

# Redução de PAPR em Sistemas OFDM Cooperativos AF Baseado na Técnica PTS

Lívia Christinie S. Teles e C. Alexandre R. Fernandes

**Resumo**— Este artigo apresenta uma análise, realizada através de simulações computacionais, da aplicação da técnica Transmissão Parcial de Sequências (PTS - *Partial Transmit Sequences*) de redução da razão entre a potência máxima e a potência média (PAPR - *Peak-to-Average Power Ratio*) do sinal transmitido em um sistema de multiplexação por divisão de frequência ortogonal (OFDM - *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) cooperativo com um *relay* amplifica-e-encaminha (AF - *Amplify-and-Forward*), considerando os efeitos das distorções inseridas por amplificadores de potência (PA - *Power Amplifier*) não lineares na fonte e no *relay*. O presente trabalho considera a aplicação da técnica PTS tanto na fonte quanto no *relay*, com o intuito de avaliar em quais dos cenários a mesma apresenta maior eficiência.

**Palavras-Chave**— OFDM, comunicação cooperativa, PTS, amplificador de potência

**Abstract**— This paper presents an analysis, carried out by means of computer simulations, of the application of the PTS technique for reducing the PAPR of the transmitted signals in a cooperative OFDM system with an AF relay, assuming that both source and relay have nonlinear PAs. This paper considers the application of the PTS technique in both the source and relay, in order to evaluate in which scenarios the PTS technique is most effective.

**Keywords**— OFDM, cooperative communication, PTS, power amplifier

## I. INTRODUÇÃO

Comunicação cooperativa e multiplexação por divisão de frequência ortogonal são duas tecnologias que têm sido muito estudadas e apontadas como bastante promissoras para os futuros sistemas de comunicação sem fio. Os sistemas OFDM possuem como uma das principais desvantagens o alto valor da razão entre a potência máxima instantânea e a potência média do sinal transmitido. Devido ao comportamento não linear dos amplificadores de potência existentes nos transmissores, os picos de potência do sinal OFDM podem alcançar a região de saturação do PA. Situações como essa podem inserir distorções no sinal, causando erros na detecção da informação recebida no receptor [1].

Várias técnicas vêm sendo estudadas e desenvolvidas visando a diminuição da PAPR [2], [3], [4]. Dentre estas, a técnica Transmissão Parcial de Sequências [2] destaca-se dentre as mais mencionadas na literatura. Neste método, os sinais são multiplicados por diversas sequências aleatórias para que se selecione aquela com menor PAPR, garantindo assim uma eficiente redução na PAPR.

Apesar da grande variedade de trabalhos que propõem o emprego de técnicas de redução de PAPR, são poucas as pesquisas que tratam de técnicas de redução da PAPR

Engenharia da Computação, Campus Sobral. Universidade Federal do Ceará, Sobral, Brasil. E-mails: livia.sousa43@gmail.com, alexandrefernandes@ufc.br. C. Alexandre R. Fernandes é parcialmente financiado pelo CNPq.

em sistemas de comunicação cooperativos [5], [6]. Logo, é possível afirmar que essa linha de pesquisa ainda é pouco explorada na literatura, mas que se adequadamente explorada pode render grandes resultados.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma análise, realizada através de simulações computacionais, da aplicação da técnica PTS em um sistema cooperativo contendo uma fonte, um *relay* amplifica-e-encaminha e um destino, com a aplicação da técnica PTS tanto na fonte quanto no *relay*. Este caso assume a existência de um PA não linear tanto na fonte quanto no *relay*. O intuito deste análise é avaliar se a técnica PTS é mais eficiente quando aplicada na fonte, no *relay* ou em ambos. Deve ser destacado que nenhum dos trabalhos acima mencionados consideram a aplicação de técnicas de redução de PAPR na fonte e no *relay*, contrariamente ao presente trabalho.

## II. MODELO DO SISTEMA

O modelo de sistema de comunicação OFDM cooperativo utilizado neste trabalho é composto por uma fonte (F), um *relay* (R) amplifica-e-encaminha, e um destino (D). Todos os nós da rede possuem uma única antena operando no modo *half-duplex* e todos os canais do sistema são independentes entre si, com desvanecimento *Rayleigh* seletivo em frequência.

Em um primeiro *slot* de tempo, a informação é enviada da fonte para o *relay* (*link* FR) e, no segundo *slot*, o sinal é amplificado pelo *relay* e retransmitido para o destino (*link* RD). A fonte transmite uma informação com potência  $P_f$  em cada uma das  $N$  subportadoras usando uma constelação  $M$ -QAM (*Quadrature amplitude modulation*).

O sinal no domínio da frequência  $y_n^{(FR)}$  recebido pelo *relay* através do *link* FR, na  $n$ -ésima subportadora, é dado por:

$$y_n^{(FR)} = h_n^{(FR)} \mathcal{F}_n (f^{(F)} (\sqrt{P_f} \tilde{\mathbf{x}})) + w_n^{(FR)}, \quad (1)$$

para  $1 \leq n \leq N$ , em que  $h_n^{(FR)}$  é a resposta em frequência do canal na  $n$ -ésima subportadora do enlace fonte-*relay*,  $w_n^{(FR)}$  é o ruído branco Gaussiano aditivo (AWGN - *Additive White Gaussian Noise*) do enlace FR da  $n$ -ésima subportadora, com média nula e variância  $\sigma_w^2$ ,  $\mathcal{F}_n(\cdot) : C^N \rightarrow C$  é a função que retorna o  $n$ -ésimo valor da transformada discreta de Fourier (DFT - *Discrete Fourier Transform*) do vetor de entrada,  $f^{(F)}(\cdot) : C^N \rightarrow C^N$  é função não linear que modela o PA da fonte e  $\tilde{\mathbf{x}} \in C^N$  é o vetor com os sinais transmitidos no domínio do tempo.

O *relay* atribui um ganho  $G_n$  a cada subportadora do sinal recebido  $y_n^{(FR)}$  no domínio da frequência, para que só então possa ser retransmitido. Para esse trabalho foi considerado um ganho variável [1]. O sinal recebido pelo destino através do *relay* (canal RD) no domínio da frequência é dado por:

$$y_n^{(RD)} = h_n^{(RD)} \mathcal{F}_n (f^{(R)} (\tilde{\mathbf{y}}^{(FR)})) + w_n^{(RD)}, \quad (2)$$

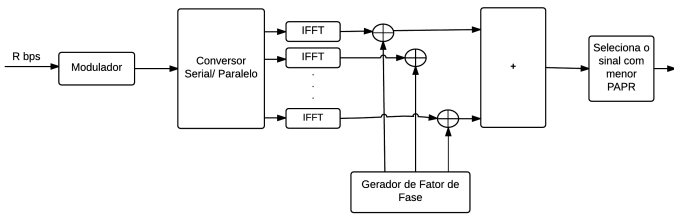


Fig. 1. Diagrama de blocos da técnica PTS.

em que  $h_n^{(RD)}$  é a resposta em frequência da  $n$ -ésima subportadora do canal RD,  $f^{(R)}(\cdot) : C^N \rightarrow C^N$  é função não linear que modela o PA do *relay*,  $w_n^{(RD)}$  é o correspondente AWGN e  $\tilde{\mathbf{y}}^{(FR)} \in C^N$  é o vetor com os sinais transmitidos pelo *relay* no domínio do tempo, dado pela transformada inversa de Fourier discreta (IDFT - *Inverse Discrete Fourier Transform*) da sequência  $\{G_n y_n^{(FR)}\}$ , para  $n = 1, \dots, N$ .

### III. PARTIAL TRANSMIT SEQUENCE (PTS) EM UM SISTEMA COOPERATIVO

A técnica PTS de redução de PAPR considera que a sequência de dados de tamanho  $N$  na frequência é particionada em uma quantidade menor de sub-blocos  $V$ . A transformada rápida inversa de Fourier (IFFT - *Inverse Fast Fourier Transform*) com  $N$  pontos é então aplicada aos vetores presentes em cada sub-bloco, onde apenas  $N/V$  pontos são não nulos e os demais pontos da IFFT são nulos. Em seguida cada sub-bloco é multiplicado por um fator de fase, dentre o conjunto de fatores de fase é selecionado aquele que minimize a PAPR do sinal combinado de todos os sub-blocos [3]. O diagrama de blocos da técnica PTS é mostrado na Fig. 1.

A ideia principal desse trabalho é analisar os efeitos da aplicação da técnica PTS na fonte e/ou *relay*, para se observar quais casos fornecem menos erros. É esperado que o melhor caso aconteça quando houver a aplicação da técnica em ambos os nós (fonte e *relay*). Em [7], foi demonstrado que as distorções não lineares introduzidas pela fonte são mais significativas para o desempenho do sistema do que aquelas introduzidas pelo *relay*. Assim, espera-se que a aplicação da técnica PTS apenas na fonte forneça uma (SER, *Symbol Error Ratio*) menor do que no caso em que a PTS é aplicada apenas no *relay*.

### IV. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO

Nesta seção, serão apresentados resultados de simulação do trabalho. Foi considerado que os canais possuem espalhamento de atraso que resulta em resposta impulsiva com 04 taps,  $P_f = P_r = 0,5$ ,  $N = 64$  subportadoras, prefixo cíclico de tamanho 04. Os PAs não lineares da fonte e do *relay* são representados pelo modelo *soft-clipping* [1], com amplitude de saturação igual a 1.4 na fonte, e 1.2 no *relay*. Com relação a técnica PTS foi utilizado um particionamento do tipo adjacente [8], um total de 4 sub-blocos e 256 diferentes sequências permutadas a partir do conjunto discreto de fatores de fase  $\{1 -1 i -i\}$ . A SER é apresentada para uma média de  $10^5$  amostras de Monte Carlo.

A Fig. 2 mostra a SER em função da SNR média para os seguintes casos: sem aplicação da técnica PTS, PTS apenas no

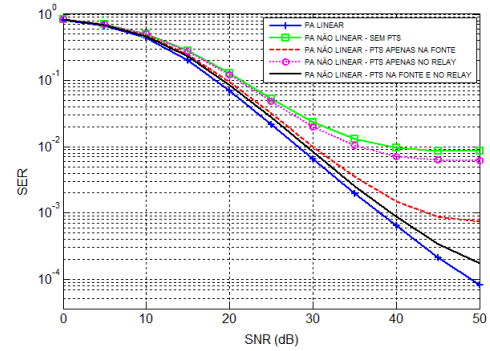


Fig. 2. SER versus SNR - Comparação entre os casos de aplicação da técnica PTS.

*relay*, PTS apenas na fonte e PTS tanto na fonte, quanto no *relay*. Além disso, foi analisada a aplicação de PA's lineares. Conforme esperado, a melhor SER foi obtida a partir da aplicação de PA lineares, seguido da aplicação da técnica PTS tanto na fonte, quanto no *relay*. O terceiro melhor caso foi aquele em que a PTS é aplicada apenas na fonte. Isto ocorre pois a distorções não lineares inseridas pela fonte são amplificadas pelo *relay* AF, acentuando ainda mais a distorção do sinal retransmitido. Vale mencionar também que, neste caso testado, a aplicação da técnica apenas no *relay* apesar de uma melhor performance, forneceu SERs bem próximas ao caso sem redução de PAPR.

### V. CONCLUSÕES

Nesse artigo foi analisada a aplicação da técnica PTS em um sistema OFDM AF cooperativo tanto na fonte e quanto no *relay*. Pelos resultados obtidos, a aplicação da técnica PTS na fonte se mostrou muito mais eficaz do que no *relay*. Em trabalhos futuros será desenvolvida uma nova aplicação da técnica PTS que forneça menos processamento no *relay*.

### REFERÊNCIAS

- [1] C. A. R. Fernandes, D. B. da Costa and A. L. F. de Almeida, "Performance analysis of cooperative amplify-and-forward orthogonal frequency division multiplexing systems with power amplifier non-linearity," in *IET Communications*, vol. 8, no. 18, pp. 3223–3233, 2014.
- [2] S. H. Muller and J. B. Huber, "OFDM with reduced peak-to-average power ratio by optimum combination of partial transmit sequences," in *Electronics Letters*, vol. 33, no. 5, pp. 368–369, 27 Feb 1997.
- [3] Y. Rahmatallah; S. Mohan, "Peak-To-Average Power Ratio Reduction in OFDM Systems: A Survey And Taxonomy", *IEEE Communication Surveys and Tutorials*, vol. 15, no. 5, (2013), pp. 1567–1592.
- [4] Aquino, G. P., "Comparação entre técnicas de redução da PAPR em sinais OFDM". 2011. 85 p. Dissertação - Instituto Nacional de Telecomunicações - INATEL, Santa Rita do Sapucaí, 2011.
- [5] Yun Li; Mingy Gao; Zhiqiang Yi, "A cooperative and alternate PTS scheme for PAPR reduction in STBC MIMO-OFDM system", in *Communication Technology (ICCT), 2012 IEEE 14th International Conference on*, vol., no., pp.268–272, 9–11 Nov., 2012.
- [6] Binti Harum, N.; Yuda, K.; Ohtsuki, T., "PAPR reduction of amplify-and-forward relay OFDM system using subcarrier pairing method", in *Personal Indoor and Mobile Radio Communications (PIMRC), IEEE 24th International Symposium*, vol., no., pp.2005–2010, 8–11 Set. 2013.
- [7] C. Alexandre R. Fernandes, Éder J. P. Farias, "Theoretical Outage Analysis of Nonlinear OFDM Systems with AF Relays", in *Journal of Communication and Information Systems*, vol. 30, no. 1, pp.109–104, Mar. 2015.
- [8] Seog Geun Kang, Jeong Goo Kim and Eon Kyeong Joo, "A novel subblock partition scheme for partial transmit sequence OFDM," in *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 45, no. 3, pp. 333–338, Sep 1999.