

**INSTITUTO
FEDERAL**
Santa Catarina

Câmpus
São José

Avaliação 6

Simulação de Códigos Convolucionais

Curso: Engenharia de Telecomunicações
Disciplina: COM29008 - Sistemas de Comunicação II
Professor: Marcio Henrique Doniak e Roberto Wanderley da Nobrega

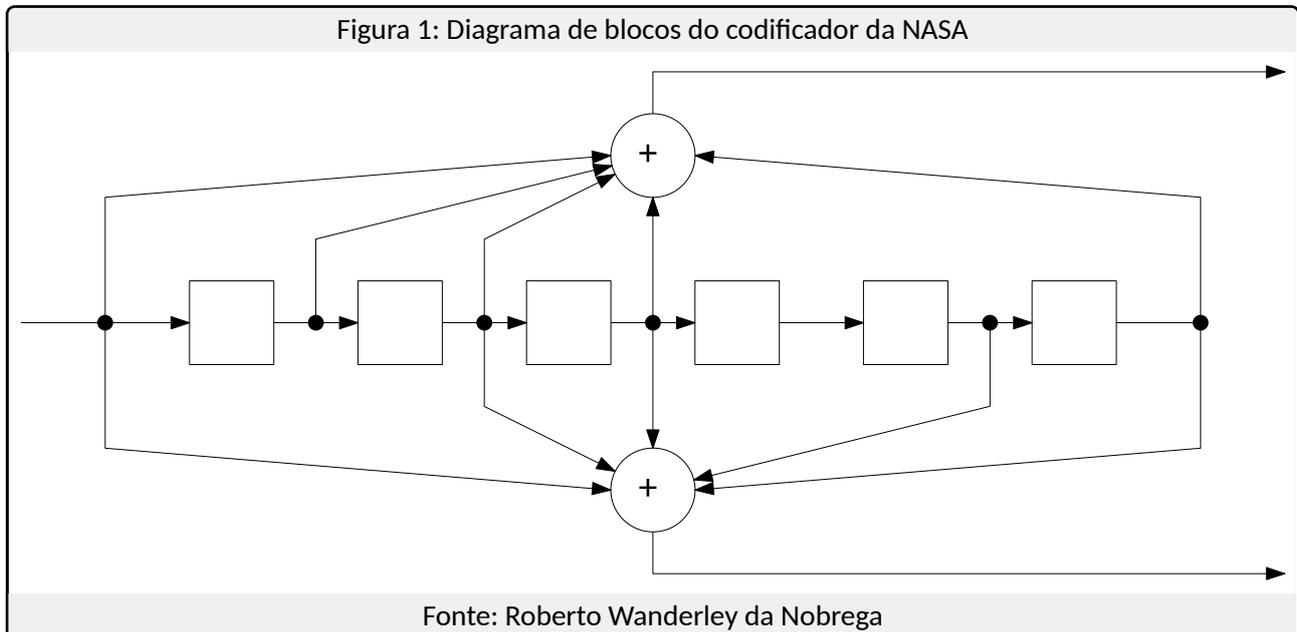
Aluno

João Pedro Menegali Salvan Bitencourt

28 de julho de 2024

Exercício

Simule o desempenho do código convolucional com matrizes geradora $G_0 = [1 \ 1]$, $G_1 = [1 \ 0]$, $G_2 = [1 \ 1]$, bem como do código convolucional da NASA (utilizado na missão Voyager), cujo diagrama de blocos é mostrado na figura a seguir. Assuma canal AWGN, modulação QPSK, terminação no estado zero e decodificação por Viterbi (HDD). Dica: Leia a documentação das funções `poly2trellis`, `convenc` e `vitdec`.



Parâmetros de simulação:

- Número de quadros: $N_q = 1000$.
- Número de blocos de informação por quadro: $h = 200$.
- $\frac{E_b}{N_0}$ variando de -1 a 7 dB, com passo de 1 dB.

A figura de saída deve conter a BER em função de $\frac{E_b}{N_0}$ para os dois códigos e para o sistema não-codificado.

A partir da figura, determine os ganhos de codificação de cada código, em dB, para $P_b = 10^{-3}$.

Para realizar a simulação foi criado o código na linguagem MATLAB abaixo:

```
1  clc; clear all; close all;
2
3  % Parâmetros
4  n = 2; % n bits de saída (quantidade de colunas das
matrizes geradoras)
5  k = 1; % k bits de entrada (quantidade de linhas das
matrizes geradoras)
6  m = 2; % ordem de memória do código convolucional (G0, G1 e G2)
7  cauda = m*k; % Quantidade de zeros adicionados ao final do código
8
9  Nq = 1000; % Número de quadros
10 h = 200; % Número de blocos de informação por quadro
11 EbNo = -1:1:7; % Eb/N0 variando de -1 a 7 dB
12
13 M = 4; % Modulação QPSK
14 k_qpsk = log2(M); % Bits por símbolo
15
16 octal_1 = 7; % Primeiras colunas das matrizes geradoras em octal (1
1 1)
17 octal_2 = 5; % Segundas colunas das matrizes geradoras em octal (1
0 1)
```

```

18 quant_atrasos = 3;      % Quantidade de atrasos
19
20 % Parâmetros do código da NASA
21 m_nasa = 6;           % ordem de memória do código convolucional da NASA
22 cauda_nasa = m_nasa*k; % Quantidade de zeros adicionados ao final do código
23 octal_1_nasa = 171;   % Primeiras colunas das matrizes geradoras em octal (1
    1 1 1 0 0 1)
24 octal_2_nasa = 133;   % Segundas colunas das matrizes geradoras em octal (1
    0 1 1 0 1 1)
25 quant_atrasos_nasa = 7; % Quantidade de atrasos do código da NASA
26
27 trellis = poly2trellis(quant_atrasos, [octal_1 octal_2]);
28 trellis_nasa = poly2trellis(quant_atrasos_nasa, [octal_1_nasa octal_2_nasa]);
29
30 % Simulação dos códigos convolucionais e sem codificação
31 pos_EbNo = 1;
32 for i = 1:length(EbNo)
33     SNR = EbNo(i) + 10*log10(k_qpsk);
34     SNR
35     for quadro = 1:Nq
36         % Mensagem transmitida (tirando a cauda)
37         u = randi([0 1], h-cauda_nasa, k);
38
39         % Adição da cauda
40         % Aqui será considerada a cauda da NASA pois é a maior
41         u_cauda = [u; zeros(cauda_nasa, k)];
42
43         % Codificação
44         v      = convenc(u_cauda, trellis);
45         v_nasa = convenc(u_cauda, trellis_nasa);
46
47         % Formatação
48         u_cauda_formatado = reshape(u_cauda, length(u_cauda)/k_qpsk, k_qpsk);
49         v_formatado      = reshape(v, length(v)/k_qpsk, k_qpsk);
50         v_nasa_formatado = reshape(v_nasa, length(v_nasa)/k_qpsk, k_qpsk);
51
52         % Conversão para símbolos
53         u_cauda_sym = bi2de(u_cauda_formatado, 'left-msb');
54         v_sym      = bi2de(v_formatado, 'left-msb');
55         v_nasa_sym = bi2de(v_nasa_formatado, 'left-msb');
56
57         % Modulação QPSK
58         x      = pskmod(u_cauda_sym, M);
59         y      = pskmod(v_sym, M);
60         y_nasa = pskmod(v_nasa_sym, M);
61
62         % Canal AWGN
63         x_awgn      = awgn(x, SNR, 'measured');
64         y_awgn      = awgn(y, SNR, 'measured');
65         y_nasa_awgn = awgn(y_nasa, SNR, 'measured');
66
67         % Demodulação
68         u_cauda_sym_demod = pskdemod(x_awgn, M);
69         v_sym_demod      = pskdemod(y_awgn, M);
70         v_nasa_sym_demod = pskdemod(y_nasa_awgn, M);
71
72         % Conversão para bits
73         b_sc_formatado = de2bi(u_cauda_sym_demod, k_qpsk, 'left-msb'); %
Sem codificação
74         b_formatado   = de2bi(v_sym_demod, k_qpsk, 'left-msb'); %
Código convolucional
75         b_nasa_formatado = de2bi(v_nasa_sym_demod, k_qpsk, 'left-msb'); %
Código convolucional da NASA
76

```

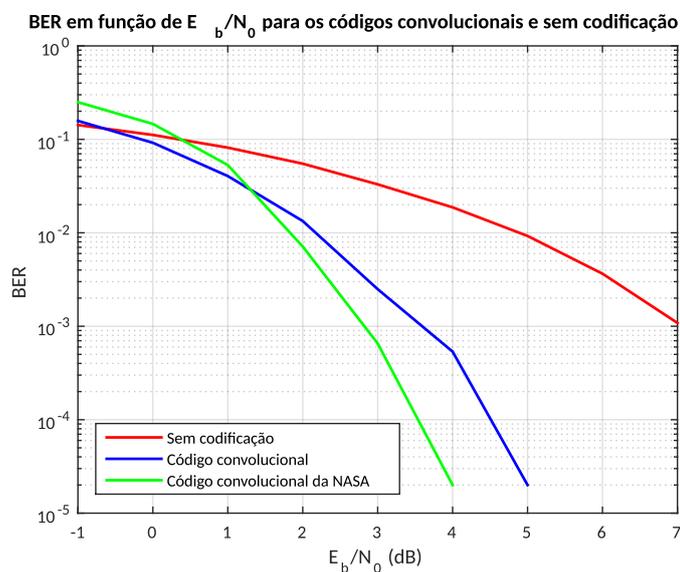
```

77
78     % Reverter a formatação
79     b_sc    = reshape(b_sc_formatado, [], 1);
80     b      = reshape(b_formatado, [], 1);
81     b_nasa = reshape(b_nasa_formatado, [], 1);
82
83     % Decodificação
84     u_hat   = vitdec(b, trellis, length(u_cauda), 'term', 'hard');
85     u_hat_nasa = vitdec(b_nasa, trellis_nasa, length(u_cauda), 'term',
86 'hard');
87
88     % Cálculo da BER
89     [~, taxa_erro_sc(quadro)] = biterr(b_sc, u_cauda);
90     [~, taxa_erro(quadro)]   = biterr(u_hat, u_cauda);
91     [~, taxa_erro_nasa(quadro)] = biterr(u_hat_nasa, u_cauda);
92
93     ber_sc(pos_EbNo) = mean(taxa_erro_sc);
94     ber(pos_EbNo)   = mean(taxa_erro);
95     ber_nasa(pos_EbNo) = mean(taxa_erro_nasa);
96
97     pos_EbNo = pos_EbNo + 1;
98 end
99
100 % Gráficos
101 figure;
102 semilogy(EbNo, ber_sc, 'r', 'LineWidth', 1.5);
103 hold on;
104 semilogy(EbNo, ber, 'b', 'LineWidth', 1.5);
105 semilogy(EbNo, ber_nasa, 'g', 'LineWidth', 1.5);
106 grid on;
107 xlabel('E_b/N_0 (dB)');
108 ylabel('BER');
109 legend('Sem codificação', 'Código convolucional', 'Código convolucional da
110 NASA', 'Location', 'southwest');
111 title('BER em função de E_b/N_0 para os códigos convolucionais e sem
112 codificação');

```

A partir da simulação, foi gerado o seguinte gráfico de BER em função de $\frac{E_b}{N_0}$:

Figura 2: BER em função de E_b/N_0 para os códigos convolucionais e sem codificação.



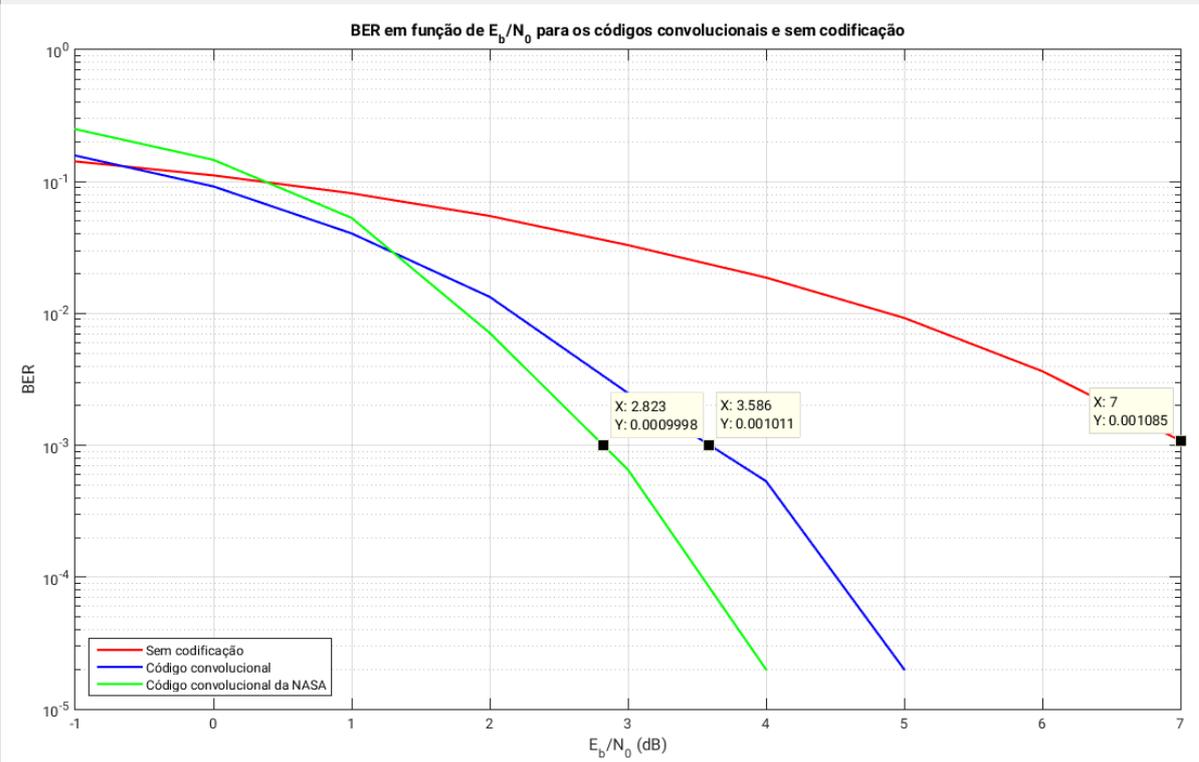
Fonte: Autoria própria.

Observando as curvas de cada transmissão, é possível verificar, quando a probabilidade de erro de bit é de $P_b = 10^{-3}$, que:

- há diferença de 0,763 dB entre o código convolucional da NASA e o código convolucional mais simples;
- há diferença de 4,177 dB entre o código convolucional da NASA e a transmissão que não utilizou codificação;
- há diferença de 3,414 dB entre o código convolucional mais simples e a transmissão que não utilizou codificação.

Abaixo, está a o gráfico com os valores destacados:

Figura 3: BER em função de E_b/N_0 para os códigos convolucionais e sem codificação com valores destacados quando a probabilidade de erro de bit (BER) é 0,001.



Fonte: Autoria própria.