Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores

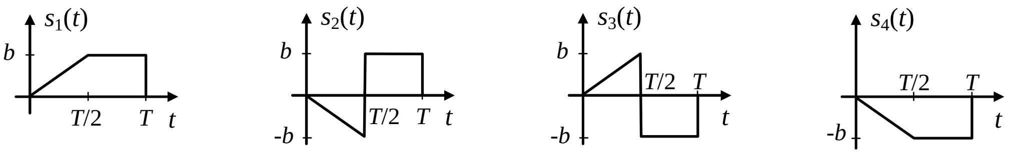
FEUP

EEC4164 — Telecomunicações 2

(2005/2006)

1ª Parte – Duração: 1h30m (sem consulta) **Exame de Recurso – 13 de Fevereiro de 2006**

1. As quatro formas de onda da figura transmitem informação através de um canal que introduz ruído gaussiano aditivo com densidade espectral de potência $N_0/2$. Suponha que $N_0 = 1$ e $b = \sqrt{6/T}$.



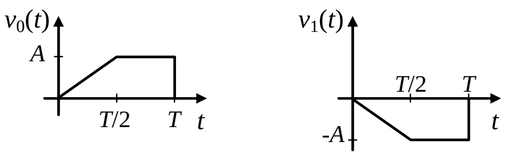
a) (2 p.) a_1) Desenhe um conjunto de funções-base que defina um espaço de sinal ortonormado (o. n.) adequado a este conjunto de formas de onda; a_2) Mostre que as funções-base que desenhou são ortogonais; a_3) Quantas dimensões tem o espaço o. n.? (*Nota*: o procedimento de Gram-Schmidt pode não ser a solução mais simples)

b) (2 p.) Esboce a constelação dos pontos $\mathbf{s}_1$, $\mathbf{s}_2$, $\mathbf{s}_3$ e $\mathbf{s}_4$ no espaço o. n.

c) (1 p.) Calcule a energia média das formas de onda.

d) (3 p.) Seja $\mathbf{r}$ o vector do sinal recebido à saída do canal. Para o caso especial de probabilidades $P(\mathbf{s}_1) = 1/3$, $P(\mathbf{s}_2) = 2/3$ e $P(\mathbf{s}_3) = P(\mathbf{s}_4) = 0$ apresente a regra de detecção MAP e esboce as regiões de decisão no espaço o. n..

2. As formas de onda $v_0(t)$ e $v_1(t) = -\, v_0(t)$ da figura seguinte, onde $A = \sqrt{16/T}$, representam bits e são transmitidas através de um canal AWGN com $N_0 = 0{,}24\ \mathrm{V^2/Hz}$. No receptor encontra-se um filtro adaptado.



a) (2 p.) Determine os valores obtidos à entrada do decisor binário, na ausência de ruído.

b) (1 p.) Calcule a relação sinal-ruído à entrada do decisor binário.

c) (2 p.) A utilização de um filtro transversal como filtro adaptado é uma aproximação da realização óptima. Suponha então que o filtro adaptado é construído como um filtro transversal de quatro coeficientes e unidades de atraso de T/4 segundos. Determine os valores obtidos à entrada do decisor binário, na ausência de ruído.

3. A entrada x_k e a saída y_k de um canal com interferência intersimbólica e ruído AWGN estão relacionadas através de

$$y_k = x_k + 0{,}5x_{k-1} + n_k$$

em que $x_k = \pm 2$ é a sequência de informação transmitida e n_k é uma amostra de ruído.

a) (1 p.) Esboce a constelação do sinal recebido, na ausência de ruído.

b) (2 p.) Apresente a treliça do canal devidamente anotada.

c) (3 p.) Devido ao ruído a sequência $y_k = [2 \quad 0 \quad 1 \quad 1 \quad -3]$ é recebida. Estime a sequência binária transmitida recorrendo ao algoritmo de Viterbi.

d) (2 p.) Suponha agora que o sinal transmitido x_k tem uma constelação de quatro pontos de coordenadas $(\pm 2, \pm 2)$. Esboce a constelação do sinal recebido sem ruído se:

*d*1) o canal for o anterior;

d2) o canal for caracterizado por $y_k = x_k + x_{k-1} + n_k$.

4. Este problema envolve probabilidades de erro em várias modulações digitais afectadas de ruído gaussiano branco.

a) (2 p.) Determine o valor de E_b/N_0, em dB, tal que a probabilidade de bit errado em DPSK seja um quarto da probabilidade de bit errado em BFSK detectado não-coerentemente.

b) (2 p.) Com $E_b/N_0 = 8$ dB obtém-se uma certa probabilidade de bit errado em PSK binário. De que relação E_b/N_0 necessitamos em FSK binário com detecção coerente para obtermos a mesma probabilidade de erro?

c) (2 p.) Considere uma constelação de quatro pontos localizados em $(\pm 1, \pm\sqrt{5})$. Quanto vale a probabilidade exacta de símbolo errado se $N_0 = 1$?

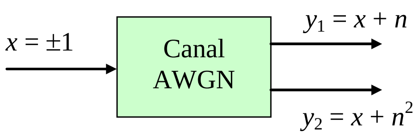
5. Símbolos equiprováveis com mapeamento de Gray são modulados em QAM.

a) (2 p.) Considere 16-QAM. Determine o valor aproximado da probabilidade de bit errado se $\langle E_s \rangle / N_0 = 10\,\text{dB}$.

b) (2 p.) Agora considere a constelação de 64-QAM. Calcule o número médio de vizinhos mais próximos.

c) (2 p.) Um canal passa-banda de 4 kHz é usado para transmitir dados à taxa de 9600 bits/s. Deseja-se usar modulação M-QAM e impulsos de sinal de cosseno elevado com um factor de "roll-off" de, no mínimo, 0,5. Qual é o menor valor de *M*?

6. Considere a transmissão de sinais binários equiprováveis $x = \pm 1$ através de um canal AWGN com duas saídas, $y_1 = x + n$ e $y_2 = x + n^2$, em que *n* representa uma amostra de ruído gaussiano de variância σ^2.



a) (3 p.) Especifique cuidadosamente as regiões de decisão óptimas para *x* dado o par de valores recebidos (y_1, y_2). Não há nada de estranho nestas regiões de decisão?

b) (1 p.) Qual é a probabilidade de erro deste sistema?

c) (2 p.) Suponha que $y_1 = 0{,}5$. Qual é a estimativa mais provável de *x*? Justifique.

Nota: tenha em atenção os valores da tabela seguinte:

dB	**Factor**
0	1
3,0	2
4,8	3
6,0	4
7,0	5
7,8	6
8,5	7
9,0	8
9,5	9

Tenha também em conta que $\ln 2 \approx 0{,}7$.