

# MÉTODO CIEGO DE ECUALIZACIÓN Y DETECCIÓN MULTIUSUARIO CONJUNTA PARA SISTEMAS DS-CDMA EN CANALES LARGOS

Joan Claudi Socoró, José Antonio Morán,  
Xavier Sevillano, Rosa Maria Alsina

Departamento de Comunicaciones  
y Teoría de la Señal  
Escuela de Ingeniería Técnica y Superior de  
Telecomunicaciones La Salle  
Universidad Ramon Llull  
jclaudi@salleURL.edu

Francesc Tarrés

Departamento de Teoría de la Señal y  
Comunicaciones  
Universidad Politécnica de Cataluña  
(UPC)

tarres@gps.tsc.upc.es

## ABSTRACT

Multiuser detection is a key problem in order to improve the performance of DS-CDMA systems [1] [2]. Multipath channels reduces the maximum number of users as long as the channel duration increases. In this paper we present a blind joint channel and data estimation algorithm conceived for long multipath and slow time varying channels as the ionosphere is. Simulation results and real tests in a point to point HF link [4] shows its good performance for this kind of channels.

## 1. INTRODUCCIÓN

La detección multiusuario en canales con multicamino es un problema aún candente. Ciertas contribuciones en la literatura han llegado a soluciones en las que se mejoran las prestaciones respecto a los detectores convencionales, pero siempre trabajando en condiciones de canales de longitud menores que la duración del bit o de la secuencia PN [1]. La principal limitación aparece cuando entornos con multicamino muy dispersivo (mayor que la duración del bit) provoca una interferencia intersimbólica o ISI que sesga el correcto funcionamiento de los detectores.

Éste trabajo se ha desarrollado en un enlace de comunicaciones unidireccional entre Huelva y Barcelona con propagación ionosférica explicado en [4], y subvencionado por el gobierno español con el proyecto CICYT TIC97-0787-C02-01. Dada la gran selectividad del canal (ancho de banda de coherencia de 1K Hz), se investiga la posibilidad de aumentar la tasa de información por medio de la multiplexación por código.

## 2. MODELO DE CANAL

En un escenario con transmisión DS-CDMA síncrona, M usuarios, factor de ensanchamiento N, un canal con tiempo de dispersión  $L = (N_s - 1)N + 1$  chips (o  $N_s$  bits), se puede llegar a las siguientes expresiones equivalentes para un vector formado por un bloque de N muestras de la señal paso bajo equivalente recibida  $r(k)$  y muestreada a frecuencia de chip:

$$\mathbf{r}(n) = \sum_{k=0}^{N_s-1} \mathbf{F}_k \mathbf{I}_k(n) + \mathbf{v}(n) = \sum_{k=0}^{N_s-1} \mathbf{R}_k(n) \mathbf{h}_k + \mathbf{v}(n) \quad (1)$$

donde  $\mathbf{r}(n) = [r(nN), r(nN-1), \dots, r((n-1)N+1)]^T$ ,

$$\mathbf{F}_k = (\mathbf{f}_k^1, \mathbf{f}_k^2, \dots, \mathbf{f}_k^M), \quad \mathbf{f}_k^i = \begin{cases} \mathbf{S}_2^i \mathbf{h}_0 & k=0 \\ \mathbf{S}_1^i \mathbf{h}_{(k-1)} + \mathbf{S}_2^i \mathbf{h}_k & 1 \leq k \leq N_s - 1 \end{cases}$$

$$\mathbf{S}_1^i = \begin{pmatrix} 0 & s_{N-1}^i & s_{N-2}^i & \dots & s_1^i \\ 0 & 0 & s_{N-1}^i & \dots & s_2^i \\ \vdots & & \ddots & \ddots & \vdots \\ 0 & \dots & & s_{N-1}^i & 0 \end{pmatrix} \quad \mathbf{S}_2^i = \begin{pmatrix} s_0^i & 0 & \dots & 0 \\ s_1^i & s_0^i & \ddots & \vdots \\ \vdots & & \ddots & 0 \\ s_{N-1}^i & s_{N-2}^i & \dots & s_0^i \end{pmatrix}$$

son matrices de  $N \times N$ , siendo  $\{s_0^i, s_1^i, \dots, s_{N-1}^i\}$  la secuencia

del usuario  $i$ ;  $\mathbf{I}_k(n) = [I_{(n-k)}^1, I_{(n-k)}^2, \dots, I_{(n-k)}^M]^T$  es un vector

de M filas, donde  $I_n^i$  es la secuencia de información binaria

$\in \{-1, +1\}$  del usuario  $i$ ;  $\mathbf{h}_k = [h(kN), h(kN+1), \dots, h((k+1)N-1)]^T$

es un vector de N muestras de la respuesta impulsional del canal;

$$\mathbf{R}_k(n) = \begin{cases} \sum_{i=1}^M (I_{(n-k-1)}^i \mathbf{S}_1^i + I_{(n-k)}^i \mathbf{S}_2^i) & 0 \leq k \leq N_s - 2 \\ \sum_{i=1}^M I_{(n-N_s+1)}^i \mathbf{S}_2^i & k = N_s - 1 \end{cases}; \quad \mathbf{v}(n) \text{ es un}$$

vector que modela el ruido e interferencias dentro del bloque  $n$ .

## 3. ALGORITMO CIEGO CON IDENTIFICACIÓN DE CANAL Y DETECCIÓN MULTIUSUARIO

Partiendo de la ecuación anterior se ha aplicado un algoritmo de detección multiusuario por mínimos cuadrados conjuntamente con un estimador de canal MSE para realizar un proceso ciego de demodulación, sin necesidad de ningún tipo de sincronismo. Se detalla todo el proceso a continuación.

### 3.1. Detección multiusuario

Suponiendo que el canal no varía significativamente en un período de bit, y que se disponen tanto de estimaciones previas de los *vectores de canal*  $\hat{\mathbf{h}}_k$  como de los anteriores vectores de símbolos  $\hat{\mathbf{I}}_k(n)$  para  $1 \leq k \leq N_s - 1$ , se ha aplicado un detector lineal basado en mínimos cuadrados al *vector libre* de ISI:

$$\mathbf{q}(n) = \mathbf{r}(n) - \sum_{k=1}^{N_s-1} \hat{\mathbf{F}}_k \hat{\mathbf{I}}_k(n) \approx \mathbf{F}_0 \mathbf{I}_0(n) + \mathbf{v}(n) \quad (2)$$

donde la aproximación se hace suponiendo que las estimaciones tanto de canal como de símbolos anteriores son exactas.

El detector se basa en encontrar la solución del vector  $\mathbf{b}(n)$  que minimiza el siguiente error de aproximación:

$$\mathcal{E}_{LS} = \left\| \mathbf{q}(n) - \hat{\mathbf{F}}_0 \mathbf{b}(n) \right\|_2^2 \quad (3)$$

La solución nos la da matriz *pseudoinversa* dado que se trata de un sistema sobredeterminado ( $N > M$  en general):

$$\mathbf{b}(n) = \left( \mathbf{F}_0^H \mathbf{F}_0 \right)^{-1} \mathbf{F}_0^H \mathbf{q}(n) \quad (4)$$

El proceso de detección se completa aplicando la función signo a la parte real del vector  $\mathbf{b}(n)$ :

$$\hat{\mathbf{I}}_0(n) = \text{sgn} \{ \Re \{ \mathbf{b}(n) \} \} \quad (5)$$

### 3.2. Estimación de canal

Una vez estimado el nuevo vector de símbolos  $\hat{\mathbf{I}}_0(n)$ , se pueden actualizar las estimaciones de los vectores de canal  $\hat{\mathbf{h}}_k$  aplicando el criterio de mínimo error cuadrático medio (MSE) del error de reconstrucción  $\mathcal{E}_{MSE}(\hat{\mathbf{h}}_k) \hat{=} E \left\| \mathbf{r}(n) - \hat{\mathbf{r}}(n) \right\|_2^2$ , donde  $\hat{\mathbf{r}}(n)$  se define como el modelo de la ecuación (1) pero sin el término de ruido e interferencias y substituyendo tanto  $\mathbf{I}_k(n)$ ,  $\mathbf{R}_k(n)$  como  $\mathbf{h}_k$  por estimaciones de la anterior iteración. La ecuación de actualización de los vectores de canal según la aproximación LMS del gradiente es la siguiente:

$$\begin{aligned} \hat{\mathbf{h}}_k(n) &= \hat{\mathbf{h}}_k(n-1) + \mu \hat{\mathbf{R}}_k^H(n) \mathbf{e}(n) \\ \mathbf{e}(n) &= \mathbf{r}(n) - \hat{\mathbf{r}}(n) = \mathbf{r}(n) - \sum_{k=0}^{N_s-1} \hat{\mathbf{R}}_k(n) \hat{\mathbf{h}}_k(n-1) \end{aligned} \quad (6)$$

## 4. RESULTADOS

A continuación se muestran los resultados de simulaciones con un canal selectivo en frecuencia y con desvanecimientos lentos de tipo Rayleigh. Los parámetros del canal han sido obtenidos en la campaña de [3] en el enlace ionosférico de [4]. El factor de ensanchamiento es  $N = 31$ ,  $M = 10$  usuarios (todos con la misma potencia), y secuencias pseudoaleatorias Gold. La tasa de bits es de  $R_b = 3000$  b/s. El canal está formado por dos rebotes con tiempos de dispersión de 0.2 y 0.9 ms. respectivamente y retardo relativo entre máximos es de 1 ms, con lo que la interferencia intersimbólica es de 5 símbolos. El ancho de banda Doppler total es de 1.5 Hz. Los parámetros del receptor son  $\mu = 10^{-4}$  y  $N_s = 5$

aprovechando así toda la diversidad temporal del canal. En la figura 1 se muestra la probabilidad de error obtenida para diferentes  $E_b/N_0$  de 1 usuario. Como se puede comprobar los resultados son muy satisfactorios. Además, el procedimiento posibilita la estimación de la relación señal-ruido instantánea, lo que permitiría optimizar el parámetro  $\mu$ .

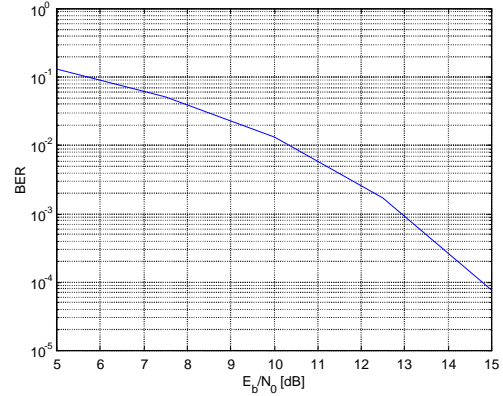


Figura 1. BER v.s.  $E_b/N_0$ , obtenida en una simulación con 10 usuarios,  $N = 31$ , y canal ionosférico.

## 5. CONCLUSIONES

Se ha presentado una técnica ciega que combina la detección multiusuario con la estimación y equalización de canal. Los resultados presentados, así como resultados de transmisiones reales en el enlace ionosférico de [4] demuestran la validez y utilidad de la técnica presentada para sistema DS-SS en canales con multicamino muy severo, y su superioridad frente a la técnica presentada en [5]. En el futuro se tratará de simplificar el proceso de detección con otras filosofías con menor coste computacional (por ejemplo, detección lineal MOE).

## 6. REFERENCIAS

- [1] Pijoan, J.LI. "Nou detectors multiusuari i estimadors de canal cecs per a sistemes DS-SS amb rebot ionosfèric", Tesis doctoral, Esc. de Ing. La Salle, Barcelona., Mar. 2000.
- [2] Fan, H.H., "Linear prediction approach for joint blind equalization and blind multiuser detection in CDMA systems", Trans. On Signal Processing, Vol. 48, Nov. 2000.
- [3] J.C. Socoró, J.A. Moran, J.L.Pijoan, C. Vilella, J.R. Regué. *Ionospheric Sounding for a DS-SS HF Radio-Link*. COST-262. Workshop on Spread Spect. Tech. for Wired and Wireless Syst., Nov 1999, Barcelona.
- [4] Regué, J.R., Vilella, C., Pijoan, J.LI., Moran, J.A., Socoró, J.C., "Enlace ionosférico de comunicaciones con espectro ensanchado INTA-La Salle", URSI 2000, Santiago de Compostela, 2000.
- [5] Socoró, J.C., Tarrés, F., Moran, J.A., Pijoan, J.LI., "New receivers for DS-SS in time variant multipath channels based on the PN alignment concept", Proc. of Sixth Int. Symp. on Spread Spec. Tech. and Appl., New Jersey, USA, pp. 647-651, Sept. 2000.