

# Cancelamento de Distorções Não Lineares em Sistemas OFDMA com Detecção Multiusuário

Silas L. Silva\* e C. Alexandre R. Fernandes\*

**Resumo**—Este artigo tem como objetivo aplicar a técnica CIDH (Correção Iterativa com Detecção Hard) para o cancelamento de distorções não lineares em sistemas de múltiplo acesso por divisão de frequências ortogonais (OFDMA, *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*). Esta técnica foi desenvolvida para sistemas de multiplexação por divisão de frequências ortogonais (OFDM, *Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e já foi amplamente testada para este tipo de sistema. Entretanto, até onde vai nosso conhecimento, a aplicação desta técnica em sistemas OFDMA ainda não foi realizada na literatura. A aplicação desta técnica em sistemas OFDMA requer que o receptor realize uma detecção multiusuário para estimar e cancelar as distorções oriundas do amplificador de potência (PA, *Power Amplifier*).

**Palavras-Chave**—OFDMA, correção iterativa com detecção hard, amplificador não linear, detecção multiusuário.

**Abstract**—In this paper, we study and analyse the performance of the Iterative Correction Hard Detection technique for cancellation of nonlinear distortions in OFDMA communication systems. This technique was developed and widely tested for OFDM systems. However, to the best of our knowledge, the application of this technique in OFDMA systems is unexplored in the literature. The application of this technique in OFDMA systems requires a multiuser detection for estimating and canceling the distortions introduced by the power amplifier.

**Keywords**—OFDMA, iterative correction hard detection, nonlinear amplifier, multiuser detection.

## I. INTRODUÇÃO

A tecnologia OFDMA vem se destacando no atual cenário das comunicações móveis por apresentar características importantes, tais como alta eficiência espectral, flexibilidade, robustez a interferência entre símbolos (ISI, *Intersymbol Interference*) e interferência entre sub-portadoras (ICI, *Intercarrier Interference*) [1]. A tecnologia OFDMA é uma versão multiusuário da técnica OFDM e vem sendo empregada em sistemas móveis nos padrões de quarta geração como LTE (*Long Term Evolution*), IEEE 802.16 e IEEE 802.20.

Uma das principais desvantagens dos sistemas OFDMA é a sua alta sensibilidade a PA não lineares [1]. Sinais multiportadoras como OFDM e OFDMA apresentam elevada razão entre a potência de pico e a potência média (PAPR, *Peak-to-Average Power Ratio*), ou seja, apresentam elevadas variações em amplitudes. Essa característica faz com que as componentes com altas amplitudes dos sinais operem na região não linear dos amplificadores de potência, causando distorções que podem ocasionar erros na detecção dos sinais. Por esse motivo, existem na literatura diversos métodos capazes de

evitar, reduzir ou eliminar esse problema fornecendo um melhor desempenho ao sistema [2], [3], [4], [5]. Entretanto, a grande maioria destas técnicas foram desenvolvidas e testadas para OFDM. A aplicação destas técnicas no cenário multiusuário OFDMA ainda é, no melhor do nosso conhecimento, inexplorada na literatura.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo aplicar a técnica CIDH [6] para o cancelamento de distorções não lineares em sistemas OFDMA. A escolha desta técnica deve-se ao fato de ela ser bastante popular na literatura, mostrando-se eficiente no cancelamento de distorções não lineares em sistemas OFDM [2], [4].

A aplicação desta técnica em sistemas OFDMA requer uma pequena adaptação. No caso multiusuário do OFDMA, o receptor deve realizar uma detecção multiusuário para estimar e cancelar as distorções oriundas do amplificador de potência, uma vez que tais distorções dependem dos sinais transmitidos por todos os usuários.

## II. MODELAGEM DO SISTEMA

O sistema proposto é composto por um transmissor e por  $K$  receptores (enlace descendente). É assumido que o transmissor possui um PA não linear e que a transmissão dos dados é feita utilizando OFDMA. Assume-se ainda que os canais sem fio são seletivos em frequência.

Seja  $S_n$  a informação que será transmitido na  $n$ -ésima subportadora no domínio da frequência e  $s_{n'}$  o sinal transmitido no domínio do tempo dado pela transformada discreta de Fourier inversa (IDFT, *Inverse Discrete Fourier Transform*) de  $S_n$ , com  $1 \leq n, n' \leq N$ , em que  $N$  é o número total de subportadoras. Assume-se que os dados  $S_n$  sejam independentes e identicamente distribuídos.

Considerando que o número  $N$  de subportadoras é elevado,  $s_{n'}$  pode ser considerado como uma variável aleatória com distribuição Gaussiana complexa [7]. Logo, usando a extensão do Teorema de Busgang para entrada Gaussiana complexa, podemos expressar a saída do PA do transmissor no domínio do tempo como [7]:

$$z_{n'} = F(s_{n'}) = \alpha s_{n'} + d_{n'}, \quad (1)$$

em que  $z_{n'}$  é a saída do PA não linear,  $F(\cdot)$  é uma função não linear sem memória que modela o PA do transmissor,  $\alpha$  é um fator de atenuação e  $d_{n'}$  é uma distorção não linear decorrelacionada com  $s_{n'}$ .

A Equação (1) pode ser escrita no domínio da frequência como:  $Z_n = \alpha S_n + D_n$ , em que  $Z_n$ ,  $S_n$  e  $D_n$  são respectivamente as transformadas discretas de Fourier (DFT, *Discrete Fourier Transform*) de  $z_{n'}$ ,  $s_{n'}$  e  $d_{n'}$ ,  $1 \leq n, n' \leq N$ .

\*Engenharia da Computação, Univ. Federal do Ceará, Campus UFC Sobral, Brasil, E-mails: silas.limasilva@gmail.com, alexandrefernandes@ufc.br. Este trabalho recebeu suporte financeiro do Banco do Nordeste do Brasil e do CNPq.

Seja  $X_{n,k}$  o sinal em banda base discreto no domínio da frequência, da  $n$ -ésima subportadora, que chega ao receptor do  $k$ -ésimo usuário, com  $1 \leq n \leq N$  e  $1 \leq k \leq K$ . Assumindo que o tamanho do prefixo cíclico do símbolo OFDMA é maior ou igual ao espalhamento de atrasos do canal (*delay spread*), obtém-se:

$$X_{n,k} = H_{n,k}Z_n + V_{n,k}, \quad (2)$$

em que  $H_{n,k}$  é a resposta em frequência da  $n$ -ésima subportadora do canal entre o transmissor e o receptor do  $k$ -ésimo usuário, e  $V_{n,k}$  o ruído branco Gaussiano aditivo (AWGN, *Additive White Gaussian Noise*) da  $n$ -ésima subportadora do  $k$ -ésimo usuário. Assim, temos que:

$$X_{n,k} = H_{n,k}\alpha S_n + H_{n,k}D_n + V_{n,k}. \quad (3)$$

### III. CORREÇÃO ITERATIVA COM DETECÇÃO HARD (CIDH)

A ideia do algoritmo CIDH é realizar uma estimação e um cancelamento iterativo do ruído não linear  $d_{n'}$  do sinal recebido. Os passos do algoritmo são descritos a seguir para o  $k_1$ -ésimo usuário:

- 1) Faça  $X_{n,k_1}^{(cor)} = X_{n,k_1}$ , para  $1 \leq n \leq N$ .
- 2) Realizar uma detecção *soft* dos símbolos transmitidos por todos os usuários:  $\hat{S}_n = X_{n,k_1}^{(cor)} / H_{n,k_1}\alpha$ , para  $1 \leq n \leq N$ .
- 3) Para  $k = 1, \dots, K$ , calcule  $\hat{S}_n^{(proj)}$  como sendo a projeção de  $\hat{S}_n$ , com  $n \in A_k$ , sobre o alfabeto da constelação o  $k$ -ésimo usuário, em que  $A_k$  é o subconjunto das subportadoras usadas pelo  $k$ -ésimo usuário (detecção *hard*).
- 4) Calcular  $\hat{s}_{n'}$  como sendo a IDFT de  $\hat{S}_n^{(proj)}$ , para  $1 \leq n', n' \leq N$ .
- 5) Calcule:  $\hat{z}_{n'} = F(\hat{s}_{n'})$ ,  $1 \leq n' \leq N$ .
- 6) Estime a distorção não linear da seguinte forma:  $\hat{d}_{n'} = \hat{z}_{n'} - \alpha\hat{s}_{n'}$ ,  $1 \leq n' \leq N$ .
- 7) Obter uma versão corrigida de  $X_{n,k_1}$  da seguinte forma:  $X_{n,k_1}^{(cor)} = X_{n,k_1} - H_{n,k_1}\hat{D}_n$ , em que  $\hat{D}_n$  é a DFT de  $\hat{d}_{n'}$ .
- 8) Retorna ao Passo 2.

O algoritmo deve ser repetido quantas vezes se achar necessário, embora com poucas iterações seja possível obter resultados satisfatórios. Em nossas simulações nos usamos cinco repetições do algoritmo.

### IV. RESULTADOS DE SIMULAÇÃO E DISCUSSÃO

Nesta seção, serão apresentados os resultados de simulação computacional a fim de promover uma avaliação de desempenho da técnica CIDH em sistemas OFDMA. No que segue, assume-se um sistema com dois usuários "A" e "B". Os símbolos transmitidos pertencem a constelações 8-QAM e 32-QAM para os usuários "A" e "B", respectivamente. Assume-se ainda seletividade em frequência e desvanecimento Rayleigh para todos os canais. Considera-se que o amplificador de potência da fonte é limitado em potência usando *soft-clipping* com potência de saturação igual a 0 dB [3]. Nesta simulação

foram utilizadas 128 subportadoras no transmissor OFDMA e os resultados apresentados são a média de  $10^3$  simulações de Monte Carlo.

A Fig. 1 mostra a taxa de erro de símbolos (SER, *Symbol Error Ratio*) dos usuários A e B para três diferentes cenários de simulação: com amplificação linear de potência, com amplificação não linear de potência e com a aplicação da técnica CIDH. Nota-se que a amplificação de potência causa sérios danos ao desempenho do sistema. No entanto, utilizando o método CIDH se nota um ganho de desempenho bastante expressivo.

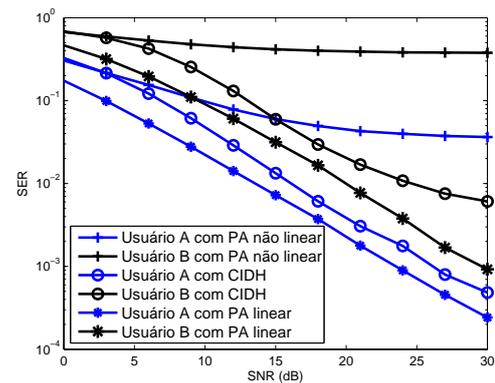


Fig. 1. SER versus SNR para os usuários A e B.

### V. CONCLUSÃO

Neste artigo foi proposta uma adaptação do método CIDH para cancelamento de distorção não linear em sistemas OFDMA. Os resultados de simulação mostraram que o método utilizado proporciona ganhos bastante expressivos no desempenho do sistema. Em trabalhos futuros será feita uma comparação entre a o método CIDH e o método de correção iterativa por detecção *soft* (CIDS). Acredita-se que esse último tenha um custo computacional menor ao custo de um menor desempenho nos ganhos do sistema.

### REFERÊNCIAS

- [1] Araujo, T.; Dinis, R., "Analytical Evaluation of Nonlinear Effects on OFDMA Signals", *Wireless Communications, IEEE Transactions*, vol. 9, n. 11, pag. 3472,3479, Novembro 2010.
- [2] H. Chen e A. M. Haimovich, "Iterative Estimation and Cancellation of Clipping Noise for OFDM Signals", *IEEE Communications Letters*, vol. 7, n. 7, pag. 305 - 307, Julho 2013.
- [3] C. A. R. Fernandes, J. C. M. Mota e G. Favier, "Analysis and Power Diversity Based Cancellation of Nonlinear Distortions in OFDM Systems", *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 60, n. 7, pag. 3520 - 3531, 2012.
- [4] F. Gregorio, S. Werner, T. I. Laakso e J. Cousseau, "Receiver Cancellation Technique for Nonlinear Power Amplifier Distortion in SDMA-OFDM Systems", *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 56, n. 5, pag. 2499-2516, 2007.
- [5] J. Tellado, L. Hoo e J. Cioffi, "Maximum-likelihood Detection of Nonlinearly Distorted Multicarrier Symbols by Iterative Decoding", *IEEE Trans. Commun.*, vol. 51, n. 2, pag. 218-228, Fevereiro, 2013.
- [6] I. A. Ulian e A. N. Barreto, "Comparação Entre Pós e Pré-Processamento para a Mitigação dos Efeitos Não Lineares em um Sistema OFDM", *XXIX Simpósio Brasileiro de Telecomunicações (SBRT'11)*, Curitiba, Outubro 2011.
- [7] D. Dardari, V. Tralli, and A. Vaccari, "A theoretical characterization of nonlinear distortion effects in OFDM systems". *IEEE Transactions on Communications*, vol. 48, n. 10, pag. 1755-1764, Outubro 2000.