

¿Qué es...?

El enorme crecimiento de la red Internet ha convertido al protocolo IP (*Internet Protocol*) en la base de las actuales redes de telecomunicaciones, contando con más del 80% del tráfico cursado.

MPLS (*MultiProtocol Label Switching*)

La versión actual de IP, conocida por IPv4 y recogida en la RFC 791, lleva operativa desde 1980. Este protocolo de capa de red (Nivel 3 OSI), define los mecanismos de la distribución o encaminamiento de paquetes, de una manera no fiable y sin conexión, en redes heterogéneas; es decir, únicamente está orientado a servicios no orientados a conexión y a la transferencia de datos, por lo que se suele utilizar junto con TCP (*Transmission Control Protocol*) (Nivel 4 de OSI) para garantizar la entrega de los paquetes. A mediados de la década de los 90, la demanda por parte de los clientes de los ISP (*Internet Service Providers*) de aplicaciones multimedia con altas necesidades de ancho de banda y una calidad de servicio o QoS (*Quality of Service*) garantizada, propiciaron la introducción de ATM (*Asynchronous Transfer Mode*) en la capa de enlace (Nivel 2 de OSI) de sus redes. En esos momentos, el modelo de IP sobre ATM satisfacía los requisitos de las nuevas aplicaciones, utilizando el encaminamiento inteligente de nivel 3 de los routers IP en la red de acceso, e incrementando el ancho de banda y rendimiento basándose en la

alta velocidad de los conmutadores de nivel 2 y los circuitos permanentes virtuales de los switches ATM en la red troncal. Esta arquitectura, no obstante, presenta ciertas limitaciones, debido a: la dificultad de operar e integrar una red basándose en dos tecnologías muy distintas, la aparición de switches ATM e IP de alto rendimiento en las redes troncales, y la mayor capacidad de transmisión ofrecida por SDH/SONET (*Synchronous Digital Hierarchy / Synchronous Optical Network*) y DWDM (*Dense Wavelength Division Multiplexing*) respecto a ATM.

Durante 1996, empezaron a aparecer soluciones de conmutación de nivel 2 propietarias diseñadas para el núcleo de Internet que integraban la conmutación ATM con el encaminamiento IP; como por ejemplo, Tag Switching de Cisco o Aggregate Route-Based IP Switching de IBM. La base común de todas estas tecnologías, era tomar el software de control de un router IP, integrarlo con el rendimiento de reenvío con cambio de etiqueta de un switch ATM y crear un router extremadamente rápido y eficiente en cuanto a coste. La integración en esta arquitectura era mayor, porque se

utilizaban protocolos IP propietarios para distribuir y asignar los identificadores de conexión de ATM como etiquetas; pero los protocolos no eran compatibles entre sí y requerían aún de infraestructura ATM.

Finalmente en 1997, el IETF (*Internet Engineering Task Force*) establece el grupo de trabajo MPLS (*MultiProtocol Label Switching*) para producir un estándar que unificase las soluciones propietarias de conmutación de nivel 2. El resultado fue la definición en 1998 del estándar conocido por MPLS, recogido en la RFC 3031. MPLS proporciona los beneficios de la ingeniería de tráfico del modelo de IP sobre ATM, pero además, otras ventajas; como una operación y diseño de red más sencillo y una mayor escalabilidad. Por otro lado, a diferencia de las soluciones de conmutación de nivel 2 propietarias, está diseñado para operar sobre cualquier tecnología en el nivel de enlace, no únicamente ATM, facilitando así la migración a las redes ópticas de próxima generación, basadas en infraestructuras SDH/SONET y DWDM.

Concepto de MPLS

MPLS es un estándar IP de conmutación de paquetes del IETF, que trata de proporcionar algunas de las características de las redes orientadas a conexión a las redes no orientadas a conexión. En el encaminamiento IP sin conexión tradicional, la dirección de destino junto a otros parámetros de la cabecera, es examinada cada vez que el paquete atraviesa un router. La ruta del paquete se adapta en función del estado de las

MPLS/IP-ATM Red de acceso

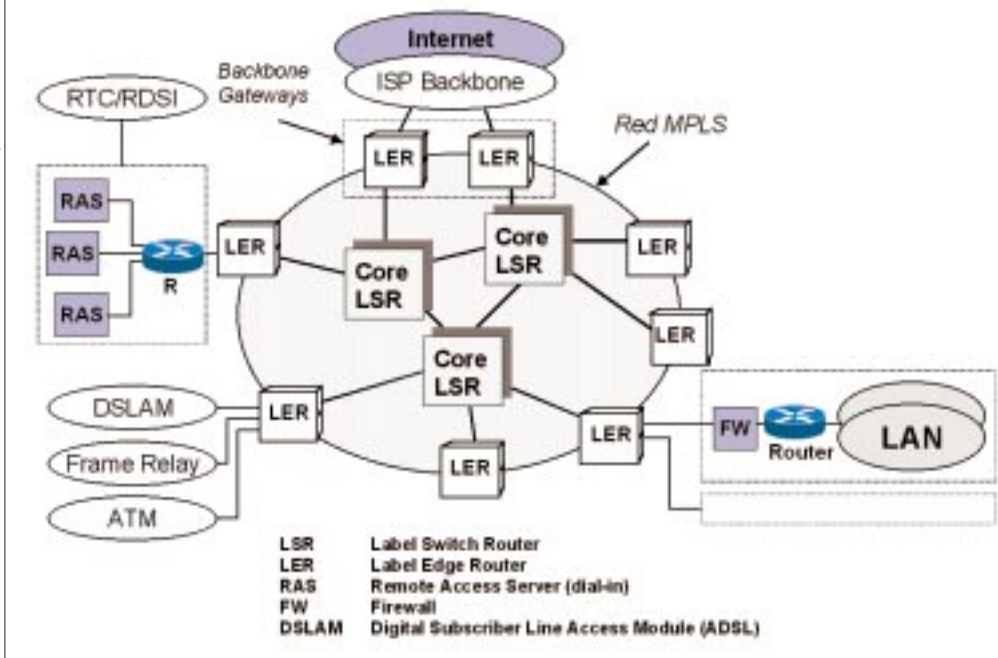


Figura : Ejemplo de una red MPLS.

tablas de encaminamiento de cada nodo, pero, como la ruta no puede predecirse, es difícil reservar recursos que garanticen la QoS; además, las búsquedas en tablas de encaminamiento hacen que cada nodo pierda cierto tiempo, que se incrementa en función de la longitud de la tabla.

Sin embargo, MPLS permite a cada nodo, ya sea un switch o un router, asignar una etiqueta a cada uno de los elementos de la tabla y comunicarla a sus nodos vecinos. Esta etiqueta es un valor corto y de tamaño fijo transportado en la cabecera del paquete para identificar un FEC (*Forward Equivalence Class*), que es un conjunto de paquetes que son reenviados sobre el mismo camino a través de la red, incluso si sus destinos finales son diferentes. La etiqueta es un identificador de conexión que sólo tiene significado local y que establece una correspondencia entre el tráfico y un FEC específico. Dicha etiqueta se asigna al paquete basándose en su dirección de destino, los parámetros de tipo de servicio, la pertenencia a una VPN, o siguiendo otro criterio.

Cuando MPLS está implementado como una solución IP pura o de nivel 3, que es la más habitual, la etiqueta es un segmento de información añadido al comienzo del paquete. Los campos de la cabecera MPLS de 4 bytes, son los siguientes:

- Label (20 bits). Es el valor actual, con sentido únicamente local, de la etiqueta MPLS. Esta etiqueta es la que determinará el próximo salto del paquete.
- CoS (3 bits). Este campo afecta a los algoritmos de descarte de paquetes y de mantenimiento de colas en los nodos intermedios, es decir, indica la QoS del paquete. Mediante este campo es posible diferenciar distintos tipos de tráfico y mejorar el rendimiento de un tipo de tráfico respecto a otros.
- Stack (1 bit). Mediante este bit se soporta una pila de etiquetas jerárquicas, es decir, indica si existen más etiquetas MPLS. Las cabeceras MPLS se comportan como si estuvieran apiladas una sobre otra, de modo que el nodo MPLS tratará siempre la que esté más alto en la pila. La posi-

bilidad de encapsular una cabecera MPLS en otras, tiene sentido, por ejemplo, cuando se tiene una red MPLS que tiene que atravesar otra red MPLS perteneciente a un ISP u organismo administrativo externo distinto; de modo que al terminar de atravesar esa red, se continúe trabajando con MPLS como si no existiera dicha red externa.

- TTL (8 bits). Este campo es copiado directamente de la cabecera IP y proporciona la funcionalidad de tiempo de vida del paquete o TTL (*Time To Live*) típica de IP; la cual permite mitigar el efecto de posibles bucles en la red decrementando el valor inicial en una unidad por cada salto o nodo por el que pase el paquete.

Elementos de una red MPLS

En MPLS un concepto muy importante es el de LSP (*Label Switch Path*), que es un camino de tráfico específico a través de la red MPLS, el cual se crea utilizando los LDPs (*Label Distribution Protocols*), tales como RSVP-TE (*ReSerVation Protocol – Traffic Engineering*) o CR-LDP (*Cons-*

• José M. Huidobro Moya

• Ramón J. Millán Tejedor

Ings. de Telecomunicación
Ericsson España



straint-based Routing – Label Distribution Protocol); siendo el primero el más común. El LDP posibilita a los nodos MPLS descubrirse y establecer comunicación entre sí con el propósito de informarse del valor y significado de las etiquetas que serán utilizadas en sus enlaces contiguos. Es decir, mediante el LDP se establecerá un camino a través de la red MPLS y se reservarán los recursos físicos necesarios para satisfacer los requerimientos del servicio previamente definidos para el camino de datos.

Una red MPLS está compuesta por dos tipos principales de nodos, los LER (*Label Edge Routers*) y los LSR (*Label Switching Routers*), tal y como se muestra en la figura. Los dos son físicamente el mismo dispositivo, un router o switch de red troncal que incorpora el software MPLS; siendo su administrador, el que lo configura para uno u otro modo de trabajo. Los nodos MPLS al igual que los routers IP normales, intercambian información sobre la topología de la red mediante los protocolos de encaminamiento estándar, tales como OSPF (*Open Shortest Path First*), RIP (*Routing Information Protocol*) y BGP (*Border Gateway Protocol*), a partir de los cuales construyen tablas de encaminamiento basándose principalmente en la alcanzabilidad a las redes IP destinatarias. Teniendo en cuenta dichas tablas de encaminamiento, que indican la dirección IP del siguiente nodo al que le será enviado el paquete para que pueda alcanzar su destino final, se establecerán las etiquetas

MPLS y, por lo tanto, los LSP que seguirán los paquetes. No obstante, también pueden establecerse LSP que no se correspondan con el camino mínimo calculado por el protocolo de encaminamiento.

Los LER están ubicados en el borde de la red MPLS para desempeñar las funciones tradicionales de encaminamiento y proporcionar conectividad a sus usuarios, generalmente routers IP convencionales. El LER analiza y clasifica el paquete IP entrante considerando hasta el nivel 3, es decir, considerando la dirección IP de destino y la QoS demandada; añadiendo la etiqueta MPLS que identifica en qué LSP está el paquete. Es decir, el LER en vez de decidir el siguiente salto, como haría un router IP normal, decide el camino entero a lo largo de la red que el paquete debe seguir. Una vez asignada la cabecera MPLS, el LER enviará el paquete a un LSR. Los LSR están ubicados en el núcleo de la red MPLS para efectuar encaminamiento de alto rendimiento basado en la conmutación por etiqueta, considerando únicamente hasta el nivel 2. Cuando le llega un paquete a una interfaz del LSR, éste lee el valor de la etiqueta de entrada de la cabecera MPLS, busca en la tabla de conmutación la etiqueta e interfaz de salida, y reenvía el paquete por el camino predefinido escribiendo la nueva cabecera MPLS. Si un LSR detecta que debe enviar un paquete a un LER, extrae la cabecera MPLS; como el último LER no conmuta el paquete, se reducen así cabeceras innecesarias.

Implementaciones de MPLS

Una vez visto el concepto de MPLS, veamos los distintos tipos

La migración a MPLS como núcleo de las redes multiservicio con soporte de voz, vídeo y datos, se realizará de forma gradual durante varios años

de implementaciones actuales, en concreto: MPLS como una solución IP sobre Ethernet, IP sobre ATM, e IP sobre Frame Relay. No se contempla la aplicación de MPLS a las redes ópticas de próxima generación, conocida como GMPLS (*Generalized MPLS*), por encontrarse aún en proceso de estudio y estandarización por parte del IETF. GMPLS es una extensión natural de MPLS para ampliar el uso de MPLS como un mecanismo de control y provisión, no únicamente de caminos en dispositivos basados en paquetes, sino también de caminos en dispositivos no basados en paquetes; como los conmutadores ópticos de señales multiplexadas por división en longitud de onda, los conmutadores de fibras ópticas, y los conmutadores de señales digitales multiplexadas por división en el tiempo. Es decir, GMPLS busca una integración total en la parte de control de las redes de conmutación de paquetes IP y las redes ópticas SONET/SDH y DWDM; dando lugar a las redes ópticas inteligentes de próxima generación, cuya evolución final será la integración de IP directamente sobre DWDM utilizando algún mecanismo de encapsulamiento como los "digital wrappers".

La **implementación de MPLS como una solución IP sobre Ethernet**, Fast Ethernet o Gigabit Ethernet, es la conocida como IP pura. Puesto que IPv4 es un protocolo diseñado mucho antes

que MPLS, en este caso, la etiqueta MPLS está ubicada después de la cabecera de nivel 2 y antes de la cabecera IP. Los LSR saben como conmutar utilizando la etiqueta MPLS en vez de utilizar la cabecera IP. El funcionamiento de IPv4 ha sido totalmente satisfactorio, no obstante, el sorprendente crecimiento de Internet evidenció importantes carencias, como: la escasez de direcciones IP, la imposibilidad de transmitir aplicaciones en tiempo real y los escasos mecanismos de seguridad. Estas limitaciones propiciaron el desarrollo de la siguiente generación del protocolo Internet o IPv6, definido en la RFC 1883. La versión IPv6 puede ser instalada como una actualización del software en los dispositivos de red de Internet e interoperar con la versión actual IPv4, produciéndose esta migración progresivamente durante los próximos años. En este caso, la etiqueta MPLS forma parte de la propia cabecera IPv6, estando su uso descrito en la RFC 1809.

La **implementación de MPLS como una solución IP sobre ATM** también está muy extendida. Primeramente indicar, que MPLS no fue desarrollado para reemplazar ATM, sino para complementarlo. De hecho, la aparición de switches ATM e IP con soporte de MPLS, ha integrado las ventajas de los routers IP y los switches ATM y ha supuesto una mejora de la relación precio/rendimiento de estos dis-

positivos. La diferencia principal entre MPLS y otras soluciones de IP sobre ATM, es que las conexiones MPLS se establecen utilizando LDP, y no por los protocolos de señalización ATM tradicionales, tales como PNNI (*Private Network to Network Interface*). Por otro lado, MPLS elimina la complejidad de hacer corresponder el direccionamiento IP y la información de encaminamiento directamente en las tablas de conmutación de ATM, puesto que LDP entiende y utiliza direcciones IP y los protocolos de encaminamiento utilizados en las redes MPLS son los mismos que los utilizados en las redes IP. En este caso, descrito en la RFC 3035, la etiqueta es el valor del VPI/VCI (*Virtual Path Identifier/Virtual Channel Identifier*) de la cabecera de la celda ATM.

Finalmente, MPLS también se ha desarrollado como una solución **IP sobre Frame Relay**. En este caso, descrito en la RFC 3034, la etiqueta es el DLCI (*Data Link Control Identifier*) de la cabecera Frame Relay.

Beneficios de MPLS

La migración a IP está provocando profundos cambios en el sector de las telecomunicaciones y configura uno de los retos más importantes para los ISP, inmersos actualmente en un proceso de transformación de sus infraestructuras de cara a incorporar los beneficios de esta tecnología. MPLS nació con el fin de incorporar la velocidad de conmutación del nivel 2 al nivel 3; a través de la conmutación por etiqueta; pero actualmente esta ventaja no es percibida como el principal beneficio, ya que los gigarouters son capaces de realizar búsquedas

de rutas en las tablas IP a suficiente velocidad como para soportar todo tipo de interfaces. Los beneficios que MPLS proporciona a las redes IP son: realizar ingeniería del tráfico o TE (*Traffic Engineering*), cursar tráfico con diferentes calidades de clases de servicio o CoS (*Class of Service*) o grados de calidad de servicio o QoS (*Quality of Service*), y crear redes privadas virtuales o VPN (*Virtual Private Networks*) basadas en IP.

La TE permite a los ISP mover parte del tráfico de datos, desde el camino más corto calculado por los protocolos de enrutamiento, a otros caminos físicos menos congestionados o menos susceptibles a sufrir fallos. Es decir, se refiere al proceso de seleccionar los caminos que seguirá el flujo de datos con el fin de balancear la carga de tráfico entre todos los enlaces, routers y switches en la red; de modo que ninguno de estos recursos se encuentre infrutilizado o sobrecargado. La TE, descrita en la RFC 2702, se ha convertido en la principal aplicación de MPLS debido al crecimiento impredecible en la demanda de recursos de red. Mediante MPLS, los ISP pueden soportar servicios diferenciados o DiffServ, como viene recogido en la RFC 3270. El modelo DiffServ define varios mecanismos para clasificar el tráfico en un pequeño número de CoS. Los usuarios de Internet demandan continuamente nuevas aplicaciones, teniendo los servicios actualmente soportados unos requerimientos de ancho de banda y de tolerancia a retrasos en la transmisión muy distintos y para satisfacer estas necesidades óptimamente, los ISP



necesitan adoptar no sólo técnicas de ingeniería de tráfico, sino también de clasificación de dicho tráfico. De nuevo, MPLS ofrece a los ISP una gran flexibilidad en cuanto a los diferentes tipos de servicios que puede proporcionar a sus clientes.

Finalmente, MPLS ofrece también un mecanismo sencillo y flexible para crear VPN. Una VPN simula la operación de una WAN (*Wide Area Network*) privada sobre la Internet pública. Para ofrecer un servicio de VPN viable a sus clientes, un ISP debe solventar los problemas de seguridad de los datos y soportar el uso de direcciones IP privadas no únicas dentro de la VPN. Puesto que MPLS permite la creación de circuitos virtuales o túneles a lo largo de una red IP, es lógico que los ISP utilicen MPLS como una forma de aislar el tráfico. No obstante, MPLS no tiene en estos momentos ningún mecanismo para proteger la seguridad en las comunicaciones, por lo que el ISP deberá conseguirla mediante cortafuegos y algún protocolo de encriptación tipo IPsec. Existen varias alternativas para implementar VPN mediante MPLS, pero la mayoría se basan en la RFC 2547.

Foro MPLS

El Foro MPLS es una organización internacional constituida a primeros del 2000, cuyo objetivo es acelerar la adopción y desarrollo de MPLS y sus tecnologías asociadas. El Foro MPLS sirve como un punto de encuentro y discusión para los proveedores de servicios, fabricantes de equipos, vendedores de componentes y compañías de integración y verificación de soluciones, con el fin de establecer las necesidades de la industria MPLS. Esto incluye la creación de servicios empresariales sobre redes MPLS y el desarrollo de productos que incorporan tecnologías MPLS. El Foro consigue estos objetivos a través de iniciativas de interoperabilidad, acuerdos de desarrollo y cooperación, y programas educativos.

Este organismo está abierto a cualquier organización, persona, o agencia gubernamental dedicada al progreso de Internet y de las redes IP en general, a través de la pronta adopción de la tecnología MPLS. Los miembros fundadores fueron: Data Connection Ltd., Integral Access, Lucent Technologies, Marconi, NetPlane, Qwest, Tel-

cordia Technologies, Tenor Networks y Vivace Networks; y en la actualidad, se han integrado empresas como: Alcatel, Ericsson, Equant, Huawei America Inc., Intel, NEC, Siemens AG, etc. El papel del Foro MPLS es totalmente complementario al de otros organismos de estandarización existentes previamente, tales como el IETF (*Internet Engineering Task Force*), el ITU (*International Telecommunications Union*), u otros foros de la industria como el Foro ATM. Únicamente tiene la intención de desarrollar acuerdos de implementación en aquellas áreas de MPLS donde no desempeñan actividad otros organismos de estandarización y, después, trabajar con total colaboración con ellos.

La mayor parte de los routers y switches actuales destinados a redes troncales están preparados para utilizar MPLS, y muchos de los antiguos podrían soportarlo actualizando su software. No obstante, aunque varios ISP han realizado experiencias pilotos o han implantado MPLS en la parte troncal de sus redes, no se espera una introducción masiva hasta el 2003 o 2004, cuando los fabricantes alcancen una compatibilidad total en sus equipos. Del mismo modo que ocurrió con la actualización de las infraestructuras X.25 y Frame Relay a ATM, la migración a MPLS como núcleo de las redes multiservicio con soporte de voz, vídeo y datos, se realizará de forma gradual durante varios años; máxime dada la crisis mundial del sector de las telecomunicaciones, que está repercutiendo muy negativamente en las inversiones de los operadores de red y fabricantes de equipos. 