

Codificação de Canal em Redes de Sensores Sem Fio Empregadas na Indústria de Petróleo e Gás

George Victor Rocha Xavier¹, Leocarlos Bezerra da Silva Lima²

Resumo— O presente artigo analisa códigos de Reed Solomon, turbo e LDPC aplicados a redes sem fio em ambiente industrial. Adotou-se como figuras de mérito para comparação: desempenho e consumo de energia. Para canais severos ou amenos, os resultados indicaram códigos turbo ou de Reed-Solomon como os melhores, respectivamente.

Palavras-Chave— Códigos de Reed-Solomon, códigos turbo, códigos LDPC, indústria de petróleo e gás.

Abstract— This paper analyses Reed Solomon, turbo and LDPC codes applied to wireless sensor networks in industrial environments. We adopted as figures of merit for comparison: performance and energy consumption. For severe or mild channels, results indicated turbo or Reed-Solomon codes as the best, respectively.

Keywords— Reed-Solomon codes, turbo codes, LDPC codes, oil and gas industries.

I. INTRODUÇÃO

Em diversas aplicações, emprega-se meio de transmissão cabeado. Em algumas, gastos com cabos, instalação e manutenção representam fator limitante. Em muitas situações, como em diversas aplicações industriais (refinarias, petroquímicas, instalações subaquáticas, plataformas de petróleo e gás etc.), é preferível optar por uma rede sem fio, que proporcione flexibilidade, adaptabilidade, mobilidade e sobretudo confiabilidade [1].

Atualmente, há vários padrões de redes de sensores sem fio empregados em ambientes industriais, a maioria baseada no padrão IEEE 802.15.4, tais como WirelessHART e ISA100.11a. Esses padrões, no entanto, baseiam-se em mecanismos de detecção de erros e retransmissão.

Uma alternativa para melhoria da confiabilidade e desempenho dessas redes é o uso de códigos de canal. A aplicação destes corrige dados incorretamente detectados, evitando retransmissões. Infelizmente, seu uso acarreta consumo adicional de energia das baterias dos sensores, diminuindo seu tempo de vida. Porém, esse acréscimo de consumo pode ser compensado pelo corte nas retransmissões e pela escolha do código de canal mais adequado [2].

O presente artigo objetiva encontrar o código com melhor relação entre consumo energético e desempenho (menor taxa de erro) dentre três códigos candidatos: Reed-Solomon, LDPC, e turbo.

¹Curso de Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Sergipe, São Cristóvão-SE, Brasil, E-mail: george_xavier93@yahoo.com.br. Este trabalho é financiado pelo Programa de Recursos Humanos da Petrobrás (PRH) ANP-45. ²Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande-PB, Brasil, E-mail: leocarlos@dee.ufcg.edu.br.

A seguir, a seção II apresenta definições e características dos códigos de canal estudados. A seção III apresenta e analisa os resultados obtidos através de simulação. Conclusões são descritas na seção IV.

II. CÓDIGOS DE CANAL

Códigos de canal são classificados como de bloco ou convolucionais, sistemas sem ou com memória, respectivamente. Ambos fundamentalmente mapeiam k símbolos de informação em n símbolos de código, sendo denotados por (n, k) ou (n, k, m) , respectivamente (m representa a memória do codificador) [3].

Para ambos, a relação $R = k/n$ é dita *taxa do código*. Quanto maior R , menor o consumo de energia, porém pior o desempenho.

A. Códigos de Reed-Solomon

É o código de bloco mais utilizado, inclusive para canais sem fio, eficaz na correção de erros aleatórios e em rajada. Possui capacidade de correção $t = (n - k)/2$ [4].

Neste trabalho, foram analisados códigos de Reed-Solomon (RS) $(15, 7)$, de taxa $R = 1/2$, e alguns códigos RS $(31, k)$ de diferentes taxas (Figura 2) [5].

B. Códigos LDPC

Um código LDPC (do inglês *Low Density Parity Check*) (d_v, d_c) é um código de bloco definido por um matriz de paridade $H_{k \times n}$ de 1s e 0s esparsa, tal que cada linha possua o mesmo número d_c e cada coluna possua o mesmo número d_v de 1s [6]. Para H manter baixa densidade, e assim proporcionar bom desempenho, é comum empregar códigos LDPC com grande comprimento. Estes códigos têm sido empregados em padrões como IEEE 802.11n e IEEE 802.16e.

Neste trabalho, foi analisado um código LDPC $(3, 6)$, com $H_{32 \times 64}$ e 5 iterações [7].

C. Códigos Turbo

O código turbo mais comum, dito código convolucional concatenado em paralelo (do inglês *Parallel Concatenated Convolutional Code*), consiste do uso em paralelo de dois codificadores convolucionais sistemáticos recursivos separados por um entrelaçador, com bits de paridade c_1 e c_2 fornecidos por cada codificador recursivo em resposta a uma entrada k [6]. Um código turbo (h_0, h_1) é definido por polinômios geradores h_0 e h_1 (em octal). Estes códigos proporcionam

ótimo desempenho às custas de consumo energético. São empregados em comunicação móvel 3G.

Neste trabalho, foram analisados códigos turbo de taxa $R = 1/2$ com diferentes polinômios geradores e diferentes números de iterações, de modo a variar a complexidade computacional e, conseqüentemente, o consumo de energia. A taxa $R = 1/2$ foi alcançada por meio da comutação das seqüências de paridade na saída do codificador.

III. ANÁLISE DE DESEMPENHO

Os desempenhos dos códigos de canal foram obtidos mediante simulação, considerando um canal AWGN e modulação BPSK. O custo energético de cada um foi avaliado em termos de sua complexidade computacional, apresentada na Tabela I.

TABELA I
COMPLEXIDADES COMPUTACIONAIS DOS CÓDIGOS DE CANAL
ANALISADOS [8].

Código	Codificação	Decodificação
RS	$\mathcal{O}(Mk(n-k))$	$\mathcal{O}(Mn(n-k))$
LDPC	$\mathcal{O}(Mnk)$	$\mathcal{O}(MN_{ldpc}nd_c d_v)$
Turbo	$\mathcal{O}(Mn)$	$\mathcal{O}(MN_{turbo}kN_{treli})$

A Tabela I representa em ordem crescente a complexidade dos códigos de canal para uma mesma taxa de código.

Nas simulações, os parâmetros dos códigos foram escolhidos de modo a adequá-los às condições impostas e para proporcionar as melhores relações desempenho versus gasto de energia para cada código. Por exemplo, para minimizar a complexidade dos códigos turbo, o mais complexo segundo a Tabela I, foram reduzidos o número de iterações N_{turbo} e o número de estados da treliça N_{treli} . Ainda, foram consideradas mensagens transmitidas de tamanho limitado em até 128 bytes, que é o mais comum em redes de sensores sem fio para ambientes industriais. A Figura 1 apresenta as curvas de desempenho dos códigos analisados para condições severas de canal.

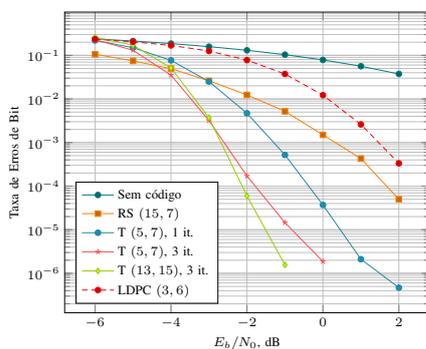


Fig. 1. Comparativo entre códigos de canal com $R \approx 1/2$ e $M = 2$ para condições severas de canal: código RS (15, 7), códigos turbo (5, 7) com uma ou três iterações e (13, 15) com três iterações, e código LDPC (3, 6).

Considerando 10^{-4} uma taxa de referência, os códigos turbos apresentaram os melhores resultados para E_b/N_0 até 1 dB. A partir de 2 dB, os códigos RS saíram-se melhor, devido ao bom desempenho sob baixa complexidade computacional.

O código LDPC apresentou desempenho insatisfatório devido aos pequenos comprimentos de mensagem.

Como a partir de 2 dB o código RS mostrou-se o melhor, simulou-se um ambiente sob condições de canal amenas (melhor relação E_b/N_0). A Figura 2 apresenta os resultados desta simulação.

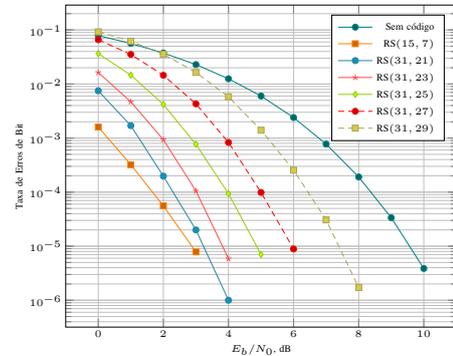


Fig. 2. Comparativo entre códigos de Reed-Solomon com diferentes taxas considerando condições amenas de canal.

Na Figura 2, nota-se em geral que para cada valor E_b/N_0 , tem-se um código RS com diferente taxa que apresenta melhor relação desempenho versus consumo de energia, considerando uma BER de 10^{-4} e que o consumo energético diminui à medida que R aumenta.

IV. CONCLUSÕES

Códigos de Reed Solomon, turbo e LDPC foram analisados e comparados em busca da melhor relação desempenho versus consumo de energia, condicionados à aplicação em redes de sensores sem fio para ambientes industriais. O código turbo mostrou-se mais adequado para uso em canais de condições mais severas, enquanto o de Reed-Solomon saiu-se melhor para canais sob condições mais amenas.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao Programa de Recursos Humanos da Petrobrás (PRH) ANP-45 pelo financiamento e oportunidade de pesquisa fornecidos.

REFERÊNCIAS

- [1] Akhondi et al, "Applications of Wireless Sensor Networks in the Oil, Gas and Resources Industries", *24th IEEE International Conference on Advanced Information Networking and Applications*, pp. 941–948, 2010.
- [2] Y. Sankarasubramaniam; I. Akyildiz; S. McLaughlin, "Energy efficiency based packet size optimization in wireless sensor networks", *Sensor Network Protocols and Applications, 2003. Proceedings of the first IEEE. 2003 IEEE International Workshop on*, 2003, pp. 1–8.
- [3] S. Lin; Jr. Costello. *Error Control Coding – Fundamentals and Applications*. New Jersey: Pearson–Prentice Hall, 2004.
- [4] I. Reed; G. Solomon, "Polynomial codes over certain fields", *J. Soc. Ind. Appl. Math.*, n. 8, p. 300–304, Junho 1960.
- [5] Z. Kashani; M. Shiva, "Channel coding in multi-hop wireless sensor networks", *2006 6th International Conference on ITS Telecommunications Proceedings*, pp. 965–968, 2006.
- [6] C.B. Schlegel; L. C. Pérez. *Trellis and Turbo Coding..* New Jersey: John Wiley & Sons, 2004.
- [7] B. S. Nugroho, "LDPC code, using Matlab and C MEX", 2007.
- [8] Y. H. Yitbarek et al., "Implementation and evaluation of error control schemes in industrial wireless sensor networks", *2014 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT)*, 26 Feb. – 1 Mar., 2014, Busan, Korea, pp. 730–735, 2014.