

INTRODUCCION

En cualquier sistema de radio celular, o de comunicaciones personales en general, un cierto número de usuarios se comunica con una estación base que, a su vez, da acceso a la red fija mediante portadores adecuados (fibra o cable).

El despliegue de los sistemas celulares y de los teléfonos sin cordón domésticos comenzó en la década de los 80's. Todas las normas que soportaban estos sistemas eran analógicas, utilizaban modulación en frecuencia, con acceso FDMA, ocupando un ancho de banda de 12.5 a 30 kHz y señalización en banda base. A medida que fueron extendiéndose e incrementándose los usuarios, fue necesario desarrollar sistemas digitales capaces de soportar nuevos servicios y facilidades ofreciendo, además, una mejora en la calidad de las comunicaciones y, sobre todo, incrementándose su capacidad. Así surgieron los llamados sistemas de segunda generación.

El diseño de cualquier sistema de comunicaciones personales está muy condicionado por la interfaz radioeléctrica que utilice, incluso puede llegar a condicionar su coste e incluso muchas cualidades operacionales.

Los sistemas de comunicaciones móviles y personales se basan en un concepto básico: la reutilización. Se comparten las frecuencias portadoras, los intervalos de tiempo, los códigos, etc., que se asignan a los usuarios en una célula, asignando los mismos recursos en otra célula suficientemente alejada, de acuerdo con el procedimiento de acceso múltiple elegido.

Es necesario saber que los sistemas celulares tienen notable susceptibilidad a la interferencia que los diferentes sistemas de acceso múltiple deben considerar.

ESPECTRO EXPANDIDO

Esta técnica se desarrolló inicialmente para aplicaciones de agencias de información y militares. La idea básica consiste en expandir la información de la señal sobre un ancho de banda mayor para con ello dificultar las interferencias y su interceptación. El primer tipo de técnica de espectro expandido se denomina salto de frecuencias. Una versión más reciente es la denominada espectro expandido con secuencia directa. Estas dos técnicas se utilizan en la actualidad en diversos desarrollos para redes de datos inalámbricas, además de otras aplicaciones como son los teléfonos inalámbricos.

Los puntos clave de cualquier sistema de espectro expandido son el codificador del canal que produce una señal analógica a partir de los datos de entrada con un ancho de banda relativamente estrecho en torno a su frecuencia central. Esta señal se modula posteriormente usando una secuencia de dígitos aparentemente aleatorios denominada secuencia pseudoaleatoria. Con esta modulación lo que se pretende es aumentar drásticamente el ancho de banda (espectro expandido) de la señal a transmitir. En el receptor, se usa la misma secuencia de dígitos para demodular la señal de espectro expandido. Y por último, la señal demodulada se decodifica para recuperar los datos originales. Sólo los receptores que conozcan el algoritmo de los dígitos podrán ser capaces de decodificar adecuadamente la señal.

Salto de frecuencias

En este esquema, la señal se emite sobre una serie de radiofrecuencias aparentemente aleatorias, saltando de frecuencia en frecuencia por cada fracción de segundo transcurrida. El receptor captará el mensaje saltando de frecuencia en frecuencia sincronamente con el transmisor. Los receptores no autorizados escucharán una señal ininteligible. Si se intentara interceptar la señal sólo se conseguiría para unos pocos bits.

Secuencia directa

En este esquema cada bit de la señal original se representa mediante varios bits de la señal transmitida; a este procedimiento se le denomina código de compartición. Este código expande la señal a una banda de frecuencias mayor, directamente proporcional al número de bits que se usen. Por tanto, un código de compartición de 10 bits expande la señal a una banda de frecuencias 10 veces mayor que un código de compartición de un bit.

Cuanto mayor sea la razón de datos de la entrada pseudoaleatoria, mayor será la expansión.

CDMA

ACCESO MULTIPLE POR DIVISION DE CODIGO

¿Qué es CDMA?

"Code Division Multiple Access" (CDMA) es la tecnología digital inalámbrica más moderna que ha abierto la puerta a una nueva generación de productos y servicios de comunicación inalámbrica. Utilizando codificación digital y técnicas de frecuencias de radio de espectro amplio (RF), CDMA provee una mejor calidad de voz y más privacidad, capacidad y flexibilidad que otras tecnologías inalámbricas.

El CDMA permite que cada estación transmita en el espectro completo de frecuencia todo el tiempo. Las transmisiones múltiples simultáneas se separan usando la teoría de codificación. El CDMA también relaja el supuesto de que los marcos en colisión se alteran completamente. En cambio, supone que las señales múltiples se suman linealmente.

Para comprenderlo de mejor manera consideremos una fiesta de acceso a un canal. En un cuarto grande, muchas parejas de personas están conversando. TDM es cuando toda la gente está en el centro del cuarto, pero se turnan para hablar, primero uno, luego otro. FDM es cuando la gente se junta en grupos ampliamente dispersos, llevando cada grupo su propia conversación al mismo tiempo que los demás, pero independientemente. CDMA es cuando todos están en el centro del salón hablando al mismo tiempo, pero hablando cada pareja un lenguaje distinto. La pareja de francoparlantes sólo se concentra en el francés, rechazando todo lo demás como ruido. Por tanto, la clave de CDMA es ser capaz de extraer la señal deseada mientras se rechaza todo lo demás como ruido aleatorio.

En CDMA, cada tiempo de bit se subdivide en m intervalos cortos llamados **chips**. Comúnmente hay 64 o 128 **chips** por bit, pero en el ejemplo dado a continuación usaremos por sencillez 8 **chips**/bit.

A cada estación se asigna un código único de m bits, o secuencia de **chips**. Para transmitir un bit 1, una estación envía su secuencia de **chips**; para transmitir un bit 0, envía el complemento a 1 de su secuencia de **chips**. No se permiten otros patrones. Por tanto, para $m=8$, si la estación A tiene asignada la secuencia de **chips** 00011011, envía un bit 1 transmitiendo 00011011, y un bit 0 enviando 11100100.

El aumento en la cantidad de información a ser enviada de b bits/seg a mb chips/seg sólo puede lograrse si el ancho de banda disponible se incrementa por un factor de m , haciendo de CDMA una forma de comunicación de espectro amplio (suponiendo que no hay cambios en la técnica de modulación ni de codificación). Si tenemos una banda de 1 MHz disponible para 100 estaciones, con FDM cada una tendría 10 KHz y podría enviar a 10 kbps (suponiendo 1 bit por Hz). Con CDMA, cada estación usa la totalidad del 1 MHz, por lo que la razón de **chips** es de 1 megachip por segundo. Con menos de 100 **chips** por bit, el ancho de banda efectivo por estación es mayor para CDMA que para FDM y se resuelve también el problema de reparto del canal.

En principio, y desde el punto de vista de ocupación del espectro radioeléctrico, un nuevo usuario siempre

puede ser aceptado por un sistema CDMA con una ligera degradación de la calidad de la comunicación para todos los demás usuarios.

En un sistema CDMA ideal sin ruido, la capacidad (es decir el número de estaciones) puede hacerse arbitrariamente grande, de la misma manera que puede hacerse arbitrariamente grande la capacidad de un canal Nyquist sin ruido usando más y más bits por muestra. En la práctica, las limitaciones físicas reducen considerablemente la capacidad. Primero se ha supuesto que todos los chips están sincronizados en el tiempo. En realidad esto es imposible.

Lo que puede hacerse es que el transmisor y el receptor se sincronicen pidiendo al transmisor que envíe una secuencia de chips conocidas, de longitud suficiente, a la que se pueda enganchar el receptor. Todas las demás transmisiones no sincronizadas son vistas entonces como ruido aleatorio. Cuanto mayor es la secuencia de chips, mayor es la probabilidad de detectarla correctamente en presencia de ruido. Si se desea seguridad extra, la secuencia de bits puede usar un código de corrección de errores. Las secuencias de chips nunca utilizan códigos de corrección de errores.

Un supuesto implícito es que los niveles de potencia de todas las estaciones son iguales, según lo percibe el receptor. CDMA se usa comúnmente para sistemas inalámbricos con estación base fija y muchas estaciones móviles a distancias variables de ella. Los niveles de potencia recibidos en la estación base dependen de la distancia a la que se encuentren los transmisores. La estación móvil transmite a la estación base en un nivel de potencia inverso al que recibe de la estación base, por lo que una estación móvil que recibe una señal débil de la base usará más potencia que una que recibe una señal fuerte. La estación base también puede dar ordenes explícitas a las estaciones móviles para que aumenten o disminuyan su potencia de transmisión.

Sin embargo, el CDMA tiene tres desventajas principales. Primero, la capacidad de un canal CDMA ante la presencia de ruido y de estaciones descoordinadas es típicamente menor de lo que se puede lograr con TDM. Segundo, con 128 chips/bit (que es un valor común), aunque la tasa de bits no sea alta, la tasa de chips si lo es, necesitándose un transmisor rápido. Tercero pocos ingenieros entienden realmente el CDMA, lo que generalmente no aumenta la probabilidad de que lo usen, aun si es el mejor método para una aplicación en particular. No obstante, el CDMA ha sido usado por los cuerpos armados durante décadas, y ahora se está volviendo más común en aplicaciones comerciales.

DIAGRAMA DE BLOQUE

Chip modulado

Entrada de modulador modulador

datos balanceado PSK

(multiplicador)

Desde el satélite

IF (PSK)

IF (PSK) PSK

Salida

De datos

La detección de las señales en sistemas CDMA es muy compleja. Existen varias técnicas, entre ellas están la detección single user, la detección conjunta y la cancelación de interferencias.

En el caso de detección single user, todas las señales dentro de una célula, excepto la señal deseada, son tratadas como ruido, de modo que aquí son significativas las interferencias que pueden existir dentro de las células como entre ellas mismas.

En los sistemas con detección conjunta todas las señales dentro de una célula se detectan a la vez, explotando el conocimiento previo de los códigos, de modo que la interferencia intracelular se elimina.

Existe un procedimiento intermedio entre ellos, conocido como cancelación de interferencias, que consiste en detectar la componente más fuerte de la señal recibida, reconstruir la contribución de esta señal a la señal total y restarla de la misma. El proceso se repite, y la interferencia efectiva se reduce.

La ventaja de los sistemas CDMA con detección single user es su flexibilidad, que resulta del hecho de que las señales individuales de cada usuario se procesan independientemente en los receptores y, por tanto, pueden generarse, también con independencia, de los transmisores. En tales sistemas, las señales de cada usuario pueden desconectarse o conectarse sin coordinación con los demás usuarios. Sin embargo, con este procedimiento aumenta la interferencia intracelular; para limitar esta interferencia el control de potencias debe ser muy estricto. Por supuesto, los sistemas CDMA ocupan un ancho de banda mayor que los sistemas TDMA o FDMA. En un sistema CDMA no es necesario utilizar la división de frecuencia o de tiempo. Solamente se separan las bandas del enlace ascendente y del descendente mediante una técnica FDD.

BENEFICIOS A LOS USUARIOS

Calidad excepcional de voz y comunicación. CDMA provee calidad superior de voz, considerada virtualmente tan buena como la de línea alámbrica. También filtra los ruidos de fondo, cruces de llamadas, e interferencia, mejorando grandemente la privacidad y calidad de la llamada.

Menor consumo de energía. Los teléfonos de CDMA típicamente transmiten con fuentes de energía substancialmente menores que los teléfonos que utilizan otras tecnologías, resultando en una vida más larga para las pilas, lo que redundo en una mayor disponibilidad de tiempo para llamadas y tiempo de espera. Porque se utilizan pilas más pequeñas, los fabricantes pueden también fabricar teléfonos más pequeños y ligeros.

Menos llamadas interrumpidas. CDMA aumenta la capacidad del sistema, eliminando virtualmente señales de ocupado, cruces de llamadas, y llamadas interrumpidas que resultan de la congestión del sistema. Utilizando un sistema patentado de pasar llamadas entre celdas conocido como traslado de llamadas "soft handoff" sin cambiar de frecuencia. CDMA también reduce significativamente la posibilidad de llamadas alteradas o interrumpidas durante el traslado de llamadas.

Más extensa cobertura. La señal de espectro amplio de CDMA provee mayor cobertura que otras tecnologías inalámbricas, tanto dentro de locales como al aire libre. CDMA también interacciona con otras formas de sistemas de telecomunicación, permitiendo amplias y fluidas coberturas y conexiones.

Seguridad y privacidad. Además de filtrar el cruce de llamadas y ruidos de fondo, las transmisiones de espectro amplio y codificadas digitalmente de CDMA son intrínsecamente resistentes a la intrusión. La codificación de voz de CDMA también evita "cloning" y otros tipos de fraude.

Mejoras en los servicios. El canal de control digital de CDMA permite a los usuarios el acceso a una amplia

gama de servicios que incluyen identificación del que llama, mensajes cortos y transmisión de datos. CDMA también permite la transmisión simultánea de voz y datos.

BENEFICIOS A LOS PROVEEDORES DE SERVICIO

Mayor capacidad. CDMA provee de 10 a 20 veces la capacidad de las tecnologías análogas inalámbricas, y más de tres veces la capacidad de otras tecnologías digitales; lo que permite a los proveedores de servicios apoyar más subscriptores y en mayores volúmenes tráfico inalámbrico en una porción limitada del espectro de frecuencias de radio. Debido al rápido crecimiento del número de subscriptores del servicio inalámbrico y los minutos de uso, la capacidad es un problema crítico.

Cobertura más amplia. Con su alcance superior y las características de funcionamiento de su señal, CDMA mejora la cobertura al aire libre y bajo techo. Las redes CDMA requieren solamente una fracción de los asentamientos de celdas que necesitan otras tecnologías inalámbricas para cubrir un área dada. Con menos asentamientos de celdas, los proveedores de servicio pueden reducir su inversión inicial de capital así como también sus costos corrientes de operación y mantenimiento.

Flexibilidad. CDMA es la única tecnología inalámbrica que apoya con efectividad tanto los servicios fijos como móviles desde la misma plataforma, dando apoyo a dos fuentes de ingreso y a la vez permite a los proveedores de servicio el ofrecer a sus clientes un servicio fluido de "un solo teléfono." Las redes de CDMA también cuestan menos en diseño e ingeniería que otros tipos de sistemas inalámbricos, haciéndolos más fáciles de reconfigurar y expandir.

Implementación rápida. Los sistemas CDMA pueden ser implementados y expandidos más rápidamente y con mayor costo-efectividad que la mayoría de las redes de líneas alámbricas. Y porque requiere menos celdas y espacio de celdas, las redes CDMA pueden instalarse más rápidamente que cualquier otro tipo de red inalámbrica.

Interacción en las operaciones. CDMA interacciona con AMPS (el Sistema Avanzado de Teléfono Móvil, la base de la mayoría de las redes de teléfonos celulares análogos), con redes de teléfono IS-41 y pronto con redes GSM/MAP, que permiten amplia cobertura y conexión, además de permitir a los operadores apoyarse en su equipo.

Calidad de servicio. La superior calidad de la voz en CDMA y mayores servicios que incluyen datos inalámbricos, dan a los proveedores de servicio una clara ventaja sobre la competencia para ganar y conservar clientes

Selección. Con una amplia base de apoyo de fabricantes líderes en telecomunicaciones en el mundo entero y con un aumento de los ahorros de volumen, los proveedores de servicios pueden elegir entre una amplia gama de productos de CDMA avanzados y de costo competitivo.

Mejoras continuadas. Reconocida ya como la tecnología inalámbrica digital más avanzada, IS-95 CDMA (**cdmaOne**) está siendo mejorada más aún para apoyar nuevas características y servicios tales como la alta velocidad de datos.

cdmaOne es un nombre comercial de marca registrada, reservado para uso exclusivo de las empresas que son miembros de CDG y que describe un sistema inalámbrico completo que incorpora la interfaz aérea IS-95 CDMA, la norma de la red ANSI-41 para la interconexión por conmutación, además de muchas otras normas que integran el sistema inalámbrico completo.

cdma2000 es un nombre que identifica la norma TIA para tecnología de tercera generación que es un resultado evolutivo de **cdmaOne** y que ofrece a los operadores que han desplegado un sistema **cdmaOne** de

segunda generación una trayectoria de migración transparente que respalda económicamente la actualización a las características y servicios 3G dentro de las asignaciones del espectro actual tanto para los operadores celulares como los de PCS. La interfaz de red definida para cdma2000 apoya la red de segunda generación de todos los operadores actuales, independientemente de la tecnología (**cdmaOne**, IS-136 TDMA o GSM). La TTA ha presentado esta norma ante la ITU como parte del proceso IMT-2000 3G.

A fin de facilitar la migración de **cdmaOne** a las capacidades de cdma2000 ofreciendo características avanzadas en el mercado de una manera flexible y oportuna, su implementación se ha dividido en fases evolutivas. Las capacidades de la primera fase se han definido en una norma conocida como 1XRTT. La fecha de publicación de la 1XRTT se ha fijado para el primer trimestre de 1999. Esta norma introduce datos en paquete a 144 kbps en un entorno móvil y a mayor velocidad en un entorno fijo. Las características disponibles con 1XRTT representan un incremento doble, tanto en la capacidad para voz como en el tiempo de operación en espera, una capacidad de datos de más de 300 kbps, servicios avanzados de datos en paquete, además de que se extiende considerablemente la duración de la pila y contiene tecnología mejorada en el modo inactivo. Se ofrecerán todas estas capacidades en un canal existente de 1.25 MHz de **cdmaOne**.

Como resultado de un despliegue inicial de tecnología digital TDMA, Bell Mobility de Canadá descubrió que no estaba satisfaciendo las necesidades de sus clientes. Después de una evaluación técnica detallada y una exploración de las opciones, Bell Mobility reemplazó el sistema TDMA con la tecnología digital CDMA para aprovechar las ventajas técnicas y financieras tanto en la actualidad como en el futuro.

Cinco factores cruciales ayudaron a Bell Mobility a llegar a la conclusión de que CDMA era la tecnología apropiada para satisfacer las necesidades en evolución de sus clientes, permitiéndole a la empresa misma el alcance de sus propias metas.

Calidad de Llamadas

Como se pone de manifiesto por la experiencia de Bell Mobility con TDMA, el criterio más importante para escoger una nueva tecnología digital, desde el punto de vista de los clientes, es la calidad resultante de la voz. En este campo, CDMA es extraordinaria porque utiliza varios avances técnicos para proporcionar una calidad de voz que es tan buena o mejor que la que genera AMPS y que es considerablemente superior a la de TDMA. A continuación se analizan dos de las características técnicas que permiten la calidad superior de la voz.

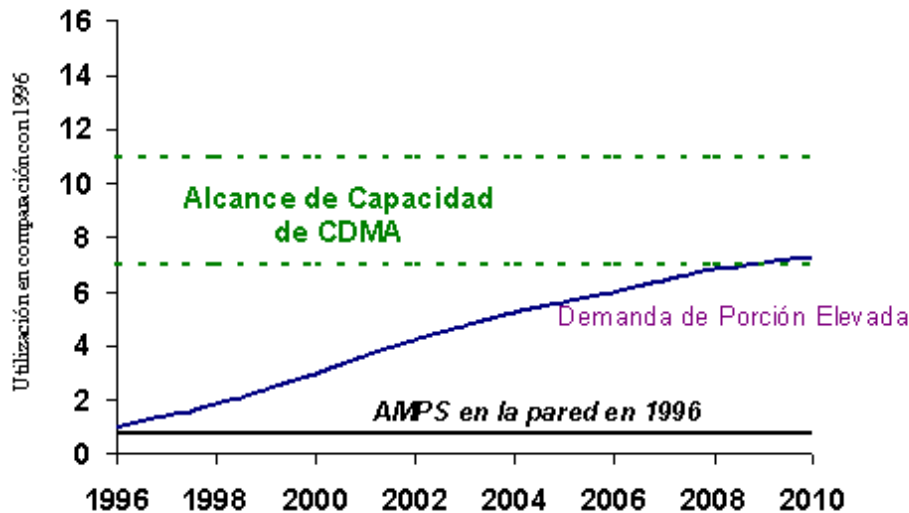
Codificador de fonía de 13 Kb de alta calidad: La estructura de canales de TDMA no permite más que un codificador de fonía de 8 Kb y se planeó para evolucionar a un codificador de 4 Kb. Por su parte, la estructura de CDMA usa 13 Kb a plazo corto, proporcionando la mejor calidad en el lanzamiento y dispone en la actualidad de un codificador mejorado de 8 Kb.

Cesión suave: TDMA usa una cesión dura o brusca al pasar de un sitio de célula a otro, lo que da como resultado puntos mudos notables en las llamadas. Estos puntos mudos pueden ser importantes en ciudades tales como Toronto o Montreal, donde las cesiones se producen de dos a cuatro veces por minuto. Por otra parte, CDMA emplea una técnica denominada de cesión suave para eliminar ese problema. La cesión suave permite que el teléfono reciba señales de 3 a 5 sitios de células adyacentes y combina todas ellas para eliminar los silencios de cesión, además de mejorar la calidad general de la señal (escogiendo siempre la mejor de entre las tres a cinco que recibe).

Capacidad de Red

Las consideraciones de capacidad para la tecnología digital fueron muy importantes con el fin de reducir la necesidad de hacer evolucionar la red de un modo importante en el futuro cercano. Estaban en juego varias cosas: el hecho de que los clientes se sentían molestos por otro cambio, el deseo de la compañía de no tener que invertir capitales adicionales en otra red y la necesidad de aceptar la carga de tráfico de crecimiento

rápido de la red.



La capacidad de CDMA ha sido un tema muy debatido en la industria y estuvo sujeto a un escrutinio importante por la Bell Mobility. Al terminar el día, Bell Mobility consideraba que hasta las opiniones más conservadoras respecto a la capacidad de CDMA indicaban que ofrecía por lo menos el doble que TDMA. Además, incluso al adoptar la opinión conservadora, Bell Mobility podía satisfacer los requisitos de capacidad para el futuro previsible, como puede verse en la gráfica que sigue:

CDMA alcanza esta ventaja de capacidad mediante las técnicas que siguen:

- Codificadores de fonía de velocidad variable, que reducen la velocidad de transmisión cuando el altavoz no esté funcionando. Esta técnica permite que el canal se compacte más eficientemente, dando como resultado capacidad adicional.
- Se emplean técnicas de control de fuerza para mantener la potencia transmitida en el mínimo absoluto que se requiere para dar como resultado una llamada de gran calidad. La relación con la capacidad es como sigue:

Menos potencia = menos energía = menos interferencias = mayor capacidad

Empleo Más Amplio

Se ha escogido CDMA como la tecnología digital de segunda generación preferida por más de la mitad de la industria norteamericana con el resto dividido entre otras dos tecnologías digitales: TDMA y GSM. Por lo tanto, Bell Mobility consideró que el mejor modo de satisfacer las necesidades de sus clientes, que usan sus servicios en todos los Estados Unidos y el Canadá, era la selección de una tecnología desplegada con mayor amplitud que otras tecnologías digitales alternativas.

Eficiente en Costos

Al evaluar la estructura de costos de TDMA en función de CDMA, Bell Mobility llegó a la conclusión de que CDMA era una solución más eficiente en costos a largo plazo. Este beneficio de costos se obtiene en gran parte debido a dos factores:

- Ganancias de capacidad: Una mayor capacidad por unidad significa que es preciso desplegar menos sitios para satisfacer una demanda dada de tráfico.
- Eficiencias de cobertura: La cobertura generada por la tecnología CDMA es mejor que las de AMPS o

TDMA (en de 3 a 6 dB). Una mejor cobertura significa mejor calidad y menos sitios requeridos para proporcionar servicios fuera de los centros urbanos principales.

Tecnología Selecta de la Tercera Generación

Los sistemas analógicos AMPS se denominan tecnología inalámbrica de la primera generación, mientras que los sistemas digitales tales como CDMA, TDMA y GSM son de la segunda generación. El mundo está trabajando en la actualidad en sistemas de tercera generación para proporcionar un respaldo de servicio de datos realizado a comienzos de la próxima década. Sin que importe si esos sistemas de la tercera generación se despliegan a corto plazo o como parte de un plan de largo alcance, es importante tomar en consideración esta próxima evolución de la tecnología al escoger la actual. Este tipo de planeación de la tecnología asegura una migración agradable y eficiente en costos cuando el mercado requiera la introducción de características y servicios avanzados.

Mientras Bell Mobility estaba evaluando sus opciones de la segunda generación, TDMA y CDMA, consideraba que CDMA sería probablemente la base para los sistemas de la tercera generación, dadas sus capacidades técnicas inherentes para dar respaldo a una mayor capacidad y servicios de datos realizados, que son dos elementos clave de las comunicaciones inalámbricas de la tercera generación. En la actualidad, la mayor parte del mundo ha aceptado que los sistemas de la tercera generación se basarán en CDMA y, por consiguiente, la creencia por parte de Bell Mobility de que su solución de CDMA de la segunda generación ofrecía la alternativa más "a prueba del futuro" ha resultado ser cierta.

Promesa Cumplida de CDMA

El sistema de CDMA de Bell Mobility ha estado funcionando durante cerca de dos años y se han logrado las ventajas que esperaban tanto la compañía como sus clientes. A medida que la tecnología siga evolucionando para satisfacer las demandas que surgen en el mercado, se espera que siga cumpliendo sus promesas hasta que la siguiente generación esté ya muy avanzada.

Evolución del CDMA

Las cualidades del CDMA, pese a su complejidad tecnológica, facilitan mucho el cumplimiento de algunos objetivos fijados para las futuras interfaces radioeléctricas, de modo que es posible que se asista a un crecimiento de los sistemas con estas tecnologías, en todo el mundo.

Su evolución previsible es hacia sistemas CDMA con <<chip rates>> variables, utilizándose con altos <<chip rates>> en microcélulas y bajos <<chip rates>> en células grandes.

Transmisor de RF

Modulador

PSK

Portadora de IF

Generador de palabras claves

Demodulador de RF

Decisión de bits

+ correla-

cionado

Modulador balanceado (multiplicador)

Adquisición y rastreo de códigos

Detector de fase coherente