

¿Qué es...?

En las telecomunicaciones, de vez en cuando, suceden avances tecnológicos espectaculares que vienen a revolucionar el estado de las redes y servicios que hasta ese momento existían. Es curioso, también, observar como algunos de estos avances empezaron a gestarse hace muchos años, pero por razones de índole constructiva o de la carencia de los componentes adecuados no pudieron desarrollarse

WDM. Multiplexación por división de onda

Uno de estos hechos es el de la utilización de ondas de luz para las comunicaciones, que ya Alexander G. Bell ensayara en 1880 con un dispositivo llamado "photophone" y la luz solar. La utilización de un haz de luz incoherente -luz compuesta por múltiples longitudes de onda- en un medio como el aire no dio un resultado aceptable para las comunicaciones a larga distancia, por lo que el invento quedó en el olvido y hubo que esperar hasta la década de los 60 y de los 70 en que aparecieron los láseres y la fibra óptica, que eliminaron estas barreras. A partir de entonces, el desarrollo de la electro-óptica ha sido espectacular y se han alcanzado grandes éxitos con la aplicación de

esta técnica para la construcción de todo tipo de dispositivos que permiten transmitir una gran cantidad de información a gran distancia, con total fiabilidad y seguridad.

La culminación de todos estos desarrollos es la técnica conocida como WDM (Wavelength Division Multiplexing) o Multiplexación por División/Longitud de Onda que permite la transmisión simultánea de diferentes longitudes de onda (canales) por la misma fibra óptica, logrando así aumentar la capacidad propia del medio de transmisión.

Características técnicas de WDM

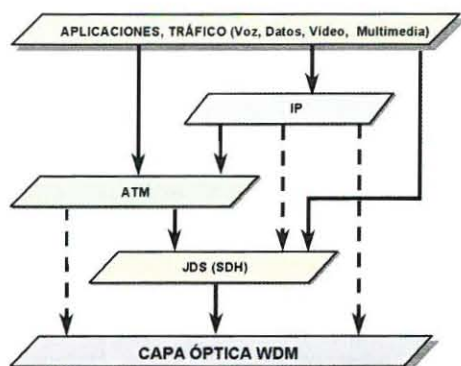
Los sistemas de comunicación que utilizan como medio de trans-

misión una fibra óptica se basan en inyectar en un extremo de la misma la señal a transmitir (previamente la señal eléctrica procedente del emisor se ha convertido en óptica mediante un LED o Láser y ha modulado una portadora) que llega al extremo receptor, atenuada y, probablemente con alguna distorsión debido a la dispersión cromática propia de la fibra, donde se recibe en un fotodetector, es decodificada y convertida en eléctrica para su lectura por el receptor. El tipo de modulación y/o codificación que se emplea con los sistemas de fibra óptica depende de una serie de factores, y algunas fuentes de luz se adaptan mejor a unos tipos que a otros. Así, los LED, con un amplio espectro en el haz luminoso, admiten muy bien la modulación en intensidad, mientras que el láser -un haz de luz coherente- se adapta mejor a la modulación en frecuencia y en fase.

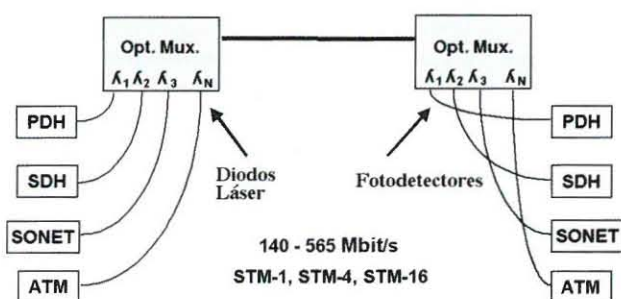
Los dos métodos tradicionales para la multiplexación de señales en un sistema de fibra óptica que utiliza luz coherente (láser) han sido TDM (Time Division Multiplexing) y FDM (Frequency Division Multiplexing), al que se viene a añadir WDM. Al contrario que las otras técnicas, WDM suministra cada señal en una frecuencia láser diferente, de tal manera que puede ser filtrada ópticamente en el receptor.

En distancias cortas, como es en el entorno de una oficina, la atenuación de la fibra (mínima para una longitud de onda de 1,55 μm) y la dispersión (mínima para 1,3 μm) no presenta un gran problema, pero a distancias mayores, como las

MODELO DE TRANSPORTE (Banda Ancha)



WDM: MULTIPLEXACIÓN EN LONGITUD DE ONDA



que se requieren en los enlaces de comunicaciones a larga distancia, realmente lo es y se requiere el uso de amplificadores/repetidores que regeneren la señal cada cierta distancia. Por ejemplo en los cable trasatlánticos se colocan repetidores cada 75 km que, primero, convierten la señal óptica degradada en eléctrica, la amplifican y la vuelven a convertir en óptica mediante un diodo láser, para inyectarla de nuevo en la fibra óptica, todo un proceso complejo y que introduce retardos debido a los dispositivos electrónicos por los que ha de pasar la señal. Este inconveniente se evitaría si todo el camino pudiese ser óptico (*all-optical*), algo que ya es posible gracias a los resultados obte-

nidos, hace ya más de una década, por investigadores de la Universidad de Southampton, que descubrieron la manera de amplificar una señal óptica en una longitud de onda de 1,55 μm haciéndola pasar por una fibra de 3 metros de longitud dopada con iones erbio e inyectando en ella una luz de láser a 650 μm (fenómeno que se conoce como bombeo o *pumping*). Los iones de erbio, que reciben la energía del láser, se excitan cediendo su energía mediante un proceso de emisión estimulada, lo que proporciona la amplificación de la señal, consiguiéndose de esta manera hasta 125 dB de ganancia. Dependiendo de la distancia y del tipo de fibra se pueden requerir amplificadores ópticos para

unir dos sistemas WDM, que son las piezas clave en esta tecnología. Los sistemas amplificadores comerciales actuales (EDFA/ Erbium Doped Fiber Amplifier) utilizan, típicamente, un láser con una longitud de onda de 980 o 1.480 nm, en lugar de los 650 nm de las primeras pruebas de laboratorio y la inyección de la radiación (con diodo láser DFB) en el núcleo de la fibra se hace mediante un acoplador dicróico (beam-splitter), viajando ambas señales juntas por el núcleo, necesiéndose muy poca potencia debido a las reducidas dimensiones de éste, pero que ha de ser bombeado a lo largo de toda él para evitar resonancias debido a la absorción causada por átomos de erbio no excitados. Cada receptor lleva un filtro óptico constituido por dos espejos que forman una cavidad resonante (DBR) en la que se puede seleccionar la longitud de onda, lo que sirve para sintonizarlo con la frecuencia que se desea separar.

Aplicaciones y ventajas de WDM

En cualquier tendido de cable puede resultar más cara la infraestructura necesaria para ello que el propio coste del cable. Se entiende, pues, que haya que realizar una planificación muy cuidadosa de cualquier red, pero aún así, las previsiones más optimistas se pueden ver ampliamente superadas por la demanda-Internet, por ejemplo, está dando lugar a una gran demanda de ancho de banda y hacer necesaria la ampliación de la capacidad de transmisión de la red. Llegada tal situación, cabe plantearse o bien incorporar nuevas líneas de transmisión o aumentar la

capacidad de las ya existentes, siendo, normalmente, esta segunda opción la más adecuada, debido a que suele representar menor coste y su puesta en servicio ser más rápida. Si el tendido de nueva fibra resulta económico, puede ser una buena solución, aunque con ello no se garantiza que el proveedor de nuevos servicios va a obtener las ventajas de disponer de un sistema de gestión del ancho de banda unificado sobre la capa óptica, lo que puede representar una gran desventaja.

Para incrementar la velocidad de transferencia existen varias alternativas, como se ha comentado y la multiplexación TDM viene siendo la tradicional, aunque presenta el problema de los saltos en la capacidad de sistema ya que pasar de un nivel a otro requiere hacerlo de golpe, con lo que puede resultar excesivo. En el caso de la fibra óptica, con la tecnología WDM se puede multiplicar la capacidad por 4, por 8, por 16, 32 o incluso por mucho más, alcanzando (con 128 canales STM-64-DWDM) más de 1 Tbit/s sobre una única fibra, una capacidad suficiente para transmitir simultáneamente 20 millones de conversaciones telefónicas, de datos o fax. Cuando el número de longitudes de onda (canales) que se multiplexan es superior a 8, la tecnología se denomina DWDM (Dense WDM). DWDM combina múltiples señales ópticas de tal manera que pueden ser amplificadas como un grupo y transportadas sobre una única fibra para incrementar su capacidad; cada una de las señales puede ser a una velocidad distinta (STM-1/OC-3 a STM-16/OC-48, o incluso STM-64/OC-192) y con un formato

• José Manuel Huidobro

ejmh@madrid.ericsson.se



¿Qué es...?

diferente (ATM, Frame Relay, etc.).

El número de amplificadores en un tramo se reduce en la misma proporción en la que se multiplexan los canales, lo que aumenta la fiabilidad del sistema, aunque, eso sí, los necesarios son más complejos y costosos. Debido a la alta potencia de los amplificadores DWDM y el bajo nivel de ruido se consiguen distancias de hasta 600 km sin repetidores para 2,5 Gbit/s y 32 canales independientes. El uso de (D)WDM permite a los propietarios de infraestructuras dotar a la fibra ya instalada de más capacidad, casi de manera inmediata, y a los proveedores de servicios ofrecer cualquier tipo de tráfico de voz, datos y/o multimedia, tanto sobre IP como ATM con transmisión síncrona JDS o SONET, todo ello sobre una infraestructura de transporte sobre capa óptica, con una estructura unificada de gestión haciendo uso de los OXC (Optical Cross Connect) y ADM (Add Drop Multiplexer) para la gestión del ancho de banda.

Estos sistemas también presentan algunos inconvenientes ya que no todos los tipos de fibra lo admiten, las tolerancias y ajustes de los láser y filtros son muy críticos y los componentes que utiliza son sumamente caros aunque a pesar de ello la solución es más barata que otras, y por otra parte presentan el problema de la normalización que es inexistente, por lo que no se puede asegurar la compatibilidad entre equipos de distintos fabricantes, algo en lo que ya está trabajando la UIT-T para lograr una especificación a corto plazo.

AT&T empezó a utilizar en sus redes el sistema WDM de Lucent

en 1995, que ya dispone de un sistema de 3,2 Tbit/s sobre 8 fibras. Otros fabricantes activos en este campo son Alcatel, Ciena, Ericsson, Nortel, Pirelli, etc., todos con una amplia oferta de productos en este campo, aunque algunos de ellos se surten de los componentes electro-ópticos de otros fabricantes de chips, menos conocidos.

En 1998 el uso más extendido de WDM ha sido en sistemas punto a punto para larga distancia con una configuración 4-32x2,5 Gbit/s canales pero, durante los próximos años, JDS/SONET será un interface que se incorporará en los equipos de datos y de WDM, con lo que será posible su interconexión, y se utilizará para extender los protocolos propios de las LAN (por ejemplo, Gigabit Ethernet, FDDI, etc.) a los entornos de las MAN y WAN. Es previsible que a partir del año 2000 WDM se utilice en conexiones a corta distancia y en aplicaciones de empresas, conforme el precio de los equipos disminuya, aunque el volumen de negocio de esta porción de mercado no se espera que sea alto.

La construcción de anillos ópticos flexibles encuentra en WDM una tecnología muy apropiada ya que se puede enviar la misma información en dos longitudes de onda distintas y monitorizar en el receptor el resultado; si se producen errores en un canal se conmuta al otro de forma inmediata. El resultado es similar al que se obtiene en JDS con un anillo doble, pero utilizando dos longitudes de onda en lugar de dos fibras, lo que resulta más económico, aunque resulta evidente que si la fibra se rompe la comunicación se corta.

El mercado WDM

Para ver la evolución del mercado de transmisión y como la tecnología WDM va a representar un peso considerable en el mismo, se muestran tablas con los valores estimados del mercado para SDH/Sonet y WDM. En estas se aprecia que mientras SDH/Sonet presenta cierto estancamiento e incluso cae al final del periodo considerado, WDM empieza a adquirir gran peso, llegando incluso al final del 2003 a niveles de la otra tecnología.

Según el estudio publicado en enero 1999 por la consultora Ovum titulado **OVUM Forecast: Telecoms, the Internet and Digital TV**, el valor de los sumi-

nistros (SDH/Sonet) al mercado en el periodo 1999-2003 (millones de dólares) es el de la **Tabla 1**.

El valor de los suministros de equipos con tecnología WDM en el periodo 1999-2003 (millones de dólares) es el de la **Tabla 2**.

De éstos, la distribución entre Larga Distancia, Corta Distancia, Optical Cross-Connects (OXC) y utilización en redes de Empresa es la mostrada en la **Tabla 3**.

José Manuel Huidobro

- Ingeniero Superior de Telecomunicación
- Responsable de Business Intelligence en Ericsson España, S.A.

	1999	2000	2001	2002	2003
EEUU & Canadá	4.847	4.915	4.800	4.599	4.032
Resto América	405	429	421	404	386
Europa del Este	1.773	1.807	1.740	1.684	1.612
Resto Europa	185	215	213	212	212
Asia&Pacífico	1.939	1.947	1.893	1.846	1.687
Total	9.149	9.313	9.067	8.745	7.929

Tabla 1

	1999	2000	2001	2002	2003
EEUU & Canadá	1.405	1.868	2.410	3.177	3.616
Resto América	12	39	87	160	264
Europa del Este	228	446	701	1.040	1.424
Resto Europa	0	4	14	37	62
Asia&Pacífico	69	159	344	509	819
Total	1.704	2.516	3.556	4.923	6.185

Tabla 2

	1999	2000	2001	2002	2003
Larga distancia	1.546	2.155	2.839	3.518	4.033
Corta distancia	126	304	614	1.235	1.872
OXC	4	6	26	60	139
Empresas	30	51	76	111	139
Total	1.706	2.516	3.555	4.924	6.183

Tabla 3