recursos orientada a la QoS, se completa la conexión. De no ser así, el ON ofrece el desbordamiento de tráfico de la ruta primaria más corta a la última ruta alternativa satisfactoria (la ruta satisfactoria hasta el final, o ruta intermedia STT). Si la conexión queda bloqueada en la opción de ruta alternativa vigente, el ON selecciona otra ruta del conjunto de posibles rutas alternativas. En caso necesario, un VN utiliza el reencaminamiento automático para devolver el control al ON si encuentra que un enlace seleccionado no tiene anchura de banda suficiente. Antes de bloquear una petición de conexión, el ON puede buscar entre todas las rutas posibles. En el modelo de selección de ruta SDR, el ON encamina también una petición de conexión por la ruta más corta pero selecciona rutas alternativas de conformidad con la información sobre la situación del enlace. La situación del enlace se obtiene mediante la inundación dinámica de la situación entre todos los centros de conmutación de la red, como en PNNI y OSPF.

El cuadro 2 presenta los resultados del funcionamiento con una sobrecarga general del 10% en un modelo de red de 135 centros de conmutación en el que se han simulado diversas categorías de servicio [ACFM99]. En el modelo, la reserva de la anchura de banda se utiliza no sólo para proteger el tráfico por la ruta primaria más corta, sino también para atribuir anchura de banda entre las distintas categorías de servicio. En casos de congestión, se da prioridad a los servicios "clave" frente a otros servicios utilizando los mecanismos de reserva de anchura de banda [A98].

Cuadro 2/E.352 – Comparación entre el funcionamiento de los métodos de selección de ruta EDR y SDR (Porcentaje de tráfico perdido/demorado con una sobrecarga del 10%; modelo de red de 135 nodos)

Categoría de servicio	EDR	SDR
Voz-negocios	1,64	1,46
Voz-consumidor	1,62	1,49
Internacional-saliente	3,93	5,53
Internacional-entrante (clave)	0,00	0,00
Voz clave (key voice)	0,00	0,00
Servicios digitales conmutados a 64 kbit/s	1,51	1,74
Datos RDSI a 64 kbit/s (clave)	0,00	0,00
Datos RDSI a 384 kbit/s	0,00	0,00
Voz sensible al retardo con velocidad variable	1,09	0,41
Multimedios no sensibles al retardo con velocidad variable	1,01	0,38
Multimedios de mejor esfuerzo con velocidad variable	24,9	30,4

Los resultados muestran el funcionamiento de los métodos de selección de ruta en términos de tráfico perdido debido al bloqueo de la admisión de la conexión y el tráfico demorado debido a la puesta en cola de espera (se ha simulado también la prioridad de puesta en cola de espera). Puede comprobarse cómo los métodos de selección de ruta EDR y SDR son bastante comparables para éste y otros escenarios simulados de sobrecarga/fallo de la red, y sugieren que el EDR es una alternativa a tener en cuenta cuando la tara de inundación dinámica de parámetros situación del enlace represente una utilización demasiado intensiva de los recursos.

ANEXO A

Métodos de encaminamiento intrarred TDM

Los métodos de encaminamiento TDM descritos en este anexo incluyen diversas técnicas de selección de ruta. Un determinado método de encaminamiento de tráfico se caracteriza por la tabla de encaminamiento utilizada en el mismo. La tabla de encaminamiento consta de una ruta y de reglas para seleccionar, a partir de un conjunto de rutas, el encaminamiento correspondiente a una determinada petición de conexión. Cuando una petición de conexión llega a su nodo de origen (ON), el ON que implementa el método de encaminamiento aplica las reglas de selección de ruta asociadas con la tabla de encaminamiento de la conexión a fin de determinar una ruta de entre el conjunto de rutas para la petición de conexión. En un método de encaminamiento determinado, el conjunto de rutas asignable a la petición de conexión puede variarse según una cierta regla de variación de rutas.

En las Recomendaciones E.170, E.177 y E.350, los métodos de encaminamiento de tráfico se clasifican en los cuatro siguientes tipos en base a su esquema de encaminamiento: encaminamiento fijo (FR), encaminamiento dependiente del tiempo (TDR), encaminamiento dependiente del estado (SDR) y encaminamiento dependiente del evento (EDR). En las subcláusulas siguientes se examinan cada uno de estos métodos.

A.1 Encaminamiento fijo (FR)

En un método de encaminamiento fijo (FR) se fija un esquema de encaminamiento para una petición de conexión. Ejemplo típico de encaminamiento fijo es el encaminamiento alternativo jerárquico convencional en el que la ruta y la secuencia de selección de rutas se determinan de manera planificada de antemano y se mantienen durante un largo periodo de tiempo. El FR se aplica de manera más eficaz cuando la red no es jerárquica, o plana, en comparación con la estructura jerárquica [A98].

A.2 Encaminamiento dependiente del tiempo (TDR)

Los métodos de encaminamiento dependiente del tiempo (TDR) son un tipo de encaminamiento dinámico en el que las tablas de encaminamiento se varían en un determinado momento del día o de la semana. Las tablas de encaminamiento TDR se determinan de manera planificada de antemano y se implementan consecuentemente durante un cierto periodo de tiempo. Las tablas de encaminamiento TDR se determinan considerando la variación en el tiempo de la carga de tráfico en la red. Las tablas de encaminamiento TDR utilizadas en la red suelen coordinarse aprovechando la no coincidencia de las horas cargadas de los flujos de tráfico. El encaminamiento no jerárquico dinámico (DNHR, *dynamic no-hierarchical routing*) es un ejemplo de TDR, que se ilustra en la Recomendación E.350.

En el TDR, las tablas de encaminamiento se planifican de antemano y se diseñan fuera de línea utilizando un sistema de diseño centralizado, que emplea el modelo de diseño de red TDR. La computación fuera de línea determina las rutas óptimas entre un número muy grande de posibles alternativas, a fin de reducir al mínimo el costo de la red. Las tablas de encaminamiento diseñadas se cargan y almacenan en los diversos nodos de la red TDR, y son recalculadas y actualizadas periódicamente (por ejemplo, cada semana) por el sistema fuera de línea. De este modo, un ON no requiere información de red adicional para construir tablas de encaminamiento TDR, una vez cargadas las tablas de encaminamiento. Este caso contrasta con el diseño de tablas en tiempo real, como ocurre en los métodos de encaminamiento dependientes del estado y de encaminamiento dependiente del evento descritos a continuación. Las rutas de la tabla de encaminamiento TDR pueden consistir en opciones de encaminamiento que varían en el tiempo y utilizar un subconjunto de las rutas disponibles. Las rutas utilizadas en diversos periodos de tiempo no necesitan ser las mismas. Se utilizan varios periodos de tiempo TDR para dividir las horas de día laborable y de fin de

semana en intervalos de encaminamiento contiguos, a veces denominados periodos de conjuntos de carga.

Las reglas de selección de ruta empleadas en las tablas de encaminamiento TDR, por ejemplo, pueden consistir en un encaminamiento secuencial simple. En el método secuencial todo el tráfico de un determinado periodo de tiempo se ofrece a un solo conjunto de rutas, y se deja que la primera ruta se desborde en la segunda ruta, que se desborda en la tercera, y así sucesivamente. De este modo, el tráfico se encamina secuencialmente de una ruta a otra, y se permite que la ruta cambie de hora en hora para conseguir la naturaleza dinámica previamente planificada, o variable en el tiempo, del método TDR. Otras reglas de selección de ruta TDR pueden emplear técnicas probabilísticas para seleccionar cada ruta e influir así en los flujos realizados [A98]. Las rutas de la tabla de encaminamiento TDR pueden componerse del enlace directo, una ruta de dos enlaces a través de un solo VN, o una ruta de múltiples enlaces a través de múltiples VN.

A continuación se da un ejemplo de establecimiento de conexión TDR. El primer paso consiste en que el nodo identifique el DN y la información de la tabla de encaminamiento sobre el DN. A continuación el ON comprueba la capacidad de reserva por la primera ruta o por la ruta más corta y, al hacerlo, proporciona a todos los nodos de la ruta los VN y DN por esa ruta, junto con el parámetro umbral de reserva de anchura de banda. Cada VN prueba la capacidad de anchura de banda disponible por cada enlace de la ruta frente al umbral de reserva de anchura de banda. Si la capacidad es suficiente, el VN reenvía el establecimiento de conexión al nodo siguiente, que efectúa una función similar. Si la capacidad no es suficiente, el VN envía al ON un mensaje liberación con parámetro reencaminamiento automático/anchura de banda no disponible, y en ese momento el ON intenta la ruta siguiente determinada por las reglas de la tabla de encaminamiento. Como ya se indicó anteriormente, las rutas TDR se planifican previamente, se cargan y almacena en cada ON.

A.3 Encaminamiento dependiente del estado (SDR)

En el encaminamiento dependiente del estado (SDR), las rutas de las tablas alternativas varían automáticamente según el estado de la red. Para un determinado método SDR, se aplican las reglas de la tabla de encaminamiento para determinar las opciones de ruta en respuesta a la cambiante situación de la red, y se utilizan durante un periodo de tiempo relativamente corto. La información sobre la situación de la red puede recogerse en un procesador central o ser distribuida a los nodos de la red. El intercambio de información puede efectuarse de manera periódica o por demanda. Los métodos SDR utilizan el principio de encaminamiento de conexiones por la mejor ruta disponible en base a información de estado de la red. Por ejemplo, en el método de encaminamiento menos cargado (LLR, *least loaded routing*), se calcula la capacidad residual de las posibles rutas, y se selecciona para la conexión la ruta que tiene la capacidad residual más grande. En general, los métodos SDR calculan el costo de una ruta para cada petición de conexión sobre la base de diversos factores tales como el estado de carga o el estado de congestión de los enlaces de la red. El encaminamiento controlado dinámicamente (DCR, *dynamically controlled routing*), el encaminamiento de la red inteligente mundial (WIN, *worldwide intelligent network*) y el encaminamiento de red en tiempo real (RTNR, *real-time network routing*) son ejemplos de SDR que figuran en la Recomendación E.350.

En el SDR, las tablas de encaminamiento son diseñadas en línea por el ON o por un procesador de encaminamiento (RP, *routing procesor*) central utilizando la información sobre topología y situación de la red obtenida por intercambio de información con otros nodos y/o un RP centralizado. Hay diversas implementaciones del SDR que se distinguen según que:

- el cálculo de las tablas de encaminamiento esté distribuido entre los nodos de la red o centralizado y efectuado en un RP centralizado; y
- el cálculo de las tablas de encaminamiento se efectúe periódicamente o conexión por conexión.

Se obtienen así tres implementaciones del SDR:

- a) SDR periódico centralizado – El RP centralizado obtiene información sobre la situación de los enlaces y del tráfico de los diversos nodos de manera periódica (por ejemplo, cada 10 segundos) y efectúa un cálculo de la tabla de encaminamiento óptimo de manera periódica. Para determinar la tabla de encaminamiento óptimo, el RP ejecuta un procedimiento determinado de optimización de la tabla de encaminamiento, tal como el LLR, y transmite las tablas de encaminamiento a los nodos de red de manera periódica (por ejemplo, cada 10 segundos). El DCR es un ejemplo de SDR periódico centralizado, que se ilustra en la Recomendación E.350.
- b) SDR periódico distribuido – Cada nodo de la red SDR obtiene información sobre la situación de los enlaces y del tráfico de todos los demás nodos de manera periódica (por ejemplo, cada 5 minutos) y efectúa un cálculo de la tabla de encaminamiento óptimo de manera periódica (por ejemplo, cada 5 minutos). Para determinar la tabla de encaminamiento óptimo, el ON ejecuta un determinado procedimiento de optimización de la tabla de encaminamiento, tal como el LLR. WIN es un ejemplo de SDR periódico distribuido, que se ilustra en la Recomendación E.350.
- c) SDR conexión por conexión distribuido – Un ON de la red SDR obtiene información sobre la situación de los enlaces y del tráfico procedente del DN, y quizás de los VN seleccionados, conexión por conexión, y efectúa un cálculo de la tabla de encaminamiento óptimo para cada conexión. Para determinar la tabla de encaminamiento óptimo, el ON ejecuta un determinado procedimiento de optimización de la tabla de encaminamiento, tal como el LLR. RTNR es un ejemplo de SDR conexión por conexión distribuido, que se ilustra en la Recomendación E.350.

Las rutas de la tabla de encaminamiento SDR pueden componerse del enlace directo, una ruta de dos enlaces a través de un solo VN, o una ruta de múltiples enlaces a través de múltiples VN. Las rutas de la tabla de encaminamiento están sujetas a restricciones DoS en cada enlace y los mecanismos de establecimiento de la conexión son similares a los del ejemplo que figura en A.2.

A.4 Encaminamiento dependiente del evento (EDR)

En el encaminamiento dependiente del evento (EDR), las tablas de encaminamiento se actualizan localmente según que las conexiones se realicen o fallen en una opción de ruta dada. En el EDR, una conexión es encaminada primero por la ruta más corta, si la anchura de banda disponible es suficiente. De lo contrario, el tráfico de desbordamiento de la ruta más corta se ofrece a una ruta alternativa seleccionada vigente. Si una conexión está bloqueada en la ruta alternativa elegida vigente, se selecciona otra ruta alternativa de un conjunto de rutas alternativas disponibles para la petición de conexión de acuerdo con las reglas de la tabla de encaminamiento EDR indicadas. Por ejemplo, la ruta alternativa elegida vigente puede actualizarse aleatoriamente, cíclicamente o por algún otro medio, y puede mantenerse en la medida en que la conexión pueda establecerse por la ruta. Adviértase que para SDR o EDR, como en TDR la ruta alternativa para una petición de conexión puede cambiarse de manera dependiente del tiempo considerando la variación en el tiempo de la carga de tráfico. El encaminamiento alternativo dinámico (DAR, *dynamic alternate routing*), el encaminamiento dinámico adaptivo distribuido (DADR, *distributed adaptive dynamic routing*), el encaminamiento dinámico optimizado (ODR, *optimized dynamic routing*) y el encaminamiento dependiente del estado y del tiempo (STR, *state- and time-dependent routing*) son ejemplos de encaminamiento dependiente del evento, que se ilustran en la Recomendación E.350.

En el EDR, las tablas de encaminamiento son diseñadas por el ON utilizando información de red obtenida durante la función de establecimiento de conexión. El ON suele seleccionar primero la ruta más corta, y si ésta no tiene la anchura de banda suficiente para la conexión, se intenta a continuación la ruta intermedia satisfactoria vigente. Si la ruta intermedia satisfactoria vigente no tiene la anchura de banda suficiente, esta condición se indica por un enlace ON-VN ocupado

determinado por el ON, por un enlace VN-VN ocupado o por un enlace VN-DN indicado por un mensaje liberación enviado del VN al ON. En ese momento, el ON selecciona una nueva ruta intermedia empleando las reglas de diseño de la tabla de encaminamiento EDR dada. Por consiguiente, la tabla de encaminamiento se construye con la información determinada durante el establecimiento de la conexión y el ON no exige ninguna otra información adicional.

Las rutas de la tabla de encaminamiento EDR pueden componerse del enlace directo, una ruta de dos enlaces a través de un solo VN, o una ruta de múltiples enlaces a través de múltiples VN. Las rutas de la tabla de encaminamiento están sujetas a restricciones DoS en cada enlace y los mecanismos de establecimiento de la conexión son similares al ejemplo que figura en A.2.

APÉNDICE I

Bibliografía

- [A98] ASH (G.R.): *Dynamic Routing in Telecommunications Networks*, McGraw-Hill, 1998.
- [AAFJLLS99] ASH (G.R.), ASHWOOD-SMITH (P.), FEDYK (D.), JAMOUCSI (B.), LEE (Y.), LI (L.), SKALECKI (D.): LSP Modification Using CRLDP, *draft-ash-crlsp-modify-00.txt*, julio de 1999.
- [Aki84] AKINPELU (J.M.): The Overload Performance of Engineered Networks with Non-hierarchical and Hierarchical Routing, *Bell System Technical Journal*, Volumen 63, 1984.
- [ACFM99] ASH (G.R.), CHEN (J.), FISHMAN (S.D.), MAUNDER (A.): Routing Evolution in Multiservice Integrated Voice/Data Networks, *International Teletraffic Congress ITC-16*, Edimburgo, Escocia, junio de 1999.
- [ADFFT98] ANDERSON (L.), DOOLAN (P.), FELDMAN (N.), FREDETTE (A.), THOMAS (B.): LDP Specification, *IETF Draft, draft-ietf-mpls-ldp-01.txt*, agosto de 1998.
- [AL99] ASH (G.R.), LEE (Y.): Routing of Multimedia Connections Across TDM-, ATM-, and IP-Based Networks, *IETF Draft, draft-ash-itu-sg2-qos-routing-01.txt*, julio de 1999.
- [AM98] ASH (G.R.), MAUNDER (A.): Routing of Multimedia Connections when Interworking with PSTN, ATM, and IP Networks, *AF-98-0927*, Nashville TN, diciembre de 1998.
- [AAJL99] ASH (G.R.), ABOUL-MAGD (O.S.), JAMOUCSI (B.), LEE (Y.): QoS Resource Management in MPLS-Based Networks, *IETF Draft, draft-ash-qos-routing-00.txt*, Minneápolis MN, marzo de 1999.
- [AM99] ASH (G.R.), MAUNDER (A.): QoS Resource Management in ATM Networks, *AF-99-*, Roma, abril de 1999.
- [AMAOM98] AWDUCHE (D.O.), MALCOLM (J.) AGOGBUA (J.), O'DELL (M.), McMANUS (J.): Requirements for Traffic Engineering Over MPLS, *IETF Draft, draft-ietf-mpls-traffic-eng-00.txt*, octubre de 1998.
- [ATM95] *B-ISDN Inter Carrier Interface (B-ICI) Specification Version 2.0 (Integrated)*, ATM Forum Technical Committee, af-bici-0013.003, diciembre de 1995.

- [ATM960055] *Private Network-Network Interface Specification Version 1.0 (PNNI 1.0)*, ATM Forum Technical Committee, af-pnni-0055.000, marzo de 1996.
- [ATM960056] *Traffic Management Specification Version 4.0*, ATM Forum Technical Committee, af-tm0056.000, abril de 1996.
- [ATM960061] *ATM User-Network Interface (UNI) Signalling Specification Version 4.0*, ATM Forum Technical Committee, af-sig-0061.000, julio de 1996.
- [ATM98] *Specification of the ATM Inter-Network Interface (AINI) (Draft)*, ATM Forum Technical Committee, ATM Forum/BTD-CS-AINI-01.03, julio de 1998.
- [ATM990097] *ATM Signalling Requirements for IP Differentiated Services and IEEE 802.1D*, ATM Forum, Atlanta, GA, febrero de 1999.
- [B99] BERNET (Y.), et al.: A Framework for Differentiated Services, *IETF draft-ietf-diffserv-framework-02.txt*, febrero de 1999.
- [BZBHJ97] BRADEM (R.), ZHANG (L.), BERSON (S.), HERZOG (S.), JAMIN (S.): Resource ReSerVation Protocol (RSVP) – Version 1 Functional Specification, *IETF Network Working Group RFC 2205*, septiembre de 1997.
- [Bur61] BURKE (P.J.): Blocking Probabilities Associated with Directional Reservation, *unpublished memorandum*, 1961.
- [CDFFSV97] CALLON (R.), DOOLAN (P.), FELDMAN (N.), FREDETTE (A.), SWALLOW (G.), VISWANATHAN (A.): A Framework for Multiprotocol Label Switching, *IETF Network Working Group Draft, draft-ietf-mpls-framework-02.txt*, noviembre de 1997.
- [CNRS98] CRAWLEY (E.), NAIR (R.), RAJAGOPALAN (B.), SANDICK (H.): A Framework for QoS-based Routing in the Internet, *IETF RFC 2386*, agosto de 1998.
- [D99] DVORAK (C.): IP-Related Impacts on End-to-End Transmission Performance, *ITU-T Liaison to Study Group 2, Temporary Document TD GEN-22*, Ginebra, mayo de 1999.
- [DN99] DIANDA (R.B.), NOORHASHM (M.): Bandwidth Modification for UNI, PNNI, AINI, and BICI, *ATM Forum Technical Working Group*, abril de 1999.
- [G99a] GLOSSBRENNER (K.): Elements Relevant to Routing of ATM Connections, *ITU-T Liaison to Study Group 2, Temporary Document 1/2-8*, Ginebra, mayo de 1999.
- [G99b] GLOSSBRENNER (K.): IP Performance Studies, *ITU-T Liaison to Study Group 2, Temporary Document GEN-27*, Ginebra, mayo de 1999.
- [GWA97] GRAY (E.), WANG (Z.), ARMITAGE (G.): Generic Label Distribution Protocol Specification, *IETF Draft, draft-gray-mpls-generic-ldp-spec-00.txt*, noviembre de 1997.
- [J99] JAMOSSI (B.), Editor: Constraint-Based LSP Setup using LDP, *IETF draft-ietf-mpls-cr-ldp-01.txt*, febrero de 1999.
- [Kru82] KRUPP (R.S.): Stabilization of Alternate Routing Networks, *IEEE International Communications Conference*, Filadelfia, 1982.
- [LKPCD98] LUCIANI (J.), KATZ (D.), PISCITELLO (D.), COLE (B.), DORASWAMY (N.): NBMA Next Hop Resolution Protocol (NHRP), *IETF RFC 2332*, abril de 1998.
- [LR98] LI (T.), REKHTER (Y.): A Provider Architecture for Differentiated Services and Traffic Engineering (PASTE), *IETF RFC 2430*, octubre de 1998.

- [M98] MOY (J.): OSPF Version 2, *IETF RFC 2328*, abril de 1998.
- [Mum76] MUMMERT (V.S.): Network Management and Its Implementation on the No. 4ESS, *International Switching Symposium*, Japón, 1976.
- [NaM73] NAKAGOME (Y.), MORI (H.): Flexible Routing in the Global Communication Network, *Seventh International Teletraffic Congress*, Estocolmo, 1973.
- [RVC99] ROSEN (E.), VISWANATHAN (A.), CALLON (R.): Multiprotocol Label Switching Architecture, *IETF draft-ietf-mpls-arch-04.txt*, febrero de 1999.
- [S94] STEVENS (W.R.): TCP/IP Illustrated, Volumen 1, The Protocols, Addison-Wesley, 1994.
- [S95] STEENSTRUP (M.), Editor: *Routing in Communications Networks*, Prentice-Hall, 1995.
- [SCFJ96] SCHULZRINNE (H.) CASNER, (S.), FREDERICK (R.), JACOBSON, (V.): RTP: A Transport Protocol for Real-Time Applications, *IETF RFC 1889*, enero de 1996.
- [ST98] SIKORA (J.), TEITELBAUM (B.): Differentiated Services for Internet2, *Internet2: Joint Applications/Engineering QoS Workshop*, Santa Clara, CA, mayo de 1998.
- [T1S198] *ATM Trunking for the PSTN/ISDN*, Committee T1S1.3 (B-ISUP), T1S1.3/98, NJ, diciembre de 1998.
- [ZSSC97] ZHANG, SANCHEZ, SALKEWICZ, CRAWLEY: Quality of Service Extensions to OSPF or Quality of Service Route First Routing (QOSPF), *IETF Draft, draft-zhang-qos-ospf-01.txt*, septiembre de 1997.

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

18127