



EEC4164 — Telecomunicações 2

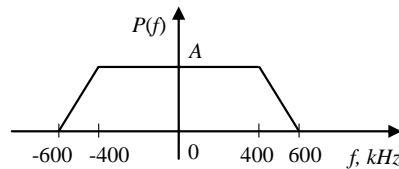
(2004/2005)

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

Exame de Recurso – 17 de Fevereiro de 2005

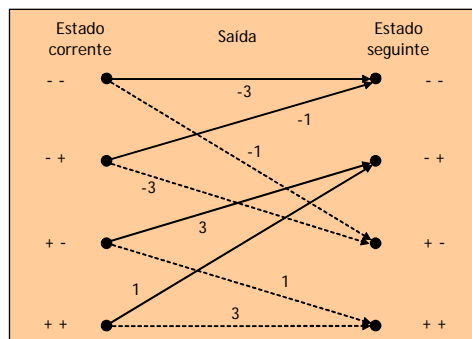
1. Considere um sistema DM projectado para sinais analógicos limitados a uma largura de banda W . Suponha que a densidade espectral de potência do ruído granular é dada por $S_N(f) = \frac{\Delta^2}{3f_s}$, em que f_s representa a frequência de amostragem do modulador. O degrau Δ tem o menor valor que garante que não ocorre distorção de declive se o sinal de entrada for sinusoidal, de amplitude A e frequência f_m .
 - a) (1 ponto) Mostre que a potência média do ruído de quantização vale $N_Q = \frac{8\pi^2 A^2 f_m^2 W}{3f_s^3}$ à saída do filtro passa-baixo de reconstrução do sinal, no desmodulador.
 - b) (2 p.) Determine uma expressão para a relação sinal-ruído de quantização se o sinal de entrada for o referido. Confirme que, se f_s for igual a vinte vezes W e se $W = \pi f_m / \sqrt{3}$, então $(S/N)_Q = 27dB$.

2. Um sistema de comunicação em banda-base com débito $R = 640$ kbits/s usa filtros de cosseno elevado com $\alpha = 0,4$.
 - a) (1 p.) Qual a largura de banda mínima do canal por forma a evitar interferência intersimbólica?
 - b) (1 p.) Qual a largura de banda necessária se usar modulação 16-QAM?
 - c) (1 p.) Considere impulsos trapezoidais nas frequências, como o da figura seguinte, usados para transmissão binária.



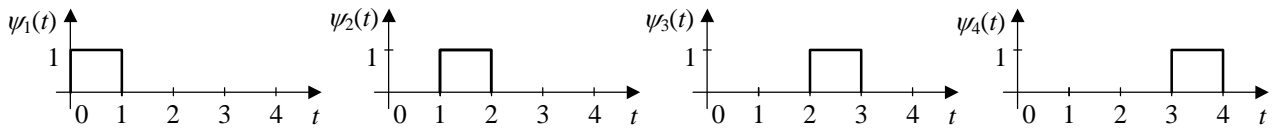
Qual deve ser o débito binário se desejarmos que não haja interferência intersimbólica?

3. (4 p.) Um canal de comunicação é caracterizado pela seguinte treliça, na qual os estados do canal $(-1, -1)$, $(-1, +1)$, etc., são representados por $(- -)$, $(- +)$, etc. e um bit de entrada -1 é representado por um traço contínuo.



Suponha que se transmite uma sequência binária de valores ± 1 e que $(- -)$ é o estado inicial da treliça. A saída do canal é corrompida por amostras de ruído AWGN de tal modo que no receptor se recebe a sequência $-2, 0, 0, 1$. Use o algoritmo de Viterbi para estimar a sequência transmitida.

4. Quatro formas de onda são representadas num espaço de sinal pelos vectores $\mathbf{s}_1 = [2 \ -1 \ -1 \ -1]^T$, $\mathbf{s}_2 = [-2 \ 1 \ 1 \ 0]^T$, $\mathbf{s}_3 = [1 \ -1 \ 1 \ -1]^T$ e $\mathbf{s}_4 = [1 \ -2 \ -2 \ 2]^T$. As funções-base são as da figura seguinte:

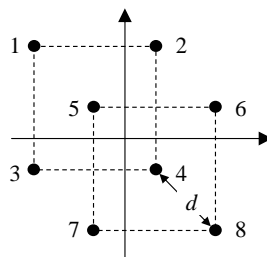


- (1 p.) Esboce as formas de onda $s_1(t)$, $s_2(t)$, $s_3(t)$ e $s_4(t)$.
- (1 p.) Calcule a distância euclidiana entre os vectores \mathbf{s}_1 e \mathbf{s}_2 .
- (1 p.) Determine o coeficiente de correlação entre as formas de onda $s_1(t)$ e $s_3(t)$.
- (3 p.) Um mesmo conjunto de M formas de onda pode ser representado por vectores em diferentes espaços de sinal definidos por $N \leq M$ funções-base. Assim, considere que as formas de onda $r_1(t)$, $r_2(t)$ e $r_3(t)$ são representadas pelos vectores $\mathbf{r}_1 = [4 \ 1 \ 2]^T$, $\mathbf{r}_2 = [5 \ 8 \ 7]^T$ e $\mathbf{r}_3 = [6 \ -3 \ 0]^T$ num dado espaço de sinal ortonormado tridimensional. A partir destes vectores determine as coordenadas, naquele espaço, das novas funções-base que definem um outro espaço de sinal ortonormado com a menor dimensão possível (menor N). Qual é o valor de N no novo espaço de sinal?

5. Um sistema OOK transmite bits equiprováveis à cadência de 160 Mbits/s através de um canal de ruído branco gaussiano. À entrada do receptor a densidade espectral de potência do ruído vale $N_0/2 = 10^{-18}$ W/Hz.

- (1 p.) Qual é a largura de banda ocupada pelo sinal OOK?
- (2 p.) Calcule a potência média, em dBm, necessária no receptor para que a probabilidade de bit errado seja de 10^{-6} .

6. Uma modulação 8-QAM usa a seguinte constelação, onde os pontos 4 e 5 estão no centro dos quadrados tracejados:



- (2 p.) Calcule a energia média por símbolo, $\langle E \rangle$, em função da distância mínima entre pontos, d .
- (1 p.) Desenhe as fronteiras das regiões de decisão, admitindo que os erros ocorrem apenas entre pontos mais próximos.
- (3 p.) Estando em presença de ruído AWGN com densidade espectral de potência $N_0/2$ e admitindo que

$$\langle E \rangle / N_0 \gg 1 \text{ mostre que a probabilidade de símbolo errado é aproximadamente igual a } P_e = \frac{9}{4} Q \left(\sqrt{\frac{2 \langle E \rangle}{5 N_0}} \right).$$