

ANEXO 2

Sistemas de Redes Analógicas

Para efectuar el análisis de los sistemas tecnológicos de telecomunicaciones ideados recientemente, es conveniente efectuar primeramente una reseña de los sistemas tecnológicos empleados hasta el presente, aunque muchos de ellos y sus tecnologías hayan sido ya superados.

Describiremos los sistemas básicos analógicos de transmisión y analizaremos la caracterización de cada uno de ellos en la perspectiva de consideraciones del tipo general. De ellos, derivan las técnicas que permite la entrega actual de los nuevos servicios de telecomunicaciones e informática.

Con estos conocimientos y los expuestos en los siguientes, será posible entender la gran variedad de sistemas disponibles y se podrá encarar con mayor facilidad las distintas planificaciones, diseños, explotación, comercialización y legislación de estas redes. El exclusivo propósito es actualizar a los mismos, también como información al estudioso del tema o al profesional técnico conexo, ubicándolo dentro del vasto panorama tecnológico actual.

A. 2. 1. Procesamiento de las señales analógicas

Cuando hablamos, articulamos sonidos para formar las palabras y emitimos, en una cierta dirección, una onda de aire comprimida en mayor o menor grado. Esta transmisión hasta ser recepcionada por el oído de otra persona es una forma de información sistematizada. Tal onda si la representamos en un gráfico de intensidades y tiempos representará una onda del tipo senoidal. Estas trazas continuas por ser ondas senoidales alternadas, son comúnmente denominadas ondas alternas.

En la práctica tales ondas son periódicas no senoidales puras, mas pueden representarse con cierto grado de exactitud, como suma de ondas senoidales. La cantidad de oscilaciones de una onda electromagnética por segundo, se denomina frecuencia y se mide en Hertz (Hz). La distancia entre dos máximos (o mínimos) consecutivos se llama longitud de onda, y se designa con la letra griega lambda λ .

La propagación de las señales electromagnéticas se produce a través de los conductores pareados, coaxiales, guías de onda y a través del espacio, aún en el vacío.

Estas señales se propagan por conductores eléctricos, hasta un cierto valor de frecuencia eléctrica. El par trenzado de cobre en las redes multipares es su ejemplo de aplicación. Rebasado ese valor de frecuencia, la señal tiende a propagarse sobre la superficie del conductor por efecto superficie (efecto skin). En un cable coaxial, los campos eléctricos y magnéticos quedan confinados entre dos conductores que disponen de un único eje central.

Para valores mayores de frecuencias, se emplean las guías de onda. Disponen de un solo conductor eléctrico, formando un conducto central vacío por donde la señal se propaga. Su tamaño y forma dependen de la frecuencia de la señal a transportar. Las frecuencias mas bajas, requieren secciones mayores. Tienen un diámetro de alrededor de 6 cm, para el orden de los GHz y en la gama de los milímetros, las guías milimétricas alcanzan los 100 GHz.

La transmisión en el espacio, aire o vacío, se realiza por radiación electromagnética, de allí la denominación de radio. En este caso la aplicación está representada por las transmisiones de sondas, radares, ondas largas, ondas cortas y microondas.

Los sistemas de banda base, con señales digitales, dispuestos en un cable coaxial, podrán transportar señales sobre un único canal a velocidades elevadas. La información digital se transmite ocupando el total del ancho de banda permitido por ese medio. Es posible transmitir señales integradas de voz, datos y video. Su ventaja radica en que la operación de conexasión no perturba el funcionamiento del resto de la red.

En redes de computadoras con sistemas de banda ancha se utilizan sistemas digitales. Sin embargo para la transmisión se recurre a señales analógicas, es decir rangos de frecuencias.

En estos sistemas analógicos, se dispone del total del ancho de banda, es decir de la diferencia entre la mayor y la menor frecuencia a transmitir por ese sistema. Mediante sistemas de multiplexación podrán ser soportados simultáneamente múltiples servicios (televisión, datos, telefonía). Cada servicio es ubicado y detectado en una porción dada de frecuencias, del total de ese ancho.

A. 2. 2. Sistemas de multiplexación analógica

A fin de estudiar los distintos tipos de sistemas tecnológicos empleados para telecomunicaciones e informática, deberemos efectuar un recorrido por los distintos procesos que efectúan las metamorfosis de las señales, acomodándolas a las necesidades de transmisión requeridas por los distintos tipos de redes, ya fuesen éstas analógicas o digitales.

Trataremos con mayor detenimiento en este capítulo el desarrollo de los procesos analógicos, dejando el análisis digital para el capítulo siguiente.

De los grupos nombrados para el procesamiento general de las señales, veremos primeramente el método que permite ampliar la cantidad de canales a transmitir por un medio dado y que llamamos multiplexación.

Ya en los comienzos de la telegrafía se ha requerido incrementar al máximo de rendimiento la infraestructura de red, debido a su alto costo de instalación y de conservación.

Esto obligó al desarrollo de la técnica de multiplexación que permitiese combinar varias señales de voz en una sola señal compuesta, la que se puede transmitir empleando un único circuito de comunicación.

En los orígenes de las redes telegráficas, se utilizó un único conductor retornando la señal por tierra. Con este método se recibían señales con mucho ruido superpuesto, por ello fue necesario utilizar una línea de transmisión constituida por un par de alambres desnudos aislados de tierra. Luego, para poder efectuar el envío simultáneamente de varias comunicaciones se ideó los sistemas múltiplex, portando canales de varias señales telegráficas.

Con la invención del teléfono estos sistemas fueron perfeccionados permitiendo llevar la señal de voz de cada abonado. Pronto la red de larga distancia cubría desmesuradas longitudes, mientras que por otra parte la red de planta externa urbana disponía de gran cantidad de líneas instaladas.

Los medios de comunicación telefónicos fueron en su comienzo alambres desnudos montados en postes y travesaños con aisladores, luego se idearon los cables a pares aislados. Su aislamiento en su origen dado por láminas de papel arrollado sobre cada conductor de cobre y posteriormente con una capa aislante de polietileno.

En las líneas de larga distancia, para aumentar su capacidad de transmisión se instalaban cables coaxiales, actualmente cables de fibra óptica. Los mismos son instalados aéreos, subterráneos o directamente enterrados.

Paralelamente a estos sistemas "alámbricos" (wireline), se concibieron los sistemas inalámbricos (wireless) para constituir radioenlaces en VHF, UHF o de microondas y las transmisiones satelitales.

Tanto las técnicas empleadas para las redes físicas como las inalámbricas emplean los principios múltiplex a examinar. Para los sistemas celulares se han arbitrado otras técnicas, las que veremos con más detalle en el anexo donde se trata específicamente las redes inalámbricas.

Uno de los primeros elementos ideado para lograr el cometido de multiplexar las señales sobre elementos de red, ha sido el llamado circuito fantasma, empleado en líneas de alambre desnudo para comunicaciones de larga distancia (Fig. 1).

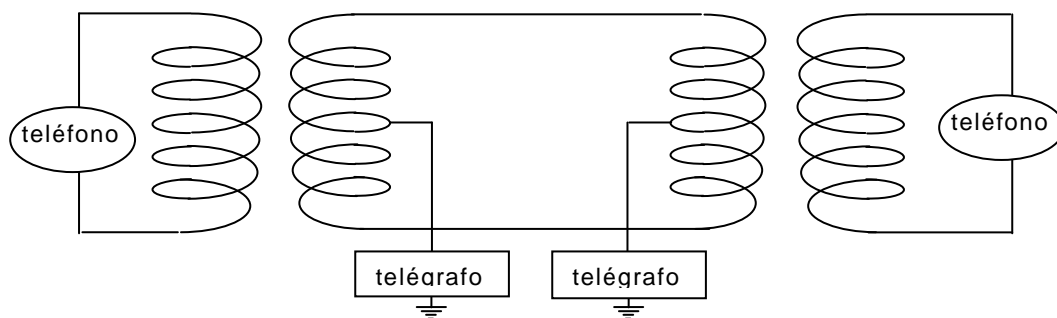


Fig. 1 - Circuito fantasma

El mismo consiste en poder disponer de tres canales telefónicos, utilizando tan solo dos circuitos físicos. Esto se consigue efectuando derivaciones en el punto medio de las bobinas secundarias de los transformadores terminales. Se permite así la derivación de las corrientes pertenecientes al tercer canal.

Los sistemas múltiplex son empleados con mayor asiduidad en las redes de transporte, que vinculan las centrales urbanas, interurbanas e internacionales, sobremanera en las grandes rutas de alto tráfico, cables coaxiales, enlaces de microondas o cables de fibras ópticas.

Sin embargo algunas de estas técnicas se están aplicando actualmente en las redes de acceso, para llevar las señales a los concentradores o Unidades Remotas de Abonados (URA).

Al procedimiento de multiplexar en el extremo de emisión de la señal, un procedimiento similar denominado demultiplexar se debe efectuar en el extremo de recepción, para poder separar y recuperar sin interferencias las distintas señales emitidas. Varios son los métodos de multiplexación analógicos, de los cuales podemos nombrar: el FDM, WDM y el DWDM.

A. 2. 2. 1. Múltiplex por distribución de frecuencias (FDM)

En el sistema, múltiplex por distribución (o división) de frecuencias, FDM (Frequency Division Multiple), para lograr la transmisión simultáneamente de las distintas señales de banda base, éstas deben ser trasladadas a diferentes bandas superiores de frecuencias. Para ello se aplican determinados procesos.

En la FDM, el proceso de translación en frecuencia se efectúa mediante el empleo de la multiplexación con frecuencias predeterminadas, llamadas subportadoras. La señal resultante es transmitida por el medio, por ejemplo en líneas de alambre metálicos desnudos (actualmente en desuso) o en cables multipares de cobre, o sobre canales inalámbricos. Se asigna en este primer paso una portadora de frecuencia por usuario.

En general para multiplexar tal señal se requiere el proceso de modulación y nuevamente emplear modulación para la transmisión sobre el medio físico o inalámbrico, ahora con una portadora de transmisión, a fin de adaptarla adecuadamente al medio por donde se realizará esta transmisión, por ejemplo un cable coaxial, una guía de onda, radioenlace o fibra óptica.

MODULACIÓN DE LA SEÑAL

Varios son los métodos empleados para la modulación. Veamos el empleado sobre una señal analógica para un proceso de multiplexación digital. Si disponemos de una fuente que emite una onda de energía de forma senoidal, la expresión de su tensión o corriente de salida es:

$$v(t) = A \cos (\omega t + \theta)$$

A esta función del tiempo $v(t)$, la llamamos señal portadora. Cualquiera de los tres parámetros que la conforman: la amplitud A , la frecuencia f (de la velocidad angular $\omega = 2\pi f$), ó la fase θ , pueden ser variados de acuerdo con la señal que contiene la información y a la que llamamos señal moduladora (Fig. 2).

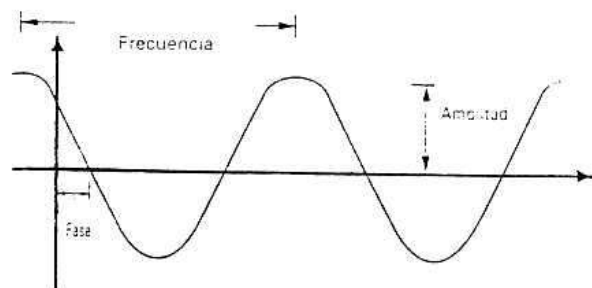


Fig. 2 - Parámetros variables de una onda portadora

Si variamos la amplitud A , respecto al tiempo, obtendremos la modulación por amplitud modulada o sea la, modulación en amplitud AM (Amplitude Modulation) (Fig. 3).

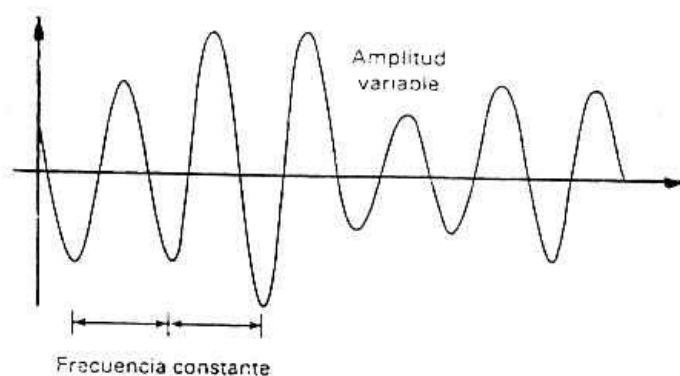


Fig. 3 - Modulación en Amplitud (AM)

Como la velocidad angular ω es igual a $2\pi f$, se podrá variar la frecuencia, respecto al tiempo, por lo que podremos obtener la, modulación angular o modulación en frecuencia FM (Frequency Modulation) (Fig. 4).

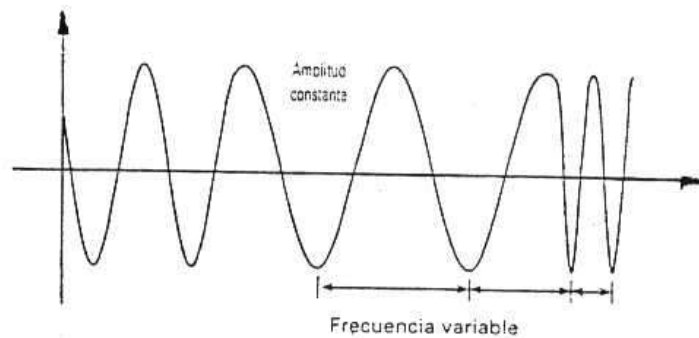


Fig. 4 - Modulación en Frecuencia (FM)

Si variamos la fase θ respecto al tiempo, obtendremos la, modulación en fase PM (Phase Modulation) (Fig. 5).

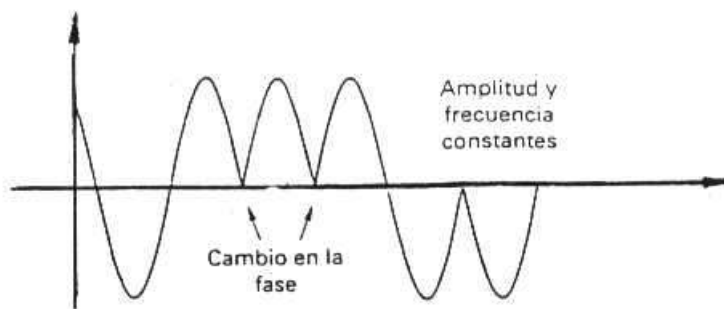


Fig. 5 - Modulación en Fase (PM)

A. 2. 2. 1. 2. Proceso del agrupamiento de canales en FDM

En la multiplexación por distribución de frecuencias FDM, los diversos canales se trasladan con un cierto agrupamiento predeterminado, en el espectro de frecuencias. El desplazamiento de los canales se realiza mediante modulación de amplitud, tomada una sola de las bandas laterales que se generan y suprimiendo la señal portadora.

El desplazamiento de los canales, desde las frecuencias en banda base a la banda requerida, se realiza mediante el proceso de modulación mediante una frecuencia portadora. Ello significa que la frecuencia portadora es decir lleva la información, la que se requiere transmitir, de un punto a otro del espectro de frecuencias. Esto produce un esparcimiento de energía alrededor de la portadora, de la cual se toma las frecuencias deseadas. El concepto de canal o mejor de ancho de banda útil del canal, significa implicar a las amplitudes útiles y desechar el resto, a fin de evitar interferencias.

El canal telefónico efectivo, para reducir los ruidos provenientes de armónicas inducidas por redes eléctricas, se fija con un tope inferior en 300 Hz. El tope superior se fija en 3400 Hz (3300 Hz en USA), obteniendo un ancho de banda de 3100 Hz.

Con este ancho de banda se obtiene el grado de inteligibilidad requerido, sin embargo a nuestros fines de multiplexar la señales se puede tomar 3000 Hz, con finalidades de limitar el corte de los filtros y disminuir sus costos, generalmente para cables submarinos o ampliar a 4000 Hz, considerando señalizaciones fuera de banda e imperfecciones de los filtros.

La banda base así formada resultará entonces de un ancho de banda:

$$B = N_c \cdot 4 \text{ KHz}$$

Donde: N_c representa la cantidad total de canales para ese sistema.

A fin de normar la fabricación de los equipos, se sistematizó las bandas de frecuencias y el agrupamiento de canales y grupos de canales. Para ello se han ideado los grupos primarios, secundarios, terciarios y cuaternarios. El grupo primario se podrá formar por distintos métodos, los que reciben la designación de: Modulación Directa, Modulación de Pregrupo, o por Premodulación.

Modulación Directa. Es necesario disponer de 12 filtros y 12 portadoras diferentes, con una separación de 4 KHz una de otra (Fig. 6).

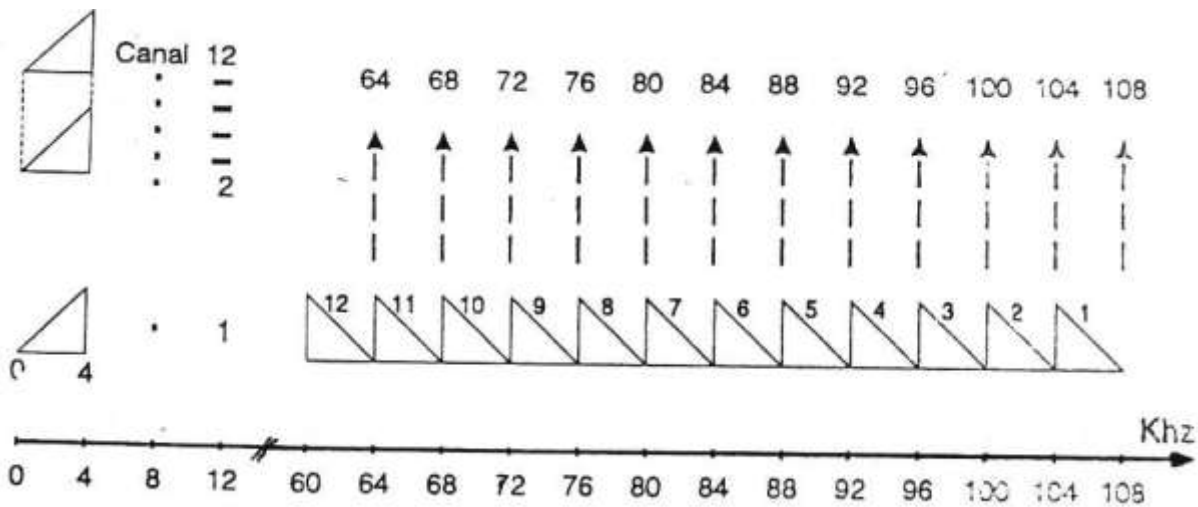


Fig. 6 - Formación de un Grupo Primario por Modulación Directa

Modulación de Pregrupo. Se crean 4 Pregrupos, cada uno formado con 3 canales, de 4 KHz cada uno.

Premodulación. Se llevan los canales a una banda de premodulación de 24 a 28 KHz y luego en sucesivas modulaciones se ubican en la banda de grupo básico de 60 a 108 KHz (Fig. 7).

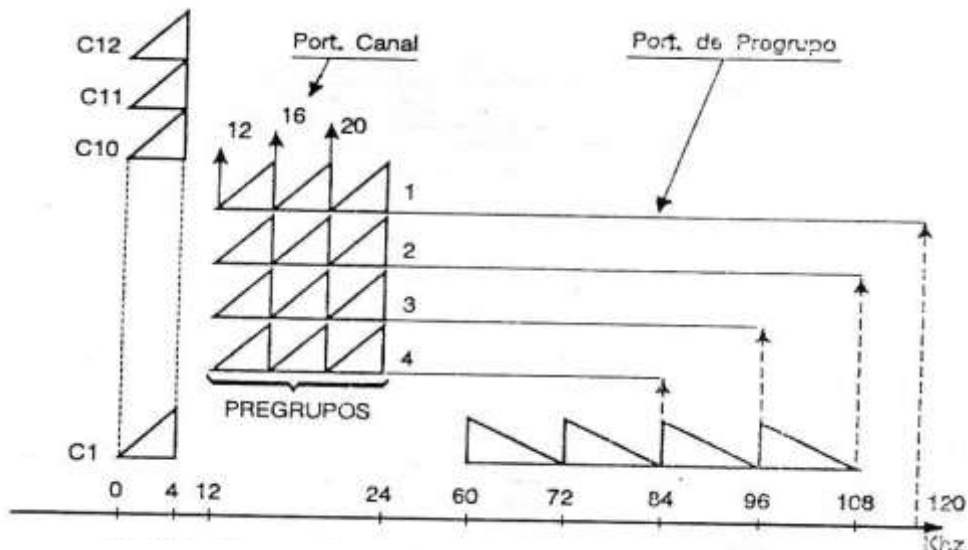


Fig. 7 - Formación de un Grupo Primario mediante Premodulación

Por cualquiera de estos métodos, resulta cada Grupo Primario formado con un total de 12 canales. El ancho de banda será de 48 KHz, desde 60 KHz hasta 108 KHz.

La formación del Grupo Secundario o Supergrupo se crea con 5 Grupos Primarios, resultando cada uno con un total de 60 canales. Cada uno de los 5 Grupos Primarios se modulan con 5 portadoras, separadas entre si a 48 KHz. El ancho de banda resultante será de 240 KHz, desde 312 hasta 552 KHz (Fig. 8).

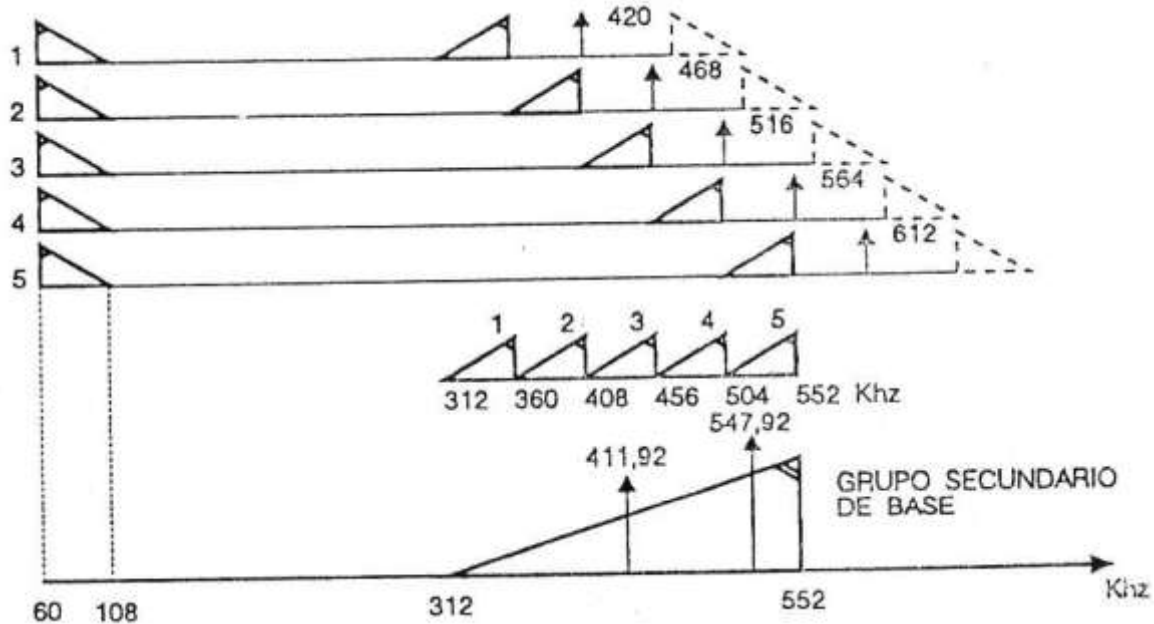


Fig. 8 - Formación de un Grupo Secundario

La formación del Grupo Terciario o master grupo se crea con 5 Grupos Secundarios, resultando cada uno con un total de 300 canales. En este caso el ancho de banda es de 1232 KHz, desde 812 KHz hasta $(240 \text{ KHz} \times 5 + 32 \text{ KHz})$ 2044 KHz (Fig. 9).

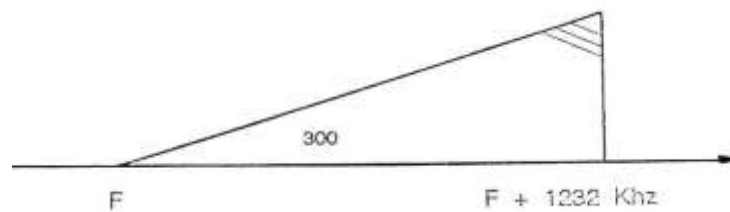


Fig. 9 - Formación de un Grupo Terciario

La formación del Grupo Cuaternario o Super master grupo se crea con 3 Grupos Terciarios, resultando cada uno con un total de 900 canales. En este caso, el ancho de banda será de 3872 KHz, desde 8516 KHz hasta 12 388 KHz.

A. 2. 2. 3. Múltiplex por división de longitud de onda (WDM)

En los sistemas de fibra óptica se emplea una variante de la multiplexación por división de frecuencia, la denominada, múltiplex por división de longitud de onda, WDM (Wavelength Division Multiplexing). La técnica WDM, permite compartir las fibras ópticas ocupando porciones diferentes del espectro de frecuencias.

El modo WDM utiliza una técnica similar a la modulación eléctrica FDM, salvo que acá las señales son transportadas por portadoras ópticas. Las diferentes longitudes de onda ($\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$) se agrupan para ser transferidas al mismo tiempo. En la recepción se reconstruyen las señales y se las separa.

De esta forma también se puede lograr una comunicación bidireccional. Por ejemplo, se podrá utilizar la segunda ventana óptica de 1300 nm, para emitir en un sentido y la tercera de 1550 nm, para recepcionar en el otro sentido. En sistemas mas completos, se logran combinar longitudes de onda diferentes en la misma ventana.

La técnica WDM permite utilizar dispositivos ópticos pasivos, lo cual conduce a una confiabilidad y a un bajo costo de mantenimiento, pero requiere un receptor para cada canal óptico.

Una forma simple de FDM en fibra es emplear un prisma (o rejilla de difracción), al que llegan dos o mas fibra óptica, cada una con sus energías, en bandas de diferentes longitudes de onda. Los haces de cada una se combinan en una misma fibra compartida y es transmisión por ella al extremo distante donde se la separa con un método similar o por filtros ópticos. Tales filtros ajustables, podrán ser interferómetros que trabajen bajo el principio de Fabry Perot.

Los sistemas de fibra por canal único trabajan a 1310 nm ó a 1550 nm, mientras que los sistemas WDM emplean dos canales a 1310 nm y a 1550 nm, aunque también podrán usar un canal a 1530 nm y otro a 1560 nm. La transmisión se obtiene habitualmente a distancias no regeneradas de alrededor de los 50 Km para sistemas de 1310 nm, en los 100 Km para sistemas no amplificados de 1550 nm y mayores a 120 Km para sistemas 1550 nm amplificados.

La capacidad de transmisión de las fibras se podrá aumentar de tres formas distintas, incrementando la velocidad binaria por canal, mediante la Multiplexación por División en el Tiempo (TDM) e incrementando la capacidad de canales, mediante la multiplexación por división de longitud de onda (WDM) o mediante la multiplexación por división de longitud de onda denso DWDM.

A. 2. 2. 4. WDM denso (DWDM)

El sistema de transporte óptico de alta densidad DWDM (Dense Wavelength Division Multiplexing), ha probado ser la tecnología para el uso en los troncales (backbone), de alta capacidad de las redes entre centrales interurbanas IEC (Inter Exchange Carrier).

También entre centrales locales LEC (Local Exchange Carrier), aunque para estos casos se prefiere un sistema más simple y económico el CWDM (Coarse WDM).

Estos sistemas provee transporte con múltiples señales OC-48 de SONET. Empresas tales como, ATT, Spring, MCI, Telecom, Telefónica, etc. despliegan estas redes, solventando la mayor apetencia por ancho de banda.

La DWDM y CWDM han sido un acontecimiento para los operadores de redes backbone. Empleado IP sobre las mismas, incrementan su ancho de banda y conectividad.

Dada la ventaja que equipos DWDM ofrece respecto a SONET, con alcances mayores a 100 Km, sin emplear repetidores (en cambio de 50 Km), resulta más práctica y económica para su implementación de redes troncales.

Por otra parte, mientras que el costo de sistemas con repetidores SONET se mantiene estable, el precio de los sistemas DWDM están declinando en la proporción que no está lejos el uso masivo de DWDM para la red de abonados.

Con DWDM, una nueva generación de plataforma de transporte metropolitana está emergiendo. La misma permite a los operadores acotar las ineficiencias del tradicional enfoque multicapa, necesarias al combinar distintos sistemas para lograr plataformas multi-servicio.

Estas nuevas plataformas son integralmente escalables, con potente capacidad de acomodación, asegurando que las longitudes de onda se utilicen racionalmente, evitando un porcentaje del ancho de banda ocioso. Los sistemas DWDM, emplean por ejemplo la transmisión de 8 canales de 2.5 Gb/s, totalizando un ancho de banda de 20 Gb/s, en la gama de 1550 nm a 1560 nm. Se emplean con DWDM, fibras ópticas de dispersión no desplazada o fibras de dispersión no cero.

Con la capacidad de 20 Gb/s, se obtiene para tramos de hasta 360 Km, sin compensación de dispersión y hasta 1000 Km cuando se utilizan fibras de dispersión no cero. Estas ventajas se logran por la combinación de estas técnicas, con uso de los amplificadores de fibra impurificada por erbio EDFA (Erbium Doped Fiber Amplicator).

Existen dispositivos que realizan la función de demultiplexación y recuperación de las diferentes longitudes de onda, denominados WDDM (Wavelength Division DeMultiplex).

A. 2. 3. Sistemas de accesos múltiples

La combinación de los procesos de multiplexación y acceso múltiple permiten disponer de señales de características diferentes o también originadas en fuentes disímiles, compartiendo el acceso empleando porciones de los recursos de telecomunicaciones.

En los sistemas de multiplexación, se transmiten múltiples mensajes simultáneamente a los fines de utilizar los recursos de transmisión con su mayor aprovechamiento.

Los requerimientos de los usuarios se realizan con asignación de los recursos anticipadamente, con un esquema fijo (o por lo menos lentamente cambiantes) y el proceso de compartir posee un efecto local.

El reparto de un canal de transmisión se puede realizar dividiendo el canal en varios subcanales, utilizando FDM, TDM, CDM o WDM o combinación de ellos y repartirlos dinámicamente según se necesite. Con estos sistemas, se puede compartir alguna porción de los recursos de los sistemas de telecomunicaciones, entre múltiples usuarios simultáneos y en los dos sentidos de transmisión.

En cambio, los sistemas de acceso múltiple, los requerimientos de los usuarios se solicitan a un controlador de sistema utilizando tramas de cabecera (overhead), empleando un esquema de acceso dinámicamente variable y el proceso típicamente involucra compartir recursos remotos como ser de un satélite.

La transmisión simultánea con el acceso múltiple podrá estar basada en compartir recursos de telecomunicaciones, de distintos tipos. Éstos podrán ser tales como, espectro de frecuencias, o de tiempos, códigos, espacio o de polarización de transmisión. Ello determina distintas técnicas:

- Acceso Múltiple por División en Frecuencias (FDMA),
- Acceso Múltiple por División en el Tiempo (TDMA),
- Acceso Múltiple por División de Código (CDMA/ SSMA),
- Acceso de paquetes por división de captura (CDPA),
- Acceso de paquetes por división de espacio (SDPA),
- Acceso de paquetes por división de polarización (PDMA),

- Transmisión por espectro expandido SS (Spread Spectrum),
- Acceso Múltiple por División de Longitud de Onda (WDMA),
- Acceso múltiple con prevención de colisiones MACA,
- Paquete de datos celular digital CDPD

En los sistemas inalámbricos como ser satelitales o celulares, se utilizan los sistemas de acceso múltiple FDMA, TDMA y CDMA, CDPD, SDPA, PDMA y el método de transmisión Spread Spectrum. Mientras que en redes de fibra óptica, es empleado el método de acceso WDMA:

En el caso especial de las LAN inalámbricas, se emplean protocolos especiales, como lo son el, acceso múltiple con prevención de colisiones MACA (Multiple Access with Collision Avoidance) y el, paquete de datos celular digital CDPD (Cellular Digital Packet Data). Estos dos sistemas en particular, se ven en el Anexo VII, que trata los sistemas de las LAN inalámbricas.

Junto con estas técnicas de acceso múltiple, se emplean las procedimientos de duplexación por división de tiempo TDD (Time Division Duplex) y la técnica de duplexado por división de frecuencia FDD (Frequency Division Duplex). El análisis de los sistemas de duplexación se verá más adelante.

Generalmente se combinan las técnicas de multiplexación, con algún procedimiento de acceso múltiple, por ejemplo FDM /FDMA. También, se combinan el multiplexado en un sentido y un acceso múltiple en el otro, TDM /TDMA. Además, se podrá combinar la multiplexación y el acceso múltiple, con algunos sistemas de duplexado, FDM /FDMA /FDD o TDM /TDMA /TDD.

Las técnicas de acceso han generado entre los proveedores de los sistemas una alta competencia, variando la mejor opción de la elección en el tiempo, según su aceptación en el mercado por brindar mejores características y precios. La capa física de cada sistema, nos proporciona el medio de transmisión y requisitos de emisores y receptores.

También, define los requisitos de codificación - decodificación en ese medio para cada capa superior. De tal forma, una técnica de acceso en particular, podrá ser empleada para acceso celular terreno, satelital y/o compartiendo sistemas en fibra óptica (Fig. 10).

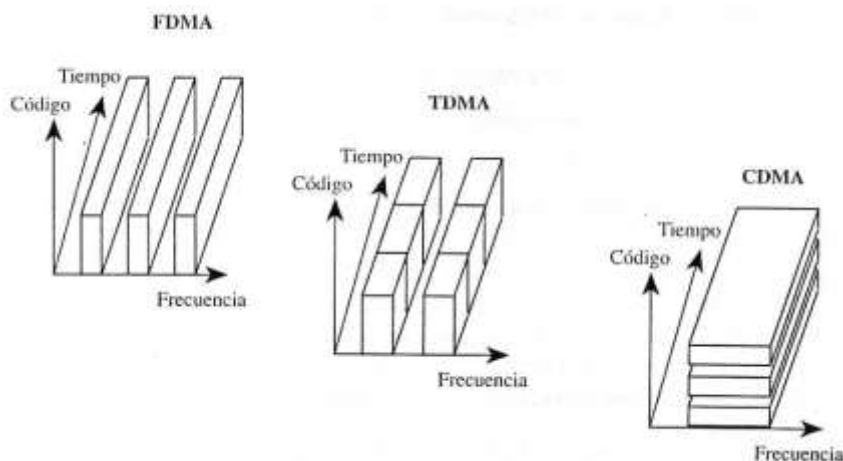


Fig. 10 - Técnicas de acceso múltiple

A. 2. 3. 1. Acceso múltiple por división en frecuencias (FDMA)

El acceso múltiple por división en frecuencias FDMA (Frequency Division Multiple Access), opera separando canales dentro del espectro de frecuencia. Es un tecnología analógica, pero podrá portar información digital. Utiliza durante todo el tiempo un ancho de banda limitado para cada usuario.

Si el ancho de banda total del sistema es "B", el ancho de banda de enlace para cada usuario es "b", y si este b es igual para todos los usuarios, el número máximo de enlaces disponibles "N", será:

$$N = B / b.$$

En FDMA, cada grupo de frecuencias de acceso se dispone para casa usuario, luego el ancho de banda asignado, limitará la cantidad de accesos. Otra desventaja, significa el efecto Doppler encontrado con satélites de órbita terrena baja LEO (Low Earth Orbit). Ello disminuye la utilización del ancho de banda disponible. La ventaja de su utilización, radica en no requerir sincronización de la red.

A. 2. 3. 2. Acceso múltiple por división en el tiempo (TDMA)

En TDMA, todos los usuarios transmiten la información en la misma frecuencia, en distintos intervalos de tiempo, los que están entrelazados y sincronizados de tal manera que los usuarios no se superpongan en ese dominio del tiempo.

El acceso múltiple por división en el tiempo TDMA (Time Division Multiple Access), utiliza un ancho de banda limitado para cada usuario, durante todo el tiempo.

Cada enlace se establece durante un intervalo de tiempo "t", cada "T" segundos, que será la duración de la trama, ocupando todo el ancho de banda B disponible. Si el tiempo t es el mismo para cada enlace, el número máximo de enlaces "n", será:

$$n = T / t$$

Respecto al sistema FDMA, el TDMA al ser digital puede comprimir la información, generalmente a un tercio de la capacidad analógica.

Como ventaja, cada usuario puede utilizar todo el ancho de banda disponible durante su ranura de tiempo. Como desventaja, se requiere un amplio sistema de sincronización y es muy vulnerable a un ambiente interferente.

A. 2. 3. 3. Acceso múltiple por división de código (CDMA)

En acceso múltiple por división de código CDMA (Code Division Multiple Access) también llamado, acceso múltiple de espectro extendido SSMA (Spread Spectrum Multiple Access), a cada usuario se le asigna un código específico y el código define como se extiende en el tiempo la señal, a través del espectro de frecuencia. El receptor debe conocer este código para recuperar la señal.

En este sistema, para transmitir varias llamadas, cada una con un código de secuencia, luego de digitalizarlas son superpuestas en todo el ancho del canal disponible.

La ventaja de este sistema, es que todos los usuarios pueden disponer de todo el ancho de banda de transmisión, en cualquier momento. Otra ventaja de esta técnica es su resistencia a la interferencia y, además, no es sensible al efecto Doppler. Como desventaja para un sistema satelital, se requiere un mayor procesamiento a bordo y éste aumenta con el número de códigos de acceso. Además, es necesaria la sincronización del receptor al código entrante, en el enlace desde el terminal al satélite, para que la señal sea decodificada.

El acceso múltiple por división de código CDMA permite el uso de toda la capacidad disponible durante todo el tiempo y a todos los usuarios, asignando dinámicamente un código diferente para cada uno de ellos. En CDMA cada tiempo de bit se subdivide en m intervalos llamados chips.

A cada estación se le asigna un código único de m bits, llamado secuencia de chips. Para transmitir un 1, a una estación, se envía una cierta secuencia en chips, para enviar un 0 se envía su complemento.

En FDM, si tuviésemos 1 MHz disponible para 100 estaciones, se tendría que aprestar 10 KHz por cada una o 10 Kb/s (suponiendo 1 bit por Hz), mientras que en CDMA cada estación usa la totalidad del 1 MHz. Por ello, cada chip es de un megachip por segundo.

Las transmisiones de cada usuario se establecen en el plano tiempo-frecuencia utilizando una transformación mediante un código. La señal a transmitir de cada usuario se combina con una secuencia de código que dispone de dos propiedades de correlación.

En primer lugar cada señal puede distinguirse de una versión desplazada de ella misma y en segundo lugar cada secuencia se distingue fácilmente de las demás. Utilizando estas propiedades combinadas, el receptor puede separar la señal de las demás que se desea recibir, siempre que conozca el código.

El CDMA no requiere sincronización, como el TDMA y el GSM (Global System for Mobile Communications). Tiene ventajas de capacidad de 3 á 10 veces respecto a un sistema analógico. Respecto al AMPS (Advanced Mobile Phone Standard) es de 3 veces, mientras que al GSM es de 4.2 veces.

Según algunos proveedores, el sistema CDMA - WLL (W-CDMA) fijo ofrece, para el mismo ancho de banda, al menos 15 veces mayor capacidad respecto a la red móvil AMPS. Además es inmune a ruido e interferencias.

Los sistemas TDMA y GSM son más sensibles al handover, perdiéndose más comunicaciones entre celdas, entendiéndose por handover en Europa, y handoff en USA, al traspaso entre célula (celda geográfica) sin perder la comunicación.

ACCESOS EMPLEADOS EN TELEFONÍA CELULAR

	FDMA	TDMA	CDMA
Denominación	AMPS	D-AMPS	-
Estándar EIA /TIA	IS-19	IS-54	IS-95
Banda de frecuencias	825-890	824-894	900
Reuso de portadora	7	7	-

Un paso mas avanzado lo representa la tecnología CDMA de banda ancha B-CDMA (Broadband Code Division Multiple Access) para la provisión de ancho de banda sobre demanda. Con esta técnica se podrá proveer desde ISDN hasta multimedia, incluyendo datos de alta velocidad y audio de alta fidelidad como TV de alta calidad, en verdaderos servicios de comunicaciones personal PCS.

A. 2. 3. 4. Acceso múltiple por división de longitud de onda (WDMA)

El acceso múltiple por división de longitud de onda WDMA (Wave Division Multiple Access), se utiliza corrientemente en LANs o entre LANs que empleen fibra óptica en su red troncal a fin del mejor aprovechamiento de la misma.

Este sistema posibilita que diferentes comunicaciones se puedan establecer al mismo tiempo, por distintas longitudes de onda (frecuencias), empleando una sola fibra. El mismo es ideal para la construcción de una LAN totalmente óptica, empleando un acoplador óptico pasivo en topología de estrella (Fig. 11).

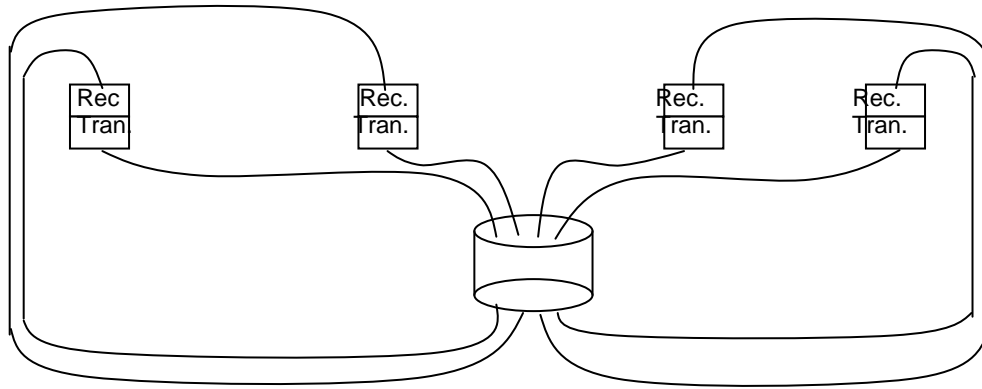


Fig. 11 - Acoplador óptico pasivo

En este sistema se asignan dos canales a cada estación. Se proveer un canal angosto como canal de control y un canal ancho para enviar tramas de datos. Cada canal se divide en grupos de ranuras temporales. La última ranura de datos indica que ranura está libre.

En ambos canales la secuencia se repite indefinidamente. todos los canal se sincronizan con un reloj global.

Cada estación tiene dos transmisores y dos receptores:

- 1) Un receptor de longitud de onda fija para escuchar su propio canal de control.
- 2) Un transmisor sintonizable para enviar por el canal de control de otra estación,
- 3) Un transmisor de longitud de onda fija para la salida de tramas de datos,
- 4) Un receptor sintonizable para seleccionar el transmisor de datos a escuchar.

De esta forma, cada estación escucha en su canal de control las solicitudes que llegan, pero tiene que sintonizarse a la longitud de onda del transmisor para obtener los datos.

La sintonización de la longitud de onda se realiza con un interferómetro del tipo Fabry Perot, que filtra todas las longitudes de onda, excepto la banda de longitud de onda deseada.

El protocolo reconoce tres Clases de tráfico:

Tráfico WDMA	{	Clase 1 - Orientado a la conexión, con tasa de datos constante, Clase 2 - Orientado a la conexión, con tasa de datos variables, Clase 3 - Datagrama.
--------------	---	--

Un ejemplo de tráfico orientado a la conexión con tasa de datos constante, es el video sin comprimir. Un ejemplo de tráfico orientado a la conexión con tasa de datos variables, es la transferencia de archivos. Ejemplos de tráfico de datagrama están dados para un sistema punto a punto, un sistema de difusión o en una LAN.

En los protocolos orientados a la conexión, para conectar una máquina A con otra máquina B, primero se debe enviar una trama de solicitud de conexión. Esta trama la introduce A en una ranura temporal libre del canal de control de B. Si B lo acepta, la comunicación puede llevarse a cabo por el canal de datos A (Fig. 12).

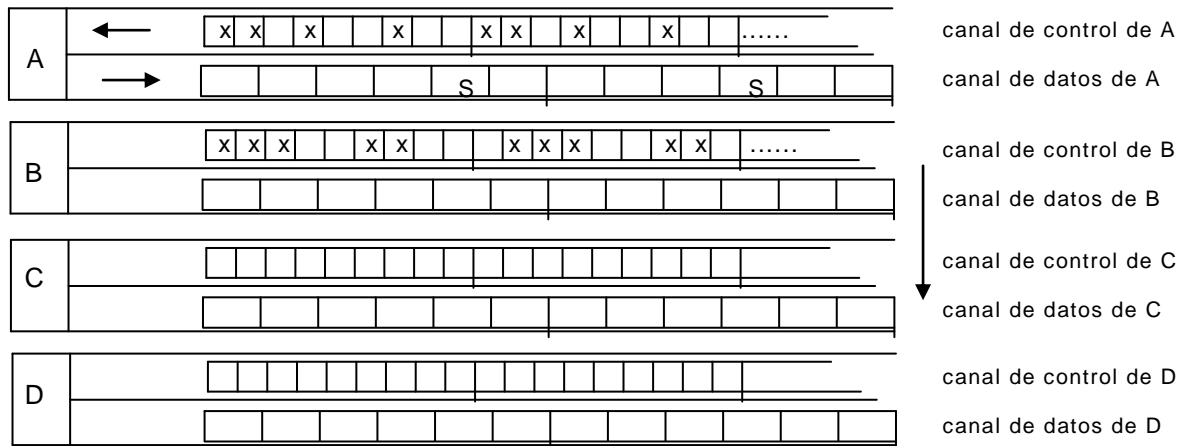
Estación

Fig. 12 - Canales temporales del sistema WDMA

Caso Clase 1: Orientado a la conexión, con tasa de datos constante.

En Clase 1, cuando A solicita una conexión indica simultáneamente que enviaría una trama en la ranura 3 todas las veces. Si B acepta por no tener esta ranura comprometida para otra estación, se establece una conexión de un cierto ancho de banda garantizado. Si B no acepta a deberá efectuar la solicitud mas tarde.

Caso Clase 2: Orientado a la conexión, con tasa de datos variables.

En Clase 2, primero, A sintoniza su receptor de datos, con el canal de datos de B y espera a su ranura de control. Esta ranura indica el estado de las ranuras asignadas y cuales libres. Si se escoge por ejemplo la 4 libre, se introduce allí el mensaje de "solicitud de conexión", ya que B revisa constantemente su canal de control, verá esta solicitud y la acepta asignándola para A.

Esta asignación se anuncia en la ranura correspondiente del canal de control. Cuando A ve la asignación, sabe que tiene una conexión unidireccional. Si A solicitó una conexión bidireccional, B repite el mismo procedimiento con A.

Si otra estación solicitase al mismo tiempo una conexión, ninguna lo conseguirá y se deberá esperar un tiempo aleatorio para reintentarla. Si no hay conflicto, para iniciar A la transferencia de archivos, A envía a B un mensaje de aviso que indica la ranura, por ejemplo ranura 3, donde van las tramas de datos. Cuando B recibe esta información sintoniza su receptor al canal de salida de A para leer la trama.

Caso Clase 3: De datagrama

En este caso, si B está libre durante la siguiente ranura 3 de datos, la transmisión tendrá éxito, de otra forma se perderá la trama de datos. De tal manera, nunca se requieren conexiones. Los datagramas emplean paquetes de protocolo de datagrama del usuario, servidor a servidor UDP (User Datagram Protocol).

A. 2. 3. 5. Acceso de paquetes por división de captura (CDPA)

La técnica denominada acceso de paquetes por división de captura CDPA (Capture Division Packet Access), permite un mejor aprovechamiento del acceso inalámbrico. La ITU-R ha considerado que el CDPA podría ofrecer una mayor eficiencia espectral en el manejo del tráfico móvil multimedia asimétrico, respecto a los sistemas de acceso más comunes actualmente TDMA y CDMA.

Los protocolos de acceso TDMA y CDMA, proveen conexiones por circuitos conmutados con ancho de banda constante y necesitan mantener una baja tasa de error en el canal por un tiempo de conexión prolongado. La aproximación por paquetes, como la que se utiliza para CDPA, es ampliamente reconocida como la más apropiada para la integración de servicios de ancho de banda variable.

Como lo novedoso del acceso de paquetes CDPA reside en su técnica de reutilización de canales, una de las principales ventajas representa su capacidad para explotar el ancho de banda en presencia de interferencia cocanal. Sin embargo, requiere estricta coordinación entre las transmisiones de las terminales móviles MT (Movil Terminal), asignadas a la misma estación base BS (Base Station).

El sistema CDPA lleva a cabo el control de error a través de la retransmisión ARQ (Automatic Repeat Request), mientras que los esquemas FDMA /TDMA usan códigos correctores de errores llamados hacia delante FEC (Forward Error Correction). Una alternativa en CDPA es usar antenas con una cobertura de 120°, dividiendo las celdas en tres, mediante el patrón CFD (Corner-fed diamond) o el patrón CFH (Corner-fed hexagonal).

A diferencia de FDMA /TDMA, tanto CDPA como CDMA pueden operar bajo una fuerte interferencia a la vez que ofrecen una gran capacidad debido a la ausencia de subdivisión del ancho de banda. Como ventaja adicional de CDPA puede mencionarse la presencia intrínseca de enlaces múltiples a varias BS, proveyendo diversidad espacial, fundamental cuando hay problemas de sombras.

Esta característica del CDPA, permite el roaming entre BS sin requerir tráfico de señalización extra en la interfaz de radio. Así, el tráfico de handover, el cual constituye la principal limitación en la reducción del tamaño de las celdas, se podría reducir, y las celdas podrían hacerse tan pequeñas como se desee, aumentando la capacidad del sistema.

El término roaming, se refiere a la posibilidad que tiene un usuario de acceder a servicios de telecomunicaciones móviles (terrestre y/o satelitales), en diferentes áreas a las que está suscripto, incluso de otros países, conservando las facilidades contratadas con su operador.

A. 2. 3. 6. Acceso múltiple por división de espacio (SDMA)

El acceso múltiple por división de espacio SDMA (Space Division Multiple Access), se utiliza especialmente para redes inalámbricas, de radio terrestre o satelitales.

En esta técnica de acceso múltiple, se emplean diversos puntos de transmisión y/o recepción ubicados en distintos lugares geográficos o de distintas alturas, respectivamente sobre el mismo o distintos soportes, mástiles o torres, distanciados entre sí de forma que permita seleccionar las distintas señales (Fig.13)

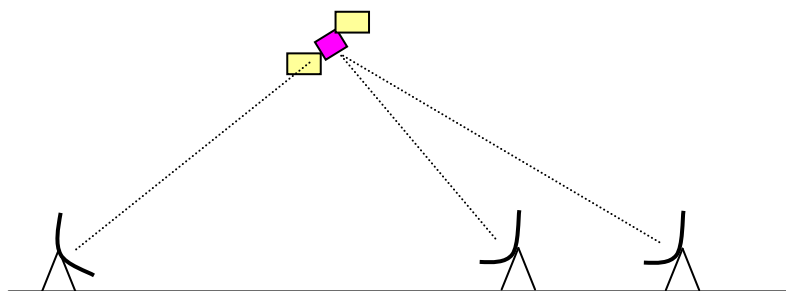


Fig. 13 - Acceso múltiple por división de espacio, SDMA

A. 2. 3. 7. Acceso múltiple por división de polarización (PDMA)

El acceso múltiple por división de polarización PDMA (Polarization Division Multiple Access), también se utiliza en redes inalámbricas terrestre o satelitales.

En este método de acceso múltiple se emplean sistemas con diversas polarizaciones, vertical u horizontal para la transmisión y /o la recepción. Ello acceder a las selección de las distintas señales.

A. 2. 3. 8. Transmisión por espectro esparcido (Spread Spectrum)

El acceso FDD / CDMA, en su aplicación militar para evitar el acceso indebido de la información y el congestionamiento de las líneas, dispuso una portadora de banda ancha logrando la utilización simultánea de diversos usuarios. Tal sistema de transmisión se ha denominado, codificación en espectro expandido o esparcido SS (Spread Spectrum).

Las señales de radio que operan con las técnicas de espectro esparcido, dispensan literalmente en la emisión, un amplio rango de frecuencias del espectro a transmitir de acuerdo a un patrón preestablecido.

Solo un receptor que utilice el mismo patrón, de dispersión del transmisor, podrá recuperar la señal original aún cuando otras señales Spread Spectrum compartan la banda. Al presente se ha emitido el borrador de norma IEEE 802.11, referente a este tema.

En Spread Spectrum se utilizan tres bandas: 900 á 928 MHz, 2.400 á 2.484 GHz y 5.525 á 5.850 GHz. También operan en banda angosta 18 á 19 GHz, sintonizados en una pequeña banda alrededor de una frecuencia central. Se requiere licencia de operación.

El acceso digital celular, con modulación CDMA bajo estándar EIA/ TIA IS-95, aplica la tecnología de canales expandidos en el espectro de frecuencias, a través del método de secuencia directa, DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum).

En las LAN inalámbricas se utilizan dos métodos para generar estas señales, en secuencia directa, DS (Direct Sequence) o en salto de frecuencias, FH (Frequency Hopping). El sistema DS, opera sobre los datos con una sucesión de bits, que sigue un código de esparcido predeterminado y con velocidad mucho mayor que éstos.

El sistema FH, también utiliza una codificación determinada, pero ésta opera indicando en que dirección y magnitud se salta en frecuencia. Tal salto se realiza a una frecuencia mayor o menor dentro del ancho de banda asignado.

Se indica que el sistema DS ofrece mayor rendimiento, en igualdad de condiciones de ruido, trabajando a mayores velocidades que el FH y sin efectuar fragmentación de los mensajes. El sistema FH en cambio, es menos complejo y costoso. Puede evitar mejor las interferencias y es mas flexible, al poder ofrecer mayor capacidad agregada, cuando se utilizan varios puntos de acceso en la misma área.

A. 2. 4. Duplexación en el bucle, FDD y TDD/ TCM

La comunicación vocal, en una línea de telecomunicaciones, tienen el carácter direccional dúplex. Con las técnicas analógicas, las redes de acceso de la planta urbana, sostienen la comunicación de los abonados, por un solo par con transmisión bidireccional simultánea, o sea dúplex. En las redes de larga distancia, al utilizarse amplificadores direccionales, se deben emplear dos pares o canales diferenciados, uno para la emisión y otro para la recepción.

Sin embargo, la aplicación de técnicas digitales en las redes de acceso presenta problemas para la transmisión dúplex e incluso semidúplex (cuando se emplean ambos sentidos de transmisión pero no en forma simultánea).

Para poder efectuar la transmisión bidireccional sobre el par de cobre, el aparato del abonado debe emplear distintas técnicas. Éstas, se refieren al método de Duplexación por separación de frecuencias, FDD (Frequency Division Duplex) y al método de Duplexación por división de tiempo, TDD (Time Division Duplex).

Método de duplexación $\left\{ \begin{array}{l} \text{por separación de frecuencias (FDD)} \\ \text{por división de tiempo (TDD)} \end{array} \right.$

En sistemas celulares y de servicios de comunicaciones personal (PCS), se utilizan tanto la técnica FDD como la TDD.

Como método FDD, indicamos duplexado por separación o división de frecuencias. La transmisión en doble sentido, se efectúa empleando dos canales, cada uno de una vía y con diferentes frecuencias. Un sentido es hacia el cliente, llamado de bajada o descendente y el otro es desde el cliente, de subida o ascendente.

Como método TDD, indicamos duplexado por división de tiempo empleado en el Sistema Cancelación del Eco, también apodado Sistema Ping Pong. La transmisión se realiza por un solo canal, que transmite en un instante en un sentido y en el momento siguiente en el otro sentido. Para evitar interferencias, se emplean circuitos que simulan el eco. Como se conoce el valor de la onda emitida de eco, se podrá estimar la magnitud del eco producido y sustraer el correspondiente de la señal entregada.

Este método también se indica como de Multiplexación por compresión del tiempo TCM (Time Compression Multiplexing).

Los sistemas inalámbricos celulares y los servicios de comunicaciones personal PCS de alto nivel (que veremos mas adelante), utilizan el sistema Dúplex por división de frecuencias FDD. Los canales están separados 45 MHz en los sistemas celulares y separados 80 MHz en los servicios PCS, para evitar las interferencias.

En el sistema Dúplex por división en el tiempo TDD, debido al retardo producto de la conmutación y a fin de evitar el solapamiento (overhead) de las señales de ida y regreso, se debe transmitir a velocidades no menores al doble de la velocidad de la codificación digital de la voz. Las redes digitales de servicios integrados (ISDN), utilizan el sistema Dúplex por división de tiempo TDD.

La combinación del acceso múltiple /duplexor TDMA /TDD se ha denominado en Europa como interfaz radioeléctrica común CAI (Common Air Interface). Se la utiliza para las comunicaciones entre el terminal portátil y la estación base, en servicios celulares.

A. 2. 5. Acceso con multiplexación combinada

Las técnicas de multiplexación descritas anteriormente, pueden combinarse para ser utilizadas en la red de acceso, por ejemplo: varios canales de comunicación, de diferentes tamaños, pueden ser multiplexados en un tren de bits de 155.52 Mb/s (señal de transporte síncrono de nivel 3, STS-3), utilizando la técnica ATM. Luego cuatro de estos trenes de bits STS-3, pueden ser multiplexados en un nuevo tren de 622.08 Mb/s (STS-12), utilizando la técnica STM.

Finalmente, varios trenes STS-12 pueden ser multiplexados en una fibra óptica, utilizando la técnica WDM, asignando a cada tren de 622.08 Mb/s, una longitud de onda diferente. También las técnicas de, multiplexación por distribución en el tiempo TDM (Time Division Multiple), son frecuentemente utilizadas en combinación con otras técnicas de acceso, por ejemplo con el, acceso múltiple por distribución en el tiempo TDMA, o el acceso múltiple por distribución de código CDMA (Fig. 14).

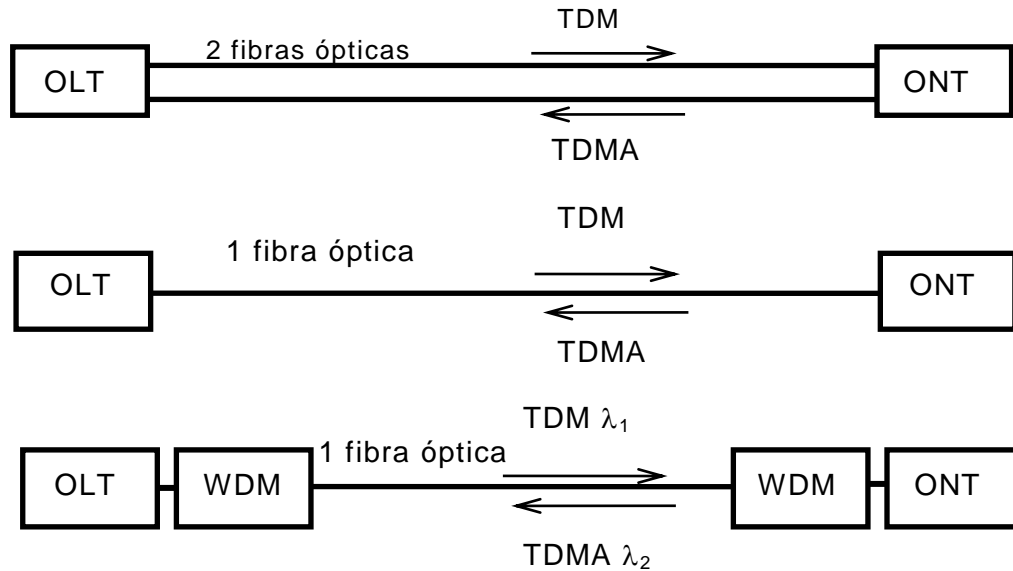


Fig. 14 - Transmisión bidireccional combinada

La técnica de acceso múltiple por división en el tiempo TDMA, es utilizada comúnmente en sistemas de comunicación punto – multipunto. También para lograr la transmisión bidireccional sobre dos fibras, o empleando una única fibra. En estos casos, se requiere la ayuda de la técnica TDM.

Para las redes que dispongan de ramales con dos fibras, una fibra es utilizada en el sentido desde la oficina central a los nodos remotos, mientras que la otra fibra será empleada para la comunicación desde los nodos remotos hacia la oficina central. Sobre la primera fibra, se emplea la transmisión normalizada TDM, mientras que en la segunda se emplea la transmisión TDMA. Este tipo de transmisión es denominado TDMA /TDM.

En redes de una fibra, debe ser utilizada la multiplexación por compresión en el tiempo TCM, en el cual la información TDM es transmitida durante una mitad de la trama y la información TDMA durante la otra mitad. Este tipo de transmisión es denominado TCM /TDMA /TDM.

Una red de una fibra, puede también utilizar la técnica TDM /TDMA, empleando la multiplexación por división de longitud de onda WDM. Este tipo de transmisión es denominado WDM /TDMA /TDM.

También por lo general, se combinan las técnicas en el ámbito de las frecuencias, multiplexación con algún procedimiento de acceso múltiple FDM /FDMA o la técnica de multiplexación y el acceso múltiple, con algún sistema de duplexado, FDM /FDMA /FDD.

---ooo0ooo---