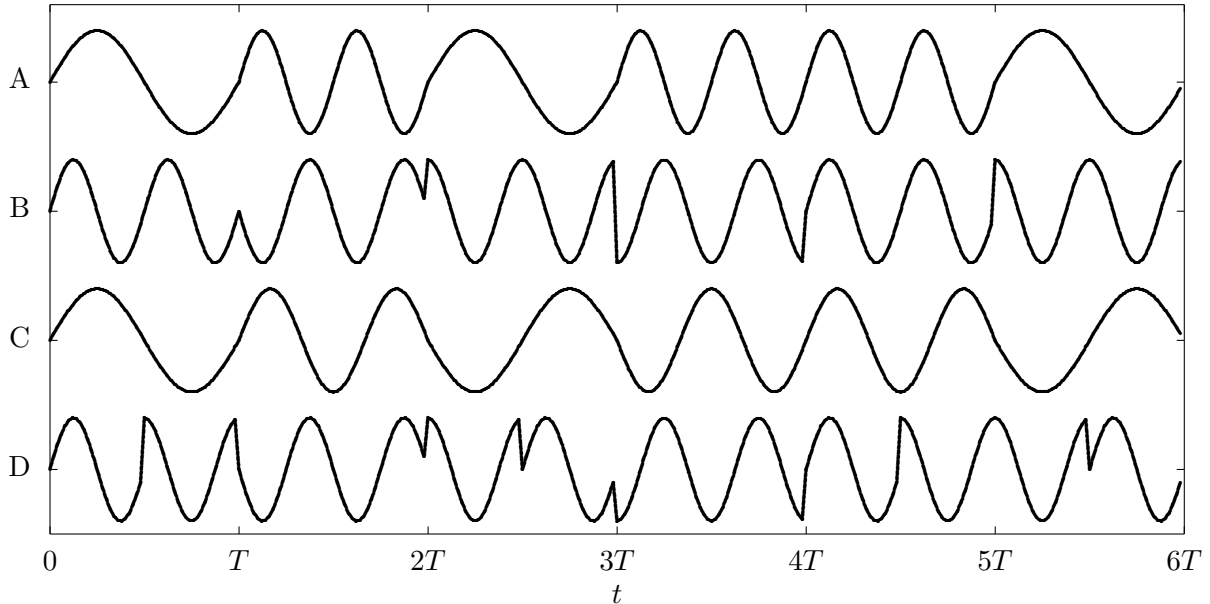


Comunicaciones Digitales - Capítulos 4 y 5 - Ejercicios

1. La siguiente figura representa la forma de onda de varias modulaciones angulares, en concreto: QPSK, OQPSK, CPFSK y MSK.



- a) Para cada forma de onda, identifique la modulación, explicando los rasgos distintivos de la misma.
- b) Para las modulaciones CPFSK y MSK, identifique la secuencia de información $I[n] \in \{\pm 1\}$ (puede asumir que $I[0] = -1$ en ambos casos).
2. Una modulación de fase continua (CPM), con índice de modulación $h = 2$, y constelación 2-PAM ($I[n] \in \{\pm 1\}$), utiliza el siguiente pulso normalizado

$$g(t) = \begin{cases} A, & 0 \leq t < \frac{T}{3} \\ A, & \frac{2T}{3} \leq t < T \\ 0, & \text{en otro caso} \end{cases}$$

- a) Determine el valor de A , explique si se trata de una modulación CPM de fase completa o de fase parcial, y explique la diferencia entre ambas.
- b) Represente el árbol de fases para esta modulación, para cuatro períodos de símbolo, etiquetando adecuadamente los ejes de la representación, y resalte sobre el árbol la fase correspondiente a la secuencia $I[0] = +1, I[1] = -1, I[2] = -1, I[3] = +1$.
3. Dos sistemas con una modulación CPM de respuesta completa e índice de modulación $h = 1$, tienen los árboles de fase que se representan en la Figura 4.1 (note que el eje de las fases está escalado por un factor π en ambos casos)

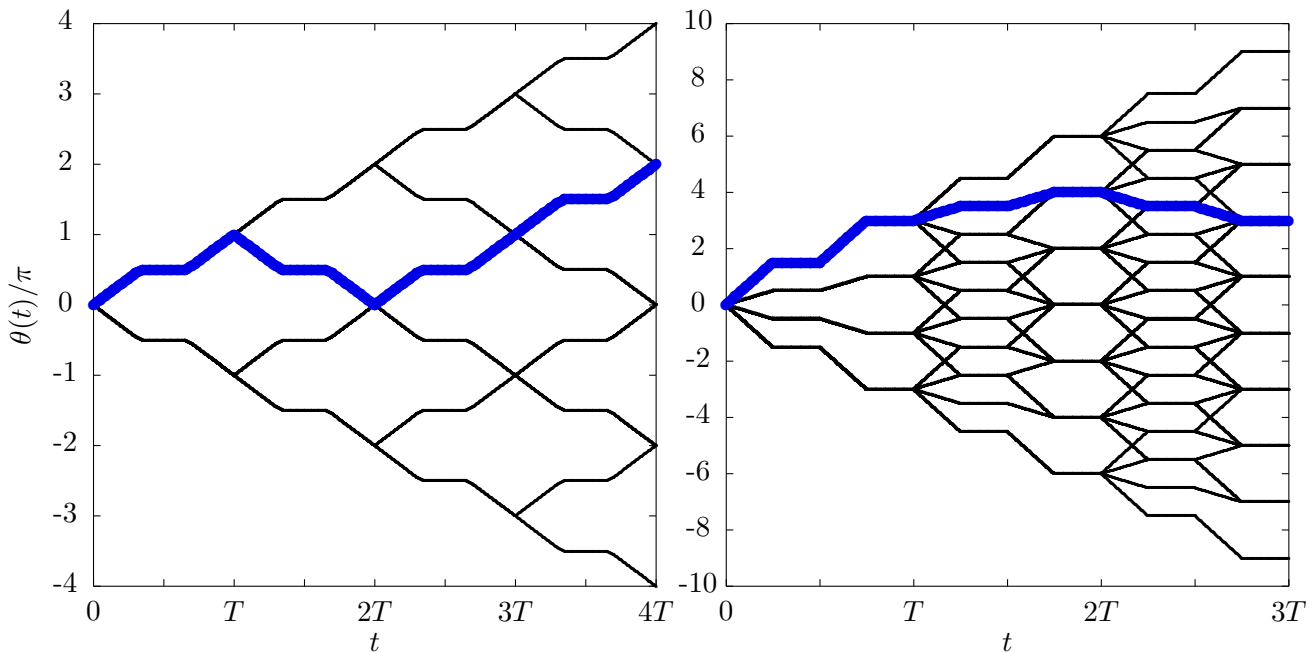


Figura 4.1: Árboles de fase para dos modulaciones CPM de respuesta completa.

a) Para el primer sistema

- i) Indique cuál es el número de posibles valores para $I[n]$ (orden de la constelación, M), y proporcione los M valores que puede tomar $I[n]$.
- ii) Represente, etiquetando apropiadamente los dos ejes, el pulso $g(t)$.
- iii) Obtenga la secuencia de símbolos $I[n]$ que corresponde al camino resaltado en el árbol de fases.

b) Repita los apartados anteriores para el segundo sistema.

4. Una modulación OFDM en tiempo discreto utiliza $N = 4$ portadoras.

- a) Si no se utiliza prefijo cíclico, ¿bajo qué condiciones no existirá ICI e ISI?
- b) Si se utiliza un prefijo cíclico de longitud $M = 2$ y el canal discreto a tiempo de muestra $m = T/(N + M)$ es $d[m] = \delta[m] + \frac{1}{3}\delta[m - 2]$, obtenga los canales discretos equivalentes $p_{k,i}[n]$ y discuta si hay ICI e ISI.

5. Considere una modulación OFDM con 4 portadoras, constelación QPSK con símbolos equiprobables y un prefijo cíclico de 2 muestras. La señal modulada atraviesa un canal discreto equivalente a periodo $T/6$ con respuesta al impulso

$$d[m] = \delta[m] - 0.6\delta[m - 1],$$

y ruido aditivo complejo, blanco y gaussiano de varianza N_0 . En el receptor se emplea un decisor de máxima verosimilitud adaptado a la constelación QPSK en el receptor.

- a) Obtenga las respuestas al impulso de cada uno de los 16 subcanales $p_{k,i}[n]$.
- b) Determine la relación señal a ruido en cada portadora.
- c) Determine la probabilidad de error media.
6. Considere un sistema de transmisión en el que se emplea un esquema de modulación OFDM en tiempo discreto con un número par de portadoras N .
- a) Suponga que no se añade extensión cíclica a los símbolos OFDM. El canal discreto equivalente en banda base a periodo T se denota como $p_{i,l}[n]$ y $d[m]$ es el canal discreto equivalente a periodo T/N .
- I) ¿Qué condiciones se han de cumplir sobre $p_{i,l}[n]$ para que no exista interferencia entre símbolos?
- II) ¿Qué condiciones se han de cumplir sobre $p_{i,l}[n]$ para que no exista interferencia entre portadoras?
- b) Si se añade una extensión cíclica a cada símbolo OFDM.
- 1) Determine la longitud de la extensión cíclica para que se elimine la interferencia, supuesto el canal $d[m]$ del apartado anterior.
- 2) Determine la pérdida, en términos de velocidad de transmisión, respecto al sistema original sin extensión cíclica.
7. Un sistema de comunicaciones utiliza una modulación de espectro ensanchado por secuencia directa con factor de ensanchado $N = 4$ y secuencia de ensanchado $x[0] = +1$, $x[1] = -1$, $x[2] = +1$ y $x[3] = -1$. El filtro transmisor a tiempo de chip, $g_c(t)$, es un filtro en raíz de coseno alzado con factor de caída $\alpha = 0.25$. El filtro receptor a tiempo de chip es un filtro adaptado al transmisor. La transmisión se realiza a través de un canal con respuesta al impulso $h(t) = \delta(t) + \frac{1}{2}\delta(t - \frac{T}{2})$, con lo que el canal discreto equivalente a tiempo de chip es $d[m] = \delta[m] + \frac{1}{2}\delta[m - 2]$.
- a) Explique cómo se generan las muestras a tiempo de chip, $s[m]$, a partir de la secuencia de símbolos $A[n]$, y de la secuencia de ensanchado $x[m]$ (puede poner el diagrama de bloques del transmisor en tiempo discreto o explicar el proceso de generación de forma detallada), y calcule los valores de $s[m]$ para $0 \leq m \leq 11$ si la secuencia de datos es $A[0] = +1$, $A[1] = -1$, $A[2] = -1$.
- b) Obtenga la secuencia de muestras a tiempo de chip, $v[m]$, a la salida del filtro receptor $g_c(-t)$ para la secuencia de datos anterior si se transmite sobre $h(t)$ (con el correspondiente $d[m]$) en ausencia de ruido y se asume que $A[n] = +1$ para $n < 0$.
- c) Explique cómo se obtienen las observaciones a tiempo de símbolo, $q[n]$, a partir de las observaciones a tiempo de chip $v[m]$, y de la secuencia de ensanchado $x[m]$ (puede poner el diagrama de bloques del receptor en tiempo discreto o explicar el proceso de obtención de forma detallada), y calcule los valores de $q[n]$ para $0 \leq n \leq 2$.

8. Un sistema de comunicaciones utiliza una modulación de espectro ensanchado por secuencia directa con factor de ensanchado $N = 5$. La secuencia de datos transmitida, $A[n]$, es una secuencia blanca con energía de símbolo E_s , y la secuencia de ensanchado es

$$x[0] = +1, x[1] = -1, x[2] = +1, x[3] = -1, x[4] = +1.$$

- a) Si como pulso conformador se utiliza un pulso causal de duración T_c normalizado en energía, represente la señal modulada para la siguiente secuencia de datos

$$A[0] = +1, A[1] = +3, A[2] = -1.$$

- b) Obtenga la expresión analítica de la densidad espectral de potencia de la señal en banda base, $S_s(j\omega)$, si el pulso a tiempo de chip es $g_c(t) = \frac{1}{\sqrt{T_c}} \cdot \text{sinc}\left(\frac{t}{T_c}\right)$.
- c) Obtenga los valores de $q[n]$ para $0 \leq n \leq 2$ si la señal a la salida del filtro adaptado a $g_c(t)$, $v(t)$, es la que se muestra en la siguiente figura (observe bien que el eje de abscisas está escalado por un factor T_c).

