

MODULACIONES MULTIPULSO - ESPECTRO ENSANCHADO

COMUNICACIONES DIGITALES

PRÁCTICA 2

Objetivos

En esta primera sesión de la práctica el alumno aprenderá a:

- Simular un sistema de comunicaciones con una modulación de espectro ensanchado por secuencia directa.
- Analizar las características de las secuencias de ensanchado y relacionarlas con las prestaciones obtenidas en sistemas de un único usuario y de sistemas multi-usuario.

Introducción

Una modulación de espectro ensanchado por secuencia directa, con un factor de ensanchado N , es una modulación PAM en la que el filtro transmisor se obtiene mediante la combinación lineal de N pulsos diseñados a tiempo de chip T_c (que se define como tiempo de símbolo T dividido entre el factor de ensanchado N , $T_c = T/N$)

$$g(t) = \sum_{m=0}^{N-1} x[m] g_c(t - mT_c).$$

Los coeficientes de la combinación lineal se agrupan en la denominada secuencia de ensanchado, $x[m]$. Habitualmente, el filtro a tiempo de chip es un filtro en raíz de coseno alzado a tiempo de chip

$$g_c(t) = h_{RRC}^{\alpha, T_c}(t).$$

Una de las características de esta modulación es que la transmisión de la secuencia de símbolos a tiempo de símbolo $A[n]$ mediante el filtro transmisor $g(t)$

$$s(t) = \sum_n A[n] g(t - nT),$$

es equivalente a la transmisión a tiempo de chip de una secuencia de muestras $x[m]$ con el filtro transmisor a tiempo de chip

$$s(t) = \sum_m s[m] g_c(t - mT_c),$$

donde las muestras a tiempo de chip son

$$s[m] = \tilde{x}[m] \sum_n A[n] w_N[m - nN].$$

Estas muestras se obtienen por bloques de tamaño N

$$s[m] = \sum_n s^{(n)}[m - nM], \text{ con } s^{(n)}[m], \text{ y } m \in \{0, 1, \dots, N - 1\}.$$

Cada bloque se obtiene de forma muy sencilla

$$s^{(n)}[m] = A[n] x[m],$$

es decir, que la secuencia $s[m]$ se obtendría mediante el producto de Kronecker entre la secuencia de símbolos y la secuencia de ensanchado

$$s[m] = A[n] \otimes x[m].$$

Para la generación de las mismas puede ser de utilidad de función de MATLAB `kron`, que implementa este producto.

En el receptor hay una equivalencia similar. Las observaciones $q[n]$ a tiempo de símbolo se pueden obtener muestreando a tiempo de símbolo la salida del filtro adaptado al filtro transmisor a tiempo de símbolo

$$q[n] = (r(t) * g^*(-t)) \Big|_{t=nT}.$$

Pero la misma observación puede obtenerse procesando las muestras a tiempo de chip de la salida del filtro adaptado al filtro transmisor a tiempo de chip

$$v[m] = (r(t) * g_c(-t)) \Big|_{t=mT_c},$$

mediante

$$q[n] = \sum_{m=0}^{N-1} x^*[m] v[nN + m] = \sum_{m=0}^{N-1} x^*[m] v^{(n)}[m].$$

La equivalencia de los dos sistemas se muestra en la Figura 1.

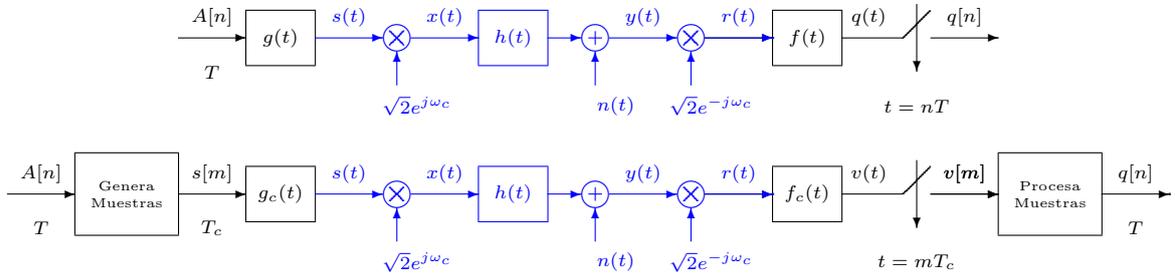


Figura 1: Equivalencia entre las transmisiones a tiempo de símbolo y a tiempo de chip en una modulación de espectro ensanchado por secuencia directa.

Debido a esta equivalencia, en esta modulación se definen dos canales discretos equivalentes, uno a tiempo de símbolo y otro a tiempo de chip. A tiempo de símbolo

$$p[n] = p(t) \Big|_{t=nT} = p(nT), \text{ con } p(t) = g(t) * h_{eq}(t) * f(t) = r_g(t) * h_{eq}(t)$$

relaciona $q[n]$ con $A[n]$:

$$q[n] = A[n] * p[n] + z[n].$$

El ruido $z[n]$ es blanco, gaussiano, y con varianza σ_z^2 . A tiempo de chip

$$d[m] = d(t) \Big|_{t=mT_c} = d(mT_c), \text{ con } d(t) = g_c(t) * h_{eq}(t) * f_c(t) = r_{g_c}(t) * h_{eq}(t)$$

relaciona $v[m]$ con $s[m]$:

$$v[m] = s[m] * d[m] + z_c[m].$$

El ruido $z_c[n]$ es blanco, gaussiano, y con varianza $\sigma_{z_c}^2$. Y evidentemente ambos canales están relacionados

$$p[n] = \sum_{m=0}^{N-1} \sum_{\ell=0}^{N-1} x[m] x^*[\ell] d[nN + \ell - m]. \quad (1)$$

El fichero `DSSS_p.m` implementa una función del mismo nombre que calcula el canal discreto equivalente a tiempo de símbolo a partir del canal a tiempo de chip y de la secuencia de ensanchado empleada, mediante la expresión (1).

Una medida que cuantifica el efecto de la ISI sobre un sistema a partir de su canal discreto equivalente es el nivel de ISI, que se define como

$$\gamma_{ISI} = \frac{D_{pico}}{\eta} \geq 0,$$

donde la distorsión de pico para un retado d es

$$D_{pico} = \sum_{k \neq d} \frac{|p[k]|}{|p[d]|} \geq 0,$$

depende del canal discreto equivalente y del retardo para la decisión (d) y η , la eficiencia de la constelación, es

$$\eta = \frac{(d_{min}/2)}{|A|_{max}} \geq 0$$

donde d_{min} es mínima distancia entre símbolos de la constelación, y $|A|_{max}$ es valor máximo de $|A[n]|$ en la constelación.

1. Transmisión a tiempo de chip (1 usuario)

El fichero `DemoP2.m` simula la transmisión a tiempo de chip, sobre un canal $d[m]$ ideal, de la secuencia de datos de un usuario, $A[n]$, con una cierta secuencia de ensanchado. Este fichero puede resultar útil para la realización de los apartados de la práctica.

En este apartado se va a considerar un sistema con un factor de ensanchado $N = 11$. Tenga en cuenta que si la secuencia de ensanchado es

$$x_0[m] = 1, \quad m \in \{0, 1, \dots, 10\}, \quad (2)$$

el sistema es equivalente a un sistema convencional, sin ensanchado espectral.

Considere en adelante el siguiente canal

$$d[m] = \begin{cases} a^n, & 0 \leq n \leq 50 \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (3)$$

con $a = 9/10$.

Se va a considerar la transmisión de una constelación 4-PAM con niveles normalizados. En el fichero `sequences11.mat` hay almacenadas 3 secuencias de ensanchado de longitud 11. Llamaremos a estas secuencias $x_1[m]$, $x_2[m]$ y $x_3[m]$, respectivamente.

Debe realizar las siguientes tareas:

- Utilizando la secuencia de ensanchado $x_0[m]$ dada en (2)
 - Calcule el canal $p[n]$, y el valor de desviación de pico D_{pico} para el mismo, junto con el nivel de ISI resultante, γ_{ISI} .
 - Estime la probabilidad de error de símbolo, P_e y de bit, BER , sin ruido ($\sigma_{z_c}^2 = 0$).

- Estime la probabilidad de error de símbolo, P_e y de bit, BER , con ruido, con una varianza para el ruido a tiempo de chip $\sigma_{z_c}^2 = 1$.
- Para cada una de las secuencias de ensanchado proporcionadas en `sequences11.mat`:
 - Calcule el canal $p[n]$, y el valor de desviación de pico D_{pico} para el mismo, junto con el nivel de ISI resultante.
 - Estime la probabilidad de error de símbolo, P_e y de bit, BER , sin ruido ($\sigma_{z_c}^2 = 0$).
 - Estime la probabilidad de error de símbolo, P_e y de bit, BER , con ruido, con una varianza para el ruido a tiempo de chip $\sigma_{z_c}^2 = 1$.
 - Represente la función de correlación temporal de cada secuencia de ensanchado (puede utilizar la función `xcorr` de MATLAB).

A la vista de los resultados, relacione los resultados obtenidos con la función de correlación de cada secuencia, y explique los resultados obtenidos.

2. CDMA: Transmisión con 2 usuarios

Una de las aplicaciones de la modulación de espectro ensanchado por secuencia directa es el acceso múltiple o la multiplexación (transmisión simultánea de información de varios usuarios). En este caso se simulará la transmisión simultánea de los datos de dos usuarios, y a cada uno de ellos se les asignará una secuencia de ensanchado diferente, que se denotarán como $x_A[m]$ y $x_B[m]$.

- Con un canal ideal, y para las 3 siguientes combinaciones ($x_A[m] = x_1[m], x_B[m] = x_2[m]$), ($x_A[m] = x_1[m], x_B[m] = x_3[m]$), ($x_A[m] = x_2[m], x_B[m] = x_3[m]$):
 - Estime la probabilidad de error de símbolo, P_e y de bit, BER , sin ruido ($\sigma_{z_c}^2 = 0$).
 - Estime la probabilidad de error de símbolo, P_e y de bit, BER , con ruido, con una varianza para el ruido a tiempo de chip $\sigma_{z_c}^2 = 1$.

Relacione estos resultados con los valores de correlación de cada secuencia, y con el producto escalar entre las secuencias de ensanchado.

- Repita el apartado anterior si los dos usuarios utilizan la misma secuencia, $x_2[m]$.
- Repita el primer apartado con el canal de la ecuación (3).

Referencias

- *Comunicaciones Digitales*. A. Artés, F. Pérez González, J. Cid Sueiro, R. López Valcarce, C. Mosquera Nartallo y Fernando Pérez Cruz. Ed. Pearson Educación. 2007.
- *Communication Systems Engineering*. J.G. Proakis y M. Salehi. Prentice-Hall. 1994.