



**INSTITUTO
FEDERAL**

Santa Catarina

Câmpus
São José

Atividade Extra

Sistemas de Comunicação I

Arthur Cadore Matuella Barcella

30 de Junho de 2024

Sumário

1. Questão 1:	3
1.1. Realize os seguintes procedimentos:	3
1.2. Responda as questões:	5
2. Questão 2:	6
2.1. Item 1:	6
2.2. Item 2:	6
2.3. Item 3:	6
2.4. Item 4:	7
3. Questão 3:	7
3.1. Item 3.10:	7
3.2. Item 3.14:	8
4. Referências Bibliográficas	8

1. Questão 1:

1.1. Realize os seguintes procedimentos:

- 1. Gerar uma sequência de bits aleatórios

```
1 pkg load signal;
2
3 % quantidade de bits que serão gerados;
4 num_bits = 1000;
5
6 % Gerando bits aleatórios com rand inteiro;
7 bits = randi([0 1], 1, num_bits);
```

- 2. Mapear a sequência de bits para símbolos utilizando uma sinalização 4-PAM.

```
1 % Mapeamento dos bits para símbolos 4-PAM
2
3 % Para esse mapeamento utilizei a seguinte lógica:
4
5 % 00 -> -3
6 % 01 -> -1
7 % 11 -> 1
8 % 10 -> 3
9
10 symbols = zeros(1, num_bits/2);
11 for i = 1:2:num_bits
12     if bits(i) == 0 && bits(i+1) == 0
13         symbols((i+1)/2) = -3;
14     elseif bits(i) == 0 && bits(i+1) == 1
15         symbols((i+1)/2) = -1;
16     elseif bits(i) == 1 && bits(i+1) == 1
17         symbols((i+1)/2) = 1;
18     else
19         symbols((i+1)/2) = 3;
20     end
21 end
```

- 3. Aplicar o filtro cosseno levantado com um fator de roll-off especificado (r) e uma taxa de amostragem adequada.

```
1 % Parâmetros do filtro cosseno levantado
2 roll_off = 0.25;
3
4 % Taxa de amostragem
5 fs = 8
6
7 % Duração do filtro;
8 T = 6;
9
10 % Gerando o vetor de tempo;
11 t = -T/2:1/fs:T/2;
12
13 % Geração do filtro cosseno levantado
```

```

14 h = (sin(pi*t*(1-roll_off)) + 4*roll_off*t.*cos(pi*t*(1+roll_off))) ./
    (pi*t.*(1-(4*roll_off*t).^2));
15
16 h(t==0) = (1-roll_off)+4*roll_off/pi;
17
18 h(abs(t)==1/(4*roll_off)) = roll_off/sqrt(2)*((1+2/pi)*sin(pi/
    (4*roll_off)) + (1-2/pi)*cos(pi/(4*roll_off)));
19
20 % Aumentando a quantidade de Amostras com o upsample para normalizar a taxa
    de amostragem
21 upsampled_symbols = upsample(symbols, fs);
22 filtered_signal = conv(upsampled_symbols, h, 'same');

```

- 4. Plotar a forma de onda resultante no domínio do tempo.

```

1 % Plot da forma de onda no domínio do tempo
2 figure;
3 subplot(2,1,1);
4 plot(filtered_signal);
5 title('Forma de Onda no Domínio do Tempo');
6 xlabel('Amostras');
7 ylabel('Amplitude');

```

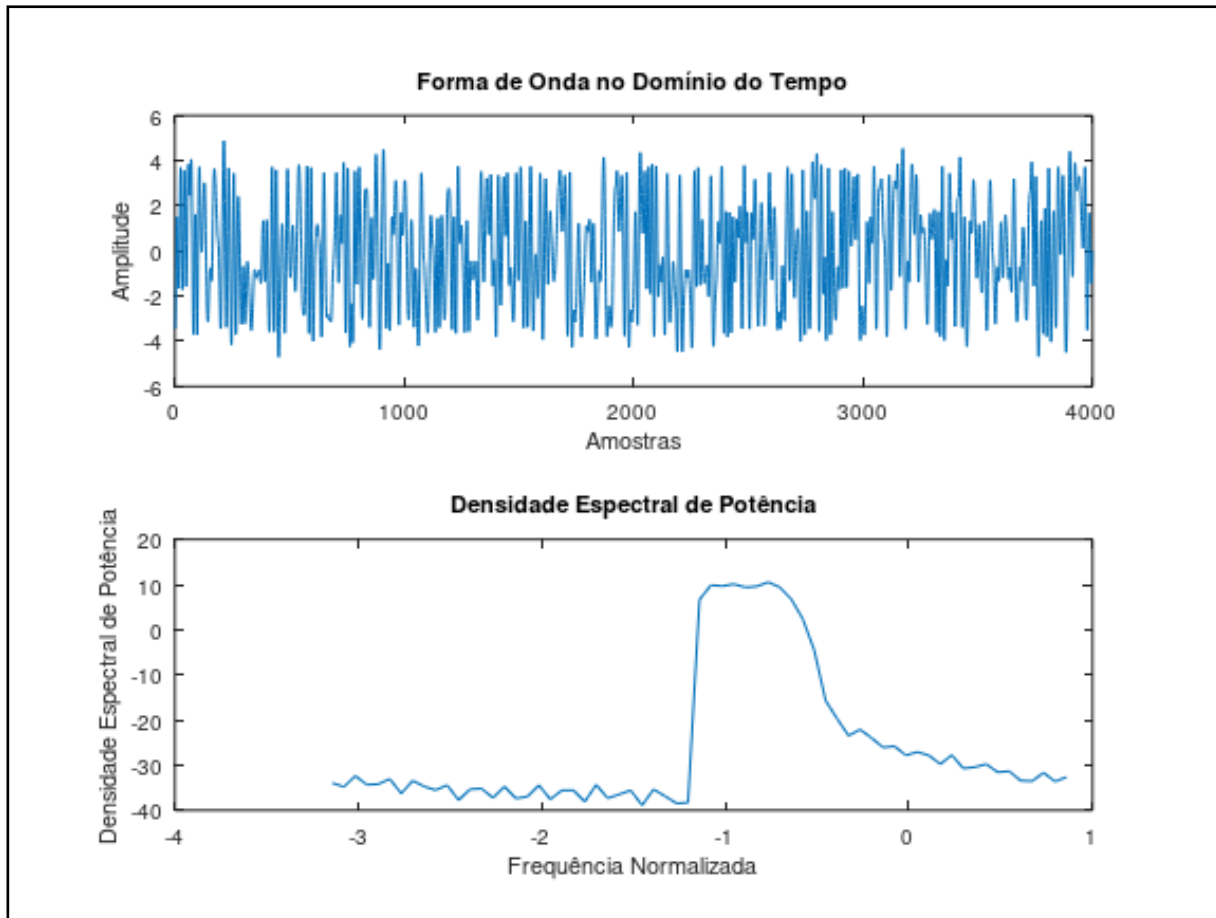
- 5. Calcular e plotar a densidade espectral de potência do sinal filtrado.

```

1 % Cálculo e plot da densidade espectral de potência
2 [pxx, f] = pwelch(filtered_signal, [], [], [], fs);
3
4 subplot(2,1,2);
5 plot(f-pi, 10*log10(fftshift(pxx)));
6 title('Densidade Espectral de Potência');
7 xlabel('Frequência Normalizada');
8 ylabel('Densidade Espectral de Potência');

```

Figure 1: Elaborada pelo Autor



Forma de onda no domínio do tempo e densidade espectral de potência do sinal filtrado.

1.2. Responda as questões:

- 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 forma de onda do sinal deixando ele mais suavizado ou variando mais drasticamente. Um exemplo claro dessa diferença é uma onda senoidal (onde a transição é a mais suave possível) ou em uma onda quadrada (onde a transição é a mais rápida possível entre o valor negativo e positivo).

Quanto menor o roll-off, mais próximo de uma onda quadrada, ou seja, com transições rápidas a onda se torna, isso melhora sua eficiência no espectro, pois concentra sua potência em uma determinada região.

- Como a taxa de amostragem afeta a qualidade da formação do sinal?

A taxa de amostragem afeta diretamente a qualidade da formação do sinal, pois quanto maior a taxa de amostragem, mais amostras do sinal são coletadas e mais detalhes do sinal são amostrados.

Isso é muito importante para garantir que o sinal seja corretamente amostrado e que não haja perda de informações importantes. Caso a taxa de amostragem seja muito baixa, o sinal pode ser subamostrado (ou seja, tão poucas amostras que o sinal não pode ser compreendido no receptor) e informações importantes podem ser perdidas.

2. Questão 2:

Responda as seguintes perguntas:

2.1. Item 1:

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

O filtro casado é um filtro que é projetado para maximizar a relação sinal-ruído (SNR) na saída do receptor para um determinado tipo de sinal.

Ele é projetado para ser o filtro que melhor se adapta ao sinal transmitido, ou seja, em uma transmissão FM por exemplo, podemos utilizar um filtro que “copie” de certa maneira as características de transmissão que o sinal poderá ter, sua largura no espectro, formato de transmissão, componente da onda que irá variar (no caso do FM a frequência) de forma a maximizar a SNR para esse tipo de sinal.

2.2. Item 2:

Quais são as vantagens e desvantagens de aumentar o número de níveis M em M-PAM?

A principal vantagem em aumentar o número de níveis M em M-PAM é que a eficiência espectral do sistema aumenta, ou seja, é possível mandar mais informação pelo meio de transmissão a partir de uma mesma “região do espectro”

Isso é possível pois a quantidade de bits transmitidos por símbolo aumenta mas sem aumentar o consumo do espectro, o que permite transmitir mais informações em um determinado intervalo de tempo.

Por outro lado, a principal desvantagem de aumentar o número de níveis M em M-PAM é que a sensibilidade do sistema ao ruído aumenta e também é muito mais difícil implementar o circuito de transmissão/recepção para operar com uma densidade de símbolos mais alta, ou seja, quanto mais níveis M , mais sensível o sistema se torna ao ruído, o que pode levar a uma maior probabilidade de erro de bit.

Um exemplo de transmissão que aumenta a densidade mas não necessariamente possui desvantagem na recepção é passar de FDM para OFDM, onde ao adicionar uma componente de transmissão ortogonal aumentamos a quantidade de portadoras para a transmissão mas sem necessariamente aumentar a sensibilidade ao ruído.

2.3. Item 3:

Defina o Pulso Ideal de Nyquist e descreva suas propriedades principais.

O pulso de Nyquist é um pulso que é projetado para ser o mais eficiente possível em termos de eficiência espectral, ou seja, ele é projetado para maximizar a quantidade de informação transmitida por um determinado intervalo de tempo.

Esse pulso é utilizado para servir de base para a transmissão de sinais digitais, pois ele é capaz de transmitir a maior quantidade de informação possível em um determinado intervalo de tempo, sem que haja interferência entre os símbolos transmitidos.

2.4. Item 4:

Explique o que é a Inter-Symbol Interference (ISI) e como ela afeta a performance de um sistema de comunicação digital

A interferência entre símbolos é um problema que ocorre quando um símbolo transmitido interfere com o símbolo seguinte, ou seja, quando a transmissão de um símbolo não é completamente finalizada antes que o próximo símbolo seja transmitido.

Isso pode ocorrer devido a diversos fatores, como atrasos na transmissão, reflexões do sinal, interferência de outros sinais, entre outros.

Para evitar esse problema em redes wi-fi por exemplo é utilizado um parâmetro denominado GI ou intervalo de guarda, para evitar que um símbolo interfira no próximo.

3. Questão 3:

3.1. Item 3.10:

Dados binários a 9600 bits/s são transmitidos usando modulação PAM 8-ária com um sistema usando uma característica de filtro de decaimento cosseno levantado. O sistema tem uma resposta em frequência de até 2.4 kHz.

- Qual a taxa de símbolos do sistema?

$$\log_2(8) = 3 \quad (1)$$

Desta forma, temos que 3 é a quantidade de bits utilizada.

$$R_s = \frac{9600}{3} = 3200 \text{ símbolos/s} \quad (2)$$

- Qual é o fator de decaimento da característica do filtro?

$$2.4\text{kHz} = (1 + \alpha) * R_s \quad 1 + \alpha = \frac{2.4 * 10^3}{3200} \quad (3)$$

$$1 + \alpha = 0.75 \Rightarrow \alpha = -0.25 \quad (4)$$

Encontrando alfa, podemos determinar o valor de beta através da seguinte equação:

$$\beta = \frac{1}{\alpha} = \beta = \frac{1}{-0.25} = -4 \quad (5)$$

3.2. Item 3.14:

Considere que pulsos binários NRZ são transmitidos ao longo de um cabo que atenua a potência do sinal em 3 dB (do transmissor para o receptor). Os pulsos são detectados coerentemente no receptor, e a taxa de dados é de 56 kbit/s. Suponha ruído Gaussiano com $N_0 = 10^{-6}$ Watt/Hz. Qual é a quantidade mínima de potência necessária no transmissor para manter uma probabilidade de erro de bit de $P_b = 10^{-3}$? A capacidade do canal é dada por:

$$C = B * \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (6)$$

Dados do problema:

- 56Kbps = B = R
- $P_{\text{TX}} = P_{\text{RX}} - 3\text{dB}$

Desta forma temos que:

$$56 * 10^3 = 56 * 10^3 * \log_2(1 + \text{SNR}) \quad (7)$$

$$56 * 10^3 = 56 * 10^3 * \log_2\left(1 + \frac{P}{2 * 10^{-6}}\right) \quad (8)$$

$$1 = \log_2\left(1 + \frac{P}{2 * 10^{-6}}\right) \quad (9)$$

$$2 = 1 + \frac{P}{2 * 10^{-6}} \quad (10)$$

$$1 = \frac{P}{2 * 10^{-6}} \quad (11)$$

Portanto temos que a potência mínima necessária é de $2 * 10^{-6}$ Watt.

4. Referências Bibliográficas

Para o desenvolvimento deste relatório, foi utilizado o seguinte material de referência:

- Software Defined Radio Using MATLAB & Simulink and the RTL-SDR, de Robert W. Stewart