

MATERIAL DIDÁCTICO PARA EL ESTUDIO Y SIMULACIÓN DE CDMA: APLICACIÓN A COMUNICACIONES MÓVILES

Arévalo Anchundia Christian, Rojas Urbano Jonnathan

Escuela Politécnica Nacional, Ladrón de Guevara E11 - 253. Quito, Ecuador.

Resumen— Con el presente proyecto se busca ofrecer a los estudiantes una herramienta sólida para el aprendizaje de los aspectos básicos utilizados en las comunicaciones móviles CDMA, a través de material didáctico y simulaciones. Este proyecto se enfoca en los aspectos de Indetectabilidad, Seguridad y Acceso Multiusuario característicos de los sistemas CDMA.

Se realiza un análisis de los sistemas de espectro ensanchado y características esenciales de los códigos utilizados en sistemas CDMA, para entender su aplicación a sistemas de comunicación móviles.

Términos de Indexación— CDMA, Espectro Ensanchado.

I. INTRODUCCIÓN

CDMA es una tecnología que permite que un elevado número de comunicaciones de voz o datos, compartan el canal simultáneamente. Se ofrece mejores características que FDMA y TDMA en cuanto a cobertura, calidad y capacidad. Puede soportar simultáneamente múltiples codificadores de voz y nuevos codificadores pueden ser incorporados sin hacer mayores cambios en la infraestructura del sistema.

CDMA utiliza la técnica de espectro ensanchado, donde se asignan códigos únicos a cada usuario y se transforman la señal del usuario en una señal de banda ancha. Se usará el código asignado a un usuario en particular para recuperar la información original.

A. Ventajas de CDMA

- Mayor capacidad: CDMA permite que un mayor número de usuarios comportan el mismo ancho de banda, al mismo tiempo.
- Seguridad y Privacidad: Es muy difícil capturar y descifrar una señal. La señal transmitida solo puede ser desensanchada si el código del

usuario es conocido en el receptor.

- Reducción del ruido y la interferencia.

II. SECUENCIAS DENTRO DE CDMA

Una señal normal de comunicaciones, es *susceptible de ser detectada* (ver un pico ubicado en la portadora empleada), *interceptada* (si no tiene algún código de seguridad puede ser descubierto el mensaje) y en el caso de que se trate de una guerra electrónica, aún sin tener el código de seguridad, simplemente podría ser *atacada* mediante ruido de modo que evite la comunicación del otro bando.

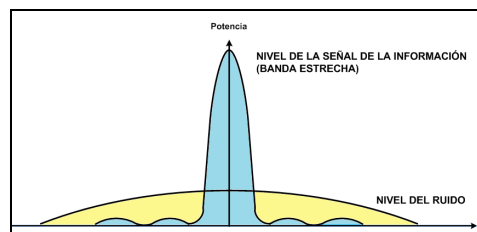


Fig 1. Espectro de una señal rectangular

Por lo anterior, surge la necesidad de idear un nuevo sistema que, de manera ideal, cumpla con los siguientes requerimientos:

- Indetectabilidad
- Seguridad
- Acceso multiusuario

¿Cómo conseguir que la comunicación sea indetectable?

Para conseguir Indetectabilidad, lo ideal es que la señal de información se pueda confundir con el ruido. Al analizar el comportamiento del ruido aislado, este, en el dominio del tiempo es aleatorio. En el dominio de la frecuencia, el espectro de potencias tiende a ser plano. Por lo tanto la señal de información debe poseer las características del ruido.

Si analizamos el espectro de potencia de una señal rectangular (Sinc), podemos fijarnos que a medida que el tiempo de bit disminuye, el espectro se ensancha y el pico de potencia disminuye consiguiendo que a medida que se acorte mas el

tiempo de bit de la señal, su espectro sea comparable con el espectro ruido. Para dispersar el espectro de la información, se debería multiplicar la a esta por una secuencia digital (código) cuyo tiempo de un bit, denominado como chip (T_c) sea mucho más pequeño que el tiempo de bit de la secuencia de información (T_b).

Solo falta añadir que la secuencia o código, tenga características aleatorias. Si la secuencia aplicada al ensanchamiento espectral fuera totalmente aleatoria, simplemente el receptor no podría recuperar la señal original. Entonces, se debe investigar secuencias de tipo pseudoaleatorio, es decir, secuencias que se repitan periódicamente de tal forma que puedan ser generadas mediante algún método y permitan retirar su efecto a través del algoritmo opuesto. De este modo habremos conseguido una comunicación indetectable.

¿Cómo conseguir que la comunicación sea Segura?

Para que un sistema tenga un cierto nivel de seguridad debe proveer resistencia ante los jammers hostiles y la interferencia propia. Para que una secuencia sea segura la debe tener un período largo (periodos superiores a 1035 chips). Así, adivinar la secuencia resulta extremadamente difícil mediante algún método, y se consigue cierto nivel de inmunidad ante los jammers hostiles. Otra forma de dar seguridad a las comunicaciones mediante el uso de secuencias o códigos, es aumentar la complejidad de la misma. Es decir, realizar operaciones entre secuencias para generar un conjunto de secuencias difíciles de descifrar.

¿Cómo conseguir Acceso Multiusuario?

En la práctica se lo consigue asignando a cada usuario un código diferente. Por lo tanto, en recepción se podrá recuperar las informaciones correspondientes al aplicar el código propio de cada usuario.

Cuando varios usuarios tienen acceso al sistema de servicios, cada secuencia de código asignado a un usuario debe ser distinguible de cada secuencia asignada a otros usuarios e idealmente generar poca o ninguna interferencia entre los usuarios que comparten el canal. La técnica de generación de las secuencias debe tener como objetivo crear una gran familia de secuencias con la para dar cabida a una gran cantidad de usuarios del sistema.

Aclaradas las inquietudes e ideas planteadas anteriormente, se ve la necesidad de comprender la teoría de secuencias.

A. Secuencias No Ortogonales

1) Secuencias Pseudoaleatorias

Las secuencias PN se definen como una secuencia binaria, de cierto período N , tan grande que se pueda aproximar a una señal aleatoria.

Golomb postuló tres propiedades que se asocian con la aleatoriedad de secuencias finitas. Estos tres postulados, conocidos como postulados de Golomb, nos permiten realizar de una manera rápida y práctica, una comprobación de hasta qué punto la secuencia que se quiere estudiar cumple con los preceptos de aleatoriedad. [1]

La forma más sencilla de generar secuencias Pseudoaleatorias es a través de una estructura de Registros de Desplazamiento Realimentados Linealmente (en inglés: LFSR Linear Feedback Shift Register) de n flip flops y una función o tomas especialmente seleccionadas.

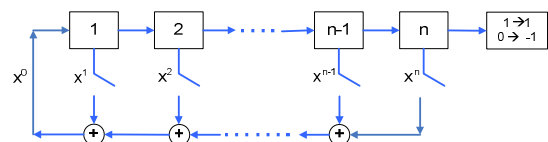


Fig 2. Estructura LFSR

Las realimentaciones o tomas se corresponden con los coeficientes binarios no nulos de un polinomio $P(X)$, de grado n :

$$P(X) = a_n X^n + a_{n-1} X^{n-1} + \dots + a_1 X^1 + a_0; \quad a_i \in \{0, 1\} \quad (1)$$

De acuerdo a los polinomios asociados a un LFSR existen tres generadores:

- LFSR con polinomios $f(x)$ factorizables.
- LFSR con polinomios $f(x)$ irreducibles.
- LFSR con polinomios $f(x)$ primitivos.

Las estructuras que conviene utilizar para la generación de secuencias PN son aquellas que se asocian con un polinomio primitivo, pues entrega una sola secuencia de período máximo $T_{max} = 2^n - 1$, que cumple con todos los postulados de Golomb, independiente de la semilla. Las secuencias generadas con este tipo de estructuras son conocidas como Secuencias de Longitud Máxima o M - Secuencias. [2]

Autocorrelación y Correlación Cruzada de las M - secuencias

La función de autocorrelación de estas M-secuencias es periódica y tiene dos valores. Para una secuencia $\{a_k\}$ de 1s y -1s la Autocorrelación $C(k)$ se calcula como:

$$C(k) = \sum_{n=1}^N a_n a_{n+k} = \begin{cases} N & k = 0, N, 2N \\ -1 & \text{el resto} \end{cases} \quad (2)$$

Siendo $N=2^n-1$, el período de la M-secuencia.

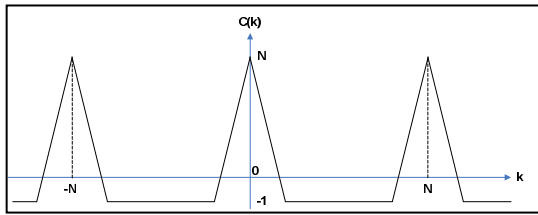


Fig 3. Autocorrelación de una M-secuencia.

Como se ve, la Autocorrelación de una m-secuencia, tiene el mismo comportamiento que el del ruido (solo se parece a sí misma en desplazamiento cero).

La correlación cruzada de una secuencia PN, es tan importante como la autocorrelación. En CDMA, a cada usuario se le asigna una secuencia particular. Idealmente, las secuencias PN deberían ser todas mutuamente ortogonales de modo que el nivel de interferencia experimentado por un usuario debido a la transmisión de los otros usuarios debería ser cero. Sin embargo, las secuencias PN usadas en la práctica, exhiben alguna correlación. Para el caso particular de las m-secuencias, la correlación cruzada entre un par de m-secuencias del mismo período, puede tener picos grandes.

Para que un grupo de secuencias sea apto para comunicaciones multiusuario, es necesario que la función de correlación cruzada entre dos secuencias cualesquiera de la misma familia sea pequeña, por lo que deben buscarse subconjuntos de secuencias que tengan esta propiedad. Dentro de las M-secuencias existen ciertos pares de secuencias que tienen 3 posibles valores de Correlación Cruzada relativamente bajos, llamadas m-secuencia preferidas.

Si bien es posible seleccionar un pequeño conjunto de m-secuencias que tengan una función de correlación cruzada baja, este número de secuencias es demasiado pequeño para aplicaciones prácticas de comunicaciones multiusuario. Consecuentemente, las m-secuencias no son apropiadas para poder distinguir muchos usuarios dentro de un sistema de comunicación CDMA.

2) Secuencias Gold [2], [3]

Las secuencias de Gold son una familia de secuencias que tienen buenas características de autocorrelación y de correlación cruzada.

Una Secuencia Gold se genera mediante la suma módulo-2 de dos M-Secuencias de igual longitud que son parte de un conjunto especial de secuencias conocidas como secuencias preferidas.

La familia completa de las secuencias Gold se forma realizando la suma módulo 2 (XOR) de una m-secuencia sin desplazamientos y las respectivas versiones desplazadas de la otra m-secuencia. De esta manera se generan 2^n+1 secuencias diferentes cada una con período igual a 2^n-1 , cuya correlación cruzada es baja y solo posee tres valores.

3) Secuencias Kasami [2], [3]

De la misma manera que las secuencias Gold, son una familia de secuencias que tienen buenas características de autocorrelación y de correlación cruzada. Existen dos conjuntos de Secuencias Kasami:

- Set Pequeño de Secuencias Kasami.
- Set Grande de Secuencias Kasami.

Si comparamos las secuencias Kasami y las Gold podemos encontrar que:

- El Set grande de secuencias Kasami genera mayor cantidad de secuencias para asignar a los usuarios que la familia de secuencias Gold.
- El máximo valor de correlación cruzada es el mismo que en las secuencias Gold.
- El set de secuencias Kasami pequeño tiene mejores características de correlación cruzada que el Set de Secuencias Kasami grande y las secuencias Gold.

B. Secuencias Ortogonales

Existen dos tipos de secuencia ortogonales: secuencias Walsh y OVFS.

1) Secuencias Walsh [2], [3], [4]

La característica más importante de los códigos de Walsh es la perfecta ortogonalidad entre sus códigos, y es por ello que se utilizan en aplicaciones de comunicaciones. Las secuencias de Walsh son utilizadas en IS-95A como códigos de canalización en el Uplink y en el Downlink.

Los vectores de Walsh se generan a partir de la matriz binaria de Hadamard, donde siguiendo una estructura de conformación se pueden crear palabras código de máxima autocorrelación consigo misma y de correlación cruzada cero con las otras palabras código generadas. Es decir, se obtiene un alfabeto código con palabras ortogonales entre sí.

2) Secuencias OVFS [3]

Las secuencias OVFS tienen dos características principales:

- La propiedad de ortogonalidad de los OVFS asegura que diferentes usuarios de la misma celda no interfieran con alguna otra, pues preservan su ortogonalidad entre diferentes tasas y factores de esparcimiento.
- El aspecto variable de OVFS soporta diferentes tasas de datos del mismo código de árbol: bajas

tasas de datos pueden ser codificadas con OVFSs largos, mientras que altas tasas de datos son codificadas con OVFSs cortos. Usando un OVFS largo se tiene la ventaja de sumar redundancia para transmitir la información

C. Secuencias de Sincronización

1) Secuencias Barker

Las secuencias o códigos de Barker se caracterizan por su función de correlación; que es 1 para todos los desplazamientos excepto en el desplazamiento cero.

La función de Autocorrelación es impulsiva, lo mismo que en las m-secuencias. Por lo tanto los códigos de Barker son también ideales para la detección de datos de información.

Los códigos de Barker solo existen para los tamaños de $L=2, 3, 4, 5, 7, 11, 1$ por lo que ofrecen un proceso de ganancia limitado.

Los códigos de Barker fueron desarrollados originalmente para las emisiones de radar. Pueden ser usados como un preámbulo de una secuencia PN larga con un solo propósito, simplificar la sincronización.

Las secuencias de Barker son generados de manera manual de modo que, en el proceso de investigación, produzcan la máxima autocorrelación posible.

D. Análisis de las Técnicas de Espectro Ensanchado de CDMA

En 1942 Hedy Lamarr y George Antheil presentaron una patente con los fundamentos sobre la teoría de espectro disperso. En la década de los 90s aparecieron los primeros equipos que explotan estos principios. [5]

Existen 3 tipos básicos de sistemas de espectro disperso:

- Secuencia Directa (DS-SS).
- Multiplicidad en frecuencia (FH-SS).
- Multiplicidad en tiempo (TH-SS).

E. Análisis de los Sistemas de Secuencia Directa (Direct Sequence): DSSS

1) Transmisor [2], [6]

La señal digital de información atraviesa por dos etapas:

a) Etapa de Ensanchamiento Espectral

Una secuencia de bits $v(t)$ es modulada mediante una secuencia pseudoaleatoria $c(t)$, que tiene una velocidad mucho mayor que la de la señal de información:

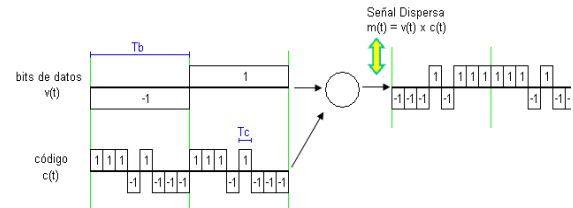


Fig 4. Operación de etapa de ensanchamiento espectral.

b) Etapa de Modulación Digital

La señal ensanchada es transmitida utilizando algún tipo de modulación digital siendo PSK la más usual para estos sistemas. La señal dispersa $m(t)$ se multiplica por una portadora analógica:

$$s(t) = v(t)c(t)A_c \text{sen}(2\pi f_o t) \quad (3)$$

Al final del modulador se tiene que la potencia de la señal DSSS es:

$$P = \frac{A_c^2}{2} P_m \quad (4)$$

Para caracterizar los sistemas de espectro disperso se usan dos criterios:

- La ganancia de procesamiento (G_p), que se define como:

$$G_p = \frac{T_b}{T_c} \quad (5)$$

- El margen sobre la interferencia (J) indica la máxima interferencia que puede tolerar el sistema, con un BER aceptable. Por definición $J = G_p - \text{SNR}_{\text{min}}$, donde SNR_{min} es la mínima relación señal a ruido aceptable a la entrada del receptor.

2) Receptor [6]

Para recuperar la señal original, se sigue el proceso opuesto:

a) Se multiplica la señal por la misma portadora analógica utilizada en el transmisor.

b) La señal demodulada, se multiplica por una réplica de la secuencia PN utilizada en el transmisor.

La señal en el receptor se multiplica por una portadora local de la misma frecuencia que la portadora del transmisor:

$$v(t)c(t)A_c \text{sen}(2\pi f_o t) \times \text{sen}(2\pi f_o t) \quad (6)$$

Mediante un filtro pasa banda, una réplica del código del transmisor, un integrador y un

comparador se recupera la señal de datos transmitida.

Se realizó en Matlab un código fuente y modelos en Simulink para observar el ensanchamiento del espectro en un sistema DSSS:

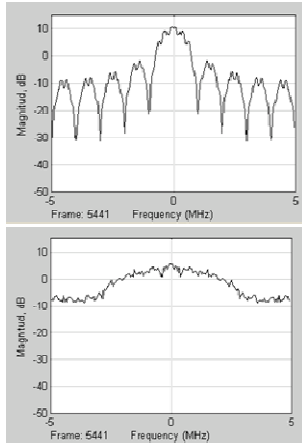


Fig 5. Comparación Espectro de Potencia de Señal de datos y Señal ensanchada.

Para el canal con presencia de ruido, en el receptor se obtiene:

$$v(t)c(t)\text{sen}(2\pi f_o t) + n_i(t) \quad (7)$$

Gracias al uso del filtro pasa banda y de las propiedades de correlación de la secuencia pseudoaleatoria con el ruido se reduce el efecto de este sobre la señal. En sistemas DSSS, las señales interferentes afectan a la señal de igual manera que el ruido.

F. Análisis de los Sistemas de Salto de Frecuencia (Frequency Hopping-Spread Spectrum): FHSS [2]

En esta técnica la frecuencia de la portadora de transmisión salta entre canales disponibles dentro de un gran ancho de banda disponible. La comunicación entre el transmisor y el receptor, permanece en uno de esos canales durante un tiempo llamado “dwell time” y luego salta a otro canal.

El ancho de banda ocupado por la información, debido a los saltos espectrales, es mayor que el ocupado por la información.

1) Transmisor

El transmisor FHSS básico consiste de un modulador FSK o PSK y un sintetizador de frecuencia. Este último genera frecuencias de portadora de acuerdo a un generador de secuencia de saltos y el resultado es multiplicado por los datos modulados para generar la señal FHSS.

2) Receptor

En el receptor FHSS, la señal recibida es primero filtrada utilizando un filtro pasa banda y luego multiplicado por una réplica del sintetizador de frecuencia. Esta salida se pasa por el demodulador correspondiente.

3) TIPOS DE SISTEMAS FH-SS ALEATORIOS

Dependiendo de la velocidad de cambio en la frecuencia de portadora, se clasifican en: salto de frecuencia rápido, cuando se transmite un símbolo de datos o una fracción del mismo dentro del “dwell time” de un canal; salto de frecuencia lento, cuando se transmite más de un símbolo de datos dentro del “dwell time” de un canal.

Se realizó en Matlab un código fuente y modelos en Simulink para observar el salto de la señal en un sistema FHSS en el tiempo:

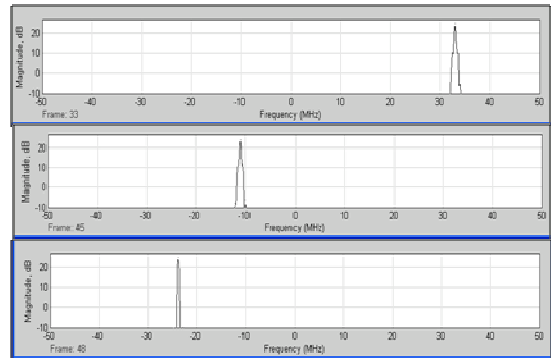


Fig 6. Saltos del espectro de una señal FHSS.

G. Comparación entre un Sistema DSSS Y Un Sistema FHSS [7]

DSSS provee tasas de transmisión mayores que FHSS, pero es afectado por reflexiones. DSSS no es muy afectado por el ruido, a diferencia de FHSS.

FHSS tiene poca influencia de reflexiones u otras estaciones. Un sistema FHSS no es muy afectado por la presencia de sistemas interferentes de similares características.

Los sistemas DSSS son más simples en el ensanchamiento de la señal y modulación, en comparación de los sistemas FHSS que generalmente utilizan una modulación FSK.

III. DETECCIÓN MULTIUSUARIO Y ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE CDMA EN LAS COMUNICACIONES MÓVILES

A. Detección Multiusuario [2], [8]

Debido a muchos factores como el ruido, el desvanecimiento de la señal, el efecto multitrayectoria, la interferencia intersimbólica (ISI), la detección convencional en sistemas CDMA posee errores.

Con las técnicas de detección multiusuario se puede mitigar tanto el ISI como la interferencia entre usuarios, conocida como MAI (Multiple Access Interference).

1) Detección Óptima Multiusuario

Los receptores óptimos maximizan la probabilidad a posteriori de los usuarios activos de CDMA.

El detector óptimo debe tener conocimiento de las energías de las señales recibidas y las firmas de usuario. Selecciona el símbolo correspondiente a la métrica más larga de correlación.

2) Detectores lineales subóptimos

Detector Decorrelador

Permite eliminar completamente el MAI, a costa de aumentar el ruido de fondo. El desempeño de un detector decorrelador disminuye a medida que la correlación cruzada entre los usuarios incrementa. No requiere del conocimiento de la potencia de los usuarios. El único requerimiento es conocer sobre la sincronización.

Detección de Error Cuadrático Medio Mínimo (Minimum Mean Square Error, MMSE)

El detector MMSE aplica una transformación lineal a la salida del detector convencional de un banco de filtros adaptados para minimizar la diferencia entre la secuencia de símbolos transmitidos y la secuencia de símbolos estimados.

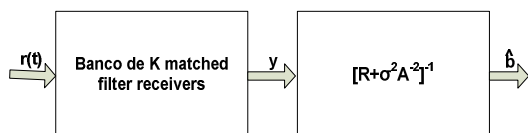


Fig 7. Receptor MMSE para un sistema CDMA sincrónico.

3) Esquemas de combate a Interferencia

Una alternativa efectiva y una técnica ampliamente utilizada para reducir el desvanecimiento de la señal es la diversidad de antenas.

Antenas Inteligentes

La inteligencia de la antena está medida por su capacidad de procesamiento digital de la señal.

Conformación del Haz

El principio de esta tecnología es transmitir o recibir por la estación base solo en la dirección del usuario deseado. Así, la interferencia conjunta es reducida en el sistema.

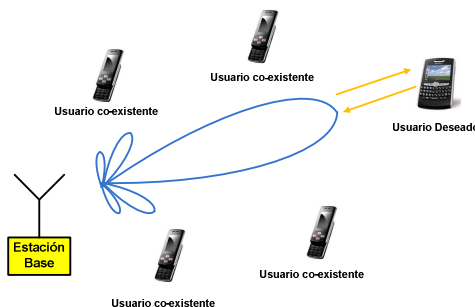


Fig 8. Sistema de conformación de haz.

4) Técnicas de cancelación de interferencia

Las técnicas de cancelación están basadas en el principio de que es posible remover el MAI de cada señal recibida de los usuarios antes de tomar decisiones de datos. La principal etapa es la estimación de las amplitudes de las señales recibidas del usuario activo, la regeneración de las señales adecuadas de interferencia y la sustracción de la interferencia de la señal recibida. Las técnicas IC pueden ser agrupadas en dos categorías:

- Cancelación Sucesiva de Interferencia donde la interferencia es cancelada serialmente y en etapas comenzando con la interferencia más fuerte.
- Cancelación de Interferencia Paralela la cual se logra cancelando la interferencia de todos los usuarios simultáneamente y puede ser llevada a cabo en múltiples etapas.

B. ASPECTOS BÁSICOS DEL ESTÁNDAR IS-95A [3]

El estándar IS-95 es la primera aplicación de la tecnología CDMA en sistemas de comunicación para civiles. La empresa Qualcomm ha realizado grandes contribuciones al desarrollo de los sistemas de IS-95. IS-95A describe la estructura de canales CDMA de banda ancha de 1.25 MHz, control de potencia, procesamiento de llamadas, handoffs, servicios de voz, y técnicas de registro para operación del sistema.

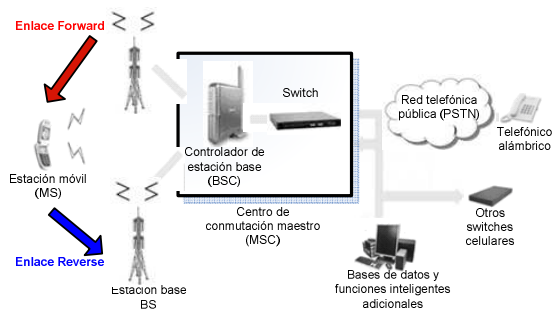


Fig 9. Sistema de Red Celular IS-95A.

Un sistema IS-95 consiste principalmente de los siguientes bloques: estación móvil, estaciones base, controlador de estaciones base, switch.

1) *Vocoder [9]*

La voz humana debe ser codificada de forma digital para ser transmitida. Un vocoder explota las características del habla humana y utiliza menor número de bits para representarla. Los vocoders de IS-95 producen tramas de 20 ms, además que son de tasas variables: durante periodos de silencio, la tasa de bits de salida del vocoder es disminuida. El vocoder de IS-95 soporta cuatro tasas de transmisión. Esto reduce el ancho de banda efectivo para transmitir habla.

2) *Códigos utilizados en IS95-A*

En IS-95A se utilizan tres tipos de códigos:

- **Códigos de Walsh.** En IS-95A se utilizan códigos de longitud 64. En el enlace forward sincrónico se usan para ensanchamiento y asignación de canal. En el enlace reverse se usan para realizar una modulación 64-ava, donde cada 6 bits entrantes de datos son mapeados en uno de los 64 códigos de Walsh.
- **Códigos PN Cortos.** En IS-95A el código corto es un par de secuencias periódicas PN binarias con un período de 2^{15} . Se utilizan para identificar a las estaciones base según un Offset del código asignado a cada BS dentro de una referencia de tiempo común en toda la red. En el enlace Reverse, se usan para dar robustez a la señal sin ningún Offset.
- **Códigos PN largos.** El código PN largo es una secuencia con un período de $2^{42}-1$. En el enlace Forward se utiliza para realizar el scrambling de los datos. En el enlace Reverse se utiliza para realizar el ensanchamiento de la señal, además como código para identificar diferentes móviles.

3) *Control de Potencia*

La interferencia en sistemas CDMA tradicionales es un gran problema. Sin control de potencia, un usuario cercano a una celda o a una BS saturaría el receptor de la BS e impediría que otras señales ingresen. El control se utiliza para que sus señales sean vistas por el receptor de la BS a un nivel similar. Existen dos tipos de control de potencia: de lazo abierto y de lazo cerrado.

4) *Canales Forward y Reverse*

La comunicación entre el móvil y la estación base toma lugar con el uso de canales específicos.

El canal forward (desde BS a MS) está formado por los siguientes canales: [4], [2]

- **Canal Piloto (Walsh W0).** Con este canal, la estación base establece contacto con los móviles dentro de su celda.

- **Canal Sync (Walsh W32).** Notifica al móvil de información importante sobre la sincronización del sistema y otros parámetros como tiempo del sistema, tiempo del día, basado en el tiempo del sistema GPS.
- **Canales Paging (Walsh W1-W7).** Provee información e instrucciones al móvil y mensajes de reconocimiento luego de los intentos de acceso.
- **Canales de Tráfico (Walsh W8-W31 y W33-W63).** Se utiliza para transmitir datos del usuario y voz. También son enviados mensajes de señalización.

El canal Reverse (desde MS a BS) está formado por los siguientes canales: [2], [3], [9]

- **Access channel.** Es usado por los móviles que todavía no están en una llamada, para transmitir peticiones de registro, peticiones de configuración de llamada, respuestas de paginación, respuestas de orden
- **Traffic channel.** Se utiliza para transmitir datos del usuario y voz. También son enviados mensajes de señalización.

En el enlace Forward se realiza una modulación QPSK, mientras que en el enlace Reverse se realiza una modulación OQPSK.

C. *Análisis del Demo IS-95A Forward Traffic Channel End-To-End Model*

Este demo simula el canal de tráfico del enlace Forward para IS-95A con la mayor tasa de transmisión de 9600 bps para Rate Set I. Las etapas que se realizan en el demo son:

1) *Codificador CRC*

Un CRC es código binario que se anexa a cada trama de datos para detectar la presencia de errores en la misma. IS-95A utiliza un código CRC para las tramas de tráfico de 9600 y 4800 bps.

2) *Codificador Convolutacional*

La información es codificada convolutacionalmente para protección y corrección de errores. Para el Rate Set I, se utiliza un codificador convolutacional de tasa $\frac{1}{2}$.

3) *Repetidor de Símbolos*

Después de la codificación, la información pasa por un repetidor de símbolos, que repite los símbolos cuando el vocoder produce velocidades de transmisión bajas para obtener una tasa de transmisión constante.

4) *Interleaver*

En el interleaving los datos son divididos en bloques o tramas. Con esto se dispersa las ráfagas de


```

>> a=salida(1153:1728)';
>> d=recupera_texto(a)
d =
*****Escuela Politecnica Nacional Analisis del Canal Reverse CDMA*****

```

Fig 11. Recuperación de texto.

E. CONCLUSIONES

- CDMA permite obtener características esenciales de un sistema de comunicaciones como Indetectabilidad, Seguridad, y Acceso Multiusuario.
- CDMA se basa en la técnica de Espectro Ensanchado DSSS donde se asigna códigos a los usuarios del sistema. Con el ensanchamiento del espectro se busca que la señal presente un espectro plano.
- Para realizar el ensanchamiento de la señal se utilizan secuencias que produzcan poca o nula interferencia entre usuarios y esto se evalúa por medio de la función de correlación cruzada y Autocorrelación. Mientras menor sea la correlación cruzada entre los códigos y mayor sea la autocorrelación, la detección en el receptor se realizará con mayor facilidad.
- Las M-secuencias presentan buenas características de autocorrelación, pero malas características de correlación cruzada entre secuencias. Las secuencias de Gold y Kasami presentan buenas características de autocorrelación y correlación cruzada entre secuencias, además que se producen varias secuencias por familia. El número de secuencias en las familias de secuencias Kasami es mucho más grande que las de Gold pero su complejidad de generación es mucho mayor.
- Para sistemas sincrónicos se utilizan secuencias ortogonales como Walsh y OVFSF. En estricto sincronismo, la Autocorrelación de estas secuencias es máxima, mientras que la Correlación Cruzada es cero. OVFSF son palabras de código de longitud variable, desarrollados para la transmisión de datos a velocidades variables.
- Existen dos esquemas de espectro ensanchado: DSSS y FHSS.
- Los sistemas DSSS presentan una gran resistencia frente al ruido y la interferencia debido al uso de códigos con propiedades especiales de correlación cruzada. Pero, a medida que se

incrementa el número de usuarios o señales interferentes, el desempeño del sistema se degrada. Son preferidos por su simplicidad de implementación.

- Los sistemas FHSS presentan mayor resistencia a la presencia de señales interferentes, debido a los saltos que se realizan y al gran ancho de banda que se utiliza, pero es menos resistente a la presencia del ruido, debido a que este está presente en todas las frecuencias.
- La capacidad de los sistemas de espectro ensanchado está limitada por la presencia de señales interferentes en un ambiente multiusuario. Esta interferencia es conocida como MAI (Multiple Access Interference). Para aumentar esta capacidad se han desarrollado Esquemas de Detección Multiusuario.
- El estándar IS-95A es una de las primeras aplicaciones a comunicaciones móviles de segunda generación de CDMA.
- Al finalizar el presente proyecto de titulación se pudo verificar que CDMAOne es un sistema robusto para comunicaciones móviles.

REFERENCIAS

- [1] http://www.criptosec.unizar.es/doc/tema_c3_criptosec.pdf.
- [2] Introduction to CDMA Wireless Communications, Abu-Rgheff, Mosa Ali.
- [3] The Next Generation CDMA Technologies, Chen, Hsiao-Hwa.
- [4] CDMA Systems Engineering Handbook, Lee, Jhong S.; Miller, Leonard E.
- [5] Spread Spectrum Scene, <http://sss-mag.com/shistory.html>
- [6] Contemporary Communication Systems using MATLAB, Proakis, John; Salehi, Masoud.
- [7] Frequency Hopping Spread Spectrum (FHSS) vs. Direct Sequence Spread Spectrum (DSSS) in Broadband Wireless Access (BWA) and Wireless LAN (WLAN), Schwartz, Sorin M.
- [8] Multiuser Detection for CDMA Systems, Duel-Hallen, Alexandra; Holtzman, Jack; Zvonar, Zoran.
- [9] CDMA RF System Engineering, Yang, Samuel C.



Christian D. Arévalo A.

Nació en la ciudad de Guayaquil el 28 de Agosto de 1985. Estudió en la escuela Paul Valery en la ciudad de Quito. Luego estudió en el

Colegio San Gabriel. Actualmente estudia en la Escuela Politécnica Nacional, la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Ha estudiado el idioma inglés y el idioma alemán.



Jonnathan J. Rojas U.

Nació en la ciudad de Guaranda el 17 de Julio de 1985. Estudió la escuela y colegio en la Unidad Educativa Verbo Divino en la ciudad de Guaranda. Actualmente estudia en la Escuela Politécnica Nacional, la carrera de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones. Ha estudiado el idioma inglés.