

# Códigos Polares e LDPC para o URLLC do 5G NR

Ian Cavalcante Lima e Fernanda Smith

**Resumo**— O presente artigo apresenta uma análise dos códigos Polares e LDPC para o cenário de uso URLLC da interface de acesso por rádio 5G *New Radio* (NR). O objetivo é analisar os códigos já definidos para o cenário eMBB, no entanto, considerando o requisito de ultra-confiabilidade necessário ao cenário URLLC.

**Palavras-Chave**— Polar, LDPC, URLLC, 5G NR.

**Abstract**— This article presents an analysis of Polar and LDPC codes for the URLLC usage scenario of the radio access interface 5G *New Radio* (NR). The objective is to analyze the codes already defined for the eMBB scenario, however, considering the ultra-reliability requirement necessary for the URLLC scenario.

**Keywords**— Polar, LDPC, URLLC, 5G NR.

## I. INTRODUÇÃO

A nova interface de acesso por rádio 5G *New Radio* (NR) vem sendo desenvolvida pelo 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) considerando 3 cenários principais de uso: a banda larga móvel aprimorada (eMBB – *Enhanced Mobile Broadband*), a comunicação de ultra confiabilidade e de baixa latência (URLLC – *Ultra-Reliability Low-Latency communications*), e a comunicação massiva do tipo máquina (mMTC – *Massive Machine-Type Communication*) [1].

No cenário eMBB, os códigos Polares [2] foram adotados como a opção de codificação de canal para o canal de controle e os códigos LDPC (*Low-Density Parity Check*) quase-cíclicos (QC-LDPC) [3] para o canal de dados [4].

No entanto, o cenário URLLC, que permitirá que dispositivos se comuniquem com ultra confiabilidade, baixa latência e alta disponibilidade, constitui um dos cenários de uso mais críticos, no qual a opção de codificação de canal, ainda em aberto, precisa suportar taxas de códigos variáveis, excelente desempenho de taxa de erros para tamanhos de blocos específicos, baixa complexidade computacional, baixo custo e baixa latência. Nesse sentido, diversos códigos candidatos foram avaliados, incluindo os códigos Turbo, Convolucionais, Polar e LDPC [5]. No entanto, constatou-se que o mais recomendável seja não alterar o esquema de codificação de canal já definido para o eMBB e apenas aperfeiçoá-lo.

Sendo assim, o presente artigo analisa os códigos já selecionados para o eMBB, considerando os requisitos do URLLC, com foco na performance de taxa de erro de bloco (BLER).

## II. REQUISITOS PARA O CENÁRIO URLLC

O cenário URLLC impõe requisitos estritos em latência e confiabilidade. Os requisitos incluem [1]:

- Baixa latência: no máximo 1 ms.

Ian Cavalcante Lima, Fernanda Smith, Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Federal do Amapá, Macapá-AP, E-mails: ian-cavalcante1@gmail.com, fernandasmith@unifap.br

- Ultra-confiabilidade: definida em termos da BLER alvo de  $10^{-5}$  com ou sem suporte a HARQ (*Hybrid Automatic Repeat Request*) durante um período de 1 ms.

Para atingir esses requisitos, a codificação de canal deve ter:

- Blocos de informação pequenos (tipicamente 32 bytes);
- Taxas de código baixas (menor que 1/3);
- Sem *error-floor* para BLER abaixo de  $10^{-5}$ ;
- Decodificação com baixa latência e complexidade;

## III. CÓDIGOS QC-LDPC

Um código QC-LDPC é definido por uma matriz  $\mathbf{H}$  de verificação de paridade  $(N - K) \times N$ , onde  $N$  é o número de bits codificados e  $K$  o número de bits de informação. Na forma compacta de  $\mathbf{H}$ , cada elemento da matriz  $P_{i,j}$  é uma sub-matriz circulante de tamanho  $Z \times Z$ , podendo ser uma matriz toda de zeros, quando  $P_{i,j} = -1$ , uma matriz identidade, quando  $P_{i,j} = 0$  ou uma matriz identidade rotacionada definida por um inteiro  $P_{i,j}$  de 0 até  $Z - 1$ , o qual define o número de deslocamentos para a direita das colunas da matriz identidade.

As matrizes  $\mathbf{H}$  do 5G NR são definidas por gráficos base (BG). Dois gráficos bases, BG 1 e BG 2, descritos em [4], foram projetados para diferentes  $K$  e taxas de código  $R$ . O BG 1 tem dimensão  $46 \times 68$ , com  $K$  variando de 40 até 8448 bits, com  $R$  de 8/9 a 1/3. O BG 2 tem dimensão  $42 \times 52$ , com  $K$  variando de 40 até 3840 bits, com  $R$  de 2/3 a 1/5. Diferentes  $R$  podem ser alcançadas através de puncionamento.

Dependendo do valor  $K$ ,  $Z$  deve ser selecionado tal que  $K_b \cdot Z \geq K$ , onde  $K_b = 22$  em BG 1 e  $K_b \in \{6, 8, 9, 10\}$  em BG 2. A matriz  $\mathbf{H}$  é então escolhida em cada BG dependendo do valor  $Z$  selecionado.

## IV. CÓDIGOS POLARES

Os códigos Polares utilizam o conceito de polarização de canal que consiste na produção de conjuntos de canais confiáveis e não confiáveis baseados na capacidade para transmissão dos bits, que garantem o bom desempenho do código.

Para o *uplink* do eMBB, definiu-se o código PC-Polar (PC - *Parity Check*) para bits de informação  $12 \leq K_{inf} \leq 19$ , e o código CA-Polar (CA - *CRC (Cyclic Redundancy Check) aided*), isto é, auxiliado por CRC, que adiciona 11 bits de CRC para  $K_{inf} \geq 20$ . Para o *downlink*, definiu-se o CA-Polar para  $K_{inf} < 140$  com 24 bits de CRC [4].

No *uplink*,  $K_{inf}$  bits podem ser segmentados quando  $K_{inf} > 360$ , ou seja,  $K_{inf}$  é dividido em  $K'_{inf} = K_{inf}/2$ . Em seguida,  $K = K_{inf} + CRC$  bits são codificados utilizando um código Polar mãe com  $N_{max} = 1024$ . Após a codificação,  $N$  bits passam por um entrelaçador e pela adaptação de taxa para gerar  $E$  bits codificados, na qual, se  $E \leq N$ , aplica-se puncionamento ou encurtamento, se  $E > N$ , aplica-se repetição. A decodificação dos códigos Polares é realizada por

um decodificador SC em lista (SCL - *Successive Cancellation List*), com o tamanho da lista igual a 8 [6].

## V. RESULTADOS

### A. Parâmetros de Simulação

O mesmo conjunto de  $\{E, K_{inf}, R_{inf}\}$ , onde  $R_{inf} = K_{inf}/E$  é taxa de código transmitida, foi utilizado nas simulações para garantir que os códigos Polares e LDPC utilizem a mesma quantidade de recursos para transmissão, como mostra a Tabela I. As simulações foram realizadas considerando o canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*) com modulação QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*).

TABELA I  
PARÂMETROS DE SIMULAÇÃO [7] [8]

$K_{inf}$	$R_{alvo}$	$E$	$R_{inf}$	LDPC		Polar	
				$R$	$N$	$R$	$R$
408	1/3	1296	0.3148	0.3272	2048	0.3333	
	1/6	2448	0.1667	0.1732	4096	0.1765	
	1/12	4896	0.0833	0.0866	4096	0.0882	

Os parâmetros da Tabela I seguem as recomendações do 3GPP quanto ao melhor cenário para comparação da codificação de canal para o URLLC, incluindo os valores das taxas de código alvo  $R_{alvo}$  e o valor de  $K_{inf}$  retirado da tabela de blocos de transporte TBS (*Transport Block Size*) em [9]. Além disso, os códigos LDPC e Polares simulados utilizaram 16 e 24 bits de CRC, respectivamente, de acordo com [7].

Para o LDPC, utilizou-se o BG 2, visto que o mesmo foi projetado para  $K$  e  $R$  menores, portanto mais adequado ao cenário URLLC. A menor  $R = 1/5$  foi utilizada, com as demais  $R_{alvo}$  geradas através de puncionamento.

Utilizou-se também, o código CA-Polar do *uplink* devido ao valor de  $K_{inf}$ . No entanto, como  $K_{inf} > 360$ , seria necessário a utilização de segmentação e de repetição para se gerar os  $E$  da Tabela I, visto que com  $N_{max} = 1024$ , ter-se-ia  $E > N$ , o que acarretaria em uma redução significativa da performance. Sendo assim, de acordo com os resultados em [8], é recomendável a não utilização da segmentação e a utilização de um  $N$  variável, preferencialmente maior que  $E$  para que se utilize puncionamento ou encurtamento. Assim, os  $N$  da Tabela I são gerados com  $N_{max} = 16384$ , calculados como descrito em [4]. A construção do código Polar para  $N_{max}$  é realizada de acordo com o método definido em [10].

### B. Resultados

A Figura 1 mostra os resultados de BLER  $\times$  razão sinal ruído (SNR) dos códigos Polares e LDPC, para  $K_{inf} = 408$ , sem segmentação, utilizando os parâmetros da Tabela I.

Observa-se na Figura 1 que para  $R_{alvo} = 1/3$ , a performance dos códigos LDPC e Polares é semelhante, no entanto, para  $R_{alvo} = 1/6$ , o código LDPC apresenta 0.25 dB de ganho de codificação para BLER de  $10^{-5}$ . Isso ocorre devido à quantidade maior de bits punccionados no código Polar para  $R_{alvo} = 1/6$  do que para  $R_{alvo} = 1/3$ , o que acarreta em uma redução no desempenho do código. Para  $R_{alvo} = 1/12$ ,

o código LDPC apresenta um ganho de 0.5 dB para BLER =  $10^{-5}$  em comparação ao Polar, essa redução de desempenho ocorre devido à utilização de repetição no código Polar.

No entanto, nota-se que para todas as taxas, ao contrário do código Polar, o código LDPC apresenta *error floor* para BLER abaixo de  $10^{-5}$ , comportamento não desejado para o URLLC, de acordo com os requisitos exigidos.

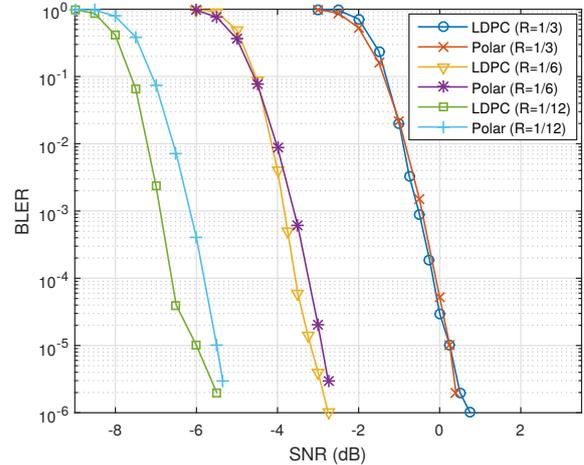


Fig. 1. BLER  $\times$  SNR dos códigos Polar e LDPC utilizando QPSK em um canal AWGN, com  $K_{inf} = 408$ , para diferentes  $R_{alvo}$ .

## VI. CONCLUSÃO

Neste artigo, analisaram-se os códigos Polares e LDPC já propostos para o cenário eMBB, considerando os requisitos do cenário URLLC. Observou-se que o código LDPC apresentou ganhos de codificação se comparado ao código Polar, no entanto, apresentando *error floor*. De acordo com os requisitos necessários ao URLLC, o código Polar é um candidato com potencial para utilização nesse cenário, considerando ainda que alterações de parâmetros, como as observadas aqui, poderiam permitir o alcance de ganhos semelhantes aos do LDPC. Como trabalhos futuros, inclui-se a análise do requisito de baixa latência e complexidade da decodificação dos códigos.

## REFERÊNCIAS

- [1] 3GPP TR 38.913. "Study on Scenarios and Requirements for Next Generation Access Technologies", 2017.
- [2] Arikan, "Channel polarization: A method for constructing capacity achieving codes for symmetric binary-input memoryless channels", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 55, no. 7, pp. 3051–3073, Jul 2009.
- [3] S. Myung, K. Yang, J. Kim, "Quasi-cyclic LDPC codes for fast encoding", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 51, pp. 2894–2900, Ago. 2005.
- [4] 3GPP TS 38.212. "NR; Multiplexing and channel coding.", 2018.
- [5] M. Sybis, K. Wesolowski, K. Jayasinghe, V. Venkatasubramanian, V. Vukadinovic "Channel coding for ultra-reliable low-latency communication in 5G systems", *IEEE 84th Vehicular Technology Conf.*, 2016.
- [6] V. Bioglio, C. Condo, I. Land. "Design of Polar Codes in 5G New Radio", *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, Jan. 2020.
- [7] R1-1806006. "Channel Coding Techniques for URLLC", Ericsson, Busan, Korea, 2018.
- [8] R1-1809491, "A comparison of polar and LDPC codes for URLLC", Polar, Gothenburg, Sweden, 2018.
- [9] 3GPP TR 38.214. "NR; Physical layer procedures for data.", 2018.
- [10] R1-1700088, "Summary of Polar Code Design for Control Channels", Huawei HiSilicon, Spokane, USA, 2017.