

## **Capítulo 3.**

### **Sistema cdmaOne.**

#### **3.1 Introducción.**

A diferencia del sistema GSM que fue diseñado y desarrollado por diferentes organizaciones que trabajaron en conjunto, la tecnología cdmaOne fue diseñada solamente por la compañía Qualcomm. Sin embargo, la compañía Hutchison fue quien puso en operación la primer red comercial cdmaOne, esto en Hong Kong en septiembre de 1995 y tiempo después Corea del Sur y Estados Unidos adoptarían también esta misma tecnología [Ref. 3.1].

La tecnología CDMA de Qualcomm de manera inicial era conocida como IS-95 (Interim Standar-95), por ser éste el estándar que describía a la tecnología de Qualcomm; sin embargo en 1997 fue renombrada como cdmaOne [Ref. 3.1].

La tecnología cdmaOne fue diseñada originalmente para proveer una mayor capacidad en relación al sistema de primera generación AMPS, el cual operaba en la banda celular de los 800 MHz en Estados Unidos. Esto daba la posibilidad a un operador AMPS de incrementar su capacidad en la red en áreas específicas remplazando portadoras AMPS de 30KHz, por sólo una o dos portadoras cdmaOne de 1.25MHz y contar con más usuarios en esas áreas. De esta manera se contó con un sistema dual cdmaOne/AMPS, así las unidades móviles eran capaces de usar cdmaOne donde hubiese cobertura, de lo contrario trabajar con el sistema AMPS.

Al introducirse los Sistemas Personales de Comunicaciones (Personal Communications Systems PCS) en Estados Unidos, la tecnología cdmaOne fue

modificada para trabajar en la banda de los 1900MHZ, siendo esta versión conocida como cdmaOne-PCS.

### 3.2 Bandas de Frecuencias para cdmaOne.

El sistema IS-95 que opera en Estados Unidos lo hace en la banda de los 800's MHZ. Esta banda es subdividida en cinco bloques y distribuida entre dos operadores, A y B, permitiendo a dos sistemas celulares trabajar en la misma área. Dichas subdivisiones de la banda de frecuencia de los 800's MHz son presentadas en la siguiente tabla.

Sistema	Frecuencias (MHz)	
	Reverse link	Forward link
A''	824.040-825.000	869.040-870.000
A	825.030-834.990	870.030-879.990
B	835.020-844.980	880.020-889.980
A'	845.010-846.480	890.010-891.480
B'	846.510-848.970	891.510-893.970

Tabla 3.1 Banda Celular de los 800's MHz en EUA [Ref. 3.1].

El sistema IS-95 usa Frequency Division Duplex (FDD), es decir la transmisión del forward link y el reverse link se llevan a cabo en diferentes bandas de frecuencia. La separación entre estas frecuencias en IS-95 (y de AMPS) es de 45MHz, mientras que el ancho de banda de las portadoras es de 1.25MHz.

El sistema IS-95 fue concebido para operar de manera dual con el sistema analógico AMPS, para que gradualmente el sistema CDMA lo fuese sustituyendo. Es importante notar que una portadora CDMA de 1.25 MHz requiere el espectro de 40 portadoras del sistema AMPS.

Por su parte el sistema CDMA-PCS fue diseñado para operar en la banda de los 1900 MHz. Esta banda fue subdividida en tres bloques de 2 x 15 MHz (15 MHz para el forward link y 15 MHz para el reverse link) y tres bloques de 2 x 5 MHz (5 MHz para el forward link y 5 MHz para el reverse link). Dichas subdivisiones para el sistema CDMA-PCS se presentan en la tabla 3.2.

Bloque	Frecuencias (MHz)	
	Reverse link	Forward link
A	1850-1865	1930-1945
D	1865-1870	1945-1950
B	1870-1885	1950-1965
E	1885-1890	1965-1970
F	1890-1895	1970-1975
C	1895-1910	1975-1990

Tabla 3.2 Banda de Frecuencia para Sistemas CDMA-PCS [Ref. 3.1].

Para el sistema CDMA-PCS de Estados Unidos, el forward y el reverse link tienen una separación de 80 MHz, pudiendo el sistema alojar hasta 1200 usuarios al mismo tiempo.

### 3.3 Forward Link en CdmaOne.

En general los sistemas celulares emplean Frequency Division Duplex (FDD), es decir, las señales de envío y recepción de información para efectuar una llamada se encuentran en dos bandas de frecuencias distintas. Así las transmisiones de las estaciones base hacia los móviles son enviadas a través de un enlace llamado forward link (esto en EUA), o down link (en Europa). Mientras que las transmisiones de los móviles hacia las

estaciones base se llevan a cabo en el reverse link (esto en EUA) o también llamado up link (en Europa).

El sistema cdmaOne soporta cuatro diferentes tipos de canales para el forward link:

- Pilot Channel (Canal Piloto).
- Sync Channel (Canal de Sincronía).
- Paging Channel (Canal de Voceo).
- Traffic Channel (Canal de Tráfico).

El canal piloto es transmitido en cada portadora CDMA y es usado por la estación móvil para identificar la estación base de la célula en la que se encuentra, si ésta señal se encuentra por debajo de la señal de umbral, entonces es necesario realizar un handover para que el usuario ingrese a otra célula. En el canal de sincronía (Sync channel), como su nombre lo sugiere permite la sincronía en tiempo entre la estación móvil (Mobile Station MS) y la estación base (Base Station BS). Mientras que el canal de voceo (paging channel) sirve a la estación móvil (MS) para alertarlo de que va a recibir una llamada, además de llevar información general de la red. Por último el canal de tráfico (traffic channel) es asignado a los usuarios que requieran establecer una llamada o envío de información con un bit rate de 9.6 kb/s para IS-95 y 14.4 kb/s para CDMA-PCS.

Por su parte a cada portadora del forward channel en CDMA se le asigna uno de los 64 diferentes códigos Walsh, los cuales son códigos ortogonales, es decir cuentan con una correlación de cruce de cero.

### 3.3.1 Canal Piloto.

El canal piloto es el más sencillo de los canales del forward link, ya que en él siempre se envía sólo una cadena de ceros. Si hacemos referencia a la figura 3.1 se observa que a esta cadena de ceros se le aplica la operación Or exclusiva respecto al código Walsh cero ( $W_0$  que también es una secuencia de ceros), contando por lo tanto con una secuencia de ceros. Esta secuencia es dividida en dos y a cada una de esas partes se le aplica nuevamente la operación Or exclusiva con respecto a una secuencia pseudoaleatoria (PN), siendo la secuencia PN1 la que proporciona la componente en fase; mientras la secuencia PNQ da la componente en cuadratura. Estas dos secuencias PN son de  $2^{15}$  bits de longitud generadas mediante registros de corrimiento de 15 bits, con un chip rate de 1.2288 Mcps/s y un periodo de  $2^{15} / 122880 = 32768 / 122880 = 26.666$  ms, obteniendo exactamente 75 repeticiones de secuencias PN durante 2 segundos.

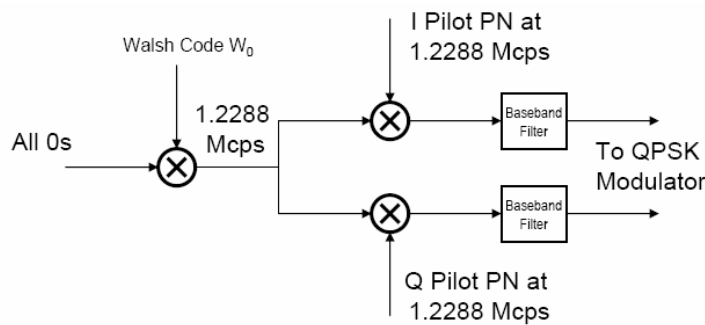


Fig. 3.1 Diagrama a Bloques del Canal Piloto en CdmaOne [Ref. 3.2].

El hecho de realizar la operación Or exclusiva entre una secuencia de ceros con una secuencia PN da como resultado la misma secuencia PN, de esta manera obtenemos las secuencias PN1 y PNQ, secuencias que son posteriormente sumadas para obtener una

señal portadora modulada en fase mediante QPSK, siendo esta señal transmitida por la estación base.

La relación entre los bits de entrada (PNI, PNQ) y la fase obtenida en la señal portadora se presenta en la siguiente figura, mostrándose además el diagrama de constelación resultante.

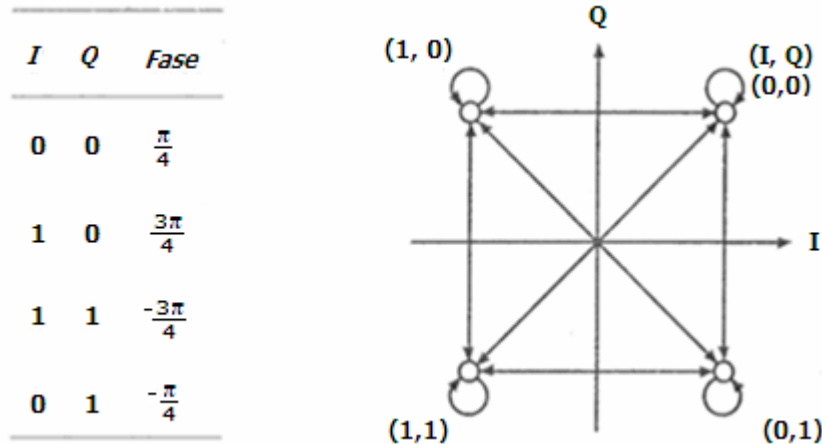


Fig. 3.2 Constelación de Fase de la Estación Base Transmisora [Ref. 3.1].

Dentro de las principales funciones del canal piloto se encuentra el permitir a la estación móvil detectar e identificar la estación base que le corresponde. Así, debido a que todas las estaciones base usan las mismas secuencias PN y la misma portadora de frecuencia, la única forma en que el canal piloto puede ser distinguido es a través de la fase de sus secuencias PN.

En IS-95 cada estación base dentro de un área geográfica usará un offset distinto para las secuencias PN y este offset es definido en múltiplos enteros de 64 chips. Y al tener las secuencias pseudoaleatorias una longitud de  $2^{15} = 32768$  bits, entonces obtenemos 512 diferentes offsets de 64 chips ( $512 \times 64 = 2^{15}$ ).

La señal piloto es también usada por la estación móvil para obtener una referencia coherente en la demodulación con respecto a otras señales transmitidas en la misma señal portadora CDMA. Esto es posible porque la estación móvil es capaz de extraer la información de fase de la portadora de la señal piloto, además una estación móvil utiliza la señal piloto para que un usuario pueda acceder de manera suave a una nueva estación base mediante el proceso de handoff o handover.

### 3.3.2 Canal de Sincronización.

El canal de sincronía transporta información requerida que permite a las estaciones móviles mantener su sincronización con respecto a la estación base de la célula en la que se encuentra. La figura 3.3 muestra el procedimiento mediante el cual es generado el canal de sincronía.

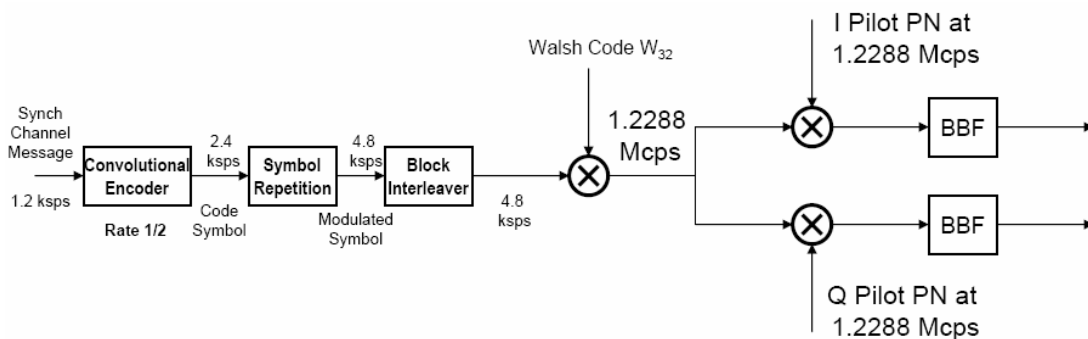


Fig. 3.3 Diagrama a Bloques del Canal de Sincronía en CdmaOne [Ref. 3.2].

De la figura anterior se observa que la velocidad de transmisión de información es de 1.2 kb/s, que al ser codificada convolucionalmente a razón de  $\frac{1}{2}$ , se obtiene una

velocidad de transmisión de símbolos de 2.4 ksímbolos/s. Cada símbolo es repetido una vez para producir una velocidad de símbolo de 4.8 ksímbolos/s.

Posteriormente esta señal codificada pasa por un bloque de interleaving, donde cada 26.666ms (mismo periodo que el canal piloto) ingresan 128 símbolos. Después del interleaving, a la señal resultante se le aplica la operación Or exclusiva con respecto al código Walsh número 32 ( $W_{32}$ ), el cual está formado de una cadena de 32 bits de ceros, seguido de 32 bits de unos y con una razón de chip de 1.2288 Mchip/s.

Para llevar a cabo el ensanchamiento de la señal sobre la banda de 1.25 MHz, a la señal de sincronía se le aplica la operación Or exclusiva respecto a las secuencias PNI y PNQ, siendo necesario el uso de los mismos offsets que en el canal piloto. De esta forma la estación móvil es capaz de asociar el canal de sincronía con el canal piloto correcto y por lo tanto con la célula adecuada.

El canal de sincronía se encarga de enviar una serie de parámetros tales como el Número de Identificación del Sistema (System Identification Number SID), el Número de Identificación de Red (Network Identification Number NID), el offset de la secuencia PN en el canal piloto (PILOT\_PN), así como el tiempo del sistema (System Time SYS\_TIME).

Para el envío de los parámetros anteriores el mensaje cuenta con una estructura específica, que es presentada en la siguiente figura.



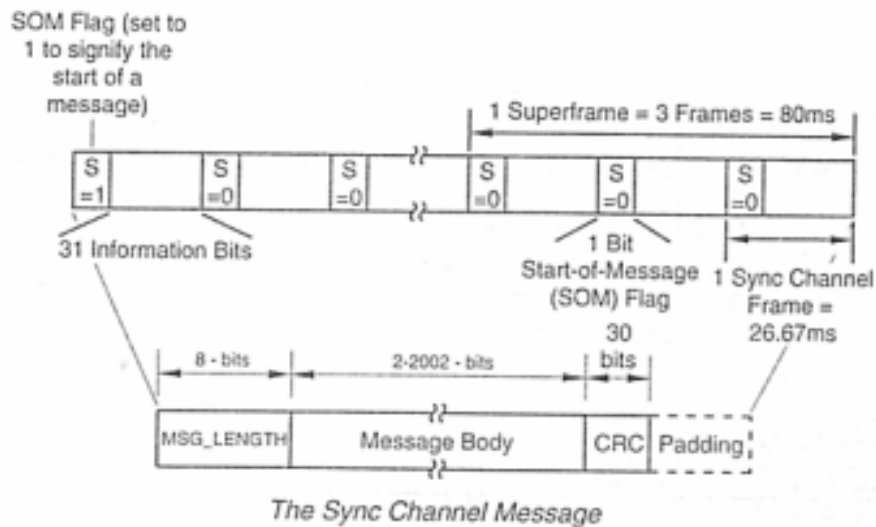


Fig. 3.4 Estructura del Mensaje en el Canal de Sincronía [Ref. 3.1].

En esta estructura los primeros 8 bits indican el tamaño del mensaje mediante el campo MSG\_LENGTH; mientras que el cuerpo del mensaje cuenta con una longitud mínima de 2 bits y máxima de 2002, siendo este campo el que contiene la información del canal de sincronía (NID, SID, etc). Por último el mensaje es protegido mediante un código CRC (cyclic redundancy checksum) de 30 bits, que sirve a la estación móvil evitar posibles errores en la información.

Una vez formado el mensaje, éste va a ser segmentado en grupos de 31 bits y enviados en frames. Como se muestra en la figura 3.4, cada frame va a contar con una bandera llamada *bit simple de comienzo del mensaje* (single-bit Start-of-message SOM), el cual indica el punto de comienzo de un nuevo fragmento del mensaje. Si la bandera tiene un 0, indica que la información contenida en el frame es continuación del mensaje, mientras que si se tiene en 1 la bandera, indica que se iniciará un nuevo mensaje.

Los frames del canal de sincronía son agrupados de manera consecutiva de tres en tres para formar superframes con duración de 80ms. El mensaje del canal de sincronía siempre va a ser enviado en N números enteros de superframes, de tal forma que el

último superframe podría sólo contener información en el primer frame y estar vacío en los restantes.

Un aspecto importante en el canal de sincronía es que es sensitivo al tiempo, por eso es importante que la estación móvil capture la información en el preciso instante de tiempo en el que se envía. Así la información contenida en un mensaje de sincronía será válido sólo durante 320ms (tiempo equivalente a cuatro superframes) después de ser enviado el último superframe con parte del mensaje.

### **3.3.3 Canal de Voceo.**

La principal función que efectúa el canal de voceo es llevar los mensajes necesarios para establecer un canal de comunicación entre la red y las estaciones móviles, destacando actividades tales como el envío de información general del sistema, acceso a información del sistema, contar con una lista de las células que están alrededor de la célula en la que se encuentra un móvil, así como envío de mensajes para la asignación canales a los usuarios.

Dentro de un sistema CDMA una portadora puede soportar hasta siete canales de voceo, utilizando para ello el bloque de códigos Walsh del número uno al siete ( $W_1$ - $W_7$ ).

En la figura 3.5 se muestra la estructura de un canal de voceo. En él se observa que la información es generada con una velocidad de 4.8 kb/s ó 9.6 kb/s, teniendo que ser utilizada la misma velocidad para todos los canales asignados para la acción de voceo.

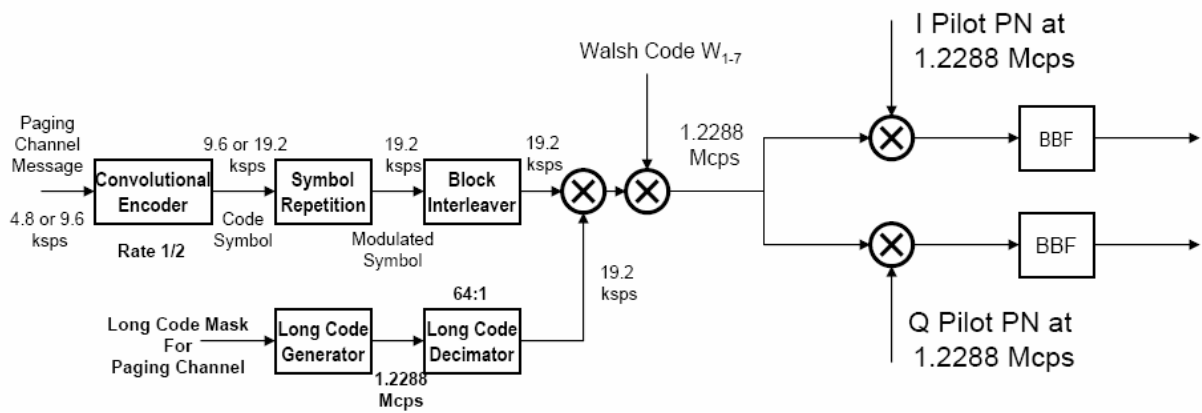


Fig. 3.5 Diagrama a Bloques del Canal de Voceo en CdmaOne [Ref. 3.2].

De la figura anterior se observa que la información de entrada es codificada convolucionalmente con una razón de  $\frac{1}{2}$  utilizando el mismo código que el empleado en el canal de sincronía y obteniendo de esta forma una velocidad de transmisión de símbolos de 9.6 ksímbolos/s ó 19.2 ksímbolos/s, dependiendo de la razón entrada (4.8 kb/s ó 9.6 kb/s).

Si la velocidad de información de entrada fuese de 4.8 kb/s, entonces la velocidad de transmisión de los símbolos codificados es de 9.6 ksímbolos/s, por lo tanto estos símbolos son repetidos una vez para lograr una velocidad de transmisión de símbolos de 19.2 ksímbolos/s. Mientras que si la velocidad de información de entrada fuese de 9.6 kb/s, entonces no sería necesario llevar a cabo el proceso de repetición, pues al ser modulado convolucionalmente se obtiene una velocidad de transmisión de símbolos de 19.2ksímbolos/s.

El resultado de la modulación de símbolos entra a un bloque de interleaving para después pasar a un bloque de scrambling, donde a la señal de interleaving se le aplica una Or exclusiva con respecto a una secuencia PN larga; esta secuencia tiene una velocidad de transmisión de 1.2288Mchips/s y una longitud de  $2^{42} - 1$  bits. De esta secuencia se va

a ir tomando sólo un chip de cada 64 que son producidos por el generador de códigos largos para obtener una velocidad de 19.2kb/s y llevar a cabo el scrambling.

Después del scrambling se aplica la operación Or exclusiva con respecto a algún código Walsh del 1 al 7 (W<sub>1</sub>-W<sub>7</sub>) con velocidad de 1.2288Mchips/s. Posteriormente a la señal resultante se le aplica nuevamente la operación Or exclusiva con respecto a los códigos PNI y PNQ para ser modulados, siendo necesario contar con el mismo valor de offset que el canal piloto y el de sincronía.

Una portadora en IS-95 utiliza uno de los siete canales de voceo, asignando un código Walsh con índice del uno al siete y teniendo que ser el Número de Canal de Voceo (Paging Channel Number PCN) y el índice del código Walsh el mismo para un canal de voceo dado.

IS-95 permite dos modos de operación de voceo: slotted y non-slotted. En modo slotted el uso de intervalos de tiempo permite a una estación móvil monitorear sólo durante intervalos de tiempo específicos, permitiendo a la estación móvil conservar la energía durante periodos en el que es necesario monitorear el canal de voceo, prolongando de esta forma la vida de la batería. Mientras que en el modo non-slotted la estación móvil tiene que monitorear mientras el canal de voceo esté trabajando.

En el modo de operación slotted el canal de voceo es subdividido en intervalos de 80ms, formando un ciclo con 2048 de estos intervalos y resultando ser el periodo de cada ciclo de 163.84s. Así pues, una estación móvil selecciona su propio intervalo de tiempo durante el cual transmitir, pudiendo utilizar hasta 16 de los 2048 slots que forman un periodo.

### 3.3.4 Canal de Tráfico.

Los canales de tráfico son usados para establecer la comunicación entre dos usuarios y para el envío de mensajes de control entre la red y una estación móvil determinada. Los canales de tráfico son considerados canales dedicados ya que son usados exclusivamente para una estación móvil mientras se desarrolla una llamada.

En IS-95 los canales de tráfico tienen una velocidad de transmisión de 1.2 kb/s, 2.4 kb/s, 4.8kb/s ó 9.6kb/s de acuerdo a la actividad de las llamadas.

En la figura siguiente se muestra la estructura para la construcción de un canal de tráfico.

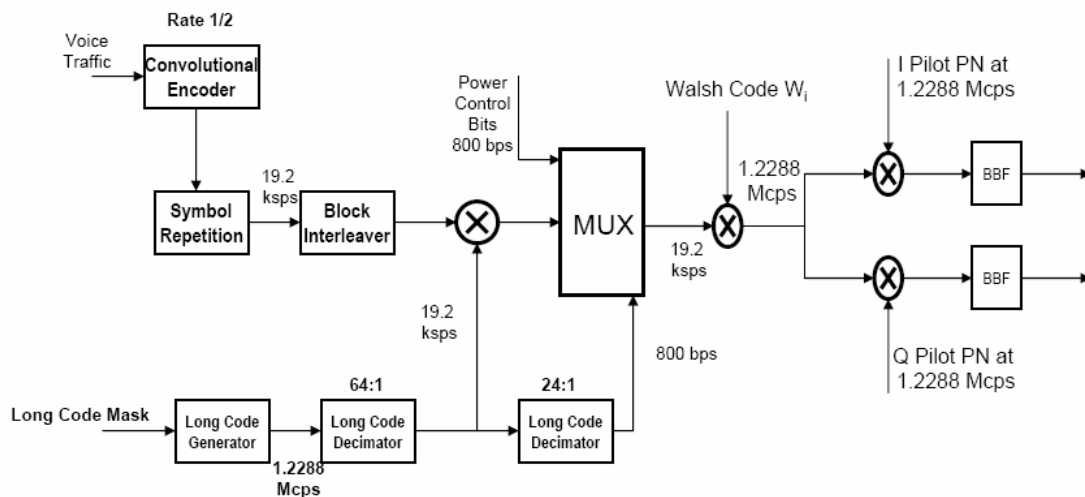


Fig. 3.6 Diagrama a Bloques del Canal de Tráfico en CdmaOne [Ref. 3.2].

En IS-95 las señales de voz son codificadas en frames de 20ms de duración, conteniendo cada frame 192, 96, 48 ó 24 bits dependiendo de la actividad del usuario. De esta manera la información de voz es codificada a una velocidad de 9.6 kb/s ó 192 bits por frame, mientras que durante intervalos de silencio la velocidad de transmisión será de 1.2kb/s ó 24 bits por frame. Por su parte las velocidades de transmisión intermedias de

4.8kb/s ó 96 bits por frame y de 2.4kb/s ó 48 bits por frame son usadas en periodos de transición entre información de voz y periodos de silencio.

Las velocidades de transmisión más altas (9.6kb/s y 4.8kb/s) cuentan con un código CRC para detectar errores en la información que ha llegado en el receptor; y sólo estas velocidades de transmisión cuentan con este nivel adicional de protección, pues llevan información de voz que podría ser importante para los usuarios.

Refiriéndonos a la figura 3.6, los frames del canal de tráfico son codificados convolucionalmente usando un codificador con una razón de  $\frac{1}{2}$ , siendo la velocidad de transmisión de salida del codificador de 19.2 ksímbolos/s, 9.6 ksímbolos/s, 4.8ksímbolos/s ó 2.4ksímbolos/s dependiendo de la velocidad de transmisión en la entrada. Sin embargo es necesario contar con una velocidad de transmisión constante de 19.2ksímbolos/s; para conseguirlo los símbolos tienen que ser repetidos dependiendo de la velocidad de transmisión de entrada. Por ejemplo, si se tiene una velocidad de transmisión de entrada de 1.2kb/s, se va a obtener una velocidad de símbolo de 2.4ksímbolos/s después de la codificación convolucional, entonces cada símbolo debe ser repetido siete veces (en total ocho copias de los mismos símbolos), para producir una velocidad de símbolo de 19.2 ksímbolos/s. Hay que destacar que el código usado en el canal de tráfico es el mismo que el utilizado en los canales de sincronía y de voiceo.

Posterior al proceso de codificación, la información obtenida se hace pasar por un bloque de interleaving a una velocidad de 19.2 ksímbolos/s, para luego pasar por un bloque de scrambling usando una secuencia PN con la misma velocidad de 19.2 ksímbolos/s, obtenida a partir de otra secuencia PN de 1.2288 Mchips/s al ir tomando de ésta sólo un bit de cada 64.

Posterior al scrambling, los datos codificados son multiplicados por un subcanal de control de potencia para ajustar la potencia de transmisión de una estación móvil. El subcanal de control de potencia consiste en el envío de un bit cada 1.25 ms (800 b/s), el cual se utiliza para indicar a una estación móvil la necesidad de incrementar su potencia de transmisión en 1dB si el bit enviado es un 0 lógico, o disminuirla en 1dB si trata de un 1 lógico (ver sección 3.7). La estación base revisa la potencia con que la estación móvil está trabajando y decide si las estaciones móviles deben aumentar o disminuir su potencia de transmisión.

Después de la inserción del subcanal de control de potencia, los datos del canal de tráfico son esparcidos usando códigos Walsh, para después aplicar la operación Or exclusiva con respecto a las secuencias PNI y PNQ antes de modular la portadora.

En IS-95, la potencia transmitida de cada canal de tráfico varía de acuerdo a la velocidad de transmisión de cada uno de ellos, esto significa que la potencia transmitida debe de ser reducida en proporción al número de veces en que un símbolo es repetido sobre cada canal. La siguiente tabla muestra en porcentajes la potencia a ser transmitida en base a la velocidad de los datos.

<b>Velocidad (kb/s)</b>	<b>Potencia Transmitida</b>
9.6	100%
4.8	50%
2.4	25%
1.2	12.50%

Tabla 3.3 Potencia Transmitida por el Forward Link Traffic Channel [Ref. 3.1].

La estructura de los frames en el canal de tráfico depende de la velocidad de transmisión a la que trabajen. De la figura 3.4 vemos que cada frame cuenta con 8 bits de *tail encoded*, mientras que sólo los frames con velocidad de 9.6kb/s y 4.8kb/s incluyen un *frame quality indicador* mediante un código CRC.

Los códigos CRC van a desempeñar principalmente dos funciones en la estación móvil [Ref. 3.4]; la primera es checar si la información en el frame ha sido recibida de manera correcta y la segunda es ayudar a determinar la velocidad de transmisión que ha sido ocupada, ya que esta información no es explícita en un frame.

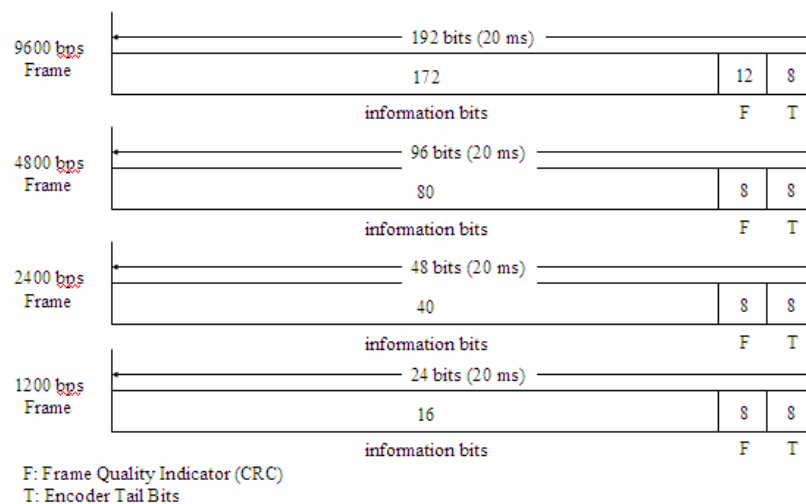


Fig. 3.7 Frames de los Canales de Tráfico en el Forward Link [Ref. 3.3].

En el sistema IS-95 se es capaz de soportar tanto la transmisión de datos de señalización como de tráfico dentro de un mismo frame, llamándole tráfico primario a la información de voz y tráfico secundario a la información de señalización y datos.

Para el caso específico de transporte tanto de señalización como de información de voz en el mismo frame recibe el nombre de *dim and Burst* [Ref. 3.4]; mientras que el



término *blank and burst* [Ref. 3.4] es empleado para describir que la información de señalización ocupa un frame por completo. En ambos casos la información sólo se transmite a una velocidad de 9.6kb/s. Mientras que los frames con velocidad de 4.8kb/s, 2.4kb/s y 1.2kb/s sólo llevan información de voz.

<i>Blank &amp; Burst</i>	<i>MM</i>	<i>TT</i>	<i>TM</i>	<i>Signaling Traffic = 168 bits</i>
	=1	=1	=11	

Fig. 3.8 Frame para Blank and Burst [Ref. 3.3].

	← 172 bits →				
<i>Dim &amp; Burst with rate 1/2 primary &amp; Secondary traffic</i>	<i>MM</i> =1	<i>TT</i> =1	<i>TM</i> =00	<i>Primary Traffic</i> = 80 bits	<i>Signaling Traffic</i> = 88 bits
<i>Dim &amp; Burst with rate 1/4 primary &amp; Secondary traffic</i>	<i>MM</i> =1	<i>TT</i> =1	<i>TM</i> =01	<i>Primary Traffic</i> = 40 bits	<i>Signaling Traffic</i> = 128 bits
<i>Dim &amp; Burst with rate 1/8 primary &amp; Secondary traffic</i>	<i>MM</i> =1	<i>TT</i> =1	<i>TM</i> =10	<i>Primary Traffic</i> = 16 bits	<i>Signaling Traffic</i> = 152 bits

Fig. 3.9 Frames para Dim and Burst [Ref. 3.3].

De la figura 3.9 cada frame cuenta con tres campos: el Modo Mezclado (Mixed Mode MM), el bit de Tipo de Tráfico (Traffic Type TT) y los bits de Modo de Tráfico (Traffic Mode TM).

Si en el campo MM se encuentra un cero significa que sólo se transportará información de voz, de lo contrario transportará tanto información de voz como de señalización. El campo TT es utilizado para indicar el tipo de tráfico que acompañará a la información primaria en el frame, de esta forma si se cuenta con un 1 indica que se

enviará información de señalización, mientras que si se cuenta con un 0 se tratará de información secundaria; por su parte el campo TM indica la cantidad de bits que le son asignados para transportar información de señalización y cuantos de información de voz. Así si en este campo se cuenta con los bits '00', indica que el frame tiene 80 bits para tráfico primario y 88 bits para señalización, si hubiese '01' hay entonces 40 bits para tráfico primario y 128 para señalización, en el caso '10' hay 16 bits para tráfico primario y 152 para señalización y por último, si se contase con '11', se tendrán 168 bits sólo para señalización.

En general los frames por sí mismos no indican de manera explícita su velocidad de transmisión (9.6, 4.8, 2.4, 1.2kb/s), sin embargo éste es determinado en la estación móvil mediante un decodificador Viterbi en el receptor, esto al decodificar las señales en cuatro ocasiones, una por cada posible velocidad de transmisión, seleccionando la velocidad de transmisión más probable al usar un decodificador métrico y el código CRC.

### **3.4 Reverse Link en CdmaOne.**

El reverse link consiste en un enlace entre una estación móvil como transmisor y la estación base como receptor. Dentro del sistema cdmaOne hay dos tipos de radio canales en el reverse link:

- Access Channel (canal de acceso).
- Traffic Channel (canal de tráfico).

El canal de acceso como su nombre lo sugiere es usado por la estación móvil para acceder a la red, realizando acciones tales como inicialización y respuesta ante un

mensaje de voz, donde una estación base es capaz de soportar hasta 32 canales para acceso por cada canal de voz del forward link.

El segundo tipo de canal soportado por cdmaOne en el reverse link es el canal de tráfico, este se encarga de enviar información de voz o del usuario con una velocidad de transmisión de 9.6 kb/s para el sistema IS-95 y 14.4kb/s para sistemas CDMA-PCS.

### 3.4.1 Canal de Acceso.

Dentro del canal de acceso la velocidad de transmisión de información es de 4.8kb/s, información que pasa a través de un codificador convolucional con una razón de 1/3, obteniendo de esta forma una velocidad de transmisión de 14.4 ksímbolos/s.

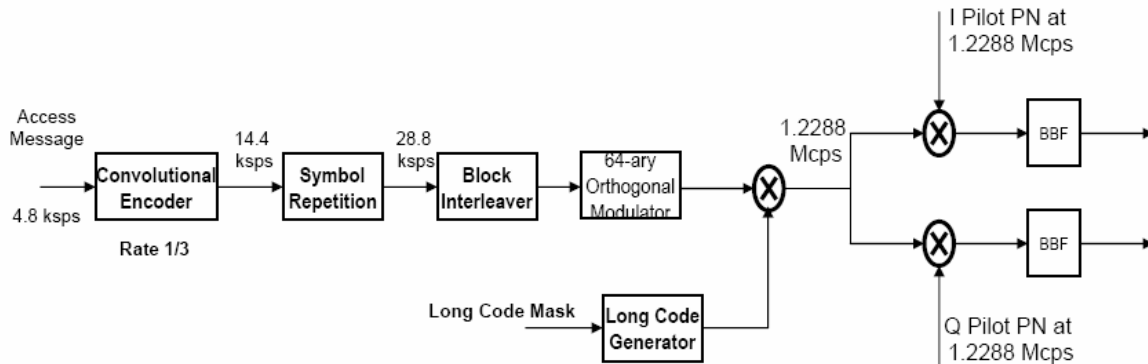


Fig. 3.10 Diagrama a Bloques del Canal de Acceso en el Reverse Link [Ref. 3.2].

Después de la codificación, los símbolos son repetidos una vez para obtener una velocidad de transmisión de 28.8 ksímbolos/s; posterior a esto se pasa por un bloque de interleaving dentro de frames con duración de 20ms (576 símbolos codificados una velocidad de 28.8 ksímbolos/s).

Con los símbolos codificados se forman palabras de 6 bits que son utilizadas para indicar alguno de los 64 códigos Walsh en una 64<sup>ta</sup> modulación ortogonal. Así por ejemplo, la palabra codificada de 6 bits 110011 será utilizada para seleccionar el código Walsh 51.

El efecto de la modulación ortogonal es convertir los símbolos codificados con velocidad de 28.8 ksímbolos/s en códigos Walsh con velocidad de chip de 307.2 kchips/s.

Posterior a la modulación ortogonal, los símbolos son esparcidos con respecto a una secuencia PN de códigos largos de longitud  $2^{42}-1$  bits y con velocidad de transmisión de 1.2288 Mchips/s. El contenido de esta secuencia es obtenido a partir de la información transportada por el canal de sincronía, siendo usado el mismo generador de códigos tanto en el forward como en el reverse link.

Siguiendo el proceso del canal de acceso, es necesario aplicar nuevamente la operación Or exclusiva a la señal resultante, pero ahora con respecto a las secuencias PNI y PNQ. Por su parte los datos esparcidos por la secuencia PNQ sufren un retardo de  $\frac{1}{2}$  chip antes de que ambas señales pasen a través de un filtro y obtener la información en banda base, información que es usada para modular en cuadratura y siendo las señales resultantes sumadas para obtener la señal portadora a transmitir.

Los códigos Walsh se ocupan de manera distinta en el forward y en el reverse link; mientras que en el forward link los códigos Walsh son usados para identificar los diferentes canales, en el reverse link los códigos Walsh son usados para enviar información.

Por su parte la estructura del mensaje del canal de acceso es similar al del canal voice y sincronía del forward link, estructura que se presenta en la siguiente figura.

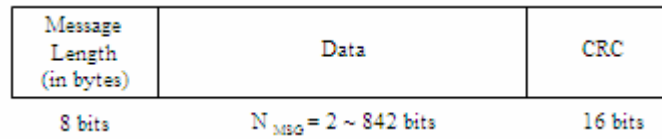


Fig. 3.11 Formato del Mensaje en un Canal de Acceso [Ref. 3.3].

En este frame se cuenta con el campo MSG\_LENGTH que indica la longitud del mensaje; mientras que el cuerpo del mensaje tiene una capacidad de 842 bits; y su tercer campo lo forman 30 bits de checksum, siendo el código CRC el mismo que el utilizado en el canal de sincronía.

El término usado para describir el proceso entero de envío de un requerimiento de acceso al sistema de parte de una estación base es *intento de acceso (access attempt)*. Cada mensaje del canal de acceso podría ser enviado varias veces antes de ingresar al sistema y a cada una de esas transmisiones se le llama *prueba de acceso (access probe)*. Por su parte los canales de acceso utilizados para efectuar las pruebas de acceso son escogidos de manera aleatoria por la estación móvil de entre todos los canales de acceso asociados con el canal de voice en turno.

El procedimiento de acceso en cdmaOne está diseñado de tal manera que la estación móvil use el mínimo de potencia requerida para establecer la comunicación con una estación base, y así minimizar la interferencia generada por cada estación móvil durante el acceso.

Debido a que una estación móvil no emplea una conexión dos vías (two-way) con la estación base durante el proceso de acceso, la estación móvil comienza por

transmitir pruebas de acceso con una baja potencia y gradualmente va incrementando hasta que la estación móvil reciba un mensaje de parte de la estación base.

El canal de acceso en el reverse link soporta dos diferentes tipos de mensajes: el mensaje de respuesta y el mensaje de petición. El mensaje de respuesta, como su nombre lo sugiere es transmitido para dar contestación a un mensaje enviado por la estación base, por ejemplo un voice. Mientras que un mensaje de petición no es enviado ante un mensaje de la estación base, sino que es enviado automáticamente por la estación móvil.

En IS-95 el número de canales de acceso para el reverse link se determina en base al número de canales de voice en uso del forward link, de esta forma por cada canal de voice se encuentran asociados 32 canales de acceso. Por su parte el número actual de canales de acceso asociado con cada canal de voice en particular es transmitido a la estación base como parte de parámetros de acceso llevados sobre cada canal de voice individual y este valor varía de manera dinámica dependiendo del tráfico en la célula.

### **3.4.2 Canal de Tráfico.**

El canal de tráfico en el reverse link como en el forward link es usado para llevar información de voz, datos del usuario y datos de control entre la estación móvil y una estación base en modo dedicado.

El canal de tráfico en el reverse link también es capaz de soportar una velocidad de transmisión variable de 1.2, 2.4, 4.8 ó 9.6 kb/s.

La información de tráfico es codificada convolucionalmente a una razón de 1/3, obteniendo una velocidad de símbolos de 3.6 ksímbolos/s para una velocidad de entrada

de 1.2kb/s, 7.2 ksímbolos/s para 2.4kb/s, 14.4 ksímbolos/s para 4.8 kb/s y 28.8 ksímbolos/s para 9.6 kb/s.

Después de ser convolucionada la información, los símbolos tienen que ser repetidos si la velocidad de entrada es menor a 9.6 kb/s, esto para lograr mantener una velocidad de transmisión de 28.8kb/s.

Los símbolos codificados repetidos pasan por un bloque de interleaving en frames de 20 ms. Después de esto, los símbolos codificados van a ser usados para formar palabras de 6 bits para seleccionar el número de código Walsh a ser usado.

En el canal de tráfico como en el de acceso del reverse link los códigos Walsh son usados para transportar información, mientras que en los canales del forward link los códigos Walsh son usados para identificar canales individuales.

El reverse link también difiere respecto al forward link en cómo son utilizados los símbolos repetidos. En el forward link la estación base reduce su potencia de transmisión para mantener una energía constante por bit de información; mientras que en el reverse link las estaciones móviles transmiten una copia de cada símbolo codificado y descarta el resto de las repeticiones. De esta forma el *duty cycle* de transmisión en las estaciones móviles se ajusta de acuerdo a la velocidad de transmisión de entrada. Así, si la velocidad de transmisión de entrada es de 9.6kb/s, el duty cycle es del 100%; para 4.8kb/s, el duty cycle será del 50%; mientras que para una la velocidad de transmisión de 2.4kb/s, será del 25%, y para 1.2kb/s se contará con un duty cycle de 12.5%.

El proceso de interleaving fue diseñado de tal manera que sólo se efectúe para un solo conjunto de símbolos, mientras que el resto de las repeticiones son desechadas de manera aleatoria en un proceso llamado *Burst randomisation*.

Así si la velocidad de información es de 2.4kb/s, entonces los símbolos son repetidos tres veces y antes de realizar la transmisión tres de las copias tienen que ser removidas para permitir que sólo una copia sea transmitida.

Después del *burst randomiser* los datos son esparcidos aplicando la operación Or exclusiva de la información junto con una secuencia larga de información. Este proceso permite a una estación base poder identificar las diferentes estaciones móviles en el reverse link. El resultado va a ser una señal de 1.2288Mchips/s a la que se le va aplicar nuevamente la operación Or exclusiva en relación a las secuencias PNI y PNQ, siendo las cadenas de datos resultantes usadas para modular en fase una portadora de la misma manera que en el canal de acceso.

La estructura del frame para el canal de tráfico en el reverse link es idéntico al utilizado en el canal de tráfico del forward link. Los canales de tráfico del reverse link son capaces de transportar información primaria y secundaria al mismo tiempo utilizando el mismo canal, esto mediante las técnicas de *blank and burst* y *dim and burst*.

En el reverse link debido a que los canales de tráfico son definidos por códigos largos de  $2^{42-1}$  bits, el número de canales no está limitado al número de códigos Walsh como en el caso del forward link, sin embargo se asume que el reverse link no soporta más canales de tráfico que el forward link y por lo tanto el número máximo de canales de tráfico será de 62.

En el reverse link las estaciones base receptoras usan un *RAKE receiver* para modular la señal de una estación móvil en particular. La principal diferencia entre el forward y el reverse link en término de receptores es la ausencia del canal piloto para



cada estación móvil en el reverse link. Esto significa que la estación base debe de identificar y rastrear las componentes multiruta significativas de cada estación móvil para recibir su información.

Por su parte el proceso de despreading se lleva a cabo al multiplicar la señal recibida con el retardo apropiado de las secuencias PNI, PNQ y el código de los usuarios, esto para recuperar el código Walsh transmitido. La señal entonces pasa a través de un banco de 64 correlacionadores para determinar qué código Walsh ha sido enviado. Una vez tomada esta decisión, el código Walsh es convertido en una palabra de 6 bits que indica el índice del código. Posterior a esto los datos son pasados por un bloque de de-interleaving y después por un decodificador convolucional para recuperar la información original del frame.

### **3.5 Establecimiento de una Llamada en CdmaOne.**

Para que una estación móvil consiga un canal de tráfico debe de pasar por los siguientes estados:

- Estado de inicialización del sistema.
- Estado de inactividad (idle).
- Estado de acceso al sistema
- Estado de canal de tráfico.

En el estado de inicialización las estaciones móviles adquieren el canal piloto y la sincronía. Posteriormente el móvil entra al estado de inactividad donde obtiene su canal de voice, entonces la estación móvil recibe los parámetros y la información necesaria para iniciar o recibir una llamada, siendo esta información enviada por la estación base.

Si se va a establecer una llamada, el móvil entonces entra al estado de acceso, siendo enviados los parámetros del móvil mediante el canal de acceso y la información de

la estación base sobre el canal de voz. Una vez que el estado de acceso se ha llevado a cabo, entonces se adquiere el estado de canal de tráfico. Este proceso para el establecimiento de una llamada será detallado en las siguientes secciones al hacer mención de cada estado de manera separada.

### **3.5.1 Estado de Inicialización del Sistema.**

En el estado de inicialización del sistema la estación móvil se encarga de seleccionar la red a utilizar, de esta manera si se selecciona un sistema CDMA la estación móvil se va a encargar de adquirir y sincronizar una portadora CDMA, requiriendo para ello tomar en consideración los siguientes sub-estados:

**Sub-estado de determinación del sistema.** El primer problema que enfrenta una estación móvil es determinar la red a la cual se va a ingresar. En el caso del sistema IS-95 que es un estándar en modo dual, el sistema puede escoger entre la red analógica y la red IS-95, mientras que en áreas donde hay CDMA-PCS, el sistema sólo pueden escoger entre las diferentes redes CDMA.

**Sub-estado de adquisición del canal piloto.** Una vez que la frecuencia de la portadora CDMA es seleccionada para la red requerida, la estación móvil empieza a buscar el canal piloto. Si la estación móvil no encuentra un canal piloto en un lapso de 15 seg, entonces vuelve al proceso de selección de red con el propósito de seleccionar una red alternativa.

**Sub-estado de adquisición del canal de sincronía.** Una vez que la estación móvil identifica una señal piloto, entonces el móvil busca adquirir el canal de sincronía. Por otra parte se debe de tomar en consideración que el canal piloto y su canal de

sincronía asociado son transmitidos con la misma secuencia PN y el mismo offset. Si la estación móvil ha identificado un canal piloto, automáticamente conoce el offset de la secuencia PN del canal de sincronía.

Una vez que el canal de sincronía es adquirido y su mensaje es recibido y procesado, entonces la estación móvil va a almacenar los parámetros del mensaje de sincronía que le van a permitir identificarse y sincronizarse con la red, siendo estos parámetros los siguientes:

- **System Identification (SID).** Parámetro de 15 bits.
- **Network Identification (NID).** Parámetro de 16 bits
- **Pilot PN offset (PILOT\_PN).** Parámetro que da la fase de las secuencias PNI y PNQ.
- **System Time (SYS\_TIME).** Este parámetro da el sistema de tiempo, que al ser usado junto con el PILOT\_PN, la estación móvil se encuentra completamente sincronizada con la red.
- **Long Code State (LC\_STATE).** Las estaciones móviles utilizan este parámetro para sincronizar al generador de códigos largos con la red.
- **Paging Channel Data Rate (PRAT).** Indica la velocidad de transmisión usada, la cual puede ser de 4.8 ó 9.6 kb/s.

Una vez que la estación móvil cuenta con la información del canal de sincronía y se encuentra sincronizado con la red, entonces entra al estado idle y recibe mensajes de voceo de la red.

### 3.5.2 Estado de Inactividad (idle).

En el modo idle la estación móvil debe de monitorear el canal de voice de la estación base para detectar las llamadas entrantes y monitorear los canales piloto de las células de alrededor para un posible handoff. Además los canales de voice contienen información de la red que la estación móvil debe almacenar. Esta información es llevada mediante mensajes que incluyen los siguientes parámetros:

- **The System Parameters Message.** Contiene información general del sistema, incluyendo el número de canales de voice disponibles en la estación base, los umbrales de handover y un número de parámetros de registro que permitan a la estación móvil identificar el área donde se encuentra.
- **Neighbor List Message.** Da detalles sobre las estaciones base vecinas (por ejemplo, el valor de offset de su canal piloto). Información que la estación móvil usa para determinar qué célula es candidata para que se lleve a cabo el handover.
- **CDMA Channel List Message.** Este mensaje lista todas las frecuencias CDMA disponibles en la estación base para soportar al menos un canal de voice.

### 3.5.3 Estado de Acceso al Sistema.

El procedimiento de acceso es usado por una estación base para poder ingresar a la red. Para ello se requieren enviar diferentes tipos de mensajes, siendo utilizados los siguientes:

- **The Registration Message.** Este mensaje permite a la red rastrear a la estación móvil. Este mensaje contiene la identidad de una estación móvil y un campo donde indica la razón del mensaje.

- **The Order Message.** Hay un grado de señalización que puede ser llevado entre la estación móvil y la red sin la necesidad de ocupar un link de señalización dedicado, a este tipo de información se le conoce como *orders*, los cuales son llevados mediante mensajes en el forward link del canal de voiceo y en el reverse link del canal de acceso.
- **The Origination Message.** Este mensaje es usado para indicar que los usuarios han hecho una llamada, incluyendo la identidad de la estación móvil en el mensaje, así como detalles del servicio requerido por el usuario.
- **The Page Response Message.** Este mensaje es usado por la estación móvil para responder a un mensaje de voiceo sobre el forward link del canal de voiceo, además de contener la identidad de la estación móvil.

Una vez que la estación móvil ha transmitido un mensaje sobre el canal de acceso, este va a monitorear su canal de voiceo para esperar una respuesta válida. Si el requerimiento de acceso es aceptado, la estación base responderá con un mensaje de asignación de canal (*channel assignment message*) mediante el canal de voiceo, de lo contrario la estación base responde y la estación móvil regresa al estado idle.

Una vez recibido el mensaje de asignación de canal, el móvil se resintoniza con la frecuencia del nuevo canal y ya es capaz de recibir información de tráfico enviada por la estación base. Por su parte la estación base espera recibir un mensaje de respuesta de la estación móvil para dar por establecida de manera satisfactoria la comunicación.

#### **3.5.4 Estado de Control del Móvil en el Canal de Tráfico.**

Un móvil entra a este estado después del acceso para dar origen o término a una llamada, contando ambos con varios sub-estados.

#### 3.5.4.1 Origen de una Llamada.

Para dar paso al origen de una llamada se cuenta con varios sub-estados, los cuales se presentan a continuación

- **Sub-estado de inicialización del canal de tráfico (Traffic channel initialization substate).** En este sub-estado la estación móvil verifica que pueda recibir información mediante el canal de tráfico de forward link y poder transmitir en el reverse link.
- **Sub-estado de conversación (Conversation substate).** En este sub-estado la estación móvil intercambia información con la estación base.
- **Sub-estado de liberación (Release substate).** En este sub-estado la estación móvil desconecta la llamada.

#### 3.5.4.2 Término de una Llamada.

Para dar por terminada una llamada se debe pasar por tres sub-estados, los cuales son presentados a continuación:

- **Sub-estado de inicialización del canal de tráfico (Traffic channel initialization substate).** Checa que pueda recibir información mediante el canal de tráfico del forward y transmitir en el reverse link.
- **Sub-estado de espera de órdenes (Waiting for order substate).** El móvil espera algún mensaje de información de voz.
- **Sub-estado de espera de respuesta del móvil (Waiting for mobile answer substate).** El móvil espera que el usuario responda la llamada.

- **Sub-estado de Conversación (Conversation substate).** La estación móvil intercambia información con la estación base.
- **Sub-estado de liberación (Release substate).** En este sub-estado el móvil desconecta la llamada.

### **3.6 Handover.**

El sistema cdmaOne soporta dos tipos de handover, siendo estos los siguientes:

- Handover Duro.
- Handover Suave.

#### **3.6.1 Handover Duro**

El handover duro ocurre cuando una estación móvil cambia de portadora al cambiar de estación base. Este tipo de handoff son inicializados por una estación base enviando un mensaje a otra de ellas para indicarle cuál será su canal en esta nueva estación base. Entonces la estación base envía un mensaje de respuesta usando su viejo canal y deshabilita su transmisión para adquirir el nuevo canal. Una vez hecho lo anterior, la estación móvil reactiva su transmisión. La necesidad del handover duro se tiene en áreas donde un operador tiene dos diferentes frecuencias en diferentes áreas.

#### **3.6.2 Handover Suave.**

Un handover suave se lleva a cabo entre estaciones base que tienen portadoras CDMA con la misma frecuencia asignada y el móvil se comunica de manera simultánea con ambas estaciones base mediante el reverse link, hasta que es evidente que sólo una de ellas es requerida.

### **3.7 Control de Potencia.**

#### **3.7.1 Control de Potencia en el Reverse Link.**

El control de potencia en el reverse link afecta tanto al canal de acceso como al de tráfico al buscar una estación móvil establecer y mantener un enlace con una estación base. El control de potencia en el reverse link incluye un control de potencia de lazo abierto también conocido como control de potencia autónomo y un control de potencia de lazo cerrado.

El control de potencia de lazo abierto se basa en el principio de que el móvil más cercano a una estación base requiere transmitir con menor potencia en comparación con un móvil que se encuentra más alejado de la estación base. La estación móvil entonces ajusta su potencia de transmisión en base al total de potencia recibida (de los canales piloto, voice, sincronía y tráfico). Si la potencia recibida es alta, el móvil reduce su potencia de transmisión, de lo contrario, si la potencia recibida es baja el móvil entonces incrementa su potencia a transmitir. En el control de potencia de lazo abierto la estación base no se involucra.

El control de potencia de lazo abierto en el reverse link provee de una estimación para la potencia de transmisión basada en la potencia total recibida del forward link, teniendo una velocidad de respuesta de parte del control de potencia cada 20ms.

Por su parte el control de potencia de lazo cerrado permite a la potencia de salida de una estación móvil ser ajustada en  $\pm 1$  dB cada 1.25 ms (800 veces por segundo), siendo el rango de control de potencia de lazo cerrado máximo de  $\pm 24$  dB, potencia suficientemente fuerte ante una interferencia de hasta 30 dB, pero no suficiente ante grandes variaciones en pérdidas por ruta (path loss) entre una estación móvil y una



estación base, pudiendo llegar a ser estas pérdidas hasta de 120 dB, esto ante la atenuación por la distancia entre una estación móvil y su estación base, o por interferencia.

En la práctica las estaciones móviles generan su lazo cerrado que es estimado al filtrar por un pasa bajas la potencia recibida de una estación base para remover componentes de desvanecimiento rápidas. De esta forma las estaciones móviles rastrean tanto desvanecimientos rápidos como variaciones lentas en pérdidas por ruta.

Operacionalmente el principal objetivo del control de potencia en el reverse link es entregar una potencia constante para cada estación móvil dentro de una célula, y de esta manera proveer de la misma calidad de transmisión a cada usuario, calidad que es medida en términos del Frame Erasure Rate (FER) (Porcentaje de paquetes borrados), que mide en porcentaje los frames descartados del número total de frames transmitidos, siendo aceptable un valor de FER de 1%. Un frame será “borrado” o descartado cuando su código CRC muestre que se cuenta con un error que no ha sido corregido durante el proceso de decodificación convolucional. El FER es medido por las estaciones base y durante un handover se obtiene a partir de la suma de los valores de todas las estaciones base que estuvieron involucradas en este proceso. Usando el FER las estaciones base ajustan la potencia de transmisión para cada estación móvil buscando tener un FER de sólo 1%.

### **3.7.2 Control de Potencia en el Forward Link.**

El control de potencia en el forward link permite reducir la interferencia sobre este enlace, limitando la interferencia entre células y reduciéndola entre sectores de una

célula, tratando de que cada canal de tráfico transmita el mínimo de potencia requerida para mantener en el móvil un FER deseado de 1%. De esta manera el control de potencia en el forward link se encarga de mejorar y mantener la comunicación entre una estación base y las estaciones móviles.

La potencia en el forward link para una estación móvil en particular es ajustada en pasos de .5 dB cada 15-20 ms, siendo el rango limitado a  $\pm 6$ dB. El mecanismo de control de potencia en el forward link es un proceso de lazo cerrado donde una estación base periódicamente reduce la potencia que es transmitida a cada usuario, este proceso continúa hasta que el valor de FER en una estación móvil excede del (1%) y envía un requerimiento para un incremento en la potencia del forward link de la estación móvil; en este punto la estación base incrementa la potencia que es enviada a una estación móvil en particular hasta que el requerimiento de potencia adicional cese.

Dentro de los sistemas cdmaOne de segunda generación se cuenta ya con servicios de envío de información, pero aún de baja velocidad comparada con la requerida para poder proveer de servicios como los que pretenden ofrecer los sistemas de tercera generación, sin embargo cdmaOne ya representa un sistema con una capacidad bastante mayor en relación a sistemas predecesores; además cdmaOne sirve como base para el desarrollo de los sistemas cdma2000, sistemas basados en la estructura de capas del modelo OSI y que será descrito en el siguiente capítulo.