



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

**WCDMA Tecnología de Comunicaciones
Inalámbricas Celulares de 3era Generación
en Europa y Japón**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN

TELECOMUNICACIONES

P R E S E N T A N:

ALEJANDRO MORÁN ZEA

JULIO CÉSAR SOMILLEDA AGUILAR



DIRECTOR DE TESIS: ING. JESÚS REYES GARCÍA

Ciudad Universitaria, México D.F., Mayo de 2004

Índice

Introducción	1
1. Tecnologías Inalámbricas Celulares de 2da. Generación para Telefonía Móvil	3
1.1. Primera Generación de Telefonía Celular	3
1.2. Segunda generación de Telefonía Celular	4
1.2.1. Cobertura en los sistemas 2G	
1.3. IS-136 TDMA. Acceso Múltiple por División de Tiempo (Time Division Multiple Access)	5
1.4. IS-95/CDMA One. Acceso Múltiple por División de Código Uno (Code Division Multiple Access One)	5
1.5. GSM Sistema Global para Comunicaciones Móviles / GPRS Servicio General de Radio de Paquetes	7
1.6. PDC Comunicaciones Digitales Personales (Personal Digital Cellular)	8
1.7. Generación 2.5G	8
2. GSM Sistema Global para Comunicaciones Móviles	11
2.1. Arquitectura de Red	11
2.1.1. Estación Base Transreceptora (BTS)	
2.1.2. Estación Base Controladora (BSC)	
2.1.3. Centro de Conmutación Móvil (MSC)	
2.1.4. Registro de Ubicación Local (HLR)	
2.1.5. Registro de Ubicación Visitante (VLR)	
2.1.6. Principios Operativos	
2.2. El Canal de Radio	14
2.2.1. Características del Canal de Radio	
2.3. Frecuencias y Canales Lógicos	14
2.3.1. Canales de Tráfico	
2.3.2. Canales de Control	
2.3.3. Canales "Broadcast" o de Difusión (BCH)	
2.3.4. Canales de Control Comunes (CCCH)	
2.3.5. Canales de Control Dedicados (DCCH)	
2.4. Señalización dentro del Sistema de Conmutación	20
2.5. Interfaz A y A-Bis	20
2.6. Ejemplo de una Llamada GSM	21

2.7. Estructura de las Tramas en GSM	22
3. Principios Básicos de CDMA	24
3.1. CDMA: Pasado, Presente y Futuro	24
3.2. Conceptos CDMA	25
3.2.1. Capacidad de Acceso Múltiple	
3.2.2. Protección contra Interferencia de Multitrayectoria	
3.2.3. Privacidad	
3.2.4. Rechazo de Interferencia	
3.2.5. Capacidad Antibloqueo, especialmente bloqueo de banda angosta	
3.2.6. Baja Probabilidad de Interceptación (LPI)	
3.3. Acceso Múltiple de Espectro Disperso	28
3.3.1. Secuencia Directa (DS. Direct Sequence)	
3.3.1.1. Capacidad de Acceso Múltiple	
3.3.1.2. Interferencia Multitrayectoria	
3.3.1.3. Interferencia de Banda Angosta	
3.3.1.4. Baja Probabilidad de Interceptación - LPI	
3.4. Salto de Frecuencia (FH – Frequency Hopping)	32
3.4.1. Propiedades de FH-CDMA	
3.5. Salto de Tiempo (TH – Time Hopping)	35
3.5.1. Propiedades de TH-CDMA	
3.6. Sistemas Híbridos	37
3.7. Elementos Básicos de CDMA	38
3.7.1. Receptor Rake	
3.7.2. Control de Potencia	
3.7.3. Transferencia de Llamada Suave (Soft Handover)	
3.7.4. Transferencia de Llamada Interfrecuencial – Interfrequency Handover	
3.7.5. Detección de Múltiples Usuarios	
3.8. Ventajas de CDMA	42
3.8.1. Beneficios a los usuarios	
3.8.2. Beneficios a los proveedores de Servicio	
4. IMT-2000	45
4.1. Evolución del concepto IMT-2000	47
4.2. Acceso Múltiple y Dúplex	50
4.3. Asignación inicial de espectro para IMT-2000	51

4.4. UMTS / IMT-2000	52
4.5. Configuración del canal físico	53
4.6. Canales Físicos en el Acoplamiento en Reversa	53
4.7. Canales Físicos en el Acoplamiento hacia delante	54
5. Ambiente de Operación de Radiofrecuencia	55
5.1. Fundamentos de la Radio Comunicación	55
5.2. Fenómenos de la Propagación	59
5.3. Modelos de Propagación	61
5.4. Modelos de Propagación Macro célula	62
5.4.1. Modelo de Okamura Et. Al.	
5.4.2. Modelo de ITU (CCIR)	
5.4.3. Método del Ángulo de Separación	
5.4.4. Modelo Ericsson 9999	
5.4.5. Modelo LEE	
5.4.6. Modelo del COST 231-Walfisch-Ikegami	
5.4.7. Modelo ETF – Artificial Neural de Redes Macro célula	
5.5. Modelos de Propagación Micro célula	65
5.5.1. Modelo de dos rayos	
5.5.2. Modelos basados en la UTD y en la teoría de las imágenes múltiples	
5.5.3. Modelo LEE para Micro células	
5.6. Modelo de Propagación en Interiores	68
6. Consideraciones para la Interfaz de Aire CDMA	69
6.1. Definición de Requisitos y el Proceso del diseño General	69
6.2. Estructura de la Interfaz de Aire en Capas	69
6.3. Canales Lógicos	70
6.4. Canales Físicos	71
6.4.1. Diseño de la Trama	
6.4.2. Medidas de Señalización	
6.4.3. Señales Piloto	
6.4.4. Códigos de Esparcimiento	
6.5. Propiedades Básicas de los Códigos de Esparcimiento	73
6.5.1. Secuencias de Pseudo - Ruido	
6.5.2. Códigos Ortogonales	
6.5.3. Criterios de Selección	

6.5.4. Propiedades de Correlación	
6.5.5. Número de Códigos	
6.5.6. Modulación	
6.6. Modulación de Datos	77
6.6.1. Modulación M - Aria	
6.6.2. Circuitos de Esparcimiento	
6.6.3. Modulación de esparcimiento	
6.7. Esquemas de control de Error	80
6.7.1. Esquemas de Control para la selección de Errores	
6.7.2. Códigos Convolucionales	
6.7.3. Codificación Concatenada Reed – Solomon / Convolucional	
6.7.4. Esquemas de ARQ Híbridos	
6.7.5. Esquemas de Entrelazado	
6.8. Esquemas Multi - Tasa	81
6.8.1. Acomodo de Altas Tasas de Datos	
6.8.2. Transmisión del Control de Información	
6.9. Paquetes de Datos	83
6.9.1. Procedimiento del Acceso de Paquetes	
6.9.2. Protocolo MAC	
6.9.3. Transferencia de Paquetes de Datos	
6.10. Transmisor - Receptor	84
6.10.1. Receptor	
6.10.1.1. Medida de la Respuesta al Impulso	
6.10.1.2. Adquisición de Códigos	
6.10.1.3. Buscador	
6.10.2. Transmisor	
6.11. Detección Multiusuario	87
6.11.1. Mejoras en la Capacidad y Cobertura	
6.12. Transferencia de Llamada (Handover)	88
6.12.1. Definiciones	
6.12.2. Procedimiento de Transferencia (Handover)	
6.12.3. Transferencia Suave (Soft Handover)	
6.12.3.1. Decisión de Transferencia	
6.12.4. Transferencia de Llamada más Suave	
6.12.5. Interfrecuencia en la Transferencia de Llamada	
6.13. Control de Potencia	92
6.13.1. Criterio del Control de Potencia	
6.13.2. Control de Potencia de Tamaño y Peso	
6.13.3. Requerimientos de Rango Dinámico	
6.13.4. Tasa de Comandos para el Control de Potencia	
6.13.5. Control de Potencia y Detección Multiusuario	
6.14. Admisión y control de Carga	94

7. Descripción de WCDMA	95
7.1. Diferencias entre WCDMA e Interfaces de Aire de Segunda Generación	95
7.2. Principales Parámetros de WCDMA	96
7.3. Arquitectura de Red de Acceso por Radio	97
7.4. Capa Física	99
7.4.1. Dispersión y Modulación	
7.4.2. Transmisión de Datos del Usuario	
7.5. Protocolos de la Interfaz de Radio	104
7.5.1. Arquitectura de Protocolos	
7.5.2. Protocolo MAC	
7.5.3. Canales Lógicos	
7.5.4. Protocolo de Control de Enlace de Radio (RLC)	
7.5.4.1. Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos (PDCP – Packet Data Convergente Protocol)	
7.5.5. Protocolo de Control Broadcast / Multicast (BMC)	
7.5.6. Protocolo de Control de Recursos de Radio (RRC)	
7.5.7. Estados de Servicio RRC	
7.6. Estandarización de WCDMA en Europa y Japón	110
7.6.1. CDMA de Banda Ancha (WCDMA)	
7.6.2. La Selección de ETSI	
8. UMTS en el Mundo	112
8.1. Antecedentes	112
8.2. Migración de Diversas Tecnologías hacia UMTS	113
8.2.1. Desde GSM hasta IMT-2000	
8.2.2. HSCSD: Circuitos Conmutados de Datos de Alta Velocidad (High-Speed Circuit Switched Data)	
8.2.3. GPRS: Servicio General de Radio de Paquetes (General Packet Radio Service)	
8.2.4. EDGE: Entorno de Datos GSM Mejorado (Enhanced Data GSM Environment)	
8.2.5. GSM1x: GSM migrando a CDMA2000	
8.2.5.1. Componentes GSM1x	
8.3. Comisiones de Estudio y Grupos de Trabajo orientados a la implementación de IMT-2000	118
8.3.1. Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI)	
8.3.2. ITU-R	
8.3.3. 3GPP	
8.3.4. 3GPP2	
8.3.5. ARIB (Asociación de Industrias de Radio y Negocios)	
8.3.6. Estado de la implementación de UMTS	

8.4. Situación actual de la telefonía celular en México	124
9. Conclusiones	127
Referencias	

Introducción

En Nuestros días es fácil hablar de las telecomunicaciones móviles cuando estamos rodeadas por ellas. ¿Quién de nosotros no tiene un teléfono celular? La mayor parte de la gente conoce lo que es un teléfono móvil y principalmente lo utilizan para mantenerse en contacto con el resto de las personas; después de todo, seguimos siendo humanos y existe la necesidad de comunicarnos.

En un principio era suficiente el comunicar sólo voz , pero actualmente las necesidades requieren de servicios adicionales como datos y multimedia al instante. Lo anterior es el objetivo de las redes inalámbricas de 3ª Generación.

Recientemente, se han realizado diversas investigaciones acerca del uso del Acceso Múltiple por División de Código (CDMA), siendo la tecnología WCDMA la interfaz de aire de tercera generación más adoptada como esquema de acceso múltiple para IMT-2000 (Sistema Internacional de Telecomunicaciones Móviles) y UMTS (Sistema de Telecomunicaciones Móviles Universal).

WCDMA (Wideband CDMA) surgió del proyecto 3GPP (Proyecto de Colaboración de la 3ª Generación) con la unión de estándares de los grupos de Europa, Japón, Corea, EU y China. Es un sistema de banda ancha de Secuencia Directa CDMA (Direct – Sequence Code Division Multiple Access DS-SS-CDMA) que soporta tasas de datos altas. Esta diseñado para desplegarse en conjunto con GSM (Sistema Global para Comunicaciones Móviles), la tecnología más empleada en nuestros días.

La evolución de GSM que manejaba conmutación de circuitos, a GPRS (Servicio General de Paquetes vía Radio) que realiza conmutación de paquetes, permite el uso más eficiente en este tipo de transmisión; poniendo en marcha una red de conmutación nueva. Para el despliegue de la tecnología WCDMA como interfaz de aire de IMT-2000/UMTS, se prevé un cambio importante en la infraestructura establecida para los operadores que optaron por GSM, ya que implicará un gasto importante en sus estaciones base. En cambio, los que optaron por la tecnología CDMA, presentan una inversión más fuerte al inicio para su despliegue, pero el migrar hacia WCDMA será cuestión de complementar el hardware y actualizar su software.

El objetivo del trabajo es describir detalladamente los elementos que permiten el funcionamiento de la tecnología WCDMA, desde los orígenes de la telefonía celular, las tecnologías más usadas alrededor del mundo y su despliegue en Europa y Japón. Se realiza un estudio detallado del funcionamiento de GSM, GPRS, EDGE (Entorno de Datos GSM Mejorado) y CDMA debido a su importancia y actualidad; proyectando estas tecnologías hacia la utilización de WCDMA como su interfaz de aire.

En el capítulo 1 se muestra un panorama general desde el inicio de la telefonía celular, los datos más relevantes en ese periodo y los alcances importantes en las dos primeras generaciones de telefonía celular. Se exponen algunas de las tecnologías que se utilizan actualmente y su evolución en el mercado latinoamericano.

En el capítulo 2 se detalla acerca de la tecnología GSM, su arquitectura de red y los elementos más importantes para su funcionamiento, desde sus estaciones base hasta las capacidades de transmisión que soporta; finalizando con un ejemplo de una llamada GSM.

En el capítulo 3, se presentan los conceptos básicos asociados a CDMA, como capacidades de acceso, rechazo a interferencias y funcionamiento de este tipo de sistemas; finalizando con los alcances y ventajas que obtienen los usuarios ante esta tecnología de segunda generación. El cuarto capítulo contempla la evolución de las propuestas que llevaron al resultado del concepto de IMT-2000, describiendo los elementos y opciones más interesantes.

En el quinto capítulo se muestran los fundamentos esenciales de la comunicación por radio frecuencia, su entorno funcional y la propagación de señales; contemplando los diseños y aplicaciones de macrocélulas y microcélulas. En el sexto se exponen los requerimientos y procedimientos para el diseño de la interfaz de radio CDMA, integrando a este esquema los canales lógicos y físicos, los códigos de esparcimiento y los tipos de modulación utilizada; llegando a las metodologías de transferencia, sin dejar de contemplar el control de potencia.

En el séptimo capítulo se realiza una comparación entre WCDMA y los sistemas de segunda generación más importantes, sus principales parámetros, su arquitectura para el acceso de radio y un análisis de sus componentes, ofreciendo una visión del porqué utilizar esta tecnología en los sistemas de tercera generación; finalizando con algunos resultados de la estandarización en Europa y Japón.

En el último capítulo se dan los antecedentes del concepto de UMTS, la migración de diversas tecnologías hacia él y las consideraciones de infraestructura para lograrlo. Se mencionan las organizaciones involucradas en la normalización y licencias; concluyendo con la situación actual de la telefonía celular en México.

1. Tecnologías Inalámbricas Celulares de 2da. Generación para Telefonía Móvil

1.1. Primera Generación de Telefonía Celular

En 1971 surgió el concepto de celular como un avanzado sistema de comunicación móvil. Esta intrigante idea propuso el reemplazo de las estaciones base, ubicadas en el centro de la ciudad, por múltiples copias de tales estaciones de menor potencia distribuidas a lo largo del área de cobertura. Estas células son ligadas a través de un centro de conmutación central y una función de control.

Los primeros sistemas que alcanzaron un desarrollo comercial significativo aparecieron en los años ochenta, en Europa los sistemas NMT-450 y en EE.UU., el sistema AMPS- "American Mobile Phone System" adaptado en Europa como TACS "Total Access Communication System" empezaron ofreciendo un servicio que tenía, desde el punto de vista del usuario, las características del servicio actual:

- Posibilidad de realizar y recibir llamadas en cualquier punto del área de cobertura del sistema.
- Continuidad de la comunicación al pasar del radio de acción de una estación base a una estación contigua.

Sin embargo, estos sistemas sólo alcanzaron penetraciones limitadas debido a los costos elevados que implicaban. Solo en los países nórdicos, en los que las condiciones económicas –altas rentas per cápita- y sociales –tendencia a vivir en el campo- eran particularmente favorables, se llegó a una amplia penetración.

¿Cuáles fueron las razones de los costos tan elevados?

Existieron dos tipos:

- a) Por un lado, la falta de competencia entre los operadores y suministradores de equipos que obligaran a bajar los precios.
- b) Por otro lado, dificultades de orden técnico. Entre estas, las más destacadas fueron:
 - Existencia de varios estándares y, por tanto, series de fabricación limitadas.
 - Sistemas de baja capacidad o eficiencia radioeléctrica que implicaba un gran consumo de frecuencias o bien instalaciones caras.
 - Sistemas analógicos que implican una tecnología voluminosa y de difícil mantenimiento.
 - Sistemas propietarios, es decir, dependencia de un único fabricante.

Esta primera generación de telefonía móvil hizo su aparición en 1979, y se caracterizó por ser analógica y estrictamente para voz. La calidad de los enlaces de voz era muy baja, la transferencia entre células era muy imprecisa, eran sistemas basados en FDMA, "Frequency Division Multiple Access" y la seguridad no existía. Estos sistemas eran incompatibles entre sí. La tecnología predominante de esta generación fue AMPS "Advanced Mobile Phone System".

El siguiente cuadro muestra algunos sistemas de telefonía celular empleados durante la primera generación:

Sistema	País	No. de Canales	Espaciado entre canales (KHz)
AMPS	EE.UU.	832	30
C-450	Alemania	573	10
ETACS	Reino Unido	1240	25
JTACS	Japón	800	12.5
NMT-900	Escandinavia	1999	12.5
NMT-450	Escandinavia	180	25
NTT	Japón	2400	6.25
Radiocom-2000	Francia	560	12.5
RTMS	Italia	200	25
TACS	Reino Unido	1000	125

Tabla 1.1 Sistemas de Telefonía Celular de 1ra Generación

1.2. Segunda generación de Telefonía Celular

La segunda generación 2G se empieza a diseñar en los 1980's y llega en 1990, a diferencia de la primera, esta se caracterizó por ser digital. El sistema 2G utiliza protocolos de codificación más sofisticados y son de los sistemas de telefonía celular usados en la actualidad. Las tecnologías predominantes son:

- Tecnologías basadas en TDMA
 - GSM Sistema Global para Comunicaciones Móviles. "Global System for Mobile Communications".
 - IS-136 conocido también como TIA/EIA-136 o ANSI-136.
 - PDC Comunicaciones Digitales Personales "Personal Digital Communications"; utilizada en Japón.
- Tecnologías basadas en CDMA
 - IS-95 basado en CDMA Código de división múltiple de acceso "Code Division Multiple Access".

Los sistemas 2G cuentan con una transmisión de voz digitalizada con tasas de transmisión bajas. Se pueden ofrecer servicios auxiliares tales como datos, fax y SMS (Servicio de Mensajes Cortos "Short Message Service"). La mayoría de los protocolos de segunda generación ofrecen diferentes niveles de encriptación.

La principal ventaja de los teléfonos de segunda generación sobre sus predecesores analógicos es su gran capacidad y menor necesidad de carga de batería. En otras palabras, ellos satisfacen a los usuarios asignándoles una frecuencia que consuma menor potencia.

1.2.1. Cobertura en los sistemas 2G

Como los tamaños de las células son cada vez más reducidos, pasando de minicélulas de 2Km (GSM) a microcélulas de unos 500m (DCS-1800) y picocélulas de 50m (DECT), es necesario mejorar la precisión de las predicciones. En efecto, un error de cálculo de cobertura de 100m puede ser admisible en una minicélula, pero no en una picocélula. Por otro lado, se exige la cobertura en entornos especiales: túneles, estacionamientos subterráneos, interiores de edificios, etc., lo que conlleva la caracterización de estos nuevos entornos. También adquiere cada vez más

importancia la caracterización del canal en banda ancha para la optimización de la operación. Debe subrayarse que los operadores, una vez superada la fase de despliegue de la red móvil, deben consolidar sus objetivos de calidad-cobertura, con un análisis más detallado de las perturbaciones para compensar sus efectos y mejorar la calidad de las telecomunicaciones.

Una solución que se está estudiando activamente es la que emplea la Teoría Geométrica de la Difracción (GTD) y Teoría Uniforme de la Difracción (UTD), tanto en forma bidimensional (2D) y tridimensional (3D), combinada con modelos de dispersión radar y linealización de perfiles. Son de destacar también los nuevos métodos de predicción basados en redes neuronales combinados con medidas.

Asimismo, se empiezan a utilizar bases de datos digitales de ciudades para aplicar los más detallados modelos urbanos, tanto en banda estrecha, para el cálculo de la pérdida básica de propagación, como en banda ancha.

1.3. IS-136 TDMA. Acceso Múltiple por División de Tiempo (Time Division Multiple Access)

IS-136 (también conocido como D-AMPS) es un tecnología para transmisión digital de señales de radio entre un teléfono móvil y una estación radio base. En IS-136, empleando TDMA los canales son divididos en cierto número de ranuras de tiempo, de tal manera varias llamadas pueden compartir un solo canal sin interferirse una con otra.

IS-136 es uno de los sistemas inalámbricos digitales más ampliamente extendidos en el continente americano. Ofrece un patrón evolutivo natural de las redes analógicas AMPS, cobertura eficiente y está bien equipado para el desarrollo de aplicaciones emergentes, como Wireless Virtual Private Networks (VPNs), y fue la plataforma ideal para PCS (Personal Communication Services).

1.4. IS-95/CDMA One. Acceso Múltiple por División de Código Uno (Code Division Multiple Access One)

IS-95 es una tecnología usada para telefonía celular con reutilización de frecuencia, a diferencia de las tecnologías de División de Tiempo no se utilizan canales multiplexados en tiempo para la transmisión de información (voz o datos), en lugar de ello todas las señales son montadas en una sola portadora (1.25 MHz) para su radio-transmisión y a cada señal se le asigna un código que la identifica para ser reconvertida a información (voz o datos).

En CDMA, una frecuencia es dividida en un número de códigos. El estándar original de CDMA es IS-95 CDMA (también conocido como CdmaOne). El siguiente paso evolutivo es Cdma2000.

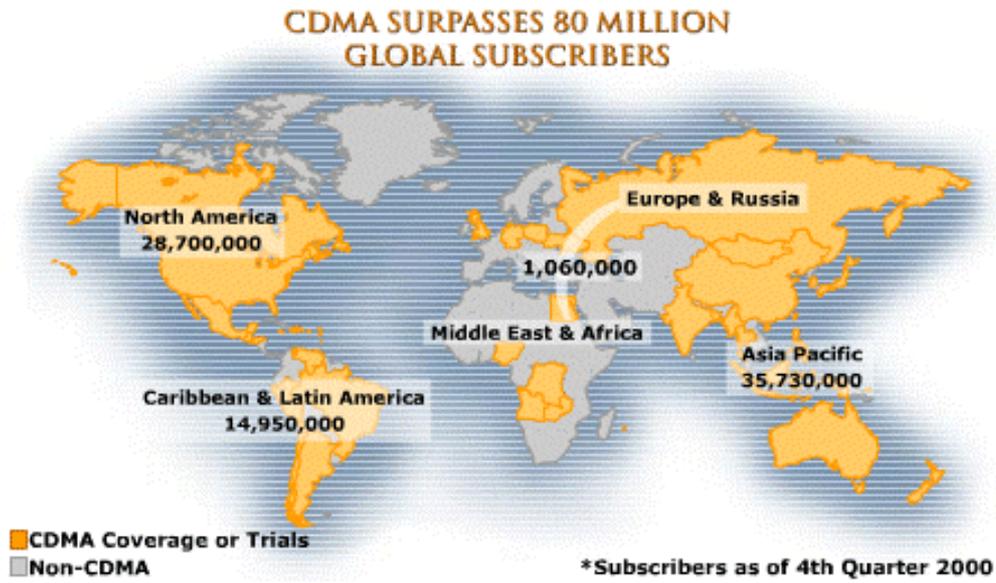
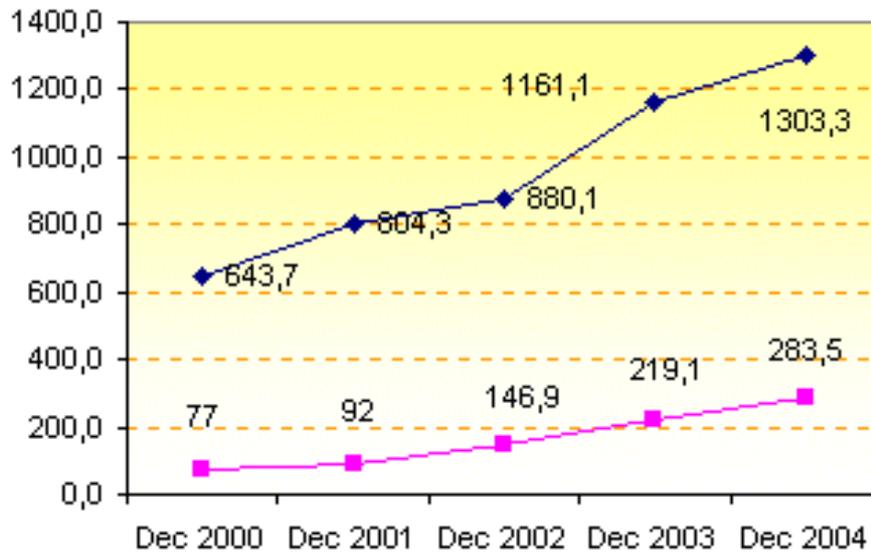


Fig. 1.1. Suscriptores de CDMA en el Mundo hasta el 2000

Previsión de crecimiento CDMA



	DEC 2000	DEC 2001	DEC 2002	DEC 2003	DEC 2004
Total Abonados	643,7	804,3	880,1	1161,1	1303,3
CDMA	77	92	146,9	219,1	283,5

Fuente: Micrologic Research

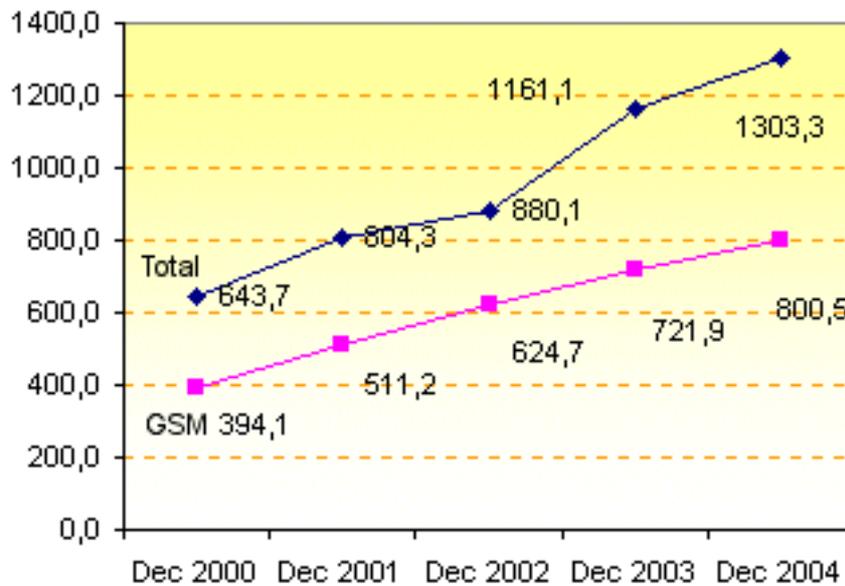
Fig. 1.2. Previsión de crecimiento CDMA

1.5. GSM Sistema Global para Comunicaciones Móviles / GPRS Servicio General de Radio de Paquetes

GSM, introducido en 1991, es uno de los sistemas celulares digitales líderes. Utiliza un canal de banda angosta y TDMA. Ocho llamadas simultáneas pueden ocupar un mismo canal de frecuencia. GSM simplifica la transmisión de datos para permitir a laptops y palmtops ser conectadas a teléfonos GSM. Ofrece la integración de servicios como correo de voz, datos de alta velocidad, fax, radio localizador y mensajes cortos, así como comunicación segura. Ofrece la mejor calidad de voz de cualquier estándar digital inalámbrico actual.

GSM, originalmente un estándar Europeo para telefonía móvil digital, se ha vuelto el sistema móvil más usado a nivel global en aproximadamente 100 países. Las redes de GSM operan en las bandas de 900 MHz y 1800 MHz en Europa, Asia y Australia, y en la banda de 1900 MHz en Norte América y en partes de Latinoamérica y África.

Previsión de crecimiento GSM



	Dic 2000	Dic 2001	Dic 2002	Dic 2003	Dic 2004
Total Abonados	643,7	804,3	880,1	1161,1	1303,3
Total GSM Abonados	394,1	511,2	624,7	721,9	800,5

Fig. 1.3. Previsión de Crecimiento GSM

1.6. PDC Comunicaciones Digitales Personales (Personal Digital Cellular)

PDC es una tecnología de segunda generación usada en la comunicación digital telefónica portátil en Japón. Utiliza una variación de TDMA (Acceso Múltiple por División de Tiempo) que divide cada canal celular en ranuras de tiempo individuales aumentando la cantidad de datos que puedan ser transportados. Diversas puestas en práctica mutuamente incompatibles de las tecnologías de TDMA están en uso por todo el mundo, siendo el más prolífico GSM (Sistema Global para las Comunicaciones Móviles).

PDC funciona en las bandas de 800 MHz y 1,500 MHz, haciendo un uso muy eficiente del ancho de banda disponible. Este sistema puede funcionar en dos modos: Full Rate y Half Rate. Los canales Half Rate reducen la calidad de voz y la tasa de transmisión de datos, pero permiten que más canales ocupen el mismo ancho de banda.

Junto con los otros estándares de comunicaciones móviles, PDC se puede desarrollar a lo largo de una trayectoria evolutiva gradual al estándar global IMT-2000. De hecho, una de las tecnologías IMT-2000, WCDMA (Wideband CDMA), está pasando con la prueba inicial en Japón.

1.7. Generación 2.5G

La generación 2.5G ofrece características extendidas que proporcionan capacidades adicionales que los sistemas de segunda generación tales como GPRS Sistema General de Paquetes vía Radio, HSCSD Circuitos Conmutados de Datos de Alta Velocidad, EDGE Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM, IS-136B, IS-95B, entre otros. La tecnología 2.5G es más rápida y más económica que actualizarse a los sistemas de tercera generación.

Muchos de los proveedores de servicios de telecomunicaciones se han movido a las redes 2.5G antes de entrar masivamente a 3G. Los operadores europeos y de Estados Unidos se empezaron a mover a 2.5G en el 2001. Mientras que Japón fue directo de 2G a 3G desde el 2001.



Fig. 1.4. Porcentaje de usuarios o abonados de los sistemas de telefonía móvil.

Evolución Mercado por Tecnología Acceso

	'01	'02	'03	'04	'05
3G	1.6	3.4	6.5	19.0	39.3
IS-136	55.8	65.4	68.6	72.1	73.1
GSM	327.4	416.1	477.5	535.6	553.7
PDC	30.4	33.4	25.5	22.1	13.3
CdmaOne	92.0	146.9	219.1	283.5	375.6
Total Digital	507.2	665.2	797.1	932.2	1054.9
Análoga	27.9	25.2	12.5	7.5	4.0
Total Celular	535.1	690.4	809.6	939.7	1058.9

Tabla 1.1 Evolución de Mercado por tecnología de Acceso

En la siguiente tabla se recogen las combinaciones más utilizadas por los distintos sistemas de explotación. Se observa como predomina el FDMA siempre combinado con otras técnicas.

	GSM	DCS 1800	IS-136	PDC	DECT	PHS	IS-95
Acceso Múltiple	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	TDMA/ FDMA	CDMA/ FDMA
Tasa Binaria Del Canal	270,8 Kbps	270,8 Kbps	48,6 Kbps	42 Kbps	1,152 Mbps	384 Kbps	
Separación Entre Portadoras	200 KHz	200 KHz	30 KHz	25 KHz	1,728 KHz	300 KHz	1,250 KHz
Duración Del Time Slot	0,577 ms		6,7 ms	6,7 ms	0,4177 ms	0,625 ms	
Codificación De La Voz	13 Kbps RPE-LTP	13 Kbps RPE-LTP	7,95 Kbps VSELP	7,95 Kbps VSELP	32 Kbps ADPCM	32 Kbps ADPCM	8 Kbps QCELP
Separación Duplex	FDD	FDD	FDD	FDD	TDD	TDD	FDD
Modulación	GMSK	GMSK	Pi/4 DQPSK	Pi/4 DQPSK	GFSK	Pi/4 DQPSK	BPSK/QPSK
Ecuilización Adaptativa	NECESARIA	NECESARIA	NECESARIA	OPCIONAL	NO	NO	
Información Útil Por Time Slot	73%	ND	80%	80%	67%	71%	
Canales Por Portadora	8 O 16	8	3 O 6	12	4	8	
Chip Rate							12.88
Banda Enlace Ascendente	935-960	1710-1785	869-894	869-898	1880-1900	1895-1918	869-894
Banda Enlace Descendente	890-915	1805-1880	824-849	824-849			824-849

Tabla 1.2.

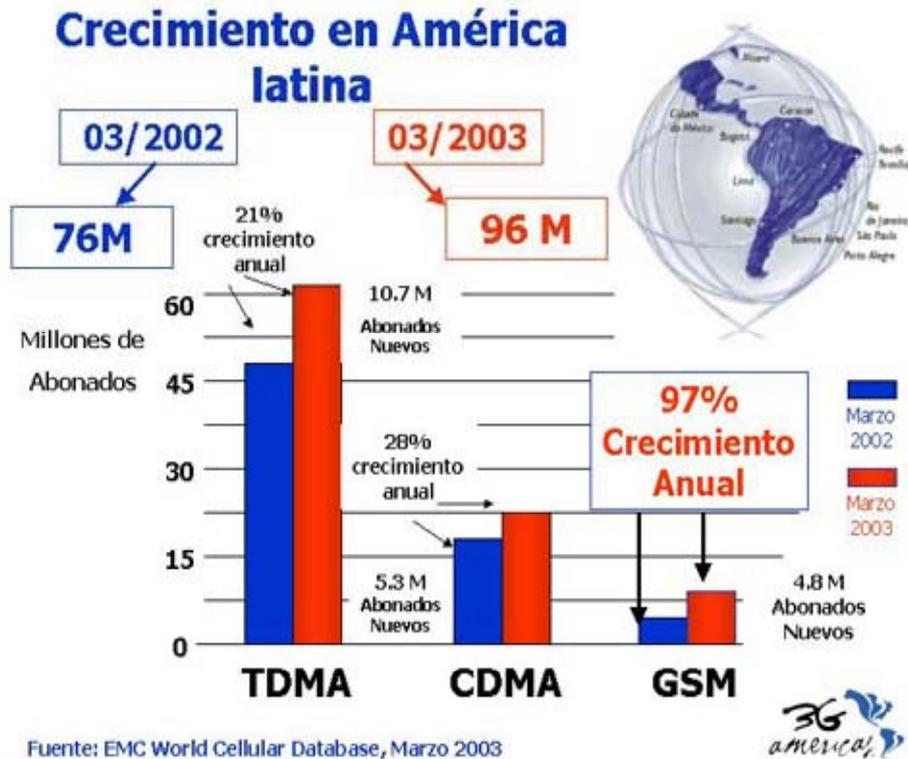


Fig. 1.5. Crecimiento en América Latina



Fuente: EMC World Cellular Database, sept 2002

Fig. 1.6. Proyección de abonados en el mundo para el año 2006

2. GSM Sistema Global para Comunicaciones Móviles

Desde el momento de la aparición de los primeros equipos informáticos, surgió la necesidad de poder interconectarlos de forma remota. En un principio, y dado que el número de usuarios que utilizaban estos equipos era muy reducido, los medios utilizados para esta interconexión fueron las redes de telecomunicación ya existentes, que eran utilizadas para el servicio de telefonía convencional.

La capacidad de los sistemas analógicos no era la suficiente para dar servicio al número creciente de abonados, por lo que existían casos concretos de ciudades que ofrecían un servicio deficiente debido a la existencia de un mayor número de abonados de los que podían atender los sistemas. Los sistemas digitales en general y el GSM en particular se contemplaban como solución a este problema. El aumento de la capacidad ofrecida por el sistema se basa en la posibilidad de una mejor planificación celular con una mayor reutilización de las frecuencias, así como en la futura existencia de canales codificados a velocidad media, que permite duplicar la capacidad del sistema con idéntica ocupación del espectro radioeléctrico.

El GSM, particularmente, tiene también como objetivo prioritario el poder ofrecer “roaming” internacional. Esto se debe a la particular situación en la que se encontraba Europa, con multitud de sistemas celulares en operación incompatibles entre sí, exceptuando el sistema NMT 450 y el NMT 900 en los países Nórdicos. Este objetivo concreto es específico del GSM, puesto que ésta no era la situación que se daba por ejemplo en los Estados Unidos, donde existían acuerdos entre diferentes operadores AMPS para dar servicios a abonados de otros operadores.

Por supuesto que también existen razones como mejora de la calidad, confidencialidad de la información y de la identidad de los abonados, seguridad frente a usos fraudulentos del sistema y la introducción de nuevos servicios.

En consecuencia, tanto el GSM como el DCS-1800 (GSM en la banda de los 1800 MHz) son sistemas pensados para satisfacer las necesidades de los abonados de telefonía móvil.

2.1 Arquitectura de Red

La infraestructura básica de un sistema GSM no difiere en mucho de la estructura de cualquier red celular. La mayoría de los elementos implicados son compartidos con otros servicios.

El sistema consiste en una red de radio-células contiguas para cubrir una determinada área de servicio. Cada célula tiene una BTS (Base Transceiver Station o Estación Base Transreceptora) que opera con un conjunto de canales diferentes de los utilizados por las células adyacentes.

Un determinado conjunto de BTSs es controlado por una BSC (Base Station Controller o Estación Base Controladora). Un grupo de BSCs es a su vez controlado por una MSC (Mobile Switching Center o Centro de Conmutación Móvil) que enruta llamadas hacia y desde redes externas (RTB, RDSI, etc.) públicas o privadas (Figura 2.1).

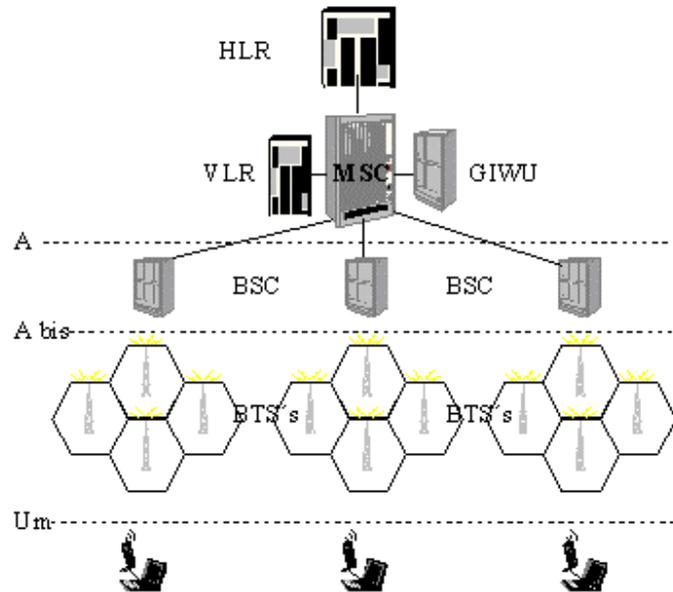


Fig. 2.1. Infraestructura básica de un sistema GSM

Partes que conforman la estructura de red:

- 2.1.1 Estación Base Transreceptora (BTS).
- 2.1.2 Estación Base Controladora (BSC).
- 2.1.3 Centro de Conmutación Móvil (MSC).
- 2.1.4 Registro de Ubicación Local (HLR).
- 2.1.5 Registro de Ubicación Visitante (VLR).
- 2.1.6 Principios operativos.

2.1.1 Estación Base Transreceptora (BTS)

La función principal de una BTS es proporcionar un número de canales radio a la zona a la que da servicio. La antena puede ser omnidireccional o sectorial (se divide la célula en tres sectores, con diferentes juegos de frecuencias). Una BTS con un transceptor y con codificación "full rate" proporciona 8 canales en el enlace radio, uno de los cuales se utiliza para señalización. Con una codificación "half rate" el número de canales disponibles se duplica ($16=15+1$).

2.1.2 Estación Base Controladora (BSC)

La función primaria de una BSC es el mantenimiento de la llamada, así como la adaptación de la velocidad del enlace radio al estándar de 64 Kbps utilizado por la red. Desde el momento en que el usuario es móvil, éste puede estar cambiando con más o menos frecuencia de célula; el procedimiento por el que la llamada se mantiene en estas condiciones sin que se produzcan interrupciones importantes se conoce con el nombre de "handover" o transferencia de llamada. GSM proporciona unos tiempos de conmutación mucho más bajos que otros sistemas celulares.

En GSM, durante una llamada, la estación móvil está continuamente "escuchando" a una serie de estaciones base así como informando a la BSC de la calidad de la señal con que está trabajando. Esto permite a la BSC tomar la decisión de cuando iniciar una transferencia de llamada y a qué célula. La BSC controla a su vez la potencia de trabajo de la estación móvil para minimizar la interferencia producida a otros usuarios y aumentar la duración de la batería.

2.1.3 Centro de Conmutación Móvil (MSC)

La MSC es el corazón del sistema GSM. Es el centro de control de llamadas, responsable del establecimiento, enrutamiento y terminación de cualquier llamada, control de los servicios suplementarios y de la transferencia de llamada entre MSCs, así como la recogida de información necesaria para tarificación. También actúa de interfaz entre la red GSM y cualquier otra red pública o privada de telefonía o datos. Para soportar los servicios de telecomunicaciones, la MSC incorpora un elemento conocido como GIWU (GSM InterWorking Unit).

2.1.4 Registro de Ubicación Local (HLR)

El HLR contiene información de estado (nivel de suscripción, servicios suplementarios, etc.) de cada usuario asignado al mismo, así como información sobre la posible área visitada, a efectos de enrutar llamadas destinadas al mismo (terminadas en el móvil). En un esquema de numeración múltiple (Multinumbering) pueden existir números adicionales (AMSISDN) dependientes de un principal (MSISDN) asociados a diferentes servicios de datos y fax, caracterizados por una serie de atributos que también quedan recogidos en esta base de datos.

2.1.5 Registro de Ubicación Visitante (VLR)

El VLR contiene información de estado de todos los usuarios que en un momento dado están registrados dentro de su zona de influencia; información que ha sido requerida y obtenida a partir de los datos contenidos en el HLR del que depende el usuario. Contiene información sobre si el usuario está o no activo, a efectos de evitar retardos y consumo de recursos innecesarios cuando la estación móvil esta apagada.

2.1.6 Principios Operativos

GSM trabaja en la banda de 900 MHz con una combinación de FDMA (Frequency División Multiple Access) y TDMA (Time Division Multiple Access) para conseguir los requeridos 124 pares de portadoras radio de 200 KHz, cada una de los cuales puede manejar 8 canales por medio de TDMA con 8 ranuras de tiempo (0.557 ms.). Es decir, aunque una portadora da servicio a 8 canales, en un instante dado sólo uno de esos canales está utilizando el ancho de banda disponible. Cada uno de esos canales podría subdividirse a su vez en dos canales (codificación half-rate).

La banda de frecuencia utilizada es 890-915 MHz para el enlace ascendente (Móvil-BTS) y 935-960 MHz para el descendente (BTS-Móvil). Para prevenir interferencias, las BTSs adyacentes usan diferentes frecuencias.

La modulación utilizada es GMSK (Gaussian Minimum Shift Key) a una velocidad de 270 Kbps. El codificador de canal tiene dos modos de operación dependiendo de que la información a transmitir sea telefonía (voz) o datos.

La voz es muestreada, cuantificada y codificada a una velocidad básica de 13 Kbps que pasa a 22.8 Kbps, cuando se añade la corrección de errores hacia delante (FEC). La información adicional de sincronización y los periodos de guarda entre ranuras de tiempo aumenta la velocidad de bit a 33.9 Kbps.

Para poder soportar la transmisión de datos en una red GSM, es necesario implementar una serie de funcionalidades:

- Funciones de adaptación de velocidad.
- Funciones de corrección de errores RLP (Radio Link Protocol o Protocolo de Enlace de Radio).
- Funciones de conversión de protocolo L2R (Layer 2 Relay).

La adaptación de velocidad se realiza a dos niveles; en un primer nivel se adapta la velocidad de usuario a la velocidad del canal radio, y una segunda adaptación sobre 64Kbps. Las funciones de adaptación de velocidad se basan en las recomendaciones V.110 y X.30 del CCITT.

La función RLP introduce control de flujo y corrección de errores en las comunicaciones no transparentes, para conseguir una alta calidad de servicio.

La función L2R establece una conversión entre la estructura de datos de usuario y una estructura adaptada al protocolo RLP.

2.2. El Canal de Radio

2.2.1. Características del Canal de Radio

Una característica es que el canal de radio móvil de 900 MHz es lineal. Cualquier otra propiedad del canal a esas frecuencias es mala. Podemos ocupar el canal de radio mediante las alteraciones de la amplitud, frecuencia o fase de la portadora. Cualquiera de estos tres parámetros de la portadora se puede alterar, y estas alteraciones pueden llevar información que nosotros medimos en bits o símbolos por segundo. El espectro de radio es un recurso fijo y valioso con un valor incalculable. Los diseñadores de sistemas deben basar su estudio en mandar la información en el segmento más estrecho que se pueda del espectro asignado por cualquier cuerpo regulador. Hay dos fuentes de problemas dentro del canal: el ruido y las interferencias.

2.3. Frecuencias y Canales Lógicos

GSM utiliza dos bandas de 25 MHz, una para transmisión y otra para recepción (FDD). La banda de 890-915 MHz se usa para las transmisiones desde la MS hasta el BTS ("enlace de subida") y la banda de 935-960 MHz se usa para las transmisiones entre el BTS y la MS ("enlace de bajada"). GSM usa FDD y una combinación de TDMA y FHMA para proporcionar a las estaciones base y a los usuarios un acceso múltiple. Las bandas de frecuencias superiores e inferiores se dividen en canales de 200 KHz llamados ARFCN ("Absolute Radio Frequency Channel Number" ó Número de Canal de Radio Frecuencia Absoluta). El ARFCN denota un par de canales "enlace de subida" y "enlace de bajada" separados por 45 MHz y cada canal es compartido en el tiempo por hasta 8 usuarios usando TDMA.



Fig. 2.2 Una trama de voz y la estructura multitrama.

Cada uno de los 8 usuarios usa el mismo ARFCN y ocupa un único slot (ranura) de tiempo (TS) por trama. Las transmisiones de radio se hacen a una velocidad de 270.833 Kbps usando modulación digital binaria GMSK ("Gaussian Minimum Shift Keying") con $BT = 0.3$. El BT es el producto del ancho de banda del filtro por el periodo de bit de transmisión. Por lo tanto la duración de un bit es de 3.692 ms, y la velocidad efectiva de transmisión de cada usuario es de 33.854 Kbps (270.833 Kbps/8 usuarios). Con el estándar GSM, los datos se envían actualmente a una velocidad máxima de 24.7 Kbps. Cada TS tiene un tamaño equivalente en un canal de radio de 156.25 bits, y una duración de 576.92 μ s como se muestra en la Figura 2.2, y una trama TDMA simple en GSM dura 4.615 ms. El número de total de canales disponibles dentro de los 25 MHz de banda es de 125 (asumiendo que no hay ninguna banda de guarda). Dado que cada canal de radio está formado por 8 ranuras de tiempo, hacen un total de 1000 canales de tráfico en GSM. En implementaciones prácticas, se proporciona una banda de guarda de la parte más alta y más baja del espectro de GSM, y disponemos tan solo de 124 canales. La combinación de un número de TS y un ARFCN constituyen un canal físico tanto para el "enlace de subida" como para el "enlace de bajada". Cada canal físico en un sistema GSM se puede proyectar en diferentes canales lógicos en diferentes tiempos. Es decir, cada ranura de tiempo específico o trama debe estar dedicado a manipular el tráfico de datos (voz, facsímil o teletexto), o a señalizar datos (desde el MSC, la estación base o la MS).

Las especificaciones GSM definen una gran variedad de canales lógicos que pueden ser usados para enlazar la capa física con la capa de datos dentro de las capas de la red GSM. Estos canales lógicos transmiten eficientemente los datos del usuario, a parte de proporcionar el control de la red en cada ARFCN. GSM proporciona asignaciones explícitas de las ranuras de tiempo de las tramas para los diferentes canales lógicos.

Los canales lógicos se pueden separar en dos categorías principalmente:

- Canales de Tráfico (TCHs)
- Canales de Control

Los TCHs llevan voz codificada digitalmente o datos y tienen funciones idénticas y formatos tanto para el "enlace de bajada" como para el "enlace de subida". Los canales de control llevan comandos de señalización y control entre la estación base y la estación móvil. Se definen ciertos tipos de canales de control exclusivos para el enlace de subida o para el enlace de bajada. Hay seis clases diferentes de TCHs y un número aún mayor de Canales de Control, que vamos a describir brevemente a continuación.

2.3.1 Canales de Tráfico

Los canales de tráfico en GSM pueden ser de velocidad completa "full-rate" o de velocidad media "half-rate", y pueden llevar voz digitalizada o datos de usuario. Cuando transmitimos a velocidad completa, los datos están contenidos en un TS por trama. Cuando transmitimos a velocidad media, los datos de usuario se transportan en la misma ranura de tiempo, pero se envían en tramas alternativas.

En GSM, los datos TCH no se pueden enviar en el TS 0 ("time slot 0") sobre ciertos ARFCNs ya que este TS está reservado para los canales de control en la mayoría de las tramas. Además, cada trece tramas TCH se envía un canal de control asociado lento (SACCH) o tramas inactivas. La Figura 2.2 ilustra los datos de un TCH que se envían en tramas consecutivas. A cada grupo de 26 tramas consecutivas TDMA se le llama multitrama. De cada 26 tramas, la decimotercera y la vigésimo sexta corresponden con datos SACCH, o tramas inactivas. La 26ª trama contiene bits inactivos para el caso cuando se usan TCHs a velocidad completa, y contiene datos SACCH cuando se usa TCHs a velocidad media.

Los TCHs se usan para llevar voz codificada o datos de usuario. Se definen en GSM dos formas generales de canales de tráfico:

- Canal de Tráfico a Velocidad completa (TCH/F). Este canal transporta información a una velocidad de 22.8 Kbps.
- Canal de Tráfico a Velocidad Media (TCH/H). Este canal transporta información a una velocidad de 11.4 Kbps.

Para transportar voz codificada se van a utilizar dos tipos de canales:

- Canal de tráfico a velocidad completa para voz (TCH/FS). Lleva voz digitalizada a 13 Kbps. Después de la codificación del canal la velocidad es de 22.8 Kbps.
- Canal de tráfico a velocidad media de voz (TCH/HS). Ha sido diseñado para llevar voz digitalizada que ha sido muestreada a la mitad que la de un canal a velocidad completa. En este aspecto GSM se ha anticipado a la disponibilidad de codificadores normalizados de voz a velocidades de unos 6.5 Kbps. Después de la codificación del canal, la velocidad es de 11.4 Kbps.

Para llevar datos de usuario se definen los siguientes tipos de canales de tráfico:

- Canal de Tráfico a velocidad completa para datos a 9.6 Kbps (TCH/F9.6). Lleva datos de usuario enviados a 9600 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 bps.
- Canal de Tráfico a velocidad completa para datos a 4.8 Kbps (TCH/F4.8). Lleva datos de usuario enviados a 4800 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 bps.
- Canal de Tráfico a velocidad completa para datos a 2.4 Kbps (TCH/F2.4). Lleva datos de usuario enviados a 2400 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 22.8 bps.
- Canal de Tráfico a velocidad media para datos a 4.8 Kbps (TCH/H4.8). Lleva datos de usuario enviados a 4800 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 11.4 bps.
- Canal de Tráfico a velocidad media para datos a 2.4 Kbps (TCH/H2.4). Lleva datos de usuario enviados a 2400 bps. Con la codificación de corrección de errores aplicada según el estándar GSM, los datos se envían a 11.4 bps.

2.3.2.- Canales de Control

Se definen tres categorías de canales de control: difusión ("broadcast" ó BCH), comunes (CCCH) y dedicados (DCCH). Cada canal de control consiste en varios canales lógicos distribuidos en el tiempo para proporcionar las funciones de control necesarias en GSM. Los canales de control enlace de bajada BCH y CCCH se implementan sólo en ciertos canales ARFCN y se localizan en ranuras de tiempo de una forma específica. Concretamente, estos canales se localizan solo en el TS 0 y se emiten sólo durante ciertas tramas dentro de una secuencia repetitiva de 51 tramas (llamada multitrama de control del canal) sobre aquellos ARFCNs que se diseñan como canales "broadcast". Desde TS1 hasta TS7 se llevan canales de tráfico regulares.

En GSM se definen 34 ARFCNs como canales "difusión" estándar. Para cada canal de "broadcast" o difusión, la trama 51 no contiene ningún canal de "enlace de bajada" BCH o CCCH y se considera como una trama "idle". Sin embargo, el canal "enlace de subida" CCH puede recibir transmisiones durante el TS 0 de cualquier trama (incluso la trama "idle"). Por otra parte, los datos DCCH se pueden enviar durante cualquier ranura de tiempo y en cualquier trama, y hay tramas completas dedicadas específicamente para algunas transmisiones DCCH.

2.3.3- Canales "Broadcast" o de Difusión (BCH)

El BCH opera en el "enlace de bajada" de un ARFCN específico dentro de cada célula, y transmite datos sólo en la primer ranura (TS 0) de algunas tramas GSM. Al contrario que los TCHs que son dúplex, los BCHs solo usan el "enlace de bajada". El BCH sirve como un canal guía para cualquier móvil cercano que lo identifique y se enganche a él. El BCH proporciona sincronización para todos los móviles dentro de la célula y se monitoriza ocasionalmente por los móviles de células vecinas para recibir datos de potencia y poder realizar las decisiones de handover. Aunque los datos BCH se transmiten en TS0, las otras siete ranuras de una trama GSM del mismo ARFCN están disponibles para datos TCH, DCCH ó están fijadas por ráfagas vacías ("dummy").

Dentro de los canales BCH se definen tres tipos de canales separados que tienen acceso al TS0 durante varias tramas de la multitrama de control formada por 51 tramas. La Figura 2.3 muestra cómo se colocan las tramas en un BCH. Vamos a describir los tres tipos de canales BCH.

a) Canal de Control de "Broadcast" (BCCH)

El BCCH es un canal enlace de bajada que se usa para enviar información de identificación de célula y de red, así como características operativas de la célula (estructura actual de canales de control, disponibilidad de canales, y congestión). El BCCH también envía una lista de canales que están en uso en una célula. Desde la trama 2 a la 5 de una multitrama de control están contenidos los datos BCCH. Debe notarse que el TS0 contiene datos BCCH durante tramas específicas, y contiene otro tipo de canales BCH, canales de control comunes (CCCHs), o tramas idle, en otras tramas hasta completar las 51 tramas que forman la multitrama de control.

b) Canal Corrector de Frecuencia (FCCH)

El FCCH es una ráfaga de datos que ocupa el TS0 para la primera trama dentro de la multitrama de control, y que se repite cada diez tramas. El FCCH permite a cada estación móvil sincronizar su frecuencia interna de oscilación a la frecuencia exacta de la estación base.

c) Canal de Sincronización (SCH)

El SCH se envía en el TS0 de la trama inmediatamente después del FCCH y se usa para identificar a la estación base servidora mientras que permite a cada móvil la sincronización de las tramas con la estación base. El número de trama (FN), que oscila entre 0 y 2,715,647 se envía con el código de identificación de la estación base (BSIC) durante la ráfaga SCH. El BSIC es asignado individualmente a cada BTS en un sistema GSM. Dado que un móvil puede estar hasta a 30 Km de la BTS, es necesario frecuentemente ajustar la temporización de un usuario móvil particular de forma que la señal recibida en la estación base se sincroniza con el reloj de la estación base.

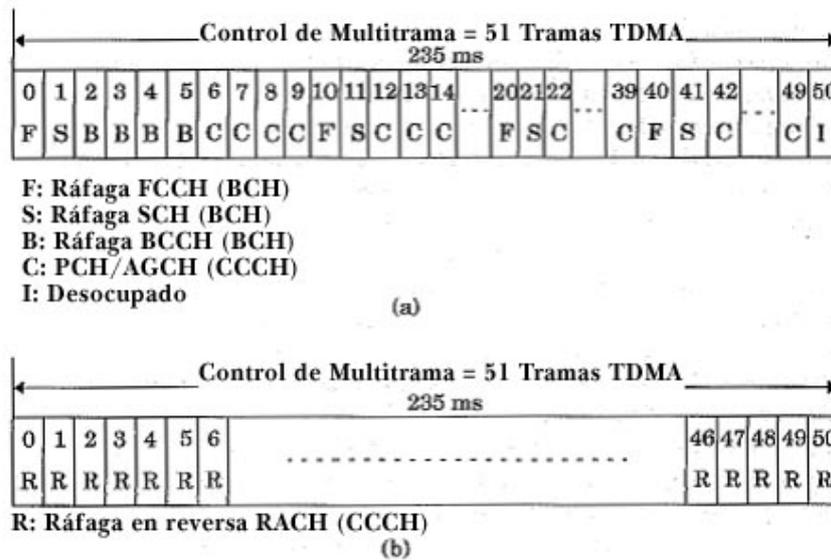


Fig. 2.3 Multitramas de control para el enlace de bajada (a) y para el enlace de subida (b)

2.3.4- Canales de Control Comunes (CCCH)

En aquellos ARFCN reservados para BCHs, los canales de control comunes ocupan el TS0 de cada trama que no esté ocupada por los BCHs o por tramas idle. Un CCCH puede estar formado por tres tipos diferentes de canales: el canal de búsqueda (PCH) "enlace de bajada", el canal de acceso aleatorio (RACH) "enlace de subida", y el canal de acceso concedido (AGCH) "enlace de bajada". Como vemos en la Figura 2.3, los CCCHs son los más comunes dentro de los canales de control y se usan para buscar a los abonados, asignar canales de señalización a los usuarios, y recibir contestaciones de los móviles para el servicio. Vamos a describir estos tipos de canales.

a) Canal de Búsqueda (PCH)

El PCH proporciona señales de búsqueda a todos los móviles de una célula, y avisa a los móviles si se ha producido alguna llamada procedente de la PTSN. El PCH transmite el IMSI (Identificación de Abonado Móvil Internacional) del abonado destino, junto con la petición de reconocimiento de la unidad móvil a través de un RACH. Alternativamente, el PCH se puede usar para proporcionar envíos de mensajes tipo ASCII en las células, como parte del servicio SMS de GSM.

b) Canal de Acceso Aleatorio (RACH)

El RACH es un canal "enlace de subida" usado por el móvil para confirmar una búsqueda procedente de un PCH, y también se usa para originar una llamada. El RACH usa un esquema de acceso slotted ALOHA. Todos los móviles deben de pedir acceso o responder ante una petición por parte de un PCH dentro del TS0 de una trama GSM. En el BTS, cada trama (incluso la trama idle) aceptará transmisiones RACH de los móviles durante TS0. Para establecer el servicio, la estación base debe responder a la transmisión RACH dándole un canal de tráfico y asignando un canal de control dedicado (SDCCH) para la señalización durante la llamada. Esta conexión se confirma por la estación base a través de un AGCH.

c) Canal de Acceso Concedido (AGCH)

El AGCH se usa por la estación base para proporcionar un enlace de comunicaciones con el móvil, y lleva datos que ordenan al móvil operar en un canal físico en particular (en un determinado TS y en un ARFCN) con un canal de control dedicado. El ACCH es el último mensaje de control enviado por la estación base antes de que el abonado sea eliminado del control del canal de control. El ACCH se usa por la estación base para responder a un RACH enviado por una MS en la trama CCCH previa.

2.3.5.- Canales de Control Dedicados (DCCH)

Hay tres tipos de canales de control dedicados en GSM y, como los canales de tráfico, son bidireccionales y tienen el mismo formato y función en el enlace de subida y en el enlace de bajada. Como los TCHs, los DCCHs pueden existir en cualquier ranura de cualquier ARFCN excepto en el TS0 de los ARFCN de los BCHs. Los Canales de Control Dedicados (SDCCH) se usan para proporcionar servicios de señalización requeridos por los usuarios. Los Canales de Control Asociados Lentos y Rápidos (SACCH y FACCH) se usan para supervisar las transmisiones de datos entre la estación móvil y la estación base durante una llamada.

a) Canales de Control Dedicados (SDCCH)

El SDCCH lleva datos de señalización siguiendo la conexión del móvil con la estación base, y justo antes de la conexión lo crea la estación base. El SDCCH se asegura que la MS y la estación base permanezcan conectados mientras que la estación base y el MSC verifican la unidad del abonado y localiza los recursos para el móvil. El SDCCH se puede pensar como un canal intermedio y temporal que acepta una nueva llamada procedente de un BCH y mantiene el tráfico mientras está esperando que la estación base asigne un TCH. El SDCCH se usa para enviar mensajes de autenticación y de alerta (pero no de voz). A los SDCCH se les puede asignar su propio canal físico o pueden ocupar el TS0 del BCH si la demanda de BCHs o CCCHs es baja.

b) Canal de Control Asociado Lento (SACCH)

El SACCH está siempre asociado a un canal de tráfico o a un SDCCH y se asigna dentro del mismo canal físico. Por tanto, cada ARFCN sistemáticamente lleva datos SACCH para todos sus usuarios actuales. El SACCH lleva información general entre la MS y el BTS. En el enlace de bajada, el SACCH se usa para enviar información lenta pero regular sobre los cambios de control al móvil, tales como instrucciones sobre la potencia a transmitir e instrucciones específicas de temporización para cada usuario del ARFCN. En el enlace de subida, lleva información acerca de la potencia de la señal recibida y de la calidad del TCH, así como las medidas BCH de las células vecinas. El SACCH se transmite durante la decimotercera trama

(y la vigésimo sexta si se usa velocidad media) de cada multitrama de control (ver Figura 2.3), y dentro de esta trama, las 8 ranuras se usan para proporcionar datos SACCH a cada uno de los 8 usuarios (ó 16) del ARFCN.

c) Canales de Control Asociados Rápidos (FACCH)

El FACCH lleva mensajes urgentes, y contienen esencialmente el mismo tipo de información que los SDCCH. Un FACCH se asigna cuando un SDCCH no se ha dedicado para un usuario particular y hay un mensaje urgente (como una respuesta de transferencia de llamada). El FACCH gana tiempo de acceso a una ranura "robando" tramas del canal de tráfico al que está asignado. Esto se hace activando dos bits especiales, llamados bits de robo ("stealing bits"), de una ráfaga TCH. Si se activan los stealing bits, el slot sabe que contiene datos FACCH y no un canal de tráfico, para esa trama.

2.4. Señalización dentro del Sistema de Conmutación

La señalización dentro del sistema de conmutación de GSM está basada en las recomendaciones del CCITT (ITU) para los sistemas de señalización por canal común.

Un nuevo esquema de señalización ha sido desarrollado especialmente para las redes GSM. La parte de aplicación de móviles (MAP), elaborada por el ETSI (Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicación), corresponde a los niveles más altos de señalización entre la MSC y las siguientes entidades: los registros de posición (HLR y VLR), el AUC, el EIR y otras MSC. Los niveles de bajos en la señalización son gestionados por la parte de transferencia de mensajes (MTP) dentro del sistema de señalización CCITT N° 7. Entre MAP y MTP se utiliza la parte de aplicación de las capacidades transaccionales (TCAP) y la parte de control de la conexión de conexión de señalización (SCCP).

La señalización debe operar internacionalmente entre las redes GSM y los registros de posición. Esta señalización es adicional al tráfico telefónico convencional, puesto que el GSM ha introducido nuevas características tales como el seguimiento internacional y la autenticación. Además de los dos mencionados, otros procedimientos gestionados por la MAP son:

- Traspaso de llamada (cambio de radio canal en el transcurso de la llamada).
- Transferencia de información de abonado y actualización de la posición del abonado móvil en los registros de localización.
- Gestión de los servicios de abonado.
- Transferencia de datos de seguridad.

2.5. Interfaz A y A-Bis

La señalización entre el sistema de conmutación y el sistema de estaciones base (interfaz A), se realiza según la parte de aplicación del sistema de estaciones base (BSSAP) dentro del sistema de señalización CCITT N° 7. Algunos procedimientos gestionados por la BSSAP son:

- Asignación y liberación de recursos radio.
- Traspaso de llamada.
- Control de llamada.
- Gestión de la movilidad, etc.

Los niveles bajos de señalización son gestionados por la parte de transferencia de mensajes (MTP) del sistema de señalización por canal común CCITT N° 7.

La señalización entre BSC y BTS (interfaz A-bis) es implementada como un esquema especial de la señalización por canal común para canales PCM de 64 Kbps. Uno de los canales se usa como canal de señalización transportando información de señalización según el protocolo de acceso de enlace sobre canal-D (LAPD) para GSM.

2.6. Ejemplo de una Llamada GSM

Para comprender cómo se usan los diferentes canales de tráfico y de control, consideremos el caso de que se origine una llamada en GSM. Primero, la estación móvil debe estar sincronizada a una estación base cercana como se hace en un BCH. Recibiendo los mensajes FCCH, SCH y BCCH, el móvil se enganchará al sistema y al BCH apropiado. Para originar una llamada, el usuario primero marca la combinación de dígitos correspondiente y presiona el botón de "enviar" del teléfono GSM. El móvil transmite una ráfaga de datos RACH, usando el mismo ARFCN que la estación base a la que está enganchado.

La estación base entonces responde con un mensaje AGCH sobre el CCCH que asigna al móvil un nuevo canal para una conexión SDCCH. El móvil, que está recibiendo en la TS0 del BCH, recibe su asignación de ARFCN y su TS por parte del AGCH e inmediatamente cambia su sintonización a su nuevo ARFCN y TS. Esta nueva asignación del ARFCN y del TS es físicamente el SDCCH (no el TCH). Una vez sintonizado al SDCCH, el móvil primero espera a la trama SDCCH que se transmite (la espera será como mucho de 26 tramas cada 120 ms, como se muestra en la Figura 2.5), que informa al móvil del adelanto de temporización adecuado y de los comandos de potencia a transmitir. La estación base es capaz de determinar el adelanto de temporización adecuado y el nivel de señal del móvil gracias al último RACH enviado por el móvil, y envía los valores adecuados a través del SACCH. Hasta que estas señales no le son enviadas y procesadas, el móvil no puede transmitir ráfagas normales como se requieren para un tráfico de voz. El SDCCH envía mensajes entre la unidad móvil y la estación base, teniendo cuidado de la autenticación y la validación del usuario, mientras que la PSTN conecta la dirección marcada con el MSC, y el MSC conmuta un camino de voz hasta la estación base servidora. Después de pocos segundos, la unidad móvil está dirigida por la estación base a través del SDCCH que devuelve un nuevo ARFCN y un nuevo TS para la asignación de un TCH. Una vez devuelto el TCH, los datos de voz se transfieren a través del enlace de subida y del enlace de bajada, la llamada se lleva a cabo con éxito, y el SDCCH es liberado.

Cuando se originan llamadas desde la PSTN, el proceso es bastante similar. La estación base envía un mensaje PCH durante el TS0 en una trama apropiada de un BCH. La estación móvil, enganchada al mismo ARFCN, detecta su búsqueda y contesta con un mensaje RACH reconociendo haber recibido la página. La estación base entonces usa el AGCH sobre el CCCH para asignar un nuevo canal físico a la unidad móvil su conexión al SDCCH y al SACCH mientras la red y la estación base están conectadas. Una vez que el móvil establece sus nuevas condiciones de temporización y de potencia sobre el SDCCH, la estación base gestiona un nuevo canal físico a través del SDCCH, y se hace la asignación del TCH.

Normal					
3 bits de inicio	58 bits de datos encriptados	28 bits de entrenamiento	58 bits de datos encriptados	3 bits de interrupción	8.25 bits de periodo de guarda
Ráfaga FCCH					
3 bits de inicio	128 bits fijos de todos los ceros			3 bits de interrupción	8.25 bits de periodo de guarda
Ráfaga SCH					
3 bits de inicio	39 bits de datos encriptados	64 bits de entrenamiento	39 bits de datos encriptados	3 bits de interrupción	8.25 bits de periodo de guarda
Ráfaga RACH					
3 bits de inicio	41 bits de sincronización	36 bits de datos encriptados	3 bits de interrupción	8.25 bits de periodo de guarda	
Ráfaga SCH					
3 bits de inicio	58 bits mezclados	26 bits de entrenamiento	58 bits mezclados	3 bits de interrupción	8.25 bits de periodo de guarda

Fig. 2.4 Tipos de ráfagas de datos (ranuras de tiempo) en GSM

2.7. Estructura de las Tramas en GSM

Cada usuario transmite una ráfaga de datos durante cada ranura de tiempo asignado. Estas ráfagas de datos pueden tener uno de cinco posibles formatos, definidos en el Estándar GSM. La Figura 2.4 muestra los cinco tipos posibles de ráfagas de datos usadas en GSM. Las ráfagas normales se usan para transmisiones TCH y DCCH tanto para el "enlace de subida" como para el "enlace de bajada". Las ráfagas FCCH y SCH se usan en el TS0 de las tramas específicas (como se ha visto con anterioridad) para enviar los mensajes de control de frecuencia y sincronización temporal en el enlace de bajada. La ráfaga RACH se usa por todos los móviles para acceder al servicio desde cualquier estación base, y la ráfaga vacía se usa para rellenar información en ranuras inutilizadas en el enlace de bajada.

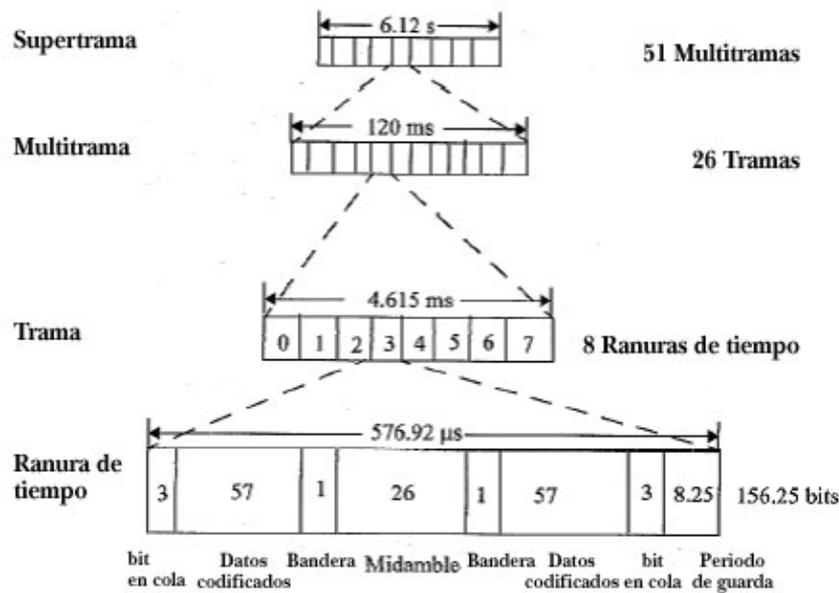


Fig. 2.5 Estructura de trama

La Figura 2.5 muestra la estructura de datos dentro de una ráfaga normal. Está formada por 148 bits que se transmiten a una velocidad de 270.833 Kbps (8.25 bits sin uso proporcionan un tiempo de guarda al final de cada ráfaga). Del total de 148 bits por TS, 114 son bits de información que se transmiten en dos secuencias de 57 bits al comienzo y al final de la ráfaga. En el centro de la ráfaga hay una secuencia de 26 bits de entrenamiento que permiten al ecualizador adaptativo del móvil o de la estación base analizar las características del canal de radio antes de decodificar los datos. A cada lado de la secuencia de entrenamiento se encuentran los dos "stealing flags". Estas dos "flags" o banderas se usan para distinguir si el TS contiene datos de voz (TCH) o control (FACCH), ambos con el mismo canal físico. Durante una trama, el móvil usa un solo TS para transmitir, uno para recibir, y puede usar seis ranuras para medir la potencia de la señal de cinco estaciones base adyacentes así como la de su propia estación base.

Como se muestra en la Figura 2.5, hay ocho ranuras por trama TDMA, y el periodo de trama es de 4.615 ms. Una trama contiene $8 \times 156.25 = 1250$ bits, aunque algunos periodos no se usan. La velocidad de las tramas es de $270.833 \text{ Kbps} / 1250 \text{ bits} / \text{trama}$ es decir 216.66 tramas por segundo. Las tramas decimotercera y vigésimo sexta no se usan para tráfico, sino para tareas de control. Cada una de las tramas normales se agrupan en estructuras más grandes llamadas multitramas que a su vez se agrupan en supertramas y éstas en hiper tramas. Una multitrama contiene 26 tramas TDMA, y una supertrama contiene 51 multitramas, ó 1326 tramas TDMA. Una hiper trama contiene 2048 supertramas, ó 2,715,648 tramas TDMA. Una hiper trama completa se envía cada 3 horas, 28 minutos, y 54 segundos, y es importante en GSM dado que los algoritmos de encriptación relacionan este particular número de tramas, y sólo se puede obtener una seguridad suficiente si se usa un número grande como el que proporciona la hiper trama.

Las multitramas de control ocupan 51 tramas (235.365 ms), a diferencia de las 26 tramas (120 ms) usadas por los canales de tráfico o dedicados. Esto se hace intencionadamente para asegurar que cualquier móvil (si está en la célula servidora o en la adyacente) recibirá con seguridad las transmisiones del SCH y el FCCH del BCH.

3. Principios Básicos de CDMA

3.1 CDMA: Pasado, Presente y Futuro

El espectro disperso "Spread Spectrum" tiene sus orígenes en el campo militar y en los sistemas de navegación. Los avances para el desarrollo de CDMA empiezan en los años 50 después de la invención del teorema de Shannon.

En 1949, John Pierce escribió un memorándum técnico donde describió un sistema de multiplexaje en el cual un medio común lleva las señales cifradas o codificadas que no necesitan ser sincronizadas. Este sistema es conocido como Sistema de Acceso Múltiple del Espectro Disperso con Saltos de Tiempo. Claude Shannon y Robert Pierce introdujeron las ideas básicas de CDMA en 1949 describiendo el efecto de interferencia promedio en el sistema y la degradación de la misma. En 1950, De Rosa-Rogoff propuso un sistema de espectro disperso de secuencia directa e introdujo la ecuación de ganancia de proceso y el concepto del ruido del multiplexaje. En 1956, Price y Green obtuvieron la patente del receptor RAKE anti-multitrayectoria. Las señales provenientes de diversas trayectorias de propagación se pueden resolver por una señal del espectro disperso de banda ancha y así ser combinadas por el receptor RAKE. El problema de lejanía-cercanía (es decir, una alta interferencia que abruma la señal más débil del espectro disperso) fue mencionado primero por Magnuski en 1961.

La aplicación del espectro disperso para comunicaciones fue sugerida por Cooper y Nettleton en 1978. Durante los años 80 Qualcomm realizó investigaciones de las técnicas DS-CDMA, que finalmente condujeron a la comercialización de las comunicaciones celulares del espectro disperso con el estándar CDMA IS-95 de banda angosta en 1993. La operación comercial de los sistemas IS-95 comenzó en 1996. La detección de multiusuarios (MUD) ha estado sujeta a una extensa investigación desde 1986 cuando Verdu formuló una detección de multiusuarios para el ruido blanco gaussiano aditivo (AWGN) a un canal, que es el estimador máximo de secuencia (MLSE).

Durante los años 90 las técnicas CDMA de banda ancha de 5 MHz o más, se estudiaron intensamente alrededor del mundo, y se construyeron, probándose varios sistemas de prueba. Entre estos se incluyeron el acceso múltiple por tramas (Frames FMA2) en Europa, Core-A en Japón, el esquema armonizado Europeo / Japonés WCDMA, CDMA2000 en los Estados Unidos, y la Asociación de la tecnología de la Telecomunicación I y II (TTA I y TTA II) los esquemas en Corea. La introducción de los sistemas de comunicación sin hilos de tercera generación que usan CDMA de banda ancha se esperaba alrededor del año 2000.

La era de CDMA se divide en tres períodos:

- era pionera CDMA,
- era CDMA de banda angosta, y
- era CDMA de banda ancha,

Era Pionera de CDMA	
1949	John Pierce: Espectro Disperso con Salto de Tiempo
1949	Claude Shannon y Robert Pierce: ideas básicas CDMA
1950	De Rosa-Rogoff: Espectro Disperso de Secuencia Directa
1956	Price y Green: Patente "RAKE" anti-multitrayectoria
1961	Magnuski: Problema Lejanía-cercanía
1970s	Desarrollo de algunos sistemas para la milicia y la navegación
Era de CDMA banda angosta	
1978	Cooper y Nettleton: Aplicación del espectro disperso a las comunicaciones
1980s	Investigación de técnicas CDMA de banda angosta para aplicaciones celulares
1986	Formulación de la detección de multiusuarios por Verdu
1993	Estándar IS-95
Era CDMA banda ancha	
1995	Europa: FRAMES FMA2
	Japón: Core-A WCDMA
	EU: cdma2000
	Corea: TTA I, TTA II
2000s	Comercialización de sistemas CDMA de Banda Ancha

Tabla 3.1. Era CDMA

3.2 Conceptos CDMA

En los sistemas CDMA todos los usuarios transmiten en el mismo ancho de banda simultáneamente, a los sistemas que utilizan este concepto se les denominan "sistemas de espectro disperso". En esta técnica de transmisión, el espectro de frecuencias de una señal de datos es disperso usando un código no relacionado con dicha señal. Como resultado el ancho de banda es mucho mayor. En vez de utilizar las ranuras de tiempo o frecuencias, como lo hacen las tecnologías tradicionales, usa códigos matemáticos para transmitir y distinguir entre conversaciones inalámbricas múltiples. Los códigos usados para la dispersión tienen valores pequeños de correlación y son únicos para cada usuario. Esta es la razón por la que el receptor de un determinado transmisor, es capaz de seleccionar la señal deseada.

En CDMA a cada usuario se le asigna una secuencia única de código usada para codificar la señal portadora de información. El receptor, sabiendo las secuencias de código del usuario, descifra la señal recibida y recupera los datos originales. Al proceso de codificar y dispersar el espectro de una señal se le llama modulación de Espectro Disperso. La señal que resulta es conocida como señal de Espectro Disperso, y CDMA también es conocida como Acceso Múltiple por Espectro Disperso (SSMA, Spread Spectrum Multiple Access).

La dispersión del espectro de la señal transmitida proporciona a CDMA su capacidad de acceso múltiple. Es por lo tanto importante saber las técnicas necesarias para generar señales de espectro disperso y las características de estas señales. Una técnica de modulación de espectro disperso debe satisfacer dos criterios:

- El ancho de banda de transmisión debe ser mucho más grande que el ancho de banda de la información.
- El ancho de banda de radio frecuencia que resulta es determinado por una función con excepción de la información que es enviada (así que el ancho de banda es estadísticamente independiente de la señal de información). Esto excluye técnicas de modulación como la modulación de la frecuencia (FM) y la modulación de la fase (PM).

El cociente del ancho de banda transmitido al ancho de banda de la información se llama ganancia de procesamiento, G_p , del sistema del Espectro Disperso,

$$G_p = \frac{B_t}{B_i}$$

Donde B_t es el ancho de banda de transmisión y B_i es el ancho de banda de la señal portadora de la información original.

El receptor correlaciona la señal recibida con una réplica sincronizada del código disperso para recuperar la señal portadora de la información original. Esto implica que el receptor debe saber el código usado para modular la información. Debido a la codificación y al ancho de banda extendido que resulta, las señales de los SS tienen un número de características que se diferencian de las características de las señales de banda angosta.

Algunas de esas características se explican brevemente a continuación.

3.2.1 Capacidad de Acceso Múltiple

Si múltiples usuarios transmiten señales SS "Spread Spectrum" al mismo tiempo, el receptor podrá distinguir entre los usuarios puesto que cada usuario tiene un código único de correlación cruzada suficientemente baja con los otros códigos. Correlacionando la señal recibida con una señal de código de cierto usuario solamente se decodificará la señal de este usuario, mientras que las otras señales seguirán dispersas a lo largo del ancho de banda. Así, dentro del ancho de banda de la información, la potencia de la señal deseada será mayor que la de la interferencia, provocando que no haya muchas interferencias y que la señal deseada sea extraída. La capacidad de acceso múltiple se ilustra en Fig. 3.1. En la Fig. 3.1(a), dos usuarios generan una señal de SS a partir de sus señales de datos de banda angosta. En la Fig. 3.1 (b), ambos usuarios transmiten sus señales SS al mismo tiempo. En el receptor 1 solamente la señal del usuario 1 es decodificada y la información recuperada.

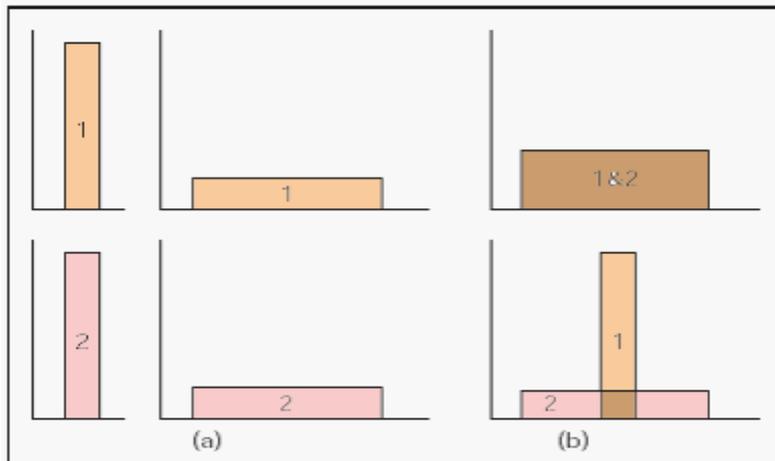


Fig. 3.1. Principio de Acceso Múltiple de Espectro Disperso

3.2.2 Protección contra Interferencia de Multitrayectoria

En el canal de radio no hay sólo una trayectoria entre un transmisor y un receptor. Debido a las reflexiones (y a las refracciones) una señal será recibida en diversas trayectorias. Las señales de las diversas trayectorias son copias de la misma señal transmitida pero con diversas amplitudes, fases, retrasos, y ángulos de llegada. La adición de estas señales en el receptor será constructiva en algunas de las frecuencias y destructiva en otras. En el dominio de tiempo, esto da lugar a una señal dispersa. La modulación del espectro disperso puede combatir esta interferencia multidireccional o multitrayectoria; sin embargo, la manera en la cual se alcanza esto depende mucho del tipo de modulación usada. Posteriormente explicaremos los esquemas de CDMA basados en diversos métodos de modulación, y el cómo se obtiene para cada esquema el rechazamiento de interferencia multidireccional.

3.2.3 Privacidad

La señal transmitida solamente puede ser decodificada y la información recuperada, si el receptor conoce el código.

3.2.4 Rechazo de Interferencia

Con la correlación cruzada de la señal de código con una señal de banda angosta se decodifica o dispersa la potencia de la señal de banda angosta de tal modo que se reduce la potencia que interfiere en el ancho de banda de la información. Esto se ilustra en Fig. 3.2. La señal del Espectro Disperso (s) recibe una interferencia de banda angosta (i). En el receptor la señal de los SS es agrupada mientras que se separa la señal de interferencia, haciéndola aparecer como ruido de fondo comparado con la señal agrupada.

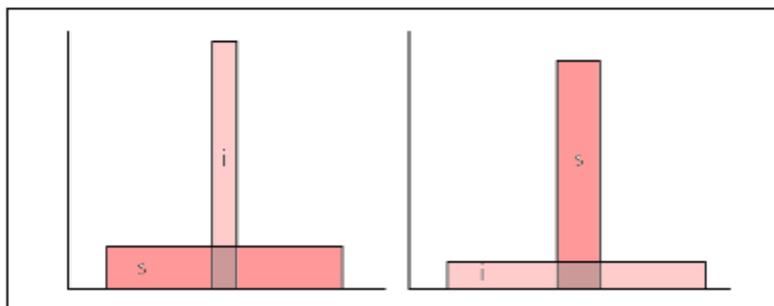


Fig. 3.2. Rechazo a Interferencia

3.2.5 Capacidad Antibloqueo, especialmente bloqueo de banda angosta

Ésta es más o menos igual que el rechazamiento de interferencia excepto que la interferencia ahora se inflige voluntariamente en el sistema.

3.2.6 Baja Probabilidad de Interceptación (LPI)

Debido a su baja densidad de potencia, la señal del espectro disperso es difícil de detectar y de interceptar por un usuario no deseado.

Una clasificación general de CDMA se da en la Fig. 3.3. Existe un gran número de técnicas de modulación que generan señales SS. Las más importantes son las siguientes:

- Espectro Disperso de Secuencia Directa. La señal portadora de información es multiplicada directamente por una señal seudo – aleatoria de banda ancha (señal de código).

- Espectro Disperso de Salto de Frecuencia. La frecuencia portadora en la cual se transmite la señal de información cambia rápidamente según la señal de código.
- Espectro Disperso de Salto de Tiempo. La señal portadora de información no se transmite continuamente. En cambio la señal se transmite en las ráfagas donde la duración de estas depende de la señal de código.
- Espectro Disperso de Modulación Híbrida. Dos o más de las técnicas antedichas de modulación de SS se pueden utilizar juntas para combinar sus ventajas y combatir sus desventajas. Además, es posible combinar CDMA con otros métodos de acceso múltiple: Modulación de TDMA, “multicarrier” (MC), o “multitone” (MT). En el caso de MC-CDMA, el esparcimiento se hace a lo largo del eje de la frecuencia, mientras que para el MT-CDMA se hace a lo largo del eje del tiempo. Observe que MC-CDMA y el MT-CDMA están basados en multiplexaje por división de frecuencia ortogonal (OFDM).

Clasificación de CDMA:

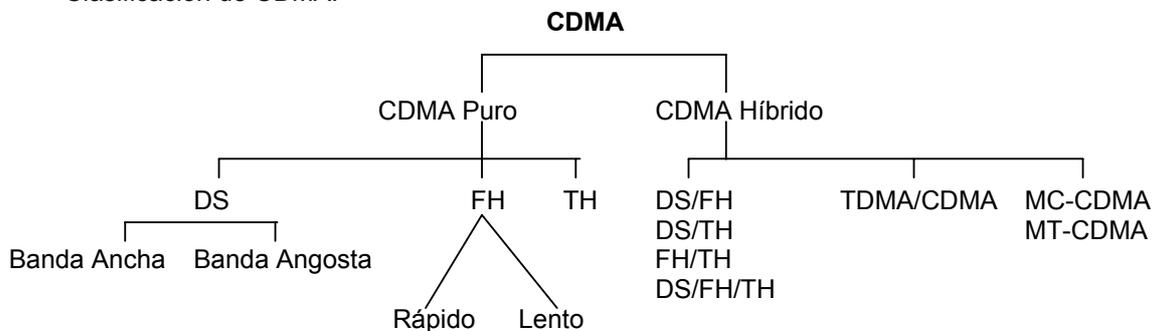


Fig. 3.3. Clasificación general de CDMA

3.3 Acceso Múltiple de Espectro Disperso

3.3.1 Secuencia Directa (DS. Direct Sequence)

En DS-CDMA la señal portadora de información (la señal de los datos) es modulada directamente por una señal de código digital, de tiempo discreto. La señal de los datos puede ser analógica o digital; en la mayoría de los casos es digital. En el caso de una señal digital, la modulación de los datos es generalmente omitida y la señal de los datos es multiplicada directamente por la señal de código; la señal resultante modula a la portadora de banda ancha. Es de esta multiplicación directa que DS-CDMA obtiene su nombre.

En la Fig. 3.4 se muestra un diagrama a bloques de un transmisor DS-CDMA. La señal binaria de datos modula a una portadora de RF. La portadora modulada es entonces modulada por la señal de código. Esta señal de código consiste en un número de bits de código llamados “chips”, que pueden ser +1 o -1. Para obtener la dispersión deseada de la señal, la tasa de chips de la señal de código debe ser mucho mayor que la tasa de chips de la señal de información.

Para la modulación del código se pueden utilizar varias técnicas de modulación, pero generalmente se emplean variaciones de la “Modulación Digital de Fase – Phase Shift Keying (PSK)” como la “Modulación Digital Binaria de Fase – Binary Phase Shift Keying (BPSK)”, “Modulación Binaria

Diferencial Digital de Fase – Differential Binary Phase Shift Keying (D-BPSK)”, “Modulación de Cuadratura en Fase – Quadrature Phase Shift Keying (QPSK)”, o el “Minimum Shift Keying (MSK)”.

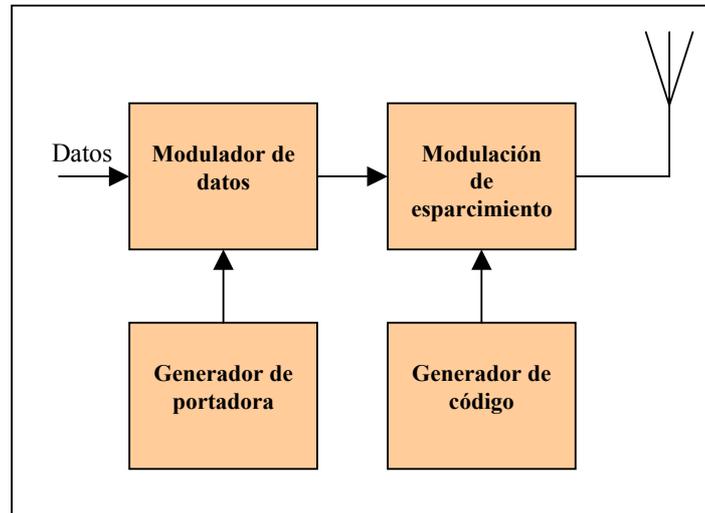


Fig. 3.4. Diagrama de bloques de un transmisor DS-SS

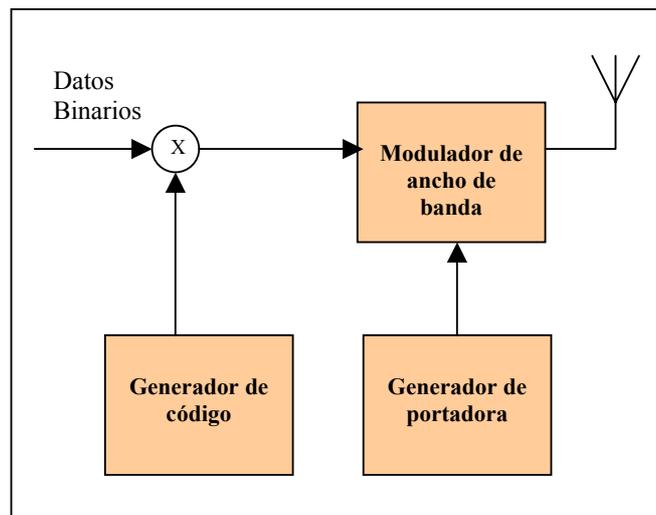


Fig. 3.5. Diagrama de bloques modificado de un transmisor DS-SS

Si omitimos la modulación de los datos y utilizamos BPSK para modulación de código, conseguimos el diagrama a bloques de la Fig. 3.5. La señal DS-SS que resulta de este transmisor se muestra en la Fig. 3.6. La tasa de la señal de código se llama “chip rate”. En esta figura, se transmiten 10 chips de código por símbolo de información (la tasa de código chips es 10 veces mayor a la tasa de datos) así que la ganancia de proceso es igual a 10.

Después de la transmisión de la señal, el receptor (mostrado en la Fig. 3.7) utiliza demodulación coherente para agrupar la señal SS, usando un código secuencial generado localmente. Para poder realizar la operación de agrupamiento, el receptor no debe saber solamente la secuencia de código usada para dispersar la señal, sino también se deben sincronizar los códigos de la señal

recibida y el código localmente generado. Esta sincronización debe lograrse desde el principio de la recepción y mantenerse hasta que se haya recibido toda la señal. El bloque de "Sincronización/Seguimiento de Código – Code Synchronization/Tracking" realiza esta operación. Después de agrupar una señal modulada de datos y demodularla, se pueden recuperar los datos originales.

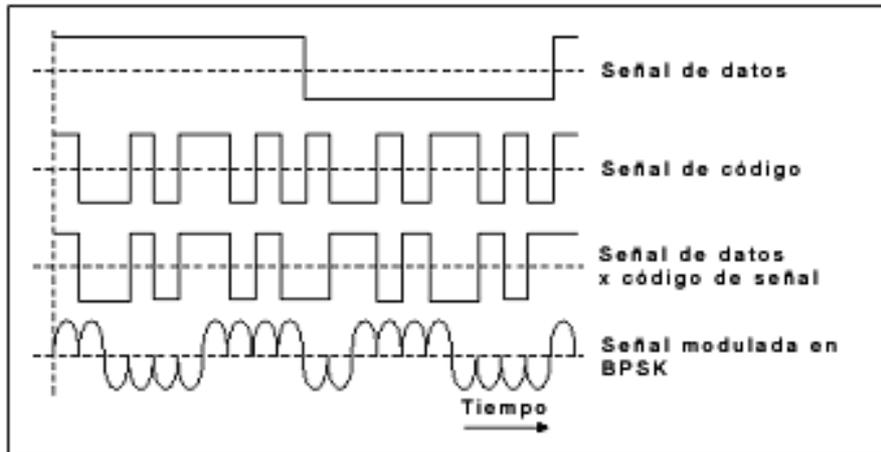


Fig. 3.6. Generación de una señal SS BPSK modulada

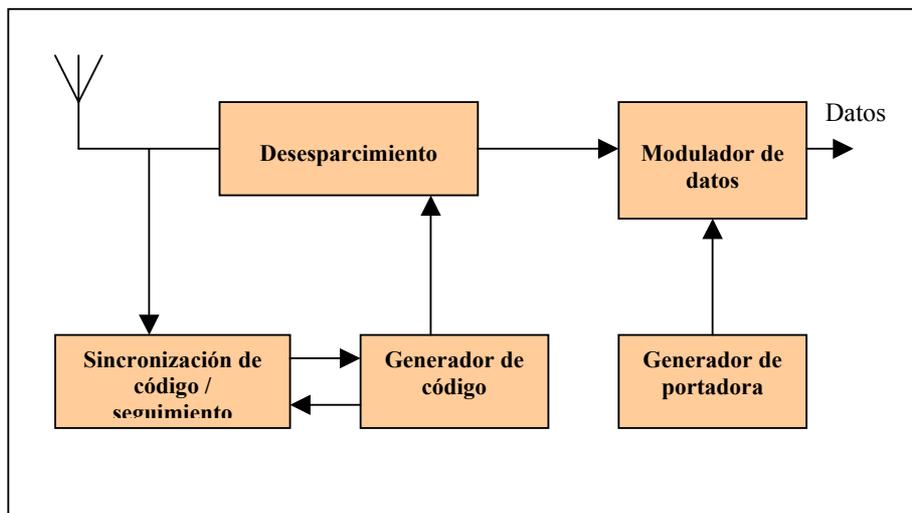


Fig. 3.7. Recepción de una señal DS-SS

Desde el punto de vista de CDMA las características más importantes de las mencionadas anteriormente son la capacidad de acceso múltiple, el rechazo a la interferencia de multitrayectoria y a la interferencia de banda angosta, y la seguridad del LPI. Explicamos estas cuatro características para el caso del DS-CDMA.

3.3.1.1 Capacidad de Acceso Múltiple

Si múltiples usuarios utilizan el canal al mismo tiempo, habrá múltiples señales DS traslapándose en tiempo y frecuencia. En el receptor se utiliza una demodulación coherente para quitar la modulación de código. Esta operación concentra la potencia del usuario deseado en el ancho de banda de la información. Si las correlaciones cruzadas, entre el código del usuario deseado y los

códigos de los usuarios que interfieren, son pequeñas, la detección coherente sólo pondrá una parte pequeña de la potencia de las señales de interferencia en el ancho de banda de la información.

3.3.1.2 Interferencia Multitrayectoria

Si la secuencia de código tiene una función de auto correlación ideal, entonces la función de correlación es cero fuera del intervalo $[-T_c, T_c]$, donde T_c es la duración del chip. Esto significa que si se reciben la señal deseada y una versión de la misma retrasada $2T_c$, la demodulación coherente tratará a la versión retrasada como señal de interferencia, poniendo solamente una pequeña parte de la potencia en el ancho de banda de la información.

3.3.1.3 Interferencia de Banda Angosta

La detección coherente en el receptor implica una multiplicación de la señal recibida y una secuencia de código generado localmente. Sin embargo, como vimos en el transmisor, multiplicando una señal de banda angosta con una secuencia de código de banda ancha se dispersa el espectro de la señal de banda angosta, de modo que su potencia en el ancho de banda de la información disminuye por un factor igual a la ganancia de procesamiento.

3.3.1.4 Baja Probabilidad de Intercepción - LPI

Debido a que la señal de secuencia directa utiliza el espectro entero de la señal todo el tiempo, se tendrá una potencia transmitida muy baja por hertz. Esto hace muy difícil de detectar una señal de DS.

Aparte de las características antes mencionadas, el DS-CDMA tiene otras características específicas que se pueden dividir en ventajas y desventajas:

Ventajas:

- La generación de la señal codificada es fácil, puede ser obtenida por una simple multiplicación.
- Solamente una frecuencia portadora tiene que ser generada, por lo que el sintetizador de frecuencia (generador de portadora) es simple.
- Es posible la demodulación coherente de la señal de DS.
- No se necesita sincronización entre los usuarios.

Desventajas:

- Es difícil conseguir y mantener la sincronización de la señal de código localmente generada con la señal recibida. La sincronización tiene que mantenerse dentro de una fracción de tiempo del chip.
- Para una recepción correcta, el error de sincronización de la secuencia de código localmente generada y la secuencia de código recibida debe ser muy pequeño, una fracción del tiempo del chip. Esto combinado con la indisponibilidad de bandas de frecuencia grandes y contiguas limita prácticamente el ancho de banda de 10 a 20 MHz.
- La potencia recibida de usuarios cercanos a la estación base es mucho más alta que la recibida de usuarios alejados. Puesto que un usuario transmite continuamente sobre el ancho de banda entero, un usuario cerca de la base creará constantemente mucha interferencia para los usuarios alejados de la estación base, haciendo imposible su recepción. Este efecto cercano puede ser solucionado aplicando un algoritmo de control de potencia de modo que la estación base reciba a todos los usuarios con el mismo promedio de potencia. Sin embargo este control demuestra ser absolutamente difícil.

3.4 Salto de Frecuencia (FH – Frequency Hopping)

En el Salto de Frecuencia CDMA (FH-CDMA), la frecuencia portadora de la señal modulada de información no es constante sino que cambia periódicamente. Durante los intervalos de tiempo T la frecuencia portadora sigue siendo igual, pero después de cada intervalo de tiempo la portadora salta a otra (o posiblemente a la misma) frecuencia. El patrón del salto es decidido por la señal de código. Al grupo de frecuencias disponibles que la portadora puede tomar se le llama "hop-set". La ocupación de frecuencia de un sistema FH-SS difiere considerablemente de un sistema DS-SS. Un sistema DS ocupa toda la banda de frecuencia cuando transmite, mientras que un sistema de FH utiliza solamente una pequeña parte del ancho de banda cuando transmite, pero la localización de esta parte difiere en tiempo.

La diferencia entre el uso de frecuencia de los FH-SS y los DS-SS se ilustra en la Fig. 3.8. Suponiendo que un sistema de FH está transmitiendo en la banda de frecuencia 2 durante el primer período de tiempo. Un sistema de DS que este transmitiendo en el mismo período de tiempo separa su potencia de la señal sobre toda la banda de frecuencia así que la potencia transmitida en la banda de frecuencia 2 será mucho menos que la del sistema de FH. Sin embargo, el sistema de DS transmite en la banda de frecuencia 2 durante todos los períodos de tiempo mientras que el sistema de FH utiliza esta banda parte del tiempo. En promedio, ambos sistemas transmitirán la misma potencia en la banda de frecuencia.

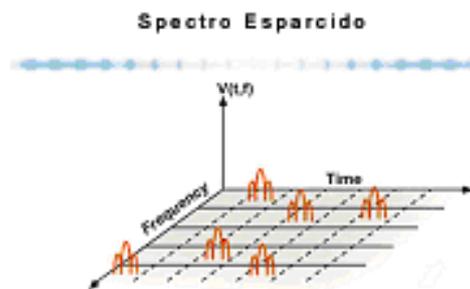


Fig. 3.8. Espectro Esparcido de Salto de Frecuencia

El diagrama a bloques para un sistema de FH-CDMA se muestra en la Fig. 3.9. La señal de entrada (en banda base) es modulada. Se utiliza un sintetizador de frecuencia que es controlado por la señal de código, y posteriormente la frecuencia portadora es subida hasta la frecuencia de transmisión.

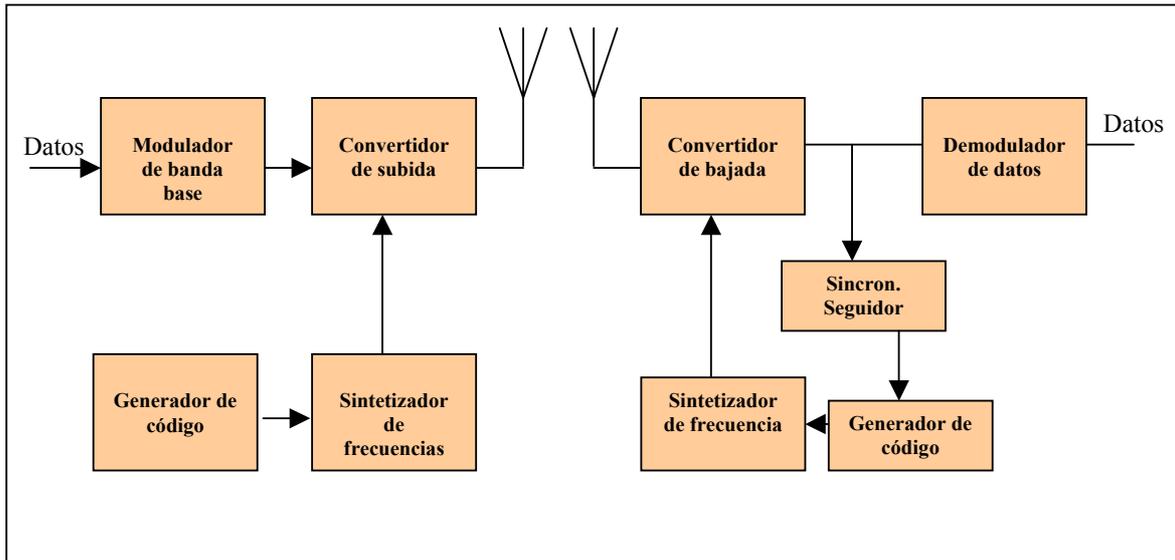


Fig. 3.9. Diagrama de bloques de un transmisor y receptor FH-CDMA

El proceso inverso ocurre en el receptor. Usando una secuencia de código localmente generada, la señal recibida se baja a una frecuencia menor. Los datos se recuperan (en banda base) después de la demodulación.

El circuito de sincronización y seguimiento asegura que los saltos de la portadora localmente generada se sincronicen con el patrón de salto de la portadora recibida de modo que sea posible una adecuada des-dispersión de la señal recibida.

Dentro del FH CDMA se hace una distinción que se basa en la razón de salto de la portadora. Si la razón de salto es mucho mayor que la razón de símbolo, se habla de un “Salto de Frecuencia Rápido (F-FH-CDMA)”. En este caso la frecuencia portadora cambia cierto número de veces durante la transmisión de un símbolo, por lo que un bit es transmitido en frecuencias diferentes. Si la razón de salto es mucho menor que la razón de símbolo, se habla de “Salto de Frecuencia Lento (S-FH-CDMA)”. En este caso los múltiples símbolos se transmiten en la misma frecuencia.

El ancho de banda ocupado por la señal no depende solamente del ancho de banda de la señal de información sino también de la forma de salto de la señal y de la frecuencia del salto. Si el salto de frecuencia es mucho menor que el ancho de banda de la información (que es el caso en el salto de frecuencia lento), entonces el ancho de banda de la información es el factor principal para decidir el ancho de banda a ocupar. Si, sin embargo, el salto de frecuencia es mucho mayor que el ancho de banda de la información, la forma de pulso de la señal de salto decidirá el ancho de banda a ocupar en un salto de frecuencia. Si esta forma de pulso es muy precipitada (dando por resultado cambios de frecuencia muy precipitados), la banda de frecuencia será muy amplia, limitando el número de frecuencias de salto. Si nos cercioramos de que los cambios de frecuencia sean suaves, la banda de frecuencia de cada salto de frecuencia será aproximadamente $1/Th$ veces el ancho de banda, donde Th es igual a la frecuencia de salto. Podemos realizar los cambios de frecuencia suaves disminuyendo la potencia de transmisión antes de un salto de frecuencia y aumentándola otra vez cuando la frecuencia de salto haya cambiado.

3.4.1 Propiedades de FH-CDMA

Como para DS-CDMA, las características de FH-CDMA con respecto a capacidad de acceso múltiple, al rechazo de interferencia multitrayectoria y de banda angosta, y a la probabilidad de la interceptación; se describen enseguida:

- **Capacidad de Acceso Múltiple.** Es fácil visualizar cómo el F-FH y el S-FH CDMA obtienen su capacidad de acceso múltiple. En el F-FH un símbolo se transmite en diferentes bandas de frecuencia; la potencia recibida de la señal deseada será mucho mayor que la potencia de interferencia y la señal será recibida correctamente.
En S-FH múltiples símbolos se transmiten en una frecuencia. Si la probabilidad de que otros usuarios transmitan en la misma banda de frecuencia es lo suficientemente baja, recibirán al usuario deseado correctamente la mayor parte del tiempo. Para esas ocasiones en que los usuarios de interferencia transmitan en la misma banda de frecuencia, los códigos de corrección de errores se utilizan para recuperar los datos transmitidos durante ese período de tiempo.
- **Interferencia Multitrayectoria.** En el F-FH CDMA la frecuencia portadora cambia varias veces durante la transmisión de un símbolo. Así, una señal en particular será modulada y transmitida en varias frecuencias portadoras.

El efecto multitrayectoria es diferente en las diversas frecuencias portadoras; las señales que son amplificadas en una frecuencia portadora serán atenuadas en otra frecuencia portadora y viceversa. En el receptor las respuestas a diferentes saltos de frecuencia son equilibradas de tal modo que se reduce la interferencia multitrayectoria. Puesto que generalmente se utiliza una combinación no coherente, este método no es tan eficaz como el de DS-CDMA, sin embargo ofrece una mejora.

- **Interferencia de Banda Angosta.** Suponga que una señal de banda angosta está interfiriendo en una de las frecuencias de salto. Si existe una Ganancia de Procesamiento " G_p " en las frecuencias de salto, el usuario deseado usará (en el promedio) la frecuencia de salto en la cual la interferencia este en $1/G_p$. Por lo tanto la interferencia es reducida por un factor G_p .
- **Baja Probabilidad de Interferencia – LPI.** La dificultad de interceptación de una señal FH no yace en su baja potencia de transmisión, ya que durante una transmisión utiliza tanta potencia por Hertz como una transmisión continua. Pero la frecuencia en la cual la señal va a ser transmitida es desconocida, y la duración de la transmisión en una frecuencia en particular es absolutamente pequeña. Por lo tanto, aunque la señal se intercepta más fácilmente que una señal del DS, sigue siendo una tarea difícil de realizarse.

Aparte de las características antes mencionadas, el FH-CDMA tiene otras características específicas que se pueden dividir en:

Ventajas:

- La sincronización es mucho más fácil con FH-CDMA que con DS-CDMA. Con FH-CDMA la sincronización debe realizarse dentro de una fracción de tiempo durante el salto. Puesto que la dispersión espectral no es obtenida usando una frecuencia de salto muy grande, pero sí usando un grupo de frecuencias muy basto, el tiempo del salto será mucho más largo que el tiempo de chip de un sistema DS-CDMA. Así, un sistema de FH-CDMA permite un error de sincronización más grande.
- Las diferentes bandas de frecuencia que una señal de FH puede ocupar no tienen que estar contiguas porque se puede hacer que el sintetizador de frecuencia salte fácilmente sobre ciertas partes del espectro. Combinado con la más fácil sincronización, esto permite anchos de banda de "spread spectrum" mucho más altos.

- La probabilidad de que haya múltiples usuarios transmitiendo en la misma banda de frecuencia al mismo tiempo es pequeña. Un usuario transmitiendo lejos de la estación base será recibido incluso si usuarios cerca de la estación base están transmitiendo al mismo tiempo, puesto que esos usuarios probablemente transmitirán en diferentes frecuencias. Así, el funcionamiento cerca-lejos es mucho mejor que el de DS.
- Debido al gran ancho de banda posible que un sistema de FH puede emplear, éste ofrece una más alta probabilidad de reducción de interferencia de banda angosta que un sistema de DS.

Desventajas:

- Es necesario un sintetizador de frecuencia altamente sofisticado.
- Los cambios precipitados de la señal cuando se va de una banda de frecuencia a otra conducirán a un aumento en la ocupación de la banda de frecuencia. Para evitar esto, la señal tiene que ser apagada y prendida al cambiar frecuencia.
- La demodulación coherente es difícil debido a los problemas que se presentan para evitar el defasamiento durante los saltos.

3.5 Salto de Tiempo (TH – Time Hopping)

En un sistema CDMA de salto de tiempo (TH-CDMA), la señal de datos se transmite en ráfagas rápidas en intervalos de tiempo determinados por un código asignado al usuario. El eje del tiempo se divide en tramas, y cada trama se divide en ranuras de tiempo M . Durante cada trama el usuario transmitirá en una de las ranuras M de tiempo. La selección de las ranuras de tiempo M en que se transmite depende de la señal de código asignada al usuario. Puesto que un usuario transmite todos sus datos en una ranura de tiempo, en lugar de M ranuras de tiempo, la frecuencia que necesita para su transmisión ha de aumentar en un factor M . Comparando la Fig. 3.11 con la Fig. 3.8, se ve que el TH-CDMA utiliza el espectro de banda ancha por períodos de tiempo cortos en vez de utilizar partes del espectro todo el tiempo.

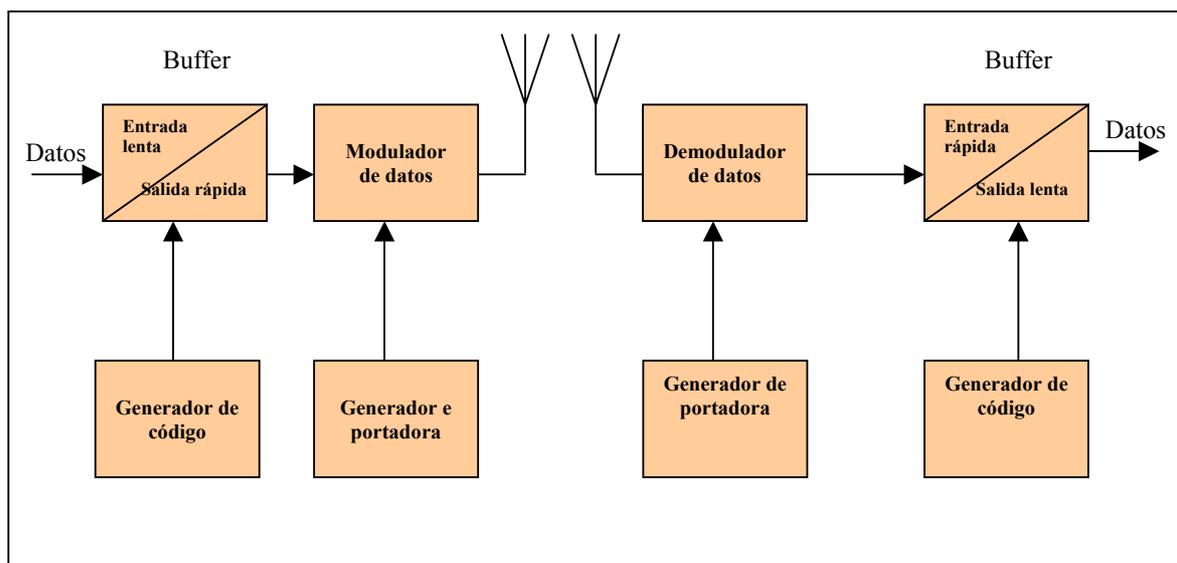


Fig. 3.10. Diagrama de bloques de un transmisor y receptor TH-CDMA

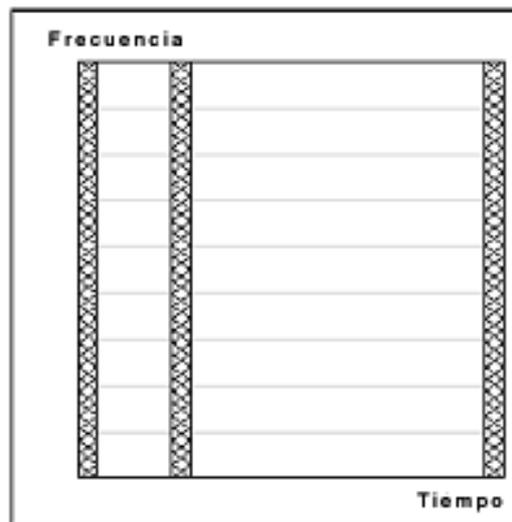


Fig. 3.11. Gráfica Tiempo-Frecuencia del TH-CDMA

3.5.1 Propiedades de TH-CDMA

- **Acceso Múltiple.** La capacidad de acceso múltiple de las señales de TH-SS se adquiere de manera semejante a la de las señales FH-SS. En este caso todas las transmisiones son en la misma banda de frecuencia, así que la probabilidad de que más de una transmisión se presente al mismo tiempo debe ser pequeña. Esto es conseguido, de igual manera, asignando diferentes códigos a diferentes usuarios. Si ocurren múltiples transmisiones, los códigos de corrección de errores se encargan de que la señal deseada pueda ser recuperada. Si hay sincronización entre los usuarios, y los códigos asignados son tales que no más de un usuario transmita en una ranura en particular, entonces el TH-CDMA se reduce a un esquema de TDMA donde la ranura en la cual un usuario transmite no es fija pero cambia de trama a trama.
- **Interferencia Multitrayectoria.** En el TH-CDMA, una señal se transmite en un tiempo reducido; por lo cual la tasa de transmisión de la señal se incrementa y la dispersión de la señal provocará un traslape de bits adyacentes. Por lo tanto, no hay ventajas con respecto al rechazamiento de interferencia multitrayectoria.
- **Interferencia de Banda Angosta.** Una señal de TH-CDMA se transmite en un tiempo reducido. Esta reducción es igual a $1/G_p$, donde G_p es la ganancia de proceso. En el receptor se recibirá una señal de interferencia solo durante la recepción de la señal deseada. Así, recibimos la señal de interferencia solamente $1/G_p$ por ciento del tiempo, reduciendo la potencia de interferencia un factor G_p .
- **Baja Probabilidad de Interferencia – LPI.** Con TH-CDMA la frecuencia en la cual un usuario transmite es constante pero los tiempos en los cuales un usuario transmite son desconocidos, y la duración de las transmisiones es muy corta. Particularmente cuando múltiples usuarios están transmitiendo, se hace difícil que un interceptor distinga el principio y el fin de una transmisión, y decida a qué usuario pertenecen las transmisiones.

Ventajas

- La implementación es más simple que la de FH-CDMA.
- Es un método muy útil cuando el transmisor esta limitado en potencia baja pero no limitado en la potencia máxima, puesto que los datos se transmiten en pequeñas ráfagas con alta potencia.
- El problema de “cerca-lejos” del usuario a la radio base es reducido con este sistema, ya que la mayor parte del tiempo una terminal que se encuentra lejos de la radio base transmite sola, con lo cual no es obstaculizada por otras transmisiones de otras estaciones cercanas.

Desventajas

- Toma un largo tiempo sincronizar el código, y el tiempo en el cual el receptor tiene que realizar la sincronización es corto.
- Si ocurren múltiples transmisiones al mismo tiempo, se pierde una gran cantidad de bits de datos, así que se necesita un buen código de corrección de errores y de interpolación de datos.

3.6 Sistemas Híbridos

Los sistemas híbridos CDMA son todos los sistemas de CDMA que empleen una combinación de dos o más de las técnicas de modulación de espectro disperso antes mencionadas o de una combinación de CDMA con otras técnicas de acceso. Combinando las técnicas básicas de modulación de espectro disperso, se tienen cuatro sistemas híbridos posibles: DS/FH, DS/TH, FH/TH, y DS/FH/TH; y combinando CDMA con TDMA o modulación con multiportadora (MultiCarrier) se consiguen dos más: CDMA/TDMA y MC-CDMA.

La idea de un sistema híbrido es combinar las ventajas específicas de cada una de las técnicas de modulación. Si se toma, por ejemplo, el sistema combinado de DS/FH, se tiene la ventaja de la característica anti multitrayectoria del sistema de DS combinado con la operación favorable cerca-lejos del sistema de FH. Por supuesto, la desventaja cae en la gran complejidad del transmisor y del receptor. En la Fig. 3.12 se muestra un diagrama a bloques de un transmisor combinado de DS/FH CDMA.

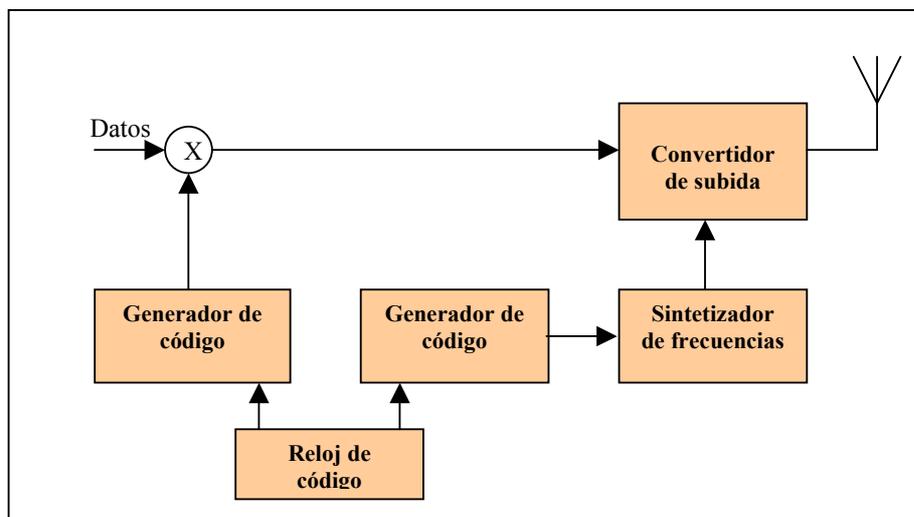


Fig. 3.12. Transmisor Híbrido DS-FH

La señal de datos primero se dispersa usando una señal de código de DS. Después la señal dispersa se modula en una portadora cuya frecuencia salta según otra secuencia de código. Un código de reloj asegura una relación estable entre los dos códigos.

3.7 Elementos Básicos de CDMA

3.7.1 Receptor Rake

En un canal multitrayectoria, la señal originalmente transmitida se refleja en obstáculos tales como edificios y montañas, y el receptor recibe varias copias de la señal con diferentes retrasos. Si las señales llegan más de un chip separadas una de otra, el receptor puede resolverlas. Realmente, desde el punto de vista de cada señal multitrayectoria, las otras señales multitrayectoria se consideran como interferencia y son suprimidas por la ganancia de procesamiento. Sin embargo, se obtiene una ventaja si se combinan las señales multitrayectoria resueltas usando el receptor RAKE. Así, la forma de onda de las señales de CDMA facilita la utilización de la diversidad de multitrayectoria. Expresando el mismo fenómeno en el dominio de la frecuencia significa que el ancho de banda de la señal transmitida es más grande que el ancho de banda del canal coherente y el canal es selectivo en frecuencia (es decir, sólo parte de la señal es afectada por el desvanecimiento).

El receptor RAKE consta de correlacionadores, cada uno recibe una señal de multitrayectoria. Después de la desdispersión realizada por los correlacionadores, las señales son combinadas usando, por ejemplo, el máximo cociente de combinación.

Puesto que las señales multitrayectoria recibidas son desvanecidas independientemente, el método de diversidad y funcionamiento mejoran. La Fig. 3.13 ilustra el principio del receptor RAKE.

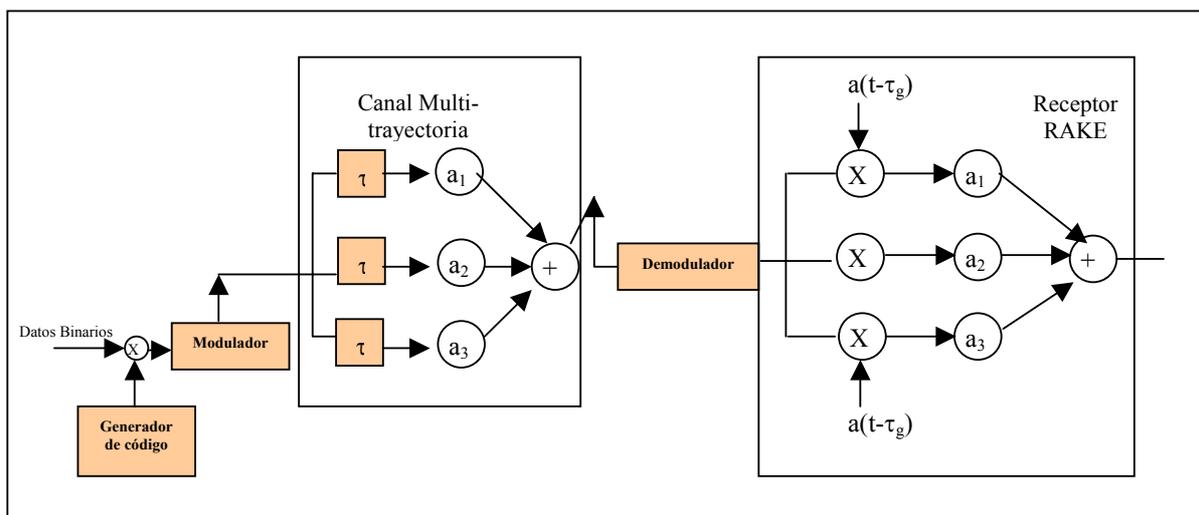


Fig. 3.13. Principio del receptor RAKE

Después de la dispersión y de la modulación la señal se transmite y pasa a través de un canal de multitrayectoria, que se puede modelar por un derivador (tapped) de línea de retraso (es decir, las señales reflejadas se retrasan y se atenúan en el canal). En la Fig. 14 se tienen tres componentes de multitrayectoria con diferentes retrasos (τ_1 , τ_2 , y τ_3) y factores de atenuación (a_1 , a_2 , y a_3), cada uno correspondiente a una diferente trayectoria de propagación. El receptor RAKE tiene un apuntador (“finger”) receptor para cada componente de multitrayectoria. En cada “finger”, la señal recibida es correlacionada con un código de dispersión, que se alinea en tiempo con el retraso de la señal de multitrayectoria. Después de la desdispersión, se cargan y se combinan las señales. En la Fig. 14, se utiliza el máximo cociente de combinación, es decir, cada señal es cargada por la ganancia de trayectoria (factor de atenuación). Debido al movimiento de la unidad móvil, la característica de dispersión cambiará, y así, los retrasos y los factores de atenuación cambiarán también. Por lo tanto, es necesario medir el perfil del derivador de la línea de retraso y reasignar los “fingers” del RAKE siempre que haya necesidad.

3.7.2 Control de Potencia

En el enlace de subida de un sistema DS-CDMA, el control de potencia es la condición más importante. El problema del control de potencia se presenta debido a la interferencia del acceso múltiple. Todos los usuarios en un sistema DS-CDMA transmiten los mensajes usando el mismo ancho de banda al mismo tiempo y por lo tanto los usuarios interfieren unos con otros.

Debido al mecanismo de propagación, la señal recibida en la estación base de una terminal de usuario cercana a la estación base será más potente que la señal recibida de otra terminal situada en el límite de célula. Por lo tanto, el usuario cercano dominará a usuarios distantes. Esto se llama el efecto cerca-lejos (near – far effect).

Para alcanzar una capacidad considerable, todas las señales, independientemente de la distancia, deben llegar a la estación base con la misma potencia. Una solución a este problema es el control de potencia, con el cual se intenta recibir una potencia constante para cada usuario. Por lo tanto, el funcionamiento del transmisor de control de potencia (TPC) es uno de los principales factores a considerar al decidir sobre la capacidad de un sistema DS-CDMA.

En contraste con el enlace de subida, en el enlace de bajada todas las señales se propagan a través del mismo canal y así son recibidas por una estación móvil con igual potencia. Por lo tanto, no se requiere ningún control de potencia para eliminar el problema cerca-lejos. El control de potencia, sin embargo, se requiere para reducir al mínimo la interferencia a otras células y para compensar la interferencia de otras células. La peor situación para una estación móvil ocurre cuando la estación móvil está en el borde de la célula, equidistante a tres estaciones base. Sin embargo, la interferencia de otras células no varía muy abruptamente.

Existen dos tipos de principios de control de potencia: de lazo abierto, y de lazo cerrado. El control de potencia de lazo abierto mide las condiciones de interferencia del canal y de acuerdo a esto ajusta la potencia de la transmisión. Sin embargo, puesto que el desvanecimiento rápido no hace la correlación entre el enlace de subida y el de bajada, el control de potencia de lazo abierto alcanzará solamente en promedio la potencia deseada. Por lo tanto, se requiere el control de potencia de lazo cerrado. El control de potencia de lazo cerrado mide la relación señal a interferencia (SIR) y envía órdenes al transmisor en el otro extremo para ajustar la potencia de transmisión.

3.7.3 Transferencia de Llamada Suave (Soft Handover)

En la transferencia de llamada suave una estación móvil está conectada con más de una estación base simultáneamente. Esta transferencia se utiliza en CDMA para reducir la interferencia en otras células y para mejorar el funcionamiento a través de una macro diversidad. Una transferencia de llamada más suave (SOFTER HANDOVER) es una transferencia de llamada suave entre dos

sectores de una célula. Las células vecinas de un sistema celular usando FDMA o TDMA no utilizan las frecuencias usadas por la célula dada (es decir, hay separación espacial entre las células usando las mismas frecuencias). Esto se llama “concepto de reutilización de frecuencias”.

Generalmente, una estación móvil realiza una transferencia de llamada cuando la energía de la señal de una célula vecina excede el umbral dado de energía de la señal de la célula actual. Esto se llama Transferencia de Llamada Dura (HARD HANDOVER). Puesto que en un sistema de CDMA las frecuencias vecinas de la célula son iguales que en la célula dada, este tipo de acercamiento causaría interferencia excesiva en las células vecinas y así una degradación en la capacidad. Para evitar esta interferencia, una transferencia de llamada instantánea de la célula actual a la nueva célula sería requerida cuando la energía de la señal de la nueva célula excede la energía de la señal de la célula actual. Sin embargo, esto no es factible en la práctica. El mecanismo de transferencia de llamada debe permitir siempre que la estación móvil se conecte a una célula, de la cual recibe la potencia más alta (es decir, con las pérdidas de trayectoria más bajas).

Puesto que en la transferencia de llamada suave la estación móvil está conectada con dos o más estaciones base, su potencia de transmisión puede ser controlada según la célula, de la cual la estación móvil reciba la señal con más energía. Una estación móvil entra a un estado de transferencia de llamada suave cuando la energía de la señal de una célula vecina excede un cierto umbral pero aún por debajo de la energía de la señal de la estación base actual.

Afortunadamente, la estructura de la señal de CDMA esta bien preparada para la puesta en práctica de la transferencia de llamada suave. Esto es porque en el enlace de subida, dos o más estaciones base pueden recibir la misma señal debido al factor de reutilización igual a uno; y en el enlace de bajada la estación móvil puede combinar coherentemente las señales de diferentes estaciones base puesto que apenas las considera como componentes adicionales de multitrayectoria. Esto proporciona una ventaja adicional llamada Macro Diversidad (es decir, la ganancia de la diversidad proporcionada por la recepción de una o más señales adicionales). Un canal separado llamado “piloto” se utiliza generalmente para medir la energía de la señal para los propósitos de la transferencia de llamada.

En el enlace de bajada, sin embargo, la transferencia de llamada suave crea más interferencia al sistema puesto que la nueva estación base ahora transmite una señal adicional para la estación móvil. Es posible que la estación móvil no pueda atrapar toda la energía que la estación base transmite debido a un número limitado de “fingers” del RAKE. Así, la ganancia de transferencia de llamada suave en el enlace de bajada depende de la ganancia de la macro diversidad y de la pérdida de funcionamiento debido al aumento de la interferencia. La Fig. 3.14 ilustra el principio de la transferencia de llamada suave con dos estaciones bases involucradas.

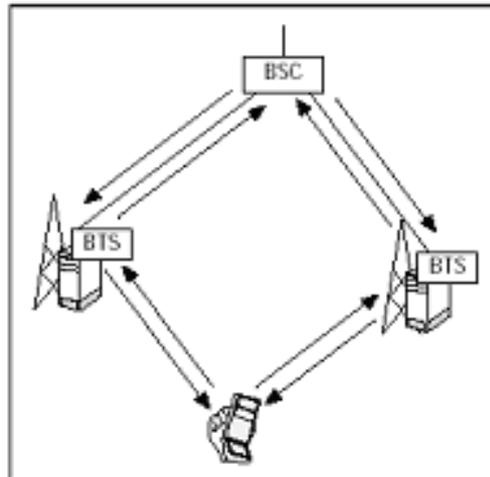


Fig. 3.14. Principio de transferencia de llamada suave con dos estaciones transreceptoras base (BTS)

En el enlace de subida la señal de la estación móvil es recibida por las dos estaciones base, que, después de la demodulación y combinación, pasan la señal enviada al punto de combinación, típicamente al controlador de estación base (BSC). En el enlace de bajada la misma información es transmitida vía ambas estaciones base, y la estación móvil recibe la información de dos estaciones base como señales de multitrayectoria separadas y por lo tanto puede combinarlas.

3.7.4 Transferencia de Llamada Interfrecuencial – Interfrequency Handover

Las redes CDMA de tercera generación tendrán múltiples portadoras de frecuencias en cada célula, y una célula “hot-spot” podría tener un número más grande de frecuencias que las células vecinas. Además, en la estructura jerárquica de las células, las microcélulas tendrán una frecuencia diferente a la de la macrocélula que sobrepone a las microcélulas. Por lo tanto, es necesario un procedimiento eficiente para una transferencia de llamada entre diferentes frecuencias.

Puesto que una transmisión de CDMA es continua, no hay ninguna ranura inactiva para la medición de la interfrecuencia como en los sistemas basados en TDMA. Por lo tanto, se han propuesto el modo comprimido y el receptor dual como una solución a la transferencia de llamada de interfrecuencia. En el modo comprimido, las ranuras de medición son creadas transmitiendo los datos de una trama (frame), por ejemplo, con un cociente de esparcimiento más bajo durante un período más corto, y el resto de la trama se utiliza para la medición en otras portadoras. El receptor dual puede medir otras frecuencias sin afectar la recepción de la frecuencia actual.

3.7.5 Detección de Múltiples Usuarios

Los receptores actuales de CDMA se basan en el principio del receptor RAKE, que considera a las señales de otros usuarios como interferencia. Sin embargo, en un receptor óptimo todas las señales podrían ser detectadas juntamente o la interferencia de otras señales podría ser sustraída de la señal deseada. Esto es posible porque las características de la correlación entre las señales son conocidas (es decir, la interferencia es determinista y no aleatoria).

La capacidad de un sistema CDMA de secuencia directa que usa al receptor RAKE es de interferencia limitada. Esto significa en la práctica que cuando un nuevo usuario, o un interferente entran a la red, la calidad de servicio de los otros usuarios bajará del nivel aceptable. Mientras más interferencia resista la red más usuarios pueden ser atendidos. La interferencia de acceso múltiple que molesta a una estación base o móvil es la suma de las dos interferencias: la intracelular y la intercelular.

La Detección Multiusuario (MUD), también llamada Detección de Conexión, y la Cancelación de Interferencia (IC), proporcionan medios para reducir el efecto de interferencia de acceso múltiple, y por lo tanto aumentan la capacidad del sistema. El MUD se considera solamente para cancelar la interferencia intracelular, es decir que en un sistema práctico la capacidad será limitada por la eficiencia del algoritmo y de la interferencia intercelular.

Además de la mejora de la capacidad, el MUD alivia el problema de cerca / lejos típico de los sistemas DS-CDMA. Una estación móvil cerca de una estación base puede bloquear todo el tráfico de la célula usando una muy alta potencia de transmisión. Si este usuario se detecta primero y se reduce la potencia de la señal de entrada, los otros usuarios no verán la interferencia.

Puesto que la detección multiusuario óptima es muy compleja y en la práctica imposible de implementar para cualquier número razonable de usuarios, se ha desarrollado un número de receptores multiusuario sub-óptimos y de cancelación de interferencia. Los receptores sub-óptimos se pueden dividir en dos principales categorías: de detectores lineales y de cancelación de interferencia. Los detectores lineales aplican una transformada lineal en las salidas de los filtros que están intentando quitar la interferencia de acceso múltiple (es decir, la interferencia debido a las correlaciones entre los códigos del usuario). Ejemplos de detectores lineales son el de-correlacionador y los detectores LMMSE (Linear Minimum Mean Square Error). En la cancelación de interferencia de acceso múltiple, primero se hace una estimación de la interferencia y enseguida se resta de la señal recibida. La cancelación paralela de interferencia "PIC" y la cancelación sucesiva (serial) de interferencia "SIC" son ejemplos de la cancelación de interferencia.

3.8 Ventajas de CDMA

Las principales ventajas de CDMA se mencionan a continuación:

3.8.1 Beneficios a los usuarios

- **Calidad excepcional de voz y comunicación**

CDMA provee buena calidad de voz, considerada virtualmente tan buena como la de la 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 redundará 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", CDMA también reduce significativamente la posibilidad de llamadas alteradas o interrumpidas durante el traslado de llamadas.

- **Cobertura extensa**

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 codificadas digitalmente y de espectro amplio 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 identificador de llamadas, mensajes cortos y transmisión de datos. CDMA también permite la transmisión simultánea de voz y datos.

3.8.2 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 suscriptores y en mayores volúmenes tráfico inalámbrico en una porción limitada del espectro de frecuencias de radio. Debido al rápido crecimiento del número de suscriptores 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 puesto que requiere menos células y espacio de células, 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. Al implementar cdmaOne, los proveedores de servicios pueden estar seguros de un camino de transición sin problemas con apoyo en sus inversiones en IS-95.

4. IMT-2000

La telefonía móvil e Internet son servicios de gran crecimiento e impulsan la industria de las telecomunicaciones y la informática. Internet crece a un ritmo superior al 100% anual mientras que la telefonía móvil lo hace a un ritmo entre el 40-60%, cifras espectaculares frente al crecimiento de la telefonía fija que no supera, en los países más avanzados, el 5 ó 10% (Figura 4.1).

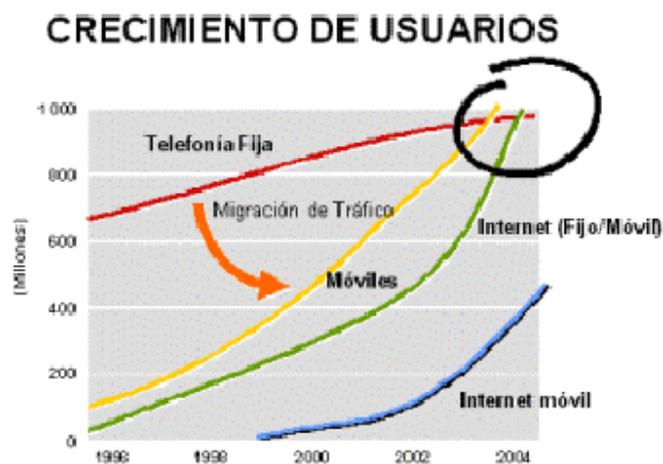


Fig. 4.1. Crecimiento de usuarios de telefonía móvil y accesos a Internet

Siguiendo este sostenido crecimiento, las comunicaciones móviles se encuentran en un punto de inflexión, donde la movilidad, el acceso a Internet y las aplicaciones multimedia sobre terminales móviles comienzan a transformar los servicios.

La primera generación de telefonía móvil fue analógica y limitada en capacidad de cobertura, permitía solamente llamadas de voz con media o baja calidad y los teléfonos se diseñaron originalmente para uso en vehículos. AMPS (American Mobile Phone System) fue el principal estándar de primera generación y se desarrolló entre 1982 y 1992. El sistema analógico empleado todavía en Europa, el TACS (Total Access Communications System), se basa también en el AMPS.

Los sistemas de primera generación de telefonía móvil se desarrollaron en las bandas de frecuencia de 800 MHz y 900 MHz.

La segunda generación móvil, también llamada PCS ó 2G, se desarrolló con la utilización de distintas tecnologías, siendo la más difundida especialmente en Europa y Asia GSM y de mayor utilización en América CDMA y TDMA, esta última también llamada D-AMPS por ser la versión digital de AMPS.

El concepto que identifica a los servicios de tercera generación o 3G y que los diferencia de 2G, comprende características como:

- Transmisión simétrica/asimétrica de alta calidad y confiabilidad.
- Uso de ancho de banda dinámico, en función de la aplicación.
- Altas velocidades: 144 Kbps en alta movilidad, 384 Kbps en espacios abiertos y 2 Mbps en baja movilidad.
- Soporte tanto de conmutación de paquetes (IP) como de circuitos.
- Soporte IP para acceso a Internet (navegación WWW), videojuegos, comercio electrónico, imágenes y videos en tiempo real.
- Soporte radioeléctrico flexible, con utilización más eficaz del espectro, con bandas de frecuencias comunes en todo el mundo.
- Servicios dependientes de la localización del usuario.
- Cobertura entre diferentes operadores, redes y países.
- Terminales multibanda y multientorno

Las principales características de IMT-2000 son la compatibilidad con sistemas de comunicaciones basados en redes fijas, un alto grado de compatibilidad y estandarización a nivel mundial, alta calidad de comunicaciones, terminales pequeñas con capacidad de ser usados en todo el mundo a través de la cobertura, capacidad de ofrecer servicios multimedia a los usuarios móviles y terminales que los soporten (Figura 4.2).

		1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2020
IMT-2000	3 G									
Digital	2 G									
Analógico	1 G									
Desarrollo de 2G										
Fase de Transición										
Consolidación de IMT-2000										

Fig. 4.2. Evolución de Estándares Móviles

4.1 Evolución del concepto IMT-2000

En 1985 la UIT-R estableció una iniciativa para que los sectores de los gobiernos e industrias de todo el mundo desarrollaran en forma conjunta los trabajos necesarios mediante un grupo de acción Internacional para establecer los parámetros de referencia que deberían seguir los fabricantes en la implementación de los Servicios Públicos Futuros de Telecomunicaciones Terrestres. En un origen éstos se denominaron FPLMTS, hoy denominado IMT-2000.

Dos sectores de la UIT (-T y -R) han sido responsables por el desarrollo del concepto de IMT2000, habiendo establecido diferentes grupos de estudio que consideran todos los aspectos necesarios.

Para finales de Junio de 1998, había 10 propuestas dadas a la ITU-R para los candidatos de la RTT's sobre los componentes terrestres de IMT-2000 desde los Estados Unidos, Europa, Japón, China y Corea, listados en la Tabla 4.1:

Propuesta	Descripción	Fuente
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunication	ETSI Project DECT
UWC-136	Universal Wireless Communications	USA TIA TR45.3
WIMS W-CDMA	Wireless Multimedia and Messaging Services Wideband CDMA	USA TIA TR46.1
TD-SCMA	Time-division synchronous CDMA	China CATT
W-CDMA	Wideband CDMA	JAPAN ARIB
CDMA II	Asynchronous DS-SS-SSMA	S. Korea TT-A
UTRA	UMTS Terrestrial Radio Access	ETSI SMG2
NA: W-CDMA	North American: Wideband-CDMA	USA T1P1-ATIS
Cdma2000	Wideband CDMA(IS-95)	USA TIA TR45.5
CDMA I	Multiband synchronous DS-SS-SSMA	S. Korea TTA

Tabla 4.1. Propuestas de tecnologías de radio transmisión para IMT-2000

En todas las propuestas, excepto la propuesta UWC-136 desde TR45.3 y la DECT basada en ETSI-DECT; Direct-Sequence CDMA (DS-SS-SSMA) fue seleccionada para conducir la técnica de acceso múltiple. La propuesta UWC-136 es la evolución 3G de la familia de estándares IS-136, la cual encuentra en los objetivos de IMT-2000 una mejora en la modulación para la existencia de los canales 136 de 30KHz (136+) y define portadoras TDMA complementarias de mayor ancho de banda (soportando alta velocidad en los servicios de datos) para facilitar aquellos servicios que no son posibles sobre portadoras de 30KHz.

Algunas importantes especificaciones de estas propuestas son resumidas en la tabla 2.

Propuesta	UTRA	Cdma2000	WCDMA/NA	WIMS WCDMA	W-CDMA	TD-SS-SSMA	CDMA II	CDMA I
Acceso Múltiple	FDD: DS-SS-SSMA TDD: T/CDMA	FDD:DS-SS-SSMA TDD:T/CDMA	FDD: DS-SS-SSMA TDD: T/CDMA	FDD: DS-SS-SSMA TDD:DS-W-SSMA(FL) DS-S-SSMA(RL)	FDD: DS-SS-SSMA TDD: T/CDMA	TDMA/CDMA	DS-SS-SSMA	DS-SS-SSMA
Esquema Dúplex	FDD/TDD	FDD/TDD	FDD/TDD	W-CDMA FDD modo:FDD S-TDMA TDD Modo:TDD	FDD/TDD	TDD	FDD	FDD

Capítulo 4

Propuesta	UTRA	Cdma2000	WCDMA/NA	WIMS WCDMA	W-CDMA	TD-SCDMA	CDMA II	CDMA I
Tasa de Chip (Mcps)	FDD:4.096/8.192/16.384 TDD: 4.096	1.2288xN Mcps (NX)	FDD:4.096 /8.192/16.384 TDD: 4.096	4.096 /8.192/16.384	1.0244.096 6 /8.192/16.384	1.136	1.0244.096 6 /8.192/16.384	0.9216/3.6864/14.7456
Longitud de la trama	10 ms	20.5 ms	10 ms	10 ms	10 ms	5 ms	10 ms	10 ms
Codificación del canal	Código convolucional (tasa 1/2, 1/3, k=9) Salida opcional en codificación RS (Tasa TDB)	Código Convolutacional (R=1/2, 1/3, 1/4, k=9); Código Turbo de R=1/2, 1/3, 1/4 y k=4 (Preferentemente para la transmisión de la fecha sobre 14.4 Kbps en un canal suplementario)	Código convolucional (tasa 1/2, 1/3, k=9) Salida opcional en codificación RS (R=4/5)	Código convolucional (FL:R=1/2, K=7, RL:R=1/3, k=9)	Código convolucional (tasa 1/2, 1/3, k=9) Código turbo de R=1/3 k=3 (transmisión de datos sobre 32 Kbps)	Código convolucional (R=3/4, K=9) Opcional código RS externo, Código Turbo de k=4 R=1/2 (preferentemente para tasas mayores a 19.2 Kbps servicio NRT)	Código convolucional (R= 1/2, 1/3, 1/4, 1/6, k=9) posible selección del FEC para tasas de datos bajas; Código turbo de R=1/3 k=3 para tasas altas de datos y paquetes de datos	Código convolucional (R= 1/2, 1/3, 1/4, 1/6) Opcional código RS externo (47,41)
Entrelazado	Inter/Intra trama	Intra trama	Inter/Intra trama	Entrelazado Bloqueado (sin más detalles)	Multiestadio Intra o Inter. Trama	Inter. Trama	Intra trama	Intra trama
Modulación de datos	FDD: QPSK FL: QPSK RL: canal dual QPSK; TDD: QPSK (RL&FL)	QPSK (FL) BPSK (RL)	FDD: QPSK FL: canal dual QPSK; TDD: QPSK (RL&FL)	QPSK	FDD: QPSK FL: QPSK RL: canal dual QPSK; TDD: QPSK	DQPSK y 16QAM para tasas de datos alta	QPSK(FL) BPSK(RL)	FL:QPSK RL:BPSK
Modulación de esparcimiento	FDD: BPSK (FL), QPSK(RL); TDD:QPSK (RL & FL)	QPSK	FDD: BPSK (FL), QPSK(RL); TDD:QPSK (RL & FL)	QPSK	QPSK	BPSK	FL:QPSK RL:OCQPSK (CDTCH, ACCH) / CQPSK (UPCH)	QPSK (FL) OCQPSK (RL)
Control de potencia	Circuito cerrado rápido, circuito abierto y circuito externo Step size: FDD:0.25-1.5 dB TDD:1.5-3 dB Ciclos del control de potencia: 1600/s (FDD) 100-800/s (TDD)	FDD:Circuito abierto y circuito cerrado rápido, FER basado en circuito externo (RL) TDD:circuito abierto Tamaño de paso: 1.0 dB nominal, opcional 0.5/2.5 dB Ciclos del control de potencia 800/s nominal	Circuito cerrado rápido y circuito externo (RL&FL) Step size: FDD:0.25-1.5 dB TDD:2 dB Ciclos del control de potencia: 1600/s (FDD) 100-800/s (TDD)	Control de potencia adaptativa Step Size: 1 dB nominal Ciclos del control de potencia: 1600/s	FDD: RL:circuito o cerrado, circuito abierto FL:circuito o cerrado añadido a un circuito externo TDD:RL&FL:circuito o cerrado Step size: 1dB Ciclos del control de potencia: FDD:1600/s TDD:800/s	RL:circuito abierto y circuito cerrado; Tamaño de paso: 1 dB Ciclos del control de potencia: 200/s	RL:circuito abierto y circuito cerrado; FL:circuito cerrado; FER basado en un circuito externo; Tamaño de paso:1 dB Ciclos del control de potencia: 1600/s	RL:circuito abierto y circuito cerrado; Tamaño de paso: 1 dB Ciclos del control de potencia: 1600/s

Propuesta	UTRA	Cdma2000	WCDMA/NA	WIMS WCDMA	W-CDMA	TD-SCDMA	CDMA II	CDMA I
Diversidad	RAKE en ambos BS y MS, antena diversificada en ambos BS y MS, transmisión diversificada (TBD)	RAKE en ambos BS y MS, antena diversificada en BS y opcionalmente en MS, retraso en la transmisión La diversidad puede ser usada para ambos Ms y BS	RAKE en ambos BS y MS, antena diversificada en BS y opcionalmente en MS	RAKE en ambos BS y MS, antena diversificada en BS	RAKE, antena diversificada en BS y opcional en MS	Una antena inteligente con un arreglo de 8 elementos en la BS	RAKE, antena diversificada, transmisión cambiada en el tiempo para FL	RAKE, antena diversificada, transmisión cambiada en el tiempo para FL
Sincronización Inter-BS	FDD: No es necesaria la sincronización exacta TDD:Síncrono	Sincronizados	FDD: No es necesaria la sincronización exacta TDD:Síncrono	No sincronizada	FDD: No es necesaria la sincronización exacta TDD:Síncrono	Sincronizados	Asíncrona; Operación síncrona es también posible	Modo síncrono; opcional modo asíncrono
Detección	MS&BS: Símbolos piloto basados en detección coherente	Detección coherente, MS&BS basados en los canales piloto	MS&BS: Símbolos piloto basados en detección coherente	Detección Coherente	MS&BS: Símbolos piloto basados en detección coherente	Detección Coherente	Detección coherente BS: basado en símbolos piloto. MS: basado en canal piloto	Detección coherente. BS y MS: basado en el canal piloto

Tabla 4.2. Especificaciones de la interfaz de aire para la tercera generación de las propuestas basadas en CDMA

El campo común a todas las propuestas basadas en CDMA le siguen implementaciones/especificaciones que caracterizan a los sistemas CDMA de 3G:

- CDMA de banda ancha (W-CDMA).
- Pilot-aided coherent reverse link.
- Control de potencia en el circuito cerrado rápido en el enlace hacia adelante
- Diversidad de antenas en la BS.
- Transferencia de llamada interfrecuencial para soportar células jerárquicas.

Lo más destacado de estas propuestas RTT basadas en CDMA es que pueden ser catalogar dentro de tres clases en las especificaciones de sus sistemas:

- UTRA (Europa), W-CDMA (Japón), WCDMA/NA (Estados Unidos), CDMA II (Corea), WIMS-WCDMA (Estados Unidos)
- Cdma2000 (Estados Unidos), CDMA I (Corea)
- TD-SCDMA (China)

Las diferencias claves entre los grupos son la tasa de chips, operación en las BS síncrona/asíncrona y las estructuras piloto (TDM/CDM, comunes/dedicadas).

4.2 Acceso Múltiple y Dúplex

En la mayoría de las propuestas RTT basadas en CDMA, CDMA de banda ancha (W-CDMA) fue propuesto para los sistemas con ancho de banda de 5-20 MHz, debido a las ventajas inherentes en términos de la capacidad de resolución multidireccional, poder de transmisión más bajo y soporte para servicios de alta tasa de bits. Una de las excepciones es la división de tiempo síncrono en la propuesta China CATT CDMA (TD-SCDMA), en la cual se adopta la banda estrecha de CDMA con una tasa de chips de 1.1136 Mcps.

Entre las propuestas basadas en CDMA, una tasa de chips típica de 4.096 Mcps es usada para la asignación de la banda de los 5 MHz. Esto demanda que la opción de la tasa de chips de 1.1136 Mcps esta principalmente basada sobre la consideración de compatibilidad con GSM y PDC. A diferencia, la propuesta Cdma2000 de la Telecommunications Industry Association (TIA) TR45.5 y la propuesta CDMA I de Corea TTA tienen especificadas una tasa de chips de 3.6864 Mcps, la cual se deriva directamente de la tasa de chip de IS-95.

En suma, la propuesta Cdma2000 permite una opción de multiportadora sobre un acoplamiento delantero y con una tasa de chips fija de 1.2288 Mcps por cada portadora. Una multiportadora cercana puede proveer flexibilidad en la asignación del ancho de banda y una estrategia de despliegue para permitir sistemas múltiples de ancho de banda, asegurando un recubrimiento en cada uno de ellos.

El modo de Duplexación por División de Frecuencia (FDD) es considerado en la mayor parte de las propuestas, a excepción de la propuesta China TDD-SCDMA. Sin embargo, el modo por Duplexación por División de Tiempo (TDD) es también soportado por otras propuestas como WCDMA, UTRA, Cdma2000, WCDMA/NA y WIM W-CDMA. La introducción de un modo TDD es principalmente por las designaciones de las bandas de frecuencias asimétricas de la ITU. Además, hay algunos anchos de banda del espectro que están siendo utilizadas por el sistema TDD-TDMA (por ejemplo: 1900-1920 MHz para TDD-WLI en China, 1850-1990 MHz para PCS en los Estados Unidos, 1885-1920 MHz para DECT en Europa, y 1895-1918 MHz para PIIS en Japón, como se ilustra en la Tabla 4.3. Una interfaz de aire con disposición de ambos FDD y TDD puede proveer suficiente flexibilidad en la asignación del espectro. Debido a esta consideración en WCDMA, UTRA, Cdma2000, y WCDMA/NA, el modo TDD ha sido designado tan similar como el modo FDD, esto para facilitar la fácil implementación del modo dual TDD/FDD en los teléfonos así como la reutilización de circuitos integrados (CIs) de los teléfonos de modo simple TDD. En contraste, el WIM W-CDMA se aplica en diseños diferentes para su modo TDD, en el cual DS-S-CDMA es usado para el acoplamiento en reversa y el ancho de banda de CDMA para el acoplamiento hacia delante.

	GSM/DCS-1800	IS-54/136	PDC	IS-95
Región	Europa	Norte América	Japón	Norte América
Banda de Frecuencia (MHz)	900/1800/1900	800/1900	700/1500	800/1900
Acceso Múltiple	F/TDMA	F/TDMA	F/TDMA	F/CDMA
Espaciamiento de la portadora (KHz)	200	30	25	1250
Modulación	GMSK	OQPSK	OQPSK	BPSK/QPSK
Codificación de la llamada (Kbps)	VSELP(HR-5.6) RPE-LTP (FR-13) ACELP (EFR-12.2)	VSELP (FR-7.95) ACELP (EFR-7.4)	PSI-CELP (HR-3.45) VSELP (FR-6.7)	QCELP (8,4,2,1) RCELP (EVRC)
Tamaño de la trama (ms)	4.6	40	20	20
Codificación del canal (código de convolución)	Tasa 1/2	Tasa 1/2	Tasa 1/2	Tasa 1/2 o 1/3

HR: Codificación de tasa media; FR: Codificación de tasa completa; EFR: Codificación de tasa completa mejorada; EVRC: Codificación de tasa variable mejorada.
Un codec multitasa adaptativo (AMR) para GSM está siendo estandarizado por ETSI

Tabla 4.3. Características de la interfaz de aire de sistemas 2G

4.3 Asignación inicial de espectro para IMT-2000

La asignación inicial de espectro para IMT-2000 se realizó en la Conferencia Mundial de 1992, WARC 92, asignando 230 MHz en las bandas 1885-2025 MHz y 2110-2200 MHz (Figura 4.3).

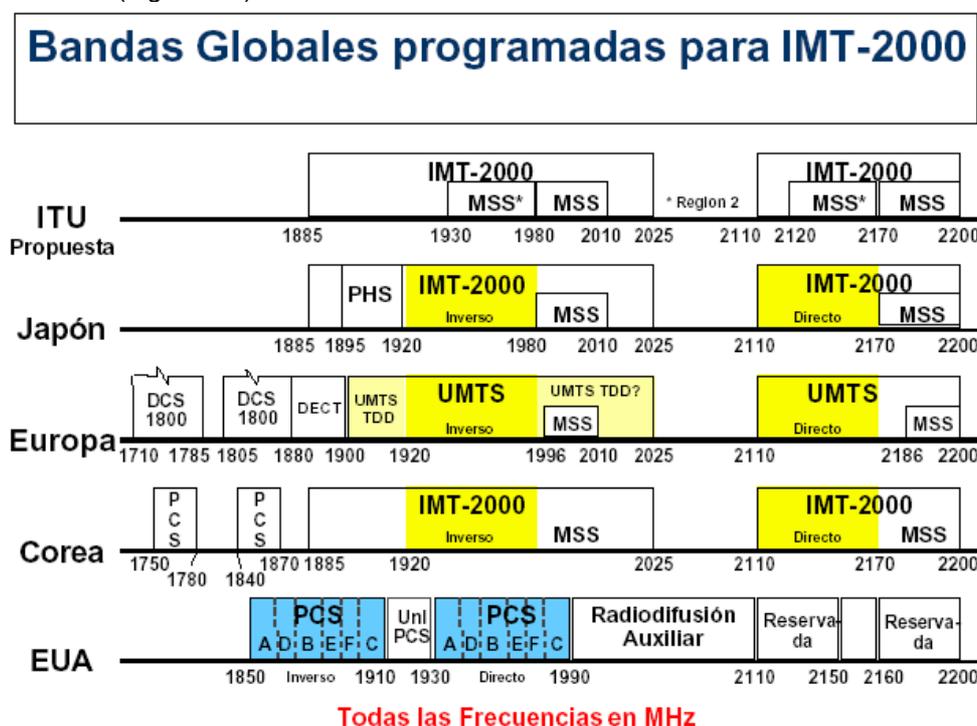


Fig. 4.3. Asignación inicial de espectro para IMT-2000 y su ocupación en otros países

En la región 2 algunos países como México, Canadá, Costa Rica, Perú, Argentina, Chile, Venezuela, entre otros, atribuyeron los servicios de telefonía móvil de segunda generación ó PCS en las mismas bandas que Estados Unidos, es decir, 1900 MHz.

IMT-2000 comprende también una componente satelital que facilita los aspectos de cobertura internacional, así como la obtención de comunicación en lugares donde no haya disponibilidad de sistemas terrestres, complementando las Células macro, micro y pico de la componente terrestre mediante la reutilización de frecuencias.

4.4 UMTS / IMT-2000

Las siglas UMTS son la abreviación de Universal Mobile Telecommunications System o Sistema Universal de Telecomunicaciones Móviles, y constituye la visión europea de sistemas con capacidades 3G como parte de la familia de estándares IMT-2000. UMTS es la evolución lógica de la comunidad GSM a la tercera generación, por lo que fue adoptada en la Unión Europea.

Ha sido reconocido por ITU como un estándar internacional abierto para telecomunicaciones móviles de alta capacidad tanto en su componente terrestre como en la satelital.

UMTS fue iniciado por el Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones ETSI en el marco de IMT-2000 y está siendo estandarizado en cooperación con otros cuerpos como el 3GPP o 3rd Generation Partnership Project. El 3GPP provee especificaciones técnicas para sistemas móviles de tercera generación basados en la evolución de las redes GSM y las técnicas de acceso de radio estudiadas en ETSI llamadas UTRA y en ARIB como W-CDMA (ambas con modalidades FDD de bandas de frecuencias apareadas y TDD de bandas de frecuencia no apareadas).

UMTS tiene un papel protagónico en la creación del mercado masivo para las comunicaciones multimedia inalámbricas de alta calidad que alcanzarán a 2000 millones de usuarios en todo el mundo en el año 2010. En los últimos años, UMTS ha sido objeto de intensos esfuerzos de investigación y desarrollo en todo el mundo, y cuenta con el apoyo de numerosos e importantes fabricantes y operadores de telecomunicaciones ya que representa una oportunidad única de crear un mercado masivo para el acceso a la sociedad de la Información de servicios móviles altamente personalizados y de uso fácil.

En enero de 1998, el ETSI adoptó la tecnología W-CDMA (Wideband CDMA) en modo FDD (Frequency Division Duplex) con provisión para TDD (Time Division Duplex) como la tecnología apropiada para UMTS Terrestrial Radio Access (UTRA), cada una diferente, pero basada en tecnologías similares. Es por esta razón que W-CDMA y UTRA se usan como términos intercambiables.

La combinación de los dos modos (FDD y TDD) ofrece la oportunidad de obtener la mayor eficiencia del mismo sistema bajo cualquier condición (urbana, suburbana, interiores y exteriores)

UMTS, en la componente terrestre, tiene una estructura jerárquica, esto es, está compuesta por tres tipos de células: Macro Célula, Micro Célula y Pico Célula con un mínimo de 5 MHz de ancho de banda por Célula.

La Macro Célula tiene radios desde 1 km hasta 35 km y se destinan para ofrecer cobertura rural y carreteras para vehículos u otros objetos que se mueven a alta velocidad (transmisión de datos de 114 Kbps). La Micro Célula tiene radios desde 50 m hasta 1 km.

Ofrecen servicio a usuarios fijos que se mueven lentamente con elevada densidad de tráfico (urbana) con velocidades de 384 Kbps. Las Pico Células tiene radios hasta a 50 m. Ofrecen coberturas localizadas en interiores, con velocidades del orden de los 2 Mbps.

4.5 Configuración del canal físico

Los canales físicos son manejados junto con la capa física. En el modo FDD, un canal físico es definido por su código y por su frecuencia. Esto podría ser también definido por su fase relativa (I/Q). En el modo TDD, código, frecuencia, y la ranura de tiempo definen un canal físico. En general, los canales físicos puede ser ampliamente catalogados dentro de dos clases básicas: canal físico dedicado (DPCH) y el canal físico común (CPCH). Esto hace ver que el énfasis para el acoplamiento, hacia delante y en reversa diseñados para la capa física, es diferente. En el acoplamiento hacia delante, la utilización eficiente del espectro y el alto tráfico en el rendimiento de procesamiento son las primicias principales. Sin embargo, el consumo de energía para el transmisor (lighter) y la duración de las terminales de la batería es el factor más importante en el acoplamiento en reversa. Estas consideraciones impactan en la configuración de los canales físicos para los acoplamientos hacia delante y en reversa.

4.6 Canales Físicos en el Acoplamiento en Reversa

En la propuesta Europea UTRA, la propuesta norteamericana W-CDMA/NA, y la propuesta japonesa WCDMA, hay dos tipos de DPCH que son definidos en el acoplamiento de reversa; el canal físico dedicado de datos (DPDCH) y el canal físico de control dedicado (DPCCH). El DPCCH es usado para llevar el control de la información generada en la capa 1, la cual consiste de bits pilotos conocidos para el soporte de la estimación del canal para la detección coherente, los comandos del control de transmisión de energía (TPC), y una parte opcional. En el UTRA, la parte opcional es un indicador de formato de transporte (TFI), el cual es usado para informar al receptor acerca de los parámetros instantáneos de los diferentes canales de transporte multiplexados en el acoplamiento de reversa DPDCH. En WCDMA y W-CDMA/NA esta parte consiste en la tasa de información (RI). En el acoplamiento en reversa, el DPDCH y el DPCCH son multiplexados I/Q. La multiplexación I/Q puede evitar que la transmisión se interrumpa, la cual puede ser por causa de problemas innecesarios para una compatibilidad electromagnética (EMC). Más aun, esto permite el monitoreo continuo de los canales, aún durante periodos en los cuales no haya actividad de voz. Además de los DPCHs, un tipo de acoplamiento en reversa CPCH es definido para llevar el acceso aleatorio del canal (RACH) en todas esas propuestas, llamado el RACH físico (PRACH) en UTRA y W-CDMA.

A diferencia, el acoplamiento en reversa DPCH de Cdma2000 incluye un canal piloto de reversa, un canal fundamental, un canal suplementario, y un canal de control dedicado. Además, dos tipos de CPCH son definidos en el acoplamiento de reversa, el canal de acceso en reversa (R-ACH) y el canal de control común (R-CCCH).

Las dos propuestas coreanas tienen diferentes configuraciones del canal físico. En CDMA I, el canal de tráfico dedicado en reversa, el canal de señalización, y el canal piloto de reversa constituyen el acoplamiento en reversa DPCH, y el CPCH incluye el canal de acceso en reversa, el canal dedicado asimétrico y el canal común de tráfico. A diferencia, el acoplamiento en reversa DPCH en CDMA II está compuesto de un canal de tráfico físico dedicado y multiplexado en el tiempo (DPTCH) y de un canal de señalización dedicado (DPSCCH) y DPCCH. El DPCCH es usado para llevar el símbolo piloto, símbolos TPC, un opcional RI y un I/Q multiplexado con DPTCH/DPSCCH en el acoplamiento en reversa. Existe un solo tipo de CPCH definido por CDMA II para el acoplamiento en reversa.

En WIMS W-CDMA y TD-SCDMA, dos tipos de canales físicos son definidos para el acoplamiento en reversa, el DPDCH y PRACH. La información del usuario y la información de control son llevados por el DPDCH.

4.7 Canales Físicos en el Acoplamiento hacia delante

En las propuestas de UTRA, W-CDMA/NA y WCDMA sólo hay un tipo de acoplamiento hacia delante DPCH, junto con lo cual los datos dedicados son transmitidos en tiempos de multiplexación con la información de control generada en la capa 1 (conocidas como bits piloto, TPC, y un opcional TFI o RT). Así, aunque es diferente al acoplamiento en reversa, el acoplamiento hacia delante DPCH puede ser visto en el tiempo de multiplexaje de un acoplamiento hacia delante DPDCH y un DPCCH. La estructura piloto en tiempo de multiplexación introduce la facilidad de un receptor móvil procesando. Además, este ha sido tipificado con casi el mismo funcionamiento de tasa de error (BER) como una estructura paralela piloto que ha sido lograda para usarse en la multiplexación en el tiempo piloto. UTRA y W-CDMA/NA especifica tres tipos de acoplamiento hacia delante CPCH: canales físicos de control común primarios y secundarios (CCPCHs) y un canal de sincronización (SYCH). Los CCPCHs son usados para llevar el BCCH y el FACH/PCH, respectivamente. El SYCH es una señal de acoplamiento hacia delante usada para la búsqueda de la célula, la cual es sólo transmitida intermitentemente y multiplexada después de un código largo del DPCH y CCPH. A diferencia, WCDMA define el canal físico común de acoplamiento hacia delante como el transporte de PCH/FACH y el BCCH, multiplexado en el tiempo con los códigos de búsqueda de las células, siendo transportada por el canal Perch.

En ambas propuestas coreanas, el DPCH hacia delante consiste en el canal de tráfico dedicado hacia delante y el canal de señalización. En CDMA II, el TPC y los símbolos RI son incluidos en el canal de señalización del acoplamiento hacia delante. En cuanto al CPCH, el canal piloto hacia delante, el canal de sincronización, el canal de localización y el canal de control de energía común hacia delante, aunado esto con un acceso de control de bits y el canal común de tráfico y señalización son especificados en CDMA I, mientras sólo dos tipos de CPCH son definidos en CDMA II: el canal físico común para el acoplamiento hacia delante y para el control de paquetes. En suma, un canal piloto índice y un canal piloto de célula son también especificados en el acoplamiento hacia delante de CDMA II.

En el acoplamiento hacia delante existen tres tipos de canales físicos, el DPCH hacia delante, CCPCH primario y CCPCH secundario, los cuales son especificados en ambas propuestas: WIMS WCDMA y TD-SCDMA.

5. Ambiente de Operación de Radiofrecuencia

5.1 Fundamentos de la Radio Comunicación.

El uso de la comunicación por radio se ha observado desde que Hertz demostró experimentalmente la relación entre la luz y la electricidad en 1887 después de que Maxwell hubiera ilustrado las ecuaciones principales de los campos electromagnéticos en 1864. Después, Marconi utilizó la onda "hertziana" para comunicarse, inventando la telegrafía sin hilos en 1896. La explotación de la onda de radio para la transmisión de información es parte básica de la radio comunicación.

El principio fundamental de la comunicación por radio es que utiliza las ondas de radio como medio de transmisión. Como fenómenos naturales, las ondas de radio son una consecuencia de campos electromagnéticos. Bajo ciertas circunstancias, los campos electromagnéticos dependientes producen ondas que irradian de la fuente hacia el medio ambiente. Esta fuente puede ser un transmisor, una estación base o un microteléfono móvil. Debido a que las ondas de radio se basan por lo general en campos electromagnéticos, sus características son dependientes del ambiente donde se propagan. Por consiguiente, un sistema basado en ondas de radio es vulnerable a factores ambientales; por ejemplo, montañas, colinas, reflectores enormes como los edificios, la atmósfera, etcétera.

Cada sistema de comunicación consiste en por lo menos dos elementos, el transmisor y el receptor. En los sistemas móviles, estos dos elementos se pueden integrar en un dispositivo llamado ("Transreceptor") de modo que sea capaz de funcionar en ambas modalidades, transmisor y receptor. La Figura 5.1 ilustra el sistema más simple en radio comunicación, el cuál consiste en una estación base y un teléfono móvil. Suponiendo que la estación base actúa como fuente transmisora para un instante específico y considerando las circunstancias ambientales, la señal de radio se propaga de la estación base a la estación móvil a la velocidad de la luz. La fuerza de la señal que recibe el teléfono depende de la distancia a la estación base, de la longitud de onda y del ambiente de comunicación.

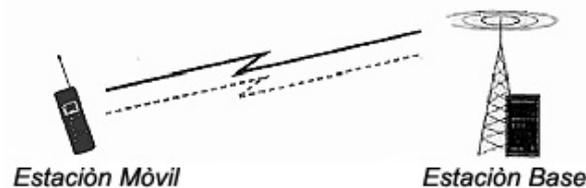


Fig. 5.1. Elementos esenciales en un sistema de Radio Comunicación.

Un mecanismo de propagación de ondas de radio depende de las longitudes de onda o de las frecuencias. Además de eso, cualquier obstáculo hecho por el hombre o natural como los edificios altos, el terreno, condición atmosférica, etc. afecta el tiempo y modo de propagación de la señal entre transmisor y receptor. Similarmente, los parámetros del sistema, por ejemplo, la altura de la antena y dirección de la viga tienen naturalmente su propio efecto en la distancia de la propagación, modo, y retraso. Por naturaleza, las radio comunicaciones intrínsecamente traen algunos problemas alrededor. Los principales problemas que cada radio comunicación enfrenta son los siguientes:

- Fenómenos multidireccionales de la propagación.
- Fenómenos de desvanecimiento.

- Escasez de recursos de radio.

La propagación multidireccional también es considerada, por muchos medios, como ventaja de la radio comunicación porque permite al receptor de radio oír a la estación base incluso sin la línea de vista de las señales (LOS).

Los factores que afectan a la radio propagación son extremadamente dinámicos, sofisticados, y diversos. A pesar de eso y para modelar los fenómenos de la propagación, los mecanismos se pueden clasificar en reflexión, difracción, y dispersión (Figura 5.2). En el ambiente de una red de radio estos mecanismos de propagación conllevan a la propagación multidireccional que causa fluctuaciones en las características de las señales recibidas, incluyendo la amplitud, la fase, y el ángulo de llegada, dando lugar a desvanecimiento multidireccional. La reflexión es la consecuencia de la colisión de la onda electromagnética con una obstrucción cuyas dimensiones sean muy grandes en comparación con la longitud de onda de la onda de radio. El resultado de este fenómeno son las ondas de radio reflejadas, que se pueden capturar constructivamente en el receptor, ya sea una estación base o móvil. La difracción, también llamada sombreado, es la consecuencia de la colisión de la onda de radio con una obstrucción que sea imposible penetrar. La dispersión por otra parte es la consecuencia de la colisión de la onda de radio con obstrucciones cuyas dimensiones son casi iguales o menores que la longitud de onda de la onda de radio. Estos fenómenos juntos explican cómo las ondas de radio pueden viajar en el ambiente de una red de radio sin una trayectoria de línea de vista LOS.

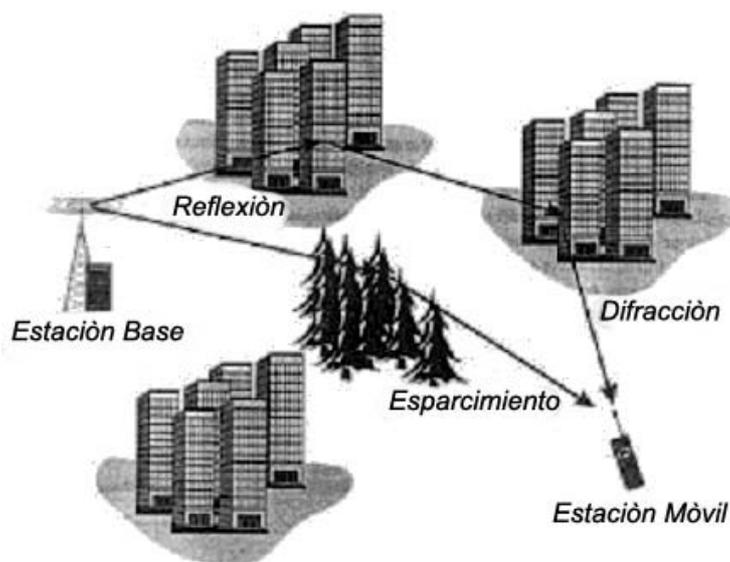


Fig. 5.2. Mecanismos de propagación: Reflexión, Difracción y Esparcimiento.

Desde la perspectiva del receptor y dependiendo de las condiciones previas existentes de cualquier mecanismo de propagación antes mencionado, la potencia recibida de la señal es afectada aleatoriamente por cada uno o por la combinación de estos mecanismos. Además de esos mecanismos de propagación, en sistemas móviles los conceptos de movilidad, de cobertura en interiores, de cobertura al aire libre, y de la estructura jerárquica de la red aumentan algunos aspectos específicos en el ambiente de propagación, que hacen la situación más sofisticada.

Hay principalmente dos diversas maneras de describir el efecto del mecanismo de propagación en la fuerza de la señal del canal de radio, incluyendo el acoplamiento de enlace y la dispersión del tiempo. La idea básica detrás del acoplamiento de enlace es determinar un nivel de la señal esperado en una distancia o una localización en particular de un transmisor como la estación base o la estación móvil. Modelando los parámetros esenciales del acoplamiento de enlace de la red de

radio tales como los requisitos de potencia del transmisor, el área de cobertura, y la vida de la batería, pueden ser definidas.

El cálculo del acoplamiento de enlace, puede ser realizado estimando la pérdida de trayectoria de la señal. La estimación de la pérdida de trayectoria se puede hacer basándose en el modelo del espacio libre, definiendo eso en un modelo idealizado de espacio libre, la atenuación de la señal entre la estación base y la estación móvil se comporta probablemente según la ley del cuadrado-inverso. Debido a las diferencias en el ambiente de radio de los sistemas móviles avanzados, es casi imposible considerar todos los parámetros que afectan el canal de radio del sistema. Por lo tanto, se han desarrollado algunos modelos generales para los casos más usuales. Para considerar todo el efecto de desvanecimiento del canal de radio, no es adecuado solamente el acoplamiento de enlace; además de eso el efecto de la propagación multidireccional en términos de la dispersión del tiempo debe ser considerado también. Esto se puede hacer estimando los diversos retardos de propagación relacionados a las replicas de la señal transmitida que alcanza el receptor.

Un proceso de desvanecimiento típico se ilustra en la Figura 5.3. Cualquier proceso de desvanecimiento tiene las dos curvas simples de forma diferente, o sea, los desvanecimientos profundos hacia abajo, se refieren al deterioro de la fuerza de la señal y las curvas hacia arriba, son causa de la interferencia indeseable. Por lo tanto, una combinación de estas curvas simples puede aproximarse a la envolvente de cualquier proceso de desvanecimiento y las acciones del control para el proceso de desvanecimiento se determinan por separado para compensar la desviación del nivel de la señal alrededor del promedio deseable.

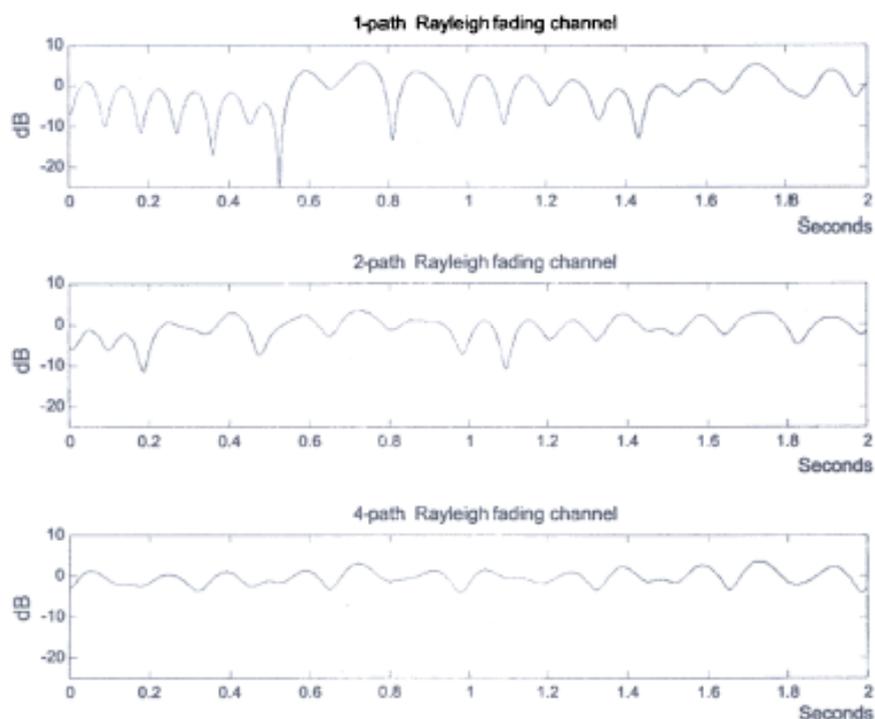


Fig. 5.3. Típica señal con desvanecimiento de potencia

La Figura 5.4 ilustra los tipos principales de desvanecimiento, que pueden presentarse en cualquier ambiente de radio redes en una forma u otra dependiendo del ambiente de la radio red. Las clases principales de desvanecimiento del canal de radio incluyen desvanecimiento en grande y en reducida escala. Lo anterior representa el promedio de la atenuación de la potencia de la señal o las pérdidas de trayectoria de la señal debido a las áreas excesivas de movimiento del móvil entre

la estación base y la estación móvil. El caso-pequeño de desvanecimiento, por otra parte, es el resultado de variaciones rápidas en la amplitud y la fase de la señal que pueden ser experimentadas entre la estación base y la estación móvil. El desvanecimiento en reducida escala también se llama desvanecimiento Rayleigh o Rician dependiendo del NLOS o del LOS característico de las trayectorias reflexivas. El desvanecimiento en reducida escala puede ser dividido en desvanecimiento selectivo de frecuencia, desvanecimiento plano, desvanecimiento rápido, y desvanecimiento lento.

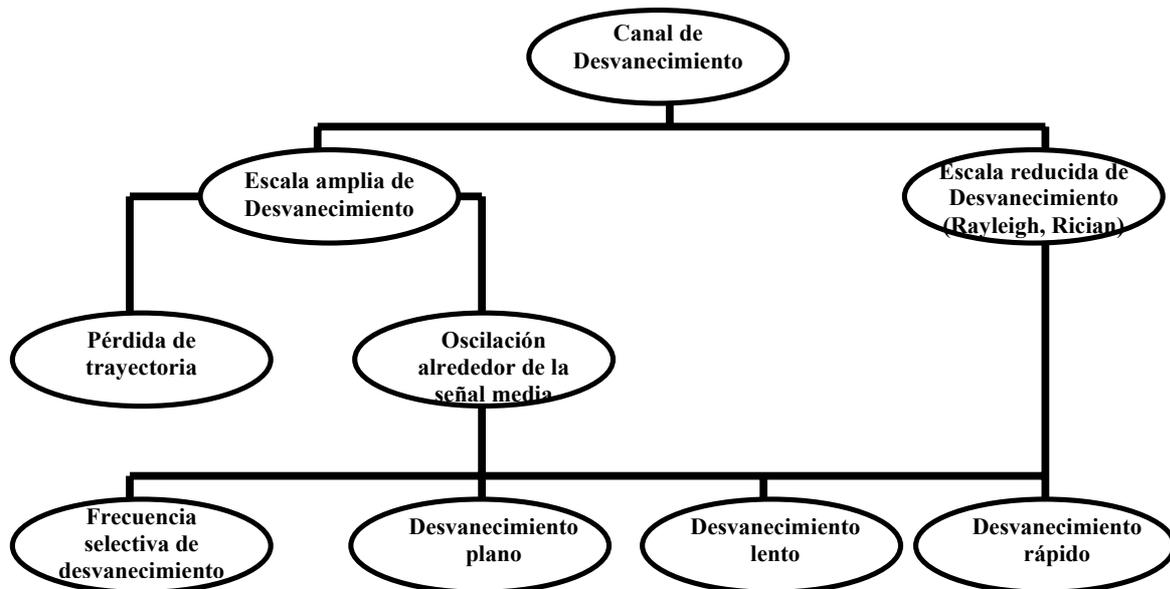


Fig. 5.4 Clasificación del desvanecimiento del canal de radio

El canal de radio experimenta desvanecimiento de la señal el cual consiste muy probablemente en el componente Rayleigh sin LOS, haciendo el canal más duro de enfrentar. Consecuentemente, una señal llega a una estación móvil de muchas direcciones con diferentes retrasos, causando diferencias de fase significativas en las señales que viajan en diferentes ramas. Por otra parte, el comportamiento de desvanecimiento del canal de radio es terminantemente dependiente de la posición física y el movimiento de la estación móvil. Un cambio pequeño en la posición o el movimiento de la estación móvil puede dar lugar a una diferente fase para cada rama de la señal. Así el movimiento de la estación móvil a través de la red de radio puede dar lugar a un fenómeno de desvanecimiento absolutamente rápido, que puede ser extremadamente quebrantador a las señales de radio, solicitando requisitos considerables de la optimización de la red de radio.

Si se asume que una señal de radio es transmitida de la estación base a la estación móvil con fuerza constante en la señal, entonces, el efecto de desvanecimiento se puede considerar en función de la distancia de la fuerza de la señal transmitida de la estación base según lo recibido en la estación móvil. Por lo tanto, como la distancia aumenta entre la estación móvil y la estación base, la fuerza recibida de la señal disminuye en la estación móvil. El promedio de las pérdidas de trayectoria (que sigue básicamente la distribución registro - normal del promedio de las pérdidas de trayectoria) es igual para ambas direcciones.

La propagación multi trayectoria de la señal causa desvanecimiento rápido también. De hecho, este tipo de desvanecimiento es más difícil de compensar porque la señal llega de estas trayectorias múltiples con fases y amplitudes al azar, dando por resultado las características del

desvanecimiento de Rayleigh. Si diferentes anchos de banda se utilizan en el “enlace de subida” y el “enlace de bajada” en sistemas celulares entonces el desvanecimiento de Rayleigh es típicamente independiente para el “enlace de bajada” y el “enlace de subida”, es decir que cuando el canal del “enlace de subida” se está desvaneciendo, el canal del “enlace de bajada” no necesariamente se está desvaneciendo al mismo tiempo y viceversa.

En orden de que el móvil ajuste su energía de transmisión para que corresponda a la fuerza de la señal de enlace con su estación celular base debe tomar el paso inverso de la señal que la estación base genera. Por lo tanto, el móvil tiene que aumentar la potencia de su señal en dos pasos de control, es decir, en primer lugar debe compensar el desvanecimiento de registro normal y en segundo lugar el desvanecimiento rápido. El aumento repentino en potencia del transmisor, sin embargo, puede tener desventajas para el funcionamiento del sistema total en términos de capacidad y calidad de servicio. Como la movilidad es una parte inherente del sistema móvil, causa más complejidad al desvanecimiento del canal de radio. La duración de los desvanecimientos del nivel medio de la señal es dependiente de la velocidad de la estación móvil y de la frecuencia de operación de tal forma que si la estación móvil acelera el desvanecimiento llega a ser más severo.

Además de desvanecimiento y de fenómenos multidireccionales, la interferencia es un problema punzante para cada sistema de radio comunicación. La razón básica detrás de la interferencia es que hay muchos accesos de radio simultáneos a la estación base. Éste es el caso especialmente cuando el sistema de radio utiliza un ancho de banda común compartido. Por otra parte, muchos ruidos artificiales pueden generar interferencias adicionales al sistema de radio. Sin embargo, los modos más dominantes de interferencia son causados básicamente por el uso común de los recursos de radio simultáneamente. La reducción al mínimo del impacto indeseable de desvanecimiento, interferencia y escasez de recursos de radio es considerablemente dependiente sobre el planeamiento de la red de radio, las técnicas de acceso utilizadas, y los algoritmos usados para controlar los recursos de radio.

Para solucionar los problemas previamente mencionados se han desarrollado muchas soluciones especialmente durante las décadas pasadas desde que las comunicaciones por radio se han utilizado para comunicaciones públicas. El aumento en el número de usuarios de comunicación por radio junto con la demanda simultánea de cobertura para redes de área grande y diversos servicios, establecen requisitos extremadamente apretados para los sistemas de comunicación por radio. Consecuentemente, muchas soluciones avanzadas han sido utilizadas por los sistemas públicos de comunicación por radio, como conceptos celulares, técnicas avanzadas de radio de asignación de recursos, técnicas de modulación, técnicas de antena avanzadas, etcétera.

Una de las características más importantes del ambiente de propagación es la pérdida de trayectoria (propagación). Una valoración exacta de las pérdidas de propagación proporciona una buena base para una selección apropiada de localizaciones para la estación base y de una determinación apropiada del plan de frecuencias. Conociendo las pérdidas de propagación, uno puede determinar eficientemente la fuerza de la señal, el cociente señal-a-ruido (SNR), el cociente de portadora-a-interferencia (C/I), etc.

5.2 Fenómenos de la Propagación

Los mecanismos de propagación son muy complejos y diversos. En primer lugar, debido a la separación entre el receptor y el transmisor, ocurre atenuación en la fuerza de la señal. Además, la señal se propaga por medio de difracción, dispersión, reflexión, transmisión, refracción, etc.

La difracción ocurre cuando la propagación directa con línea de vista (LoS) entre el transmisor y el receptor es obstruida por un obstáculo opaco cuyas dimensiones sean considerablemente más grandes que la longitud de onda de la señal. La difracción ocurre en los bordes del obstáculo donde se dispersan las ondas de radio, y consecuentemente, se atenúan. El mecanismo de

difracción permite la recepción de señales de radio cuando las condiciones de LoS no están satisfechas (caso de NLoS), ya sea en ambientes urbanos o rurales.

La dispersión ocurre cuando la trayectoria de propagación contiene obstáculos cuyas dimensiones son comparables a la longitud de onda. La naturaleza de este fenómeno es similar a la difracción, excepto que las ondas de radio están dispersas en un mayor número de direcciones. De todos los efectos mencionados, la dispersión es la más difícil de ser predicha.

La reflexión ocurre cuando la onda de radio enfrenta un obstáculo cuyas dimensiones son considerablemente más grandes que la longitud de onda de la onda incidente. Una onda reflejada puede disminuir o aumentar el nivel de la señal en el punto de la recepción. En los casos donde existen muchas ondas reflejadas, el nivel recibido de la señal tiende a ser muy inestable. Este fenómeno es conocido comúnmente como desvanecimiento multidireccional, y la señal es a menudo de distribución Rayleigh.

La transmisión ocurre cuando la onda de radio encuentra un obstáculo con un cierto grado transparente para las ondas de radio. Este mecanismo permite la recepción de las señales de radio dentro de edificios en los casos en que los transmisores se encuentran ya sea al aire libre o dentro de ellos.

La refracción es muy importante en el diseño de un sistema de radio "macrocélula". Debido a un índice de refracción inconstante de la atmósfera, las ondas de radio no se propagan a lo largo de una línea recta, sino a lo largo de una curva. Por lo tanto, el área de cobertura de un transmisor real es generalmente más grande. Sin embargo, como resultado de las fluctuaciones de los parámetros de la atmósfera, el nivel recibido de la fuerza de la señal está fluctuando también.

El nivel recibido de una señal es absolutamente variable con respecto al tiempo y especialmente con respecto al desplazamiento del receptor o del transmisor. Incluso un desplazamiento apenas de una fracción de la longitud de onda puede causar un cambio en el nivel de la señal por más de 30 dB. Estas fluctuaciones se conocen como desvanecimiento a corto plazo (o multidireccional). Por otra parte, el promedio local de la señal varía lentamente con el desplazamiento. Estas fluctuaciones lentas dependen sobre todo de características ambientales, y se conocen como desvanecimiento a largo plazo. El desvanecimiento lento y rápido se ilustra en la Fig. 5.5.

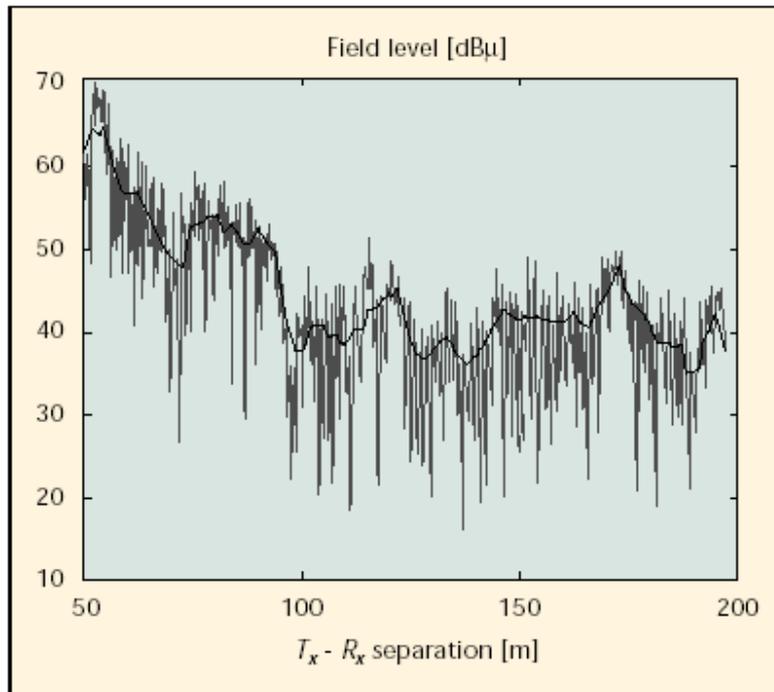


Fig. 5.5. Típicas variaciones del nivel del campo con respecto al desplazamiento. El nivel de la señal varía rápidamente (desvanecimiento a corto plazo). El promedio local varía lentamente (desvanecimiento a largo plazo).

Puesto que el desvanecimiento a corto plazo de la señal recibida es casi imposible de predecir, todos los modelos de propagación estiman los valores medios o medianos. Típicamente, una anchura conveniente de la ventana de estimación para los usos en las áreas más grandes es $\pm 20 \lambda$, mientras que en áreas más pequeñas la ventana debe ser más estrecha.

5.3 Modelos de Propagación

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones, diagramas, y algoritmos matemáticos usados para representar las características de radio de un ambiente dado. Generalmente, los modelos de predicción pueden ser empíricos (también llamados estadísticos) o teóricos (también llamados deterministas), o una combinación de estos dos. Mientras que los modelos empíricos se basan en mediciones, los modelos teóricos se ocupan de los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de las ondas de radio.

En los modelos empíricos, todas las influencias ambientales se consideran implícitas sin importar si pueden ser reconocidas por separado. Ésta es la ventaja principal de estos modelos. Por otra parte, la exactitud de estos modelos depende no solamente de la exactitud de las medidas, sino también de las semejanzas entre el ambiente que se analizará y el ambiente donde se realizan las medidas.

Los modelos deterministas se basan en los principios de la física y, debido a eso, pueden ser aplicados a diversos ambientes sin afectar la exactitud. En la práctica, su implementación requiere generalmente una base de datos enorme de características ambientales, que es a veces impráctica o imposible de obtener. Los algoritmos usados por los modelos deterministas son generalmente muy complejos y carentes de eficiencia computacional. Por esa razón, la implementación de los modelos deterministas se restringe comúnmente a áreas más pequeñas de microcélulas o de

ambientes interiores. Sin embargo, si los modelos deterministas se ponen en ejecución correctamente, mayor exactitud de la predicción se puede esperar que en el caso de los modelos empíricos.

Con base en el ambiente de radio, los modelos de predicción se pueden clasificar en dos principales categorías, modelos de propagación al aire libre y en interiores. Además, en lo que se refiere al tamaño del área de cobertura, los modelos de propagación al aire libre se pueden subdividir en dos clases adicionales, "macrocell" (macrocélulas) y "microcell" (microcélulas).

5.4 Modelos de Propagación Macro célula

La filosofía de diseño de Macro célula se basa en las asunciones de las líneas centrales de alta radiación, puestas generalmente sobre los alrededores; potencias de transmisión del orden de varias decenas de watts; y células grandes cuyas dimensiones son del orden de varias decenas de kilómetros. Bajo estas asunciones, las condiciones de LoS generalmente no están satisfechas y la señal del transmisor al receptor se propaga por medio de la difracción y de la reflexión. También, para las células grandes los efectos de la refracción son muy importantes. Todos estos factores hacen muy difícil el problema de la predicción de la fuerza del campo. Por años, una gran cantidad de investigadores han estado luchando con este problema. Consecuentemente una gran cantidad de modelos se han propuesto. La lista incluye, pero no se limita a: el modelo de Bullington, el modelo de Okamura ET AL., el modelo de ITU (CCIR), el modelo de Hata, "El método del ángulo de separación", el método Polaco de Administración, el método del Longley-Rice, el modelo Lee, el método Epm-73, el método de Deutsche Bundest Post (DBP), el modelo de Ibrahim-Parsons, el modelo de Atefi-Parsons, el modelo del Joint Radio Committee (JRC), el modelo de TIREM, el modelo de Walfish-Bertoni, el método de Ikegami, el método de IRT, el modelo de ETF-ANN Macro célula, el modelo 9999 de Ericsson, etc.

A continuación se describen los más populares:

5.4.1 Modelo de Okamura Et. Al.

El método de Okamura ET AL se basa en datos empíricos tomados de pruebas de propagación detalladas sobre diversas situaciones de terrenos irregulares y de alborotos ambientales. Los resultados se analizan estadísticamente y se compilan en diagramas. La predicción básica de la fuerza media del campo se obtiene para el terreno cuasi-liso en el área urbana. El factor de corrección para un área abierta o un área suburbana debe ser considerado. Los factores adicionales de corrección, por ejemplo para un terreno montañoso, montaña aislada, trayectorias mezcladas entre tierra-mar, características de la calle, cuesta general del terreno etc., hacen la predicción final más cercana a los valores reales de la fuerza del campo.

En la actual práctica de la ingeniería, el método de Okamura ET AL se utiliza extensamente. Es un método previsto originalmente para sistemas de radio tierra-móviles de VHF y UHF y no implica un cómputo complejo ni una teoría elaborada. Muchos de sus datos experimentales se han incorporado en las curvas de referencia de la ITU (CCIR) así como en otros modelos populares.

5.4.2 Modelo de ITU (CCIR)

El método de CCIR se basa en el análisis estadístico de una cantidad considerable de datos experimentales obtenidos de mediciones en muchos países. Las curvas para la predicción de la fuerza del campo se refieren a la clase de la irregularidad del terreno encontrado en muchas partes de Europa y de Norteamérica, para las cuales un valor del parámetro Δh , definiendo el grado de la irregularidad del terreno en 50 m, se considera representativo.

El modelo ITU en su forma básica es utilizado muy pocas veces. Sin embargo, debido a su simplicidad el modelo se utiliza para propósitos de coordinación y de planeación de frecuencias en las zonas fronterizas (por ejemplo, fronteras entre países).

5.4.3 Método del Ángulo de Separación

El método del "ángulo de separación" es propuesto por la Unión Europea de Difusión (EBU European Broadcasting Union), y adoptado por el CCIR. Las ideas principales del método han sido para conservar las curvas de referencia de la fuerza del campo del CCIR, la simplicidad de uso, y para mejorar la exactitud considerando los efectos del terreno en la región del área de recepción, puesto que estos últimos no siempre son representados adecuadamente por el parámetro Δh . Estos efectos del terreno se incorporan con la corrección basada en "un ángulo de separación del terreno". Este ángulo debe ser representativo de los ángulos en el área de recepción medidos entre la línea horizontal en la antena receptora, y la línea que despeja todos los obstáculos a 16 kilómetros en dirección del transmisor.

En su misma naturaleza "el modelo del ángulo de separación" así como muchos otros modelos predice el nivel del campo en el ambiente rural. Los efectos de la urbanización, de los bosques, etc., se deben considerar a través de factores de corrección adicionales. Un ejemplo de estos factores de corrección, determinados para un área determinada, se muestra en la siguiente tabla:

Tipos de Locación	Sitio de transmisión urbano		Sitio de transmisión rural	
	K_1^* [dB]	σ_1 [dB]	K_2 [dB]	σ_2 [dB]
A	-8.9	13.9	-10.6	14.4
B	-4.5	11.4	-4.5	9.8
C	-6.9	11.4	-5.5	14.0
D	-4.2	10.3	-3.1	12.7
E	+0.6	9.7	-0.5	11.4
F	-5.8	19.5	-13.2	13.5
G	+8.4	11.7	+9.0	12.2
H	-12.4	5.5	-16.2	7.6

*) K – corrección. σ - derivación estándar de error.

Los tipos de locación se definen como sigue:

- A** Áreas Urbanas Densas (Edificios con 5 – 10 pisos)
- B** Áreas Urbanas con edificios altos (15 – 25 pisos) separados a unos cuantos cientos de metros de distancia entre uno y otro
- C** Áreas Suburbanas
- D** Áreas Residenciales
- E** Áreas Rurales
- F** Bosques y parques
- G** Puentes y sobrepasos
- H** Túneles

al,
la
ue

Este modelo es muy operativo, no complejo, privado de factores subjetivos, y excepcionalmente satisfecho para la puesta en práctica en la computadora. Por lo tanto, muchos sistemas análogos viejos (sistemas convencionales, sistemas trunking, etc.) así como los sistemas de radio móviles

digitales (paging, NMT, GSM, etc.) han sido diseñados empleando "el modelo del ángulo de separación".

5.4.4 Modelo Ericsson 9999

El modelo 9999 fue desarrollado (y utilizado extensivamente) por los ingenieros de Ericsson y los ingenieros empleados en las compañías apoyadas por Ericsson con el fin de diseñar un sistema celular (especialmente para NMT, GSM, PCS, DCS, etc.).

Este modelo de predicción se basa en el modelo Okumura-Hata, y tiene la forma de una expresión analítica muy simple que contiene varios parámetros libres. Además, el modelo considera pérdidas adicionales debido a la difracción "filo (knife-edge)" sobre un obstáculo dominante y la curvatura de la tierra.

Los parámetros y los factores de corrección de modelo-libre de cada tipo de desorden (esparcimiento desordenado) se determinan empíricamente para cualquier ambiente específico. Debido a la simplicidad del modelo, su exactitud es muy sensible a la exactitud de los datos de las mediciones a los cuales se ajusta el modelo. Generalmente, antes de la puesta en práctica del modelo, extensas pruebas de medición son realizadas para recopilar los datos. Se debe resaltar que la ventaja principal del modelo 9999 es que es muy rápido.

5.4.5 Modelo LEE

W. C. Y. Lee propuso este modelo en 1982. En un tiempo muy corto llegó a ser extensamente popular entre investigadores y técnicos (especialmente entre empleados en las compañías de ESTADOS UNIDOS) principalmente porque los parámetros del modelo pueden ser ajustados fácilmente al ambiente local mediante mediciones de campo adicionales. Haciendo esto, puede ser alcanzada una mayor exactitud del modelo. Además, el algoritmo de predicción es simple y rápido. Varios sistemas de radio son diseñados usando este modelo (AMPS, DAMPS, GSM, IS-95, PCS, etc.).

5.4.6 Modelo COST 231-Walfisch-Ikegami

El modelo del COST 231-Walfisch-Ikegami (COST 231-WI) se ha utilizado extensamente en típicos ambientes suburbanos y urbanos donde las alturas de los edificios son casi uniformes. Debe ser observado que los diseñadores de sistemas de radio móviles públicos (como, GSM, PCS, DECT, DCS, etc.) utilizan a menudo este modelo.

5.4.7 Modelo ETF – Artificial Neural de Redes Macrocélula

Recientemente, varios modelos de predicción que utilizan redes neuronales artificiales (ANN) han sido propuestos.

En comparación a otros modelos populares de predicción, el modelo ANN demuestra muy buen funcionamiento. Los efectos de la urbanización se consideran más sutilmente en este modelo que en los modelos empíricos estándares que proporcionan mayor exactitud. Por otra parte, el modelo ANN no es de cómputo tan extenso como los modelos deterministas. El modelo de ANN se ha observado y se ha utilizado en las bandas de frecuencia de 450MHz y 900MHz para los sistemas TETRA y GSM, respectivamente.

5.5 Modelos de Propagación Microcélula

Una microcélula es un área al aire libre relativamente pequeña tal como una calle con la antena de la estación base debajo de los techos de los edificios circundantes. El área de cobertura es más pequeña comparada a las macrocélulas y es formada por los edificios circundantes. Una microcélula permite un uso eficiente del espectro de frecuencia limitado y proporciona una infraestructura más barata. Las asunciones principales son trayectorias de radio relativamente cortas (en el orden de 200 a 1000 m), antenas bajas de la estación base (en el orden de los 3 a los 10 m), y potencias de transmisión bajas (en el orden de 10 mW a 1 W). Hoy, las microcélulas se utilizan muy a menudo en IS-95, PCS, DCS, GSM, DECT, etc.

5.5.1 Modelo de dos rayos

Numerosos modelos de propagación para las microcélulas se basan en una teoría de rayo-óptico. En comparación con el caso de macrocélulas, la predicción de la cobertura de la microcélula basada en el modelo rayo es más exacta. Uno de los modelos elementales es el modelo de dos rayos. El modelo de "dos rayos" se utiliza para modelar la Línea de vista (LoS) del canal de radio y se describe en la Fig. 5.6.

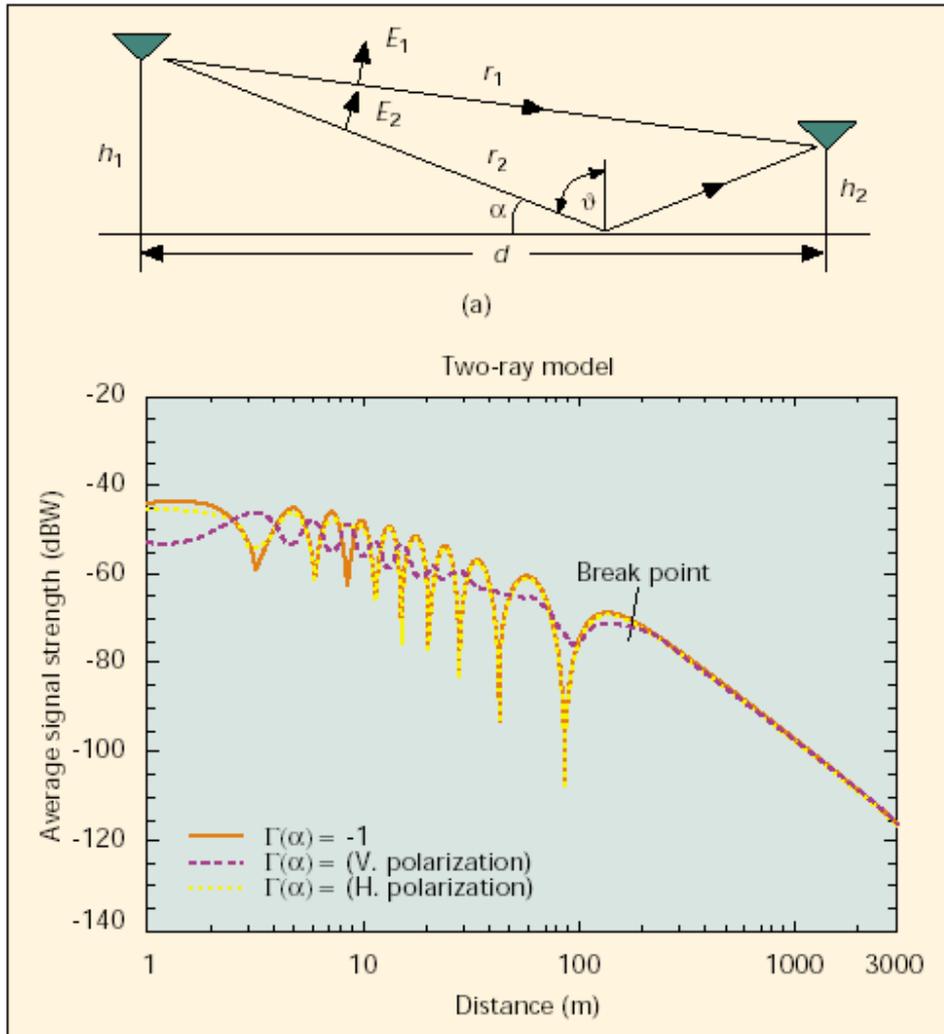


Fig. 5.6.

La antena transmisora de altura “ h_1 ” y la antena receptora de altura “ h_2 ” se encuentran a una distancia “ d ” de separación. La Potencia de la señal recibida “ P_r ” para antenas isotrópicas, se obtiene sumando la contribución de cada rayo, y se expresa como:

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{1}{r_1} \exp(-jk r_1) + \Gamma(\alpha) \frac{1}{r_2} \exp(-jk r_2) \right|^2$$

Donde P_t es la potencia de transmisión, r_1 es la distancia directa entre el transmisor y el receptor, r_2 es la distancia con la reflexión en el suelo, y $\Gamma(\alpha)$ es el coeficiente de reflexión dependiendo del ángulo de incidencia α y la polarización. El coeficiente de reflexión esta dado por:

$$\Gamma(\theta) = \frac{\cos\theta - a \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}{\cos\theta + a \sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}$$

Donde $\theta = (90^\circ - \alpha)$ y $a = 1/\epsilon$ o 1 para polarización vertical u horizontal, respectivamente. ϵ_r es la constante dieléctrica relativa de la tierra.

En la figura se muestra la gráfica de la potencia recibida obtenida con la ecuación de P_r en función de la distancia para los casos de las polarizaciones horizontal y vertical así como para cuando el coeficiente de reflexión es igual a -1. Para largas distancias α es pequeña, y $\Gamma(\theta)$ es aproximadamente igual a -1. Para distancias cortas, el valor de $\Gamma(\theta)$ disminuye y puede incluso ser cero para la polarización vertical.

También, hay modelos más complejos basados en la teoría óptica de rayos. El modelo 4-rayos consiste en un rayo directo, el rayo reflejado en la tierra, y dos rayos reflejados por los edificios. El modelo 6-rayos, además del rayo directo y el reflejado por la tierra, toma cuatro rayos reflejados por las paredes de los edificios a lo largo de la calle. Si un modelo considera un número más grande de rayos, la predicción tiende a ser más exacta, pero el tiempo de cómputo se aumenta perceptiblemente. El problema que merece atención especial es el de la difracción en las esquinas. Dos modelos populares que consideran este efecto son el modelo de GTD (Geometrical Theory of Diffraction - Teoría Geométrica de la Difracción), y el modelo de UTD (Uniform Theory of Diffraction - Teoría Uniforme de la Difracción).

5.5.2 Modelos basados en la UTD y en la teoría de las imágenes múltiples

Uno de estos modelos es el Casi Tridimensional UTD; este modelo considera varias trayectorias de propagación con y sin línea de vista. Este modelo incluye múltiples reflexiones entre muro-muro, muro-tierra, tierra-muro, difracción de las esquinas de los edificios, y también difracciones subsecuentes de las señales difractadas. Las contribuciones relativas de los componentes de la difracción y de la reflexión a la señal total recibida a lo largo de un lado de la calle dependen de los parámetros tales como las anchuras de la calle principal, de las calles laterales, de las calles paralelas, de la distancia del transmisor a la intersección, de la reflectividad de las superficies, etc.

La exactitud de este modelo esta limitada principalmente por las asunciones de caracterizar las paredes altas del edificio como superficies planas "alisadas-hacia fuera" con el promedio de la constante dieléctrica relativa ϵ_r y la conductividad σ .

El modo UTD considera un solo rayo a la vez. Naturalmente, muchos rayos contribuyen a la señal recibida en una locación en particular R_x . La aproximación UTD toma la suma vectorial de todos los rayos reflejados y difractados. En términos generales, un total de "j" múltiples reflexiones de la calle principal, de las calles laterales, de las calles paralelas, y, al menos, una reflexión de la tierra, con o sin difracciones de las esquinas de los edificios pueden llegar a R_x . Esto es equivalente a incluir las imágenes múltiples del transmisor. Puesto que cada reflexión y difracción causa pérdida en la fuerza de la señal, el valor de "j" dependerá de los valores de σ y de ϵ_r de las paredes y de las superficies así como de la geometría del ambiente.

5.5.3 Modelo LEE para Microcélulas

El modelo Lee para predecir el campo eléctrico en micro células asume que hay una gran correlación entre la atenuación de la señal y la profundidad total de los bloques de edificios a lo largo de la trayectoria de radio. Esta asunción no es totalmente cierta puesto que la señal recibida en una unidad móvil viene de las ondas reflejadas multidireccionales y no de las ondas que penetran a través de los edificios. Sin embargo, según la asunción, si los bloques de edificios son más grandes, la atenuación de la señal es más alta. Una fotografía aérea se puede utilizar para calcular la longitud proporcional de una trayectoria directa de la onda que es atenuada por los bloques de edificios.

La exactitud del modelo puede ser mejorada perceptiblemente introduciendo las correcciones específicas basadas en el arreglo de las calles y sus tipos. Hay diferencias significativas en la propagación de las ondas de radio en diversos tipos de calles. (Por ejemplo, una calle principal bajo condiciones de LoS, una calle principal bajo condiciones de NLoS, una calle lateral estrecha, una calle lateral ancha, y una calle paralela a la principal).

5.6 Modelo de Propagación en Interiores

A primera vista, la predicción de la fuerza del campo en ambientes interiores parece ser más fácil que la predicción al aire libre. Sin embargo, las mediciones demuestran que la dinámica de la fuerza del campo puede ser muy alta (excedente a los 80 dB). También, la auto correlación experimental ha demostrado que una separación de 0.4λ es requerida para un coeficiente de correlación menor a 0.2 entre dos muestras adyacentes. El mismo parámetro para ambientes al aire libre es 0.8λ . Esta diferencia se puede explicar por el hecho de que en una localización específica, el campo eléctrico del ambiente interior es formado por un número mucho más grande de componentes indirectos que en el caso del ambiente al aire libre. Por lo tanto, el nivel de la señal en interiores es más fluctuante que el nivel de la señal al aire libre, y por eso es más difícil de predecir.

El problema de la predicción del nivel del campo en interiores se puede considerar estadística o teóricamente. Mientras que los modelos (empíricos) casi todos estadísticos se basan en el mismo modelo general, hay varios modelos teóricos distinguidos de los cuales los modelos "Ray-tracing" y "Finite-Difference Time-Domain" (FDTD) son los más populares. Algunas desventajas importantes de modelos empíricos y teóricos se pueden superar por un modelo de Red Neuronal Artificial (ANN) apropiado.

La idea general de cada uno de los actuales modelos se puede aplicar fácilmente a cualquier banda de frecuencia específica. Sin embargo, la banda de frecuencia de 1.8 a 2 GHz es de importancia particular porque los principales sistemas de radio de interiores funcionan en la actualidad en esta banda (DECT, PACS, PHS, etc.).

6. Consideraciones para la Interfaz de Aire CDMA

6.1 Definición de Requisitos y el Proceso del diseño General

El punto inicial para el diseño de la interfaz de aire son los requerimientos del sistema. Los sistemas básicos del sistema determinan la tasa de datos, la tasa de error de bits (bit error rate BER) y, el retraso, así como los modelos de los canales, lo cual define el ambiente de radio.

El diseño de la interfaz de radio CDMA envuelve algunas áreas, como se ilustra en la Figura 6.1. Cada área por si misma es amplia y los diferentes parámetros solamente pueden ser optimizados. Sin embargo, un buen diseño siempre esta compensado por varios requerimientos contradictorios. Por otra parte, el diseño final depende de la manera en que cada criterio de optimización es evaluado.

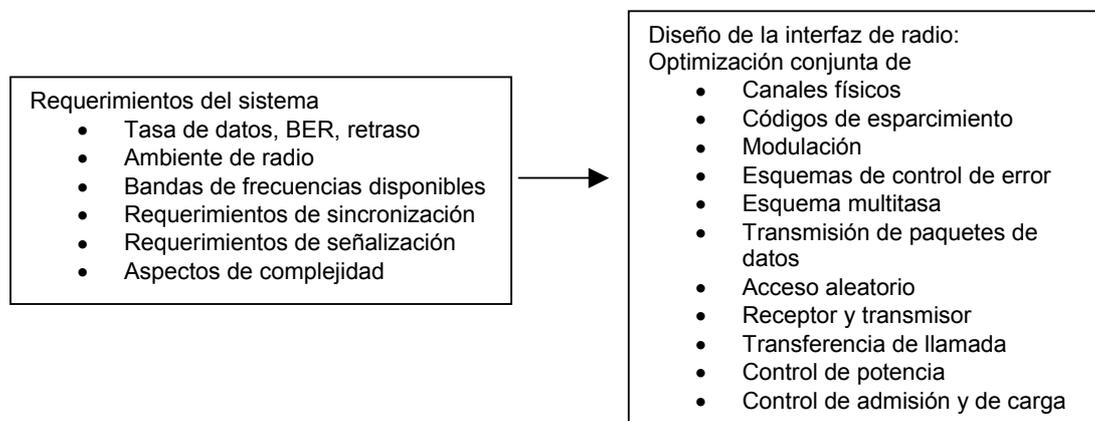


Fig. 6.1 Proceso de la interfaz de aire CDMA

6.2 Estructura de la Interfaz de Aire en Capas

Como se muestra en la figura 6.2, las funciones de la interfaz de aire son estructuradas dentro de capas de protocolos de acuerdo a los principios presentados. El canal físico realiza la codificación, modulación y esparcimiento para los canales físicos. Como se muestra en la figura 6.2, la capa de enlace está más allá dividida en dos subcapas: Control de acceso medio (*medium Access control* (MAC)) y control de acceso de enlace (*link Access control* (LAC)). La subcapa MAC coordina los recursos ofrecidos por la capa física. La subcapa LAC realiza las funciones esenciales para la instalación, mantenimiento, y liberar la conexión lógica del enlace. La capa de red contiene el control de la llamada, el manejo de la movilidad y las funciones de manejo de los recursos de radio.

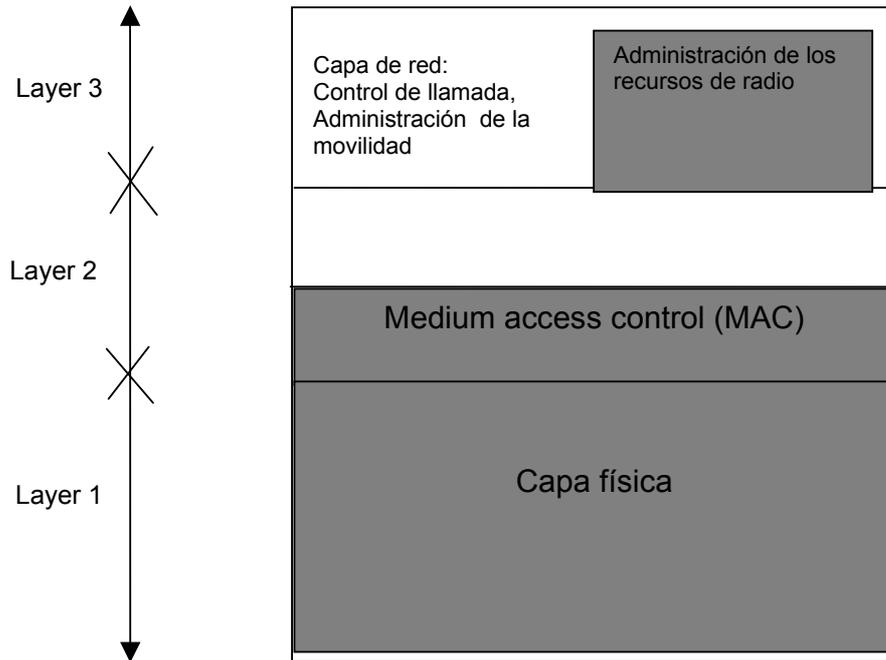


Fig. 6.2 La estructura en capas de la interfaz de aire

6.3 Canales Lógicos

Ciertas funciones son necesarias en cada sistema celular para instalar, liberar y mantener conexiones. Primero, la estación móvil adquiere sincronización desde la red. Después, esta obtiene información del sistema, como identificaciones de célula, códigos de esparcimiento, canales de acceso y listas de células próximas desde la red. En el caso de que la llamada se origine desde la red, la estación móvil es localizada. Después de la sincronización, la estación móvil inicia la instalación de la conexión enviando un mensaje de acceso aleatorio, y la red responde enviando un mensaje de acceso concedido. La conexión es establecida sobre un canal de tráfico. Durante la conexión, la medida de transporte del control de información y los datos de señalización son transmitidos.

Los canales lógicos pueden ser divididos en canales de control y canales de tráfico. Un canal de control puede ser común o dedicado. Un canal de control común (common control channel) es un canal de control punto-multi-punto que transporta mensajes sin conexión, los cuales son previstos sobre todo para transportar información de señalización necesaria para las funciones del manejo de acceso de la información difundida. (Petición de acceso, concesión de acceso, y datos del paquete del usuario). Un canal de control dedicado es un canal de control bidireccional punto-a-punto, previsto para transportar información de señalización como medidas de la transferencia de llamada, información de adaptación del servicio y la información del control de potencia. Los procedimientos descritos siguen la siguiente estructura lógica de canal:

- Canal de sincronización;
- Canal de acceso aleatorio;
- Canal de difusión;
- Canal de localización;
- Canal de control dedicado;
- Canal de tráfico.

6.4 Canales Físicos

En general, las funciones proporcionadas por los canales lógicos necesitan ser mapeadas dentro de canales físicos. El mapeo depende en algunos aspectos de cómo una trama está diseñada, los métodos de modulación, y el diseño de código.

Una función específica proporcionada por un canal lógico puede ser mapeada dentro de algunos canales físicos, o viceversa; algunas funcionalidades pueden ser mapeadas usando, por ejemplo, multiplexación en el tiempo en un canal físico. Los diferentes canales físicos son separados por códigos de espaciamiento.

Un canal de sincronización es usado para proporcionar el receptor con chip, bits y una trama de sincronización. Una señal piloto puede ser usada como una señal de referencia para el nivel de sincronización de chip y la detección coherente. La estación móvil utiliza el canal de sincronización de bajada para medidas de la transferencia de llamada y la sincronización.

El canal de difusión transmite información específica del sistema. El diseñador del sistema necesita determinar el tipo y la tasa de información para ser transmitida para que la tasa de los datos del canal de difusión pueda ser establecida. Para el canal de localización, el número de canales de voceo y la tasa de datos necesitan ser determinadas.

La estructura del canal de acceso aleatorio depende en cuán rápido la sincronización necesita ser establecida y la estrategia de acceso seleccionada. Además, el número esperado de intentos de acceso y requerimientos del tiempo de sincronización determinan el número de canales de acceso aleatorio. También, la cantidad de datos transmitidos durante los intentos de acceso es un importante aspecto de diseño.

Típicamente, un canal de control dedicado es ligado junto con un canal de tráfico. Los canales de tráfico y de control dedicado pueden ser multiplexados en el tiempo, multiplexados en código o multiplexados en I&Q. La última alternativa significa que los datos del usuario son transmitidos en el canal I y el control de información en el canal Q. Una multiplexación de código puro sin multiplexación I&Q lleva a una transmisión multicódigo.

6.4.1 Diseño de la Trama

La longitud de la trama del canal de tráfico depende de los requerimientos del servicio y el deseado funcionamiento de radio. Para obtener un buen funcionamiento en un canal de desvanecimiento, la longitud de la trama del canal de tráfico tiene que ser suficientemente largo para soportar un intervalo razonable de profundidad. Por otra parte, no puede ser demasiado largo y exceder los requerimientos de servicio en el retraso de la transmisión. Desde que el servicio de conversación es típicamente un servicio dominante, la longitud de la trama es adaptada a tal servicio. Para sistemas de tercera generación inalámbricos, los requerimientos de retraso para conversaciones está especificado para ser de 30 a 40 ms. Por lo que, la longitud de una trama de 10 ms es bastante corto asumiendo que el intervalo está atravesando por encima de una trama.

Algunos codificadores de conversación introducen un retraso de 10 ms y añaden al procesamiento unos cuantos milisegundos. Así, el retraso total está entre 20 y 25 ms. Si un retraso muy largo es permitido, una trama de 20 ms puede ser usada para mejorar el funcionamiento.

Para servicios de datos, un periodo de interpolación es más largo que para la conversación que es por lo regular tolerable. Por lo tanto, es bueno extender el periodo de interpolación sobre una trama. Esto puede ser realizado en periodos múltiples de la trama y es llamado entrelazado entre tramas (frame interleaving). Para servicios de paquetes, una trama corta de 10 ms puede ser desechada para minimizar el retraso de retransmisión de paquetes erróneos.

La longitud de la trama del canal de control es típicamente asumido para ser el mismo que para el canal de tráfico. Sin embargo, la introducción de paquetes de datos puede ser motivado por una trama de tamaño más pequeño para que el canal de control disminuya el tiempo de instalación e incremente la eficiencia del canal de tráfico.

6.4.2 Medidas de Señalización

Los requerimientos de señalización dependen de las necesidades de medida. Cuando los requerimientos de la transmisión con ruido para la señalización han sido definidos, las estructuras de los canales son apropiadas para ser diseñadas. El tráfico de señalización puede ser transmitido en un canal de control dedicado (señalización fuera de banda) o en un canal de tráfico haciendo énfasis en los datos del usuario (señalización dentro de banda). El método seleccionado depende de los requerimientos de calidad para los datos del usuario y la complejidad de la estación móvil. La señalización dentro de banda degrada la calidad de la transmisión desde que los bits de datos del usuario son borrados. Sin embargo, si el número de bits borrados es pequeño, un incremento de potencia (con la misma cantidad como para la señalización fuera de banda) será compensada para la pérdida de la calidad.

6.4.3 Señales Piloto

Debido a los canales de desvanecimiento, es difícil obtener una diferencia de fase para la detección coherente de la señal modulada de datos. Por lo tanto, esto es benéfico para tener un canal piloto separado. Por lo regular, un canal de estimación para la detección coherente es obtenida de un canal piloto común. Sin embargo, un canal piloto común transmite con una antena omni-direccional experimentando un canal de radio diferente a un canal de tráfico que transmite a través de un haz estrecho. Se ha notado en sistemas de segunda generación que los canales de control común son por lo regular problemáticos en el enlace de bajada cuando antenas adaptativas son usadas.

Los símbolos piloto para usuarios dedicados pueden ser en el tiempo o en la multiplexación del código. La figura 6.3 representa un diagrama de bloques de un transmisor y un receptor para los símbolos piloto multiplexados en el tiempo y, un código multiplexado y canales pilotos paralelos. Una desventaja del canal piloto transmitido en un código separado es que este requiere extra correlación para diseminar. El funcionamiento de ambos acercamientos es el mismo si la misma cantidad de potencia es usada para las señales piloto, asumiendo que son empleadas las técnicas óptimas de recuperación de canal de mínimos cuadrados.

Para los símbolos pilotos multiplexados en el tiempo, la relación entre el número de símbolos de datos (L_d) y el número de símbolos piloto (L_p) necesita ser determinada. Para el canal piloto paralelo es necesario determinar la relación entre la potencia de un canal piloto y la de datos. En el receptor, los símbolos piloto son promediados sobre un cierto periodo de tiempo. La longitud promedio varía de acuerdo a la frecuencia Doppler. Una posibilidad es simular el funcionamiento en diferentes escenarios y seleccionar un número de símbolos piloto y un periodo promedio que resulta en un desempeño razonable sobre diferentes condiciones de operación. Otra posibilidad es tener más flexibilidad, un número variable de símbolos piloto y un periodo promedio variable.

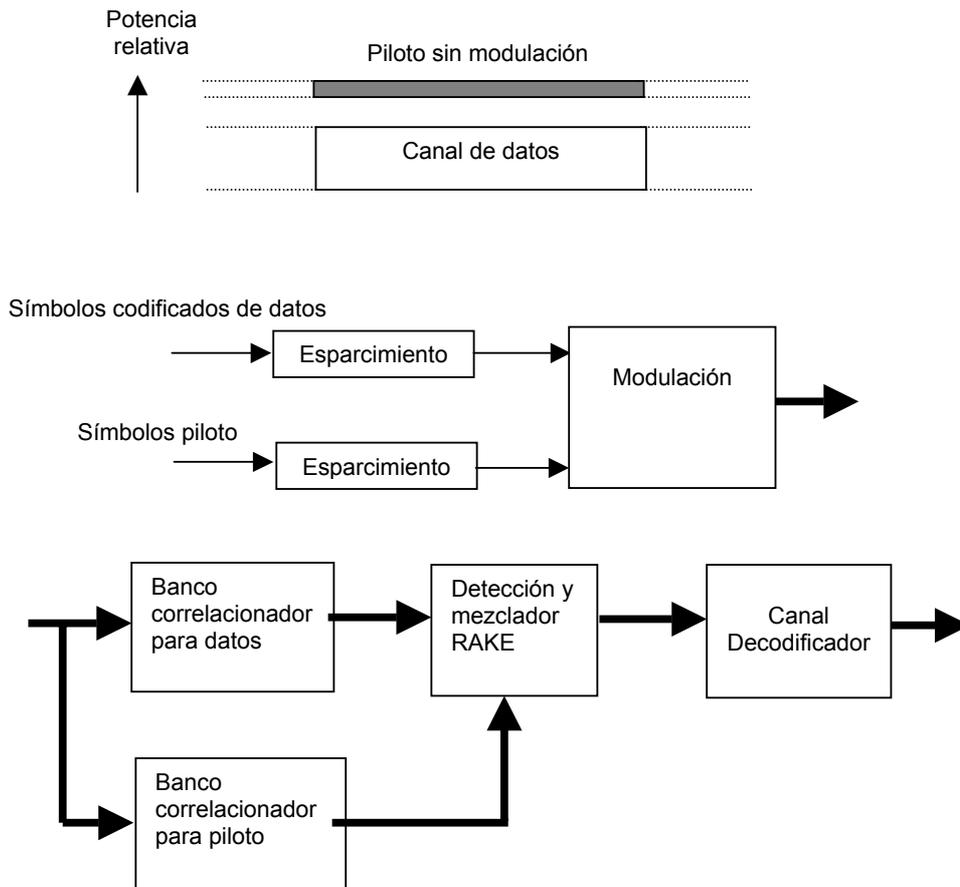


Fig. 6.3 Código multiplexado, canal piloto paralelo

6.4.4 Códigos de Esparcimiento

Los códigos de esparcimiento pueden ser divididos dentro de códigos de pseudo-ruido (pseudonoise codes PN) y códigos ortogonales (orthogonal codes). Los códigos PN son códigos pseudo-aleatorios generados por un registro de cambio de realimentación. Los más comúnmente considerados códigos PN para sistemas DS-CDMA son generados usando registros de cambio lineal. La correlación cruzada entre códigos ortogonales es cero para una transmisión síncrona. Códigos ortogonales como las secuencias Walsh son usualmente usados para la separación de canales en sistemas DS-CDMA.

6.5 Propiedades Básicas de los Códigos de Esparcimiento

En un transmisor DS-CDMA, la señal de información es modulada por un código de esparcimiento y, en el receptor, este es correlacionado con una replica del mismo código. Así, una baja correlación cruzada entre los usuarios deseados e interferidos es importante para suprimir la interferencia de acceso múltiple. Buenas propiedades de auto correlación son requeridas para una sincronización inicial estable, debido a que el tamaño de los lóbulos laterales de la función de auto correlación puede llevar a decisiones erróneas en los códigos de sincronización. Además, buenas propiedades de auto correlación son importantes para separar eficazmente los componentes multi-trayectoria.

Debido a que la función de correlación de un código de esparcimiento puede ser reensamblada tanto como sea posible a la función de auto correlación de un ruido Gaussiano blanco, las secuencias del código DS también son llamadas secuencias de pseudo-ruido (PN). Las funciones de auto correlación y correlación cruzada son conectadas de tal forma que no es posible lograr valores de auto correlación y correlación cruzada simultáneamente.

Existen dos funciones de correlación básicas: uniforme e impar. Para una función de correlación uniforme, la información consecuyente de bits de datos son los mismos y para una función de correlación impar, los bits de datos consecuentes son diferentes. En un sistema CDMA asíncrono ambas funciones existen con una probabilidad igual. Sin embargo, aun sólo las propiedades de correlación cruzada pueden ser optimizadas.

Un código de esparcimiento puede ser largo o corto. Tramos cortos de código simbolizan un periodo, mientras que tramos largos de código simbolizan ciertos periodos. La razón para utilizar códigos cortos es para intentar controlar las propiedades de correlación a través de una selección conveniente de un conjunto de códigos de esparcimiento cortos o para minimizar la complejidad de detectores multiusuario. Además, la señal obtenida por esparcimiento con códigos cortos es ciclo-estacionaria (periódica), la cual puede ser utilizada en el diseño del algoritmo de la detección multiusuario. Códigos largos facilitan un número largo de secuencias de esparcimiento y ellos proponen aleatoriamente la interferencia.

Un sistema DS-CDMA puede ser clasificado como *síncrono* o *asíncrono*. En un sistema síncrono los tiempos de transmisión de los códigos de esparcimiento son los mismos, mientras en un sistema asíncrono no existe un control de tiempo de los tiempos de transmisión entre usuarios. En un sistema asíncrono completamente ortogonal los códigos pueden ser utilizados. Códigos cortos en un sistema asíncrono requieren un esquema especial de sincronización para la transferencia de llamada debido a que la diferencia en el tiempo entre las estaciones base no puede ser medida usando códigos de esparcimiento, a diferencia de un sistema de código largo.

6.5.1 Secuencias de Seudo - Ruido

La tabla 6.4 presenta el número de M-secuencias para diferentes longitudes de secuencias. Como se puede ver, el número de códigos es algo limitada, sin embargo, M-secuencias posee una propiedad que ha sido usada en el diseño de la interfaz de aire IS-95. Para cada M-secuencia, la versión desplazada en el tiempo es un código nuevo. De este modo, el número de códigos es el mismo como la longitud del mismo. Sin embargo, el retraso en la propagación limita el tiempo mínimo entre dos códigos y, por lo tanto, las secuencias de esparcimiento largas son necesarias. Una ventaja de este diseño de código es que las propiedades de la correlación cruzada entre los códigos son realmente determinadas por las funciones de auto correlación. Las propiedades de auto correlación de M-secuencias son buenas, en contraste a sus propiedades de correlación cruzada. Sin embargo, desde que las correlaciones parciales son usadas, las buenas secuencias de auto correlación de longitud larga no son totalmente utilizadas.

Longitud de secuencia	Número de códigos
7	2
15	2
31	6
63	6
127	18
255	16
511	48

Tabla 6.4 M-Secuencias

6.5.2 Códigos Ortogonales

Secuencias ortogonales son completamente ortogonales para un retraso de cero. Para otros retrasos, ellos tienen muy malas propiedades de correlación cruzada, y así ellos son apropiados solamente para aplicaciones síncronas. El descenso de un sistema celular es síncrono sin multi-trayectoria. Sin embargo, debido a la multi-trayectoria, un código sobrepuesto es requerido para suprimir la interferencia de multi-trayectoria. La interpretación de la ganancia de los códigos ortogonales Walsh depende del perfil del canal, del retraso en el esparcimiento y la pérdida de trayectoria. Los códigos Walsh usados en IS-95 son un ejemplo de códigos ortogonales. Otro ejemplo de códigos ortogonales son códigos ortogonales estructurados en árbol. La ortogonalidad entre los diferentes factores de esparcimiento puede ser alcanzada por estos códigos estructurados en árbol como se muestra en la siguiente figura.

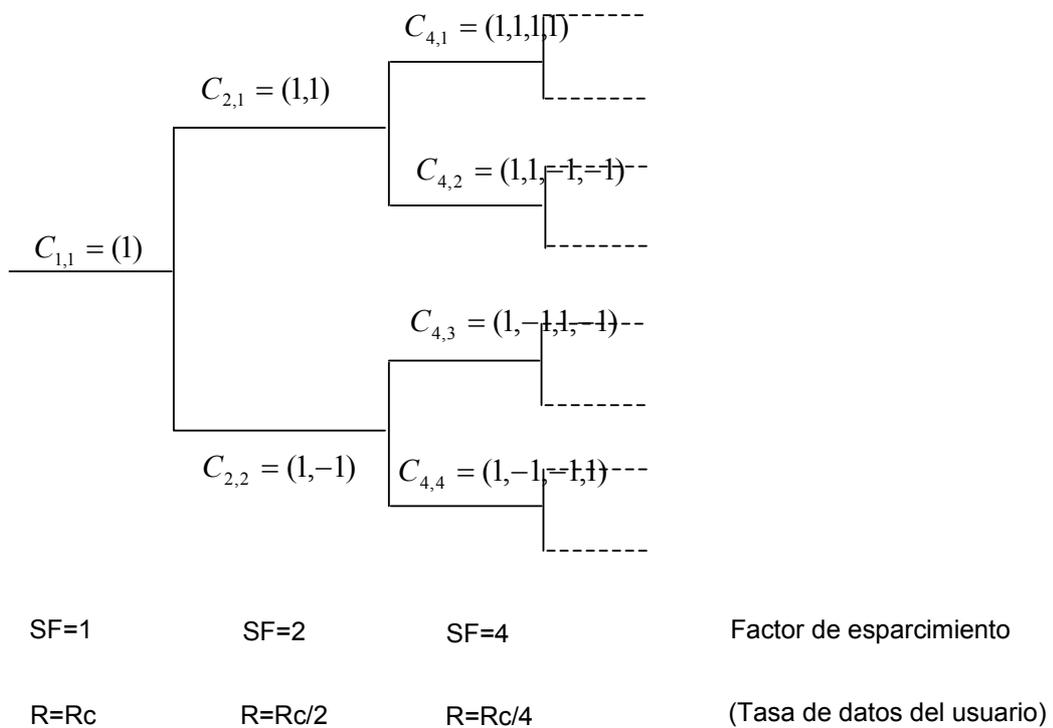


Fig. 6.5 Construcción de códigos de esparcimiento ortogonales para diferentes factores de esparcimiento

6.5.3 Criterios de Selección

Las propiedades de correlación y el número de códigos son dos importantes criterios de selección cuando se diseña o se selecciona la familia de códigos más apropiado para un diseño específico de la interfaz de aire.

6.5.4 Propiedades de Correlación

Puesto que en un sistema asíncrono los códigos pueden tener cualquier desplazamiento de fase relativo para cualquier otro, las propiedades de correlación cruzada de códigos PN deben ser optimizadas. Además, la optimización de las propiedades de auto correlación es importante para la adquisición de funciones.

El criterio de diseño de código por lo regular más usado es la minimización del valor uniforme del máximo pico de la correlación cruzada. Además, la minimización del valor máximo de correlación no reduce la interferencia múltiple total de acceso, puesto que en un sistema asíncrono todos los desplazamientos de fase tienen impacto en el funcionamiento del sistema. Por lo tanto, la distribución de los valores de la correlación cruzada es más importante que el valor pico de la correlación cruzada.

El máximo valor de correlación tiene más significado cuando el SNR es bajo, el número de usuarios es pequeño o cuando los códigos son muy cortos. Este es el caso en un sistema de factor de esparcimiento variable para altas tasas de datos. Si tan llamada modulación de subcódigo es usada, donde la longitud del código de esparcimiento es igual a el símbolo más largo correspondiente hacia la más baja tasa de símbolos, la integración no se hace sobre la longitud completa de la secuencia para tasas de símbolos más altas. Así las propiedades parciales de correlación cruzada determinan el funcionamiento.

Además, el valor de correlación máxima tiene significado cuando los usuarios tienen una diferencia de retraso que produce este valor. En este caso, si las posiciones relativas de los usuarios no cambian, entonces el funcionamiento observado se degrada drásticamente.

Un criterio de optimización más adecuado que el valor máximo de correlación es la optimización del valor medio cuadrado (MSQ) de los valores de la correlación cruzada. El valor MSQ de uniformidad (periódico) y valores impares de correlación cruzada son casi igual para Gold, Kasami y M-secuencias

6.5.5 Número de Códigos

En el caso de códigos largos, el número de códigos es suficiente para acomodar suficientes usuarios en una célula. Por otra parte, uno podría algunas veces acabarse de códigos de esparcimiento cortos.

El número requerido de códigos depende en la carga de tráfico esperada y la eficiencia del espectro. Un número largo de códigos es requerido para soportar conversaciones de usuarios con una tasa de bits baja y también cuando un método de transmisión multicódigo es utilizado.

En el descenso, códigos ortogonales son usualmente usados para la separación de los canales. Además, los móviles en una transferencia de llamada suave consumen códigos al menos de dos estaciones bases. Una forma de incrementar el número de códigos es asignar el mismo conjunto de códigos ortogonales con diferentes códigos piloto para el mismo sector. Sin embargo, esto podría degradar el funcionamiento del sistema si los dos conjuntos de códigos no fueran ortogonalmente largos. También códigos cuasi-ortogonales han sido propuestos para incrementar el número de códigos ortogonales disponibles.

En el enlace de subida, cada usuario tiene su propio código de esparcimiento individual. Si códigos cortos y modulación QPSK son usados, 250 códigos son requeridos para cada célula asumiendo la misma eficiencia del espectro.

6.5.6 Modulación

La figura 6.6 ilustra las funciones de un sistema de transmisión DS-CDMA relacionado a la modulación. Los esquemas por lo regular de modulación de datos son BPSK y QPSK. Los circuitos de esparcimiento pueden ser binarios, cuaternariamente balanceados, canal dual cuaternario o esparcimiento DS complejo. Esquemas típicos de modulación de esparcimiento son BPSK usados con un circuito de esparcimiento binario, QPSK, y O-QPSK usado con un circuito de esparcimiento cuaternario o complejo.

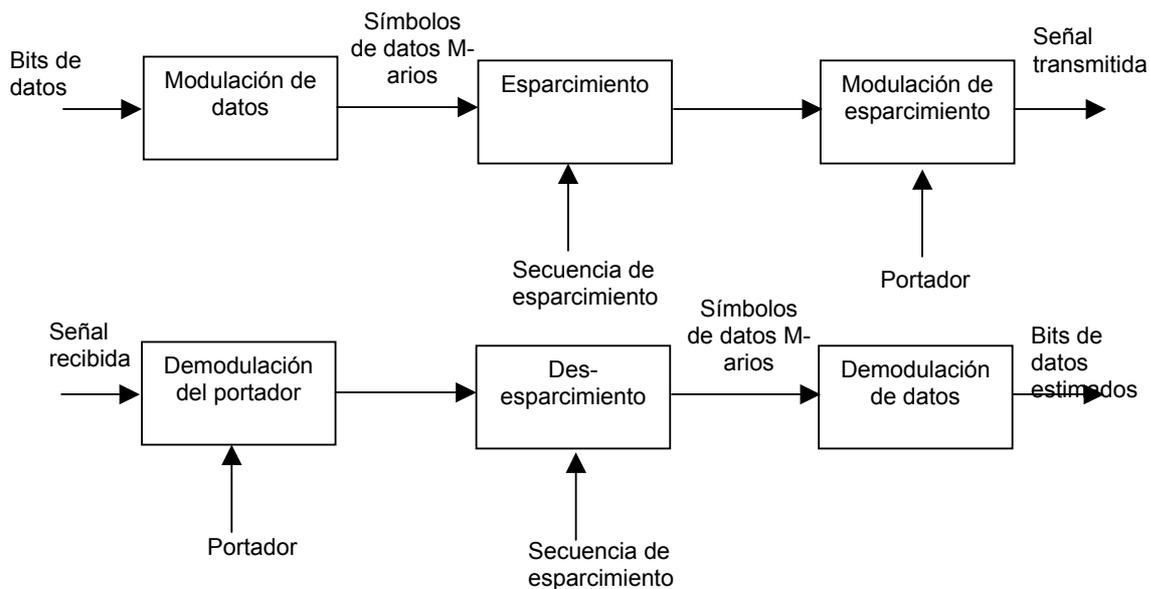


Fig. 6.6 Sistema de transmisión DS-CDMA: Transmisor y Receptor

6.6 Modulación de Datos

La modulación de datos binaria mapea bits de datos de entrada dentro de símbolos de datos transmitidos con una regla de mapeo: (1 => +1), (0 => -1). La modulación de datos cuaternaria convierte dos bits de datos consecutivos dentro de un símbolo de datos complejo. El símbolo de datos complejo resultante puede ser transmitido con esparcimiento cuaternario o complejo.

Incluso métodos de modulación de orden más alto como es 16-QAM han sido propuestos para CDMA para incrementar el procesamiento de datos. Sin embargo, el incremento en la tasa de datos no compensa los altos requerimientos en la relación portadora-a-interferencia (C/I). Con la detección multiusuario la diferencia es más pequeña para la mayoría de la interferencia que es removida.

La demodulación puede ser no coherente, diferencialmente coherente, o coherente. Con una sincronización ideal y sin una señal de referencia externa, la recepción coherente da una ventaja de -3 dB sobre la recepción no coherente en un añadido canal de ruido blanco Gaussiano (AWGN). La demodulación coherente requiere una referencia de fase, la cual puede ser obtenida

de igual forma de la señal que transporta los datos o desde una fuente auxiliar; por ejemplo, símbolos de referencia externa o la señal piloto.

6.6.1 Modulación M - Aria

La modulación de datos convencional M-aria, convierte símbolos de datos de entrada dentro de símbolos de valor complejo, además, el modulador de datos M-aria puede convertir símbolos de datos de entrada m dentro de uno de los símbolos de datos posibles M ($M=2^m$) representados por K símbolos de canal. Estos pueden entonces ser transmitidos usando esquemas de esparcimiento binario, cuaternariamente balanceado, cuaternario o complejo. El modulador M-ario esparce la señal transmitida en el dominio de la frecuencia. La implementación de la detección coherente es más difícil para este tipo de esquema.

6.6.2 Circuitos de Esparcimiento

El circuito de esparcimiento DS binario tiene una simple estructura de transmisor, y solamente una secuencia PN es necesaria para el esparcimiento. Su desventaja es que es más sensible a la interferencia de acceso múltiple que el esparcimiento balanceado cuaternario.

El esparcimiento DS cuaternario balanceado esparce la misma señal de datos dentro de los canales I y Q usando dos secuencias de esparcimiento. La figura 6.7 ilustra el transmisor DS cuaternario balanceado.

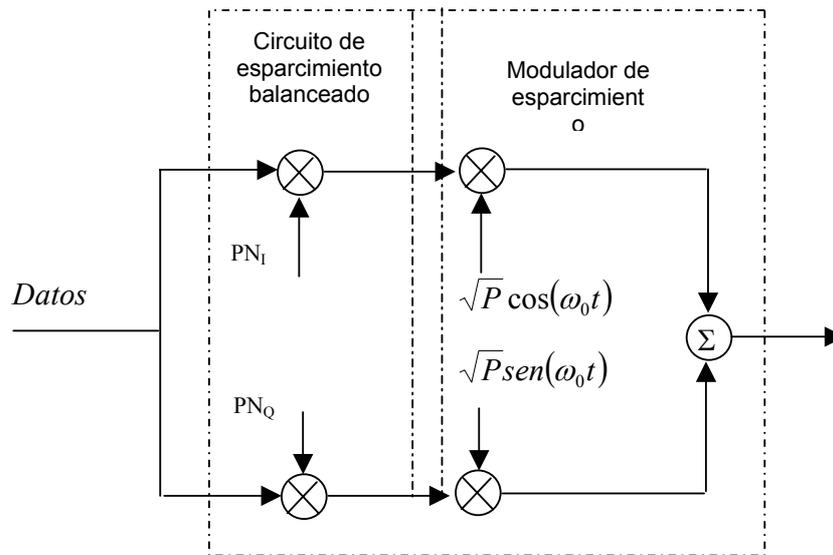


Fig. 6.7 Transmisor cuaternario balanceado

En el canal dual QPSK del circuito de esparcimiento, los símbolos de entrada en los canales I y Q son independientes para cada uno. Ellos pueden aun tener diferentes fuentes. De igual forma al circuito de esparcimiento cuaternario balanceado, son necesarias dos secuencias de esparcimiento.

Esparcimientos complejos utilizan de igual forma una secuencia de esparcimiento complejo o dos secuencias reales de esparcimiento. El esparcimiento complejo reduce el pico para la relación promedio de la señal. Debe observarse que con el esparcimiento complejo, compensa que el QPSK no debería ser usado, puesto que este realmente aumentaría la relación de potencia por promedio.

6.6.3 Modulación de esparcimiento

Usualmente, los métodos de modulación lineal (BPSK, QPSK y QPSK compensado (offset QPSK)) han sido propuestos para CDMA de banda amplia porque ofrecen una buena eficiencia en la modulación y, métodos de modulación lineal limitados en banda con amplificadores de potencia no lineales resultan en un incremento del espectro. De este modo, en el enlace de subida, la señal modulada deberá tolerar efectos de amplificadores de potencia no lineales tanto como sea posible, puesto que un amplificador de potencia no lineal es más eficiente en la potencia que uno lineal.

La modulación de esparcimiento BPSK puede ser usada con el circuito de esparcimiento binario. Un BPSK no filtrado tiene una constante envolvente y un espectro infinito. Sin embargo, en la práctica, la señal BPSK es filtrada resultando en un envolvente no constante y con requerimientos de linealidad más altos.

QPSK y QPSK compensado son tipos de cuadratura de métodos de modulación. El QPSK compensado tiene la mitad de un retraso de chip en el canal Q, el cual previene transiciones de fase por cero. Por lo tanto, O-QPSK filtrado tiene mucho menores variaciones envolventes que QPSK y reduce los requerimientos de linealidad en los amplificadores de potencia, siendo importante en el enlace de subida. Sin embargo, si el esparcimiento complejo es usado, entonces QPSK deberá ser usado en vez de QPSK compensado.

Los diagramas de dispersión de los métodos de modulación BPSK, QPSK y QPSK compensado son mostrados en la figura 6.8.

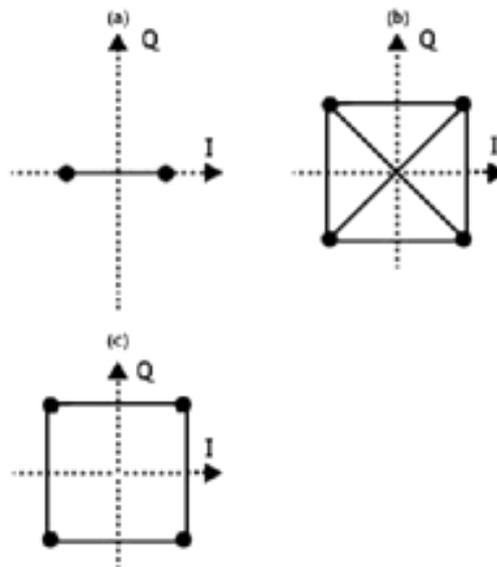


Fig. 6.8 Diagramas de dispersión: (a) BPSK, (b) QPSK y (c) O-QPSK.

6.7 Esquemas de control de Error

Los esquemas de control de errores pueden ser clasificados dentro de dos categorías básicas: Esquema de control de error hacia delante (forward error control FEC) y esquema de respuesta de repetición automática (Automatic Repeat Request ARQ). Además, una combinación de FEC y ARQ, un esquema híbrido, puede ser usado. En FEC, un código de corrección de error, algunas veces es referido como el código del canal, siendo usado para combatir los errores en la transmisión en un canal de radio desvanecido (debilitado). En ARQ, un código de detección de errores junto con un protocolo de retransmisión es usado. En el esquema híbrido, el FEC reduce la necesidad para la retransmisión mejorando la tasa de errores antes del ARQ.

6.7.1 Esquemas de Control para la selección de Errores

La elección del esquema de control de errores depende en la calidad de servicio requerida (tasa de datos, retraso y BER) y el canal de radio. La tasa de error de los canales inconsistentes en un canal de desvanecimiento está típicamente en el orden de 10^{-1} a 10^{-2} . Para una conversación, la tasa de error resultante después de la demodulación debe estar en el orden de 10^{-2} a 10^{-3} o mejor. Para la transmisión de datos, una tasa de error de bits de 10^{-6} o mejor es requerida. Además, servicios de datos no transparentes pueden ser utilizados en un esquema adicional ARQ para mejorar el funcionamiento de error. Puesto que los requerimientos de la aplicación (VER, tasa de bits y retraso) varían grandemente el esquema de codificación, deberán ser adaptables.

6.7.2 Códigos Convolucionales

Para los códigos convolucionales, la longitud restringida y la tasa de código son necesarias para ser seleccionados. La longitud restringida deberá ser tan larga como sea posible para obtener un buen funcionamiento. Si embargo, la complejidad del decodificador crece con el incremento de la longitud restringida.

6.7.3 Codificación Concatenada Reed – Solomon / Convolutacional

Este esquema de codificación emplea un código exterior Reed-Solomon (RS) y un código convolutacional interno en conjunción con códigos entrelazados externos e internos. El uso de un par entrelazador/desentrelazador de bit inherente deja al canal de desvanecimiento menos memoria y permite el código convolutacional para atenuar la interferencia multiusuario más efectivamente.

La codificación concatenada para sistemas de radio móviles está diseñada de la forma que el código convolutacional produce una tasa de error en el orden de 10^{-3} , y el código RS entonces mejora esto al nivel de 10^{-6} .

Además, la capacidad de detección de errores del código RS puede ser usada para dar una indicación para una respuesta de retransmisión automática para servicios de datos no transparentes.

6.7.4 Esquemas de ARQ Híbridos

El esquema tipo-I híbrido ARQ utiliza un código diseñado para la detección y corrección de errores. Además, esto requiere más bits de chequeo de paridad (encabezado) que un código utilizado para la detección de errores solamente. Tipo-II híbrido ARQ codifica la primera transmisión de un mensaje con bits de chequeo de paridad únicamente para detección de errores. Si un error es detectado, la palabra errónea es guardada en el buffer del receptor y una retransmisión es requerida.

6.7.5 Esquemas de Entrelazado

Un canal de radio produce muchísimos errores. Sin embargo, puesto que los códigos convolucionales son mayormente efectivos contra los errores aleatorios, el entrelazado es usado para "aleatorizar" los errores en ráfagas. El esquema de entrelazado puede ser de igual manera bloques de entrelazado o entrelazado convolucional. Casi siempre los bloques de entrelazado son usados en aplicaciones de celulares.

El mejoramiento del funcionamiento debido al entrelazado depende en la diversidad del orden de el canal y la duración promedio del desvanecimiento de el canal.

6.8 Esquemas Multi - Tasa

El diseño de multi-tasa significa que diferentes servicios con varios requerimientos de calidad de servicio son multiplexados todos juntos en una forma flexible y eficiente del espectro. El abastecimiento de tasas variables de datos con diferentes requerimientos de calidad de servicio puede ser dividido dentro de tres sub-problemas:

- El como mapear diferentes tasas de bits dentro del ancho de banda asignado.
- El como abastecer la calidad de servicio deseada.
- El como informar al receptor acerca de las características de la señal de recepción.

El primer problema concierne a la cuestión de transmisión multicódigo y esparcimiento variable. El segundo problema concierne a esquemas de codificación, y el tercer problema concierne al control del canal de multiplexación y codificación.

6.8.1 Acomodo de Altas Tasas de Datos

Para incrementar la tasa de datos en un sistema CDMA puede ser implementado por dos esquemas básicos: *factor de esparcimiento variable* (variable spreading factor VSF) y *multicódigo* (multicode). En un esquema VSF, la relación de esparcimiento es reducida como los incrementos en la tasa de datos. En un esquema multicódigo, códigos paralelos adicionales son asignados como los incrementos en la tasa de datos. También es posible tener una combinación de estos. La figura 6.9 ilustra el esquema de transmisión multicódigo.

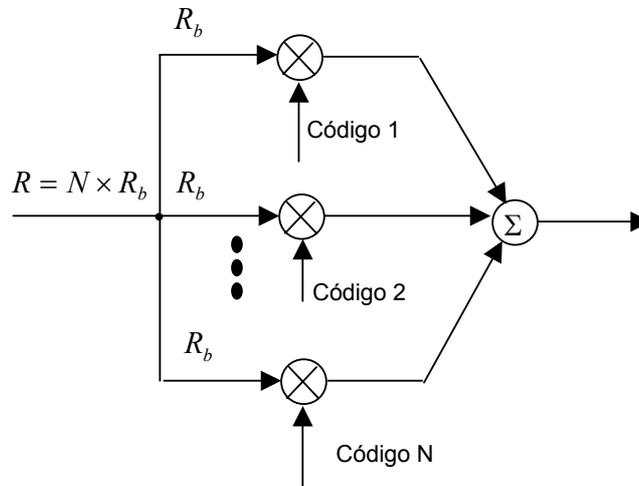


Fig. 6.9 Esquema de transmisión multicódigo

El flujo de datos de alta tasa de bits es dividido dentro de N canales paralelos, cada uno con la tasa de datos R_b . Con la transmisión multicódigo, el mapeo de servicios transmitidos simultáneamente dentro de las estructuras puede ser interpretado en dos diferentes formas. En la primera forma, los servicios son transmitidos simultáneamente en diferentes estructuras y en diferentes códigos. De la segunda forma, los servicios son mapeados dentro de la misma estructura, en los cuales los bits son mapeados dentro de códigos diferentes.

En la selección de un esquema de transmisión multi-tasa, el siguiente criterio es necesario para ser considerado:

- Funcionamiento en la presencia de multi-trayectorias.
- Características de interferencia en el acceso múltiple.
- Ortogonalidad en el enlace de subida.
- Requerimientos de control de potencia.
- Complejidad del receptor y el transmisor.

6.8.2 Transmisión del Control de Información

En orden para variar la tasa de datos u otros parámetros de servicio, el receptor necesita conocer la estructura de la señal de recepción. Esto puede ser logrado de igual forma por transmisión explícita del control de información o por detección de tasa muerta. En el caso claro de que el control de información es transmitido, las siguientes características son necesarias para ser resueltas:

- Codificación del control de información para lograr la calidad de servicio deseada.
- Multiplexación del control de información.
- Posicionamiento del control de información.

El control de bits debe tener una considerable tasa de error más baja que los bits de información, puesto que, si una palabra de control tiene un error, la trama completa se pierde. El control de información puede ser de igual forma codificado junto con los datos del usuario o independientemente desde los datos del usuario.

Existen dos posibilidades para la posición del control de información: en la trama previa o en la misma trama de los datos del usuario, como se ilustra en la figura 6.10.

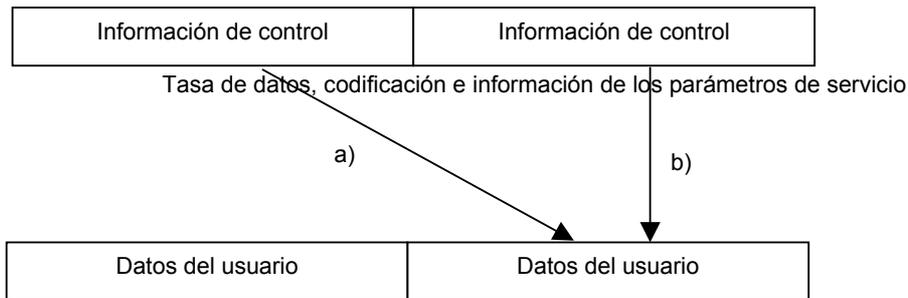


Fig. 6.10 Información de control transmitida (a) en la trama previa, (b) en la misma trama como datos del usuario

Puesto que el receptor es informado en el avance de los parámetros de transmisión, el procesamiento de los datos puede realizarse “en línea”. Sin embargo, para servicios con un retraso corto requiere el retraso adicional de una trama que posiblemente será muy larga.

En el caso de que el control de información sea transmitido junto con la misma trama que la de los datos del usuario, entonces el receptor necesita decodificar el control de información primero.

6.9 Paquetes de Datos

Puesto que los servicios de paquetes de datos en tiempo no real no son sensibles al retraso, ellos utilizan el principio de retransmisión implementado con el protocolo ARQ para mejorar la tasa de error. El protocolo de retransmisión puede ser de igual forma implementado en la capa 2 como parte de la MAC y RPL o en la capa física (Capa 1). Si la retransmisión del paquete de datos es realizada como parte de la capa 2, la transmisión de los paquetes de datos en la capa física no difiere de la transmisión de los datos del circuito conmutado.

6.9.1 Procedimiento del Acceso de Paquetes

El procedimiento de acceso de paquetes en CDMA debería minimizar la interferencia hacia otros usuarios. Puesto que no existe una conexión entre la estación base y la estación móvil antes del procedimiento de acceso, el acceso inicial no es controlado por potencia y, por lo tanto, la información transmitida durante este periodo deberá ser minimizada. Existen tres escenarios para el acceso de paquetes:

- Transmisión infrecuente de paquetes cortos conteniendo poca información.
- Transmisión de paquetes largos.
- Transmisión frecuente de paquetes cortos.

Puesto que el establecimiento del canal de tráfico por sí mismo requiere señalización y por lo tanto recurso de radio, es mejor transmitir pequeños paquetes junto con el mensaje de acceso aleatorio sin el control de potencia. Para paquetes cortos largos y frecuentes deberá ser colocado un canal de tráfico dedicado.

6.9.2 Protocolo MAC

La tarea del protocolo de acceso al medio (MAC) es compartir el medio de transmisión con diferentes usuarios en una forma equitativa y eficiente. Algunas veces, los protocolos de acceso múltiple tal como FDMA, CDMA y TDMA también son clasificados como protocolos de acceso al medio. Sin embargo, el protocolo de acceso al medio es parte de la capa de enlace, mientras que el esquema de acceso múltiple es parte de la capa física. El protocolo de acceso al medio tiene que resolver la discusión entre usuarios accediendo al mismo recurso físico. Puesto que los sistemas de tercera generación ofrecen múltiples servicios, la MAC necesita ofrecer capacidades para manejar las demandas de acceso de los diferentes usuarios y las diferentes clases de servicios.

6.9.3 Transferencia de Paquetes de Datos

Puesto que CDMA opera con un factor de re-uso de uno, se necesita eficiencia y una transferencia rápida en orden para evitar una transferencia excesiva con las otras células. Esto ha sobresalido con la transferencia suave en el caso de las conexiones de los circuitos conmutados. Para las conexiones de paquetes, y especialmente para paquetes cortos podría no ser necesario establecer una transferencia suave aún si el usuario está en el borde de la célula.

Si la transferencia suave es usada, entonces la implementación del ARQ depende de donde esta es terminada. Si el ARQ es terminado después de la transferencia suave combinando un dispositivo típicamente situado en la BSC, entonces ARQ es implementado como si no tuviera una transferencia suave.

Si el ARQ es terminado en la BTS antes de la transferencia de combinación de unidad, un protocolo más complicado es requerido. La estación móvil transmite un paquete en la dirección del enlace de subida. Puesto que todas las estaciones base están implicadas en la transferencia de la recepción de los paquetes y cada uno de ellas realiza una decisión independiente en el caso de que hubiera un error o no en el paquete, el problema es como transmitir y coordinar los requerimientos de la retransmisión. La estación móvil deberá retransmitir solamente si ambas células lo requieren. Por lo cual este esquema parece impráctico.

6.10 Transmisor - Receptor

6.10.1 Receptor

La figura 6.11 muestra el diagrama de bloques del receptor RAKE. Un dedo del RAKE des-esparce la señal de recepción con un correlacionador. Para la demodulación coherente, la señal des-esparcida es multiplicada por una amplitud compleja para la corrección del error de fase y ponderar cada dedo de acuerdo a la estrategia de combinación seleccionada. El bloque de medida de la respuesta al impulso (IR) continuamente mide el perfil de la multi-trayectoria. Cuando los retrasos de la respuesta al impulso cambian, el bloque de medida del IR asigna nuevos códigos de fase para el bloque de pistas de código que busca los pequeños cambios. Después de combinar las señales desde los diferentes dedos del RAKE, la des-interpolación y la decodificación del canal de código es mejorada. Además, un buscador, no mostrado en la figura, esta continuamente detectando las células pilotos más próximas para proveer medidas piloto para las transferencias.

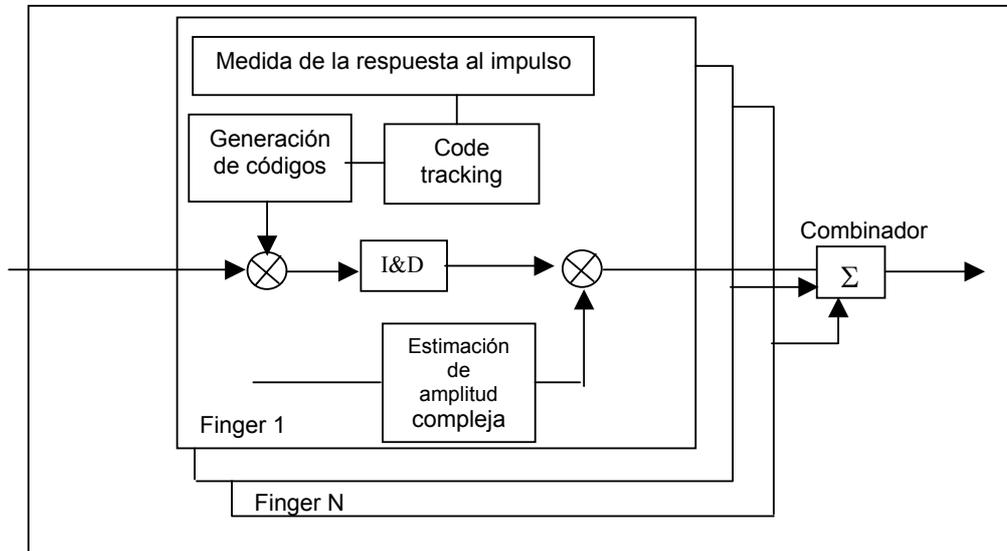


Fig. 6.11 Diagrama de bloques del receptor RAKE CDMA

6.10.1.1 Medida de la Respuesta al Impulso

La medida de la respuesta al impulso correlaciona la señal de recepción con diferentes fases del código piloto para encontrar los componentes de la multi-trayectoria. La velocidad de medida requerida para la medida IR depende de la velocidad del móvil y del medioambiente de radio. Entre más rápido se este moviendo la estación móvil, se necesitan medidas más rápidas para coger los componentes multi-trayectoria de los dedos del RAKE.

6.10.1.2 Adquisición de Códigos

La adquisición de códigos es realizada previamente al sistema de sincronización. La estación móvil explora a través de las señales piloto. Un orden prioritario para las señales piloto puede ser fijado basándose sobre el último piloto y los pilotos más próximos. Si la conexión se pierde por alguna razón, la exploración se inicia desde la prioridad más alta de los pilotos. En el caso de alta interferencia, la adquisición de códigos podría convertirse en un sistema de cuello de botella. Un filtro de igualación mostrado en la figura 6.12 puede ser usado para una rápida adquisición de códigos.

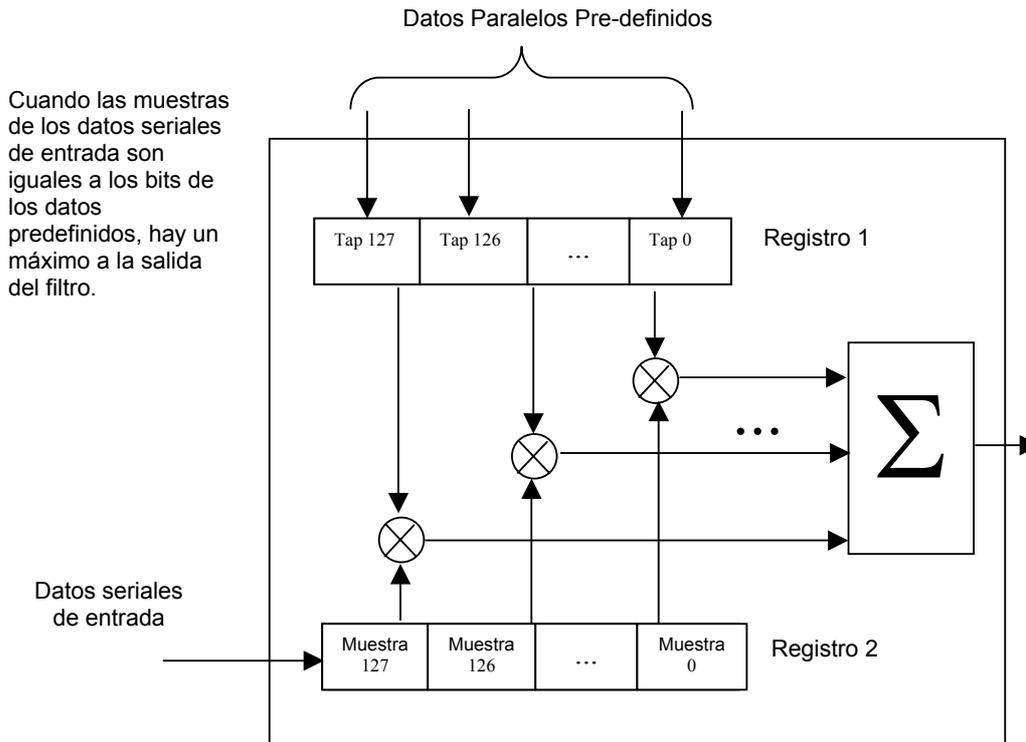


Fig. 6.12 Filtro coincidente

6.10.1.3 Buscador

Un buscador explora otras células piloto. Durante una llamada, la estación móvil es explorada a través de las señales piloto, así como la medida en la interferencia en el enlace de bajada y posibles resultados de interferencia en el enlace de subida. Puesto que el número de pilotos es muy largo, esto podría tomar un tiempo considerable antes de un levantamiento piloto en un conjunto vecino avisado. Por lo tanto, el tiempo del buscador puede limitar el funcionamiento del sistema, especialmente en un medio ambiente micro celular, donde una nueva estación base puede estar activa muy rápidamente debido al efecto esquina.

6.10.2 Transmisor

La figura 6.13 es un diagrama de bloques de un transmisor DS-CDMA. Los datos de entrada desde la fuente están en un canal codificado, interpolados y posiblemente diferentes servicios son multiplexados. Las estructuras resultantes son pasadas a través de esparcimiento y filtrado, convertidores D-A y pasados a través de partes RF e IF. Los parámetros de transmisión son controlados por el boque de control TX.

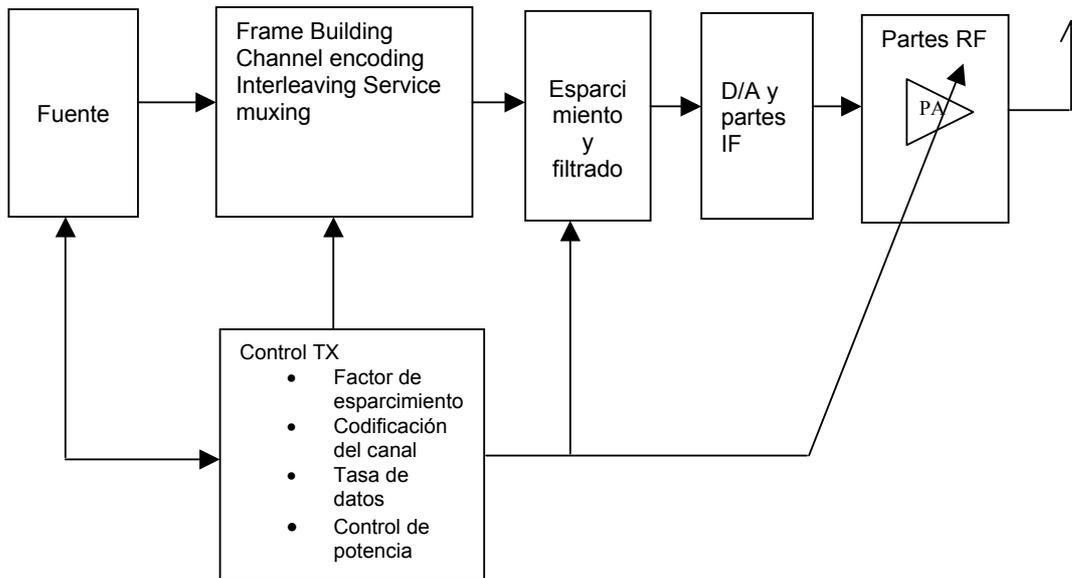


Fig. 6.13 Diagrama de bloques del transmisor

El componente más importante desde el punto de vista de complejidad y costo es el amplificador de potencia en la sección RF, especialmente para la estación móvil. Un amplificador de potencia no-lineal puede ser operado cerca del punto de compresión, y por lo tanto, tiene una buena eficiencia en la potencia resultando en el bajo consumo de batería. La transmisión multicódigo es más sensible para las no-linealidades del amplificador de potencia que una transmisión de código simple puesto que su relación pico-a-promedio es mayor debido a la suma de varias señales.

6.11 Detección Multiusuario

La detección multiusuario (MUD) y la cancelación de interferencia (IC) busca mejorar el funcionamiento a través de la cancelación de la interferencia intra célula y de este modo incrementando la capacidad del sistema. El incremento de la capacidad actual depende en la eficiencia del algoritmo, el medio ambiente de radio y la carga del sistema. Además, para el mejoramiento de la capacidad, MUD e IC alivian el problema típico para los sistemas DS-CDMA.

La figura 6.14 muestra un sistema usando detección multiusuario y cancelación de interferencia. Cada usuario está transmitiendo bits de datos, los cuales son esparcidos por los códigos de esparcimiento. Las señales son transmitidas sobre un canal de acceso múltiple Gaussiano. En el receptor, la señal recibida es correlacionada con réplicas de los códigos de esparcimiento del usuario. El correlacionador consiste de un multiplicador y un integrador y una función de descarga. Un filtro de relación puede ser usado.

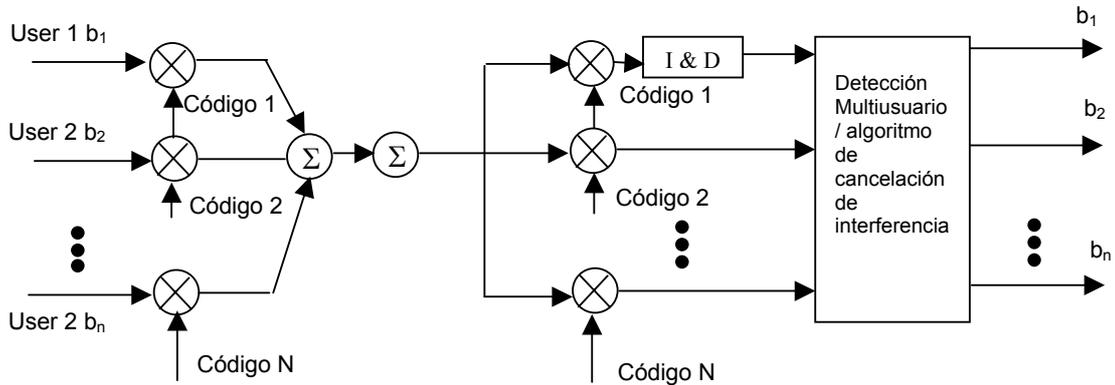


Fig. 6.14. Modelo de sistema de detección multiusuario

6.11.1 Mejoras en la Capacidad y Cobertura

El funcionamiento de la detección multiusuario depende de la energía capturada, el impacto de fase y los errores de código de rastreo (tracking). Generalmente, el MUD es estudiado principalmente para el enlace de subida. Una de las principales motivaciones, además de las consideraciones de complejidad, para justificar el estudio de la detección multiusuario para el enlace de subida ha sido la demanda de capacidad de los sistemas DS-CDMA en el enlace de subida es limitada. Sin embargo, esta demanda viene desde los estudios de IS-95. Toda la tercera generación de sistemas CDMA de banda amplia utiliza detección coherente también en el enlace de subida, y de este modo, junto con una antena diversificada, el enlace de subida tiene un mejor funcionamiento que el enlace de bajada.

La detección multiusuario mejora la cobertura y lo hace más independiente del sistema de carga. Puesto que la eficiencia del MUD varía en diferentes medio ambientes de radio, este mejoramiento no es fijo. Este impacto del MUD en la cobertura introduce una nueva variable para los procesos de planeación de la red, puesto que la eficiencia del MUD necesita ser tomada en cuenta en el diseño de la cobertura. Por otro lado, el factor de carga no es crucial para el diseño del área de cobertura debido a que el tamaño de las células no se encoge tan rápido con un incremento de la carga como en el detector convencional. Sin embargo, debido a los códigos ortogonales, el impacto puede ser diferente en el enlace de subida y enlace de bajada, especialmente si el MUD es aplicado solamente en el enlace de subida.

6.12 Transferencia de Llamada (Handover)

6.12.1 Definiciones

En la transferencia de llamada suave una estación móvil es conectada a más de una estación base simultáneamente. La transferencia de llamada en espera es una transferencia que se realiza cuando la estación móvil está en estado inactivo. La transferencia de llamada dura es una transferencia que ocurre cuando solamente un canal de tráfico está disponible en ese tiempo. La transferencia de llamada más suave significa una transferencia de llamada más suave entre sectores de una misma célula. La transferencia de llamada interfrecuencial significa una transferencia entre dos diferentes frecuencias. La transferencia de llamada intra-sistema es una transferencia entre dos sistemas.

El conjunto activo consiste en las estaciones bases implicadas en la transferencia suave (soft handover) junto con la estación móvil. Sí el conjunto activo es modificado, una actualización del conjunto activo ocurre. El conjunto candidato consiste de las estaciones base que cumplen el criterio para ser incluidas en el conjunto activo pero que no están siendo incluidas en el conjunto activo. El conjunto vacío contiene a las estaciones base que son como candidatos a la transferencia de llamada suave (soft handover).

6.12.2 Procedimiento de Transferencia (Handover)

El procedimiento de transferencia puede ser dividido en tres fases: medida, decisión y ejecución de fase, como se ilustra en la figura 6.15. En la fase de medida de la transferencia, las medidas típicas del enlace de bajada desempeñadas por la estación móvil son la calidad de la señal y la fuerza de la señal de su célula y células más próximas. En el enlace de subida, la estación base mide la calidad de la señal. Los resultados de la medida son señalizados para los elementos relevantes de la red, para las estaciones móviles y para la BSC. En la fase de decisión de la transferencia, algunas veces llamada la fase de evaluación, los resultados de la medida son comparados contra umbrales predefinidos.

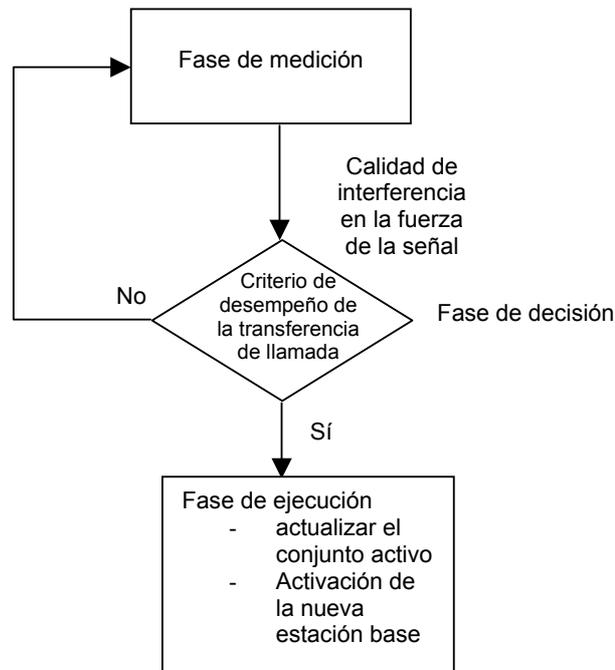


Fig. 6.15 Fases de la transferencia de llamada

6.12.3 Transferencia Suave (Soft Handover)

La transferencia suave es una de las más discutida características de CDMA. Por un lado trae un incremento en el desempeño debido al incremento de diversidad, pero por otro lado, es necesario en un sistema CDMA para evitar interferencia excesiva de células próximas.

6.12.3.1 Decisión de Transferencia

En IS-95 la decisión de transferencia esta basada en las medidas de fuerza piloto del enlace de bajada solamente. En CDMA de banda amplia para los sistemas de tercera generación con tráfico asimétrico más parámetros de decisión son necesarios. Al menos los siguientes parámetros pueden ser identificados:

- Distancia de atenuación.
- Interferencia enlace de subida.
- Interferencia enlace de bajada.

La figura 6.16 ilustra los parámetros de transferencia. En realidad, existen retrasos asociados con los pilotos sumados y retirados del conjunto activo. Cuando la fuerza de la señal de la estación base 2 excede el umbral de suma, la estación móvil entra en el estado de transferencia suave. Cuando la fuerza de la señal de la estación base 1 cae abajo del umbral de reducción y permanece ahí hasta que el tiempo de reducción ha expirado, la estación base 1 es retirada del conjunto activo.

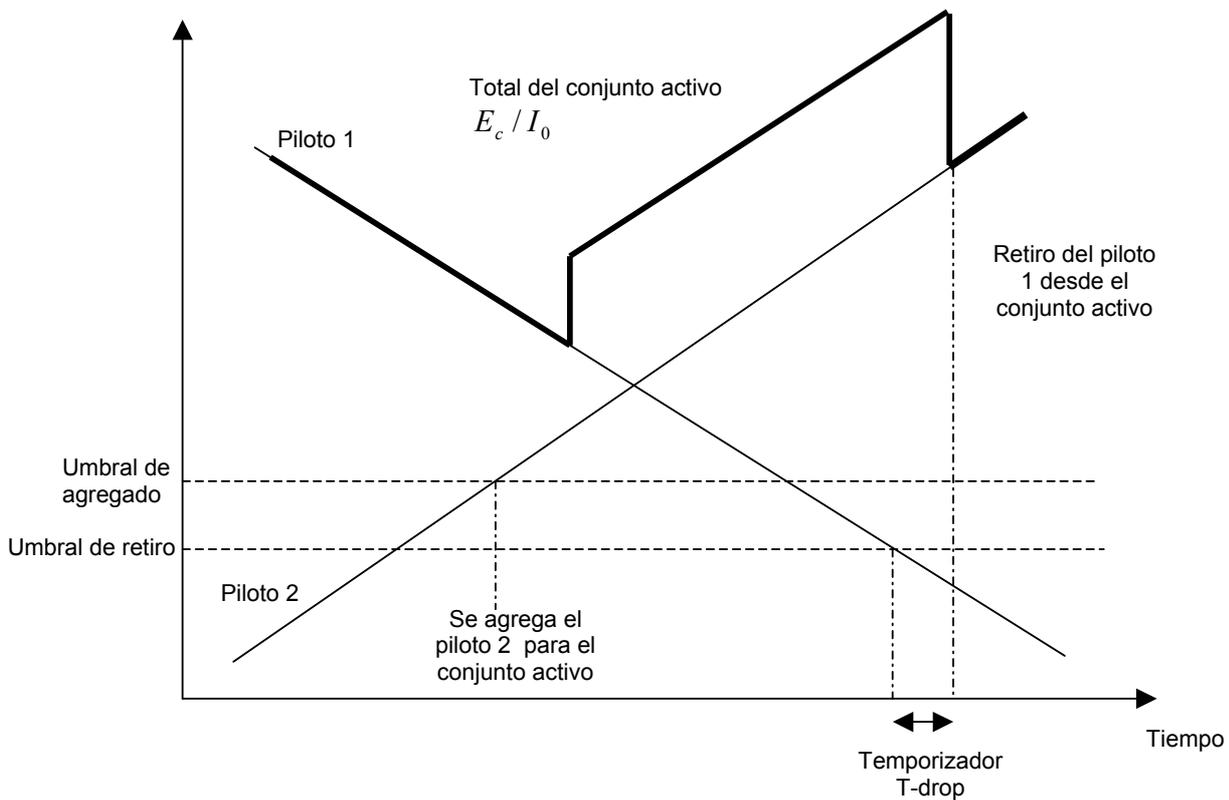


Fig. 6.16 Parámetros de transferencia de llamada

El umbral de reducción y de agregación pueden ser ajustados dinámicamente para tomar en cuenta situaciones donde un piloto débil se añade al conjunto activo y no trae ningún beneficio. Existen algunos pilotos fuertes dominantes, añadiendo un nuevo piloto débil que no mejora el funcionamiento. Por otro lado, si todos los pilotos son débiles entonces aún añadiendo uno nuevo, un piloto débil es benéfico. Este tipo de umbral dinámico está especificado en el estándar IS-95B.

La selección de una célula con una carga alta en el enlace de subida pero con una baja atenuación en la distancia, en vez de una célula con una baja carga en el enlace de subida pero una distancia ligeramente alta en la atenuación, resulta en una potencia de transmisión de la estación móvil más alta. De este modo, es importante tomar la situación de interferencia en el enlace de subida tomado en cuenta la decisión en la transferencia de llamada.

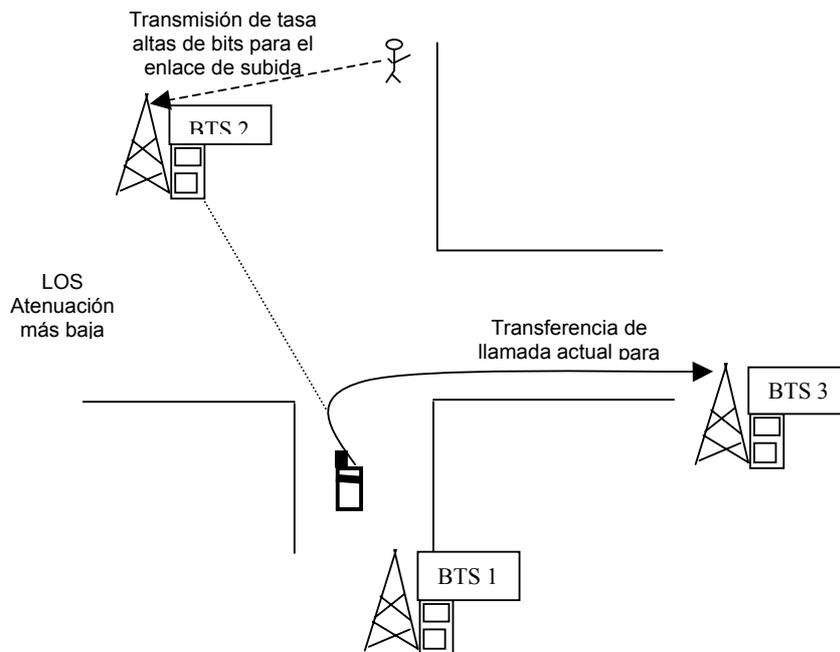


Fig. 6.17. carga alta en el enlace de subida para una situación de transferencia de llamada

En cualquier momento, la estación móvil intenta mantener la mejor estación base disponible en el conjunto activo. Sin embargo, el procedimiento de transferencia de llamada debería evitar el llamado efecto ping-pong, donde una nueva estación base tiene que ser agregada y una vieja retirada frecuentemente.

La estación móvil ordena a las estaciones base de acuerdo a los parámetros de decisión de la transferencia de llamada, fuerza de la señal y la situación de la interferencia. Las mejores estaciones base son incluidas en el conjunto activo. Si una estación base está decidida a ser desechada del conjunto activo, un temporizador es iniciado. Si la calidad es aún baja después de que el temporizador expira, entonces la estación base es desechada. El efecto ping-pong es evitado por temporizadores suficientemente largos.

Desde una perspectiva de capacidad, es benéfico si las cargas del enlace de bajada son balanceadas entre las estaciones base. De este modo, una estación base que tiene una carga alta en el enlace de bajada deberá manejar el tráfico hacia otras estaciones base.

Existe un número de alternativas en como la situación de interferencia en el enlace de subida y el enlace de bajada puede ser tomada en cuenta en la decisión de la transferencia de llamada.

La primera y la alternativa más viable es tener una fuerza piloto constante y señalar el valor de interferencia del enlace de subida para la estación móvil. Además, la interferencia en el enlace de bajada es medida en la estación móvil. La segunda posibilidad es ajustar la fuerza piloto de

acuerdo a la carga del enlace de subida, por lo que la selección de la estación base conforme a la fuerza piloto y tomando en cuenta las condiciones de interferencia.

Este método evita señalar el valor de interferencia en el enlace de subida hacia la estación base. La tercera posibilidad es que el piloto este ajustado conforme a la carga del enlace de bajada. Una cuarta posibilidad es que el piloto este ajustado conforme a las cargas del enlace de subida y enlace de bajada.

6.12.4 TRANSFERENCIA DE LLAMADA MÁS SUAVE

La transferencia de llamada más suave ocurre cuando la estación móvil se mueve dentro de un sector a otro en la misma célula. El enlace de ida se parece a la situación de la transferencia de llamada suave. En el enlace de reversa, en contraste a la transferencia de llamada suave, la combinación puede ser realizada en el receptor RAKE. En la transferencia de llamada más suave no hay necesidad para transacciones entre las estaciones base. Además, la transferencia de llamada más suave entre sectores puede ser establecida más rápidamente que en la transferencia de llamada suave, sin que una señalización de red fija sea requerida.

6.12.5 Interfrecuencia en la Transferencia de Llamada

La transferencia de llamada interfrecuencial sin ataduras es una característica nueva importante en la tercera generación de redes CDMA que tienen una estructura de células jerárquicas y células de espacio caliente con más portadores que rodean las células. En un escenario después la transferencia de llamada interfrecuencial puede ser realizada como una transferencia de llamada intra celular junto con la célula de espacio caliente. Primero, la transferencia de llamada interfrecuencial es realizada a la frecuencia 1 y después una transferencia de llamada suave normal es llevada a la célula destino más cercana. Para el primer escenario, un método eficiente para medir otras frecuencias de transporte es requerido.

Para la transferencia de llamadas interfrecuencial, existen dos alternativas para la implementación: modo de compresión/modo ranurado y receptor dual. El receptor dual tiene un receptor caro pero con un sistema de operación simple. Sin embargo, sí hay una diversidad de receptores, entonces es posible usar el otro receptor para medición en otros portadores. Por supuesto, la diversidad en la ganancia es perdida durante el periodo de medición. El modo de compresión por el otro lado, tiene un receptor simple pero con un sistema de operación más complejo. El algoritmo de recepción tiene que operar con señales en ráfagas durante el modo ranurado, resultando en un funcionamiento más pobre y un mayor esfuerzo en el control.

6.13 Control de Potencia

6.13.1 Criterio del Control de Potencia

Todas las propuestas CDMA de banda amplia utilizan métodos de control de potencia abierto y circuito cerrado rápido. Dependiendo del criterio de control de potencia, varios algoritmos diferentes pueden ser derivados. Los criterios más típicos son:

- Pérdida de dirección basada en el control de potencia.
- Calidad basada en el control de potencia.

Normalmente, el algoritmo del control de potencia es una combinación de estos dos básicos criterios. La calidad puede ser medida a través, por ejemplo, del SIR. Puesto que diferentes SIR's corresponden al mismo FER en diferentes medio ambientes de radio, necesitamos tener una

función para mapear el FER deseado dentro del objetivo del SRI requerido. Esto es realizado por mediciones continuas del FER y el SIR, y entonces ajustando el objetivo del SIR para producir el FER deseado.

6.13.2 Control de Potencia de Tamaño y Peso

El control de potencia de tamaño de paso define cuanto un comando de control de potencia cambia la potencia de transmisión. De igual forma, un simple ajustamiento arriba/abajo o algunos ajustes en la potencia de niveles puede ser usado. Tamaños de paso típicos están entre 0.5 y 1 dB. Es de notarse que el ajuste en el control de potencia es relativo al previo ajuste de la potencia, puesto que un ajuste en la potencia absoluto deberá requerir una extrema exactitud y además una cara circuitería para el control de potencia.

6.13.3 Requerimientos de Rango Dinámico

En el enlace de subida el control de potencia de lazo abierto intenta igualar las potencias de todas las estaciones móviles aceptadas por la estación base para evitar el efecto cerca-lejos. El requerimiento del rango dinámico es establecido por la diferencia de distancia máxima entre las dos estaciones móviles y puede ser expresada como:

$$\frac{P_{rx1}}{P_{rx2}} = \left(\frac{d_2}{d_1} \right)^\alpha$$

Donde:

P_{rx1} = Potencia de la señal recibida desde la estación móvil1;

P_{rx2} = Potencia de la señal recibida desde la estación móvil 2;

d_1 = Distancia entre la estación móvil 1 y la estación base;

d_2 = Distancia entre la estación móvil 2 y la estación base;

α = Factor de atenuación por pérdida de atenuación.

En una situación extrema, si la estación móvil está a 100 m de la estación base y la estación móvil 2 está a 2 km más, y asumiendo un factor de atenuación por pérdida de atenuación de 3.5, el rango dinámico requerido es de 80 dB. El control de potencia rápido compensa fluctuaciones de pérdidas rápidas y bajas.

En el enlace de bajada, la dinámica no puede ser tan alta, puesto que la transmisión para diferentes estaciones móviles proviene de una sola fuente.

6.13.4 Tasa de Comandos para el Control de Potencia

La segunda tarea para el control de potencia es compensar las fluctuaciones de la señal causadas por el desvanecimiento rápido y para mejorar en el funcionamiento. Es muy difícil seguir el desvanecimiento rápido en altas velocidades del móvil debido a las mediciones de retraso, señalando los comandos del control de potencia y procesamiento del retraso causado por la

extracción del comando del control de potencia en el receptor. Además, la codificación y el entrelazado son más efectivos en velocidades rápidas del móvil.

En la banda de los 900 MHz, la frecuencia Doppler máxima es 25 Hz, mientras que en la banda de los 2 GHz, 55 Hz es el máximo para una velocidad del móvil de 50 km/h. Así, el tiempo de actualización del control de potencia necesita ser redondeado a 1 ms o más. Como podemos ver, la tasa óptima del control de potencia depende en la velocidad del móvil y la frecuencia del portador, así como la frecuencia Doppler para frecuencias portadoras más altas es mayor.

Debido a los requerimientos de retraso, los comandos del control de potencia son transmitidos sin codificar. Por lo tanto, la probabilidad de error de los comandos del control de potencia es muy alta. Sin embargo, puesto que los comandos del control de potencia son transmitidos frecuentemente y el tamaño de paso es pequeño, el lazo de control de potencia converge al valor correcto a pesar de la alta probabilidad de error.

6.13.5 Control de Potencia y Detección Multiusuario

A menudo, la detección multiusuario es recomendada para relajar los requerimientos del control de potencia. Sin embargo, además de enfrentar el efecto cerca-lejos el control de potencia mejora en un canal de desvanecimiento. Así, los requerimientos básicos para el control de potencia son lo mismo con el MUD y sin el MUD.

6.14 Admisión y control de Carga

El propósito del control de admisión es asegurarse que haya recursos de radio libres para el intento de llamada con el SIR requerido y la tasa de bit. El propósito del control de la carga es mantener de una manera objetiva el uso de los recursos de radio de la red junto con los límites que se dan.

El control de admisión está siempre funcionando cuando una estación móvil inicia comunicación en una nueva célula, aún a través de una nueva llamada o de la transferencia de llamada. Además, el control de admisión es realizado cuando un nuevo servicio es añadido durante una llamada activa.

En general, el procedimiento de control de admisión asegura que la interferencia creada después de añadir una nueva llamada no excede un umbral pre-especificado.

La negociación de un contrato de servicio es realizada al principio de una llamada. Las cantidades usadas en el control de la admisión y la carga deberán ser promediadas para obtener valores estables que son insensibles a los errores en el control de potencia. Por el otro lado, el tiempo promedio no puede ser muy largo puesto que la información anterior será usada en los procesos de admisión y control de la carga.

7. Descripción de WCDMA

En los foros de estandarización, la tecnología WCDMA ha surgido como la interfaz de aire de tercera generación más adoptada. Su especificación fue creada en 3GPP (3rd Generation Partnership Project), el cual es un proyecto de unión de estándares de los cuerpos de estandarización de Europa, Japón, Corea, EU y China. Dentro de 3GPP, WCDMA es llamada UTRA (Universal Terrestrial Radio Access) FDD (Frequency Division Duplex) y UTRA TDD (Time Division Duplex), el nombre WCDMA es usado para abarcar ambas operaciones, FDD y TDD.

7.1 Diferencias entre WCDMA e Interfaces de Aire de Segunda Generación

Para entender las diferencias entre sistemas de segunda y tercera generación, es necesario tener en cuenta los nuevos requerimientos de los sistemas de tercera generación:

- Tasas de transferencia arriba de los 2 Mbps.
- Tasa de transferencia variable para ofrecer ancho de banda en demanda.
- Multiplexación de servicios con diferentes requerimientos de calidad en una sola conexión. (voz, video, paquetes de datos)
- Requerimientos de calidad de tasa de error de trama del 10 % a tasa de error de bit de 10^{-6}
- Soporte de tráfico de subida y bajada asimétrico, puesto que hay aplicaciones que requieren más ancho de banda de bajada que de subida.
- Eficiencia alta de espectro
- Coexistencia de los modos FDD (Frequency Division Duplex) y TDD (Time Division Duplex)

La siguiente tabla muestra las principales diferencias entre las interfaces de aire de WCDMA y GSM:

	WCDMA	GSM
Espacio entre portadoras	5 MHz	200 kHz
Factor de rehúso de frecuencia	1	1 – 18
Frecuencia de control de potencia	1500 Hz	2 Hz o menor
Control de calidad	Algoritmos de administración de recursos de Radio	Planeación de la Red (Planeación de frecuencias)
Diversidad de Frecuencias	Ancho de banda de 5 MHz que da diversidad de multitrayectoria con el receptor Rake	Salto de frecuencia
Paquetes de datos	Programación de paquetes basados en la carga	Programación basada en un espacio de tiempo con GPRS
Diversidad de transmisión en el enlace de bajada	Soportado para mejorar la capacidad en el enlace de bajada	No es soportado por el estándar pero puede aplicarse

Tabla 7.1 Diferencias entre la interfaz de aire de WCDMA y GSM

La siguiente tabla muestra las principales diferencias entre las interfaces de aire de WCDMA e IS-95:

	WCDMA	IS-95
Espacio entre portadoras	5 MHz	1.25 MHz
Tasa de Chip	3.84 Mcps	1.288 Mcps
Frecuencia de Control de Potencia	1500 Hz, de subida y bajada	Subida: 800 Hz Bajada: Control de potencia lento
Sincronización con la Estación Base	NO es necesaria	Si, Obtenida vía GPS
Handovers de Inter - frecuencia	Si	Posiblemente
Algoritmos de administración de recursos de Radio	Si, proveen la requerida calidad de servicio	No necesarios para redes de voz
Paquetes de datos	Programación de paquetes basados en la carga	Paquetes de datos transmitidos como llamadas conmutadas en circuito corto
Diversidad de transmisión en el enlace de bajada	Soportado para mejorar la capacidad en el enlace de bajada	No es soportada por el estándar

Tabla 7.2 Diferencias entre la interfaz de aire de WCDMA e IS-95

7.2 Principales Parámetros de WCDMA

- WCDMA es un sistema de banda ancha de Secuencia Directa CDMA (Direct – Sequence Code Division Multiple Access DS-CDMA), es decir, los bits de información del usuario son dispersos en un ancho de banda amplio mediante la multiplicación de los datos del usuario con bits cuasi-aleatorios, llamados chips, derivados de los códigos de dispersión de CDMA. En orden de soportar muy altas tasas de bits (arriba de los 2 Mbps) se hace uso de un factor de dispersión variable y de conexiones multicódigo.
- La tasa de chip de 3.84 Mcps usada conlleva a un ancho de banda de portadora de 5 MHz.
- WCDMA soporta tasas de transferencia de datos variables más altas, en otras palabras soporta el concepto de obtención de Ancho de Banda en Demanda (BoD).
- WCDMA soporta dos modos básicos de operación: División Dúplex de Frecuencia (FDD) y División de Tiempo Dúplex (TDD). En el modo FDD se usan frecuencias de portadora separadas 5 MHz para los enlaces de subida y de bajada respectivamente, mientras que en TDD solo 5 MHz son compartidos en tiempo entre el enlace de subida y el de bajada.
- WCDMA soporta la operación de estaciones base asíncronas, por lo tanto no es necesaria una referencia de tiempo global, como es GPS. El despliegue de estaciones base en interiores y de microestaciones es más sencillo cuando no se requiere recibir una señal como GPS.
- WCDMA emplea detección coherente en los enlaces de bajada y de subida basada en el uso de símbolos piloto o un piloto común.
- La interfaz de aire de WCDMA se ha hecho de tal forma que los conceptos de recepción avanzados de CDMA, como la detección multiusuario y las antenas de adaptación inteligente, pueden ser empleados por el operador de la red como una opción en el sistema para incrementar la capacidad y/o la cobertura.
- WCDMA esta diseñado para desplegarse en conjunto con GSM. Además, la transferencia de llamada entre GSM y WCDMA son soportados para poder liberar la cobertura de GSM para la introducción de WCDMA.

En resumen los principales parámetros de WCDMA son expuestos en la siguiente tabla:

Método de Múltiple Acceso	DS – CDMA
Método de Duplexación	FDD / TDD
Sincronización con la estación base	Operación asíncrona
Tasa de Chip	3.84 Mcps
Longitud de Trama	10 ms
Servicio de multiplexación	Servicios múltiples con diferentes requerimientos de calidad de servicio multiplexados en una conexión
Concepto multitasa	Factor de dispersión variable y multicódigo
Detección	Coherente usando símbolos piloto o piloto común
Detección Multiusuario, antenas inteligentes	Soportado por el estándar, opcional en la implementación

Tabla 7.3 Principales parámetros de WCDMA

7.3 Arquitectura de Red de Acceso por Radio

La arquitectura de la red de acceso utilizada es la del sistema UMTS que es la misma que se ha usado para todos los sistemas de segunda generación e incluso para algunos sistemas de primera generación.

El sistema UMTS consiste en un número de elementos de red lógicos, cada uno con una función definida. Los elementos de la red se pueden agrupar basándose en funciones similares o basándose en las subredes a las que pertenecen.

Funcionalmente los elementos de la red se agrupan en Red de Radio Acceso (Radio Access Network RAN, UMTS Terrestrial RAN = UTRAN) que maneja todas las funciones de radio; y en Red Base (Core Network), que es responsable de la conmutación y enrutamiento de las llamadas y de las conexiones de datos hacia redes externas. Para completar el sistema se define el Equipo del usuario (UE – User Equipment) que interconecta al usuario con la interfaz de Radio.

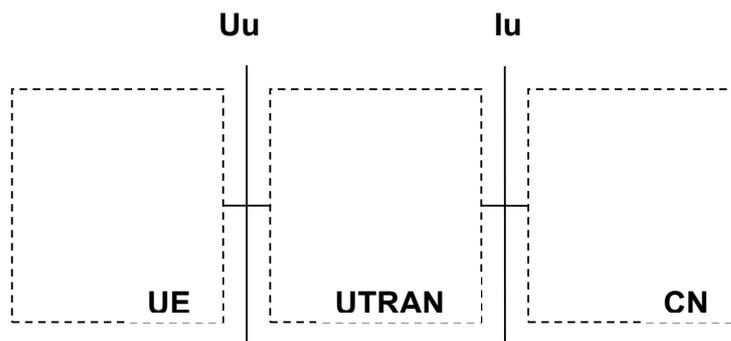


Fig.7.1 Arquitectura UMTS

La otra forma de agrupar los elementos de la red es la de dividirlos en subredes. Un requerimiento mínimo para poder ofrecer completamente una red operacional es el tener al menos un elemento lógico de cada tipo. La posibilidad de tener varios elementos del mismo tipo permite la división del sistema UMTS en subredes, las cuales son diferenciadas unas de otras por identidades únicas. Se tiene la subred llamada UMTS PLMN (Public Land Mobile Network) que es típicamente operada por un solo operador, y esta conectada a otras PLMN's así como a otro tipo de redes, como ISDN, PSTN, Internet, etc.

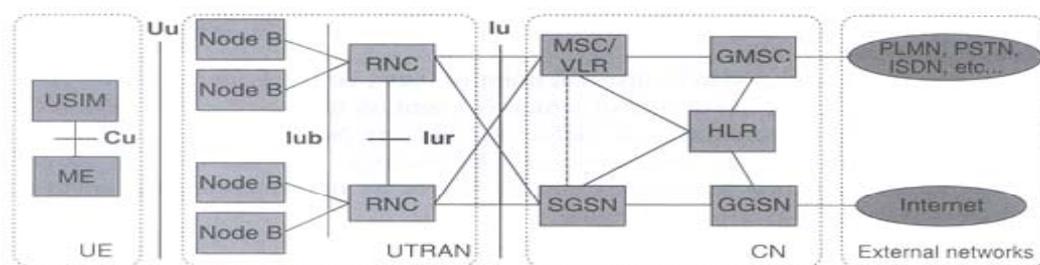


Fig.

Fig. 7.2 Elementos en una Red PLMN

Los elementos que conforman esta red se describen brevemente a continuación:

El User Equipment UE consta de dos partes:

- El Equipo Móvil (ME – Mobile Equipment) es la terminal de radio usada para la comunicación radio sobre la interfaz Uu.
- El Módulo de Identidad de Suscriptor UMTS (USIM – UMTS Subscriber Identity Module) es una tarjeta inteligente que retiene la identidad del suscriptor, desarrolla algoritmos de autenticación, y almacena claves de autenticación y encriptación y alguna información de suscripción necesaria en la terminal.

El UTRAN consta de uno o más Subsistemas de Red de Radio (RNS – Radio Network Sub-system), un RNS consiste de un RNC y de uno o más nodos B

- El Nodo B traduce el flujo de datos entre la interfaz Iub y la interfaz Uu. También participa en la administración de los recursos de radio.
- El Controlador de la Red de Radio (RNC – Radio Network Controller) posee y controla los recursos de radio en su dominio (los nodos B conectados a él). El RNC es el punto de acceso a todos los servicios UTRAN proveídos por el CN, por ejemplo la administración de conexiones al UE.

Los principales elementos del CN son los siguientes:

- HLR (Home Location Register) es una base de datos situada en el sistema casero del usuario que almacena la copia principal del perfil del servicio del usuario. El perfil del servicio consiste en, por ejemplo, la información sobre los servicios permitidos, áreas de cobertura prohibidas, y la información de servicio suplementaria tal como el estado del reenvío de llamada y el número del reenvío de llamada.
- MSC/VLR (Mobile Services Switching Centre/Visitor Location Register) es el conmutador (MSC) y la base de datos (VLR) que da al UE su actual ubicación para los servicios de Circuitos Conmutados (CS – Circuit Switched services).
- GMSC (Gateway MSC) es el conmutador en el punto en donde la red UMTS PLMN esta conectada a las redes externas CS. Todas las conexiones CS entrantes o salientes van a través del GMSC.
- SGSN (Serving GPRS (General Packet Radio Service) Support Node) tiene una funcionalidad similar a la del MSC/VLR pero es típicamente usado para servicios de Paquetes Conmutados (PS – Packet Switched services).
- GGSN (Gateway GPRS Support Node) tiene una funcionalidad cercana a la del GMSN pero en relación a los servicios PS.

Las redes externas se dividen en dos grupos:

- Redes CS (Circuit Switched). Estas proveen conexiones de conmutación de circuitos, como el servicio de telefonía existente. ISDN y PSTN son ejemplos de redes CS.
- Redes PS (Packet Switched). Estas proveen conexiones para servicios de paquetes de datos. El Internet es un ejemplo de una red PS.

Las interfaces abiertas entre los elementos lógicos son las siguientes:

- Interfaz Cu. Es la interfaz eléctrica entre la tarjeta USIM y el ME. Esta interfaz sigue un formato estándar para tarjetas inteligentes.
- Interfaz Uu. Es la interfaz de radio de WCDMA. Es la interfaz a través de la cual el UE accesa a la parte fija del sistema., y es probablemente la interfaz abierta de mayor importancia en UMTS.
- Interfaz Iu. Esta interfaz conecta el UTRAN con el CN.
- Interfaz Iur. Esta interfaz abierta permite la transferencia de llamada suave entre RNCs de diferentes fabricantes, y complementa a la interfaz Iu.
- Interfaz Iub. Esta conecta un Nodo B con un RNC.

7.4 Capa Física

La capa física tiene mayor impacto en la complejidad del equipo con respecto a la potencia de procesamiento de banda base requerida en la estación terminal y en el equipo de la estación base. Puesto que los sistemas de tercera generación son de banda ancha y desde el punto de vista de los servicios la capa física no puede ser diseñada alrededor de un solo servicio, como el de voz; se necesita mayor flexibilidad para la introducción de futuros servicios.

En UTRA los datos generados en las capas más altas son llevados por el aire en canales de transporte, los cuales son distribuidos en la capa física a diferentes canales físicos. La capa física requiere soportar canales de transporte de tasa de bits variables para ofrecer servicios de ancho de banda en demanda, y para ser capaz de multiplexar varios servicios a una conexión.

Cada canal de transporte es acompañado por el Indicador de Formato de Transporte (TFI – Transport Format Indicator) en cada momento en el cual los datos son esperados por el canal de transporte específico de las capas más altas. La capa física combina la información TFI de diferentes canales de transporte en otro indicador llamado Indicador de Combinación de Formatos de Transporte (TFCI – Transport Format Combination Indicator). El TFCI es transmitido en el canal de control físico para informarle al receptor cuales son los canales de transporte activos para la trama actual.

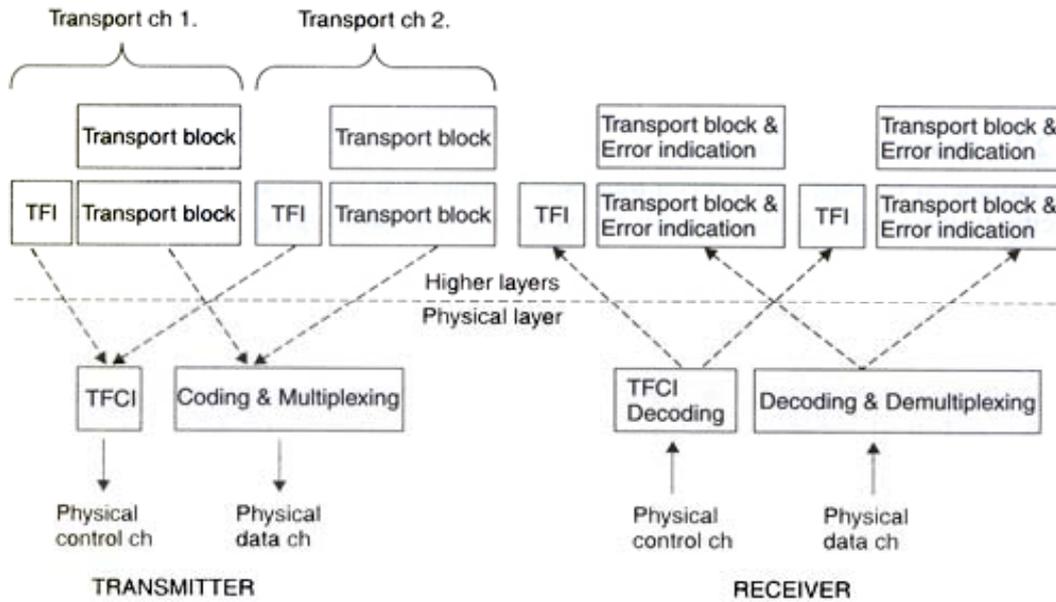


Fig.

Fig. 7.3 Interfaz entre las capas más altas y la capa física

Existen dos tipos de canales de transporte: los dedicados y los comunes. La principal diferencia entre los dos tipos es que un canal común es un recurso dividido entre todos o un grupo de usuarios en una célula, mientras que un canal dedicado, identificado por un cierto código y una cierta frecuencia, esta reservado para un solo usuario.

El único canal de transporte dedicado es el conocido como DCH, el cual lleva toda la información correspondiente a un usuario dado proveniente de la capa de arriba de la capa física, incluyendo los datos del servicio actual así como información de control de capas altas. El canal de transporte dedicado se caracteriza por su rápido control de potencia, por su rápido cambio de tasa de datos en una base trama por trama, y por la posibilidad de transmitir a una parte en específico de la célula o a un sector con alturas de antena variantes; también soporta la transferencia de llamada suave.

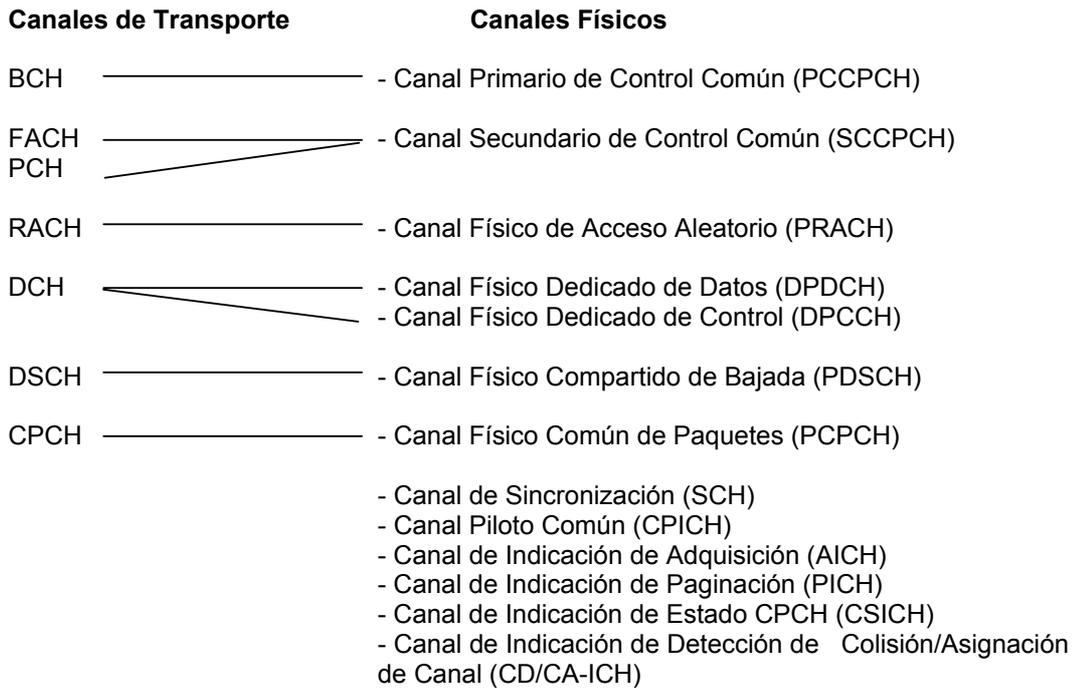
Existen actualmente seis tipos diferentes de canales de transporte comunes definidos por UTRA, y son los siguientes:

- Canal de Difusión (BCH – Broadcast Channel). Canal usado para transmitir información específica a la red UTRA o a una célula dada.
- Canal de Acceso Adelantado (FACH – Forward Access Channel). Es un canal de enlace de bajada que lleva información de control a terminales ubicadas en una célula dada.
- Canal de Paginación (PCH – Paging Channel). Es una canal de enlace de bajada que lleva datos relevantes para el procedimiento de paginación cuando la red quiere iniciar comunicación con la terminal.
- Canal de Acceso Aleatorio (RACH – Random Access Channel). Es un canal de transporte de enlace de subida que se usa para llevar información de control de la terminal, como las peticiones de establecer una conexión. También puede ser usado para mandar pequeñas cantidades de paquetes de datos de la terminal hacia la red.
- Canal de Paquetes Comunes en el Enlace de Subida (CPCH – Uplink Common Packet Channel). Es una extensión al canal RACH que se usa para llevar datos del usuario basados en paquetes en dirección del enlace de subida.

- Canal Compartido en el Enlace de Bajada (DSCH – Downlink Shared Channel). Es un canal de transporte que lleva datos del usuario y/o información de control, puede ser compartido por varios usuarios. Esta siempre asociado a un canal DCH de enlace de bajada.

Los canales de transporte comunes necesarios para la operación básica de la red son: RACH, FACH y PCH; el uso del DSCH y CPCH es opcional y puede ser decidido por la red.

Distribución de los Canales de Transporte en los Canales Físicos.



En adición a los canales de transporte, existen canales físicos que llevan información relevante a los procedimientos de la capa física. El Canal de Sincronización (SCH - Synchronisation), el Canal Piloto Común (CPICH – Common Pilot Channel) y el Canal de Indicación de Adquisición (Acquisition Indication Channel) no son visibles directamente a las capas más altas y son mandatarios desde el punto de vista de la función del sistema, para ser transmitidos desde cada estación base. El Canal de Indicación de Estado CPCH (CSICH – CPCH Status Indication Channel) y el Canal de Indicación de Detección de Colisión/Asignación de Canal (CD/CA-ICH – Collision Detection/Channel Assignment Indication Channel) son necesarios si se usa el CPCH.

El canal dedicado DCH es distribuido en dos canales físicos. El Canal Físico de Datos Dedicado (DPDCH – Dedicated Physical Data Channel) lleva información de capa alta, incluyendo información de usuario, mientras que el Canal Físico de Control Dedicado (DPCCH – Dedicated Physical Control Channel) lleva la información necesaria de control de la capa física. Estos dos canales físicos son necesarios para soportar eficientemente la tasa de bits variables en la capa física. La tasa de bits del DPCCH es constante, mientras que la tasa de bits del DPDCH puede cambiar de trama a trama.

7.4.1 Dispersión y Modulación

En adición a la dispersión, parte del proceso en el transmisor es la operación de aleatorización que es necesaria para separar terminales o estaciones base unas de otras. La aleatorización se usa en

lo alto de la dispersión, por lo tanto no cambia el ancho de banda de la señal sino que hace que las señales de diferentes fuentes sean separables unas de otras y con la aleatorización no importa si la dispersión fue hecha con códigos idénticos para varios transmisores.

Las transmisiones de una fuente son separadas por códigos de canalización. Los códigos de dispersión/canalización de UTRA están basados en la técnica del Factor de Dispersión Ortogonal Variable (OVSF – Orthogonal Variable Spreading Factor).

	Código de Canalización	Código de Aleatorización
Uso	Enlace de subida: Separación de datos físicos (DPDCH) y canales de control (DPCCH) de una misma terminal Enlace de bajada: Separación de conexiones de enlace de bajada en diferentes usuarios dentro de una célula	Enlace de subida: Separación de terminal Enlace de bajada: Separación de sectores (células)
Longitud	4 – 256 chips (1.0 – 6.67 μ s) enlace de bajada también a 512 chips	Enlace de subida: 10 ms = 38400 chips ó 66.7 μ s = 256 chips Enlace de bajada: 10 ms = 38400 chips
Número de Códigos	Número de códigos bajo un código de aleatorización = factor de dispersión	Enlace de subida: Varios millones Enlace de bajada: 512
Familia de Códigos	Factor Ortogonal Variable de Dispersión (OVSF)	Código Gold Familia extendida S(2)
Dispersión	Si, incrementa el ancho de banda de transmisión	No, no afecta el ancho de banda de transmisión

Tabla 7.4 Funcionalidad de los códigos de canalización y de aleatorización

En dirección del enlace de subida existen básicamente dos criterios adicionales orientados a la terminal que se deben tomar en cuenta en la definición de los métodos de modulación y dispersión. La modulación del enlace de subida debe ser diseñada para que la eficiencia del amplificador de la terminal sea máxima y/o la interferencia audible en la transmisión de la terminal sea mínima.

La transmisión discontinua en el enlace de subida puede causar interferencia audible a equipos de audio que estén muy cerca de la terminal; esta es una interferencia totalmente separada a la interferencia en la interfaz aire. La interferencia audible es una molestia sólo para el usuario y no afecta el funcionamiento de la red. En la operación de GSM es normal tener ocasionalmente interferencia audible con equipo de audio que no esta protegido apropiadamente. La interferencia de GSM tiene una frecuencia de 217 Hz, la cual esta determinada por la frecuencia de la trama GSM. Esta interferencia entra en la banda que puede ser escuchada por un humano. Con un sistema CDMA, el mismo problema surge cuando se usa transmisión discontinua en el enlace de subida, por ejemplo con un servicio de voz. Durante periodos de silencio no se necesita transmitir bits de información, sólo la información necesaria para mantener el enlace, como el control de potencia con una tasa de comandos de 1.5 kHz. Con esta tasa la transmisión del piloto y los símbolos del control de potencia con multiplexaje en tiempo en el enlace de subida podrían causar interferencia audible en el medio de la banda de frecuencia de la telefonía de voz. Por lo tanto, en un enlace de subida WCDMA los dos canales físicos dedicados no están multiplexados en tiempo pero utilizan multiplexación de código I-Q.

Para tener la mejor eficiencia posible en el amplificador de potencia, la terminal transmisora debe tener una razón Promedio-a-Pico (PAR – Peak to Average Ratio) baja para permitir a la terminal

operar con mínimos requerimientos de respaldo en el amplificador. Con la multiplexación de código I-Q, también llamada Modulación QPSK de canal dual, los niveles de potencia del DPDCH y del DPCCH son típicamente diferentes.

La modulación en GSM es GMSK (Gaussian Minimum Shift Keying) que tiene una envolvente constante y con esto una razón Promedio a Pico optimizada. En la práctica, la eficiencia del amplificador de potencia de WCDMA es ligeramente menor que la del amplificador de potencia de GSM. Pero por otro lado, WCDMA usa control de potencia rápido en el enlace de subida, el cual reduce el promedio de potencia de transmisión requerido.

Para el código de dispersión en el enlace de subida del DPCCH, existe una restricción; no se puede utilizar el mismo código por otro canal de código en la misma o en diferente rama I o Q. La razón es que los canales físicos transmitidos con los mismos códigos de canalización en ramas I y Q con el principio del canal dual QPSK no pueden ser separados después de que el DPCCH ha sido detectado.

Las transmisiones de diferentes fuentes son separadas por códigos de aleatorización. En dirección del enlace de subida hay dos alternativas: códigos de aleatorización corto y largo. Los códigos largos son truncados a 10 ms. de longitud de trama, resultando así en 38400 chips con 3.84 Mcps. La longitud del código de aleatorización corto es de 256 chips. Los códigos largos son usados si la estación base utiliza un receptor Rake.

En dirección del enlace de bajada ha sido escogida la modulación normal QPSK con control de multiplexaje de tiempo y corrientes de datos.

La dispersión en el enlace de bajada se basa en los códigos de canalización, como en el enlace de subida. La aleatorización en el enlace de bajada usa códigos largos.

7.4.2 Transmisión de Datos del Usuario

La información de control de capa física es llevada por el canal DPCCH con un factor de dispersión fijo de 256. La información de capa alta, incluyendo los datos del usuario, es llevada en uno o más canales DPDCH, con un posible factor de dispersión bajando de 256 a 4. La transmisión en el enlace de subida debe consistir de uno o más canales DPDCH con un factor de dispersión variable, y un solo canal DPCCH con factor de dispersión fijo.

Factor de dispersión DPDCH	Tasa de bit del canal DPDCH (kbps)	Máxima tasa de datos del usuario (kbps)
256	15	7.5
128	30	15
64	60	30
32	120	60
16	240	120
8	480	240
4	960	480
4, con 6 códigos paralelos	5740	2.8 Mbps

Tabla 7.5 Tasas de datos del DPDCH para el enlace de subida

Adicionalmente al canal dedicado del enlace de subida, los datos del usuario pueden ser enviados en el Canal de Acceso Aleatorio (RACH), distribuido en el Canal Físico de Acceso Aleatorio (PRACH). Esto es aplicable para operaciones de tasa de datos baja con paquetes de datos donde

la conexión continua no se puede mantener. En el mensaje RACH será posible transmitir con una serie limitada de tasas de datos basadas en previas negociaciones con la red UTRA.

7.5 Protocolos de la Interfaz de Radio

Los protocolos de la interfaz de Radio son necesarios para establecer, reconfigurar y lanzar los servicios de Portadora Radio (incluyendo el servicio UTRA FDD/TDD).

Las capas de protocolos arriba de la capa física son llamadas Capa de Enlace de Datos (Capa 2) y Capa de Red (Capa 3).

En la Interfaz UTRA FDD, la Capa 2 esta dividida en subcapas. El plano de control se divide en 2 subcapas: Protocolo de Control de Acceso al Medio – Protocolo MAC, y Protocolo de Control de Enlace Radio – Protocolo RLC. El plano del usuario, en adición al MAC y al RLC, tiene dos protocolos dependientes de servicios: Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos (Packet Data Convergence Protocol PDCP) y Protocolo de Control Broadcast Multicast (BMC).

La Capa 3 consiste de un solo protocolo llamado Control de Recursos de Radio (RRC), el cual pertenece al plano de control.

7.5.1 Arquitectura de Protocolos

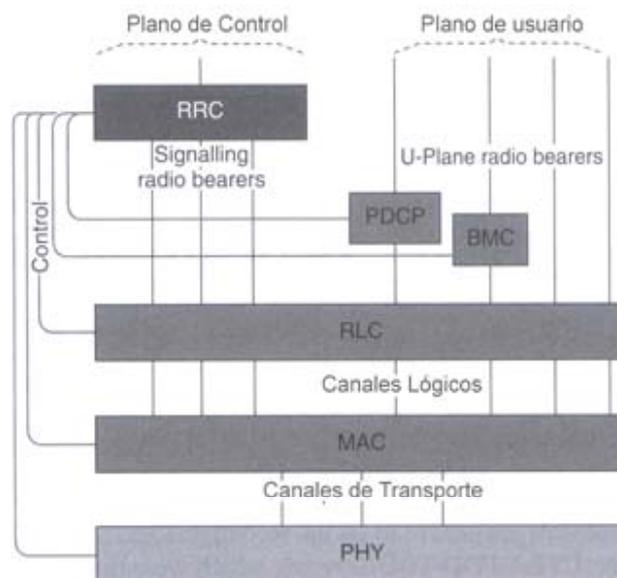


Fig. 7.4 Arquitectura de Protocolos de la Interfaz de Radio UTRA FDD

La Capa física ofrece servicios a la capa MAC a través de canales de transporte; la capa MAC a su vez ofrece servicios a la capa RLC a través de canales lógicos y la capa RLC ofrece servicios a las capas más altas vía puntos de acceso a servicios (SAP's).

7.5.2 Protocolo MAC

En la capa de Control de Acceso al Medio los canales lógicos son distribuidos a los canales de transporte. Esta capa es responsable de seleccionar un Formato de Transporte (TF) apropiado

para cada canal de transporte dependiendo de la o las tasas de transferencia de las fuentes instantáneas de los canales lógicos. El formato de transporte es seleccionado con respecto al Sistema de la combinación de formatos de transporte (TFCS) el cual se define por el control de admisión para cada conexión.

La capa MAC consiste de tres entidades lógicas:

- MAC-b Maneja el canal de Broadcast (BCH)
- MAC-c/sh maneja los canales comunes y compartidos – Canal de Paging (PCH), Canal de acceso al enlace hacia delante (FACH), Canal de acceso aleatorio (RACH), Canal Común de paquetes de subida (CPCH) y el Canal Compartido de bajada (DSCH).
- MAC-d es responsable del manejo de los canales dedicados (DCH) hacia el UE en modo conexión.

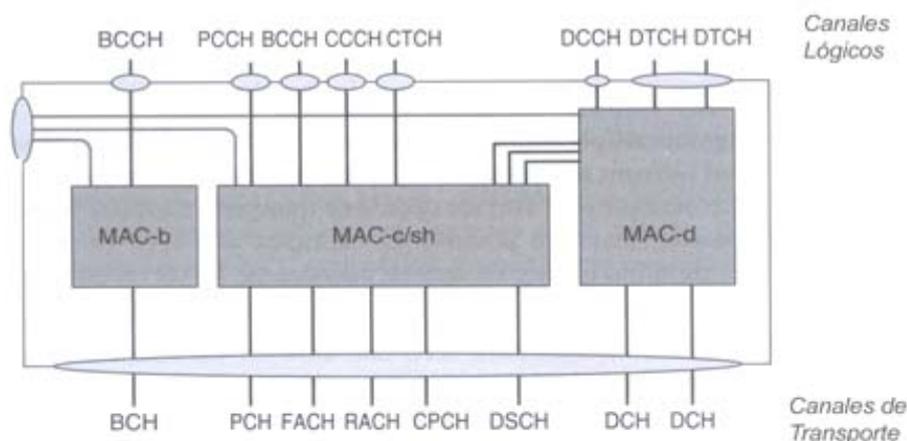


Fig. 7.5 Arquitectura de la Capa MAC

Las principales funciones de la capa MAC son las siguientes:

- Mapeo entre canales lógicos y canales de transporte.
- Selección del formato de transporte apropiado.
- Manejo prioritario entre los flujos de datos de un UE.
- Identificación de UE's en los canales de transporte comunes.
- Monitoreo del volumen de tráfico.
- Canal de Transporte Dinámico tipo conmutado.

7.5.3 Canales Lógicos

Canales de Control:

- BCCH – Canal de Control de Broadcast (Broadcast Control Channel). Es un canal del enlace de bajada para el control de información en el sistema de broadcast.
- PCCH – Canal del Control de Paginación (Paging Control Channel). Es un canal del enlace de bajada que transfiere información de paginación.
- DCCH – Canal de Control Dedicado (Dedicated Control Channel). Canal bidireccional punto a punto que transmite información de control dedicada entre un UE y el RNC. Este canal se establece durante el procedimiento de negociación en la conexión RRC.
- CCCH – Canal de Control Común (Common Control Channel). Canal bidireccional para la transmisión de información de control entre la red y los UEs.

Canales de Tráfico:

- DTCH – Canal de Tráfico Dedicado (Dedicated Traffic Channel). Es un canal punto a punto, dedicado a un UE, para la transferencia de la información del usuario.
- CTCH – Canal de Tráfico Común (Common Traffic Channel). Canal de enlace de bajada punto a multipunto utilizado para la transferencia de información dedicada de usuarios hacia todos o a un grupo específico de UEs.

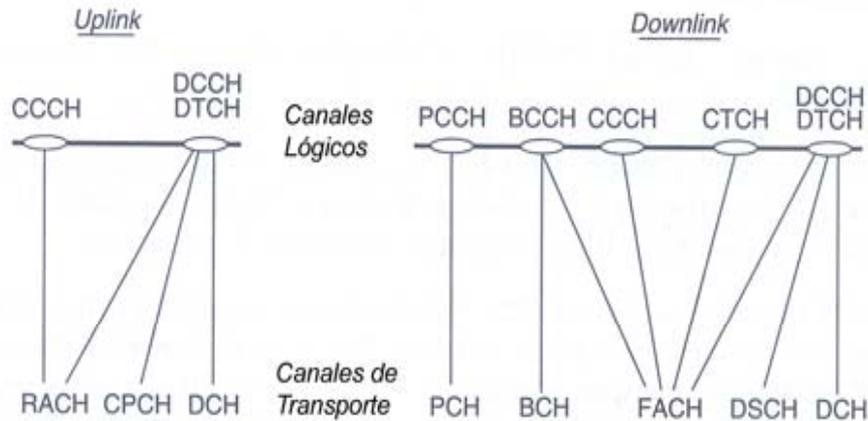


Fig. 7.6 Distribución entre canales lógicos y canales de transporte

7.5.4 Protocolo de Control de Enlace de Radio (RLC)

Este protocolo provee de los servicios de segmentación y retransmisión para los datos de control y del usuario. Cada RLC es configurado para operar en uno de tres modos: Modo Transparente (Tr), Modo No Reconocido (UM – Unacknowledged Mode) o Modo Reconocido (AM Acknowledged Mode). El servicio que provee la capa RLC en el plano de control es llamado Señalización del Portador de Radio (SRB – Signalling Radio Bearer), y el servicio que provee en el plano del usuario es llamado Portador de Radio (RB – Radio Bearer) solo cuando los protocolos PDCP y BMC no son usados por ese servicio, de otra forma el servicio RB es proveído por el PDCP o por el BMC.

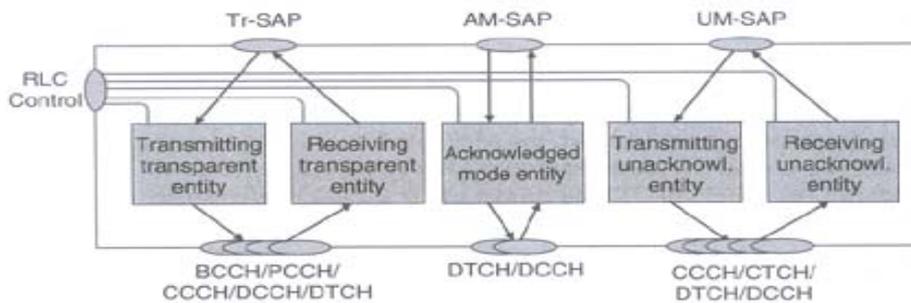


Fig. 7.7. Arquitectura de la Capa RLC

Se puede notar en la arquitectura de la capa RLC que las entidades de los modos Transparente y No Reconocido están definidas para ser unidireccionales, mientras que las entidades del modo Reconocido son descritas como bidireccionales.

Para todos los modos de RLC, la detección de errores CRC se realiza en la capa física y el resultado de esta detección se entrega al RLC junto con los datos reales.

Las principales funciones de la capa RLC son:

- Segmentación y re-ensamblaje. Esta función realiza la segmentación/re-ensamblaje de los PDUs de longitud variable de la capa más alta de unidades de carga útil (PUS) RLC más pequeñas. Un RLC PDU lleva un PU.
- Concatenación. Si el contenido de un RLC SDU no llena un número entero de RLC PUS, el primer segmento del siguiente RLC SDU debe ser puesto dentro del RLC PU en concatenación con el último segmento del RLC SDU previo.
- Relleno. Cuando la concatenación no es aplicable y los datos por transmitir no llenan un RLC PDU entero de un tamaño dado, el espacio faltante del campo de datos es llenado con bits de relleno.
- Transferencia de Datos del Usuario. RLC soporta la transferencia de datos transparente y con o sin reconocimiento y es controlada por la calidad de servicio QoS establecida.
- Corrección de Errores. Esta función provee corrección de errores por retransmisión en el modo de transferencia sin reconocimiento.
- Detección Duplicada. Esta función detecta la recepción de RLC PDU's duplicados y asegura que el PDU de capa más alta es entregado una sola vez a la siguiente capa.
- Control de Flujo. Esta función permite a un receptor RLC controlar la tasa a la cual una entidad RLC que esta transmitiendo debe mandar la información.
- Cifrado

7.5.4.1 Protocolo de Convergencia de Paquetes de Datos (PDCP – Packet Data Convergente Protocol)

Este protocolo PDCP existe solo en el plano del usuario y solo para servicios del dominio de conmutación de paquetes PS (Packet Switched). PDCP contiene métodos de compresión, que son necesarios para adquirir una mejor eficiencia espectral para los servicios que requieren transmitir paquetes IP sobre Radio.

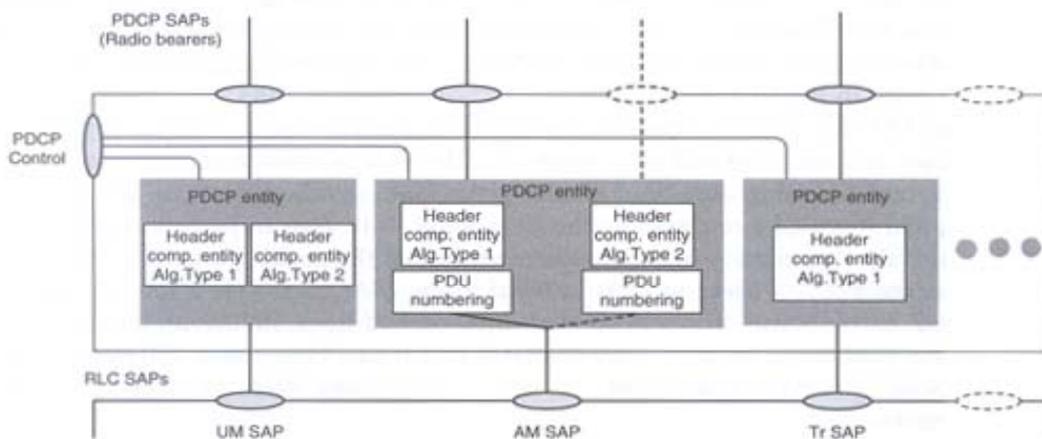


Fig.

Fig. 7.8. Arquitectura de PDCP

Las principales funciones de PDCP son:

- Compresión de la información de control de protocolo redundante (es decir, encabezados de TCP/IP y RTP/UDP/IP) en la entidad de transmisión, y descompresión en la entidad de recepción.
- Transferencia de Datos del Usuario. Esto significa que PDCP recibe un PDCP SDU de un estrato de no acceso y lo reenvía a la entidad RLC apropiada y viceversa.

7.5.5 Protocolo de Control Broadcast / Multicast (BMC)

Otro protocolo de Capa 2 de servicios específicos que existe solo en el plano del usuario. Este protocolo está diseñado para adaptar servicios de Broadcast y Multicast, originándose en el dominio de Broadcast, en la interfaz Radio. Un servicio que utiliza este protocolo es el servicio SMS Broadcast de célula (SMS Cell Broadcast) que es tomado directamente de GSM y utiliza UM RLC usando el canal lógico CTCH distribuido al canal de transporte FACH. Cada mensaje SMS CB es apuntado a un área geográfica, y el RNC distribuye esta área en células.

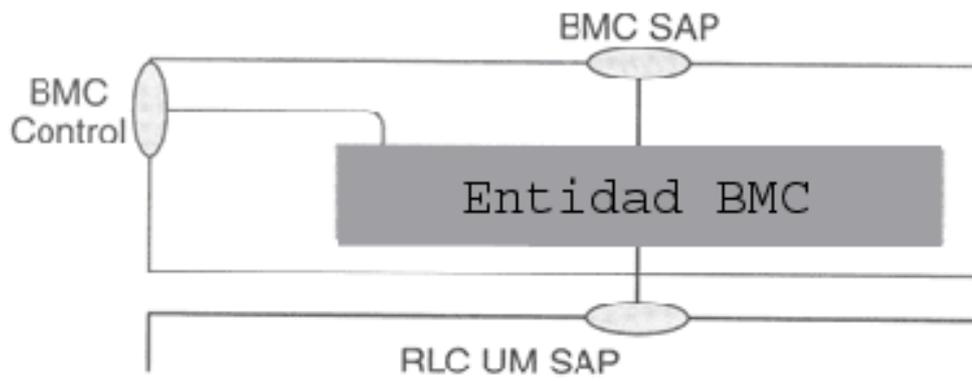


Fig. 7.9. Arquitectura de la capa BMC

Las principales funciones del protocolo BMC son:

- Almacenamiento de mensajes de difusión de célula (Cell Broadcast). El BMC en RNC almacena los mensajes de difusión de célula (Cell Broadcast) recibidos sobre la interfaz CBC – RNC, y pide los recursos CTCH/FACH apropiados al RRC.
- T
- Sch
- Transmisión de mensajes BMC al UE. Esta función transmite mensajes BMC de acuerdo al calendario.
- Entrega de mensajes de difusión de célula (Cell Broadcast) a la capa de más arriba.

7.5.6 Protocolo de Control de Recursos de Radio (RRC)

La mayor parte de la señalización de control entre el UE y el UTRAN son los mensajes RRC. Estos mensajes RRC llevan todos los parámetros requeridos para establecer, modificar y lanzar las entidades de capa 2 y de capa 1. Los mensajes RRC también llevan en su carga útil toda la señalización de capa más alta (MM, CM, SM, etc.). La movilidad del equipo del usuario en el modo conectado es controlada por la señalización RRC (mediciones, transferencias de llamadas, actualizaciones de células, etc.).

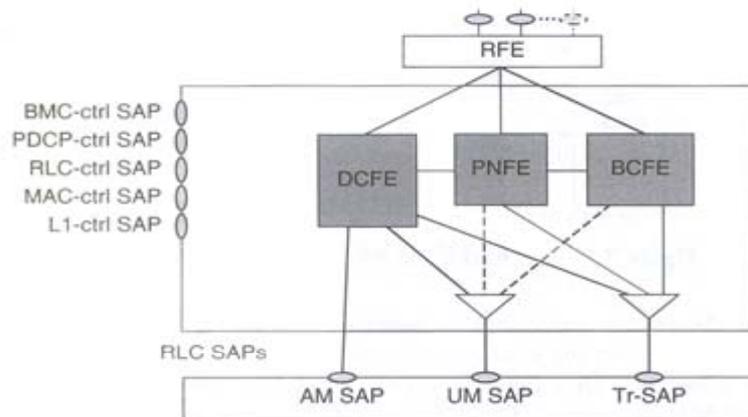


Fig. 7.10. Arquitectura de la capa RRC

La Capa RRC consta de cuatro entidades funcionales:

- La Entidad de Función de Control Dedicado (DCFE – Dedicated Control Function Entity) maneja todas las funciones y la señalización específica a un UE.
- La Entidad de Función de Control de Notificación y Paginación (PNFE – Paging and Notification control Function Entity) maneja la paginación del modo ocioso del(os) UE(s). Existe al menos un PNFE en el RNC por cada célula controlada por ese RNC.
- La Entidad de Función de Control de Broadcast (BCFE – Broadcast Control Function Entity) maneja el sistema de información de difusión. Existe al menos una BCFE para cada célula en el RNC.
- La cuarta entidad es normalmente puesta fuera del protocolo RRC, pero todavía sigue perteneciendo al estrato de acceso y “lógicamente” a la capa RRC, puesto que la información requerida por esta entidad es parte de los mensajes RRC. La entidad es llamada Entidad de Función de Ruteo (RFE – Routing Function Entity) y su tarea es el ruteo de los mensajes de la capa más alta a diferentes entidades MM/CM (lado del UE) o a diferentes dominios de Redes Base (lado del UTRAN).

7.5.7 Estados de Servicio RRC

Los dos modos de operación básicos del un UE son el “modo ocioso” y el “modo conectado”. El modo conectado puede ser además dividido en estados de servicio, que definen que tipo de canales físicos esta usando un UE.

Las principales funciones del RRC son:

- Difusión (broadcast) de la información del sistema.
- Paginación.
- Selección inicial de célula y reelección en modo ocioso.
- Establecimiento, mantenimiento y lanzamiento de una conexión RRC entre el UE y el UTRAN.
- Control de Portadores de Radio, canales de transporte y canales físicos.
- Control de funciones de seguridad (cifrado y seguridad integral).
- Protección integral de los mensajes de señalización.
- Reporte de medición del UE y control del reporte.
- Funciones de movilidad en la conexión RRC.
- Soporte de reubicación de SRNS.

- Soporte para el control de potencia de lazo externo en el enlace de bajada en el UE.
- Control de potencia de lazo abierto.
- Funciones relacionadas con el servicio de difusión en la célula.
- Soporte para las funciones de posicionamiento del UE.

7.6 Estandarización de WCDMA en Europa y Japón

En la primera fase de la estandarización de la tercera generación, fue llevado en varias regiones el proceso básico para seleccionar la mejor tecnología para el acceso de radio múltiple.

En Europa un período largo de investigación precedió la selección de la tecnología de la tercera generación. El programa RACE I (Research of Advanced Communication Technologies in Europe – Investigación de las Tecnologías de Comunicación Avanzadas en Europa) comenzó el trabajo de investigación básico de la tercera generación en 1988. Este programa fue seguido por RACE II, con el desarrollo de las interfaces de aire CDMA-based CODIT (Code Division Testbed) y TDMA-based ATDMA (Acceso Móvil Avanzado de TDMA) durante 1992-95. Además, las propuestas de interfaz de aire de banda ancha fueron estudiadas en proyectos industriales en Europa.

El programa de investigación europeo ACTS (Advanced Communication Technologies in Europe) fue lanzado a finales de 1995 para apoyar la investigación y desarrollo de las comunicaciones móviles. Dentro de ACTS el proyecto FRAMES (Future Radio Wideband Multiple Access System) fue establecido con el objetivo de definir una propuesta para un sistema de acceso de radio UMTS. Los socios industriales principales, en FRAMES eran Nokia, Siemens, Ericsson, Francia Télécom y Telecom de CSEM/Pro, con la participación también de varias universidades europeas. De acuerdo con una fase inicial de la evaluación de la propuesta en FRAMES, fue definida una plataforma de acceso múltiple armonizada, consistiendo en dos modos: FMA 1, que es un TDMA de banda ancha, y FMA 2, un CDMA de banda ancha. Las propuestas de FRAMES fueron mandadas a ETSI como candidatos a interfaz de aire de UMTS.

Las ofertas para la Interfaz de aire UTRA recibidas por ETSI fueron agrupadas en cinco grupos en junio de 1997, después de su sumisión y de la presentación durante 1996 y principios de 1997, los grupos se formaron como sigue:

- CDMA Wideband (WCDMA)
- TDMA Wideband (WTDMA)
- TDMA/CDMA
- OFDMA
- ODMA

7.6.1 CDMA DE BANDA ANCHA (WCDMA).

El grupo del concepto de WCDMA fue formado alrededor de las propuestas de WCDMA de FRAMES/FMA2, de Fujitsu, de NEC y de Panasonic. Varias compañías europeas, japonesas y de los E.U. contribuyeron al desarrollo del concepto de WCDMA. La capa física del enlace de subida de WCDMA fue adoptada principalmente de FRAMES/FMA2, mientras que la solución del enlace de bajada fue modificada siguiendo los principios de las otras propuestas hechas al grupo del concepto de WCDMA.

Las características básicas del sistema consisten en:

- Operación de WCDMA en 5 MHz
- Flexibilidad de la capa física para la integración de todas las tasas de datos en una sola portadora

- Reutilización de operación

Las mejoras cubiertas incluyen:

- Diversidad de Transmisión
- Operación con Antenas Adaptantes
- Soporte a estructuras avanzadas del receptor

El concepto de WCDMA alcanzó el soporte más grande, como una de las herramientas técnicas motivantes que comenzaron la flexibilidad de la capa física para la acomodación de diversos tipos de servicio simultáneos. Esto se consideró como una ventaja, especialmente con respecto a tasas de bits bajas y medias. Entre las desventajas de WCDMA, fue reconocido que en un sistema sin licencia en la banda TDD, con operación continua en transmisión y recepción, la tecnología pura de WCDMA no facilita técnicas de evitación de interferencia.

7.6.2 LA SELECCIÓN DE ETSI

Todas las tecnologías propuestas fueron capaces de cumplir con los requerimientos de UMTS, pero pronto se hizo evidente que los principales candidatos en el proceso de selección eran WCDMA y TDMA/CDMA.

En Enero de 1998, el (European Telecommunications Standards Institute) decide de entre las tecnologías, seleccionando WCDMA como el estándar para la interfaz de aire UTRA (UMTS Terrestrial Radio Access) en las bandas pares de frecuencia, es decir para la operación FDD (Frequency Division Duplexing), y la operación TDD (Time Division Duplexing). Como se muestra en la figura, le tomo 10 años desde la iniciación de los programas europeos de investigación para llegar a la decisión de la tecnología UTRA.

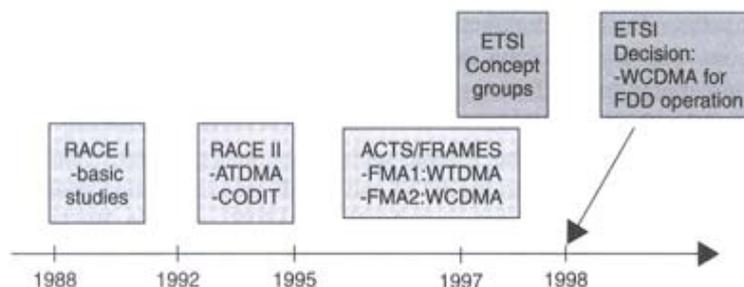


Fig. 7.11. Programas de investigación Europeos en sistemas de tercera generación y la decisión ETSI

En Japón, ARIB (Association for Radio Industries and Businesses) evaluó sistemas de tercera generación alrededor de tres diferentes tecnologías principales basadas en WCDMA, WTDMA y OFDMA.

La tecnología WCDMA en Japón fue muy similar a la que se comenzó a considerar por el ETSI en Europa. El resultado del proceso de selección de ARIB en 1997 fue WCDMA, con ambos modos de operación FDD y TDD. Puesto que WCDMA fue escogida en ARIB antes de que el proceso fuera completado en ETSI, esto tuvo un mayor peso en la selección ETSI como la alternativa tecnológica global.

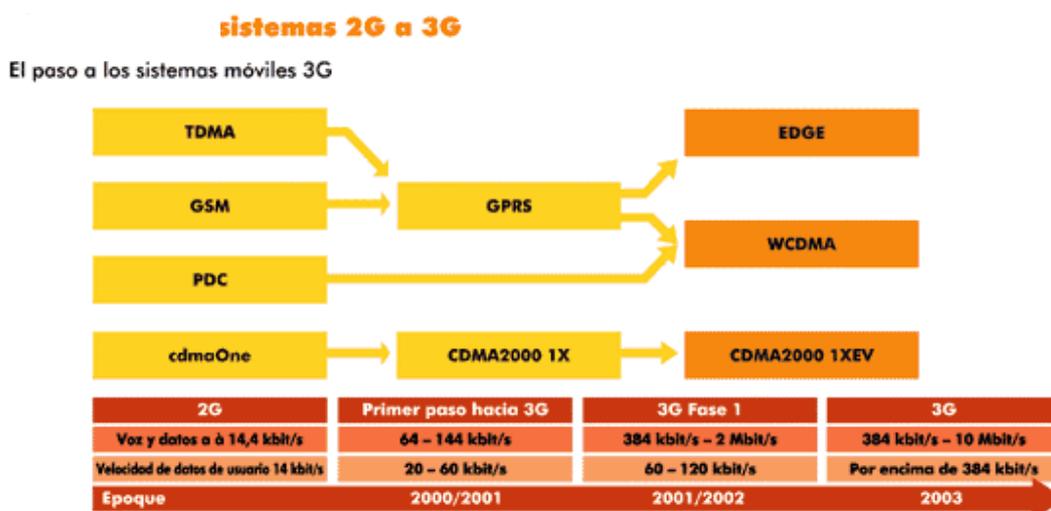
8. UMTS en el Mundo

8.1 Antecedentes

UMTS surgió de los debates conducidos por el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones (ETSI) como la solución predilecta de ese Instituto para superar los desafíos de los servicios de 3G. Una alianza entre organismos de normas de telecomunicaciones respaldada por proveedores y operadores inalámbricos se conformó en un grupo sectorial conocido como el Proyecto de Asociación para la Tercera Generación (3GPP) para formalizar la definición y normalización de UMTS. 3GPP es un acuerdo de colaboración establecido en 1998 que reúne a organizaciones sociales tales como ARIB, CWTS, ETSI, T1, TTA, y TTC. Los primeros resultados de sus esfuerzos se hicieron públicos en 1999. Pasaron a conocerse como la versión Release 99 (Rel'99) de UMTS, y presentaban una evolución de la norma GSM. Desde la introducción de Rel'99, la normalización operativa y optimizaciones continuas han estado en curso en todo el 3GPP, ahora compuesto por 436 miembros, entre operadores y proveedores, de todas partes del mundo.

El atractivo central de UMTS es el incremento en la capacidad tanto de voz como de datos, lo que permite servicios de datos mucho más veloces. Provee (en la versión Release '99) velocidades de datos más de 100% mayores que EDGE y una capacidad de voz 25% mayor que los sistemas GSM de ingeniería más agresiva, y la eficiencia espectral de UMTS para voz probablemente se vea incrementada con futuras mejoras a sus prestaciones. UMTS ofrece ventajas en la capacidad de voz principalmente a través de los beneficios que le confiere el poder promediar las interferencias, lo que es posible gracias a su tecnología de espectro expandido por división de código combinada con un control de potencia muy veloz y optimizado.

Otro beneficio fundamental es la capacidad de UMTS (nuevamente, en la versión Release '99) de dar soporte a velocidades de datos máximas tan elevadas como 2 Mbps, en la primera fase en un entorno fijo. Esto supera ampliamente las velocidades de datos máximas que ofrecen tecnologías de datos alternativas como Servicio de radiotransmisión de Paquetes de Datos Generales (GPRS) con 115 Kbps, CDMA2000 1x con 153 Kbps, y Datos a Mayor Velocidad para la Evolución GSM (EDGE) con 473 Kbps. UMTS alcanza una mayor eficiencia espectral para el servicio de transmisión de datos a alta velocidad que EDGE o CDMA2000 1xRTT. El gran ancho de banda de UMTS, junto con sus singulares características técnicas, posibilita que UMTS provea un rendimiento extraordinariamente alto.



Fuente: Adaptada de la GSA (Global mobile Suppliers Association).

8.2 Migración de Diversas Tecnologías hacia UMTS

8.2.1 Desde GSM hasta IMT-2000

La relación entre 2G y 3G esta contemplada intrínsecamente en el proceso de migración. La migración hacia los servicios de 3G desde los sistemas de segunda generación es un asunto muy amplio, dependiendo del punto de inicio del análisis. Por ejemplo, los sistemas basados en CDMA tienen un diferente camino hacia IMT-2000 que sus contrapartes de TDMA. Tales sistemas apuntan a los sistemas Cdma2000 como equivalente en 3G; mientras que para los sistemas TDMA (incluyendo GSM), la propuesta de Ericsson para el estándar WCDMA representa un logro de 3G. Curiosamente, los portadores basados en CDMA piensan que el camino de su migración será más económico que los portadores basados en GSM/TDMA, debido a que muchos solamente tendrán que cambiar tarjetas en los canales de las estaciones base y actualizar el software de la red.

Las mejoras para los sistemas GSM de segunda generación incluyen HSCSD (Circuito de Datos Conmutados de Alta Velocidad), GPRS (Servicio General de Paquetes de Radio) y EDGE (Tasa de datos mejorada para la evolución de GSM) –permitiendo tasas de transmisión muy altas. (Ver Tabla 8.1 y Figura 8.1). La meta de la migración de GSM es alcanzar UMTS, el cual es parte de la visión IMT-2000 de la ITU de una familia global de sistemas de comunicaciones móviles de tercera generación. Todos estos sistemas de la generación 2.5 están ahora en camino al desarrollo y despliegue (ver Tabla 8.1).

Periodo	Introducción importante de tecnología	Nuevas aplicaciones internas/externas
Arriba de 2000	2 G	Teléfono e-mail SMS Entrega de texto digital
2001 al 2002	2.5 G	Banco móvil Mail de voz, web Reproductor de audio móvil Periódico digital Entrega de audio digital Radio móvil, Karaoke Servicios basados en localización Cupones móviles
2003 y más allá	3 G	Videoconferencia móvil Mail y teléfono en video Diagnostico médico y educación remota Reproductor de TV/Video móvil Navegación del carro avanzada Catálogo digital de compras Entrega de audio y video digital

Tabla.8.1: Vista comparativa en Servicios / Aplicaciones

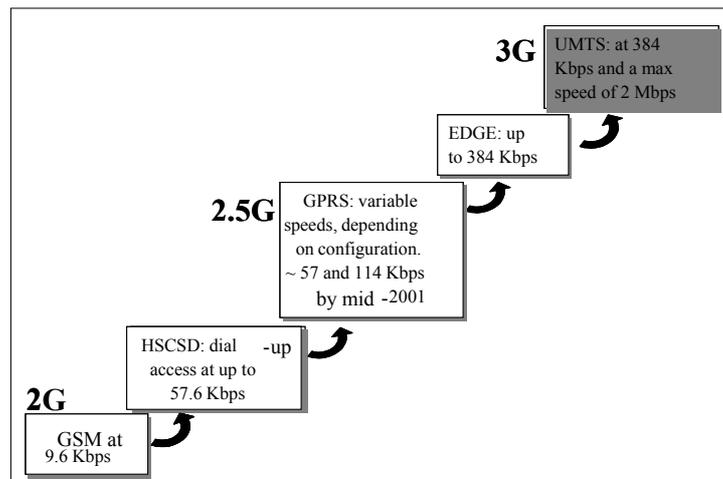


Fig.8.1: Paso a paso hacia IMT-2000 (UMTS)

En la figura 8.1 se debe hacer notar que existe cambio en el espectro después de la componente de EDGE hacia el concepto de UMTS. Lo anterior ha provocado debates acerca del estado de EDGE como equivalente potencial de UMTS / IMT-2000, dado que su capacidad de transmisión de datos esta cerca de las tasas esperadas de 3G (UWC-136 o EDGE es reconocido por el grupo de IMT-2000 de la ITU) pero, por otro lado, se espera una disminución en el despliegue de EDGE en el futuro.

Es interesante mencionar que algunos pronósticos para el salto de 2G a 3G será más dramático que de 2.5 a 3G; ya que el gran trabajo para el operador no es ir de GPRS a UMTS, sino ir de GSM a GPRS, debido a que se cambia completamente el modelo de negocios. También se tendría que ir de servicios de tipo tradicional a más servicios basados en Internet. Aunque las tecnologías 2.5G esperan que sea calmada la transición hacia 3G, experiencias con WAP probaron ser menos que satisfactorias. En cierto alcance, WAP mostró el efecto de expectativas excesivamente altas sobre tecnologías en mercados de bajo desarrollo.

Es poco probable que haya un repentino salto de las redes GSM de hoy a las redes 3G del mañana. Los servicios basados en GSM están basados sobre una transmisión digital entre las estaciones base y los teléfonos con conexiones de alta velocidad hacia los centros equipados con circuitos conmutados. A 9.6 Kbps, la transmisión es lenta, y la arquitectura por sí misma es inadecuada para el tráfico de datos o streaming como lo es en un circuito conmutado. Mientras que GPRS parece ser una migración obvia para los operadores GSM, el próximo paso requiere de una evaluación (Ver Tabla 8.2). Es importante notar que en el curso de la transición no es necesario el caso de que las nuevas redes de 3G –cuando ellas aparezcan – serán conmutadas por paquetes desde su inicio, ya que esta evolución probablemente ocurrirá cuando los sistemas sean probados.

		Tecnología	Ancho de banda (Kbps)	Características
Primera Generación de móviles	AMPS/NMT	Sistema de Teléfonos Móvil Avanzado Telefonía Móvil Nórdica	9.6	Servicio de Voz análogo Sin capacidad de datos
Segunda Generación de móviles	GSM	Sistema Global para Comunicaciones Móviles	9.6 → 14.4	Servicio de voz Digital Mensajería avanzada Cobertura Global Datos de Circuitos Conmutados
	HSCSD	Circuitos Conmutados de Datos de Alta Velocidad	9.6 → 57.6	Extensión de GSM Velocidades altas de datos
	GPRS	Servicio General de Paquetes de Radio	9.6 → 115	Extensión de GSM Conectividad Always-on Datos conmutados en paquetes
	EDGE	Tasa de Datos Mejorada para la Evolución de GSM	64 → 384	Extensión de GSM Conectividad Always-on Más rápido que GPRS
Tercera Generación de móviles	IMT-2000/UMTS	IMT-2000 / UMTS	64 → 2,048	Conectividad Always-on Cobertura Global Soporte para IP

Tabla.8.2: Comparación detallada de las tecnologías de 1a, 2da y 3a Generación

8.2.2 HSCSD: Circuitos Conmutados de Datos de Alta Velocidad (High-Speed Circuit Switched Data)

HSCSD es una evolución natural de conmutación de datos por circuitos de las redes GSM tradicionales de 2G. Con los estándares de hoy para las redes GSM, es posible transmitir datos en una banda angosta y fax digital sobre la interfaz de aire TDMA. La metodología es similar cuando se realiza una llamada de voz GSM o quizá, al realizar una conexión sobre una línea fija PSTN con la utilización de un módem. El usuario establece una conexión (o circuito) para la sesión y los recursos de la red son asignados a través de la ruta hasta el destino final.

Con las técnicas de codificación existentes para GSM, la máxima velocidad de datos para la conmutación de circuitos es de 9.6 Kbps (CSD), pero con una mejor codificación puede llegar a 14.4 Kbps. Las interfaces TDMA de GSM pueden asignar arriba de 8 ranuras por división de tiempo por cada frecuencia de usuario, las cuales no son siempre usadas. Por lo regular una está asignada para voz, mientras las otras a fax y datos. La disponibilidad de estas ranuras de tiempo hace posible expandir la existente CSD dentro de HSCSD. La transición para HSCSD no es un problema para un operador 2G, ya que por lo regular solamente necesita actualizar el software de los Sistemas de Estaciones Base (BSS) y los Sistemas de Conmutación y Red (NSS).

Una dificultad técnica con HSCSD se presenta debido a que existe un ambiente de múltiples ranuras de tiempo y la transferencia de llamada dinámica entre las diferentes células de la red móvil (llamada handover o transferencia de llamada) es complicada; a menos que las mismas ranuras estén disponibles a lo largo de la llamada. La segunda cuestión es que la conmutación por circuitos en general no es eficiente por el tráfico de ráfagas de datos en Internet. Al realizar la asignación de circuitos de datos, generalmente con tiempos más largos para sostener una llamada de voz, crea el mismo problema que las líneas fijas de los operadores de las redes PSTN que tienen experiencia con un tremendo crecimiento del tráfico en Internet.

8.2.3 GPRS: Servicio General de Radio de Paquetes (General Packet Radio Service)

GPRS es visto como el paso más cercano hacia UMTS y con mayores incrementos en las velocidades de los datos, las cuales se colocan en algún lugar de las tasas de 2G y 3G. Esta tecnología introduce un medio más funcional en el cual los consumidores ven el potencial de 3G. GPRS es una tecnología superpuesta que es integrada en base a los sistemas existentes de GSM. En otras palabras, la parte de GSM aún maneja voz y los dispositivos móviles son capaces de soportar ambas funciones de voz y datos (a través de la superposición). GPRS esencialmente complementa los servicios de datos cortos (SMS) y los circuitos de datos conmutados, sirviendo como un activador de los servicios de datos móviles inalámbricos y como un optimizador de la interfaz de radio para el tráfico de paquetes.

GPRS está basado en paquetes, ofreciendo una tasa de datos desde los 56 Kbps hasta los 114 Kbps; así como una continua conexión a Internet para los teléfonos móviles y los usuarios de computadoras. Específicamente, la conmutación por paquetes significa que los recursos de radio de GPRS son usados solamente cuando los usuarios están enviando o recibiendo datos; recursos de radio disponibles pueden ser compartidos en forma concurrente entre varios usuarios. Este uso eficiente de los recursos de radio significa que cantidades grandes de usuarios de GPRS pueden compartir el mismo ancho de banda y ser manejados por una sola célula. El número actual de usuarios que soporta depende de la aplicación que este siendo usada y la cantidad de datos que están siendo transferidos. Debido a la eficiencia del espectro de GPRS, no es necesario tener una capacidad en espera que sólo es usada en horas pico. Por lo tanto, GPRS permite a los operadores de red ampliar el uso de los recursos en forma dinámica y flexible.

GPRS está esencialmente basado en un sistema GSM simple con la misma modulación y está diseñado para complementar los servicios existentes como conexiones a teléfonos celulares de circuitos conmutados. GPRS mejora la capacidad de tiempo pico de una red GSM, ya que simultáneamente transporta el tráfico enviado usando CSD a través de la superposición de GPRS, reduciendo la carga del canal de señalización y el centro SMS. En teoría, el servicio de paquetes basado en GPRS supone un gasto menor a los usuarios que un servicio conmutado por circuitos, puesto que la comunicación entre canales está siendo usada de manera compartida. Además, para el protocolo de Internet, GPRS soporta X.25, un protocolo basado en paquetes que es usado principalmente en Europa.

En pruebas realizadas, GPRS ha tenido pequeñas fallas en las velocidades máximas teóricas de 171.2 Kbps por las limitaciones técnicas de los dispositivos actuales. No obstante, el desempeño de GPRS se espera que ayude a balancear los desacuerdos asociados con los servicios basados en WAP, esperando que este servicio no se de por perdido de acuerdo al Grupo Gartner, ya que WAP puede ser un agente de crecimiento en ingresos para los siguientes tres o cinco años.

8.2.4 EDGE: Entorno de Datos GSM Mejorado (Enhanced Data GSM Environment)

Tasa de Datos mejorada para la Evolución Global (EDGE) es un estándar de datos móviles basado en radio de alta velocidad que permite velocidades de transmisión de datos de 384 Kbps, las cuales se alcanzan cuando las 8 ranuras de tiempo están siendo usadas. EDGE fue formalmente llamado GSM384, y es también reconocido como "UWC-136" bajo las especificaciones de la ITU para IMT-2000. Fue inicialmente desarrollado para los operadores de redes móviles, siendo una forma eficiente para reducir los costos de migración hacia los servicios de 3G. Esto da a los operadores de GSM la oportunidad de ofrecer servicios de datos a velocidades cercanas para las redes UMTS.

EDGE no cambia demasiado en su red principal, sin embargo, sigue utilizando GPRS/GSM. Aun así, concentra y mejora la capacidad en la eficiencia sobre la interfaz de aire, introduciendo un esquema de codificación más avanzado cuando cada ranura de tiempo transporta la mayoría de datos. Adapta su codificación a las condiciones actuales, lo cual significa que la velocidad será alta cuando la recepción de radio sea aceptable.

La implementación de EDGE por los operadores de red ha sido diseñada para ser simple, solamente agregando una unidad transreceptora de EDGE para cada célula. Considerando a la mayoría de los vendedores, se prevé que las actualizaciones del software en las BSC's y las estaciones base puedan llevarse a cabo remotamente. La nueva capacidad del transreceptor de EDGE puede manejar también el tráfico estándar de GSM y automáticamente conmutar al modo EDGE cuando sea necesario. La capacidad EDGE en las nuevas terminales es necesaria, puesto que existen terminales GSM que no soportan las nuevas técnicas de modulación y necesitan ser actualizadas.

EDGE puede proveer un camino en la migración de GPRS a UMTS implantando los cambios necesarios en la modulación. La idea principal de EDGE es concentrar las tasas de datos altas sobre la portadora de radio de GSM de los 200 KHz; cambiando el tipo de modulación utilizada, mientras se continúa trabajando con la conmutación de circuitos y paquetes.

La asociación de la industria de TDMA y la Corporación de Comunicaciones Universal Inalámbrica (UWCC), han introducido lo que se llama EDGE compacto. Este concepto es una versión que permite el uso eficiente del espectro de EDGE, el cual soportará los 384 Kbps para la tasa de datos de paquetes, el cuál requiere un mínimo de compensación espectral. Como resultado de esto, EDGE ha sido renombrado como Tasas de datos mejoradas para la evolución de GSM y TDMA.

Cuando se describen los servicios a los cuales aspiran las tecnologías 3G, es importante tener en cuenta que existe una diferencia entre lo que es posible en realidad y las exageradas velocidades de datos que se están considerando. Sin embargo esta exageración es debida a las expectativas creadas por la prensa y otras fuentes con pocos conocimientos técnicos de los sistemas. La ITU en sus primeras fases del desarrollo para IMT-2000, ha dado recomendaciones ambiguas bajo las condiciones exactas de prueba en las cuales varias especificaciones técnicas para los sistemas han sido desarrolladas.

Sin embargo, es un ejercicio interesante comparar las expectativas exageradas del mercado con la realidad. En la práctica, el procesamiento de datos es inversamente proporcional a los tamaños de las células que han sido cubiertas por un transreceptor (estación base). El procesamiento más alto buscado para los datos y las numerosas y pequeñas células desplegadas por los operadores dan mayores dificultades en alcanzar las áreas más rurales. La figura 8.2 ilustra la divergencia (específicamente en el caso europeo) entre "exagerado" y "realidad", extendiendo el despliegue de los pasos para la migración hacia UMTS.

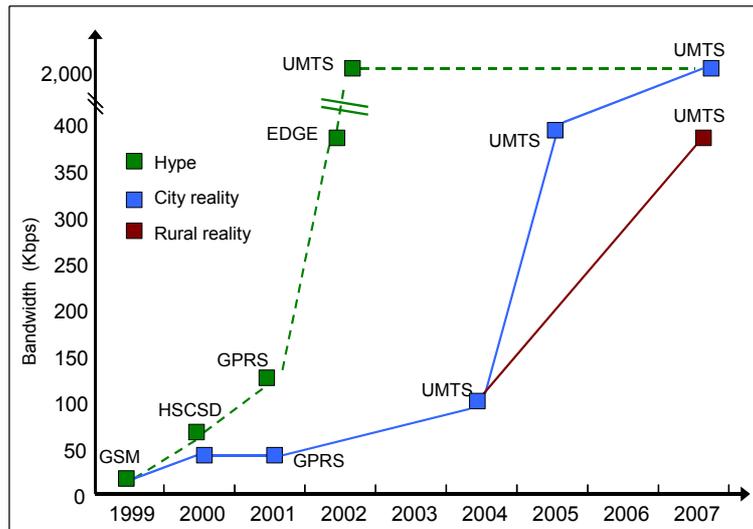


Fig. 8.2: Desde GSM a UMTS: Probables caminos hacia 3G

Los operadores de GSM 1800 poseen una ventaja sobre aquellos que se encuentran en redes GSM 900 debido a que las potencias que manejan ofrecen una mayor cobertura para UMTS. La mayoría de los sitios con células GSM 1800 son reusables. Desde GSM con 9.6 Kbps hasta EDGE y UMTS con 384 Kbps, el porcentaje de incremento en el procesamiento de datos es menor de lo que indican las figuras. No obstante, las velocidades más rápidas son suficientes para aplicaciones como correo electrónico, Servicio de Mensajes Cortos (SMS) y acceso a Internet e intranets corporativas. Los operadores de red no son capaces de garantizar a los consumidores el máximo procesamiento de datos durante una llamada.

En el periodo de migración de servicios de 2G a 3G, más de la mitad de los operadores en una encuesta reciente por ARC Group cree que los operadores de GSM deberán adoptar GPRS, mientras que solamente un cuarto espera que la tecnología EDGE será desplegada. En el 2004, el 65% de los encuestados que los consumidores comerciales de los servicios 3G deberán estar arriba y funcionando en sus países, con 42% de predicción de las velocidades de transmisiones de datos sobre 90 Kbps, y en un corto tiempo el máximo de 2 Mbps esperado para ser disponible por UMTS.

8.3 Comisiones de Estudio y Grupos de Trabajo orientados a la implementación de IMT-2000

8.3.1 Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI)

En 1989, El Instituto Europeo de Estándares de Telecomunicaciones (ETSI) fue creado para llevar la responsabilidad para el desarrollo de especificaciones desde el núcleo permanente de GSM. ETSI tiene una estructura organizacional única de acuerdo al estado de igualdad para administradores, operadores y fabricantes; siendo este terreno equilibrado importante para un impacto en la velocidad de desarrollo. Mientras que CEPT fue un parte aguas para los gobernantes nacionales; ETSI fue un actor institucional en su propio derecho, capaz de concentrar el soporte de todas las partidas relevantes detrás de un proyecto como GSM. Fue esta combinación de ambiente cooperativo y mejoras de recursos que permitieron la mayor parte de la fase I de las especificaciones de GSM 900 que fueron publicadas en 1990.

Sin embargo, es importante hacer notar la considerable influencia de las instituciones de Estados Unidos en las operaciones de la ETSI; así como la implementación de estándares, aún cuando

ETSI por sí misma (así como CEPT) es formalmente un cuerpo independiente de la Unión Europea. Los arreglos institucionales ofrecen a las Instituciones de los EU tres formas de afectar los esfuerzos de estandarización e implementación de la ETSI. La comisión Europea puede proveer a ETSI con contribuciones voluntarias para soportar el desarrollo de estándares particulares que parecen necesarios en un mercado tan competitivo. Pueden también prevenir la adopción de estándares deseados por algunos miembros que creen que tales normas pueden inhibir el flujo del comercio.

8.3.2 ITU-R

La misión de la UIT-R se sitúa en el marco más amplio del objeto de la Unión, como se define en el artículo 1 de la Constitución de la UIT, y consiste en particular a “mantener y ampliar la cooperación internacional entre todos sus Estados Miembros para el mejoramiento y el empleo racional de toda clase de telecomunicaciones”.

El papel específico de la UIT-T en el marco de esta misión es el siguiente. La UIT-R:

- Efectuará la atribución de las bandas de frecuencias en el espectro radioeléctrico y la adjudicación de frecuencias radioeléctricas; llevando el registro de las asignaciones de frecuencias para los servicios espaciales en las posiciones orbitales de los satélites geoestacionarios o las características asociadas de los satélites en otras órbitas, a fin de evitar toda interferencia perjudicial entre las estaciones de radiocomunicación de los distintos países.
- Coordinar los esfuerzos para eliminar interferencias perjudiciales entre estaciones de radiocomunicación que se encuentran en diferentes países, mejorando la utilización del espectro de frecuencias radioeléctricas para los servicios de radiocomunicación.

ITU-R WP 8F ha desarrollado la recomendación ITU-R M.165, sobre la estructura y los objetivos globales del futuro desarrollo de IMT-2000. Los servicios provistos por los sistemas futuros de IMT-2000 serán altamente sofisticados y entregados de forma más eficiente, los cuales pueden mejorar los sistemas de acceso por radio IMT-2000 actuales. Habrá un incremento en la tasa de penetración para servicios de acceso multimedia móviles. Es anticipado que habrá un requerimiento para una nueva tecnología o tecnologías de acceso inalámbrico en algún punto del futuro para satisfacer la demanda del mercado. Los sistemas serán vistos como una fusión de funcionalidad y existencia; mejorando el desarrollo de nuevos elementos en los sistemas celulares, sistemas de acceso inalámbrico y otros sistemas inalámbricos con similitudes altas en la interconexión.

8.3.3 3GPP

El Proyecto de Colaboración de la 3ª Generación (3GPP) es un acuerdo de colaboración que fue establecido en Diciembre de 1998. El acuerdo de colaboración reúne grupos de estándares de telecomunicaciones que son conocidos como “Socios Organizacionales”. Los Socios Organizacionales actuales son ARIB, CCSA, ETSI, T1, TTA y TTC.

El establecimiento de 3GPP fue formalizado en Diciembre de 1998 con la firma del “Acuerdo sobre el Proyecto de Colaboración de la 3ª Generación”.

El alcance original de 3GPP fue el producir de manera global especificaciones técnicas aplicables y reportes técnicos para los sistemas móviles de 3ª generación. Lo anterior de acuerdo a las redes desarrolladas con bases de GSM y tecnologías con acceso de radio (por ejemplo, Acceso de Radio Terrestre Universal (UTRA) con los modos FDD y TDD). El alcance fue modificado posteriormente para incluir el mantenimiento y desarrollo de los sistemas para comunicaciones móviles (GSM),

especificaciones técnicas y reportes técnicos; incluyendo las tecnologías de acceso por radio (por ejemplo, Servicio General de Paquetes de Radio (GPRS) y la Evolución de GSM para Tasas de Datos Mejoradas (EDGE)).

Las discusiones que llevaron a la firma del Acuerdo de la 3GPP fueron grabadas en una serie de diapositivas llamadas "Descripción del Proyecto de Colaboración", mostrando los principios e ideas básicas sobre las cuales el proyecto está basado. La descripción del proyecto de colaboración no ha sido actualizada desde su primera creación, aunque sus principios de operación del proyecto resulten aún válidos.

8.3.4 3GPP2

El Proyecto de Colaboración de la 3ª Generación 2 (3GPP2) es:

Un proyecto de colaboración de tercera generación (3G) que realiza las especificaciones en las telecomunicaciones.

Comprende las especificaciones de desarrollo global bajo los intereses de Norte América y Asia ANSI/TIA/EIA-41 para la evolución hacia la 3ª Generación de las redes de operaciones de radiotelecomunicaciones celulares.

Ofrece especificaciones globales para las tecnologías de radio transmisión (RTT's) soportadas por ANSI/TIA/EIA-41.

3GPP2 nació fuera de la Unión Internacional de las Telecomunicaciones (ITU) y la Iniciativa Internacional para las Telecomunicaciones Móviles "IMT-2000", cubriendo altas velocidades, banda ancha y sistemas móviles basados en el protocolo de Internet IP con características de interconexión red a red, transparencia en el servicio, cobertura global y servicios independientes inalámbricos de localización. IMT-2000 es pensado para traer alta calidad en las telecomunicaciones móviles de multimedia a un mercado masivo alrededor del mundo.

8.3.5 ARIB (Asociación de Industrias de Radio y Negocios)

La Asociación de Industrias de Radio y Negocios (ARIB) fue aceptada por el Ministerio de Vigilancia y Telecomunicaciones como una corporación de servicios públicos el 15 de mayo de 1995. Sus actividades incluyen aquellas realizadas por el Centro de Investigación y Desarrollo para Sistemas de Radio (RCR) y la Asociación en Tecnología en Transmisión (BTA).

Los objetivos de ARIB son el conducir la investigación, desarrollo y consultoría para la utilización de ondas de radio desde el punto de vista de la industria, promoviendo la realización y proyección de los nuevos sistemas de radio en el campo de las telecomunicaciones.

8.3.6 Estado de la implementación de UMTS

En diciembre de 1998, el Parlamento Europeo exigió que todos los Estados Miembros de la Unión Europea adoptaran UMTS. Esta decisión exigió establecer un programa concreto para el UMTS, con un plazo límite para conceder licencias, fijado en el 1 de enero de 2000, e iniciar la prestación de servicios comerciales, fijado en el 1 de enero de 2002. En mayo de 2002, todos los miembros de la Unión Europea habían completado el proceso de concesión de licencias 3G. Algunos países que no pertenecen a la Unión Europea, pero están situados en Europa Occidental, como Noruega y Suiza, también han completado el proceso de concesión de licencias 3G. En Europa Central y Oriental, la República Checa, Letonia, Polonia, la República Eslovaca y Eslovenia se han concedido licencias a operadores 3G. Al 31 de diciembre de 2002, unos 26 países y territorios en Europa habían completado los procesos de concesión de licencias 3G.

En la Región de Asia hasta diciembre de 2002, países como Hong Kong (China), Israel, Japón, la República de Corea, Malasia, Singapur y Taiwán (China) habían concedido 23 licencias 3G. En la región de Oceanía, Australia y Nueva Zelanda han atribuido espectro y han concedido licencias 3G.

Canadá es el único país de la Región América que ha subastado espectro para sistemas 3G en la gama 2 GHz. Varios países de América ya han concedido licencias a los llamados servicios de comunicaciones personales (PCS, *Personal Communications Services*) que utilizan parte de las bandas de espectro atribuidas a servicios 3G.

	Economía	Fecha de la subasta	Número de concesiones	Monto (millones USD)	Observaciones
1	Reino Unido	abril de 2000	5	35 411	Se concedieron licencias a los cuatro operadores establecidos y a un nuevo proveedor
2	Países Bajos	julio de 2000	5	2515	Los cinco operadores establecidos adquirieron las licencias
3	Alemania	agosto de 2000	6	46 323	Se concedieron licencias a cuatro operadores establecidos
4	Italia	octubre de 2000	5	10 084	Se concedieron licencias a tres de cuatro operadores establecidos
5	Austria	noviembre de 2000	6	716	Los seis ofertantes adquirieron licencias, incluidos los cuatro operadores establecidos
6	Suiza	diciembre de 2000	4	121	Cuatro ofertas para cuatro licencias
7	Nueva Zelanda	enero de 2001	5	60	Se concedieron cuatro licencias por subasta y una quinta se reservó al pueblo Maorí
8	Canadá	febrero de 2001	5	931	Cinco ofertantes adquirieron 52 licencias regionales
9	Bélgica	marzo de 2001	3	418	Tres ofertantes recibieron cuatro licencias en oferta
10	Australia	marzo de 2001	6	578	Se concedieron dos licencias nacionales y varias licencias regionales a seis ofertantes
11	Singapur	abril de 2001	3	166	La subasta se anuló por haber el mismo número de ofertas que de licencias. Cada licencia se concedió al precio mínimo
12	Grecia	julio de 2001	3	414	Se ofrecieron cuatro licencias. Se concedieron licencias a los tres operadores establecidos
13	Hong Kong, China	septiembre de 2001	4	671	Los ofertantes tuvieron que reunir ciertas condiciones previas necesarias. Sólo hubo cuatro ofertantes para cuatro licencias. El precio asciende a la oferta más el pago correspondiente a regalías mínimas durante 15 años
14	Dinamarca	octubre de 2001	4	496	La oferta se cerró cuando el precio de la licencia correspondió a la cuarta mayor oferta de la subasta

15	Eslovenia	noviembre de 2001	1	90	Se concedió licencia al único ofertante (se subastaban tres licencias)
16	República Checa	diciembre de 2001	2	203	Dos operadores establecidos adquirieron licencias porque el tercero no participó
17	Israel	diciembre de 2001	3	157	Se concedieron licencias a los tres operadores establecidos
18	Taiwán, China	febrero de 2002	5	1397	Sólo se concedieron licencias a tres de seis operadores establecidos
19	Letonia	octubre de 2002	2	19	Dos operadores establecidos pujaron por tres licencias
Total			77	100 771	

Nota: Para convertir cifras en USD se utilizó el tipo de cambio del día en que finalizó la subasta.
Fuente: UIT.

Tabla 8.3 Situación al 1 de febrero de 2003

	País	Fecha de concesión de la licencia	Número de licencias	Monto (millones USD)	Observaciones
1	Finlandia	marzo de 1999	4	–	Derechos administrativos de 1.000 Euros por 25 kHz
2	España	marzo de 2000	4	444	El monto no incluye los derechos de espectro radioeléctrico que han de abonarse cada año
3	Japón	agosto de 2000	3	–	Dos W-CDMA y un CDMA2000 1X
4	Noruega	junio de 2000	3	45	Además, cada titular de licencia ha de pagar una tasa de utilización de frecuencia de 2,2 millones USD al año
5	Portugal	diciembre de 2000	4	360	No incluye los derechos de espectro que han de abonarse cada año
6	Polonia	diciembre de 2000	3	1839	Se concedieron licencias a tres operadores establecidos
7	Corea (República de)	diciembre de 2000 agosto de 2001	3	2886	KTF y SK Telecom concedieron licencias W-CDMA, seguidos del LG Telecom (CDMA2000 1X)
8	Suecia	diciembre de 2000	4	–	Derecho de utilización del espectro y el 0,15% del volumen de negocios
9	Francia	julio de 2001 mayo de 2002	3	1042	Se concedió una licencia 3G a Bouygues Telecom a un precio reducido, después de conceder licencias a los dos operadores establecidos, es decir, France Telecom y SFR
10	Luxemburgo	mayo de 2002	3	–	Derecho anual de utilización del espectro del 0,2% del volumen de negocios o un importe mínimo de 200.000 Euros

11	Irlanda	junio de 2002	3	173	Se concedieron licencias a dos operadores establecidos y a un nuevo operador
12	Eslovaquia	junio de 2002	2	67	Se concedieron tres licencias, pero una de ellas fue retirada
13	Malasia	julio de 2002	2	26	Derechos adicionales de mantenimiento basados en el número de transmisores establecidos en cada red 3G del titular de la licencia
Total			41	6882	

Fuente: UIT.

Tabla 8.4 Resultados de los concursos celebrados para la concesión de licencias móviles 3G
Situación al 1 de febrero de 2003

	licencias 3G ¹				CDMA2000 1x ²				Total	
África	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
América	1	3	931	–	–	9	20	9	20	
Asia	7	23	4310	1	3	3	5	4	8	
Europa	26	83	100 588	3	4	3	3	6	7	
Oceanía	2	10	673	–	–	2	2	2	2	
Total	36	119	106 502	4	7	17	30	21	37	

¹ Licitación iniciada como consecuencia de un proceso oficial de concesión de licencias 3G.

² Licitación lanzada para ampliar las redes existentes.

Fuente: UIT.

Tabla 8.5 Distribución regional de licencias e instalaciones de sistemas 3G Situación al 1 de febrero de 2003

En algunos países el espectro en las bandas de IMT-2000 no está disponible porque se utiliza para fines de seguridad nacional. Las bandas de espectro existentes (1.850–1.990 MHz) pueden utilizarse para prestar servicios 3G y los operadores de redes CDMA en la región están pasando a utilizar redes CDMA2000 1X (reconocidas como una norma de las IMT-2000) sin necesidad de espectro adicional.

Ningún país africano ha concedido licencias para utilizar las IMT-2000. En la mayoría de los países africanos existen más abonados a la telefonía móvil que a la fija, de modo que la tecnología 3G podría desempeñar una función esencial para promover la penetración de Internet en la región. Si bien no se han concedido oficialmente licencias IMT-2000, puede ser que algunos operadores de países africanos presten servicios parecidos a 3G sin las atribuciones de frecuencia existentes. Éstos abarcan operadores fijos inalámbricos que utilizan el CDMA y esperan introducir un sistema de movilidad.

8.4 Situación actual de la telefonía celular en México

La prestación del servicio telefónico celular se inició en 1990, con la asignación de 18 concesiones a 10 empresas de forma tal que, en cada una de las 9 regiones en que se dividió el país, existieran dos operadores. Durante los primeros años, el servicio creció a un ritmo moderado, y en diciembre de 1994 se tenían únicamente 572 mil usuarios.

Se planteó la necesidad de fortalecer la competencia y la introducción de nuevas tecnologías, mediante la licitación de las bandas de frecuencia en las cuales se había desarrollado la nueva generación de teléfonos móviles (PCS).

La expectativa de entrada de nuevos competidores y el desarrollo de instrumentos de comercialización, impulsaron a los operadores existentes a una agresiva estrategia de expansión para cubrir amplios segmentos del mercado que no habían sido suficientemente atendidos, lo que significó poner al alcance de los usuarios nuevas opciones para acceder a este servicio.

En noviembre de 1997, se inició la subasta para la asignación de frecuencias PCS (1.9 GHz) de acceso inalámbrico fijo o móvil, para las cuales existían tecnologías desarrolladas y probadas comercialmente en los Estados Unidos de América. Ello permitió aumentar a cuatro el número de concesionarios que pueden prestar el servicio en las 9 regiones y hasta cinco en algunas regiones adicionales según la clasificación de la banda PCS.

En México se observó que el crecimiento sorprendente de las líneas celulares se debió a que COFETEL instauró el sistema “el que llama paga” para la telefonía móvil en mayo de 1999. Debido a esta modalidad, el mercado mexicano se volvió más atractivo en el 2000 para invertir, por lo que llegaron multinacionales como Vodafone y Telefónica Móviles, repuntando el número de suscriptores de telefonía móvil a casi 14.1 millones, mientras que las líneas fijas cerraban el año en 12.3 millones.

En la gráfica siguiente se observa que la penetración de la telefonía celular en México se comenzó a disparar a partir de 1999 con la nueva modalidad “el que llama paga”. (Ver Tabla 8.6).

AÑO	MILES DE USUARIOS
1990	63.9
1991	160.9
1992	312.6
1993	386.1
1994	571.8
1995	688.5
1996	1,021.9
1997	1,740.8
1998	3,349.5
1999	7,731.6
2000	14,077.9
2001	21,757.6
2002 p/	25,928.3
Noviembre 2003	28,825.3

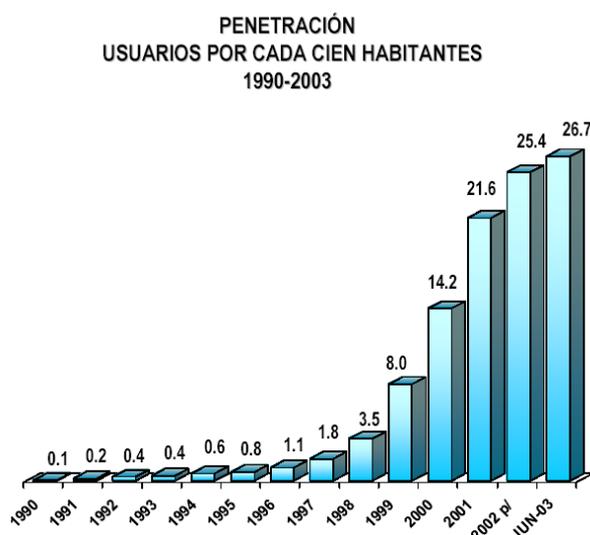


Tabla 8.6. Penetración de usuarios en telefonía móvil por cada cien habitantes

La tabla anterior muestra un incremento considerable en la telefonía celular, ya que de 1997 a 1998 se duplico el número de usuarios; en el 2000 el número de líneas fijas fue superado debido a que los teléfonos celulares dejaron de estar dirigidos hacia una población con recursos altos y ser un servicio accesible para millones de mexicanos (Ver Tabla 8.7).

AÑO	MILES DE LÍNEAS
1990	5,352.8
1991	6,024.7
1992	6,753.7
1993	7,620.9
1994	8,492.5
1995	8,801.0
1996	8,826.1
1997	9,253.7
1998	9,926.9
1999	10,927.4
2000	12,331.7
2001	13,774.1
2002 p/	14,975.1
Noviembre 2003	16,212.5

DENSIDAD TELEFÓNICA
LÍNEAS EN SERVICIO POR CADA CIENTO HABITANTES
1990-2003

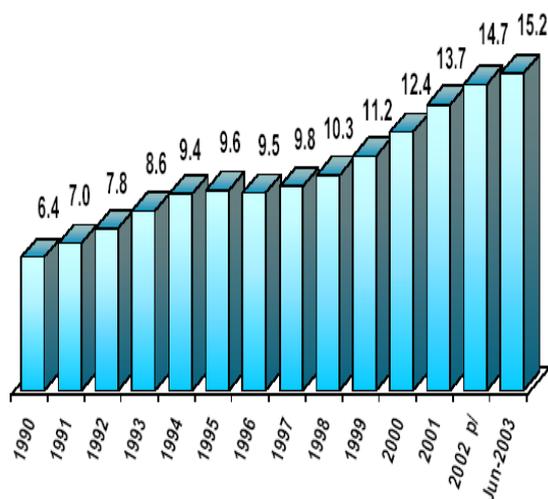


Tabla 8.7. Penetración de usuarios en telefonía móvil por cada cien habitantes

Existen varios operadores de Telefonía Celular en México, siendo el principal operador Telcel, confirmando el liderazgo de Carlos Slim, propietario de Telmex y América Móvil. Telcel lanzo su red analógica AMPS en 1989 y en 1998 introduce TDMA mejorando su infraestructura. Actualmente se encuentra operando con su red GSM / GPRS.

De acuerdo con información de la empresa telefónica, proporcionada en entrevista con MsC. Sergio Collazo Llerandi, Gerente de Planeación y Desarrollo Tecnológico, el mayor incremento en cuanto a usuarios se registró en 1999, con una tasa de 148 por ciento respecto al año previo, al pasar de 2.1 millones a 5.2 millones de abonados.

En 2000, Telcel siguió presentando tasas elevadas, ligeramente superiores a 100 por ciento en términos anuales, al cerrar ese año con 10 millones 462 mil clientes. En un solo año, la empresa sumó 5.3 millones de clientes nuevos. En 2001 todavía se observó una tasa de crecimiento importante, de 62 por ciento en número de usuarios, en relación con los obtenidos en 2000, para cerrar el año con 17 millones. Fue a partir de 2001 cuando la tasa de incremento en número de abonados empezó a desacelerarse, al ser de 18.3 por ciento respecto al total de suscriptores atendidos en 2000. "En 2002, Telcel añadió 3.1 millones de nuevos suscriptores, incrementando su base 20.1 millones en un país con una población de 102 millones".

Sergio Collazo preciso que no existen planes para migrar hacia UMTS en próximas fechas debido a que no hay las licitaciones de frecuencias que se requieren y que en realidad la tercera generación actualmente está basado en mercadotecnia. “Nuestra Tecnología de GSM / GPRS se encuentra a un nivel bajo de utilización por parte de la población, esta planeado aumentar servicios que aún no han sido explotados para manejarlos como parte de lo que sería la introducción de la tercera generación; pero dependerá de las necesidades que se piensen cubrir”.

Comento que no hay premura por migrar su infraestructura para que soporte la tercera generación ya que no existe mercado para ofrecer tales servicios. Explico que la gente se queja porque en Europa existen lanzamientos ya de productos de tercera generación y en cambio, en México, esos productos llegan años después. Esto se debe a su parecer a que el ingreso per cápita de un poblador europeo es de US \$22,000 al año, en cambio en México es de US \$9,000. Lo anterior se ve reflejado en la facilidad de adquirir más servicios especializados, como el correo electrónico, videoconferencias, etc.

Otro punto importante que mencionó Sergio Collazo, es el nivel cultural de Europa y México. En Europa se requieren servicios de datos, video y voz en un dispositivo móvil debido a que la mayor parte de la población conoce sistemas de información como el correo electrónico, la videoconferencia, servicios web etc.; en cambio en México estos servicios no se solicitan debido a que gran parte del país no los utiliza como una herramienta cotidiana.

Por último concluyó mencionando que al cierre de 2004 Telcel tendrá 2.4 millones de usuarios más, con lo cual su base de clientes sumará casi 26 millones de suscriptores. Esto equivaldrá a un crecimiento de 10.2 por ciento respecto al número de clientes que obtuvo al término del 2003, cuando registró un total de 23.4 millones de usuarios.

Por otra parte, Telefónica Móviles México desde su entrada en el mercado mexicano y tras el cierre de la adquisición del 65.3% del capital del Grupo Pegaso Telecomunicaciones a mediados de septiembre de 2002 y la integración de esta compañía con las operaciones de telefónica Móviles del norte del país, se ha convertido en el segundo operador de telefonía móvil del mercado mexicano, con licencia para operar en todo el país.

Telefónica Móviles México, S.A. de C.V., está conformada por Telefónica Móviles, S.A. (92%) y Grupo Pegaso (8%). Telefónica Móviles México ya opera bajo la marca Telefónica MoviStar en los nueve Estados del norte de la República Mexicana: Baja California, Baja California Sur, Sonora, Sinaloa, Chihuahua, Durango, Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León. Pegaso PCS cuenta con concesión para operar en todo el territorio nacional.

Esta compañía en el 2003 tuvo una cobertura que llegó a más 85 ciudades en México, teniendo previsto para el 2004 abarcar hasta 200, con una inversión de mil 500 millones de dólares de 2003 a 2005. Entre los planes de la empresa se encuentra el uso de la tecnología IP (Protocolo de Internet), con la que se espera ofrecer más servicios a los usuarios y la evolución de su tecnología GSM a UMTS dentro de unos años.

Iusacell A finales del siglo XX llegó a ser la segunda empresa del ramo en México y fue la pionera en ofrecer telefonía celular. Iusacell tenía una utilidad operativa cercana a 40% bajo la dirección de Carlos Peralta. Después de los escándalos que lo involucraban con Raúl Salinas, el directivo vendió 39.4% a Verizon por \$1,700 millones de dólares en 2001. Más tarde la firma británica Vodafone le compró 34.5% de las acciones por \$974 millones de dólares, liberándolo de cualquier tipo de participación en la compañía.

En el 2003 que el grupo Salinas adquiere Iusacell por \$10 millones de dólares, el planteamiento de la empresa en cuestiones tecnológicas es incierta, sin considerar que Iusacell y Unefon tienen la misma infraestructura celular para transmisión de datos por Internet: acceso múltiple por división de

código (CDMA). Para algunos analistas del sector IT, en 2006 esta modalidad superará a la de GSM.

En entrevista con José Manuel Pedraza M., Gerente de Desarrollo Tecnológico de Unefon, nos explico que la compañía actualmente se esta enfocando a ofrecer servicios de voz, si contemplar los de datos, ya que la inversión en infraestructura no se ha continuado desde hace tres años. Contemplando a Nortel como proveedor de equipos y socio tecnológico, piensan en migrar su red a CDMAone1x. Comento que lusacell y Unefon se van a llevar como administraciones separadas, considerando que lusacell maneja las tecnologías de AMPS, TDMA y CDMA.

“Migrar de CDMA a CDMA2000 1xEV es simplemente cambiar la tarjetearía en las radio bases y actualizar el software que utiliza actualmente, esto implica que considerando que en CDMA existe un mejor uso de la frecuencia habrá un mayor número de usuarios por sector con menor infraestructura y mayor seguridad”, explico.

Por otra parte, lusacell espera explotar de igual forma su infraestructura CDMA en forma paralela a Unefón. Detalló que la tendencia mundial es migrar a la plataforma CDMA por las velocidades que alcanza sin sacrificar otras funciones. En México hay más de cinco millones de usuarios y en Latinoamérica son 32 millones, mientras en Estados Unidos y Canadá la cifra llega a 75 millones, precisó.

Aseguró que Telcel, el mayor operador con 23 millones de clientes, tarde o temprano tendrá que migrar a CDMA y operar en otras frecuencias porque su espectro actual no le sirve para tercera generación.

“Si Telcel quiere competir en datos van a tener que ir a CDMA de algún modo; para WCDMA necesitan espectro nuevo que no está disponible y no ha sido licitado. Ese es el problema de los que optaron por GSM, el servicio de voz funciona pero en datos tendrán serios problemas”.

9. Conclusiones

A través de este trabajo se identificaron servicios de tercera generación que permiten marcar una diferencia con respecto a los de la segunda: la transmisión simétrica /asimétrica de alta calidad, la utilización del concepto de ancho de banda dinámico, las altas velocidades de transmisión desde 144 Kbps hasta 2 Mbps en baja movilidad y el soporte de conmutación de paquetes (IP) y circuitos, principalmente; entre muchas otras ventajas.

Para que estos servicios de tercera generación estén disponibles en los próximos años, consideramos que el utilizar CDMA de banda ancha (WCDMA) es la mejor propuesta para los sistemas de 5 a 20MHz, debido a las características que posee en términos de capacidad de resolución multidireccional, poder de transmisión menor y soporte para servicios de altas tasas de bits.

La ventaja de adoptar la tecnología WCDMA con la característica de Duplexación por División de Frecuencia (FDD) y Duplexación por División de Tiempo (TDD), es la de implantar un modo dual TDD/FDD en los equipos telefónicos, así como la reutilización de los circuitos integrados (CI's) de los equipos simples que utilizaban solamente TDD. La combinación anterior permite una mayor eficiencia del sistema bajo cualquier condición.

La tecnología WCDMA es la interfaz de aire de tercera generación más adoptada en los foros de estandarización, debido a que comparando las características básicas entre la interfaz de aire GSM y WCDMA, observamos que esta última mejora el espacio entre las portadoras, permitiendo mayor diversidad contra multitrayectorias con el receptor Rake. Se optimiza la frecuencia en el control de potencia a 1500 Hz, el control de calidad con respecto a GSM a través de algoritmos de administración de recursos de radio y la programación de paquetes basados en la carga.

Aparte de que WCDMA soporta dos modos básicos de operación, se debe tener en cuenta que la tasa de chips de 3.84 Mcps que utiliza, conlleva a un ancho de banda de portadora de 5MHz, lo que mantiene la operación de las estaciones bases asíncronas. Esto permite el no depender de una referencia como GPS, realizando un despliegue de estaciones base en interiores y microestaciones más simples.

Una de las desventajas que posee WCDMA en la práctica, es que la eficiencia de su amplificador de potencia es ligeramente menor que la del amplificador de potencia de GSM. Aunque, WCDMA utiliza un control de potencia más rápido en el enlace de subida, reduciendo el promedio de potencia de transmisión requerido. Otra desventaja es que trabaja sin licencia en la banda TDD, con una operación continua de transmisión y recepción, lo cual no facilita el aplicar técnicas para evitar interferencias.

En México existen varios operadores de telefonía celular. Telcel, el principal operador, se encuentra trabajando con su red GSM/GPRS en un nivel bajo de utilización. Este núcleo de red es ideal para la migración al sistema W-CDMA, ya que el gran trabajo del operador no es ir de GPRS a UMTS, sino ir de GSM a GPRS, porque esto implica cambiar completamente el modelo de negocios.

En el 2003, Telcel incrementó el número de suscriptores a 23.4 millones, en un país con una población de 102 millones de habitantes. Esto justifica la importancia de las comunicaciones inalámbricas en nuestro país, las cuales crecen a pasos gigantescos con

exigencias mayores por parte de los consumidores. Esto indica la importancia de considerar un cambio paulatino hacia la tercera generación de celulares, aunque en estos momentos se considere suficiente la infraestructura actual. Telefónica Móviles México, el segundo operador de telefonía móvil del país, tiene planes de hacer uso de la tecnología IP y evolucionar de GSM a UMTS, para ofrecer mayor número de servicios en los próximos años. WCDMA puede ser la ventaja competitiva que necesitan para enfrentar a Telcel, que tiene proyectado un crecimiento en usuarios del 10% para finales del 2004.

Si bien el desarrollo de servicios de tercera generación en Europa y Japón se están desplegando en la misma banda de frecuencia de los 2 GHz que opera aquí, pero actualmente en México no existe el mercado para utilizar las aplicaciones que esta tecnología ofrece. Sin embargo, a pesar de lo anterior, el sector empresarial puede ser factor suficiente para la migración a la tecnología de tercera generación, y WCDMA es la mejor apuesta.

Bibliografía

Libros

WCDMA for UMTS. Radio Access for Third Generation Mobile Communications
Edited by Harri Holma and Antti Toskala
Second Edition. John Wiley & Sons
2002

Wideband CDMA for third Generation Mobile Communications
Tero Ojanperä / Ramjee Prasad editors
Artech House Publishers
1998

UMTS Mobile Communications for the Future
Muratore, Flavio
John Wiley & Sons
2001

CDMA RF System Engineering
Samuel C. Yang
Artech House, Inc.
1998

Wireless and Personal Communications Systems
Vijay K. Garg, Joseph E. Wilkes
Prentice Hall PTR
1996

Artículos

Hacia la comunicación multimedia móvil de tercera generación
Torbjörn Nilsson
Ericson

GSM or CDMA: The commercial and technology Challenges for TDMA Operators
The Shosteck Group, June 2001

La evolución de las telecomunicaciones y su impacto en los recursos humanos
Jaime Herrera S.
UIT / BDT

Redes Celulares de 3ª Generación
Dpto. Informática – UCLM Albacete

Normas de acceso de radio de tercera generación
Mats Nilsson

Redes Celulares: Pasado, Presente, Futuro
Lourens O Walters y PS Kritzinger

UMTS: Tercera Generación
Gerard Geli, Miquel I. Hernández, Matthias Kredler, Sandy Louftain, Joan Teixido

La migración hacia 3G
Chris Pearson

Recent Advances in Cellular Wireless Communication
M. Zeng, A. Annamalai and Vijay K. Bhargava

La evolución hacia la 3a generación de comunicaciones móviles
José Manuel Huidobro

Un informe sobre el avance de UMTS
Chris Pearson y Vicki Livingston
3G Américas

An Overview of CDMA Evolution Toward Wideband CDMA
Ramjee Prasad and Tero Ojanperä
IEEE Communications

GSM Networks: Protocols, Terminology and Implementation
Gunnar Heine

Páginas de Internet

<http://www.iec.org>
<http://www.ansi.org>
<http://www.gsmworld.com>
<http://www.3gpp.org>
<http://www.3gpp2.org>
<http://www.cft.gob.mx>
<http://www.citel.org>
<http://www.itu.org>
<http://www.cdg.org>
<http://www.umts-forum.org>
<http://www.etsi.org>
<http://www.eieeee.org>
<http://www.w3.org>
<http://www.3gip.org>
<http://www.iusacell.com.mx>
<http://www.telcel.com>
<http://www.unefon.com.mx>
<http://www.movistar.com.mx>
