

## **CAPACIDAD DE UN SISTEMA CDMA DE COMUNICACIONES MOVILES EN PRESENCIA DE CANALES DISPERSIVOS CARACTERIZADOS CON PERFILES DE RETARDO DE POTENCIA DE TIPO EXPONENCIAL.**

Pilar Diaz, Ramón Agustí (\*)  
Universidad Politécnica de Cataluña  
Departamento de Teoría de la Señal y Comunicaciones  
APDO. 30002, 08080 BARCELONA

**Abstract.**- CDMA is a digital multiple access technique in which each subscriber has his own identification code and all the transmitted signals share the same frequency band of the spectrum. This paper presents an approximative figure of the CDMA capacity and spectral efficiency in a cellular mobile environment with an exponential Power Delay Profile (PDP). Some error correction codes have been introduced in order to assess their performance in presence of ideal interleaving.

### **INTRODUCCION**

En este artículo hemos analizado las prestaciones de un sistema CDMA de comunicaciones móviles que opera en un entorno celular. En particular, hemos considerado un canal multicamino modelado con un PDP exponencial, un receptor RAKE ideal que combina coherentemente la señal en cada una de sus ramas, códigos aleatorios obtenidos a partir de largas secuencias PN, control ideal de la potencia media de cada usuario en la estación base e interferencia entre las distintas células. El esquema de modulación adoptado ha sido BPSK coherente y la introducción de codificación de canal nos ha permitido valorar las prestaciones de ciertos códigos en presencia de un entrelazado ideal de la información.

### **ANALISIS DEL SISTEMA CDMA CON ESQUEMA BPSK-MRC**

Con objeto de analizar el comportamiento del sistema, hemos utilizado un modelo exponencial de PDP para el canal multicamino, acorde con un entorno móvil real: donde  $D_s$  es el valor r.m.s del delay spread.

(\*) Este trabajo ha sido financiado por ALCATEL SESA.

Para un esquema de modulación BPSK y un usuario en particular, denominado usuario 1, a la salida de un receptor RAKE [1] dispondremos de la variable de decisión

$$S^1 = \sum_{n=1}^M \sqrt{2ST_b} |\alpha_n^1|^2$$

donde M es la diversidad multicamino del receptor (ramas del RAKE), S la potencia transmitida,  $T_b$  el período de bit y  $\alpha_n^1$  la variable aleatoria Rayleigh que representa la ganancia del camino n correspondiente al usuario.

$$p(t) = \frac{1}{D_s} \exp\left(-\frac{t}{D_s}\right)$$

La variable de decisión se ve afectada por un término interferente debido al resto de usuarios. Para K usuarios accediendo simultáneamente al sistema, la señal interferente a la entrada del receptor es de la forma

$$y(t) = \sum_{m=1}^K \sum_{j=1}^L \alpha_j^m (t - t_o^m) u_m(t - \frac{j}{W} - t_o^m)$$

donde

$$u_m(t) = \sqrt{2SP_m(t)} d_m(t) e^{j\theta_m}$$

con  $P_m(t)$  y  $d_m(t)$ , la secuencia PN y la secuencia de datos asociadas al usuario m, respectivamente y L el número de caminos de propagación que llegan al receptor.

Para el modelo de canal utilizado, el número de caminos resolubles en el receptor es igual a  $\text{INT}(4ND_{sn})$  siendo N el período de la secuencia PN y  $D_{sn}$  el delay spread del canal normalizado al período de bit. La energía recibida por el resto de caminos de propagación es despreciable.

La probabilidad de error para un esquema de modulación BPSK se puede demostrar entonces que vale:

$$P_b = \frac{1}{2} \sum_{n=1}^M \pi_k \left(1 - \sqrt{\frac{\bar{\gamma}_k}{1 + \bar{\gamma}_k}}\right)$$

donde

$$\bar{\gamma}_k = \frac{|\alpha_n|^2}{\frac{2\rho K}{3N} \sum_{j=1}^L |\alpha_j|^2}; \quad \pi_k = \prod_{\substack{i=1 \\ i \neq k}}^M \frac{\bar{\gamma}_k}{\bar{\gamma}_k - \bar{\gamma}_i}; \quad |\alpha_j|^2 = \rho(jT_c)$$

siendo  $T_c$  la duración de cada uno de los elementos que conforma la secuencia PN ("chip") y  $\rho$  un parámetro que tiene en cuenta la interferencia provocada por células

contiguas. Su valor estimado es 1.7.

## EMPLEO DE CODIGOS CON ENTRELAZADO

La utilización de técnicas CDMA junto con codificación de canal mejora las prestaciones de un sistema sin codificación que utilice idéntico ancho de banda de transmisión. Cuando se hace uso de tales códigos, se debe proceder al cálculo de la tasa de error media a la salida del decodificador para cada uno de ellos. En este estudio hemos supuesto la utilización de una técnica de entrelazado de manera que símbolos sucesivos a la entrada del decodificador están incorrelados. A continuación se presentan los códigos empleados y las tasas o cotas de error correspondientes:

### 1. Códigos bloque [2]:

#### 1.1. Código de Hamming (7,4)

$$P_{b1} = 9p_e^2(1-p_e)^5 + 19p_e^3(1-p_e)^4$$

#### 1.2. Código BCH (15,7)

$$P_{b2} = 150p_e^3(1-p_e)^{12} + 512p_e^4(1-p_e)^{11}$$

### 2. Códigos convolucionales [3]:

#### 2.1. $r=1/2$

$$P_{b3} \leq \frac{1}{2}(36D^{10} + 211D^{12} + 1404D^{14} + 11633D^{16})$$

#### 2.2. $r=1/3$

$$P_{b4} \leq \frac{1}{2}(7D^{15} + 8D^{16} + 22D^{17} + 44D^{18})$$

donde  $P_e$  es la tasa de error del canal y  $D$  es un parámetro que de la tasa de error del canal y del tipo de decisiones con las que trabaje. En este estudio se ha considerado decisiones hard en la evaluación de  $D$ .

El parámetro utilizado para poder comparar las prestaciones ofrecidas por los códigos empleados en este estudio ha sido la eficiencia espectral entendida como el  $n^\circ$  de bits transmitidos simultáneamente por  $K$  usuarios normalizado por la banda disponible:

$$BE = \frac{K \cdot r}{N}$$

donde  $r$  es la tasa del código corrector.

## RESULTADOS Y CONCLUSIONES

En las figuras 1 y 2 se muestra la tasa de error en función del número de usuarios para un sistema sin codificación y con código convolucional  $r=1/3$ , respectivamente. Se ha considerado un valor de  $D_{sn}=0.01$ . La tabla I permite comparar la eficiencia espectral de los códigos empleados para una tasa de error de  $10^{-3}$ . Como era de esperar, se aprecia

una mejora al aumentar la diversidad multicamino, M. Asimismo, también podemos constatar una mayor eficiencia de los códigos convolucionales. En la figura 3 se muestra la tasa de error para varios canales con distintos valores de  $D_{sn}$ . Para cada uno de ellos hemos considerado una diversidad multicamino igual al número de caminos de propagación ( $M=L$ ). Los resultados obtenidos muestran como el compartamiento del sistema permanece inalterable al valor del delay spread del canal.

### REFERENCIAS

- [1] John G. Proakis, "Digital Communications", McGraw-Hill, 1989, Cap. 7.
- [2] M. Kavehrad, P. McLane, "Performance of Low-Complexity Channel Coding and Diversity for Spread Spectrum in Indoor Wireless Communications", AT&T Tech. J., Vol. 64 No. 8, Octubre 1985, pp.1927-1965
- [3] M.K.Simon, J.K.Omura, R.A.Scholtz, B.K.Levitt, "Spread Spectrum Communications", Ed. Computer Science Press, U.S.A. 1985.

M	HAMMING	BCH	$r=1/2$	$r=1/3$
1	-	-	-	0.07
2	0.03	0.06	0.11	0.15
4	0.11	0.12	0.15	0.21

Tabla I. Eficiencia espectral para modelo exponencial del PDP.

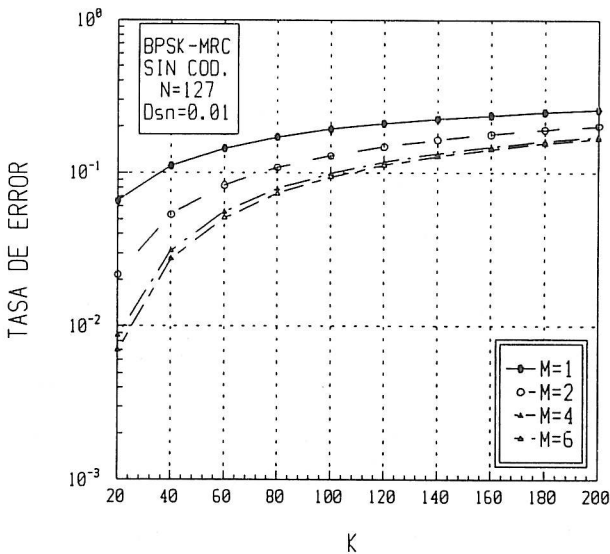
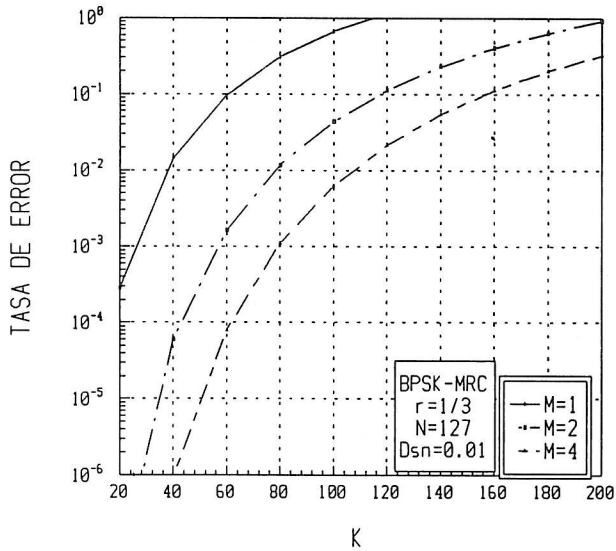
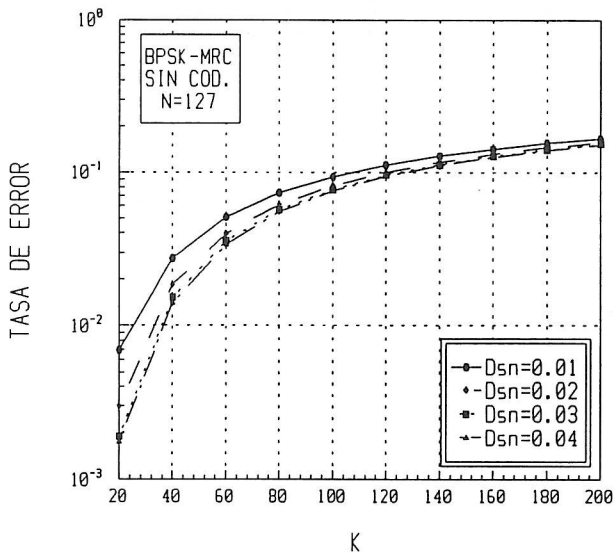


Figura 1. Tasa de error de un sistema sin codificación en función del número de usuarios.



**Figura 2.** Tasa de error de un sistema con código convolucional ( $r=1/3$ ) en función del número de usuarios.



**Figura 3.** Tasa de error en función del número de usuarios para un receptor RAKE con  $M=L$ .