

Una de las decisiones importantes que una empresa suministradora de acceso inalámbrico tiene que tomar es la elección de la tecnología radio. Dos tecnologías destacan entre el resto por sus prestaciones: Espectro Ensanchado (SS) y Multiplexado en Frecuencias Ortogonales (OFDM).

Tecnologías para acceso inalámbrico de Banda Ancha: **Espectro ensanchado (SS) y multiplexado en frecuencias ortogonales (OFDM)**

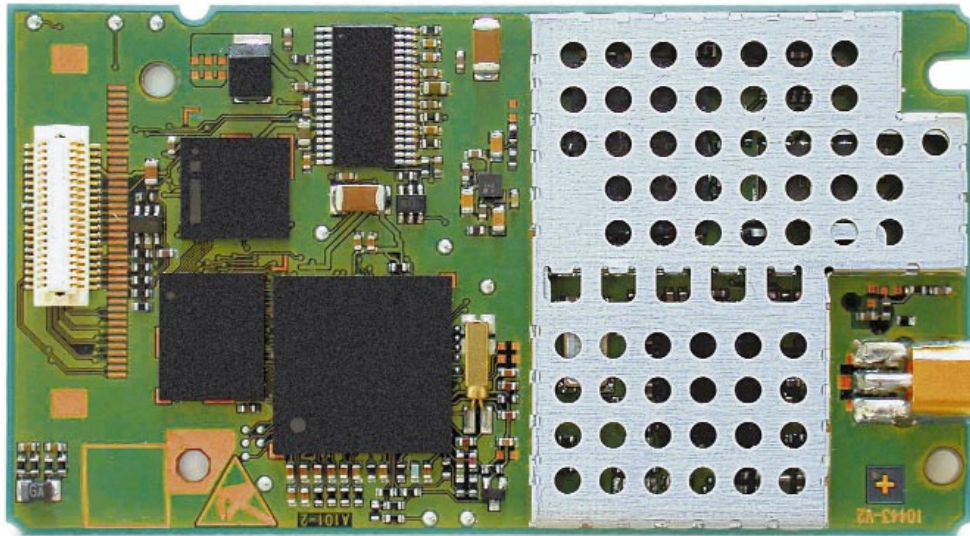
El principio de funcionamiento del Espectro Ensanchado consiste en “multiplicar” la fuente digital de información por un “código” de mayor velocidad binaria que la fuente. En principio la multiplicación por un código aumenta artificialmente el ancho de banda, disminuyendo la eficiencia espectral del sistema. Sin embargo el SS permite la coexistencia de múltiples transmisiones en la misma frecuencia y al mismo tiempo. Mediante el uso de códigos diferentes para cada transmisión, éstas no se interfieren significativamente entre ellas. La transmisión simultánea de distintas señales en Espectro Ensanchado y con distintos códigos

se conoce como CDMA (Code Division Multiple Access). Por su parte, el principio de funcionamiento de la tecnología OFDM consiste en la transmisión simultánea a través de múltiples canales de una fuente de información digital. Cada uno de estos canales se modula en una frecuencia distinta, pero la velocidad de transmisión binaria es mucho menor que la velocidad de transmisión de la fuente, en principio la velocidad de cada canal podría ser “N” veces más lenta que la original, siendo “N” el número de canales (o frecuencias) que se transmiten simultáneamente. OFDM consigue una alta eficiencia espectral mediante técnicas de pro-

cesado de señal, que permiten utilizar frecuencias entre portadoras menores de lo que tradicionalmente se venía haciendo. El receptor puede demodular los distintos canales haciendo uso de la propiedad de ortogonalidad entre frecuencias. Los sistemas OFDM tienen que optar por los métodos “convencionales” de multiplexar transmisiones: en tiempo (TDMA), en frecuencia (FDMA) o una combinación de ambas.

Los argumentos para elegir una de estas tecnologías se fundamenta en la capacidad para soportar servicios de banda ancha, uso eficaz del espectro, capacidad para soportar gran número de usuarios y robustez frente a interferencias. Los tres primeros criterios pueden ser referidos bajo el nombre genérico de “Eficiencia Espectral”, pero conviene aclarar que son conceptos distintos, ya bien sea referido a la velocidad en función del ancho de banda (y se mide en bit/s/Hz) o ya bien sea referido al número de usuarios (y se mide en usuarios/celda).

Ambas tecnologías se encuentran implementadas en variedad de sistemas comerciales y pueden considerarse “tecnologías maduras”. Cada una tiene sus ventajas y sus inconvenientes, precisando la elección entre una u otra de un detallado estudio y correspondiente valoración. Se puede considerar que el origen de la tecnología SS se remonta a unas patentes de 1924. Después de la Segunda Guerra Mundial se aceleró la investigación en esta tecnología por su baja probabilidad de interceptación en el ámbito militar. Con la asignación de tres ban-



das de frecuencia para uso comercial en 1983 por el regulador Estadounidense, la FCC, la tecnología SS/CDMA pasó del entorno militar al terreno civil y comercial. Desde entonces es la tecnología base de los sistemas de comunicaciones móviles celulares de segunda generación en Estados Unidos (IS-95). Además los estándares para la tercera generación de comunicaciones móviles tanto en Europa como en Estados Unidos, UMTS y CDMA 2000, también utilizan la tecnología SS/CDMA. Las modulaciones SS también se emplea en el estándar de red local de acceso inalámbrico IEEE 802.11 (b), aunque conviene enfatizar que el acceso a este sistema no es CDMA sino por contienda (Aloha). En la tecnología SS existen varias alternativas en función de cómo se “multiplica” la fuente con el código de ensanchado: SS por salto en frecuencia (FH-SS) y SS por multiplicación directa por el código (DS-SS). En la primera, la información de un

usuario se transmite en cada instante de tiempo por un solo canal o portadora, saltando de canal o portadora dentro de la banda o bandas de trabajo asignadas según una secuencia definida por el código de ensanchado. El receptor está sincronizado y realiza la operación inversa. La tecnología es sencilla pero limitada para servicios de banda ancha. La segunda variante, DS-SS es más robusta frente a interferencias y los equipos disponibles están mejor adaptados para servicios de banda ancha. La secuencia de bits de la fuente de información se multiplican directamente (función lógica “or-exclusivo”) con el código de ensanchado. Este código al ser de una cadencia muy superior a la de la información a transmitir, expande el ancho de banda de la información en la banda de espectro asignada. El receptor mediante un filtro adaptado o correlador con el código de la transmisión de interés recupera la información transmitida

eliminando en cierta medida el ruido, las interferencias y señales provenientes de otros usuarios. El resto de usuarios, al tener un código distinto, afectan al receptor como lo puedan hacer las interferencias o el ruido. El control de potencia es esencial para el correcto funcionamiento del sistema CDMA, ya que mantienen bajo control la potencia de “ruido” que ocasionan el resto de usuarios. La capacidad de los sistemas CDMA, entendida esta como el número de usuarios a los que se les puede dar servicio simultáneamente, está limitada por el nivel de potencia de “ruido” que generan los distintos usuarios. El nivel de ruido aumenta con el número de usuarios conectados, de forma que llegado un número de usuarios no se mantiene la calidad del enlace. Esta particular forma en la que la capacidad está limitada muestra dos ventajas: la capacidad aumenta si se permite la transmisión discontinua de los usuarios, i.e. la contribución de

cada usuario al nivel global de ruido es menor si los usuarios sólo transmiten cuando es estrictamente necesario contribuyendo al aumento de la capacidad; en segundo lugar la capacidad no tiene un valor cerrado, sino que ésta puede aumentarse si se permite una peor calidad en el enlace, esto es lo que se conoce como limitación blanda de la capacidad.

La tecnología OFDM es más reciente, habiéndose originado en la década de 1960 también en entornos militares. El uso civil y comercial llegó más tarde, cuando en 1995 se publicó el estándar ETSI para radiodifusión sonora digital terrestre, DAB, y el estándar de televisión digital terrestre, DVB-T en 1997. OFDM también se utiliza en bucles ADSL, en sistemas de transmisión a través de la red eléctrica de corriente alterna, en el estándar IEEE 802.11a, de capacidad superior al 802.11b, y en el estándar IEEE 802.16 de redes de acceso inalámbrico de banda ancha. Por su adaptación para la transmisión de señales de banda ancha es una de las tecnologías en estudio para la implementación de la cuarta generación, 4G, de servicios móviles celulares.

Como se ha mencionado anteriormente el principio de funcionamiento de la tecnología OFDM consiste en dividir el flujo de bits de la fuente de información en un elevado número de canales. Cada canal, de menor velocidad binaria, se modula con una frecuencia que es ortogonal al resto de las frecuencias de los otros canales. El conjunto de todas las frecuencias asignadas a cada canal cubre la banda del espectro asignada.

Cada tono es modulado con un símbolo de la información a transmitir y es multiplexado con los demás tonos. El proceso de modular cada tono y combinar todos ellos se realiza mediante proceso digital de las señales y se comprueba fácilmente que todo el proceso de modulación y combinación se corresponde matemáticamente con una transformada inversa de Fourier. De esta forma, la etapa de modulación del transmisor puede realizarse mediante una transformada rápida de Fourier inversa (iFFT). Así mismo, la demodulación puede realizarse con una FFT.

Sistema	R (Mbps)	B (MHz)	h (bit/s/Hz)
OFDM FWA	1,3	1	1,3
OFDM IEEE 802.11a	18	20	0,9
WCDMA UMTS	2	5	0,4

El interés de los sistemas OFDM radica en su elevada capacidad y su eficaz uso del espectro frente a las demás tecnologías.

La comparación entre ambas tecnologías requiere considerar entre otros, los siguientes aspectos:

Eficiencia espectral de la modulación

Una de las posibles acepciones para la eficiencia espectral, h , es la relación entre la tasa de información transmitida (R) y el ancho de banda empleado (B). Se mide en bits por segundo por hertzio (bit/s/Hz). La tabla muestra los valores para diferentes sistemas empleando modulación QPSK, sin considerar efectos propios del enlace ni el MAC.

El espectro es un recurso escaso. Por tanto el despliegue

de redes de tecnologías de mayor eficiencia espectral permitirán a los operadores ofrecer nuevos servicios de banda ancha coexistiendo de forma económica, al compartir eficazmente la banda espectral asignada, con la infraestructura que desplegaron con anterioridad.

Capacidad

El cálculo de la capacidad en sistemas CDMA no es sencillo, ya que deben tenerse en cuenta factores tales como tasa de actividad de los usuarios, interferencia intra-celda e inter-celdas, velocidad de transmisión

requerida por cada usuario, entre otros. En cualquier caso se demuestra que, si se emplean adecuadamente el control de potencia y la transmisión discontinua, la capacidad de CDMA puede ser superior a la alcanzada con los sistemas TDMA y FDMA compensando de alguna forma la menor eficiencia espectral de las modulaciones SS.

En los sistemas OFDM los distintos usuarios se multiplexan en tiempo o/y frecuencia, de forma que la capacidad la determinan el ancho de banda disponible, la eficiencia espectral de la modulación y la velocidad de transmisión requerida por cada usuario.

La tecnología OFDM permite que cada portadora se ajuste independientemente a las condiciones de contorno (señal y ruido) en su zona de espectro. Al

emplear un elevado número de tonos y poder ajustar estos independientemente, el sistema ofrece la posibilidad de adaptarse de forma casi-óptima a las condiciones de propagación de cada enlace, tanto descendente como ascendente. Esta capacidad de adaptarse le confiere una capacidad superior en canales adversos.

Como en el resto de sistemas TDMA/FDMA el factor que limita la capacidad es la interferencia co-canal, que debe tenerse en cuenta al planificar la red manteniendo un nivel adecuado de relación portadora interferencia. Mecanismos de asignación dinámica de canales mitigan de forma eficaz este efecto.

El despliegue de nuevas redes de acceso inalámbrico de alta capacidad permitirá a los operadores ofrecer sobre la misma infraestructura múltiples y diferenciados servicios de voz, acceso a Internet y datos a mercados diferentes, por ejemplo residencial, profesionales, PYMES. Sólo de esta forma podrán obtener el retorno de su inversión en un plazo razonable y hacerla sostenible.

Planificación de red

En los sistemas CDMA, según crece el número de usuarios o se incrementa el ancho de banda demandado por los mismos, la auto-interferencia en esa celda o sector aumenta. Al aumentar la auto-interferencia el alcance máximo disminuye. Este efecto es conocido por "respiración de la celda", reduciendo la cobertura de la estación base. Sectores o celdas con cobertura variable complican la planificación de red.

Debido a la técnica de multiplexación utilizada en sistemas



OFDM, la metodología de planificación no puede ser otra que la utilizada en otros sistemas TDMA, el GSM por ejemplo.

En conclusión, el despliegue de las nuevas redes de acceso inalámbrico deben permitir una implementación sencilla cuyo impacto económico sobre el operador sea mínimo e independiente en la medida de lo posible del número de usuarios y el ancho de banda demandado por estos.

En este contexto podemos destacar el número creciente de estándares para acceso al abonado inalámbrico que están adoptando OFDM como tecnología básica, siendo esta una tecnología especialmente bien adaptada para la provisión de servicios de banda ancha.

