

# Estudo da Interferência entre Sistemas de Comunicações Baseados em C-OFDM e W-CDMA

Pedro A.M. Fonini, Markus V.S. Lima e Paulo S.R. Diniz

**Resumo**—O objetivo deste trabalho é estudar os efeitos da co-existência de dois sistemas de transmissão que empregam técnicas utilizadas nos sistemas de comunicações modernos. Os sistemas considerados são o *wideband code-division multiple access* (W-CDMA) e o *orthogonal frequency-division multiplexing* com codificação de canal (C-OFDM). A principal motivação desse estudo é a ideia central de rádios cognitivos: a de que usuários não licenciados possam usar faixas de frequências subutilizadas pelo usuário licenciado. Conseqüentemente, nesse contexto, interferência entre diferentes sistemas devem ocorrer com mais frequência.

**Palavras-Chave**—C-OFDM, W-CDMA, interferência, rádios cognitivos, LTE

**Abstract**—The goal of this work is to study the effects of the co-existence of two transmission systems that employ techniques used in modern communications systems. The systems considered are the *wideband code-division multiple access* (W-CDMA) and the *coded orthogonal frequency-division multiplexing* (C-OFDM). The main motivation for this study is related to the central idea of cognitive radios: that unlicensed users may utilize empty frequency bands corresponding to a licensed user. In this context, interference among different systems will happen more frequently.

**Keywords**—C-OFDM, W-CDMA, interference, cognitive radios, LTE

## I. INTRODUÇÃO

Em diversos países, as bandas de telefonia celular já se encontram sobrecarregadas. No entanto, enquanto essas bandas são fortemente usadas, existem outras—destinadas a outros serviços—que são subutilizadas [1]. Nesse contexto, rádios cognitivos aparecem como uma solução promissora que visa à utilização de faixas de espectro que não estejam em atividade em um dado momento, os chamados *spectrum holes* [1]. Mais precisamente, rádios cognitivos permitem que usuários não licenciados usem faixas de frequência de um usuário licenciado quando o segundo não as estiver utilizando. Portanto, o rádio cognitivo deve ser capaz de monitorar o ambiente e detectar a existência de *spectrum holes* que possam ser utilizados por ele, bem como detectar o retorno das transmissões referentes aos usuários licenciados.

Devido à natureza oportunística do rádio cognitivo e ao processo de sensoriamento do ambiente, a ocorrência de situações em que o rádio cognitivo irá interferir na transmissão do usuário licenciado é praticamente inevitável.

Com essa motivação, neste trabalho estudamos um cenário hipotético de interferência entre dois sistemas de comunicações. Um é baseado em *wideband code-division multiple*

*access* (W-CDMA) [2], método usado na interface de rádio do sistema *universal mobile telecommunications system* (UMTS) [3]. O outro sistema considerado é baseado em *orthogonal frequency-division multiplexing* com codificação de canal (C-OFDM) [2], que é um esquema de modulação multiportadora bastante utilizado em sistemas de comunicações, tais como no *long term evolution* (LTE) [4], no IEEE 802.11a/g/n (*Wi-Fi*) [5], e no *digital video broadcasting* (DVB) [6]. Portanto, os métodos de transmissão de dados escolhidos são amplamente usados nos sistemas de comunicações atuais.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção II, apresentamos os ambientes usados para simular as transmissões W-CDMA e C-OFDM. Na Seção III, estudamos o grau de interferência mútua que esses sistemas suportam. As conclusões são realizadas na Seção IV.

## II. SIMULADORES

Nesta seção, descrevemos o processo de transmissão implementado pelos simuladores dos sistemas W-CDMA e C-OFDM.

### A. Simulador W-CDMA

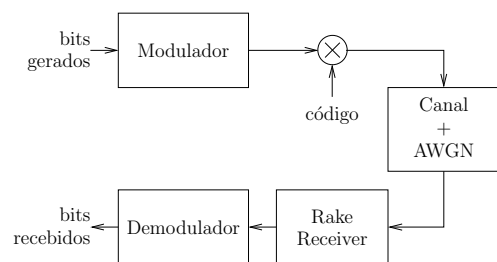


Fig. 1. Simulador DS-CDMA.

A Fig. 1 resume o simulador do sistema W-CDMA usando o esquema conhecido como *direct sequence* (DS-CDMA) [2]. No transmissor, *bits* gerados de forma aleatória são transformados em símbolos através de um modulador BPSK. Em seguida, é realizado o espalhamento de espectro (*spreading spectrum*) através da multiplicação de cada elemento da sequência de símbolos por uma sequência pseudo-aleatória chamada de código. O sinal resultante é transmitido pelo canal e, no receptor, o amplamente utilizado *rake receiver* [7] é empregado para recuperar os símbolos transmitidos. O *rake receiver*, além de realizar o desespalhamento do espectro, se vale da propriedade de baixa autocorrelação das sequências pseudo-aleatórias [8] para reverter os efeitos de *multipath* do canal. Por fim, esses símbolos são demodulados e a sequência de *bits* recebidos é formada.

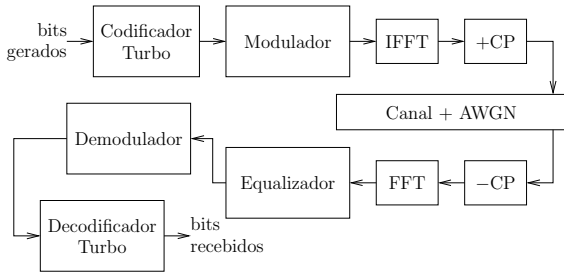


Fig. 2. Simulador C-OFDM.

### B. Simulador C-OFDM

O simulador do sistema C-OFDM está representado na Fig. 2. O primeiro módulo implementa a codificação de canal<sup>1</sup> e o segundo faz a modulação digital. Depois, a FFT inversa (IFFT) da sequência de símbolos resultantes da modulação é tomada, o prefixo cíclico (bloco “+CP”) é adicionado e o sinal transmitido. O receptor remove o prefixo cíclico (bloco “-CP”), aplica uma FFT e equaliza o sinal. Em seguida, o sinal é demodulado e a codificação de canal é desfeita.

### III. RESULTADOS DE SIMULAÇÕES

Os resultados apresentados nesta seção foram gerados através do simulador de LTE [9] em conjunto com o simulador de W-CDMA que implementamos.

O simulador de LTE foi configurado de forma a obtermos uma transmissão de um sistema C-OFDM. Em resumo, consideramos apenas o *downlink* do LTE, um único usuário ocupando toda a banda de 5 MHz do canal, transmissão envolvendo apenas uma antena, prefixo-cíclico estendido, codificação turbo na taxa 1/3 e modulação 16-QAM. Dessa forma, a transmissão de *downlink* do LTE é equivalente ao esquema descrito na Fig. 2.

No simulador W-CDMA, cuja transmissão está representada na Fig. 1, o código utilizado é uma sequência de Kasami de comprimento 63. Por sua vez, o *rake receiver* usa 3 *fingers*.

Os resultados foram obtidos simulando uma transmissão em banda base através de um canal (modelo para pedestre) tipicamente usado no LTE, o EPA-LTE [9]. Esse canal é modelado como um sistema linear variante no tempo. Após passar pelo canal, adicionamos ruído branco Gaussiano (AWGN – *additive white Gaussian noise*) ao sinal resultante. Os sinais dos dois sistemas que estamos analisando são então somados antes de serem passados aos módulos que modelam os respectivos receptores. Note que a cada transmissão temos duas realizações de canais e de ruídos sendo gerados de forma independente, cada realização refere-se a um dos sistemas.

Repetimos a simulação para vários valores de  $E_b/N_0$ . Para cada um desses valores, repetimos novamente para valores diferentes da relação entre a potência do sinal W-CDMA e a potência do sinal C-OFDM. O melhor cenário encontrado, em que os sistemas conseguem coexistir “pacificamente”, foi quando a potência do sinal W-CDMA no receptor está entre 12 e 13 dB abaixo da potência do sinal C-OFDM.

Na Fig. 3, apresentamos as taxas de erro de *bits* (BER) obtidas para ambos os sistemas no cenário em que a potência

<sup>1</sup>Optou-se por utilizar códigos Turbo pela sua eficiência e aplicação nos sistemas de comunicações modernos, e.g., no LTE.

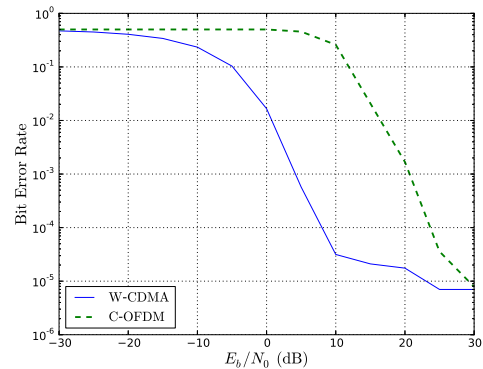


Fig. 3. Taxas de erro de *bits* em função da razão entre a energia por *bit* e a densidade espectral de ruído considerando que o sistema W-CDMA opera numa potência 12 dB abaixo do C-OFDM.

do sinal W-CDMA no receptor está 12 dB abaixo da potência do sinal C-OFDM. Nessa configuração, observa-se que uma razão  $E_b/N_0$  em torno de 25 dB é suficiente para garantir uma BER inferior a  $10^{-4}$  para ambos os sistemas.

É importante ressaltar dois pontos. Primeiramente, graças ao espalhamento de espectro, era esperado que a transmissão W-CDMA fosse mais robusta a interferidores que a do C-OFDM. O segundo ponto a se destacar é que o equilíbrio demonstrado na Fig. 3 é bastante sensível à relação entre as potências dos dois sistemas. Mais precisamente, quando essa relação é de 11 dB ou menos, apenas o W-CDMA atinge um desempenho aceitável. Por outro lado, quando essa relação é de 14 dB ou mais, apenas o C-OFDM atinge um bom desempenho.

### IV. CONCLUSÕES

Neste trabalho, estudamos os efeitos de interferência devido à sobreposição de dois sistemas: W-CDMA e C-OFDM. Verificamos que existe um pequeno intervalo de relações entre as potências dos sinais C-OFDM e W-CDMA para o qual ambos os sistemas conseguem atingir uma BER razoável, mesmo transmitindo simultaneamente.

### REFERÊNCIAS

- [1] S. Haykin, “Cognitive radio: Brain empowered wireless communications,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 23, no. 2, pp. 201–220, February 2005.
- [2] P.S.R. Diniz, W.A. Martins, and M.V.S. Lima, *Block Transceivers: OFDM and Beyond*, Morgan & Claypool, 2012.
- [3] Third-Generation Partnership Project, “Release 7,” [http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK\\_PLAN/Description\\_Releases/Rel-07\\_description\\_20120124.zip](http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Rel-07_description_20120124.zip), 2007.
- [4] Third-Generation Partnership Project, “Release 8,” [http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK\\_PLAN/Description\\_Releases/Rel-08\\_description\\_20130121.zip](http://www.3gpp.org/ftp/Information/WORK_PLAN/Description_Releases/Rel-08_description_20130121.zip), 2007.
- [5] IEEE-SA, “Part 11: Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications,” <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.11-2012.pdf>, March 2012.
- [6] European Broadcasting Union, “Digital video broadcasting (DVB); interaction channel for digital terrestrial television (RCT) incorporating multiple access OFDM,” [http://www.etsi.org/deliver/etsi\\_en/301900\\_301999/301958/01.01.01\\_60/en\\_301958v010101p.pdf](http://www.etsi.org/deliver/etsi_en/301900_301999/301958/01.01.01_60/en_301958v010101p.pdf), 2002-3.
- [7] A.J. Viterbi, *CDMA: Principles of Spread Spectrum Communication*, Addison-Wesley, 1995.
- [8] J.S. Lee and L.E. Miller, *CDMA Systems Engineering Handbook*, Artech House Publishers, 1998.
- [9] M.V.S. Lima, C.M.G. Gussen, B.N. Espindola, T.N. Ferreira, W.A. Martins, and P.S.R. Diniz, “Open-source physical-layer simulator for LTE systems,” in *Proc. of ICASSP 2012*, May 2012, pp. 2781–2784.