

Análise do Método de Adaptação de Taxa dos Códigos LDPC para o 5G *New Radio*

Marcus Branch, Rafael Cardoso, Jean Tourinho e Fernanda Smith

Resumo—O presente artigo apresenta uma análise do método de adaptação de taxas dos códigos LDPC da interface de acesso por rádio 5G *New Radio* (NR), propostos para o cenário de uso eMBB. O objetivo é discutir as técnicas de punçãoamento e *lifting*, que garantem a alteração da taxa do código sem a necessidade de uma mudança completa no sistema. Os resultados obtidos estão de acordo com os resultados apresentados nas discussões do 3GPP.

Palavras-Chave—LDPC, Adaptação de taxa, 5G NR.

Abstract—This article presents an analysis of the rate matching method of LDPC codes of the radio access interface 5G *New Radio*, proposed for the eMBB usage scenario. The objective is to discuss the puncturing and lifting techniques, which guarantee that the code rate change without the need for a complete system change. The obtained results are in agreement with the results presented in the 3GPP discussions.

Keywords—LDPC, Rate Matching, 5G NR.

I. INTRODUÇÃO

A nova interface de acesso por rádio chamada 5G *New Radio* (NR) está sendo desenvolvida para garantir serviços avançados do padrão 5G. Nesse sentido, 3 cenários de uso foram traçados: a banda larga móvel aprimorada (eMBB – *Enhanced Mobile Broadband*), que foca em aprimoramentos transversais para a taxa de dados, latência, densidade de usuário e capacidade; 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].

A codificação de canal desempenha um papel crucial no 5G. Para garantir os requerimentos do cenário de uso eMBB, o 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) analisou 3 propostas de códigos corretores de erros (Turbo, LDPC e Polar). A decisão saiu em novembro de 2016, selecionando os códigos LDPC (*Low-Density Parity Check*) [2] para o canal de dados e os códigos Polares [3] para o canal de controle.

O desempenho dos códigos LPDC pode ser otimizado quando se utilizam técnicas de adaptação de taxa. Ao invés de utilizar um código diferente para cada taxa referida, o que implica em uma mudança completa no sistema, utilizam-se, por exemplo, os métodos de punçãoamento (*Puncturing*) que punçionam bits da palavra-código através de uma estratégia adequada e o *lifting* que altera a quantidade de bits codificados. Assim, apenas um tipo de código é incluído no sistema com

parâmetros adequados para garantir a menor taxa de código, as demais taxas são obtidas pela adoção dos respectivos métodos.

II. CÓDIGOS LDPC

Os códigos LDPC quase-cíclicos (QC-LDPC) [4] são a classe de códigos LDPC sugeridas para o 5G NR. Um código QC-LDPC de taxa $R = K/N$, onde N é o número de bits da palavra-código e K o número de bits de informação é definido por uma matriz \mathbf{H} de verificação de paridade $(N - K) \times N$ com estrutura dada por:

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} P_{1,1} & P_{1,2} & \cdots & P_{1,j} \\ P_{2,1} & P_{2,2} & \cdots & P_{2,j} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ P_{i,1} & P_{i,2} & \cdots & P_{i,j} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

onde cada $P_{i,j}$ 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. Esse valor inteiro é definido na forma compacta da matriz \mathbf{H} , como mostra Figura 2.

III. ADAPTAÇÃO DE TAXA

O método de adaptação de taxa previsto para o 5G NR inclui uma combinação das técnicas de punçãoamento e *lifting*. O punçãoamento [5] é um processo de adaptação de taxa que consiste na remoção de alguns bits da palavra-código após a codificação, que tem o mesmo efeito que codificar com uma taxa de código mais alta. Já o *lifting* [6] é o processo de ajuste do tamanho $Z \times Z$ das sub-matrizes circulantes, resultando na alteração das quantidade de bits K e N .

A Figura 1 especifica a estrutura de uma das matrizes de verificação de paridade base, com a menor taxa de código que será alterada, chamada *base graph* 1 (BG 1) que encontra-se descrita em [7]. O padrão de punçãoamento utilizado é baseado na remoção dos bits correspondentes as duas primeiras sub-matrizes circulantes da matriz $(2 * Z)$ e também na remoção de alguns bits de paridade no final da matriz. Para a realização do *lifting*, seguiu-se 3 etapas [8]:

- 1) Para a obtenção de um dado valor de K bits, Z é selecionado de tal modo que $K_b \cdot Z \geq K$, onde $K_b = 22$, é a quantidade de colunas referentes aos bits de informação na matriz BG 1.
- 2) Após o valor Z ser selecionado, um dos 8 tipos de matrizes BG 1 disponível em [7] é utilizada.
- 3) Uma nova matriz de verificação de paridade é atribuída ao novo tamanho de K . Para se adequar aos tamanhos

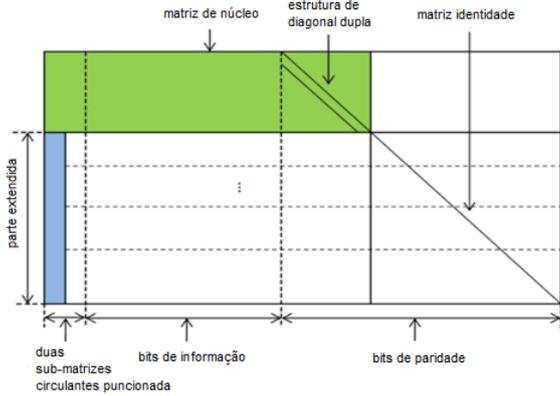


Fig. 1. Estrutura da matriz de verificação de paridade base BG 1 [8].

de Z , os valores de $P_{i,j}$ na matriz BG 1 escolhida são alterados para um novo valor $V_{i,j}$ definido como:

$$\begin{cases} V_{i,j} = P_{i,j} \pmod{Z}, & \text{se } P_{i,j} \neq -1 \\ V_{i,j} = -1, & \text{caso contrário} \end{cases} \quad (2)$$

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de taxas possíveis para a simulação da matriz BG 1 são mostrados na Tabela I, com a quantidade de K variando de 528 até 8448 bits. A matriz BG 1 utilizada tem tamanho 46×68 , podendo ser reduzida para os valores mostrados na Tabela I, dependendo da taxa utilizada. A redução é feita através da eliminação das colunas da matriz referentes aos bits de paridade (da direita para a esquerda) e consequentemente das linhas da matriz (de baixo para cima). Essa eliminação acarreta justamente no puncionamento dos bits de paridade. Já os bits de informação são puncionados após a codificação, obedecendo a regra de eliminação dos primeiros $2 * Z$ bits.

TABELA I

VALORES DE TAMANHO DA MATRIZ PARA CADA TAXA DE CÓDIGO.

R	Tamanho da Matriz	R	Tamanho da Matriz
8/9	5×27	1/2	24×46
5/6	7×29	2/5	35×57
3/4	10×32	1/3	46×68
2/3	13×35		

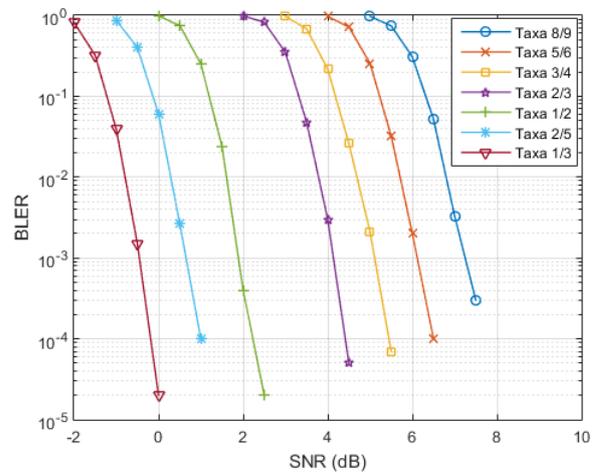
As simulações foram realizadas considerando $K = 528$ bits, usando todas as taxas de código da Tabela I. Seguindo as etapas da Sessão III, para a matriz BG 1, temos $K_b = 22$, sendo assim, $Z = K/K_b = 24$. Com $Z = 24$, selecionou-se a matriz BG 1 de índice 2, dentre as 8 matrizes disponíveis. Tomando como exemplo $R = 8/9$, essa matriz BG 1 é, portanto, reduzida para o tamanho 5×27 , de acordo com a Tabela I. Com $Z = 24$ bits, temos, uma matriz com $5 * Z = 120$ bits de paridade, $27 * Z = 648$ bits codificados e, portanto, $648 - 120 = 528$ bits de informação, com taxa original $R = K/N = 528/648 = 0.814$. Para obter-se a taxa de 8/9, eliminou-se as primeiras $2 * Z$ colunas, ou seja, os primeiros 48 bits, fazendo com que $N = 600$ bits e $R = 8/9$. A matriz resultante com taxa 8/9 é mostrada na Figura 2.

```

19 19 2 9 -1 13 0 -1 -1 5 0 13 17 21 -1 23 10 -1 2 12 18 10 1 0 0 -1 -1 -1
4 -1 4 1 0 0 -1 19 19 10 -1 7 6 -1 1 3 18 18 -1 19 -1 16 0 0 0 -1 -1
13 10 16 -1 20 16 17 3 16 15 9 -1 -1 8 16 5 -1 11 0 13 13 -1 -1 -1 0 0 -1
12 15 -1 0 11 -1 7 9 8 -1 12 17 15 5 20 -1 16 12 7 -1 15 21 1 -1 -1 0 -1
20 13 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1 -1
    
```

Fig. 2. Matriz base proposta para o 5G NR reduzida para a taxa de 8/9.

A Figura 3 mostra os resultados de taxa de erros de bloco (BLER) x razão sinal ruído (SNR) para as matrizes após a adaptação de taxa, considerando $K = 528$ bits, e todas as taxas da Tabela I, para a modulação QPSK (*Quadrature Phase Shift Keying*), e canal AWGN (*Additive White Gaussian Noise*). Os resultados da Figura 3 estão de acordo com os resultados discutidos em [8].


 Fig. 3. BLER x SNR para a modulação QPSK com $K = 528$ bits, alterada através de adaptação de taxa para $R = 8/9, 5/6, 3/4, 2/3, 1/2, 2/5$ e $1/3$.

V. CONCLUSÃO

Neste artigo, analisou-se o método de adaptação de taxa dos códigos LDPC definidos para o cenário eMBB do padrão 5G. Observou-se o desempenho dos métodos de puncionamento e *lifting* quando aplicados aos códigos LDPC do 5G NR. A estrutura de simulação desenvolvida permite a variação dos parâmetros necessários, contribuindo para pesquisas futuras e acompanhando as discussões no 3GPP.

REFERÊNCIAS

- [1] Ericsson, "5G New Radio: Designing for the Future", Technology review, Junho 2017.
- [2] R. G. Gallager, "Low-Density Parity-Check Codes", Ph.D. thesis, Cambridge, MA: MIT Press, 1963.
- [3] 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.
- [4] S. Myung, K. Yang, J. Kim, "Quasi-cyclic LDPC codes for fast encoding", *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. 51, pp. 2894–2900, Ago. 2005.
- [5] X. Zhao; L. Zhu; Y. Guo; X. Guo, "An Effective Puncturing Algorithm for QC-LDPC Codes with Dual-diagonal Structure", *5th Global Symposium on Millimeter Waves (GSMM 2012)*, 2012.
- [6] S. Myung; K. Yang, "Extension of Quasi-Cyclic LDPC Codes by Lifting", *International Symposium on Information Theory*, 2005.
- [7] R1-1711545, "LDPC design for base graph 1", Qingdao, China, 2017.
- [8] R1-1713740, "Performance evaluation of LDPC codes for NR eMBB data", Huawei, HiSilicon, Prague, CZ, 2017.