



Decodificación del canal de sincronismo de la Interfaz de Radio de GSM

MSc. Ing. Yadira Alcantú Sampera

RESUMEN / ABSTRACT

Este artículo expone las definiciones y conceptos necesarios para realizar la decodificación del canal de sincronismo de la Interfaz de Radio de GSM (Um) hasta la obtención del código de la estación base (BSIC) y el número de trama (FN). Estos datos son imprescindibles para el proceso de sincronización de un analizador de protocolos a una Estación Base Transceptora (BTS), solución en desarrollo a la cual tributa parcialmente esta investigación. Para alcanzar este objetivo se realizó un análisis de los protocolos de la capa física descritos en las normas GSM, como aportes de la investigación se obtuvo una documentación exhaustiva y coherente de los protocolos de la capa física GSM lo cual estaba disperso en la literatura a nuestro alcance.

Palabras claves: GSM, SCH, FEC, decodificación, convolucional, trama, BSIC, FN.

This paper provides definitions and necessary concepts for synchronization channel decoding of GSM radio interface (Um) to obtain the base station identity code (BSIC) and the frame number (FN). These data are essentials for the protocol analyzer synchronization process with a Base Transceiver Station (BTS). This research is a piece of a big developing solution to achieve this objective. It was made a study and analysis of the physical layer protocols described in the GSM Standards. Contribution of this research was obtained consistent and comprehensive documentation of GSM physical layer protocols which was scattered in the literature to our scope.

Key words: GSM, SCH, FEC, convolutional, decoding, frame, BSIC, FN.

Synchronization Channel decoding of GSM Radio Interface

INTRODUCCION

Los sistemas de comunicaciones inalámbricos requieren de técnicas de procesamiento de señales con el objetivo de mejorar el desempeño del enlace en un medio altamente hostil. A diferencia de canales de comunicaciones cableados que presentan básicamente ruido del tipo AWGN (Additive White Gaussian Noise), los canales de comunicaciones móviles son dinámicos. En estos, además de AWGN, se presentan fenómenos de desvanecimientos de gran y pequeña escala de la señal electromagnética debido a las zonas de sombra y a las interferencias por multitrayectorias y las provenientes de otras fuentes de señales presentes en la banda de interés, lo cual tiene un grave impacto en la BER (tasa de bits erróneos).¹

Es en este contexto donde la codificación de canal juega un rol importante, su papel es el acondicionamiento de las señales de manera que el receptor pueda reconstruir la información si el enlace se desvanece súbitamente y se pierde parte del mensaje. Una de las técnicas que se emplean para ello es la incorporación de bits adicionales en el mensaje transmitido.

Los esquemas de codificación/decodificación de los canales de comunicación en GSM fueron establecidos por la ETSI (European Telecommunication Standard Institute) en 1996 y siguen vigentes en la actualidad.

Basándose en GSM se han desarrollado otros estándares de comunicaciones móviles entre los cuales se encuentran **GPRS** (*General Packet Radio Service*) y **EDGE** (*Enhanced Data rates for Global Evolution*) que ya no se acogen a los viejos esquemas de codificación del canal, entre otras cosas porque tienen otros requerimientos de ancho de banda y manejan grandes volúmenes de datos; ya no es solo mensajería corta y voz. Eso se le suma la transmisión de videos, videoconferencia, correo, mensajería online, fotos, música, etc.²

Estas tecnologías poseen muchas características que difieren de los servicios conmutados de GSM por lo que se hace necesario aplicar nuevos esquemas de codificación que optimicen al máximo los recursos del canal adaptándose dinámicamente a los cambios del mismo.

En la actualidad existen muchos diseños de sistemas de modelado y simulación de los esquemas de codificación/decodificación del canal GSM. Estos diseños han sido desarrollados por disímiles vías: MatLab, DSP, SystemGenerator, VHDL para ASIC o FPGA, ANSI C, C++, LabView, etc.

En lo referente al tema, existe bastante desarrollo en las implementaciones basadas en DSP. Estos se emplean para procesar operaciones numéricas a muy alta velocidad pero independientemente de los altos precios de los DSP, estos son fabricados con diseños de hardware específicos, o sea que no existe una libertad total de diseño.

Otra vertiente que ha tomado mucha fuerza es **SDR** (*Software Defined Radio*), se nota que es una tecnología que está tratando de imponerse y se le avizoran grandes perspectivas.

Las prerrogativas del empleo de aplicaciones para la decodificación de canal GSM basada en PC limitan el diseño pues atentan contra la portabilidad así como contra el tiempo de ejecución, aunque el desarrollo de procesadores multinúcleos le ha dado un nuevo impulso a esta alternativa.

No obstante no se compara con los ínfimos tiempos de conmutación de los dispositivos programables y reconfigurables (FPGA) que tienen a su favor además el empleo del paralelismo, la optimización que le brinda los lenguajes de descripción de hardware y las técnicas de codiseño hardware/software.

Actualmente se comercializan equipos denominados analizadores de protocolos que incluyen entre sus prestaciones, el análisis de la interfaz de radio de GSM. Un ejemplo de ello es el Receptor de prueba GSM 4301A que soporta el protocolo GSM para mediciones, caracterización y decodificación de canal de radio GSM con software adicionales para EDGE, CDMA2000, WCDMA, WiMAX, TD-SCDMA.³

El CRTU-G es un analizador universal de protocolos para GSM/GPRS/EGPRS/EDGE. Este equipo simula una estación base GSM (BTS) y parte de una red GSM/ (E) GPRS.⁴

El analizador de protocolos de telecomunicaciones JDSU 8631 posibilita el análisis de la interfaz Abis de GSM y brinda parámetros de potencia, entre otras prestaciones.⁵

El receptor SeeGullLX para GSM/GPRS/EDGE ofrece entre sus prestaciones la decodificación del código de la estación base (BSIC) así como de algunos mensajes de los canales de difusión de la célula (BCCH).⁶

El analizador de GSM GL Communications se emplea para analizar protocolos GSM, protocolos de conmutación y señalización entre MSC (Mobile-Services Switching Center) & BSC (Base Station Controller), BSC & BTS (Base Transceiver Station), MSC & HLR (Home Location Register), MSC & VLR (Visitor Location Register), etc y opera a nivel de canales T1 y E1.⁷

El módulo de prueba de la interfaz de Aire de GSM 8501 es un instrumento para realizar mediciones de los enlaces entre una BTS y una estación móvil, simulando un teléfono móvil.⁸

La industria GSM es una de las áreas más cerradas en lo referente a la electrónica y la informática. Es muy difícil obtener cualquier información técnica. Todo lo que se divulga son informaciones comerciales pero se mantienen ocultas las informaciones técnicas del hardware de los productos.

Si se quisiera construir un teléfono móvil o algún producto similar, se hace necesario comprar un chipset GSM. Existen pocas compañías que los ofertan. Los proveedores clásicos son Infineon, Texas Instruments, ST/Ericsson, MediaTek y Freescale.

Los productos portátiles para GSM que se venden en el mercado internacional no se encuentran disponibles para cualquier fabricante, ni se distribuyen como cualquier componente electrónico.

Es imposible hacer esto con los chipsets GSM. Por alguna razón estos chips solo son vendidos a fabricantes cuidadosamente escogidos. Si se quiere calificar para entrar en esa selección usted debe abonar una cantidad de al menos seis cifras anuales que justifiquen su compra. Por si esto fuera poco, como respaldo hay que abonar una cuota no reembolsable de siete cifras de dólares americanos.⁹

Si se logra entrar en el club selecto de los fabricantes de teléfonos celulares la documentación que obtiene es incompleta, no se puede hacer cambios en el hardware o firmware a menos que se tenga una licencia del software (drivers, implementación del protocolo GSM,...) que la otorga el fabricante del chipset.

Las implementaciones del protocolo, son proporcionadas como librerías binarias, solo se obtiene código fuente de algunas partes del sistema y algunos drivers hardware pudieran necesitar modificaciones para las particularidades eléctricas del diseño.

La implementación del protocolo GSM no fue hecha por los fabricantes de chipset, ellos venden bajo licencia una proveniente de 4 o 5 organizaciones que nunca han implementado el conjunto de protocolos GSM.

Los protocolos GSM no son una especie de secreto militar, existe un estándar internacional publicado, asequible para todos. A pesar de esto, la industria celular se considera una puerta cerrada y esto es uno de los motivos que ha frenado un poco el desarrollo del firmware de banda base de esta tecnología en las últimas décadas. Los defectos en el código fuente solo pueden ser encontrados y arreglados por unos pocos desarrolladores, no hay oportunidades para principiantes.

GSM

El Sistema Global para las Comunicaciones Móviles fundado en 1991 fue desarrollado en Europa. Se esparció por todo el mundo debido a las ventajas y las prestaciones que brinda desde/hacia cualquier punto del planeta, como llamadas telefónicas, envío de mensajes, correo, multimedia, videoconferencia, etc.

También fue revolucionario en su época por el aprovechamiento del espectro de frecuencias teniendo en cuenta la gran cantidad de usuarios simultáneos que maneja. Esto es posible gracias a la combinación del Acceso Múltiple por División en Frecuencias y el Acceso Múltiple por División en Tiempo, más conocida por FDMA/TDMA.

Este sistema abarca varios campos dentro de las comunicaciones: redes, telefonía y las radiocomunicaciones. Se podría decir que la etapa de radio constituye la ruta más crítica del estándar GSM puesto que la información se encuentra expuesta a todo tipo de interferencias y ruidos propios del medio como la interferencia multitrajecto y el desvanecimiento. Esto exige un tratamiento especial para ese canal de comunicaciones, dependiendo del volumen de datos, los requerimientos de ancho de banda, el tipo de datos, etc.

ESQUEMA TDMA PARA GSM

En el esquema TDMA están definidos ocho canales físicos básicos por cada portadora de radio. “Un canal físico es entonces definido como una secuencia de tramas TDMA, un número de ranura de tiempo y una secuencia de salto de frecuencia”.

El recurso básico de radio es una ranura de tiempo de duración $\approx 577\mu\text{s}$ y la información se transmite a una velocidad de modulación de $\approx 270.833 \text{ kbit/s}$. esto significa que la duración de una ranura de tiempo incluyendo el tiempo de guarda es 156,25 períodos de bit.”¹⁰

JERARQUÍA DE TRAMAS EN GSM

En la figura 1 se muestra una representación de las estructuras de tramas. “El período de tiempo más largo le corresponde a la hipertrama y su duración es de 3h 28min 53s 760ms. Las tramas TDMA están numeradas dentro de la hipertrama, el número de trama TDMA (FN) va desde 0 hasta 2 715 647.

Una hipertrama está subdividida en 2048 supertramas cada una con una duración de 6,12s. La supertrama a su vez está subdividida en multitramas. Existen dos tipos de multitramas:

La multitrama de 26 tramas TDMA (hay 51 de estas en una supertrama) con una duración de 120ms. Esta multitrama es empleada para transportar información del canal de tráfico y su control asociado.

La multitrama de 51 tramas TDMA (hay 26 de estas en una supertrama) con una duración de aproximadamente 235,4ms. Esta multitrama es empleada para transportar información de control.

Una trama TDMA contiene ocho ranuras de tiempo y tiene una duración de $\approx 4,62\text{ms}$.”¹⁰

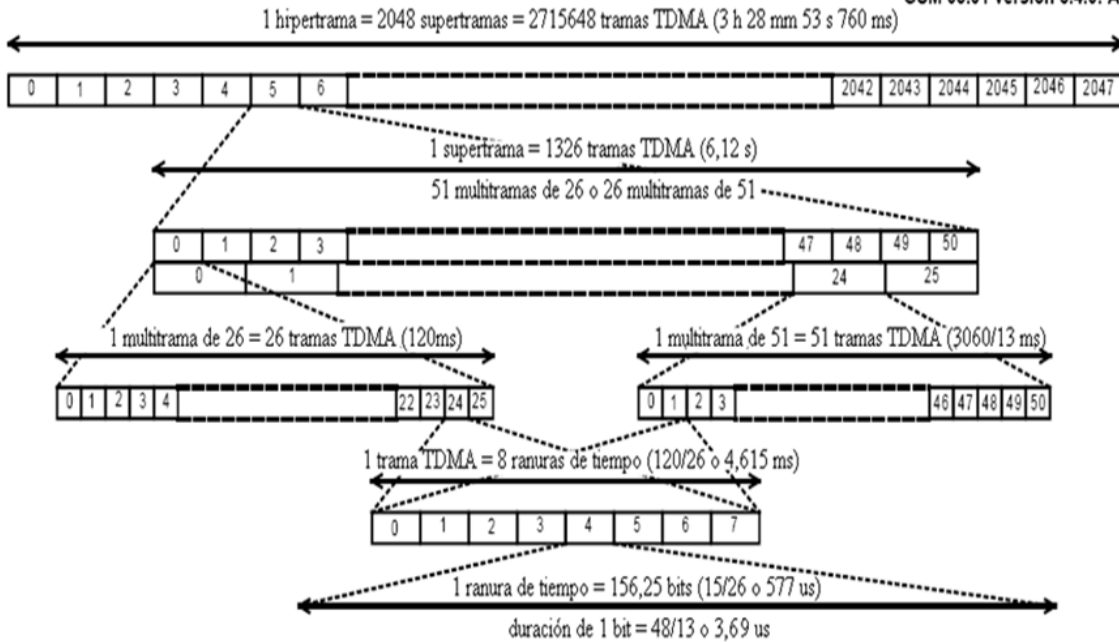


Figura 1 Tiempos de tramas, ranuras de tiempo y ráfagas.

RÁFAGAS Y RANURAS DE TIEMPO

Una ranura de tiempo es un intervalo de tiempo de aproximadamente $577\mu\text{s}$ ($15/26$ ms) equivalentes a 156,25 períodos de bit, y su contenido físico es denominado ráfaga. Existen cinco tipos de ráfagas diferentes en el sistema como se muestra en la figura 2.

Ráfaga normal: se emplea para transportar información de los canales de tráfico y de control. Contiene 116 bits encriptados e incluye un tiempo de guarda de 8,25 períodos de bit.

Ráfaga de corrección de frecuencia: se emplea para la sincronización de frecuencia de la estación móvil. Es equivalente a una portadora no modulada, desplazada en frecuencia, con el mismo tiempo de guarda que la ráfaga normal. Esta ráfaga es difundida junto al canal de control de difusión. La repetición de esta ráfaga es llamada canal de corrección de frecuencia.

Ráfaga de sincronismo: se emplea para la sincronización de tiempo de la estación móvil. Transporta la información del número de trama TDMA (FN) y el Código de Identificación de la Estación Base (BSIC). Esta ráfaga es difundida junto con la de corrección de frecuencia. La repetición de esta ráfaga es llamada canal de sincronismo.

Ráfaga de acceso: se emplea para el acceso aleatorio y está caracterizada por un largo período de guarda para facilitar la trasmisión de ráfagas desde una estación móvil que no conoce el tiempo de sincronización entre los mensajes enviados a la BTS en su primer acceso o después de un handover, o sea, la acción de cambio de canal de radio desde una célula a otra donde el móvil se mueve desde un área de una BTS a otra.¹⁰

Con el objetivo de permitirle a los móviles realizar mediciones de potencia, la portadora de radio dedicada al canal de difusión trasmite una ráfaga en cada TS de cada trama TDMA. Para cumplir con este requerimiento la BTS debe transmitir una ráfaga de relleno en las ranuras de tiempo que no estén en uso. Esta ráfaga tiene la misma estructura de una ráfaga normal pero las secuencias de entrenamiento son propias y los bits de información son fijos y conocidos.

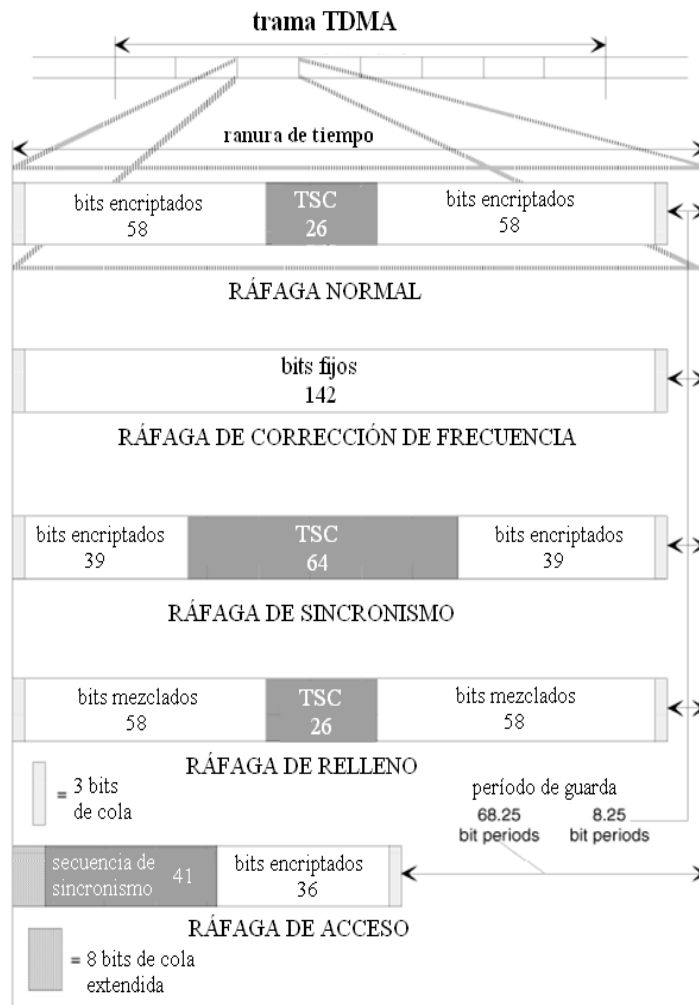


Figura 2 Ranuras de tiempo y formato de ráfagas.

CANALES FÍSICOS Y CANALES LÓGICOS

En GSM se definen dos conjuntos de canales:¹¹

Los canales físicos son todas las ranuras de tiempo disponibles de una estación base (BTS), donde cada ranura corresponde a un canal físico.

Los canales lógicos son transportados en los canales físicos. Cada canal lógico ejecuta una tarea específica. Están divididos en dos grandes grupos, los canales de tráfico (TCH) y los de control (CCH).

Canales de control (CCH)

- Canal de corrección de frecuencia (FCCH)
- Canal de sincronismo (SCH)
- Canal de difusión común (BCCH)
- Canal de acceso concedido (AGCH)
- Canal de búsqueda (PCH)

- Canal de difusión de la célula (CBCH)
- Canal de control dedicado (SDCCH)
- Canal de control asociado (que puede ser lento o rápido: SACCH/FACCH)
- Canal de acceso aleatorio (RACH)

MAPEANDO LOS CANALES LÓGICOS EN LOS CANALES FÍSICOS

En particular, la ranura de tiempo 0 de la portadora de difusión de la BTS, en downlink es empleada para varios canales lógicos. Existen varias configuraciones de secuencias de canales para la multitrama de control (multitrama de 51 tramas).

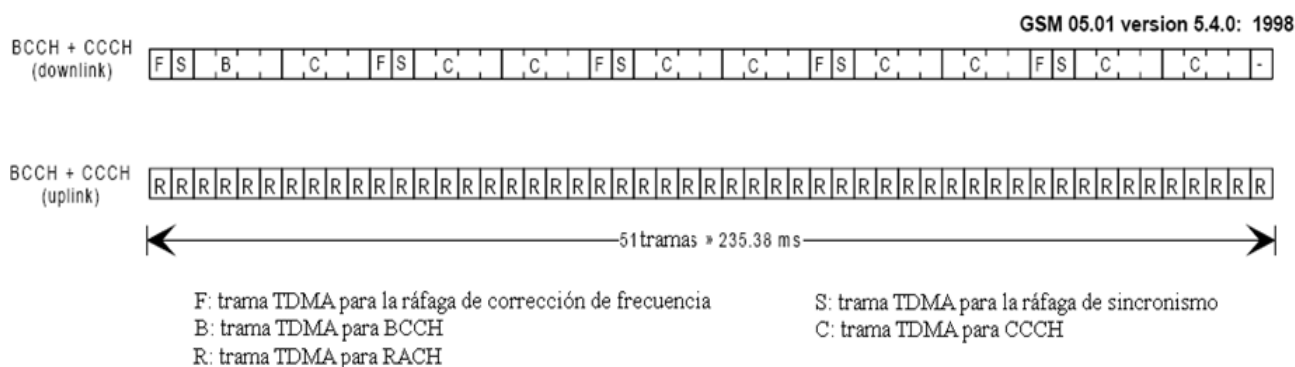


Figura 3 Organización de la multitrama de control.

En la figura anterior se muestra una de las configuraciones downlink/uplink de la ranura de tiempo 0 de la portadora de difusión de manera que la secuencia, entre un canal y otro, supone el tiempo correspondiente a una trama TDMA ($\approx 4,615$ ms). Como se aprecia, las ráfagas de corrección de frecuencia y de sincronismo se repiten cada 10 tramas, o sea cada 46,15 ms.

ESQUEMA DE CODIFICACIÓN / DECODIFICACIÓN DEL CANAL DE CONTROL DE SINCRONISMO

En la interfaz de radio, GSM emplea un modelo de comunicación multicanal, con jerarquías de tramas, de manera que existen canales de control y de tráfico, ya sea de voz, datos o control. Cada canal tiene un tratamiento específico en dependencia de las características de la información que transporta. Uno de los métodos de proteger la información contra errores es a través de códigos de detección y corrección de errores (Forward Error Correction) de manera que los mensajes puedan ser reconstruidos en el receptor sin necesidad de retransmisión, en dependencia de la tasa de bits erróneos (BER). Este no es el único método que existe para proteger los canales de datos, los esquemas de codificación de los canales de comunicación en GSM fueron establecidos por la ETSI (European Telecommunication Standards Institute) en 1996 y siguen vigentes en la actualidad.

En la figura 4 se muestra todo el proceso de codificación del canal GSM de manera genérica, puesto que no todos los canales reciben el mismo tratamiento, por ejemplo, el canal de sincronismo es un canal especial que se auto contiene, no se entrelaza, no se reordena y no se encripta. Como se muestra en la figura 5.

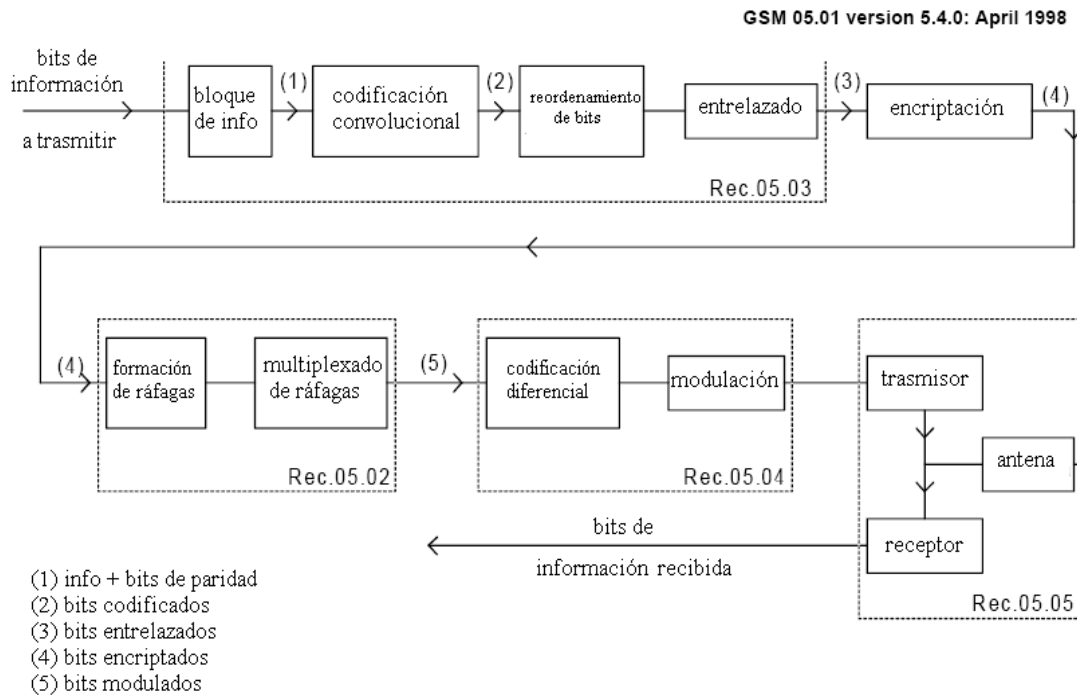


Figura 4 Codificación del canal GSM

Teniendo en cuenta que el objetivo de esta tesis es la implementación de un decodificador del canal de sincronismo y partiendo de la información ya demodulada y decodificada diferencialmente el esquema de decodificación quedaría como se muestra en la figura 5.

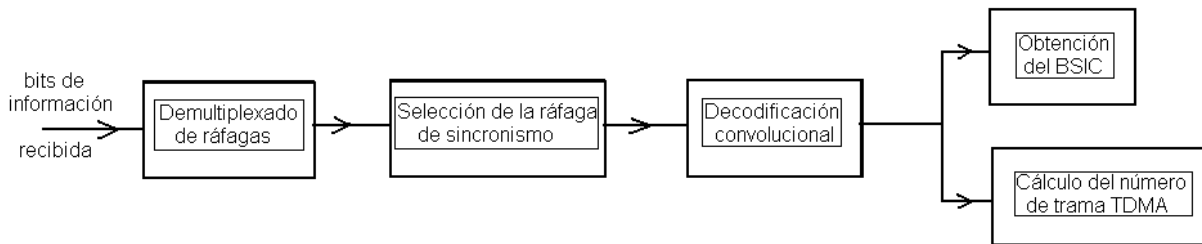


Figura 5 Decodificación del canal de sincronismo

DEMULPLEXADO DE RÁFAGAS GSM

El proceso de demultiplexación consiste en detectar y capturar cada ráfaga, identificarlas y obtener el número de la ranura de tiempo por la que viajan (canal físico) o sea la posición que ocupan dentro de la trama GSM.

La detección e identificación de estas ráfagas se puede llevar a cabo mediante las secuencias de entrenamiento que las caracteriza. En la recomendación GSM.0501 se plantea que las ráfagas contienen 156 bits, cada tipo de ráfaga se distingue entre otras cosas por la secuencia de entrenamiento (TSC), esa es la principal propiedad que se emplea para identificarlas.

Las secuencias de bits fijas y conocidas que forman las secuencias de entrenamiento, ocupan un lugar específico dentro de cada tipo de ráfaga. La función de cada bloque de detección debe ser comparar los bits correspondientes a las TSC de cada ráfaga y

capturar la información útil. Esta información viaja en diferentes formatos y cantidad de bits (como se muestra en la figura 2 y en la Tabla 1)

TIPO DE RÁFAGA	BITS	SECUENCIAS DE ENTRENAMIENTO
NORMAL	26 bits del 61 al 86	TSC0 = 00100101110000100010010111
		TSC1 = 00101101110111100010110111
		TSC2 = 01000011101110100100001110
		TSC3 = 01000111101101000100011110
		TSC4 = 00011010111001000001101011
		TSC5 = 01001110101100000100111010
		TSC6 = 10100111110110001010011111
		TSC7 = 11101111000100101110111100
SINCRONISMO	64 bits del 42 al 105	TSC0 = 1011100101100010000001000000111100101101010001010111011000011011
RELLENO	142 bits del 3 al 144	TSC = 111110110111011000001010010011100000100100010000000111110001110001011000101110001010111010101000101011101001010001100111010010100011001100111001111010011111000100101111101010
ACCESO	41 bits del 8 al 48	TSC0 = 01001011011111111001100110101010001111000
		TSC1 = 01010100111110001000011000101111001001101
		TSC2 = 11101111001001110101011000001101101110111
CORRECCIÓN DE FRECUENCIA	142 bits del 3 al 142	todos los bits en 0

Tabla 1 Valor de las secuencias de Entrenamiento y posición dentro de cada tipo de ráfaga.

Cuando se detecta una ráfaga de sincronismo, esto indica la ocurrencia de la ranura de tiempo 0 en una portadora faro o de control. A partir de este evento se puede resetear un contador de ranuras de tiempo (0 - 7), de manera que la información pueda quedar almacenada con el orden correcto a pesar de que la trama tenga ranuras de tiempo vacías.

Hay que tener en cuenta que existen 5 tipos de ráfagas: normal, sincronismo, acceso, relleno y corrección de frecuencia, el sistema debe constar de 5 detectores y tener en cuenta que existen 2 tipos de ráfagas que solo se transmiten en la ranura de tiempo 0 de la portadora faro o de control (sincronismo y corrección de frecuencia). La función de esta portadora se asemeja a la de un faro, o sea, transporta información de señalización para todas las estaciones móviles que se hallan en su zona de cobertura y periódicamente realizan mediciones de potencia, es por eso que esta portadora siempre debe estar en el aire y para lograr esto en las ranuras vacías se trasmite una ráfaga de relleno.

Las ranuras vacías de otras portadoras pueden confundirse con ráfagas de corrección de frecuencia (todos los bits en '0') puesto que hay 0 información en el aire, por lo tanto no se recomienda emplear esta ráfaga como base para este proceso.

Todos los detectores deben trabajar bajo un mismo principio: comparación y captura contra uno o varios registros que contengan las TSCs específicas.

FEC (FORWARD ERROR CORRECTION)

Cuando la información puede estar sujeta a cambios que traen como consecuencia la introducción de errores que impidan su reconstrucción en el receptor, se emplean los Códigos de Bloque y los Convolutivos con el objetivo de no sólo detectar el error, sino corregirlo sin necesidad de retransmitir la información. Estos códigos se basan en la introducción de bits de redundancia.

En GSM se emplean los Códigos Convolucionales para proteger la información contra el ruido del canal, sin necesidad de múltiples retransmisiones. Estos códigos se generan mediante los denominados polinomios generadores. Son relevantes otros valores como la razón “r” que indica la cantidad de bits de salida del codificador por cada bit de entrada, en este caso indica la cantidad de polinomios que se emplearon para generar el código. Como se muestra en la Tabla 2, el canal de sincronismo emplea dos polinomios, o sea $r = \frac{1}{2}$.¹²

tipo de canal	bits por bloque dato+parid+cola	razón de código convolucional	cant de bits por bloque	profundidad de entrelazado
TCH/FS	a		456	8
class I ⁽²⁾	182 + 3 + 4	1/2	(378)	
class II	78 + 0 + 0	-	(78)	
TCH/HS				
TCH/F9.6	4*60 + 0 + 4	244/456	456	19
TCH/F4.8	60 + 0 + 16	1/3	228	19
TCH/H4.8	4*60 + 0 + 4	244/456	456	19
TCH/F2.4	72 + 0 + 4	1/6	456	8
TCH/H2.4	72 + 0 + 4	1/3	228	19
FACCHs	184 + 40 + 4	1/2	456	8
SDCCHs SACCHs	184 + 40 + 4	1/2	456	4
BCCH AGCH PCH	-	-	-	-
RACH	8 + 6 + 4	1/2	36	1
SCH	25 + 10 + 4	1/2	78	1

Tabla 2 Codificación y Entrelazado en GSM [5]

Otro valor importante es la longitud límite “K” que expresa la cantidad de bits que estarán presentes en la codificación o, como más se le conoce: la memoria de código. La K es la cantidad de bits presentes en el registro de desplazamiento, siendo el polinomio generador de grado K-1 como se muestra en la figura 6.

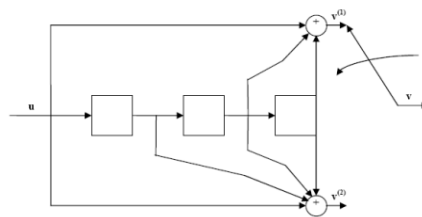


Figura 6 Codificador Convolucional K = 4.¹³

Existen varios métodos para recuperar la información codificada con Códigos Convolucionales, entre ellos están: el algoritmo de Viterbi y el algoritmo de decodificación secuencial.

El algoritmo de Viterbi es un método de decodificación convolucional que emplea el diagrama de Trellis. Este diagrama se forma teniendo en cuenta los estados por los que transita el codificador, almacena cada uno de los cambios y las salidas que provocan, como se muestra en la figura 7.

El método consiste en comparar, partiendo del estado actual, todas las posibles secuencias de salida con la secuencia recibida. De esta manera se van creando las métricas de cada camino en el diagrama de Trellis. Al final del proceso se decide cual de los caminos recorridos en el diagrama es el más probable, corrigiendo así los errores recibidos. Se ha demostrado que este es un método muy eficiente para la protección contra errores de transmisión, pero trae consigo una carga grande de cómputo e implica largo tiempo de diseño.

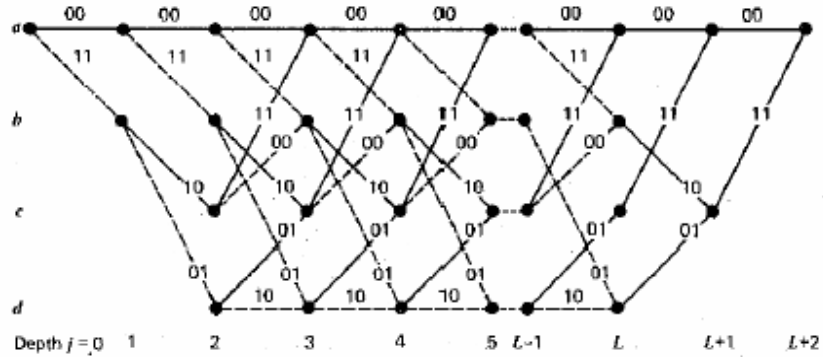


Figura 7 Ejemplo de Diagrama de Trellis para $K=3$ ¹⁴

La decodificación convolucional parte de la propia idea del codificador pero realimentado a la salida. Es un método muy sencillo puesto que consiste en volver a codificar la información recibida, de manera que se obtenga la información útil, claro para ello hay que separar los bits correspondientes a los polinomios en cuestión como se muestra en la figura 8. Una de las limitantes de este método es que detecta la ocurrencia de los errores pero no permite la corrección de los mismos.

Este método pudiera considerarse idóneo cuando $r < 1/7$, o sea cuando se emplean un número considerable de polinomios generadores puesto que a través de métodos probabilísticos es posible corregir los errores.

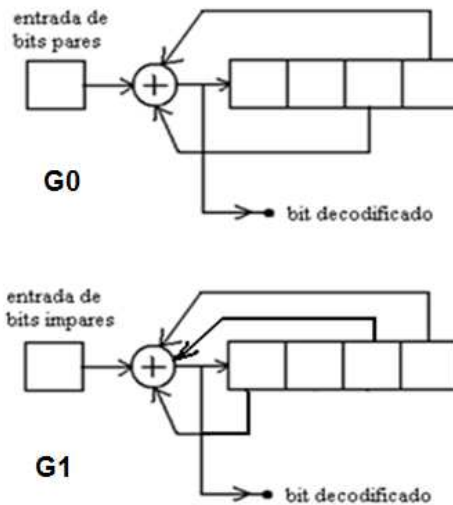


Figura 8 Decodificador convolucional $K = 5$ $r = 1/2$ y polinomios: $G_0 = 1 + X^3 + X^4$, $G_1 = 1 + X + X^3 + X^4$

CANAL DE SINCRONISMO

Como se puede observar en la Tabla 6 los datos del canal de sincronismo (SCH) se transmiten en 78 bits, estos están codificados con codificación convolucional con una razón $r = 1/2$ de manera que al decodificarlos se obtienen 39 bits de información.

De estos 39 bit, 10 son de paridad, 4 de cola o relleno y 25 bits útiles que contienen la información referente al BSIC yal FN como se muestra en la figura 9.

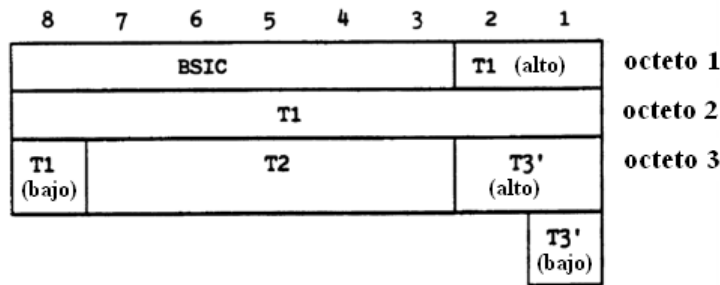


Figura 9 Información del canal de sincronismo ¹⁵

- a) El BSIC: comprendido en 6 bits, 3 bits del Código de Color de la Red (NCC) y 3 bits del Código de color de la BTS (BCC), este identifica a la BTS dentro de la red GSM.
- b) El RFN (Número de Trama TDMA Reducido): comprendido por 19bits distribuidos de la siguiente manera:
 - T1 (11 bits) en el rango de $(0 - 2047) = FN \text{ div } (26 \times 51)$
 - T2 (5 bits) en el rango de $(0 - 25) = FN \text{ mod } 26$
 - T3' (3 bits) en el rango de $(0 - 4) = (T3 - 1) \text{ div } 10$
 - donde T3 (6 bits) en el rango de $(0 - 50) = FN \text{ mod } 51$

De manera que el número de trama (FN) se calcula:

$$FN = 51 ((T3-T2) \text{ mod } (26)) + T3 + 51 \times 26 \times T1 \text{ donde } T3 = (10 \times T3') + 1 \quad ^{16}$$

CONCLUSIONES

Mediante la realización de este proyecto de tesis se realizó un estudio exhaustivo de la interfaz de radio del estándar de comunicaciones móviles GSM a través de las normas GSM publicadas e informaciones diversas de artículos de Internet. Esto permitió un esbozo del esquema de decodificación del canal de sincronismo que constituye el centro de la investigación realizada: la demultiplexación del estándar TDMA y la decodificación convolucional. Este conocimiento servirá como base para la implementación de un sistema capaz de decodificar el canal de sincronismo para obtener el BSIC y el FN.

REFERENCIAS

Las referencias dentro del texto se harán por orden numérico ascendente consignándose así en el acápite referencias. Deberán figurar en el mismo orden en el cual han aparecido en el texto. Deberán estar además en las normas ISO 690

1. ACEITÓN R.: "Codificación de Canal en Tecnología GSM". Departamento de Electrónica de la Universidad Técnica Federico Santa María, Chile, URL: <http://www2.elo.utfsm.cl/~elo341/material/CodCanGSM.pdf>, 2005.
2. SEURRE ES, PATRICK. PIETRI, PIERRE-JEAN.: EDGE for mobile Internet, t. 1. Ed. ARTECH HOUSE. Londres, Reino Unido, 2001.
3. INC. DRT: "DRT4031- Synthetic RF Signal Analyzer". URL: http://www.drta.com/specsheets/4301_GSM%20Rev.%201.8.pdf, 2005.
4. ROHDE&SCHWARZ. "CRTU ProtocolAnalyzer/Tester". URL: http://www.rohde-schwarz.com.sg/file_2546/CRTU-Bro_en.pdf, 2006.

5. JDSU: "8631, Telecom Protocol Analyzer, Communications Test & Measurements Solutions" URL: http://www.butlergroup.ie/wp-content/uploads/wpsc/product-files/683_JDSU_8631_Telecom_Protocol_Analyser.pdf, 2006.
6. PCTEL SOLUTIONS GROUP: "SeeGull@ LX GSM/GPRS/EDGE Receiver Technical Specifications Wireless Test Solutions". URL: http://www.livingston-products.com/products/pdf/130626_1_en.pdf, 2006.
7. GL COMMUNICATIONS GROUP: "GSM Analyzer" URL: http://www.gl.com/Brochures/Brochures/GSMAnalyzer_Brochure.pdf, 2006.
8. WILLTEK COMMUNICATIONS: "8501 GSM Air Interface Test Module" URL: http://www.mpieletronica.com.br/site2/pdf/8501_gs_0410-100-A.pdf, 2004.
9. HARALD, W.: "Anatomy of contemporary GSM cellphone hardware". URL: http://laforge.gnumonks.org/papers/gsm_phone-anatomy-latest.pdf, 2010.
10. ETSI: "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) Physical layer on the radio path General description". GSM 05.01 v5.4.0, vol. No. 1, p.21, 1996.
11. HEINE G.: "GSM Networks: Protocols, Terminology, and Implementation". British Library Cataloguing in Publication Data: Artech House mobile communications library, vol. No. 1, p.417, 1998.
12. ETSI: "Digital cellular telecommunications system (Phase 2+) Channel coding". GSM 05.03, vol. No. 1, p.38, 1996.
13. FRANCO ROMERO, ALFONSO: "Rumbo a los Turbo-códigos: la codificación convolucional". URL: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/francos_r_a/capitulo2.pdf, 2000.
14. CASAÑAS ÁVILA, R.: "Estudio y simulación con MATLAB de la interfaz de radio GSM". Universidad de Granada, Granada, p.161, URL: <http://telecomudec.files.wordpress.com/2009/04/estudio-y-simulacion-con-matlab-de-interfaz-de-radio-gsm-memoria-de-titulo-u-granada.pdf>, 2008.
15. ETSI: "European digital cellular telecommunications system (phase 1) Mobile radio interface layer 3 specification". GSM 04.08, 1992.
16. ETSI: "Digital cellular telecommunications system (phase 2+) Radio subsystem synchronization". GSM 05.10, 1996.

AUTORA

Yadira Alcantú Sampera

Título: Ingeniera en Telecomunicaciones y Electrónica 2007

Grado Científico: Máster en Sistemas Digitales 2011

Categoría Científica: Aspirante a Investigador

Centro de trabajo: **LACETEL**

Provincia: La Habana

País: Cuba

Correo electrónico: yadira@lacetel.cu

Otras publicaciones de la autora: "El Roaming Automático Internacional en la Telefonía móvil GSM", Portal de Comunicaciones del MININT. "Módulo de Propiedad Intelectual", RECIDT. "Los Servicios de Valor Agregado para Roaming Automático Internacional GSM en Cuba", RECIDT. "Conmutador remoto embebido en FPGA", Informática 2009. "Diseño y simulación del módulo IP de un decodificador convolucional", Informática 2011. "Síntesis e Implementación de un demodulador de CPFSK de tiempo real", Informática 2011. "Xilkernel: Sistema Operativo en Tiempo Real", RECIDT 2011. "FPGA: una nueva filosofía de diseño", RECIDT 2011.