

Televisión sobre IP (IPTV) & Redes de Próxima Generación (NGN)

Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Ingeniería

División de Ingeniería Eléctrica-Electrónica

Ingeniería en Telecomunicaciones



Tesis

Televisión sobre IP (IPTV) y Redes de Próxima Generación (NGN)

Director: Ing. Jesús Reyes García

Tesista: Gallegos Hernández Álvaro

Comment [b1]: Po

Comment [b2R1]:

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	4
1.1 ¿Qué es la IPTV?	5
2. EL PROTOCOLO IP	7
3. CODIFICACIÓN, COMPRESIÓN, DISTORSIÓN Y CUANTIZACIÓN: A/V10	
3.1 Codificación y Compresión de Señales de Audio y Video	10
3.1.1 Codificación	10
3.1.2 Teorema de Codificación de Fuente	10
3.1.3 Teoría de Tasa-Distorsión	11
3.1.4 Cuantización	11
3.1.5 Codificación de Forma de Onda	12
3.2 Codificación de Fuente de Señales de Audio & Video	12
3.2.1 Compresión de Señales de Video	12
3.2.2 Compresión de Señales de Audio	23
3.3 Codificación de Canal	26
3.3.1 Códigos para Detección y Corrección de Errores	27
4. VIDEO STREAMING	38
4.1 Sistema de Video Streaming	38
4.2 Elementos de un Sistema de Video Streaming	40
4.3 El Servidor de Video Streaming	40
4.4 Arquitecturas del Servidor de Video Streaming	41
5. REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN (NGN)	44
5.1 Redes de Próxima Generación (NGN)	44
5.2 La Red Núcleo	49
5.3 Tecnologías de Transporte de Red	49
5.3.1 MPLS	49
5.3.2 GMPLS	61
5.3.3 IP Multicasting	65
5.4 Redes de Acceso de Banda Ancha	72
5.4.1 xDSL	72
5.4.2 FTTx	75
5.4.3 Ethernet Grado Carrier (10Gb/s)	78
5.4.4 Redes Inalámbricas de Banda Ancha (WLANs, WMANs)	79
5.5 Subsistema de Multimedia IP (IMS)	81

6. IPTV & NGN	83
6.1 Importancia de las Redes de Próxima Generación para IPTV	83
6.2 Modelos de Negocios	86
6.3 Aparatos Terminales para Usuarios de IPTV	89
7. RETOS TÉCNICOS PARA GARANTIZAR UN BUEN SERVICIO DE IPTV	95
7.1 Garantía de QoS (Calidad de Servicio) y Gestión de Tráfico	95
7.2 Control de Admisión en Multidifusión (Multicast)	102
7.3 Controles de Admisión para WLANs 802.11n	103
7.4 Controles de Admisión para DSL	107
7.5 Controles de Gestión para IPTV	109
7.6 Comunicación entre Controles de Admisión	110
7.7 Compatibilidad de las Comunicaciones y la Difusión	110
7.8 Seguridad & Privacidad	114
7.9 Normalización de IPTV	117
7.10 Situación Respecto a Mobile –TV	117
8 CONCLUSIONES	120
REFERENCIAS	122

1. INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es realizar un estudio sobre los principales aspectos tecnológicos y el avance actual del servicio de televisión por IP (IPTV), el papel que juegan las redes de próxima generación (NGN) en la entrega de este, haciendo énfasis en conocer la diferencia de este tipo de servicio respecto a los sistemas actuales de televisión por cable y sobre los retos que enfrenta la televisión por IP para ofrecer un servicio de alta calidad, así como los modelos de negocios que tendrían que darse para su implementación, tal como se tiene conceptualizado este sistema en la actualidad.

Se expondrán los diferentes subsistemas y las técnicas necesarias para conformar la IPTV. Se abordan temas primordiales, como por ejemplo; el de la codificación de canal y de fuente, necesarios para el mejor aprovechamiento del Ancho de Banda de las redes actuales en la transmisión de contenidos de flujo con altos requerimientos. Se muestran los diversos tipos de codificación disponibles, remarcando sus pros y contras entre unos y otros.

Otros temas se centran en mostrar los requerimientos, controles y normatividad de subsistemas secundarios, pero indispensables en la conformación de la IPTV. Estos tópicos son prácticamente para la adaptación de las redes y equipos necesarios con las existentes en la actualidad. Por ejemplo; se discuten desde las tecnologías de transporte hasta las terminales para usuarios finales, brindando con ello la visión global del sistema, enmarcadas como objetivo del presente trabajo.

Se empezará explicando, de forma concreta, el concepto de IPTV, que es básicamente expuesto como un sistema de transmisión de señal de televisión o video haciendo uso de conexiones de banda ancha basados en el protocolo IP, lo cual requiere del manejo de altas velocidades de conexión, haciendo uso de tecnologías de compresión y codificación de video, metiendo una buena calidad de servicio.

La tendencia que están sufriendo las redes de Telecomunicaciones es a la convergencia de servicios y equipos, y para ello IP o Protocolo de Internet juega un papel trascendental. Es por ello que en el CAPITULO 2 se analizara dicho tema como parte de los principios de estudio para poder comprender mas adelante el concepto de IPTV.

Como se ha vendido dando esta evolución, se ha notado cada vez más la necesidad y la tendencia hacia protocolos y sistemas estandarizados que permitan la interconexión e interoperabilidad de las redes de forma sencilla y segura.

El Protocolo de Internet, es uno de los protocolos de la pila de protocolos TCP-IP, el cual envía la información empaquetada con cabeceras de identificación y encapsuladas unas dentro de otras para la conmutación hasta llegar a su destino. En general la ventaja de IP es que los equipos no necesitan configuración para comunicarse con otros; aunque la entrega de datos no es garantizada, pues se basa en "el mejor esfuerzo", ya que solo se puede saber la integridad de sus cabeceras más no de los datos (daños, completitud, desorden, llegada, etc.). Estas garantías en cambio son proporcionadas por el Protocolo de Control de Transporte, TCP.

Mas adelante, en el CAPITULO 3 se vera la codificación de caracteres, la cual es realizada por medio de un método que permite convertir una serie de datos en forma de caracteres de un lenguaje natural en un símbolo en otro sistema o representación, tales como números, secuencias de pulsos eléctricos, traduciendo valores de voltaje analógicos a sistema binario (digital). La Codificación es la clave para tecnologías con capacidades de transmisión y almacenamiento limitadas.

La codificación se puede dividir en dos tipos; la de fuente y la de canal. La Codificación de Fuente se refiere a técnicas como la digitalización y compresión usadas para el procesamiento de audio y video digital por ordenadores. Así mismo la generación de diversos formatos de codificación por parte de diferentes empresas, por lo que se generó un estándar por la ISO/IEC llamada MPEG para A/V.

Una vez que el video es digitalizado se necesitan mecanismos para su transmisión y almacenamiento de forma eficiente. Al tocar este tema en el presente trabajo se pensó en la relevancia que tienen los métodos de Compresión y Codificación de video digital como M-JPEG y MPEG-4.

Así mismo se intenta contestar una serie de preguntas respecto a las direcciones que tomarán las industrias del cine, cable, TV; las calidades de video e imagen esperadas para una adecuada transmisión y muchas otras más.

Posteriormente, en el CAPITULO 4, se estudiara el sistema video – streaming, el cual básicamente consiste en que la reproducción de las películas no requerirá de una descarga previa en el ordenador del usuario, sino que el servidor entregará los datos de forma continua, sincronizada y en tiempo real.

El servicio de video streaming permite la difusión de grandes archivos de audio y video a través de Internet, pudiendo visualizar el contenido en tiempo real o previamente editado, sin necesidad de descargarlo a una PC. Esto tiene como ventajas la rápida reproducción de contenidos sin necesidad de esperar por su descarga en un tiempo mínimo, desde que se inició esta tecnología con la aparición del Real Audio 1.0 en 1995.

El Streaming se apoya en diversas tecnologías como Protocolos Ligeros (UDP y RTSP) que garantizan una entrega de paquetes de datos más rápida que TCP y HTTP. Es así que surgen diversos métodos, mecanismos y equipos con diversas características y ventajas para el manejo de Streaming, tal es el caso entre el Servidor de Flujo Multimedia y el Servidor Web, sobre los cuales se hará un análisis comparativo para determinar sus pros y contras, así como de otros equipos, protocolos y tecnologías de captura, transmisión y almacenamiento.

En el CAPITULO 5, se hablará acerca de las Redes de Próxima Generación, lo cual es uno de los temas de mayor importancia al estudiar el tema de IPTV. Actualmente la tendencia en telecomunicaciones está orientada a que las redes de conmutación de circuitos y las redes de conmutaciones de paquetes, fijas y móviles, se integren gradualmente en una infraestructura de red basada en el protocolo IP, esta nueva infraestructura transportará el tráfico telefónico y el tráfico de las aplicaciones de Internet.

A esta red que se utilizará como soporte para este nuevo escenario de convergencia de redes y servicios se le ha denominado Red de Próxima Generación; sin embargo, debido a que esta denominación en ocasiones se utiliza con algunas variantes que puede generar confusión, es necesario precisar cuál es el concepto globalmente aceptado y que ha sido establecido por la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT). Así mismo es conveniente tener en cuenta las actividades de estudio y desarrollo de estándares que vienen realizando los Grupos de Estudio de la UIT.

La arquitectura basada en NGN-IPTV se desarrolla en base a la arquitectura NGN y sus funcionalidades deberían tener una relación de correspondencia con la arquitectura NGN. Es por ello que en el CAPITULO 6 se expondrá la correspondiente relación entre las funcionalidades de las arquitecturas de la IPTV y la NGN. En términos generales esta relación se puede resumir de la siguiente manera:

No.	Arquitectura IPTV	Arquitectura NGN	Comentarios
1	Funciones de Red	Estrato de transporte	Estos se corresponden el uno al otro.
2	Funciones de usuario final	Funciones de usuario final	Estos se corresponden el uno al otro.
3	Funciones de gestión	Funciones de gestión	Estos se corresponden el uno al otro.
4	Funciones de Control de Servicio	Funciones de Control de Servicio (en estrato de servicio)	IPTV funciones de control de servicio corresponden a la NGN funciones de control de servicio. Sin embargo, NGN funciones de control de servicio pueden incluir otras funcionalidades.
5	Funciones de entrega de Contenido	Funciones de Control de Servicio (en estrato de servicio)	Funciones de entrega de contenido puede residir fuera de la NGN en casos como una tercera parte del proveedor de servicios.
6	Funciones de aplicación	Funciones de soporte de aplicación y funciones de soporte de servicio (en estrato de servicio)	Funciones de Aplicación que pueden residir fuera de las NGN como proveedores de servicios de terceros.

Tabla. Mapeo funcional entre las arquitecturas NGN-basada IPTV y NGN.

Por otro lado, a pesar de la existencia de avances sustanciales en el desarrollo de la IPTV, aún se tiene que lidiar con diversos factores técnicos problemáticos como la Calidad de Servicio (QoS), la Gestión del Tráfico y Congestión, Admisión, Compatibilidad, Difusión, Seguridad, Privacidad y sobre todo Normalización y Estandarización.

En el capítulo final de este trabajo se plantearán los desafíos arriba mencionados y las diferentes formas en que se han afrontado y solucionado para garantizar con ello servicio de calidad minimizando costos de desarrollo, implementación y creación de tecnología.

Tal vez el más desafiante de todos los problemas ha sido el del Ancho de Banda, ya que éste afecta de forma directa y significativa a otros problemas secundarios como el jitter o retardo, la congestión, la difusión y prácticamente el servicio en sí.

Así mismo se tocarán puntos clave para resolver de diversas maneras los retos mencionados, creando con ello un punto de vista holístico y no particionado como generalmente se lleva a cabo. Finalmente se decidió tomar los temas de seguridad y privacidad como una oportunidad de mejora en los sistemas para poder garantizar a los usuarios finales un servicio con confiabilidad garantizada.

1.1 ¿Qué es la IPTV?

Televisión por Protocolo de Internet (IPTV) se ha convertido en la denominación más común para los sistemas de distribución por suscripción de señales de televisión y/o vídeo usando conexiones de banda ancha sobre el protocolo IP. A menudo se suministra junto con el servicio de conexión a Internet, proporcionado por un operador de banda ancha sobre la misma infraestructura pero con un ancho de banda reservado.

IPTV no es un protocolo en sí mismo. El IPTV o Televisión sobre el protocolo IP, ha sido desarrollado basándose en el video-streaming. Esta tecnología transformará en un futuro próximo la televisión actual, aunque para ello son necesarias unas redes mucho más rápidas que las actuales, para poder garantizar la calidad en el servicio.

A diferencia de la situación actual, el proveedor no emitirá sus contenidos esperando que el espectador se conecte, sino que los contenidos llegarán solo cuando el cliente los solicite. La clave está en la personalización del contenido para cada cliente de manera individual. Esto permite el desarrollo del Pay per view o pago por evento o el video bajo demanda. El usuario dispondrá de un aparato receptor conectado a su ordenador o a su televisión y a través de una guía podrá seleccionar los contenidos que desea ver o descargar para almacenar en el receptor y de esta manera poder visualizarlos tantas veces como desee.

La programación que las empresas ofrecerán esta basada tanto en los canales tradicionales, como en canales más específicos sobre un determinado tema, para que el cliente seleccione los de su gusto. Además se emitirán eventos

deportivos o películas de estreno bajo pago por visión, es decir; abonando una cantidad adicional a la tarifa del servicio para poder verlas. Se trata de comprar los contenidos que se deseen ver para confeccionar una televisión a la carta. La IPTV gracias a sus características permitirá almacenar los contenidos para verlos las veces que se desee, pero además permitirá realizar pausas, avanzar, retroceder... etc. como si de una cinta de video o DVD se tratase.

En el sector publicitario, al tratarse de información que llega a través de Internet, podrían personalizar sus anuncios, para que el usuario con tan solo hacer un clic pueda acceder a la compra de sus productos.

Requerimientos

Para que la IPTV televisión IP pueda desarrollarse de una manera completa es necesario aumentar la velocidad de las conexiones actuales. Podemos diferenciar dos tipos de canal: de definición estándar SDTV o de alta definición HDTV. Para un canal del primer tipo sería necesario tener una conexión de 1.5 Mbps y para un canal del segundo tipo 8 Mbps. Si tenemos varios canales distintos (por tener varios receptores de televisión por ejemplo) necesitaremos más ancho de banda. A este ancho de banda hay que sumar el necesario para la conexión a Internet. Estamos hablando de 4.5 Mbps para tres canales de SDTV u 11 Mbps para un canal HDTV y dos SDTV. En todo caso se utiliza la tecnología MPEG-4 para la compresión/codificación del vídeo. Y se debe proporcionar QoS / QoE.

Existen una serie de áreas interrelacionadas para poder ofrecer IPTV. Estas son:

1. Adquisición de la señal de video
2. Almacenamiento y servidores de video
3. Distribución de contenido
4. Equipo de acceso y suscriptor
5. Software

Tecnologías Compatibles para IPTV

- Tecnologías de acceso con ancho de banda: ADSL2+, VDSL, FTTx, Fibra-Híbrida-Coaxial (HFC)
- Tecnologías de comprensión avanzada de datos: H.264/AVC y VC-1

Tasa de transmisión de datos xDSL

Fig. 1.1 Ejemplos de SDSL

Requerimientos de tasa de transmisión para DTV

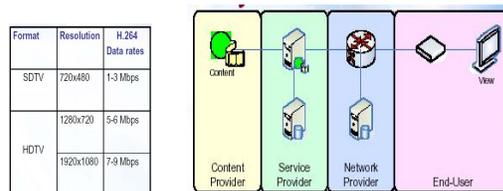


Fig. 1.2 Resolución de televisión y Dominios de IPTV

- **Proveedor de contenido:** La entidad que tiene licencia para vender contenido.
- **Proveedor de servicio:** La entidad que ofrece servicio a los suscriptores.
- **Proveedor de red:** Entidad que conecta a los Proveedores de Servicios con los Usuarios Finales.
- **Cliente:** El dominio donde los servicios de IPTV son adquiridos.

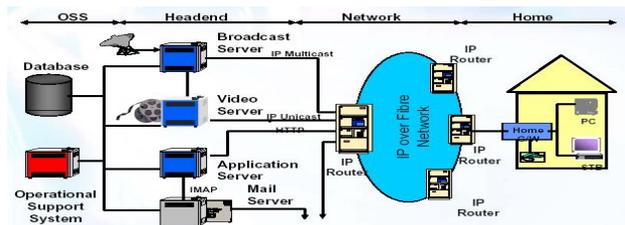


Fig. 1.3 Ejemplo de esquema de IPTV

Adquisición de Contenido

El contenido se puede obtener a través de Internet de algún proveedor de contenidos o de un distribuidor de señales de televisión. Se utilizan unos dispositivos llamados codificadores para digitalizar y luego comprimir el video analógico obtenido. Este dispositivo llamado codec, habilita la compresión de video digital habitualmente sin pérdidas. La elección

del codec tiene mucha importancia, porque determina la calidad del video final, la tasa de bits que se enviarán, la robustez ante las pérdidas de datos y errores, el retraso por transmisión, etc.

Tendencias Futuras

A medida que pase el tiempo, las compañías irán perfeccionando y mejorando los contenidos que ofrecen de televisión sobre IP. Podrán ofrecer un mayor número de canales, puesto que el límite lo pone la capacidad de los servidores y el ancho de banda requerido para la demanda. Se estima que en 2009 la televisión sobre IP represente un 10% del total de televisión de pago en Europa. A corto plazo a medida que se vaya difundiendo, cambiará nuestra manera de ver la televisión. Podremos ver a la hora que queramos la película o programa que deseemos y veremos solo lo que decidamos ver. Será una televisión "a la carta" confeccionada completamente al gusto de cada espectador. Por ejemplo; la compañía valenciana llamada hopping, ha desarrollado un software de gestión llamado Codistream único en el mundo para gestionar televisiones IP.

2. El Protocolo IP

La retransmisión de televisión por IP es la solución del futuro al problema de la programación basura, ofreciendo una programación individualizada para cada usuario. Con esto se consigue que no sea una persona la que decida la programación que ve todo el mundo en la televisión, sino que cada usuario elige su programación mediante Codistream de la televisión IP. Así se nos presentaría una televisión IP formada por un servidor que ofrecería todo el abanico de posibilidades y unos usuarios que se conectarían a él y seleccionarían, de manera independiente, sus vídeos.

El uso del protocolo IP en la transmisión de vídeo a través de las redes de telecomunicaciones supone altas velocidades para transmisión de paquetes, aunque no garantiza la entrega de paquetes al destino, ya que IP es un protocolo no orientado a conexión basado en el mejor esfuerzo, que es utilizado tanto por el origen como por el destino.

Esto supone una revolución en el concepto que tenemos de televisión. La televisión IP va a suponer el salto definitivo de la televisión a Internet, consiguiendo llevar el Internet a las cotas más altas de usabilidad con la televisión por Internet. Otra ventaja es la de poder tener un control total sobre los vídeos, pudiendo acceder a cualquier parte del vídeo, principio, final, todo en el momento.

Las posibilidades que ofrece la televisión IP son ilimitadas, desde una infinidad de canales de televisión y música hasta programación de televisión en demanda o televisión online, publicidad dedicada, entre muchos.

Tenemos que una red es una configuración de computadora que intercambia información. Pueden proceder de una variedad de fabricantes y es probable que tenga diferencias tanto en hardware como software, para posibilitar la comunicación es necesario un conjunto de reglas formales para su interacción. A estas reglas se les denominan protocolos. Un protocolo es un conjunto de reglas establecidas entre dos dispositivos para permitir la comunicación entre ambos. En particular, tenemos que el Protocolo de Internet (IP, de sus siglas en inglés Internet Protocol) es un protocolo no orientado a conexión para la comunicación de datos a través de una red de paquetes conmutados.

Los datos en una red basada en IP son enviados en bloques conocidos como paquetes o datagramas (en el protocolo IP estos términos se suelen usar indistintamente). En particular, en IP no se necesita ninguna configuración antes de que un equipo intente enviar paquetes a otro con el que no se había comunicado antes.

IP no provee ningún mecanismo para determinar si un paquete alcanza o no su destino y únicamente proporciona seguridad (sumas de comprobación) de sus cabeceras y no de los datos transmitidos. Por ejemplo, al no garantizar nada sobre la recepción del paquete, éste podría llegar dañado, en otro orden con respecto a otros paquetes, duplicado o simplemente no llegar. Si se necesita fiabilidad, ésta es proporcionada por los protocolos de la capa de transporte, como TCP.

Si la información a transmitir ("datagramas") supera el tamaño máximo "negociado" (UMT – Unidad Máxima de transmisión) en el tramo de red por el que va a circular podrá ser dividida en paquetes más pequeños, y reensamblada luego cuando sea necesario. Estos fragmentos podrán ir cada uno por un camino diferente dependiendo de como estén de congestionadas las rutas en cada momento.

Las cabeceras IP contienen las direcciones de las máquinas de origen y destino (direcciones IP), direcciones que serán usadas por los conmutadores de paquetes (switches) y los enrutadores (routers) para decidir el tramo de red por el que reenviarán los paquetes.

En la actualidad, la mayoría de las máquinas conectadas a Internet operan sobre la versión 4 del protocolo IP. Sin embargo, es inevitable y necesaria la progresiva migración a la versión 6 de este protocolo: IPV6, también conocida como "IP Next Generation" (IPNG). La principal causa de esta migración es la escasez de direcciones IPV4 disponibles, que tendría solución empleando los 128 bits de direccionamiento IPV6. Además de su escalabilidad, IPV6 presenta otra serie de ventajas frente a IPV4 como, por ejemplo, mejoras en seguridad y calidad de servicio. Hasta la migración definitiva a IPV6, parece probable que las dos versiones del protocolo convivan durante un largo periodo.

Las versiones de la 0 a la 3 están reservadas o no fueron usadas. La versión 5 fue usada para un protocolo experimental. Otros números han sido asignados, usualmente para protocolos experimentales, pero no han sido muy extendidos.

Dirección IP

Una dirección IP es un número que identifica de manera lógica y jerárquica la interfaz de un dispositivo dentro de una red que utilice el protocolo IP (Internet Protocol). A través de Internet, los ordenadores se conectan entre sí mediante sus respectivas direcciones IP. Sin embargo, a los seres humanos nos es más cómodo utilizar otra notación más fácil de recordar y utilizar, como los nombres de dominio; la traducción entre unos y otros se resuelve mediante los servidores de nombres de dominio DNS. Los servidores de correo, DNS, FTP públicos, y servidores de páginas Web necesariamente deben contar con una dirección IP fija o estática, ya que de esta forma se permite su localización en la red. Existe un protocolo para asignar direcciones IP dinámicas llamado DHCP (Protocolo de Configuración Dinámica de Host).

La versión 4 de una dirección IP se representa mediante un número binario de 32 bits. Hay tres clases de direcciones IP que una organización puede recibir de parte de la "Internet Corporation for Assigned Names and Numbers" (ICANN): clase A, clase B y clase C. La dirección 0.0.0.0 es utilizada por las máquinas cuando están arrancando o no se les ha asignado dirección. La dirección que tiene su parte de Host a cero sirve para definir la red en la que se ubica. Se denomina dirección de red. La dirección que tiene su parte de Host a unos sirve para comunicar con todos los Hosts de la red en la que se ubica. Se denomina dirección de broadcast. Las direcciones 127.x.x.x se reservan para pruebas de retroalimentación. Se denomina dirección de bucle local o loopback.

Hay ciertas direcciones en cada clase de dirección IP que no están asignadas y que se denominan direcciones privadas. Las direcciones privadas pueden ser utilizadas por los Hosts que usan traducción de dirección de red (TDR o NAT en inglés) para conectarse a una red pública o por los Hosts que no se conectan a Internet.

La función de la dirección IPv6 es exactamente la misma a su predecesor IPv4, pero dentro del protocolo IPv6. Está compuesto por 8 segmentos de 2 bytes cada uno, que suman un total de 128 bits, el equivalente a unos 3.4x10³⁸ Hosts direccionales. La ventaja con respecto a la dirección IPv4 es obvia en cuanto a su capacidad de direccionamiento. Su representación suele ser hexadecimal y para la separación de cada par de octetos se emplea el símbolo ":". Un bloque abarca desde 0000 hasta FFFF.

Direcciones IPv4

En IPv4, la dirección IP está dividida en tres campos: La clase de dirección, ID de red, ID de elemento.

La clase de dirección identifica el número de bits que se utilizan en los campos de ID de red e ID de elemento. Este método da lugar a cinco clases de dirección: A, B, C, D y E.



Fig. 2.1 Clases de direcciones IP

Para poder identificar a cada Host en la red se asignaron direcciones lógicas de 32 bits. Por ejemplo:

0000010100001000100010010010010 -> 232 = 4.294.967.296

11001001.10101010.01010011.00010001

JERARQUÍA SIMPLE



REPRESENTACIÓN

201 . 170 . 83 . 17

Por otra parte, el desperdicio de direcciones IPv4 se debe a varios factores:

- Uno de los principales es que inicialmente no se consideró el enorme crecimiento que iba a tener Internet; se asignaron bloques de direcciones grandes (de 16,7 millones de direcciones) a países, e incluso a empresas.
- Otro motivo de desperdicio es que en la mayoría de las redes, exceptuando las más pequeñas, resulta conveniente dividir la red en subredes. Dentro de cada subred, la primera y la última dirección no son utilizables; de todos modos no siempre se utilizan todas las direcciones restantes. Por ejemplo, si en una subred se quieren acomodar 80 Hosts, se necesita una subred de 128 direcciones (se tiene que redondear a la siguiente potencia de 2); en este ejemplo, las 48 direcciones restantes ya no se utilizan.

a) Direcciones IPv6

Protocolo de Internet a nivel de red que inserta cabeceras en cada paquete para permitir el manejo de flujos extremo a extremo: IPv6 es la última versión con una cabecera de 40 octetos y añade capacidades para los requerimientos actuales en direccionamiento y enrutamiento. IPv6 es una actualización del protocolo utilizado en Internet.

El IETF (Internet Engineering Task Force, por sus siglas en inglés) desarrolló las especificaciones básicas durante la década del 90. La motivación primaria para el diseño y desarrollo de IPv6 era expandir el espacio de direcciones disponible en Internet, y así habilitar nuevos dispositivos (PDAS, teléfonos celulares, aplicaciones, etc.), nuevos

usuarios (países como China, India, etc.) y nuevas tecnologías en desarrollo (xDSL, cable, Ethernet, etc.). Mientras que el protocolo existente, IPv4, tiene un espacio de dirección de 32 bits que brinda la posibilidad de albergar cuatro mil millones de direcciones. El IPv6 tiene un espacio de dirección de 128 bits, lo que permite albergar un número mucho más amplio de direcciones.

Un paquete en IPv6 está compuesto principalmente de dos partes: la cabecera y los datos. La cabecera está en los primeros 40 bytes del paquete y contiene las direcciones de origen y destino (128 bits cada una), la versión de IP (4 bits), la clase de tráfico (8 bits, Prioridad del Paquete), etiqueta de flujo (20 bits, manejo de la Calidad de Servicio), longitud del campo de datos (16 bits), cabecera siguiente (8 bits), y límite de saltos (8 bits, Tiempo de Vida). Después viene el campo de datos, con los datos que transporta el paquete, que puede llegar a 64kb de tamaño en el modo normal, o más con la opción "jumbo payload".

Hay dos versiones de IPv6 levemente diferentes. La ahora obsoleta versión inicial, descrita en el RFC 1883, difiere de la actual versión propuesta de estándar, descrita en el RFC 2460, en dos campos: 4 bits han sido reasignados desde "etiqueta de flujo" (*flow label*) a "clase de tráfico" (*traffic class*). El resto de diferencias son menores.

En IPv6, la fragmentación se realiza sólo en el nodo origen del paquete, al contrario que en IPv4 en donde los routers pueden fragmentar un paquete. En IPv6, las opciones también se salen de la cabecera estándar y son especificadas por el campo "Cabecera Siguiente" (*Next Header*), similar en funcionalidad en IPv4 al campo Protocolo. Un ejemplo: en IPv4 uno añadiría la opción "ruta fijada desde origen" (*Strict Source and Record Routing, por su siglas en ingles*) a la cabecera IPv4, si quiere forzar una cierta ruta para el paquete, pero en IPv6 uno modificaría el campo "Cabecera Siguiente" indicando que una cabecera de encaminamiento es la siguiente en venir. La cabecera de encaminamiento podrá entonces especificar la información adicional de encaminamiento para el paquete, e indicar que, por ejemplo; la cabecera TCP será la siguiente.

Formato de direcciones de IPv6: Asigna 128 bits para las direcciones:

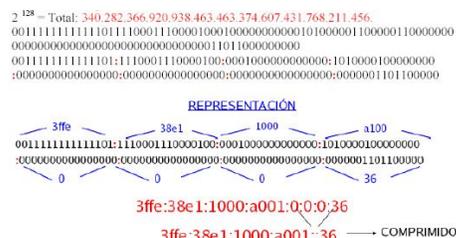


Fig. 2.2 Ejemplo de de direcciones IPv6

Direccionamiento y enrutamiento IP

El direccionamiento se refiere a la forma como se asigna una dirección IP y como se dividen y se agrupan subredes de equipos. El enrutamiento consiste en encontrar un camino que conecte una red con otra y aunque es llevado a cabo por todos los equipos, es realizado principalmente por enrutadores que no son más que computadores especializados en recibir y enviar paquetes por diferentes interfaces de red, así como proporcionar opciones de seguridad, redundancia de caminos y eficiencia en la utilización de los recursos.

Asociado al enrutamiento existe el concepto de métrica, que es una medida de lo "bueno" que es usar un camino determinado. La métrica puede estar asociada a distintas magnitudes: distancia, coste, retardo de transmisión, número de saltos, etc., o incluso a una combinación de varias magnitudes. Si la métrica es el retardo, es mejor un camino cuyo retardo total sea menor que el de otro. Lo ideal en una red es conseguir el encaminamiento óptimo: tener caminos de distancia (coste, retardo, o la magnitud que sea, según la métrica) mínimos. Típicamente el enrutamiento es una función implantada en la capa 3 (capa de red) del modelo de referencia OSI.

La familia de protocolos de Internet es un conjunto de protocolos de red en la que se basa Internet y que permiten la transmisión de datos entre redes de computadoras. En ocasiones se la denomina conjunto de protocolos TCP/IP, en referencia a los dos protocolos más importantes que la componen: Protocolo de Control de Transmisión (TCP) y Protocolo de Internet (IP), que fueron los dos primeros en definirse, y que son los más utilizados de la familia. Existen más de 100 diferentes, entre ellos se encuentra el HTTP (Hypertext Transfer Protocol), que es el que se utiliza para acceder a las páginas Web, otros como el ARP (Address Resolution Protocol) para la resolución de direcciones, el FTP (File Transfer Protocol) para transferencia de archivos, y el SMTP (Simple Mail Transfer Protocol) y el POP (Post Office Protocol) para correo electrónico, TELNET para acceder a equipos remotos, entre otros.

Asociado al enrutamiento existe el concepto de métrica, que es una medida de lo "bueno" que es usar un camino determinado. La métrica puede estar asociada a distintas magnitudes: distancia, coste, retardo de transmisión, número de saltos, etc., o incluso a una combinación de varias magnitudes. Si la métrica es el retardo, es mejor un camino cuyo retardo total sea menor que el de otro. Lo ideal en una red es conseguir el encaminamiento óptimo: tener caminos de distancia (coste, retardo, o la magnitud que sea, según la métrica) mínimos. Típicamente el enrutamiento es una función implantada en la capa 3 (capa de red) del modelo de referencia OSI.

El TCP/IP es la base de Internet, y sirve para enlazar computadoras que utilizan diferentes sistemas operativos, incluyendo PC, minicomputadoras y computadoras centrales sobre redes de área local (LAN) y área extensa (WAN). La

familia de protocolos de Internet puede describirse por analogía con el modelo OSI, que describe los niveles o capas de la pila de protocolos, aunque en la práctica no corresponde exactamente con el modelo en Internet.

3. Codificación, Compresión, Distorsión & Cuantización: A/V

3.1 Codificación y Compresión de Señales de Audio y Video

Una tecnología básica en IPTV es la codificación/compresión de las señales de TV. En los primeros despliegues se utilizó MPEG 2, el mismo estándar de codificación que se usa en los DVD, que codifica una señal de video estándar en 4 Mbps y una de TV de alta definición en 20 Mbps. La presión tecnológica para incrementar la compresión de los codificadores de tal manera que el ancho de banda generado fuese compatible con las tecnologías de acceso de banda ancha sobre pares de cobre (ADSLs) ha llevado a que en los despliegues más recientes se utilice MPEG 4 que consigue la misma calidad de vídeo que en MPEG 2 con velocidades de codificación de aproximadamente la mitad.

Los decodificadores son un elemento clave en los sistemas IPTV. Estos elementos, además de realizar la decodificación de la señal de TV digital, realizan otras funcionalidades básicas como son presentar al usuario la interfaz de las aplicaciones. Opcionalmente puede incorporar otros elementos como son la posibilidad de grabación en un disco duro local de programas, la incorporación de sintonizadores de satélite o TDT, los nuevos servicios de valor añadido, etc. Las posibles limitaciones de los decodificadores suponen una barrera de entrada a nuevos servicios, pero por otro lado, el coste de este elemento es crucial para la viabilidad de un despliegue.

La codificación de caracteres es el método que permite convertir un carácter de un lenguaje natural (alfabeto) en un símbolo de otro sistema de representación, como un número o una secuencia de pulsos eléctricos en un sistema electrónico, aplicando normas o reglas de codificación. Es decir, la codificación consiste en la traducción de los valores de tensión eléctrica analógicos que ya han sido cuantificados (ponderados) al sistema binario, mediante códigos preestablecidos. La señal analógica va a quedar transformada en un tren de impulsos digital (sucesión de ceros y unos).

El término codificación de fuente refiere a las diversas técnicas (incluida la digitalización y la compresión) utilizadas para procesar una señal analógica de televisión y convertirla en una señal digital antes de la codificación de canal y la emisión.

Actualmente, las técnicas de codificación de datos tienen una aplicación muy importante en el procesamiento de audio digital y de vídeo por ordenador. Estas técnicas son la clave tecnológica para cualquier aplicación con una transmisión o capacidad de almacenamiento limitadas. En años recientes, se han llevado a cabo una infinidad de progresos. Uno crucial partió de la existencia de varios formatos propios de diferentes empresas para la codificación de audio y vídeo; para evitar esta confusión, el comité ejecutivo de la estandarización ISO/IEC optó por crear un estándar internacional (MPEG) para herramientas de codificación de audio y vídeo.

3.1.1 Codificación

La codificación consiste en establecer una correspondencia entre cada uno de los símbolos de un alfabeto fuente y una secuencia de símbolos de un alfabeto destino. Al alfabeto destino se le denomina alfabeto código y a cada una de las secuencias de símbolos de este alfabeto que se corresponda con un símbolo del alfabeto fuente se denomina palabra de código.

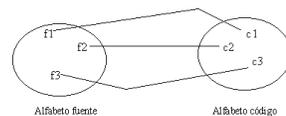


Fig. 3.1 Esquema de codificación

El alfabeto fuente contiene los símbolos originales que se quieren codificar. El alfabeto código contiene las palabras de código equivalentes en que se codificarán los símbolos originales. Estas palabras de código son aptas para ser transmitidas por un sistema de comunicaciones. Se tienen 3 tipos de codificación: codificación en la fuente, codificación de compresión y codificación del canal.

3.1.2 Teorema de Codificación de Fuente

El objetivo de la codificación es obtener una representación eficiente de los símbolos del alfabeto fuente. El problema de la codificación de fuente es el problema de la representación eficiente de cualquier señal de información como una secuencia de dígitos binarios que se transmite a través de un sistema de comunicación digital. El codificador de fuentes será por tanto un elemento que dependerá de la naturaleza (no es lo mismo una señal de voz que una señal de vídeo, una señal analógica que un fichero de texto) y de lo que consideramos eficiente o adecuada representación de la señal por la secuencia de bits.

Por razones obvias, cuanto menor sea el número de bits que utilicemos en la representación de la señal, será mejor, pero siempre que tengamos en cuenta que se cumplen los niveles de eficiencia (o distorsión) que se hayan establecido. Desde luego debemos tener en mente a la hora de diseñar un codificador, convertir la secuencia de bits, tal vez corrompidos, en una replica lo mas fiel posible de la señal de información que estamos transmitiendo.

3.1.3 Teoría de Tasa-Distorsión

3.1.3.1 Teoría de Shannon

Teoría creada en 1940 por el por el ingeniero Claude E. Shannon, Los problemas que plantea Shannon, tienen que ver con la cantidad de información, la capacidad del canal de comunicación, el proceso de codificación que puede utilizarse para cambiar el mensaje en una señal y los efectos del "ruido". Pero no se refiere a las personas como protagonistas de la comunicación, sino al proceso desde la perspectiva de:

- Sus aspectos medibles.
- A las condiciones idóneas de transmisión de información entre máquinas.
- Al cálculo de la pérdida de información transmitida a través de un canal.

Su teoría se utiliza para medir la información y su contenido:

- El contenido de la información de un suceso = una función decreciente de la probabilidad de su aparición.
- Shannon utilizo el algoritmo de la inversa de la probabilidad.



Fig. 3.2 Esquema de un sistema de comunicación.

3.1.3.2 Teoría de Nyquist

El teorema de muestreo de Nyquist-Shannon es un teorema fundamental de la teoría de la información, utilizada en las telecomunicaciones, también conocida como teorema de muestreo de Whitaker-Nyquist-Kotelnikov-Shannon, o simplemente criterio de Nyquist. Fue formulado por primera vez por Harry Nyquist en 1928 ("*Certain topics in telegraph transmission theory*"), y fue probado por Claude E. Shannon en 1949 ("*Communication in the presence of noise*").

Este teorema asegura que cuando se muestrea una señal, la frecuencia de muestreo debe ser mayor que el doble del ancho de banda de la señal de entrada, para poder reconstruir la señal original. Si B es el ancho de banda de la señal y F_m es la frecuencia de muestreo, el teorema puede expresarse del siguiente modo:

$$2B < F_m$$

Nos dice que debe existir una separación mínima entre impulsos. Esta separación mínima depende del ancho de banda. El criterio de Nyquist establece la separación mínima que debe existir entre dos pulsos, de forma que no se produzca la interferencia inter-símbolo.

3.1.4 Cuantización

Para procesar señales digitalmente no sólo es necesario muestrear la señal analógica sino también cuantizar la amplitud de esas señales a un número finito de niveles. El tipo más usual de cuantización es la cuantización uniforme, en el que los niveles son todos iguales. La mayoría usan un número de niveles que es una potencia de 2. Si $L=2B$, cada uno de los niveles es codificado a un número binario de B bits.

3.1.5 Codificación de Forma de Onda

Los codificadores de la forma de onda intentan reproducir la forma de la onda de la señal de entrada. Generalmente se diseñan para ser independientes a la señal, de tal forma que pueden ser usados para codificar una gran variedad de señales. Presentan una degradación en presencia de ruido y errores de transmisión. Sin embargo, para que sean efectivos, sólo se deben usar a tasas de bit medias. La codificación se puede llevar a cabo tanto en el dominio del tiempo como de la frecuencia.

Los codificadores de forma de onda dividen en dos grupos: en el dominio del tiempo y en el dominio de la frecuencia.

- En del grupo del dominio del tiempo tenemos los siguientes codificadores: **PCM** (Pulse Code Modulation, siglas en ingles), **DPCM** (Differential Pulse Code Modulation, siglas en ingles), **ADPCM** (Adaptive Differential Pulse Code Modulation, siglas en ingles).
- En el dominio de la frecuencia están: Codificación por transformada y Codificación por banda.

3.2 Codificación de Fuente de Señales de Audio & Video

3.2.1 Compresión de Señales de Video

Ahora que el vídeo digital y su grabación están en auge, se está prestando especial dedicación a los métodos para obtener la transmisión y el almacenamiento de datos digitales de la forma más efectiva posible, y para conseguir el rendimiento deseado al menor precio. Ahora se expondrán los métodos de compresión de vídeo digital, especialmente Motion JPEG (M-JPEG), MPEG-2 y MPEG4, y las aplicaciones más adecuadas para cada uno de ellos. Este documento también se enfoca especialmente en MPEG-4 y su estándar de compresión, que ha ganado gran popularidad en los últimos tiempos, aunque sigue siendo bastante desconocido. Por esta razón exploraremos los mitos y realidades del MPEG-4 e intentaremos entender mejor lo que ofrece actualmente a los usuarios.

¿Puede emplearse un único estándar de compresión para satisfacer todas las necesidades? Cuando pensamos sobre esta cuestión y cuando se diseña una aplicación de vídeo vigilancia en red deben considerarse los siguientes aspectos:

- ¿Qué cantidad de imágenes por segundo son necesarias?
- ¿Se precisa la misma cantidad de imágenes por segundo todo el tiempo?
- ¿Se necesita grabar/visualizar todo el tiempo o sólo en función de eventos o movimiento?
- ¿Qué cantidad de tiempo debe grabarse el vídeo?
- ¿Qué resolución se necesita?
- ¿Qué calidad de imagen?
- ¿Qué nivel de latencia (tiempo necesario para la codificación/decodificación de las imágenes) sería aceptable?
- ¿Cuánta seguridad precisa el sistema?
- ¿Cuál es el ancho de banda disponible?

Cuando se digitaliza una secuencia de vídeo analógico cualquiera de acuerdo al estándar ITU-R BT.601 (CCIR 601), se requiere un ancho de banda de 116 Mbit/segundo ó de 116 millones de bits cada segundo. Dado que la mayoría de las redes son sólo de 100 Mbit/segundo, no es posible ni deseable transmitir las secuencias de vídeo sin alguna modificación. Para solucionar este problema se han desarrollado una serie de técnicas denominadas técnicas de compresión de vídeo e imágenes, que reducen el alto nivel de bits precisos para transmisión y almacenamiento.

La compresión de imágenes se aplica sobre una imagen individual haciendo uso de las similitudes entre píxeles próximos en la imagen y de las limitaciones del sistema de visión humana. JPEG es un ejemplo de una técnica de compresión de imágenes. La compresión de vídeo se aplica sobre series consecutivas de imágenes en una secuencia de vídeo, haciendo uso de las similitudes entre imágenes próximas. Un ejemplo de este tipo de técnicas es MPEG.

La efectividad de una técnica de compresión de imágenes viene dada por la relación de compresión, calculado como el tamaño del archivo de la imagen original (sin comprimir) dividido por el tamaño del archivo de imagen resultante (comprimida). A mayor relación de compresión se consume menos ancho de banda manteniendo un número de imágenes por segundo determinado. O si el ancho de banda se mantiene constante se aumenta el número de imágenes por segundo. Al mismo tiempo, un mayor nivel de compresión implica menor nivel de calidad de imagen para cada imagen individual.

Cuanto más sofisticada sea la técnica de compresión utilizada, más complejo y caro resultará el sistema. Lo que ahorre en ancho de banda y almacenamiento encarecerá los costos de latencia, codificación y complejidad del sistema. Otro factor adicional a considerar son los costos de las licencias y los honorarios asociados a un número de estándares de compresión. Estos factores generalmente hacen que la compresión sofisticada resulte restrictiva para mantener robusto el sistema a la vez que se consiguen o mantienen bajos los costes del mismo.

La compresión se refiere a la reducción de la cantidad de datos usados para representar imágenes de vídeo tratando de retener la calidad del original tanto como sea posible. La compresión de vídeo puede reducir efectivamente el Ancho de Banda requerido para transmitir vídeo digital por radiodifusión terrestre, por cable o vía satélite.

La mayoría de los métodos de compresión generan pérdidas. Por ejemplo, los DVD usan un estándar de codificación llamado MPEG-2 que comprime ~2 horas de datos de vídeo de 15 a 30 veces, mientras sigue produciendo la calidad

que es considerada generalmente alta para video de definición estándar. Como otras compresiones de datos, el caso del video es un juego entre espacio en disco, calidad del video y el costo del hardware requerido para descomprimirlo en un tiempo razonable. Sin embargo, si el video es sobre-comprimido con pérdidas, pueden aparecer objetos de distracción.

La compresión de video típicamente opera en grupos de forma cuadrada de píxeles vecinos, llamados comúnmente macroblock. Estos son comparados desde un cuadro al siguiente y el esquema de codificación-decodificación (codec) manda solo las diferencias entre bloques. Esto trabaja extremadamente bien si el video no tiene movimiento. Un cuadro de texto fijo, por ejemplo, puede ser repetido con muy pocos datos transmitidos. En áreas de video con más movimiento, más píxeles cambian de un cuadro a otro. Cuando más píxeles cambian el esquema de compresión debe mandar más datos para mantener el largo número de píxeles cambiantes. Si el contenido del video incluye una explosión, flamas una parvada de miles de aves o cualquier otra imagen con alta frecuencia de detalles, la calidad disminuirá o el "bit-rate" debe ser incrementado para resolver esta información agregada con el mismo nivel de detalle.

El programador tiene control sobre la cantidad de compresión de video aplicado a su programación de video antes de ser mandado a su sistema de distribución. DVD, discos de Blue-Ray y HD-DVD tienen compresiones aplicadas durante su proceso principal aunque Blue-Ray y HD-DVD tienen suficiente capacidad que la mayor compresión aplicada en estos formatos es ligera, comparada con la mayoría de los videos de flujo en Internet o tomados con un teléfono celular. El software usado para guardar video en discos duros o varios formatos de discos ópticos tendrá regularmente una baja calidad de imagen. Los codecs de video de alto bit rate con poca o nula compresión existen para el trabajo de pos-producción de video, pero crean grandes archivos que son pocas veces usados para la distribución de videos terminados. Una compresión con pérdida excesiva compromete la calidad de la imagen, que es imposible de restaurar a su estado original.

El video es básicamente un arreglo tridimensional de píxeles de color. Dos dimensiones sirven como direcciones de espacio (vertical y horizontal) de imágenes en movimiento, y la otra representa el dominio del tiempo. Un cuadro de datos es un conjunto de píxeles que corresponden a un solo punto en el tiempo. Básicamente, un cuadro es igual a una imagen fija.

Los datos de video contienen redundancia espacial y temporal. Las similitudes pueden ser codificadas por mero registro de diferencias dentro de un cuadro (espacial) y/o entre cuadros (temporal). La codificación espacial es desarrollada al tomar ventaja del hecho de que el ojo humano es incapaz de distinguir pequeñas diferencias en color tan fácilmente como puede hacerlo en el brillo y por tanto las áreas muy similares de color pueden ser "promediadas" en una forma similar a las imágenes *jpeg*. Con compresión temporal solo los cambios de un cuadro al siguiente son codificados como un gran número de píxeles en la misma serie de cuadros.

Una de las técnicas más poderosas para compresión de video es Inter-frame, la cual usa uno o más cuadros anteriores o posteriores en secuencia para comprimir el cuadro actual, mientras la compresión Intra-frame usa solo el cuadro actual, el cual es por compresión de imágenes.

El método más comúnmente usado trabaja comparando cada cuadro en el video con el previo. Si el cuadro contiene áreas donde nada se ha movido, el sistema simplemente ejecuta un corto comando que copia esa parte del cuadro anterior, bit a bit, dentro del siguiente. Si las secciones del cuadro se mueven de manera simple, el compresor emite un comando (ligeramente mayor) que le dice al descompresor desplazar, rotar, iluminar u oscurecer la copia – un comando mayor- pero sigue siendo menor que la compresión Inter-frame, la cual trabaja bien para programas que simplemente serán reproducidos por el espectador, pero puede causar problemas si la secuencia de video necesita ser editada.

Dado que Inter-frame copia datos desde un cuadro a otro, si el original esta simplemente recortado (o hay pérdida en la transmisión), los cuadros siguientes no pueden ser reconstruidos propiamente. Algunos formatos de video, como DV, comprimen cada cuadro independientemente, usando compresión Intra-frame. Haciendo "cortes" en el video comprimido con Intra-frame, es casi tan fácil como editar video sin compresión. Uno encuentra el inicio y final de cada cuadro y simplemente copia bit a bit cada cuadro que se desee mantener y se descartan aquellos indeseados.

Otra diferencia entre Intraframe e Interframe es que con los sistemas Intraframe, cada cuadro usa una cantidad similar de datos. En la mayoría de sistemas Interframe, algunos cuadros (como "I frames" en MPEG-2) no les es permitido copiar datos desde otros cuadros, y por tanto requieren más datos que otros cuadros cercanos.

Hoy en día, casi todos los métodos de compresión de video de uso común (aquellos estándares aprobados por la ITU o ISO) aplican una Transformada Discreta de Coseno (DCT) para reducción de redundancia espacial. Otros, como la Compresión Fractal, el "Matching Pursuits" y el uso de Transformada Discreta de Ondas (DWT) han sido sujeto de investigación, pero no son usados en productos prácticos (excepto para el uso de Codificación Wavelet como codificadores de imágenes fijas sin compensación por movimiento). Interés en la Compresión Fractal parecen desvanecerse debido al reciente análisis teórico que muestra una falta de efectividad comparativa para tales métodos.

El uso de la mayoría de las técnicas de compresión (técnicas basadas en DCT o DWT) envuelven Cuantización Escalar o Vectorial; sin embargo casi todos los diseños prácticos usan la primera por su gran simplicidad.

En Ingeniería de Radiodifusión, TV digital (DVB, ATSC e ISDB) es hecho práctico la compresión de video. Las estaciones de TV pueden difundir no solo HDTV, sino múltiples canales virtuales en el mismo canal físico. Casi todas las difusiones de video usan hoy el formato de compresión estándar de video MPEG-2, aunque H.264/MPEG-4, AVC y VC-1 surgen como competidores en ese dominio.

3.2.1.1 Principios de Compresión de Vídeo

Explicación de un sistema de Vídeo IP

Antes de abordar la cuestión que nos interesa debemos realizar un pequeño análisis para comprender mejor los procesos de grabación y almacenamiento digital. En un sistema de vídeo IP hay múltiples procesos ejecutándose simultáneamente. Nos centraremos sólo en alguno de los más importantes relacionados con la compresión:

Codificación: El proceso que se realiza en la cámara de red o el servidor de vídeo que codifica (digitaliza y comprime) la señal de vídeo analógico de manera que pueda transmitirse a través de la red.

Transmisión IP: Transmisión sobre una red de datos basada en el protocolo IP, inalámbrica o con cableado, desde una fuente hasta hardware variado de grabación o visualización (por ejemplo un servidor de PC's).

Grabación: Datos transferidos a discos duros estándar conectados a un dispositivo de almacenamiento como puede ser un servidor, NAS (Network Attached Server) o SAN (Storage Area Network).

Decodificación: El vídeo codificado debe ser traducido, o decodificado, con el fin de ser visualizado/monitorizado. Este proceso se realiza en un PC o en otro sistema decodificador que se emplee para visualizar el vídeo.

3.2.1.2 Codificación de Imágenes Fijas

3.2.1.2.1 JPEG

JPEG es un conocido método de compresión, que fue originalmente estandarizado a mediados de los años 80 en un proceso iniciado por el Joint Photographic Experts Group.

La compresión JPEG puede realizarse a diferentes niveles definidos por el usuario y que determinan cuanto tiene que comprimirse una imagen. El nivel de compresión seleccionado tiene una relación directa con la calidad de imagen obtenida. Además del nivel de compresión, la escena de la imagen en sí misma también tiene un impacto en el nivel de compresión resultante. Mientras que un muro blanco, por ejemplo, puede producir un archivo de imagen relativamente pequeño (y aceptar un mayor nivel de compresión), el mismo nivel de compresión aplicado a una escena compleja y a patrones producirá un archivo de mayor tamaño y con un nivel de compresión menor.

Este formato se caracteriza principalmente por ser abierto, los derechos de autor son libres y puede ser usado o implementado en un programa, sin necesidad de pagar por derechos de autor.

El formato JPEG o JPG nace como una respuesta a las limitaciones de otros formatos, es utilizado como extensión predeterminada por las cámaras digitales debido a que permite comprimirlas sin necesidad de bajar su calidad en la resolución y nos libera el espacio.

Cabe mencionar, que el formato JPEG es un formato de compresión de pérdida, es decir; que cuando guardamos una fotografía con esta extensión, la información que contiene la imagen reduce, pero este detalle no es susceptible al ojo humano, porque la calidad de las imágenes sigue siendo de alta calidad.

Antes de que surgiera la necesidad del diseño, desarrollo, programación, uso de Web, los diseñadores gráficos se empeñaban en que mientras más grande fuera el peso de la imagen por ejemplo 300 KB mejor sería la resolución e impresión de la imagen.

Luego, surge la necesidad de realizar una transición del diseño impreso al diseño en la Web, y una de las sorpresas es que esas imágenes gigantescas que se imprimían a todo color, en la Web necesitaban ser comprimidas y reducidas de peso, para que las mismas cargaran fácilmente.

Es en esta acción de compresión, donde el formato JPEG juega un papel importante, porque permite graduar el nivel de compresión de cada una de las imágenes de este modo podemos decidir entre una imagen de baja calidad, que implica un menor tamaño en el archivo o una imagen con alta calidad, que representa un mayor peso. El sistema de compresión que usa JPEG se basa en reducir información promediándola en las zonas de degradado. Es decir; que se calcula el valor de color de algunos píxeles en función del color de los píxeles que les rodean. Por esas características este formato es muy eficiente a la hora de almacenar imágenes que posean muchos degradados y matices de color.

Aunque también es preciso tener en cuenta que es casi inútil cuando queremos guardar con este formato dibujos con grandes extensiones de colores planos y uniformes o con bordes muy definidos, definitivamente no se recomienda.

Al igual que una cámara fotográfica digital, una cámara de red captura imágenes individuales y las comprime en formato JPEG. La cámara de red puede capturar y comprimir las imágenes, por ejemplo 30 imágenes o cuadros individuales por segundo (30 cps), y después hacerlas disponibles como un flujo continuo de imágenes sobre una red a una estación de visualización. Nosotros denominamos a este método como Motion JPEG o M-JPEG.

Dado que cada imagen individual es una imagen JPEG comprimida, todas tendrán garantizada la misma calidad, determinada por el nivel de compresión definido en la cámara de red o el servidor de vídeo en red.

3.2.1.2.2 JPEG2000

JPEG 2000 es una norma de compresión de imágenes basada en transformación de ondas. Fue creada por el comité Joint Photographic Experts Group que anteriormente había creado el algoritmo JPEG. Su objetivo fue el de mejorar el algoritmo JPEG, basándose en la transformación discreta del coseno. Usualmente los archivos con este formato utilizan la extensión .jp2.

JPEG 2000 puede trabajar con niveles de compresión mayores a los de JPEG sin incurrir en los principales defectos del formato anterior con altas tasas de compresión: Generación de bloques uniformes y aspecto borroso. También se adapta mejor a la carga progresiva de las imágenes. Sus principales desventajas están en que tiende a emborronar más la imagen que JPEG incluso para un mismo tamaño de archivo (pero sin formar bloques), y que elimina algunos detalles pequeños y texturas, que el formato JPEG normal sí llega a representar.

Parte de JPEG 2000 ha sido publicada como una norma ISO, ISO/IEC 15444-1:2000. Actualmente JPEG 2000 no está ampliamente admitido por los programas de visualización de páginas Web. En algunos navegadores, los diseñadores no tienen intención de incluirlo debido a su escaso uso y gran número de patentes que tiene. De todas formas, existen muchas extensiones que dan soporte, que opcionalmente pueden ser instaladas por el usuario. Un navegador con soporte para este formato es Konqueror.

3.2.1.3 Codificación para Videoconferencia

3.2.1.3.1 H.261

H.261 es una norma de codificación de vídeo publicado por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones o ITU en inglés) en 1990. Fue diseñado para la videoconferencia sobre la red telefónica pública conmutada (RTPC). H.261 está diseñado para funcionar en múltiplos de 64Kbps velocidades de transmisión de datos de 1x a 30x.

El algoritmo de codificación es un híbrido de predicción inter- imagen, transformar la codificación, y compensación de movimiento. El data-rate del algoritmo de codificación fue diseñado para poder ser fijado entre 40 kbits / s y 2 Mbits / s INTRA codificación donde los bloques de 8x8 píxeles cada uno se codifican sólo con referencia a sí mismos y se envían directamente al bloque proceso de transformación. Por otra parte INTER codificación de imágenes que se codifican con respecto a otro marco de referencia. La imagen entre la predicción elimina la redundancia temporal. El transformar la codificación elimina la redundancia espacial. Vectores de movimiento se utilizan para ayudar al codec ha compensar el movimiento. Para eliminar cualquier redundancia en el bit-stream de transmisión, la codificación de longitud variable es utilizada.

H261 apoya compensación de movimiento en el codificador como una opción. H261 soporta dos resoluciones de imagen, QCIF (Formato de intercambio común de cuarto) que es (144x176 píxeles) y CIF (formato de intercambio común) que es (288x352).

El multiplexor de vídeo estructura los datos comprimidos en bit stream jerárquico que mundialmente pueden ser interpretados. La jerarquía tiene cuatro capas:

- Capa de cuadros: corresponde a un cuadro (imagen) de vídeo.
- Grupo de bloques: corresponde a 1/12 de cuadros CIF o 1/3 de QCIF
- Macro-Bloques: corresponde a 16x16 píxeles de luminancia y los dos espacialmente correspondencia 8x8 componentes de crominancia.
- Bloques: corresponde a 8x8 píxeles.

Estructura del protocolo - H.261. Codificación y decodificación de video (CODEC):

3	6	7	8	12	17	22	27	32bits
SBIT	EBIT	I	V	GOBN	MBAP	QUANT	HMVD	VMVD

- **SBIT** – bit de inicio. Numero de bits más significantes que deben ser ignorados en el primer octeto de datos.
- **EBIT** – bit final. Numero de bits menos significativos que son ignorados en el último octeto de datos.
- **I** - INTRA-frame - campo de datos codificado. Se coloca un 1 si el stream contiene solo INTRA-frame bloques codificados y un 0 si este stream puede o no contener bloques codificados INTRA-frame.
- **V** – Bandera de vector en movimiento. Colocar 0 si los vectores de movimiento no son usados en este stream y un 1 si los vectores movimiento pueden o no ser usados en este stream.
- **GOBN (Group of blocks Number, en ingles)** – numero GOB. Codifica el GOB al inicio del paquete. Colocar un 0 si el paquete inicia con una cabecera GOB.
- **MBAP** - Profeta de dirección de macro bloque. Codifica el predictor de dirección de macroblock. Este profeta se extiende de 0-32 (predecir el MBAs 1-33 valido), pero porque el bit stream no puede ser fragmentado entre una cabecera GOB y una de MB 1, el predictor para iniciar el paquete nunca puede ser 0.
- **QUANT** – Campo cuantizador. Muestra el valor cuantizador en efecto antes del inicio de este paquete. Colocar 0 si el paquete inicia con una cabecera GOB.
- **HMVD** – Campo de datos de vector de movimiento horizontal. Representa los datos del vector de movimiento horizontal de referencia (MVD). Colocar 0 si V es 0 o si el paquete inicia con una cabecera GOB, o cuando el MTYPE del último MB codificado en el paquete previo no fue MC.

- **VMVD** - Movimiento vertical vector datos (VMVD). Datos de vector de movimiento vertical de referencia (MVD). Colocar 0 si la bandera V es 0 o si el paquete inicia con la cabecera GOB, o cuando el MTYPE de último MB codificado en el paquete previo no fue MC.

3.2.1.4 Codificación de Imágenes en Movimiento

- Las animaciones o imágenes en movimiento no son más que una sucesión de imágenes fijas con una cadencia temporal determinada. La sensación de movimiento es debida a la remanencia de las imágenes en nuestra retina.
- El video digital, las películas en formato digital, no son más que el almacenamiento de imágenes en movimiento y sonido conjuntamente.
- Como cada imagen ocupa mucho y hay que usar aproximadamente 20 imágenes por segundo una animación necesita capacidades de almacenamiento enormes.
- Hay distintos métodos para reducir estas grandes cantidades de información.
- El movimiento de imágenes vectoriales utiliza expresiones matemáticas que lo describen de modo que se genera cada "fotograma" a través de cálculos.
- Podemos almacenar sólo las partes de la imagen que se modifican entre un fotograma y el siguiente.
- Podemos utilizar técnicas de compresión que dan lugar a los distintos formatos.
- Algunos de los formatos más utilizados son:
 - AVI: Formato de vídeo comprimido estándar de Windows
 - MPEG (Motion Pictures Expert Group): Formato con gran capacidad de compresión.

MPEG es el *Grupo de Expertos de Imágenes en Movimiento*, por sus siglas en inglés. Se trata de un grupo de personas dentro de la Organización Internacional de Estándares (ISO, en inglés) que desarrollan formatos estándar para video digital y compresión de audio. Como cada empresa tiene sus propios algoritmos de compresión, es ahí donde recae la importancia de contar con un estándar internacional. MPEG se reúne cuatro veces al año durante una semana completa para organizar y planificar sus trabajos.

El estándar de compresión de video digital desarrollado por Moving Picture Experts Group, hace uso de la compresión por similitud de contenidos que percibe, reduce espacio al tomar a una imagen como un todo. Contempla tres niveles diferentes de codificación-decodificación de la señal de audio, de los cuales sólo el primero está totalmente terminado. Los otros dos son aplicables, y de hecho se utilizan habitualmente, pero siguen abiertos a ampliaciones. Estos tres niveles son:

MPEG-1: Codificación de imágenes en movimiento y audio asociado para medios de almacenamiento digital de hasta 1'5 Mbit/s.

MPEG-2: Codificación genérica de imágenes en movimiento e información de audio asociada.

MPEG-3: La planificación original contemplaba su aplicación a sistemas HDTV; finalmente fue incluido dentro de MPEG-2.

MPEG-4: Codificación de objetos audiovisuales.

En el proceso de codificación, el codificador procesa la señal de audio digital y produce el bit stream empaquetado para su almacenamiento y/o transmisión. El algoritmo de codificación no está determinado, y puede utilizar enmascaramiento, cuantización variable y escalado. Sin embargo, debe ajustarse a las especificaciones del decodificador.

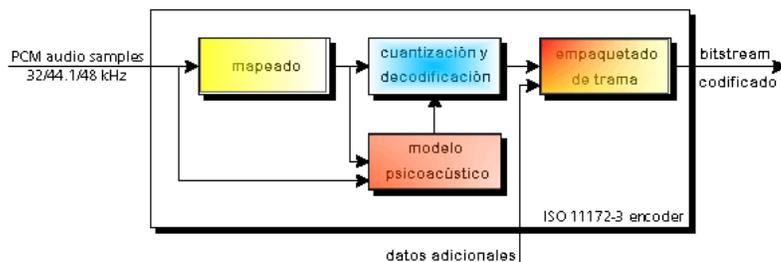


Fig. 3.3 Proceso de codificación

Las muestras se introducen en el codificador y a continuación el mapeador crea una representación filtrada y submuestreada de la señal de entrada. El modelo psico-acústico crea una serie de datos (dependiendo de la implementación del codificador) que sirven para controlar la cuantización y codificación. Este último bloque crea a su vez su propia serie de datos, de nuevo dependiendo de la implementación. Por último, el bloque de empaquetamiento de trama se encarga de agrupar como corresponde todos los datos, pudiendo añadir algunos más, llamados datos adicionales, como por ejemplo CRC o información del usuario.

El decodificador debe procesar el bit stream para reconstruir la señal de audio digital. La especificación de este elemento sí esta totalmente definida y debe seguirse en todos sus puntos. Los datos del bit stream son

desempaquetados para recuperar las diversas partes de la información. El bloque de reconstrucción recompone la versión cuantizada de la serie de muestras mapeadas. El mapeador inverso transforma estas muestras de nuevo a PCM.

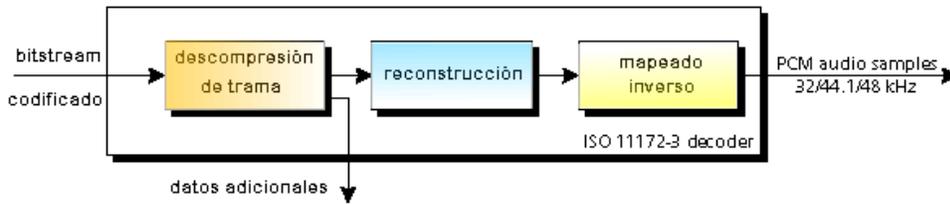


Fig. 3.4 Proceso de decodificación

El estándar MPEG tiene la intención de compresión de video en movimiento total. Usa compresión inter-frame, logrando relaciones de compresión de hasta 200:1 al guardar solo las diferencias entre cuadros sucesivos. Las especificaciones MPEG también incluyen un algoritmo para compresión de datos de audio en relaciones desde 5:1 hasta de 10:1.

MPEG codifica cuadros secuencialmente usando tres diferentes algoritmos, como lo muestra la figura de abajo. Un algoritmo basado en DCT similar a JPEG primero codifica intra-frames (I). Para explotar la redundancia temporal entre cuadros, MPEG codifica los cuadros restantes usando dos técnicas de predicción. Una codifica los cuadros predichos codificación predictiva delantera, donde el cuadro real es codificado con referencia al anterior. En los otros códigos interpolados o bidireccionales los cuadros (B) bi-direccionalmente predichos, con codificación interpolada, también llamada interpolación con compensación de movimiento. La predicción Bi-direccional usa el cuadro anterior y posterior para codificar al actual, proveyendo la más alta cantidad de compresión.

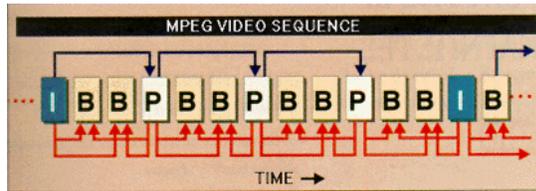


Fig. 3.5 Secuencia de video MPEG codificado

El proceso de codificación para los cuadros P y B incluye un estimador de movimiento que encuentra el mejor bloque de apareamiento común a los cuadros de referencia. El vector de movimiento especifica después la distancia entre los bloques predichos y los reales. La diferencia, llamada término de error, es entonces codificado usando la codificación basada en la transformación DCT.

El presente estándar, llamado MPEG-1, comprime video en movimiento total de 320 x 240 en aplicaciones como multimedia interactiva y difusión de televisión. La tasa de datos mínima requerida es 1.5 Mbps.

Este formato de compresión de video digital, surgió durante el año 1991. Su calidad se parece al del sistema VHS. La principal finalidad de este tipo de formato de compresión fue el de poder colocar el video digital en un soporte muy conocido para todos nosotros, el CD-ROM. Su tamaño es de 1,5 mega bits por segundo y se presentaba a una resolución de 352 x 240 píxeles NTFS o 352 x 288 en PAL. Actualmente este formato se utiliza bastante para visualizar videos por Internet.

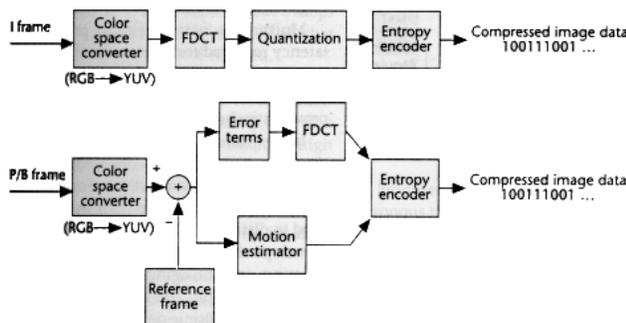


Fig. 3.6 Algoritmo de codificación MPEG

MPEG-2 comprime video con movimiento total de 720 x 480 en difusión de televisión y aplicaciones de "Video-en-demanda". Requiere una transmisión de datos en el rango de 4 a 10 Mbps y provee calidad de video VCR. La difusión de TV y otros servicios de video usan MPEG-3 para comprimir video de movimiento total con calidad de HDTV. La tasa de datos requerida es de 5 a 20 Mbps. Las aplicaciones de video con movimiento total como multimedia activa y video telefonía que consisten de pequeños cuadros y requiere poca actualización usan MPEG-2 que necesita tasas de transmisión de 9 a 40 Kbps.

3.2.1.4.1 Almacenamiento de Video Digital (MPEG-1)

El estándar MPEG-1 fue presentado en 1993 y está dirigido a aplicaciones de almacenamiento de video digital en CD. Por esta circunstancia, la mayoría de los codificadores y decodificadores (codecs) MPEG-1 precisan un ancho de banda de aproximadamente 1.5 Mbit/segundo a resolución CIF (352x288 píxeles). Para MPEG-1 el objetivo es mantener el consumo de ancho de banda relativamente constante aunque varíe la calidad de la imagen, que es típicamente comparable a la calidad del video VHS. El número de imágenes o cuadros por segundo (cps) en MPEG-1 está bloqueado a 25 (PAL)/30 (NTSC) cps.

MPEG-1 es el nombre de un grupo de estándares de codificación de A/V normalizados por el MPEG (Moving Pictures Experts Group, en ingles). *MPEG-1 video* se utiliza en el formato Video CD. La calidad de salida con la tasa de compresión usual usada en VCD es similar a la de un cassette video VHS doméstico. Para el audio, el grupo MPEG definió el *MPEG-1 audio layer 3* más conocido como MP3.

MPEG-1 está conformado por diferentes partes:

- Sincronización y transmisión simultánea de video y audio.
- Códec de compresión para señales de video no entrelazadas (progresivas).
- Códec de compresión para señales de audio con control sobre la tasa de compresión. El estándar define tres capas, o niveles de complejidad de la codificación de audio MPEG.
 - MP1 o MPEG-1 Parte 3 Capa 1 (MPEG-1 Audio Layer 1)
 - MP2 o MPEG-1 Parte 3 Capa 2 (MPEG-1 Audio Layer 2)
 - MP3 o MPEG-1 Parte 3 Capa 3 (MPEG-1 Audio Layer 3)
- Procedimientos para verificar la conformidad.
- Software de referencia.

3.2.1.4.2 Codificación de Alta Calidad (MPEG-2)

Grupo de Expertos de imágenes en movimiento 2 (MPEG-2), es la designación para un grupo de estándares de codificación de audio y video acordado por MPEG, y publicados como estándar ISO 13818. MPEG-2 es por lo general usado para codificar audio y video para señales de transmisión, que incluyen televisión digital terrestre, por satélite o cable. MPEG-2, con algunas modificaciones, es también el formato de codificación usado por los discos SVCD y DVD comerciales de películas.

MPEG-2 es similar a MPEG-1, pero también proporciona soporte para video entrelazado (el formato utilizado por las televisiones) MPEG-2 video no está optimizado para bajas tasas de bits (menores que 1 Mbit/s), pero supera en desempeño a MPEG-1 a 3 Mbit/s y superiores.

MPEG-2 introduce y define Flujos de Transporte, los cuales son diseñados para transportar video y audio digital a través de medios impredecibles e inestables, y son utilizados en transmisiones televisivas. Con algunas mejoras, MPEG-2 es también el estándar actual de las transmisiones en HDTV. Un decodificador que cumple con el estándar MPEG-2 deberá ser capaz de reproducir MPEG-1.

MPEG-2 es para la codificación genérica de imágenes en movimiento y el audio asociado que crea un flujo de video mediante tres tipos de datos de marco (cuadros intra, cuadros posteriores predecibles y cuadros predecibles bi-direccionales) arreglados en un orden específico llamado "La estructura GOP" (GOP = Group Of Pictures o grupo de imágenes).

Generalmente el material originado es una secuencia de video a una resolución de píxeles pre-fijada a 25 o 29,97 cuadros por segundo con sonido. MPEG-2 admite flujos de video escaneado de manera tanto progresiva como entrelazada. En flujos de escaneo progresivo, la unidad básica de codificación es un campo. En la discusión de abajo, los términos genéricos "cuadro" e "imagen" se refieren tanto a los campos o cuadros, dependiendo del tipo de flujo.

El flujo MPEG-2 esta hecho de una serie de cuadros de imágenes codificadas. Las tres maneras de codificar una imagen son: intra-codificado (I cuadro), predecible posterior (P cuadro) y predecible bi-direccional (B cuadro).

La imagen del video es separada en dos partes: luminancia (Y) y croma (también llamada señales de diferencia de color U y V) a su vez, son divididos en "Macro-bloques" los cuales son la unidad básica dentro de una imagen. Cada macro-bloque es dividido en cuatro 8X8 bloques de luminancia. El número de bloques de croma 8X8's depende del formato de color de la fuente. Por ejemplo en el formato común 4:2:0 hay un bloque de croma por macro-bloque por cada canal haciendo un total de seis bloques por macro-bloque.

En el caso de los cuadros I, la verdadera información de imagen pasada a través del proceso codificador descrito abajo, los cuadros P y B primero son sujetos a un proceso de "compensación de movimiento", en el cual son co-relacionados con la imagen previa (y en el caso del cuadro B, la siguiente).

Cada macro-bloque en la imagen P o B es entonces asociada con un área en la imagen previa o siguiente que este bien correlacionada con alguna de éstas. El "vector de movimiento" que mapea el macro-bloque con su área correlacionada es codificado, y entonces la diferencia entre las dos áreas es pasada a través del proceso de codificación descrito abajo. Cada bloque es procesado con una transformada coseno discreta (DCT) 8X8. El coeficiente DCT resultante es entonces cuantificado de acuerdo a un esquema predefinido, reordenado a una máxima probabilidad de una larga hilera de ceros, y codificado. Finalmente, se aplica un algoritmo de codificación Hoffman de tabla fija.

Los cuadros I codifican redundancia espacial, mientras que los cuadros B y P codifican redundancia temporal. Debido a que los marcos adyacentes son a menudo bien co-relacionados, los cuadros P pueden ser del 10% del tamaño de un cuadro I, y el cuadro B al 2% de su tamaño.

Hay muchas estructuras posibles pero una común es la de 15 marcos de largo, y tiene la secuencia I_BB_P_BB_P_BB_P_BB_P_BB_. Una secuencia similar de 12 marcos es también común. La relación de cuadros I, P y B en "la estructura GOP es determinado por la naturaleza del flujo de vídeo y el ancho de banda que constriñe el flujo, además el tiempo de codificación puede ser un asunto importante. Esto es particularmente cierto en las transmisiones en vivo y en ambientes de tiempo real con Fuentes de cómputo limitados. Un flujo que contenga varios cuadros B puede tomar tres veces más tiempo para codificar que un archivo que sólo contenga cuadros I.

La tasa de bit de salida de un codificador MPEG-2 puede ser constante (CBR) o variable (VBR), con un máximo determinado por el reproductor – por ejemplo el máximo posible en un DVD de película es de 10.4 Mbit/s. Para lograr una tasa de bits constante el grado de cuantificación es alterado para lograr la tasa de bits requerida. Incrementar la cuantificación hace visible un defecto cuando el vídeo es descodificado, generalmente en la forma de "mosaicamiento", donde las discontinuidades en los fillos de los macro-bloques se hace más visible como reducción de la tasa de bits.

3.2.1.4.3 H.323

Tradicionalmente, las redes de área local se vienen utilizando para la transmisión de datos, pero conforme las aplicaciones tienden a ser multimedia y los sistemas de comunicaciones en vez de ser elementos independientes y aislados para atender un determinado tipo de comunicación, son servidores de un conjunto más complejo, se tiende a transmitir cualquier tipo de información sobre los medios existentes. Así, sobre la LAN corporativa y sobre Internet, unos medios extendidos por la mayor parte de las empresas, mediante la adopción de ciertos estándares y la incorporación de algunos elementos, es posible enviar voz y vídeo, con la gran ventaja y ahorro que supone el utilizar la infraestructura existente.

Sin embargo y mientras que los datos no son sensibles al retardo, a la alteración del orden en que llegan los paquetes, o la pérdida de alguno de ellos, ya que en el extremo lejano se reconstruyen, la voz y la imagen necesitan transmitirse en tiempo real, siendo especialmente sensibles a cualquier alteración que se pueda dar en sus características. Requieren por tanto de redes que ofrezcan un alto grado de servicio y garanticen el ancho de banda necesario, lo que se consigue en aquellas que son orientadas a la conexión, es decir; que se negocia y establece al inicio de la comunicación la ruta que han de seguir todos y cada uno de los paquetes, y se reserva un determinado ancho de banda. En las redes no orientadas a conexión se realiza el llamado "mejor esfuerzo" para entregar los paquetes, pero cada uno, en función del estado de los enlaces, puede seguir una ruta distinta, por lo que el orden secuencial se puede ver alterado, lo que se traduce en una pérdida de calidad. Dentro de las redes IP, con TCP se garantiza la integridad de los datos y con UDP (datagrama) no.

El estándar H.323 proporciona la base para la transmisión de voz, datos y vídeo sobre redes no orientadas a conexión y que no ofrecen un grado de calidad del servicio, como son las basadas en IP, incluida Internet, de manera tal que las aplicaciones y productos conforme a ella puedan inter operar, permitiendo la comunicación entre los usuarios sin necesidad de que éstos se preocupen por la compatibilidad de sus sistemas. La LAN sobre la que los terminales H.323 se comunican, puede ser un simple segmento o un anillo, o múltiples segmentos (es el caso de Internet) con una topología compleja, lo que puede resultar en un grado variable de rendimiento.

H.323 es la especificación, establecida por la UIT (Unión Internacional de Telecomunicaciones) en 1996, que fija los estándares para la comunicación de voz y vídeo sobre redes de área local, con cualquier protocolo, que por su propia naturaleza presentan una gran latencia y no garantizan una determinada calidad del servicio (QoS). Para la conferencia de datos se apoya en la norma T.120, con lo que en conjunto soporta las aplicaciones multimedia. Los terminales y equipos conforme a H.323 pueden tratar voz en tiempo real, datos y vídeo, incluida videotelefonía.

El estándar contempla el control de la llamada, gestión de la información y ancho de banda para una comunicación punto a punto y multipunto, dentro de la LAN, así como define interfaces entre la LAN y otras redes externas, como puede ser la RDSI.

H.323 establece los estándares para la compresión y descompresión de audio y vídeo, asegurando que los equipos de distintos fabricantes se entiendan. Así, los usuarios no se tienen que preocupar de cómo el equipo receptor actúe, siempre y cuando cumpla este estándar. La gestión del ancho de banda disponible para evitar que la LAN se colapse con la comunicación de audio y vídeo, por ejemplo, limitando el número de conexiones simultáneas, también está contemplada en el estándar.

La norma H.323 hace uso de los procedimientos de señalización de los canales lógicos contenidos en la norma H.245, en los que el contenido de cada uno de los canales se define cuando se abre. Estos procedimientos se proporcionan para fijar las prestaciones del emisor y receptor, el establecimiento de la llamada, intercambio de información, terminación de la llamada y como se codifica y decodifica. Por ejemplo, cuando se origina una llamada telefónica sobre Internet, los dos terminales deben negociar cual de los dos ejerce el control, de manera tal que sólo uno de ellos origine los mensajes especiales de control. Una cuestión importante es, como se ha dicho, que se deben determinar las capacidades de los sistemas, de forma que no se permita la transmisión de datos si no pueden ser gestionados por el receptor.

3.2.1.5 Codificación de Video Basado en Contenido

3.2.1.5.1 MPEG-4

¿Qué es MPEG-4?

- Último estándar de codificación audiovisual de ISO/IEC.
- Estándar muy amplio, actualmente 19 perfiles de video, base similar a H.263
- Multitud de formatos para Audio y Voz
- Sistema basado en Objetos

Usos de MPEG-4

- Telefonía Móvil de tercera generación, *IMT 2000*
- Streaming de contenidos audiovisuales sobre redes IP
- Servicios de televisión interactiva y video bajo demanda
- Tele vigilancia, tele educación, telemedicina, etc.

Ventajas de MPEG-4

- Eficiencia de compresión desde 5 Kbps a 50 Mbps
- Ventajas para streaming:
 - Protección contra errores (principalmente wireless)
 - Escalabilidad espacial, temporal y de PSNR
- Identificación de objetos
- Interactividad
- Formato de archivo MPEG-4

Situación Actual

- MPEG-4 v1 Finalizado en 99
- MPEG-4 v2 Finalizado en 00
- MPEG-4 v3/4 Finalizado en 01
- En estos momentos desarrollo del JVT, que pasará a ser H.264 y AVC
- Comercialización de productos que cumplen con algunos de los perfiles de la versión 1
- Primeros productos que cumplen con el Advanced Simple Profile
- Promoción de la tecnología por parte de MPEG-4 Industrial Forum

MPEG-4, introducido a finales de 1998, es el nombre de un grupo de estándares de codificación de audio y video así como su tecnología relacionada normalizada por el grupo MPEG (Moving Picture Experts Group) de ISO/IEC. Los usos principales del estándar MPEG-4 son los flujos de medios audiovisuales, la distribución en CD, la transmisión bidireccional por videófono y emisión de televisión.

MPEG-4 toma muchas de las características de MPEG-1 y MPEG-2 así como de otros estándares relacionados, tales como soporte de VRML (Virtual Reality Modeling Language) extendido para Visualización 3D, archivos compuestos en orientación a objetos (incluyendo objetos audio, video y VRML), soporte para la gestión de Derechos Digitales externos y variados tipos de interactividad.

La mayoría de las características que conforman el estándar MPEG-4 no tienen que estar disponibles en todas las implementaciones, al punto que es posible que no existan implementaciones completas del estándar MPEG-4. Para manejar esta variedad, el estándar incluye el concepto de perfil y nivel, lo que permite definir conjuntos específicos de capacidades que pueden ser implementados para cumplir con objetivos particulares.

Partes de MPEG-4

MPEG-4 está formado por varios estándares, llamados "partes", que incluyen:

- *Parte 1* (ISO/IEC 14496-1): Sistemas: Describe la sincronización y la transmisión simultánea de audio y video.

- *Parte 2* (ISO/IEC 14496-2): Visual: Un códec de compresión para elementos visuales (video, texturas, imágenes sintéticas, etc.). Uno de los muchos perfiles definidos en la Parte 2 es el Advanced Simple Profile (ASP).
- *Parte 3* (ISO/IEC 14496-3): Audio: Un conjunto de códecs de compresión para la codificación de flujos de audio; incluyen variantes de *Advanced Audio Coding* (AAC) así como herramientas de codificación de audio y habla.
- *Parte 4* (ISO/IEC 14496-4): Conformidad: Describe procedimientos para verificar la conformidad de otras partes del estándar.
- *Parte 5* (ISO/IEC 14496-5): Software de referencia: Formado por elementos de software que demuestran y clarifican las otras partes del estándar.
- *Parte 6* (ISO/IEC 14496-6): Delivery Multimedia Integration Framework (DMIF).
- *Parte 7* (ISO/IEC 14496-7): Software optimizado de referencia: Contiene ejemplos sobre como realizar implementaciones optimizadas (por ejemplo, en relación con la Parte 5).
- *Parte 8* (ISO/IEC 14496-8): Transporte sobre redes IP: Especifica un método para transportar contenido MPEG-4 sobre redes IP.
- *Parte 9* (ISO/IEC 14496-9): Hardware de referencia: Provee diseños de hardware que demuestran implementaciones de otras partes del estándar.
- *Parte 10* (ISO/IEC 14496-10): Advanced Video Coding (AVC): Un códec de señales de vídeo técnicamente idéntico al estándar ITU-T H.264.
- *Parte 12* (ISO/IEC 14496-12): Formato para medios audiovisuales basado en ISO: Un formato de archivos para almacenar contenido multimedia.
- *Parte 13* (ISO/IEC 14496-13): Extensiones para el manejo y protección de Propiedad Intelectual (IPMP).
- *Parte 14* (ISO/IEC 14496-14): Formato de archivo MPEG-4: El formato de archivo de contenedor designado para contenidos MPEG-4; basado en la Parte 12.
- *Parte 15* (ISO/IEC 14496-15): Formato de archivo AVC: Para el almacenamiento de vídeo Parte 10, basado en la Parte 12.
- *Parte 16* (ISO/IEC 14496-16): *Animation Framework Xtension* (AFX).
- *Parte 17* (ISO/IEC 14496-17): Formato de subtítulos (en elaboración - el último avance en su revisión data de enero de 2005).
- *Parte 18* (ISO/IEC 14496-18): Compresión y transmisión como flujo de fuentes tipográficas (para fuentes Open Type).
- *Parte 19* (ISO/IEC 14496-19): Flujos de texturas sintetizadas.
- *Parte 20* (ISO/IEC 14496-20): Representación liviana de escenas (LASER).
- *Parte 21* (ISO/IEC 14496-21): Extensión de MPEG-J para elaboración - el último avance en su revisión data de enero de 2005.

También es posible definir perfiles a nivel de las partes, dado que una implementación de una parte no necesariamente contiene toda esa parte. MPEG-1, MPEG-2, MPEG-7 y MPEG-21 son otros grupos de estándares MPEG.

H.264 o MPEG-4 parte 10

H.264 o MPEG-4 parte 10 es una norma que define un códec de vídeo de alta compresión, desarrollada conjuntamente por el ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) y el ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG). La intención del proyecto H.264/AVC fue la de crear un estándar capaz de proporcionar una buena calidad de imagen con tasas binarias notablemente inferiores a los estándares previos (MPEG-2, H.263 o MPEG-4 parte 2), además de no incrementar la complejidad de su diseño.

Para garantizar un ágil desarrollo de la misma, la ITU-T y la ISO/IEC acordaron unirse para desarrollar conjuntamente la siguiente generación de códecs de vídeo. El Joint Video Team (JVT) estaba formado por expertos del VCEG y MPEG y nació en diciembre de 2001 con el objetivo de completar el desarrollo técnico del estándar hacia el 2003. La ITU-T planeó adoptar el estándar bajo el nombre de ITU-T H.264 y ISO/IEC bajo el nombre de MPEG-4 Parte 10 Códec de Vídeo Avanzado (AVC) y de aquí surgió el nombre híbrido de H.264/MPEG-4 AVC. Para empezar a programar el código del nuevo estándar adoptaron las siguientes premisas:

- La estructura DCT + Compensación de Movimiento de las versiones anteriores era superior a otros estándares y por esto no había ninguna necesidad de hacer cambios fundamentales en la estructura.
- Algunas formas de codificación de vídeo que habían sido excluidas en el pasado debido a su complejidad y su alto coste de implementación se volverían a examinar para su inclusión puesto que la tecnología VLSI había sufrido un adelanto considerable y una bajada de costes de implementación.
- Para permitir una libertad máxima en la codificación y evitar restricciones que comprometan la eficiencia, no se contempla mantener la compatibilidad con normas anteriores.

Características:

El uso inicial del MPEG-4 AVC estuvo enfocado hacia el vídeo de baja calidad para videoconferencia y aplicaciones por Internet, basado en 8 bits/muestra y con un muestreo ortogonal de 4:2:0. Esto no daba salida al uso de este códec en ambientes profesionales que exigen resoluciones más elevadas, necesitan más de 8 bits/muestra y un muestreo de 4:4:4 o 4:2:2, funciones para la mezcla de escenas, tasas binarias más elevadas, poder representar algunas partes de video sin pérdidas y utilizar el sistema de color por componentes RGB. Por este motivo surgió la necesidad de programar unas extensiones que soportasen esta demanda. Tras un año de trabajo intenso surgieron las "extensiones de gama de fidelidad" que incluían:

- Soporte para un tamaño de transformada adaptativo.

- Soporte para una cuantificación con matrices escaladas.
- Soporte para una representación eficiente sin pérdidas de regiones específicas.

Este conjunto de extensiones denominadas de "perfil alto" son:

- La extensión High que soporta 4:2:0 hasta 8 bits/muestra.
- La extensión High-10 que soporta 4:2:0 hasta 10 bits/muestra.
- La extensión High 4:2:2 que soporta hasta 4:2:2 y 10 bits/muestra.
- La extensión High 4:4:4 que soporta hasta 4:4:4 y 12 bits/muestra y la codificación de regiones sin pérdidas.

3.2.1.6 Descripción de Contenido, Búsqueda y Entrega

3.2.1.6.1 MPEG-7

Con MPEG-7 se busca la forma de enlazar los elementos del contenido audiovisual, encontrar y seleccionar la información que el usuario necesita identificar y proteger los derechos del contenido. MPEG-7 surge a partir del momento en que aparece la necesidad de describir los contenidos audiovisuales debido a la creciente cantidad de información. El hecho de gestionar los contenidos es una tarea compleja (encontrar, seleccionar, filtrar, organizar... el material audiovisual).

MPEG-7 ofrece un mecanismo para describir información audiovisual, de manera que sea posible desarrollar sistemas capaces de indexar grandes bases de material multimedia (este puede incluir: gráficos, imágenes estáticas, audio, modelos 3D, vídeo y escenarios de cómo estos elementos se combinan) y buscar en estas bases de materiales manual o automáticamente.

El formato MPEG-7 se asocia de forma natural a los contenidos audiovisuales comprimidos por los codificadores MPEG-1, MPEG-2 y MPEG-4, de todas formas, se ha diseñado para que sea independiente del formato del contenido.

MPEG-7 se basa en el lenguaje XML de meta-datos en un intento de favorecer la interoperabilidad y la creación de aplicaciones, aunque para evitar un problema de exceso de datos se ha creado un compresor llamado BiM (Binary Format for MPEG-7). Este compresor presenta la ventaja de ser más robusto que XML ante los errores de transmisión.

Objetivos de MPEG-7

- Habilitar un método rápido y eficiente de búsqueda, filtrado e identificación de contenido.
- Describir aspectos principales del contenido (características de bajo nivel, estructura, semántica, modelos, colecciones, etc.)
- Indexar un gran abanico de aplicaciones.
- El tipo de información a tratar es: audio, voz, vídeo, imágenes, gráficos y modelos 3D.
- Informar de cómo los objetos están combinados dentro de una escena.
- Independencia entre la descripción y el soporte dónde se encuentra la información.

Existen muchas aplicaciones y muchos campos de aplicación que se pueden beneficiar del estándar MPEG-7. Algunos ejemplos son los siguientes:

- Bibliotecas digitales: almacenaje y búsqueda de bases de datos audiovisuales.
- Servicios de directorios multimedia (p. ej. Páginas amarillas).
- Selección de medios de difusión (canales de radio, televisión...).
- Edición multimedia (servicios electrónicos personalizados).
- Vigilancia: control del tráfico, cadenas de producción...
- E-comercio y tele-compra: búsqueda de ropa, modelos...
- Entretenimiento: búsqueda de juegos, karaokes...
- Servicios culturales: museos, art-galleries...
- Periodismo: búsqueda de personas, sucesos...
- Servicio personalizado de noticias por Internet.
- Aplicaciones educativas.
- Aplicaciones bio-médicas.

3.2.1.6.2 MPEG-21

El estándar MPEG-21 presenta un marco de intercambio de contenido multimedia legítimo, respetando los derechos de autor y distribución, adecuados también a las capacidades de los usuarios en cada momento. Este estándar intenta solucionar muchos problemas existentes hoy en día con la distribución de los contenidos digitales, principalmente ilegales, con las redes de datos. La existencia de redes punto a punto ponen en peligro, según las empresas del sector, el desarrollo y la producción de contenidos.

Su propósito principal es el de establecer, de una manera clara, quiénes son los participantes de la transacción dentro de un mercado digital, en el que lo bienes no son más que datos binarios. La base fundamental en la que se sostiene MPEG-21 es la definición del término de objeto digital. Estos objetos serán los bienes con los que se comerciará dentro del mercado establecido en la red MPEG-21. Además se especifica diferente información como los derechos de propiedad intelectual y de utilización que tiene cada usuario sobre los objetos digitales disponibles.

El propósito de MPEG-21 es definir un marco abierto para el envío y consumo de materiales multimedia para que todos los usuarios que intervengan en la cadena de consumo puedan utilizar el servicio.

3.2.2 Compresión de Señales de Audio

Conceptos Generales

Digitalización:

El sonido es una onda continua que se propaga a través del aire u otros medios, formada por diferencias de presión, de forma que puede detectarse por la medida del nivel de presión en un punto. Las ondas sonoras poseen las características propias y estudiadas de las ondas en general, tales como reflexión, refracción y difracción. Al tratarse de una onda continua, se requiere un proceso de digitalización para representarla como una serie de números. Actualmente, la mayoría de las operaciones realizadas sobre señales de sonido son digitales, pues tanto el almacenamiento como el procesamiento y transmisión de la señal en forma digital ofrece ventajas muy significativas sobre los métodos analógicos. La tecnología digital es más avanzada y ofrece mayores posibilidades, menor sensibilidad al ruido en la transmisión y capacidad de incluir códigos de protección frente a errores, así como encriptación. Con los mecanismos de decodificación adecuados, además, se pueden tratar simultáneamente señales de diferentes tipos transmitidas por un mismo canal. La desventaja principal de la señal digital es que requiere un ancho de banda mucho mayor que el de la señal analógica, de ahí que se realice un exhaustivo estudio en lo referente a la compresión de datos, algunas de cuyas técnicas serán el centro de nuestro estudio.

El proceso de digitalización se compone de dos fases: muestreo y cuantización. En el muestreo se divide el eje del tiempo en segmentos discretos: la frecuencia de muestreo será la inversa del tiempo que medie entre una medida y la siguiente. En estos momentos se realiza la cuantización, que en su forma más sencilla, consiste simplemente en medir el valor de la señal en amplitud y guardarlo. El teorema de Nyquist garantiza que la frecuencia necesaria para muestrear una señal que tiene sus componentes más altas a una frecuencia dada f es como mínimo $2f$. Por tanto, siendo el rango superior de la audición humana en torno a los 20 KHz., la frecuencia que garantiza un muestreo adecuado para cualquier sonido audible será de unos 40 KHz. Concretamente, para obtener sonido de alta calidad se utilizan frecuencias de 44'1 KHz., en el caso del CD, por ejemplo, y hasta 48 KHz, en el caso del DAT. Otros valores típicos son submúltiplos de la primera, 22 y 11 KHz. Según la naturaleza de la aplicación, por supuesto, las frecuencias adecuadas pueden ser muy inferiores, de tal manera que el proceso de la voz acostumbra a realizarse a una frecuencia de entre 6 y 20 KHz. o incluso menos. En lo referente a la cuantización, es evidente que cuantos más bits se utilicen para la división del eje de la amplitud, más "fina" será la partición y por tanto menor el error al atribuir una amplitud concreta al sonido en cada instante. Por ejemplo, 8 bits ofrecen 256 niveles de cuantización y 16, 65536. El margen dinámico de la audición humana es de unos 100 dB. La división del eje se puede realizar a intervalos iguales o según una determinada función de densidad, buscando más resolución en ciertos tramos si la señal que se trata tiene más componentes en cierta zona de intensidad, como veremos en las técnicas de codificación.

El proceso completo se denomina habitualmente PCM (Pulse Code Modulation) y así nos referiremos a él en lo sucesivo. Se ha descrito de forma sumamente simplista, principalmente porque está ampliamente tratado y es sobradamente conocido, siendo otro el campo de estudio de este trabajo.

Codificación y Compresión.

Antes de describir los sistemas de codificación y compresión, debemos detenernos en un breve análisis de la percepción auditiva del ser humano, para comprender por qué una cantidad significativa de la información que proporciona el PCM puede desecharse. El centro de la cuestión, en lo que a nosotros respecta, se basa en un fenómeno conocido como enmascaramiento.

El oído humano percibe un rango de frecuencias entre 20 Hz. y 20 KHz. En primer lugar, la sensibilidad es mayor en la zona alrededor de los 2-4 KHz., de forma que el sonido resulta más difícilmente audible cuanto más cercano a los extremos de la escala. En segundo lugar está el enmascaramiento, cuyas propiedades utilizan exhaustivamente los algoritmos más interesantes: cuando la componente a cierta frecuencia de una señal tiene una energía elevada, el oído no puede percibir componentes de menor energía en frecuencias cercanas, tanto inferiores como superiores. A una cierta distancia de la frecuencia enmascaradora, el efecto se reduce tanto que resulta despreciable; el rango de frecuencias en las que se produce el fenómeno se denomina banda crítica (critical band). Las componentes que pertenecen a la misma banda crítica se influyen mutuamente y no afectan ni se ven afectadas por las que aparecen fuera de ella. La amplitud de la banda crítica es diferente según la frecuencia en la que nos situemos y viene dada por unos determinados datos que demuestran que es mayor con la frecuencia. Hay que señalar que estos datos se obtienen por experimentos psico-acústicos, que se realizan con expertos entrenados en percepción sonora, dando origen con sus impresiones a los modelos psico-acústicos.

Este que hemos descrito es el llamado enmascaramiento simultáneo o en frecuencia. Existe, asimismo, el denominado enmascaramiento asimilado o en el tiempo, así como otros fenómenos de la audición que no resultan relevantes en este punto. Por ahora, centrámonos en la idea de que ciertas componentes en frecuencia de la señal admiten un mayor ruido del que generalmente consideraríamos tolerable y, por tanto, requieren menos bits para ser codificadas si se dota al codificador de los algoritmos adecuados para resolver máscaras.

La digitalización de la señal mediante PCM es la forma más simple de codificación de la señal, y es la que utilizan tanto los CD como los sistemas DAT. Como toda digitalización, añade ruido a la señal, generalmente indeseable. Como hemos visto, cuantos menos bits se utilicen en el muestreo y la cuantización, mayor será el error al aceptar valores

discretos para la señal continua, esto es, mayor será el ruido. Para evitar que el ruido alcance un nivel excesivo hay que emplear un gran número de bits, de forma que a 44'1 KHz. y utilizando 16 bits para cuantizar la señal, uno de los dos canales de un CD produce más de 700 kilobits por segundo (kbps). Como veremos, gran parte de esta información es innecesaria y ocupa un ancho de banda que podría liberarse, a costa de aumentar la complejidad del sistema decodificador e incurrir en cierta pérdida de calidad. El compromiso entre ancho de banda, complejidad y calidad es el que produce los diferentes estándares del mercado y formará la parte esencial de nuestro estudio.

Calidad	Muestreo	Bits/muestra	Modo	Tasa de bits	Frecuencia
Teléfono	8 KHz	8	Mono	64 kbps	200-3400 Hz
Radio AM	11'025 KHz	8	Mono	88 kbps	
Radio FM	22'050 KHz	16	Estéreo	705'6 kbps	
CD	44'1 KHz	16	Estéreo	1411'2 kbps	20-20000 Hz
DAT	48 KHz	16	Estéreo	1536 kbps	20-20000 Hz

Tabla 3.1 Comparación de formatos de calidad de audio

Un modo mejor de codificar la señal es mediante PCM no-lineal o cuantización logarítmica, que consiste en dividir el eje de la amplitud de tal forma que los escalones sean mayores, cuanto más energía tiene la señal, con lo que se consigue una relación señal/ruido igual o mejor con menos bits. Con este método se puede reducir el canal de CD audio a 350 kbps, lo cual evidentemente es una mejora sustancial, aunque puede reducirse mucho más. Otros sistemas similares nos llevan a la cuantización adaptativa (APCM), diferencial (DPCM) y la mezcla de ambas, ADPCM. Así prosigue la reducción del ancho de banda, pero sin llegar a los niveles que proporciona el tener en cuenta los efectos del enmascaramiento.

Codificación sub-banda (SBC).

La codificación sub-banda o SBC (sub-band coding) es un método potente y flexible para codificar señales de audio eficientemente. A diferencia de los métodos específicos para ciertas fuentes, el SBC puede codificar cualquier señal de audio sin importar su origen, ya sea voz, música o sonido de tipos variados. El estándar MPEG Audio es el ejemplo más popular de SBC, y lo analizaremos posteriormente en detalle. El principio básico del SBC es la limitación del ancho de banda por descarte de información en frecuencias enmascaradas. El resultado simplemente no es el mismo que el original, pero si el proceso se realiza correctamente, el oído humano no percibe la diferencia. Veamos tanto el codificador como el decodificador que participan en el tratamiento de la señal.

La mayoría de los codificadores SBC utilizan el mismo esquema. Primero, un filtro o un banco de ellos, o algún otro mecanismo descomponen la señal de entrada en varias sub-bandas. A continuación se aplica un modelo psico-acústico que analiza tanto las bandas como la señal y determina los niveles de enmascaramiento utilizando los datos psico-acústicos de que dispone. Considerando estos niveles de enmascaramiento se cuantizan y codifican las muestras de cada banda: si en una frecuencia dentro de la banda hay una componente por debajo de dicho nivel, se desecha. Si lo supera, se calculan los bits necesarios para cuantizarla y se codifica. Por último se agrupan los datos según el estándar correspondiente que estén utilizando codificador y decodificador, de manera que éste pueda descifrar los bits que le llegan de aquél y recomponer la señal.

La decodificación es mucho más sencilla, ya que no hay que aplicar ningún modelo psico-acústico. Simplemente se analizan los datos y se recomponen las bandas y sus muestras correspondientes. En los últimos diez años la mayoría de las principales compañías de la industria del audio han desarrollado sistemas SBC. A finales de los años ochenta, un grupo de estandarización del ISO llamado Motion Picture Experts Group (MPEG) comenzó a desarrollar los estándares para la codificación tanto de audio como de vídeo. Veremos MPEG Audio como ejemplo de un sistema práctico SBC.

3.2.2.1 MPEG-1

3.2.2.1.1 MP1 o MPEG-1 Parte 3 Capa 1 (MPEG-1 Audio Layer 1)

MPEG-1 audio capa 1, comúnmente abreviado como MP1, es uno de los tres codecs de audio incluidos en el estándar MPEG-1. El codec es considerado en gran parte anticuado, y substituido por MP2 O MP3. Para los archivos que únicamente contienen MP1 audio, la extensión del archivo .mp1 es usado. MP1 usa una codificación de sub-banda relativamente simple, usando 32 sub-bandas.

MPEG-1 capa 1 también fue usado por el formato de cassette compacto Digital, en la forma de un codec de compresión de audio PASC. A causa de la necesidad de una corriente estable de frames por segundo sobre un medio a base de cinta, PASC usa el raras veces usado relleno del bit en la cabecera MPEG para indicar que un marco fue relleno, con 32 extra 0 bits (cuatro bytes 0) para cambiar un 416-byte frame a 420 bytes.

3.2.2.1.2 MP2 o MPEG-1 Parte 3 Capa 2 (MPEG-1 Audio Layer 2)

MP2, también conocido como Música, es una abreviación de *MPEG-1 Audio Capa 2* (no MPEG-2), y también es utilizado como extensión en los nombres de archivo para indicar contenidos codificados en éste formato. Si bien ha sido suplantado por MP3 en los computadores personales y aplicaciones Internet, sigue siendo un estándar dominante para

la emisión de audio como parte de los estándares de radio digital DAB y de televisión digital DVB. Es el estándar utilizado en la distribución de programación audio.

El estándar está definido en la norma ISO/IEC 11172-3, quedando establecidos los siguientes parámetros:

- Frecuencias de muestreo: 32, 44.1 y 48 kHz
- Tasas de bits: 32, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 160, 192, 224, 256, 320 y 384 kbit/s

La norma establecida en MPG-1 Layer II, ha sido extendida por MPEG-2 Layer II y definida en ISO/IEC 13818-3:

- Frecuencias de muestreo adicionales: 16, 22.05 and 24 kHz
- Tasas de bits adicionales: 8, 16, 24, 32, 40, 48, 56, 64, 80, 96, 112, 128, 144 and 160 kbit/s

Con estos parámetros adicionales, se puede conseguir un mayor abanico de calidades en la codificación, proporcionando así servicios más variados.

3.2.2.1.3 MP3 o MPEG-1 Parte 3 Capa 3 (MPEG-1 Audio Layer 3)

MPEG-1 Audio Layer 3, más conocido como MP3 y también por su grafía *emepetrés*, es un formato de audio digital comprimido con pérdida desarrollado por el Moving Picture Experts Group (MPEG) para formar parte de la versión 1 (y posteriormente ampliado en la versión 2) del formato de video MPEG. Su nombre es el acrónimo de MPEG-1 Audio Layer 3 y el término no se debe confundir con el de *Reproductor MP3*.

El formato MP3 se convirtió en el estándar utilizado para *streaming* de audio y compresión de audio de alta calidad (con pérdida en equipos de alta fidelidad) gracias a la posibilidad de ajustar la calidad de la compresión, proporcional al tamaño por segundo (bitrate), y por tanto el tamaño final del archivo, que podía llegar a ocupar 12 e incluso 15 veces menos que el archivo original sin comprimir.

Un fichero Mp3 se constituye de diferentes frames MP3 que a su vez se componen de una cabecera Mp3 y los datos MP3. Esta secuencia de datos es la denominada "stream elemental". Cada uno de los Frames son independientes, es decir, una persona puede cortar los frames de un fichero MP3 y después reproducirlos en cualquier reproductor MP3 del Mercado. El gráfico muestra que la cabecera consta de una palabra de sincronismo que es utilizada para indicar el principio de un frame válido. A continuación siguen una serie de bits que indican que el fichero analizado es un fichero Standard MPEG y si usa o no la capa 3. Después de todo esto, los valores difieren dependiendo del tipo de archivo MP3. Los rangos de valores quedan definidos en la ISO/IEC 11172-3.

3.2.2.2. MPEG-2

3.2.2.2.1 MPEG-2 Audio

MPEG-2 audio, definido en la Parte 3 del estándar, mejora a MPEG-1 audio al alojar la codificación de programas de audio con más de dos canales. La parte 3 del estándar admite que sea hecho retro-compatible, permitiendo que descodificadores MPEG-1 audio puedan descodificar la componente estéreo de los dos canales maestros, o en una manera no retro-compatible, la cual permite a los codificadores hacer un mejor uso del ancho de banda disponible. MPEG-2 soporta varios formatos de audio, incluyendo MPEG-2 AAC.

3.2.2.2.2 MPEG-2 AAC - (Codificación de Audio Avanzada)

La familia de MPEG ACC es la consecuente continuación del verdadero éxito del codec de audio MPEG capa 3, comúnmente conocido como MP3. Con una velocidad del bit del rango de 24 kbit/s a 256 kbit/s, AAC (Codificación Avanzada De audio) combina una excelente eficiencia de codificación con una alta calidad de audio y es capaz totalmente de varios canales.

El desarrollo de AAC iniciado en 1994 por la colaboración de Fraunhofer IIS AT&T, Dolby, y Sony; solo tres años más tarde al nuevo formato llegó a ser parte del estándar MPEG-2 AAC. Más tarde, se desarrolló el MPEG-4 Audio estándar. Finalmente, los formatos de codificación: Alta Eficiencia AAC (HE-AAC) y HE-AAC v2.

MPEG AAC proporciona excelente calidad de audio. Alcanzando una calidad de solamente 64 kbit/s por canal. Esto realiza las exigencias para la calidad de broadcast como la define la Unión Europea de Broadcasting. Con tarifas de muestreo en los límites de 8kHz hasta 96kHz y encima, con tarifas de bit hasta 256 kilobytes/s, y con apoyo a hasta 48 canales, MPEG AAC es uno de los más flexibles códigos de audio. Y por supuesto, el estándar soporta mono, estéreo y todas de las comunes configuraciones multicanal.

3.2.2.3. Dolby (AC-3)

Digital Dolby, o AC-3, es la versión más común que contiene hasta un total de 6 canales de sonido, con 5 canales de ancho de banda completa de 20 Hz - 20 kHz para los altavoces de rango-normal (frente derecho, centro, frente izquierdo, parte posterior derecha y parte posterior izquierda) y un canal de salida exclusivo para los sonidos de baja frecuencia conocida como Low Frequency Effect, o subwoofer. El formato Dolby de Digital apoya usos Mono y Stereo también. Este codec tiene varios alias, que son diversos nombres para el mismo codec: Dolby Digital (nombre promocional, no aceptado por la ATSC). DD (una abreviatura de lo antedicho, combinada a menudo con el número de

canales: DD 5.1) Dolby Surround AC-3 Digital (segundo nombre promocional, como se veía en algunas películas, y en los equipos de audio casero hasta cerca de 1995/6).

Dolby Stereo Digital (primer nombre promocional, según lo visto en los primeros lanzamientos, también visto en el Disco Laser de la película *Mentiras Arriesgadas* (*Mentiras Verdaderas-True Lies*).

Dolby SR-Digital (cuando la grabación incorpora un formato de grabación Dolby SR para la compatibilidad). SR-D (una abreviatura de lo antedicho).

Adaptive Transform Coder 3 (se relaciona con el formato de Bitstream de Dolby Digital).

AC-3 (una abreviatura de lo antedicho). Audio Codec 3, Advanced Codec, Acoustic Coder 3 (Adaptive Transform Acoustic Coding 3, o ATRAC3 es un formato separado desarrollado por Sony). ATSC A/52 (el nombre del estándar, la versión actual es A/52 Rev. B).

El AC-3 es uno de los formatos denominados de compresión perceptual. Lo que hacen, básicamente, es eliminar todas las partes del sonido original, codificado analógicamente, que no pueda ser percibido por el oído humano. De ésta forma, se logra que la misma información sea de menor tamaño y por lo tanto ocupe mucho menos espacio físico.

Una vez lograda la compresión de la onda original, se puede añadir más información que antes no era posible tener: más canales de audio que los típicos 2 del estéreo, etiquetas de lengua del audio, información para la corrección de errores. Además, por cada canal se añade información que hace posible que suene de forma fiel a cómo fue creada por su autor.

Durante la codificación en AC-3, se pasa por unas etapas sucesivas. De todo el audio (onda original) cogemos un trozo definido. El proceso se va repitiendo hasta acabar con la onda, que se va transformando de forma secuencial. Se filtra el denominado canal de baja frecuencia, LFE (efectos de frecuencia baja). La frecuencia límite es de 120 Hz.

3.3 Codificación de Canal

En ocasiones se producen diferencias entre las secuencias de datos enviadas a través de un canal y las secuencias de datos recibidas debidas a la existencia de ruido en el canal. A estas diferencias se les denomina errores. Por ello es necesario realizar una codificación a la entrada del canal, cuyo objetivo es que el receptor sea capaz de detectar y corregir los errores producidos en los datos durante su transmisión por el canal. La codificación del canal consiste en introducir redundancia, de forma que sea posible reconstruir la secuencia de datos original de la forma más fiable posible.

Hay dos técnicas de corrección de errores:

- Detección de errores o corrección hacia atrás o ARQ (Automatic Repeat Request): Cuando el receptor detecta un error solicita al emisor la repetición del bloque de datos transmitido. El emisor retransmitirá los datos tantas veces como sea necesario hasta que los datos se reciban sin errores.
- Corrección de errores o corrección hacia delante o FEC (Forward Error Correction): Se basa en el uso de códigos auto-correctores que permiten la corrección de errores en el receptor.

En el contexto de las comunicaciones digitales, se define la codificación como la transformación de una señal para su transmisión o almacenamiento. La codificación puede ser de canal o de fuente:

- La codificación de canal está orientada a que la transmisión sea lo más fiable por un medio ruidoso, normalmente añadiendo bits para el control de errores.
- La codificación fuente está orientada a representar eficientemente una señal en formato digital, es decir, minimizar el número de bits necesario para su transmisión de forma eficiente. A su vez la codificación fuente puede ser sin pérdidas (por entropía) o con pérdidas; esto significa que se pueda reconstruir la señal original de forma exacta en recepción, como es el primer caso, o que se produzcan ciertas pérdidas.

Como requisito indispensable de la codificación con pérdidas está la cuantificación. El esquema funcional de la codificación fuente se muestra en la Figura.



Fig. 3.7 Esquema de Codificación Fuente.

El muestreo consiste en tomar muestras cada T instantes de tiempo de la señal original $x(t)$; según Nyquist este período debe ser como mínimo el doble del ancho de banda de la señal de entrada. El resultado es un conjunto finito de valores que son muestras de la señal ($x[n]$).

La cuantificación es la etapa fundamental en la codificación de señales analógicas. Se basa en líneas generales en tomar un valor muestreado (real) de la señal original de entrada y aproximarlos a un valor dentro de un conjunto discreto de posibles valores ($x_q[n]$).

La codificación consiste en la transformación de cada valor cuantificado para su transmisión por el canal.

La codificación del canal consiste en 'mapear' (añadir redundancia) la secuencia de datos entrante en una secuencia de entrada al canal y realizar el 'mapeo' inverso a la salida del canal en una secuencia de datos tal que los efectos del ruido estén minimizados.

La introducción de redundancia en la codificación del canal tiene como finalidad mejorar la fiabilidad de la transmisión.

Antes de comenzar con la descripción de algunos de estos códigos es conveniente dar unas definiciones:

- **Tasa de error:** Se define como la relación entre el número de bits erróneos recibidos respecto al número total de bits transmitidos. Una tasa de error aceptable para una transmisión es 10 elevado a la -6.
- **Tasa residual de error:** Se define como la relación entre el número de bits erróneos no detectados sobre el total de bits emitidos. Mide la capacidad de detectar errores.
- **Peso de Hamming:** El peso de Hamming $W(c)$ de una palabra de código c se define como el número de bits de esa palabra diferentes de cero.
- **Distancia de Hamming:** Es la distancia entre dos palabras de código de igual longitud y se define como el número de bits (posición a posición) en los que se diferencian las dos palabras.

También es necesario hacer una diferenciación entre los distintos tipos de códigos:

- **Códigos sistemáticos:** aquellos códigos en los que la palabra de información aparece de forma explícita en la palabra codificada.
- **Códigos no sistemáticos:** aquellos códigos en los que la palabra de información no aparece de forma explícita en la palabra codificada.
- **Códigos de bloque:** (tienen el mismo significado que en el caso de la codificación de la fuente) aquellos códigos en los que todas las palabras tienen la misma longitud y la codificación se hace de forma estática.
- **Códigos lineales:** aquellos en los que cualquier combinación lineal de palabras de código válida (por ejemplo la suma módulo 2) produce otra palabra válida.
- **Códigos cíclicos:** aquellos en los que cualquier desplazamiento cíclico de una palabra de código da lugar a otra palabra de código.

Códec

Es el código específico que se utiliza para la codificación/decodificación de los datos. Precisamente, la palabra Códec es una abreviatura de Codificador-Decodificador. Parámetros que definen el códec:

- **Número de canales:** Indica el tipo de sonido con que se va a tratar: monoaural, binaural o multicanal
- **Frecuencia de muestreo:** La frecuencia o tasa de muestreo se refiere a la cantidad de muestras de amplitud tomadas por unidad de tiempo en el proceso de muestreo (uno de los procesos, junto con el de cuantificación y el de codificación, que intervienen en la digitalización de una señal periódica). De acuerdo con el Teorema de muestreo de Nyquist-Shannon, la tasa de muestreo sólo determinará el ancho de banda base de la señal muestreada, es decir, limitará la frecuencia máxima de los componentes sinusoidales que forman una onda periódica (como el sonido, por ejemplo). De acuerdo con este teorema, y siempre desde la perspectiva matemática, una mayor tasa de muestreo para una señal no debe interpretarse como una mayor fidelidad en la reconstrucción de la señal. El proceso de muestreo es reversible, lo que quiere decir que, desde el punto de vista matemático, la reconstrucción se puede realizar en modo exacto (no aproximado). La tasa de muestreo se determina multiplicando por dos el ancho de banda base de la señal a muestrear y, añadiendo un margen (un 10% en CD-Audio, por ejemplo) para contemplar las limitaciones prácticas de los filtros no ideales (reales).
- **Resolución** (Número de bits). Determina la precisión con la que se reproduce la señal original. Se suelen utilizar 8, 10, 16 o 24 bits por muestra. Mayor precisión a mayor número de bits.
- **Bit rate.** El bit rate es la velocidad o tasa de transferencia de datos. Su unidad es el bit por segundo (bps).
- **Pérdida.** Algunos códecs al hacer la compresión eliminan cierta cantidad de información, por lo que la señal resultante, no es igual a la original.

3.3.1 Códigos para Detección y Corrección de Errores

El control de errores dentro de la codificación, puede ser usado mediante dos aproximaciones; la detección de errores y la corrección de errores. Este último requiere de códigos más elaborados de tal manera que por encima de cierto número de bits de error puede ser corregido por la parte receptora. Este esquema es conocido como Corrección de error hacia delante o Forward Error corrección (FEC).

Las redundancias son agregadas al mensaje por el codificador de canal en la parte transmisora, para generar el dato codificado a la velocidad más alta de bit. En el punto receptor, el decodificador de canal convenientemente trata el bloque completo del dato recibido para restaurar el mensaje inicial.

Los códigos básicamente han sido clasificados en dos grupos; códigos de bloque y códigos de convolución. Estos se caracterizan de otros códigos por la ausencia o presencia de memoria, respectivamente. También pueden ser clasificados como lineales o no lineales.

Códigos de Bloque Lineales Sistemáticos

Un código de bloque lineal sistemático será capaz de detectar $X-1$ bits erróneos, donde X viene dado por la distancia de Hamming mínima entre 2 palabras cualesquiera del código, y será capaz de corregir $(X-1)/2$ bits erróneos. Estos códigos cumplen la siguiente propiedad:

La suma módulo-2 de dos palabras del código da lugar a otra palabra de código. En la especificación de estos códigos se utiliza la siguiente notación: (n,k)

- o n es el tamaño de la palabra codificada.
- o k es el tamaño del mensaje original.
- o los $n-k$ bits restantes son los bits de paridad. Es la redundancia mediante la cual se detectan y corrigen los errores.

La forma de una palabra de código de un código de bloque lineal sistemático es la siguiente:

$$m_0 m_1 \dots m_{k-1} b_0 b_1 b_2 \dots b_{n-k-1}$$

donde $m_0 \dots m_{k-1}$ son los bits del mensaje original y $b_0 \dots b_{n-k-1}$ son los bits de paridad que se añaden como redundancia.

De esta forma, podemos expresar una palabra de código como:

$$c_0 c_1 \dots c_{n-k-1} c_{n-k} \dots c_{n-1}$$

El cálculo de los bits de paridad se realiza de la siguiente forma:

$$b_i = P_{0i} m_0 + P_{1i} m_1 + \dots + P_{k-1i} m_{k-1}$$

donde los P_{ij} deben ser tales que la matriz generadora del código tenga filas independientes y las ecuaciones de paridad sean iguales.

Para realizar la codificación se utiliza una notación matricial. Consideraremos la palabra original, la palabra formada por los bits de paridad y la palabra de código como vectores:

$$\mathbf{m} = (m_0 m_1 \dots m_{k-1}) \quad \mathbf{b} = (b_0 b_1 \dots b_{n-k-1}) \quad \mathbf{c} = (c_0 c_1 \dots c_{n-1})$$

También se utiliza la matriz de coeficientes:

$$P = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0,n-k-1} \\ P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1,n-k-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{k-1,0} & \dots & \dots & P_{k-1,n-k-1} \end{pmatrix}$$

Para realizar la codificación se utiliza la matriz generadora: $\mathbf{G} = [\mathbf{I}_{k,k} \mid \mathbf{P}]$. Siendo $\mathbf{I}_{k,k}$ la matriz identidad de tamaño $k \times k$. De esta forma podemos obtener cada palabra de código a partir de cada palabra de mensaje original realizando la siguiente multiplicación:

$$\mathbf{c} = \mathbf{m} \cdot \mathbf{G}$$

Para realizar la decodificación, en destino se recibe un vector (c) de tamaño n y lo que se puede hacer es repetir la operación realizada en la codificación: se toman los primeros k bits y se calcula la redundancia usando la matriz generadora y se comprueba si la redundancia obtenida es igual a la redundancia recibida.

Otra opción más eficiente es la basada en el concepto de síndrome. En el proceso de decodificación basado en el síndrome se utiliza la matriz de chequeo de paridad, que se define de la siguiente forma:

$$\mathbf{H} = [\mathbf{I} \mid \mathbf{P}^t]$$

\mathbf{H} tiene la propiedad de que sólo las palabras de código verifican que al multiplicarlas por \mathbf{H}^t el resultado es el vector nulo. Esta propiedad será utilizada para la detección y corrección de errores.

A cada palabra que el receptor recibe a través del canal la denominaremos palabra recibida y la denominaremos r . Una palabra recibida la podemos expresar como:

$$r = c + e.$$

Donde c es la palabra de código enviada por el emisor y e es una palabra de error. Cada componente e_i de la palabra de error podrá valer 1 si hay un error en esa posición y 0 si no lo hay. El receptor para realizar la codificación utiliza la matriz H para calcular el vector de síndrome de error a partir de la palabra recibida. El vector de síndrome de error se obtiene de la siguiente forma:

$$s = r \cdot H^t$$

El vector de síndrome tiene tantos elementos como bits de paridad se estén usando. El vector de síndrome sólo depende de la secuencia de error y no de la palabra de código transmitida. Si en la transmisión no se ha producido un error, el síndrome es el vector nulo:

$$s = r \cdot H^t = 0$$

Si se ha producido un error la multiplicación de la palabra recibida por H^t nos da un vector que es igual a una de las filas de H^t . La posición que ocupa esa fila es la posición donde hay un error. Todas estas operaciones se hacen en módulo-2 (sin acarreo).

Códigos Lineales de Bloque

En un código lineal de bloque (n,k) un mensaje de k -bits es codificado dentro de una palabra de código de n -bits. Por consiguiente, el número de bits redundantes es $n-k$. Dado que un mensaje decodificado es transmitido a una velocidad z , la velocidad de transmisión de un mensaje codificado es incrementada $(n/k)z$ de tal manera que el tiempo de transmisión total puede permanecer inalterado. La relación adimensional $r = k/n$ es conocida como velocidad de código y cuyos valores se encuentran dentro del rango de 0 a 1.

Tenemos que u es un vector fila de K -dimensión que contiene el mensaje sin codificar y c será un vector fila de n -dimensión que contiene el mensaje codificado. Definimos G como una matriz generadora de dimensión $K \times n$:

$$C = uG$$

Se le suman los bits de redundancia a c porque este contiene al mensaje sin codificar, la matriz generadora debe estar compuesta por una matriz identidad de $K \times K$ y una matriz de coeficientes de $k \times (n-k)$. Denotamos la matriz identidad como I_k y la matriz de coeficientes como P .

$$G = [P \mid I_k]$$

Un código de bloque con esta representación es llamado un código sistemático lineal de bloque. Un código sistemático lineal de bloque será capaz de detectar $X-1$ bits erróneos, donde X viene dado por la distancia de Hamming mínima entre 2 palabras cualesquiera del código, y será capaz de corregir $(X-1)/2$ bits erróneos. Estos códigos cumplen la siguiente propiedad: La suma módulo-2 de dos palabras del código da lugar a otra palabra de código.

La forma de una palabra de código de un código sistemático lineal de bloque es la siguiente:

$$m_0 m_1 \dots m_{k-1} b_0 b_1 b_2 \dots b_{n-k-1}$$

donde m_0, \dots, m_{k-1} son los bits del mensaje original y b_0, \dots, b_{n-k-1} son los bits de paridad que se añaden como redundancia. De esta forma, podemos expresar una palabra de código como:

$$c_0 c_1 \dots c_{n-k-1} c_{n-k} \dots c_{n-1}$$

El cálculo de los bits de paridad se realiza de la siguiente forma:

$$b_i = P_{0i} m_0 + P_{1i} m_1 + \dots + P_{k-1i} m_{k-1}$$

donde los P_{ij} deben ser tales que la matriz generadora del código tenga filas independientes y las ecuaciones de paridad sean iguales.

Para realizar la codificación se utiliza una notación matricial. Consideraremos la palabra original, la palabra formada por los bits de paridad y la palabra de código como vectores:

$$m = (m_0 m_1 \dots m_{k-1})$$

$$b = (b_0 b_1 \dots b_{n-k-1})$$

$$c = (c_0 c_1 \dots c_{n-1})$$

También se utiliza la matriz de coeficientes:

$$P = \begin{pmatrix} P_{00} & P_{01} & \dots & P_{0,n-k-1} \\ P_{10} & P_{11} & \dots & P_{1,n-k-1} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ P_{k-1,0} & \dots & \dots & P_{k-1,n-k-1} \end{pmatrix}$$

Otra opción más eficiente es la basada en el concepto de síndrome. En el proceso de decodificación basado en el síndrome se utiliza la matriz de chequeo de paridad, con dimensión $(n-k)/n$:

$$H = [I_{n-k} | P^T]$$

En donde I_{n-k} es una matriz identidad de $(n-k) \times (n-k)$ y P^T es la matriz transpuesta de P . H tiene la propiedad de que sólo las palabras de código verifican que al multiplicarlas por H^t el resultado es el vector nulo. Esta propiedad será utilizada para la detección y corrección de errores. Tenemos que:

$$HG^T = [I_{n-k} | P^T] [P^T | I_{n-k}] = P^T + P^T = 0$$

Las matrices G y H son usadas para codificar y decodificar, respectivamente. A cada palabra que el receptor recibe a través del canal la denominaremos palabra recibida y la denominaremos r . Una palabra recibida la podemos expresar como:

$$r = c + e$$

Donde c es la palabra de código enviada por el emisor y e es una palabra de error. Cada componente e_i de la palabra de error podrá valer 1 si hay un error en esa posición y 0 si no lo hay. El receptor para realizar la codificación utiliza la matriz H para calcular el vector de síndrome de error a partir de la palabra recibida. El vector de síndrome de error se obtiene de la siguiente forma:

$$s = r \cdot H^t$$

El vector de síndrome tiene tantos elementos como bits de paridad se estén usando. El vector de síndrome sólo depende de la secuencia de error y no de la palabra de código transmitida. Si en la transmisión no se ha producido un error, el síndrome es el vector nulo:

$$s = r \cdot H^t = 0$$

Si se ha producido un error la multiplicación de la palabra recibida por H^t nos da un vector que es igual a una de las filas de H^t . La posición que ocupa esa fila es la posición donde hay un error. Todas estas operaciones se hacen en módulo-2 (sin acarreo).

Notas acerca de estos códigos:

Para la detección y corrección de errores simples la matriz H debe cumplir:

- 1- Todas las columnas de la matriz H deben ser diferentes. Esta condición hace que se pueda localizar la posición del error.
- 2- Ninguna de las columnas de H pueden ser todas ceros. Esta condición se debe a que el síndrome es el vector nulo cuando no hay error.

Cuando se quieren corregir más de un error, por ejemplo dos errores, la matriz H debe verificar:

- 1- Todas las columnas de la matriz H deben ser diferentes.
- 2- Ninguna de las columnas de H pueden ser todas ceros.
- 3- La suma de las columnas dos a dos debe ser diferente.
(Si la matriz H tiene 5 columnas hay 10 sumas diferentes que se pueden hacer. Lo que dice esta propiedad es que todas ellas deben dar resultados diferentes).

Esta última condición complica el cálculo de códigos correctores de dos bits y en la práctica no se suelen utilizar. Cuando hay más de un error se pedirá una repetición de la secuencia al emisor (vuelta atrás).

Código de Hamming

Un código de Hamming es un código de bloque lineal. Al igual que en los códigos de bloque lineales sistemáticos, podemos denotar un código de Hamming mediante un par (n,k) . Sin embargo los valores de n y k deberán verificar una serie de condiciones:

- n es la longitud de la palabra de código
- k es el número de bits de datos de la palabra original sin codificar
- el número de bits de paridad será $m = n - k$, pero deberá cumplirse la siguiente relación entre la longitud de la palabra de código y el número de bits de paridad: **$n = 2m - 1$, con $m \geq 3$**
- según esto también se cumplirá la siguiente relación entre el número de bits de datos y el número de bits de paridad:

$$k = 2m - m - 1$$

Por lo tanto, a cada palabra original le añadiremos unos bits de paridad para obtener la palabra de código, de forma que estos bits de paridad sirvan posteriormente para encontrar y corregir errores que se produzcan en la transmisión.

Cada uno de los bits de paridad que añadimos a una palabra original va a afectar a unas determinadas posiciones de la nueva palabra de código, de forma que tomarán un valor adecuado para que se cumpla el criterio de paridad (par o impar) preestablecido en las subcombinaciones afectadas por cada uno de estos bits de paridad.

El siguiente paso consistirá en determinar a que posiciones de los bits de las palabras de código afecta cada bit de paridad. Para ello construiremos todas las combinaciones posibles con m bits de paridad e interpretamos cada una en binario natural:

	b_m	.....	b_3	b_2	b_1		
Posición	0	.....	0	0	0	.....	0
	0	.....	0	0	1	.....	1
	0	.....	0	1	0	.....	2
	0	.....	0	1	1	.....	3
						

Cada bit de paridad va a afectar a aquellas posiciones en las que ese bit vale 1.

Bit de paridad	Posiciones
b_1	1,3,5,7,.....
b_2	2,3,6,7,.....
b_m	$2^m, 2^m+1, 2^m+2, \dots$

Por último sólo nos queda determinar que posiciones de cada palabra de código ocupará cada bit de paridad. Los bits de paridad han de colocarse en aquellas posiciones en las que no se vean afectados por otros bits de paridad. Estas posiciones serán:

Bit de paridad	Posición
b_1	2^0
b_2	2^1
b_3	2^2
.....	

De esta forma queda completado el proceso de construcción de un código de Hamming. En el proceso de decodificación, el receptor recibe una palabra de un código de Hamming, y deberá comprobar si es correcta o no, y en el caso de que no fuera correcta deberá comprobar en que bit se produjo el error y corregir ese error. Para comprobar si la palabra recibida es correcta, el receptor debe utilizar los bits de paridad de la palabra y hacer con ellos un control de paridad. Para realizar el control de paridad creamos una palabra que tendrá un bit por cada uno de los bits de paridad utilizados. Cada uno de los bits de esta palabra tomará el valor 0 o 1 dependiendo de si el número de unos de las posiciones de la palabra de código afectadas por su correspondiente bit de paridad cumplen o no el criterio de paridad establecido. Interpretando la combinación resultante en binario natural tendremos dos posibilidades:

- Sea un 0, lo cual quiere decir que no se han producido errores en la transmisión. Corresponda a un número distinto de 0, lo cual quiere decir que durante la transmisión ha variado el bit situado en la posición indicada por ese número.
- Una vez obtenida la palabra de código correcta, basta con quitar los bits de paridad para obtener la palabra original enviada por el emisor.

Códigos cíclicos

Los códigos cíclicos son una subclase de los códigos de bloque lineales. Son fáciles de codificar y cumplen las siguientes propiedades:

- **Linealidad:** la suma módulo-2 de dos palabras del código es otra palabra del código.
- **Cíclicos:** cualquier desplazamiento cíclico de una palabra del código también pertenece al código.

Al igual que en los códigos de bloque lineales sistemáticos y en los códigos de Hamming, denotaremos un código cíclico mediante un par (n,k) , donde n es la longitud de las palabras de código y k es la longitud de una palabra original.

Para el manejo de estos códigos se utiliza una notación polinómica, de forma que una palabra de código $C = (c_0, \dots, c_{n-1})$ la interpretaremos como un polinomio, y cada uno de los bits de la palabra de código será uno de los coeficientes de este polinomio: $C(x) = c_0 + c_1x + \dots + c_{n-1}x^{n-1}$

A su vez, una palabra original $m = (m_0, \dots, m_{k-1})$ la interpretaremos como el polinomio:

$$m(x) = m_0 + m_1x + \dots + m_{k-1}x^{k-1}$$

Para generar $C(x)$ a partir de $m(x)$ se usa el **polinomio generador** $g(x)$ que es un factor de x^n+1 . Su grado es $n-k$. La obtención de la palabra codificada se hace de la siguiente forma:

$$C(x) = m(x) \cdot g(x)$$

Así tenemos que un código cíclico queda perfectamente determinado por su polinomio generador. Tal y como hemos planteado estos códigos hasta el momento, los códigos cíclicos no son sistemáticos. Para realizar el control de errores se utiliza el **polinomio de chequeo de paridad**, que es un polinomio de grado k tal que:

$$g(x) \cdot H(x) = x^n + 1$$

Los códigos cíclicos comprenden una clase especial de códigos lineales de bloque. Su estructura algebraica es tal que su codificación, computación síndrome, y la decodificación son muy simples de implementar y pueden ser hechos por medio de los registros de cambio con conexiones de realimentación.

Los elementos de una palabra de código de longitud n pueden ser tratados como los coeficientes de un polinomio de grado $(n - 1)$:

$$c(D) = c_0 + c_1D + c_2D^2 + \dots + c_{n-1}D^{n-1}$$

donde D es una variable real arbitraria.

Los principales teoremas de los códigos cíclicos son presentados a continuación:

Teorema 1. Un código cíclico (n,k) admite uno y solamente un polinomio de código diferente de cero $g(D)$ de grado mínimo $(n - k)$ dado por

$$g(D) = 1 + g_1D + g_2D^2 + \dots + g_{n-k-1}D^{n-k-1} + D^{n-k}$$

Assumir que $g'(D)$ es otro polinomio de código con grado $(n-k)$. Usando la propiedad lineal, podemos sumar $g(D)$ y $g'(D)$ para obtener otro polinomio. El grado del polinomio resultante es menor que $(n-k)$, porque $D_{n-k} + D_{n-k} = 0$.

Es importante notar que g_0 es necesariamente igual a 1. En caso de que $g_0 = 0$ y $g(D)$ esta recorrido a la derecha $n-1$ veces, es obtenido un polinomio de código de grado $n-k$. El polinomio $g(D)$ es llamado polinomio generador.

Teorema 2. Un polinomio binario con grado de $n-1$ o menor, es un polinomio de código, si y solamente si es un múltiplo de $g(D)$. Tenemos que $a(D)$ es un polinomio tal que

$$a(D) = a_0 + a_1D + \dots + a_{k-1}D^{k-1}$$

Entonces $c(D) = a(D)g(D) = a_0g(D) + a_1g(D) + \dots + a_{k-1}D^{k-1}g(D)$, correspondiente a una combinación lineal de el polinomio de código $g(D)$, $Dg(D)$, ... $D^{k-1}g(D)$. Esto implica que $c(D)$ es un polinomio de código, dado que $a(D)$ es un múltiplo de $g(D)$.

Ahora, suponiendo que dividimos $c(D)$ por $g(D)$, el resultado es $c(D) = a(D)g(D) + b(D)$ en donde $b(D)$ es cero o un polinomio de grado menor a $g(D)$. Rescribiendo la ecuación;

$$b(D) = c(D) - a(D)g(D)$$

en donde $b(D) = -b(D)$. Dado que $c(D)$ y $a(D)g(D)$ son polinomios de código, $b(D)$ debe también ser un polinomio de código. Sin embargo, como $b(D)$ tiene un grado menor que $g(D)$, $b(D)$ debe ser igual a cero, porque $g(D)$ es un polinomio de código diferente de cero de grado mínimo.

Teorema 3. El polinomio generador $g(D)$ es un factor de $1 + D^n$

$$D_k g(D) = 1 + D^n + g'(D)$$

Donde $g'(D)$ es $g(D)$ recorrida a la derecha k veces. Esto implica que $g'(D)$ es un múltiplo de $g(D)$.

Códigos Cíclicos Sistemáticos

La palabra de código de un código sistemático está formada por los bits de la palabra original y una serie de bits de paridad.

Consideraremos la palabra de mensaje como un polinomio:

$$m(x) = m_0 + m_1x + \dots + m_{k-1}x^{k-1}$$

A su vez consideraremos que los bits de paridad forman una palabra que también interpretaremos en forma de polinomio:

$$b(x) = b_0 + b_1x + \dots + b_{n-k-1}x^{n-k-1}$$

Por lo tanto la palabra de código será:

$$C(x) = x^{n-k}m(x) + b(x)$$

Teniendo en cuenta todo esto, los pasos para obtener el código cíclico sistemático son:

- 1- Multiplicar la palabra original $m(x)$ por x^{n-k}
- 2- Dividir $x^{n-k}m(x)$ por $g(x)$, denotando el resto por $b(x)$. El resto es el polinomio con los bits de paridad
- 3- La palabra codificada será: $c(x) = b(x) + x^{n-k}m(x)$

Todas las operaciones se hacen en módulo-2.

Al igual que en los códigos de bloque lineales sistemáticos, para realizar el control de errores en la decodificación se utiliza el síndrome. La palabra recibida por el receptor la denotaremos por:

$$r(x) = r_0 + r_1x + \dots + r_{n-1}x^{n-1}$$

Para calcular el síndrome usamos el polinomio generador, con la división:

$$\begin{array}{r} r(x) \quad | \quad g(x) \\ \hline S(x) \quad q(x) \end{array}$$

luego $r(x) = q(x) \cdot g(x) + S(x)$.

$S(x)$ es el polinomio de síndrome, y será de un grado $n-k-1$ o menor. El error y el síndrome coinciden, por lo tanto, si no se producen errores en la transmisión, el síndrome valdrá 0. Si se produce un error en los bits de paridad se puede corregir sumando el síndrome a la palabra recibida.

Códigos Convolucionales

Se diferencian de los códigos de bloque en su forma estructural y las propiedades para corregir errores. Los códigos de bloque suelen tener limitada la capacidad de corrección de errores alrededor de 1 o 2 símbolos erróneos por palabra de código. Estos códigos son buenos para utilizar en canales con baja probabilidad de error. Los códigos convolucionales son adecuados para usar sobre canales con mucho ruido (alta probabilidad de error).

Los códigos convolucionales son códigos lineales, donde la suma de dos palabras de código cualesquiera también es una palabra de código. Y al contrario que con los códigos lineales, se prefieren los códigos no sistemáticos.

El sistema tiene memoria: la codificación actual depende de los datos que se envían ahora y que se enviaron en el pasado.

Un código convolucional queda especificado por tres parámetros (n,k,m) :

- n** es el número de bits de la palabra codificada
- k** es el número de bits de la palabra de datos
- m** es la memoria del código o longitud restringida

Ejemplos:

- Código $(2,1,3)$
 - la palabra codificada tiene 2 bits de longitud
 - la entrada son bloques de 1 bit
 - la salida depende de los dos bloques anteriores y del actual
- Código $(4,2,3)$
 - la palabra codificada tiene 4 bits de longitud
 - la entrada son bloques de 2 bit
 - la salida depende de los dos bloques anteriores y del actual

Proceso de codificación

El proceso de codificación de estos códigos se realiza utilizando un dispositivo lógico en el codificador. Ejemplo: Codificador convolucional $(4, 3, 5)$.

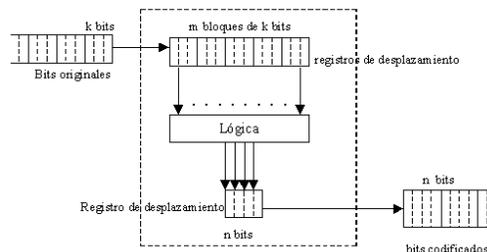


Fig. 3.8 Codificación

La palabra codificada se obtendría como el resultado de realizar una serie de operaciones lógicas entre determinados bits que están almacenados en los registros intermedios.

Ejemplo: Codificador convolucional (2, 1, 3)

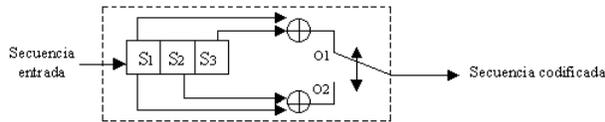


Fig. 3.9 Codificador

- El conmutador con las dos entradas hace el papel de un registro de desplazamiento de dos estados.
- El código convolucional es generado introduciendo un bit de datos y dando una revolución completa al conmutador.
- Inicialmente se supone que los registros intermedios contienen ceros.

En este ejemplo la palabra codificada se obtiene como resultado de sumas módulo-2 entre los bits indicados que están almacenados en los registros intermedios. Las secuencias de salida para el código anteriormente descrito:

Entrada (S3,S2,S1)	Salida (O1,O2)
000	00
001	11
010	01
011	10
100	10
101	01
110	11
111	00

Tabla 3.2 Secuencias de código

Como ejemplo del funcionamiento de este codificador, supongamos que se quiere enviar la secuencia de bits 0101 (donde los bits más a la derecha son los más antiguos). El proceso de codificación es el siguiente:

- Se introduce el primer bit de la secuencia en el codificador:

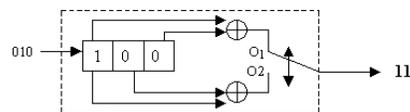


Fig. 3.10 Entrada de primer bit

- Se introduce el segundo bit de la secuencia en el codificador:

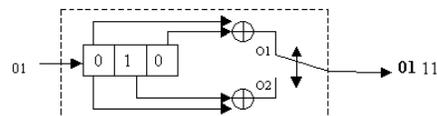


Fig. 3.11 Entrada de segundo bit

- Se introduce el tercer bit de la secuencia en el codificador:

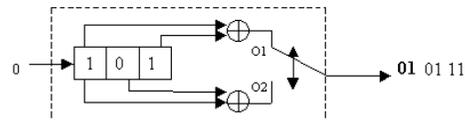


Fig. 3.12 Entrada del tercer bit.

- Se introduce el cuarto bit de la secuencia en el codificador:

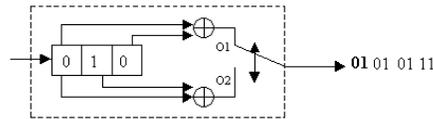


Fig. 3.13 Entrada del cuarto bit.

Al final del proceso de codificación obtenemos que la secuencia codificada es 01 01 01 11. Debido a la memoria del código es necesario de disponer de medios adecuados para determinar la salida asociada a una determinada entrada.

Turbocódigos

Dentro de la codificación de canal existen dos grandes grupos: los códigos detectores y los correctores de error. Los primeros se utilizan principalmente en aplicaciones insensibles a retardos como la transferencia de datos o imágenes. Por el contrario, los códigos correctores se implementan en sistemas de comunicación donde los retardos son un factor determinante en el servicio que proveen, como la transmisión de audio o video en tiempo real.

La distancia de un código se define como el número de elementos en que difieren dos palabras de código, por ejemplo, si dos palabras de código fuesen 110001 y 010101, la distancia sería 2. La capacidad de corregir errores por parte del código está determinada por la distancia de éste, y es equivalente a la cantidad de errores que es capaz de corregir inequívocamente. La ganancia de un código permite cuantificar la cantidad de SNR, Relación Señal a Ruido, que se requeriría adicionalmente para proveer la misma tasa de errores de bits en comparación con el envío de la información sin codificar.

Los códigos correctores de errores pueden clasificarse en: *Códigos de Bloque*, *Convolutivos* y *Turbocódigos*. Los dispositivos que generan códigos de bloque analizan una trama de k bits que se codifican formando una nueva trama de $n > k$ bits, agregando $n - k$ bits de redundancia con el propósito de detectar y corregir errores en el receptor. Esto se describe como el cociente $Rc = k/n$. Cabe destacar que estos códigos son denominados códigos de bloque porque requieren de la totalidad de los k bits para poder generar la palabra codificada.

Los códigos convolutivos son de control de error de tipo de Corrección de Errores de Envío (Forward Error Control, FEC). Su operación consiste mapear una secuencia de bits a otra nueva secuencia que corresponde a la salida del codificador. Finalmente los Turbocódigos corresponden a una familia de códigos de canal incorporados a los estándares de comunicación inalámbrica de tercera generación, los cuales combinan las posibilidades de los códigos convolutivos y teoría de estimación de canales, considerados como códigos convolutivos anidados o en paralelo.

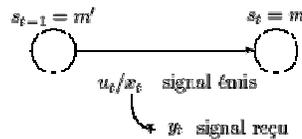
En 1998 Claude Berrou tuvo la idea de aplicar a los códigos correctores de errores; un principio muy útil en electrónica, la realimentación, desconocía completamente que los matemáticos habían afirmado que esto no sería para nada útil. De hecho, en esta época era generalmente aceptado que una sucesión de procesos localmente óptimos conducía a un resultado global óptimo. Hoy se sabe que el aprovechamiento óptimo de la información en las diferentes operaciones de la cadena de recepción requiere necesariamente un procesamiento de datos bi-direccional. La primer aplicación del principio Turbo concernió a la codificación para corrección de errores y resultó en la creación de los Turbocódigos. Asociando la técnica de realimentación con otros tantos conceptos conocidos, en 1990 un conjunto de resultados asombrosos concordaban con la teoría desarrollada por el estadounidense Claude Shannon a mediados del siglo XX.

Después de la presentación pública de los Turbocódigos, éstos fueron rápidamente adoptados por el CCSDS, el comité de estandarización para las agencias espaciales y otros comités de estandarización integraron rápidamente los Turbocódigos en sus estándares de telecomunicaciones, remarcablemente en la tercera generación de telefonía móvil 3G: la UMTS en Europa y la CDMA2000 en Estados Unidos y Asia. Otros sistemas que utilizan los Turbocódigos (INMARSAT, EUTELSAT, DVB-RCS, DVB-RCT, HOMEPLUG, WIMAX, grabación magnética, etc) ya han sido estandarizados o están en curso de hacerlo.

La idea original de utilizar dos secuencias redundantes, una calculada a partir del mensaje a transmitir y la otra de una versión permutada de éste mensaje. La decodificación es probabilística y utilizada al alternar las dos secuencias redundantes, la estimación del mensaje del primer decodificador siendo usado como información de entrada por el segundo y viceversa. Un ejemplo de utilización por la NASA para los intercambios de datos con las sondas Galileo y Cassini, indicando que se puede reducir la probabilidad de error a 10^{-3} cuando la relación señal a ruido de la conexión es del orden de 0dB e igualmente negativa (ruido más fuerte que la señal).

Notaciones

Sea una máquina de M estados, en el instante t pasará del estado $St-1$ al estado St . Siendo el estado inicial en $t=0$ entonces el estado final para $t=T$. La entrada de la máquina es Ut que puede tomar únicamente los valores $k=1$ y $k=-1$. Bajo los efectos de la entrada Ut la máquina es esta en el estado $St-1$ pasa al estado St y arroja la salida Xt . Esta transmisión dada y el receptor reciben una versión eventualmente errónea Yt .



Se conocen las probabilidades de transición de un estado al siguiente:

$$p(s_t = m / s_{t-1} = m'). \dots\dots\dots(1)$$

En el caso simplificado de transmisiones numéricas que consideramos, las probabilidades serán a priori de 0 o ½: cuando la máquina esta en el estado m' no pueden pasar mas que dos estados m dados por las imposiciones de las transiciones; la probabilidad de pasar de uno u otro de los dos estados posibles es igual a ½. Del hecho de la medida de Y_t , estas probabilidades a priori son modificadas. La intención del algoritmo es obtener una evaluación de estas probabilidades modificadas por el conocimiento de las medidas tomadas $\{Y_1, \dots, Y_t\}$. La salida X_t se genera cuando la máquina pasa del estado m' al estado m con seguridad; con probabilidad igual a uno (la entrada U_t es continua). Se obtienen las T salidas X_t ($t=1, \dots, T$). A partir de la transmisión X_t , la salida recibida Y_t es una versión de X_t que puede ser errónea siguiendo una probabilidad

$$p(y_t = x_t) = 1 - \varepsilon, \dots\dots\dots(2) \quad p(y_t \neq x_t) = \varepsilon. \dots\dots\dots(3)$$

La probabilidad de error ε es conocida del receptor que ha medido una secuencia $[y_1, \dots, y_T]$.

$$p(s_t = m / (y_1, \dots, y_T)) = \frac{p(s_t = m, [y_1, \dots, y_T])}{p([y_1, \dots, y_T])}, \dots\dots\dots(4)$$

Se buscan las probabilidades para que la máquina de transmisión se encuentre entonces al instante t en el estado m :

Que escribimos

$$p(s_t = m / (y_1, \dots, y_T)) = \frac{\lambda_t(m)}{p([y_1, \dots, y_T])}, \dots\dots\dots(5) \quad \text{con}$$

$$\lambda_t(m) = p(s_t = m, [y_1, \dots, y_T]). \dots\dots\dots(6)$$

Se calcula también la probabilidad que se tiene a la entrada $U_t=k$ al instante t cuando el estado al instante $t-1$ es m' .

$$p((s_{t-1} = m', s_t = m) / [y_1, \dots, y_T]) = \frac{p(s_{t-1} = m', s_t = m, [y_1, \dots, y_T])}{p([y_1, \dots, y_T])}, \dots\dots\dots(7)$$

$$p((s_{t-1} = m', s_t = m) / [y_1, \dots, y_T]) = \frac{\sigma_t(m', m)}{p([y_1, \dots, y_T])}, \dots\dots\dots(8)$$

$$\sigma_t(m', m) = p(s_{t-1} = m', s_t = m, [y_1, \dots, y_T]). \dots\dots\dots(9)$$

Se puede reemplazar $\sigma_t(m', m)$ por una función de t , de m' y de $k=+1$. En estas probabilidades no se tendrán problemas de denominadores. En efecto, cuando la secuencia $\{Y_1, \dots, Y_t\}$ es medida, esta probabilidad es constante y no aparece como factor de normalización. La propiedad fundamental de las fuentes Marcovianas (la evolución después del instante t no depende de que el estado de la máquina al instante t y de las entradas futuras, en particular no depende de la secuencia que tiene definida en el estado donde se encuentra la máquina al instante t) pudiendo escribir

$\lambda_t(m)$ y $\sigma_t(m', m)$ bajo la forma del producto de tres probabilidades:

$$\alpha_t(m) = p(s_t = m, [y_1, \dots, y_t]), \dots\dots\dots(10)$$

$$\beta_t(m) = p([y_{t+1}, \dots, y_T] / s_t = m), \dots\dots\dots(11)$$

$$\gamma_t(m', m) = p((s_t = m, y_t) / s_{t-1} = m'). \dots\dots\dots(12)$$

Aplicaciones de los Turbocódigos

Un turbocodificador es la combinación de dos codificadores convolucionales simples. En la entrada se coloca un mensaje a transmitir U_t y se generan las transmisiones redundantes X_t y Y_t con dos codificadores simples (habiendo un pequeño número de estados). Se obtiene también la información original U_t (el codificador es sistemático). La originalidad del codificador es efectuar una operación de entrelazado (permutación) sobre los envíos antes de ser tratados por el segundo codificador y así los errores que no tienen corrección por el primer codificador no serán en general idénticos a los errores no corregidos por el segundo codificador. La operación de decodificación es iterativa: se utiliza la entrada estimada por el segundo decodificador para aminorar el resultado de la estimación del primero (con sentido de la máxima probabilidad a posteriori); entonces el resultado de esta nueva decodificación es utilizado para aminorar la decodificación por el segundo decodificador, etc... Esta combinación da resultados remarcablemente eficaces (próximos al límite dado por el segundo teorema de Shannon). Toda vez que la cantidad de cálculos a efectuar es importante. La decodificación es iterativa, lo que explica el excelente desempeño de esta aproximación. La figura de abajo muestra el esquema del decodificador:

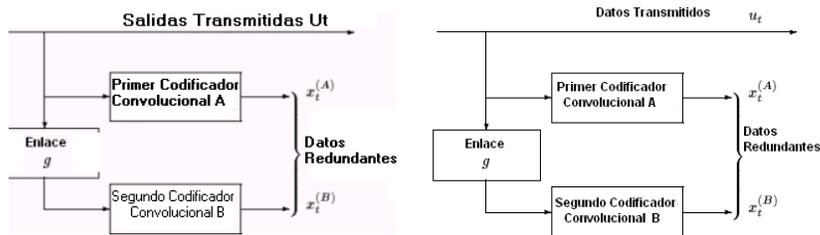


Fig. 3.14 Esquema de codificador Turbocódigos: las salidas redundantes son generadas por un mecanismo similar al de códigos convolucionales; la originalidad es utilizar dos codificadores después de haber aplicado una permutación o alguna otra operación reversible sobre las salidas del codificador.

Los Turbocódigos son llamados técnicas de codificación y decodificación de corrección de errores cuyos principios se ponen en marcha para construir y resolver los parches y palabras cruzadas. Estos principios han permitido a los investigadores obtener desempeños más aproximados al límite predicho por la teoría, hace una cincuentena de años por Shannon.

Este código compuesto es toda una analogía a una cuadrilla de palabras cruzadas, si se comparan las palabras del mensaje original (seguido de X_t , notado X) y las definiciones horizontales y verticales a la información redundante (seguidas de Y_t y Z_t notadas Y y Z). Una primera decodificación horizontal permite llenar casos certeros, entonces la decodificación vertical confirma o rechaza en causar los primeros resultados y permite también llenar otros casos. Una nueva decodificación horizontal aporta las nuevas letras y por tanto la secuencia para la convergencia total y la restitución de la matriz completa. Va la misma información de portadores binarios por las salidas X_t y Y_t del codificador.

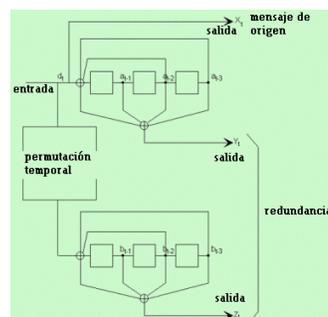


Fig. 3.15 El mensaje binario (d), constituido por la secuencia dT , es codificado dos veces por una concatenación paralela de dos codificadores, la primera vez siguiendo tienen orden natural por el codificador superior, las segunda vez en orden aleatorio, por el codificador inferior. Las redundancias (Y y Z) forman dos mensajes $\{Y\}$ y $\{Z\}$ sinónimos de la secuencia de entrada (d), que es igualmente transmitida que la secuencia $\{X\}$. Concretamente un turbocódigo es construido como la asociación de dos pequeños códigos convolutivos similares a los del esquema que juegan un papel de permutación temporal (nuevamente llamada enlace).

4. VIDEO STREAMING

4.1 Sistema de Video Streaming

Internet Protocol Televisión (IPTV) se ha convertido en la denominación más común para los sistemas de distribución por suscripción de señales de televisión y/o vídeo usando conexiones de banda ancha sobre el protocolo IP. Es decir, IPTV no es un protocolo en sí mismo, sino una denominación que engloba algo mucho más amplio.

IPTV se ha desarrollado basándose en el video-streaming. Este sistema consiste en que la reproducción de los clips o las películas no requiere una descarga previa por parte del usuario, sino que el servidor entrega los datos de forma continua, sincronizada y en tiempo real (al mismo tiempo que se envía, se está visualizando el vídeo con su audio).

Streaming es un término que se refiere a ver u oír un archivo directamente en una página Web sin necesidad de descargarlo antes al ordenador. Se podría describir como una estrategia sobre demanda para la distribución de contenido multimedia a través del Internet.

Antes de que la tecnología "streaming" apareciera en abril de 1995 (con el lanzamiento de RealAudio 1.0), la reproducción de contenido Multimedia a través de Internet necesariamente implicaba tener que descargar completamente el "archivo contenedor" al disco duro local. Como los archivos de audio —y especialmente los de vídeo— tienden a ser enormes, su descarga y acceso como paquetes completos se vuelve una operación muy lenta. Sin embargo, con la tecnología del streaming un archivo puede ser descargado y reproducido al mismo tiempo, con lo que el tiempo de espera es mínimo.

Real-Time Streaming Protocol (RTSP) y Session Description Protocol (SDP).

RTSP se usa para el establecimiento y control de la sesión de streaming. Actúa como un mando a distancia de la sesión, permitiendo comandos como reproducir, pausa, regresar, etc. Se emplea en conjunto con SDP (Session Description Protocol), que es el encargado de proporcionar información sobre la sesión: número de flujos, tipo de contenido, duración, ancho de banda, etc.

Características principales de RTSP:

- Protocolo de nivel de aplicación.
- Independiente de la capa de transporte (TCP o UDP).
- No es el encargado de transportar los contenidos.
- Un servidor RTSP necesita mantener el estado de la conexión.
- Compatible tanto con unicast como con multicast.
- Capacidad multi-servidor: Cada flujo multimedia dentro de una presentación puede residir en servidores diferentes.

Real-Time Transport Protocol (RTP) y Real-Time Transport Control Protocol (RTCP)

RTP es un protocolo de nivel de aplicación que se emplea para la transmisión de información en tiempo real. En video-streaming (y la mayoría de las aplicaciones) se emplea RTP sobre UDP, que es mucho menos pesado que TCP. ¿Por qué UDP?:

- Necesidad propia del video-streaming de recibir la información en el momento adecuado (entrega rápida por encima de la fiabilidad en el transporte).
- RTP no ofrece garantías sobre la calidad del servicio ni sobre el retraso de la entrega de datos, estos deben ser proporcionados por la red subyacente.
- RTP ofrece entrega de datos multicast.
- Secuenciación. Debido a la necesidad de entregar los paquetes en orden
- (UDP no provee esta característica) RTP incorpora un número de secuencia que — además — sirve para la detección de paquetes perdidos.

Por tanto, RTSP y RTP poseen cometidos diferentes. Mientras que el primero es el encargado del establecimiento y control de la conexión video-streaming, RTP se emplea para transportar los contenidos en tiempo real (audio y vídeo). ¿Es suficiente con ambos protocolos (además de SDP) para garantizar una sesión de video-streaming?, o ¿se debe añadir alguna otra funcionalidad?

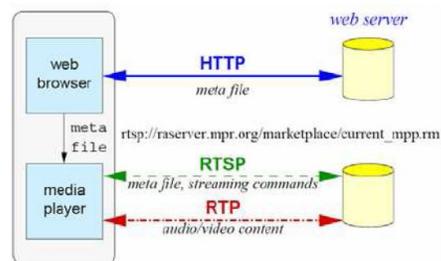


Fig. 4.1 Protocolos para garantizar video streaming.

La respuesta a estas preguntas es empleo conjunto de RTP con RTCP (protocolo de control del transporte en tiempo real). RTCP proporciona información de control asociada con un flujo de datos para una aplicación multimedia (flujo RTP).

Características principales de RTCP.

- Trabaja junto con RTP en el transporte y empaquetado de datos multimedia, pero no transporta ningún dato por sí mismo.
- Se encapsula sobre UDP.
- Se emplea para monitorizar la calidad de servicio.
- Sesión de video-streaming. Sesión RTP.

La aplicación define una dirección de red y un par de puertos para RTP y RTCP en cada una de las máquinas, proporcionándose así video-streaming.

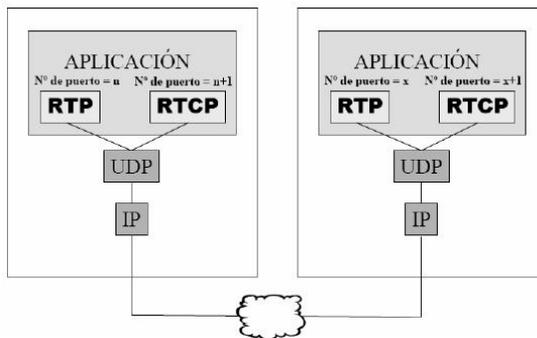


Fig. 4.2 Un escenario de Video Streaming

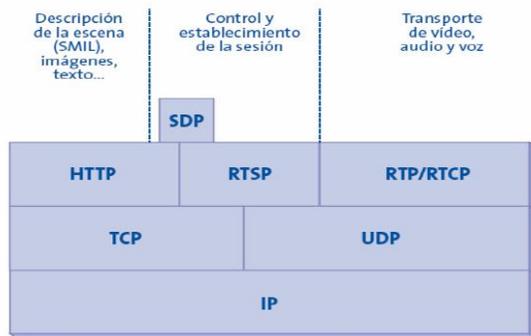


Fig. 4.3 Protocolos en video streaming

Así, observemos como sería una sesión de video-streaming usuario-servidor.

- El usuario obtiene el URI (Uniform Resource Identifier) de un contenido. Este URI, que se puede obtener de diversas formas (mediante navegación http, WAP, teclado por el usuario, etc.), especifica un servidor de streaming y la dirección del contenido.
- El cliente obtiene el archivo SDP mediante el mensaje DESCRIBE de RTSP.
- En el terminal del cliente debe existir una aplicación (normalmente el reproductor de streaming) que entienda los archivos del protocolo SDP.
- El establecimiento de la sesión se realiza mediante el envío de un mensaje «RTSP SETUP» por cada flujo que el cliente quiera recibir, respondiendo el servidor con los puertos que se van a usar a lo largo de la sesión.
- Tras esto, el cliente ya puede realizar el streaming, controlado por el protocolo RTSP («play», «pause», etc.).
- RTP es el encargado de transportar el flujo multimedia y RTCP de monitorear la calidad de servicio.
- El cliente puede finalizar la sesión en el momento que desee mediante el mensaje TEARDOWN de RTSP.

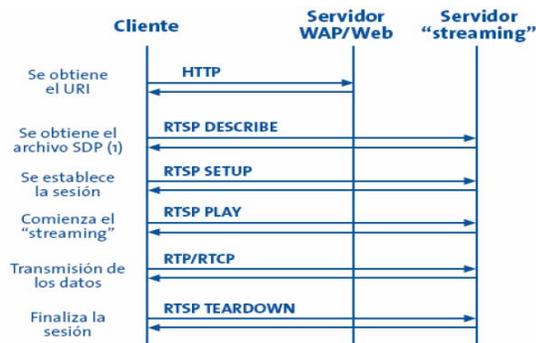


Fig. 4.4 Sesión de video streaming

4.2 Elementos de un Sistema de Video Streaming

Red de Distribución de Contenido

Si un determinado contenido comienza a atraer una cantidad de usuarios mayor a su capacidad de ancho de banda, estos usuarios sufrirán cortes. Sus usos son: Interlacing, Radio por Internet, Televisión por Internet, Virtual Network Computing.

Por varias razones (principalmente propiedad intelectual) la mayoría de los contenidos hechos con tecnología "streaming" han sido concebidos y diseñados para desechar los datos recién interpretados. Sin embargo, se han desarrollado y hecho disponibles ciertas tecnologías que permiten a los usuarios fácilmente capturar y guardar los streams en archivos.

La tecnología de Video Streaming consiste en el envío de paquetes de información que llegan al usuario en el momento en que tienen que ser visionados, ya sea en video directo o video en diferido. De esta forma, la carga sobre el servidor es más ligera que si se envía un fichero para su descarga.

En la retransmisión está integrado el vídeo y el audio con una calidad nunca vista hasta el momento en la emisión por Internet. Se han logrado nuevos métodos de compresión digital para el traslado a Internet que permiten difundir esta tecnología por La Red sin cortes o excesivos retrasos, haciendo posible la total interactividad del sistema. Existen hoy en día dos formas de realizar un streaming: directo o bajo demanda. En cuanto a la retransmisiones en directo o en vivo. La emisión se dividiría en los siguientes pasos:

- **Preproducción:** La señal registrada previamente por una cámara digital será recogida por un equipo de procesamiento de datos (PC), que codificará y comprimirá esa señal a la calidad deseada. En este paso se revisan y ajustan las calidades de video y audio con que serán lanzadas a Internet.
- **Emisión:** Una vez que se tiene la señal en una PC, el siguiente paso es disponer de una conexión a Internet, que permita enviar al servidor de streaming que va a difundir la emisión la señal. Para ello, se debe disponer de una conexión que permita enviar con la velocidad de compresión de video elegida (bit rate) la señal capturada.
- **Difusión:** Tras la codificación y compresión del vídeo se envía a nuestros servidores, que se encargan de difundir la información a los internautas. Los internautas se conectan a La Red, independientemente de que dispongan de una mayor o menor conexión, se les sirve el video al bit rate establecido, con lo que conseguimos optimizar nuestro ancho de banda.

En cuanto a las retransmisiones bajo demanda (on demand): la emisión se dividirá en los siguientes pasos:

- **Codificación:** El archivo es transcodificado al bitrate y formato elegidos, esto quiere decir que el video original sufre una serie de compresiones y cambios para que pueda ser difundido con posterioridad bajo streaming. Los formatos más habituales para codificar los videos son flv y wmv.
- **Upload:** El archivo transcodificado es enviado mediante un sistema de ftp al servidor de streaming y alojado en él para que pueda reproducirse en el momento en que éste se active.
- **Publicación:** En este punto el enlace se integra en la web o URL donde se pretenda reproducir el video. Se puede optar por generar un visor que llame al video o, por el contrario, establecer un link (URL) que abra un reproductor externo a la web donde reproducir el video.

4.3 El Servidor de Video Streaming

El servidor de flujo de Multimedia o de streaming video es una aplicación especializada que corre en un servidor de Internet. Esto es frecuentemente referido como "flujo verdadero", dado que otros métodos solo simulan el flujo. Este

tiene la ventaja de manejar cargas de tráfico mucho más grandes, la habilidad de detectar las conexiones de usuarios y proveer archivos apropiados automáticamente y la habilidad de difundir eventos en vivo.

Hay dos formas de tener acceso a un servidor de flujo:

1. Operar un servidor propio (comprado o rentado)
2. Inscribirse a un sistema de streaming con un Proveedor de Servicios de Internet - ISP (Internet Service Provider).

Para correr un servidor de streaming propio se puede comprar una máquina sola o un paquete de software de servidor e instalarlo en un servidor web existente. El software Streaming esta disponible para todas las plataformas comunes de servidores como Linux, Windows.

Algunos ejemplos de planes de streaming hosteado son:

- RealNetworks Managed Application Services (MAS)
- Apple Quicktime Streaming Services
- Macromedia Communication Server Hosts

El verdadero flujo de video de cualquier forma puede ser un negocio costoso. A menos que realmente se tenga necesidad de ello, es probablemente mejor comenzar con una streaming básico de http.

4.4 Arquitecturas del Servidor de Video Streaming

Métodos Streaming: Servidor Web vs Servidor de Flujo de Multimedia

Existen dos métodos de entrega de flujo de audio y contenido de video en la red. El primero usa un servidor Web estándar para entregar los datos de audio y video a un reproductor multimedia. El segundo, usa un servidor de flujo multimedia especializado a la tarea de flujo de audio/video por separado. Este papel muestra que mientras el servidor Web de flujo puede ser una efectiva solución intermedia, un servidor de flujo es más eficiente y flexible y provee una mejor experiencia al usuario.

Hasta hace poco, el audio y video en la red eran una tecnología de descarga y reproducción. Se tenía que descargar primero el archivo multimedia completo antes de poder reproducirlo. Debido a que los archivos multimedia son usualmente muy largos y toma mucho tiempo descargarlos, el único contenido encontrado en la red eran clips cortos de 30 segundos – o incluso de menos. Incluso estos archivos podían tomar 20 minutos o más en descargar.

El primer método es el de servidor Web, dos métodos primarios para contenido de flujo han emergido. El primero es la aproximación por servidor Web, el cual provee los datos al cliente. El segundo es la aproximación por servidor de flujo multimedia, en el cual un servidor especializado de flujo entrega los datos al cliente.

Flujo con un Servidor Web

Posting & Hosting

Desarrollando contenido de flujo multimedia con el servidor Web es un paso evolutivo del modelo de descarga-reproducción. Audio descomprimido y video son primeramente comprimidos en un solo "archivo multimedia" para su entrega en un modem con ancho de banda de red tal como 28.8 kilobits por segundo (Kbps). Este archivo es luego colocado en un servidor Web estándar. Lo siguiente es una página Web con contenidos de archivos URL multimedia creada y colocada en el mismo servidor Web. Esta página Web, al ser activada, lanza el reproductor del lado del cliente y descarga el archivo multimedia. Aún más, las acciones son idénticas a aquellas en el caso de descarga-reproducción, recayendo la diferencia en el funcionamiento del cliente.

Entrega de Datos

No como en el cliente de descarga-reproducción, el cliente de flujo empieza a reproducir el audio o video mientras se descarga, después de unos cuantos segundos espera por almacenamiento, el proceso de colección que es la primera parte de un archivo multimedia antes de reproducirse. Este pequeño respaldo de información, o memoria, permite al multimedia continuar reproduciendo ininterrumpidamente incluso durante periodos de tiempo de alta congestión de red. Con este método de entrega, el cliente recibe datos tan rápido como el servidor Web, la red y el cliente permitirán, sin importar el parámetro de "bit-rate" del flujo comprimido. Solo algunos formatos de archivos multimedia soportan este tipo progresivo de "reproducción progresiva". Microsoft's Advanced Streaming es el más popular.

El servidor Web de flujo usa el Protocolo de Transporte de Hyper Texto - Hyper Text Transport Protocol (HTTP) – el estándar usado por todos los servidores Web y buscadores Web para comunicación entre el servidor y el cliente. HTTP opera en la cima de TCP, que maneja todas las transferencias de datos. Optimizado para aplicaciones que no son en tiempo real como la transferencia de archivos y registro remoto. El éxito de TCP es maximizar la tasa de transferencia de datos mientras se asegura la estabilidad general y alto "throughput" de la red entera. Para lograrlo se usa un algoritmo llamado inicio lento. TCP primero manda los datos a una tasa baja y la incrementa gradualmente hasta que el destino reporta pérdida de paquetes. TCP después asume que ha alcanzado el límite de ancho de banda o de congestión de la red y regresa al envío de datos a una tasa baja, después la incrementa gradualmente, repitiendo el

proceso. TCP logra la transferencia confiable de datos al retransmitir los paquetes perdidos. Sin embargo, no se puede asegurar que todos los paquetes reenviados llegarán al cliente a tiempo para ser reproducidos en el flujo multimedia.

Flujo con un servidor de flujo Multimedia

Posting & Hosting

En el servidor de flujo multimedia los pasos iniciales son similares al del servidor Web, excepto que el archivo multimedia comprimido es producido y copiado a un servidor de flujo multimedia en lugar de uno Web. Después una página Web con un número de referencia al archivo multimedia es colocada en el servidor Web. Los servicios de Windows Media y el servidor Web pueden correr en la misma computadora.

Entrega de datos

El resto del proceso de entrega del servidor de flujo multimedia difiere significativamente del Web. En contraste a la metodología pasiva empleada en el servidor Web, los datos son activa e inteligentemente enviados al cliente, significando la entrega de contenido a la tasa de datos exactamente asociada con los flujos de datos y video comprimidos. El servidor y el cliente están en contacto cercano durante el proceso de entrega, y el servidor de flujo multimedia puede responder a cualquier realimentación del cliente.

Mientras los servidores de flujo multimedia pueden usar los protocolos HTTP/TCP usados por los Web, también pueden usar los protocolos especializados como el UDP para mejorar aún más la experiencia de flujo. A diferencia de TCP, UDP es un protocolo rápido, y ligero sin retransmisión de datos o administración de la funcionalidad de tasa de datos. Esto hace a UDP un protocolo ideal para transmisión de audio en tiempo real y datos de video, que pueden tolerar alguna pérdida de paquetes. Como bono, debido a las políticas de respaldo implícitas en el protocolo TCP, el tráfico UDP adquiere mayor prioridad que el tráfico TCP sobre Internet. En vez del esquema ciego de retransmisión empleado por TCP, los servidores de flujo multimedia usan la característica de UDP que asegura que el servidor solo retransmite pérdidas de paquetes que pueden ser enviados al cliente para ser reproducidos.

Análisis Comparativo

Las diferencias entre las soluciones del servidor Web y el servidor Multimedia se traducen a claras distinciones tanto en la implementación, administración y la calidad de la experiencia de usuario.

Flujo con un Servidor Web: Las Ventajas

Hay realmente solo una ventaja mayor del flujo con un servidor Web en comparación con un servidor de flujo multimedia – usar la infraestructura existente. Debido a que se usa el servidor Web existente no es necesario instalar o administrar nueva infraestructura de software. Con el servidor Windows Media, se requiere que el productor de contenido y/o el personal de administración del sistema instalen y administre software de servidor adicional, lo que resulta en entrenamiento incremental y costos de personal para aprender y administrar el ambiente más complejo.

Es importante notar que el incremento de carga que el servidor Web basado en flujo pone en la infraestructura a veces resulta en la necesidad de agregar hardware de servidor adicional a las peticiones del cliente. Eligiendo el servidor Web sobre uno dedicado a flujo multimedia basado en costo de hardware por sí mismo usualmente no resulta en ningún ahorro financiero.

Flujo con Servidor de Windows Media. Ventajas

Son diseñados específicamente para la tarea de entrega en vivo o flujo en demanda en vez de muchos archivos HTML de imágenes, ofreciendo ventajas tales como:

1. Mayor eficiencia en el "Throughput" de la red: Debido al uso de UDP que es un protocolo especializado y optimizado para flujo en vivo y en demanda. TCP usado en los servidores Web de flujo está diseñado para manejar repetidamente el enlace más lento de la red (como el enlace del modem de 28.8 Kbps) con pérdida de paquetes. Esto gasta Ancho de Banda al retransmitir los datos para reemplazar la pérdida de paquetes; y bajo la utilización del enlace de red mientras se re-estima el throughput soportado por la conexión de red.

El protocolo UDP permite mayor AB para ser entregado al cliente (resultando en mejor calidad de video), incluso cuando se asume la misma conectividad de red entre el servidor y el cliente y al mismo nivel de congestión en Internet. Al tener servidores de flujo multimedia especializados se sabe que la tasa de datos será consumida, basada en las cabeceras del archivo multimedia comprimido. El servidor de Windows multimedia envía los datos al cliente solo a su tasa requerida, y no maneja el enlace de cuello de botella para pérdidas. Entonces el throughput de la red es mejor, resultando en mejor calidad de audio y video para el cliente.

2. Mejor calidad de A/V para el cliente: El mejorar el throughput de la red es una de las muchas formas de que los servidores entreguen una calidad superior de A/V para los usuarios.

Debido a que el Servidor de Windows Media y el Windows Media Player permanecen en contacto a través del intervalo, el servidor puede responder dinámicamente a la realimentación del cliente. Si la congestión de la red permite solo 22 Kbps de datos para alcanzar al cliente (en vez de los 28.8Kbps), el servidor puede decidir retener la calidad de audio ligeramente más baja que la tasa de umbral del flujo de video tal que no rebasa los 22.2 Kbps disponibles. Esta

habilidad no es posible con el Servidor Web, en el que no se tiene realimentación del cliente y no existe la habilidad de priorizar dinámicamente el audio o video entregado, que podría ser un "detente-sigue" en el cliente, causando los incidentes de "re-almacenamiento" comunes a implementaciones tempranas del flujo multimedia. En contraste, el servidor de Multimedia provee un flujo continuo y suave con cambios casi imperceptibles en la tasa de cuadros de video durante periodos de congestión de red.

3.- Soporte de Características Avanzadas. El servidor Windows Media soporta el reporte detallado de flujos reproducidos, controles de VCR (búsqueda, avance rápido, regreso), entrega de video en vivo, y entrega de flujos múltiples al cliente. Con el flujo del servidor Web tales características son difíciles de implementar e ineficientes de soportar.

4.- Escalabilidad Efectiva en Costo para Gran Número de Usuarios: En los días tempranos del flujo multimedia, los desarrollos a veces necesarios para servir solo a un número pequeño de usuarios simultáneamente, haciendo al servidor Web una solución adecuada. Pero como la entrega de A/V ha incrementado, los sitios a veces sirven a cientos o miles de usuarios simultáneamente. En situaciones como esta, dos capacidades clave del servidor Windows Media proveen grandes ventajas sobre un servidor Web:

- **Especialización.** Los servidores Web son optimizados para la entrega de archivos pequeños de HTML, no grandes archivos de multimedia. Con altos volúmenes de una petición de archivos, un servidor de Windows Media mejora grandemente el desempeño al optimar la lectura de archivos del disco, almacenados en memoria, y con flujo en la red. Un servidor Windows Media puede mejorar fácilmente la escalabilidad en un factor de 2 a 3 sobre un servidor Web.
- **Soporte Multicast.** Una forma de involucrarse en largas audiencias de audio y video con mínima congestión de red es para usar tecnología multicast de red. Multicast permite un solo flujo de multimedia para ser reproducido simultáneamente por múltiples clientes, drásticamente reduciendo el uso de Ancho de Banda. Solo Un servidor especialmente diseñado, tiene esta capacidad.

5.- Protección de Contenidos de Derechos de Autor: Debido a que el flujo de servidores Web crea una copia local de cada archivo multimedia reproducido, no hay forma de prevenir a los usuarios finales de copiar los archivos a un directorio personal para revisión posterior. Esto lastima a los proveedores de contenidos quienes han pagado por el modelo de negocios de pago por evento, como los usuarios finales no necesitan visitar su sitio repetidamente. Con un servidor de Windows Media, los usuarios solo pueden tener el flujo de datos y son prevenidos de descargar el archivo directamente a su disco duro. A medida que los paquetes son recibidos en la red, son enviados directamente a la aplicación del cliente sin posibilidades de que el usuario haga copias de ellos.

6.- Múltiples Opciones de Envío: Con todos los servidores de Windows Media Server, la multimedia puede tener flujo con el óptimo protocolo UDP o Multicast, y con flujo de protocolo TCP cuando sea necesario. Esto permite a los usuarios corporativos ver contenidos de Internet sin comprometer la seguridad del firewall y asegura que todos los usuarios en todas las redes puedan acceder al contenido de flujo multimedia. Implementa su propia versión del protocolo HTTP que permite el flujo a través de un firewall o servidor Proxy mientras se mantienen las ventajas del servidor. También se tienen los siguientes beneficios:

- **UDP** – Provee el throughput más eficiente en la red y puede tener un impacto positivo en la experiencia del usuario. El único lado malo para UDP es que muchos administradores de red acercan sus Firewalls al tráfico UDP, limitando la audiencia potencial de flujos basados en UDP.
- **TCP** – Provee un adecuado, aunque no necesariamente eficiente protocolo para la entrega de contenido multimedia de un servidor al cliente. Como los usuarios abren frecuentemente puertos TCP en sus Firewalls, los servidores pueden ocupar el protocolo TCP para habilitar el flujo multimedia para pasar por los Firewalls que a menudo bloquean tráfico UDP.
- **HTTP + TCP** – Los servidores Windows Media pueden soportar comandos de control junto con entrega de datos basada en TCP. Esta combinación tiene el beneficio de trabajar con todos los Firewalls que permitan el tráfico Web a través del puerto 80 proveyendo de más control (avance rápido, regreso, etc.) que un servidor Web estándar, aunque también añade algo de cabecera al flujo TCP que decrementa la escalabilidad.
- **Multicast** – El Servidor Windows Media puede soportar protocolos de Multicast IP para permitir una entrega eficiente de flujo a gran número de usuarios. Multicast permite cientos o miles de usuarios para reproducir un mismo flujo, pero trabajará solo con enrutadores con Multicast habilitado, el cual esta prevaleciendo en las redes corporativas pero sigue siendo raro en el Internet.

El servidor Windows Media conmuta automáticamente al protocolo apropiado, no requiriendo la configuración del cliente. El servidor inicialmente intenta transmitir archivos usando los protocolos UDP o Multicast óptimos. Si esta deshabilitado, el servidor tratará de enviar primero el protocolo TCP por sí solo, después vía TCP con control basado en HTTP. La aproximación del servidor de flujo multimedia tiene las siguientes ventajas:

- Más eficiente uso del Ancho de Banda de la red.
- Mejor calidad de audio y video para el usuario.
- Características avanzadas como reporte detallado y contenido multimedia multi-flujo.
- Soporta gran número de usuarios.
- Múltiples opciones de entrega.
- Protección de contenido de derechos de autor.

5. REDES DE PRÓXIMA GENERACIÓN (NGN)

5.1 Redes de Próxima Generación (NGN)

Las telecomunicaciones están experimentando uno de los procesos de cambio más intensos y decisivos que hasta ahora se conocen. Después de la desregulación, de la modernización y de las privatizaciones que se iniciaron en todo el mundo desde mediados de los ochenta, las telecomunicaciones alcanzaron un momento de crisis en el año 2000. Esta crisis de la industria de las telecomunicaciones se debió, en gran medida, a los modelos regulatorios que dieron más importancia al mercado, la apertura, las tarifas y no al servicio universal o a la calidad del servicio.

Entre el 2000 y el 2003, esta crisis de las telecomunicaciones se caracterizó porque durante estos años, en todas las empresas del sector:

- Hubo escaso o nulo crecimiento, en comparación con el experimentado en los noventa.
- Hubo descenso de las inversiones.
- Se dieron grandes quiebras y fraudes corporativos (MCIWorldCom, Global Crossing, etc.).

A partir del 2004, un nuevo factor de crisis comenzó a emerger para las grandes empresas de telecomunicaciones, en particular para aquellas que han venido operando principalmente como operadoras telefónicas o POTS (Plain Operator Telephone Service). Este factor de crisis es la evolución tecnológica que está en marcha.

Esta evolución cambiará definitivamente el destino y la estructura del sector de las telecomunicaciones en todo el mundo y, en consecuencia, cambiará el rumbo y la estructura de todas las empresas del ramo. A esta evolución se le conoce genéricamente como la de las Redes de Próxima Generación (RPG) o Redes de Nueva Generación.

Red de Próxima Generación (RPG) es un amplio término que se refiere a la evolución de la actual infraestructura de redes de telecomunicación y acceso telefónico con el objetivo de lograr la congruencia de los nuevos servicios multimedia (voz, datos, video...) en los próximos 5-10 años. La idea principal que se esconde debajo de este tipo de redes es el transporte de paquetes encapsulados de información a través de Internet. Estas nuevas redes serán construidas a partir del protocolo Internet (IP), siendo el término "todo-IP" comúnmente utilizado para describir dicha evolución.

Según la ITU-T una Red de Sigüiente Generación es una red basada en la transmisión de paquetes capaz de proveer servicios integrados, incluyendo los tradicionales telefónicos, y capaz de explotar al máximo el ancho de banda del canal haciendo uso de las Tecnologías de Calidad del Servicio (QoS) de modo que el transporte sea totalmente independiente de la infraestructura de red utilizada. Además, ofrece acceso libre para usuarios de diferentes compañías telefónicas y apoya la movilidad que permite acceso multipunto a los usuarios.

Empresas y servicios de telecomunicaciones que antes operaban de manera separada, (Por ejemplo: empresas y servicios de voz, empresas y servicios de T.V., empresas y servicios de datos, etc.), podrán ya, en términos tecnológicos, unificarse y las empresas podrán proporcionar todos estos servicios a la vez usando sus propias redes IP.

La tendencia actual de integrar todo tipo de servicios en una única infraestructura de red IP (Internet Protocol), conocida como modelo "Todo IP" (All-IP), ha puesto de manifiesto las carencias que tienen las soluciones IP clásicas en temas como la capacidad, la calidad de servicio, la seguridad, la fiabilidad y la capilaridad. Para solucionar estos problemas han aparecido en el mercado multitud de equipos, técnicas, tecnologías y protocolos, que combinados de una manera adecuada pueden permitir la realización de modelos de red que proporcionen, tanto al cliente corporativo como al cliente residencial, todo tipo de servicios multimedia. Estos modelos son llamados, en el mundo de las telecomunicaciones, modelos de Red de Nueva Generación.

A continuación aparecieron nuevas soluciones tecnológicas que permitieron dar respuesta a aquellos problemas que tradicionalmente mermaban el atractivo de las redes. Por último, se produjo el desarrollo imparable del concepto Internet y su apertura a grandes mercados de consumidores que comprobaron en primera persona la flexibilidad y posibilidades que dicho concepto ofrecía.

Dos enfoques para entender el concepto de NGN:

1. *El relacionado con los datos e Internet.* En este enfoque:

- La red dará soporte de conectividad a un conjunto de elementos terminales inteligentes. El control y establecimiento de las sesiones será responsabilidad de los propios terminales.
- Los servicios son absolutamente independientes de la red. Todo servicio estará basado en la interacción entre terminales inteligentes.
- Los servicios tradicionales, también conocidos como legacy, verán disminuir de forma paulatina su importancia a favor de nuevos servicios, muchos de ellos aún desconocidos y, por tanto, de difícil caracterización en el momento de diseñar una red.

2. *El relacionado con la voz.* En este segundo enfoque:

- Los servicios serán provistos a través de redes interconectadas sobre un conjunto combinado de terminales inteligentes y no inteligentes. La red tendrá la inteligencia y el control sobre los servicios y se adaptará a éstos en función de las necesidades que los usuarios finales demanden.
- La actual red telefónica evolucionará para adaptarse a los servicios multimedia, constituyendo la base de la futura NGN.
- Gran parte del desarrollo y provisión de los servicios finales partirá de los operadores Públicos de Red, soportados por servicios básicos desarrollados sobre interfaces abiertas.

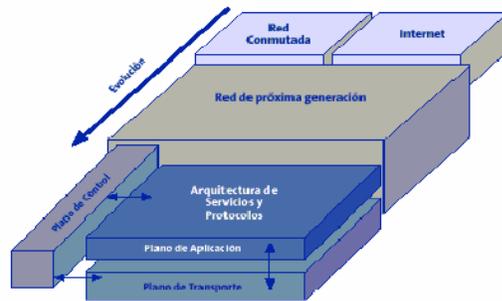


Fig. 5.1 Esquema NGN

Evolución de la red hacia el concepto NGN

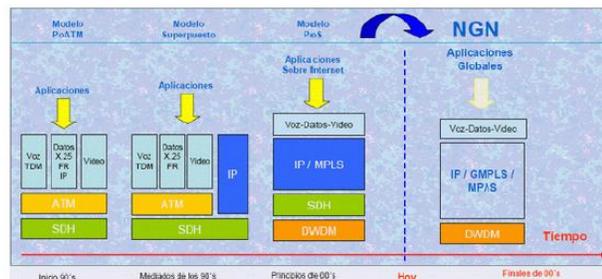


Fig. 5.2 Evolución de redes

Inicio de los 90's: Todo se manejaba en forma separada.

Medios de los 90's: El protocolo IP es más efectivo que TDM. Se tiene un crecimiento importante de las aplicaciones de IP Transmisión Masiva de Voz, Datos y video.

Principio de 00's: Se tienen los beneficios de MPLS Comienzan las redes de transporte basadas en DWDM. Es el estallido del Internet.

Hoy en día: Es la etapa de convergencia de Redes, tecnológicas y Servicios Aplicaciones Globales Móvil / Fijo.



Fig. 5.3 Infraestructura IP

El punto de partida: La estructura de red clásica

Históricamente el desarrollo de las redes clásicas se realizó de acuerdo a una serie de premisas consideradas como elementos inmutables, pues:

- El ancho de banda es un muy escaso y, por tanto, caro.
- Los servicios estaban estrechamente ligados a la infraestructura de red, de hecho, se consideraban partes indivisibles.
- Los servicios se integraban de forma vertical.

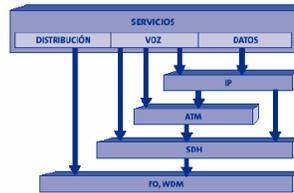


Fig. 5.4 Estructura clásica de red

Características del NGN:

- Transporte basado en paquetes (IP, MPLS, ATM, Ethernet).
- Control distribuido e independiente del transporte, recursos, sesión y servicios.
- Independencia de las funciones relacionadas con el servicio de las tecnologías de transporte.
- Provisión de interfaces abiertas.
- Capacidades banda ancha con calidad del servicio extremo a extremo y transparencia.
- Soporte de una amplia gama de servicios, aplicaciones y mecanismos basados en construcción de bloques de servicio (incluyendo tiempo real, streaming y multimedia).
- Interworking con redes heredadas vía interfaces abiertas.
- Movilidad generalizada.
- Acceso no restringido a usuarios de diferentes proveedores de servicio.
- Una variedad de esquemas de identificación que pueden ser definidos con direcciones IP para propósitos de enrutamiento en redes IP.
- Inteligencia de servicios e IP en redes gestionadas IP.
- Servicios convergentes entre fijo y móvil.
- Conforme con todos los requisitos regulatorios, por ejemplo los concernientes a las comunicaciones emergentes, seguridad/privacidad, etc.

Internet y NGN

El rápido desarrollo de Internet durante los últimos años provocó un vuelco en el enfoque de los operadores hacia las redes de voz, datos y video. En los momentos iniciales se buscaron soluciones que eran soportadas sobre las redes existentes, realizando las mínimas adaptaciones imprescindibles que permitían un funcionamiento adecuado. Sin embargo, conforme las tasas de crecimiento del tráfico de Internet se disparaban, comenzaron a detectarse los primeros cuellos de botella en los diseños existentes, que obligaban a una profunda reconsideración de todo el entorno.

En paralelo a la explosión del tráfico de datos en Internet, se produjo un fenómeno de “educación” de los clientes. Los usuarios habituales de Internet podían experimentar de primera mano las ventajas que el modelo les proporcionaba. Por primera vez no estaban sujetos a lo que el operador de red les ofrecía. La situación era incluso más extrema, disponían de la libertad de decidir qué servicios usar tras un proceso de simple localización y descarga de las aplicaciones software necesarias desde los servidores disponibles. La red era siempre la misma, pero los servicios variaban en función de su disponibilidad y de los deseos de cada cliente en un momento dado.

Conforme Internet se ampliaba y su uso se normalizaba en gran parte de los entornos tanto empresariales como residenciales, aparecieron corrientes de opinión que apostaban por una solución común basada en las redes IP, que como ya se ha dicho es conocida como All-IP. Sin embargo, las soluciones IP tradicionales presentaban carencias importantes que las hacían poco adecuadas: estaban aún basadas en equipos con serias limitaciones en su capacidad, no existía una solución adecuada de calidad de servicio y los aspectos de seguridad estaban deficientemente tratados.

En este contexto es donde aparece y se desarrolla el concepto NGN, planteándose como la solución que permitirá llevar a cabo las propuestas del modelo All-IP de forma adecuada. Se presenta, por tanto, como una solución para la convergencia de las redes con interfaces de alta velocidad, con seguridad y calidad garantizadas y que facilita el despliegue de los servicios, tanto actuales como futuros. El objetivo fundamental para los operadores será optimizar las inversiones y asegurar unos rápidos retornos de las inversiones. La Figura muestra de forma esquemática la relación existente entre el desarrollo de Internet y el concepto de NGN.

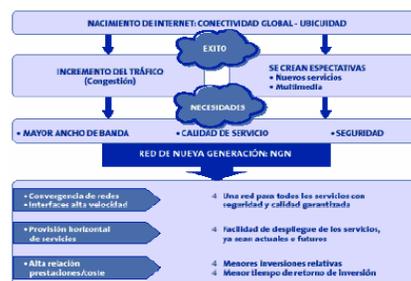


Fig. 5.5 Esquema conceptual de NGN

El proceso de evolución

Es a principios de los años 90 cuando los operadores de servicios de telecomunicaciones comienzan a emplear la tecnología IP para ofrecer servicios de paquetes. Para ello se utiliza la infraestructura existente pensada para servicios que emplean circuitos como la voz o las líneas punto a punto.

Diez años después, el tráfico de paquetes ha sobrepasado ampliamente al tradicional y continúa creciendo a medida que las aplicaciones de ocio derivadas del acceso de banda ancha generan nuevos retos en términos de capacidad. Por otra parte, son los servicios de paquetes los que poseen un mayor potencial de generación de ingresos pues permiten la innovación y la diferenciación de ofertas entre proveedores.

Históricamente, el núcleo de las redes de telecomunicaciones ha venido desplegándose de forma que cada servicio, según la tecnología empleada, definía la infraestructura a emplear. Esta aproximación integral ha dado lugar a redes inflexibles, incapaces de amoldarse a los nuevos requisitos de servicio a medida que estos van apareciendo.

Ejemplos de lo anterior son las redes de voz, las de circuitos de datos basadas en Frame Relay/ATM, las de ámbito metropolitano de alta capacidad basadas en Gigabit Ethernet o las redes de paquetes IP basadas en varios tipos de infraestructura.

Por ello, los operadores de servicios están asumiendo la creación de redes de nueva generación, capaces de acomodar las consecuencias de los cambios que se están produciendo en la actualidad y que se caracterizan por:

- La demanda creciente de servicios de banda ancha, con apoyo de las administraciones públicas.
- La tendencia hacia el modelo de "triple play" con inclusión de servicios de ocio (TV, juegos en red) generadores de un altísimo tráfico.
- La reducción de margen en los servicios tradicionales con la consiguiente presión de los mercados para una reducción pareja de costes de operación de dichos servicios. Un ejemplo es la transmisión de voz.

Una red de nueva generación tiene como referentes la movilidad de las redes inalámbricas, la fiabilidad de la red pública conmutada, el alcance de Internet, la seguridad de las líneas privadas, la capacidad de las redes ópticas, la flexibilidad de IP y de MPLS para la integración de servicios de datos, voz y vídeo; así como la eficiencia que conlleva la operación de una infraestructura común y consistente.

La aportación fundamental de estas redes de nueva generación y, en particular, de su núcleo, es la convergencia, que permite que podamos hablar de servicios de datos, de voz y de vídeo en vez de redes de datos, de voz y de vídeo como hasta ahora. La convergencia tiene lugar en dos niveles:

- Infraestructura: es el efecto de consolidar el transporte de datos, voz y vídeo, realizado tradicionalmente sobre distintas redes, sobre un "backbone" común de paquetes.

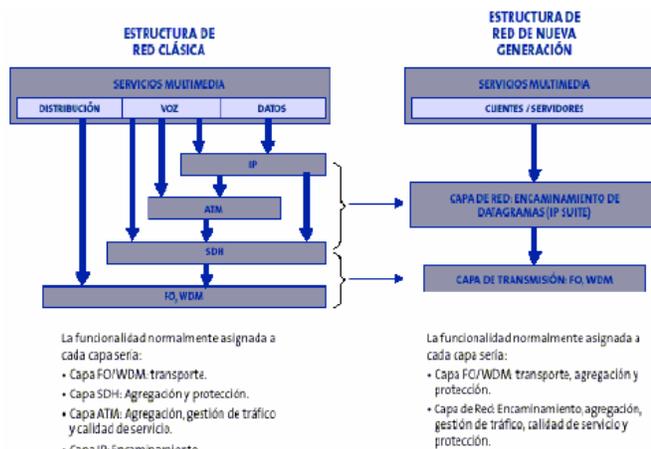


Fig. 5.6 Comparación de estructura clásica con estructura NGN

Del año 2005 al 2010, en el que:

- La Voz Sobre Protocolo Internet (VoIP) y, en general, los protocolos Internet o protocolos IP y los servicios de banda ancha se volverán dominantes y determinantes.
- La dominancia de los protocolos IP abre la posibilidad de una nueva fase de convergencia en una red única de telecomunicaciones, caracterizada aún por las "redes tontas" (que sólo transmiten) y por "terminales inteligentes" (que decodifican y hacen el trabajo detallado).
- Esto significa que las redes y los protocolos IP son las tecnologías que finalmente han hecho posible la convergencia de todos los servicios de telecomunicaciones en la misma plataforma tecnológica y en las mismas redes.
- Las empresas de telecomunicaciones competirán por servicios de valor agregado cada vez más complejos y personalizados para sus clientes.

Del año 2010 en adelante (años más, años menos), los expertos pronostican una segunda etapa en el desarrollo de las NGN, en la que muy posiblemente: habrá no sólo "terminales inteligentes", sino "redes inteligentes" que abren un universo inimaginable de posibilidades para servicios de telecomunicaciones cada vez más complejos y de cada vez más alto valor agregado.

Evolución del acceso y de las aplicaciones:

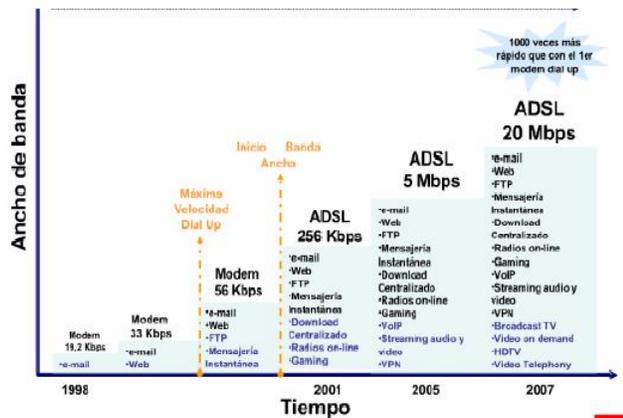


Fig. 5.7 Evolución de ADSL

Esquema general de un NGN:

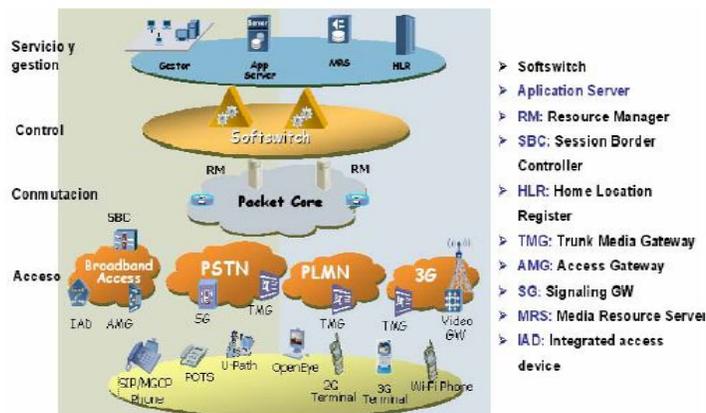


Fig. 5.8 Esquema NGN

Por qué el NGN:

- Necesidad de ampliar la oferta de servicios, ofreciendo cada vez más valor agregado.
- Integrador de soluciones.
- Servicios basados en CPE (inteligencia basados en las fronteras de la red).
- Optimizar los costos del mantenimiento para sobrevivir en un escenario competitivo.
- Despliegue de servicios en tiempos cada vez menores (time to market).
- Disponibilidad de tecnología de redes de alta capacidad basadas en conmutación de paquetes.
- Nuevas soluciones para el acceso (banda ancha wireline y wireless).

Requisitos para el NGN:

- La convergencia de los servicios de voz (suministrados en red fija y móvil), vídeo y datos se hará sobre la misma infraestructura de red.
- La infraestructura de transporte y comunicación debe ser de datos.

- La red de conmutación de paquetes (datagramas) debe ser IPv4/IPv6.
- Tendrá soporte de MPLS (*MultiProtocol Label Switch*) para servicios de Ingeniería de tráfico (TE), redes privadas (VPN), etc.
- Dispondrá de soporte de políticas de Calidad de Servicio (QoS). Para el caso de los servicios de voz, el nivel de calidad deberá ser al menos como la existente en la red clásica.
- Dispondrá de soporte nativo de *Multicast*.
- Dispondrá de alta escalabilidad, disponibilidad, fiabilidad, seguridad y capilaridad.

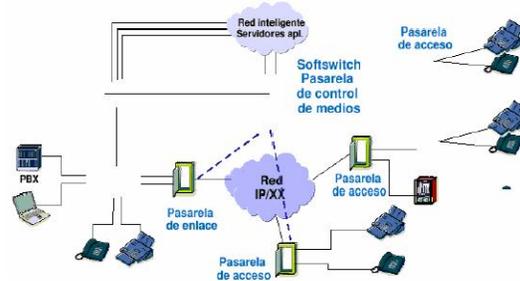


Fig. 5.9 Concepto y arquitectura de las redes NGN.

5.2 La Red Núcleo

La red núcleo se refiere a las principales conexiones troncales de Internet. Está compuesta de un gran número de ruteadores comerciales, gubernamentales, universitarios y otros de gran capacidad interconectados que llevan los datos entre países, continentes y océanos del mundo. Es una infraestructura que da alto rendimiento y tiene carácter de red principal. Esta red hace posible la conexión entre una gran cantidad de dispositivos dispersos territorialmente, así como de clusters o subredes locales.

La "columna vertebral" de Internet consiste en muchas redes diferentes. Normalmente, el término se usa para describir grandes redes que se interconectan entre ellas y pueden tener ISPs individuales como clientes. Por ejemplo, un ISP local puede proporcionar servicio para una única ciudad, y conectar a un proveedor regional que tiene varios ISPs locales como clientes. Este proveedor regional conecta a una de las redes de la red núcleo, que proporciona conexiones a escala nacional o mundial.

Estos proveedores backbone normalmente proporcionan instalaciones de conexión en muchas ciudades para sus clientes, y ellos mismos conectan con otros proveedores backbone en IXPs (Internet Exchange Point).

Si hablamos del backbone de Internet podemos mencionar una solución tecnológica para enlazar o ampliar la red de fibra óptica terrestre, hablamos del IP Trunking, el cual es la interconexión a través de satélites, ya que ofrece cobertura a cualquier punto geográfico y elimina los problemas de conexión de zonas con infraestructuras poco desarrolladas.

Al hablar de la red núcleo es necesario referirnos a las redes de próxima generación. La Red de próxima generación (Next Generation Network o NGN en inglés) es una arquitectura de red orientada a reemplazar las redes telefónicas conmutadas de telefonía para servicios de voz y multimedia. Esta arquitectura reúne en una sola todas las tecnologías para uniformizar en una sola plataforma. Particularmente adopta del concepto VoIP (Voice over IP) para implementar el acceso al cliente y el trunking de voz por IP (Internet Protocol) o VoATM cuando se trata de una red ATM.

5.3 Tecnologías de Transporte de Red

5.3.1 MPLS

Son aplicaciones de voz y multimedia que requieren mayor ancho de banda y, que éste, esté garantizado durante todo el servicio. Estos requerimientos hacen que los recursos de la red estén sobre utilizados en términos de velocidad y ancho de banda. Además de estos requerimientos, se debe poder ofrecer clases diferenciadas de servicio a los distintos usuarios que utilizan la red.

Orígenes de MPLS

Para poder crear los circuitos virtuales como en ATM, se pensó en la utilización de etiquetas añadidas a los paquetes. Estas etiquetas definen el circuito virtual por toda la red.

- Estos circuitos virtuales están asociados con una QoS determinada, según el SLA.

- Inicialmente se plantearon dos métodos diferentes de etiquetamiento, o en capa 3 o en capa 2.
- La opción de capa 2 es más interesante, porque es independiente de la capa de red o capa 3 y además permite una conmutación más rápida, dado que la cabecera de capa 2 está antes de capa 3.

Avanzamos hacia una convergencia entre voz y datos en la red IP y su infraestructura y protocolos han sido optimizados sólo para datos, así que IGPs (Interior Gateway Protocol) como RIP (Routing Information Protocol) y OSPF (Open Shortest Path First) y EGPs (Exterior Gateway Protocol) como BGP4 (Border Gateway Protocol v4), no son la solución óptima. Muchos de estos protocolos de *routing* están basados en algoritmos para obtener el camino más corto (como RIP y BGP4, basados en el vector distancia) sin tener en cuenta métricas adicionales como retardo, *jitter* y congestión del tráfico. Todo esto se traduce en una sobrecarga en el *router* IP, problemas de propagación de las rutas y la obligación de integrar redes IP con ATM.

Uno de los factores de éxito de la Internet actual está en la aceptación de los protocolos TCP/IP como estándar de facto para todo tipo de servicios y aplicaciones. La Internet ha desplazado a las tradicionales redes de datos y ha llegado a ser el modelo de red pública del siglo XXI. Pero si bien es cierto que la Internet puede llegar a consolidarse como el modelo de red pública de datos a gran escala, también lo es que no llega a satisfacer ahora todos los requisitos de los usuarios, principalmente los de aquellos de entornos corporativos, que necesitan la red para el soporte de aplicaciones críticas. Una carencia fundamental de la Internet es la imposibilidad de seleccionar diferentes niveles de servicio para los distintos tipos de aplicaciones de usuario. La Internet se valora más por el servicio de acceso y distribución de contenidos que por el servicio de transporte de datos, conocido como de "best-effort". Si el modelo Internet ha de consolidarse como la red de datos del próximo milenio, se necesita introducir cambios tecnológicos fundamentales, que permitan ir más allá del nivel best-effort y puedan proporcionar una respuesta más determinística y menos aleatoria.

Junto a los últimos avances tecnológicos en transmisión por fibra óptica (principalmente DWDM), que lleva a conseguir anchos de banda de magnitudes muy superiores, y en tecnología de integración de circuitos ASIC (Application Specific Integrated Circuits), que permite aumentar enormemente la velocidad de proceso de información en la red, hemos de considerar la arquitectura MPLS, sustrato para la inclusión en la red de nuevas aplicaciones y para poder ofrecer diferentes niveles de servicio, en un entorno de mayor fiabilidad y con las necesarias garantías. Teniendo la capacidad de soportar cualquier tipo de tráfico en una red IP sin tener que supeditar el diseño de la red a las limitaciones de los diferentes protocolos de *routing*, capas de transporte y esquemas de direcciones.

MPLS es un estándar emergente del IETF que surgió para consensuar diferentes soluciones de conmutación multinivel, propuestas por distintos fabricantes a mitad de los 90. Como concepto, MPLS es a veces un tanto difícil de explicar. Como protocolo es bastante sencillo, pero las implicaciones que supone su implementación real son enormemente complejas. Según el énfasis (o interés) que se ponga a la hora de explicar sus características y utilidad, MPLS se puede presentar como un sustituto de la conocida arquitectura IP sobre ATM. También como un protocolo para hacer túneles (sustituyendo a las técnicas habituales de "tunneling"). O bien, como una técnica para acelerar el encaminamiento de paquetes... incluso, ¿para eliminar por completo el routing? En realidad, MPLS hace un poco de todo eso, ya que integra sin discontinuidades los niveles 2 (transporte) y 3 (red), combinando eficazmente las funciones de control del routing con la simplicidad y rapidez de la conmutación de nivel 2.

Pero, ante todo y sobre todo, se debe considerar MPLS como el avance más reciente en la evolución de las tecnologías de routing y forwarding en las redes IP, lo que implica una evolución en la manera de construir y gestionar estas redes, las redes IP que queremos ver en el próximo milenio. Los problemas que presentan las soluciones actuales de IP sobre ATM, tales como la expansión sobre una topología virtual superpuesta, así como la complejidad de gestión de dos redes separadas y tecnológicamente diferentes, quedan resueltos con MPLS. Al combinar en uno solo lo mejor de cada nivel (la inteligencia del routing con la rapidez del switching), MPLS ofrece nuevas posibilidades en la gestión de backbones, así como en la provisión de nuevos servicios de valor añadido.

MPLS (Multi-Protocol Label Switching) es una red privada IP que combina la flexibilidad de las comunicaciones punto a punto o Internet y la fiabilidad, calidad y seguridad de los servicios Private Line, Frame Relay o ATM. Es un grupo de trabajo específico del IETF (Internet Engineering Task Force) que trata sobre el encaminamiento, envío y conmutación de los flujos de tráfico a través de la red.

Ofrece niveles de rendimiento diferenciados y priorización del tráfico, así como aplicaciones de voz y multimedia. Y todo ello en una única red. Cuenta con distintas soluciones, una completamente gestionada que incluye el suministro y la gestión de los equipos en sus instalaciones (CPE). O bien, se gestionen manualmente.

Las principales funciones de MPLS son:

- Especificar mecanismos para gestionar flujos de tráfico de diferentes tipos (Ej.: flujos entre diferente *hardware*, diferentes máquinas,...).
- Quedar independiente de los protocolos de la capa de enlace y la capa de red.
- Disponer de medios para traducir las direcciones IP en etiquetas simples de longitud fija utilizadas en diferentes tecnologías de envío y conmutación de paquetes.
- Asigna a los datagramas de cada flujo una etiqueta única que permite una conmutación rápida en los routers intermedios (solo se mira la etiqueta, no la dirección de destino).
- MPLS se basa en el etiquetado de los paquetes en base a criterios de prioridad y/o calidad (QoS).
- La idea de MPLS es realizar la conmutación de los paquetes o datagramas en función de las etiquetas añadidas en capa 2 y etiquetar dichos paquetes según la clasificación establecida por la QoS en la SLA.
- MPLS es una tecnología que permite ofrecer QoS, independientemente de la red sobre la que se implemente.
- Ofrecer interfaces para diferentes protocolos de *routing* y señalización.

- Soportar los protocolos de la capa de enlace de IP, ATM y Frame Relay.
- MPLS (Multiprotocol Label Switching) intenta conseguir las ventajas de ATM, pero sin sus inconvenientes.
- El etiquetado en capa 2 permite ofrecer servicio multiprotocolo y ser portable sobre multitud de tecnologías de capa de enlace: ATM, Frame Relay, líneas dedicadas, LANs.

Las principales aplicaciones de MPLS son:

- Funciones de ingeniería de tráfico (a los flujos de cada usuario se les asocia una etiqueta diferente)
- Policy Routing
- Servicios de VPN
- Servicios que requieren QoS

Conmutación MPLS

Conmutación de etiquetas en un LSR a la llegada de un paquete:

- Examina la etiqueta del paquete entrante y la interfaz por donde llega.
- Consulta la tabla de etiquetas.
- Determina la nueva etiqueta y la interfaz de salida para el paquete.

Funcionamiento de MPLS

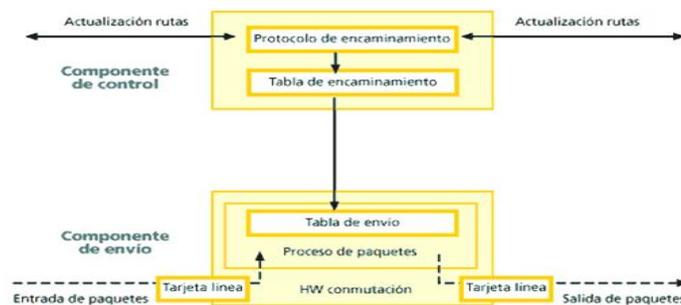


Fig. 5.10 Esquema de funcionamiento de MPLS

MPLS y pila de etiquetas

- MPLS funciona sobre multitud de tecnologías de nivel de enlace.
- La etiqueta MPLS se coloca delante del paquete de red y detrás de la cabecera de nivel de enlace.
- Las etiquetas pueden anidarse, formando una pila con funcionamiento LIFO (Last In, First Out). Esto permite ir agregando (o segregando) flujos. El mecanismo es escalable.
- Cada nivel de la pila de etiquetas define un nivel de LSP → Túneles MPLS
- Así dentro de una red MPLS se establece una jerarquía de LSPs.
- En ATM y Frame Relay la etiqueta MPLS ocupa el lugar del campo VPI/VCI o en el DLCI, para aprovechar el mecanismo de conmutación inherente

Etiquetas MPLS

- Las etiquetas MPLS identifican a la FEC asociada a cada paquete.
- Etiqueta MPLS genérica:

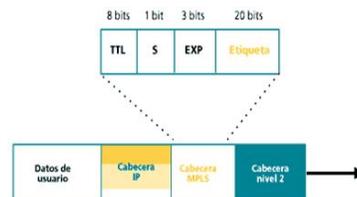
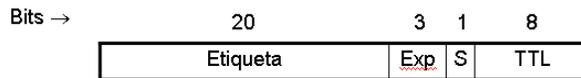


Fig. 5.11 Cabecera MPLS

- Formato de la etiqueta MPLS: 32 bits:



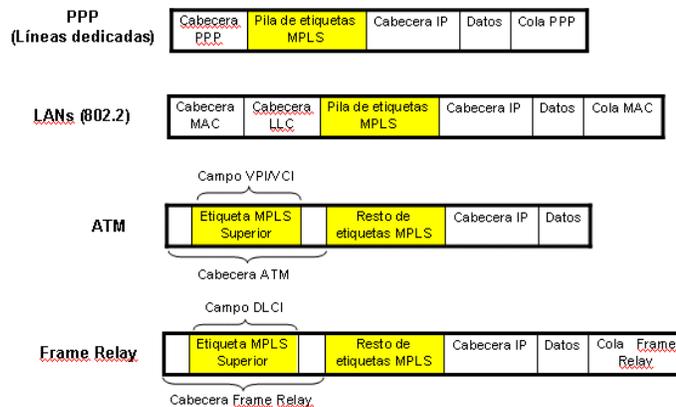
Etiqueta: La etiqueta propiamente dicha que identifica una FEC (con significado local)

Exp: Bits para uso experimental; una propuesta es transmitir en ellos información de DiffServ.

S: Vale 1 para la primera entrada en la pila (la más antigua), cero para el resto. Esta es la primera etiqueta introducida.

TTL: Contador del número de saltos. Este campo reemplaza al TTL de la cabecera IP durante el viaje del datagrama por la red MPLS.

- *Situación de la etiqueta MPLS:*



Routing MPLS

- Los paquetes se envían en función de las etiquetas.
 - No se examina la cabecera de red completa.
 - El direccionamiento es más rápido.
- Cada paquete es clasificado en unas clases de tráfico denominadas FEC (*Forwarding Equivalence Class*)
- Los LSPs por tanto definen las asociaciones FEC-etiqueta.

Ideas preconcebidas sobre MPLS

Durante el tiempo en que se ha desarrollado el estándar, se han extendido algunas ideas falsas o inexactas sobre el alcance y objetivos de MPLS. Hay quien piensa que MPLS se ha desarrollado para ofrecer un estándar a los vendedores que les permitiese evolucionar los conmutadores ATM a routers de backbone de altas prestaciones. Aunque esta puede haber sido la finalidad original de los desarrollos de conmutación multinivel, los recientes avances en tecnologías de silicio ASIC permiten a los routers funcionar con una rapidez similar para la consulta de tablas a las de los conmutadores ATM. Si bien es cierto que MPLS mejora notablemente el rendimiento del mecanismo de envío de paquetes, éste no era el principal objetivo del grupo del IETF. Los objetivos establecidos por ese grupo en la elaboración del estándar eran:

- MPLS debía funcionar sobre cualquier tecnología de transporte, no sólo ATM.
- MPLS debía soportar el envío de paquetes tanto unicast como multicast.
- MPLS debía ser compatible con el Modelo de Servicios Integrados del IETF, incluyendo el protocolo RSVP.
- MPLS debía permitir el crecimiento constante de la Internet.
- MPLS debía ser compatible con los procedimientos de operación, administración y mantenimiento de las actuales redes IP.

También ha habido quien pensó que el MPLS perseguía eliminar totalmente el encaminamiento convencional por prefijos de red. Esta es otra idea falsa y nunca se planteó como objetivo del grupo, ya que el encaminamiento tradicional de nivel 3 siempre sería un requisito en la Internet por los siguientes motivos:

- El filtrado de paquetes en los cortafuegos (FW) de acceso a las LAN corporativas y en los límites de las redes de los NSPs es un requisito fundamental para poder gestionar la red y los servicios con las necesarias

garantías de seguridad. Para ello se requiere examinar la información de la cabecera de los paquetes, lo que impide prescindir del uso del nivel 3 en ese tipo de aplicaciones.

- No es probable que los sistemas finales (hosts) implementen MPLS. Necesitan enviar los paquetes a un primer dispositivo de red (nivel 3) que pueda examinar la cabecera del paquete para tomar luego las correspondientes decisiones sobre su envío hasta su destino final. En este primer salto se puede decidir enviarlo por routing convencional o asignar una etiqueta y enviarlo por un LSP.
- Las etiquetas MPLS tienen solamente significado local (es imposible mantener vínculos globales entre etiquetas y hosts en toda la Internet). Esto implica que en algún punto del camino algún dispositivo de nivel 3 debe examinar la cabecera del paquete para determinar con exactitud por dónde lo envía: por routing convencional o entregándolo a un LSR, que lo expedirá por un nuevo LSP.
- Del mismo modo, el último LSR de un LSP debe usar encaminamiento de nivel 3 para entregar el paquete al destino, una vez suprimida la etiqueta, como se verá seguidamente al describir la funcionalidad MPLS.

Descripción Funcional sobre MPLS

La operación del MPLS se basa en las componentes funcionales de envío y control, aludidas anteriormente, y que actúan ligadas íntimamente entre sí. Empecemos por la primera.

a) Funcionamiento del envío de paquetes en MPLS.

La base del MPLS está en la asignación e intercambio de etiquetas ya expuesto, que permiten el establecimiento de los caminos LSP por la red. Los LSPs son simplex por naturaleza (se establecen para un sentido del tráfico en cada punto de entrada a la red); el tráfico dúplex requiere dos LSPs, uno en cada sentido. Cada LSP se crea a base de concatenar uno o más saltos (hops) en los que se intercambian las etiquetas, de modo que cada paquete se envía de un "comutador de etiquetas" (Label-Switching Router) a otro, a través del dominio MPLS. Un LSR no es sino un router especializado en el envío de paquetes etiquetados por MPLS.

Al igual que en las soluciones de conmutación multinivel, MPLS separa las dos componentes funcionales de control (routing) y de envío (forwarding). Del mismo modo, el envío se implementa mediante el intercambio de etiquetas en los LSPs. Sin embargo, MPLS no utiliza ninguno de los protocolos de señalización ni de encaminamiento definidos por el ATM Forum; en lugar de ello, en MPLS o bien se utiliza el protocolo RSVP o bien un nuevo estándar de señalización (el Label Distribution Protocol, LDP, del que se tratará más adelante).

Pero, de acuerdo con los requisitos del IETF, el transporte de datos puede ser cualquiera. Si éste fuera ATM, una red IP habilitada para MPLS es ahora mucho más sencilla de gestionar que la solución clásica IP/ATM. Ahora ya no hay que administrar dos arquitecturas diferentes a base de transformar las direcciones IP y las tablas de encaminamiento en las direcciones y el encaminamiento ATM: esto lo resuelve el procedimiento de intercambio de etiquetas MPLS.

El papel de ATM queda restringido al mero transporte de datos a base de celdas. Para MPLS esto es indiferente, ya que puede utilizar otros transportes como Frame Relay, o directamente sobre líneas punto a punto.

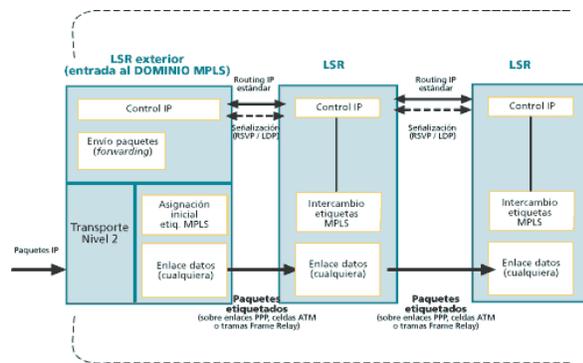


Fig. 5.12 Dominio MPLS

Un camino LSP es el circuito virtual que siguen por la red todos los paquetes asignados a la misma FEC. Al primer LSR que interviene en un LSP se le denomina de entrada o de cabecera y al último se le denomina de salida o de cola. Los dos están en el exterior del dominio MPLS. El resto, entre ambos, son LSRs interiores del dominio MPLS. Un LSR es como un router que funciona a base de intercambiar etiquetas según una tabla de envío.

Esta tabla se construye a partir de la información de encaminamiento que proporciona la componente de control, según se verá más adelante. Cada entrada de la tabla contiene un par de etiquetas entrada/salida correspondientes a cada interfaz de entrada, que se utilizan para acompañar a cada paquete que llega por ese interfaz y con la misma etiqueta. A un paquete que llega al LSR por el interfaz 3 de entrada con la etiqueta 45 el LSR le asigna la etiqueta 22 y lo envía por el interfaz 4 de salida al siguiente LSR, de acuerdo con la información de la tabla.

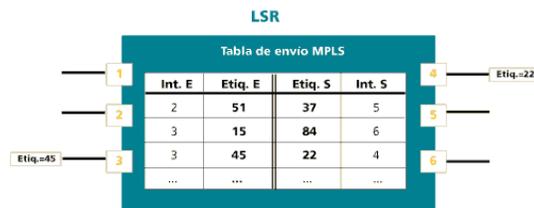


Fig. 5.13 Tabla MPLS

El algoritmo de intercambio de etiquetas requiere la clasificación de los paquetes a la entrada del dominio MPLS para poder hacer la asignación por el LSR de cabecera. En la figura el LSR de entrada recibe un paquete normal (sin etiquetar) cuya dirección de destino es 212.95.193.1. El LSR consulta la tabla de encaminamiento y asigna el paquete a la clase FEC definida por el grupo 212.95/16.

Asimismo, este LSR le asigna una etiqueta y envía el paquete al siguiente LSR del LSP. Dentro del dominio MPLS los LSR ignoran la cabecera IP; solamente analizan la etiqueta de entrada, consultan la tabla correspondiente (tabla de conmutación de etiquetas) y la reemplazan por otra nueva, de acuerdo con el algoritmo de intercambio de etiquetas. Al llegar el paquete al LSR de cola (salida), ve que el siguiente salto lo saca de la red MPLS; al consultar ahora la tabla de conmutación de etiquetas quita ésta y envía el paquete por routing convencional.

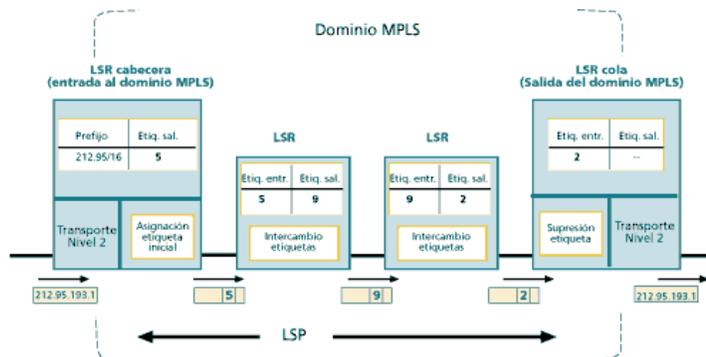


Fig. 5.14 Dominio MPLS

Como se ve, la identidad del paquete original IP queda enmascarada durante el transporte por la red MPLS, que no "mira" sino las etiquetas que necesita para su envío por los diferentes saltos LSR que configuran los caminos LSP. Las etiquetas se insertan en cabeceras MPLS, entre los niveles 2 y 3. Según las especificaciones del IETF, MPLS debía funcionar sobre cualquier tipo de transporte: PPP, LAN, ATM, Frame Relay, etc. Por ello, si el protocolo de transporte de datos contiene ya un campo para etiquetas (como ocurre con los campos VPI/VCI de ATM y DLCI de Frame Relay), se utilizan esos campos nativo para las etiquetas. Sin embargo, si la tecnología de nivel 2 empleada no soporta un campo para, entonces se emplea una cabecera genérica MPLS de 4 octetos, que contiene un campo específico para la etiqueta y se inserta entre la cabecera del nivel 2 y la del paquete (nivel 3).

En la figura se representa el esquema de los campos de la cabecera genérica MPLS y su relación con las cabeceras de los otros niveles. Según se muestra en la figura, los 32 bits de la cabecera MPLS se reparten en: 20 bits para la etiqueta MPLS, 3 bits para identificar la clase de servicio en el campo EXP (experimental, anteriormente llamado CoS), 1 bit de stack para poder apilar etiquetas de forma jerárquica (S) y 8 bits para indicar el TTL (time-to-live) que sustenta la funcionalidad estándar TTL de las redes IP. De este modo, las cabeceras MPLS permiten cualquier tecnología o combinación de tecnologías de transporte, con la flexibilidad que esto supone para un proveedor IP a la hora de extender su red.

b) Control de la información en MPLS

Hasta ahora se ha visto el mecanismo básico de envío de paquetes a través de los LSPs mediante el procedimiento de intercambio de etiquetas según las tablas de los LSRs. Pero queda por ver dos aspectos fundamentales:

- Cómo se generan las tablas de envío que establecen los LSPs
- Cómo se distribuye la información sobre las etiquetas a los LSRs

El primero de ellos está relacionado con la información que se tiene sobre la red: topología, patrón de tráfico, características de los enlaces, etc. Es la información de control típica de los algoritmos de encaminamiento. MPLS necesita esta información de routing para establecer los caminos virtuales LSPs. Lo más lógico es utilizar la propia información de encaminamiento que manejan los protocolos internos IGP (OSPF, IS-IS, RIP...) para construir las tablas

de encaminamiento (recuérdese que los LSR son routers con funcionalidad añadida). Esto es lo que hace MPLS precisamente: para cada "ruta IP" en la red se crea un "camino de etiquetas" a base de concatenar las de entrada/salida en cada tabla de los LSRs; el protocolo interno correspondiente se encarga de pasar la información necesaria.

El segundo aspecto se refiere a la información de "señalización". Pero siempre que se quiera establecer un circuito virtual se necesita algún tipo de señalización para marcar el camino, es decir, para la distribución de etiquetas entre los nodos. Sin embargo, la arquitectura MPLS no asume un único protocolo de distribución de etiquetas; de hecho se están estandarizando algunos existentes con las correspondientes extensiones; unos de ellos es el protocolo RSVP del Modelo de Servicios Integrados del IETF. Pero, además, en el IETF se están definiendo otros nuevos, específicos para la distribución de etiquetas, cual es el caso del Label Distribution Protocol (LDP).

c) Funcionamiento global MPLS

Una vez vistos todos los componentes funcionales, el esquema global de funcionamiento es el que se muestra en la figura, donde quedan reflejadas las diversas funciones en cada uno de los elementos que integran la red MPLS. Es importante destacar que en el borde de la nube MPLS tenemos una red convencional de routers IP. El núcleo MPLS proporciona una arquitectura de transporte que hace aparecer a cada par de routers a una distancia de un sólo salto. Funcionalmente es como si estuvieran unidos todos en una topología mallada (directamente o por PVCs ATM). Ahora, esa unión a un solo salto se realiza por MPLS mediante los correspondientes LSPs (puede haber más de uno para cada par de routers). La diferencia con topologías conectivas reales es que en MPLS la construcción de caminos virtuales es mucho más flexible y que no se pierde la visibilidad sobre los paquetes IP. Todo ello abre enormes posibilidades a la hora de mejorar el rendimiento de las redes y de soportar nuevas aplicaciones de usuario, tal como se explica en la sección siguiente.

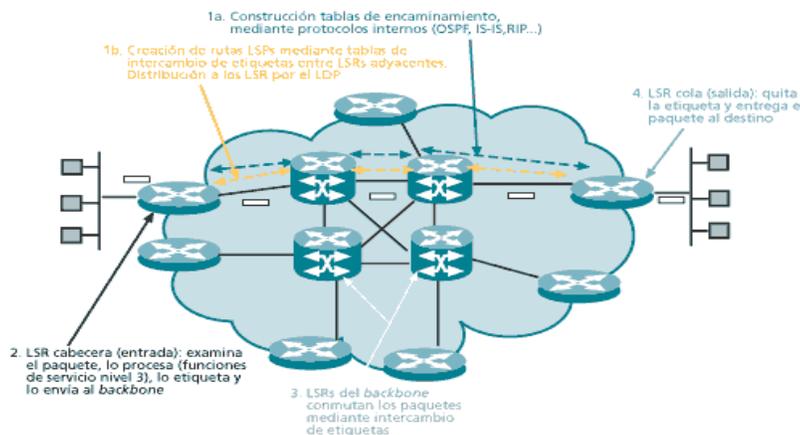


Fig. 5.15 Diagrama de funcionamiento global MPLS

Aplicaciones de MPLS

- Redes de alto rendimiento: las decisiones de encaminamiento que han de tomar los routers MPLS en base a la LIB son mucho más sencillas y rápidas que las que toma un router IP ordinario (la LIB es mucho más pequeña que una tabla de rutas normal). La anidación de etiquetas permite agregar flujos con mucha facilidad, por lo que el mecanismo es escalable.
- Ingeniería de Tráfico: se conoce con este nombre la planificación de rutas en una red en base a previsiones y estimaciones a largo plazo con el fin de optimizar los recursos y reducir congestión.
- QoS: es posible asignar a un cliente o a un tipo de tráfico una FEC a la que se asocie un LSP que discorra por enlaces con bajo nivel de carga.
- VPN: la posibilidad de crear y anidar LSPs da gran versatilidad a MPLS y hace muy sencilla la creación de VPNs.
- Soporte multiprotocolo: los LSPs son válidos para múltiples protocolos, ya que el encaminamiento de los paquetes se realiza en base a la etiqueta MPLS estándar, no a la cabecera de nivel de red.

Ingeniería de tráfico

El objetivo básico de la ingeniería de tráfico es adaptar los flujos de tráfico a los recursos físicos de la red. La idea es equilibrar de forma óptima la utilización de esos recursos, de manera que no haya algunos que estén supra-utilizados, con posibles puntos calientes y cuellos de botella, mientras otros puedan estar infrautilizados. A comienzos de los 90 los esquemas para adaptar de forma efectiva los flujos de tráfico a la topología física de las redes IP eran bastante rudimentarios. Los flujos de tráfico siguen el camino más corto calculado por el algoritmo IGP correspondiente. En casos de congestión de algunos enlaces, el problema se resolvía a base de añadir más capacidad a los enlaces. La ingeniería de tráfico consiste en trasladar determinados flujos seleccionados por el algoritmo IGP sobre enlaces más congestionados, a otros enlaces más descargados, aunque estén fuera de la ruta más corta (con menos saltos). En el esquema de la figura se comparan estos dos tipos de rutas para el mismo par de nodos origen-destino.

El camino más corto entre A y B según la métrica normal IGP es el que tiene sólo dos saltos, pero puede que el exceso de tráfico sobre esos enlaces o el esfuerzo de los routers correspondientes haga aconsejable la utilización del camino alternativo indicado con un salto más. MPLS es una herramienta efectiva para esta aplicación en grandes backbones, ya que:

- Permite al administrador de la red el establecimiento de rutas explícitas, especificando el camino físico exacto de un LSP.
- Permite obtener estadísticas de uso LSP, que se pueden utilizar en la planificación de la red y como herramientas de análisis de cuellos de botella y carga de los enlaces, lo que resulta bastante útil para planes de expansión futura.
- Permite hacer "encaminamiento restringido" (Constraint-based Routing, CBR), de modo que el administrador de la red pueda seleccionar determinadas rutas para servicios especiales (distintos niveles de calidad). Por ejemplo, con garantías explícitas de retardo, ancho de banda, fluctuación, pérdida de paquetes, etc.

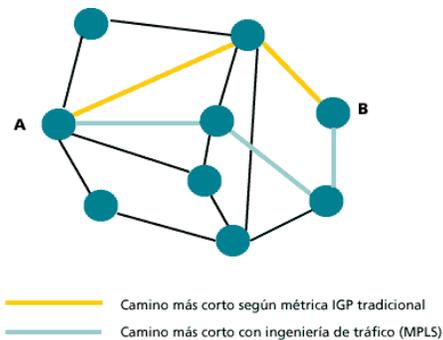


Fig. 5.16 Ejemplo de métricas

MPLS-TE arriesga muchas fundaciones tecnológicas:

- La restricción del algoritmo de la ruta más corta usado en el cálculo de la ruta. Este es una versión modificada del algoritmo bien conocido SPF al soporte de restricciones.
- La extensión RSVP usada para establecer el estado de reenvío a lo largo de la ruta, así como reservar recursos a lo largo de la ruta.
- La liga de estado IGP con la extensión (OSPF con LSAs opacas, IS-IS con el Liga de Estado de Paquetes TLV (tipo, longitud, valor)) manteniendo pista de los cambios de propagación de topología.

¿Cómo fluye el tráfico fundido MPLS?

MPLS permite el mapeo de paquetes IP a la clase de equivalencia de reenvío (Forwarding Equivalence Class, FEC) para ser ocupada solo una vez al ingresar a un dominio MPLS. Una FEC es un conjunto de paquetes que pueden ser manejados equivalentemente para el propósito de reenvío y entonces esta acorde para la liga a una sola etiqueta. Desde un punto de vista de reenvío, los paquetes dentro del mismo subconjunto son tratados por el LSR de la misma forma, incluso si los paquetes difieren entre sí en la información de la cabecera de la capa de red. El mapeo entre la información acarreada en la cabecera de la capa de red de los paquetes y las entradas en la tabla de reenvío de LSR es Muchos a Uno. Esto es que los paquetes que los paquetes con diferente contenido de sus cabeceras de capa de red podrían ser mapeadas en la misma FEC. (Ejemplo de una FEC: conjunto de paquetes unicast cuya dirección de destino de capa de red concuerdan un prefijo de dirección IP en particular)

¿Cómo son los ciclos prevenidos en redes MPLS?

Para la prevención de ciclos MPLS, su manejo puede ser dividido en dos categorías:

- Prevención de ciclos: provee métodos para evitar ciclos antes de que cualquier paquete sea enviado a la red.
- Mitigación de los ciclos (supervivencia + detección): minimiza los efectos negativos de ciclos aunque algunos de corta duración pueden formarse. – i.e. el Tiempo Total de Vida (TTL). Si el TTL alcanza 0, el paquete es descartado

- Los protocolos dinámicos de ruteo que convergen rápidamente a rutas no cíclicas.

En lo que concierne a la mitigación de ciclos, los paquetes etiquetados de MPLS pueden llevar un campo TTL que opere justo como el IP TTL para permitir a los paquetes atrapados en los ciclos para ser descartados.

Sin embargo; para ciertos medios como ATM y Frame Relay, donde TTL no esta disponible, MPLS usará una disposición de buffer como forma de mitigación de ciclos. Es principalmente usado en switches ATM que tienen la habilidad de limitar la cantidad de espacio en memoria que puede ser consumida por un solo VC. Otra técnica para un segmento TTL es el conteo de saltos: la información es llevada dentro de los mensajes de Protocolo de Distribución de Enlaces. Trabaja como un TTL. El conteo decrece en uno en cada salto exitoso.

Una tercera alternativa adoptada por MPLS es una técnica de detección de ciclos llamada vector de ruta. Un vector de ruta contiene una lista de LSRs que etiquetan que la distribución de mensajes de control ha atravesado. Cada LSR que propaga un paquete de control (para crear o modificar un LSP) agrega su propio identificador a la lista de vectores de ruta. El ciclo es detectado cuando un LSR recibe un mensaje con un vector de ruta que contiene su propio identificador para la lista de vectores de ruta. El ciclo es detectado cuando un LSR recibe un mensaje con un vector de ruta que contiene su propio identificador. Esta técnica es también usada para el protocolo de enrutamiento BGP con su atributo de ruta.

¿Cómo realiza MPLS una recuperación de fallas?

Cuando un enlace se baja es importante para re enrutar todas las troncales de este enlace. Dado que la ruta tomada por una troncal es determinada por el LSR al inicio de la ruta MPLS (fin de la cabeza), el re enrutamiento ha sido desempeñado por el fin de cabecera LSR. Para realizar el re enrutamiento, ésta podría usar tanto la información provista por IGP o el RSVP/CR-LDP.

Sin embargo, muchas características específicas de MPLS han sido desarrolladas, incluyendo el re enrutamiento rápido, y avance bidireccional. Ver RFC 3469: "El marco para la etiqueta de Switcheo Multi-Protocolo – Recuperación Basada en MPLS" para información adicional.

La ventaja de la ingeniería de tráfico MPLS es que se puede hacer directamente sobre una red IP, al margen de que haya o no una infraestructura ATM por debajo, todo ello de manera más flexible y con menores costes de planificación y gestión para el administrador, y con mayor calidad de servicio para los clientes.

Calidad de Servicio MPLS

Para obtener Calidad de Servicio en las Redes MPLS se sigue el modelo MPLS and DiffServ.

Modelo DiffServ:

- Tiene como objetivo.
 - Definir un grupo de componentes, a partir del cual una variedad de servicios pueden ser construidos (Para los ISPs).
- Per-Hop Behaviors (PHBs).
 - Tratamiento particular de envío que un paquete recibe en cada nodo de la red.
 - Scheduling (WFQ, DRR, CBQ, Priority Queuing)
 - Buffer managements (RED, RIO, LQD).
- Para recibir un tratamiento particular (PHB), los paquetes son marcados en el campo DSCP (punto de código de servicio diferenciado) en.
 - IPv4:TOS octet, IPv6: Octeto del tipo de trafico.

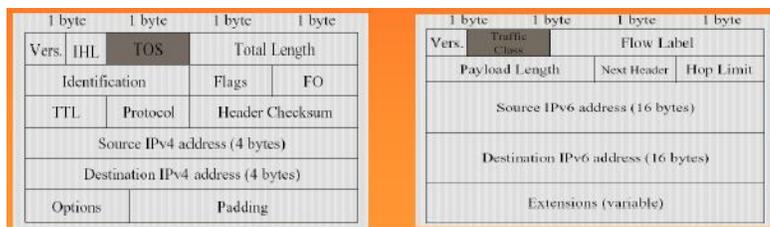


Fig. 5.17 Octetos en trama MPLS

- La marcación del DSCP se realiza en el borde de la red DiffServ.
 - Por lo tanto se realiza la clasificación del tráfico, basado en el contrato entre el proveedor de servicio y el cliente.



Fig. 5.18 Modelo de servicio diferenciado

- DS field replaces IPv4 ToS, IPv6 Traffic Class
- DSCP = 6 bits : notación "xxxxxx"
- CU: Currently Unused (reservado). Este campo se utiliza actualmente para control de congestión.

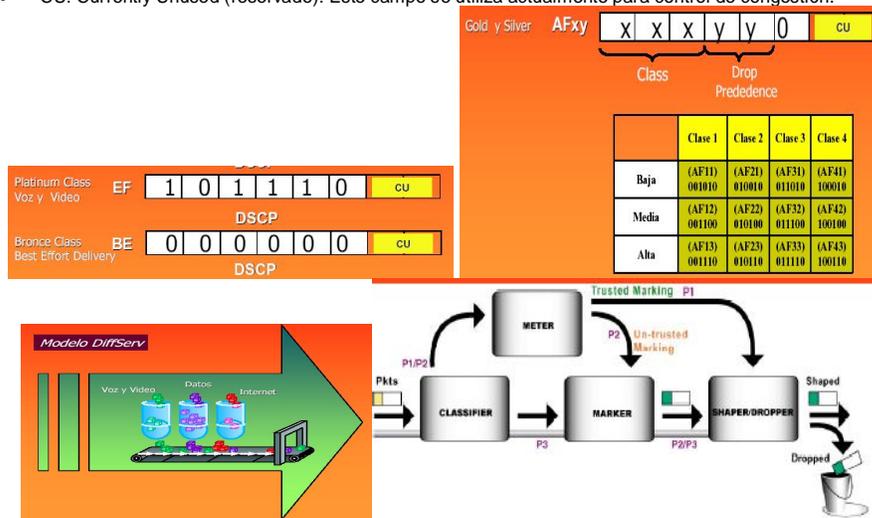


Fig. 5.19 Proceso para diferenciar el servicio

- Clasificador selecciona un paquete en una corriente de tráfico basada en el contenido de alguna parte de la cabecera del paquete.
- Meter: el cumplimiento de comprobaciones a parámetros de tráfico y pasa el resultado al marcador y shaper/dropper para provocar la acción particular para paquetes de perfil in/out-of.
- Marcador: Escribir/rescribir el valor DSCP.
- Moldeador: retrasa algunos paquetes de ellos para ser dócil con el perfil.
- Droppers: descarta algunos o todos los paquetes para que cumplan con el tráfico.

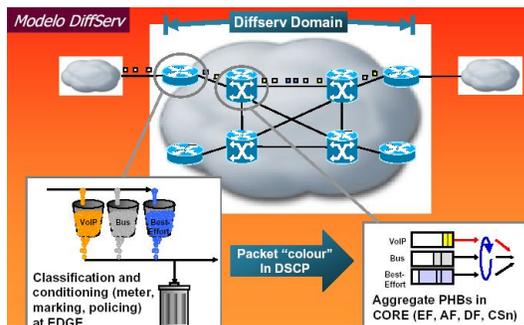


Fig. 5.20 Esquema de proceso de diferenciación de servicios

Calidad de Deficiencias de Servicio en Redes IP

Para tener garantizada la Calidad de Servicio en una Red, todos los paquetes de datos enviados en cada dirección, durante cada sesión, deben seguir la misma ruta (en la jerga de redes, debe ser orientada a conexión) y algunos medios para reservación de recursos a lo largo de la ruta deben existir. IP no es orientada a conexión, y los enrutadores IP no tienen generalmente mecanismos sofisticados para cometer los recursos en cada salto; eso es por qué asegurarse de una Calidad de Servicio Especificada es muy difícil sobre una red IP. Dos mecanismos han intentado resolver este problema insatisfactoriamente. El protocolo de servicios diferenciados (DiffServ) fue definido para definir diferentes niveles de servicios para ser provistos a través de redes IP. Su protocolo usa un espacio en la cabecera IP para indicar los tipos de tráfico diferenciado y las prioridades. Los enrutadores en la red son capaces de observar esta información y priorizar el tráfico mientras los proveedores de servicios diferenciados no proveen garantías. Por ejemplo, la congestión y el encolamiento pueden incrementar la latencia, reducir el ancho de banda disponible y por tanto reducir la calidad de la voz. Por sí mismo, el DiffServ no es adecuado para VoIP. El Protocolo de Reservación de recursos es un protocolo de señalamiento usado en redes IP para reservar recursos para un tipo especificado de flujo de datos. Aunque RSVP puede reservar recursos, no puede garantizar que el tráfico a través de la ruta sobre la cual estaba reservada: como los nodos y los enlaces son agregados o removidos en una red IP, la ruta a lo largo de la cual los datos fluyen puede cambiar. RSVP intenta recuperar y crear una ruta actualizada reflejando la nueva tecnología, pero no habrá garantía de que la calidad del servicio sea mantenida, y es posible que RSVP fallara en crear una ruta actualizada.

Clases de Servicio (CoS) en MPLS

MPLS está diseñado para poder cursar servicios diferenciados, según el Modelo DiffServ del IETF. Este modelo define una variedad de mecanismos para poder clasificar el tráfico en un reducido número de clases de servicio, con diferentes prioridades. Según los requisitos de los usuarios, DiffServ permite diferenciar servicios tradicionales tales como el WWW, el correo electrónico o la transferencia de ficheros (para los que el retardo no es crítico), de otras aplicaciones mucho más dependientes del retardo y de la variación del mismo, como son las de vídeo y voz interactiva. Para ello se emplea el campo ToS (Type of Service), rebautizado en DiffServ como el octeto DS. Esta es la técnica QoS de marcar los paquetes que se envían a la red.

MPLS se adapta perfectamente a ese modelo, ya que las etiquetas MPLS tienen el campo EXP para poder propagar la clase de servicio CoS en el correspondiente LSP. De ese modo, una red MPLS puede transportar distintas clases de tráfico, ya que:

- el tráfico que fluye a través de un determinado LSP se puede asignar a diferentes colas de salida en los diferentes saltos LSR, de acuerdo con la información contenida en los bits del campo EXP
- entre cada par de LSR exteriores se pueden aprovisionar múltiples LSPs, cada uno de ellos con distintas prestaciones y con diferentes garantías de ancho de banda. P. ej., un LSP puede ser para tráfico de máxima prioridad, otro para una prioridad media y un tercero para tráfico best-effort, tres niveles de servicio, primero, preferente y turista, que, lógicamente, tendrán distintos precios.

MPLS en Redes Privadas Virtuales (VPN)

Una red privada virtual (VPN) se construye a base de conexiones realizadas sobre una infraestructura compartida, con funcionalidades de red y de seguridad equivalentes a las que se obtienen con una red privada. El objetivo de las VPNs es el soporte de aplicaciones intra/extranet, integrando aplicaciones multimedia de voz, datos y vídeo sobre infraestructuras de comunicaciones eficaces y rentables. La seguridad supone aislamiento, y "privada" indica que el usuario "cree" que posee los enlaces. Las IP VPNs son soluciones de comunicación VPN basada en el protocolo de red IP de la Internet. En esta sección se va a describir brevemente las ventajas que MPLS ofrece para este tipo de redes frente a otras soluciones tradicionales.

Las VPNs tradicionales se han venido construyendo sobre infraestructuras de transmisión compartidas con características implícitas de seguridad y respuesta predeterminada. Tal es el caso de las redes de datos Frame Relay, que permiten establecer PVCs entre los diversos nodos que conforman la VPN. La seguridad y las garantías las proporcionan la separación de tráficos por PVC y el caudal asegurado (CIR). Algo similar se puede hacer con ATM, con diversas clases de garantías. Los inconvenientes de este tipo de solución es que la configuración de las rutas se basa en procedimientos más bien artesanales, al tener que establecer cada PVC entre nodos, con la complejidad que esto supone al proveedor en la gestión (y los mayores costes asociados). Si se quiere tener conectados a todos con todos, en una topología lógica totalmente mallada, añadir un nuevo emplazamiento supone retocar todos los CPEs del cliente y restablecer todos los PVCs.

Además, la popularización de las aplicaciones TCP/IP, así como la expansión de las redes de los NSPs, ha llevado a tratar de utilizar estas infraestructuras IP para el soporte de VPNs, tratando de conseguir una mayor flexibilidad en el diseño e implantación y unos menores costes de gestión y provisión de servicio. La forma de utilizar las infraestructuras IP para servicio VPN (IP VPN) ha sido la de construir túneles IP de diversos modos.

El objetivo de un túnel sobre IP es crear una asociación permanente entre dos extremos, de modo que funcionalmente aparezcan conectados. Lo que se hace es utilizar una estructura no conectiva como IP para simular esas conexiones: una especie de tuberías privadas por las que no puede entrar nadie que no sea miembro de esa IP VPN. No es el objetivo de esta sección una exposición completa de IP VPNs sobre túneles; se pretende tan sólo resumir sus características para poder apreciar luego las ventajas que ofrece MPLS frente a esas soluciones.

Los túneles IP en conexiones dedicadas se pueden establecer de dos maneras:

- En el nivel 3, mediante el protocolo IPsec del IETF.
- En el nivel 2, mediante el encapsulamiento de paquetes privados (IP u otros) sobre una red IP pública de un NSP.

En las VPNs basadas en túneles IPsec, la seguridad requerida se garantiza mediante el cifrado de la información de los datos y de la cabecera de los paquetes IP, que se encapsulan con una nueva cabecera IP para su transporte por la red del proveedor. Es relativamente sencillo de implementar, bien sea en dispositivos especializados, tales como cortafuegos, como en los propios routers de acceso del NSP. Además, como es un estándar, IPsec permite crear VPNs a través de redes de distintos NSPs que sigan el estándar IPsec. Pero como el cifrado IPsec oculta las cabeceras de los paquetes originales, las opciones QoS son bastante limitadas, ya que la red no puede distinguir flujos por aplicaciones para asignarles diferentes niveles de servicio. Además, sólo vale para paquetes IP nativos, IPsec no admite otros protocolos.

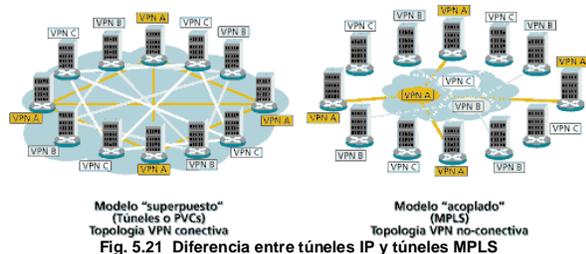
En los túneles de nivel 2 se encapsulan paquetes multiprotocolo (no necesariamente IP), sobre los datagramas IP de la red del NSP. De este modo, la red del proveedor no pierde la visibilidad IP, por lo que hay mayores posibilidades de QoS para priorizar el tráfico por tipo de aplicación IP. Los clientes VPN pueden mantener su esquema privado de direcciones, estableciendo grupos cerrados de usuarios, si así lo desean. (Además de encapsular los paquetes, se puede cifrar la información por mayor seguridad, pero en este caso limitando las opciones QoS). A diferencia de la opción anterior, la operación de túneles de nivel 2 está condicionada a un único proveedor.

A pesar de las ventajas de los túneles IP sobre los PVCs, ambos enfoques tienen unas características comunes que las hacen menos eficientes frente a la solución MPLS:

- están basadas en conexiones punto a punto (PVCs o túneles).
- la configuración es manual.
- la provisión y gestión son complicadas; una nueva conexión supone alterar todas las configuraciones.
- plantean problemas de crecimiento al añadir nuevos túneles o circuitos virtuales.
- la gestión de QoS es posible en cierta medida, pero no se puede mantener extremo a extremo a lo largo de la red, ya que no existen mecanismos que sustenten los parámetros de calidad durante el transporte.

Realmente, el problema que plantean estas IP VPNs es que están basadas en un modelo topológico superpuesto sobre la topología física existente, a base de túneles extremo a extremo (o circuitos virtuales) entre cada par de routers de cliente en cada VPN. De ahí las desventajas en cuanto a la poca flexibilidad en la provisión y gestión del servicio, así como en el crecimiento cuando se quieren añadir nuevos emplazamientos. Con una arquitectura MPLS se obvian estos inconvenientes ya que el modelo topológico no se superpone sino que se acopla a la red del proveedor. En el modelo acoplado MPLS, en lugar de conexiones extremo a extremo entre los distintos emplazamientos de una VPN, lo que hay son conexiones IP a una "nube común" en las que solamente pueden entrar los miembros de la misma VPN. Las "nubes" que representan las distintas VPNs se implementan mediante los caminos LSPs creados por el mecanismo de intercambio de etiquetas MPLS. Los LSPs son similares a los túneles en cuanto a que la red transporta los paquetes del usuario (incluyendo las cabeceras) sin examinar el contenido, a base de encapsularlos sobre otro protocolo. Aquí está la diferencia: en los túneles se utiliza el encaminamiento convencional IP para transportar la información del usuario, mientras que en MPLS esta información se transporta sobre el mecanismo de intercambio de etiquetas, que no ve para nada el proceso de routing IP. Sin embargo, sí se mantiene en todo momento la visibilidad IP hacia el usuario, que no sabe nada de rutas MPLS sino que ve una red privada Internet (intranet) entre los miembros de su VPN. De este modo, se pueden aplicar técnicas QoS basadas en el examen de la cabecera IP, que la red MPLS podrá propagar hasta el destino, pudiendo así reservar ancho de banda, priorizar aplicaciones, establecer CoS y optimizar los recursos de la red con técnicas de ingeniería de tráfico.

La diferencia entre los túneles IP convencionales (o los circuitos virtuales) y los "túneles MPLS" (LSPs) está en que éstos se crean dentro de la red, a base de LSPs, y no de extremo a extremo a través de la red.



Como resumen, las ventajas que MPLS ofrece para IP VPNs son:

- Proporcionan un modelo "acoplado" o "inteligente", ya que la red MPLS "sabe" de la existencia de VPNs (lo que no ocurre con túneles ni PVCs).
- Evita la complejidad de los túneles y PVCs.
- La provisión de servicio es sencilla: una nueva conexión afecta a un solo router.

- Tiene mayores opciones de crecimiento modular.
- Permiten mantener garantías QoS extremo a extremo, pudiendo separar flujos de tráfico por aplicaciones en diferentes clases, gracias al vínculo que mantienen el campo EXP de las etiquetas MPLS con las clases definidas a la entrada.
- Permite aprovechar las posibilidades de ingeniería de tráfico para poder garantizar los parámetros críticos y la respuesta global de la red (ancho banda, retardo, fluctuación...), lo que es necesario para un servicio completo VPN.

5.3.2 GMPLS

Las redes ópticas en la actualidad presentan un gran número de capas. Cada una de estas capas está preparada para manejar un determinado tipo de tráfico y proporcionar unos servicios específicos. Con el tiempo han surgido incluso equipos independientes que están especializados en una capa y en un tipo de tráfico como por ejemplo: enrutadores IP, conmutadores ATM, dispositivos SONET/SDH o conmutadores DWDM. Si bien este planteamiento permite simplificar el diseño de los dispositivos, conduce a redes complejas y difíciles de gestionar. Por ello, últimamente se está tendiendo a reducir el número de dispositivos distintos que podemos encontrar en la red, consolidando determinadas capas y mejorando sus funcionalidades, a la vez que se eliminan otras redundantes. Como se comentó en el anterior artículo, se tiende a un esquema de red con tan sólo dos capas. En este escenario, el modelo "peer" proporciona una mayor eficiencia de red que el modelo "overlay" tradicional, ya que se puede desarrollar un plano de control común para todas las capas con una única serie de protocolos como GMPLS. Para el correcto funcionamiento de esta red basada en GMPLS, se requieren además elementos de conmutación ópticos capaces de encaminar o conmutar el tráfico de cualquier tipo: TDM, paquetes o longitudes de onda. En la figura se puede ver la evolución que está sufriendo el modelo de capas de las redes ópticas.

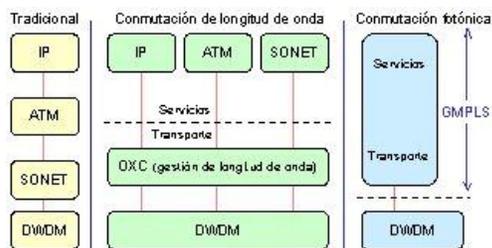


Fig. 5.22 Evolución del modelo de capas.

Actualmente, los esfuerzos para mejorar la eficiencia y escalabilidad de las redes se centran en tres planteamientos distintos: IP sobre DWDM, MPLS y GMPLS con conmutación fotónica. IP sobre DWDM utiliza direccionamiento y enrutamiento IP sobre redes DWDM. La mayoría de los desarrollos emplean paquetes sobre SONET (PoS) directamente sobre canales DWDM con el fin de consolidar los planos IP y de datos sobre las longitudes de onda y la fibra. No obstante, esto conduce finalmente a un sacrificio de velocidad y además no existe ningún mecanismo de comunicación entre los enrutadores y otros equipos de transporte.

MPLS, por su parte, propone añadir extensiones al protocolo del plano de control con el fin de incorporar etiquetas y mecanismos de señalización a los servicios de longitud de onda y ofrecer conexiones inteligentes entre los OXCs en sistemas DWDM de largo alcance. Al igual que IP sobre DWDM, MPLS se construye sobre una estrategia ya existente, por lo que tiene al apoyo de diversos fabricantes de OXCs (optical cross-connect, por siglas en inglés). Sin embargo, este planteamiento asume un modelo "overlay" basado en un interfaz usuario-red y, por lo tanto, no integra el plano de encaminamiento de los paquetes de datos. Entonces, las redes MPLS requieren enrutadores en su núcleo para procesar los paquetes, así como ADMs y DXCs de banda ancha para procesar las ranuras temporales de los canales SONET/SDH. Dado que MPLS se aplica sobre los OXCs, y los OXCs disponibles comercialmente ofrecen una conmutación relativamente lenta y no pueden manejar paquetes o tráfico TDM de una forma eficiente, el plano de control proporciona mejoras tan solo a un número limitado de servicios. Luego no se espera que MPLS gane aceptación en más de unas pocas aplicaciones de larga distancia específicas.

En cambio, GMPLS combinado con la conmutación fotónica representa el planteamiento más prometedor para la consolidación de las redes troncales. GMPLS es el resultado de una serie de esfuerzos del Optical Internetworking Forum, Optical Domain Service Interconnect Consortium y la Internet Engineering Task Force para desarrollar un protocolo que pueda ser utilizado con cualquier tipo de tráfico. Así, ofrece un plano de control integrado, el cual extiende el conocimiento de la topología y la gestión de ancho banda a lo largo de todas las capas de red, permitiendo de forma efectiva la consolidación de los servicios y el transporte. El resultado final es un desplazamiento del punto de demarcación entre ambos. Ahora tanto los servicios como el transporte permanecen juntos y separados de la transmisión, dejando la transmisión de larga distancia como el único elemento sin conmutación. En la figura de abajo se representa esquemáticamente el modelo de red que se plantea.



Fig. 5.23 Red de conmutación de servicios fotónicos con integración vertical.

GMPLS, protocolo evolutivo de MPLS, soporta no sólo dispositivos que conmutan paquetes sino también los que conmutan en el dominio del tiempo, la longitud de onda o el espacio. La introducción de este protocolo en las redes ópticas e IP producirá, de este modo, una integración total en el plano de control de estas redes, posibilitando una rápida y sencilla provisión de servicios a un coste muy bajo.

El espectacular crecimiento de la demanda de ancho de banda por los nuevos servicios de telecomunicaciones ha generado un interés masivo por las redes ópticas durante los últimos años. La infraestructura de estas redes está constituida por tres tecnologías de transporte: la red óptica síncrona o SONET, la jerarquía digital síncrona o SDH y la multi-canalización por división en longitud de onda o DWDM.

La tecnología más extendida actualmente es SONET/SDH. Su base funcional es la multi-canalización por división en el tiempo o TDM y utiliza la fibra óptica como mero sistema de transmisión, realizando las funciones de amplificación, encaminamiento, extracción e inserción de señales, etc., en el dominio eléctrico, a diferencia de DWDM, que a medida que se desarrolle realizará todas estas funciones en el dominio óptico. Por ello, una vez que madure la tecnología DWDM, hará innecesario el uso de SONET/SDH, pues será capaz de ofrecer la misma funcionalidad con otros muchos beneficios como, por ejemplo, su transparencia respecto a las señales que transporta, el enorme ancho de banda que ofrece y las mayores distancias que soporta sin necesidad de regenerar la señal al dominio eléctrico.

La principal razón del crecimiento de las necesidades de ancho de banda ha sido el exponencial aumento del número de usuarios y el incremento del número de aplicaciones de Internet. En nuestros días, el tráfico de datos supera al tradicional tráfico de voz, lo que ha suscitado un interés sin precedentes en IP, que además ha sido ampliado para soportar todo tipo de servicios. De este modo, es entendible que la convergencia de la capa IP y la capa óptica, inicialmente diseñada para el transporte de servicios telefónicos de conmutación de circuitos, sea el eje central de la siguiente fase de expansión de Internet.

Existen actualmente varios mecanismos en estudio para transportar el tráfico de datos IP directamente sobre DWDM con el fin de reducir la sobrecarga que suponen las capas de adaptación intermedias, conformadas generalmente por ATM y SONET/SDH. No obstante, puesto que no es posible la sustitución de toda la infraestructura implantada en un corto espacio de tiempo, es más importante conseguir antes un mecanismo para integrar el control de todas las capas de esta arquitectura de red heterogénea, proporcionando, de este modo, una administración de la red más sencilla y una provisión más rápida y flexible del ancho de banda para el tráfico IP. Los desarrollos en curso de diferentes cuerpos de estandarización giran en torno a esta idea, siendo GMPLS el que más fuerza está adquiriendo.

En definitiva, GMPLS consiste en una serie de extensiones de protocolo que proporcionan un control común sobre los servicios de paquetes, TDM y longitudes de onda. Estas extensiones afectan a los protocolos de señalización y de enrutamiento MPLS para actividades tales como distribución de etiquetas, ingeniería de tráfico o protección y restauración, permitiendo un rápido aprovisionamiento y gestión de los servicios de red. GMPLS puede utilizarse también con las arquitecturas "overlay" tradicionales en las que cada tipo de tráfico se gestiona por medio de su propio plano de control. Sin embargo, el gran potencial de GMPLS es que hace posible la evolución hacia un modelo "peer" en el cual cada elemento de red posee información completa sobre el resto de elementos y sus capacidades de enlace.

Los modelos "overlay" y "peer" se aplican tanto en el enrutamiento como en la señalización. El modelo "overlay" mantiene capas de red separadas para cada tipo de tráfico y dominios administrativos diferentes. En cambio, las redes basadas en un modelo "peer" se construyen con dispositivos que tienen información completa sobre los otros dispositivos en todas las capas de red. Por lo tanto, el modelo "overlay" es adecuado para realizar funciones de red entre operadores, ya que permite que la información de enrutamiento de cada operador de red se mantenga dentro de su propio dominio administrativo. Por otro lado, el modelo "peer" resulta mucho más adecuado para las funciones de red dentro del dominio de un proveedor de servicios o entre proveedores de servicios con protocolos compatibles, dado que permite mayor flexibilidad en la optimización de las labores de enrutamiento.

El plano de control GMPLS incluye funcionalidades tales como enrutamiento, gestión del enlace, señalización y recuperación. Bajo GMPLS, existen tres componentes principales involucrados en el establecimiento de un canal:

1. Exploración de recursos: se obtiene información acerca de los recursos de red tales como conectividad o capacidad de los enlaces. Los mecanismos utilizados para diseminar esta información de estado se basan en una extensión del Internet Gateway Protocol (IGP).
2. Selección de ruta: se utiliza para seleccionar una ruta apropiada a través de la red óptica inteligente en base a unas ciertas restricciones impuestas por el entorno y las limitaciones de la capa física.
3. Gestión de ruta: incluye distribución de etiquetas, así como establecimiento, mantenimiento y terminación de ruta. Estas funciones se realizan por medio de un protocolo de señalización extendido como Resource Reservation Protocol for Traffic Engineering (RSVP-TE) o Constraint-routed Label Distribution Protocol (CR-LDP).

Estos componentes del plano de control son separables e independientes entre sí, y precisamente esta modularidad es la que permite que el plano de control pueda configurarse de forma flexible.

Sin lugar a dudas, uno de los beneficios clave de GMPLS es que deja libertad a los operadores para diseñar sus redes de acuerdo a sus necesidades específicas y objetivos empresariales. GMPLS puede utilizarse tanto con redes "overlay" como "peer", o bien con una configuración híbrida que consolide algunos, pero no necesariamente todos los tipos de tráfico. GMPLS permite cumplir con el requisito de los proveedores de servicio que desean iniciar, y completar de forma progresiva, una transición hacia un plano de control consolidado para los tipos de servicio y de transporte de su elección. Para ello se necesita un elemento de red capaz de manejar simultáneamente tráfico de paquetes, TDM y longitudes de onda a velocidades ópticas. La solución es la conmutación fotónica, la cual se basa en el plano de control común creado por GMPLS para conmutar servicios y transporte sobre una única infraestructura óptica.

Conmutación de Servicios fotónicos

El desarrollo de GMPLS comenzó con los siguientes planteamientos:

- Los protocolos de señalización y de enrutamiento desarrollados y utilizados en las redes IP pueden extenderse y adaptarse para cumplir con las necesidades de otros tipos de tráfico, como TDM y longitudes de onda.
- Esta extensión permitiría una completa integración para todos los tipos de tráfico.
- Asimismo, las mejoras en la tecnología de conmutación fotónica permitirían la conversión de longitud de onda y, con los protocolos apropiados, la conmutación óptica inteligente sería posible.

GMPLS tiene una completa serie de capacidades que pueden utilizarse para unir diversas partes de la red diseñadas para transportar múltiples tipos de tráfico. La figura de abajo representa esquemáticamente la jerarquía de interfaces conmutados de GMPLS. De este modo, sobre una misma fibra podemos transportar simultáneamente longitudes de onda opacas o transparentes, canales SONET/SDH y paquetes IP, conmutando y gestionando todos estos servicios en los nodos ópticos de una forma completamente flexible.

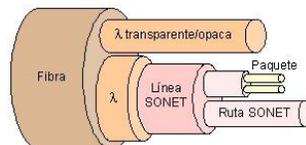


Fig. 5.24 Jerarquía de interfaces conmutados de GMPLS.

Una arquitectura de red con integración vertical como la presentada anteriormente requiere de un veloz conmutador fotónico opaco que sea capaz de conmutar simultáneamente los diferentes tipos de tráfico. Al mismo tiempo, esta clase de red reduce el tipo de dispositivos desplegados, pues no son necesarios dispositivos específicos de cada capa de red, sino un único dispositivo llamado conmutador PSS (Photonic Service Switching, por siglas en inglés). Con tarjetas de líneas eléctricas y una veloz infraestructura óptica, este dispositivo combina los mejores atributos de las tecnologías óptica y eléctrica. Esta infraestructura óptica le asegura una escalabilidad prácticamente ilimitada. Por otro lado, las tarjetas de línea son específicas para cada tipo de tráfico, por lo que el conmutador se puede adaptar fácilmente a diferentes entornos simplemente con un cambio de las tarjetas. Precisamente esta versatilidad hace que el conmutador PSS sea perfecto para una posible migración de un modelo "overlay" a una arquitectura de red basada en GMPLS. En la figura de abajo se muestra la arquitectura de un conmutador PSS configurado para múltiples tipos de tráfico. Se puede observar cómo existen tarjetas específicas para cada tipo de tráfico, las cuales se pueden sustituir y configurar en función de las demandas.

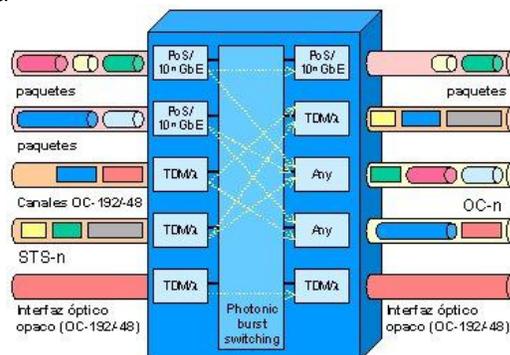


Fig. 5.25 Conmutador PSS configurado para múltiples tipos de tráfico.

Fases de implementación para GMPLS

La implantación de GMPLS en una determinada arquitectura de red no es necesario que se realice toda de una vez. No es una cuestión de todo o nada, sino más bien de dónde primero y en qué orden. Para empezar, GMPLS y PSS pueden desplegarse solamente en una capa del modelo tradicional de red "overlay", para posteriormente extenderse en sucesivas fases según se requiera y mejorar de este modo la eficiencia de la red. El proceso de implantación de GMPLS y PSS se puede resumir en las siguientes fases:

Fase 0: supongamos que esta es la fase inicial en la que se encuentran la mayoría de las redes actuales basadas en un modelo "overlay". La red de servicios IP ejecuta protocolos IP/MPLS. Por otro lado, la red de transporte (SONET/SDH óptico) utiliza protocolos propietarios o de gestión de red para facilitar la configuración y el establecimiento de las conexiones entre los elementos de red. Las peticiones de establecimiento o de terminación de conexiones se realizan por vía telefónica o a través de un interfaz Web.

Fase 1: se diseña para aumentar la velocidad y la precisión de las peticiones de conexión, incrementando de este modo la eficiencia y flexibilidad de la red. Se automatizan las peticiones de la red de servicio a la red de transporte para el establecimiento y terminación de conexiones. Para ello se utiliza un interfaz de señalización basado predominantemente en GMPLS.

Fase 2: consiste en la estandarización de los protocolos a través de las capas, acercando la red hacia un control integrado de las capas de servicio y transporte. En esta fase, los protocolos GMPLS sustituyen a los protocolos propietarios y de gestión de red en la red de transporte para facilitar el establecimiento de conexiones entre nodos.

Fase 3: esta es la fase final de la integración. Una vez que los operadores pueden aprovechar la eficiencia de una arquitectura de red con integración vertical, la integración del plano de control continúa. GMPLS es entonces el estándar para los protocolos de señalización y enrutamiento de todos los tipos de tráfico (longitudes de onda, TDM y paquetes) a través de la red de conmutadores PSS. Todos los elementos de red tienen ahora conocimiento del resto de elementos de red que transporten cualquier tipo de tráfico. Finalmente, la eficiencia de los conmutadores se maximiza convenientemente mediante la instalación de una combinación óptima de tarjetas de línea para los diferentes tipos de servicios en función de la carga de tráfico.

Conjunto de etiquetas

Puesto que en GMPLS, a diferencia de MPLS, las etiquetas están directamente relacionadas con los elementos y recursos físicos de la red, puede haber conflictos durante el establecimiento del LSP. Por ejemplo, un conmutador óptico puede ser capaz de conmutar la longitud de onda de un puerto de entrada a un puerto de salida, pero puede no ser capaz de modificar dicha longitud de onda, dando lugar a una situación de bloqueo. Por esta razón, GMPLS introduce el concepto de conjunto de etiquetas. El LSR del que parte el flujo de datos incluye un conjunto de etiquetas en su solicitud de establecimiento del LSP para restringir a los LSR a los que llega el flujo la selección de la etiqueta para el enlace entre ellos. El LSR al que llega el flujo, debe seleccionar una etiqueta dentro de ese conjunto o, en otro caso, denegar el establecimiento del LSP. El conjunto de etiquetas es construido incluyendo o excluyendo un número arbitrario de listas de etiquetas o rangos.

Cada LSR puede generar un nuevo conjunto de etiquetas, basándose en su equipamiento y en su posibilidad de cumplir con las especificaciones indicadas en el conjunto de etiquetas. GMPLS introduce también la posibilidad de controlar la etiqueta de forma explícita; es decir, el LSR entrante o el administrador de la red es capaz de especificar las etiquetas a utilizar en todo el trayecto óptico, en una o en las dos direcciones del flujo. Esto es útil, por ejemplo, cuando el LSR entrante trata de que se utilice la misma longitud de onda a lo largo de todo el LSP, con el fin de minimizar la distorsión de la señal óptica. Esto posibilita también el establecimiento de LSP bidireccionales simétricos utilizando el mismo intercambio de mensajes que requiere el establecimiento de LSP unidireccionales, reduciendo así el tiempo de establecimiento y la sobrecarga de señalización de este tipo de circuitos esenciales en las redes ópticas.

Agregación de enlaces

El uso de tecnologías como DWDM implica que ahora se puede tener un número muy grande de enlaces paralelos entre dos nodos adyacentes directamente; por ejemplo, cientos de longitudes de onda o miles en el caso de que existan varias fibras. Esto requiere ciertas adaptaciones al plano de control MPLS para que pueda ser utilizado en GMPLS, pues por ejemplo, el modelo tradicional de encaminamiento IP consideraría cada enlace entre dos nodos adyacentes como un camino distinto. Por otro lado, los datos que viajan a través de DWDM son totalmente transparentes y por el mismo enlace viajan múltiples paquetes de datos, por lo que no es conveniente realizar una señalización dentro de banda, mientras que la señalización en conmutación de paquetes es siempre dentro de banda. Para solventar estos problemas se ha introducido la posibilidad de que múltiples enlaces puedan ser combinados en un único enlace agrupado y de establecer enlaces no numerados, y se ha definido nuevo protocolo de señalización denominado LMP (Link Management Protocol).

La posibilidad de agregar enlaces permite establecer una jerarquía de LSP, la cual hace referencia a la posibilidad de anidar LSP dentro de otros LSP. Esto es factible porque un LSP es un enlace específico dentro de la base de datos de enlaces utilizado por OSPF. Esta jerarquía es necesaria porque en esta red tan heterogénea existen dispositivos que pueden conmutar según diferentes parámetros, teniendo siempre presente que un LSP comienza y termina en un equipo similar. Es decir, la jerarquía se basa en la capacidad de multi-canalización de los distintos tipos de LSP.

El nuevo protocolo de señalización LMP es ejecutado entre nodos adyacentes para mantener la conectividad del canal de control, verificar la conectividad física del enlace de datos, correlacionar adecuadamente la información del enlace, localizar y notificar fallos, y autenticar los mensajes recibidos. Dadas las altas capacidades que soportan las redes

ópticas, disponer de mecanismos de protección del tráfico rápido y fiable es una característica totalmente indispensable para el plano de control de estas redes.

Gestión de fallos

Los pasos fundamentales para la gestión de fallos en una conexión son la detección, la localización, la notificación y la mitigación. LMP permite la localización, notificación y mitigación de dichos fallos, ya que típicamente la detección es gestionada por el nivel físico mediante la ausencia de señal óptica o LOL (Loss Of Light) en DWDM. La localización requiere de comunicación entre nodos para determinar dónde ha ocurrido el fallo, ya que la ausencia de señal óptica se propagará a lo largo de todos los nodos que conforman ese LSP. LMP puede separar los canales de datos y de control permitiendo que cada uno de ellos pueda ser protegido y contabilizado de forma independiente. De este modo, LMP ayuda a la localización de enlaces con fallos y a la verificación de la conectividad física entre dos nodos vecinos, lo cual reduce la probabilidad de error en la provisión de servicios. Una vez localizado el fallo, el LMP activará los mecanismos de protección y restauración, activando otros LSP alternativos con el fin de solventar el problema.

GMPLS requiere también de modificaciones en los actuales protocolos de señalización y encaminamiento para adaptarlos a las peculiaridades de los sistemas ópticos. De esta forma, GMPLS añade información adicional a los protocolos IGP, tales como OSPF, para que sean capaces de proporcionar información acerca de la topología y disponibilidad de recursos ópticos de la red. Para ello, GMPLS contempla algoritmos de encaminamiento basados en restricciones que utilizan la información topológica y de recursos disponibles para calcular caminos a través de la red y realizar las conexiones ópticas. Una vez que es seleccionado un camino, GMPLS extiende los protocolos para la señalización e ingeniería del tráfico, tales como RSVP o CR-LDP, para la creación de los LSP a lo largo de la red óptica. Estos protocolos son utilizados para establecer, modificar, eliminar o recuperar la información de los LSP.

5.3.3 IP Multicasting

IP Multicast es un protocolo que permite transmitir datagramas IP multicast en redes tanto locales como de área extensa. Internet Protocol Multicast es una tecnología que permite conservar ancho de banda, que reduce el tráfico al entregar simultáneamente un stream de información a miles de puntos receptores.

Los paquetes multicast son replicados en la red por los routers permitidos, con el Protocol Independent Multicast (PIM) y otros protocolos de soporte que hacen más eficiente la entrega de datos a múltiples receptores posibles. Se requiere que el origen envíe más de una copia de datos. Incluso hay veces en que se requiere que el origen envíe una copia a cada receptor. IP Multicast es utilizado tanto en aplicaciones que requieren de poco ancho de banda como de aquellas que requieren de grandes cantidades. Las aplicaciones con que requieren un alto ancho de banda, como es el caso del MPEG video, pueden requerir una gran porción de ancho de banda disponible para un simple stream.

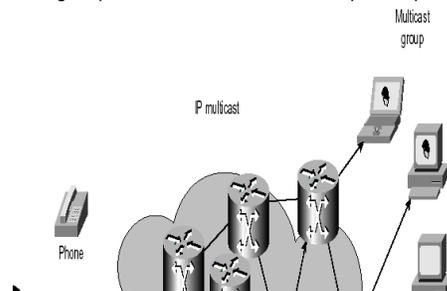


Fig. 5.26 Un dato proveniente de un punto es entregado a varios receptores interesados en él, usando IP multicast.

El envío de datagramas en IP puede ser de cuatro formas diferentes:

- **Unicast:** Un origen a un solo destino.
- **Broadcast:** Un transmisor envía datos a todos los destinos posibles. Los routers no permiten que estos datagramas salgan de la sub-red.
- **Multicast:** Una dirección multicast esta asociada a un grupo de receptores. Conforme a RFC 3171, las direcciones 224.0.0.0 a 239.255.255.255 son designadas como direcciones multicasts. Este rango fue formalmente llamado clase D. El transmisor envía un simple datagrama a las direcciones multicast, y los routers involucrados realizan copias de dicho datagrama y lo envían a todos los receptores que tiene registrados en su tabla de enrutamiento, y que estén interesados en recibir dicho datagrama.
- **Anycast:** En anycast también hay una asociación de una dirección destino a varias máquinas. La diferencia está en que se selecciona una de estas máquinas para ser la destinataria de la información. En Internet se suele implementar anycast usando BGP, anunciando el mismo rango IP desde diferentes lugares. El resultado es que los routers eligen la ruta más cercana de entre todos los anuncios que reciben y enrutan toda la información hacia el destino más cercano. Anycast se suele usar con protocolos no orientados a la conexión (como UDP en Internet), dado que los protocolos orientados a la conexión (como TCP) necesitan

mantener información del estado de la comunicación y en anycast, la máquina destino puede variar sin previo aviso.

Cuando, utilizando un servicio unicast, la misma información solicitada hacia varios destinatarios, es necesario realizar envíos unicast replicados y enviar N copias de los datos para lograr enviar a todos los destinatarios. Por el contrario, si utilizamos un servicio multicast, un nodo simple puede enviar datos a varios destinatarios con solo realizar una simple llamada en el servicio de transporte.

Sin embargo, los beneficios de multicast, son algo más que tan solo lógicos. Muchos medios de transmisión básicos (como Ethernet) dan apoyo al multicast y al broadcast como nivel de acceso al medio. Cuando un servicio multicast se implementa sobre la red de trabajo, hay una gran mejora en el funcionamiento.

Las aplicaciones distribuidas utilizan en gran medida aplicaciones multicast, ya que ofrece mayores optimizaciones que el uso de transmisiones unicast. Es decir, cierto tipo de aplicaciones necesitan un método eficiente para enviar mensajes a un grupo de nodos en cualquier parte de la red. Se trata de evitar que el origen tenga que enviar una copia del mensaje a cada destino. IP multicast permite el envío de uindatagramas a un grupo concreto de nodos. Un grupo completo de nodos se identifica por una única dirección IP (una dirección multicast). Estos grupos son dinámicos, por lo que los nodos pueden entrar y salir de un grupo en cualquier momento. Un nodo puede ser miembro de varios grupos de forma simultánea, y no existen limitaciones en el número de nodos que pueden estar en un grupo. La mayor experiencia en routing multicast ha sido "MULTICAST BACKBONE" o Mbone (Backbone de multidifusión). Utiliza el protocolo IP multicast RFC 1112 desde Marzo de 1992.

La estructura de Mbone se basa en el protocolo IP multicast junto con el uso de túneles. Así, consiste en grupos capaces de realizar multitransmisiones conectándose mediante túneles (implementados sobre la capa física de Internet). Ejemplo: Conexión de 6 grupos conectadas mediante 7 túneles.

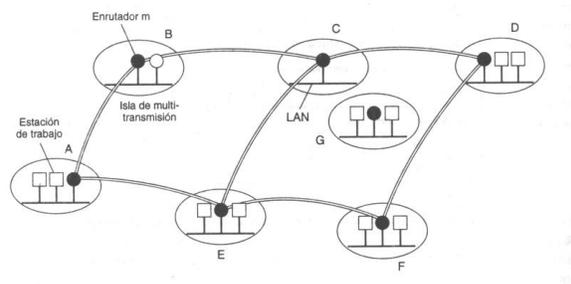


Fig. 5.27 Estructura Mbone

Cada una de las grupos posee uno o más routers especiales denominados "routers m" o mrouter. El protocolo de routing que utilizan estos routers es el "protocolo de enrutamiento multitransmisión por vector distancia o DVMRP" contemplado en el RFC 1075.

Hoy en día los paquetes multicast se empaquetan en paquetes IP ordinarios y son transmitidos punto a punto entre los routers multicast o mrouter. Una vez el mrouter recibe el paquete multicast, elimina este encapsulado y lo vuelve a encapsular adecuadamente.

Sin embargo, si todos los routers que intervienen apoyan la multitransmisión, no se necesita el proceso de túnel.

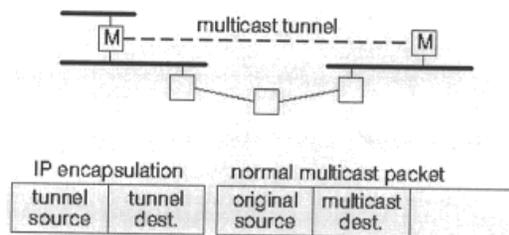


Fig. 5.28 Encapsulación IP

Las multitransmisiones se propagan utilizando el algoritmo de "reenvío por trayectoria invertida" lo cual evita que se congestione el Internet. Una multitransmisión se propaga desde el generador (fuente de video o audio) hasta su grupo local utilizando el recurso de multitransmisión del hardware. Posteriormente, este paquete lo recoge el mrouter local y este, a su vez, lo copia en todos los túneles a los que está conectado. Cuando un mrouter recibe un paquete comprueba si este ha llegado por el mejor camino (comprueba su tabla). Si no ha llegado por su ruta óptima se descarta. Además, también se utiliza el campo tiempo de vida del IP para limitar el alcance de la multitransmisión. Cada vez que pasa por un túnel, se le resta 1 a este campo.

Se han propuesto tanto mejoras (como el enrutamiento por vector distancia pero haciendo jerárquico el algoritmo) como otros algoritmos (enrutamiento por estado del enlace) que ofrecen variaciones en el algoritmo de enrutamiento.

Requisitos de Mbone:

- Unirse a un grupo de correo de Mbone.
- Realizar copias del SW que se espera utilizar.
- Asegurar que el proveedor de servicio de internet o ISP puede soportar Mbone.
- Instalar un mrouter y un túnel hasta el link Mbone más cercano.

Básicamente, el protocolo IP es un servicio de transmisión unicast y por lo tanto, provee de un servicio no seguro; esto es, no se garantiza que los datagramas lleguen a su destino cuando conectamos dos hosts simples (origen y destino). Por ello, se realizaron modificaciones a este protocolo, dando lugar al protocolo de routing multicast sobre IP.

Grupos multicast

Multicast esta basado en el concepto de grupo. Un grupo arbitrario de receptores expresa su interés por recibir un stream de datos. Estos grupos no tienen límites físicos o geográficos, los host pueden estar localizados en cualquier lugar sobre Internet.

Los host que están interesados en recibir flujo de un grupo en particular deben unirse a un grupo usando IGMP. Ya que un host debe ser miembro de un grupo para recibir un stream de datos. IP multicast permite el envío de datagramas a un grupo concreto de nodos. El grupo completo de nodos se identifica por una única dirección IP (una dirección multicast). Los grupos son dinámicos, los nodos pueden entrar y salir de un grupo en cualquier momento. Además un nodo puede ser miembro de varios grupos de forma simultánea. No hay limitaciones en el número de nodos que pueden estar dentro de un grupo.

Un nodo puede enviar a un grupo sin pertenecer a él. Los grupos pueden ser permanentes o temporales. Si son permanentes tiene dirección IP fijas asignadas, mientras que si son temporales existen sólo mientras tengan miembros. Independientemente de su naturaleza dinámica, los grupos multicast pueden ser permanentes o transitorios.

Grupo permanente: Tiene asociada una dirección IP multicast fija, independientemente del número de miembros que tenga el grupo. Se asocian a aplicaciones normalizadas. Se puede hacer uso del servicio DNS para localizar la dirección asociada a un grupo multicast permanente (dominio *mcast.net*) y lo mismo para sus resoluciones inversas (24.in-addr.arpa).

Grupo transitorio: Se crea dinámicamente (en el momento que se lanza una aplicación multidifusión), y dejará de existir cuando deje de tener miembros activos. El grupo multicast se considera siempre de receptores, no de emisores. Esto implica que el origen de un datagrama multicast no tiene por qué ser miembro del grupo al que envía dicho datagrama.

Direcciones multicast

Las direcciones multicast especifican un grupo arbitrario de IP de host que se han unido a un grupo y que quieren recibir tráfico enviado a su grupo.

Todas las direcciones multicast son de clase D. Cada dirección identifica un grupo multicast. El envío de datagramas IP multicast a otras redes lo realizan routers multicast. Pueden utilizarse routers unicast/multicast o se puede usar otros específicos.

Multicast en el nivel de enlace

En la LAN, los paquetes IP *multicast* se encapsulan en tramas *multicast*. La dirección física *multicast* se construye a partir de un patrón de 25 bits + los 23 bits de la dirección IP del datagrama.

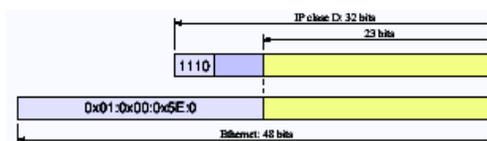


Fig. 5.29 Cabeceras a nivel enlace

En una WAN donde raramente se soporta *multicast*, el datagrama multicast se encapsula en un datagrama unicast (tunneling).

Normalmente, las tarjetas de interfaz de red (NICs) sobre un segmento de LAN recibirán sólo paquetes destinados a su dirección MAC o la dirección MAC broadcast. Algún medio tuvo que ser inventado de modo que múltiples host pudieran recibir el mismo paquete y todavía ser capaces diferenciar entre grupos de multicast.

Por suerte, los datos específicos de LAN IEEE hicieron provisiones para la transmisión de paquetes broadcast o/y multicasts. En el 802.3 estándar bit 0 del primer octeto es usado para indicar el frame broadcast y/o multicast.

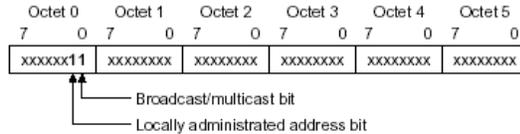


Fig. 5.30 Muestra la localización del bit broadcast/multicast en una trama Ethernet.

Este bit indica que el frame es destinado a un grupo arbitrario de host o todos los host sobre la red (en el caso de la dirección de difusión, 0xFFFF.FFFF.FFFF). IP multicast hace el empleo de esta capacidad de transmitir paquetes IP a un grupo de host sobre un segmento de LAN.

Ethernet cuenta con un servicio de envío multicast que permite alcanzar todas las máquinas que pertenecen a un grupo dentro del segmento. El envío de datagramas IP multicast sobre Ethernet requiere la conversión de la dirección IP a una dirección MAC multicast, su encapsulamiento en una trama y el envío de la misma hacia el segmento.

Todos los equipos pertenecientes al grupo multicast IP tendrán que configurar en su interface Ethernet la atención a esa dirección MAC multicast en la que se ha mapeado la dirección IP. Las direcciones MAC reservadas para multicast están comprendidas en el rango 01-00-5E-00-00-00 a 01-00-5E-7F-FF-FF (23 bits menos significativos de las direcciones MAC). La asociación entre ambas direcciones se realiza mediante un mapeo estático, solapando los 23 bits menos significativos de la dirección IP (de 32 bits) en la parte más baja de la dirección MAC 01-00-5E-00-00-00.

El mapeo sobre los 23 bits más bajos de la dirección de grupo multicast IP dentro de estos 23 bits en una dirección Ethernet.

Mapping of IP Multicast to Ethernet/FDDI MAC Address

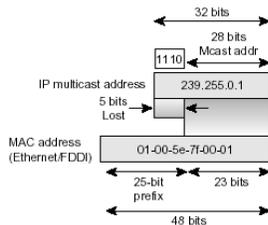


Fig. 5.31 Mapeo IP multicast

Ya que los 5 bits mas arriba de la dirección multicast IP son retirados en este mapeo, la dirección resultante no es única. De hecho, se mapean todos los 32 diferentes ID de grupos multicast para la misma dirección Ethernet.

MAC Address Ambiguities

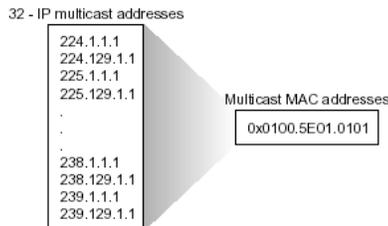


Fig. 5.32 Asociación de IP a dirección MAC

Como la dirección IP multicast tiene 28 bits variables los 5 bits más significativos de la dirección IP no quedan reflejados en la dirección MAC:

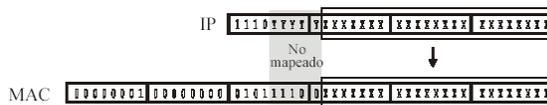


Fig. 5.33 Area no mapeada

Hasta 32 grupos multidifusión IP pueden ser mapeados en la misma dirección multicast MAC. Por ello es necesario filtrar a nivel IP los datagramas multicast que entrega el interface Ethernet, por si no corresponden con los grupos multicast IP a los que está asociado la interface IP.

Protocolo IGMP (Internet Group Management Protocol)

El Protocolo de administración del grupo Internet (IGMP) está documentado en las RFC 1112, 2236 y 3376 (versiones 1, 2 y 3). Establece un mecanismo para el intercambio y actualización de información sobre la pertenencia de los equipos de un segmento a un grupo multicast. El diálogo se desarrolla entre los equipos miembros y los *m*routers de un segmento y posibilita la conexión y desconexión de los equipos a los grupos multicast. Los equipos informan acerca de su pertenencia a un grupo, y los routers de multidifusión sondan periódicamente el estado de dichas pertenencias.

El servidor envía una única trama IP a todos los destinos que la están demandando en ese momento (únicamente a los que la demandan, no confundir con broadcast).

IGMP es un protocolo específico para la gestión de grupos multicast. Los nodos de una red local lo utilizan para notificar a los enrutadores multicast su entrada y salida de los grupos.

Funcionamiento de IGMP.

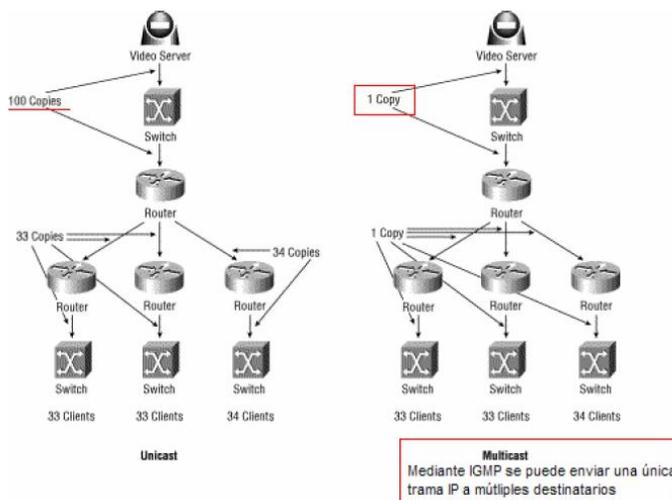


Fig. 5.34 Esquema de funcionamiento de IGMP

- Cuando una aplicación en un host se suscribe a un grupo particular, el host envía un mensaje de informe (Membership_report) con la dirección del grupo al que se ha suscrito.

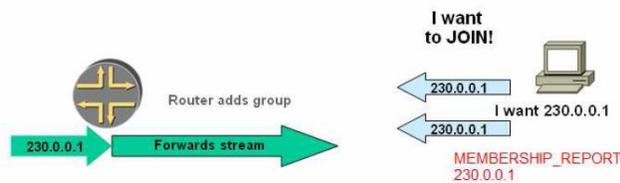


Fig. 5.35 Agregación a un grupo

- Periódicamente, los routers envían interrogaciones (Membership_query: general) al grupo 224.0.0.1 (todos los hosts). Cada ordenador responde con un informe (Membership report) por cada grupo al que pertenece, incluyendo la dirección de dicho grupo.
- Si un host observa un informe de algún otro host asociado al mismo grupo de multidifusión, no envía su propio mensaje (ahorro recursos).

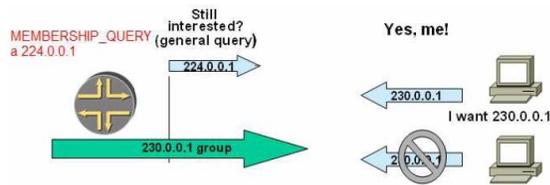


Fig. 5.36 Envío de informes de grupo

- Si después de varias interrogaciones no se recibe ningún mensaje relativo a alguno de los grupos activos de esa subred, el router elimina dicho grupo de la tabla asociada a esa interfaz.
- Existe un mecanismo para ahorro de tiempo en la gestión de los grupos. Los hosts pueden enviar mensajes de abandono (Leave_group) a los routers cuando dejan un grupo.

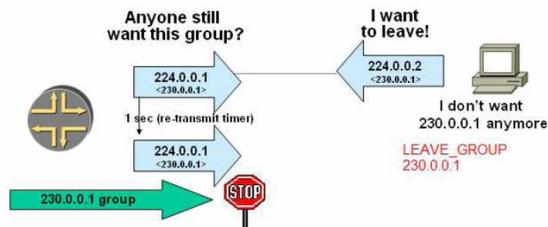


Fig. 5.37 Envío de mensajes de abandono de grupo

- IGMP no ofrece ningún mecanismo para encaminar datagramas. Por tanto, se necesita el empleo de algoritmos y protocolos de enrutamiento.

Los routers mantienen una base de datos de grupos multicast para cada uno de sus interfaces, donde se recogen las direcciones multidifusión activas (con una entrada del tipo [grupo multicast, interface]). Cuando un equipo desea conectar a un grupo envía un Informe de Pertenencia con la dirección multicast del mismo. El router que detecta ese mensaje comprueba si ya existe dicho grupo asociado al interface, y si no es así registra la nueva pertenencia. Periódicamente (cada 125 seg) el router revisará la presencia de miembros de los grupos registrados en cada interface (Consulta de Pertenencia) y si deja de recibir respuestas eliminará la anotación asociada.

En la versión 1, hay solo dos diferentes tipos de mensajes IGMP:

- Membership query
- Membership report

Un host envía reportes membresía IGMP correspondientes a un grupo multicast para indicar que ellos están interesados en unirse a ese grupo. El router periódicamente envía una pregunta membresía IGMP para verificar que uno de los últimos host sobre la subred esta todavía interesada en recibir tráfico dirigido a ese grupo.

Cuando no hay una replica de las tres consecutivas preguntas de membresía IGMP, el router interrumpe al grupo y detiene el envío de tráfico dirigido hacia ese grupo. RFC 2236 define la especificación para IGMP versión 2. Un diagrama del paquete se muestra en la siguiente figura.

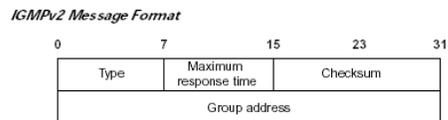


Fig. 5.38 Formato de mensaje IGMP v2

En la versión 2, hay cuatro tipos de mensajes IGMP:

- Membership query
- Version 1 membership report
- Version 2 membership report
- Salida de grupo

Tipo	Función
0x16: Informe de pertenencia de equipo (<i>membership report packet</i>)	Enviado por un equipo que se une al grupo multidifusión. También reenvía como respuesta a un mensaje de consulta del encaminador multidifusión.
0x11: Consulta de pertenencia de equipos (<i>membership query packet</i>)	Enviado periódicamente por los encaminadores para sondear la subred en busca de los miembros del grupo.
0x17: Dejar grupo (<i>leave group packet</i>)	Enviado por un equipo cuando abandona el grupo multidifusión.

Tabla 5.1 Definiciones de octetos

El Tiempo máximo de respuesta indica (en décimas de segundo) el tiempo máximo que el router esperará un mensaje IGMP de tipo Informe de pertenencia por parte de los equipos. El campo *checksum* protege el mensaje y el campo Dirección contiene la dirección multicast del grupo afectado.

En la **versión 3 de IGMP** se permite establecer filtros a los envíos: los equipos pueden limitar desde qué direcciones IP origen aceptarán datagramas multidifusión para cada grupo al que pertenecen.

Enrutamiento Multicast

Será necesario contar con encaminadores multidifusión (*m routers*) que puedan procesar estos datagramas de modo que una copia de los mismos alcance cada uno de los equipos miembro del grupo multidifusión de forma eficiente a través de rutas sin bucles. Esto se consigue mediante un árbol de entrega multicast (*multicast delivery tree*) que se construye a través de los encaminadores y que tiene por ramas todos los equipos que forman parte del grupo multicast.

Este árbol de entrega es dinámico, en función de la conexión/desconexión de los miembros del grupo. Necesidades:

- Un protocolo para determinar la pertenencia a un grupo de multidifusión (IGMP)
- Algoritmos y protocolos de encaminamiento multidifusión para construir y mantener los árboles de entrega (existen dos modelos de algoritmo y múltiples protocolos que los implementan: DVMRP, MOSPF, PIM-DM, PIM-SM). Se encargan de mantener las ramas de este árbol y podar las que ya no conducen a miembros del grupo.
- Un mecanismo para establecer el ámbito de la multidifusión, determinando el alcance de la misma.

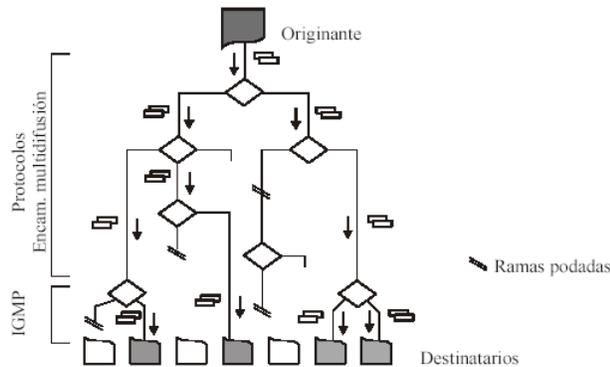


Fig. 5.39 Enrutamiento multicast

Los dos primeros requisitos los trataremos en los siguientes apartados. En cuanto al ámbito de multidifusión, puede establecerse de dos modos diferentes:

- Mediante el campo TTL del datagrama. Dependiendo de su valor, los encaminadores limitarán el reenvío del mismo:

TTL	Ámbito
0	Restringido al propio equipo. No sale a la subred.
1	Restringido a la misma subred. No será encaminado por los routers.

32	Restringido a la propia corporación.
64	Restringido a la propia región.
128	Restringido al mismo continente.
255	Ámbito global. Sin restricciones.

Tabla 5.2 Valores TTL

- Mediante la dirección IP de multidifusión empleada (el rango 224.0.0.0 – 224.0.0.255 está reservado para aplicaciones multidifusión de un solo salto, y los datagramas no serán reenviados por los *mrouters*). Las restantes direcciones de clase D se utilizan para aplicaciones sin restricciones en cuanto a ámbito, por lo que deberá utilizarse el primer mecanismo.

Implementaciones IP Multicast

Los operadores de pago-TV y algunas instituciones educativas con el alojamiento de estudiante significativo sobre campus han desplegado IP multicast para la entrega satisfactoria de streaming media tal como el video a alta velocidad para grandes grupos receptores. Adicionalmente también se tienen audio y video conferencia usando multicast. Otro uso para del multicast es la distribución de archivos, particularmente para la entrega de imágenes de sistemas operativos y para la actualización remota de hosts.

Ventajas y desventajas

- Ventajas: Se ahorra ancho de banda, Disminuye la carga de los servidores.
- Desventajas: Distribución no confiable de los paquetes. No se puede usar TCP, Duplicación de paquetes, debida a errores de enrutamiento, Congestión. Las aplicaciones multicast no pueden implementar un mecanismo de control como el de TCP.

5.4 Redes de Acceso de Banda Ancha

5.4.1 xDSL

XDSL es un grupo de tecnologías de comunicación que permiten transportar información multimedia a mayores velocidades, que las que se obtienen vía modem, simplemente utilizando las líneas telefónicas convencionales.

Puesto que la red telefónica también tiene grandes limitaciones, tales como la de que su ancho de banda tan solo llega a los 4Khz, no permite el transporte de aplicaciones que requieran mayor amplitud de banda, nace la tecnología DSL (Digital Subscriber Line), que soporta un gran ancho de banda con unos costes de inversión relativamente bajos y que trabaja sobre la red telefónica ya existente, y que convierte la línea analógica convencional en una línea digital de alta velocidad.

Son unas tecnologías de acceso punto a punto a través de la red telefónica pública (circuitos locales de cable de cobre) sin amplificadores ni repetidores de señal a lo largo de la ruta del cableado, que soportan un gran ancho de banda entre la conexión del cliente y el primer nodo de la red, que permiten un flujo de información tanto simétrico como asimétrico y de alta velocidad sobre el bucle de abonado.

XDSL es una tecnología en la que se necesita un dispositivo módem xDSL terminal en cada extremo del circuito de cobre, que acepte flujo de datos en formato digital y lo superponga a una señal analógica de alta velocidad. El factor común de todas las tecnologías xDSL es que funcionan sobre líneas de cobre simples, y aunque cada una tiene sus propias características, todas utilizan la modulación para alcanzar elevadas velocidades de transmisión.

Esta tecnología ofrece servicios de banda ancha sobre conexiones que no superen los 6 kms de distancia entre la central telefónica y el lugar de conexión del abonado; dependiendo de:

- Velocidad alcanzada
- Calidad de las líneas
- Distancia
- Calibre del cable
- Esquema de modulación utilizado.

La ventaja de las técnicas consiste en soportar varios canales sobre un único par de cables. Basándonos en esto, los operadores telefónicos proporcionan habitualmente tres canales: dos para datos (bajada y subida) y uno para voz. Los servicios envío y recepción de datos se establecen a través de un módem xDSL.

- Estos datos pasan por un dispositivo, llamado "splitter", que permite la utilización simultánea del servicio telefónico básico y del servicio xDSL.

- 2) El splitter se coloca delante de los módems del usuario y de la central; está formado por dos filtros, uno paso bajo y otro paso alto cuya finalidad es la de separar las señales transmitidas por el canal en señales de alta frecuencia (datos) y señales de baja frecuencia (Telefónicas).

Canal Downstream (de bajada)

Desde la central telefónica hasta el usuario, con el que se pueden alcanzar velocidades entre 1.544 Mbps y 6.3 Mbps. Este canal se puede presentar al usuario como uno solo, ó múltiples subcanales, siempre dependiendo de la función a realizar. Las transmisiones de recepción residen en la banda de espectro más alta.

Canal Upstream (o subida)

Desde el usuario hasta la central telefónica, con velocidades que varían entre 16 Kbps y 640 kbps. Las transmisiones de envío residen en la banda de espectro mas alta (centerarse de Khz).

Canal telefónico

Puede ser usado para el servicio tradicional telefónico (RTB) o bien para RDSI (Red Digital de Servicios Integrados). Este canal es separado de los dos anteriores mediante el uso de filtros externos, y es alimentado por la central telefónica, para mantenerlo operativo aún en el caso de una caída de tensión en la oficina o casa del abonado.

Las transmisiones de envío y recepción de voz, se realizan en la banda base, de hasta 4 KHz.

DSL	Simétrico / Asimétrico	Distancia de la línea (m)	Velocidad Descendente (Mbps)	Velocidad Ascendente (Mbps)
IDSL	Simétrico	5400	0.128	0.128
SDSL	Simétrico	3000	1.544	1.544
HDSL (2 pares)	Simétrico	3600	1.544	1.544
SHDSL	Simétrico(1 par)	1800	2.312	2.312
	Simétrico(2 pares)	1800	4.624	4.624
ADSL G.lite	Asimétrico	5400	1.5	0.512
ADSL	Asimétrico	3600	8	0.928
VDSL	Asimétrico	300	52	6
	Simétrico	300	26	26
	Asimétrico	1000	26	3
	Simétrico	1000	13	13

Tabla 5.3 Comparativa entre algunos tipos de xDSL.

a) HDSL (High Bit Rate Digital Subscriber Line)

HDSL es una nueva tecnología que permite aprovechar los pares de cobre que conforman la planta externa telefónica para la transmisión de señales digitales con velocidades de hasta 2.048 Mbps. En el desarrollo de HDSL, los expertos tuvieron que ajustarse a las características físicas y a las distancias medias empleadas en los servicios de telefonía básica 2 a 4 km.

HDSL se basa en un código de línea orientado a obtener más distancia de cable de cobre sin repetidores. Está basado en 2B1Q (dos-binario, uno cuaternario) a diferencia del ISDN básico. Al contrario de T1 que usan un par de alambre para transmitir y un par para recibir a 1.544 Mbps (half duplex), HDSL emplea dos pares de cada uno operando en modo full duplex (traslado bidireccional). Campo E1 - T1 operan a 1.544 Mbps o 2.048 Mbps full duplex.. El alcance de la transmisión depende en la medida del alambre de cobre desplegado. En la mayoría de los tendidos se utilizan alambres 24 AWG, con longitudes promedio de 3,000 pies (915 metros) a 4,200 pies (1,280 metros). El Campo T1 /E1 puede alcanzar 5 millas (8 km) con conductores 19 AWG.

También existe la posibilidad de emplear un sólo par, en cuyo caso se pueda transmitir solo 15 canales de 64 kbps. Sin embargo, las interfaces externas de la HTU-C y la HTU-R siguen siendo de 2.048 Mbps de acuerdo a las normas G3703/G.704 del ITU-T. Para soportar la atenuación y posibles disturbios que se presentan en la línea, HDSL emplea una sofisticada técnica de ecualización adaptativa. Esto quiere decir que en todo momento se tiene respuesta a la frecuencia que presenta el canal.

HDSL parte de una técnica de transmisión que amplía un ancho de banda estrecho como el del cobre para trabajar en el rango de los multimegabits. Esta tecnología implica en principio, transmitir en full dúplex por dos pares telefónicos una cantidad igual de tráfico de bits por medio de líneas privadas no condicionadas entre las cuales existen empresas como Tellabs Inc y Pair Gain Technologies Inc. que han desarrollado tecnologías, que en el caso de esta última han nombrado como Cooper-Optics que dan como resultado igualar calidad y confiabilidad de transmisión en el cobre, alcanzando valores de VER 10^{-10} , tal y como con la Fibra óptica.

HDSL, plantea la solución de la ingeniería de comunicaciones: la compensación continua de la señal, a través de considerar las condiciones existentes en el cable por donde se transmite la información. Así la técnica crea un modelo matemático del cable de cobre que permite al sistema de transmisión compensar las distorsiones originadas en el medio. La técnica hace que los 2.048 Mbps lleguen al cliente a través del dispositivo HDSL, y de ahí que la trama se divida en dos, una por cada par de cobre. Al llegar la señal al otro extremo se reensamblan las 2 señales, y se restituyen los 2.048 Mbps con la estructura de trama completa. Esto pudiera hacer a la técnica menos tolerante al ruido, sin embargo en el uso de la ecualización adaptativa se tienen resueltos dos aspectos: reducir el ancho de banda en el cobre por una parte, y compensar las señales por defectos en la transmisión.

Especificaciones:

- Formato de señalización: Full Duplex 1040kb/s, código de la línea 2B1Q (cada uno de 2 pares)
- Nivel de Transmisión Especificado: +13.5 dBm (+ / - 1 dBm)
- Retorno: 20 dB, 40 kHz a 200 kHz
- Pérdidas: 35 dB a 260 kHz @ 135 ohms
- Retardo de Transmisión: menos de 300 microsegundos.

Beneficios:

- Requiere un simple par trenzado de cobre que transmite a la misma distancia y datos que el HDSL estándar. HDSL permitiría a los proveedores de servicio de Telecomunicaciones enfrentar rápidamente el incremento de demandas para altas velocidades de servicios de transmisión en áreas donde existen pares de cobre.
- Si el servicio provee conexiones HDSL con dos pares trenzados de cobre, este puede alcanzar el doble del promedio de datos para la misma distancia de 4 Km.
- Alta Calidad de Transmisión.
- Fácil y rápida Instalación.
- Rápido Despliegue de Fiabilidad de Alta Integración.
- Evolución no traumática a Fibra.

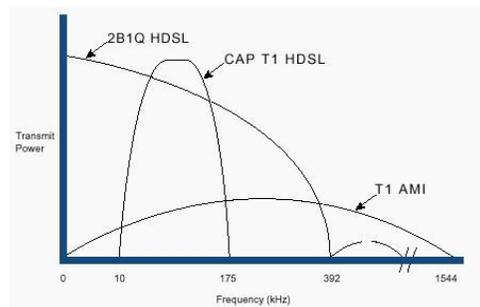


Fig. 5.40 Grafica f vs potencia de trasmisión

b) HDSL2

Este tipo de módem tiene flexibilidad que permite una amplia gama de aplicaciones y alcanza un gran objetivo de mercado que hoy es el HDSL2, además de todas las transmisiones típicas T1 y E1 tales como acceso remoto de datos, rápido acceso a la Internet para residencia o clientes de negocios, sistema de voz, o videoconferencia. Esto es debido al factor que HDSL2 está optimizado para una transmisión que prácticamente tiene una velocidad de datos desde 160 Kbps a 2,3 Mbps, y este tiene la opción de un POTS para acceso simultáneo de datos y servicio telefónico analógico. Por esto es posible usar HDSL2 en transmisiones de velocidades baja de datos. HDSL2 es un factor optimizado por este tipo de servicio y puede ser programado para transmitir en promedio adaptativa o en un modo promedio de arreglo.

Mientras el HDSL2, es decir de dos pares es usado principalmente por operadores de telecomunicaciones para transportar aplicaciones y alquiler de líneas para corporaciones grandes, ya que este módem corre sobre una simple línea. HDSL2 es un servicio simétrico, ofreciendo el mismo promedio, ofreciendo la misma transmisión de datos ambos

hacia el usuario final. En caso de la falla de transmisión en uno de los pares, el otro par continúa funcionando correctamente. El Repetidor HDSL tiene capacidades de dirección extensas que incluyen software remoto para la transmisión y localización de la falta. Por ejemplo, el sistema de dirección le permite que determine si una falta se localiza entre el LTU y el repetidor, o entre el repetidor y el NTU. Una de las principales aplicaciones de HDSL es el acceso de última milla a costo razonable a redes de transporte digital para RDI, redes satelitales y del tipo Frame Relay.

La tecnología HDSL tiene cabida en las comunicaciones de redes públicas y privadas también. Cada empresa puede tener requerimientos diferentes, orientados al uso de líneas privadas de fácil acceso y obtención para que con productos de tecnología HDSL se puedan obtener soluciones de bajo costo y alta efectividad. Entre las distintas aplicaciones de HDSL se tienen:

1) *Redes Privadas*

Las aplicaciones son variadas y van desde realizar enlaces E1 en campus para interconectar redes locales LAN a LAN en ambientes diversos, para conectar PABX s a PABX s, como extensión de enlaces digitales E1, como enlace remoto de videoconferencia, y suministrador de enlaces voz/datos digitales en general.

El Campo T1 / E1 es la primera aplicación del HDSL para las redes privadas. La tecnología ha sido usada por portadores durante algún tiempo como una manera rentable de extender líneas T1. El DSUs puede configurarse para apuntalar funcionamiento (conectando dos puentes, por ejemplo), o extender el punto T1 de terminación de servicio del portador a los predios de un cliente. Cuando se emplea como un extender, el DSU pasa a lo largo de la red señales de mando que usan parte de 8 Kbps convencionalmente reservado para T1. La unidad no altera o procesa la información a transferirse.

2) *Conexión de PABX s a PABX s*

En la parte relativa a costo una solución con HDSL representa un 25% de lo pagado por un enlace microondas. El porvenir de HDSL en la parte de redes privadas, está trazado a partir de los siguientes hechos:

- Es una tecnología emergente que no busca aterrizar sueños de conexión de alta velocidad, ya es una realidad que conecta al usuario por par físico en banda ancha.
- Es una solución simple en su implementación, para afrontar decisiones de conexión complejas, que implican soluciones de costos para los enlaces de banda ancha.
- Existen zonas de aplicación para HDSL con usuarios de redes privadas, que tienen disposición para ampliar sus anchos de banda en ellas.
- HDSL gana terreno actualmente en aplicaciones donde convive con tecnologías centralizadas, y es evidente que en los sistemas abiertos encuentren más aplicaciones potenciales, prueba de ello es su aceptación en el sector bancario, lo que prevé que HDSL se agregue como un factor multiplicador en la conectividad y expansión de las redes de voz y datos.
- Flujos digitales de 2 Mbits estructurados ó no
- Circuitos digitales alquilados a Nx64 Kbit/s (con N entre 1 y 31)

Línea digital del Abonado de Alta Velocidad, High-Speed Digital Subscriber Line (HDSL) Soporta las necesidades para un acceso flexible y de gran ancho de Banda. La explosión en la demanda por nuevos servicios es el factor definitivo en el desarrollo de tecnología de transmisión de voz y datos de hoy en día. Los usuarios requieren actualmente de servicios que necesitan gran ancho de banda, como lo son acceso a Internet, Intranets, telecommuting (acceso a servicios de oficina desde el hogar) y acceso remoto a Redes de Area Local. Afortunadamente, las nuevas tecnologías proveen soluciones de gran ancho de banda sobre la red telefónica de cobre existente, permitiendo a las compañías que poseen redes privadas de cobre, rápidamente cubrir sus demandas y requerimientos sin necesidad del recableado costoso y consumidor de tiempo. Los beneficios de este renacimiento tecnológico son inmensos. Los Proveedores de Redes de Servicios pueden ofrecer nuevos servicios de avanzada de inmediato, incrementando las ganancias y complementando la satisfacción de los usuarios. Los propietarios de redes privadas pueden ofrecer a sus usuarios los servicios expandidos que juegan un papel importante en la productividad de la compañía y los impulsa a mejorar su posición competitiva. Los costos de inversión son relativamente bajos, especialmente comparados con los costos de recableado de la planta instalada de cobre. Adicionalmente a esto, la facilidad en la instalación de los equipos xDSL permite la reducción de costos por tiempo de instalación para la puesta en marcha de los nuevos servicios.

Entre otras aplicaciones se pueden nombrar: Acceso a las Redes Troncales de Fibra, Video Conferencia, Redes de Distribución PBX una red de computadoras, Aprendizaje a distancia, Acceso Remoto de datos.

5.4.2 FTTx

Es una expresión genérica para asignar arquitecturas de redes de transmisión de alto desempeño, basada en tecnología óptica. Son redes totalmente pasivas, también asignado por PON - Passive Optical Network. De una manera generalizada, en la CO/Central Office (o Sala de Equipos) la señal es transmitida por una red óptica donde en una región próxima a los suscriptores, la señal se divide y es transmitida a las ONTs (Optical Network Terminal) - localizada en los respectivos abonados.

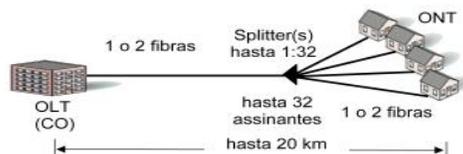


Fig. 5.41 Transmisión de señal de una sala de equipos

Una red de transmisión basada en la arquitectura PON es compuesta por los siguientes segmentos:

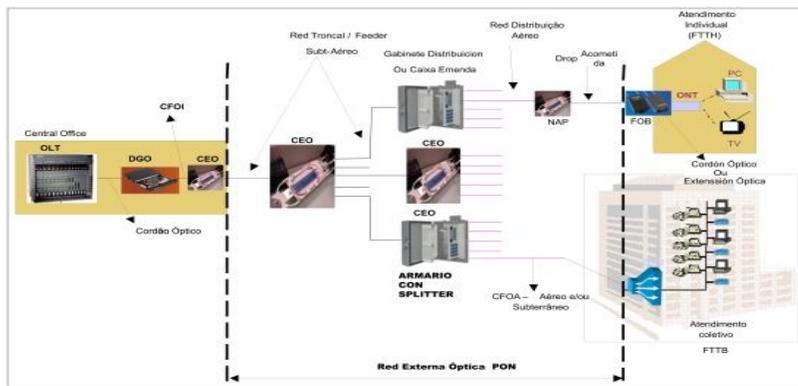


Fig. 5.42 Ejemplo de red de transmisión

Sala de Equipos/Cabecera: local donde están instalados el equipo de transmisión óptica (OLT) y el Distribuidor Óptico General (DGO) responsable por la transición entre el equipo de transmisión y los cables ópticos troncales de transmisión.

Red Óptica Troncal/Alimentador: Compuesta básicamente por cables ópticos que llevan la señal de la Sala de Equipos hasta los centros de distribución. Estos cables ópticos son indicados prioritariamente para instalación subterránea en el interior de líneas de conductos o sub-ductos y en instalaciones aéreas, devanados por mensajero. Para redes PON, las fibras ópticas utilizadas son del tipo monomodo.

Centros de distribución: Para optimizar el aprovechamiento de fibras ópticas, las redes PON normalmente se presentan en topología Estrella-Distribuida. En esta configuración, los centros de distribución hacen la división de la señal óptica en áreas más distantes de la central, disminuyendo el número de fibras ópticas para atender a estos accesos. En este local son instalados pequeños armarios ópticos de distribución asociados a divisores ópticos. En este centro de distribución es hecha la división, distribución y la gerencia de la señal óptica asociada a esta área. De forma alternada, estos armarios pueden ser cambiados por cajas de empalme asociadas a divisores ópticos para uso específico en cajas de empalme. Estos divisores ópticos son del tipo "full-spectrum" y deben tener excelente estabilidad térmica, uniformidad y bajas pérdidas de inserción. Los divisores pueden ser modulares, estándar con fibras para empalme y tipo rugged (fibras y divisor con protección reforzada) para aplicaciones en cajas de empalme externas.

Red Óptica Distribución: Compuesta por cables ópticos, llevan la señal de los centros de distribución a las áreas específicas de atención. Estos cables normalmente son auto-soportados con núcleo seco para facilitar la instalación. Asociados a estos cables, son utilizados cajas de empalme para derivación de las fibras para una distribución mejorada de la señal. Cajas de empalme también nombradas de NAP/Network Access Point, son puestos para la distribución de la señal realizando la transición de la red óptica de alimentación a la red Terminal, también conocida como red de bajada.

Red Óptica de Acometida: Compuesta por cables ópticos auto-soportados de baja cantidad de fibras. A partir de la caja de empalme Terminal - NAP, llevan la señal óptica hasta el abonado. El elemento de sustentación normalmente es utilizado para sujetar el cable de la casa / edificio del abonado. Pueden terminar en pequeños DIOs (Distribuidor Interno Óptico) para la transición del cable para cordón óptico) o en pequeños bloqueos ópticos (FOB) para la transición del cable para extensión óptica) en el interior de la casa / edificio. Debido a las grandes restricciones de espacio y utilización de conductos ya existentes, normalmente son utilizadas fibras ópticas de características especiales para evitar la pérdida de señal por curvaturas acentuadas (fibra óptica tipo bend insensitive - All Wave Flex). Fuera la opción del uso de los cables auto-soportados, existe la opción para la utilización del cable de bajada para aplicación en conducto subterráneo.

Red interna: A partir del bloqueo óptico (FOB) o distribuidor interno óptico (DIO), son utilizadas extensiones o cordones ópticos para realizar la transición de la señal óptica de la fibra al receptor interno del abonado. Por las mismas razones de restricción de espacio y utilización de conductos existentes internamente a la casa del abonado, las extensiones y cordones ópticos son hechas en fibra óptica especial tipo All Wave Flex.

Los modelos de arquitecturas principales aplicadas actualmente se definen básicamente donde es puesto en operación el ONT:

- FTTB : Fiber-To-The-Building
- FTTA : Fiber-To-The-Apartment
- FTTH : Fiber-To-The-Home

Solución FTTB : Fiber-To-The-Building

Es una arquitectura de red de transmisión óptica, donde la red de bajada termina en la entrada de un edificio (comercial o residencial). A partir de este punto Terminal, el acceso interno a los usuarios es normalmente hecho a través de una red metálica de cableado estructurado.

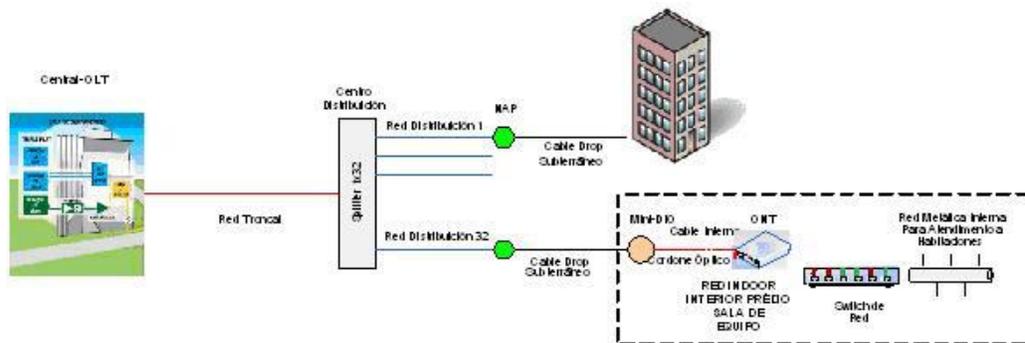


Fig. 5.43 Arquitectura de red óptica, FTTB

Solución FTTA: Fiber-2-The-Apartment

Arquitectura de red de transmisión óptica, donde la red de bajada entra el edificio (comercial o residencial) llegando a una sala de equipos. A partir de esta sala, la señal óptica puede sufrir una división de la señal a través del uso de divisores ópticos, posteriormente encaminado individualmente a cada habitación / oficina. Otras alternativas de división interna del edificio pueden ser implementadas pero siempre cada habitación / oficina será atendido por una única y exclusiva fibra óptica, el punto Terminal de acceso interno a los usuarios es llevado adentro de cada habitación / oficina.

Solución FTTH: Fiber-2-The-Home

Arquitectura de red de transmisión óptica, donde la red de bajada entra en la residencia del abonado y es suministrado por una fibra óptica exclusiva para este acceso. Normalmente entre la red de bajada y la red interna del abonado, es utilizado un mini-DIO o un bloqueo óptico (FOB) para realizar la transición de la señal óptica al interior de la residencia. Después de esta transición, la señal es debidamente suministrada a través de una extensión o cordón óptico para el receptor óptico del abonado.

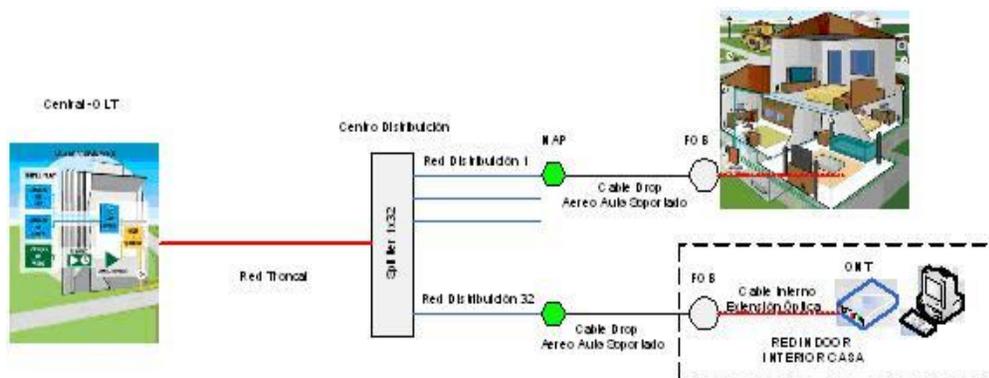


Fig. 5.44 Diagrama de conexión de fibra, FTTH

5.4.3 Ethernet Grado Carrier (10Gb/s)

Ethernet grado "carrier" (10 gbps) 802.3ae

Fast Ethernet: es un término para describir varios servicios con velocidades de 100Mbps o superiores. Tradicionalmente la velocidad más común era 10 Mbps, de ahí el término de "fast" rápido. Sin embargo las velocidades gigabit son también posibles, llamada GigE.

Ethernet sobre Cobre o EoC: es una tecnología que usa cobre como método de entrega para ethernet a negocios. Es muy efectiva en costo y no requiere fibra, pues corre sobre 5 pares de cobre. La confiabilidad es buena e incluso cuando solo queda uno de los 5 pares se sigue teniendo servicio (a baja velocidad). Actualmente la distancia máxima es de 9 mil pies desde las Oficinas Centrales de la compañía telefónica.

Ethernet over Serial (EoS): se entrega con 7 ciclos DSL y también tiene una velocidad de 10 Mbps. Es un poco más costosa que en cobre pero alcanza mayores distancias.

La simplicidad con que Ethernet se extendió en su adopción en las LAN y economías de equipos relacionados ha llevado a muchos operadores de redes públicas a tomar dicha tecnología. Sin embargo, a pesar de la exaltación de Ethernet Gigabit no es considerada como solución de clase carrier debido a que no ofrece resistencia tipo SONET, no soporta voz y solo permite a las compañías ofrecer servicios de protocolo. Como resultado, los fabricantes vienen con diferentes direcciones para expandir las capacidades de Ethernet al hacerla más flexible y permitiendo a los operadores de redes ofrecer garantías de Ancho de Banda y SLAs para soporte de tráfico sensible como voz y video, así mismo aplicaciones de misión crítica. Así Ethernet se escala a velocidades de 10Mbps a 100 y a 1Gbps.

Ethernet por sí mismo no es un protocolo de clase carrier pues no va más allá de los Estándares de Construcción de Equipos de Red (Network Equipment Building Standards-NEBS) lo que es una certificación ambiental creada bajo las compañías Bell que describen como el equipo telefónico debe implementarse bajo condiciones adversas como fuego, humedad e impacto físico. Ser de clase carrier significa que tiene atributos asociados con SONET, como la habilidad de entregar un timbre de 50 milisegundos para transportar protocolos múltiples de servicios TDM con tabla de tiempos tipo SONET y administrar todo usando el desempeño de la configuración de seguridad FCAPS, como lo dice un estándar IT. Un grupo de fabricantes forma la Alianza de Paquete Flexible de Timbres (Resilient Packet Ring Alliance) para desarrollar RPR o una solución basada en estándares que ofrece Ethernet óptico con funcionalidad de clase carrier tipo SONET, pero otros se han opuesto.

Una razón por la que Ethernet no se considera tecnología de clase carrier es por su función de árbol expandido; escoge una expansión en la red, por lo cual no completa el ciclo "ring". Toma decenas de segundos para sobrevivir a una ruptura en la red; lo que es sustancial si se esta hablando o llevando tráfico de banco, lo que podría ser T1 o DS3. Tenemos interfaces T1/E1 en la caja que son indistinguibles de SONET T1 que usa reloj de estrato, lo que es relevante pues evita perder "frames" en el circuito.

MPLS es otra tecnología que se trabaja para ofrecer redes Gigabit Ethernet. La tecnología 10Gpbs; DWDM de servicios lambda soporta voz, datos y video usando 802.1p y 802.1q, etiquetando DiffServ y MPLS; y los sistemas de soporte de operaciones para administración, aprovisionamiento y otras funciones que pueden realizarse con ATM o SONET.

Los usos de Ethernet 10Gbps de alta velocidad son en la interconexión entre switches de gran capacidad, granjas de servidores, conectividad intra campus. Permite a los Proveedores de Servicios de Internet (ISPs) y Proveedores de Servicios de Red (NSPs) crear enlaces de muy alta velocidad a muy bajo costo. Así mismo permite la construcción de MANs y WANs conectando LANs geográficamente dispersas entre campus o Puntos de Presencia (PoPs).

Ethernet compite con ATM y otras tecnologías WAN y Ethernet 10Gbps provee valor substancial sobre ATM. Entre sus ventajas están:

- No ser costosa.
- Conversión entre consumo de Ancho de Banda entre paquetes Ethernet y celdas ATM.
- Es una red fin a fin.
- Ethernet IP ofrece juntos la Calidad de Servicio y patrullero de tráfico ATM.
- Tecnologías avanzadas de tráfico están disponibles a usuarios y proveedores.
- Variedad de estándares de interfaces ópticas (longitudes de onda y distancias de enlace) especificadas por 10Gbps optimizando el costo y operación para LAN, MAN o WAN.
- Máxima distancia de enlaces, cubriendo de 300m a 40Km.
- Solo modo Full- Duplex.
 - 10GBASE-S (corta): 850nm en fibra multimodo y hasta 300m.
 - 10GBASE-L (larga): 1310nm en fibra monomodo y hasta 10 Km.
 - 10GBASE-E (extendida): 1550nm en monomodo y hasta 40Km.
 - 10GBASE-LX4: 1310nm en fibra multimodo, hasta 10Km por flujo de bits WDM en 4 longitudes de onda

5.4.4 Redes Inalámbricas de Banda Ancha (WLANs, WMANs)

Redes LAN inalámbricas de alta capacidad

Al proveer locaciones de espectro libre de licencia, la FCC esperó incrementar la competitividad de desarrollo de conocimiento de esparcimiento de espectro. En 1999 el estándar de Alta Velocidad (High Rate) llamado 802.11b fue aprobado y por tanto proveyó nuevas capacidades de tasa de datos de usuario de 11Mbps, 5.5Mbps adicionales a los 2Mbps y 1Mbps de 802.11.

En 2001 solo los modems de Secuencia Directa de Espectro Esparcido DS-SS (Direct Sequence-Spread Spectrum) estaban estandarizados para 11Mbps de 802.11. Seguido el estándar 802.11a con hasta 54Mbps de rendimiento en la banda de 5GHz. El estándar DS-SS IEEE802.11b fue llamado *Wi-Fi* por la Alianza de Compatibilidad de Ethernet Inalámbrico (*Wireless Ethernet Compatibility Alliance, WECA*). *IEEE802.11g* es desarrollado por el estándar de Código Cifrado Complementario de Multicanalización por División Ortogonal de Frecuencia (*Complementary Code Keying Orthogonal Frequency Division Multiplexing, CCK-OFDM*) tanto en la banda de 2.4GHz (802.11b) y 5Ghz (802.11a) soportando capacidades de roaming en banda dual para redes WLAN mientras soporta compatibilidad de regreso con tecnología 802.11b.

Los proponentes del Esparcimiento de Espectro por Salto de Frecuencia (*Frequency Hopping Spread Spectrum, FH-SS*) IEEE802.11 han desarrollado el estándar *HomeRF*, que soporta equipo con dicha tecnología. En 2001 HomeRF desarrolló un estándar FH-SS llamado HomeRF2.0. Ambos tipos de WLANs DS y Fh deben operar en las mismas bandas sin licencia que contienen los teléfonos inalámbricos, monitores de bebés, dispositivos Bluetooth y otros usuarios WLAN; así como fabricantes decían tener ventajas sobre el otro para la operación en tales ambientes de radio.

En Europa a mediados de los 90's el estándar de Redes de Area Local de Radio de Alto Desempeño (*High Performance Radio Local Area Networks*) HIPER-LAN fue desarrollado para proveer una capacidad similar a IEEE802.11 intentando brindar WLANs para comunicaciones de computadoras usando las bandas de frecuencias de 5.2GHz y la de 17.1GHz, dando tasas de datos asíncronas a usuarios de entre 1 a 20Mbps. Con el tiempo los mensajes fueron a tasas de 64kbps a 2.048Mbps. HIPER-LAN fue originalmente diseñado para operar hasta a velocidades de vehículos de 35km/hr y proveer 20Mbps de throughput en un rango de 50m.

En el '97 la ETSI estableció un comité de estandarización para Redes de Acceso de Banda Ancha en Radio (Broadband Radio Access Networks, BRANs) que permitió la inter-operabilidad entre usuarios cubriendo corto y largo rango. HIPERLAN brindará hasta 54Mbps de datos al usuario para la integración en la columna vertebral "backbone" en la banda de 5GHz y como IEEE802.11a soporta ATM, UMTS y redes IP operando en la banda ISM de 5.15 a 5.35GHz. Mientras tanto el Sistema de Comunicaciones de Acceso a Multimedia Móvil (Multimedia *Mobile Access Communication System, MMAC*) brinda una alta tasa de datos de 25Mbps

a) Redes tipo **WiMax** - estándar IEEE 802.16

Éste es un sistema BWA (Broadband Wireless Access – Acceso inalámbrico de banda Ancha) de alta tasa de transmisión de datos y largo alcance (hasta 50 km.), escalable y en cuya cobertura se considera la incorporación de antenas sectoriales tradicionales o antenas adaptativas con modulaciones adaptables que permiten intercambiar ancho de banda por alcance. En cuanto a la calidad de servicio, el estándar IEEE802.16 soporta calidad garantizada para audio y video, así como servicios diferenciados (E1/T1, best effort). Todo ello en una plataforma en donde el operador, y gracias a la interoperabilidad, no tiene dependencia del fabricante. De momento, este estándar, junto con el ETSI HiperMAN, son las bases del WiMAX, una tecnología que, según las previsiones, será ampliamente aceptada en el uso residencial, seguido de pequeñas y medianas empresas, mientras que, también será predominante en el aspecto portátil, si los ordenadores portátiles llegan a incluir esta tecnología. Además, si una de sus variantes, el estándar IEEE802.16e, en el que se integra la movilidad, llega a cuajar puede llegar a ser un auténtico competidor del UMTS. De todos modos, el éxito de esta tecnología también variará dependiendo de la disposición de los operadores y del área geográfica en la que se encuentre. Así, en Asia existe un alto interés y se espera un rápido crecimiento dado que la infraestructura existente es escasa y hay espectro disponible. Por su parte, en Europa, su situación es más sólida que en Estados Unidos, hay espectro disponible y se percibe el WiMax como un Wi-Fi de área extensa. Por el contrario, en Estados Unidos, donde la infraestructura existente está muy consolidada y el uso del espectro tiene bastantes limitaciones, su implantación será más difícil.

WiMAX (del inglés *Worldwide Interoperability for Microwave Access*, "Interoperabilidad Mundial para Acceso por Microondas") es un estándar de transmisión inalámbrica de datos (802.16 MAN) que proporciona accesos concurrentes en áreas de hasta 48 kilómetros de radio y a velocidades de hasta 70 Mbps, utilizando tecnología que no requiere visión directa con las estaciones base. Una red combinada de Wi-Fi e implementación WiMAX, ofrece una solución más eficiente con base a costes que una implementación exclusiva de antena direccional de Wi-Fi o una malla de Wi-Fi se conecta con *backhaul* protegido con cable para abonados que quieren extender la red de área local o cubrir la última milla.

Las redes Wi-Fi conducen la demanda para WiMAX aumentando la proliferación de acceso inalámbrico, aumentando la necesidad para soluciones del backhaul eficiente con base a costes y más rápida la última milla. WiMAX puede estar acostumbrado a agregar redes de Wi-Fi (como malla se conectan topologías y hotspots) y usuarios de Wi-Fi para el backend, mientras WiMAX le ofrece un backhaul de gran distancia y solución de última milla.

Las recomendaciones para las implementaciones:

- 802.16-2004 la aplicación se adapta en las áreas rurales.

- El intercambio de redes autorizadas de Wi-Fi trae consigo la posibilidad de un servicio inalámbrico barato para las áreas urbanas y suburbanas.
- 802.11a: En 1997 la IEEE crea el Estándar con velocidades de transmisión de 2Mbps. En 1999, aprobó ambos estándares: el 802.11a y b. En 2001 hizo su aparición en el mercado los productos del estándar 802.11a. Utiliza el mismo juego de protocolos de base que el estándar original, opera en la banda de 5 Ghz y utiliza 52 subportadoras orthogonal frequency-division multiplexing (OFDM) con una velocidad máxima de 54 Mbit/s, lo que lo hace un estándar práctico para redes inalámbricas con velocidades reales de aproximadamente 20 Mbit/s. La velocidad de datos se reduce a 48, 36, 24, 18, 12, 9 o 6 Mbit/s en caso necesario. Tiene 12 canales no solapados, 8 para red inalámbrica y 4 para conexiones punto a punto. No puede interoperar con equipos del estándar 802.11b. Dado que la banda de 2.4 Ghz tiene gran uso el utilizar la banda de 5 GHz representa una ventaja, dado que se presentan menos interferencias. También tiene sus desventajas, dado que restringe el uso de los equipos a únicamente puntos en línea de vista, con lo que se hace necesario la instalación de un mayor número de puntos de acceso.
- Transmisiones Exteriores: Valor Máximo a 30 metros 54 Mbps; Valor Mínimo a 300 metros 6 Mbps. Interiores: Valor Máximo a 12 metros 54 Mbps Valor Mínimo a 90 metros 6 Mbps.

Parametros	802.16a (WiMAX)	802.11 (WLAN)	802.15 (Bluetooth)
Bandas Frecs:	2-11GHz	2.4GHz	Varía
Rango	~31 millas	~100 metros	~10 metros
Tasa transf. Datos:	70 Mbps	11 Mbps – 55 Mbps	20Kbps – 55 Mbps
Numero Usuarios:	Miles	Docenas	Docenas

- 802.11e: Con el estándar 802.11e, la tecnología IEEE 802.11 soporta tráfico en tiempo real en todo tipo de entornos y situaciones. Las aplicaciones en tiempo real son ahora una realidad por la garantía de Calidad de Servicio (QoS) proporcionada. El objetivo del nuevo estándar 802.11e es introducir nuevos mecanismos a nivel de capa MAC para soportar los servicios que requieren garantías de Calidad de Servicio. Para cumplir con su objetivo IEEE 802.11e introduce un nuevo elemento llamado Hybrid Coordination Function (HCF) con dos tipos de acceso:(EDCA) Enhanced Distributed Channel Access y (HCCA) Controlled Access.

El IEEE 802.16 el estándar con revisiones específicas se ocupa de dos modelos de uso:

a) Fijo

802.16-2004 la aplicación se adapta en las áreas rurales. El intercambio de redes autorizadas de Wi-Fi trae consigo la posibilidad de un servicio inalámbrico barato para las áreas urbanas y suburbanas. WiMAX (802.16-2004) provee conectividad inalámbrica de banda ancha a las áreas más allá del alcance de la banda ancha tradicional (xDSL y T1) y permite el crecimiento de topología de Wi-Fi de la red de malla. Con la atención enfocada en WiMAX, es fácil de olvidarse de que Wi-Fi también evoluciona rápidamente. Los radios de Wi-Fi aparecen no sólo en computadoras portátiles y asistentes digitales personales (PDAs), sino también en equipos tan diversos como teléfonos móviles, cámaras y videoconsolas. WiMAX acceso fijo funciona desde 2.5-GHz autorizado, 3.5-GHz y 5.8-GHz exento de licencia. Esta tecnología provee una alternativa inalámbrica al módem cable y las líneas digitales de suscriptor de cualquier tipo (xDSL no).

b) Móvil

El estándar del 802.16e del IEEE es una revisión para la especificación base 802.16-2004 que apunta al mercado móvil añadiendo portabilidad y capacidad para clientes móviles con IEEE. Los adaptadores del 802.16e para conectarse directamente al WiMAX enlazan en red del estándar. Se espera que el estándar 802.16e haya sido consolidado en 2005. El estándar del 802.16e usa Acceso Múltiple por División Ortogonal de Frecuencia (OFDMA), lo cual es similar a OFDM en que divide en las subportadoras múltiples. OFDMA, sin embargo, va un paso más allá agrupando subportadoras múltiples en subcanales. Una sola estación cliente del suscriptor podría usar todos los subcanales dentro del periodo de la transmisión, o los múltiples clientes podrían transmitir simultáneamente usando cada uno una porción del número total de subcanales. El estándar 802.16-2004 del IEEE mejora la entrega de última milla en varios aspectos cruciales:

- La interferencia del multicamino.
- El retraso difundido.
- La robustez.
- La interferencia del multicamino y retraso mejora la actuación en situaciones donde no hay una línea de vista directo entre la estación base y la estación del suscriptor.
- El Control de Acceso a Medios emergente del 802.16-2004 es optimizado para enlaces de gran distancia porque es diseñado para tolerar retrasos más largos y variaciones de retraso. El 802.16 especificación acomoda mensajes de la gerencia de Control de Acceso a Medios que le permiten la estación base interrogar a los suscriptores, pero hay una cierta cantidad de retraso de tiempo. El equipo WiMAX manejando en las bandas de frecuencia exentas en la licencia usará duplicación por división de tiempo (TDD); El equipo

funcionando adentro las bandas de frecuencia autorizadas usará ya sea TDD o duplicación por división de frecuencia (FDD). El estándar del 802.16-2004 del IEEE usa a OFDM para la optimización de servicios inalámbricos de datos. Los sistemas basados en los estándares emergentes del 802.16-2004 del IEEE son el OFDM base sólo estandarizado, el área metropolitana inalámbrico enlaza en red (WMAN) plataformas.

- En caso de 802.16-2004, la señal OFDM está dividida en 256 transportadores en lugar de 64 al igual que con lo 802.11 estándar. Como previamente indicado, el mayor número de subportadoras sobre la misma banda da como resultado subportadoras más estrechas.

Características de WiMAX

- Más alta productividad a rangos más distantes (hasta 50 km).
- Mejor bits/segundo/HZ en distancias largas.
- Sistema escalable.
- Fácil adición de canales maximiza las capacidades de las células.
- Anchos de banda flexibles permiten usar espectros licenciados y exentos de licencia.
- Cobertura
- Soporte de mallas basadas en estándares y antenas inteligentes.
- Modulación adaptativa permite sacrificar ancho de banda a cambio de mayor rango de alcance.
- QoS (Quality of Service)
- Grant/Request MAC permite vídeo y voz.
- Servicios de nivel diferenciados: E1/T1 para negocios, mejor esfuerzo para uso doméstico.
- Coste y riesgo de investigación.

WiBRO: IEEE 802.16e

Lo que ocurría en la práctica es que pocos se atrevían a invertir en wimax bajo el único estándar aprobado hasta ahora, el 802.16d, que sólo sirve para aquellos terminales que están en un punto fijo.

El 7 de diciembre de 2005, el IEEE aprobó el estándar del WiMAX MÓVIL, el 802.16e, que permite utilizar este sistema de comunicaciones inalámbricas con terminales en movimiento. Muchos fabricantes de hardware y operadores estaban esperando a esta decisión para empezar a desplegar redes de wimax. Ahora ya saben qué especificaciones técnicas debe tener el hardware del wimax móvil, que es mucho más jugoso económicamente, con lo que es posible diseñar infraestructuras mixtas fijo-móviles. En Corea se ha materializado las ventajas de un WiMAX móvil trabajando en 2,3Ghz y se le ha acuñado el nombre de WiBRO (Wireless Broadband); esta iniciativa ha empezado sus despliegues comerciales en el 2006.

5.5 Subsistema de Multimedia IP (IMS)

IMS (IP Multimedia Subsystem) es una estandarización de arquitectura NGN para los servicios multimedia de Internet definida por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación (ETSI) y la 3GPP (3rd Generation Partnership Project).

De forma clara el desarrollo de los conceptos NGN e IMS, en este último marco de actuación, debería permitir pasar de un modelo de redes verticalizadas, específicas por gama de servicios, a un modelo horizontal de red unificada soporte de toda la gama de servicios multimedia imaginable. Debería permitir el desarrollo de un modelo convergente de redes y servicios en torno al cual se consoliden los modelos de negocio de los Operadores Únicos Integrados.

El por qué "NGN-IMS" pueda ser el conductor del desarrollo de la convergencia requiere un repaso también de aspectos claves:

- Se denomina IMS "IP Multimedia Subsystem", al subsistema de control, acceso y ejecución de servicios comunes y estándar para todas las aplicaciones en el modelo de arquitectura de nueva generación, capa de control de una red de nueva generación.
- IMS permite controlar de forma centralizada y deslocalizada el diálogo con las terminales de los clientes para la prestación de cualquiera de los servicios (voz, datos, vídeo) requeridos.

El modelo IMS se basa en tres ejes fundamentales que pueden asegurar su éxito:

- Uso de las tecnologías de la información, se adoptan los protocolos del mundo Internet SIP (HTTP, etc...), se integran las comunicaciones personales (voz, mensajería, etc...) con las aplicaciones IT. Se aprovecha así la mayor capacidad y flexibilidad de estos protocolos para la prestación de todo tipo de servicios multimedia y desarrollo de nuevas aplicaciones.
- Se requiere sólo conectividad IP del cliente y por tanto inherentemente supone la convergencia de accesos fijos y móviles definiéndose IMS como "agnóstico" al tipo de acceso, siempre que éste sea banda ancha.
- Movilidad generalizada, movilidad entre diferentes accesos de un mismo operador incluyendo el mantenimiento de las comunicaciones en itinerancia, la movilidad entre redes (deslocalización) y movilidad del cliente y sus aplicaciones entre diferentes terminales (móvil, PDA, PC, etc.). Se hereda además los valores de control de movilidad, localización y accesibilidad propios de las redes móviles.

Sin duda el grado de expectativa generado por "IMS" en el sector de las telecomunicaciones parece responder a la visión del cambio que en general puede suponer en la mayor parte de los mercados y operadores, visión que se soporta en una simbiosis de valores para el operador y para el cliente:

- Para el operador: el cliente está suscrito al dominio del operador que controla bajo perfiles de suscripción el acceso de éste a cualquier aplicación (SIM-Dominio-Operador) esté o no en su red. Se traslada el concepto de dominio de aplicación (ISP) al concepto de operador Telco. Se potencia así la visión del cliente de operador = servicio frente a operador = red / acceso,
- Al potenciarse esta relación el operador fortalece su posición frente a terceros (incluidos ISPs) que quieran acceder a sus clientes finales ofertando a éstos la posibilidad de acceso a clientes, y/o a las capacidades de servicios de su red.
- Para el cliente: movilidad, localización y accesibilidad garantizada, acceso a los mismos servicios siempre bajo la mejor opción de conexión (Always Best connected) en función de preferencias de usuario, coste o de ancho de banda requerido, tarificación simple y flexible que le permita control de gasto y dotando a estas comunicaciones de valores propios como QoS, seguridad, fiabilidad y alta disponibilidad de las redes Telcos.

Parece así que IMS es la pieza clave, es, debe ser, el CATALIZADOR de la convergencia. IMS no es una red, no ofrece servicios finales, es el embrión a partir del cual se definen:

- las identidades de usuario (dominio).
- los requerimientos a los diferentes tipos de acceso para su control común.
- los requerimientos a los terminales y clientes SIP para su convergencia.
- los habilitadores o capacitadores de servicios comunes a los servicios.
- el diseño de los servicios finales
- Interfaces de elementos para sistemas y herramientas técnico-comerciales



Fig. 5.45 Sistema y herramientas de Gestión, Operación, Provisión y facturación

Existen dos posibles estrategias, usando IMS, en torno al concepto de convergencia de redes, y servicios fijos y móviles que caracterizarían a un operador integrado:

- **IMS's inter operables:** mera interconexión entre las capas de control, IMS's, de dos redes que acompañada de unas metodologías de trabajo comunes/compatibles podrían maximizar las sinergias y la oferta de algunos servicios convergentes a futuro.
- **IMS único:** una infraestructura final común en torno a un único plano de control, "IMS único" existiendo unicidad tanto en usuarios como en servicios (usuario de Operador Único y Servicio del Operador Único, sin distinción de acceso). Inicialmente esta red única sería el soporte de los nuevos servicios convergentes, durante la evolución coexistirá con funciones e infraestructuras propias de las redes de partida para la sostenibilidad de los servicios actuales con enfoque de migración final hacia esta red única objetivo.

IMS único garantiza:

- La disponibilidad de todas las aplicaciones desde cualquier tipo de acceso fijo/móvil.
- Sistema de Tarificación común y flexible para todos los servicios.
- Presencia única.
- Gestión de Grupos único.
- Servicios de lista de contacto en red.
- Gestión de Usuario única.
- Gestión de los servicios única.
- Directorio Único.
- Gestión de identidad Única.
- Sistema de Identificación y autorización único. (SIM card based solution).

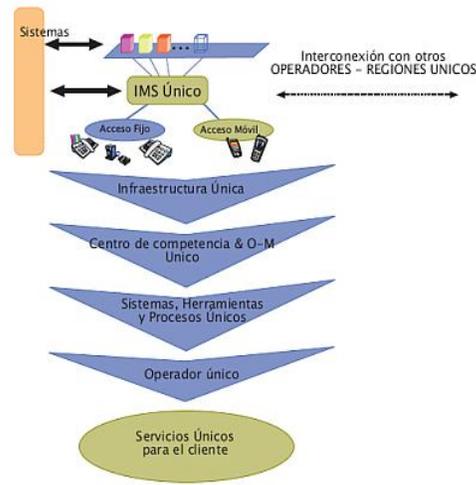


Fig. 5.46 Esquema IMS

IMS's interoperables.

No garantiza, en principio, el desarrollo de este tipo de servicios, o funcionalidades al no contemplarse en los estándares las interoperabilidades entre los habilitadores de servicio (presencia, localización, etc...) ni entre capas de servicios de dos redes basadas en IMS. Adicionalmente la experiencia ha puesto de manifiesto las dificultades en el desarrollo de soluciones e infraestructuras soporte de servicios sobre redes distintas en un marco de ausencia de estandarización. Aunque sobre ambos modelos sería posible teóricamente un conjunto de sistemas y herramientas unificado la experiencia ha puesto de manifiesto que dos redes, bases de servicios y clientes separados conducen a sistemas, herramientas, y procesos también separados. Parece que la situación anterior se maximiza cuando el punto de partida está condicionado por dos negocios consolidados y separados.

Con los argumentos anteriores sobre estos conceptos claves, NGN, IMS e IMS único, parece justificado decir que la "NGN" es efectivamente un trayecto hacia la convergencia" y que estamos ante una nueva situación apasionante de evolución tecnológica, que ha de permitir la convergencia progresiva de los servicios finales de los clientes, fijos-móviles-nómadas, de las redes, de los sistemas y herramientas y previsiblemente de los negocios. En esta situación parece también claro que cobrará especial relevancia la figura del Operador Único Integrado así como la posición del Regulador en cada mercado ante una nueva gama de servicios, fijos-móviles-nómadas multimedia que poco a poco deben ir sustituyendo a los actuales. Solo quedará por resolver el marco temporal de los acontecimientos que parece, en principio, más condicionado por las situaciones de los negocios y de la regulación en cada mercado que por las evoluciones tecnológicas.

6. IPTV & NGN

6.1 Importancia de las Redes de Próxima Generación para IPTV

La IPTV es uno de los servicios que más interés suscita en el marco del desarrollo de las redes de la próxima generación (NGN). De hecho, se considera a la vez la justificación comercial y el principal factor de la implantación intensificada de las NGN". Los tipos de tráfico que se cursan actualmente por las distintas redes de telecomunicaciones se originan en fuentes o medios de distinta naturaleza, tales como la voz, telefonía, datos, video, videoconferencias, imágenes, etc. Estos tráficos deben ser atendidos en tiempo casi real, o tiempo real dependiendo, de los requerimientos de las fuentes que las originan y el receptor en el extremo remoto, por ello las redes que transportan estas aplicaciones tienen que ser capaces de satisfacer los requerimientos de cada una de estas aplicaciones. Las soluciones utilizadas para proveer cada uno de los diferentes niveles de servicio en la red que se resumen como Calidad de Servicio o QoS (Quality of Service) las cuales serán provistas por un nuevo tipo de red denominado Red de Próxima Generación (NGN : Next Generation Network).

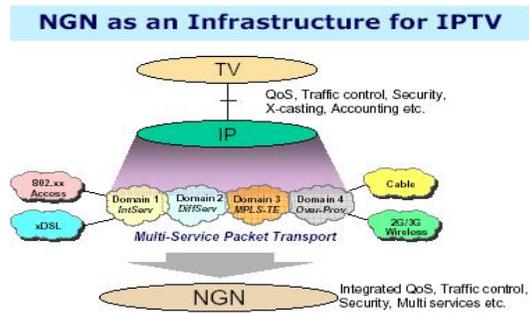


Fig. 6.1 Infraestructura NGN para IPTV

Desde un punto de vista más práctico, las Redes de Sigüiente Generación suponen tres cambios fundamentales en la arquitectura de red tradicional que han de ser evaluados de forma independiente:

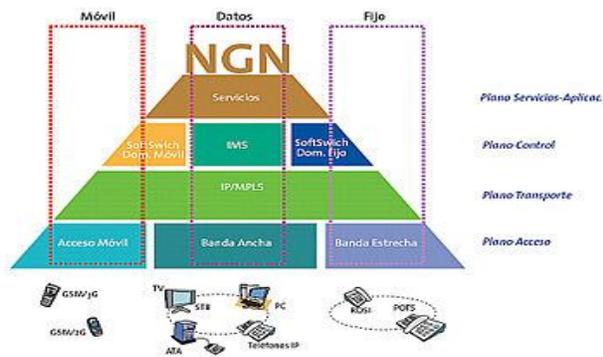


Fig. 6.2 Pirámide NGN

Automatización, digitalización, RDSI, conmutación de paquetes, integración voz y datos, IP, nueva generación de redes, IMS, convergencia... la evolución de los servicios y de las tecnologías de las telecomunicaciones ha sido habitualmente señalizada por uno o varios términos, acrónimos, que sintetizan bien en términos sociales y en el de las claves técnicas las diferentes etapas de esta evolución.

Las aproximaciones que con frecuencia se hacen de estos conceptos o de sus factores técnicos claves, tanto en su impacto social como incluso en su más pura consideración técnica son a veces dispares o al menos se mueven dentro de una gran gama de matices en sus fases iniciales. Estas aproximaciones finalmente tienden a alinearse en torno a los conceptos que poco a poco terminan decantándose desde unos 'marketing's' cada vez más agresivos.

Si hay en estos días un término que define el momento, la situación actual del entorno de las telecomunicaciones es "NGN", "la siguiente generación de redes", e "IMS", "Internet Multimedia Subsystem".

Existen distintas aproximaciones más o menos certeras, más o menos interesadas del concepto NGN. Toda la industria, todos los operadores tienen referencias, y habitualmente las mejores, en NGN.

NGN no es sino un modelo de arquitectura de redes de referencia que debe permitir desarrollar toda la gama de servicios IP multimedia de nueva generación (comunicaciones VoIP nueva generación, videocomunicación, mensajerías integradas multimedia, integración con servicios IPTV, domótica, etc...) así como la evolución, migración en términos mas o menos de sustitución o emulación de los actuales servicios de telecomunicación.

Este modelo de referencia puede sintetizarse en los siguientes puntos, los cuales están contemplados en la recomendación Y.2001:

- Arquitectura de red horizontal basada en una división diáfana de los planos de transporte, control y aplicación
- El plano de transporte estará basado en tecnología de conmutación de paquetes IP/MPLS
- Interfaces abiertos y protocolos estándares
- Migración de las redes actuales a NGN
- Definición, provisión y acceso a los servicios independiente de la tecnología de la red (Decoupling Access and Services)
- Soporte de servicios de diferente naturaleza: real time/ non real time, streaming, servicios multimedia (voz, video, texto)

- Calidad de servicios garantizada extremo a extremo
- Seguridad
- Movilidad generalizada
- Las funciones de control están separadas de las capacidades de portador, llamada/sesión, y aplicación/servicio.
- Cumplimiento de todos los requisitos reglamentarios, por ejemplo en cuanto a comunicaciones de emergencia, seguridad, privacidad, interceptación legal, etc.

En las Redes de Siguiete Generación existe una separación bien definida entre la porción de red de transporte (conectividad) y los servicios que corren por encima de esa red. Esto quiere decir que siempre que un proveedor telefónico desee habilitar un nuevo servicio, puede hacerlo fácilmente definiéndolo desde la capa de servicio directamente sin tener en cuenta la capa de transporte. Como se ha dicho, los servicios proporcionados serán independientes de la infraestructura de red. La tendencia actual es que estos servicios, se inclinen hacia la independencia de red y normalmente residan en los dispositivos de usuario (teléfono, PC, receptores TDI,...).

El mercado de proveedores de servicio está sufriendo una transición como resultado de la evolución tecnológica y las presiones competitivas. Los proveedores de servicio entienden que ellos necesitan transformar sus infraestructuras, ofertas y planes de negocios para competir efectivamente. También deben operar sus redes con un mayor costo-eficiencia para evitar eliminar la sobrecarga de redes, y muchos de ellos están ahora integrando redes y servicios sobre una infraestructura IP de próxima generación. Esta convergencia vertical y estrategia de integración son importantes para reducir la complejidad de las redes, el capital inferior y los gastos operacionales, e incluso lo más importante, permitir que las redes proporcionen nuevos servicios e ingresos de manera rápida y efectiva.

En las compañías tradicionales de cable o en los nuevos operadores de red, la mayoría de los proveedores están rediseñando sus redes para construirlas sobre IP basada en NGN. Estos proveedores han comprendido que una IP NGN es requerida para mantener la disponibilidad, la rentabilidad, así como el tremendo consumo de recursos de video, suportando al mismo tiempo servicios de voz y datos con flexibilidad y control. La IP NGN debe proporcionar algunos mecanismos para el aislamiento y separación de servicio mientras todavía proporciona la omnipresencia y flexibilidad de un fundamento IP común.

Para resolver los variados retos de entrega de video broadcast sobre una red IP, los proveedores de servicio necesitan un sistema de enrutamiento que pueda formar el fundamento de su IP NGN, y entregue lo siguiente:

- Escala para manejar niveles de tráfico terabit.
- Soporte robusto y replicación multicast escalable en hardware.
- Soporte el enrutamiento resistente de alimentación de video broadcast, con la interrupción de servicio mínima en cualquier momento a través de la red.
- Proporcionar operaciones continuas de plataformas de enrutamiento cuando los componentes del router o los procesos del software potencialmente fallan.
- Permitir la separación de servicio, para que cada servicio sea aislado y eliminar los efectos que tiene un servicio sobre otro.

Para los proveedores de servicio, la disponibilidad de ofrecer servicios de IPTV broadcast con alta disponibilidad y rentabilidad es imperativo para permanecer competitivo en una industria cada vez más poblada. Las expectativas de cliente para un servicio de IPTV de alta calidad requieren una arquitectura de red y una sistema de ruteo que pueda mantener el reto de entrega de video broadcast para millones de usuarios simultáneamente mientras también se maneje el video bajo demanda (VoD) necesario.

El grupo sobre IPTV conformado por ETSI TISPAN, ATIS IIF y la ITU-T ha empezado a trabajar sobre la IPTV y ese trabajo incluye la integración de IPTV dentro de las arquitecturas NGN. Dos aproximaciones para la integración de la IPTV dentro la NGN está siendo estudiada. Una esta basada sobre el uso de IMS y otra usa un subsistema dedicado IPTV sin IMS

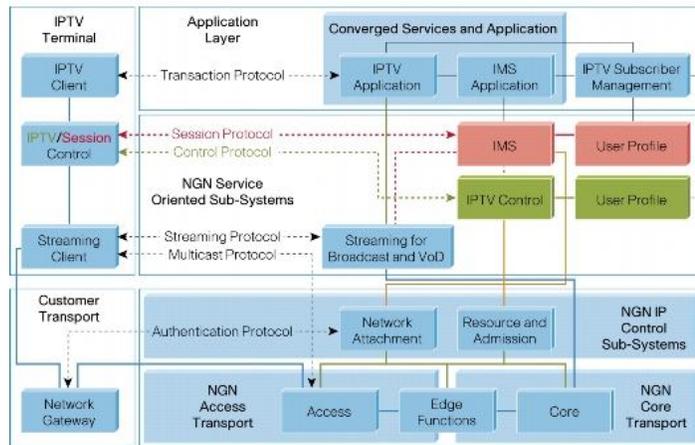


Fig. 6.3 Integración de IPTV en NGN

6.2 Modelos de Negocios

El negocio de la televisión presenta un horizonte de cambios importantes, en que el puede preverse que la IPTV, ya sea a mediano o largo plazo, reconfigurará la estructura del mercado. La revolución de la oferta *triple* en las telecomunicaciones se basa en la posibilidad de ampliar la funcionalidad del par de cobre tradicional que, si bien inicialmente sólo ofrecía comunicaciones de voz, los sucesivos desarrollos técnicos han permitido transmitir datos (primero fax y después Internet) y evolucionar hacia la banda ancha. Así pues, en la actualidad resulta posible hablar por teléfono, navegar por Internet a alta velocidad y ofrecer televisión de pago, simultáneamente a través del mismo par de cobre. Esta última posibilidad de ofrecer televisión de pago a través de la infraestructura del par de cobre que se denomina IPTV, constituye la gran novedad en la oferta comercial de las operadoras de telecomunicaciones, las cuales gracias al progreso tecnológico, y tras superar las restricciones regulatorias iniciales, están en disposición de igualar la oferta de los operadores de cable, al incorporar a su catálogo de productos la televisión de pago con servicio de vídeo bajo demanda e integran este servicio en una oferta empaquetada con otros servicios (voz e Internet banda ancha). En este sentido, existe una tendencia hacia la programación de TV personalizada y bajo demanda que podría revertir, en alguna medida, la modificación de hábitos derivada de la banda ancha en cuanto a la reducción del tiempo dedicado a ver televisión (en un 56% de los hogares). El servicio de IPTV llega a albergar una gran capacidad en número de canales de y permite acceder de forma inmediata a cualquier contenido, ya sea de difusión actual o almacenada, películas, o Premium.

Evidentemente, el éxito de la oferta comercial de los operadores de telecomunicaciones para ofrecer IPTV depende en gran parte de la apuesta previa que hicieron por la banda ancha, la cual constituye la auténtica palanca de crecimiento de los operadores de telecomunicaciones fijas y, en un futuro, abrirá nuevas oportunidades de negocio, en especial, en el mercado de gran consumo.

Desde el punto de vista técnico, esto ha sido posible gracias a novedosas formas de gestionar la transmisión y codificación de la información en el par de cobre, utilizando frecuencias libres no utilizadas para transmitir la voz. Se trata de las tecnologías de la familia DSL que están generalizando el uso de la banda ancha en hogares y empresas. Hoy en día los clientes de ADSL superan a los de cable-módem en casi todo el mundo, a excepción de EE.UU. y Chile. En Europa el porcentaje de líneas ADSL sobre el total de accesos de banda ancha en Europa ha tenido un crecimiento continuo.

En efecto, DSL hace realidad una vieja aspiración de las redes de telecomunicación: la entrega de vídeo. Así pues, los últimos avances en televisión, junto con unas infraestructuras de telecomunicaciones más potentes, van a configurar una propuesta de valor capaz de ir más allá de la *triple oferta* con servicios de mayor valor añadido, tales como televisión de alta definición (HDTV), juegos en línea, videollamadas, videovigilancia, domótica, etc.

El entorno actual de las telecomunicaciones fijas

El sector de las telecomunicaciones lleva tiempo afrontando un cambio estructural dinamizado, fundamentalmente, por cuatro factores. En primer lugar, los cambios en la demanda de los clientes que solicitan soluciones de comunicaciones digitales más óptimas y personalizadas, a la vez que disponen de más alternativas. En segundo lugar, un entorno

competitivo más intenso, con participantes, tanto globales como de locales, que parcialmente han consolidado infraestructuras propias, y presionan los márgenes a la baja a través de políticas comerciales agresivas, acelerando la madurez del mercado de voz tradicional y, por tanto, erosionando su valor como producto. En tercer lugar, la innovación tecnológica que, además de optimizar y abaratar las operaciones gracias a los nuevos sistemas de gestión, está impulsando la convergencia entre los negocios de telecomunicaciones, informática y media, con un claro impacto en la cadena de valor que se amplía y fragmenta con la participación de nuevos agentes (fabricantes de dispositivos, productores de contenidos, etc.). Toda esta transformación se produce en un entorno de negocio cuyos parámetros económicos también cambian, donde los mercados financieros exigen una mayor racionalización de las inversiones y gastos, un modelo de negocio más flexible (con un ratio costes fijos/costes variables más bajo), centrado en los resultados a corto plazo, sin descuidar la generación de caja y el crecimiento rentable sostenible a medio plazo.

Por tanto, los operadores tradicionales se enfrentan a un sector en el que, de un lado, las reglas del juego han cambiado; y de otro, existen nuevas oportunidades en servicios y aplicaciones para el hogar y la empresa digital a través de la generalización de soluciones de banda ancha, pero al mismo tiempo con desafíos crecientes, entre otros, la falta de estímulo para el uso de Internet que todavía se observa en amplios sectores de la población que no están convencidos de la utilidad de estas tecnologías y servicios novedosos.

En cualquier caso, los expertos de la industria señalan que el porcentaje de renta disponible destinado por parte de las familias y empresas a estas nuevas necesidades va a crecer; y en este sentido, existe una oportunidad de crecimiento extrayendo el máximo valor de la banda ancha, de forma que se superen los lógicos efectos de la madurez del mercado de la telefonía tradicional. Abordar con éxito este panorama conlleva un mayor énfasis en la actividad comercial, en la innovación no sólo tecnológica sino también comercial y de procesos, y en la flexibilidad y excelencia de las operaciones, que no todos los operadores han resuelto acertadamente.

Triple play: pieza clave para acceder a las oportunidades de la era digital

La oportunidad que ofrece el *triple play* para el operador dependerá de las condiciones de cada mercado. Así, en los mercados menos desarrollados, con escasa presencia de la banda ancha y de la televisión de pago, la oferta de IPTV puede ser el catalizador de esta última. El dinamismo actual del mercado apunta a que, al igual que ha ocurrido con la telefonía móvil, Europa lidere el arranque de la IPTV. Los mercados europeos cuentan con penetraciones variadas pero relevantes de banda ancha, por lo que la oportunidad dependerá, principalmente, de la madurez de la oferta previa de televisión de pago y de la penetración relativa de su servicio DSL.

La oferta triple implica a corto plazo un componente defensivo en aquellos mercados donde el cable resulta dominante (por ejemplo, los operadores de telecomunicaciones de EE.UU. han llegado a ofertar TV en asociación con plataformas digitales de satélite).

La oferta triple de los operadores de telecomunicaciones presenta ciertas ventajas distintivas como producto de captación; no sólo se puede implementar en mercados ya existentes, como el de la TV de pago, sino que se pueden transformar y crear otros nuevos. Lo que distingue a las tecnologías basadas en Internet, como es IPTV, es la capacidad de personalización y la interactividad, pues su orientación es *punto a punto*, al contrario que las redes de cable, optimizadas, en principio, para difundir gran cantidad de contenidos comunes. Así pues, hay una interesante capacidad de diferenciación y aumento de la factura por servicios como el vídeo bajo demanda y el almacenamiento en red, con expectativas de crecimiento interesantes. Existen, asimismo, expectativas de diversificar y ampliar ingresos en torno a un modelo renovado de publicidad que se soporta sobre las posibilidades propias de la IPTV: interactividad, contextualización del mensaje publicitario y mejor conocimiento de los clientes.

El objetivo final y la auténtica oportunidad es posicionarse como el agregado de servicios digitales de referencia en el mercado de gran consumo. Mientras el *triple play* se convierte en la estrategia por defecto, se crea la percepción de que lo natural es que una conexión de banda ancha incorpore servicios de TV, como los nuevos modelos de móvil incorporan la cámara. De esta manera, la banda ancha no es sólo un producto sino, el vehículo natural de todo un catálogo de nuevas prestaciones digitales en los hogares.

La cadena de valor de la IPTV: tecnología, competencia e impacto en el modelo de negocio

Para los operadores de telecomunicaciones, las decisiones actuales sobre el despliegue del *triple play* tienen que ver, principalmente, con el despliegue del componente TV del negocio, que es el elemento que falta a aquellos que han sabido transformarse en operadores exitosos de banda ancha.

Intentar poner en práctica el potencial de personalización e interactividad de la IPTV puede otorgar la ventaja del que *da primero* pero, al mismo tiempo, pone de manifiesto la desventaja de que si no se atienden las expectativas del mercado ni se implantan operaciones eficientes y de calidad, se habrá soportado la educación del cliente, resentido la imagen y los resultados, y marcado el camino al resto de la industria. Acertar implica tomar decisiones tecnológicas, comerciales y de inversión en cada eslabón de una nueva cadena de valor, en un entorno complejo de intercambios y competencia.

Todo parece apuntar a que las redes de telecomunicaciones fijas van a registrar una profunda transformación en torno a la tecnología IP con una nueva topología de red, donde la entrega de IPTV es uno de sus principales *drivers*. La nueva arquitectura comprende la adquisición y tratamiento de los contenidos de vídeo, su transporte hasta la central o nodo más cercano al cliente, el acceso hasta el hogar, y el dispositivo-interfaz que se coloca en el domicilio (conocido como *set top box* o STB) y se conecta a los equipos del cliente.

Esta evolución de las redes de telecomunicaciones fijas no está exenta de decisiones de inversión significativas, dado el riesgo-oportunidad que presentan; decisiones que afectan a varios componentes de la *cadena de producción* (gráfico 5), donde el STB puede constituirse en un habilitador o, por el contrario, en un lastre para el desarrollo de la oferta digital. La

cadena fluye desde la recepción de los contenidos para su digitalización, formateo, compresión y empaquetamiento, hasta el consumo que de él hace el cliente; pero las decisiones tecnológicas se condicionan en sentido inverso. El primer elemento a tratar es el STB, cuya importancia, siguiendo con la analogía del ajedrez, sería comparable a la del centro del tablero desde donde se reparte el juego. El espacio que ocupa el STB es la llave del hogar digital y se podría definir como un entorno unificado de red que permite controlar y compartir todos los recursos domésticos de entretenimiento, comunicaciones y aplicaciones. Por tanto, el STB tiene vocación de asociar y conectar con el exterior los elementos de estos distintos ecosistemas, que comprenden actividades tan variadas y dinámicas como TV, juegos, domótica, seguridad del hogar, comunicaciones de voz, telemedicina, teletrabajo, música, almacenamiento, comercio electrónico, etcétera.

Ante esta oportunidad, los operadores fijos tienen la ventaja de la mayor escala relativa, representada entre otros aspectos por su gran base de clientes activos, lo que les da la opción de obtener antes la masa crítica necesaria para cuadrar las cuentas. Al propio tiempo, están bien posicionados para atender la creciente demanda de soporte y sencillez en la provisión de los nuevos servicios.



Fig. 6.4 Producción IPTV

No obstante, las características idóneas de los nuevos dispositivos para el hogar están lejos de ser definitivas, lo que implica los riesgos inherentes a las gravosas inversiones de actualización hogar a hogar por obsolescencia o cambio de estándares y requisitos. En cualquier caso, es obvio para los operadores que las decisiones técnicas deberán, al menos, inicialmente equiparar la calidad de vídeo y sencillez de los servicios ya presentes, ser capaces de sostener una demanda creciente de calidad y canales de vídeo, así como abrir la puerta a los servicios de personalización e interactividad distintivos de la IPTV y, en cierta medida, a los propios del hogar digital.

Pero, además del STB, hay que abordar la evolución de la red de acceso a los clientes que está condicionada por esta demanda y, por tanto, son previsibles las mejoras en el caudal mediante actualizaciones de la tecnología DSL.

Si las expectativas asociadas a los nuevos servicios y a la televisión de alta definición se hacen realidad, puede que las versiones mejoradas de DSL tengan que ser superadas. La evolución previsible podrá ser el despliegue de fibra óptica de las centrales hasta los hogares, sustituyendo gradualmente al binomio cobre-DSL y marcando distancias frente a cualquier plataforma alternativa.

Adicionalmente, el transporte de las señales se puede convertir en otra ventaja competitiva y un reto planificado para las redes multiservicio de los operadores que evolucionan hacia redes de nueva generación. En el tratamiento inicial de las señales es donde volvemos a encontrar los retos técnicos que encontrábamos en el STB, asociados, entre otros aspectos, a la idoneidad futura de los mecanismos de compresión, gestión de derechos y seguridad, que se implanten con mayor complejidad pero menor repercusión económica relativa para operadores de cierta escala.

Finalmente, hay que destacar los propios contenidos, la materia prima que supone la paulatina incorporación en las operadoras de telecomunicaciones de atributos de las compañías de medios y entretenimiento, más allá de los modelos y acuerdos de gestión de contenidos que se establezcan. Se puede hablar de un nuevo ADN evolucionado que, a las habilidades tradicionales de despliegue y gestión de redes intensivas en capital, deberá añadir la exploración de oportunidades y la intensa colaboración con nuevos perfiles de empresas: proveedores de contenidos, anunciantes, fabricantes de dispositivos de electrónica de consumo, etcétera.

En principio, IPTV, al menos a corto plazo, es un canal más de distribución para los servicios de los proveedores de contenidos. Además, la percepción actual es que la proposición principal de un operador es la banda ancha, y ésta es la puerta principal para empaquetar como extra la IPTV. Por todo ello, el modelo de mera distribución, con compartición de ingresos, es el mayoritario. Éste incorpora como ventajas la rápida implantación y costes variables, además de prevenir posibles presiones regulatorias para liberar contenidos Premium.

Es la tensión del coste actual de los contenidos la que reduce los márgenes y condiciona el resto de la cadena, y es otro factor, junto con las infraestructuras, que favorece a aquellos con economías de escala. También es un impulso hacia alianzas más intensas con proveedores y hacia formas alternativas de diferenciación, que se apoyen en la innovación sobre el potencial de las nuevas tecnologías. Porque conviene insistir en que los operadores de telecomunicaciones tienen una gran oportunidad por delante si saben desarrollar la innovación tecnológica que premie la personalización y la interactividad de sus servicios digitales, pero que en paralelo traslade una innovación comercial que evidencie la necesaria flexibilidad en los paquetes de servicios y en los esquemas de precios adaptados a diferentes tipos de clientes. Al final, de la innovación dependerá una parte importante de la capacidad de los operadores para ir más allá del *triple play* con un posicionamiento de oferta que aglutine todas las posibilidades que vaya ofreciendo la banda ancha.

El *triple play* es un concepto abierto en el que se están depositando muchos esfuerzos por agentes muy variados. Su futuro, como siempre, es difícil de predecir, salvo en una cosa: los hogares saldrán ganando y los operadores de telecomunicaciones tendrán mucho que ver con ello. □

6.3 Aparatos Terminales para Usuarios de IPTV

Servicios de entrega de contenido de IPTV

Broadcast. Por servicios *broadcast* se entiende la difusión de contenidos de forma común para todos los usuarios, es decir, los clásicos canales de televisión. En IPTV la transmisión de estos canales se realiza a través de canales *multicast* (multidifusión) que garantizan un uso óptimo de la red del operador en función de los consumos del usuario.

PPV (Pay per View): Al igual que en los entornos de televisión más tradicionales, el PPV permite ofrecer contenidos audiovisuales bajo pago. La diferencia entre el PPV tradicional y el PPV en entornos IPTV es su aplicación. Si bien, en los primeros se aplica a todo tipo de contenidos, en el caso de IPTV su uso suele limitarse o bien a canales completos o bien a eventos en vivo. Con la aparición del servicio de VoD, la oferta de películas en PPV pierde todo su sentido.

VoD: VoD responde a las siglas de Video On Demand (video bajo demanda) y es la punta de lanza de los entornos de IPTV y su gran ventaja frente al resto de entornos de televisión (realmente los entornos de cable han sido capaces de adaptar sus infraestructuras para proveer este producto). Es un sistema de televisión que permite al usuario el acceso a contenidos multimedia de forma personalizada. El usuario puede elegir en cualquier momento el programa que desea ver, sin depender de un horario fijo de programación; del mismo modo puede detener el programa y reanudarlo a voluntad. El usuario puede disponer de una oferta de programas para visualizar o realizar un pago por ciertos programas como en los sistemas de pago por visión. La reproducción es enviada desde los servidores del proveedor al usuario de forma individual, de modo que este puede pausar, rebobinar o avanzar la reproducción a su voluntad. Como una consecuencia, el ancho de banda usado por cada subscriber (2 Mb/s por definición estándar y 10 Mb/s por alta definición en MPEG-4) es dedicado y no puede ser usado por ningún otro subscriber. En el transporte de video sobre demanda en la forma de un flujo de video debe usarse ancho de banda dedicado por subscriber, del VHO (video head end) al VSO donde el subscriber este localizado. Por ejemplo, en una determinada área con 50, 000 televidentes suscribiéndose a una película con definición estándar cada uno en una ventana de tiempo de dos horas, un sábado en la noche, genera 100 Gb/s de trafico que proviene del VHO, atraviesa la red, y llega a cada uno de los VSO.

El primer sistema de video bajo demanda comercial fue puesto en marcha en Hong Kong, durante 1990. La tecnología no estaba madura. Ahora hay servicios de cable que permiten esta incipiente tecnología, aunque no se ha consolidado porque supone un cambio estructural muy importante en la actual industria del ocio.

Contenido IPTV

Los proveedores de contenidos de IPTV trabajan con paquetes de servicios asociados, dando prioridad al contenido disponible al suscriptor.

El contenido es uno de los factores más importantes para la buena calidad de los canales de IPTV ya que el suscriptor busca la diversidad e interactividad, lo que diferencia el IPTV de la TV por suscripción.

El gran reto de los proveedores de contenidos es crear una protección contra la piratería, ya que el suscriptor tiene la posibilidad de programar los contenidos, horarios de exhibición y hasta incluso grabar utilizando el Set top box.

Hoy los proveedores de contenidos buscan sociedades con los grandes productores de cine y TV, principalmente los de EE.UU, India y China. Investigación divulgada por la consultoría estadounidense IDC demuestra datos relevantes para el segmento emergente de contenido en América Latina. El IPTV, es decir, la TV por la red de las concesionarias, despegará solamente mediante la efectiva negociación entre operadores y desarrolladores de un paquete conjunto de servicios.

El IPTV ofrece una buena oportunidad de venta a los proveedores de servicio, a pesar de que la tecnología requiere altas inversiones y capacidad de navegación en el mundo complejo del contenido. Además la infraestructura IPTV entrega a los proveedores de servicios una plataforma adicional para la generación de contenido y creación de comunidades en línea.

Adquisición de Contenido

El contenido se puede obtener a través de Internet de algún proveedor de contenidos o de un distribuidor de señales de televisión. Se utilizan unos dispositivos llamados codificadores para digitalizar y comprimir el video analógico obtenido. Este dispositivo llamado codec, habilita la compresión de video digital habitualmente sin pérdidas. La elección del codec tiene mucha importancia, porque determina la calidad del video final, la tasa de bits que se enviarán, la robustez ante las pérdidas de datos y errores, el retraso por transmisión, etc.

Servicios Interactivos

Si bien los servicios interactivos no son exclusivos del mundo IPTV es aquí donde adquieren su mayor potencial. El hecho de poder contar con un canal de retorno de banda ancha basado en IP permite un amplio espectro de posibilidades en cuanto al despliegue de servicios y su integración con otros ya existentes basados en la misma tecnología.

Triple Play: Triple Play es la expresión comúnmente utilizada por los operadores para referirse al paquete de servicios de televisión, telefonía y datos. Es el entorno en el que está entrando de lleno IPTV, aunque en este último año está incorporándose el servicio de telefonía móvil para conformar un nuevo paquete: *cuádruple-play*.

Formatos de Video Empleados

Los formatos empleados por IPTV más usualmente son:

- H.261: Se utilizó para videoconferencia y video telefonía y sirve como base para otros.
- MPEG-1: Logra calidad similar a VHS y además es compatible con todos los ordenadores y casi todos los DVD.
- MPEG-2: Es el usado en los DVD y permite imagen a pantalla completa con buena calidad.
- H.263: Permite bajas tasas con una calidad aceptable. Usado en especial para videoconferencia y videotelefonía.
- MPEG-4 parte 2: Calidad mejorada respecto a MPEG-2
- MPEG-4 parte 10: También llamado H264. Es el más usado actualmente por una gran variedad de aplicaciones.
- WMV: Se utiliza tanto para video de poca calidad a través de internet con conexiones lentas, como para video de alta definición. Mientras que MPEG-4 está respaldado por JVT* el formato WMV es un formato de compresión de video propietario de Microsoft.

* (JVT)Joint Video Team es la unión de ITU-T Video Coding Experts Group (VCEG) y de ISO/IEC Moving Picture Experts Group (MPEG).

Equipo de Distribución de IPTV

Es el hardware o productos físicos que enrutan, swichean o guardan temporalmente y distribuyen señales de IPTV entre la cabecera final y el equipo de usuario como una caja encima. La distribución incluye IPTV DSLAM (con IGMP y capacidad de flujo múltiple IP), servidores de distribución de video, ruteadores de IPTV y y switches de video.

a) Sistemas de Acceso Condicional

Son sistemas, equipos y procesos usados para permitir el acceso, selección y transferencia de servicios y medios a usuarios y dispositivos autorizados. Ellos pueden acceder al control y el despliegue del equipo, permitiendo al usuario ver y seleccionar, transferir o ver multimedia. IGMP, SIP.

b) Equipo de pruebas de IPTV

Dispositivos de medición y verificación de un producto o sistema en particular para determinar si cumple con los requerimientos específicos o si es capaz de desarrollar funciones o acciones específicas (equipo de pruebas de laboratorio y de campo).

c) Cabecera final IPTV

Es la parte de un sistema de TV sobre IP que selecciona y procesa señales de video para distribución en una red de IP. Una variedad de equipo puede ser incluido como platos satelitales para recibir señales, decodificadores de contenidos y codificadores, servidores y gateways multimedia.

Set top box

Las empresas que trabajan en el desarrollo de tecnologías IPTV crearon el Set top box que es una caja de conversión que permite que el contenido de TV transmitido en Internet, en formato digital, pueda ser exhibido en una TV convencional (analógica).

Set top box Multiplay

El set top box Multiplay presenta las siguientes ventajas:

- TV digitalizada
- Chat TV
- Web TV
- Video Conferencia
- Revista Interactiva
- T-commerce (compras por la TV)

Gateways Multimedia

El tradicional mercado de las telecomunicaciones es continuamente retado para ofrecer nuevos servicios y aplicaciones con la finalidad de incrementar los ingresos. Los proveedores de servicios innovadores están empezando a ofrecer aplicaciones multimedia avanzadas tales como video, mensajes multimedia, juegos en demanda que toman ventaja de la convergencia tecnológica en voz, video, datos y redes inalámbricas.

Por ejemplo, los medios de comunicación que procesan el equipo que es equipado con el vídeo transrating y módulos transcoding podrían ser desplegados en una configuración mínima, y aumentados más tarde. Muchos proveedores de equipamiento de red están empezando a cambiar los recursos del diseño del hardware con la finalidad de enfocarse en los valores agregados a los servicios multimedia.

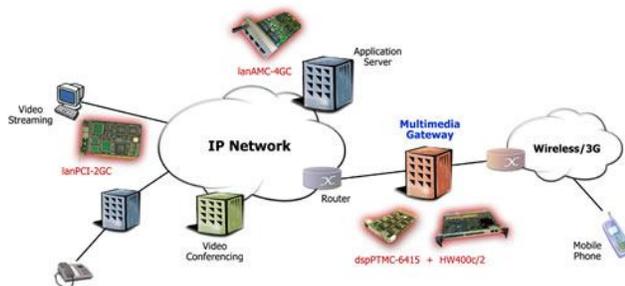


Fig. 6.5 Red IP

Servidores

Los servidores realizan varias acciones como son:

- Almacenamiento y respaldo de los contenidos
- Gestión del video bajo demanda
- Streaming de alta velocidad

Se tratan de servidores IP basados en los sistemas operativos que permiten enviar distintos flujos de video a la vez. La red de transporte ha de ser de alta capacidad para permitir el flujo bidireccional de datos, controlar los datos de sesiones, la facturación de los clientes, etc. Lo más importante es la alta capacidad de transferencia para poder ofrecer buena calidad a los clientes. En la red del proveedor del servicio se usan estándares como Gigabit Ethernet. La red de acceso es el punto donde termina la red del proveedor y comienza el equipo del usuario. En esta interfaz hay un dispositivo encargado de decodificar la información para poder verla en un televisor convencional. El software se encarga de proporcionar al usuario los servicios a través de un sistema de menús en la pantalla de su televisor. Permite la interacción entre el cliente y el sistema.

Los servidores realizan diversas funciones, entre ellas el almacenamiento y respaldo de los contenidos, la administración del video bajo demanda, del video streaming de alta velocidad y licencias DRM (Digital Rights Management). Este último es un servidor de licencias que administra los permisos para desbloquear contenidos, autoriza y reporta transacciones y remite el video a los usuarios autorizados. El servidor DRM codifica el contenido y lo encapsula en un contenedor para evitar su uso no autorizado, además, proporciona información de facturación para pagos por derecho de autor. Los sistemas streaming requieren más capacidad de proceso del servidor y también requieren mayor ancho de banda de la red.

Esta capa está totalmente basada en plataformas de servidores IP con sistemas operativos tipo Windows o Linux, capaces de entregar múltiples flujos de video de manera simultánea. El video bajo demanda se puede almacenar en servidores locales para ofrecer contenido a una porción específica de la red. Finalmente se emplea el balanceo de cargas para evitar la saturación mediante la distribución de la demanda de video entre servidores y controlar las sesiones de descarga del mismo.

Es importante notar que, a diferencia de un sistema de televisión por cable, en los sistemas IPTV no hace la combinación de señales porque el contenido se envía de manera independiente a cada usuario, a través de flujos individuales de video. El equipo está totalmente basado en plataformas de servidores con sistemas operativos estándar y no tiene lugar el sistema de acceso condicional, porque la autenticación se hace a través de los servidores DRM.

d) Video Móvil

Transferencia de señales que llevan información de fotografías en movimiento a dispositivos móviles. El video móvil es comúnmente asociado con la aportación de señales de video a teléfonos móviles.

Banda Ancha Inalámbrica (DVB-H, WiMax)

La tecnología inalámbrica de banda ancha revolucionará la vida de los usuarios permitiendo conectarse directamente con las personas y la información relevantes mediante una conexión a alta velocidad desde cualquier parte. Intel cree

que las tecnologías inalámbricas como 3G, Wi-Fi, WiMAX y UWB coexistirán funcionando de forma sinérgica para cubrir las necesidades de los usuarios. Es probable que ninguna de las tecnologías inalámbricas de banda ancha llegue a dominar ni a estar omnipresente.

Administración de Red IPTV

Es el proceso de configuración de equipo en la red que proveen los servicios de IPTV; incluyen la configuración o aprovisionamiento de servicios, mantenimiento del sistema y procesos de diagnóstico y reparación desde un servidor y software de administración de redes.

Comparación de IPTV con Internet TV

La IPTV no es televisión que se emite a través de la Internet. La IPTV es generalmente financiada y respaldada por grandes proveedores de telecomunicaciones que han asumido la misión de crear un producto competitivo para reemplazar al cable digital y a los servicios satelitales. Más allá de ver a la televisión de Internet como una plataforma ideal para la comercialización y distribución, es interesante pensar cómo la Internet facilita un ambiente distribuido y colaborativo para la producción multimedial.

Que el "IP" de su nombre signifique Protocolo de Internet no quiere decir que la gente se registrará en su página Web favorita para acceder a la programación televisiva. El IP hace referencia a un método de envío de información a través de una red segura y fuertemente administrada que tiene como resultado una experiencia de entretenimiento superior.

Mientras IPTV responde a un entorno cerrado en el que el proveedor del servicio controla tanto la red de transmisión (parecido a lo que podría ser un entorno de TV de cable) como los contenidos o el acceso a los mismos, la televisión por Internet representa un entorno menos controlado, en el que tanto los contenidos como su acceso tienen un carácter más abierto.

El hecho de tener el control sobre la calidad de la señal se convierte en uno de los elementos más importantes que diferencian a los entornos IPTV e Internet Televisión. Por un lado, esta diferencia permite al operador garantizar la calidad de señal y ancho de banda mínimos para ofrecer el servicio sin problemas de cortes, pixelados, etc. Sin embargo, para garantizar esta calidad de señal, el operador utiliza una infraestructura de red cerrada. La preparación de una red de estas magnitudes supone una fuerte inversión tanto de capital como de tiempo. Por otro lado, el uso de esta red privada entre el usuario y el operador permite una interacción directa y bidireccional entre ambos.

De esta manera, el operador tiene más control sobre el acceso a los contenidos ofrecidos permitiéndole desarrollar modelos de negocio asociados, como el de suscripción o PPV (Pay per View). Además, la información fluye también desde el usuario hasta el operador y este es el elemento diferencial entre las plataformas IPTV y otras plataformas de televisión más convencionales. El hecho de poder contar con un canal de retorno a través del cual el operador puede comunicarse con el cliente en tiempo real, permite el desarrollo de servicios como el VoD (Video On Demand), la medición de audiencias "personalizada" y la generación de canales de contenidos a la carta.

A continuación se enlistan algunas de las características tanto de IPTV con de Internet TV, con lo cual se puede apreciar las diferencias que existen entre ambas tecnologías:

- IP-TV es una plataforma dirigida por un proveedor y controlada. Hay un proveedor físico que tiene conexiones e infraestructura física que opera y controla. El consumidor interactúa directamente con este operador/proveedor.
- La IPTV es definitivamente una mejora masiva en la infraestructura de conexión a desarrollarse en unos cuantos años, y que también trae aparejados cambios importantes y mejoras en la conectividad, transporte y dispositivos de distribución tanto en el entorno del operador como en el del consumidor.
- La propuesta de IPTV es una propuesta geográficamente limitada. Esto se debe principalmente a que la infraestructura de despliegue está basada en regiones y vecindarios conectados a lugares de consumo (hogares de usuarios). La experiencia de usuario está también atada a sus livings y decodificadores de TV. Las reglamentaciones y políticas locales influyen y restringen aun más a la IP-TV a ser un modelo geográficamente limitado.
- La IPTV ofrecerá esencialmente el mismo producto y programación que los proveedores de cable digital y satelital. Productos similares a pedido y pago por visión probablemente con alguna integración extra con voz, y otros precios.
- La televisión de Internet es bastante diferente en términos del modelo para el consumidor, el editor y para la infraestructura misma que se utiliza.
- En la Internet de video, o la propuesta de la televisión online, el modelo está abierto a cualquier poseedor de derechos, ya que está basado en el mismo modelo de publicación que existe en la Web: cualquiera puede crear un end point y publicarlo a nivel global.
- La televisión online está abierta a cualquier poseedor de derechos no importa si es un individuo haciendo un video para una audiencia muy pequeña o un editor tradicional que ofrece canales de cable online.

- En la propuesta de la televisión de Internet el editor tiene un canal de comunicación directa con el consumidor. El editor de contenidos puede llegar a los múltiples dispositivos del consumidor independientemente de ningún proveedor u operador. La televisión online es de hecho una propuesta que también intenta depender lo menos posible de dispositivos. Gracias a los estándares y formatos abiertos que ayudaron a crear esta oportunidad, la televisión de Internet quiere ser precisamente lo que la Web es hoy en día. Accesible desde cualquier tipo de PC y conexión alrededor del mundo, y no estar atada físicamente al living o decodificador de TV del usuario.
- La televisión de Internet es una consecuencia, no una reparación. La televisión de Internet es capaz de cabalgar en el común denominador de la infraestructura existente que incluye a la banda ancha, ADSL, Wi-Fi, cable módem, satélite; no requiere nueva infraestructura para funcionar o proporcionar un buen valor a los usuarios.
- La televisión de Internet utiliza un modelo de negocio de alcance global, en el cual los servicios de video y televisión que se ofrecen en una zona geográfica son accesibles desde cualquier otra en cualquier parte del mundo (siempre que los derechos de distribución de contenido estén en su lugar).
- La televisión online promete el acceso a muchos nuevos productos y a una variedad de programación mucho más amplia de la que nos han acostumbrado a comprar en el mundo del video, y drásticamente más control en cuanto a cuándo, dónde y cómo los usuarios pueden acceder a esa programación de video/TV.

	IPTV	Internet TV
Footprint	Local (limited operator coverage)	Potentially supranational or worldwide
Users	Known customers with known IP addresses and known locations	Any users (generally unknown)
Video Quality	Controlled QoS, "broadcast" TV quality	Best effort quality, QoS not guaranteed
Connection bandwidth	Between 1 and 4 Mbit/s	Generally below 1 Mbit/s
Video format	MPEG-2, MPEG-4 Part 2, MPEG-4 Part 10 (AVC), Microsoft VC-1	Windows Media, RealNetworks QuickTime Flash, Sorenson,...
Receiver device	Set-top box with a television display	PC
Resolution	Full TV display	QCIF/CIF
Reliability	Stable	Subject to contention
Security	Users are authenticated and protected	Unsafe
Copyright	Media is protected	Often unprotected
Other services	EPG, PVR (local or network)	
Customer relationship	Yes; on site support	Generally no
Complementarity with cable, terrestrial and satellite broadcasting	Potentially common STB, complementary coverage, common metadata	Pre-view and low-quality on-demand services

Fig. 6.6 Comparativa IPTV vs Internet TV

Tanto los entornos IPTV como Internet TV están basados en las mismas tecnologías, aunque sus modelos tanto de despliegue como de negocio son radicalmente distintos. Ahora queda por ver si podrán convivir, si terminarán fusionándose o si finalmente uno de ellos perecerá en el camino.

Comparación de IPTV con TV digital

Las emisiones de televisión digitales cuentan con numerosas e importantes ventajas frente a las actuales emisiones en analógico. La calidad de las imágenes es comparable a la de un DVD, y la señal es mucho más inmune a interferencias que la analógica (factor especialmente importante en áreas urbanas). La tecnología digital permite un mayor número de emisoras en el mismo espacio radioeléctrico, pues se pueden transmitir entre tres y cinco programas por cada canal UHF, llamado MUX. Además, gracias al diseño de la red de distribución de señal es posible usar todos los canales de la banda, sin necesidad de dejar canales de guarda para reducir las interferencias. Finalmente, al tratarse de transmisiones de información digital es posible una gran flexibilidad en los contenidos emitidos, siendo posible mezclar un número arbitrario de canales de vídeo, audio y datos en una sola señal (multiplexación).

Las tres principales ventajas de la televisión digital frente a la televisión analógica actual, se describen a continuación:

1.- Mayor calidad de imagen y sonido

La transmisión terrestre de televisión se ve afectada por dispersión de energía, zonas de sombra y reflexiones que provocan ecos. En transmisión analógica esos problemas se manifiestan como nieve, ruido en la imagen, dobles imágenes, colores deficientes y sonido de baja calidad. En transmisión digital, al estar la señal codificada, recibimos una imagen siempre íntegra, pero se acaba llegando al denominado abismo digital: cuando la señal no es suficiente para los circuitos decodificadores se pierde completamente la recepción. Una recepción óptima suele necesitar menor potencia de señal que una transmisión analógica de calidad normal.

La imagen, sonido y datos asociados a una emisión de televisión se codifican digitalmente en formato MPEG-2. La calidad de imagen y sonido transmitidos es proporcional al caudal de datos asignado dentro del flujo final transmitido por cada múltiplex.

La compresión **MPEG-2** utilizada es una compresión con pérdidas. Esto significa que antes de la emisión la calidad del audio y el vídeo en televisión digital es inferior que en televisión analógica. Por lo tanto, lo que nos garantiza la televisión digital terrestre es una mejor calidad de la señal recibida, no del vídeo y audio.

2.- Mayor número de emisiones de televisión

La tecnología de televisión analógica actual sólo permite la transmisión de un único programa de televisión por cada canal **UHF** (ya sea de 6MHz, 7MHz u 8MHz de ancho de banda). Además los canales adyacentes al que tiene lugar una emisión han de estar libres para evitar las interferencias.

En segundo lugar la codificación digital de los programas permite que en el ancho de banda disponible en un solo canal UHF se puedan transmitir varios programas con calidad digital similar a la de un DVD. El número de programas simultáneos depende de la calidad de imagen y sonido deseadas, si bien en la actualidad es de cinco programas, con un uso habitual de cuatro, (lo cual da una buena calidad en imágenes con movimientos lentos, si bien en escenas de más acción se pueden apreciar fácilmente zonas de la imagen distorsionadas, que reciben el nombre de artefactos debidas a la codificación digital MPEG-2 de baja velocidad). Sin embargo la gran flexibilidad de la codificación MPEG-2 permite cambiar estos parámetros en cualquier momento, de manera transparente a los usuarios. El bloque de cuatro o cinco canales de emisión que se emite por un canal habitual de UHF recibe el nombre de MUX (múltiplex). El flujo binario del MUX es la multiplexación de los canales que lo componen. La relación de flujo de cada canal multiplexado se puede regular a voluntad, lo que es equivalente a regular la calidad de los mismos. Se puede asignar un flujo alto a una película o un evento deportivo de pago detrayendo flujo de los otros canales que componen el MUX y pueden ser de emisión abierta.

3.- Mayor flexibilidad de las emisiones y servicios adicionales

En cada canal de radio se emite un único flujo MPEG-2, que puede contener un número arbitrario de flujos de vídeo, audio y datos. Aunque varios operadores compartan el uso de un canal multiplexado, cada uno puede gestionar el ancho de banda que le corresponde para ofrecer los contenidos que desee. Puede (por ejemplo) emitir un flujo de vídeo, dos de audio (por ejemplo, en dos idiomas a la vez), varios de datos (subtítulos en tres idiomas, subtítulos para sordos, en un partido información con las estadísticas de los jugadores, o en una carrera automovilística información de tiempos y posiciones, etc.).

El aprovechamiento de toda esta información por parte del usuario es posible gracias a las diversas aplicaciones de que dispone el receptor TDT (Televisión Digital), en general conformes al estándar de la industria llamado **MHP** (Multimedia Home Platform). Cada operador podrá desarrollar las aplicaciones que proporcionen los servicios deseados a sus clientes, y éstas se instalarán en el receptor TDT para dar acceso a dichos servicios.

Por otra parte, la diferencia entre IPTV y la TDT se puede apreciar en el siguiente esquema.

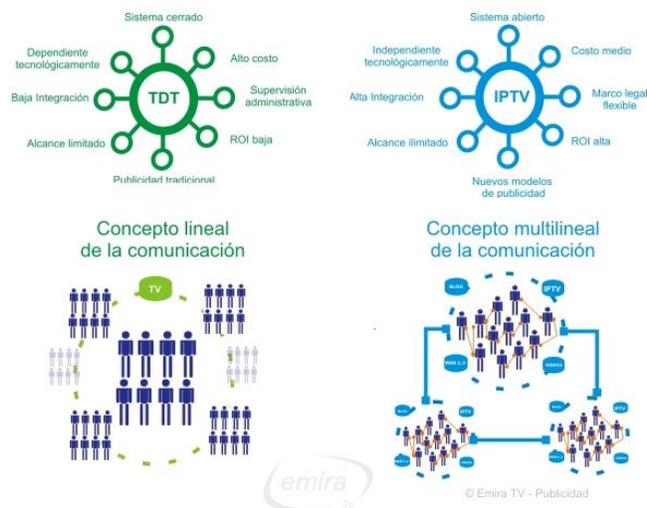


Fig. 6.7 Conceptos de Comunicación

7. Retos Técnicos de Garantía de Buen Servicio de IPTV

7.1 Garantía de QoS (Calidad de Servicio) y Gestión de Tráfico

Normalmente la Internet trabaja con la filosofía del mejor esfuerzo; cada usuario comparte ancho de banda con otros y, por lo tanto, la transmisión de sus datos corriente con las transmisiones de sus datos concurre con las transmisiones de los demás usuarios. Los datos empaquetados son encaminados de la mejor forma posible, conforme las rutas y bandas disponibles. Cuando hay congestión, los paquetes son descartados sin distinción. No hay garantía de que el servicio venga a ser realizado con suceso. Entretanto, aplicaciones como voz sobre IP y videoconferencia necesitan de tales garantías.

Con la implantación de calidad de servicio (QoS), es posible ofrecer más garantía y seguridad para las aplicaciones avanzadas, una vez que el tráfico de estas aplicaciones pasa a tener prioridad en relación con aplicaciones tradicionales. Con el uso del QoS los paquetes son marcados para distinguir los tipos de servicios y los enrutadores son configurados para crear filas distintas para cada aplicación, de acuerdo con las prioridades de las mismas. Así, una faja de ancho de banda, dentro del canal de comunicación, es reservada para que, en el caso de congestión, determinados tipos de flujos de datos o aplicaciones tengan prioridad en la entrega.

El término QoS (sigla de "Quality of Service", es decir, "calidad de servicio") se refiere a la capacidad de brindar un servicio (en particular, un medio de comunicación) que se ajuste a los requisitos en cuanto a tiempo de respuesta y ancho de banda.

Si se aplica a redes de alternación de paquetes (redes que se basan en el uso de routers), QoS indica la capacidad de garantizar un nivel aceptable de pérdida de paquete, definido contractualmente, por un uso dado (voz sobre IP, videoconferencia, etc.) Por lo tanto, nada garantiza que una comunicación que requiera de un ancho de banda constante se lleve a cabo sin incidentes. Es por ello que existen mecanismos, denominados mecanismos QoS, que posibilitan diferenciar diferentes flujos de red y reservar una parte del ancho de banda para aquéllos que necesiten un servicio continuo, sin interrupciones.

El contrato que especifica los valores acordados entre el proveedor y el usuario (cliente) se denomina SLA (Service Level Agreement). Ej.:

- Ancho de banda \geq 2 Mb/s
- Retardo \leq 80 ms
- Jitter \leq 20 ms
- Tasa de pérdidas \leq 0,01 %

Para dar QoS con congestión es preciso tener mecanismos que permitan dar un trato distinto al tráfico preferente y cumplir el SLA (Service Level Agreement).

El término "nivel de servicio" define los niveles de requisitos para que una red sea capaz de brindar un servicio punto a punto o extremo a extremo, con un determinado tráfico. Generalmente existen los siguientes niveles de QoS definidos:

1) Máximo esfuerzo no diferencia diferentes flujos de red y no brinda ninguna garantía. Por lo tanto, a este nivel de servicio a veces se lo denomina *falta de QoS*;

2) Servicio garantizado (IntServ, RFC 2474) o QoS *alto* reserva todos los recursos de red para determinados tipos de flujo. El mecanismo principal utilizado para obtener dicho nivel de servicio es RSVP (*Resource reSerVation Protocol [Protocolo de reserva de recursos]*). A continuación se muestra la clasificación de las aplicaciones en IntServ (Integrated Services):

	Tolerantes a pérdidas	Intolerantes a pérdidas
Tolerantes a retardos (Elásticas)	Datos UDP: DNS, SNMP, NTP, etc.	Datos sobre TCP: FTP, Web, e-mail, etc.
No tolerantes a retardos (Tiempo Real)	Flujos Multimedia de todo tipo: vídeo 'streaming', videoconferencia, telefonía sobre Internet, etc.	Emulación de circuitos (simulación de líneas dedicadas)

Tabla 7.1 Pérdidas y retardos

La reserva garantiza la QoS solicitada. Si no quedan recursos suficientes se rechaza la petición, es decir se ejerce control de admisión o CAC (Connection Admission Control). Normalmente la reserva se realiza para una secuencia de datagramas relacionados entre sí, que es lo que llamamos un flujo.

Un flujo es una secuencia de datagramas que se produce como resultado de una acción del usuario y que requiere la misma QoS. Un flujo es la entidad unidireccional más pequeña a la que los routers pueden aplicar una determinada QoS.

Un flujo se identifica por los siguientes cinco parámetros:

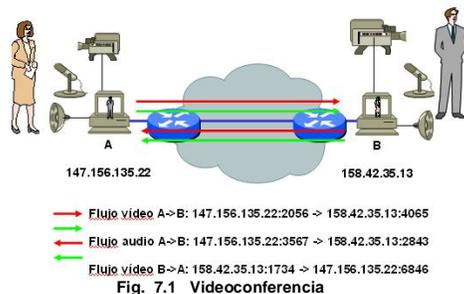
- Dirección IP de origen
- Puerto de origen
- Dirección IP de destino
- Puerto de destino

- Protocolo de transporte utilizado (TCP o UDP)

Los flujos pueden agruparse en clases; todos los flujos dentro de una misma clase reciben la misma QoS.

Para el tráfico del flujo de bajada, los servicios diferenciados son usados con diferentes horarios. Para el de subida, el tráfico es monitoreado. Cada clase de usuario requiere un horario separado para prevenir la falta de clases bajas. Los controles de admisión son requeridos para la Calidad de Servicio. En los servicios de TV normal, los canales de programas múltiples para usuarios son logrados al mandar todos los programas y filtrar los canales no suscritos. Un programa de cambio de canal es para seleccionar un canal y filtrar el resto. El mecanismo no es usado para IPTV por la limitación de Ancho de Banda, por lo que se hace al enviar una petición de usuario para un canal de video, y después de ser aceptada por el control de admisión, un árbol multi-cast es construido para un canal de video y voz con garantías de QoS, lo que causa cambios de retardo. Si los dispositivos IPTV en casa están apagados, el Ancho de Banda puede usarse para Internet y otros usos.

Flujos en una Videoconferencia

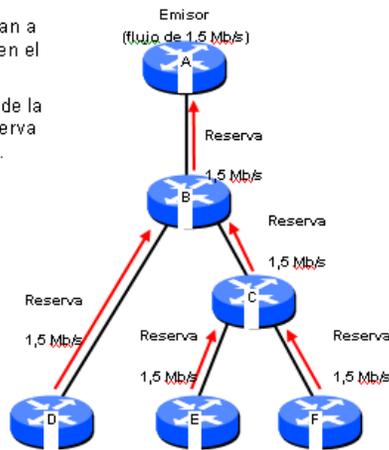


El protocolo RSVP es un protocolo que reserva la capacidad solicitada por un flujo en todos los routers del camino. Realmente es un protocolo de señalización pues crea información de estado en los routers. Aunque se utilice en IP es un servicio orientado a conexión. Está pensado principalmente para tráfico multicast. No es un protocolo de routing (de eso se ocupará OSPF, IS-IS, PIM-SM, etc. RSVP reserva la capacidad solicitada en todos los routers del camino. Cada router ha de mantener el detalle de todas las conexiones activas que pasan por él, y los recursos que cada una ha reservado. El router mantiene información de estado sobre cada flujo que pasa por él. Si no se pueden asegurar las condiciones pedidas se rechaza la llamada (control de admisión).

Funcionamiento de RSVP en Multicast

- Las reservas se agregan a medida que ascienden en el árbol multicast.
- Así se optimiza el uso de la red (solo se hace la reserva una vez en cada tramo).

2: Cuando más tarde E y D realizan sus peticiones no son propagadas hacia arriba por C o B, pues ya no es necesario



1: F pide a C que reserve 1,5 Mb/s del caudal descendente para el flujo que le va a enviar A. C propaga la petición a B quien a su vez la propaga a A.

Tipos de servicio en IntServ

Servicio	Características
Garantizado	Garantiza un caudal mínimo y un retardo máximo. Cada router del trayecto debe dar garantías. A veces no puede implementarse por limitaciones del medio físico (Ej. Ethernet compartida).
Carga Controlada ('Controlled Load')	Calidad similar a la de una red de datagramas poco cargada. Se supone que el retardo es bajo, pero no se dan garantías.
'Best Effort'	Ninguna garantía (como antes sin QoS).

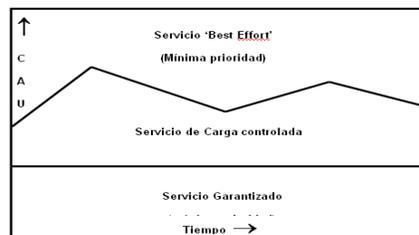
Reparto de recursos en IntServ

Fig. 7.3 Gráfica de reparto de servicios

Problemas de IntServ/RSVP

Presenta problemas de escalabilidad debidos a la necesidad de mantener información de estado en cada router. Esto hace inviable usar RSVP en grandes redes, por ejemplo en el 'core' de Internet.

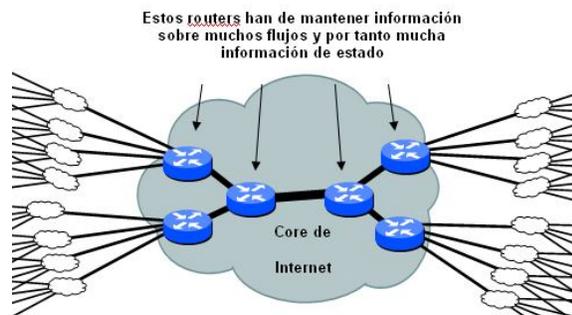


Fig. 7.4 Esquema de routers con información de red

- Los fabricantes de routers no han desarrollado implementaciones eficientes de RSVP, debido al elevado costo que tiene implementar en hardware los algoritmos necesarios para mantener gran cantidad de información de estado.
- Sin embargo recientemente se han desarrollado mejoras en RSVP que resuelven algunos de estos inconvenientes.
- Además también ha resurgido el interés por RSVP para aplicarlo en MPLS (Multi Protocol Label Switching). En estos casos el número de flujos no suele ser muy grande.

3) Servicio diferenciado (DiffServ, RFC 1633) o QoS bajo permite definir los niveles de prioridad de diferentes flujos de red, pero no brinda una garantía estricta; es decir, los paquetes son marcados de acuerdo con las clases de servicios predeterminadas. Intenta evitar los problemas de escalabilidad que plantea IntServ/RSVP.

Se basa en marcar los paquetes con una etiqueta y acordar con todos los routers un tratamiento según la etiqueta:

- No hay reserva de recursos por flujo (los routers no 'ven' los flujos)
- No hay protocolo de señalización
- No hay información de estado en los routers.

Las garantías de calidad de servicio no son tan estrictas como en IntServ, pero en muchos casos son suficientes. La información de QoS en los datagramas se encuentra ubicada en un campo nuevo llamado DS.

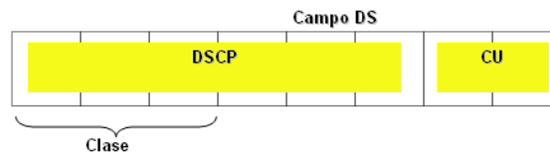


Fig. 7.5 Datagrama de QoS

- DSCP: Differentiated Services CodePoint. Seis bits que indican el tratamiento que debe recibir este paquete en los routers
- CU: Currently Unused (reservado). Este campo se utiliza actualmente para control de congestión (ECN, RFC 3168)

Puesto que los paquetes se clasifican en 'clases' a veces a esto se le denomina CoS (Class of Service). A cada clase le corresponde un SLA (Service Level Agreement). Los usuarios pueden contratar unos determinados valores de los parámetros QoS para cada clase. El número de clases posibles es limitado e independiente del número de flujos o usuarios; por tanto la complejidad es constante, no proporcional al número de usuarios. La información se puede sumarizar fácilmente, la arquitectura es escalable. Los routers solo han de saber que tratamiento deben dar a cada clase. Esto lo saben por configuración (no es información de estado).

Tipos de Servicio en DiffServ

Servicio	Características
'Expedited Forwarding' o 'Premium'	Es el que da más garantías. Equivale a una línea dedicada. Lo garantiza todo: Caudal, tasa de pérdidas, retardo y jitter
'Assured Forwarding'	Asegura un trato preferente, pero sin fijar garantías (no hay SLA) Se definen cuatro clases y en cada una tres niveles de descarte de paquetes.
'Best Effort'	Ninguna garantía.

Tabla 7.2 Clases de servicio DiffServ

Reparto de recursos en DiffServ

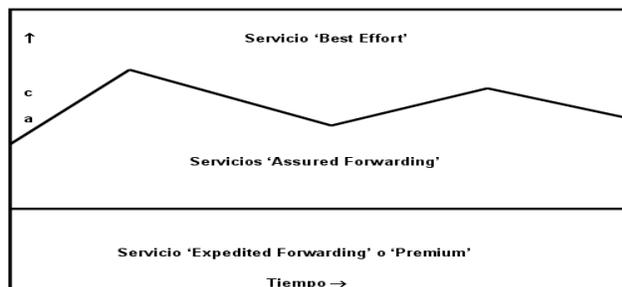


Fig. 7.6 Gráfica de reparto de servicio DiffServ

Implementación de DiffServ

- El DSCP (la clase) se asigna según alguna característica del paquete: IP origen/destino o puerto origen/destino.
- Se puede incluso identificar y clasificar paquetes que pertenecen a protocolos que utilizan puertos dinámicos por el patrón de tráfico que generan (p. ej. peer-to-peer).
- El Traffic Policing sólo se ejerce en los routers de entrada a la red del ISP y en los que atraviesan fronteras entre ISPs (normalmente en las fronteras entre sistemas autónomos). Esto es lo que se conoce como un 'Dominio DiffServ'
- El router de ingreso al dominio DiffServ se encarga de marcar el campo DSCP (de acuerdo con la política de QoS). Los siguientes solo han de realizar el tratamiento que corresponde según el DSCP
- El acuerdo de 'peering' entre dos ISPs puede, o no, incluir QoS.

- Si dos ISP acuerdan intercambiar tráfico manteniendo la QoS han de establecer si los DSCP se mantienen inalterados, o si se realiza una conversión de acuerdo con determinada equivalencia, para mantener la semántica
- En la entrada de cada 'DS domain' un router frontera se encargará del marcado o remarcado de los paquetes, de acuerdo con la política de QoS

Funcionamiento de DiffServ en Internet

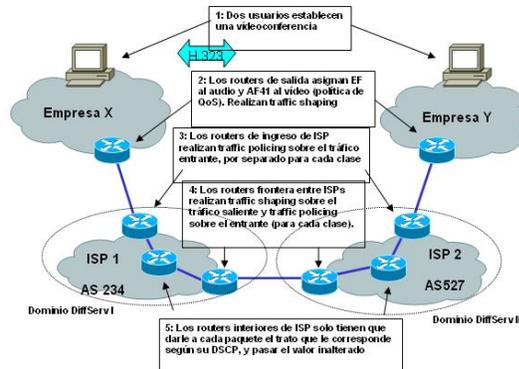


Fig. 7.7 Esquema de red del funcionamiento de Diffserv

Funciones QoS desempeñadas por los routers



Fig. 7.8 Proceso de diferenciación de servicio

Efectos de la congestión en el tiempo de servicio y el rendimiento

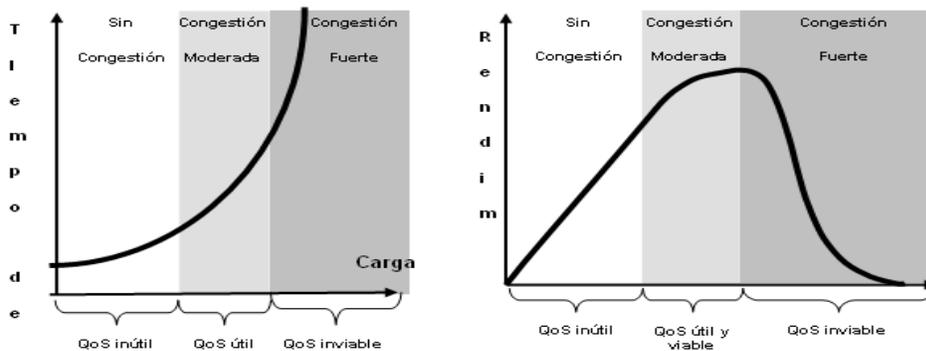


Fig. 7.9 Efectos de la congestión de tráfico

Parámetros de Calidad de Servicio

Parámetro	Unidades	Significado
Ancho de Banda (bandwidth)	Kb/s	Indica el caudal máximo que se puede transmitir
Retardo (delay) o latencia (latency)	ms	El tiempo medio que tardan en llegar los paquetes
Jitter	ms	La fluctuación que se puede producir en el Retardo
Tasa de pérdidas (loss rate)	%	Proporción de paquetes perdidos respecto de los enviados

Tabla 7.4 Calidad de servicio

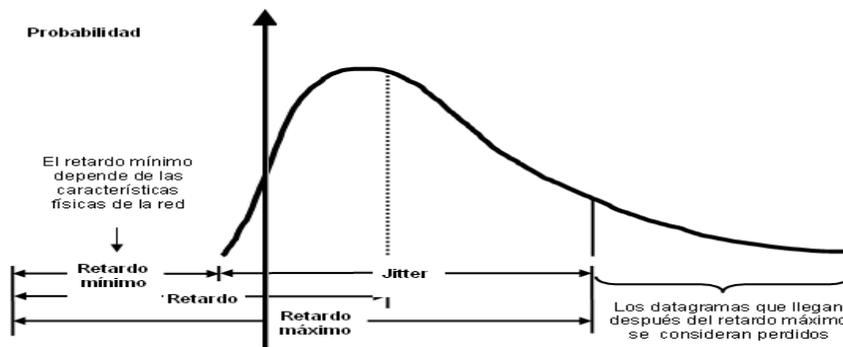
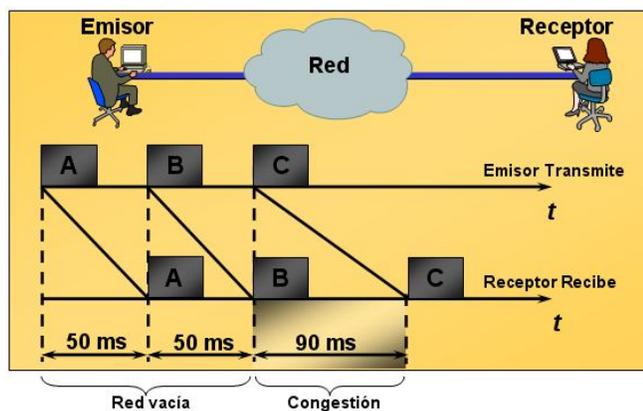
Relación entre la probabilidad de llegada de los datagramas y los parámetros de QoS

Fig. 7.10 Gráfica de retardos

Fluctuación del retardo—"Jitter"Fig. 7.11 Retardo: 70 ms \pm 20 ms (retardo: 70 ms, jitter: 40 ms)Reducción del Jitter

- El jitter puede reducirse si el receptor retrasa la reproducción (buffer 'anti-jitter').
- Por ejemplo en VoIP lo habitual es enviar un paquete de voz cada 20 ms. Si el receptor reproduce los paquetes tal cual le llegan cualquier fluctuación en la entrega afectará la calidad. Si en vez de eso retrasa 40 ms la reproducción podrá compensar fluctuaciones de hasta 40 ms en el tiempo de entrega.

- En algunas aplicaciones (vídeo o audio unidireccional) se llegan a introducir retardos de hasta 30 segundos. Pero en estos casos no existe interacción receptor-emisor.

Control de congestión en Internet

- El mecanismo tradicional de control de congestión en IP es el control que ejerce TCP por medio del 'slow-start'. Este mecanismo solo actúa cuando ya se ha perdido algún paquete
- Cuando los routers empiezan a descartar por llenado de buffers suelen descartar todos los paquetes que les llegan. Esto hace que todas las sesiones TCP ejecuten el 'slow-start' y se cae en un comportamiento oscilante. El rendimiento es malo.
- Se ha visto que el rendimiento global mejora si se descartan algunos paquetes (al azar) bastante antes de llenar los buffers. Esto obliga a algunas sesiones a realizar el slow-start, pero no todas a la vez. Esto se conoce como RED (Random Early Detect o Random Early Discard).

Mecanismos de Control de Congestión en Internet

Mecanismo	Consiste en:	Nivel de Aplicación
Slow Start	Cuando un host detecta pérdidas reduce el ritmo y se autocontrola.	Transporte (TCP)
RED (Random Early Detect)	Cuando los routers detectan congestión descartan paquetes al azar. Los hosts reducen el ritmo.	Red (IP)
ECN (Explicit Congestion Notification)	Cuando los routers detectan congestión notifican a los hosts para que reduzcan el ritmo.	Red (IP) y Transporte (TCP)

Tabla 7.5 Mecanismos de control de red

Ingeniería de Tráfico (TE)

La Ingeniería de Tráfico (TE) es una disciplina que procura la optimización de la performance de las redes operativas. La Ingeniería de Tráfico abarca la aplicación de la tecnología y los principios científicos a la medición, caracterización, modelado, y control del tráfico que circula por la red. Las mejoras del rendimiento de una red operacional, en cuanto a tráfico y modo de utilización de recursos, son los principales objetivos de la Ingeniería de Tráfico. Esto se consigue enfocándose a los requerimientos del rendimiento orientado al tráfico, mientras se utilizan los recursos de la red de una manera fiable y económica.

Una ventaja práctica de la aplicación sistemática de los conceptos de Ingeniería de Tráfico a las redes operacionales es que ayuda a identificar y estructurar las metas y prioridades en términos de mejora de la calidad de servicio dado a los usuarios finales de los servicios de la red.

La ingeniería de tráfico se subdivide en dos ramas principalmente diferenciadas por sus objetivos:

Orientada a tráfico: ésta rama tiene como prioridad la mejora de los indicadores relativos al transporte de datos, como por ejemplo: minimizar la pérdida de paquetes, minimizar el retardo, maximizar el throughput, obtener distintos niveles de acuerdo para brindar calidad de servicio, etc.

Orientada a recursos: ésta rama se plantea como objetivo, la optimización de la utilización de los recursos de la red, de manera que, no se saturan partes de la red mientras otras permanecen subutilizadas, tomando principalmente el ancho de banda como recurso a optimizar. Ambas ramas convergen en un objetivo global, que es minimizar la congestión.

Un reto fundamental en la operación de una red, especialmente en redes IP públicas a gran escala, es incrementar la eficiencia de la utilización del recurso mientras se minimiza la posibilidad de congestión.

Los paquetes luchan por el uso de los recursos de la red cuando se transportan a través de la red. Un recurso de red se considera que está congestionado si la velocidad de entrada de paquetes excede la capacidad de salida del recurso en un intervalo de tiempo. La congestión puede hacer que algunos de los paquetes de entrada sean retardados e incluso descartados. La congestión aumenta los retardos de tránsito, las variaciones del retardo, la pérdida de paquetes, y reduce la previsión de los servicios de red. Claramente, la congestión es un fenómeno nada deseable y es causada por ejemplo por la insuficiencia de recursos en la red. En casos de congestión de algunos enlaces, el problema se resolvía a base de añadir más capacidad a los enlaces.

En resumen la Ingeniería de Tráfico provee por ende, de capacidades para realizar lo siguiente:

- Mapear caminos primarios alrededor de conocidos cuellos de botella o puntos de congestionamiento en la red.
- Lograr un uso más eficiente del ancho de banda agregado disponible, asegurando que subgrupos de la red no se vuelvan sobre-utilizados, mientras otros subgrupos de la red son inutilizados a lo largo de caminos potenciales alternativos.
- Maximizar la eficiencia operacional.
- Mejorar las características de la performance del tráfico orientado de la red, minimizando la pérdida de paquetes, minimizando períodos prolongados de congestión y maximizando el throughput.

- Mejorar las características estadísticas de los límites de la performance de la red (como ser tasa de pérdidas, variación del delay y delay de transferencia).
- Proveer de un control preciso sobre cómo el tráfico es re-enrutado cuando el camino primario se enfrenta con una sola o múltiples fallas.

Componentes de la Ingeniería de Tráfico

Hay cuatro componentes que se pueden destacar dentro de la Ingeniería de Tráfico: la componente del packet forwarding, la componente de distribución de información, la componente de selección de camino y la componente de señalización.

Dentro de la primera componente tenemos a MPLS, responsable de dirigir un flujo de paquetes IP a lo largo de un camino predeterminado a través de la red. Esa es una de las principales diferencias entre MPLS e IP, ya que en IP, en vez de seguir los paquetes un camino ya preestablecido, lo hacen salto a salto.

La componente de distribución de información es implementada definiendo extensiones relativamente simples a los IGP, tal que los atributos de los enlaces son incluidos como parte de cada aviso del estado de enlace en cada router.

En cuanto a la componente de selección de caminos, luego que los atributos de los enlaces y la información de la topología han sido inundados por IGP y localizados en la TED, cada router de ingreso utiliza la TED para calcular los caminos de su propio conjunto de LSPs a lo largo del dominio de ruteo. El camino para cada LSP puede ser representado tanto por lo que se denomina, una ruta explícita estricta o sin trabas ("strict or loose explicit route").

Por último, la componente de señalización es la responsable de que el LSP sea establecido para que sea funcional mediante el intercambio de etiquetas entre los nodos de la red. La arquitectura MPLS no asume un único protocolo de distribución de etiquetas; de hecho se están estandarizando algunos existentes con las correspondientes extensiones como son RSVP y LDP.

7.2 Control de Admisión en Multidifusión (Multicast)

La "Calidad de Servicio de multidifusión IPTV" por fin ha decidido empezar con la estandarización de "Multidifusión Entramada de IPTV". Esto al describir los requerimientos funcionales y las tramas de soporte de capacidades de multidifusión en términos de Control de Red IPTV.

Especialmente, la sección de "Calidad de Servicio, QoS de IPTV", describe varios problemas de QoS en la entrega de multidifusión en el dominio de red. Pensamos que la reservación de recursos y el control de congestión son necesarios para garantizar y mantener la calidad de servicio.

Es importante mantener y garantizar la Calidad de Servicio (Quality of Service) de la multidifusión de IPTV a los usuarios. La Reserva de Recursos es necesaria para garantizar la Calidad de Servicio y el control de congestión es necesario para mantener la multidifusión.

El mecanismo de reservación puede garantizar el recurso de multidifusión de árbol al delimitar los retrasos y la agitación (*jitter*) y prevenir la pérdida de tráfico de video. Especialmente, la reservación de recursos de multidifusión de IPTV tiene las siguientes características:

- Pre-reservación: Es el recurso de multidifusión reservada antes de transferir tráfico IPTV. Es más benéfico que los mecanismos de reservación dinámica debido a la membresía dinámica y numerosos receptores. Es simple de controlar y mantener la fuente de multidifusión.
- Reserva de Ancho de Banda Agregado: Se ocupa para un fajo de canales de tráfico IPTV para acceder al nodo y múltiples canales pueden compartir los recursos comunes. Es más benéfico que la reservación basada en canal debido a la escalabilidad y al tiempo de respuesta del canal.
- La Congestión de Red puede causar la degradación de QoS de la multidifusión multicast. Por tanto un mecanismo de control de congestión es necesario para mantener el estado de estabilidad de la red. Especialmente, control de congestión de multidifusión en IPTV que tiene las siguientes características:
 - 1) El Tiramiento Rápido arroja paquetes IPTV cuando la carga del sistema excede una cierta tasa cuando la pre-congestión ocurre. Al hacer esto, se puede preservar la Calidad de Servicio (QoS) de la multidifusión de IPTV por congestión.
 - 2) Tiramiento Basado en Clase: Arroja la clase más baja de tráfico. En éste esquema, el tráfico de multidifusión por IPTV tiene una alta prioridad que el tráfico de unicast y el tráfico de datos debido a que el tráfico de multidifusión por IPTV transporta a muchos usuarios.

El desarrollo de Multicast IP en gran escala no se ha visto por los Proveedores de Servicio, pero los servicios de IPTV serán uno de los principales manejos para los desarrollos entrantes de IP, garantizando E2E-QoS, disponibilidad de servicio y soporte de capa 3 multicast de VPNs y MPLS, Servicios Diferenciados, etc, pero algunos problemas que surgen son:

- Los árboles Multicast tienen diferentes niveles de QoS en diferentes ramas para los clientes que demandan diferentes niveles de calidad.
- *Servicios Diferenciados – DiffServ*: son escalables con routers sin estados de redistribución, por tanto Multicast-IP es más escalable. Los recursos son consumidos en Acuerdos de Nivel de Servicios pre-negociados.
- DSMcast resuelve el problema de árboles heterogéneos y escalabilidad y da una solución competente al problema de NRS.
- El problema de Sub-Árbol de Servicios Negados existe porque un flujo puede replicarse en muchos nodos.

7.3 Controles de Admisión para WLANs 802.11n

En respuesta a la demanda del mercado creciente para redes de áreas locales inalámbricas (WLAN) de alto rendimiento, el Instituto de electrónica e ingenieros electrónicos - Asociación de estándares (IEEE-SA) ha aprobado la creación del Grupo de enfoque N (802.11 TgN) del IEEE 802.11 durante el segundo semestre de 2003.

El alcance del objetivo del TgN consiste en definir modificaciones para la Capa física y la Capa de control del acceso medio (PHY/MAC) que generan resultados de un mínimo de 100 megabits por segundo (Mbps) en el MAC SAP (encima del MAC, consulte la siguiente Tabla). Los resultados mínimos requeridos representan un incremento 4 veces superior, aproximadamente, en el rendimiento de WLAN en comparación con las redes 802.11a/g actuales. El propósito de TgN para este próximo paso en el rendimiento de WLAN consiste en mejorar la experiencia del usuario con las aplicaciones WLAN existentes a tiempo de habilitar aplicaciones nuevas y segmentos del mercado recientes. Al mismo tiempo, TgN espera una transición lúcida para su adopción al requerir compatibilidad retroactiva con las soluciones IEEE WLAN legadas existentes (802.11a/b/g).

Aunque los protocolos MAC basados en contención son muy exitosos comercialmente y robustos para tráfico de mejor esfuerzo, no son adecuados para aplicaciones Multimedia con QoS. Por otro lado los protocolos basados en reservación, administran más fácilmente la QoS pero raramente se implementan en los productos actuales por la complejidad, ineficiencia, falta de robustez, sincronía global, etc.

Las WLANs 802.11x han tenido gran éxito en términos de desarrollo y uso, debida a la Función MAC de Coordinación Distribuida (DCF), mientras que la Función de Coordinación de Punto (PCF) opcional casi no se implementa en los productos de hoy por compleja e ineficiente para transmisiones de datos. 802.11e emplea la Función de Acceso a Canal, la Función Híbrida de Coordinación (HCF), que incluye los mecanismos de contención y control central, aunque no provea QoS y el tráfico Multimedia no pueda ser protegido. Este tema también requiere mayor investigación.

Resultados de LAN inalámbrica según el Estándar de IEEE

Estándar para WLAN de IEEE	Cotizaciones Over-the-Air (OTA)	*Cotizaciones de la Capa de control del acceso de medios, Servicio en punto de acceso (MAC SAP)
802.11b	11 Mbps	5 Mbps
802.11g	54 Mbps	25 Mbps (en ausencia de .11b)
802.11a	54 Mbps	25 Mbps
802.11n	200 Mbps o más	100 Mbps

Tabla 7.6 Comparación de distintas velocidades de transferencia en 802.11. (Fuente: Intel Labs)

La Wi-Fi* Alliance (Alianza de Wi-Fi) también ha demostrado interés en el trabajo del TgN a favor del 802.11n. Los representantes de la industria se han congregado bajo la Alianza de Wi-Fi: Grupo de enfoque en comercialización de alto desempeño, a fin de definir y publicar un Documento de requisitos para la comercialización (MRD). El Wi-Fi Alliance MRD especifica las expectativas de rendimiento que mejorarán la experiencia del usuario final con respecto a resultados incrementados, rango aumentado interferencias más robustas y una experiencia del usuario más fiable en todo el Conjunto de servicios básicos (BSS).

Intel está contribuyendo al éxito del 802.11n de distintas maneras. Primero, Intel participó en el comité de TgN responsable de desarrollar los documentos principales que se utilizarán para guiar el TgN en el desarrollo del estándar para 802.11n y ha presentado contribuciones a estos documentos fundamentales, incluidos los modelos para canales, los modelos de uso, los requisitos de funcionalidad y el criterio de comparación. Intel también ha tomado la iniciativa de enviar propuestas técnicas para TgN en las tecnologías MAC y PHY, metodologías de medida del rendimiento y metodologías de simulación. Intel ha ayudado a coproducir el MRD de la Alianza Wi-Fi para redes WLAN de alto rendimiento y continúa liderazgo a la industria al llevar a cabo conversaciones regulares con los líderes en la industria de WLAN. A consecuencia de todos estos esfuerzos, Intel y otros líderes de la industria desarrollarán conjuntamente y enviarán una propuesta completa sobre IEEE TgN para la estandarización de IEEE 802.11n.

Para lograr el rendimiento de la próxima generación de WLAN Intel considera que con solamente demostrar 100 Mbps bajo ciertas condiciones no será suficiente para asegurar una experiencia de usuario robusta con las aplicaciones que están emergiendo. La visión de Intel para el estándar de IEEE 802.11n logrará y aún sobrepasará la meta deseada para IEEE TGN de 100 Mbps en la MAC SAP. Intel espera que la tecnología WLAN para 802.11n admita electrónicos del consumidor (CE), computación personal y plataformas de comunicaciones de bolsillo para todos los entornos principales corporativos, domésticos y los lugares públicos con conexión de red.

El alcance amplio de esta visión promueve implementaciones prácticas y rentables que escalarán robustamente desde los dispositivos de bajos requisitos hasta las aplicaciones de alto rendimiento usando métodos técnicos que pueden ser desarrollados e implementados dentro de las fechas límites especificadas en el IEEE TGN.

Intel cree que el 802.11n debería emplear una filosofía evolucionaría al volver a utilizar las tecnologías existentes, cuando sea práctico, a tiempo de introducir nuevas tecnología donde proporcionan mejoras en el rendimiento efectivo a fin de satisfacer las necesidades de las aplicaciones en evolución. La reutilización de tecnologías legadas tales como Multiplexado por división de frecuencia ortogonal (OFDM), cifrado de la Corrección de errores de reenvío (FEC), asignación de intercalado y Modulación de amplitud de 'quadrature' (QAM), deben mantenerse para mantener los costos bajos y facilitar la compatibilidad retroactiva.

Los paquetes de la Unidad de datos del protocolo PHY (PPDU) deben ser decodificables sin previo conocimiento del método de transmisión. Los dispositivos legados deben tener la capacidad de decodificar parcialmente y evitar transmisiones por los nuevos paquetes de alto rendimiento, aún si dichos paquetes no son descifrados completamente por los dispositivos legados. Al mismo tiempo, la interoperabilidad (dispositivos legados que funcionan en una red 802.11n de alto rendimiento) de legado sin problemas (802.11a/g) debe ser admitida sin penalidades de rendimiento poco razonables para el funcionamiento de alto rendimiento.

Existen tres áreas clave que necesitan ser consideradas cuando se resuelven los incrementos en el rendimiento de una LAN inalámbrica. Primero, mejoras en la tecnología de la radio serán necesarias para incrementar la velocidad de transferencia física. Segundo, deben desarrollarse mecanismos nuevos que implementen la administración efectiva de los modos de rendimiento PHY mejorados. Tercero, se necesitan mejoras en la eficiencia de la transferencia de datos a fin de reducir el impacto en el rendimiento de los encabezados de PHY y las demoras de ciclo en la radio que, caso contrario, reducen las mejoras logradas con incrementos en la velocidad de transferencia física.

Al mismo tiempo, a tiempo de desarrollar métodos nuevos para lograr mejoras en el rendimiento, se necesita la coexistencia con los dispositivos legados de 802.11a/b/g existentes. Todas estas áreas deben tenerse en cuenta al considerar las implementaciones prácticas y efectivas para los segmentos del mercado sensibles a costos.

Incremento de la velocidad de transferencia física

Un método para incrementar la velocidad de transferencia física de los sistemas inalámbricos utiliza varios sistemas de antenas para tanto el transmisor como el receptor. Esta tecnología se conoce como multiple-input multiple-output (MIMO) (entrada múltiple, salida múltiple), o sistemas de antenas inteligentes. MIMO aprovecha al máximo el uso de varias señales transmitidas en el medio inalámbrico y varias señales recibidas del medio inalámbrico a fin de mejorar el rendimiento inalámbrico.

MIMO puede proporcionar muchos beneficios, todos ellos derivados de la habilidad de procesar diferentes señales espaciales simultáneamente. Dos beneficios importantes considerados aquí son la diversidad de antenas y multiplexado espacial. Usando varias antenas, la tecnología MIMO ofrece la habilidad de resolver información coherentemente desde varias rutas de señales mediante antenas receptoras separadas espacialmente.

Las señales de multiruta son las señales reflejadas que llegan al receptor en cualquier momento después de la señal original o de la línea de vista (LOS) que ha sido recibida. Generalmente, la multiruta es considerada como una interferencia que reduce la habilidad del receptor para recuperar la información inteligente. MIMO posibilita la oportunidad de resolver espacialmente las señales multirutas, al proporcionar ganancias de diversidad que contribuyen a la habilidad de un receptor para recuperar la información inteligente. Otra oportunidad valiosa que puede proporcionar la tecnología MIMO es el Multiplexado de división espacial (SDM). El SDM crea una división espacial multiplexada en varios flujos de datos independiente, transferidos simultáneamente dentro de un canal espectral del ancho de banda. El MIMO SDM puede incrementar notablemente el rendimiento de datos así como la cantidad de flujos de datos espaciales resueltos. Cada flujo espacial requiere su propio par de antenas TX/RX en cada extremo de la transmisión. Es importante comprender que la tecnología MIMO precisa una cadena de frecuencia de radio (RF) individual y un convertidor de 'análogo a digital' (ADC) para cada antena MIMO. Esta complejidad adicional se traduce ultimadamente en gastos superiores de implementación así como en la necesidad de contar con sistemas de alto rendimiento.

Intel espera que la tecnología MIMO juegue un papel importante en el logro de las metas de IEEE TGN. La tecnología MIMO debe ser utilizada en IEEE 802.11n para evolucionar a la interfaz física OFDM existente que se ha implementado en la actualidad con el 802.11a/g legado. No obstante, las soluciones prácticas seguramente necesitarán métodos tecnológicos adicionales. Las implementaciones que precisan más de dos cadenas de antenas RF necesitarán ser organizadas cuidadosamente en su arquitectura a fin de mantener los costos bajos a tiempo de satisfacer las expectativas de rendimiento.

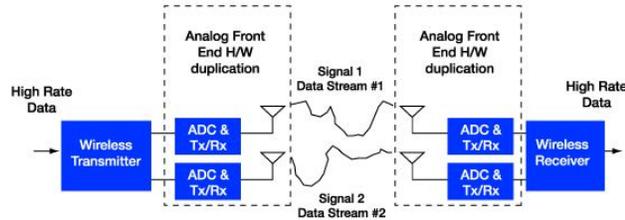


Fig. 7.12 Ejemplo de sistema básico MIMO de dos antenas con SDM de dos flujos.

Otra herramienta importante que puede incrementar la velocidad de transferencia PHY constituyen los canales con un ancho de banda más amplio espectral. El incremento del ancho de banda de los canales no es un concepto nuevo. Se puede ver claramente en la ecuación de capacidad de Shannon [$C = B \log_2(1+SNR)$], los límites de capacidad teórica "C" disminuyen directamente cuando se consideran incrementos en el ancho de banda ocupado "B" (consulte la Figura siguiente).

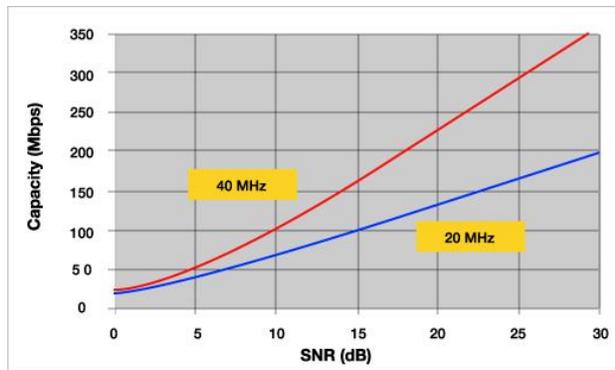


Fig. 7.13 . Incremento de los límites de capacidad. (Fuente: Intel Labs)

El uso de un ancho de banda para canales más amplio con OFDM ofrece ventajas significativas durante la maximización del rendimiento. Los canales de ancho de banda más amplio son rentables y se pueden lograr con facilidad gracias a incrementos moderados en el procesamiento de señales digitales (DSP). Si se implementaron correctamente, los canales a 40 MHz pueden proporcionar más del doble del ancho de banda utilizable de dos canales 20 MHz. Al combinar la arquitectura MIMO con los canales de ancho de banda más amplio se ofrece la oportunidad de crear métodos muy poderosos y, al mismo tiempo, rentables para incrementar la velocidad de transferencia física.

Los métodos MIMO que utilizan solamente canales de 20 MHz requerirán costos de implementación superior para satisfacer el requisito para TGn de 100 Mbps en la MAC SAP. El satisfacer el requisito del IEEE TGn con solamente canales de 20 MHz requeriría al menos tres antenas con extremos frontales en tanto el transmisor como el receptor. Al mismo tiempo, una solución con 20 MHz tendría dificultades al proporcionar una experiencia robusta con aplicaciones que exigen un rendimiento superior en entornos reales de usuarios.

La Figura de arriba ilustra los resultados de un simulacro (usando el modelo D de canales TGn) y refleja el resultado over-the-air (OTA) en diferentes valores SNR donde el SNR sucede posterior a la detección después de que los impedimentos de los canales han sido tomados en cuenta. Se asume una eficiencia MAC del 70% para ilustrar el requisito Topof- MAC de 100 Mbps en TGn (140 Mbps de OTA).

Estos resultados comparan el rendimiento de las implementaciones a 20 MHz y a 40 MHz. Ilustraremos cada configuración del sistema al utilizar la convención siguiente. Un transmisor de dos antenas que se comunica con un receptor de dos antenas por un canal a 40 MHz es representado por un 2x2-40 MHz, donde 2 flujos de datos son transferidos. También se encuentran representados en estos resultados:

- | 4x4-20 MHz transfiriendo 4 flujos de datos
- | 2x3-20 MHz transfiriendo 3 flujos de datos
- | 2x2-20 MHz transfiriendo 2 flujos de datos

La ventaja principal que ofrece una implementación 2x3-20 MHz sobre la implementación 2x2-20 MHz es la relación de señal a ruido (SNR) mejorada. Esto se nota con el rango mejorado para una capacidad de rendimiento dado. Estos datos muestran que una implementación de dos flujos MIMO no logra satisfacer los requisitos de Top-of-MAC de 100 Mbps. Para lograr la meta de 100 Mbps usando solamente canales de 20 MHz requerirá que las implementaciones MIMO admitan al menos tres flujos de datos. Es fácil apreciar la ventaja de una implementación 2x2-40 MHz en estos resultados. Fijese que aún duplicando la cantidad de cadenas RF usando una implementación 20 MHz para transmitir cuatro flujos de datos no se logra el rendimiento posible con solamente dos cadenas RF usando un canal de 40 MHz

transmitiendo dos flujos de datos. El uso de dos canales de 40 MHz permite una complejidad reducida, lo cual mantiene los costos bajos a tiempo de ofrecer resultados para una experiencia robusta del usuario.

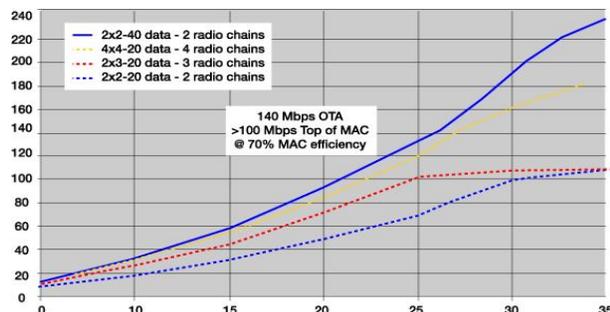


Fig. 7.14 Resultados over-the-air (OTA) con distintos canales de ancho de banda. (Fuente: Laboratorios Intel)

Intel cree que tanto la tecnología MIMO así como los canales de ancho de banda más amplio serán requeridos para satisfacer fiablemente las demandas de resultados superiores que se esperan del 802.11n. Al seleccionar incrementos conservadores en el ancho de banda de los canales, combinados con métodos conservadores en la tecnología MIMO, se habilitarán soluciones rentables para satisfacer dichos requisitos. Un método combinado, empleando tanto canales MIMO como 40-MHz, habilitará la tecnología IEEE 802.11n para alcanzar un rendimiento aún superior como la Ley de Moore y las mejoras en la tecnología del proceso CMOS avanza las capacidades del DSP.

La visión de Intel para el estándar IEEE 802.11n ofrecerá una capacidad para el denominador común más bajo a fin de asegurar que las redes de alto rendimiento funcionen eficientemente. El estándar debe admitir a los canales de 20 MHz así como a los de 40 MHz, donde los canales de 40 MHz son los más amplios, que consistirán de dos canales espectrales de 20 MHz legados colindantes y los canales de 20 MHz para ser utilizados donde la disponibilidad de espectro sea limitada.

Todos los dispositivos de 802.11n deben ser compatibles con 40 MHz, donde lo permitan las normas gubernamentales o regulatorias. Se necesita compatibilidad con los canales de 40 MHz en todos los dispositivos de 802.11n a fin de prevenir ineficiencias asociadas con el multiplexado del ancho de canales entre los dispositivos de alto rendimiento de 20MHz y de 40 MHz. Esto permitirá el rendimiento más alto posible dentro de una red de 802.11n. Los entornos que limitan el ancho del canal a 20 MHz serán sobrecargados con los costos adicionales de las implementaciones MIMO complejas a fin de lograr el rendimiento requerido. Intel espera que las restricciones regulatorias en dichos entornos que en la actualidad no permitan que los canales a 40 MHz, se alineen para admitir a 40MHz tales como los dispositivos 802.11n, y que se vuelvan obsoletos. Además, el estándar de 802.11n debe requerir compatibilidad con, al menos, dos flujos espaciales MIMO mediante el Multiplexado de división espacial (SDM). Si especifica compatibilidad con al menos dos flujos de datos espaciales, esto provee diseños arquitectónicos que pueden interfundar eficientemente en redes de alto rendimiento. La compatibilidad con al menos dos flujos de datos espaciales requiere un mínimo de dos antenas de transmisión en todas las implementaciones de 802.11n. La compatibilidad con más de dos antenas de transmisión o dos flujos espaciales debe ser espacial, siendo la cantidad máxima limitada a cuatro, por razones prácticas. Las características avanzadas que pueden maximizar el rendimiento para aquellas aplicaciones que requieren el rendimiento más alto, se pueden implementar de forma opcional. Intel espera que las características avanzadas de este tipo se especifiquen en el estándar 802.11n a fin de garantizar la interfuncionalidad pero que sean opcionales para la implementación solamente donde tenga sentido hacerlo. Esto podría incluir características tales como: más de dos antenas de transmisión, formación de canal adaptivo para canales y los métodos de cifrado FEC avanzados (estas características no se tratan en este artículo).

Administración de los modos de rendimiento PHY

Cuando se maximiza el rendimiento de los datos, los mecanismos inteligentes serán requeridos para administrar la selección de los modos de rendimiento de la Capa PHY. Aunque la Capa MAC no contribuye directamente al incremento de la velocidad de transferencia física, desempeñará un papel clave en la selección de optimización efectiva de los modos de rendimiento de la Capa PHY. Intel cree que la adaptación rápida de canales debe ser administrada en la Capa PHY sin interacción de MAC. Una vez que se establece la adaptación inicial, usando la señalización over-the-air en el momento apropiado, la capa MAC necesitará establecer y mantener la adaptación a las condiciones inalámbricas de los canales. Esto incluirá la administración de la selección de esquemas de cifrado de modulación, velocidad de códigos, configuraciones de antena, anchos de banda de los canales y la selección de canales donde la optimización de las relaciones TX/RX pueden maximizar el rendimiento.

Mejora de la eficiencia de transferencia

Un contribuidor cuantioso al rendimiento general del MAC SAP serán las nuevas características MAC que maximizan la eficiencia del rendimiento. Es importante tener en cuenta que el encabezado de PHY y las demoras de respuesta por radio pueden limitar notablemente el rendimiento alcanzable. Estos retrasos fijos no son reducidos a la misma relación a la que la velocidad de carga PHY está incrementando. De hecho, los encabezados de PHY necesitan ser más largos

a fin de admitir los nuevos modos de la Capa PHY avanzados que se describieron anteriormente. Siendo que los encabezados necesitarán crecer en tamaño, debe minimizarse el desgaste fijo total de la conexión. Las nuevas secuencias de intercambio agregadas ofrecen una manera importante de mejorar la eficiencia de transferencia. Un intercambio agregado sucede cuando varias Unidades de protocolo MAC (MPDU) son congregadas en una sola Unidad de datos de protocolo PHY (PPDU). Las secuencias de intercambio agregadas son posibles con un protocolo que reconozca varias unidades MPDU con un solo reconocimiento en bloque (Bloque ACK), en respuesta a una solicitud de reconocimiento en bloque (BAR). Este protocolo elimina efectivamente la necesidad de iniciar una transferencia nueva para cada unidad MPDU. Si intenta utilizar los protocolos MAC existentes sin la agregación, una velocidad del PHY de 500 Mbps será necesaria para lograr la meta de rendimiento del TGn a 100 Mbps en el MAC SAP. Existen oportunidades adicionales con los nuevos mecanismos MAC para transferir datos en ambas direcciones, también sin iniciar una transferencia nueva. Este método permite que un contestador agregue unidades MPDU agregadas, en una dirección inversa, en respuesta a una transferencia de estaciones de iniciación.

Los mecanismos que también posibilitan la minimización de las instancias de ciclos entre el iniciador y el contestador, a tiempo de garantizar la protección contra conflictos dentro del BSS.

A fin de transferir datos más efectivamente y reducir el tiempo fijo de conexión, Intel cree que se necesitan unidades PPDU agregadas que contengan varias MPDU, a partir de una sola fuente hacia un solo destino. Para maximizar la eficiencia para esta clase de capacidad se requerirán varias PPDU más largas que las que permite el estándar actual (4095 bytes).

Intel espera que las PPDU agregadas también puedan transferir datos a varios destinos mediante los nuevos formatos de las MPDU. Esto será muy valioso para aplicaciones tales como Voice over Internet Protocol (VoIP). Este método proveerá una alta capacidad de BSS para muchas estaciones que necesitan acceso, donde cada una de ellas contará con un rendimiento relativamente bajo de los requisitos por estación.

Coexistencia de 802.11 legado

El IEEE TGn requiere compatibilidad retroactiva con los dispositivos 802.11a/b/g. Intel espera que los dispositivos 802.11b legados coexistirán, y que los dispositivos 802.11a/g legados interfundarán con los dispositivos 802.11n cuando funcionen en la misma banda y canal. Esto significa que 802.11n necesitará la compatibilidad con los canales de 20 MHz para dicha compatibilidad retroactiva.

La MAC será responsable por la administración de la compatibilidad retroactiva con los dispositivos 802.11 a/b/g legados existentes. Esto incluirá la coexistencia con todos los dispositivos legados (802.11a/b/g) que se conecten con un 802.11n BSS. La MAC también proveerá interfundación con los esquemas de modulación admitidos (tales como OFDM) en entornos espectrales coincidentes (por ejemplo: 2,4 GHz ISM o 5,0 GHz U-NII tal como se implementó). Los mecanismos de coexistencia necesitarán administrar los mensajes del ancho de banda del canal en los entornos BSS combinados y asegurar que el funcionamiento en modos mixtos es compatible con gastos fijos bajos entre 802.11n y 802.11a o 802.11g legados.

7.4 Controles de Admisión para DSL

Un reto para redes DSL es la separación del AB y servicios de voz en la capa física, que son faltas de compartir recursos. Por tanto; es requerido QoS basada en IP para redes de acceso. Voz, video y paquetes de datos son llevados por IP desde los Equipos en las Premisas de Cliente (CPE) a un Multi-Canalizador de Acceso DSL (DSLAM), que los encamina o conmuta a la red Core. Los paquetes de voz son encapsulados por RTP y UDP antes de ser enviados a la capa IP. Dado que por DSL muchos servicios son integrados (voz, datos, canales de video) se requieren controles de admisión para garantizar QoS y evitar el retardo. Así mismo se agregan en IPTV la Calidad de Experiencia (QoE). Así mismo para flujos de video se ocupara tanto la Tasa de Bit Constante (CBR) como la Tasa Variable de Bits (VBR).

Digital Subscriber Line

DSL o xDSL es una familia de tecnologías que proveen transmisión digital de datos sobre cables de red de telefonía local. DSL originalmente se entiende como red de suscripción digital, aunque en muchos años recientes, muchos han adoptado la línea de suscripción digital como un término más amigable de mercado para las versiones más populares listas de consumidor DSL, ADSL. DSL usa la alta frecuencia, y la telefonía regular usa baja frecuencia.

Típicamente, la velocidad de descarga de los servicios DSL de consumidor varía de 512Kbps a 24Mbps, dependiendo de la tecnología DSL, las condiciones de la línea y el nivel de servicio implementado. Típicamente, la velocidad de subida es menor que la de bajada para ADSL e igual para la velocidad de descarga para SDSL.

La Red Local de Telefonía Pública Conmutada, (PSTN – Public Switching Telephone Network) fue inicialmente diseñada para acarrear comunicaciones de voz POTS y señalamiento, desde que el concepto de comunicaciones de datos como lo conocemos hoy día, no existe. Por razones económicas, el sistema de telefonía pasa audio entre 300 y 3,400 Hz, lo cual es visto como el rango requerido por el habla humana para ser claramente inteligible. Esto es conocido como banda de voz o ancho de banda comercial.

Como en el intercambio telefónico (Telephone Exchange - Reino Unido) u oficina central (Central Office en EU) la voz es generalmente digitalizada en un flujo de datos de 64kbit/s en la forma de una señal de 8 bits, usando una tasa de muestreo de 8kHz, por tanto, de acuerdo al Teorema de Nyquist, cualquier señal por encima de los 4KHz no es pasada por la red telefónica (y tiene que ser bloqueada por un filtro para prevenir efectos de aliasing).

Las leyes físicas, específicamente el límite de Shannon, mantiene la velocidad de transmisión de datos. Por un largo tiempo, fue creído que una línea telefónica convencional no podría ser empujada más allá de los límites de baja velocidad (típicamente por debajo de 9,600 bit/s). En 1950, las señales de televisión de 4MHz fueron regularmente portadas entre estudios de cable ordinario de teléfono de par trenzado, sugiriendo que el límite de Shannon permitiría la transmisión de muchos megabits por segundo. Sin embargo, estos cables tenían otros problemas además de ruido Gausiano, previniendo tales tasas de ser prácticas en el campo. En los 80's, las técnicas fueron desarrolladas para comunicaciones de banda ancha que permitieron al límite ser grandemente extendido.

1. El transductor DSL hace un auto-chequeo
2. El transductor DSL verifica la conexión entre el transductor DSL y la computadora. Para variaciones residenciales de DSL, es usualmente el puerto de Ethernet o uno USB en modelos raros, un puerto de Cable de Fuego (FireWire) es usado. Módems DSL más antiguos soportaron una interface nativa ATM (usualmente, una interface serial de 25Mbit). También, algunas variaciones de DSL (tales como SDSL) usan conexiones seriales síncronas.
3. El transductor DSL trata de sincronizarse con el DSLAM. Los datos solo pueden llegar a una computadora cuando el DSLAM y el módem están sincronizados. Este proceso es relativamente rápido (rango de segundos) pero es muy complejo, envolviendo pruebas extensivas que permiten a ambos lados de la conexión, optimizar el desempeño de acuerdo a las características de la línea en uso. Unidades de módems externas o independientes tienen un indicador de "CD", "DSL" o "LINK" que puede ser usado para decir si el módem esta sincronizado. Las puertas de acceso (gateways) tienen más funcionalidad y usualmente van en un procedimiento de inicialización muy similar al de una PC iniciando. La imagen del sistema es cargada de memoria flash; el sistema inicializa, se sincroniza la conexión DSL y se establece la conexión IP entre la red local y el proveedor de servicios usando protocolos Protocolo Dinámico de Control de Huéspedes (DHCP), o Protocolo Punto a Punto sobre Internet (PPPOE). La imagen del sistema puede ser usualmente actualizada para corregir errores o agregar nuevas funcionalidades.

Equipo

El fin del cliente de conexión consiste en un Adaptador Terminal o Módem DSL que convierte los datos de señales digitales usadas por computadoras en señales de voltaje de una frecuencia en rango ajustable que es aplicada posteriormente a la línea telefónica. En algunas variaciones DSL (por ejemplo HDSL), el adaptador de la terminal esta directamente conectado a la computadora vía una interface serial, usando protocolos tales como RS-232 o V.35. En otros casos (particularmente ADSL), es común para el equipo del cliente ser integrado con mayor nivel de funcionalidad, tal como enrutamiento, compuerta u otras específicas de hardware y software. En este caso, el equipo entero es usualmente referido como enrutador / compuerta DSL. Algunos tipos de tecnologías DSL requieren la instalación de filtros apropiados para separar o esparcir la señal DSL desde la señal de voz de baja frecuencia. La separación puede realizarse por demarcación de punto, o puede hacerse con filtros instalados en las casetas telefónicas dentro de las premisas del cliente. De cualquier forma tiene sus limitaciones prácticas y económicas. En un intercambio, un Multicanalizador Digital de Línea de Acceso al Suscriptor (DSLAM) termina los circuitos DSL y los agrega, donde son manejados por transportes de red. En el caso de ADSL, los componentes de voz es también separado en este punto, ya sea por un filtro integrado en el DSLAM o por un equipo de filtrado especializado instalado anteriormente. El DSLAM termina todas las conexiones y recupera la información digital original.

Protocolos y Configuraciones

Muchas tecnologías DSL implementan una capa ATM sobre un bajo nivel de flujo de bits para permitir la adaptación de gran número de tecnologías diferentes sobre el mismo enlace.

Las implementaciones DSL pueden crear redes puenteadas o enrutadas. En una configuración puenteada, el grupo de computadoras suscritas se conectan efectivamente desde una sola subred. Las implementaciones más tempranas usaron DSCP para proveer detalles de red como el direccionamiento IP al equipo suscriptor, con la autenticación vía dirección MAC o un nombre de host asignado. Las implementaciones más tempranas usaron DHCP para proveer detalles de red como direccionamiento IP a los equipos suscriptores, con la autenticación vía dirección MAC o un nombre de host asignado. Las implementaciones posteriores regularmente usan PPP sobre Ethernet o ATM (PPPoE o PPPoA), mientras que la autenticación con identificación de usuario (user-id), contraseña y uso de mecanismos PPP proveen detalles de red. DSL también tiene razones de contención, que necesitan ser tomados en consideración cuando se decida entre tecnologías de banda ancha.

Tecnologías DSL

Las limitaciones de longitud de intercambio de línea telefónica a un suscriptor son más restrictivas para altas tasas de transmisión de datos. Las tecnologías como VDSL proveen alta velocidad, enlaces de alto rango como método de entrega de servicios "triple-play" (típicamente implementados en fibra a las restricciones de arquitecturas de red). Tecnologías como GDSL pueden incrementar más la tasa de datos de DSL.

Ejemplo de tecnologías DSL pueden incrementar más la tasa de datos de DSL. xDSL incluye:

- HDSL: Línea de Suscripción Digital de alta Tasa de Datos (High Data Rate Digital Subscriber Line),
- SDSL: Línea Digital Simétrica de Suscriptor, versión estandarizada de HDSL.
- ADSL: Una versión de DSL con una velocidad más baja de subida.
- ISDN: Línea Digital de Suscriptor (Digital Subscriber Line) – Línea Digital de Suscriptor.
- RADSL: Tasa Adaptativa de DSL (Rate-Adaptive DSL).
- VDSL: Línea Digital de Suscripción de Muy Alta Tasa o de Muy Alta Velocidad, (Very High Speed Digital Subscriber Line).
- VDSL2: Línea Digital de Suscripción de Muy Alta Tasa de Alta Velocidad 2, (Very High Speed Digital Subscriber Line 2).
- G.SHDSL: (Symmetric High-Speed Digital Subscriber Line), Línea digital de Suscriptor Simétrica de Alta Velocidad es un reemplazo estandarizado para SDSL de la UIT.
- PDSL: Powerline DSL, una solución de comunicaciones de alta velocidad sobre líneas eléctricas, la cual modula los datos de alta velocidad sobre la infraestructura de distribución de electricidad.
- UDSL, Etherloop, GDSL (Gigabit DSL, basada en tecnología MIMO).

Los métodos de transmisión varían por mercado, región, proveedor de servicios y equipo.

2B1Q: Dos-binario, uno-cuaternario (Two-binary, one-quaternary), usado para IDSL y HDSL.

CAP: Modulación de Amplitud de Fase sin Portadora (Carrierless Amplitude Phase Modulation) – depreciada en 1996 para ADSL para HDSL.

DMT: Discrete Multitone Modulation, del tipo más numeroso, conocido de otra manera como OFDM.

7.5 Controles de Gestión para IPTV

Es crítico cuando muchos flujos son transmitidos simultáneamente. El control de congestión es un Protocolo punto-a-punto, implementado por el emisor o receptor. Generalmente se logra ajustando las diferentes tasas de envío de fuentes diferentes de IPTV (canales) para que no sobre use los routers de Internet. Aunque el Algoritmo de Control de Congestión en TCP es eficiente para transferencias de datos grandes, aplicando decrementos a la tasa de datos disponible al flujo de video en tiempo-real puede afectar la calidad del video para el usuario. Así, nuevos algoritmos deben ser desarrollados para resolver este problema de aplicaciones de flujo de A/V que tienen dos características en común:

- Baja respuesta de acuerdo al suave Throughput de datos
- Falta de amabilidad de TCP (Algoritmo de Control Amigable de Tasa TCP - TRFC)

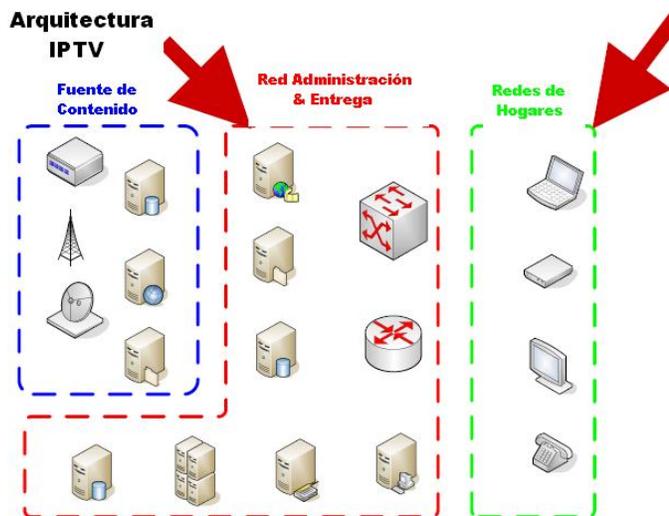


Fig. 7.13 Arquitectura IPTV

Contenido Fuente

Todos los dispositivos, procesos y redes que importan y guardan contenidos de video:

Fuentes Diversas

- Satélite
- RF
- Cintas Pre-grabadas
- Cables, etc.

Entrega y Administración de Red

Todos los dispositivos y redes usadas para entregar video a través de la red a los clientes:

- Servidores de Codificación y Flujo
- Servidores en Demanda
- Red Dorsal

Funcionalidades Mayores

- Autorización / Autenticación de Clientes
- Servicio del Cliente
- Proveedor de contenido de video (vía normal o en demanda)
- Multicast
- Unicast

Red Casera

Equipo en las premisas del cliente. Cualquier cosa que conecta a una red casera del cliente:

- Computadora
- Caja Negra se registra a sí misma a un servidor
- Compuerta de Enlace (Gateway) Casera
- Consola de Juegos
- Teléfonos, etc.

7.6 Comunicación entre Controles de Admisión

Un método para entregar sobre una red de acceso una cadena de datos que requiere un ancho de banda particular y una calidad de servicio particular, cuyo método comprende la etapa de proveer una pluralidad de circuitos virtuales capaces de cumplir unos requisitos de ancho de banda y de calidad de servicio entre una pluralidad de usuarios acoplados a dicha red de acceso, y un servidor de acceso de dicha red de acceso acoplado a un proveedor de contenido que puede funcionar para entregar dicha cadena de datos, caracterizado porque, después que un usuario particular ha solicitado dicha cadena de datos de dicho proveedor de contenido, y si dicho usuario particular carece de soporte para negociar o acusar recibo de dicho ancho de banda particular a través de dicha red de acceso con dicha calidad de servicio particular, dicho método comprende además las etapas de: - identificar, en una unidad central de control de dicha red de acceso, un circuito virtual de entre dicha pluralidad de circuitos virtuales capaces de garantizar dicha calidad de servicio particular entre el mencionado usuario particular y dicho servidor de acceso, comprobar, en dicha unidad central de control, si dicho circuito virtual puede transportar dicho ancho de banda particular, - de acuerdo con el resultado de dicha etapa de comprobación, permitir que dicha cadena de datos se entregue sobre dicho circuito virtual al citado usuario particular, o no permitir que dicha cadena de datos sea entregada a dicho usuario particular.

7.7 Compatibilidad de las Comunicaciones y la Difusión

Se presentan los siguientes problemas de compatibilidad entre ambos:

- Harmonización entre tráfico oblicuo (AB estrecho, sin tiempo-real) y multicast (tráfico de video uno-muchos en tiempo-real).
- Harmonización entre señalización de telecom (señalización E2E) y multicast (señalización de red).
- Separación de red de transporte de medios y la de señalización.

Principios del DVB (Digital Video Broadcasting)

El DVB (Digital Video Broadcasting) es un organismo encargado de crear y proponer los procedimientos de estandarización para la televisión digital compatible. Está constituido por más de 270 instituciones y empresas de todo

el mundo. Los estándares propuestos han sido ampliamente aceptados en Europa y casi todos los continentes, con la excepción de Estados Unidos y Japón donde coexisten con otros sistemas propietarios. Todos los procedimientos de codificación de las fuentes de vídeo y audio están basados en los estándares definidos por MPEG. No obstante, hemos visto que los estándares MPEG sólo cubren los aspectos y metodologías utilizados en la compresión de las señales de audio y vídeo y los procedimientos de multiplexación y sincronización de estas señales en tramas de programa o de transporte. Una vez definida la trama de transporte es necesario definir los sistemas de modulación de señal que se utilizarán para los distintos tipos de radiodifusión (satélite, cable y terrena), los tipos de códigos de protección frente a errores y los mecanismos de acceso condicional a los servicios y programas.

El DVB ha elaborado distintos estándares en función de las características del sistema de radiodifusión. Los estándares más ampliamente utilizados en la actualidad son el DVB-S y el DVB-C que contemplan las transmisiones de señales de televisión digital mediante redes de distribución por satélite y cable respectivamente. La transmisión de televisión digital a través de redes de distribución terrestres utilizando los canales VHF convencionales se contempla en el estándar DVB-T, que actualmente se está implantando en la mayor parte de los países europeos. Además de estos estándares también están especificados sistemas para la distribución de señales de televisión digital en redes multipunto, sistemas SMATV (Satellite Master Antenna Televisión). También existen estándares que definen las características de la señalización en el canal de retorno en sistemas de televisión interactiva, la estructura de transmisión de datos para el cifrado y descifrado de programas de acceso condicional, la transmisión de subtítulos, y la radiodifusión de datos (nuevos canales de teletexto) mediante sistemas digitales.

Transmisión

Los sistemas DVB distribuyen los datos por:

- satélite (DVB-S y DVB-S2)
- Cable (DVB-C y DVB-C2)
- Televisión terrestre (DVB-T)
- Televisión terrestre para dispositivos portátiles (DVB-H)

Estos estándares definen la capa física y la capa de enlace de datos de un sistema de distribución. Los dispositivos interactúan con la capa física a través de un interfaz paralelo síncrono (SPI), un interfaz serie síncrono (SSI) o un interfaz serie asíncrono (ASI). Todos los datos se transmiten en flujos de transporte MPEG-2 con algunas restricciones adicionales (DVB-MPEG). Se está experimentando en varios países un estándar para distribución comprimida en el tiempo (DVB-H) para distribución a dispositivos móviles.

Estos sistemas de modulación se diferencian principalmente en los tipos de [modulación] utilizados, debido a las diferentes restricciones técnicas:

- DVB-S (SHF) utiliza QPSK
- DVB-S2 (SHF) utiliza QPSK y 8PSK
- DVB-C (VHF/UHF) utiliza QAM (64-QAM en general)
- DVB-T (VHF/UHF) utiliza COFDM

DVB-S

Digital Video Broadcasting by Satellite (DVB-S) es un sistema que permite incrementar la capacidad de transmisión de datos y televisión digital a través de un satélite UH11. La estructura permite mezclar en una misma trama un gran número de servicios de vídeo, audio y datos.

Para transmisiones vía satélite se adopta la codificación QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), con un flujo binario variable de 18,4 a 48,4 Mbits/s. El formato DVB-S es ampliamente usado en países europeos como Alemania y Finlandia.

Esquema de Alimentación y Servicio

El sistema DVB trabaja en la PSI (Información específica de programa) de la trama MPEG, con tablas de sistemas independientes que lo trabajan. Esto se denomina información de alimentación o servicio.

Cadena de Transmisión

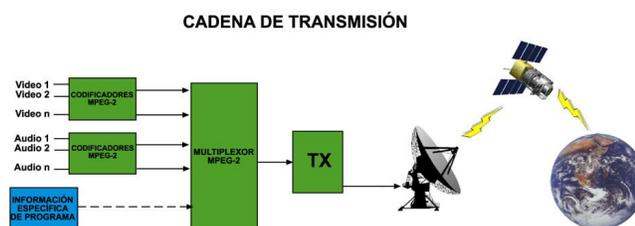


Fig. 7.14 Cadena de transmisión

Conformación de la Trama de Transporte

El estándar para la transmisión de televisión digital por satélite es, sin duda, el más ampliamente utilizado y, probablemente, su éxito, ha sido el detonante de la progresiva implantación del resto de sistemas DVB. Actualmente está siendo utilizado por proveedores de servicios en todos los continentes. En Europa es el único sistema de televisión digital por satélite implantado.

Podemos considerar que el sistema DVB-S parte de la trama de transporte proporcionada por el MPEG-2, introduciendo distintas capas de protección a la señal para adecuarla a las características del canal por el que debe transmitirse. Las etapas sucesivas en las que se introducen nuevas características a la trama de transporte se resumen a continuación:

- Inversión de los bits de sincronismo en uno de cada ocho paquetes de la trama de transporte. Cada paquete de la trama de transporte es de 188 bytes, lo que significa que se la inversión de signo en los bits de sincronismo se repite cada 1504 bytes.
- Inserción de un código aleatorio a la trama resultante. La adición de éste código pretende garantizar que las características estadísticas de los datos sean prácticamente aleatorias. La aleatorización se obtiene realizando una suma OR exclusiva entre la secuencia de datos y una secuencia obtenida mediante un generador por registros de desplazamiento. La secuencia aleatoria se reinicia cada 8 paquetes de la trama de transporte.
- Adición de un código de detección y corrección de errores de Reed-Solomon. Este código se denomina código externo y es común en todos los estándares del DVB. Introduce 8 bytes de redundancia para cada paquete de 188 bytes.
- Aplicación de un entrelazado convolucional (Fourney) cuyo objetivo es dispersar las ráfagas de errores de canal. De este modo, si se produce una ráfaga de errores, debida a un desvanecimiento del canal, los errores afectarán a paquetes distintos y, probablemente, podrán eliminarse usando las propiedades correctoras de los códigos interno y externo.
- Inserción de un segundo código protector de errores. Este código recibe el nombre de código interno y es de naturaleza convolucional. El grado de redundancia que introduce éste código no está fijado de antemano y puede configurarlo el proveedor del servicio para adaptarse a las características del sistema que desee utilizar (potencia de transmisión, tamaño de las antenas transmisoras y receptoras, tasa de datos disponible, etc.).
- Modulación de la portadora mediante QPSK (Quadrature Phase Shift Keying).

Esquema del Bloque Transmisor

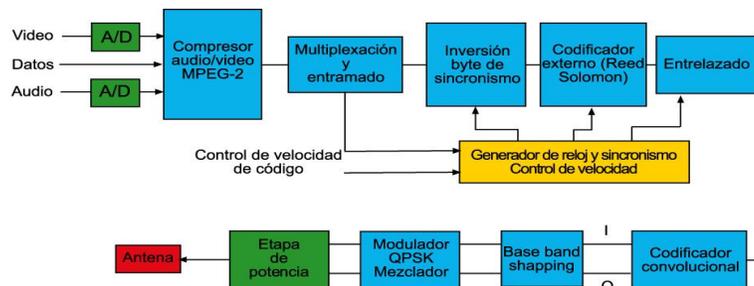


Fig. 7.16 Bloque de transmisión

El Bloque Receptor

En el receptor deben realizarse las operaciones inversas para tener acceso a la trama de transporte que soporta la información de los programas de televisión en formato MPEG-2. El estándar DVB-S proporciona suficiente flexibilidad como para que el operador del servicio pueda decidir el contenido de los programas de televisión que proporciona. Por tanto, es posible que se transmitan señales con definición mejorada, de alta definición o de definición convencional. En función de las características del enlace puede seleccionarse el código de protección de errores interno. En transmisiones con un ancho de banda de 36 MHz es habitual utilizar códigos internos 3/4 (3 bytes de datos, 1 de redundancia), con lo que se consiguen tasas de datos de unos 39 Mbps.

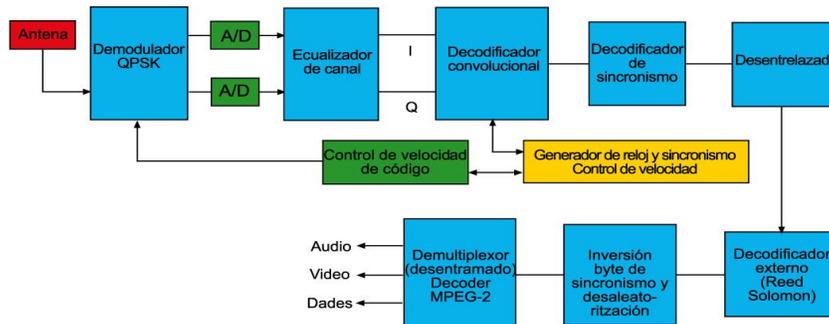


Fig. 7.17 Bloque receptor

DVB-C

DVB-C son las siglas de Digital Video Broadcasting - Cable basada en el estándar europeo ETS 300 429 de Diciembre de 1994 "Digital Broadcasting Systems para servicios de Televisión, sonido and datos; estructura Framing, codificación de canal y modulación para sistemas de cable" elaborado bajo el auspicio de la Unión Europea de Radiodifusión (EBU) y el Instituto Europeo de Estandarización de Telecomunicaciones (ETSI). DVB-C forma parte del estándar DVB, que define la modulación de las tramas MPEG-2 dependiendo del tipo de radiodifusión que va a tener ya sea satélite (DVB-S), cable (**DVB-C**) o VHF/UHF (DVB-T).

DVB-C presenta las siguientes características:

- Utiliza una modulación 64-QAM, con 6 bits por símbolo.
- El ancho de banda del canal de transmisión es 6-8 MHz.
- La señal DVB-C es robusta frente al ruido, presenta una SNR = 30dB.
- El hecho de que la difusión sea mediante cable, hace que la implantación de DVB-C sea complicada y de alto coste económico, y que la cobertura se limite a las redes que hay desplegadas.
- La emisión es inmune a la interferencia y los retardos son mínimos.
- Se producen ecos debidos a la mala adaptación de impedancias, para evitarlos necesitamos un buen corrector de errores.
- En el estándar DVB-C juntamente con la señal de video y audio, viaja la señal de datos (DVB-SI), con la cual podemos acceder a servicios como la EPG.
- Podemos hacer uso de la televisión interactiva, a través del estándar MHP, sin necesidad de conexión a red, pues el canal de retorno será el propio cable (dependiendo de si esa opción esta implementada por el emisor de la señal).

Diagrama de bloques

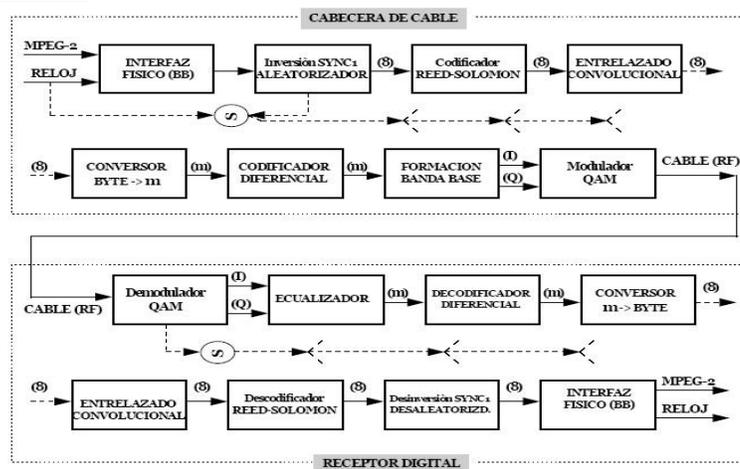


Fig. 7.18 Cabecera de cable y receptor digital

-Aleatorización: A la entrada del canal tenemos la formación de la banda base, de acuerdo con la capa de transporte MPEG-2. A continuación esta es sometida a un proceso de aleatorización, con el fin de conformar el espectro y que

este se distribuya uniformemente, de esta manera el espectro no se concentrara en rayas espectrales periódicas, lo que acentuaría las interferencias entre símbolos. La aleatorización que se utiliza es del tipo "set-reset".

-Codificación: Seguidamente se aplica una codificación Reed-Solomon, a fin de facilitar la detección de errores en la cadena de recepción, el código Reed-Solomon utilizado en el estándar ETS 300 429 es capaz de detectar 8 símbolos erróneos.

-Entrelazado: Una vez los paquetes están codificados, se aplica un entrelazado convolucional, con el fin de segmentar y repartir las ráfagas prolongadas de errores, facilitando así su posterior detección y corrección en recepción. La norma ETS 300 429 especifica que el entrelazado tiene que ser de profundidad 12. La combinación de la codificación Reed-Solomon y el entrelazado convolucional permiten la detección de 96 símbolos erróneos (768 bits).

-Conversión Byte-símbolo: Una vez la señal en banda base ya esta acondicionada para su transmisión, esta entra en el bloque de conversión de byte a símbolo. El número de bits por símbolo depende del número de símbolos de la constelación.

-Codificación Diferencial: A los 2 bits de más peso se les aplica una codificación diferencial, con el fin de conseguir una constelación QAM invariante en rotaciones de $\pi/2$. Merced a esta codificación diferencial, los puntos del cuadrante primero de la constelación-QAM se pueden convertir en los del cuadrante segundo, tercero o cuarto, sin más que cambiar los dos bits más significativos.

-Filtrado: Antes de la modulación QAM, y con objeto de reducir la interferencia entre símbolos, las señales I y Q se someten a un filtrado de raíz de coseno alzado, con factor de redondeo (roll-off) de 0.15.

-Modulación Una vez filtrada la señal se modula en QAM y se envía, la constelación utilizada puede ser de 16,32,64,128 o 256 símbolos. La cadena receptora hace los procesos recíprocos para obtener la señal MPEG-2 enviada.

7.8 Seguridad & Privacidad

Existen posibles ataques y fallas de red para los servicios de IPTV. La rápida recuperación después de ellos es importante para minimizar el impacto negativo. Se debe proveer al usuario seguridad y privacidad con entrega confidencial de datos como canales de programas y contenidos, prevención de SW/usuarios maliciosos y Negación de Servicio (DoS). Así mismo quedan por ver los Derechos de Administración de Distribución Digital (DRM) para proteger los derechos de autor de contenidos de video, la autenticación de clientes para verificar los privilegios de acceso y la prevención del estancamiento de tráfico / ataques de sobre-consumo de AB.

Logros de los Atacantes

- Tomar el control de una gran cantidad de redes caseras
 - Irrupción del servicio
 - Esparcimiento de gusanos, troyanos y virus
 - Difusión amplia de material propio (por razones políticas o de otra índole)
- Robo del contenido
 - Para piratería o tan simple como una fuente TV P2P
 - Para video/TV gratuita

Problemas de Seguridad de IPTV

- Red Casera (Entender la realización de la autenticación y autorización):
 - Logrado al suplantar la identidad (spoofing) de la dirección MAC.
 - Vulnerabilidad de la seguridad en equipos de redes caseras:
 - Administración de dispositivos.
 - Debilidad del dispositivo.

- Comunicación de Caja Negra (Imagen de secuencia de arranque-boot- descargada de un servidor TFTP)
 - Caja negra se registra a sí misma a un servidor de conectividad (middleware)
 - Caja negra recibe el canal escuchado, directorio de aplicación (diferente de TV)
 - Reporte de membresía de IGMP (Indicar el canal actual o unirse a uno nuevo)
 - IGMP deja el grupo
 - Dejar el canal
 - Paquete apagado

Reporte de Membresía de IGMP

- Cada canal toma una dirección multicast.
- Paquetes IGMP para estar en un canal o dejar el actual.
- La caja negra ha escuchado el servicio para recibir contenido de canal.

Acceso Local a Dispositivo

- Conectar teclado/ratón a USB
- Acceso de comandos de Shell
- Herramientas en la caja negra (Set-Top-Box, STB)
- Modificar EEPROM
- Trabaja si la autenticación usa la dirección MAC de la caja
- Acceso a otra información relacionada a DRM

Vulnerabilidades

Interfaces de administración Web

- Problema de validación de datos
- Otros problemas de aplicaciones Web estándar

Cuentas y contraseñas débiles/default

Puede aplicar para:

- Interface de Administración Web
- Telnet / SSH
- SNMP

Entrega y Administración de Red

- Problema de mediación.
- Problema de flujo/codificación de servidores

Acceso a otros servidores

Cambiar su dirección IP al rango de las direcciones IP de las cajas.

Escanear el rango de la red y encontrar:

- Servidor de mediación
- Servidor de bases de datos, otros.
- Se pueden encontrar contraseñas o archivos de configuración, Interfase de Administración Web para servidor de mediación, bases de datos y películas para prueba.

Servidores de Flujo y Codificación

- Sobre-flujo del buffer de RTSP
- Débil pila TCP/IP

Protocolo de Flujo en Tiempo Real

The Real Time Streaming Protocol o RTSP, es un protocolo de aplicación para el control de flujo sobre la entrega de datos en tiempo real. RTSP proporciona una extensible trama para habilitar el control de la entrega de datos en tiempo real, tal como audio y video. Los orígenes de datos pueden ser archivos en tiempo real o almacenado. Este protocolo tiene la intención de controlar múltiples sesiones de entrega de datos.

Buffer de Sobreflujo

- Cambiar el Identificador de Recursos Uniforme (URI - Uniform Resource Identifier) para el método DESCRIBIR una gran cantidad de datos, se obtiene sobrecarga de flujo en el servidor VoD.
- Otra localización de la implementación puede tener el mismo problema.
- PROTOCOLO para RTSP, Protocolo de Flujo de Datos en Tiempo Real (Real Time Streaming Protocol)

Pila TCP/IP

- Servidores de flujo o codificación son buenos en el envío de datos.
- No son buenos en el manejo de tráfico entrante.
- Un escaneo total de puertos **nmap** en el manejo de tráfico entrante podría degradar la respuesta de los servidores de 10ms a 300ms por ejemplo.
- Un escaneo agresivo podría causar la Negación de Servicio

Fuente de Contenido

- Encontrar el respaldo
- Encontrar la fuente
- Administrador de VoD
- Interface de Administración Web

Resumen de Seguridad IPTV

Privacidad, Confidencialidad, Integridad, Disponibilidad, Interoperabilidad.

Manejo de Información de Clientes:

- Información Personal Identificable (PII - Personal Identifiable Information) viaja en la red al ordenar alguna película.
- Vulnerabilidad en el sistema de cobro final.
- Pertenencia del Equipo en las Premisas del Cliente.
 - Confidencialidad
 - Contenido de Video
- Uso de la Administración Digital de Derechos (DRM – Digital Right Management)
- Personas robando contenidos directamente del contenido fuente
- Pérdida de respaldos de cintas y laptops
- Usar las cajas como un Grabador Digital de Videos (DVR – Digital Video Recorder).

Integridad

- Modificación del contenido
- Seguridad Multicast y Unicast
- Seguridad de Contenido Fuente
- Integridad de Sistema de Cobro
- Accesos al sistema de cobro y prevención del fraude interno.

Disponibilidad

- Disrupción de servicio IPTV
- Ataque en varios niveles de Negación de Servicio.
- Caída de servicios simultáneos (datos o voz)
- Dependencias del sistema.

Interoperabilidad

- No existe un estándar actual en IPTV.
- Otra vulnerabilidad para un proveedor de servicios puede no trabajar para otro.
- Estándares en práctica (ITU- ISO, ISMA.tv).

Medidas TomadasOrganización

- Integrar con equipos actuales de seguridad.
- Ciclo de vida del desarrollo seguro.
- Evaluar, probar y responder.
- Análisis de huecos (Entender línea de seguridad inicial / actualizada tecnológicamente).

Programa y Procedimiento

- Cambio del procedimiento administrativo (listas de control de accesos).
- Programa de respuesta a incidentes (reconocimiento, respuesta, evolución).
- Programa y procedimiento de evaluación de la seguridad (tecnología y desarrollo).

Tecnología

- Controlador de Enlace de Datos Síncrono - Seguro (SDLC-Synchronous Data Link Controller)
- Medidas de seguridad impactan en el desempeño.
- Monitoreo y Administración en seguridad, (desarrollo estandarizado la mejor práctica).

Caminata IPTV (Hogares de Usuarios)

Pasarela casera (si existe) inicializa y autentifica:

- DHCP, TFTP o NFS para obtener las últimas imágenes inicializadas.
- Autenticar con MAC, llave aleatoria, pública/privada

Elección del canal:

- Multicast IP en marcha
- IGMP une / deja un grupo para cambiar de canal

7.9 Normalización de IPTV

En marzo de 2007 se creó el Open-IPTV-Forum, con el objeto de desarrollar unas especificaciones normalizadas que permitan la utilización "plug and play" de dispositivos de cualquier fabricante para la prestación de servicios finales por parte de cualquier proveedor.

El foro está constituido por 19 miembros, todos ellos fabricantes de equipos, operadores de telecomunicaciones y proveedores de servicios: Alcatel Lucent, Amino Communications, Deutsche Telekom, Ericsson, France Telecom, Huawei, LG Electronics, Nokia Siemens Networks, Panasonic, Philips, Samsung, Sony, Sun Microsystems, Telecom Italia Group, Telefónica, TeliaSonera, Tilgin, Verimatrix Inc y ZTE Corporation.

Las especificaciones desarrolladas serán dirigidas a los organismos internacionales de estandarización, con el fin de modificar los estándares actuales implicados o incorporar nuevos cuando resulte necesario.

La UIT asumirá una función rectora con la creación de un Grupo de Reflexión sobre TVIP (IPTV FG). Esta decisión se tomó debido a los beneficios que aporta la normalización mundial a las distintas partes del sector de la TVIP y a la necesidad de avanzar rápidamente para evitar la fragmentación del mercado.

Esta iniciativa, si bien se reconoce que se está haciendo un trabajo de normalización en distintos lugares, incluyendo la UIT, es una reacción al llamamiento que ha hecho la industria para que la UIT estimule y coordine un trabajo de normalización mundial en este sector.

El sistema del TVIP distribuye a los consumidores un servicio de televisión digital utilizando el protocolo Internet y una conexión de banda ancha. El nuevo sistema facilitará la oferta de otras empresas, muchas de las cuales ya empiezan a utilizar la infraestructura de redes de nueva generación (NGN) basadas en el protocolo Internet, para combinar servicios de vídeo, voz y datos.

Las normas son necesarias para que los proveedores de servicios (empresas de radiodifusión tradicionales, proveedores de servicio Internet o proveedores de servicios de telecomunicaciones) puedan controlar sus plataformas y su oferta. Las normas serán una incitación a la innovación, contribuirán a ocultar la complejidad de los servicios, garantizarán la calidad del servicio (QoS), permitirán la compatibilidad de sistemas y crearán condiciones para la competitividad de las empresas.

El Grupo de Reflexión IPTV FG está encargado de coordinar y fomentar el desarrollo de normas mundiales para el sistema TVIP, teniendo en cuenta el trabajo que han realizado las Comisiones de Estudio de la UIT y otras organizaciones de normalización, foros y consorcios. En particular, el IPTV FG tiene los siguientes cometidos:

1. Definición del sistema TVIP:
 - Identificar las distintas situaciones, puertas de entrada y relaciones con otros servicios y redes.
 - Identificar los requisitos y definir una arquitectura marco.
2. Examen y análisis de insuficiencias de las normas existentes y del trabajo actual:
 - Identificar oportunidades para la UIT.
 - Identificar actividades que la UIT puede encargar a otras organizaciones.
3. Coordinar las actuales actividades de normalización.
4. Armonizar el desarrollo de nuevas normas.
5. Fomentar la compatibilidad con sistemas existentes cuando sea posible.

El Grupo de Reflexión partirá del trabajo existente y se ocupará de la arquitectura, los requisitos, la calidad del servicio, la seguridad, aspectos de red y control, sistemas de extremo y compatibilidad entre sistemas, aplicaciones complementarias y plataformas de aplicación.

7.10 Situación Respecto a Mobile-TV

La televisión móvil (o televisión portátil, de tamaño similar a los actuales teléfonos celulares) y los servicios de vídeo digital se están popularizando alrededor del mundo. Se estima que para 2011 la demanda aumentará con más de medio billón de consumidores suscribiéndose a servicios de vídeo en sus teléfonos celulares.

El avance de la convergencia de terminales y servicios presiona por la desaparición de fronteras entre industrias, entes reguladores, prestadores, redes y servicios. Convergen las tecnologías de la información con la electrónica de consumo, las telecomunicaciones, las productoras de contenidos y las empresas de medios.

Lo que alguna vez fue una experiencia comunal, como el ver la televisión con la familia en la sala, poco a poco cambiará. La tv móvil dará paso a una experiencia más personal, privada, independiente, multimedia, interactiva y flexible, al poder verse donde y como el usuario lo desee, sin tener que estar enfrente de un aparato y en un sitio en particular para disfrutar de los programas favoritos. Los propulsores de la TV móvil suelen describir tres modalidades bien diferenciadas del servicio: unicast, MBMS (Multimedia Broadcast and Multicast Service) y broadcasting.

La modalidad unicast se caracteriza por la oferta de contenidos a demanda. El usuario puede elegir entre una gran variedad el contenido que quiera. Es la alternativa más costosa. La modalidad MBMS, que está prevista en la tercera

generación celular UMTS, le permitirá al usuario acceder a una variedad personalizada de contenidos. Podrá optar entre varios paquetes. El costo de esta alternativa será menor a la de la modalidad unicast.

Normalmente, en la modalidad broadcast el usuario podrá acceder a una cantidad predeterminada de canales. Será la más masiva y la más económica de las tres. Esta modalidad, a diferencia de las dos anteriores, hará uso de una red de teledifusión independiente de la red celular. Ejemplos de esta modalidad son DVB-H, MediaFLO e ISDB-T.

En el caso de ISDB-T la red de teledifusión que se utiliza es la misma con que se transmite para los usuarios fijos. Uno de los 13 segmentos en que se divide el canal se dedica a transmitir para los móviles. Así, la recepción es gratuita. El servicio de TV móvil queda en manos de los radiodifusores y recibe financiación de la publicidad. Hay quienes opinan que este modelo es viable sólo en países de alto poder adquisitivo, como Japón, dado que al no intervenir los operadores de telecomunicaciones, no hay quien tenga interés en subsidiar los terminales, que resultan muy costosos. También argumentan que la calidad del servicio, al no mediar un contrato, queda limitada al "best effort", no pudiendo el usuario reclamar por deficiencias del mismo.

La TV móvil también implicará nuevos formatos, el estudio establece que habrá énfasis en tomas enfocadas a las cabezas, primeros planos y detalles, contenido de corta duración para consumo rápido, énfasis en el espectáculo visual sobre la narrativa, orientación a la imagen y se dará mayor importancia al contenido local. Con respecto al marco regulatorio, habrá variaciones en cada país, en relación con la asignación y manejo que cada uno tiene del espectro radioeléctrico, así como la competencia y la cultura.

En el caso del DVB-H y MediaFLO se utilizan recursos diferenciados de los que se utilizan para la TV Digital Terrestre Abierta. DVB-H puede utilizar canales distintos a los de la TV Digital Terrestre Abierta, o bien una porción del mismo canal empleado para la TV Digital Terrestre Abierta. MediaFLO utiliza canales distintos a los de la TV Digital Terrestre Abierta. La televisión móvil comienza a ser una realidad y se está convirtiendo en una aplicación importante en el despliegue de servicios de telefonía móvil. Actualmente, ya puede verse en algunas ciudades de Europa y muy pronto se convertirá en un servicio universal debido a la tecnología DVB-SH desarrollada por Alcatel-Lucent, y que hará posible que la televisión llegue a dispositivos móviles de tercera generación 3G en áreas urbanas y rurales.

DVB-SH es el acrónimo de Digital Video Broadcasting - Satellite service to Handheld que corresponde a una tecnología híbrida (satélite/terrestre) que se basa en el uso de transmisiones vía satélite y terrestres para emitir señales de TV en móviles. Para ello incorpora un satélite geoestacionario de la alta potencia para la cobertura en exteriores, integrado con una red terrestre de repetidores para cobertura indoor en áreas urbanas, donde a veces no hay línea de vista entre el teléfono móvil y el satélite.

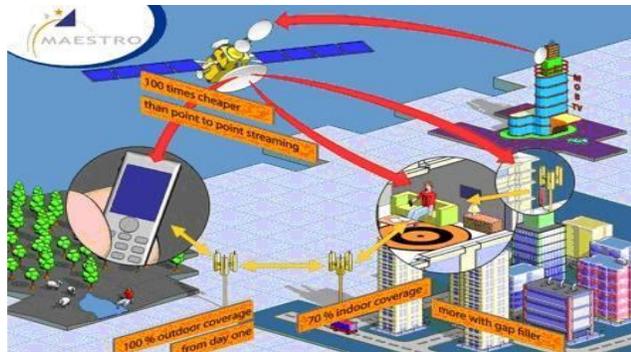


Fig. 7.19 Comunicación inalámbrica

Las redes de celular actuales no soportan alto Ancho de Banda, aplicaciones de tiempo-real como video, mientras que las redes broadcast móviles soportan múltiples usuarios dentro de una celda con solo descargas. Ambas, subidas y descargas deben usarse con redes broadcast de alta capacidad. Debido a la limitación de AB el servicio de TV-Móvil puede degradar el desempeño y capacidad de las celdas, y es difícil proveer servicios interactivos personalizados. El reto más desafiante es el del AB. El Multicast inalámbrico juega parte importante y para propósitos de robustez, TV-Móvil está normalmente distribuida desde una o más fuentes de contenido de video a múltiples destinos. La mayoría de la investigación de Multicast no toma el problema de fuentes & destinos múltiples. Así mismo se debe reducir el consumo de energía para Multicast inalámbrico de dispositivos móviles. Existe trabajo requerido para que IMS provea servicios de IPTV.

Topología de DVB-SH

El sistema DVB-SH ha sido diseñado para frecuencias menores a 3 Ghz, específicamente en la banda L y S:

- Banda-S: 2170-2200 MHz.
- Banda-L: 1452-1492 MHz.
- Banda-S: 2635-2660 MHz en China.

En Europa donde ya se han hecho las primeras pruebas se emplea la banda S (2.17-2.20 GHz), adyacente a la banda empleada por UMTS. Esto permite que los operadores móviles de UMTS realicen un despliegue de red más eficiente, ya que se podrían re-usar antenas y emplazamientos de la red UMTS para instalar repetidores DVB-SH.

Sus creadores dicen que este re-uso permitiría ahorrar un 50 % del despliegue con respecto a otras tecnologías pues ya no sería necesario desplegar nueva infraestructura como en otras soluciones como DVB-H (antecesor de DVB-SH).

El sistema incluye características de turbo coding para FEC y alta flexibilidad de interleaving. Además, especifica dos modos de funcionamiento:

- SH-A: usa COFDM(coded orthogonal frequency-division multiplexing) en los enlaces satelitales y terrestres.
- SH-B: usa TDM en el enlace satelital y COFDM en el terrestre.

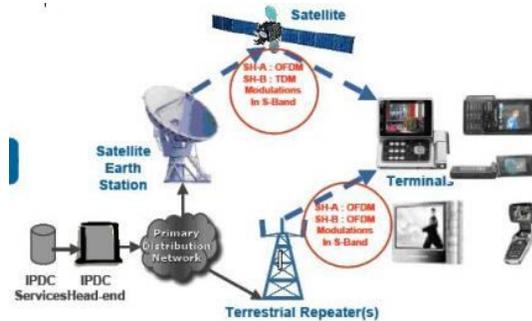


Fig. 7.20 Sistema de comunicación inalámbrica

Modos de funcionamiento

Gracias al mayor ancho de banda que ofrece, DVB-SH permite captar más canales de televisión, hasta 90, pero se recomienda sólo 27 canales usando la mitad del espectro para poder asegurar calidad de servicio.

Observando los requerimientos de los de los usuarios, los analistas aseguran que la televisión móvil tendría un mercado de millones de suscriptores. Por ello, Alcatel-Lucent tiene pensado desplegar la tecnología terrestre sobre la red UMTS durante el 2007 y espera dar el servicio de televisión móvil en Europa el año que viene.

Por su parte la empresa Thales Alenia Space ha empezado a construir un satélite que será lanzado a principios del 2009 para que los operadores Eutelsat y SES Global puedan proporcionar cobertura de televisión móvil en toda Europa.

En cuanto a los terminales móviles, DiBcom está diseñando un chipset para DVB-H en la Banda-S ya que DVB-SH es compatible con DVB-H y Sagem está desarrollando teléfonos móviles que soportan DVB-H en UHF y en la Banda-S.

DVB-SH ofrece una gran oportunidad para el desarrollo de la Sociedad de la Información puesto que nos encontramos frente la convergencia de dos servicios que tienen una penetración casi universal en el mercado: por un lado la televisión y por otro la comunicación móvil.

Los operadores celulares que se encuentran desplegando redes UMTS en diversos países o que ya lo han hecho, no deberían dejar pasar la oportunidad y aprovechar la infraestructura que ya tienen para brindar también este servicio.

Un factor muy importante para el éxito de cada tecnología de TV móvil va a ser la disponibilidad en el mercado de terminales combinados de estándares de 3G con una tecnología de TV móvil en particular: por ejemplo de ISDB-T con CDMA 2000 ó con W-CDMA, MediaFLO con CDMA 2000 ó W-CDMA, DVB-H con CDMA 2000 ó con W-CDMA, etc.

También, por supuesto, será importante qué espectro se atribuya para la TV móvil y quiénes resulten asignatarios de las licencias. De ahí dependerá que el negocio de la TV móvil quede en manos de los radiodifusores, de las empresas de telecomunicaciones celulares ó de nuevos competidores (ejemplo: Qualcomm operando MediaFLO en EEUU).

Al igual que ocurre con la convergencia en las redes fijas, en las móviles los radiodifusores cuentan con experiencia en la negociación de contenidos pero carecen de relación comercial con los usuarios, y lo contrario ocurre con los operadores de telecomunicaciones celulares. El futuro decidirá hasta que punto se generan alianzas entre ambos para explotar el nuevo negocio de la TV móvil.

8 Conclusiones

Durante los últimos años, los sistemas de telecomunicaciones se han enfocado en la convergencia de servicios digitales con la finalidad de mejorar la relación costo-beneficio tanto para los Proveedores de Servicios como para los usuarios finales. Una muestra clara de ello es el llamado Triple-Play, conformado por servicios de voz, datos y video, donde en este último da cabida a la IPTV.

El objetivo de este trabajo se enfocó a la parte técnica de la distribución de contenido de TV por Protocolo de Internet, por considerarlo un tema innovador que tiende a convertirse en uno de los principales factores que impulsen el mercado de las redes de próxima generación. Sin embargo también hemos tratado aspectos tales como las repercusiones, ventajas e inconvenientes, retos, expectativas, dificultades, avances y demás asuntos tanto para los esquemas de negocio del servicio en sí mismo, como para sus posibilidades actuales y futuras.

IPTV no debe verse como un sistema digital "sustituto" de la TV-análoga, pues es mucho más que eso. Éste sistema implica muchas mayores ventajas y comodidades para el usuario final que la TV-tradicional como la selección totalmente libre de los contenidos que desea ver, así como disfrutar de una calidad superior de la imagen y audio de sus programas o videos favoritos, sin tener que estar sujeto a "paquetes de canales".

Entre otras ventajas que ofrece IPTV destacan la separación entre la creación y la difusión de contenidos, impactando de manera importante a los usuarios, al recibir contenidos de mejor calidad al estar empresas dedicadas al 100% a la producción o la difusión, pero no a ambos. Tal es el caso de Televisa, México (dedicada a ambos rubros), obteniendo así que enfoquen sus esfuerzos en lo que sean mejores; por ejemplo Telmex dedicado a difusión y Televisa a la creación. Con lo planteado anteriormente, en un futuro no muy lejano, la implementación de nuevos servicios de comunicación será una tarea sencilla, en donde básicamente todo dependerá de una simple aplicación de software sin importar la infraestructura de red que se tenga.

Por otro lado, entre las ventajas de las redes IP esta el uso de soluciones de IMS, pues los servicios convergentes implican la interacción de aquellos ya existentes, como el Identificador de Llamada en Pantalla, que brinda la oportunidad de su manejo (enviándola a Correo de Voz, etc). Así mismo en estas redes brindan a los consumidores acceso en "cualquier-lugar/hora" a contenidos en sus TV's, PC's, teléfonos celulares, etc., integrando servicios y contenidos de calidad.

Es con esto que con IPTV se elimina la necesidad de crear una nueva infraestructura paralela destinada a la entrega de contenido en vivo y servicios de video-grabado como se hace con las cableras (Cablevisión) o satelitales (Sky) donde solo se cuenta con la posibilidad de seleccionar entre el flujo de información que el enlace de cable, satélite o de telecomunicaciones pueda soportar. En contraparte en las redes de paquetes conmutados el contenido permanece en la red y solo es llevado a casa (descargado) el seleccionado por el cliente. Esto libera Ancho de Banda y las elecciones del cliente están menos restringidas al ancho de la "tubería" que llega a casa.

No todo ha sido fácil para poder concebir este servicio de IPTV en la vida real, pues enfrenta grandes barreras como altas inversiones iniciales tanto en investigación, desarrollo, estandarización, y sobre todo la puesta en marcha en el mercado, que repercute tanto en CAPEX* como en OPEX*. Pero la recompensa que se espera será bastante fructífera tanto económicamente para los inversionistas, como tecnológica para los ingenieros e investigadores a cargo de su implementación en todo el mundo. Esto se verá reflejado en la total mejora de un servicio tradicionalista que romperá con los esquemas de negocio preestablecidos tanto de creación, como de distribución de contenidos.

En cuanto a Interactividad, una plataforma basada en IP también brinda oportunidades significativas en la experiencia personalizada del televidente. El proveedor puede, por ejemplo; incluir una guía interactiva de programación que permita a los suscriptores realizar búsquedas de contenidos por títulos, actores, o por imágenes que les permita una completa navegación de canales sin dejar el programa que están viendo.

Así mismo podrán tener acceso a fotos o música desde sus PC's en la TV, y usar un teléfono inalámbrico para agendar las grabaciones de sus programas favoritos o ajustar control de contenidos para menores para que puedan ver documentales para reportes escolares mientras se encuentran fuera de casa. Cabe notar que todo esto es posible hasta cierto grado con las redes digitales existentes tanto terrestres, satelitales y de cable; para poder hacerlo necesita existir un canal de realimentación entre el receptor y el transmisor, logrado al combinar las redes anteriores con Internet o una red de Comunicaciones Móviles.

Entre las limitaciones de IPTV están la sensibilidad a la pérdida de paquetes y retardos si el flujo de datos no es confiable. También la velocidad mínima se requiere para facilitar el número correcto de cuadros/segundo para entrega de imágenes en movimiento, lo que significa una conexión limitada en velocidad/Ancho-Banda disponible para un cliente de IPTV que puede reducir la calidad de servicio entregada.

* CAPEX - Capital Expenditure: Son todos los costos referentes a la inversión de infraestructura o plataforma, (equipos y sistemas).

* OPEX - Operational Expenditure: Son todos los costos referentes a la administración de la infraestructura, (personal, mantenimiento, insumos, reparaciones, actualizaciones, etc.).

Existen diferencias en las capacidades de redes dependiendo de la zona, por ejemplo los 100Mbit/s contra los ~3.5Mbit/s del Reino Unido, que con la provisión simultánea al hogar de canales de TV, VoIP y acceso a Internet no pueden ser viables. Dadas las limitantes de la parte inalámbrica, la mayor parte de Proveedores de Servicios de IPTV usan hoy tecnologías de red alámbricas a casa en vez de 802.11, las cuales proveedores de servicios como AT&T se ven en la necesidad de adoptar e implementar.

Es así que IPTV se esta implementando por un número pequeño de compañías (*Imagenio, PCCW, Tandberg*) que proveen los flujos más actualizados de esta industria de IPTV que excedió globalmente los 2 billones de dólares en 2007 y se espera un mayor éxito en un corto tiempo.

Referencias

Generales

<http://www.isa.cie.uva.es/proyectos/codec/teoria4.html>
http://www.futura-ciencias.com/fr/comprendre/dossiers/doc/t/telecoms/d/les-turbocodes_366/c3/221/p1/
<http://es.wikipedia.org/wiki/MPEG-2>
<http://www.arrakis.es/~aikido/interdic/articul8.htm>
[http://www.videnet.gatech.edu/cookbook.es/list_page.php?topic=3&url=mpeg.htm&le\[\]vel=1&sequence=3&name=MPEG](http://www.videnet.gatech.edu/cookbook.es/list_page.php?topic=3&url=mpeg.htm&le[]vel=1&sequence=3&name=MPEG)
<http://www.albertomurillo.com/>
http://danielcastelao.org/apuntes/damian/ASlredes/eval1/mod_dixitais.pdf
http://www.ictp.trieste.it/~radionet/2001_school/lectures/fitton/digital_mod.pdf
 Apuntes de la Materia: Comunicaciones Digitales

Entrega de Contenidos IPTV

http://es.wikipedia.org/wiki/V%C3%ADdeo_bajo_demanda
<http://es.wikipedia.org/wiki/IPTV>
http://www.teleco.com.br/es/es_IPTV.asp
<http://www.espanol.frecuenciaonline.com/home/contenidos.php?id=106&identificaArticulo=1339>
<http://www.masternewmedia.org/es/iptv-vs-televisión-via-internet>

MPLS

- * ANDERSSON L. et al., "LDP Specification", Internet Draft, <draft-ietf-mpls-ldp-05.txt>, junio 1999
- * AWDUCHE D.O. et al., "Requirements for Traffic Engineering Over MPLS", Internet Draft, CALLON R. et al., "A Framework for Multiprotocol Label Switching", Internet Draft.
- * ROSEN E.C., VISWANATHAN A., CALLON R., "Multiprotocol Label Switching Architecture", Internet Draft, <draft-ietf-mpls-arch-06.txt>, agosto 1999
- * SEMERIA C., "Multiprotocol Label Switching: Enhancing Routing in the New Public Network", Juniper Networks Inc., White Paper, <http://www.juniper.net/techcenter/techpapers/mpls/mpls.html>, marzo 1999
- * SEMERIA C., "Traffic Engineering for the New Public Network", Juniper Networks Inc., White Paper, enero 1999, http://www.juniper.net/techcenter/techpapers//TE_NPN.html
- * SEMERIA C., Stewart III J.W., "Optimizing Routing Software for Reliable Internet Growth", Juniper Networks Inc., White Paper, julio 1999, <http://www.juniper.net/techcenter/techpapers/optimizing-routing-sw.fm.html>
- * Charter IETF sobre MPLS <http://www.ietf.org/html.charters/mpls-charter.html>

QoS

- * BLAKE S. et al., "An Architecture for Differentiated Services", RFC 2475, diciembre 1998
- * LI T., REKHTER Y., "A Provider Architecture for Differentiated Services and Traffic Engineering (PASTE)", RFC 2430, octubre 1998
- * NICHOLS K. et al., "Differentiated Services Operational Model and Definitions", Internet Draft, <draft-nicholsdsopdef-00.txt>, febrero 1998
- * SHENKER S., PARTRIDGE C., GUERIN R., "Specification of Guaranteed Quality of Service",
- * RFC 2212, septiembre 1997
- * STEPHENSON, "DiffServ and MPLS: A Quality Choice", Tech Tutorial, noviembre 1998, <http://www.data.com/issue/981121/quality.html>
 - XIAO X., NI L., "Internet QoS: A Big Picture", IEEE Network Magazine, marzo-abril 1999

VPNs con MPLS

- * REDFORD R., "Enabling Business IP Services with Multiprotocol Label Switching", Cisco Systems, Inc., White Paper, 1999 http://www.cisco.com/warp/public/cc/cisco/mkt/wan/ipatm/tech/mpls_wp.htm
- * "Intranet and Extranet Virtual Private Networking", Cisco Systems, Inc., Technical Service Description, http://www.cisco.com/warp/public/cc/cisco/mkt/servprod/dial/tech/evpn_rg.htm
- * "Delivering New World Virtual Private Networks with MPLS", Cisco Systems, Inc., White Paper, http://www.cisco.com/warp/public/cc/cisco/mkt/servprod/dial/tech/mpls_wi.htm
- <http://www.mpls.com>
- <http://www.rediris.es/rediris/boletin/53/enfoque1.html>
- * G. Corral, J. Abella. ADSL y MPLS. Editorial Ingeniería La Salle. Madrid, España, 1997. BARBERÁ,
- * José. MPLS: Una arquitectura de backbone para la Internet del siglo XXI. Revista: Actas del V Congreso de Usuarios de Internet. Mundo Internet 2000. Madrid, febrero 2000. Madrid, España, 1997. <http://www.radioptica.com/Fibra>
- <http://socioaddeinformacion.telefonica.es/jsp/articulos/detalle.jsp?elem=3188>
- <http://socioaddeinformacion.telefonica.es/jsp/articulos/detalle.jsp?elem=4642>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/Backbone>
- * Williamson, Beau. *Developing IP Multicast Networks*. Indianapolis: Cisco Press, 2000.
- * Multicast Quick Start Configuration Guide (<http://www.cisco.com/warp/customer/105/48.html>)

Red de acceso

- <http://www.bandaancha.st/documentos.php?docid=28>
- <http://www.monografias.com/trabajos14/acceso-atm/acceso-atm.shtml>
- * Wireless Communications, Principles and Practice, Rappaport, Theodore S., Prentice Hall International Editions, Segunda Edición, EUA, 2002.
- http://www.lightreading.com/document.asp?doc_id=100717
- http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?report_id=337114
- <http://www.rnp.br/es/qos/sobre.html>
- <http://es.kioskea.net/internet/qos-qualite-de-service.php3>
- <http://www.uv.es>
- http://www.sbei.com/index.php/solutions/media_gateway/
- RSVP:** <http://www.ietf.org/html.charters/rsvp-charter.html> .
- Diffserv:** <http://www.ietf.org/html.charters/diffserv-charter.html>
- Intserv:** <http://www.ietf.org/html.charters/intserv-charter.html>
- <http://www.el-universal.com.mx/finanzas/55929.html>
- <http://www.espanol.frecuenciaonline.com>
- <http://www-rn.informatik.uni-bremen.de/ietf/mmusic/63/slides/63-mmusic-iptvdb-req.ppt>
- http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns524/ns610/net_implementation_white_paper0900aecd8057f290.html
- http://www1.alcatel-lucent.com/doctypes/opgapplicationbrochure/pdf/AsrngQuaExp_an.pdf
- <http://www.itu.int/ITU-T/IPTV/events/072006/docs/ID/FGIPTV-ID-0051e.doc>
- http://www.cisco.com/en/US/solutions/collateral/ns341/ns524/ns610/net_implementation_white_paper0900aecd8057f290.html
- <http://pacsec.jp/psj06/psj06chen-e.pdf>
- http://www.researchandmarkets.com/reportinfo.asp?report_id=58443
- <http://www.dslforum.org/learn/dsl/aboutiptv.shtml>
- <http://www.net.com/pdf/QoS-enabled-serv-bwp.pdf>
- <http://www.itu.int/ITU-T/IPTV/events/072006/docs/ID/FGIPTV-ID-0051e.doc>
- <http://es.wikipedia.org/wiki/DVB-S>
- <http://blog.pucp.edu.pe/item/17250>
- <http://www.itu.int/rec/T-REC/es>
- <http://encyclopedia2.thefreedictionary.com/MPEG-1+audio+layer+1>
- http://www.iis.fraunhofer.de/Images/mpeg_aac_family_tcm97-67331.pdf
- <http://www.face.ubiobio.cl/~prodrigu/scici/apunte/node53.html>
- <http://www.isa.cie.uva.es/proyectos/codec/marco1.html>
- <http://www.voxdata.com.ar/voxcopresionvideo.html>
- <http://www.maestrosdelweb.com/editorial/jpeg/>
- <http://www.itu.int/ITU-T/>
- <http://www.hispamp3.com/tallermp3/tutoriales/mp3profundidad/2.shtml>
- <http://www.monografias.com/trabajos27/audio-mpeg/audio-mpeg.shtml>