



Universidade Federal do Ceará
Centro de Tecnologia
Departamento de Engenharia de Teleinformática
Sistemas de Comunicações Digitais - TI0069

Trabalho 01: Modulação Digital

Aluno:

Lucas de Souza Abdalah 385472

Professor: André Almeida

Data de Entrega do Relatório: 28/03/2021

Fortaleza
2021

Sumário

1	Introdução	3
2	Simulações	3
2.1	Problema 1 - M -QAM	3
2.1.1	Energia da Constelação	3
2.1.2	Distância Mínima entre Símbolos	4
2.1.3	Modulador	4
2.1.4	Demodulador	4
2.2	Problema 2 - Probabilidade de Erro	6
3	Conclusão e Resultados	7
	Referências	8

Exemplos

Para referenciar imagens 1, tabelas 1 e equações 1.



Figura 1: Exemplo de como adicionar uma imagem.

Frequência (Hz)	Tensão Máxima (V)
0,558	12,11
2,132	11,15
4,822	8,62

Tabela 1: Frequência da onda de entrada e a tensão máxima da saída do circuito integrador.

$$f_{gu} = A_{VD} \times f_c \quad (1)$$

E quando tirar informação de alguma fonte, deve adicionar no formato de bibtex no arquivo refs.bib e por fim citá-los assim: [1], de modo que a seção de referência é criada e indexada diretamente com estes chamados da função.

1 Introdução

2 Simulações

2.1 Problema 1 - M -QAM

Considere a modulação M -QAM, em que o sinal em banda base é dado por:

$$s_m(t) = (A_m^{(\text{real})} + jA_m^{(\text{imag})})g(t),$$

em que $g(t)$ é um pulso transmitido, $A_m^{(\text{real})}$ e $A_m^{(\text{imag})}$ são amplitudes da parte real e imaginária da forma de onda transmitida, respectivamente.

Considere $\int_{-\infty}^{\infty} |g(t)|^2 dt = \mathcal{E}_g = 1$, isto é, o pulso $g(t)$ possui energia unitária. Suponha a transmissão de uma sequência de símbolo $\{s_m\}$ de tamanho $L = 26400$ bits

1. Para $M = \{4, 16, 64\}$, determine a energia média \mathcal{E}_m de cada constelação;
2. Para $M = \{4, 16, 64\}$, determine a distância mínima d_{\min} entre dois símbolos;
3. Para $M = \{4, 16, 64\}$, implemente o modulador (mapeamento bit-símbolo) usando a codificação de Gray;
4. Para $M = \{4, 16, 64\}$, implemente o demodulador (mapeamento símbolo-bit).

2.1.1 Energia da Constelação

O desenvolvimento é citado em [2], [3].

\mathcal{E}_{media}	$\mathcal{E}_{media(bit)}$	d
$\frac{M-1}{3} \mathcal{E}_g$	$\frac{M-1}{3 \log_2 M} \mathcal{E}_g$	$\sqrt{\frac{3\mathcal{E}_{media}}{2(M-1)}}$

Tabela 2: Frequência da onda de entrada e a tensão máxima da saída do circuito integrador.

2.1.2 Distância Mínima entre Símbolos

Como calcular os coeficiente para constelação M -QAM retangular, onde \sqrt{M} assume valores inteiros. Os coeficientes em quadratura a_i e b_i são obtidos através da equação: $\{(2i - \sqrt{M} - 1)d\}_{i=1}^{\sqrt{M}}$

A distância eucladiana entre os sinais na modulação QAM é

$$d_{mn} = \sqrt{\|s_m - s_n\|^2}$$

$$= \sqrt{\frac{\mathcal{E}_g}{2} [(A_{mi} - A_{ni})^2 + (A_{mq} - A_{nq})^2]}$$

2.1.3 Modulador

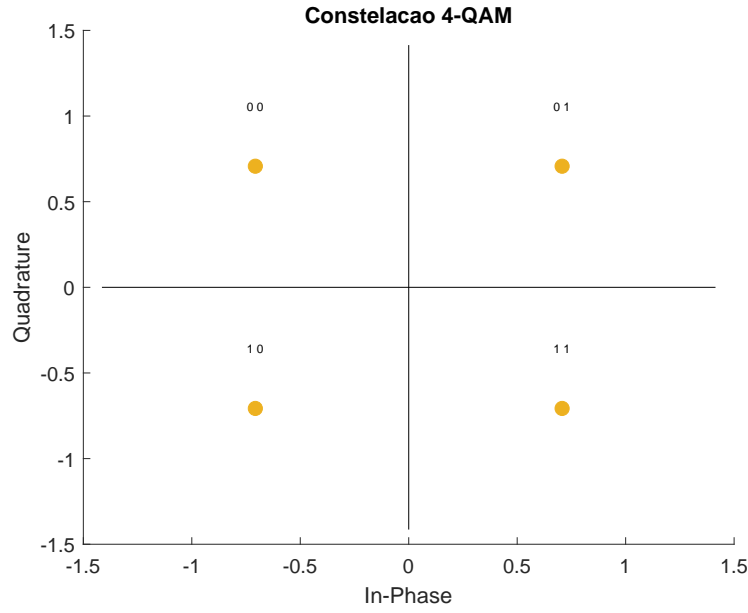


Figura 2: Exemplo de 4-QAM plot.

2.1.4 Demodulador

Considerando $\mathcal{E}_g = \int_{-\infty}^{\infty} |g(t)|^2 dt = 1$, a energia média da constelação pode ser calculada por ϵ

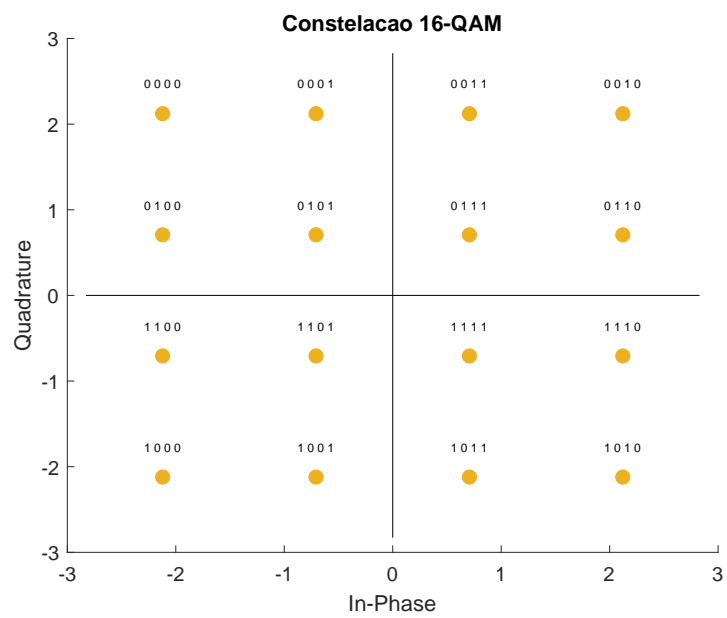


Figura 3: Exemplo de 16-QAM plot.

2.2 Problema 2 - Probabilidade de Erro

Para calcular a probabilidade de erro $P(e)$ de cada constelação 2 desenvolvida em [3].

$$P(e) = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3}{M-1}} \frac{E_s}{N_0} \right) - 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right)^2 Q^2 \left(\sqrt{\frac{3}{M-1}} \frac{E_s}{N_0} \right) \quad (2)$$

Para valores mais elevados de SNR , a equação da probabilidade do M -QAM pode ser reduzida para 3, pois o segundo termo ao quadrado passa a ser irrelevante.

$$P(e) = 4 \left(1 - \frac{1}{\sqrt{M}}\right) Q \left(\sqrt{\frac{3}{M-1}} \frac{E_s}{N_0} \right) \quad (3)$$

Nas simulações realizadas, as curvas utilizando ambas as equações são bem semelhantes, principalmente para constelação 4-QAM, além de reduzir o custo computacional. Entretanto, para manter a fidedignidade do gráfico mostrado na 4, a probabilidade $P(e)$ é calculada a partir da equação completa 2.

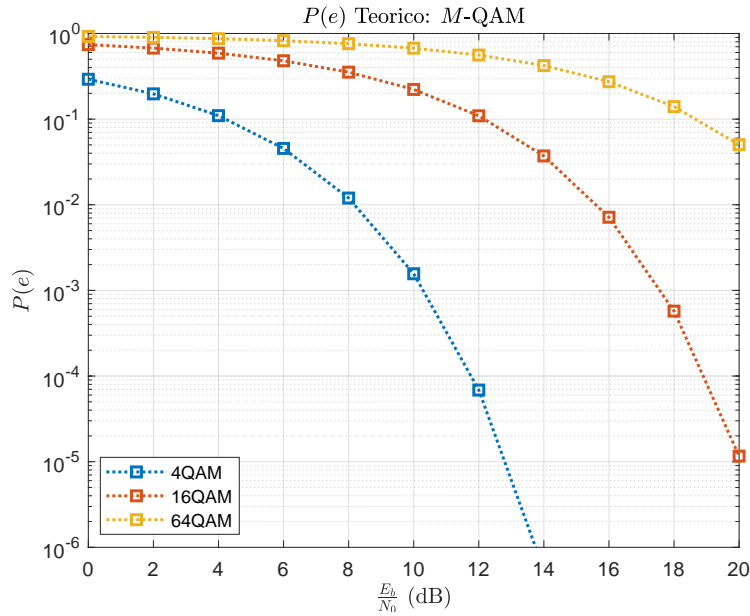


Figura 4: Probabilidade de erro ($P(e)$) teórico M -QAM.

3 Conclusão e Resultados

Referências

- [1] P. Fonseca e R. Carreira, *AmpOp Ideal*, http://intranet.deei.fct.ualg.pt/AC/Sebenta_Online/www.isr.uc.pt/~paulino/cse/Sebenta_Online/cap_15/ampopid.htm, Accessed: 2021-02-16.
- [2] J. G. Proakis e M. Salehi, *Digital Communications*, 5^a ed. 1995.
- [3] C. Pimentel, *Comunicação Digital*, 1^a ed. 2007.