Interconexión de redes IP y redes ATM. Gigabit Routers

Jordi Domingo i Pascual

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

Resumen. El crecimiento que ha experimentado Internet en los últimos años se refleja en el aumento del número de terminales conectados, el aumento del número de encaminadores ("routers") y el incremento del volumen de tráfico. Todo ello conlleva una serie de problemas asociados a este proceso de crecimiento acelerado. En primer lugar surge la necesidad de contabilizar el tráfico (flujo de paquetes) y de clasificarlo adecuadamente para poder hacer previsiones de futuro. Por otra parte, el aumento del número de usuarios y de servidores conectados en la red implica un volumen muy elevado de tráfico agregado en los troncales de la red. El tercer aspecto que merece ser destacado es la necesidad, cada vez más patente, de proveer algún tipo de calidad de servicio, es especial con la proliferación de aplicaciones multimedia interactivas. En este punto es donde las redes ATM (utilizadas en muchos troncales) tienen un papel significativo dado que son capaces de proporcionar calidad de servicio. Para dar una respuesta adecuada a todos estos problemas es necesario disponer de encaminadores de paquetes de alta velocidad ("Gigabit routers") que además de ser capaces de procesar paquetes IP a velocidades similares a las de conmutación han de proporcionar mecanismos para clasificar el tráfico y poder asignar, de alguna forma, recursos de red y, así, poder dar calidad de servicio. 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 son 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 describen también las tecnologías más relevantes empleadas en los encaminadores de alta velocidad: IP Switching, Tag Switching, y MPLS ("MultiProtocol Label Swtiching").

Introducción

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). En la definición de ATM está implícita la evolución de la ISDN, de banda estrecha, a la BISDN, de banda ancha, de forma gradual. Los actores dominantes en ITU son las PTT (compañías operadoras de telefonía), las cuales ven en ATM la tecnología ideal para integrar voz (telefonía) con los servicios de transmisión de datos y los servicios de distribución de vídeo. ATM permite integrar eficazmente y de forma flexible todos estos flujos de información, además permite garantizar una calidad de servicio dado que se trata de un sistema de transmisión y de conmutación orientado a la conexión, y permite definir y gestionar fácilmente redes virtuales de área extendida.

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 circuitos punto a punto de transmisión de datos, y poca cosa más. IP y ATM son tecnologías con distintos orígenes, distintos actores y distintos promotores. Por ello, durante un tiempo se ven mútuamente como una amenaza.

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 se encapsula 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. ATMARP 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 la figura 1 se muestran estos procesos. 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).

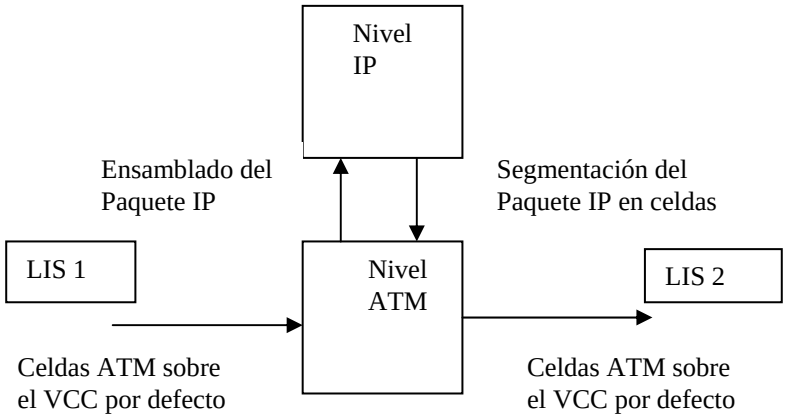

Figura. 1. Modelo clásico de IP sobre ATM

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 2 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.

De todas formas, aún teniendo en cuenta todas las ventajas que conlleva el uso del mecanismo de NHRP, su aplicación en redes grandes no es viable. En redes con muchos flujos IP distintos el establecimiento de VCC directos (“shortcut paths”) para cada flujo individual es imposible de gestionar por los conmutadores ATM. Por una parte, los conmutadores tienen un número limitado de VPI/VCI por puerto y, por otra, el tiempo de establecimiento y liberación (debido a la señalización propia de ATM) limita seriamente la cantidad de conexiones por segundo.

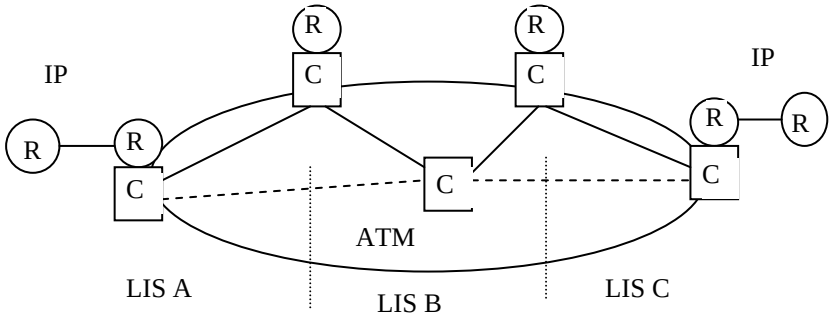

Figura. 2. Establecimiento de VCC directas con el NHRP

Además, si se tiene en cuenta que en Internet existen muchos flujos pequeños de duración muy corta, resulta difícil justificar el mecanismo de establecimiento de VCC directos y la gestión que comporta. Otra limitación del NHRP es que no es capaz de soportar “multicast”. ATM proporciona un servicio orientado a la conexión y, por lo tanto, no es capaz de realizar multicast de paquetes IP. La función de multicast queda relegada a los routers.

Emulación de redes locales

Por su parte, el ATM Forum en su definición del servicio de emulación de redes locales (“LAN Emulation”) [LANE] tampoco aprovecha las funcionalidades propias de ATM en aras a facilitar la migración de entornos clásicos de redes locales (mayoritariamente basados en IP) hacia redes locales de alta velocidad basadas en ATM. Tanto las estaciones de trabajo como los routers y los otros dispositivos de red (como los “bridge”) son los clientes del servicio (“LANE Client”, LEC). El LEC se sitúa debajo del nivel LLC y encima del nivel AAL y ATM. El servicio de LANE está dividido funcionalmente en tres: servicio de configuración (“LANE Configuration

Server", LECS), servicio de emulación ("LAN Emulation Server", LES), y servicio "broadcast" ("LANE Broadcast and Unknown Server", BUS). Tanto el LECS, como el LES y el BUS pueden residir en el mismo equipo; típicamente en el mismo conmutador ATM.

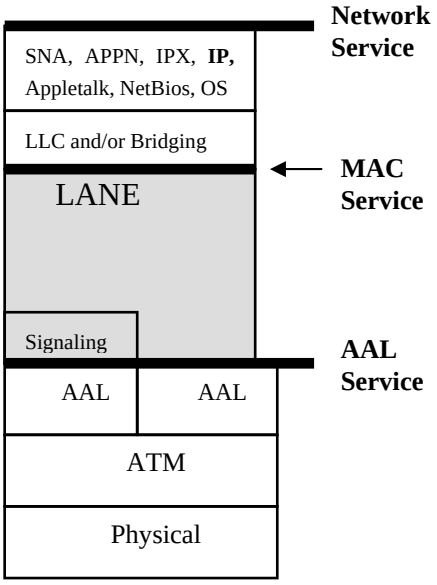

Figura. 3. Modelo de la pila de protocolos para LAN Emulation

El servicio de LANE se mantiene a través de un conjunto de VCC entre cada LEC y los servidores LECS, LES y BUS. Estos VCC son permanentes mientras existe la LANE. El LECS se encarga de gestionar la red emulada y de mantener la lista de las estaciones que pertenecen a una misma LANE. Se pueden establecer distintas LANE simultáneamente. El LES se encarga de la resolución de direcciones y de la compatibilidad con las LAN clásicas (IEEE 802.2). El tráfico entre dos estaciones ATM que pertenecen ala misma LANE se transporta a través de VCC directos. Es decir, se forma una malla completa de VCC entre pares de estaciones que se intercambian información. La distribución del tráfico multicast se realiza a través del BUS mediante un VCC punto-multipunto o mediante un conjunto de VCC punto a punto desde el BUS a cada LEC. Esta solución implica un cuello de botella en la distribución del tráfico multicast; todo pasa por el BUS. Para aligerar la carga del BUS se puede disponer de más de uno. A pesar de ello persiste otro problema: los flujos ATM AAL5 no se pueden multiplexar. El BUS debe ensamblar cada PDU AAL5 y transmitirla de forma continua sin intercalar celdas ATM de otras PDU.

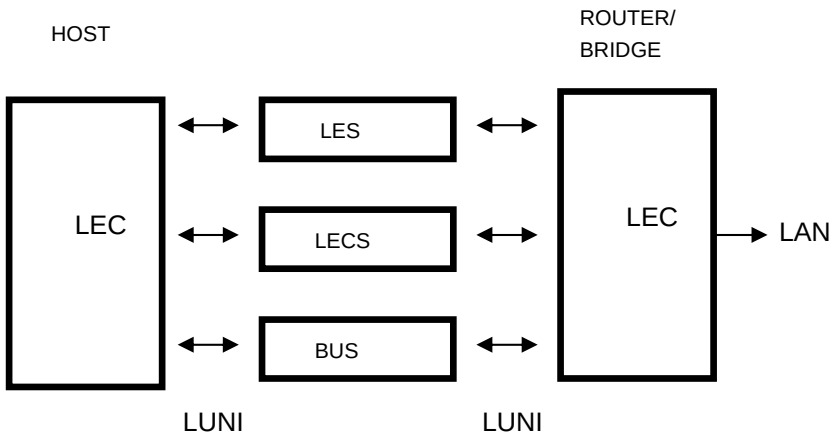

Figura. 4. Elementos que forman el servicio de emulación de redes locales

En resumen, la propuesta del servicio de LANE está orientada, como se ha dicho antes, a la migración de redes locales hacia ATM y a la interoperabilidad entre redes locales tradicionales y redes ATM. No es una propuesta de integración.

Gigabit Routers

La necesidad de procesar un elevado número de paquetes IP en los routers ha propiciado la proliferación de distintas arquitecturas alternativas. Los routers clásicos son capaces de procesar entre 300.000 y 500.000 paquetes IP por segundo. El aumento de la velocidad de transmisión (en particular en redes troncales ATM) y el aumento del tráfico debido al aumento de usuarios y servidores en la red, así como a la introducción de aplicaciones multimedia, establece un verdadero reto a la capacidad de proceso de los routers: deben ser capaces de procesar del orden de 20 o 30 millones de paquetes IP por segundo. Se trata de encaminar paquetes IP a la velocidad de conmutación.

Todos los fabricantes de routers han lanzado propuestas con arquitecturas más o menos novedosas para poder conmutar paquetes IP. Son los denominados Gigabit Routers o routers de alta velocidad. Aunque las propuestas de distintos fabricantes pueden parecer muy dispares, en realidad se pueden clasificar en cinco categorías: 1) multigigabit routers, 2) esquemas basados en la asociación entre la conmutación de nivel 3 con la de nivel 2, 3) mecanismos basados en servidores, 4) mecanismos

basados en el descubrimiento de direcciones IP, y 5) la conmutación de nivel 3 [Robe97].

A continuación se describen brevemente cada una de estas categorías, se pone de manifiesto sus ventajas y sus inconvenientes, y se comparan entre ellas.

Multigigabit Routers

Todas las propuestas de esta clase tienen un objetivo común: poder reemplazar los routers IP clásicos por los de nueva generación. El aumento de la velocidad de conmutación de los paquetes IP se obtiene usando nuevas arquitecturas hardware. En general se reemplaza el bus de interconexión de las interfaces de red por matrices de conmutación del tipo barras cruzadas ("crossbar"). Esto permite conmutar paquetes en paralelo mientras que el bus sólo permite conmutar un paquete. En la misma línea, la utilización de hardware específico para determinar la dirección IP de cada paquete y buscarla en las tablas de encaminamiento, permite acelerar notablemente el procesado de los paquetes IP. Por decirlo de otra forma, el mecanismo de encaminamiento se pasa al hardware en lugar de realizarlo totalmente en software.

La ventaja principal de esta clase de routers es que pueden reemplazar directamente los routers de baja capacidad sin tener que modificar en absoluto la configuración de la red. No existe ningún tipo de integración; los routers sólo procesan paquetes IP y están por encima de los conmutadores de red (por ejemplo, conmutadores ATM). Las desventajas son el coste de los equipos (las matrices de conmutación son caras) y la escalabilidad (persiste el procesado independiente de los paquetes IP y de la conmutación de celdas ATM, con los mecanismos asociados de ensamblaje y segmentación).

Routers con asociación de nivel 2 y de nivel 3

Dentro de esta clase de routers se incluyen aquellos que emplean algún mecanismo que permita asociar la dirección de nivel 3 (dirección IP) con la dirección de destinación de nivel 2 (dirección MAC en redes locales, VPI/VCI en redes ATM o Frame Relay). En terminología inglesa de 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 simular 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: Tag Switching (CISCO), Aggregate Route-based IP Switching (ARIS de IBM), IP Switching (Ipsilon/Nokia) y Cell Switch Router (CSR de Toshiba). Algunas de estas propuestas serán tratadas con detalle más adelante. A continuación sólo se presenta una breve comparación.

Tag Switching asigna una etiqueta (“tag”) a los paquetes 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. 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.

La propuesta de IBM (Aris) los conmutadores agregan el tráfico de distintos VC en un único VC, de esta forma se elimina el problema mencionado anteriormente de la gestión de VCC. En el router de salida (“egress router”) el tráfico agregado se distribuye en los correspondientes VC.

Las propuestas de Ipsilon y Toshiba se basan en la identificación de flujos. Además de tener en cuenta la topología se identifican aquellos flujos IP que tienen una duración significativa (por ejemplo los que corresponden a transferencias de ficheros, sesiones de telnet, sesiones de web, etc.). Sólo estos flujos son conmutados en la red ATM asociándoles un VPI/VCI.

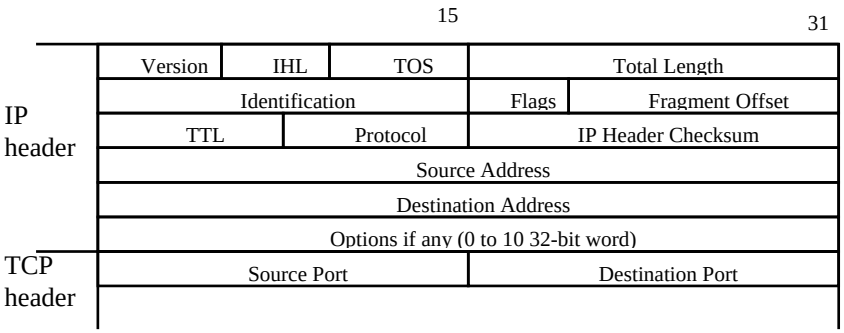

Figura. 5. Cabeceras IP y TCP. Un flujo está identificado por un par de direcciones IP origen y destino, o bien por un par de direcciones IP y puerto TCP origen y destino

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”). 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.

En resumen, las propuestas basadas en la asociación de la dirección IP con la conmutación de nivel 2 presenta 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 agotar los VC disponibles. Otra desventaja es que la mayoría de las propuestas incluyen algún protocolo de control propietario. Hay que esperar a que se llegue a una estandarización de las propuestas.

Routers con mecanismos basados en servidores

Esta alternativa se base en tres componentes: un servidor de rutas que se encarga de calcular el camino a través de la red, un mecanismo de proceso de nivel 3 en los equipos limítrofes de la red, y conmutadores de nivel 2 en la red. Todas loas propuestas se basan en el NHRP definido por el IETF. Además, el NHRP se combina con el IEEE 802.1Q ("Virtual Bridged LANs") y el IEEE 802.1p ("Dynamic Multicast Filtering Services on Bridged LANs").

El funcionamiento es el siguiente. Una estación para enviar datos a otra estación situada en otra subred o en otra VLAN hace una petición NHRP a su servidor de rutas más próximo. En la petición se incluye su dirección MAC, su dirección IP y el identificador de VLAN. Si el servidor conoce cómo llegar a la estación de destino le pasa directamente la petición y la estación de destino responde directamente a la estación fuente utilizando su dirección MAC y el identificador de VLAN. En caso que el servidor de rutas desconozca cómo llegar a la estación de destino, propaga la petición al siguiente servidor de rutas o al siguiente router. Este proceso se repite hasta que un router o un servidor de rutas localiza la estación destino.

Las ventajas principales de este tipo de propuestas son que permiten establecer subredes IP, el retardo asociado a la decisión de encaminamiento sólo se da en el primer paquete ya que los demás son conmutados directamente, y la gestión de las rutas está centralizada en el servidor. Como desventajas están precisamente el hecho de basarse en un control centralizado (si falla el servidor el sistema no funciona) y la escalabilidad para redes grandes.

MPOA ("Multiprotocol over ATM") es la propuesta del ATM Forum. Utiliza el NHRP para encontrar el camino entre dos estaciones que pertenecen a distintas LANE y poder conmutar los paquetes IP a través de la red ATM. El hecho de disponer de un estándar definido y estable es una gran ventaja a la hora de apostar por una tecnología determinada.

Routers con mecanismos basados en el descubrimiento de direcciones IP

Este tipo de alternativa se basa en la utilización del protocolo ICMP ("Internet Control Message Protocol") y sólo es aplicable a entornos de red Ethernet y Fast Ethernet conmutados. Los routers utilizan habitualmente este protocolo para corregir la dirección IP de destino cuando ésta es incorrecta. Para ello emplea un mensaje "ICMP redirect" con el que le envía a la estación fuente la dirección correcta de la

estación de destino. De la misma forma que los routers emplean ICMP para conocer direcciones IP también lo puede hacer otro dispositivo que se comporte como un router y emplee ICMP.

Cuando una estación va a enviar un paquete a otra estación que está en otra subred o en otra VLAN envía un mensaje ARP al “default gateway”. En este caso el “default gateway” es el equipo dedicado al descubrimiento de direcciones. Éste asocia la dirección MAC de destino con la suya propia de forma que la estación fuente le envía el paquete en lugar de enviarlo a la estación destino. El equipo en cuestión reenvía el paquete hacia la estación destino y al mismo tiempo envía hacia la estación fuente un mensaje ICMP redirect asignándole una dirección IP virtual en la misma subred o VLAN. Tanto la estación fuente como la estación destino ven a la otra estación como una estación que pertenece a su misma subred utilizando direcciones IP virtuales. Una vez se ha conseguido esto ya se puede establecer la conexión directa con conmutación de nivel 2.

En resumen, el dispositivo de descubrimiento de direcciones da a conocer a la estación como acceder a otra subred utilizando direcciones IP virtuales. El primer paquete es procesado y encaminado a nivel 3 (IP) mientras que todos los demás son conmutados a nivel 2. Las ventajas principales radican en que el retardo asociado al procesado de nivel 3 sólo afecta al primer paquete y en que no hay que cambiar nada en las estaciones. Como desventaja destaca otra vez el hecho de depender de un equipo para el descubrimiento de direcciones y en la escalabilidad del mecanismo para redes grandes.

Routers con conmutación de nivel 3

Se trata de routers muy rápidos que procesan paquetes a velocidades similares a las de conmutación de nivel 2. Se diferencian de los multigigabit routers en el hecho que no utilizan hardware de conmutación tipo barras cruzadas; por este motivo no son tan caros; su precio es similar al de los conmutadores de nivel 2. En cambio sí utilizan hardware específico para las funciones de procesado de las direcciones y para la búsqueda en la tabla de encaminamiento. Normalmente están diseñados para entornos de red local y no como routers de las redes troncales. Además, típicamente sólo procesan paquetes IP o IP/IPX.

Las ventajas a destacar son la relación prestaciones/precio y el hecho que no dependen de ningún protocolo propio o en fase de estandarización.

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.

[LANE] "LAN Emulation over ATM. Version 1.0". ATM Forum, January 1995. ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/af-lane-0021.000.ps.

[MPOA] "Multi-Protocol over ATM. Version 1.0". ATM Forum. April 1997. ftp://ftp.atmforum.com/pub/approved-specs/str-mpoa-01.000.ps.

[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.