

Eficiência da Polarização de Canal nos Códigos Polares Sistemáticos e Decodificação por Cancelamento Sucessivo para Redes 5G

Alysson B. de Souza, Luiz W. A. Rodrigues, Maria F. F. de Aguiar, Suzete E. N. Correia, Taciana A. Souza

Resumo—Este trabalho tem como objetivo a análise dos códigos polares sistemáticos e sua decodificação por cancelamento sucessivo para aplicação em Redes 5G. Para tanto, são extraídas as Taxas de Erro de Bit (BER), de palavras código com modulação BPSK, transmitidas através de um canal AWGN. Diversos comprimentos de palavras código foram avaliados e o melhor resultado foi obtido para o tamanho de 2048 bits, considerando uma BER de 10^{-6} .

Palavras-Chave—Comunicações Digitais, Codificação de Canal, Códigos Polares, 5G.

Abstract—This work aims to analyze systematic polar codes and their decoding by successive cancellation for application in 5G networks. For this purpose, Bit Error Rates (BER) are extracted from codewords with BPSK modulation, transmitted through an AWGN channel. Several codeword lengths were evaluated, and the best result was obtained for a length of 2048 bits, considering a BER of 10^{-6} .

Keywords—Digital Communications, Channel Coding, Polar Codes, 5G.

I. INTRODUÇÃO

As comunicações móveis evoluíram significativamente na última década e vêm desempenhando um papel importante no cotidiano das pessoas, seja para lazer ou trabalho. As redes 5G entraram em operação no Brasil, em dois padrões: NSA (*Non-Standalone*) e SA (*Standalone*) [1][2]. Ambas incluem a eMBB (*Enhanced Mobile Broadband*, ou banda larga móvel melhorada), que permite maiores velocidades de taxa de transmissão e menor tempo de resposta de rede. Tais características são atrativas para a expansão da digitalização de empresas e experiência imersiva em aplicações envolvendo realidade mista, por exemplo.

Para que os novos serviços e recursos possam ser utilizados com a eficiência que o 5G possibilita, a codificação de canal desempenha um papel crucial, na detecção e correção de erros. No cenário eMBB, os códigos polares têm sido adotados para o canal de controle, por se aproximar dos limites da capacidade de canal, estabelecida por Shannon, quando o tamanho do bloco da palavra código vai para infinito [2] [3].

Os códigos polares foram propostos por Arikan [4] e correspondem a códigos de blocos lineares que utilizam o princípio da polarização de canal, para que os bits de informação

sejam enviados através dos canais confiáveis (bons) e os bits congelados sejam enviados para os canais ruidosos (ruins ou não confiáveis).

Este trabalho propõe a implementação de um sistema de comunicação a fim de avaliar diversos comprimentos de palavras código em função da Taxa de Erro de Bit, empregando códigos polares sistemáticos e a decodificação por cancelamento sucessivo.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A. Codificação

Os códigos polares são códigos de bloco lineares de comprimento $N = 2^n$ e taxa $R = \frac{K}{N}$, de modo que $K < N$. O valor K corresponde ao comprimento dos bits de informação e os restantes $N - K$ aos bits menos confiáveis, fixados com o valor zero e denominados de bits congelados.

A ideia principal consiste em dividir um canal discreto de capacidade $I(W)$ em N canais com capacidade zero ou um. A fração $I(W)$ de canais se tornará canais perfeitos sem ruído e o restante, $1 - I(W)$ se tornará completamente ruidoso. Esse processo é conhecido como polarização, podendo ser calculado de maneira recursiva, para o caso específico do canal BEC (Binary Erasure Channel, ou canal binário com apagamento), pelas equações [5]:

$$I(W_{(2i-1)}^N) = I(W_i^{N/2})^2, \quad (1)$$

$$I(W_{(2i)}^N) = 2I(W_i^{N/2}) - I(W_i^{N/2})^2. \quad (2)$$

O processo de codificação pode ser obtido por [4]:

$$x_1^N = u_1^N G_N, \quad (3)$$

em que o vetor u_1^N é codificado em um vetor x_1^N através da multiplicação pela matriz geradora G_N , de ordem N , que resulta do produto de Kronecker da matriz $G^{\otimes n}$, $G = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$. O desempenho dos códigos polares depende significativamente da posição dos bits congelados, os quais devem ser alocados para serem transmitidos pelos canais menos confiáveis.

B. Decodificação por Cancelamento Sucessivo

A decodificação por cancelamento sucessivo proposta por Arikan [4], pode ser interpretada como uma busca em árvore binária, como ilustra a Figura 1. Em cada nó, é calculada a razão de verossimilhança entre a probabilidade do bit ser 1 ou 0, empregando o *Logarithmic Likelihood Ratio* (LLR), dado os

Alysson B. de Souza, Luiz W. A. Rodrigues, Maria F. F. de Aguiar, Suzete E. N. Correia (Tutora PET), Taciana A. Souza, Instituto Federal da Paraíba, João Pessoa-PB, Brasil. E-mails: alysson.batista@academico.ifpb.edu.br, luiz.walker@academico.ifpb.edu.br, fernanda.aguiar@academico.ifpb.edu.br, suzete@ifpb.edu.br, taciana.souza@ifpb.edu.br

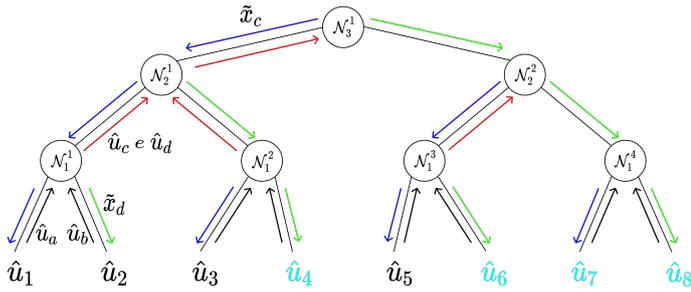


Fig. 1: Árvore Binária da Decodificação por Cancelamento Sucessivo para $N = 8$.

valores dos bits decodificados nos nós anteriores. Inicialmente, as LLRs da palavra código recebida \tilde{x}_a ou \tilde{x}_b , são calculadas. Tais valores são usados para o cálculo da LLR \tilde{x}_c , Equação (4), representada pelas setas em azul. A LLR \tilde{x}_d , da Equação (5), setas verdes, necessita de \tilde{x}_a , \tilde{x}_b e da estimativa do bit \hat{u}_a . Com as estimativas dos bits \hat{u}_a e \hat{u}_b que foram fornecidos no nó folha esquerdo e direito, podem ser calculados os bits \hat{u}_c e \hat{u}_d a partir das Equações (6) e (7), respectivamente, representados pelas setas em vermelho. Após essa etapa cada nó resultante é estimado até que se complete a decodificação de cada um dos bits \hat{u}_i , de acordo com a Equação (8). O valor A^c corresponde aos bits dos canais congelados [6] [7].

$$\tilde{x}_c \approx \text{sign}(\tilde{x}_a)\text{sign}(\tilde{x}_b)\min(|\tilde{x}_a|, |\tilde{x}_b|) \quad (4)$$

$$\tilde{x}_d = (-1)^{\hat{u}_a}\tilde{x}_a + \tilde{x}_b \quad (5)$$

$$\hat{u}_c = \text{XOR}(\hat{u}_a, \hat{u}_b) \quad (6)$$

$$\hat{u}_d = \hat{u}_b \quad (7)$$

$$\hat{u}_i = \begin{cases} 0 & \text{se } \hat{u}_i \in A^c \text{ ou } \tilde{x}_c \text{ ou } \tilde{x}_d \geq 0 \\ 1 & \text{se } \tilde{x}_c \text{ ou } \tilde{x}_d < 0 \end{cases} \quad (8)$$

III. MATERIAIS E MÉTODOS

A Figura 2 apresenta o diagrama em blocos do sistema implementado. As mensagens de K bits são codificadas através de códigos polares e moduladas com modulação BPSK, antes de serem transmitidas através de um canal AWGN. Na recepção, após a demodulação, as palavras código são decodificadas usando algoritmo de cancelamento sucessivo. As rotinas empregadas foram implementadas na linguagem de programação Python, e fazem parte de um biblioteca disponibilizada em [8]. O tamanho da palavra código foi $N = 8$ com taxa $R = 1/2$.

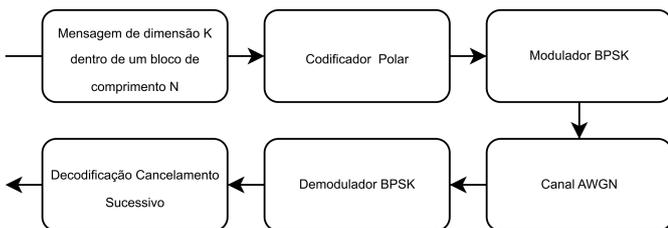


Fig. 2: Diagrama em blocos do sistema implementado.

IV. RESULTADOS

Para cada valor de N da palavra código, foi obtido o comportamento da relação sinal-ruído em função da taxa de erro de bit (BER). Observa-se na Figura 3 que a medida que o valor de N aumenta, a BER diminui para uma mesma relação sinal-ruído, comprovando que a mensagem é transmitida por canais mais confiáveis. Logo espera-se que se N tender a infinito, a capacidade do canal será alcançada

Através das simulações os canais de tamanho $N = 2048$, $N = 1024$ e $N = 512$ provaram ser os mais eficientes em ambientes onde a relação E_b/N_0 é menor que 5dB, convergindo mais rápido para um valor de BER de 10^{-6} .

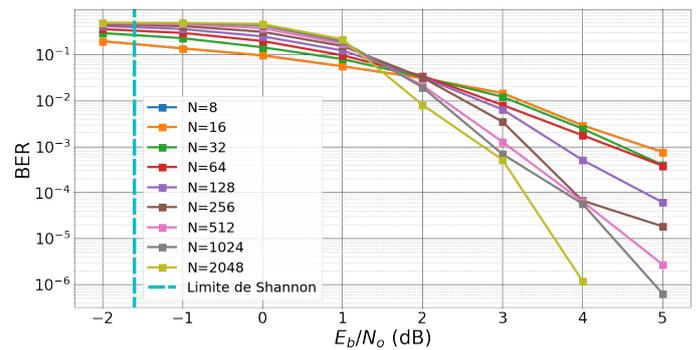


Fig. 3: Desempenho dos códigos polares.

V. CONCLUSÕES

Neste trabalho, mostrou-se os procedimentos de codificação e decodificação de códigos polares dentro dos padrões de sistemas sem fio e comparou o seu desempenho para diferentes comprimentos de palavra código. O melhor valor testado ocorreu para uma palavra código de tamanho 2048 bits e BER de 10^{-6} , o qual requer uma relação sinal ruído de 4 db.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e IFPB pelo apoio financeiro.

REFERÊNCIAS

- [1] F Lima, I. C. e Smith. *Códigos polares e ldpc para o urllc do 5g*. In XXXVIII Simpósio Brasileiro de Telecomunicações e Processamento de Sinais, pages 1–2, Florianópolis, Brasil, 2020
- [2] Bioglio, V., Condo, C. and Land, I. *Design of Polar Codes in 5G New Radio*. IEEE Communications Surveys and Tutorials - 2021
- [3] Carapic, D. and Maksimovic, M. *A Comparison of 5G Channel Coding Techniques LPDC and Polar Codes*. International Journal of Electrical Engineering and Computing - 2020
- [4] E. Arıkan *Channel polarization: A method for constructing capacity achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels*: IEEE Transactions on Information Theory, vol. 55, no. 7, pp. 3051–3073, July 2009.
- [5] Erdal Arıkan *Polar Coding* : NASIT 2022 Tutorial, 7-16, August 13, 2022
- [6] Robert G. Maunder and AccelerComm and June. The implementation challenges of polar codes. AccelerComm and June - 2017
- [7] Zunaira Babar, Zeynep Burcin Kaykac Egilmez, Luping Xiang, Daryus Chandra, Robert G. Maunder, Soon Xin Ng, L. Hanzo. *Polar Codes and Their Quantum-Domain Counterparts*. IEEE Communications Surveys Tutorials, 12-13, August 2019
- [8] Bradon McBain. *Polar codes in python: Main reference*. Disponível em: <https://mcbain.github.io/polar-codes-docs/mcbain/polar-codes>.