

# Comunicações Digitais

## Lista de Exercícios 4

### Desempenho de Sistemas de Comunicações Digitais (2/2)

Prof. André Noll Barreto

#### Exercício 1 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.6-2)

Considere um canal com ruído branco aditivo não-Gaussiano, de modo que na projeção no espaço de sinais tenhamos o vetor  $\mathbf{q} = \mathbf{s}_i + \mathbf{n}$  quando for transmitida a mensagem  $m_i$ . O ruído tem densidade de probabilidade conjunta

$$p_{\mathbf{n}} = \prod_{i=1}^N \frac{1}{\tau} \exp\left[-\frac{|n_i|}{2\tau}\right]$$

- ache o detector MAP
- derive a estrutura de receptor ótima
- para um espaço bidimensional ( $N=2$ ) compare as regiões de decisão entre ruído Gaussiano e não Gaussiano.

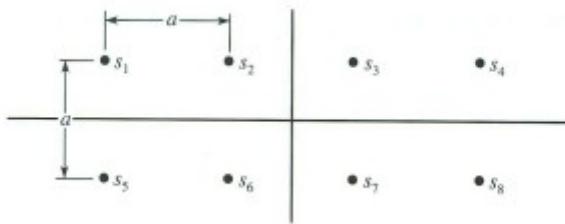
#### Exercício 2 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.6-3 e -4)

Um fonte binária transmite a uma taxa de 400kbps. Determine a potência mínima necessária e a mínima largura de banda se  $S_n(f) = 10^{-8} \text{ W/Hz}$  e  $P_b < 10^{-6}$ ,

- para M-PAM, com  $M=2, 16$  e  $32$ .
- para M-PSK

#### Exercício 3 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.6-6)

Dado o sinal 8-QAM mostrado na figura abaixo



Determine as regiões de decisão e a probabilidade de erro de símbolo em um canal AWGN em função da razão  $E_b/N_0$ .

#### Exercício 4 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.6-9)

Compare as probabilidades de erro de 16-PAM, 16-PSK e 16-QAM em função de  $E_b/N_0$ . Qual o  $E_b/N_0$  requerido nos três casos para uma  $P_e = 10^{-5}$ ?

#### Exercício 5 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.6-11)

Um sistema de transmissão ternário tem três sinais possíveis para transmissão:

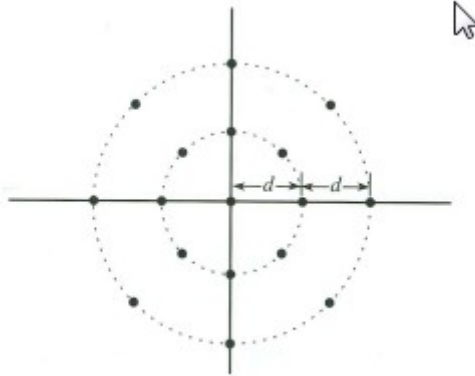
$$m_0 : 0; \quad m_1 : 2p(t); \quad m_2 : -2p(t)$$

- se  $P(m_0) = P(m_1) = P(m_2)$  determine as regiões de decisão ótimas em canal AWGN
- encontre a probabilidade de erro de símbolo em função de  $E_s/N_0$ .

# Comunicações Digitais

## Exercício 6 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.6-12)

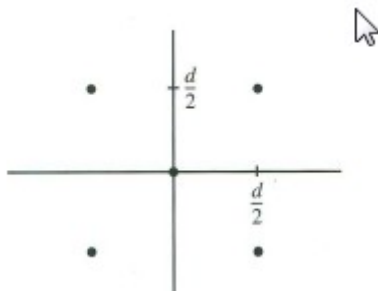
Uma constelação com 16 pontos é dada pela figura abaixo.



- Escreva a expressão exata para a probabilidade de erro deste sistema (não precisa resolver as integrais)
- Qual a probabilidade de erro aproximada para RSR alto?

## Exercício 7 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.6-13)

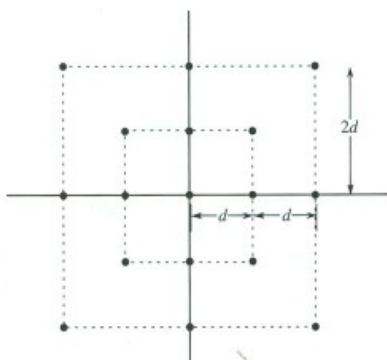
Uma constelação com 5 pontos em um espaço bidimensional é dada pela figura abaixo.



- supondo  $\varphi_1(t) = \sqrt{2/T_0} \cos(2\pi f_c t)$  e  $\varphi_2(t) = \sqrt{2/T_0} \sin(2\pi f_c t)$ , esboce as formas de onda dos cinco sinais.
- esboce as regiões de decisão dos 5 sinais, supondo canal AWGN.
- determine a probabilidade de erro.

## Exercício 8 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.6-14)

Dado um esquema 16-QAM descrito pela constelação da figura abaixo



determine sua probabilidade de erro e a compare com a de um esquema 16-QAM quadrado tradicional.

# Comunicações Digitais

## Exercício 9 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.7-1)

Os vértices de hipercubo N-dimensional formam um conjunto de  $2^N$  sinais

$$s_k(t) = \frac{d}{2} \sum_{j=1}^N a_{kj} \varphi_j(t) \quad ,$$

em que  $a_{kj} = \pm 1$  . Note que todos os pontos estão a uma distância  $\frac{\sqrt{N}d}{2}$  da origem.

- Esboce as constelações para  $N = 1, 2$  e  $3$
- Para cada um dos valores do item (a), esboce um possível conjunto de formas de onda.
- Ache o receptor ótimo e determine a probabilidade de erro, supondo símbolos equiprováveis e um canal AWGN.

## Exercício 10 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.7-2)

Dado um conjunto ortogonal de sinais

$$s_k(t) = \sqrt{E} \varphi_k(t), \quad k = 1, 2, 3, \dots, N \quad ,$$

um conjunto de sinais biortogonal pode ser formado, aumentando-se o conjunto com o negativo de cada sinal, ou seja, adicionando-se o sinais

$$s_{-k}(t) = -\sqrt{E} \varphi_k(t)$$

Qual a probabilidade de erro deste esquema? Qual a relação entre sua largura de banda e a largura de banda de um esquema de transmissão ortogonal?

## Exercício 11 (Lathi, 4a Ed., Ex.11.11-1)

Compare graficamente as probabilidades de erro dos esquemas binários ASK, FSK e DPSK com detecção não coerente. Qual o  $E_b/N_0$  necessário nos três esquemas para probabilidade de erro de  $10^{-2}$ ,  $10^{-4}$  e  $10^{-6}$ ?