

La redes TDM y sus encaminamientos

Por MsC. Marcos Antonio Pérez García
Gerencia de Asuntos Regulatorios, DDR, ETECSA
marcospe@tel.etecsca.cu

Introducción

El encaminamiento de tráfico en las redes está directamente relacionado con la arquitectura de red desplegada por su operador. Las redes evolucionan continuamente para reflejar los adelantos técnicos y las realidades económicas; por lo tanto, puede considerarse la existencia de infinitos escenarios de arquitectura de redes.

Los encaminamientos de una arquitectura de red jerárquica de Multiplexación por División en Tiempo —en inglés, *Time Division Multiplexing* (TDM)— están compuestos por dos niveles, uno de abonados y otro de tránsito, a la que se aplica el método de encaminamiento fijo y los algoritmos de desborde mutuo y carga compartida.

Objetivos de la red de telecomunicaciones

El objetivo de la red de telecomunicaciones es brindar servicios de forma eficiente y su estructura

podría considerarse compuesta de tres estratos funcionales —de gestión, de inteligencia y de transporte— como se muestra en la figura 1. Esta división es sólo desde el punto de vista lógico; pero en la práctica forma una infraestructura fuertemente interconectada que coopera para suministrar los distintos servicios de las telecomunicaciones y permitir la incorporación de necesidades futuras.

Un buen dimensionamiento de la red de telecomunicaciones implica el adecuado equilibrio técnico y económico entre sus tres estratos y los subsistemas que lo componen.

Las redes están compuestas por nodos —centros de conmutación— interconectados por varios haces de circuitos —rutas dimensionadas—, que pueden ser unidireccionales o bidireccionales.

Las modernas redes de telecomunicaciones TDM han evolucionado hacia redes jerárquicas con pocos niveles y pretenden obtener simetría en la red para balancear los tráficos. En este

empeño coadyuvan la utilización de técnicas de conexión, por razones de confiabilidad, el tráfico de las centrales de abonados a dos centrales de tránsito —del inglés *double homing*—; el concepto de pareja fija; y de modernos algoritmos de encaminamiento como la compartición de carga —*Load Sharing* (LS)—.

Dos centrales de tránsito son pareja fija si todas las centrales de abonados de un área geográfica están conectadas exclusivamente a ellas. La figura 2 ilustra este concepto.

Las técnicas de comparación de carga (LS) consisten en repartir las llamadas entre haces, según un criterio determinado. Con el concepto de pareja fija, y para balancear el tráfico en la red, el tráfico originado en las centrales de abonados comúnmente se reparte al 50%.

Objetivo del encaminamiento

El objetivo del encaminamiento es establecer una conexión entre

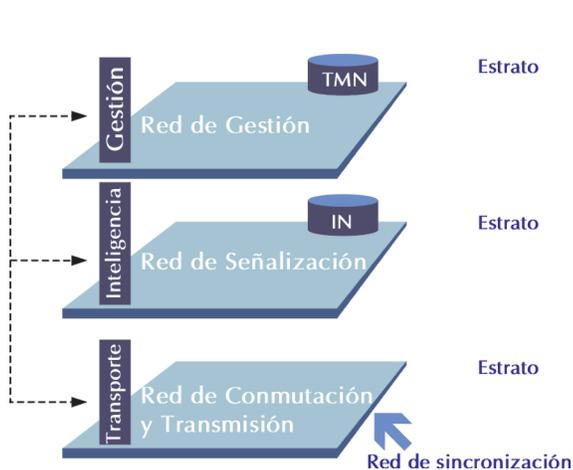


Figura 1 Esquema funcional de la red de telecomunicaciones TDM —Telecommunication Management Network—, IN —Red Inteligente—

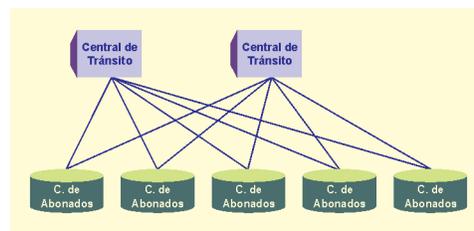


Figura 2 Representación esquemática del concepto de pareja fija

dos centrales de la red, y se basa fundamentalmente en la estructura definida para la conmutación, en las técnicas de conmutación y transmisión instaladas, la red de señalización y consideraciones del grado de servicio y la gestión de la red.

La función de encaminamiento del tráfico es la selección de un haz de circuitos determinados para un intento de llamada o flujo de tráfico, desde una central de la red. Un plan de encaminamiento bien concebido elimina la posibilidad de lazos cerrados en la red.

Los algoritmos de encaminamiento definen el procedimiento de puesta a disposición de un conjunto de rutas para llamadas entre un par de nodos. Desde esta óptica el criterio de encaminamiento puede fundamentarse en tres elementos:

- ◆ Conjunto de posibilidades del nodo de origen al nodo de destino.
- ◆ Dentro del conjunto, se escoge la ruta que la llamada debe recorrer.
- ◆ Base de datos para operar la selección.

Si se tiene en cuenta la variabilidad de estos elementos, los algoritmos de encaminamiento pueden clasificarse en dos categorías principales:

- ◆ Fijo o invariante en el tiempo: el conjunto de rutas en el algoritmo de encaminamiento es siempre el mismo. En este tipo de algoritmo el cambio en la elección de ruta para un tipo de intento de llamada requiere de la intervención manual.

- ◆ Dinámica: cuando el conjunto de rutas y el orden de recorrido incorporan variaciones automáticas frecuentes, de acuerdo con las condiciones mutables de congestión en la red. En este caso las variaciones dependen del tiempo, del estado y del evento. La actualización de los algoritmos de encaminamiento puede hacerse periódica o con irregularidad, pre-determinadas —según el estado de

la red y el completamiento o no de las llamadas—.

El proceso de encaminamiento

El proceso de encaminamiento es la secuencia de funciones necesarias para establecer una conexión entre el equipo terminal de origen y el equipo terminal de destino o el nodo de servicio de la red. En este proceso la central local de origen realiza la función más crítica en el encaminamiento de llamadas que consiste en agrupar información esencial del mismo, que es unívocamente disponible para esto, en un paquete de información que utilizarán todas las centrales subsiguientes para adoptar las decisiones de encaminamiento necesarias.

La central local de origen define los recursos de red —conmutación, señalización, transmisión— que se necesitan para soportar la solicitud de servicio. Estos parámetros de llamada/encaminamiento se transportan a través de la red mediante el sistema de señalización No. 7.

Cada central de tránsito situada en la ruta recibirá los parámetros de encaminamiento generados por la central anterior y se utilizarán como la base para seleccionar una ruta saliente apropiada. Este proceso continúa hasta llegar a la central local de destino o fracasar la llamada, debido a las condiciones encontradas en la red.

Encaminamiento fijo de una red TDM con dos niveles jerárquicos.

Una red que cubre una sola región en las que todas las centrales de abonados están conectadas a una pareja fija común, es muy simple (Figura 2).

En el caso de la figura 3 se muestra la topología resultante para la interconexión entre dos centrales. En todos los casos las topologías son simétricas, lo que permite tráficos balanceados. En la tabla 1 puede observarse el encaminamiento del tráfico en cada central —no se consideran los enlaces directos—.

Si aumenta el número de regiones, por ejemplo a dos, cada una con sus

Fuente	Origen	Regla
Central de Origen	Usuarios	(b,c) 50%
Nodo B	Central de origen	e,d
Nodo C	Nodo C	e
Nodo C	Central de origen	f,d
Nodo C	Nodo B	f

Tabla 1 Las centrales de origen y destino están enlazadas a la misma pareja fija

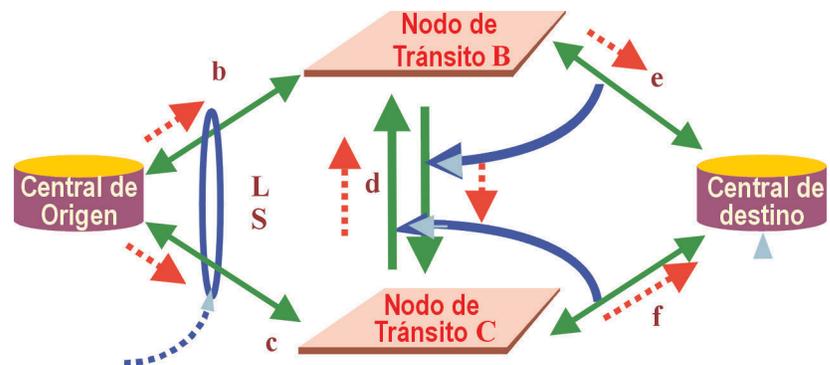
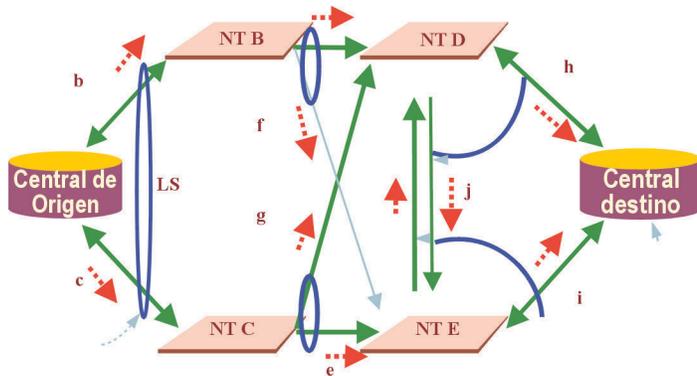


Figura 3 Centrales de origen y destino enlazadas a los mismos nodos de tránsito. Las flechas punteadas indican la dirección de los tráficos; las flechas continuas, la dirección de los desbordes



Fuente	Origen	Destino
Central de origen	Usuarios	(b,c) 50%
Nodo B	Central de origen	(d,f) 50%
Nodo C	Central de origen	(g,e) 50%
Nodo D	Nodo B/C	h,j
Nodo D	Nodo E	h
Nodo E	Nodo B/C	i,j
Nodo E	Nodo D	j

Tabla 2 Tabla de encaminamiento en el caso en que las centrales de origen y destino no tienen nodos de tránsito comunes

Figura 4 Centrales de origen y destino enlazadas a nodos de tránsito diferentes

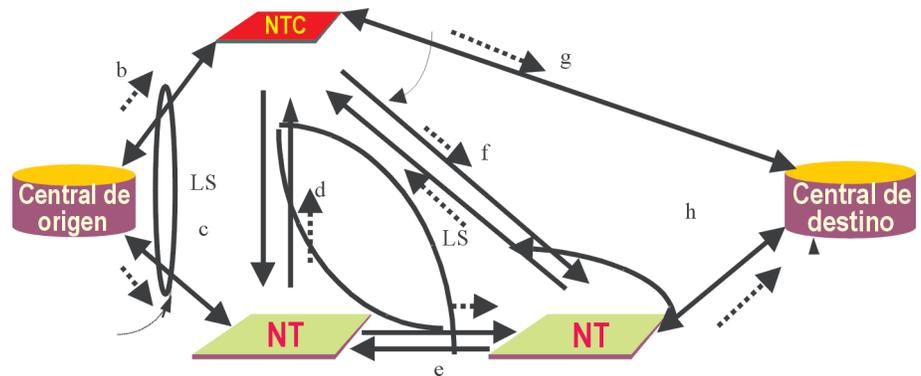


Figura 5 Centrales de origen y destinos enlazadas con un nodo de tránsito común. NTC es el nodo de tránsito de convergencia

parejas fijas, entonces la topología sería como la de la figura 4 en la que también se mantiene la simetría de la red y los tráficos balanceados.

La tabla 2 muestra el encaminamiento del tráfico en cada central —no se consideran los enlaces directos—.

En caso de seleccionarse un nodo de tránsito común, este se convierte en un nodo de convergencia con el correspondiente desbalance del tráfico (Figura 5), que dificulta considerablemente la gestión; y causa una carga adicional significativa en el procesador del nodo.

Encaminamiento Dinámico

En la medida que sea mayor la densidad telefónica y, sobre todo, se incremente el ofrecimiento de nuevos y sofisticados servicios —tanto empresariales como sociales—, aumenta la demanda de los usuarios y pueden crearse nuevas

situaciones de tráfico, como la excesiva capacidad no explotada en algunas partes de la red y sobrecargas en otras.

En este tipo de escenario es difícil prever las demandas, por lo tanto es necesario un control de tráfico en tiempo real —encaminamiento dinámico— para enfrentar, de forma eficaz, con variaciones en el tráfico, tanto las previstas como las imprevistas.

El encaminamiento dinámico es un método para hallar el mejor camino a través de la red, permite que la ruta de una llamada varíe como consecuencia del estado de la red, del tiempo, o por ambas causas. El efecto es el uso más eficiente de la red, mayor robustez y la reducción en los costos del operador.

Si la red está sobrecargada, el logro de una llamada puede bloquear otras, y el resultado es una solución global menos satisfactoria.

La aplicación de los métodos de encaminamiento dinámico no es simple y requiere de experiencia previa en los métodos de encaminamiento fijo, de cuidadosos estudios y simulaciones antes de tomar la decisión de introducirlos.

Se consideran dos tipos básicos de métodos de encaminamiento dinámico: dependientes del tiempo y dependientes del estado (Figura 6).

El encaminamiento dependiente del tiempo se basa en la variación del tráfico durante el día —diferentes partes de la red están ocupadas durante varios períodos de tiempo—. En consecuencia, en algunos momentos del día, por cada par de nodos origen destino, se usan distintas configuraciones de red y diferentes conjuntos de posibles rutas alternativas. Este método puede ser útil en una red que cubre varias zonas horarias, con algunas partes de la red muy cargadas y otras sólo con una carga ligera.

El encaminamiento dependiente del estado explota la información sobre el estado actual de la red como criterio para decidir la ruta alternativa que debe ser usada. Un enlace muy cargado no deberá usarse para tráfico de sobrecarga porque puede resultar en un posterior bloqueo. Pueden practicarse tres métodos diferentes: aislado, distribuido y centralizado, de acuerdo con la forma en que se obtiene y se trata la información acerca del estado de la red en determinado momento.

Con el método aislado cada nodo de la red tiene información en relación con el estado de sus enlaces (Figura 7). Esta información es el criterio para decidir la ruta alternativa que ha de usarse.

En el método distribuido cada nodo tiene la misma información que con el método aislado y puede también solicitar el estado de un enlace específico de los otros nodos (Figura 8). Con los métodos aislados y distribuidos la inteligencia se extiende por la red. Con el objetivo de determinar la recomendación alternativa sobre dos enlaces sobre la base de llamada por llamada, un método distribuido puede causar una carga adicional significativa en el procesador del nodo porque este debe tratar una comunicación adicional, calcular y comparar

diferentes cargas en las rutas por cada llamada de sobrecarga.

El método centralizado tiene un procesador central de la red que recolecta información sobre el estado de todos los enlaces de la red cada T segundos (Figura 9). En este caso es necesaria una red separada de señalización y un centro de cálculo, con lo que el sistema se encarece y se expone más a los fallos.

Cada método de encaminamiento dinámico emplea algún tipo de reserva de circuito, es decir, se aplica a cada enlace un umbral de reserva de circuito, y el tráfico encaminado directamente puede usar cualquier circuito libre de enlace, mientras que las llamadas de sobrecarga son aceptadas en un enlace —ruta directa entre dos nodos— sólo cuando el número de circuitos libres excede dicho umbral. La reserva de circuito impide que las llamadas de sobrecarga, por una ruta alternativa por dos enlaces, bloquee las llamadas directas subsiguientes por estos enlaces, pues sólo se permite que las llamadas de sobrecarga sean cursadas por una ruta alternativa si existe suficiente capacidad libre en ambos enlaces de la ruta.

Estudios y simulaciones realizados han demostrado que los métodos centralizados/distribuidos actúan mejor que los aislados

cuando los enlaces están ligeramente cargados. Al aumentar el tráfico, todos los métodos convergen de manera asintótica al caso de tráfico solamente directo. La diferencia en rendimiento de la red, medido como el número necesario de circuitos es insignificante, si se piensa que economizar un número relativamente pequeño de circuitos en una red de tránsito no puede considerarse como una característica muy importante de un método de encaminamiento dinámico, sobre todo, si se considera que las modernas tecnologías han resultado de esos circuitos que son muy baratos.

Entre los métodos de encaminamientos dinámicos propuestos, o implementados, de los operadores más avanzados se encuentran el encaminamiento controlado dinámicamente DCR —*Dynamic Control Routing*— de la Northern Telecom, el encaminamiento de red en tiempo real o RTNR —*Real Time Network Routing*— de la AT&T y el encaminamiento alternativo dinámico o DAR —*Dynamic Alternate Routing*— de la British Telecom.

Conclusiones

El método para encaminar el tráfico de sobrecarga —o tráfico de desbordamiento— más practicado ha sido el encaminamiento

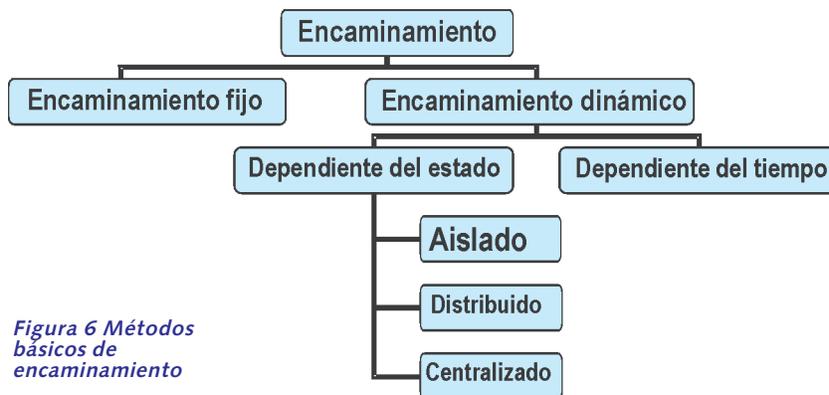


Figura 6 Métodos básicos de encaminamiento

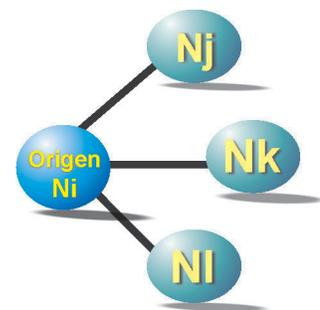


Figura 7 Cuando se usa un método aislado de encaminamiento, el nodo de origen mantiene información acerca de los estados sólo de sus propios enlaces

fijo, que por cada par de nodos origen destino existe un conjunto predeterminado de rutas alternativas por la red. Estas rutas se eligen sólo una vez, lo que termina en una flexibilidad deficiente en cuanto trata de protegerse contra diferentes tipos de variaciones imprevistas de tráfico.

El método de encaminamiento dinámico es un medio para hallar el mejor camino a través de la red, permite que la ruta de una llamada varíe a causa del estado de la red, del tiempo, o por ambas causas. El efecto es un uso más eficiente de la red, y mayor posibilidad de reducir los costos para su proveedor.

Un esquema de encaminamiento dinámico deberá incrementar el número de rutas que pueden recorrer por la red. Sin embargo, si la red está sobrecargada, el logro de una llamada puede bloquear otras y dar lugar a una solución global menos satisfactoria.

Los estudios han demostrado que los métodos dinámicos menos complicados o aislados se comportan satisfactoriamente en comparación con los métodos distribuidos o centralizados más complejos. Una ventaja del método aislado es que el procesador tiene que ejecutar menos cálculos y la inteligencia está repartida por todos los nodos de la red.

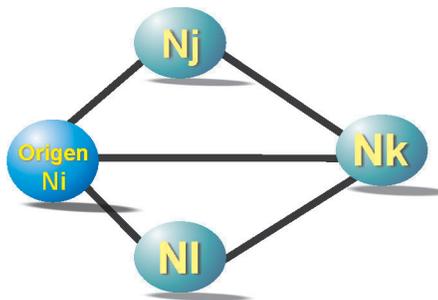


Figura 8 En el método distribuido de encaminamiento, el nodo de origen mantiene información acerca del estado de sus propios enlaces y obtiene también información a través de la interrogación a los otros nodos sobre el estado de todos los enlaces involucrados en la conexión en cuestión

La evolución de los nuevos servicios de valor agregado que las operadoras necesitan introducir en sus redes, así como los escenarios multioperadoras influyen en las nuevas concepciones de la arquitectura hacia redes no jerárquicas con encaminamiento dinámico en que todas las centrales toman decisiones y realizan funciones de tránsito y urbana.

Muchos operadores han implementado múltiples redes en las que se emplean diferentes protocolos de encaminamiento de capa de red (capa 3), que utilizan técnicas como la multiplexación por división en el tiempo (TDM), el modo de transferencia asíncrono (ATM) y el Protocolo Internet (IP). El crecimiento acelerado de los servicios multimedia basados en IP ha impulsado la implementación y la planificación de las técnicas ATM e IP para las redes telefónicas públicas conmutadas. Ante este escenario la UIT-T recomienda métodos de encaminamiento establecidos para su aplicación en redes de tipos diferentes:

- ◆ Traducción/encaminamiento de números basándose en el punto de acceso al servicio de red (NSAP) y a la Recomendación E.164.
- ◆ Generación automática de tablas de encaminamiento basadas en la topología y la situación de la red.

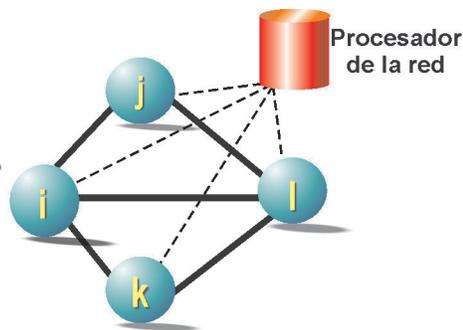


Figura 9 Con el método centralizado, un procesador central mantiene información acerca del estado de todos los enlaces de la red

- ◆ Actualización y sincronización automáticas de bases de datos de topología.
- ◆ Selección dinámica de ruta.
- ◆ Gestión de recursos orientada a la calidad de servicio (QoS). ▀

Bibliografía

Ash, G.R.; Huang, B.D. "An Analytical Model for Adaptive Routing Networks". *IEEE Transactions on Communications*, vol. 41, no. 11 (November 1993).

Ash, G.R. et al. "Real-Time Network Routing in the AT&T Network-Improved Service Quality at Lower Cost", *Proceeding of the IEEE Global Telecommunications Conference*, Orlando, Florida, December 1992, pp.115-130.

ETECSA, Plan de Encaminamiento. Edición 2, Septiembre de 2002.

Gulli, A. "Routing Allítrno di un Autonomous System". Disponible en www.di.unipi.it/~

Gulli/articles/login/routing2/articolo Key, P.B.; Cope, G.A. "Distributed Dynamic Routing Schemes". *IEEE Communications Magazine* (October 1990).

Mitra, D.; Gibbens, R.J.; Huang, B.D. "State Dependent Routing on Symmetric Loss Networks with Trunk Reservations". *IEEE Transactions on Communications*, vol. 41, no. 2 (February 1993).

"Overview of Course on Dynamic Alternate Routing". Disponible en: <http://www.stanford.edu/class/ee384/lecture1.pdf>.

"Pitfalls in the Design of Distributed routing algorithms". Disponible en: <http://www.portal.acm.org/citatica.cfm?id=52325.52330>.

"Reconfigurable Hardware". Disponible en: <http://www.cs.helsinki.fi/u/kraatika/courses/f4mc/ws3/reconfighw.pdf>

Recomendación CCITT E.170 (1992), Encaminamiento del tráfico.

Recomendación UIT-T E.177 (1996), Encaminamiento en la red digital de servicios integrados de banda ancha (RDSI-BA).

Recomendación UIT-T E.411 (1998), Gestión de la red internacional – Directrices de explotación.

Recomendación UIT-T Q.71 (1993), Servicios portadores conmutados en modo circuito en la red digital de servicios integrados.

"Routing in Circuit – Switched Nets". Disponible en: <http://www.cs.uidaho.edu/~krigs/cs420/motes.F02/02-420-27.pdf>.