

## **Problemas Tema 6**

---

1. Para establecer un enlace de comunicaciones a  $R_b=1.44$  Mbit/s se puede elegir entre dos posibilidades de igual coste:

A. Un canal “seguro” limitado en banda a  $W_A=360$  KHz y afectado por un ruido gaussiano de potencia  $P_n=1$  mW distribuido en todo el ancho de banda del canal.

B. Un canal “no seguro” de ancho de banda  $W_B=36$  MHz y con una potencia de jamming  $J=300$  mW que se distribuye por todo el ancho de banda utilizado en transmisión.

En ambos casos se transmite con una potencia  $P_{TX}=51$  dBm por un canal que atenúa  $L=30$  dB. Asuma filtros en raíz cuadrada de coseno alzado con roll-off=0. Se puede emplear modulación BPSK con espectro ensanchado por secuencia directa o bien cualquier modulación MPSK sin espectro ensanchado.

a) Razone qué sistema de transmisión emplearía para el canal A y calcule su probabilidad de error.

b) Razone qué sistema de transmisión emplearía para el canal B y calcule su probabilidad de error.

Nota:  $P_e^{MPSK}(\text{bit}) \approx Q\left(\sqrt{\frac{2E_b \log_2 M}{N_0}} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right)$

2. Se desea aprovechar la obra civil de una emisora de TV para instalar un transmisor digital de datos. El transmisor de TV emite con una potencia de 20dBW en un ancho de banda de 7 MHz (puede considerar la señal como gaussiana y blanca en toda la banda ocupada). El transmisor de datos, situado en el mismo emplazamiento que el de TV y empleando la misma frecuencia central, utiliza una modulación BPSK-DS-SS (filtros raíz cuadrada de coseno alzado con roll-off=0) para emitir 1Mbps con una potencia de 36dBm.

a) Calcule la ganancia de procesamiento necesaria para que la probabilidad de error del sistema sea inferior a  $10^{-3}$  considerando la señal de TV como única fuente de ruido/interferencia. Discuta como influye en el resultado la atenuación que sufren las señales debido a la distancia entre el receptor y las emisoras.

b) Desde otro punto de vista, para que la señal de TV se reciba con una calidad aceptable, su DEP debe estar 30dB por encima de la DEP de ruido/interferencia. ¿Se cumple esta condición con el resultado del apartado anterior?. En caso negativo explique cómo modificaría los parámetros del sistema BPSK-DS-SS para que no interfiera en la señal de TV.

3. Dos sistemas de comunicaciones que conviven en la banda libre ISM (2400-2480MHz) poseen las siguientes características básicas:

SISTEMA 1: Bluetooth

Régimen binario:	$R_{b1}=1\text{Mbps}$
Modulación:	FH-SS Lento y modulación FSK ( $W_{\text{FSK}}=1\text{MHz}$ )
Tiempo de salto:	$T_h=1/1600=625\mu\text{s}$
Número de portadoras:	$N_1=80$
Frecuencias portadoras:	$f_k(\text{MHz})=2400.5+k$ con $k=0,1,2,\dots,N_1-1$
Potencia Transmitida:	$P_{TX1}=1\text{mW}$

SISTEMA 2: WLAN

Régimen binario:	$R_{b2}=15\text{Mbps}$
Modulación:	64-QAM DS-SS con filtros SQRRC roll-off=0
Factor de ensanchado:	$N_2=32$
Frecuencia portadora:	$f_c=2440\text{ MHz}$
Potencia Transmitida:	$P_{TX2}=10\text{mW}$

$$P_e^{64\text{-QAM}}(\text{bit}) \approx \frac{7}{12} Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{7N_0}}\right)$$

Considere que el transmisor de ambos sistemas está localizado en el mismo punto (usan la misma antena) y que se dispone de un receptor dual que es capaz de detectar cualquiera de las dos señales.

- Determine la probabilidad de error de bit de ambos sistemas considerando despreciable el ruido AWGN (predomina la interferencia del otro sistema).
- Considere ahora que, además, el receptor recibe una señal interferente ilegal de banda estrecha (3MHz), de potencia enorme (considérela infinita) y dentro de la banda ISM. Calcule de la forma más precisa posible y razonadamente la probabilidad de error de ambos sistemas.

4. El sistema GPS transmite información de navegación a una velocidad  $R_b = 50\text{ bit/s}$  empleando una modulación BPSK DS-SS (por simplicidad, asuma que se utilizan filtros raíz cuadrada de coseno alzado con roll-off  $r = 0$ ) a la frecuencia portadora  $f_c = 1575.42\text{ MHz}$ . En uno de sus modos (“Coarse Acquisition”) emplea una secuencia PN de longitud 1023 que se repite 20 veces en cada periodo de bit.

- Dibuje detalladamente la densidad espectral de potencia, especificando cuál es el ancho de banda y el resto de parámetros con sus unidades respectivas. ¿Qué ensanchamiento espectral se obtiene?.
- Si el nivel de ruido AWGN en el receptor es  $N_0 = 4 \cdot 10^{-21}\text{ W/Hz}$  y se desea obtener una probabilidad de error de bit inferior a  $3 \cdot 10^{-7}$ , ¿Cuál es la potencia (en dBm) de señal recibida necesaria?, ¿cuántos decibelios por debajo del AWGN se encuentra la DEP de la señal recibida?.
- Razone si, en este caso, usar DS-SS aportaría beneficios a la hora de protegerse frente a la interferencia provocada por una señal tipo WiFi (ancho de banda aproximado de 16 MHz) que trabajase en la misma frecuencia portadora.

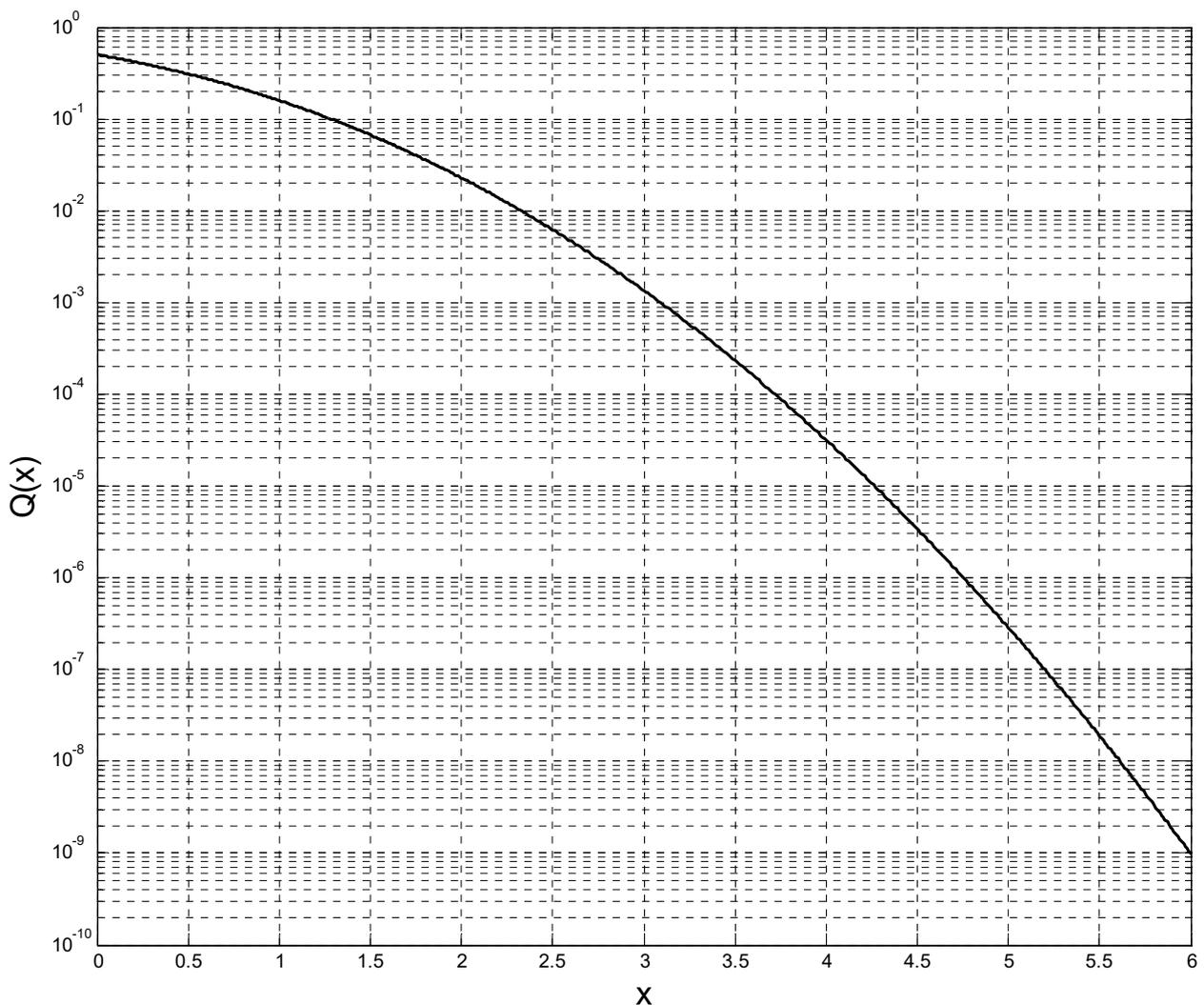
5. Cierta banda de frecuencias es de uso libre (no licenciada) y se puede ocupar siempre que se cumplan las siguientes condiciones simultáneamente:

- 1) Potencia transmitida menor o igual que  $\hat{P}_{TX} = 1 \text{ mW}$
- 2) Densidad espectral de potencia transmitida menor o igual que  $\hat{P}_0 = 20 \text{ pW/Hz}$
- 3) Ancho de banda menor o igual que  $\hat{W} = 56 \text{ MHz}$

Se desea transmitir  $R_b = 2 \text{ Mbps}$  y se puede emplear DS-SS (siempre que el factor de ensanchado sea del tipo  $N = 2^m - 1$ ) con modulaciones BPSK o bien FH-SS (con  $N^\circ$  de portadoras arbitrario) con modulación 2FSK.

- a) ¿Qué esquema de modulación de los anteriores elegiría si el ruido presente se puede modelar como AWGN con  $N_0 = 4 \cdot 10^{-21} \text{ W/Hz}$  y la atenuación entre el transmisor y el receptor es  $L_p = 100 \text{ dB}$ ?
- b) Si existiera además una señal interferente de banda estrecha (100 KHz) de potencia enorme (puede considerarla infinita) en el centro de la banda utilizada, razone qué modulación escogería. ¿Qué probabilidad de error de bit aproximada proporcionaría?

Nota: Por simplicidad, considere que la modulación BPSK emplea filtros en raíz cuadrada de coseno alzado con roll-off = 0. Así mismo, considere que el ancho de banda 2FSK es  $R_b$  y que su espectro es rectangular.



## Soluciones Problemas Tema 6

---

1. a) Canal A:

$$W_{MPSK} = \frac{R_b}{\log_2(M)}(1+r) \leq W_A = 0,36 \text{ MHz} \Rightarrow M = 4$$

$$P_e^{16PSK}(bit) \approx Q\left(\sqrt{\frac{8E_b}{N_0}} \sin\left(\frac{\pi}{16}\right)\right) \approx 10^{-3}$$

$$W_{BPSK} = R_b(1+r) = 1,44 \text{ MHz} > W_A = 0,36 \text{ MHz} \Rightarrow \text{Imposible (incluso sin DS-SS)}$$

Emplearía 16PSK

b) Canal B:

$$P_e^{MPSK}(bit) \approx Q\left(\sqrt{\frac{2P_{RX}}{J}} \sin\left(\frac{\pi}{M}\right)\right) = Q\left(\sqrt{0,845} \sin(\pi/M)\right) \stackrel{BPSK}{\approx} 0,2$$

$$GP_{DS-SS-BPSK} = \frac{W_A}{W_{BPSK}} = 25$$

$$P_e^{DS-SS-BPSK}(bit) \approx Q\left(\sqrt{\frac{2P_{RX}}{J}} GP\right) \approx 1,2 \cdot 10^{-5}$$

Emplearía DS-SS-BPSK con  $GP = 25$

2. a)  $GP \geq 120,1 \Rightarrow GP = 127 = 2^7 - 1$

$$b) 10 \log_{10} \left( \frac{DEP_{TV}}{DEP_{DIG}} \right) = 10 \log_{10} \left( \frac{\frac{P_{TV}}{2W_{TV}}}{\frac{P_{DIG}}{2R_b GP}} \right) = 26,46 \text{ dB} < 30 \text{ dB}$$

Aumentaría GP hasta 280

3. a)  $P_{e1}(bit) \approx Q\left(\sqrt{\frac{P_{TX1}/R_{b1}}{P_{TX2}/W_2}}\right) = Q(\sqrt{8}) \approx 2 \cdot 10^{-3}$ , con  $W_2 = \frac{R_{b2}}{\log_2 M}(1+r)N_2$

$$P_{e2}(bit) \approx \frac{7}{12} Q\left(\sqrt{\frac{2P_{TX2}/R_{b2}}{7P_{TX1}/W_2}}\right) = \frac{7}{12} Q(3,9) \approx 3 \cdot 10^{-5}$$

$$b) P'_{e1}(bit) \approx \frac{76}{80} P_{e1}(bit) + \frac{4}{80} 0,5 \approx 3 \cdot 10^{-2}$$

$$P'_{e2}(bit) = 0,5$$

4. a)  $W = R_c(1+r) = 1023 \cdot 20R_b(1+r) = 1,023 \text{ MHz}$ ,  $GP = W_{DS-SS-BPSK}/W_{BPSK} = 20460$

$$b) P_{RX} \geq 5^2/(2N_0R_b) = 2,5 \cdot 10^{-18} \text{ W}$$

$$10 \log_{10} \left( \frac{\frac{P_{RX}}{2R_c}}{\frac{N_0}{2}} \right) = -32,1 \text{ dB}$$

c) No aporta beneficios

5. a) DS-SS-BPSK:

$$W = 30\text{MHz}, \quad P_0 = 20 \text{ pW/Hz}, \quad P_{TX} = 0,6 \text{ mW}$$

$$P_e(\text{bit}) = Q\left(\sqrt{\frac{2P_{TX}}{L_p R_b N_0}}\right) = Q(\sqrt{15}) \approx 5 \cdot 10^{-5}$$

FH-SS-FSK:

$$W = 58\text{MHz}, \quad P_0 = 17,9 \text{ pW/Hz}, \quad P_{TX} = 1 \text{ mW}$$

$$P_e(\text{bit}) = Q\left(\sqrt{\frac{P_{TX}}{L_p R_b N_0}}\right) = Q(\sqrt{12,5}) \approx 2 \cdot 10^{-4}$$

Eligiría DS-SS-BPSK

b)  $P_e^{DS-SS-BPSK}(\text{bit}) = 0,5$

$$P_e^{FH-SS-FSK}(\text{bit}) \approx \frac{26}{80} 2 \cdot 10^{-4} + \frac{2}{28} 0,5 \approx 3,6 \cdot 10^{-2}$$