

Máster y Doctorado en Tecnologías de la Información y
Comunicaciones en Redes Móviles

Codificación espacio-temporal en canales selectivos en frecuencia

I. Santamaría

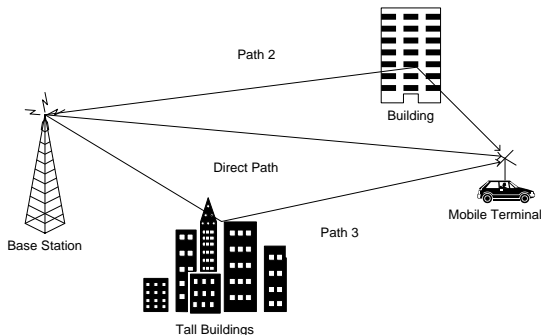


Indice

- 1 Canales selectivos en frecuencia
- 2 Códigos STBC con OFDM
- 3 Time-reversal
- 4 Conclusiones

Desvanecimiento multirrayecto

- Los canales multirrayecto (*multipath*) surgen cuando la señal llega al receptor a través de varios caminos de propagación.



- El resultado es un canal cuya función de transferencia es: $\mathbf{H}(z) = \sum_{l=0}^L \mathbf{H}_l z^{-l}$, siendo L el número de rayos o caminos independientes a través de los cuales llega la señal.

- El equivalente banda base del canal entre la antena receptora i -ésima y la transmisora j -ésima viene dado por

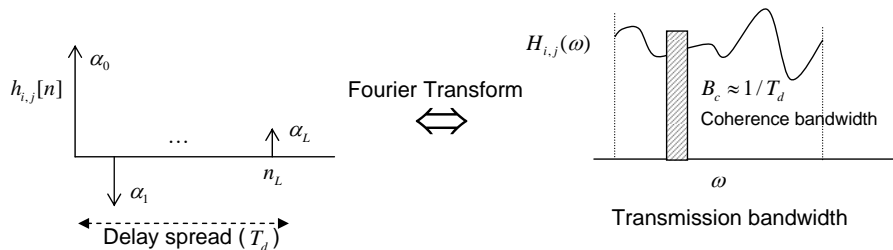
$$h_{i,j}[n] = \sum_{l=0}^L \alpha_l \delta[n - n_l].$$

- Las amplitudes α_l se modelan habitualmente como variables complejas Gaussianas (canal selectivo en frecuencia Rayleigh).
- Su varianza define el *Power Delay Profile*

$$\sigma_l^2 = E[|\alpha_l|^2],$$

un perfil habitual es el exponencial: $\sigma_l^2 = K\rho^l$.

Interferencia intersimbólica (ISI)



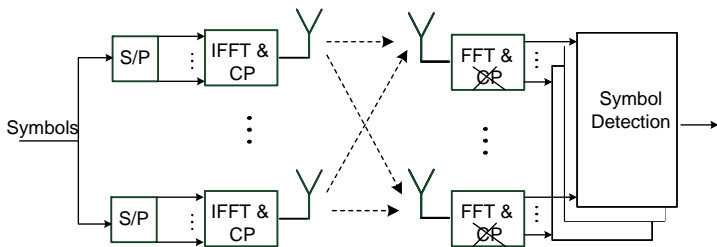
- En comunicaciones inalámbricas, el delay spread es típicamente mucho mayor que el periodo de símbolo.

ISI

El resultado de un canal selectivo en frecuencia es interferencia intersimbólica (ISI).

Single-carrier vs. Multicarrier

- En sistemas single-carrier, la ISI se combate mediante un igualador (en Rx) y/o un precodificador (en Tx).
- Otra alternativa es emplear una modulación OFDM



que transforma el canal selectivo en frecuencia en N_c (número de portadoras) canales *flat fading* \mathbf{H}_k .

Indice

- 1 Canales selectivos en frecuencia
- 2 Códigos STBC con OFDM**
- 3 Time-reversal
- 4 Conclusiones

Codificación STBC en sistemas OFDM

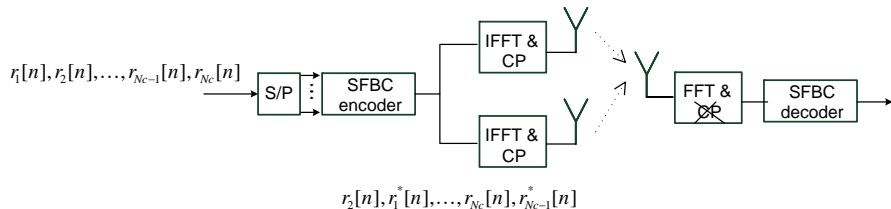
Tomemos como ejemplo el caso del Alamouti: ¿Cómo podemos aplicar codificación espacio-temporal en un sistema MIMO-OFDM?

- 1 Aplicamos la codificación Alamouti a dos portadoras consecutivas: Dos portadoras consecutivas pasan a jugar el papel de dos slots temporales → **Space-Frequency Block Coding (SFBC)**.
- 2 Aplicamos la codificación de Alamouti a dos símbolos OFDM consecutivos: cada portadora es un canal flat fading y, sobre él, se emplea Alamouti de la manera convencional → **STBC-OFDM**.

SFBC

El esquema de codificación es el siguiente:

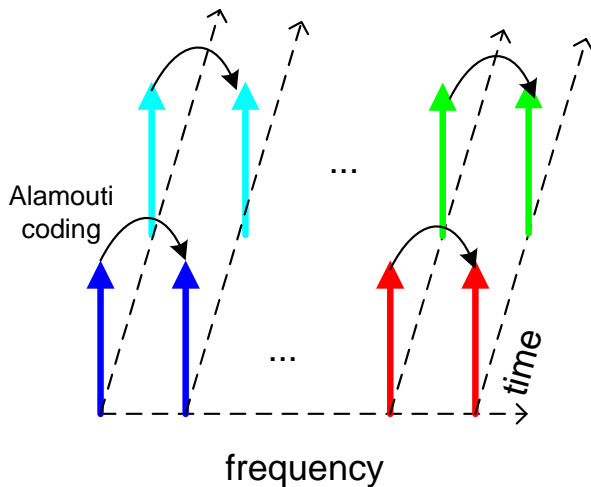
$$r_1[n], -r_2^*[n], \dots, r_{N_c-1}[n], -r_{N_c}^*[n]$$



- Para hacer la decodificación SFBC hay que asumir que el canal de dos portadoras consecutivas es idéntico.
- Si el canal es muy selectivo en frecuencia puede no cumplirse \rightarrow se pierde la ortogonalidad.

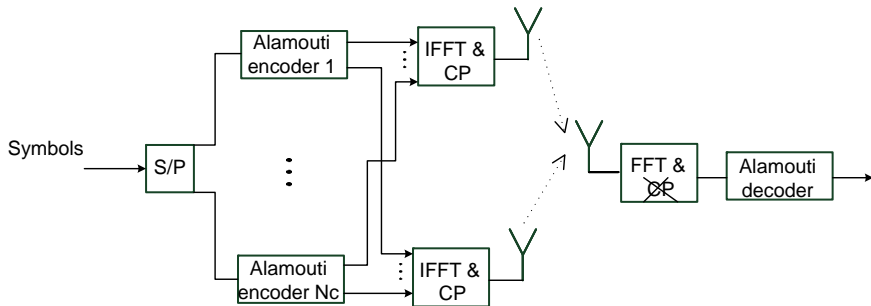
SFBC

De manera gráfica



STBC-OFDM

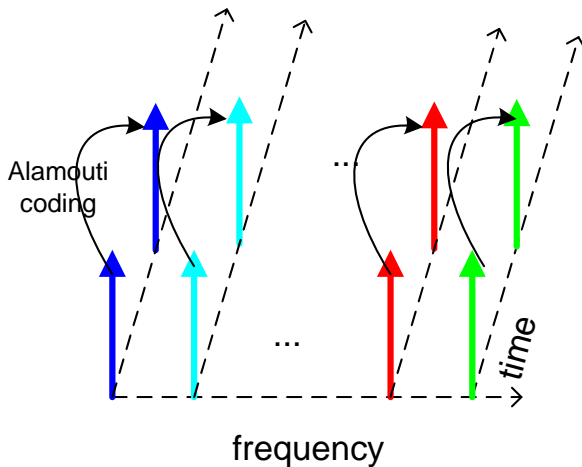
El esquema de codificación es el siguiente:



- Para hacer la decodificación hay que asumir que el canal permanece estático durante dos símbolos OFDM.
- Para canales con tiempos de coherencia pequeños puede no cumplirse → se pierde la ortogonalidad.

STBC-OFDM

De manera gráfica



Diversidad espacial y frecuencial

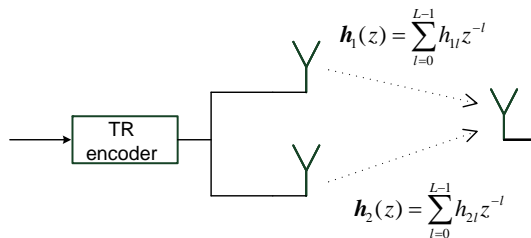
- Tal como han sido descritos, los sistemas SFBC y STBC-OFDM no conseguirían extraer la diversidad frecuencial.
- Para aprovechar la diversidad frecuencial es necesario que todos los símbolos sean transmitidos por todas las portadoras.
- Lo anterior se puede conseguir mediante un bloque de precodificación que mezcle los símbolos de manera óptima.
 - Si el precodificador elegido es la DFT, entonces tenemos un sistema SC-FDE (*single-carrier frequency domain equalization*).
- También se puede extraer la diversidad frecuencial, al menos en parte, empleando un codificador de canal y un entrelazador (*interleaver*).

Indice

- 1 Canales selectivos en frecuencia
- 2 Códigos STBC con OFDM
- 3 Time-reversal**
- 4 Conclusiones

Time-reversal

- En sistemas single-carrier con canales selectivos en frecuencia es posible también aplicar codificación STBC mediante el sistema denominado *time-reversal* [Lindskog and Paulraj, ICC 2000].
- La idea es aplicar la codificación STBC a secuencias de símbolos.
- Consideremos un sistema 2×1 con canales selectivos en frecuencia $\mathbf{h}_1(z)$ y $\mathbf{h}_2(z)$



En el primer uso de antena transmitimos un bloque de N símbolos de por cada una de las antenas

$$\text{Antena Tx1 : } \mathbf{r}_1 = [r_1[1], \dots, r_1[N]],$$

$$\text{Antena Tx2 : } \mathbf{r}_2 = [r_2[1], \dots, r_2[N]].$$

La señal en la antena receptora se puede escribir como (asumimos una transmisión bloque con prefijo cíclico o zero padding de tal manera que no existe ISI entre bloques de datos):

$$\mathbf{y}_1 = \begin{bmatrix} y_1[1] \\ \vdots \\ y_1[N] \end{bmatrix} = \mathbf{H}_1 \mathbf{r}_1 + \mathbf{H}_2 \mathbf{r}_2 + \mathbf{n}_1$$

donde la matriz $N \times N$ de filtrado de canal \mathbf{H}_i , $i = 1, 2$ viene dada por

$$\mathbf{H}_i = \begin{bmatrix} h_{1,0} & 0 & 0 & \vdots \\ h_{1,1} & h_{1,0} & 0 & \vdots \\ \vdots & \vdots & h_{1,0} & \vdots \\ h_{1,L} & h_{1,L-1} & \vdots & \vdots \\ 0 & h_{1,L} & \vdots & \vdots \\ \vdots & 0 & \vdots & \vdots \end{bmatrix}$$

en el segundo uso de antena se transmiten versiones abatidas (time-reversal) y conjugadas

$$\text{Antena Tx1 : } -\tilde{\mathbf{r}}_2^* = [-r_2^*[N], \dots, -r_2^*[1]],$$

$$\text{Antena Tx2 : } \tilde{\mathbf{r}}_1^* = [r_1^*[N], \dots, r_1^*[1]].$$

Y la señal recibida ahora es:

$$\mathbf{y}_2 = \begin{bmatrix} y_1[1] \\ \vdots \\ y_1[N] \end{bmatrix} = -\mathbf{H}_1 \tilde{\mathbf{r}}_2^* + \mathbf{H}_2 \tilde{\mathbf{r}}_1^* + \mathbf{n}_2$$

Conjugando y haciendo time-reversal sobre y_2 , se obtiene

$$\tilde{\mathbf{y}}_2^* = \begin{bmatrix} y_2^*[N] \\ \vdots \\ y_2^*[1] \end{bmatrix} = -\tilde{\mathbf{H}}_1^* \mathbf{r}_2 + \tilde{\mathbf{H}}_2^* \mathbf{r}_1 + \mathbf{n}_2$$

donde $\tilde{\mathbf{H}}_i^*$ representa la matrix de filtrado con el canal abatido y conjugado, i.e.,

$$\tilde{\mathbf{H}}_i^* = \begin{bmatrix} \vdots & 0 & 0 & \vdots \\ 0 & h_{1,L}^* & \vdots & \vdots \\ h_{1,L}^* & h_{1,L-1}^* & h_{1,0}^* & \vdots \\ \vdots & \vdots & 0 & \vdots \\ h_{1,1}^* & h_{1,0}^* & \vdots & \vdots \\ h_{1,0}^* & 0 & 0 & \vdots \end{bmatrix}$$

Agrupando \mathbf{y}_1 e $\tilde{\mathbf{y}}_2^*$, se obtiene la ecuación matricial

$$\begin{bmatrix} \mathbf{y}_1 \\ \tilde{\mathbf{y}}_2^* \end{bmatrix} = \underbrace{\begin{bmatrix} \mathbf{H}_1 & \mathbf{H}_2 \\ \tilde{\mathbf{H}}_2^* & -\tilde{\mathbf{H}}_1^* \end{bmatrix}}_{\mathbf{H}_{eq}} + \begin{bmatrix} \mathbf{n}_1 \\ \mathbf{n}_2 \end{bmatrix}.$$

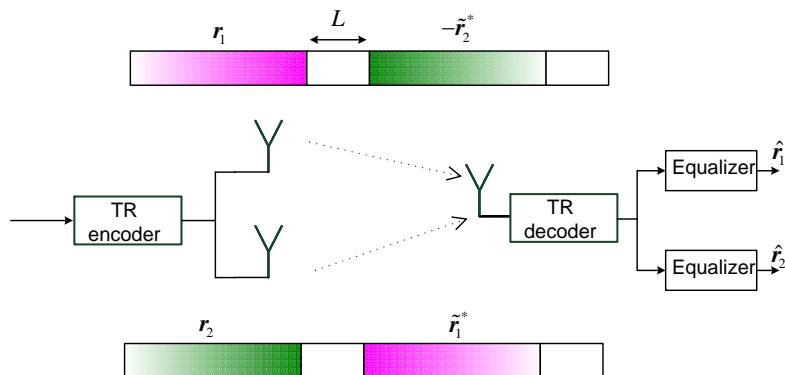
Premultiplicando por \mathbf{H}_{eq}^H (filtro adaptado), se puede comprobar que

$$\mathbf{H}_{eq}^H \mathbf{H}_{eq} = \begin{bmatrix} \mathbf{G} & 0_{N \times N} \\ 0_{N \times N} & \mathbf{G} \end{bmatrix}$$

donde \mathbf{G} es la matriz de filtrado correspondiente al filtro $\mathbf{g}(z) = \mathbf{h}_1(z)\mathbf{h}_1^*(z^{-1}) + \mathbf{h}_2(z)\mathbf{h}_2^*(z^{-1})$.

De esta manera se consigue desacoplar los dos bloques de datos, pero cada uno de ellos con ISI provocada por el filtro $\mathbf{g}(z)$.

Resumen



¡ Con esta técnica sí es posible extraer la diversidad
frecuencial !

Indice

- 1 Canales selectivos en frecuencia
- 2 Códigos STBC con OFDM
- 3 Time-reversal
- 4 Conclusiones**

Conclusiones

- Tres alternativas para emplear STBCs en canales selectivos en frecuencia
 - 1 OFDM + STBC sobre grupos de portadoras consecutivas: SFBC.
 - 2 OFDM + STBC sobre símbolos OFDM consecutivos: STBC-OFDM.
 - 3 Single carrier + time reversal.