



# CDMA: COMUNICACIONES DE ESPECTRO ENSANCHADO

Jorge-Luis Sánchez-Ponz

Institut für Informatik - Abteilung Rechnerarchitektur  
Universität Stuttgart, Deutschland  
IEEE Region 8 Student Representative  
E-mail: j.s.ponz@ieee.org



## RESUMEN

La tercera generación de comunicaciones móviles se encuentra en plena efervescencia. Son muchas las propuestas que han ido surgiendo a lo largo de los años para dar respuesta a las nuevas demandas del mercado y de los operadores.

CDMA es la baza tecnológica para las nuevas redes móviles, si bien no son del todo conocidas sus características principales, que la diferencian de las otras técnicas existentes en la actualidad, y que la dotan de razones suficientes para ser el estándar futuro.

Por ello, en el presente artículo se revisan los conceptos básicos de CDMA en comparación con las otras técnicas de acceso múltiple al medio, usadas en otros sistemas, haciéndose especial hincapié en la novedad en lo que respecta a los mecanismos de control de potencia, prácticamente ausentes en FDMA y en TDMA.

*Palabras clave* - Comunicaciones móviles, tercera generación (3G), acceso múltiple, FDMA, TDMA, CDMA, control de potencia.

## I. INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años, se han llevado a cabo numerosas y variadas investigaciones para la aplicación práctica de sistemas basados en CDMA (Code Division Multiple Access, o acceso múltiple por división de código) como esquemas básicos de acceso múltiple para IMT-2000 (International Mobile System 2000, sistema móvil internacional 2000), según denominación ITU (International Telecommunications Union, Unión Internacional de Telecomunicaciones), o para UMTS (Universal Mobile Telecommunications System, o sistema universal de telecomunicaciones móviles), según la denominación europea. Por tanto, CDMA es la técnica de acceso múltiple al medio elegida para los sistemas de comunicaciones personales e inalámbricas de tercera generación (3G).

Básicamente, lo que se persigue con esta nueva generación es un mejor aprovechamiento del espectro, unas mayores tasas de transferencia de datos y una mayor flexibilidad, que permita la incorporación de nuevos servicios de datos hasta ahora no disponibles en las comunicaciones móviles actuales.

Año	Hecho
1949	J. Pierce: primera referencia a un sistema de espectro ensanchado.
1949	Shannon – R. Pierce: ideas básicas de CDMA.
1950	De Rosa – Rogoff: espectro ensanchado de Secuencia Directa.
1956	Price – Green: patente del receptor <i>RAKE</i> antimultitrayecto.
1970s	Diversos desarrollos para el campo militar y para sistemas de navegación.
1978	Cooper – Nettleton: aplicación para telefonía móvil del espectro ensanchado.
1980s	Qualcomm desarrolla las técnicas de CMDA de Secuencia Directa ( <i>DS – CDMA, Direct Sequence CDMA</i> ).
1986	Verdu: detección multiusuario óptima.
1993	Estándar <i>IS – 95</i> : CDMA de banda estrecha.
1995	CDMA de banda ancha ( <i>WCDMA, Wideband CDMA</i> ) en Europa y Japón; <i>cdma2000</i> en los Estados Unidos.
1996	Explotación comercial de <i>IS – 95</i> .
2000s	Explotación comercial de los sistemas de CDMA de banda ancha.

Tabla 1 - Cronología básica de CDMA.

Aunque pueda parecer algo realmente nuevo, CDMA es una técnica de acceso al medio conocida desde hace más de medio siglo. Simplemente como breve introducción histórica a CDMA, se detallan en la Tabla 1 los acontecimientos más importantes, si bien son tratados con mayor profundidad en [1].

Al margen de los hechos históricos, pueden observarse distintos movimientos en el ámbito internacional, localizados en las zonas geopolíticas de mayor peso

(Europa, Estados Unidos y Japón/Corea), que se encuentran trabajando en las normas y regulaciones para las diferentes regiones.

En consonancia con esto, la preferencia tecnológica para los sistemas de tercera generación depende fundamentalmente de factores técnicos, políticos y económicos.

Entre los factores técnicos pueden destacarse el rendimiento y la provisión de los servicios de datos y tasas de transferencia demandadas. Como factores políticos se incluyen los diferentes acuerdos alcanzados por los diversos organismos de estandarización nacionales y supranacionales y los particulares puntos de vista de los diferentes países y áreas económicas en lo referente a política de comunicaciones. Las nuevas oportunidades de negocio que surgen con la implantación de nuevos sistemas, que en general ocasionan modificaciones en las situaciones existentes, son razones puramente económicas que condicionan decisiones y elecciones tecnológicas. Sin embargo, las fuertes inversiones realizadas en los actuales sistemas, aún por amortizar, ralentizan avances.

Aun con esta perspectiva, es imparable el progreso de los sistemas de tercera generación, máxime cuando se están completando en la mayoría de los países los procesos de concesión de licencias para estos sistemas, ya sea por subasta, venta o licitación.

Por ello, es conveniente observar y destacar los argumentos estrictamente técnicos que justifican la elección de esta técnica de acceso múltiple al medio, y otras evoluciones de la misma como CDMA de banda ancha (WCDMA, Wideband CDMA), como esquema básico para IMT-2000 / UMTS. No obstante, mayores profundizaciones se verán en colaboraciones futuras. Por consiguiente, en el presente artículo se van a presentar las principales técnicas de acceso múltiple al medio existentes en la actualidad, sus ventajas e inconvenientes, su utilización en sistemas comerciales y su comportamiento en lo que respecta a control de potencia. Para finalizar, se expondrán las conclusiones más importantes.

## II. TÉCNICAS DE ACCESO MÚLTIPLE

Las más importantes técnicas de acceso múltiple al medio, que se van a tratar, son FDMA, TDMA y, por último, CDMA.

### \* FDMA

En FDMA (Frequency Division Multiple Access, acceso múltiple por división en frecuencia), a cada usuario se le asigna un canal individual de frecuencia (un rango determinado de frecuencias), tal y como se recoge en el esquema de la Figura 1.

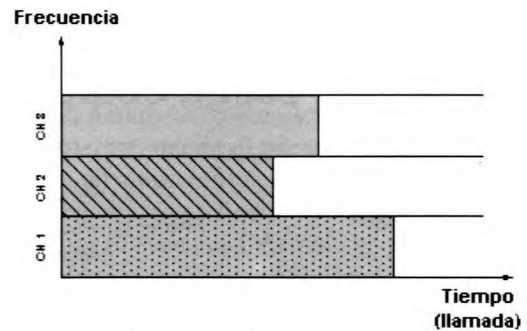


Figura 1 - Asignación de canales en FDMA.

El ancho de banda de cada canal es relativamente reducido: 30 KHz. Sin embargo, los canales libres, disponibles o no ocupados no pueden ser usados por otros usuarios para incrementar su capacidad si así lo requieren.

Cuando se realiza la asignación de un canal, la estación base y el móvil transmiten simultánea y continuamente. Por este motivo, el terminal móvil debe emplear duplexores (duplexers) de división en frecuencia.

Además de ser un sistema de baja capacidad y reducida complejidad si se compara con otras técnicas de acceso múltiple, tiene mayores costes en la construcción y configuración de las células, debido al diseño de un único canal por portadora y a la necesidad de usar costosos filtros paso banda para eliminar la radiación espúrea en la estación base.

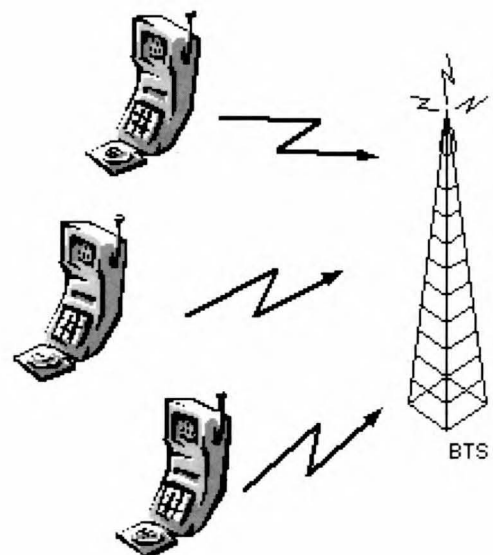


Figura 2 - Enlace ascendente (reverse o up link).

El AMPS (Advanced Mobile Phone System, sistema telefónico móvil avanzado), usado en los Estados Unidos, es un sistema de telefonía analógico que está basado en FDMA. Asigna un único canal, con ancho de

banda BC, a cada usuario y cada canal, a su vez, está compuesto por dos canales simples: enlace ascendente (Figura 2) y enlace descendente (Figura 3). Realmente, se verifica que:

$$B_C = B_{ASCENDENTE} + B_{DESCENDENTE}$$

En consecuencia, un canal puede ser reutilizado por otro usuario sólo cuando se finaliza una llamada o cuando se produce un traspaso de la comunicación de una célula a otra (handover), es decir, de una estación base a otra, liberándose el canal de esa estación.

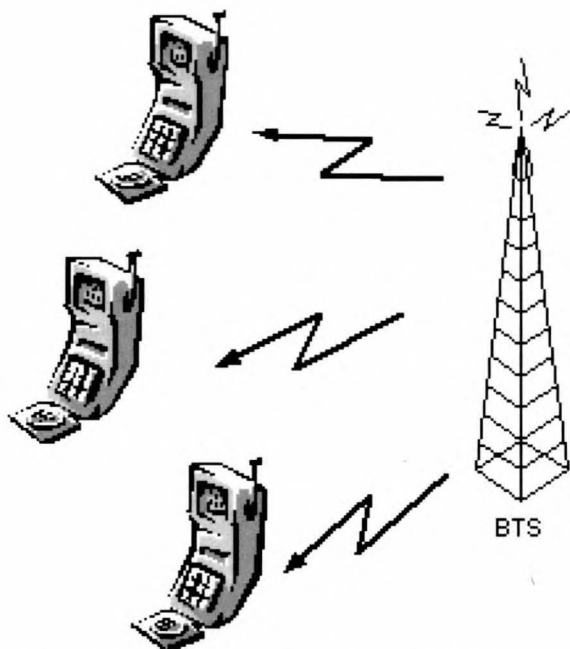


Figura 3 - Enlace descendente (forward o down link).

El número de canales soportados simultáneamente por FDMA es:

$$N = \frac{B_T - 2B_G}{B_C}$$

donde:

$B_T$  = espectro total asignado,

$B_G$  = banda de guarda en ambos extremos de  $B_T$  (ver Figura 4),

$B_C$  = ancho de banda de un canal (un usuario).

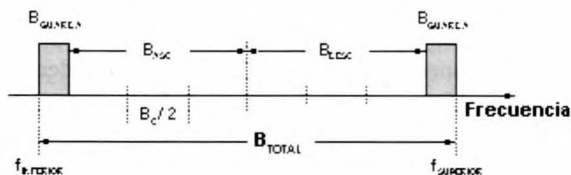


Figura 4 - Bandas de guarda y asignación de frecuencias para tramos ascendentes y descendentes.

### \* TDMA

En TDMA (Time Division Multiple Access, acceso múltiple por división en el tiempo), varios usuarios pueden compartir el mismo canal de frecuencia, pues éste se halla dividido en ranuras o intervalos de tiempo (time slots). La compartición del canal se realiza en intervalos no coincidentes, según se observa en la Figura 5. Se puede, por tanto, disponer de un número variable de intervalos de tiempo por trama y para cada usuario. Así, el ancho de banda, asignado a cada usuario, es variable, pudiéndose personalizar bajo demanda simplemente concatenando o reasignando los intervalos de tiempo de un mismo canal o de varios.

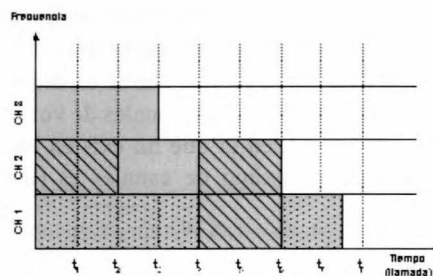


Figura 5 - Asignación de canales en TDMA.

Claramente, la transmisión no es continua y se realiza a ráfagas, en función de las características de la propia transmisión. Esta circunstancia hace que los consumos y las demandas de potencia sean considerablemente menores que en el caso de FDMA.

Asimismo, los traspasos de una célula a otra (handover) son bastante más sencillos que en el caso anterior, debido a la naturaleza discontinua de la transmisión. Esto se fundamenta en el hecho de que el terminal móvil puede escuchar a las estaciones base cercanas durante los instantes de tiempo de inactividad (durante la comunicación).

Siguiendo con esta línea de división del tiempo, la comunicación no se realiza de manera simultánea: se utilizan distintos instantes de tiempo para la transmisión y para la recepción, por lo que ya no son necesarios los duplexores.

Sin embargo, va a requerir de ecualización adaptativa, pues es más susceptible a fenómenos de interferencia entre símbolos. Igualmente, necesita cabezeras de sincronización por realizarse la transmisión en ráfagas: los receptores deben estar sincronizados para cada ráfaga de datos.

El número de canales proporcionados por TDMA es:

$$N = \frac{B_T - 2B_G}{B_C/m} \quad (I)$$

donde:

- $B_T$  = espectro total asignado,
- $B_G$  = banda de guarda (extremos de  $B_T$ ),
- $B_C$  = ancho de banda de un canal.
- $m$  = el número máximo de usuarios por cada canal radio.

Considérese el estándar GSM (Global System for Mobile, sistema global para móviles), es decir, segunda generación de comunicaciones móviles. Emplea una banda de 25 MHz. para el enlace descendente, que a su vez se encuentra dividida en canales radio con un ancho de banda de 200 KHz. Si se supone que en un mismo canal radio pueden soportarse hasta 8 canales de voz, y considerando el caso ideal, en el que no existen bandas de guarda, el número máximo de canales es (usando la Expresión I):

$$N = \frac{25MHz.}{200KHz./8} = 1000$$

Si ahora se analiza la discontinuidad en la comunicación de este estándar, se debe partir del conocimiento de sus datos básicos. GSM posee una estructura de tramas, donde cada trama consta de 8 intervalos de tiempo, con un total de 1250 bits por trama, y con una tasa de transferencia de 270,833 Kbps en el canal. En consecuencia, la duración de una trama será:

$$T_{TRAMA} = \frac{1250bits}{270,833Kbps} = 4,615ms$$

Lo que implica que si a un usuario se le asigna un único intervalo de tiempo por trama, tiene que esperar 4,615 milisegundos entre dos transmisiones consecutivas. De ahí la discontinuidad de la comunicación en TDMA.

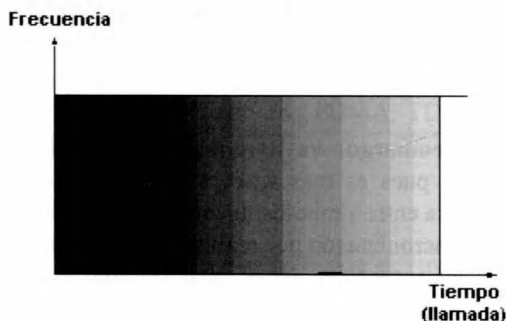


Figura 6 - Asignación de canales en CDMA.

### \* CDMA

En CDMA (Code Division Multiple Access, acceso múltiple por división del código), todos los usuarios comparten el mismo canal, según se recoge en la Figura 6. Por lo tanto, el mismo canal radio puede ser reutilizado por todas las células vecinas, sin necesidad de esperar el fin o el traspaso de la comunicación en curso.

A cada usuario se le asigna una secuencia de código (signature o firma) única que usa para la codificación de la señal que contiene su información. El receptor, conocida la secuencia del usuario, decodifica la señal obtenida en recepción y recupera los datos originales. Esto es posible ya que las correlaciones cruzadas entre el código de un usuario y los códigos del resto de usuarios son muy pequeñas.

El ancho de banda de transmisión es mucho mayor que el ancho de banda de la señal que contiene la información deseada, por lo que el proceso de codificación lo que hace fundamentalmente es ensanchar el espectro (de potencia) de la señal original. Este proceso es también conocido como modulación de espectro ensanchado, donde la señal resultante es denominada señal de espectro ensanchado.

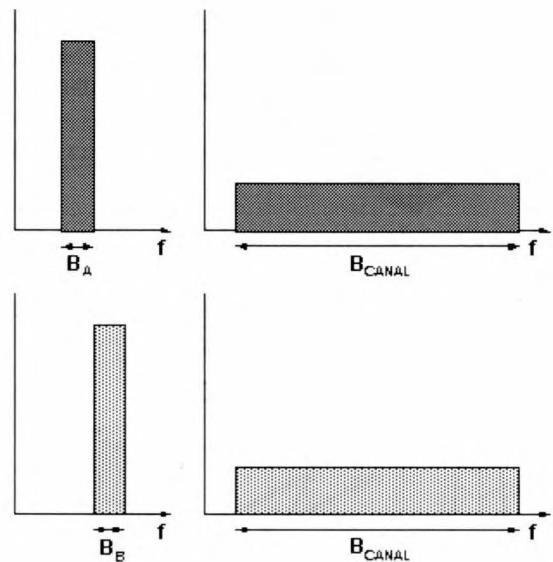


Figura 7 - Generación de las señales de espectro ensanchado de dos usuarios.

Es esta propiedad la que confiere a CDMA su capacidad de acceso múltiple. Si se observa la Figura 7, el usuario A y el usuario B generan sus respectivas señales de espectro ensanchado. Tanto A como B deciden transmitir de manera simultánea sus señales de espectro ensanchado. Sin embargo, en el receptor A sólo la señal del usuario A es la decodificada y los datos son recuperados (Figura 8).

En general, cualquier técnica de espectro ensanchado debe verificar dos condiciones elementales:

- \* El ancho de banda de transmisión tiene que ser mucho mayor que el ancho de banda de información.

- \* El ancho de banda de transmisión es estadísticamente independiente de la señal que contiene la información, circunstancia que excluye otras técnicas de modulación como la modulación en frecuencia (FM) o la modulación en fase (PM).

De manera análoga, las señales de espectro ensanchado presentan una serie de características que las hacen singulares, y que a continuación se describen de forma breve.

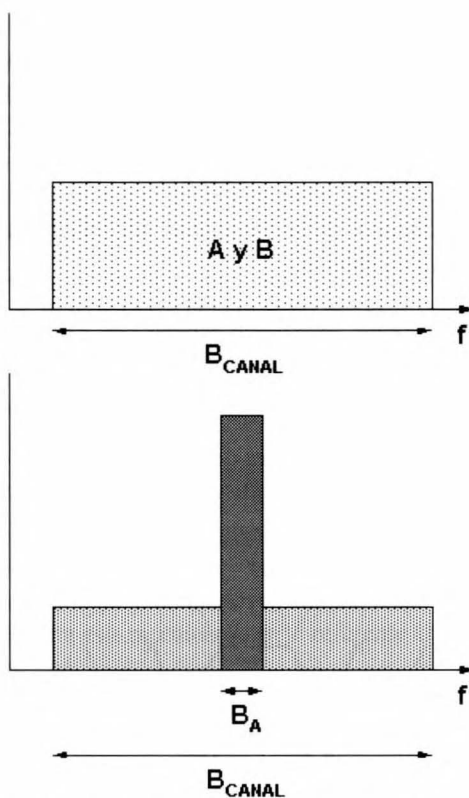


Figura 8 - Obtención en recepción de la señal del usuario A.

### 1. Acceso Múltiple

Característica ya comentada anteriormente junto a las Figuras 7 y 8. Esencialmente, los receptores en CDMA están basados en el principio del receptor tipo RAKE (que emplea demodulación coherente), que considera las señales de los otros usuarios como meras interferencias. Además, se parte del hecho de conocer las propiedades de las correlaciones cruzadas entre señales, lo que confiere a las interferencias (otras señales) naturaleza determinista, es decir, no aleatoria.

Se dispone de un medio para reducir los efectos de las interferencias por acceso múltiple al medio y, por ende, se consigue aumentar, de forma considerable, la capacidad (número de usuarios) del sistema.

### 2. Protección contra interferencias por multi- trayecto

El uso de los receptores con estructuras tipo RAKE permite elevar la protección contra reflexiones y refracciones de la señal transmitida que llegan en recepción. Estas señales recibidas, y procedentes de diversos trayectos, son todas ellas copias de la señal transmitida pero con diferentes amplitudes, fases, retardos y ángulos de incidencia (Figura 9). La combinación de estas señales puede ser constructiva en algunas frecuencias y destructiva en otras, lo que propicia en el dominio del tiempo una señal dispersa y distinta de la señal original.

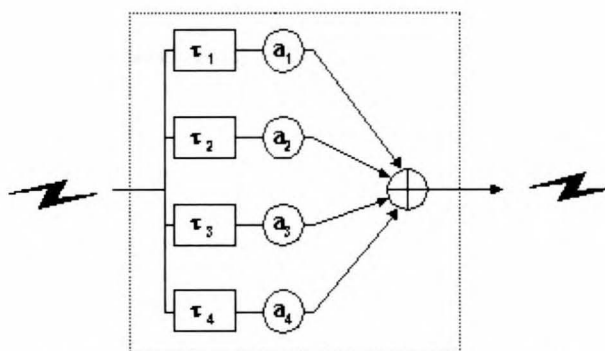


Figura 9 - Modelo básico de canal multitrayecto, incluyendo retardos ( $\tau_i$ ) y atenuaciones ( $a_i$ ).

Empero, las señales de espectro ensanchado son capaces de solventar favorablemente las señales procedentes de distintos trayectos, al ser combinadas adecuadamente en un receptor RAKE, en parte por la estructura del propio receptor y en parte por la peculiaridad de que la autocorrelación de las señales de espectro ensanchado fuera de los límites de definición (-TC, TC) es siempre cero.

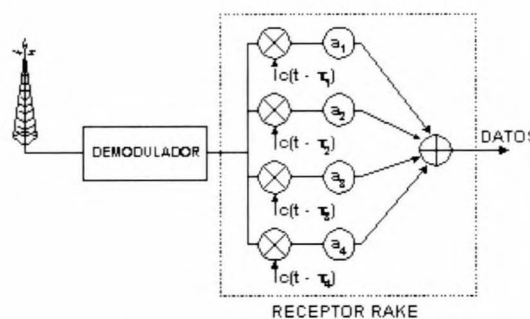


Figura 10 - Estructura básica de un receptor tipo RAKE.

Igualmente, la forma de onda de las señales transmitidas en CDMA permite el empleo de lo que se conoce con el nombre de diversidad multitrayecto. Si se recurre al dominio de la frecuencia para su explicación, ésta se obtiene considerando nuevamente que el ancho de banda de la señal transmitida es mucho mayor que el ancho de banda coherente en canal (el que realmente contiene la señal con la información deseada) y, dado que el canal es selectivo en frecuencia, únicamente parte de la señal se ve afectada por los fenómenos de desvanecimiento.

Una estructura clásica del receptor tipo RAKE puede verse en la Figura 10, pero más información puede obtenerse en [2].

### 3. Privacidad

De la señal transmitida sólo pueden recuperarse los datos si se conoce la secuencia de código en recepción. Por este motivo, el primer marco de aplicación de los sistemas basados en CDMA fue la industria militar.

### 4. Baja probabilidad de interferencia intencionada (jamming) y/o rechazo de interferencias genéricas.

Con la correlación cruzada de la señal de banda estrecha (con la información) y de la secuencia de código, la potencia de la señal de banda estrecha también se ensanchará. Así se consigue que cualquier potencia de señal interferente quede reducida, pues en recepción la señal interferente es ensanchada y la señal deseada decodificada (reconvertida a señal de banda estrecha).

### 5. Baja probabilidad de interceptación

Al ensanchar la potencia de la señal, la densidad de potencia disminuye, lo que la hace difícil de detectar e interceptar.

### 6. Necesidad de un mecanismo de control de potencia

Es evidente este requerimiento a la vista de las características de las señales de espectro ensanchado, por lo que dada su importancia, dentro de los esquemas de CDMA, se tratará a continuación más extensamente.

## III. CONTROL DE POTENCIA EN SISTEMAS DE COMUNICACIONES MÓVILES

### \* FDMA y TDMA

En ambas técnicas de acceso múltiple al medio no es necesario realizar ningún control de potencia. En el enlace descendente, la potencia de transmisión de la propia estación base queda únicamente limitada por el hecho de alcanzar los límites de la célula y minimizar las

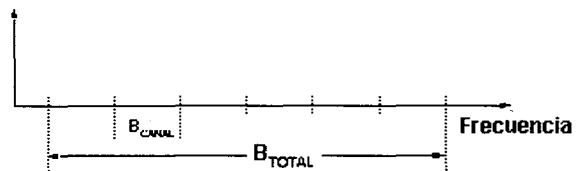


Figura 11 - Asignación del espectro de frecuencias para FDMA y TDMA.

interferencias fuera de la célula (células adyacentes). En el enlace ascendente, la potencia de transmisión máxima del terminal móvil será aquella que permita que la señal llegue a la estación base desde los límites de la célula.

En consecuencia, tanto en FDMA como en TDMA, no es imprescindible un control en tiempo real de la potencia en ninguno de los enlaces. Además, si se tiene en cuenta la asignación de frecuencias de la Figura 11, se observa que no se van a detectar problemas relacionados con el fenómeno cerca-lejos, near-far<sup>1</sup>, señalado por primera vez por Magnuski en 1961[1], o con otros fenómenos de interferencias menores. Ergo, los usuarios no se interfieren unos con otros dentro de la misma célula, ya que, en el dominio de la frecuencia, sus informaciones son ortogonales entre sí.

No obstante, se pueden señalar dos excepciones donde el uso de técnicas de control de potencia es preciso:

\* si los amplificadores de recepción operan en la región de saturación, buscando obtener la máxima

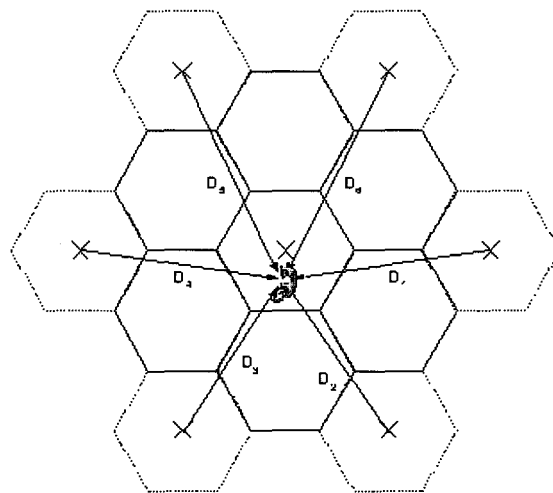


Figura 12 - Enlace descendente en FDMA/

<sup>1</sup> Debido a mecanismos de propagación y a que se comparte el mismo ancho de banda, la señal recibida por la estación base de un usuario próximo a la estación base será más potente que la señal recibida de otro usuario en los límites de la célula, con lo que los usuarios lejanos quedarán dominados por los usuarios cercanos.

eficiencia posible (se abandona la zona lineal de funcionamiento),

\* si no existe suficiente separación entre canales adyacentes.

Si se analiza la interferencia procedente de otras células, y centrándose en el enlace descendente (Figura 12) con la geometría clásica hexagonal, puede ser indispensable el empleo en la estación base de ciertas técnicas que permitan reducir la potencia transmitida, máxime si se tiene en cuenta que FDMA se encuentra limitado en su diseño por las interferencias: para tener un nivel aceptable de calidad de señal de voz, la relación señal a interferencia debe tener un valor mínimo de 18 dB.). De este modo, mecanismos de reducción de potencia transmitida desde la estación base, para evitar interferencias en otras células vecinas, presentan como contrapartida el que se reduce el tamaño y la capacidad de las células, incrementando el coste final del sistema al tener que instalar más estaciones base.

#### \* CDMA

Como punto de partida, se puede considerar el caso más básico en el que CDMA no dispone de control de potencia. Ya en estas condiciones, su capacidad es superior a FDMA, pues la relación señal a interferencia mínima es -15 dB., frente a los 18 dB. de FDMA, por lo que es evidente que en CDMA no es necesaria tanta potencia para transmisión (al menos en lo que respecta al canal descendente).

Si se estudia más en detalle el caso del canal descendente, donde el mecanismo de control de potencia es más sencillo (no se requiere la eliminación del problema cerca-lejos<sup>2</sup>), se observan rápidamente las mejoras que aporta este mecanismo en lo referente al aumento de capacidad.

Optando por usar control de potencia en la estación base, se consigue reducir la interferencia sobre otras células vecinas o próximas y al mismo tiempo se consigue compensar la interferencia procedente de estas mismas células. Incluso en el caso peor, en el que el terminal móvil se localiza en el punto de intersección de su célula con las otras dos células colindantes (Figura 13), se consigue duplicar la capacidad, con lo que (número de usuarios por célula):

$$N_{DESC. CON CONTROL POT.} > N_{DESC. SIN CONTROL POT.}$$

(manteniendo invariables el resto de condiciones).

Para el caso del enlace ascendente, la situación se complica ligeramente, pues es aquí donde se hace más necesario el control de potencia debido a la interferencia por acceso múltiple al medio y, más concretamente, por el problema cerca-lejos, ya comentado. En este enlace, fundamentalmente se consideran las interferencias pro-

cedentes de la propia célula, ya que los terminales móviles en células contiguas transmitirán con un nivel de potencia mucho menor que el de la estación base a los terminales móviles. De hecho, la interferencia en enlace ascendente será menor que la interferencia en enlace descendente, estando la capacidad del sistema basado en CDMA supeditada al enlace descendente, porque en general se confirma que (con relación al número de usuarios por célula):

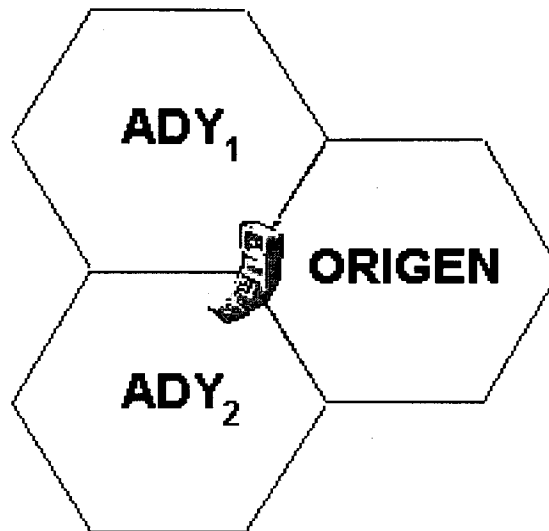


Figura 13 - Terminal móvil en el punto de intersección de su célula con las otras dos células adyacentes.

$$N_{ENLACE ASCENDENTE} > N_{ENLACE DESCENDENTE}$$

Lo que prueba que para aumentar la capacidad debe aumentarse  $N_{ENLACE DESCENDENTE}$ , mediante un diseño más pródigo.

El control de potencia en el enlace ascendente, persigue que, independientemente de la distancia a la que se encuentren los terminales móviles, las señales lleguen a la estación base, en todo momento, con la misma potencia media.

Además, al margen del tipo de enlace de que se trate, el control de potencia mejora ostensiblemente el rendimiento con respecto al desvanecimiento de las señales en el canal, compensando notablemente las zonas valle. En el caso ideal, permite aproximar el canal con desvanecimiento por un canal con ruido blanco gaussiano, lo que elimina totalmente las zonas valle de desvanecimiento de señal.

<sup>2</sup> La propagación de las señales se realiza a través del mismo canal y la recepción en el terminal móvil se produce con la misma potencia (en principio, sólo hay una estación base por célula).

<sup>3</sup> por medio de un circuito de control automático de ganancia, que proporciona medidas aproximadas y burdas de las pérdidas de propagación.

Como información adicional en lo que respecta al control de potencia en CDMA, destacar que existen dos tipos de bucles para llevar a cabo este control:

\* **Bucle abierto:** mide de manera unilateral las condiciones de interferencia del canal y las pérdidas de propagación<sup>3</sup>, ajustando las potencias de transmisión según los valores obtenidos y compensando las fuertes variaciones como consecuencia de las atenuaciones. Aunque, si se tienen en cuenta fenómenos de desvanecimiento rápido, donde se observa que el enlace ascendente y el descendente no están correlados, este esquema de control de potencia sólo conseguirá los resultados perseguidos en valor medio, pues no es capaz de compensar el desvanecimiento del enlace ascendente.

\* **Bucle cerrado:** como solución al problema anterior y para conseguir los valores óptimos de potencia de manera continua, este bucle de control lo que hace es obtener constantemente la relación señal a interferencia y enviar comandos específicos al transmisor, para que éste ajuste la potencia de transmisión al nivel adecuado.

Finalmente, si se compara el rendimiento (en términos de número de usuarios por célula) de las tres técnicas de acceso múltiple al medio en igualdad de condiciones (geometría de la célula y ancho de banda de transmisión), y considerando los mecanismos de potencia descritos, se obtiene:

$$\frac{\text{Capacidad(TDMA)}}{\text{Capacidad(FDMA)}} \cong 3$$

Básicamente debido a que en FDMA no son aplicables los conceptos de sectorización de antenas y de factor de actividad vocal, mientras que en TDMA se puede sacar provecho del factor de actividad vocal para aumentar el número de usuarios.

$$\frac{\text{Capacidad(CDMA)}}{\text{Capacidad(FDMA)}} \cong 18$$

En CDMA se pueden emplear los conceptos de sectorización de antenas y de factor de actividad vocal.

$$\frac{\text{Capacidad(CDMA)}}{\text{Capacidad(TDMA)}} \cong 6$$

#### IV. CONCLUSIONES

Se han presentado los fundamentos de CDMA, en comparación con las otras técnicas principales de acceso múltiple al medio, con especial énfasis en los mecanismos de control de potencia y su importancia.

Quedan patentes las ventajas que presenta el empleo de CDMA en la tercera generación. En primer lugar, es posible configurar redes inalámbricas con mayor número de usuarios por célula, circunstancia que mejora la amortización de las inversiones de los operadores en nuevas redes. Además, permite que los operadores ofrezcan una mayor tasa de transferencia de datos, lo que posibilita que se puedan prestar servicios avanzados de datos, con lo que las comunicaciones estrictamente de voz pasan a un segundo plano, centrando los ingresos de las nuevas redes en la facturación, principalmente, de los servicios de datos.

También se pone de manifiesto con los nuevos mecanismos de control de potencia, que los terminales móviles disminuyen su consumo (la parte asociada a la negociación con los distintos elementos de la red y que es transparente para el usuario), lo que facilita el que se puedan incorporar nuevos elementos a los terminales móviles para los servicios avanzados de datos, p. ej. cámaras de vídeo (comunicaciones de imagen y voz).

Basta saber sólo si los usuarios finales son capaces de responder tan rápidamente a la vertiginosa evolución de las comunicaciones móviles y mantenerse al día tanto en el capítulo de suscripción a redes como en el de adquisición de equipos. Todavía no hay redes comerciales basadas en CDMA o tercera generación, pero Ericsson está ya trabajando en la cuarta generación de sistemas de comunicaciones personales móviles.

#### AGRADECIMIENTOS

Al Profesor Dr. Mario Magaña de la Oregon State University (Estados Unidos), por haber tenido la paciencia de descubrir el mundo de las comunicaciones móviles de tercera generación a un ingeniero de vocación electrónica.

#### REFERENCIAS

[1] Scholtz, «The Evolution of Spread-Spectrum Multiple-Access Communications», en Code Division Multiple Access Communications, (S. G. Glisic y P. A. Leppanen, Eds.), Kluwer Academic Publishers, 1995.

[2] Viterbi, A. J., «CDMA Principles of Spread-Spectrum Communications», Addison-Wesley Publishing Company, 1995.



Jorge-Luis Sánchez-Ponz nació en Madrid, España, en febrero del año 1977. Obtuvo su título de Ingeniero de Telecomunicación en la ETSI de Telecomunicación de Madrid - Universidad Politécnica, de Madrid en el año 2000. El año pasado comenzó un Master of Science de dos años en Tecnologías de la Información, en la especialidad de Embedded Systems Engineering, en la Universidad de Stuttgart, Alemania. En la actualidad se encuentra trabajando en ARM (Cambridge, Reino Unido) en la realización de diversos proyectos para la finalización del Master.