

# ALGORITMOS DE DECODIFICAÇÃO DE CÓDIGOS DE BLOCO COM DECISÃO SUAVE EM CANAIS COM DESVANECIMENTO

Karl Vandesman de Matos Sousa<sup>1</sup>; Cecilio José Lins Pimentel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Estudante do Curso de Engenharia Eletrônica - CTG – UFPE; E-mail: karlvandesman@gmail.com,

<sup>2</sup>Docente do Departamento de Eletrônica e Sistemas – CTG – UFPE. E-mail: cecilio.pimentel@gmail.com.

**Sumário:** Neste trabalho é desenvolvido um algoritmo para a simulação de canais com desvanecimento Rayleigh correlacionado no tempo e com ruído aditivo gaussiano branco. O sistema com essas características é denominado canal discreto com desvanecimento (DFC, *Discrete Fading Channel*) e será modelado com canais de estados finitos Markovianos (FSMC, *Finite State Markov Channel*), que são comumente utilizados para caracterizar a memória de canais discretos. A topologia FSMC utilizada neste trabalho é o modelo Nascimento e Morte com  $K$  estados ( $K$ -NM). Para testar a precisão do modelamento, são comparadas várias estatísticas do DFC com as do FSMC. Inicialmente é considerado o caso de canais binários (entrada binária, saída binária). Em seguida, considera-se uma quantização uniforme de  $2^q$  níveis, mostrando que com a incorporação da decisão suave há uma grande melhoria no desempenho do sistema de comunicações.

**Palavras-chave:** canais com memória; códigos corretores de erro; modelamento de canais; decisão suave; simulação de algoritmos

## INTRODUÇÃO

A tecnologia da comunicação sem fio está cada vez mais presente na sociedade. Com isso, é requerido mais estudos acerca dessa tecnologia, para viabilizar uma maior rapidez na comunicação e uma maior confiabilidade (com menos erros na transmissão). É nesse contexto que este projeto se insere, em que é realizado um estudo de códigos corretores de erro operando em um modelo de canal comumente adotado em sistemas sem fio.

Mais especificamente nas comunicações móveis, onde os celulares ganham destaque, as interferências e erros que surgem na transferência de mensagens ocorrem em surtos, apresentando assim uma relação de dependência estatística na ocorrência destes erros. É essa a característica principal de canais ditos com memória, tratados neste trabalho.

Será considerado um canal com desvanecimento Rayleigh correlacionado no tempo e com ruído aditivo Gaussiano branco, denominado de DFC. Para captar a memória do DFC foi proposto a utilização de modelos FSMC. Para o modelamento ser de fato aplicável, é necessário que o desempenho dos modelos FSMC propostos se aproximem suficientemente do obtido pelo DFC.

Um FSMC é composto de uma cadeia de Markov homogênea, estacionária, de  $K$  estados, sendo  $\mathbf{P}$  a  $K \times K$  matriz de probabilidades de transição. Cada elemento desta matriz,  $p_{i,j}$ , em que  $i, j \in \{0, 1, \dots, K - 1\}$  é a probabilidade condicional que a cadeia transicione para o estado  $j$  dado que esteja no estado  $i$ . Para um FSMC binário, a um estado  $i$  da cadeia está associado um canal BSC com probabilidade de erro  $P_i$ ,  $i \in \{0, 1, \dots, K - 1\}$ . O modelo Nascimento e Morte com  $K$  estados é um caso particular de um FSMC em que existem apenas transições entre os estados vizinhos. O modelo 2-NM é conhecido como canal Gilbert-Elliot (GEC). Foi utilizado no decodificador decisão suave para garantir uma maior confiabilidade na transmissão das mensagens. Verifica-se que este procedimento acarreta uma melhoria substancial no desempenho do sistema.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Inicialmente, um programa computacional foi construído para a análise de desempenho de códigos LDPC em canais  $K$ -NM. Nas simulações realizadas, se deseja obter dois importantes parâmetros que costumam ser usados para definir o desempenho de um código: a taxa de bits errados (BER, *Bit Error Rate*) e a taxa de palavras erradas (WER, *Word Error Rate*).

Inicialmente são realizadas leituras de dois arquivos de texto contendo alguns dados para a definição do sistema de comunicação desejado. No primeiro arquivo, denominado *Input*, se encontram os parâmetros do modelo de canal, que são obtidos através do algoritmo Baum-Welch. No segundo arquivo está armazenada a matriz  $\mathbf{H}$  do código. Os principais códigos utilizados foram  $LDPC(3840,1792)$  e  $LDPC(15000,7500)$ , todos de taxa 1/2.

A Figura 1 mostra o andamento da simulação, em que *Rounds* representa a quantidade de palavras-código transmitidas e *Block errors* a quantidade de mensagens decodificadas de forma incorreta. No final da simulação são armazenadas em um arquivo de texto tanto os dois parâmetros citados anteriormente (BER e WER), como também informações que descrevem o código utilizado e parâmetros do modelo adotado para o modelamento.

```

C:\Users\Estudante\Dropbox\IC - Telecomunicações\Algoritmos\AWGN LDPC\AWGN LDPC.exe
Index matrices loaded
Parity check matrices cleared
Simulation started
Rounds: 1. Block errors: 1. Bit errors: 19. BER: 0.019
Rounds: 5. Block errors: 2. Bit errors: 58. BER: 0.0116
Rounds: 9. Block errors: 3. Bit errors: 79. BER: 0.00877778
Rounds: 12. Block errors: 4. Bit errors: 152. BER: 0.0126667
Rounds: 25. Block errors: 5. Bit errors: 196. BER: 0.00784
Rounds: 26. Block errors: 6. Bit errors: 208. BER: 0.008
Rounds: 34. Block errors: 7. Bit errors: 242. BER: 0.00711765
Rounds: 38. Block errors: 8. Bit errors: 258. BER: 0.00678947
Rounds: 41. Block errors: 9. Bit errors: 289. BER: 0.00704878
Rounds: 43. Block errors: 10. Bit errors: 323. BER: 0.00751163
Rounds: 44. Block errors: 11. Bit errors: 374. BER: 0.0085
Rounds: 47. Block errors: 12. Bit errors: 402. BER: 0.00855319
  
```

Figura 1: Resultados parciais da simulação.

## RESULTADOS

A partir do algoritmo de Baum-Welch foram obtidos os parâmetros de modelos binários GEC, que compreende a matriz de probabilidades de transição  $\mathbf{P}$  e a matriz de probabilidade de erro de cada estado  $\mathbf{B}$  (dimensão  $2^q \times K$ ). Primeiramente os modelos foram agrupados em dois conjuntos (Tabela 1), em que no primeiro caso fixou-se o parâmetro do DFC ( $f_D T = 10^{-3}$ ) para alguns valores de SNR e no segundo a velocidade de desvanecimento passa a ser  $f_D T = 5 \cdot 10^{-3}$  sendo, portanto, mais rápida. Em seguida, foram desenvolvidos modelos com decisão suave. Então, para esses diversos modelos são feitas simulações e comparações com as simulações de seus correspondentes canais DFC. Os gráficos são apresentados nas Figuras 2, 3 e 4.

Tabela 1: Modelos GEC que modelam um DFC.

(a) Com  $f_D T = 10^{-3}$ .

(b) Com  $f_D T = 5 \cdot 10^{-3}$ .

SNR	$p_{0,1}$	$p_{1,0}$	$P_0$	$P_1$
2,5dB	0,002	0,004	0,024	0,226
B	6	5	5	9
3dB	0,002	0,004	0,020	0,220
B	5	6	9	4
3,5dB	0,006	0,018	0,023	0,262
B	2	4	2	9
4dB	0,002	0,005	0,015	0,209
B	4		5	
5dB	0,002	0,005	0,011	0,199
B	2	4	1	1

SNR	$p_{0,1}$	$p_{1,0}$	$P_0$	$P_1$
2,5dB	0,012	0,020	0,023	0,247
B	4	2	4	5
2,25dB	0,012	0,020	0,021	0,244
B	2	8	6	
2,5dB	0,012	0,021	0,020	0,241
B		3	1	7
3dB	0,011	0,022	0,017	0,235
B	5	2	0	8
3,25dB	0,011	0,022	0,015	0,233
B	3	7	7	3

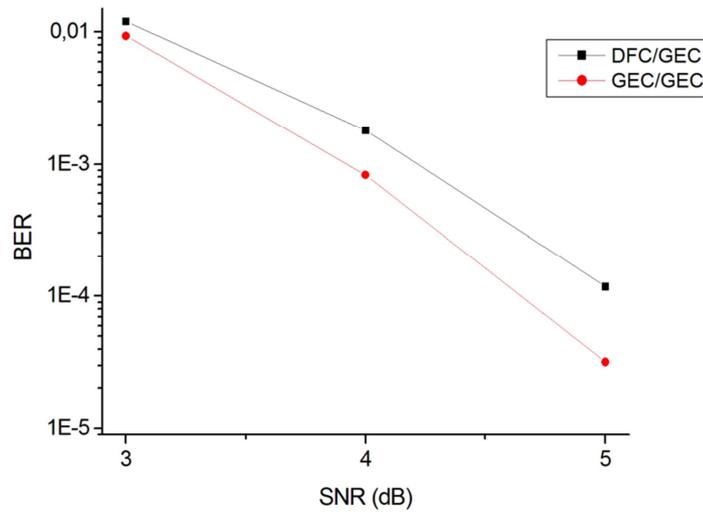


Figura 2: BER versus SNR,  $f_D T = 10^{-3}$  código LDPC(15000, 7500) com 150 blocos de erro.

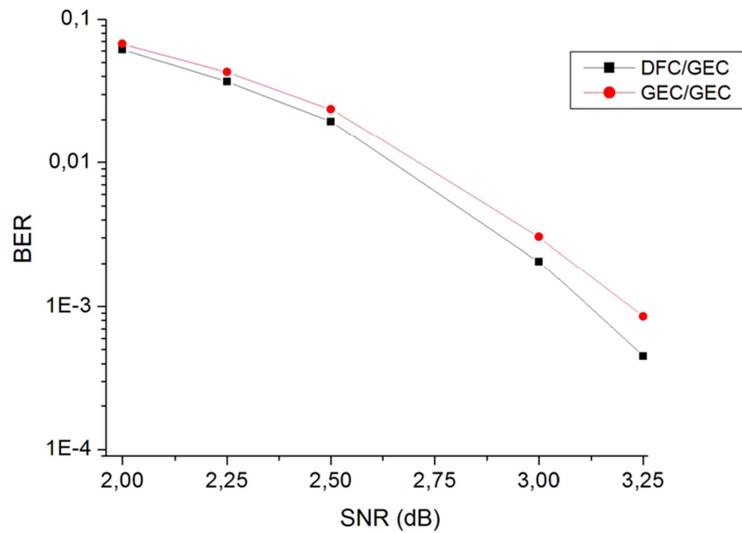


Figura 3: BER versus SNR,  $f_D T = 5 \cdot 10^{-3}$  código LDPC(15000, 7500) com 250 blocos de erro.

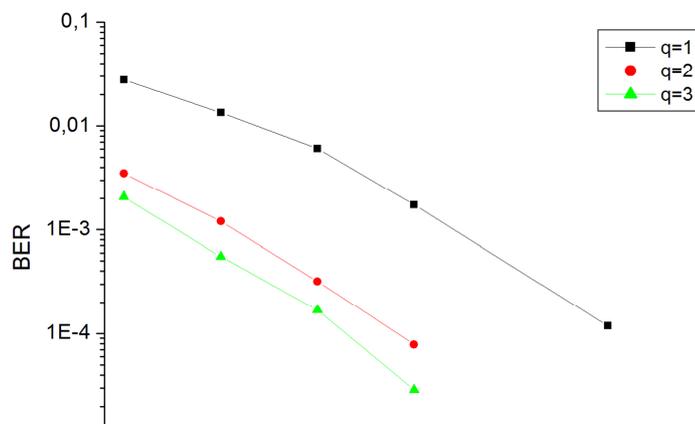


Figura 4: *BER versus SNR com decisão suave,  $f_D T = 10^{-3}$  código LDPC(15000, 7500) e 150 blocos de erro.*

## DISCUSSÃO

Nos modelos da Tabela 1 pretendeu-se ver o quão próximo os modelos propostos se aproximavam do DFC. Para este fim, é implementado no sistema de comunicações um canal DFC, e o decodificador emprega um GEC que aproxima este canal. Este sistema é denominado DFC/GEC, sendo um sistema descasado. Por outro lado, se tanto o canal quanto o decodificador usam o GEC, denominamos GEC/GEC. Os resultados das simulações desses dois conjuntos de modelos são apresentados nas Figuras 2 e 3. Nesses gráficos, se vê uma proximidade nas curvas do DFC/GEC com o GEC/GEC, aumentando a diferença quanto maior for a SNR.

Diferentemente dos dois gráficos das Figuras 2 e 3, para se mostrar a eficiência da utilização da quantização suave no decodificador, foi usado apenas o modelo descasado e analisado a BER. Observa-se um importante ganho de desempenho quando se compara as curvas do sistema binário ( $q = 1$ ) com um sistema quaternário ( $q = 2$ ). Um ganho de menor escala ainda é obtido se  $q$  é aumentado para 3, isto é, usa-se um quantizador de 8 níveis. Nos três gráficos apresentados o eixo horizontal representa a SNR em decibéis, e no eixo vertical a BER, numa escala logarítmica.

## CONCLUSÕES

De acordo com os gráficos apresentados pôde-se confirmar algumas expectativas quando ao modelamento de canais usando topologias FSMC. A velocidade do desvanecimento não influenciou a precisão do modelamento, pois para diferentes  $f_D T$ , se obteve uma aproximação semelhante nas curvas DFC/GEC e GEC/GEC, considerando a mesma SNR. E quanto à implementação da decisão suave no decodificador, foi visto na Figura 4 a grande melhoria na BER com  $q = 2$  e  $q = 3$ . Isso mostra que muita informação pode ser perdida com a decisão abrupta ( $q = 1$ ), diminuindo a confiabilidade na transmissão das mensagens. Pode-se ver também uma saturação no aumento da quantização  $q$ , em que se pode chegar a um valor limite de  $q$  onde não há mais melhoria na BER aumentando-se a quantização.

## AGRADECIMENTOS

Acima de tudo agradeço a meus pais Carlos e Vanda, a quem devo principalmente minha formação e educação. Agradeço também ao CNPq por viabilizar esse projeto e incentivar jovens que estão começando na área de pesquisa científica. Grato ao orientador Cecilio Pimentel que me deu total suporte e sempre conduziu a pesquisa com dedicação, paciência e de forma muito organizada.

## REFERÊNCIAS

- [1] BARROS, Felipe Pereira. *Modelamento de canais com desvanecimento plano usando modelos nascimento e morte*. Junho de 2014. 45 f. Trabalho de graduação do Departamento de Engenharia Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco. Recife. 2014.
- [2] J. C. Moreira, P. G. Farrel, **Essentials of error-control Coding**, Wiley, 2006.
- [3] T. Richardson, R. Urbanke, **Modern Coding Theory**, Cambridge University Press, 2008.
- [4] R.M. Tanner, J. Chen, “A Hybrid Coding Scheme for the Gilbert-Elliot Channel”, *IEEE Transactions on Communications*, vol. 54, no.10, pp. 1787-1796, outubro de 2006.