



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

4-PAM

Sistemas de Comunicações I

Gabriel Luiz Espindola Pedro

31 de Maio de 2024

Sumário

| | | |
|---|-----------------|---|
| 1 | Questão 1 | 3 |
| 2 | Questão 2 | 4 |
| 3 | Questão 3 | 6 |

1 Questão 1

1. Gerar uma sequência de bits aleatórios.
2. Mapear a sequência de bits para símbolos utilizando uma sinalização 4-PAM.
3. Aplicar o filtro cosseno levantado com um fator de roll-off especificado (r) e uma taxa de amostragem adequada.
4. Plotar a forma de onda resultante no domínio do tempo.
5. Calcular e plotar a densidade espectral de potência do sinal filtrado.

Após apresentar os gráficos solicitados, responda as seguintes perguntas:

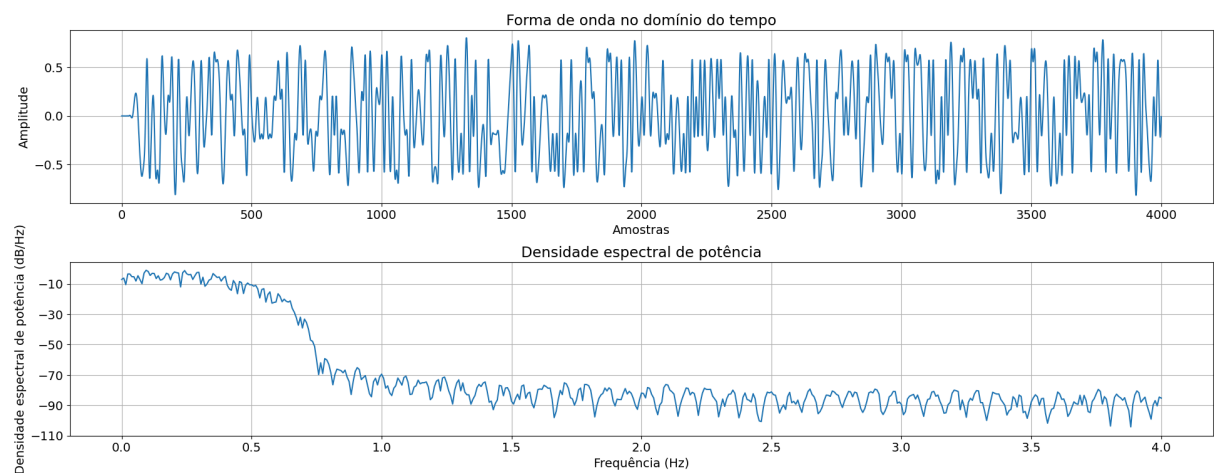


Figura 1: Sinal original e quantizado

- a) Qual o efeito do fator de roll-off na forma de onda do sinal e na densidade espectral de potência?

O fator de roll-off afeta a largura de banda do sinal filtrado. Um fator de roll-off maior resulta em uma maior largura de banda, permitindo uma transição mais suave entre os símbolos, o que reduz a interferência intersimbólica (ISI). No domínio do tempo, isso se traduz em uma forma de onda com transições mais suaves e menos interferência entre símbolos adjacentes. Na densidade espectral de potência, um maior fator de roll-off faz com que o espectro se espalhe mais, ocupando uma maior largura de banda.

- b) Como a taxa de amostragem afeta a qualidade da formatação do sinal?

A taxa de amostragem determina a resolução com a qual o sinal é representado no domínio do tempo. Uma taxa de amostragem alta proporciona uma representação mais precisa das transições do sinal, reduzindo a distorção e a perda de informação. Por outro lado, uma taxa de amostragem baixa pode levar a uma representação inadequada do sinal, resultando em aliasing e perda de fidelidade. Portanto, para garantir uma boa qualidade na formatação do sinal, a taxa de amostragem deve ser suficientemente alta para capturar as características essenciais do sinal modulado.

2 Questão 2

- a) Explique o princípio de operação de um filtro casado e sua importância na detecção de sinais.

Um filtro casado é projetado para maximizar a relação sinal-ruído (SNR) na saída de um receptor, o que é crucial para a detecção de sinais em sistemas de comunicação. O princípio de operação do filtro casado baseia-se na convolução do sinal recebido com uma versão invertida e conjugada do próprio sinal transmitido. Este processo é matematicamente equivalente à correlação cruzada entre o sinal recebido e o sinal de referência.

A importância do filtro casado na detecção de sinais é destacada pelos seguintes pontos:

- Maximização da SNR: O filtro casado é ideal para detectar sinais no meio do ruído, pois ele maximiza a SNR na saída, aumentando a probabilidade de detecção correta do sinal.
 - Resiliência ao ruído: Ao maximizar a SNR, o filtro casado melhora a resiliência do sistema ao ruído, permitindo a detecção precisa do sinal mesmo em condições de baixa relação sinal-ruído.
 - Simplicidade de Implementação: A implementação do filtro casado é relativamente simples, pois envolve operações de convolução e pode ser realizada de maneira eficiente com algoritmos de processamento de sinais.
- b) Quais são as vantagens e desvantagens de aumentar o número de níveis M em M-PAM?

Vantagens:

- Maior Eficiência Espectral: Aumentar o número de níveis M em M-PAM (Modulação por Amplitude de Pulso) permite transmitir mais bits por símbolo, o que aumenta a eficiência espectral do sistema de comunicação.
- Redução da Largura de Banda: Com mais bits transmitidos por símbolo, a taxa de transmissão de símbolos pode ser reduzida para uma dada taxa de bits, potencialmente reduzindo a largura de banda necessária.

Desvantagens:

- Maior Sensibilidade ao Ruído: Com mais níveis M , a distância mínima entre os níveis de amplitude diminui, tornando o sistema mais sensível ao ruído e à interferência. Isso pode aumentar a taxa de erro de bit (BER). Complexidade de Implementação: Sistemas com mais níveis M exigem componentes de hardware mais precisos e complexos para gerar e detectar os níveis de amplitude corretos.

- Requisitos de Potência: Para manter a mesma taxa de erro de bit, é necessário um aumento na potência de transmissão conforme M aumenta, o que pode não ser desejável em todas as situações.
- c) Explique o princípio de operação de um filtro casado e sua importância na detecção de sinais.

A importância do filtro casado na detecção de sinais é destacada pelos seguintes pontos:

- Maximização da SNR: O filtro casado é ideal para detectar sinais no meio do ruído, pois ele maximiza a SNR na saída, aumentando a probabilidade de detecção correta do sinal.
 - Resiliência ao ruído: Ao maximizar a SNR, o filtro casado melhora a resiliência do sistema ao ruído, permitindo a detecção precisa do sinal mesmo em condições de baixa relação sinal-ruído.
 - Simplicidade de Implementação: A implementação do filtro casado é relativamente simples, pois envolve operações de convolução e pode ser realizada de maneira eficiente com algoritmos de processamento de sinais.
- d) Defina o Pulso Ideal de Nyquist e descreva suas propriedades principais.

O Pulso Ideal de Nyquist é um pulso de forma especial utilizado em sistemas de comunicação para evitar a interferência intersimbólica (ISI). Este pulso é projetado para garantir que a amostra no instante desejado corresponda exatamente ao símbolo transmitido, enquanto todas as outras amostras (em outros instantes) são zero.

Propriedades principais do Pulso Ideal de Nyquist:

- Critério de Nyquist: O pulso satisfaz o critério de Nyquist, o que significa que suas amostras em múltiplos inteiros do intervalo de símbolo T são zero, exceto na amostra central.
 - Forma de sinc: O Pulso Ideal de Nyquist é frequentemente representado pela função sinc, $\text{sinc}\left(\frac{t}{T}\right)$, onde T é o período do símbolo. A função sinc é definida como $\text{sinc}(t) = \sin(\pi t)/(\pi t)$.
 - Evita ISI: Devido à sua forma, o Pulso Ideal de Nyquist evita a interferência intersimbólica, garantindo que a amostra de cada símbolo não seja afetada pelos símbolos adjacentes. Largura de Banda: Embora o pulso sinc tenha uma largura de banda infinita em teoria, na prática, ele é truncado para limitar a largura de banda e facilitar a implementação.
- e) Explique o que é a Inter-Symbol Interference (ISI) e como ela afeta a performance de um sistema de comunicação digital.

A Interferência Inter-Simbólica (ISI) ocorre quando os símbolos adjacentes interferem entre si devido a sobreposições no tempo. Isso acontece geralmente por causa de filtros inadequados, dispersão no canal ou efeito de múltiplos caminhos.

Efeitos da ISI na performance de um sistema de comunicação digital:

- Aumento da Taxa de Erro de Bit (BER): A ISI pode fazer com que os símbolos recebidos sejam interpretados erroneamente, aumentando a taxa de erro de bit.
- Redução da Qualidade do Sinal: A presença de ISI degrada a qualidade do sinal, dificultando a detecção correta dos símbolos transmitidos.
- Complexidade de Recepção: Sistemas afetados por ISI exigem métodos de equalização mais complexos no receptor para mitigar os efeitos da interferência e recuperar o sinal original.
- Capacidade de Canal: A ISI pode reduzir a capacidade efetiva do canal, pois a interferência entre símbolos limita a taxa máxima de transmissão de dados sem erros.

A mitigação da ISI é essencial para garantir a alta performance e a confiabilidade dos sistemas de comunicação digital. Isso é frequentemente alcançado por meio de filtros de modelagem adequados (como o filtro cosseno levantado) e técnicas avançadas de equalização.

3 Questão 3

Resolva os seguintes exercícios do livro do Sklar:

- 2.2; 2.17 e 2.18;
- 3.10 e 3.14;

1) (SKLAR 2.2) We want to transmit 800 characters/s, where each character is represented by its 7-bit ASCII codeword, followed by an eighth bit for error detection, per character, as in Problem 2.1. A multilevel PAM waveform with $M = 16$ levels is used.

a) What is the effective transmitted bit rate?

$$R = 800 \text{ characters/s} \cdot (7 + 1) \text{ bits/character} = 6400 \text{ bits/s} \quad (1)$$

b) What is the symbol rate?

$$R_s = \frac{R}{4 \text{ bits/symbol}} = 1600 \text{ symbols/s} \quad (2)$$

2) (SKLAR 2.17) Calculate the difference in required signal power between two PCM waveforms, NRZ and RZ, assuming that each signaling scheme has the same requirements for data-rate and bit-error probability. Also assume equally likely signaling, and that the difference between the high-voltage and low-voltage levels is the same for both the NRZ and RZ schemes. If there is a power advantage in using one of the signaling schemes, what, if any, is the disadvantage in using it?

Calculando a potência média de um sinal NRZ obtemos um valor de $A^2/4$ e para um sinal RZ obtemos $A^2/2$. Portanto, percebemos que utilizando a codificação NRZ necessita de metade da potência do sinal RZ.

- 3) (SKLAR 2.18) In the year 1962, AT&T first offered digital telephone transmission referred to as T1 service. With this service, each T1 frame is partitioned into 24 channels or time slots. Each time slot contains 8 bits (one speech sample), and there is one additional bit per frame for alignment. The frame is sampled at the Nyquist rate of samples/s, and the bandwidth used for transmitting the composite signal is 386 kHz. Find the bandwidth efficiency (bits/s/Hz) for this signaling scheme.

$$\begin{aligned}
 R &= 24 \text{ amostras/frame} \\
 &\cdot 8 \text{ bits/amostra} \\
 &\cdot 8000 \text{ frames/s} \\
 &+ 1 \text{ bit/frame (alinhamento)} \\
 &= 1.544 \text{ Mbits/s}
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$\frac{R}{W} = \frac{1.544 \text{ Mbits/s}}{386 \text{ kHz}} = 4 \text{ bits/s/Hz} \tag{4}$$

- 4) (SKLAR 3.10) Binary data at 9600 bits/s are transmitted using 8-ary PAM modulation with a system using a raised cosine roll-off filter characteristic. The system has a frequency response out to 2.4 kHz.

a) What is the symbol rate?

$$R_s = \frac{9600 \text{ bits/s}}{3 \text{ bits/symbol}} = 3200 \text{ symbols/s} \tag{5}$$

b) What is the roll-off factor of the filter characteristic?

$$W_0 = \frac{R_s}{2} = 1600 \text{ Hz} \tag{6}$$

$$r = \frac{W - W_0}{W_0} = \frac{2400 - 1600}{1600} = 0.5 \tag{7}$$

- 5) (SKLAR 3.14) Consider that NRZ binary pulses are transmitted along a cable that attenuates the signal power by 3 dB (from transmitter to receiver). The pulses are coherently detected at the receiver, and the data rate is 56 kbit/s. Assume Gaussian noise with $N_0 = 10^{-6}$ Watt/Hz. What is the minimum amount of power needed at the transmitter in order to maintain a bit-error probability of $P_B = 10^{-3}$?

$$P_B = Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{N_0}}\right) = Q\left(\sqrt{2\frac{E_b}{2}N_0}\right) \tag{8}$$

$$Q(x) = Q\left(\sqrt{\frac{2A^2\left(\frac{1}{56000}\right)}{10^{-6}}}\right) = 10^{-3} \quad (9)$$

Utilizando a tabela encontramos $x = 3.1$. Portanto, isolando o argumento da função Q :

$$\sqrt{\frac{2A^2\left(\frac{1}{56000}\right)}{10^{-6}}} = 3.1 \quad (10)$$

$$A^2 = 0.268$$

Portanto se não houvesse sinal atenuado a potência mínima seria de 260 mW