

Análisis de los esquemas de acceso inalámbricos propuestos para la tercera generación de sistemas celulares

Hernán Paz Penagos

RESUMEN

Las comunicaciones inalámbricas actuales, en el bucle del abonado, tienen un cuello de botella que es su baja velocidad (9600 bps); esto impide que se implementen nuevos servicios vinculados a Internet y a la transmisión de datos e imágenes ó hace que aparezcan con limitaciones, como ocurre con los servicios WAP (WIRELESS APPLICATION PROTOCOL).

La red de telecomunicaciones actual evoluciona hacia la consecución de una red unificada (red alámbrica y red inalámbrica); la evolución de la red contempla la evolución de los elementos que la configuran; por consiguiente, la parte de acceso tendrá que evolucionar para hacer posible más y mejores comunicaciones entre extremos, sin impedir que los demás hagan lo propio. Los esquemas de acceso inalámbrico de banda ancha propuestos para comunicaciones celulares de tercera generación buscan responder a este desafío. De ellos, W-CDMA y CDMA2000 se imponen como las tecnologías de acceso de mayor eficiencia.

Palabras clave: acceso inalámbrico, banda ancha, espectro extendido, secuencia directa, estándares, W-CDMA, CDMA2000, capacidad, interferencia.

ABSTRACT

The current wireless communications have a bottle neck because their low speed (9600 bps); this prevents that new services shall be implemented linked over Internet and the transmission of data and images or he/she makes that they appear with limitations, like it happens with the services WAP (WIRELESS APPLICATION PROTOCOL). The net of current telecommunications evolves toward the attainment of an unified net (wire net and wireless net); the evolution of the net contemplates the evolution of the elements that you/they configure it; consequently, the access part will have to evolve to make possible more and better communications among ends, without preventing that the other ones make the own thing. The outlines of wireless access of wide band proposed for cellular communications of third generation look for to respond to the challenge. Of them, W-CDMA and CDMA2000 are imposed as the technologies of access of more efficiency.

Key word: wireless access, wide band, extended spectrum, direct, standard sequence, W-CDMA, CDMA2000, capacity, interference.

INTRODUCCIÓN

En el artículo se analiza los esquemas de acceso para tercera generación W-CDMA y CDMA2000. Se inicia con el estudio del marco de referencia: comunicaciones celulares, esquemas de acceso y CDMA; posteriormente, se describen los parámetros técnicos, características y servicios de W-CDMA y CDMA2000 que permitirá comprender su funcionamiento y beneficios. Al final, se evalúa su desempeño.

I. COMUNICACIONES CELULARES

Aplican el principio de reuso de frecuencias y la cobertura esta determinada por la tecnología de acceso usada [1]. Uno de sus principales inconvenientes es la sincronización del acceso simultáneo de muchos usuarios a la estación base [2].

Los sistemas celulares han evolucionado de sistemas análogos [3] a sistemas digitales [4]; mejorando así la capacidad y calidad de servicio [5].

Mientras que el diseño de la actual generación de sistemas digitales celulares (2G) se optimiza para transportar voz de alta calidad y transportar datos a medianas tasas de transferencia; la tercera generación 3G, se proyecta para tener una red de acceso de radio con gran capacidad de usuarios y buena calidad de servicio [6]; tipificada por la convergencia de la voz y datos, con acceso inalámbrico a Internet, aplicaciones multimedia, altas transmisiones de datos y ser el puente en la evolución de los sistemas de comunicaciones celulares de segunda generación.



Figura 1. La tercera generación se diferencia de la primera y segunda generación por ser de banda ancha.

Actualmente existen tres tecnologías de telefonía celular predominantes en el mundo: IS-136, IS-95 y GSM.

IS-136 (INTERIM STANDARD 136): es un estándar para la transmisión digital basada en la tecnología AMPS pero usando la tecnología TDMA. Fue creado para incrementar la capacidad a un máxi-

El desarrollo de las comunicaciones inalámbricas, influenciado por el surgimiento de internet, evoluciona debido a la adopción de tecnologías novedosas; se impone la necesidad de conocer las tendencias que alumbran estos nuevos escenarios de las comunicaciones.

En los sistemas de espectro ensanchado el ancho de banda de las señales transmitidas es mayor que el mínimo necesario para transmitir la información; en este proceso interviene una secuencia denominada código y una secuencia de ensanchamiento o firma que es independiente de la información.

mo de llamada por canal y habilitar nuevos servicios tanto en celulares como en otros sistemas de comunicación personal [7]. Sin embargo, es limitado por la baja calidad de voz. La evolución TDMA/136 combinó el funcionamiento multi-intervalo y aplicó el esquema de modulación 8-PSK.

IS-95 (INTERIM STANDARD 95) es un estándar norteamericano, definido por la TIA (TELECOMMUNICATIONS INDUSTRY ASSOCIATION), compatible con la telefonía celular análoga. Funciona en las siguientes bandas: 824 MHz–849 MHz para REVERSE–LINK y 869 MHz–894 MHz para FORWARD–LINK; la señal que se transmite se modula utilizando la técnica QPSK; Los datos son codificados con un código convolucional (1/3), después de mezclados, cada bloque de 6 bits se usa como un índice para identificar un código de WALSHP [8]. Finalmente se ensancha (a 1.2288 Mchips /s) la señal utilizando códigos que son específicos del usuario y de la base. La velocidad máxima de usuario es de 9.6 Kbps.

GSM (GROUPE SPÉCIALE MOBILE) es una tecnología celular basada en TDMA, de gran eficiencia, desarrollada en Europa para ofrecer servicio de voz y datos mediante conmutación de circuitos de alta velocidad [9]. El sistema GSM tiene un máximo de 200 canales duplex por celda. A la red actual GSM se le irán añadiendo nuevas funcionalidades con nuevas tecnologías como HSCSD (HIGH SPEED CIRCUIT SWITCHED DATA), GPRS (GENERAL PACKET RADIO SERVICE) y EDGE (ENHANCED DATA RATES FOR GSM EVOLUTION).

II. ESQUEMAS DE ACCESO MÚLTIPLE

Dado que el medio de radio es un medio limitado, el acceso al mismo debe ser regulado. La regulación consiste en conseguir que dos comunicaciones cualesquiera se mantengan ortogonales entre sí durante la realización de las mismas, es decir, no se interfieran [11]. Existen múltiples modos de aproximarse a esta premisa; los más representativos son TDMA (acceso múltiple por división de tiempo), FDMA (acceso múltiple por división en la frecuencia), CDMA (acceso múltiple por división por código) y SDMA (acceso múltiple por división de espacio).

La selección del esquema de acceso múltiple se hace básicamente buscando ampliar la capacidad del sistema celular. La capacidad se mide en número de usuarios que pueden compartir simultáneamente un canal con un ancho de banda fijo.

Los esquemas de acceso para tercera generación propuestos a la ITU están basados en CDMA y funcionan sobre la red base de GSM (GSM-MAP) y sobre la red base de CDMAOne (ANSI-45), que se explica más adelante [12].

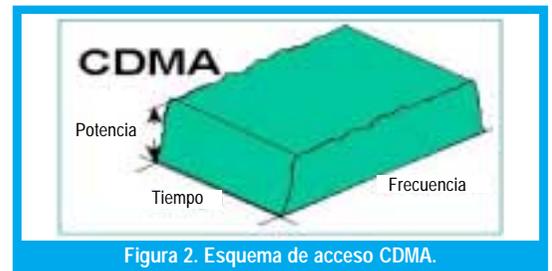
CDMA: En este esquema de acceso múltiple, los diferentes usuarios transmiten al mismo tiempo utilizando la misma frecuencia (ver figura 2). Esta técnica

Utiliza codificación digital y técnicas de ensanchado en modulación: SPREAD SPECTRUM y TIME HOPPING [13].

Técnicas de ensanchado en el espectro: tienen su origen en los sistemas militares y buscan evitar que la señal pueda ser interferida [14]. El ensanchado en el espectro implica un aumento en el ancho de banda que se puede lograr de la siguiente manera:

Secuencia Directa (DIRECT SEQUENCE): cada bit de información se representa por una secuencia grande de bits codificadores llamados chips. En el receptor la señal original se recupera mediante el uso de un correlacionador y la misma secuencia de código que se utilizó para la transmisión [15].

Salto de Frecuencia (FREQUENCY HOPPING): se asignan N canales a la comunicación y se va saltando entre las diferentes frecuencias de acuerdo con un patrón de saltos predeterminado [16].



Las técnicas de modulación de *ensanchado en el tiempo* consisten en que un mensaje transmitido a una tasa de bits R que requiere un intervalo de tiempo T, se le asigna un intervalo de tiempo mayor T_s , durante el cual la información es transmitida en ráfagas de bits de acuerdo a un plan de transmisión [17]. En los sistemas de salto de tiempo (TIME HOPPING), el período y el ciclo de una portadora digital de RF son variados de una forma pseudo-aleatoria bajo el control de una secuencia codificada. Esta técnica es usada a menudo con efectividad junto a salto de frecuencia, para formar un sistema de acceso múltiple por división del tiempo (TDMA) de espectro extendido híbrido

Multiportadora MC (MULTICARRIER), en esta técnica a partir de cada símbolo se genera un conjunto de chips, cada uno de los cuales modula una subportadora de frecuencia diferente.

Codificación: los códigos usados son pseudoruido, los cuales deben tener las siguientes propiedades: Balance (Deben tener aproximadamente el mismo número de ceros y de unos), Sucesiones (Al analizar la longitud forzada del código convolucional, se debe tener aproximadamente $1/2$ de secuencias de longitud 1, $1/4$ de secuencias de longitud 2 y $1/8$ de secuencias de longitud 3) y una correlación baja. La razón de ser de estas características es buscar que la señal sea lo más parecida posible a un ruido para quien no posea el código. Además, en el proceso de ensanchamiento se adiciona redundancia a la señal, de manera que es mucho más resistente a las interferencias.

Capacidad CDMA: La capacidad de un sistema se refiere a la cantidad de usuarios que pueden compartir simultáneamente el recurso físico del que se dispone (ancho de banda) manteniendo un nivel de calidad adecuado. En el caso de CDMA, se tiene que la interferencia en la comunicación proviene de dos fuentes diferentes: Una externa y una interna [18]. La interferencia externa proviene de las células que son vecinas y que están utilizando las mismas frecuencias. La interferencia interna proviene de las transmisiones que realizan los demás usuarios y que se están haciendo por el mismo canal, al mismo tiempo, con código diferentes.

A diferencia de los esquemas FDMA Y TDMA que tienen una capacidad limitada, en el CDMA la capacidad está limitada únicamente por la calidad de la comunicación que se desee prestar [19]. Como todos los usuarios comparten la misma frecuencia al mismo tiempo, lo que ocurre es que al adicionar usuarios nuevos se produce más interferencia. Una pregunta lógica es: ¿qué se puede hacer para reducir la interferencia, tanto interna como externa?. Lo primero es aprovechar las características de las conversaciones telefónicas [20]. Lo segundo es tratar de realizar gestión de potencia [21].

Ventajas CDMA:

- No requiere de un ecualizador, basta con el correlacionador [22].
- Como todas las células utilizan las mismas frecuencias, no hay necesidad de hacer cambio de frecuencias en el HANDOFF (HARD HANDOFF). Sólo hay que hacer cambio de códigos.
- No se requieren los bits de guarda que hay entre las ranuras en TDMA.
- Al sectorizar, por lo menos en teoría, se obtiene un incremento de la capacidad.
- Hay menos desvanecimientos.
- En CDMA se utiliza un ancho de banda de 1.25 MHz, el cual es equivalente al 10% del ancho de banda asignado a las compañías celulares; esta característica de ancho de banda permite una transición lenta y adecuada.
- Puede coexistir con sistemas análogos.

Desarrollo de una llamada: Cuando se enciende un móvil, éste conoce la frecuencia asignada para el servicio CDMA en el área local. Se sintoniza en dicha frecuencia y busca la señal piloto. Puede encontrar varias señales piloto provenientes de diferentes estaciones base, pero éstas pueden ser diferenciadas porque tienen diferentes desplazamientos de tiempo. El móvil selecciona la señal piloto más potente y establece referencias de tiempo y frecuencia a partir de ella. Una vez realizado este proceso de selección de la base, el móvil comienza a demodular con el código WALSCH 32 que corresponde al canal de sincronización, como lo indica el segundo parámetro mostrado en la tabla 1; El canal de sincronización contiene el valor futuro del registro de desplazamiento de código largo que permite separar el enlace desde

la estación base hasta usuario (ver tabla 1). El móvil carga dicho valor en su registro y queda sincronizado con el tiempo de la estación base [23]. Adicionalmente se requiere que el móvil se registre en la base; de esta manera, ésta sabe que el móvil está disponible para recibir llamadas y cual es su ubicación. Cuando un móvil pasa de una zona a otra y no hay una llamada en curso, realiza un proceso de IDLE STATE HANDOFF [24].

Quando el usuario realiza una llamada, el móvil intenta contactar la estación base con un acceso de prueba. El código largo que se utiliza está basado en los parámetros de la celda. Si ocurre una colisión el móvil no recibe respuesta y espera un tiempo aleatorio antes de intentar de nuevo. Al establecer contacto con la estación base, esta le asigna un canal de tráfico mediante un código WALSCH. A partir de este momento el móvil cambia el código largo por uno basado en su número de serie. El código WALSCH se utiliza en el FORWARD-LINK, mientras que el código largo se utiliza en el REVERSE-LINK.

Quando un móvil comunicado con una base detecta otra señal piloto suficiente potente, solicita un proceso de SOFT HANDOFF. Al móvil se le asigna otro código de WALSCH y otra temporización piloto. El móvil debe estar en capacidad de recibir ambas señales y combinarlas. Cuando la señal de la base original haya disminuido lo suficiente, el móvil solicita el fin del SOFT HANDOFF [25]. Al finalizar una llamada, los canales se liberan. Cuando el móvil se apaga genera una señal registro de apagado que se envía a la base para indicar que ya no está disponible para llamadas.

TABLA 1. En el establecimiento y desarrollo de una llamada cdma, las funciones de señalización se realizan mediante el uso de códigos que se describen a continuación.

PARÁMETRO	FUNCIÓN	NOTAS
Frecuencia	Divide el espectro en varias asignación de frecuencia de 1.25 MHz.	Los enlaces FORWARD-LINK y REVERSE-LINK están separados 45 Mhz.
Código WALSCH	Separa los canales FORWARD-LINK de los diversos usuarios en una misma celda.	Se asigna en la base. El código 0 es para el canal piloto, mientras que el 32 es para sincronización.
Código largo	Separa los canales REVERSE-LINK de los diversos usuarios de una misma celda.	Depende del tiempo y de la identificación del usuario. Esta compuesto por una secuencia binaria pseudoaleatoria (PRBS) de 43 bits una máscara específica del usuario.
Códigos Cortos (También llamados en ensanche I y Q)	Separa diferentes celdas o sectores de celdas.	Los códigos I y Q son diferentes pero están basados en PRBS de 15 bits. Ambos códigos se repiten a intervalos de 27.667 ms. Las estaciones base se diferencian por los desplazamientos de tiempo de las secuencias cortas.

III. ESTANDARIZACIÓN DE LOS SISTEMAS DE TERCERA GENERACIÓN

Origen: A finales de los años ochenta, la unión internacional de telecomunicaciones ITU formó un grupo de trabajo con el objetivo de valorar y espe-

El interés de los sistemas de espectro ensanchado reside en que a cambio de una mayor ocupación espectral se logra una reducción de la densidad espectral de potencia, privacidad y protección frente a la interferencia y al multitrayecto.

La unión internacional de telecomunicaciones "UIT" auspició el desarrollo de estos sistemas mundiales de tercera generación bajo la norma IMT2000 que presenta varios modos de operación. El objetivo es satisfacer las necesidades de información que tenga la sociedad actual y del futuro.

cificar los requisitos de las normas celulares del futuro para la prestación de los servicios de datos y multimedia a alta velocidad. La norma de tercera generación se llama IMT-2000 (INTERNATIONAL MOBILE TELECOMMUNICATION-2000).

Exigencias de las normas 3G:

- La transmisión en modo paquete para el aprovechamiento de los recursos en los enlaces vía radio.
- Una estrategia de acceso al medio que optimice la eficiencia de las transmisiones para tipos de tráfico cambiantes.
- Deben atender de forma eficaz a los requisitos de multimedia y flexibilidad, de migración de 2G a 3G y asignación de espectro [26].

Estándares para 3G: En Europa, el Instituto Europeo de Telecomunicaciones: ETSI, propuso las normas paneuropeas de tercera generación UTRA (ACCESO DE RADIO TERRESTRE UMTS) y DECT (COMUNICACIONES INALÁMBRICAS DIGITALES MEJORADAS). En estados Unidos, el Instituto Americano de Estándares: ANSI, sigue trabajando en los estándares UWC-136 (COMUNICACIONES UNIVERSALES INALÁMBRICAS), CDMA2000 (CDMA DE BANDA ANCHA IS-95), WIMS WCDMA (CDMA INALÁMBRICO BANDA ANCHA PARA MULTIMEDIA) y NA: WCDMA (CDMA NORTEAMERICANO DE BANDA ANCHA), este último a través del organismo TIPI-ATIS. Por otra parte en oriente: Japón propuso la norma WCDMA (CDMA DE BANDA ANCHA), a través de la Asociación de Industrias de la Radio y Radio difusión: ARIB; El organismo CATT en China trabaja en la norma TD-SCDMA (CDMA SÍNCRONO POR DIVISIÓN TEMPORAL) y TTA en Corea del sur hace lo mismo en las versiones CDMA I y II (CDMA SÍNCRONO DE SECUENCIA DIRECTA MULTIBANDA).

Armonización: Los organismos regionales de normalización ETSI (Europa), TIPI (Estados Unidos), ARIB (Japón) y TTA (Corea) sumaron esfuerzos en el proyecto de asociación para tercera generación: 3GPP (GENERATION PARTNERSHIP PROJECT) y sacaron como resultado la norma conjunta W-CDMA. Por otro lado, la ITU recibió otras propuestas para CDMA, destacándose CDMA2000.

IV. PRINCIPIOS BÁSICOS DE W-CDMA Y CDMA2000

W-CDMA es una interfaz aérea que utiliza la tecnología CDMA de espectro extendido. Existen dos versiones de W-CDMA en modo FDD (FREQUENCY DIVISIÓN DUPLEX) y modo TDD (TIME DIVISION DUPLEX). El primero en introducirse será FDD que está basada en un esquema de espectro ensanchado mediante Secuencia Directa DS-SS-SS y soporta una velocidad de hasta 384 Kbps. El esquema TDD está basado en un esquema de espectro ensanchado mediante Salto en el tiempo y en código, se ha diseñado y optimizado para ser usado en zonas con alta densidad de tráfico, y soporta una velocidad de hasta 2 Mbps

Tasas de transmisión: Soporta eficazmente tasa de datos entre 144 a 512 Kbps para coberturas de áreas amplias, con completa movilidad y pueden llegar hasta 2 Mbps en cobertura local; permite que cada portadora de 5 MHz maneje servicios combinados con velocidades desde 8 Kbps hasta 2 Mbps; además hace uso eficiente del espectro aplicando reuso inicelda (ONE-CELL REUSE) [27].

Características:

- Esparcimiento híbrido (Bajas y medias tasas de bit con un código simple y Altas tasas de bit con soluciones multi códigos) para soportar transmisión a tasa variable [28].
- Detección coherente en ambos enlaces: hacia arriba y hacia abajo.
- Rápido control de energía para ambos enlaces.
- Optimizada para comunicaciones de alta calidad de voz y comunicaciones multimedia, como pueden ser las videoconferencias [29].
- Adaptado a todos los entornos: interior y exterior, rural y urbano.
- Soporta antenas que pueden adaptarse a radios de largo alcance para servicios de bits de alta velocidad, sin incrementar los niveles de potencia.
- Proporciona capacidad según demanda.
- Combina servicios de conmutación de circuitos y paquetes con diferentes anchos de banda y los libera al mismo usuario con niveles de calidad específicos.

Aspectos técnicos: Soporta protocolo IP, los terminales son menos difíciles de fabricar, hace uso de la técnica de duplexación FDD, utiliza muy eficientemente el espectro de radio disponible, mediante la reutilización de cada celda. Los enlaces desde la red de acceso W-CDMA y en el núcleo de red GSM utilizan el protocolo de transmisión ATM de mini-celdas, conocido como capa de adaptación ATM 2 (AAL2); ésta es la forma más eficiente de manejar paquetes de datos incrementando la capacidad de un estándar.

Especificaciones de W-CDMA: Método de acceso: WCDMA; Banda de Frecuencia: 2 GHz; Ancho de banda de la portadora: 5 MHz; Tasa de Chip: 4,096 Mcps; Longitud de la trama: 10 ms; Método de Modulación/Demodulación: O-QPSK y Detección coherente RAKE; Codificación: Canales de control-Código Gold, Canales de tráfico-Secuencias PN (pseudo aleatorias). Y canales pilotos para la detección coherente; El equipo de usuario (UE) puede transmitir más de un código de canal para permitir altas tasas de transferencia.

Modulación O-QPSK: La señal modulada en fase utiliza una portadora de amplitud fija, cuya fase se modifica en cuatro saltos discretos respecto a la fase que un oscilador establece según sea el símbolo modulador a transmitir; es ortogonal porque CDMA se basa en la expansión del espectro de la señal a transmitir por medio de secuencias ortogonales

Codificación: W-CDMA se basa en la expansión del espectro de la señal a transmitir por medio de secuencias ortogonales. De esta forma, el receptor sólo puede demodular la señal si conoce la secuencia que se ha utilizado en su expansión.

Bandas de frecuencia: W-CDMA: FDD opera en dos bandas de frecuencia por cada usuario para los enlaces ascendentes y descendentes; las bandas fueron asignadas por la conferencia administrativa mundial de radio-comunicaciones CCIR. W-CDMA: TDD trabaja en una banda de frecuencia; de tal manera que dispone de dos ranuras de tiempo simplex en la misma frecuencia.

Compatibilidad: En la plataforma W-CDMA se emplea estructuras de protocolos de red similares a la usada en GSM, por lo tanto está en la capacidad de utilizar redes existentes. Las características y avances que se introducirán a las redes de segunda generación son conocidas como tecnologías 2.5G [30]. Dichas mejoras ofrecen velocidades de acceso superiores y constituyen un puente hacia tercera generación.

Servicios: Contempla tres niveles de servicio que se introducirán en forma ascendente:

- Transmisión de voz y datos hasta 144 Kbps.
- Transmisión de datos de gran cobertura para usuarios con alta movilidad a 384 Kbps.
- Transmisión de datos a 2 Mbps para usuarios de baja movilidad, en un área de cobertura local y con interconexión a redes inalámbricas fijas.

Características de los servicios: tasas de error (BER) menores a 10^{-6} , funcionamiento en múltiples escenarios (macrocelas: 1-40 Km, microcelas: < 1 Km y picoceladas: < 30 m), alta eficiencia espectral y flexibilidad en la asignación y manejo de los recursos, alta flexibilidad para introducir nuevos servicios (combinación de paquetes y conmutación de circuitos en el mismo canal con un promedio de velocidad entre 8 Kbps hasta 2 Mbps), uso eficiente del espectro para el tráfico de voz, roaming entre sistemas GSM y redes UMTS (UNIVERSAL MOBILE TELECOMMUNICATION SYSTEM) con el mapeo de los servicios entre los dos sistemas de acceso, útil en ambientes internos (trabaja en modo FDD) donde se manejan espectros sin licencia, procedimiento de acceso aleatorio con sincronización rápida para manejar servicios de paquetes de datos a 384 Kbps y soporta diferentes requerimientos de QoS (por ejemplo: voz y datos) con buena capacidad y cobertura [31].

Multimedia: W-CDMA atiende los parámetros para el acceso y transmisión de información multimedia:

- Ancho de banda efectivo (THROUGHPUT): cobertura de área completa 384 Kbps, cobertura de área local 2 Mbps.
- Baja tasa de errores (BER), caracterización de los errores (Ráfagas).
- Retardo: Servicios de tiempo real o de mejor esfuerzo.
- Tasas de bit constante ó variable.
- Audio y video: servicios de conmutación por paquetes ó en modo circuito.

CDMA2000 creada por el subcomité TR 45.5 de la TIA Norteamericana, es una evolución de CDMA banda estrecha ó de sistemas basados en IS-95 y pro-

coloco ANSI-45 (redes CDMAOne); esta norma inalámbrica fue desarrollada para apoyar servicios de tercera generación (IMT-2000). La interfaz de red apoya la red de segunda generación de todos los operadores actuales, independiente de la tecnología (CDMA, IS-136 TDMA, GSM). La norma esta dividida en dos fases: 1X y 3X

La norma CDMA2000 1X (IS-2000 nombre dado por la TIA, MC-1X nombre dado por la ITU) fue concluida en Julio de 1999, el término 1X proviene de 1XRTT (Tecnología de Transmisión de Radio), usado para indicar un portador estándar de 1.25 MHz (la misma de IS-95) en la interfaz de aire. Las características disponibles con 1X son: doble capacidad de la voz que en CDMAOne, servicios avanzados de datos por paquete, más vida útil en la batería, tasas de datos promedio por paquete en ambientes móviles de 144 Kbps y velocidades más allá de esto en ambientes fijos.

CDMA2000 3X (IS-2000 A): también llamado CDMAOne de banda ancha. El término 3X proviene de 3xRTT, usado para significar un portador múltiple con capacidad de 3,75 MHz (3 veces 1,25 MHz). CDMA2000 3X ofrece mayor capacidad que CDMA2000 1X, transfiere datos en modo paquetes y circuitos a 2 Mbps, incorpora capacidades avanzadas de multimedia, apoya canales de tamaños 5 MHz, 10 MHz, etc.

V. RESPUESTA FRENTE A LA INTERFERENCIA EN W-CDMA Y CDMA2000

Antes de establecer la comparación es oportuno conocer las características de propagación de una señal.

Las características del terreno afectan la forma como se propaga la onda. Como la antena de un móvil está muy cerca de la tierra, se producen tres efectos principales:

- La señal que se recibe en el móvil no es únicamente la que llega por la ruta directa, sino que también incluye señales fuertes que son reflejadas por la tierra. Estas rutas alternas generan pérdidas excesiva que pueden llegar a ser del orden de 40 dB/década.
- Cuando la antena de la unidad móvil está a muy poca altura, las estructuras construidas por el hombre que la rodean generan desvanecimientos multiruta en la señal recibida, llamados desvanecimientos Rayleigh. Dichos desvanecimientos causan ráfagas de errores en la comunicación [32].
- Hay un efecto debido a que la transmisión se hace en un medio que es dispersivo en el tiempo. Esto quiere decir que no sólo se reciben símbolos, sino que adicionalmente se reciben muchos ecos de éstos. Estos retardos de tiempo producen la interferencia entre símbolos (ISI-InterSymbol Interference). Para evitar dicha interferencia se debe mantener una velocidad de transmisión que sea inferior al inverso del retardo ó mejorar el correlacionador [33].

Las pérdidas en la ruta de propagación, en señales de banda ancha W-CDMA y CDMA2000, son aproximadamente las mismas que en banda estrecha, siempre y cuando se cumpla la condición de que al ancho de banda no sea mayor que la mitad de la frecuencia

WCDMA mejora la eficiencia espectral con nuevos métodos de modulación, codificación y estrategias de gestión (receptor RAKE, control de potencia, etc.) Que se infieren de estudios de propagación.

de la portadora. Para el desvanecimiento multirruta, se cumple que a mayor ancho de banda, menor es el desvanecimiento producido. En cuanto a los retardos por multitrayectoria, como éstos son específicos para el tipo de ambiente en el cual se esté realizando la comunicación, se cumple que las señales de banda ancha proporcionan mayor ganancia en diversidad en las áreas urbanas que en las áreas suburbanas (ver system description, issue Oct. 6 1997, CDMA2000).

Sin embargo, al ocupar más espectro, la atenuación de la señal es casi total en un canal dispersivo; para ello, existe el receptor RAKE; la huella del receptor se usa para resolver y combinar componentes de multi-trayectoria, mientras se reduce o debilita la señal que transporta las secuencias. Esta arquitectura del receptor también se usa para promover la multiplicidad de la estación base cuando una unidad móvil logra la transición entre dos células, manteniendo la conexión con ambas estaciones base (realiza un traspaso de forma imperceptible para el usuario: SOFT HANDOVER). El receptor de la unidad

móvil combina la señal de las dos estaciones así como combinaría las señales asociadas con los componentes diferentes de camino múltiple. A más largo plazo se podrán hacer desarrollos de receptores basados en cancelación de interferencias o de

detección conjunta [34]. Los receptores con cancelación de interferencias van suprimiendo, progresivamente, a todos los usuarios no deseados, obteniendo una elevada relación señal-ruido en la señal deseada.

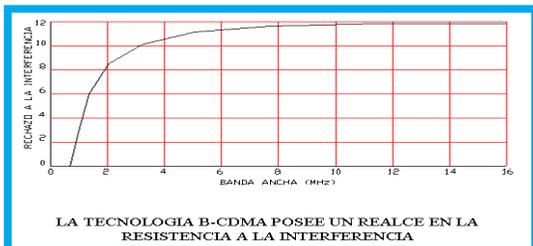


Figura 3. Respuesta de esquemas de banda ancha frente a la interferencia

VI. ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS ESQUEMAS W-CDMA Y CDMA2000

Con respecto a la capacidad:

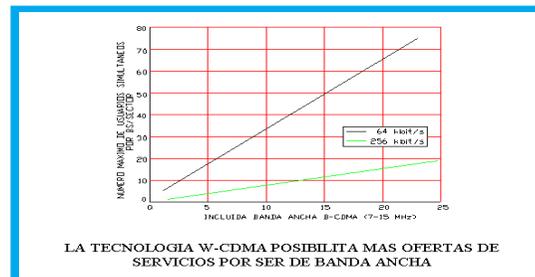


Figura 4.. Capacidad en esquemas de acceso de banda ancha.

CDMA2000 limita su capacidad en interiores debido a la necesidad de sincronización externa por GPS (difícil acceso); además, satisface necesidades de 2 Mbps si se cumple que la banda de la portadora es 2 ó 3 veces mayor a dicha tasa.

WCDMA aplica tasas de esparcimiento más altas, detección de voz; optimiza el uso del canal mediante

codificación soft-decision y decodificación Viterbi; adicional a esto, El manejo de más amplitud en el ancho de banda (pasa de los 30 KHz en las bandas AMPS, N-AMPS y TDMA a 1023 KHz), permite la multiplicación del número de usuarios atendidos, respecto a los esquemas de banda estrecha (ver figura 4). La mejora de la propagación multitrayecto contribuye a una mejor calidad de conexión y, por tanto, a mayor capacidad, mayor cobertura y menor potencia de transmisión del terminal. Así mismo, el enlace ascendente coherente incrementa considerablemente su capacidad y ofrece una celda de mayor rango. Se podrán manejar un mayor número de llamadas simultáneas en menos emplazamientos de células, resultando en menores costos de operación en red [35].

Con respecto a la Eficiencias espectral:

CDMA2000 Y W-CDMA Son normas de acceso con buena eficiencia en exteriores y con flexibilidad de servicios; CDMA2000, esta limitado por requisitos de sincronización; también aplica mecanismos de control que demandan buena gestión y demasiada señalización; cuestiones que no la hacen muy atractiva. WCDMA ofrece la mejor eficiencia espectral en entornos diversos por el control sencillo y estricto de potencia a través de detección conjunta; además, la construcción de receptores es de más fácil diseño

Con respecto al desempeño frente al ruido y la interferencia:

Las técnicas de banda ancha son más sensibles al ruido que las técnicas de banda estrecha; esto significa que WCDMA es más susceptible al ruido que CDMA2000. La principal interferencia que padecen los sistemas basados en CDMA es por multi-acceso; sin embargo WCDMA controla mejor la interferencia que CDMA2000:

En CDMA2000 el control de potencia debe rechazar un porcentaje mayor de interferencia debido al manejo de tres portadoras; de no ser así, los canales de la portadora más débil puede alcanzar niveles de interferencia insoportables. Por otra parte,

WCDMA controla la interferencia, separando los canales mediante secuencias de ensanchamiento ortogonales WALSH y OVFSF; codificando los canales mediante secuencias de ensanchamiento no ortogonal Gold, familia S(2) y Golay generalizadas.

WCDMA con el mayor factor de esparcimiento, tiene la mejor protección contra desvanecimientos multi-trayectoria; además, emplea técnicas de antenas adaptativas y receptor RAKE.

Con respecto a la cobertura:

La cobertura es directamente proporcional a relación señal a interferencia de ruido (S/I₀); esto significa que con el aumento de transmisiones simultáneas, la relación S/I₀ baja reduciéndose la cobertura.

En los esquemas de banda ancha se emplea la estrategia de estructura jerárquica de celdas para gestionar

WCDMA y CDMA2000 aplican las siguientes estrategias para disminuir los efectos de interferencia: transmiten solamente en ciclos de actividad de información, gestionan potencia en ambos sentidos y aplican técnicas de espectro esparcido.

El dinamismo actual de las tecnologías de la información y de las comunicaciones inalámbricas implica que este artículo sea necesariamente provisional y que más que finalizado se este rehaciendo continuamente.

la compartición automática de carga, alcanzándose buenas coberturas; además, el empleo de algunos algoritmos (Packet Scheduling y de control de ejecución) apoyan gestión de tráfico, mejorando cobertura ó resolviendo situaciones de congestión.

VII. CONVERGENCIA ENTRE CDMA2000 Y W-CDMA

W-CDMA es un modo de secuencia directa de portadores CDMA de banda ancha en el enlace ascendente y en el enlace descendente. CDMA2000 es un modo de portador CDMA múltiple de banda ancha en el enlace ascendente y numerosas portadoras paralelas de banda estrecha CDMA en el enlace descendente; cada uno de los cuales tienen las mismas características que un portador IS-95 de segunda generación. La tasa del chip de los portadores en el enlace ascendente del portador múltiple es exactamente tres veces la de los portadores de enlace descendente.

El debate acerca de la convergencia de CMA2000 y WCDMA se ha basado en el hecho de que estas propuestas de CDMA poseen cierta definición de parámetros que representan una oportunidad de compromiso. El parámetro más discutido y debatido es la tasa de chip del sistema. W-CDMA emplea un valor básico de tasa de chip de 4.096 Mbps, mientras CDMA2000 utiliza 3.6864 Mbps. Los ponentes de W-CDMA prefieren la tasa más alta y se quejan de que las tasas más bajas de CDMA2000 degradan el desempeño.

CONCLUSIONES

A pesar que la telefonía celular fue concebida para la voz únicamente, debido a las limitaciones tecnológicas de esa época, la tecnología celular de hoy en día es capaz de brindar otro tipo de servicios tales como datos, audio y video con algunas limitaciones, pero la telefonía inalámbrica del mañana hará posible aplicaciones que requieran un mayor consumo de ancho banda.

Los avances tecnológicos han permitido el incremento de la capacidad y cobertura de las comunicaciones inalámbricas y el decremento tanto del tamaño de las celdas como de los niveles de potencia; la interfaz radio de los sistemas de comunicaciones actuales deben satisfacer la enorme demanda de servicios y llenar los requerimientos de multimedia que origina el ancho de banda limitado.

La comparación de W-CDMA con CDMA2000 me condujo a dilucidar a W-CDMA como la técnica más ventajosa; no obstante, hay un gran número de cuestiones, relacionadas con la eficiencia espectral, capacidad, desempeño frente al ruido, etc. que no son fácilmente cuantificables y deben tenerse en cuenta para realizar una comparación justa; por otra parte, los resultados de la comparación dependen de las condiciones de entorno interferente, objetivos de la interfaz, el estado de la tecnología y de muchas otras cosas.

Independientemente de cual tecnología en telefonía inalámbrica predomine, lo único que le interesa

al usuario final es la calidad de voz, que no se bloqueen las llamadas y que en realidad se ofrezcan las velocidades prometidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- [1] LEE William C., Mobile communications Design Fundamentals, Howard W. Sams & Co., 1986, pp. 141.
- [2] MENCHEN M., et al., Comunicaciones móviles, hacia la telefonía personal, Mundo electrónico, mayo 1991.
- [3] "Mobile Europe", Vol. 6, N° 5, May 1996.
- [4] VITERBI A. J., Wireless digital communication: a view based on three lessons learned, IEEE communications magazine, September 1991.
- [5] RIFAAT Dayem, PCS & Digital Cellular Technologies, Prentice Hall, EEUU, 1997.
- [6] BEHCET Sarikaya, Packet mode in Wireless networks: Overview of transition to third generation, IEEE communications Magazine, September 2000, pp. 164-172.
- [7] GUDMONDSON Björn, et al., A comparison of CDMA and TDMA Systems, Proceedings of the IEEE Vehicular technology Society 42nd VTS conference, Vol. 2, 1992, pp. 732-735.
- [8] VLADISLAV Sorokine, Gallager codes for CDMA applications, Part I: Generalizations, Constructions, and Performance Bounds, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 10, October 2000, pp. 1660-1667.
- [9] MOULY M., et al., Current evolution of the GSM systems, IEEE personal communications magazine, October 1995.
- [10] LEE William C., Overview of cellular CDMA, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 2, May 1991, pp. 291-302.
- [11] LLANA Andres, Wireless Communication: Technologies and Applications, Computer Technology Research Corp. October 1994.
- [12] WHIPPLE David P., The CDMA Standard. Applied Microwave & Wireless, Winter 1994, pp. 24-39.
- [13] GILHOUSEN Kellin S., et al., On the Capacity of a Cellular CDMA system, IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 40, No. 2, May 1991, pp. 303-311.
- [14] JUNG Peter, et al., Advantages of CDMA and Spread Spectrum Techniques over FDMA and TDMA in cellular Mobile Radio Applications. IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. 42, No. 3, August 1993, pp. 357 - 364.
- [15] LIN Fan, et al., Successive interference cancellation in multicarrier DS/CDMA, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 9, September 2000, pp. 1530-1540.
- [16] CHI-FU Hong, et al., Multicarrier FH codes for multicarrier FH-CDMA wireless systems, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 10, October 2000, pp. 1626-1630.
- [17] TORRIERI Don J., Mobile frequency-hopping CDMA systems, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 8, August 2000, pp. 1318-1327.
- [18] TSAO-TSEN Chen, et al., Multuser decision-feedback receivers for asynchronous CDMA systems over a mismatched flat rayleigh fading channel, IEEE transactions on communications, Vol. 48, N° 9, September 2000, pp. 1563-1569.
- [19] MOHAMED F. Madkour, Performance analysis of a wireless multirate Direct-Sequence CDMA using Fast Walsh Transform and Decorrelating detection, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 8, August 2000, pp. 1405-1412.
- [20] FORTUNATO Santucci, et al., A framework for analyzing the user membership in cellular CDMA networks, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 3, March 2000, pp. 442-454.
- [21] MISSIROLI Maria, et al., Near-far resistant channel estimation for CDMA systems using the linear decorrelating detector, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 3, March 2000, pp. 514-523.
- [22] KI JUN Kim, et al., Effect of tap spacing on the performance of Direct-Sequence Spread-Spectrum RAKE receiver, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 6, June 2000, pp. 1029-1036.
- [23] BYOUNG-HOON Kim, et al., DSA techniques for fast robust acquisition of DS/CDMA scrambling codes, IEEE communications Magazine, November 2000, pp. 124-131.
- [24] DUEL HALLEN A., et al., Multiuser detection for CDMA systems, IEEE personal communications magazine, April 1995.
- [25] DIMITRIOU Nikos, et al., Quality of service for multimedia CDMA, IEEE communications Magazine, July 2000, pp. 88-94.
- [26] HUBER Josef F., et al., UMTS, the mobile multimedia vision for IMT-2000: A focus on standardization, IEEE communications Magazine, September 2000, pp. 129-136.
- [27] VERDÚ Sergio, Wireless bandwidth in the making, IEEE communications Magazine, July 2000, pp. 53-58.
- [28] PRATESI M., et al., Outage analysis in mobile radio systems with generically correlated log-normal interferers, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 3, March 2000, pp. 381-385.
- [29] LU Willie W., Compact multidimensional broadband wireless: the convergence of wireless mobile and access, IEEE communications Magazine, November 2000, pp. 119-123.
- [30] HAIMOVICH Alexander M., et al., Reduced-Rank array processing for wireless communications with applications to IS-54/IS-136, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 5, May 2000, pp.743-747.
- [31] WEN-SHENG Hou, et al., Adaptive detection in Asynchronous Code-Division Multiple-Access systems in multipath fading channels, IEEE Transactions on communications, Vol. 48, N° 5, May 2000, pp. 863-873.
- [32] FOSCHINI G.J., et al., On limits of Wireless Communications on a Fading Environment When Using Multiple Antennas, Wireless Personal Communications, N° 6, 1998, pp. 315-35.
- [33] LUEDIGER Heinz, et al., User and business perspectives on an open mobile access standard, IEEE communications Magazine, September 2000, pp. 160-162.
- [34] "Specification RACE D730: mobile network subsystems", CEC/RACE industrial consortium, December 1991.
- [35] "IBC common functional specification, specification RACED730", December 1991.

Hernán Paz Penagos

Magister en Teleinformática de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas. Ingeniero Electricista de la universidad Nacional de Colombia, Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas y Filósofo de la Universidad Santo Tomás de Aquino. Docente del área de comunicaciones, Facultad de ingeniería Electrónica de la Escuela Colombiana de Ingeniería "Julio Garavito". Correo electrónico: hpaz @ escuelaing.edu.co.