

Avaliação de Desempenho da Técnica de Transmissão OFDM em Canais de Comunicação via Rede de Distribuição Elétrica de Baixa Tensão

Gilberto de S. Santos¹, Daniel C. Cunha¹ e Márcio J. C. Lima²

Resumo—O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma avaliação de desempenho da técnica OFDM aplicada à transmissão de dados via rede externa de distribuição elétrica de baixa tensão, considerando dois tipos de ruídos aditivos: o ruído AWGN e o ruído impulsivo assíncrono. Comparações são feitas alterando-se parâmetros da transmissão (número de subportadoras), do canal PLC (faixa de frequências) e do ruído impulsivo (probabilidade de ocorrência e nível de amplitude).

Palavras-Chave—técnica OFDM, rede de distribuição elétrica, ruído impulsivo.

Abstract—The objective of this work is to present a performance evaluation of OFDM technique applied to data transmission through external low voltage powerline network considering two kinds of additive noise: AWGN and asynchronous impulsive one. Comparisons are done by changing of transmission parameters (number of subcarriers), PLC channel (frequency range) and impulsive noise (incidence probability and amplitude level).

Keywords—OFDM technique, powerline network, impulsive noise.

I. INTRODUÇÃO

A tecnologia que utiliza a rede de distribuição elétrica como canal de comunicação, conhecida como PLC (do inglês, *Powerline Communications*), tem por objetivo aproveitar a infraestrutura pré-existente da rede de distribuição elétrica para trafegar sinais de comunicação simultaneamente com os sinais de energia. A coexistência dos dois tipos de sinais se justifica pelo fato de os sinais de comunicações utilizarem uma faixa diferente de frequências (0,5 MHz a 30 MHz) [1]. Todavia, o meio físico utilizado, por não ter sido concebido originalmente para comunicações, apresenta-se bastante hostil, no que se refere à presença de interferências e ruídos. Para lidar com essa questão, uma das técnicas empregadas é a multiplexação OFDM (do inglês, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*), que tem apresentado resultados significativos em canais PLC e em outras aplicações, como por exemplo, os canais ADSL (do inglês, *Asymmetric Digital Subscriber Line*) [2].

Neste trabalho, é realizada uma avaliação do desempenho da técnica de transmissão OFDM em um canal de comunicação que representa a rede externa de distribuição elétrica de baixa tensão. Na seção II, o modelo matemático do canal é

devidamente exposto. Na Seção III, resultados de simulação são apresentados. Por fim, na seção IV, são apresentadas as conclusões e as perspectivas de trabalhos futuros.

II. MODELO DO CANAL

A Fig. 1(a) ilustra a topologia da rede externa de distribuição elétrica de baixa tensão considerada neste trabalho e cujo modelo matemático foi definido em [3]. O transmissor e o receptor estão localizados nos pontos A e C, respectivamente. O ponto B representa um concentrador PLC e o ponto D é uma derivação da rede, mantida em aberto. Várias reflexões do sinal são causadas ao longo do caminho devido ao descasamento de impedâncias de entrada em cada ponto. Com isso, a propagação do sinal se dá não apenas no caminho direto entre transmissor e receptor, mas também por $(N - 1)$ caminhos adicionais. Adicionalmente, é assumido que a atenuação é dependente da frequência, da estrutura da rede e se superpõe ao desvanecimento do canal. Face ao exposto, a função de transferência do canal pode ser descrita pela expressão

$$H(f) = \sum_{n=1}^N g_n \cdot e^{-(a_0+a_1 f^k)d_n} \cdot e^{-j2\pi f \tau_n} \quad (1)$$

O modelo de canal considerado representa a superposição de sinais a partir de N caminhos distintos, cada um caracterizado individualmente por um fator de ponderação g_n e comprimento d_n . A atenuação é modelada pelos parâmetros a_0 , a_1 e k , determinados pelas características físicas dos cabos elétricos e τ_n representa o atraso do n -ésimo sinal. Para este trabalho, foram assumidos apenas quatro caminhos de propagação dos sinais ($N = 4$) com os parâmetros da equação (1) definidos em [3]. Portanto, o resultado é um modelo de propagação multipercurso com desvanecimento seletivo em frequência, cuja magnitude da função de transferência $H(f)$, para a faixa de frequências de 0,5 a 20 MHz, está ilustrada na Fig. 1(b).

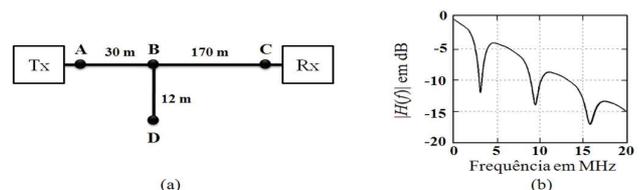


Fig. 1. (a) Topologia da rede. (b) Magnitude de $H(f)$ para o modelo do canal de comunicações adotado.

¹ Núcleo de Pesquisa em Telecomunicações, POLI, Universidade de Pernambuco (UPE), Recife-PE, Brasil.

² Grupo de Pesquisa em Comunicações, Departamento de Eletrônica e Sistemas, Universidade Federal de Pernambuco (UFPE), Recife-PE, Brasil.
E-mails: gilberto.eletronica@gmail.com, dccunha@upe.poli.br e marcio.j.c.lima@gmail.com. Este trabalho foi financiado pelo PIBIC/POLI.

Os tipos de ruído considerados para o canal adotado foram o ruído AWGN (do inglês, *Additive White Gaussian Noise*) e o ruído impulsivo assíncrono, sendo este último ocasionado

por transientes na rede elétrica e uma das principais causas de erros em comunicações através de redes de distribuição elétrica. Desta maneira, o j -ésimo sinal recebido na saída do canal pode ser descrito como

$$r_j = s_j + w_j + i_j, \quad (2)$$

em que s_j representa um símbolo QPSK (do inglês, *Quadrature Phase-Shift Keying*) para cada subportadora da técnica OFDM, w_j é o ruído AWGN de média zero e variância σ_w^2 e i_j , o ruído impulsivo. A modelagem matemática do ruído impulsivo i_j utilizada foi definida em [4], tal que $i_j = B_j g_j$, em que B_j é o processo de Bernoulli de probabilidade p e g_j é o ruído AWGN de média zero e variância $\sigma_g^2 = \gamma \sigma_w^2$. O parâmetro γ representa a intensidade do ruído impulsivo, enquanto p representa a sua probabilidade de ocorrência.

III. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Foram realizadas simulações computacionais considerando a transmissão de sinais com a técnica OFDM e o modelo de canal apresentado na Seção II. Na primeira simulação, buscou-se avaliar o desempenho da técnica OFDM no que se refere à variação do número de subportadoras utilizadas. Para tanto, foi adotado apenas o ruído AWGN w_j . Além disso, toda a faixa de frequência de 0,5 a 20 MHz foi utilizada na transmissão, o que resultou na divisão do espectro total pelo número de subportadoras. A Fig. 2 ilustra o desempenho do sistema por meio da curva de Probabilidade de Erro de Bit (P_b) versus Relação Sinal-Ruído (RSR) em dB.

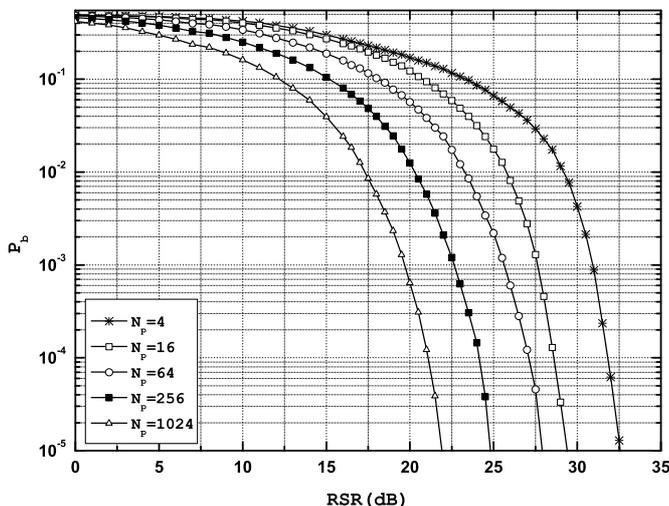


Fig. 2. Probabilidade de Erro de Bit versus Relação Sinal-Ruído da técnica OFDM aplicada ao canal PLC considerando o ruído AWGN e a variação do número de subportadoras (N_p).

Foi observado que a quantidade de *bits* por subportadora foi diminuída quando aumentou-se o número de subportadoras (N_p), portanto, as subportadoras que sofreram maiores interferências contribuíram com menor ponderação para a P_b , melhorando o desempenho do sistema. Logo, foram adotadas $N_p = 1024$ portadoras para a próxima simulação.

Na segunda simulação, foi considerado não apenas o ruído AWGN w_j , mas também o ruído impulsivo i_j . Neste cenário, buscou-se analisar o desempenho da técnica OFDM para diferentes parâmetros (p e γ) do ruído impulsivo.

Adicionalmente, foram consideradas diferentes faixas de frequências para a transmissão OFDM, quais sejam, toda a faixa de frequências de 0,5 a 20 MHz (TF) e as frequências sujeitas às menores atenuações (0,5 a 2 MHz), denominadas de melhores frequências (MF), como pode ser visto na Fig. 1(b). A Fig. 3 ilustra o desempenho do sistema para as considerações anteriormente mencionadas.

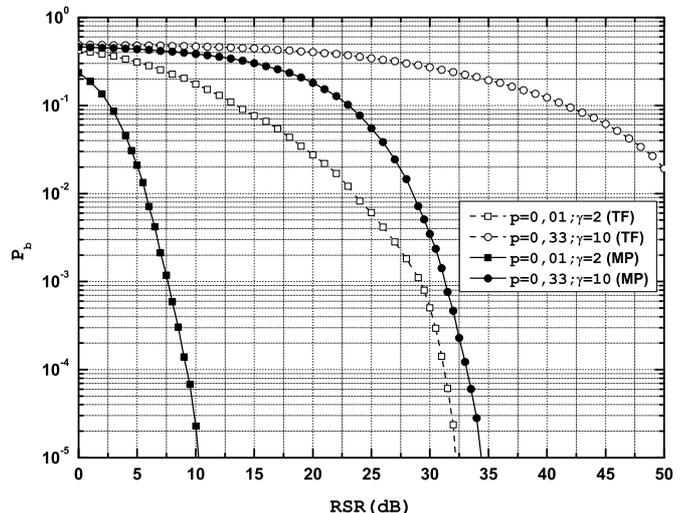


Fig. 3. Probabilidade de Erro de Bit versus Relação Sinal-Ruído da técnica OFDM aplicada ao canal PLC considerando ruído AWGN e ruído impulsivo assíncrono, além da variação da faixa de frequências das subportadoras.

É possível notar que a escolha da faixa de frequências resultou em economia de potência para os dois cenários de ruído impulsivo. No primeiro caso ($p = 0,01$ e $\gamma = 2$), para uma $P_b = 2 \times 10^{-2}$, o ganho de RSR foi de 16,3 dB, enquanto que no segundo ($p = 0,33$ e $\gamma = 10$), o ganho obtido foi de aproximadamente 22,7 dB.

IV. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou uma avaliação da técnica de transmissão OFDM em um canal de comunicação que representa a rede externa de distribuição elétrica de baixa tensão. O desempenho do sistema foi analisado quanto à variação do número de subportadoras e à escolha da faixa de frequências utilizada. O estudo mostrou que o desempenho do sistema evoluiu com o aumento da quantidade de subportadoras, assim como com a escolha da faixa de frequências do canal com menor nível de atenuação. Como perspectiva de trabalhos futuros, sugere-se a investigação deste sistema considerando a inserção de esquemas de codificação de canal, como por exemplo, os códigos turbo e os códigos LDPC (do inglês, *Low-Density Parity-Check Codes*).

REFERÊNCIAS

- [1] K. Dostert, M. Gotz e R.M. Matthias, "Powerline Channel Characteristics and Their Effect on Communications System Design," *IEEE Communications Magazine*, pp. 78-86, Abr 2004.
- [2] A.R.S. Bahai e B.R. Saltzberg, *Multi-Carrier Digital Communications: Theory and Applications of OFDM*, 1. ed. New York, 1999. 216p.
- [3] M. Zimmermann e K. Dostert, "A Multipath Model for the Powerline Channel," *IEEE Transactions on Communications*, v. 50, n. 4, pp. 533-559, Abr 2002.
- [4] M. Ghosh, "Analysis of the Effect of Impulsive Noise on Multicarrier and Single Carrier QAM Systems," *IEEE Transactions on Communications*, v. 44, n. 2, pp. 145-147, Fev 1996.