

Conmutación IP

Jordi Domingo i Pascual

Universitat Politècnica de Catalunya
Centro de Comunicaciones Avanzadas de Banda Ancha
Departament d'Arquitectura de Computadors
Jordi Girona, 1-3. Campus Nord. Mòdul D6. 08034 Barcelona
jordi.domingo@ac.upc.es

Resumen.

La popularización del uso de Internet en los últimos años ha impuesto un ritmo acelerado en el crecimiento de la red. No sólo sigue aumentando el volumen de tráfico en la red sino que además se desea una cierta calidad de servicio, en concreto para las aplicaciones multimedia. Es necesario disponer de enrutadores (“routers”) de gran capacidad para poder procesar y encaminar grandes cantidades de paquetes por segundo. En esta evolución para acelerar las funciones de encaminamiento de los routers surge el concepto de conmutación de nivel 3. En la carrera para disponer de routers de alta velocidad aparecen varias propuestas para acelerar el transporte de paquetes IP a través de la red. Muchas de estas alternativas están relacionadas con el uso de conmutadores ATM; por ello la integración de IP con las redes ATM es de capital importancia. Actualmente la propuesta de “Multiprotocol Label Switching” (MPLS) es el resultado de este proceso de convergencia y de integración.

Introducción

La popularización del uso de Internet en los últimos años ha impuesto un ritmo acelerado en el crecimiento de la red. Sigue aumentando el número de usuarios y puntos de conexión y de acceso a la red; los proveedores de acceso a Internet (ISP) han aumentado y siguen aumentando la capacidad de conexión hacia las redes troncales; la red sigue creciendo en tamaño, número de terminales, número de redes conectadas y capacidad de los enlaces. No sólo sigue aumentando el volumen de tráfico en la red sino que además se desea una cierta calidad de servicio, en concreto para las aplicaciones multimedia. Es necesario disponer de enrutadores (“routers”) de gran capacidad para poder procesar y encaminar grandes cantidades de paquetes por segundo mientras que se aplican algunos mecanismos para dar soporte a la calidad de servicio.

Tradicionalmente, al hablar de conmutación se entiende como conmutación de tramas (Ethernet conmutada, “Frame Relay”) o celdas (ATM). La función de encaminamiento de paquetes está asociada al nivel 3 (siguiendo el modelo de

referencia OSI) mientras que la conmutación se asocia al nivel 2 (enlace de datos). Es decir, los routers trabajan a nivel 3 y los conmutadores trabajan a nivel 2. En la evolución para acelerar las funciones de encaminamiento de los routers aparece el concepto de conmutación de nivel 3. En realidad no es más que una denominación que pretende diferenciar los routers de alta velocidad (“gigabit routers”) de los routers tradicionales. Además, estos routers de alta velocidad tratan de realizar la mayor parte de las funciones en “hardware” para aumentar la velocidad de proceso de los paquetes IP. Son routers que se basan en una arquitectura interna de conmutación (“switched-based routers”); se comportan como routers pero internamente son conmutadores.

En la carrera para construir routers de alta velocidad aparecen varias propuestas para acelerar el transporte de paquetes IP a través de la red. Muchas de estas alternativas están relacionadas con el uso de conmutadores ATM; por ello la integración de IP en redes ATM es de capital importancia. Además, muchas redes troncales y de distribución de los ISP están basadas en esta tecnología. Durante unos años se ha estado debatiendo ampliamente si IP dominará y desplazará la tecnología ATM, o bien si sucederá todo lo contrario. Con la expansión de Internet estas dos tecnologías que se consideraban excluyentes han pasado a ser necesarias y, de alguna forma, complementarias. En poco tiempo se ha pasado de una concepción donde IP y ATM eran excluyentes a una concepción donde ambas juegan un papel importante y de su integración depende en gran medida el desarrollo de Internet.

En este artículo se expone por qué las tecnologías IP y ATM deben coexistir, al menos durante unos años, y las ventajas que se puede obtener de la integración IP / ATM. Se presenta, en primer lugar, un resumen de las distintas estrategias propuestas para la integración de IP y ATM. Se describen también las tecnologías más relevantes empleadas en los encaminadores de alta velocidad: IP Switching, Tag Switching, y MPLS (“MultiProtocol Label Swtiching”). Se expone con más detalle esta última dado es el resultado de este proceso de convergencia y de integración y en ella están puestas muchas esperanzas.

Integración IP / ATM

Coincidiendo con la introducción de la tecnología ATM en las redes troncales se produce el fenómeno de la popularización de Internet y de la tecnología asociada basada en los protocolos TCP/IP y UDP/IP. Si se considera el origen de ambas tecnologías se puede entender por qué durante bastante tiempo se han visto como alternativas exclusivas: IP o ATM. La tecnología ATM (“Asynchronous Transfer Mode”), como define la Unión Internacional de Telecomunicaciones (ITU-T), es el modo de transferencia elegido para dar soporte a la red digital de servicios integrados de banda ancha (“Broadband Integrated Services Digital Network” o BISDN). Por otro lado, el desarrollo de las redes IP proviene del mundo de las redes de computadores, que tradicionalmente se ha visto como una cosa aparte de las redes de telecomunicaciones. Las redes de computadores utilizan cualquier medio de transmisión y cualquier tecnología de red ya que en realidad la red es una concatenación de nodos (routers) conectados mediante circuitos punto a punto de

transmisión de datos. Internet se rige por los estándares “de facto” que provienen de los trabajos del IETF (“Internet Engineering Task Force”). En resumen, IP y ATM son tecnologías con distintos orígenes, distintos actores y distintos promotores. Por ello, durante un tiempo se ven mutuamente como una amenaza y como tecnologías excluyentes.

IP sobre ATM

El primer paso de integración de ambas tecnologías es pragmático y francamente pobre; es la constatación práctica de lo que podríamos considerar ATM como un mal necesario. En [RFC 1577] se trata ATM como un simple modo de transmisión, igual que un circuito punto a punto, un segmento de una red Ethernet, o un circuito punto a punto Frame Relay: IP es encapsulado dentro de una PDU de AAL5 [RFC 1483]. No se aprovecha ni se tiene en cuenta en absoluto nada de lo que puede aportar ATM, ni tan solo la posibilidad de proporcionar calidad de servicio. La red ATM se subdivide en subredes lógicas IP (“Logical IP subnets”, LIS) las cuales están interconectadas mediante routers IP. Las conexiones directas ATM entre estaciones que pertenecen a dos LIS distintas no están permitidas, aunque físicamente ambas máquinas estén conectadas al mismo conmutador ATM. Cualquier conexión ATM está restringida dentro de la subred lógica IP.

La red ATM utiliza su propio mecanismo de direccionamiento que es completamente independiente del esquema de direcciones IP. ATM ARP se encarga de la resolución de direcciones y permite establecer VCC entre estaciones dentro de la misma LIS. Los paquetes IP entre estaciones dentro de la misma subred son encapsulados y conmutados a nivel ATM. Para poder enviar paquetes IP que van dirigidos a una estación que pertenece a otra LIS cada estación establece un VCC con el router de su LIS. En el router se ensamblan las celdas ATM para recomponer la CS-PDU de AAL5 y se extrae el paquete IP. Se procesa el mismo, de acuerdo con el algoritmo de encaminamiento propio de IP, y se retransmite hacia la otra LIS volviendo a encapsular el paquete IP en una CS-PDU de AAL5, y segmentando ésta en celdas ATM. Este proceso de ensamblado de celdas ATM para obtener el paquete IP, y el de segmentación de paquetes IP en celdas ATM condiciona severamente la eficiencia y las ventajas propias de la utilización de ATM, como son la alta velocidad de transmisión, los retardos reducidos extremo a extremo, y la calidad de servicio. En resumen, el router se encarga de la conmutación de nivel 3 (encaminamiento de paquetes IP) y el conmutador ATM se encarga de la denominada conmutación de nivel 2 (celdas ATM).

Según lo dicho, la propuesta de “Classical IP over ATM” no aborda realmente el problema de la integración, más bien se trata de una superposición de IP sobre ATM. Para permitir la conexión directa entre estaciones ATM que pertenecen a LIS distintas el IETF ha incorporado el mecanismo denominado “Next Hop Resolution Protocol” [NHRP]. En realidad se trata de una extensión del mecanismo de resolución de direcciones ATM ARP a través de varias LIS.

En la figura 1 se compara el trayecto de los paquetes IP entre las subredes A y C a través de la subred B cuando se utiliza “Classical IP over ATM” y cuando se utiliza el

NHRP. En el primer caso se establece un VCC entre los routers (R) donde se procesa y encamina cada paquete (líneas continuas). El NHRP permite establecer un camino directo (“shortcut routing path”) a través de la red ATM sin que los paquetes IP sean procesados por los routers intermedios (línea discontinua). NHRP permite establecer VCC entre distintas LIS sobre una red ATM gracias al mecanismo de resolución de direcciones que permite asociar la dirección IP de destino con la dirección ATM correspondiente. Esta solución permite obtener un mayor flujo (“throughput”), retardos más pequeños, una reducción en la carga de los routers (ya que han de procesar menos paquetes), y una optimización de las capacidades de la red ATM, incluyendo la posibilidad de proporcionar calidad de servicio.

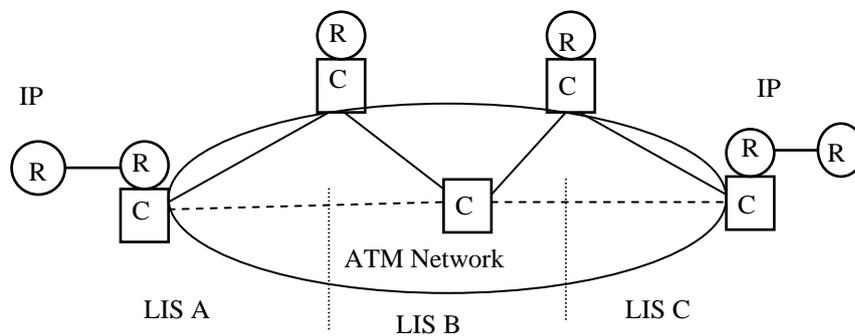


Figura 1. Establecimiento de VCC directas con el NHRP

Integración nivel 2 y nivel 3

Con el nombre de encaminamiento multinivel (“layered routing”) se designa a una serie de técnicas que tienen en común el hecho de coordinar la información de nivel 2 (conmutación) con la información de nivel 3 (encaminamiento). Si bien estas técnicas se pueden aplicar en cualquier tipo de redes encuentran un escenario idóneo en las redes ATM, donde la conmutación de nivel 2 incluye funciones de encaminamiento de nivel 2 para establecer los VCC.

Algunos de los routers de alta velocidad utilizan estas técnicas para eliminar o reducir el procesado “software” de las cabeceras de los paquetes IP y aumentar así su rendimiento (paquetes / segundo). Una vez más la integración de IP con ATM es la pieza clave de esta evolución.

Se comentan en este apartado las técnicas más relevantes que emplean algún mecanismo que permita asociar la dirección de nivel 3 (dirección IP) con la dirección de destino de nivel 2 (dirección MAC en redes locales, VPI/VCI en redes ATM, o DLCI de Frame Relay). En terminología inglesa se conoce como “peer-to-peer multilayer mapping” o “Layered Routing”.

Cada conmutador dispone de un procesador de rutas que permite conocer la topología de la red de una forma similar a la que hace un router. El procesador de rutas determina el camino a través de la red y el conmutador establece el camino virtual extremo-a-extremo. A partir de este momento todos los paquetes son conmutados directamente en lugar de pasar por los routers. Este mecanismo combina el control de nivel 3 y la velocidad de conmutación de nivel 2. El término "peer-to-peer" se refiere al hecho que el mecanismo se basa en los protocolos de encaminamiento como RIP ("Routing Information Protocol"), OSPF ("Open Shortest Path First"), y BGP ("Border Gateway Protocol") para intercambiar información y reconocer la topología. Las propuestas más importantes de esta categoría son: IP Switching (Ipsilon/Nokia), Cell Switch Router (CSR, de Toshiba), Tag Switching (CISCO), y Aggregate Route-based IP Switching (ARIS, de IBM). A continuación se presenta una breve comparación.

IP Switching y Cell Switch Router

Las propuestas de Ipsilon y Toshiba son similares en los aspectos siguientes: utilizan dispositivos híbridos con funciones de conmutación y encaminamiento (routers sobre un conmutador ATM), definen un protocolo de señalización entre estos nodos híbridos y se basan en la identificación de flujos de tráfico.

Para decidir qué flujos se han de conmutar, además de tener en cuenta la topología de la red se identifican aquellos flujos IP que tienen una duración significativa (por ejemplo, los que corresponden a transferencias de ficheros –ftp–, sesiones de terminal remoto –telnet–, sesiones de web –http–, etc.). Sólo estos flujos son conmutados en la red ATM asociándoles un VPI/VCI. La decisión en un nodo se señala a los nodos vecinos. En este sentido, se dice que ambas propuestas son "traffic driven" porque la decisión sobre los flujos que se han de conmutar se hace monitorizando el tráfico.

Sin embargo existen dos diferencias importantes entre IP Switching y CSR. La primera es que en la propuesta de Ipsilon los dispositivos que detectan los flujos son los routers de entrada y de salida de la red ("edge device"), mientras que en la propuesta de Toshiba cualquier router puede determinar los flujos. La segunda diferencia es que CSR puede soportar simultáneamente la señalización nativa ATM, mientras que Ipsilon propone su señalización propia. IP Switching no emplea la UNI estándar de ATM mientras que CSR sí lo hace. Esto permite a CSR establecer VCC directos entre subredes.

Tag Switching y Aggregate Route-based IP Switching

A diferencia de las anteriores, Tag Switching y ARIS son propuestas denominadas "control driven" o bien "topology driven" porque la decisión de los flujos que se han de conmutar se toma independientemente de su naturaleza. Todo el tráfico, incluido el tráfico "best effort" es conmutado mediante VCC directos. Ambas propuestas permiten agrupar flujos en un mismo VCC; de esta forma se reduce el problema de la gestión de un gran número de VCC con su señalización correspondiente.

Tag Switching asigna una etiqueta ("tag") a los paquetes, tramas o celdas de una misma subred. Estas etiquetas son definidas por los routers que limitan la subred ("edge routers"), los cuales incorporan conmutadores en función esta etiqueta. Estos "edge routers" mantienen la información de la asociación entre cada etiqueta y el VPI/VCI asignado. Cisco define un protocolo para la distribución de las etiquetas y para el mantenimiento de la asociación entre las direcciones de nivel 3 y las etiquetas de nivel 2 ("Tag Distribution Protocol").

En la propuesta de IBM (ARIS) los conmutadores agregan el tráfico de distintos VCC en un único VCC que corresponde a un puerto de salida ("egress router"); de esta forma se elimina el problema mencionado anteriormente de la gestión de VCC. Para evitar la multiplexación de celdas ATM de distintas PDU AAL5 (paquetes IP) define el mecanismo de "VC merge".

Ambos mecanismos, Tag Switching y ARIS, soportan multicast y encaminamiento por rutas explícitas ya que en todo momento las funciones de encaminamiento IP son las estándares. Por esta misma razón no presentan el problema de la generación de bucles y pueden mantener la información correcta del "time to live" (TTL) de los datagramas IP.

En resumen, las propuestas basadas en la asociación de la dirección IP con la conmutación de nivel 2 presentan muchas ventajas, sobretodo desde el punto de vista de rendimiento, y gozan de una gran aceptación entre los fabricantes. La desventaja principal es que, incluso en el caso de conmutación de flujos, en redes muy grandes se pueden identificar muchos flujos simultáneamente y agotar los VCI disponibles; a parte de la señalización que ello implica. Otra desventaja es que la mayoría de las propuestas incluyen algún protocolo de control propietario. La consolidación de todas estas propuestas se encuentra en estado de desarrollo en la propuesta de "Multiprotocol Label Switching".

Multiprotocol Label Switching (MPLS)

El objetivo del grupo de trabajo del IETF sobre MPLS es proponer una tecnología estándar que integre los paradigmas de conmutación de etiquetas y las funciones de encaminamiento. Es decir, una tecnología basada en la integración de las funciones de nivel 2 y las de nivel 3. El grupo de trabajo propone estandarizar también los protocolos necesarios para la distribución y gestión de las etiquetas para cualquier tipo de tráfico (tanto unicast como multicast), con funciones de calidad de servicio, escalabilidad, flexibilidad sobre las tecnologías de red empleadas, y opciones para realizar el encaminamiento explícito.

El concepto de conmutación de etiquetas ("label switching") se define para no usar ninguna de las denominaciones propietarias presentadas anteriormente (Tag Switching, IP Switching, CSR y ARIS) y facilitar así la estandarización. En cuanto al término multiprotocol, la idea original es no excluir ningún protocolo de red (IP, IPX, Appletalk, etc.) pero hasta ahora en los trabajos del grupo sólo se ha considerado el protocolo IP.

A continuación se presentan una serie de conceptos que están considerados de alguna manera en las propuestas mencionadas anteriormente pero que conviene explicitarlos para entender la propuesta de MPLS.

Componentes funcionales del encaminamiento

Es muy importante la distinción entre las funciones de control y las de reenvío que realizan los routers IP. La función de reenvío utiliza la tabla de encaminamiento y la información del propio paquete IP para decidir cual es el siguiente router (“next hop”). La función de control es la que se encarga de mantener y actualizar la tabla de encaminamiento (aplicando uno o más protocolos de encaminamiento, como OSPF, BGP y PIM).

En primer lugar se determina lo que se denomina la “Forwarding Equivalence Class” (FEC). Todos los paquetes que pertenecen a una FEC tienen asociada una única entrada en la tabla de encaminamiento. A modo de ejemplo, una FEC es un conjunto de paquetes unicast cuya dirección de destino coincide en el prefijo de red; un conjunto de paquetes multicast con las mismas direcciones fuente y destino; un conjunto de paquetes unicast cuya dirección de destino coincide en el prefijo de red y en el TOS (“Type of Service”). Como se ve, la definición de las FEC es muy flexible. Una vez determinada la FEC la función de control asigna el “next hop”, la interfaz de salida y, si es el caso, la cola de salida. Esta información se introduce en la tabla de encaminamiento para que la utilice la función de reenvío. Si la FEC corresponde a tráfico multicast entonces se asignan varias salidas.

Definición de las etiquetas

La etiqueta (“label”) es una entidad pequeña y de longitud fija que no tiene ninguna estructura; es decir, no codifica ningún tipo de información relacionado con la dirección de red. La tabla de reenvío es indexada directamente por la etiqueta; se trata pues de una matriz de dimensión fija cuyo índice de entrada es la etiqueta. En la tabla se indica la interfaz de salida, la dirección del siguiente router y la etiqueta que se asignará a la salida.

En el caso de tecnologías como ATM y Frame Relay la etiqueta viene dada de forma natural en la propia cabecera de la celda ATM (con el VPI/VCI) y de la trama Frame Relay (con el DLCI). Además, los conmutadores precisamente utilizan esta “etiqueta” para realizar la función de conmutación a la salida correspondiente. No se requiere ninguna modificación en los conmutadores.

Para aquellas tecnologías de red que no tienen ningún identificador en la cabecera de la trama que se pueda utilizar como etiqueta (como es en el caso de Ethernet, FDDI, Token Ring, y enlaces punto a punto) se define una etiqueta denominada “shim label”. Esta etiqueta se inserta entre la cabecera de nivel 2 (por ejemplo, la dirección MAC de Ethernet) y la cabecera de nivel 3 (dirección IP). La inserción y procesado de la “shim label” sólo requiere modificar el “software” de los routers clásicos y permite operar con todo tipo de interfaces de red.

Funciones de encaminamiento con Label Switching Routers

La definición de las etiquetas y su asignación a las distintas clases FEC permite una gran flexibilidad y unifica el proceso de reenvío tal como se muestra en la tabla siguiente. Esta es la aportación principal de MPLS: un único mecanismo de reenvío para todo tipo de tráfico y clases FEC. La definición de las etiquetas es independiente del protocolo de red empleado (IP v6, IP v4, IPX, AppleTalk) y, a la vez, es independiente de las tecnologías de red (Ethernet, FDDI, Token Ring, Frame Relay, ATM, etc.). Otra ventaja importante que proporciona MPLS es el hecho que la etiqueta se puede asociar a distintas FEC con una semántica propia acerca de los recursos reservados.

	Tráfico Unicast	Tráfico Unicast con clase de servicio	Tráfico Multicast
Función de reenvío clásica	Igualdad en el mayor número de bits de la dirección de destino	Igualdad en el mayor número de bits de la dirección de destino y mismo Type of Service (TOS)	Igualdad en el mayor número de bits de la dirección fuente, igualdad en la dirección de destino y misma interfaz de entrada
Función de reenvío con "label switching"	Conmutación de etiquetas	Conmutación de etiquetas	Conmutación de etiquetas

Tabla 1. Comparación entre las funciones de encaminamiento de "Label Switching Routing" y "Classical Routing"

En lo que se refiere a la función de control del mecanismo de encaminamiento (el mantenimiento y actualización de la tabla) sigue utilizando los mismos protocolos que los routers clásicos (OSPF, BGP, PIM, etc.) pero éstos no son suficientes para soportar Label Switching. Con MPLS se debe crear una asociación entre las etiquetas y las FEC, informar de estas asociaciones a los routers vecinos (junto con la información de los protocolos clásicos) y, con toda esta información se debe construir la tabla que ha de permitir la conmutación rápida basada en etiquetas.

Conclusiones

MPLS se propone como la tecnología que se impondrá en los próximos años. La distinción entre las funciones de control del encaminamiento y la de reenvío permite separar las funciones que dependen de los protocolos de encaminamiento estándar de las funciones de conmutación, simplificando estas últimas con el uso de la conmutación basada en las etiquetas ("label switching"). Se denomina conmutación IP precisamente por este motivo: parte de las funciones de encaminamiento que

tradicionalmente se realizan por software ahora se pueden realizar por hardware a modo de conmutación.

De todas formas, en la actualidad no está disponible la propuesta completa del grupo de trabajo MPLS. Los temas más importantes a definir son: la semántica de las etiquetas, los mecanismos de asociación de las etiquetas con los flujos de paquetes (incluyendo ambas opciones: “topology driven” y “traffic driven”), los protocolos de señalización entre LSR para mantener la información acerca de la asociación etiqueta-flujo, etc. Este último aspecto es muy importante para garantizar la compatibilidad con los routers actuales por los que respecta al uso del parámetro TTL y a su actualización correcta.

Como requerimientos a tener en cuenta se encuentran: la compatibilidad con los protocolos de encaminamiento en uso, la compatibilidad con todas las tecnologías de red, la capacidad de agregar tráfico, la capacidad de soportar operaciones de administración y mantenimiento, soportar flujos unicast y multicast, compatibilidad con el protocolo de reserva de recursos (RSVP), debe poder coexistir con los protocolos de conmutación de nivel 2 (por ejemplo, en redes ATM, la señalización, PNNI, LANE, NHRP, MPOA), no debe imponer modificaciones en los demás routers que no soportan MPLS, etc.

Habrá que esperar que finalicen los trabajos del IETF MPLS WG para que empiecen a aparecer los nuevos dispositivos MPLS.

Bibliografía

- [RFC 1577] “Classical IP and ARP over ATM”. M. Laubach. January 1994.
- [RFC 1483] “Multiprotocol Encapsulation over ATM Adaptation Layer 5”. J. Heinanen. 1993.
- [NHRP] “NBMA Next Hop Resolution Protocol”. J. Luciani et al. Internet Draft. March 1997.
- [Whit98] “ATM Switching and IP Routing Integration: The Next Stage in Internet Evolution?”. Paul Patrick White. IEEE Communications Magazine, April 1998, pp. 79-83.
- [Robe97] “High-Speed Routing”. Erica Roberts. Data Communications. March 1999, pp. 84-96.
- [Visw98] “Evolution of Multiprotocol Label Switching”. A. Viswanathan et al. IEEE Communications Magazine. May 1998, pp. 165-173.
- [Bray98] “IP over ATM: A Switch for the Better?”. Andy Bray. Telecommunications. October 1998, pp.67-71.
- [Dumo98] “Toward a New IP over ATM Routing Paradigm”. Philip Dumortier. IEEE Communications Magazine. January 1998, pp. 82-86.
- [Guar98] “IP and ATM Integration Perspectives”, E. Guarene, P. Fasano, V. Vercellone. IEEE Communications Magazine. January 1998, pp. 74-80.
- [Newm97] “IP Switching and Gigabit Routers”. Peter Newman et al. IEEE Communications Magazine. January 1997, pp. 64-69.
- [Davi98] “Switching in IP Networks: IP Switching, Tag Switching, and Related Technologies”. Bruce Davie, Paul Doolan, Yakov Rekhter. Morgan Kaufmann Publishers, Inc. San Francisco. California. USA, 1998.