

Tarefa 4 - Modulações Digitais - Simulação Canal AWGN

Objetivo: Neste experimento iremos simular o desempenho de algumas modulações digitais no canal AWGN. Vamos interpretar o conceito de representação geométrica de sinais (constelação de sinais) e entender como o transmissor e o receptor utilizam a constelação de sinais no processo de transmissão digital. Vamos avaliar o processo de decisão dos símbolos no receptor usando a constelação de sinais.

- a)** Utilizando o software Matlab, traçar o gráfico da curva teórica de desempenho da modulação BPSK (2-PSK). O eixo x deve ser a relação sinal-ruído (\bar{E}_b/N_0) em escala de dB, na faixa de -2 dB a 15 dB. O eixo y deve ser a probabilidade de erro de símbolo (bit) na faixa de 10^{-8} a 1.
- b)** Simular uma modulação BPSK (2-PSK) usando a técnica de Monte Carlo para estimar a probabilidade de erro de bit (BER) para as seguintes relações sinal-ruído (\bar{E}_b/N_0): 2 dB, 5 dB, 8 dB e 10 dB.
- c)** Plotar os pontos simulados do item **b)** juntamente com a curva teórica de desempenho da modulação do item **a)**.
- d)** Simular uma modulação 8-ASK (polar) usando a técnica de Monte Carlo para estimar a probabilidade de erro de símbolo (SER) para as seguintes relações sinal-ruído (\bar{E}_b/N_0): 0 dB, 5 dB, 10 dB e 15 dB.
- e)** Plotar os pontos simulados juntamente com a curva teórica de desempenho.
- f)** Simular uma modulação 16-QAM usando a técnica de Monte Carlo para estimar a probabilidade de erro de símbolo (SER) para as seguintes relações sinal-ruído (\bar{E}_b/N_0): 0 dB, 5 dB, 10 dB e 12 dB.
- g)** Plotar os pontos simulados juntamente com a curva teórica de desempenho.
- h)** Adaptar o código de simulação do item **e)** para visualizar os pontos recebidos na constelação de sinais do 16-QAM, investigando o efeito da variação da SNR.

Desempenho da Modulação BPSK com Detecção Coerente:

$$P_b = Q \left(\sqrt{\frac{2\bar{E}_b}{N_0}} \right) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{\bar{E}_b}{N_0}} \right)$$

Desempenho da Modulação M-ASK (Polar) com Detecção Coerente:

$$P_s = \frac{M-1}{M} \cdot \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3}{M^2-1} \frac{\bar{E}_s}{N_0}} \right) = P_s = \frac{M-1}{M} \cdot \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3}{M^2-1} \frac{\bar{E}_b \log_2(M)}{N_0}} \right)$$

Desempenho da Modulação M-QAM com Detecção Coerente:

a) Para $\log_2(M)$ ímpar:

$$P_s \leq 4 Q \left(\sqrt{\frac{3}{(M-1)} \frac{\bar{E}_s}{N_0}} \right) \leq 2 \cdot \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3}{2(M-1)} \frac{\bar{E}_s}{N_0}} \right)$$

b) Para $\log_2(M)$ par:

$$P_s = 1 - (1 - p)^2$$

$$p = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}} \right) \cdot \operatorname{erfc} \left(\sqrt{\frac{3}{2(M-1)} \frac{\bar{E}_s}{N_0}} \right)$$

$$\operatorname{erf}(x) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \int_{-x}^x e^{-t^2} dt = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

$$\operatorname{erfc}(x) = 1 - \operatorname{erf}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty e^{-t^2} dt$$

$$Q(x) = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left(\frac{x}{\sqrt{2}} \right)$$