



# EEC4164 — Telecomunicações 2

(2004/2005)

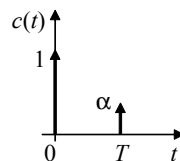
1ª Parte – Duração: 1h30m (sem consulta)

Exame de Época Normal – 28 de Janeiro de 2005

1. A saída de um canal com ruído aditivo é  $y = x + n$ , em que  $x$  é um sinal de valores binários  $\pm 1$  equiprováveis e  $n$  é ruído independente de  $x$  com distribuição uniforme

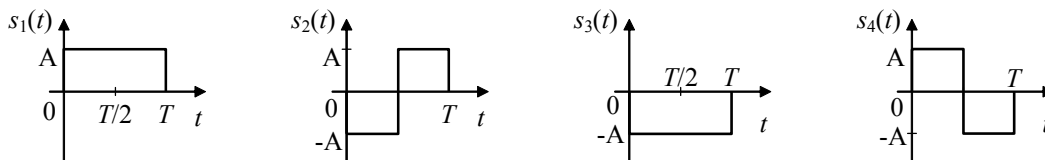
$$p_N(n) = \begin{cases} 1/L & |n| \leq L/2 \\ 0 & |n| > L/2 \end{cases}$$

- (1 ponto) Para que valor de  $L$  é  $P_e < 10^{-6}$ ?
  - (2 p.) Calcule a relação sinal-ruído  $S/N$  (em função de  $L$ ).
  - (1 p.) Determine o valor mínimo de  $S/N$  que garante transmissão sem erros.
  - (2 p.) Repita a alínea anterior supondo agora que um sinal 4-PAM de valores  $x \in \{\pm 1, \pm 3\}$  equiprováveis é aplicado à entrada do canal.
2. A sequência binária  $b_k = +1 -1 -1 +1 -1$  é gerada nos instantes  $kT$ , com  $k = 0, 1, \dots, 4$ , e é transmitida através de um canal que introduz interferência intersimbólica e ruído AWGN. A resposta impulsional amostrada do canal (sem ruído) é apresentada na figura seguinte, em que  $\alpha = 0,4$ :



À entrada do decisor binário do receptor são recebidas amostras de valores  $r_k = 0,6 \quad 0,1 \quad -1,6 \quad 0,8 \quad -0,5$ .

- (1 p.) Usando decisões rígidas no decisor estime a sequência transmitida.
  - (2 p.) Desenhe a treliça do canal  $c(t)$ .
  - (4 p.) Suponha agora que no receptor vai usar o algoritmo de Viterbi. Determine o percurso de máxima verosimilhança e faça nova estimativa da sequência transmitida. Confirmará assim a superioridade do algoritmo de Viterbi.
3. Considere as formas de onda  $s_i(t)$ ,  $i = 1, 2, 3, 4$ :



O sinal transmitido é  $s(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} s_{i_k}(t - kT)$ , em que  $i_k$  é uma sequência de valores independentes distribuídos

uniformemente no conjunto  $\{1, 2, 3, 4\}$ . No receptor é usado um filtro adaptado.

- (2 p.) Supondo que os símbolos (formas de onda) que transportam os bits são transmitidos através de um canal AWGN com d.e.p.  $N_0/2$ , sugira um mapeamento de bits a símbolos que minimize a probabilidade de bit errado e desenhe a constelação correspondente num espaço de sinal ortonormado. Não se esqueça de aí indicar as coordenadas dos pontos em função da energia dos sinais,  $E$ .
  - (2 p.) Supondo que  $A = 2V$ ,  $T = 1\text{ms}$  e  $N_0 = 0,001\text{V}^2/\text{Hz}$  determine a probabilidade de símbolo errado **exacta**. Exprima o resultado na função  $Q(x)$ .
4. O polinómio de coeficientes binários  $p(x) = x^3 + x + 1$  gera uma sequência pseudo-aleatória de período 7.

- a) (1 p.) A sequência gerada tem comprimento máximo? Porquê?
- b) (3 p.) Suponha que o conteúdo inicial do registo de deslocamento é 001, em que o bit “1” está à saída do circuito. Obtenha um período da sequência PN.
- c) (2 p.) Quantos polinómios primitivos de grau 3 existem?
- d) (2 p.) Desenhe o circuito de um baralhador baseado no polinómio  $p(x)$ .

5. Uma fonte binária com débito de 500 kbits/s é aplicada a um sistema de codificação duobinária com codificação diferencial (tal que um bit de entrada “0” faz reenviar o bit anterior).

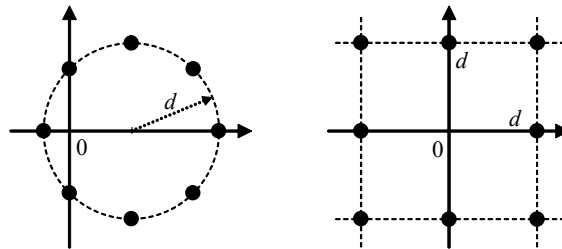
- a) (1 p.) Determine a largura de banda mínima do canal adequada à transmissão do sinal.
- b) (2 p.) À saída do amostrador do receptor obteve-se a sequência de amostras reais

-1,3    -0,4    -0,5    -0,3    0,6    1,4    -0,2    -1,7    -1,6    0,5

Estime a sequência binária gerada pela fonte.

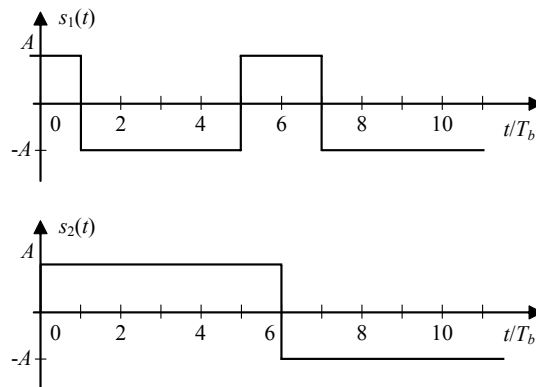
- c) (1 p.) Admita que os circuitos de emissão e recepção provocaram uma inversão de fase do sinal recebido (ou seja, a sequência recebida passou a ser +1,3 +0,4 +0,5 +0,3 -0,6...). Qual é agora a sequência binária estimada?

6. Considere as seguintes constelações de oito pontos equiprováveis:



- a) (3 p.) Determine a energia média de cada sinal em função do parâmetro  $d$ . Essas energias são mínimas? Porquê?
- b) (1 p.) Responda sem efectuar qualquer cálculo: com qual dos sinais, 8-PSK ou 8-QAM, obterá uma melhor probabilidade de símbolo errado,  $P_e$ ? Justifique.
- c) (2 p.) Admita que  $\langle E \rangle / N_0 \gg 1$ . Nessas condições determine os valores aproximados de  $P_e$  em ambos os casos. Como interpreta os resultados face à alínea anterior?

7. Um sinal de MSK, representado por  $s(t) = \sqrt{E_b} \cos \theta(0) \psi_1(t) - \sqrt{E_b} \sin \theta(T_b) \psi_2(t)$ , é transmitido através de um canal e detectado coerentemente. Os sinais  $s_1(t)$  e  $s_2(t)$  da figura seguinte são obtidos à saída dos integradores dos ramos em fase e em quadratura, respectivamente.



- a) (1 p.) Determine o espaçamento entre as frequências representativas de cada bit, se cada um deles tiver uma duração de 1  $\mu$ s.
- b) (4 p.) Desenhe a treliça de fases construída pelo receptor.
- c) (2 p.) Estime a mensagem de onze bits enviada.