

Técnica de Acceso Múltiple de Radio WCDMA

Javier Castillo
Fernando Medina
 Facultad de Ingeniería Eléctrica
 Universidad Tecnológica de Panamá

Resumen - El presente artículo aborda los conceptos de acceso múltiple por división de códigos, y ensanchamiento de espectro mediante códigos. Se explica cómo se generan y utilizan los códigos ortogonales y de pseudoruido, los cuales esparcen, canalizan y mezclan las señales en WCDMA. Se observan las propiedades de los códigos utilizadas para lograr estos objetivos. Además, se sintetiza el rol que tiene cada clase de código en WCDMA.

Palabras claves - CDMA, pseudoruido, WCDMA.

1. Introducción

El sistema WCDMA (Acceso Múltiple por División de Códigos en Banda Ancha) es respaldado por la ITU (Unión Internacional de Telecomunicaciones) y por el 3GPP (*Third Generation Partnership Project*); y fue creado para su implementación en la tercera generación de tecnología celular [1]. A finales de 2001, se concedieron en muchos países licencias para sistemas de Tercera Generación. Así, tras varias pruebas, en Octubre de 2001 comenzó a funcionar la primera red WCDMA comercial en Japón [2].

WCDMA se basa en CDMA (Acceso Múltiple Por División de Códigos), la cual es una tecnología digital de transmisión que permite a un número determinado de usuarios acceder a un mismo canal de radiofrecuencia simultáneamente, mediante el uso de técnicas de espectro ensanchado por códigos, en donde se le asigna un código distinto a cada usuario.

Lo que cambia entre una y otra es el ancho de banda que aumenta de 1.25 MHz en CDMA a 5 MHz en WCDMA.

2. Concepto de Acceso Múltiple por División de Códigos en Banda Ancha

En WCDMA, cada transmisor se programa con ciertos códigos, que se usan para extender una señal de baja potencia sobre un espectro de frecuencia amplio. Cada receptor utiliza los mismos códigos para reconstruir la señal original. Todas las otras señales permanecen extendidas e indistinguibles del ruido de fondo. Con esto se consigue una mayor eficiencia en la utilización del espectro radioeléctrico y una mayor seguridad en la comunicación. Es importante realizar un cuidadoso control de potencia para que la interferencia entre señales sea la mínima posible.

En la Figura 1 se representan cinco usuarios traslapados, sin embargo con WCDMA se logra separar y recuperar la información de cada uno sin afectar a los demás usuarios, esto conociendo el código que le corresponde a cada uno de ellos tanto en el transmisor como en el receptor.

WCDMA permite el solapamiento en la frecuencia y en el tiempo de la transmisión de las estaciones, algo que no se puede hacer ni con FDMA (Acceso Múltiple por División de Frecuencia) ni con TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo).

WCDMA funciona por lo general en conjunto con FDD (*Frequency Division Duplex*) o con TDD (*Time Division Duplex*) para poder dividir los canales de subida y de bajada. Sin embargo, el sistema de radio utilizado para lograr el acceso múltiple funciona sólo a base de códigos binarios. La diferenciación se realiza por el código, ya que cada usuario utiliza un código diferente, y para identificar la señal procedente de cada uno se realiza una correlación con su código.

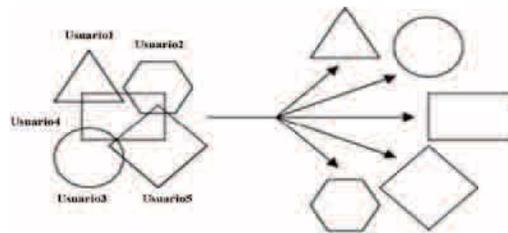


Figura 1. Acceso Múltiple por División de Códigos

En WCDMA se expande el espectro de la señal a transmitir por medio de secuencias ortogonales, que en teoría, no producen interferencia entre sí. De este modo, la información de una señal no interfiere con ninguna otra, ya que el receptor rechazaría completamente la señal del resto de los usuarios, pero en la práctica los códigos utilizados no son totalmente ortogonales, por lo que se origina un cierto nivel de interferencia similar al del ruido. El receptor sólo puede demodular la señal si conoce la secuencia que se ha utilizado en su expansión. Las señales producidas por los otros transmisores, que utilizan la misma banda se ven como ruido. Por tanto, WCDMA permite la coexistencia de varios sistemas en las mismas bandas de frecuencia, usando diferentes señales, pero la transmisión del código utiliza un ancho de banda mayor, razón por la que se llama de espectro expandido [1].

3. Concepto de Ensanchamiento de Espectro

En un sistema de espectro ensanchado la transmisión de la señal se da sobre un ancho de banda que es mayor (hasta varios orden de magnitud) del que se requirió para las transmisiones estándar de banda estrecha a fin de mejorar la relación señal a ruido en el receptor.

Al aumentar el ancho de banda transmitido para una señal en un canal de banda estrecha, la probabilidad de que la información recibida sea correcta aumenta. Esto se debe a que cada señal es una compilación de muchas señales de baja amplitud que se localizan en la frecuencia fundamental y sus armónicas, entonces el aumento del ancho de banda resulta en una reconstrucción más exacta de la señal original.

La mayor desventaja en sistemas de banda estrecha para telecomunicaciones es la limitación de la capacidad del canal (ancho de banda), así que las señales deben transmitirse con la potencia suficiente para que la interferencia por ruido gaussiano no sea efectiva, y así la probabilidad de que los datos recibidos no sean correctos permanecerá baja. Esto se traduce en que la SNR

(relación señal-ruido) efectiva debe ser lo suficientemente alta para que el receptor recupere la señal transmitida con el menor error posible. Al expandir la señal sobre un ancho de banda grande con una menor densidad de potencia espectral, también se logra alcanzar la tasa requerida para evitar la interferencia por ruido, de esta manera se obtiene la misma SNR sin necesidad aumentar la potencia [3].

Si la potencia total de señal se interpreta como la zona bajo la densidad espectral de potencia, entonces señales con la potencia total equivalente pueden tener, o una potencia grande de señal concentrada en un ancho de banda pequeño o una potencia pequeña de señal esparcida sobre un ancho de banda grande, como se puede ver en la Figura 2. Por lo tanto, la cantidad de energía es la misma antes y después de llevar a cabo el ensanchamiento de una señal.

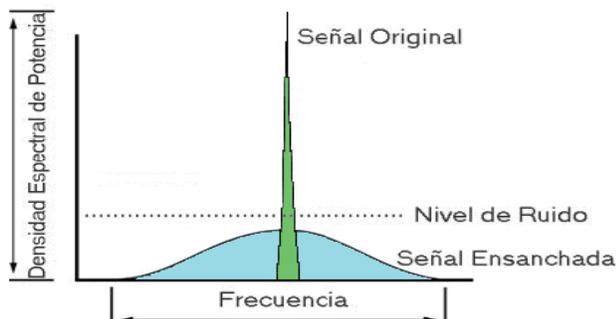


Figura 2. Señales con la misma potencia, pero con diferentes anchos de banda

Las señales de espectro expandido son multiplicadas por uno o más códigos de expansión antes de ser enviadas. Cuando las señales son recibidas correctamente, son multiplicadas nuevamente por los mismos códigos que se utilizaron para esparcirlas y cuando se correlacionan, se obtiene la señal original. Cualquiera señal de banda angosta o banda ancha que se haya sumado en el camino será también multiplicada por estos códigos en el receptor. El resultado de esto es que la señal no deseada será esparcida en el receptor, simulando un ruido de muy baja potencia.

Antes de la transmisión, WCDMA utiliza estos códigos para lograr extender o ampliar el ancho de banda de los datos en banda base. Dichos códigos son una serie de impulsos binarios o chips, conocidos como códigos de expansión (*spreading codes*), que consisten en secuencias binarias con un periodo determinado. Los códigos se ejecutan a una velocidad más alta (velocidad de chip) que la señal a transmitir y determinan el ancho de banda real de transmisión [4]. El receptor utiliza los mismos códigos para recuperar la señal original con la sincronía correcta, aquellas señales que no dispongan del mismo código que el receptor serán consideradas como ruido.

La Figura 3 muestra el diagrama a bloques de un sistema de comunicación de espectro ensanchado, en él se muestra como la información es multiplicada por un código.

Esta señal es entonces modulada usando una secuencia de dígitos llamada código de ensanchamiento o secuencia de ensanchamiento, la cual es producida por un generador de códigos.

Luego se modula para incrementar significativamente el

ancho de banda de la señal a transmitir. Por su parte en el receptor la misma secuencia de dígitos es usada para demodular la señal de espectro ensanchado. Finalmente, la señal pasa a un decodificador donde es multiplicada nuevamente por el mismo código con la que extendió para recobrar la información (procesos de *despreading*).

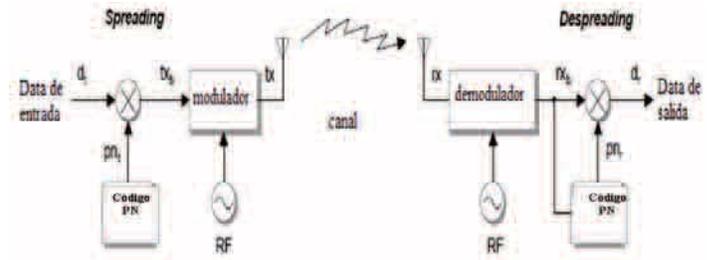


Figura 3. Diagrama de bloques de un sistema con ensanchamiento de espectro

La dispersión de energía sobre una banda ancha, o reducción de la densidad espectral de potencia, hace que el sistema WCDMA genere señales menos probables para interferir con comunicaciones de banda estrecha, porque la potencia ensanchada de la señal está cerca de los niveles gaussianos de ruido. Las comunicaciones de banda estrecha, ocasionan poca o ninguna interferencia en sistemas WCDMA porque el receptor de correlación integra sobre un ancho de banda muy amplio para recuperar una señal WCDMA.

En el proceso de expansión se utilizan dos clases de códigos para la interfaz aérea, estos son: los códigos ortogonales y los códigos de pseudoruido. Ambos son usados tanto en el enlace de subida como en el enlace de bajada, porque poseen buenas propiedades de correlación entre sí y esto dificulta el bloqueo o detección de una señal de información por un usuario no deseado.

Uno de los parámetros que debe ser considerado en los sistemas de espectro ensanchado es la ganancia (GP), que es la razón en decibeles del ancho de banda de transmisión (BW_T) y el ancho de banda de la información (BW_I) [3].

$$G_p = 10 \log \frac{BW_T}{BW_I} \quad (1)$$

Este parámetro es necesario para determinar el número de usuarios permitidos en un sistema, de esta forma, al ser mayor la ganancia, permite que más usuarios utilicen la técnica de espectro ensanchado.

4. Utilización de Códigos para División de Canales en Sistemas de Acceso Múltiple con Modo de Secuencia Directa

Como ya se mencionó, el sistema W-CDMA utiliza el principio de separar los canales de comunicación (la cual debe ser óptima) por medio de códigos y no por medio de bandas de frecuencia o ranuras de tiempo. Estos códigos consisten en un conjunto de bits que alteran la señal de información que se desea enviar, de tal manera que esta señal adquiera las propiedades del código que la altera, y pueda ser recuperada en el receptor con este mismo código. Si se trata de interpretar la señal codificada sin conocer el código que la alteró, la señal no representa información alguna y será vista como ruido.

Primero, para poder utilizar los códigos como medio de diferenciación de señales, deben ser consideradas las propiedades que conviene que tengan. Se desea utilizar un código de tal manera que el receptor sólo reciba una señal con ese código. Para lograr esto, las propiedades del mismo deben ser tales que, éste no sea afectado por otros códigos y que, de la misma manera, no afecte al resto (pues se requiere que el sistema dé el mismo rendimiento para cualquier usuario).

4.1 Códigos Ortogonales

La correlación cruzada es la propiedad que indica, qué tanto afecta un código a otro, o en general una señal a otra. Ésta, cuando se da con funciones discretas, se puede evaluar como la sumatoria de la comparación de dígitos, bit por bit, para los 2 códigos en cuestión. La ec.(2) corresponde a la función discreta de correlación cruzada:

$$\phi_{x,y}(l) = \sum_{i=l}^L c_x(i)c_y[(i+l) \bmod L] \text{ para } 0 \leq l \leq L-1 \quad (2)$$

donde $c_x(i)$ y $c_y(i)$ representan valores instantáneos de cada secuencia (pueden ser 1 o -1), l representa el retraso en múltiplos del período de muestreo y L representa la longitud (en dígitos) de ambas secuencias. Una concordancia de valores suma 1 a la correlación; en caso contrario, se resta 1. La correlación que se desea es la mínima posible (0) pues esto significa que un receptor que recibe una señal con un código distinto al que utiliza, no recibe nada (en teoría).

Los códigos que tienen la mejor propiedad de correlación ortogonales (porque son ortogonales entre sí). Los códigos ortogonales más utilizados para este sistema son los códigos Walsh, que se crean con árboles de códigos o con matrices de *Hadamard*[3]. Estos códigos serían perfectos para los objetivos buscados pero tienen algunas desventajas, que serán vistas a continuación.

Las matrices de *Hadamard* se construyen siempre a partir de una matriz *Hadamard* de nivel anterior al actual, siendo el límite inferior la matriz unitaria. Como podemos ver en las expresiones (3) y (4), cada nueva matriz se construye con 4 matrices anteriores invirtiendo los valores de la matriz en la posición (2,2)

$$H_{2i} = \begin{bmatrix} H_i & H_i \\ H_i & -H_i \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$H_4 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Las secuencias se obtienen de cada columna o de cada fila. Cuando el nivel aumenta, así mismo aumentan las matrices y sus secuencias. El proceso de expansión de WCDMA (UTRAN) tiene 2 partes como se puede ver en la Figura 5. Primero, un proceso de canalización (donde se realiza el esparcimiento o *spreading*) y luego un proceso de mezclado (*scrambling*). El proceso de *spreading* es el proceso que extiende el ancho de banda de la señal, de tal manera que su potencia total se extienda en el espectro y su frecuencia de base aumente. Este proceso, en WCDMA, se realiza

con códigos ortogonales Walsh. El SF (*Spreading Factor*) es un índice que da la proporción de extendido, una vez hecho el *spreading*. Un SF de 4, por ejemplo, aumenta la frecuencia en un factor de 4 ya que habrá 4 chips por cada bit. En WCDMA puede haber SF de 4 a 256 en el enlace de subida (*UpLink*) y un SF de 4 a 512 en el enlace de bajada (*DownLink*) en el modo FDD. Mientras que en el modo TDD pueden ser desde 1 hasta 16 en ambas direcciones. Los valores de SF sólo pueden darse en potencias de 2, debido a la naturaleza de los códigos Walsh [4].

Los códigos ortogonales no son los únicos códigos que se utilizan en WCDMA debido a que deben estar sincronizados para poder funcionar correctamente. Esto quiere decir que para todo l distinto de 0 podrá haber una correlación distinta de 0 en (2). En el enlace de bajada, los códigos ortogonales se utilizan para diferenciar usuarios bajo ciertas circunstancias. En el enlace de subida los usuarios no están sincronizados y por lo tanto, usar códigos ortogonales produciría gran interferencia entre ellos. Otra desventaja es que no hay muchos disponibles por lo que muchas veces deben repetirse en cada célula y si un usuario utilizara sólo estos códigos en un área límite, podría recibir el mismo código de 2 estaciones base distintas, haciendo que la señal recibida fuera seriamente distorsionada. Los códigos ortogonales sí pueden ser usados para diferenciar los canales de subida de un solo usuario pues éstos están sincronizados en el tiempo [4].

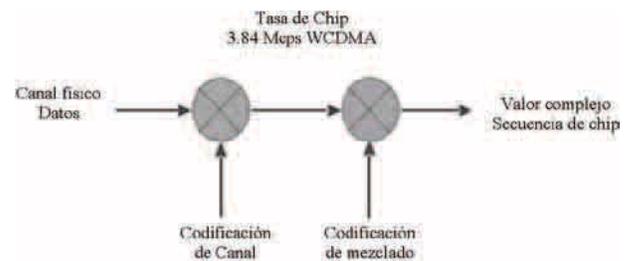


Figura 5. Proceso de Canalización y Mezclado

4.2 Códigos de Pseudoruido

Para poder lidiar con el problema de sincronización se utiliza otra clase de códigos llamados códigos de pseudoruido (PN) o códigos de ruido pseudoaleatorio (PRN *Codes*). Son llamados de esta manera porque simulan ruido aleatorio o ruido blanco pero, a diferencia del ruido real, deben ser periódicos, pues tanto el transmisor como el receptor deben conocer perfectamente el código utilizado. Estos códigos son los que realizan la segunda parte del proceso de extendido denominada mezclado (*scrambling*).

En un código de pseudoruido, la diferencia entre la suma total de unos y la suma total de ceros debe ser como máximo 1. Esto característica no sólo sirve para que la señal parezca ruido y sea difícil de diferenciar del ruido de fondo, sino para que también cuente con mejores características para evitar la interferencia entre señales con distintos códigos [5].

Para crear secuencias de pseudoruido se utilizan Registros Lineales de Corrimiento con Realimentación (*Linear Feedback Shift Registers*), los cuales consisten en biestables puestos en serie, de tal manera que su contenido sea pasado de uno a otro en cada pulso de reloj. El primer registro recibe un valor resultado de un circuito combinacional hecho de sumadores módulo-2

(compuertas XOR) que tienen entradas correspondientes a los valores de los biestables en un momento dado, como se puede ver en la Figura 6. El valor del último biestable es el valor que se verá en la salida que se añade a la secuencia en el próximo pulso de reloj [5].

Los LFSR son muy utilizados por su simplicidad y bajo costo. Éstos sirven para crear secuencias de distinto tamaño, sin embargo pueden tener solamente $2n$ diferentes estados como máximo (siendo n la cantidad de biestables). Cuando todos los registros tienen un valor de 0, el LFSR no puede producir una secuencia distinta de sólo ceros, por lo tanto este estado está aislado (ningún otro estado llega a él ni viceversa). Esto significa que la secuencia de mayor longitud que puede tener un LFSR tendrá un valor de $2n - 1$ dígitos, antes de comenzar con la misma secuencia nuevamente. Sin embargo, no todos los LFSR producen secuencias de máxima longitud (MLS), pues es posible que los registros repitan un estado antes de haber presentado todos los otros estados posibles, imposibilitando que se obtengan los estados restantes. El tamaño de la secuencia dependerá del circuito combinacional que produzca el siguiente valor del primer registro. Es importante resaltar que el primer estado, llamado semilla, determinará el punto de inicio de la secuencia [5].

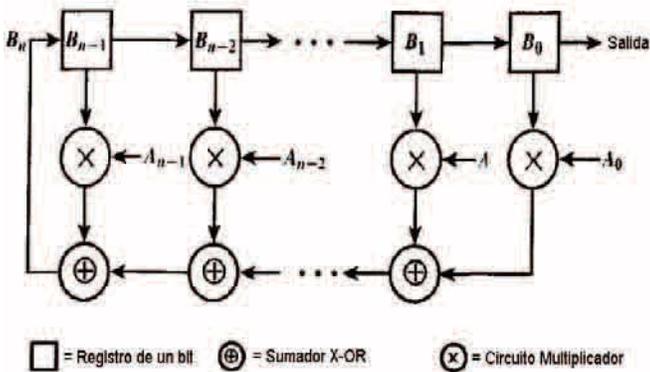


Figura 6. Esquema general de un LFSR

Las secuencias de máxima longitud (MLS) son útiles, primero que todo, porque son las secuencias más largas que se pueden obtener de un LFSR, mejorando la razón de cantidad de secuencias posibles respecto al tamaño del LFSR. En cada periodo de una MLS, el número de unos es siempre mayor al número de ceros por uno, por lo que se tiene una secuencia que simula muy bien el ruido aleatorio y aumenta su similitud a medida que crece su longitud. Sin embargo, su propiedad más útil es su autocorrelación [5].

La autocorrelación es una propiedad muy similar a la correlación cruzada, la cual, en vez de comparar dos secuencias distintas, relaciona una secuencia consigo misma con todos los retardos posibles. Con esta propiedad, se puede observar lo que recibe un receptor, cuando su secuencia no está sincronizada con la secuencia del transmisor. En el caso de las MLS, la autocorrelación da un valor de -1 en todo caso excepto en un caso sin retardo. Una autocorrelación como ésta, es muy útil para evitar el ruido debido al efecto multirruta pues sólo la señal que llega en el momento preciso es percibida. Las señales (secuencias) que lleguen retardadas serán vistas como ruido. Existe un receptor llamado RAKE que

utiliza esta propiedad para poder discriminar señales desfasadas con el mismo código y sumarlas de tal manera que se pueda recuperar la potencia perdida por el efecto multirruta. La autocorrelación también es muy importante, porque se utiliza para poder sincronizar las estaciones base con las unidades móviles utilizando un código de pseudoruido común como patrón [5].

$$\phi_{xx}(l) = \sum_{i=1}^L c_x(i)c_x[(i+l)\text{mod}L] \quad \text{para } 0 \leq l \leq L-1 \quad (5)$$

4.3 Códigos Gold

Al observar las propiedades que necesitan los códigos para poder funcionar correctamente se puede concluir que deben tener una buena correlación cruzada y una buena autocorrelación. Sin embargo, ninguno de los códigos vistos hasta el momento presenta las dos cualidades. Para tratar de lograr estas cualidades, se investigaron las propiedades cruzadas de muchas MLS y en los años 60 Gold y Kasami obtuvieron una serie de secuencias con ciertas propiedades que resultaron útiles para los objetivos deseados [8].

Las secuencias Gold son las secuencias más utilizadas como códigos de pseudoruido en WCDMA. Estas secuencias son generadas a partir de 2 MLS apropiadas sumadas con un sumador módulo-2. Las secuencias Gold son secuencias NMLS, o sea, secuencias de no máxima longitud que tienen propiedades de cruce muy útiles. Como no son MLS, su autocorrelación no es ideal, pero sigue siendo bastante aceptable pues tiene valores máximos acotados muy inferiores al valor pico con retardo nulo.

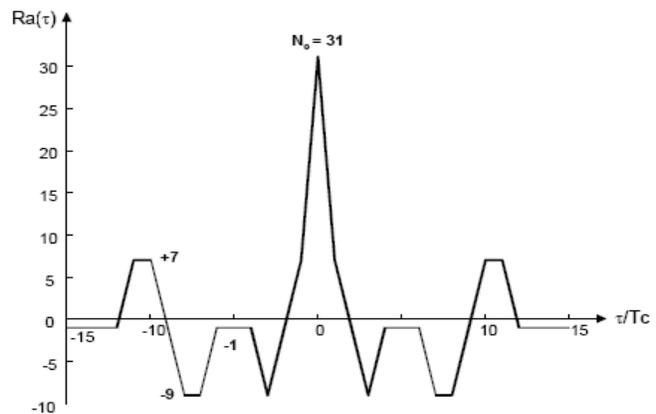


Figura 6. Autocorrelación de un Código Gold

5. Control de Potencia en WCDMA

Para un sistema de acceso múltiple por medio de códigos es necesario un control cuidadoso de la potencia transmitida por la estación base y las unidades móviles. Este control de potencia debe ser mucho más preciso que en otros sistemas de acceso múltiple. Esto se debe a que toda señal representa una pequeña interferencia o ruido para las demás y mientras más amplitud tenga una señal, más ruido detectarán los receptores de las otras señales. El control de potencia se da 2 maneras: en lazo cerrado o en lazo abierto. El ajuste de control de lazo cerrado se da con una frecuencia de 1.5 KHz. La frecuencia de este ajuste es relativamente alta debido a que la potencia radiada debe ser en todo momento la mínima posible.

6. Aplicación de los Códigos

Los códigos ortogonales y de pseudoruido trabajan en conjunto para asegurar una diferenciación de cada canal y de cada usuario. Es debido a esto que todo código utilizado en WCDMA no es nunca totalmente ortogonal con los demás, pues aunque los códigos ortogonales sí tienen esta propiedad, los códigos de pseudoruido no son perfectamente ortogonales [6].

Podemos generalizar el uso de los códigos en sistema de acceso de radio WCDMA en 3 partes: Códigos de Sincronización, Códigos de Canalización, Códigos de Mezclado (Revoltura), como se puede ver en la Tabla 1.

Tabla 1. Síntesis de Códigos Utilizados en WCDMA

	Códigos de sincronía	Códigos de canalización	Códigos de Scrambling en el enlace de subida	Códigos de revoltura en el enlace de bajada
Tipo	Códigos de Oro Códigos de sincronización primarios y secundarios	Códigos OVFSF (Orthogonal Variable Spreading Factor) llamados también códigos Walsh	Códigos de oro (largos) y códigos S(2) (cortos) Códigos de Pseudo ruido	Códigos de oro Códigos de Pseudo ruido
Longitud	256 chips	4-512 chips	38400 chips / 256 chips	38400 chips
Duración	66.67 μ s	1.04 μ s - 133.34 μ s	10 ms / 66.67 μ s	10 ms
Numero de códigos	1 primarios / 16 secundarios	= SF 4 ... 256 UL, 4 ... 512 DL	16,777,216	512 primarios/ 15 secundarios por cada primario
Esparcimiento	No	Sí	No	No
Uso	Permitir a las terminales sincronizarse con los canales de control principales de la célula	UL: Para separar el DPDCH y el DPCCCH del mismo UE DL: Para separar las conexiones en el enlace de bajada de diferentes usuarios de la misma célula.	Separación de terminales	Separación de sectores

Los códigos de sincronización se utilizan, como su nombre lo indica, para sincronizar las unidades móviles con las estaciones base. Esta sincronización se hace con un código de pseudoruido utilizando su propiedad de autocorrelación.

Los códigos de canalización son los únicos códigos ortogonales en WCDMA y además de esparcir, tienen distintas funciones para el UL y el DL. En el caso del DL, sirven para discriminar distintos usuarios; en el caso de UL, sirven para diferenciar los canales de control y de datos.

Los códigos de mezclado, que sólo son códigos de pseudo-

ruido, simulan el comportamiento de ruido para cada señal. Además de esto tienen funciones distintas para UL y DL: en UL, sirven para diferenciar terminales pues éstas no están sincronizadas; en DL, sirven para discriminar sectores o estaciones base. Esta última función es especialmente importante cuando una unidad móvil se encuentra en un área donde se pueden recibir señales de dos o más estaciones base. La unidad móvil podría recibir el mismo código ortogonal de 2 estaciones bases distintas, pero el código de mezclado asegura que la unidad perciba sólo la correcta.

Referencias

- [1] E. Mayoral Palacios, *Redes Inalámbricas de 2G, 2.5G y 3G*. Tesis de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla, México. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/navegacion/carrera_lem.html, Fecha del documento: Mayo de 2004. [Fecha de consulta: 13 de octubre de 2008].
- [2] L. Mendo Tomás, *Capacidad en Sistemas Celulares W-CDMA*. Tesis Doctoral. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid. Disponible en: <http://www.grc.ssr.upm.es/personal/LMendo/tesis/tesis.htm>, Fecha del documento: Noviembre de 2001. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2008].
- [3] J. Tecuanhuehue Roldán, *Sistemas CDMA CDMAONE, CDMA2000*. Tesis de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla, México. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/navegacion/carrera_lem.html, Fecha del documento: Febrero de 2006. [Fecha de consulta: 15 de octubre de 2008].
- [4] D. Fajardo Patrón, *Simulación de tramas de WCDMA*. Tesis de Ingeniería. Universidad de las Américas Puebla. Cholula, Puebla, México. Disponible en: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/navegacion/carrera_lem.html, Fecha del documento: Mayo de 2004. [Consultado: 13 de octubre de 2008].
- [5] S. Haykin, *Communications Systems*, 4ta Edición, Wiley, United States, 2001
- [6] J. Sánchez García, M. Meza Múgica, *Redes Celulares De Tercera Generación: Cdma2000 Y WCDMA. E-Gnosis, WCDMA. E-Gnosis, Año/Vol. 3*. Universidad De Guadalajara Guadalajara, México. ISSN (Versión En Línea) 1665-5745. Disponible En: www.E-Gnosis.Udg.Mx/Vol3/Art40 Fecha de consulta: 16 de octubre de 2008].
- [7] F. Peralta, G. Duchén, y R. Vázquez. *Complejidad Lineal y Algoritmo Berlekamp-Massey para la Construcción de Generadores de Secuencias Pseudoaleatorias*. Inf. tecnol. [online]. 2006, vol.17, No..3 p.167-178. ISSN 0718-0764. Disponible en: http://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-07642006000300023&Ing=es&nrm=iso. Fecha del documento: 23 Junio 2008. [Fecha de consulta: 16 de octubre de 2008].
- [8] *Sistemas de espectro disperso y Secuencias Pseudo Aleatorias*. Disponible en: <http://prof.usb.ve/tperez/docencia/3413/contenido/ss/SS.htm> [Fecha de consulta: 17 de octubre de 2008].