Análisis del comportamiento de un Sistema de Transmisión Multidimensional Codificado con Demodulación Paralela

F.J. Marcello Ruiz*, J.A. Delgado-Penín**

* - Departamento de Electrónica y Telecomunicación, EUITT, ULPGC
- Centro Espacial de Canarias, INTA
C/Wagner nº14, Las Palmas/Tel. 928.24.26.15/Fax 928.29.16.14

** Departamento Teoría de la Señal y Comunicaciones, ETSETB, UPC
P.O.BOX 30002 - Barcelona/Tel. 93.401.6815/Fax 93.401.7200

Abstract.- Block Coded Modulation with 8-PSK and rate 2/3 was analyzed. The use of multidimensionality and parallel demodulation were contemplated for this system. The analysis was achieved by parallel digital simulation for a system over gaussian channel. Results were confronted versus equivalent uncoded systems. This scheme appears to be a solid alternative to the Trellis Coded Modulations.

1.- Introducción

En la década de los 70 Ungerboeck ideó el concepto de las MODULACIONES CODIFICADAS que permitían obtener Ganancias de Código sin incrementar el ancho de banda de la señal. Lo aplicó usando códigos convolucionales creando así la familia TCM (Trellis Coded Modulation) que gracias al Algoritmo de Viterbi proporcionaba una decodificación óptima pero poco veloz y compleja debido al uso de códigos con memoria.

Dada la tendencia actual a trabajar con elevados flujos de datos, se ha hecho imprescindible buscar nuevas alternativas resurgiendo la familia BCM (Block Coded Modulation), que mediante el empleo de códigos bloque (sin memoria) y de conceptos como la multidimensionalidad y el paralelismo, lograron sobre el papel su objetivo.

En este artículo se presenta un esquema BCM multidimensional que utilizando técnicas de paralelismo permite obtener mediante simulación digital buena ganancia de código siendo además espectralmente eficiente, poco complejo y veloz.

En el apartado 2 se describe la filosofía utilizada para el codificador y decodificador de dicho esquema BCM multidimensional, aplicándolo, en el apartado 3, a un caso específico (BCM 8-PSK n=7 r=2/3) que es simulado digitalmente y cuyos resultados se compararán con un sistema sin codificar equivalente (QPSK) en el apartado 4.

2.- Modelo de Sistema

2.1.- Codificación multinivel de señales multidimensionales

De entre los esquemas existentes, la construcción propuesta por Ginzburg permite englobar los conceptos de modulaciones codificadas BCM, 'set-partitioning' y multidimensionalidad; siendo además muy adecuada para la demodulación en paralelo.

Mediante el 'set-partitioning' se consigue el etiquetado de la constelación a base de dividirla sucesivamente en subconstelaciones hasta obtener al final un solo símbolo.

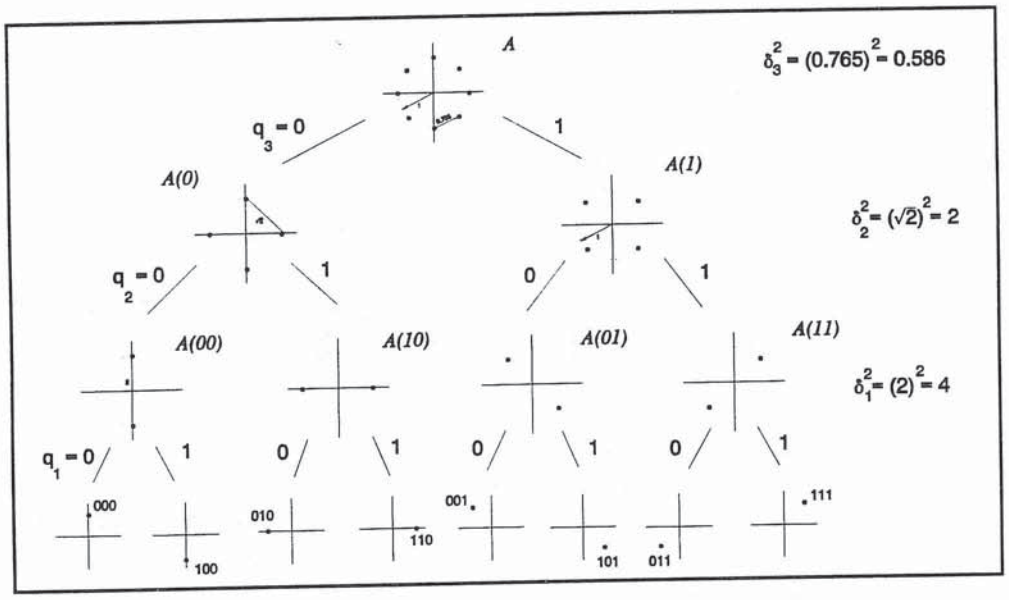


Figura 1.- Set-partitioning de la constelación 8-PSK

Este proceso es utilizado para desgranar el problema de la codificación en el de buscar el código más apropiado para cada nivel del proceso de partición teniendo en cuenta que a medida que avanza la partición de la constelación cada vez los símbolos están más separados (a mayor distancia Euclídea) y por tanto los códigos necesarios son cada vez más débiles (de menor distancia de Hamming) al existir menor probabilidad de error.

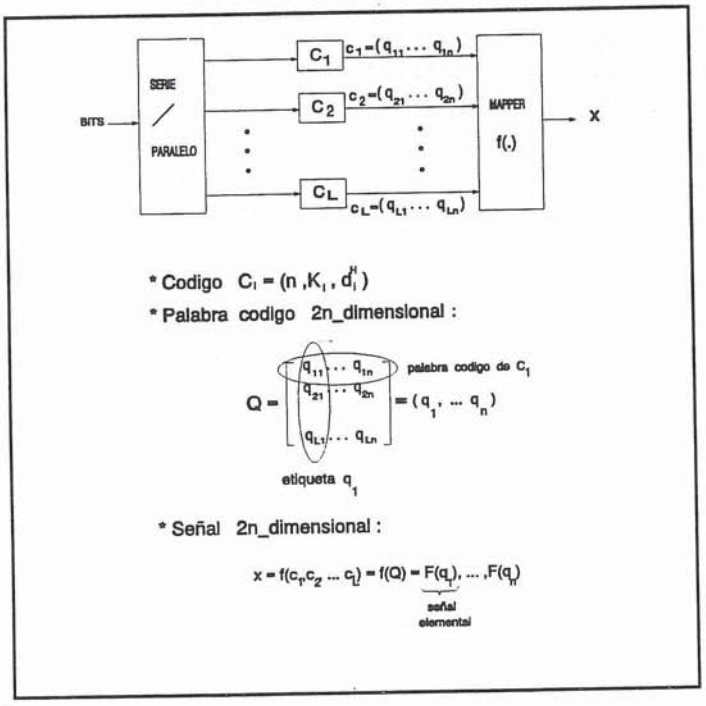


Figura 2.- Construcción de Ginzburg

En la figura 2 se aprecia que dicha construcción la componen como máximo tantos codificadores como bits tiene cada etiqueta o, equivalentemente, tantos como niveles hay en el 'set-partitioning' pues cada codificador obtiene una palabra código donde todos sus bits pertenecen al mismo nivel del proceso de partición.

En síntesis la filosofía consiste en usar códigos de distancia de Hamming decreciente que codifican constelaciones anidadas de distancia Euclídea creciente.

$$d_L^H > d_{L-1}^H > \ldots > d_1^H$$

$$\Updownarrow$$

$$\delta_L^H < \delta_{L-1}^H < \ldots < \delta_1^H$$

Al mapper le llega una palabra 2n-dimensional formada por n etiquetas bidimensionales que transformará en el valor de una amplitud, fase o frecuencia según el esquema de modulación elegido.

La distancia mínima Euclídea cuadrática de la constelación 2n-dimensional así generada verifica la siguiente inecuación:

$$d^2_{\min} \geq \min(\delta_1^2 . d_1^H, \delta_2^2 . d_2^H, \ldots, \delta_L^2 . d_L^H) \qquad (1)$$

Resta elegir los códigos componentes y el esquema de modulación para lograr maximizar esa distancia o equivalentemente disminuir la probabilidad de error.

2.2.- Decodificación multinivel de señales multidimensionales (Staged-decoder)

La filosofía del Staged-decoder consiste en decodificar los códigos componentes de la construcción de Ginzburg en orden. Primero se decodifica el código más fuerte (con distancia de Hamming mayor), luego el siguiente suponiendo correcto el anterior proceso y así sucesivamente hasta decodificar el más débil (asociado al último nivel del proceso de partición) suponiendo los pasos anteriores correctos.

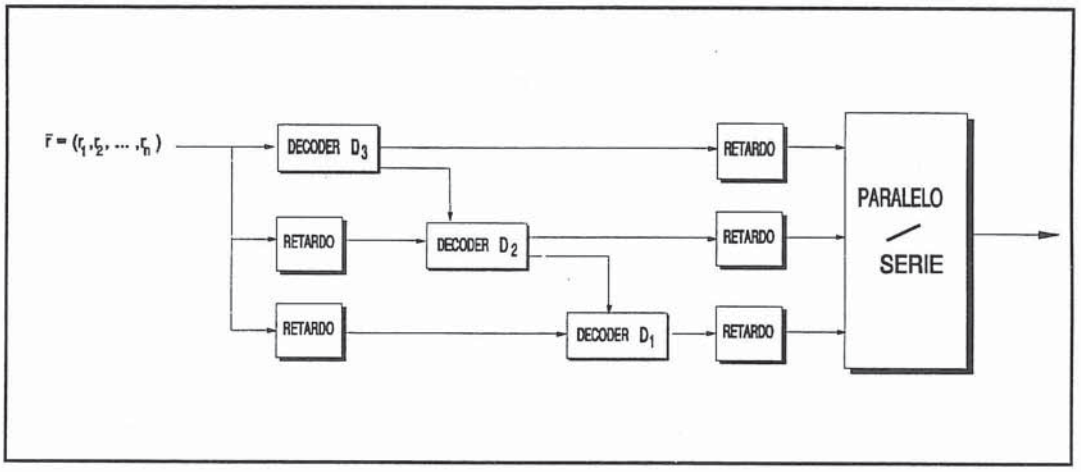


Figura 3.- Staged-decoder de 3 niveles

El proceso no es óptimo pero la pérdida en ganancia es mínima y a cambio reduce considerablemente el número de operaciones con respecto al óptimo (ML); además el paralelismo es aplicable consiguiendo tiempos de decodificación pequeños con poca complejidad en el sistema.

3.- Modelo de simulación digital

Tras elegir como esquema de modulación el 8-PSK se ha realizado un estudio comparando diferentes valores de n (número de bits por palabra código) y de códigos componentes dando como resultado óptimo:

- Esquema de modulación: 8-PSK
- Longitud de las palabras código: n=7
- Códigos: C1=(7,7,1) sin codificar
  C2=(7,6,2) paridad
  C3=(7,1,7) repetición
- Tasa global: r=2/3

En la figura 5 se tiene el diagrama de bloques de este esquema BCM 14-dimensional.

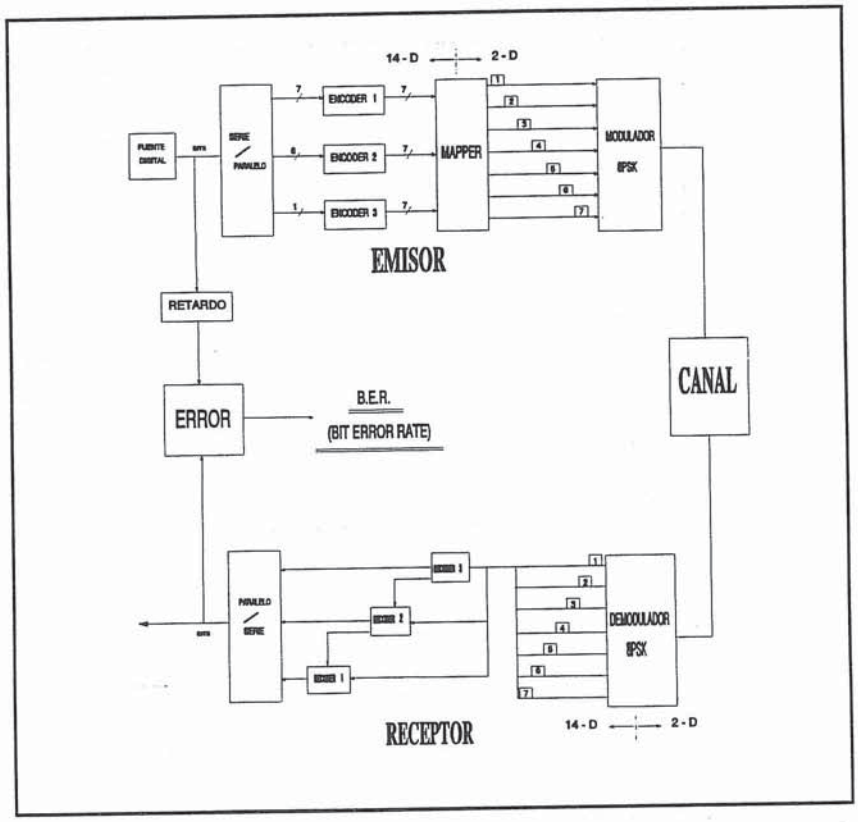


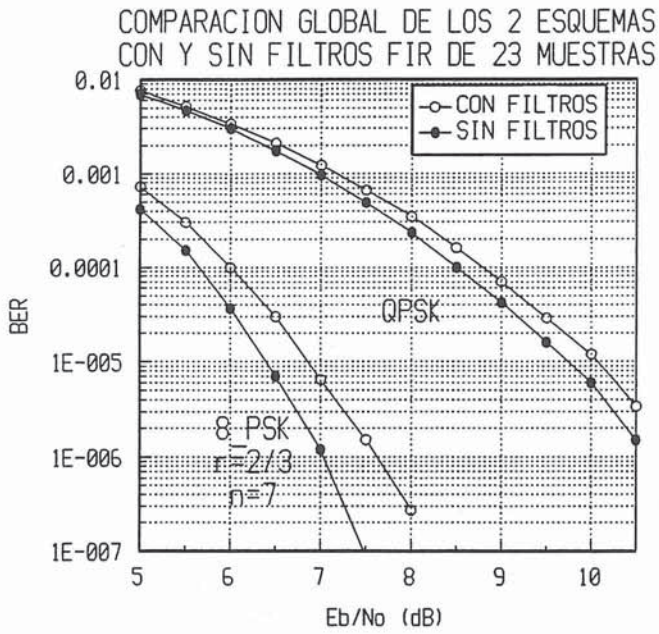
Figura 4.- Esquema BCM 8-PSK n=7 r=2/3

La simulación se hizo para 2 canales diferentes:
- Canal gaussiano ideal
- Canal limitado en frecuencia

El segundo canal provoca además de ruido el fenómeno de la interferencia intersimbólica (ISI) debido a la limitación frecuencial forzada por los filtros. Se usaron 3 tipos de filtros distintos, FIR paso bajo ideal, FIR coseno realzado e IIR basado en una aproximación de Butterworth de orden 2.

4.- Resultados y Conclusiones

El parámetro que mejor cuantifica este tipo de esquemas es la ganancia de código (decibelios menos de E_b/N_o que necesita el esquema de modulaciones codificadas con respecto al caso sin codificar para una determinada BER -probabilidad de error por bit-).



Para el canal gaussiano ideal (sin filtros), donde la única perturbación es debida al ruido blanco aditivo y gaussiano, la ganancia de código vale aproximadamente 3 dB (se necesita la mitad de energía para la misma probabilidad de error). Para un canal limitado frecuencialmente por 2 filtros FIR paso bajo ideal de 23 muestras (caso óptimo), cabe reseñar que las curvas están por algo por encima debido a la ISI, aumentando por tanto ligeramente la BER. En este caso la ganancia de código del esquema BCM 8-PSK n=7 r=2/3 con respecto al QPSK es también alta variando entre 2.5 y 3.25 dB para los valores de E_b/N_o aquí considerados. Mediante el uso de los otros filtros se obtuvieron valores de la ganancia del código variando entre 0 y 3 dB.

Los tiempos de simulación son ligeramente superiores comparados con el QPSK clásico lo que demuestra la gran velocidad de decodificación del nuevo esquema.

Se puede concluir que el esquema de modulaciones codificadas BCM multidimensional, obtiene mejoras en la probabilidad de error, sin incrementar el ancho de banda de la señal y únicamente a costa de un ligero aumento en los tiempos de simulación y en la complejidad con respecto al esquema bidimensional equivalente sin codificar.

Referencias:

[1] H. Imai, S. Hirakawa, "A new multilevel coding method using error correcting codes", IEEE Trans. on Information Theory, vol. IT-23, N°3, pp.371-377, Mayo 1977.

[2] E. Biglieri, M. Elia, "Multidimensional modulation and coding for band-limited digital channels", IEEE Trans. on Information Theory, vol.34, N°4, pp.803-809, Julio 1988.

[3] E. Biglieri, "Parallel demodulation of multidimensional signals", IEEE Trans. on Communications, vol. 40, N°10, pp.1481-1587, Octubre 1992.

[4] G.D. Forney, L.F. Wei, "Multidimensional Constellations-Part I: Introduction, Figures of Merit and Generalized cross constellations", IEEE Journal.

[5] J. Marcello Ruiz, "Estudio mediante simulación digital de sistemas BCM-8PSK multidimensionales que utilizan demodulación paralela", PFC, ETSETB, págs. 1-185, Junio 1993.