

Análise Comparativa das Propostas MB-OFDM e DS-UWB para Sistemas Ultra Banda Larga

VINÍCIUS O. D. BESSA
FRANCISCO DIAS

*Departamento de Engenharia
Instituto de Educação Superior de Brasília – IESB*

*<http://www.iesb.br> e-mail: vinicius.bessa@gmail.com
francisco.dias@fcpd.eng.br*

Resumo – A recente incorporação da técnica Ultra WideBand (UWB) para os serviços Wireless Personal Area Network (WPAN), proporcionou uma grande disputa entre propostas baseadas em técnicas OFDM e DS-CDMA. Este artigo apresenta uma análise comparativa entre as duas técnicas MB-OFDM e DS-UWB, considerando um canal Aditivo Gaussiano Branco (AWGN).

Abstract – The recent incorporation of the Ultra WideBand (UWB) technique to the Wireless Personal Area Network (WPAN) services has provided a great dispute between proposals based on OFDM and DS-CDMA techniques. This paper presents a comparative analysis between both techniques MB-OFDM and DS-UWB considering an Additive White Gaussian channel (AWGN).

Keywords – MB-OFDM, DS-UWB, WPAN, BER, FEC

1. INTRODUÇÃO

A crescente demanda por novas soluções para comunicação sem fio, tem demandado a necessidade de criar novas tecnologias com alta capacidade de transmissão, ou seja, que possibilite inovações sem perder qualidade de serviço.

A demanda por uma tecnologia que substitua o bluetooth, atualmente utilizada em redes WPAN, vem crescendo devido à necessidade de maiores taxas de transmissão a serem aplicadas em equipamentos domésticos.

O IEEE pretende, através do grupo de tarefa TG3a, padronizar as redes sem fio em WPAN para taxas acima de 55Mbps, chamada de 802.15.3a. Para isso o IEEE adotou a tecnologia UWB – Ultra Banda Larga [1].

Atualmente, existem duas técnicas que estão sendo estudadas para a definição do UWB em WPAN: *MB-OFDM* e *DS-UWB*. Enquanto a primeira tira proveito da multiplexação de portadoras em frequências ortogonais para resistir aos efeitos do multipercurso, a segunda realiza o espalhamento espectral através da multiplicação do sinal por um código em

seqüência direta, espalhando o sinal por uma larga faixa de frequências.

O IEEE criou alguns critérios de seleção, usados pelo TG3a, para a avaliação das respectivas propostas. Os critérios gerais da solução para aceitação das propostas são: custo na implementação das camadas; interferência; coexistência; facilidade técnica; complexidade na fabricação dos dispositivos; tempo para tornar-se disponível no mercado; impactos na regulamentação em outros países; escalabilidade; e capacidade de reconhecer a localização de outros dispositivos [2].

Os dispositivos UWB se comunicam formando uma rede denominada *piconet*. As *piconets* são redes locais com cobertura limitada e sem a necessidade de uma infraestrutura. Na figura 1 está exemplificado um tipo de *piconet*.

2. MULTIBAND OFDM

A proposta *MB-OFDM* está sendo desenvolvida pelo grupo MBOA (*MultiBand OFDM Alliance*) com faixa de frequência que vai de 3.1 a 10.6 GHz. A *MB-OFDM* utiliza-se da técnica de multiplexação

OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), usando 122 subportadoras moduladas em *QPSK (Quadrature Phase Shift Keying)*, suportando taxas de 30, 53.3, 110, 160, 200, 320, 400, e 480 Mbps, sendo que as taxas de 53.3, 110 e 200 Mbps são obrigatórias para transmissão e recepção e as outras são obrigatórias somente na recepção. Para alcançar essas taxas é utilizado um puncionamento – *Puncturing* – que omite temporariamente alguns bits codificados na transmissão, reduzindo, deste modo, o número de bits transmitidos e aumentando a taxa de codificação. Como exemplo, a uma taxa de transmissão de 53.3 Mbps, utiliza-se o esquema de modulação *QPSK*, um *FEC (Forward Error Correction)* de razão 1/2 e um fator de espalhamento 2, obtendo-se uma taxa de 100 Bits codificados por símbolo. Nesta combinação, o *FEC* é um codificador convolucional e o fator de espalhamento espectral é utilizado para propiciar uma maior robustez aos dados transmitidos [1]. A Tabela I apresenta os principais parâmetros do *MB-OFDM* para as taxas de 100, 200 e 480 Mbps.



Fig. 1. Piconet Doméstica

3. DIRECT SEQUENCE UWB

A proposta *DS-UWB*, também utiliza uma faixa de frequência que vai de 3.1 a 10.6 GHz e está sendo apresentada ao grupo TG3a do *IEEE*.

O *DS-UWB* provê uma rede *WPAN* com capacidade de comunicação de dados da ordem de 28, 55, 110, 220, 500, 660, 1000 e 1320 Mbps. Assim como o *MB-OFDM*, o

DS-UWB utiliza um puncionamento para atingir essas taxas de transmissão, reduzindo a taxa de bits transmitidos e aumentando a taxa de codificação. Para uma taxa de transmissão de 55 Mbps, utilizando modulação *BPSK*, taxa *FEC* de 1/2, tem-se uma taxa de símbolo de $F_{esp}/12$ (F_{esp} = Frequência de espalhamento) [1].

TABELA 1 – Parâmetros do MB-OFDM

Taxa (Mbps)	110	200	480
Modulação	QPSK	QPSK	QPSK
Taxa FEC	11/32	5/8	3/4
Fator de Espalhamento	2	2	1
Bits codificados por símbolo OFMD	200	200	200
Codificação convolucional	K=7	K=7	K=7
Polinômio Gerador	133 ₈ 165 ₈ 171 ₈	133 ₈ 165 ₈ 171 ₈	133 ₈ 165 ₈ 171 ₈
Entrelaçamento Matricial - OFDM	10 X 10	10 X 10	10 X 10
Frequência de espalhamento (MHz)	528	528	528

Na proposta *DS-UWB* é empregada a técnica de espalhamento espectral por seqüência direta, de forma a reduzir ao máximo a interferência em outros equipamentos que possam estar sendo utilizados no mesmo ambiente. A proposta utiliza os esquemas de modulação *BPSK* e *4-BOK*. A Tabela II apresenta os principais parâmetros do *DS-UWB* para as taxas de 100, 200 e 480 Mbps.

4. SIMULAÇÕES

Para oferecer suporte para comparações, foram realizadas simulações com as duas propostas, *MB-OFDM* e *DS-UWB*. Foram realizadas 3 simulações diferentes para o *MB-OFDM* considerando as taxas de transmissão de 110, 200 e 480 Mbps, obedecendo aos parâmetros da Tabela 1. Os parâmetros comuns às três simulações são:

- Codificação Convolucional com K=7 e polinômio gerador (133₈, 165₈, 171₈).
- Entrelaçamento Matricial ao longo dos símbolos *OFDM* de 100 x 3.
- Entrelaçamento Matricial dentro de cada símbolo *OFDM*, de 10 x 10.

- Modulação *QPSK*.
- Freqüência de espalhamento de 528 MHz.

TABELA 2 – Parâmetros do DS-UWB

Taxa (Mbps)	110	220	500
Modulação	BPSK	BPSK	BPSK
Taxa FEC	1/2	1/2	3/4
Comprimento do código	L=6	L=3	L=2
Bits por símbolo OFMD	1	1	1
Taxa de símbolo	$F_{esp}/6$	$F_{esp}/3$	$F_{esp}/2$
Codificação convolucional	K=6	K=6	K=6
Polinômio Gerador	65_8	65_8	65_8
Entrelaçamento Convolucional	10×7	10×7	10×7
Frequência de espalhamento (MHz)	1313	1313	1313

De forma análoga, foram realizadas 3 simulações diferentes para o *DS-UWB* considerando as taxas de transmissão de 110, 200 e 500 Mbps, obedecendo aos parâmetros da Tabela 2.

Os parâmetros comuns às três simulações são:

- Codificação Convolucional com K=6 e polinômio gerador (65_8 , 57_8).
- Entrelaçamento Convolucional de 10×7 .
- Modulação *BPSK*.
- Freqüência de espalhamento de 1313 MHz.

Neste estudo inicial foi utilizado um modelo de canal AWGN em todas as simulações, como canal de transmissão. Os Resultados obtidos nas respectivas simulações são apresentados nas Figuras 1, 2 e 3.

Na figura 2 é comparado o desempenho em termos de taxa de erros - *BER* - a uma taxa de transmissão de 110Mbps em função da relação sinal/ruído [dB]. Observa-se que, nestas condições, a *BER* do *MB-OFDM* é praticamente zero em 6 dB, enquanto no *DS-UWB* o *BER* será praticamente zero em 3db.

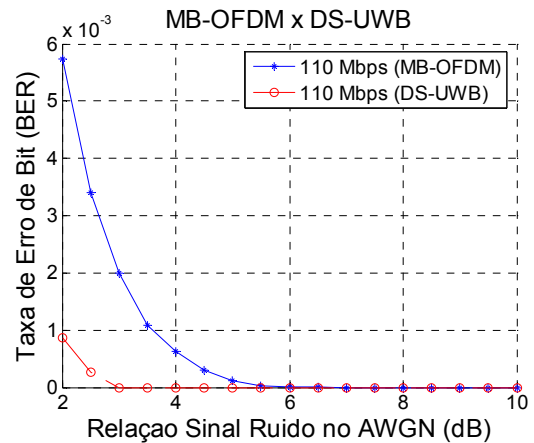


Fig. 2. 110 Mbps MB-OFDM x 110 Mbps DS-UWB

Já a uma taxa de transmissão de 200 Mbps para o *MB-OFDM* e a uma taxa de 220 Mbps para o *DS-UWB*, a *BER* é praticamente zero em 4.5 dB e 2.5 dB, respectivamente, conforme se pode visualizar na figura 3.

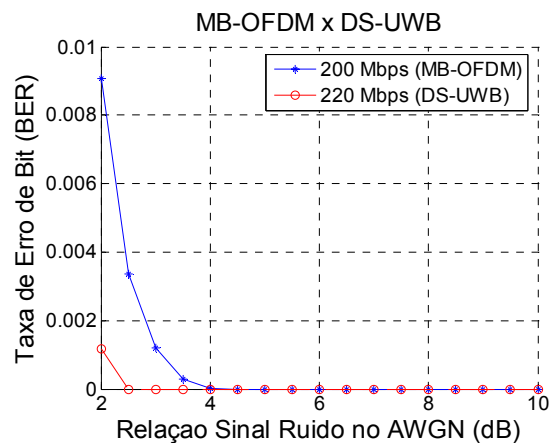


Fig. 3. 200 Mbps MB-OFDM x 220 Mbps DS-UWB

Finalmente, verifica-se na figura 4 que nas taxas de transmissão de 480 e 500 Mbps, obtém-se uma *BER* aproximada de zero para *MB-OFDM* e *DS-UWB*, em 10 dB e 8 dB, respectivamente.

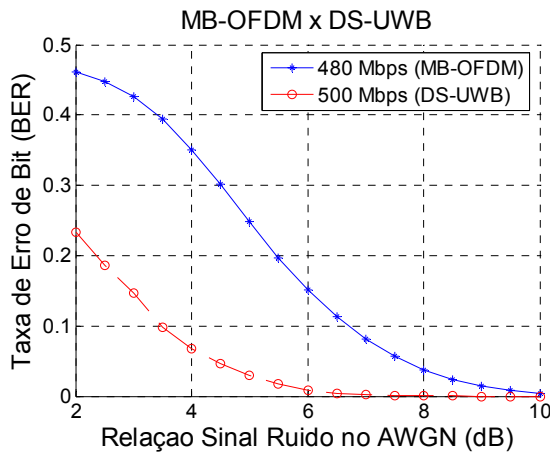


Fig. 4. 480 Mbps MB-OFDM x 500 Mbps DS-UWB

5. ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPOSTAS

Como parâmetro para análise, foram utilizados alguns dos critérios que o *IEEE* está utilizando para avaliação das tecnologias. Para a escolha de cada critério, foi analisado o grau de importância deles para o consumidor final, numa possível implementação de uma rede *WPAN*.

Os itens avaliados foram:

1. as taxas de transmissão que o dispositivo poderá suportar;
2. a quantidade e a duração de informações extras necessárias ao estabelecimento da conexão;
3. a quantidade de *piconets* que poderão ser formadas;
4. as características do enlace de rádio;
5. a sensibilidade do receptor;
6. a taxa de erro de bits (*BER*);
7. a imunidade a multipercursos;
8. os modos de gerenciamento da energia;
9. o consumo de potência;

1. Taxas de Transmissão: a taxa de transmissão foi avaliada através dos dados da Tabela 3 [3,4]. Verifica-se que tanto o *MB-OFDM* quanto o *DS-UWB*, atendem aos pré-requisitos estipulados pelo *IEEE*. Entretanto, o *DS-UWB* leva vantagem nessa análise, visto que sua taxa de transmissão atinge valores bem maiores que o *MB-OFDM*.

TABELA 3 – Taxas de Transmissão do MB-OFDM e do DS-UWB

Taxa de Trasmissão	
<i>MB-OFDM</i>	<i>DS-UWB</i>
53.3 Mbps	28 Mbps
80 Mbps	55 Mbps
110 Mbps	110 Mbps
160 Mbps	220 Mbps
200 Mbps	500 Mbps
320 Mbps	660 Mbps
400 Mbps	1000 Mbps
480 Mbps	1320Mbps

2. Informações Extras: trata-se dos pacotes de preâmbulo que precisam ser enviados antes do estabelecimento da conexão e envio de dados. Serão avaliados nesse tópico quais das tecnologias necessita de enviar o menor número de bits de informações extras.

Foi verificado que o preâmbulo médio para a banda baixa (3.1 a 4.85 GHz) do *DS-UWB* tem aproximadamente 737 bits por símbolo, enquanto o preâmbulo padrão do *MB-OFDM* possui 3.840 bits por símbolo, o que leva a concluir que a tecnologia *DS-UWB* é superior à *MB-OFDM* nesse aspecto.

3. Piconets: o grupo de tarefa TG3a definiu que o futuro protocolo 802.15.3a deverá permitir um número mínimo de 4 *piconets* operando sobrepostas e simultaneamente. Baseado nisso, a quantidade de *piconets* de cada proposta será de acordo com solução de cada proposta com quanto a divisão da faixa de 3.1 a 10.6 GHz.

A proposta *MB-OFDM* divide a faixa de 7.5 GHz em 5 canais, sendo que os 4 primeiros canais são divididos em 3 faixas de frequência e o último canal é dividido em somente 2 faixas de frequência, conforme figura 5 [1]. Esta proposta prevê um total de 4 códigos por canal, o que resulta em um número de 20 *piconets*. Porém, dessas 20 *piconets*, somente 4 podem trabalhar sobrepostas, atingindo então a quantidade mínima exigida.

Já a proposta *DS-UWB* divide a faixa de frequência de 3.1 a 10.6 GHz em duas partes, uma chamada de banda baixa que vai de 3.1 a 4.85 GHz e outra chamada de banda alta que vai de 6.2 a 9.7 GHz, conforme a figura 6. Em cada banda são definidos 6 códigos de *piconet*, totalizando

12 *piconets*, podendo somente 6 delas trabalharem sobrepostas.

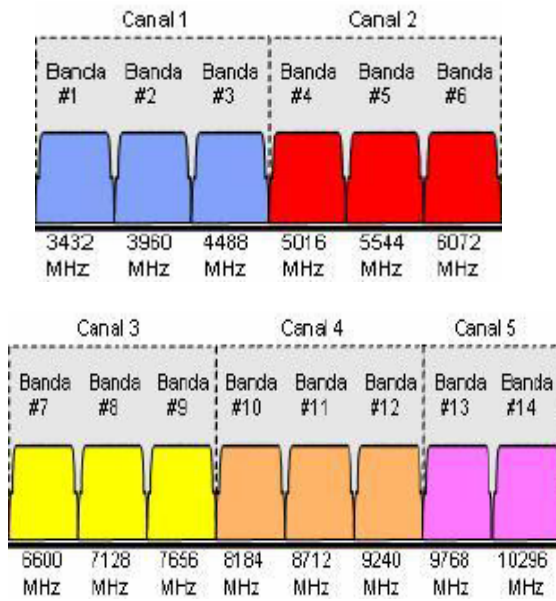


Fig. 5. Divisão de Piconets em MB-OFDM

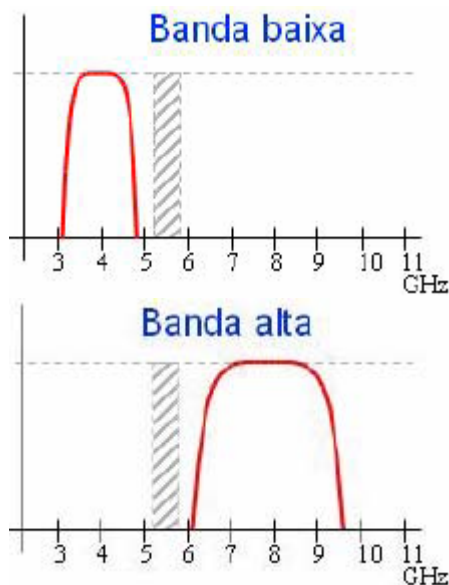


Fig. 6. Divisão de Piconets em DS-UWB

Conforme verificado, a proposta *MB-OFDM* pode oferecer um número de *piconets* maior que o *DS-UWB*, porém no *DS-UWB* um número maior de *piconets* pode trabalhar de maneira sobreposta. A vantagem de se trabalhar com maior número de *piconets* sobrepostas é que com a mesma banda de espectro, consegue-se alocar um maior número de usuários.

4. Enlace de rádio: com relação ao enlace de rádio, para o *MB-OFDM* foram

consideradas taxas de 110, 200 e 480 Mbps e para *DS-UWB* foram utilizadas taxas de 110, 220 e 500 Mbps. Dentre outros parâmetros, foram utilizados à uma taxa de 110 Mbps para o *MB-OFDM*, a potência média de transmissão igual a -10.3 dBm, o ganho da antena de 0dbi e a perda considerada em *AWGN* no valor de 2.9 dB. Já para o *DS-UWB*, na mesma taxa, utilizou-se a potência média de transmissão de -10 dBm, um ganho da antena de 0dbi e uma perda *AWGN* de 2.9 dB [2].

Analisando as duas propostas não foram encontradas diferenças significativas entre as mesmas.

5. Sensibilidade do receptor: quanto maior a sensibilidade, maior deve ser a relação sinal/ruído e, em uma mesma potência do transmissor, implicará num alcance menor ou numa taxa de erro maior. A Tabela IV apresenta os valores de sensibilidade em dBm em função da taxa de transmissão em Mbps para cada proposta. Pode-se concluir, desta tabela, que as duas propostas são equivalentes quanto a este parâmetro.

TABELA IV – Sensibilidade do MB-OFDM e do DS-UWB em função da taxa de transmissão

Taxa	MB-OFDM	Taxa	DS-UWB
110 Mbps	-76,08 dBm	110 Mbps	-76,18 dBm
200 Mbps	-72,79 dBm	220 Mbps	-72,87 dBm
480 Mbps	-68,19 dBm	500 Mbps	-68,31 dBm

6. Taxa de erro de bit (BER): após a análise dos resultados das simulações realizadas no item IV, figuras 2, 3 e 4, percebe-se que o *DS-UWB* é superior ao *MB-OFDM* em relação a taxa de erro de bit para as taxas de transmissão utilizadas nas simulações em um canal *AWGN*.

7. Imunidade a multipercursos: A técnica de multiplexação *OFDM* possui uma maior quantidade de mecanismos e características para lidar com os problemas relacionados com o canal multipercurso. Para a técnica de espalhamento espectral, utilizada no *DS-UWB*, é necessária a adição de um receptor do tipo *RAKE*, o qual combina os sinais que chegam em tempos e caminhos diferentes em um sinal

mais forte e limpo. Como na proposta *MB-OFDM* também está previsto o espalhamento espectral dos dados utilizando saltos em frequência, pode-se concluir que a proposta *MB-OFDM* está mais bem preparada para lidar com os canais multipercurso. Entretanto, este não é um fato comprovado neste artigo. Tal estudo encontra-se ainda em andamento, através de simulações, para futuras conclusões mais precisas e embasadas, não sendo assunto deste artigo.

8. Gerenciamento da energia consumida:

é a capacidade de se ter diferentes taxas de consumo de energia para diferentes modos de operação dos equipamentos. As duas propostas são idênticas com relação ao gerenciamento da energia consumida. Ambas seguem os modos definidos na minuta do padrão 802.15.3^a, quais sejam:

- *Active*: modo de transmissão
- *PSPS (Piconet Synchronized Power Save)*: permite economia durante o sincronismo das *piconets*.
- *SPS (Synchronous Power Save)*: economia simples de energia
- *Hibernate*: permite que se faça economia durante momentos ociosos.

9. Consumo de Potência: analisando o consumo de potência na transmissão e na recepção de informações, no modo *Current Control Amplifier (CCA)* e no modo em que o equipamento se encontra em *standby*, ou seja, não está transmitindo nem recebendo (modo de economia), pode-se verificar que a proposta *DS-UWB* possui menos consumo de potência do que a *MB-OFDM*, conforme as Tabelas V e VI [1].

TABELA V – Consumo de potência - MB-OFDM

Taxa	110 Mbps	200 Mbps	480 Mbps
Transmissão	117 mW	117 mW	180 mW
Recepção	205 mw	227 mW	323 mW
CCA	117 mW	117 mW	117 mW
Modo Econ.	18 μ W	18 μ W	18 μ W

TABELA VI – Consumo de potência – DS-UWB

Taxa	110 Mbps	220 Mbps	500 Mbps
Transmissão	93 mW	93 mW	145 mW
Recepção	155 mw	169 mW	236 mW
CCA	94 Mw	94 Mw	94 Mw
Modo Econ.	15 μ W	15 μ W	15 μ W

6. CONCLUSÃO

Conforme apresentado, em uma primeira análise, o DS-UWB apresenta melhores características para o serviço WPAN pretendido pelo GT TG3a. Como desafios futuros, uma análise mais profunda e cuidadosa deve ser realizada considerando canais multipercurso com perfis compatíveis com os prováveis ambientes de aplicação desta nova tecnologia, de forma a confirmar ou não a superioridade do DS-UWB sobre o MB-OFDM.

O UWB se configura como um fator de revolução das atuais tecnologias existentes para a formação de redes domésticas sem fio e em breve estará entrando no mercado nacional. Seu estudo, análise e domínio permitirão um uso mais preciso e apropriado dos serviços WPAN.

7. REFERÊNCIAS

[1] FRANCISCO CARLOS PEREIRA DIAS, “Análise Comparativa das Propostas MB-OFDM e DS-UWB”, Trabalho de Graduação realizado no IESB,, Dezembro 2004.

[2] ELLIS; SIWIAK; ROBERTS. *P802.15.3a Alt PHY Selection Criteria. EUA, Dezembro 2002.*

[3] AL., A. B. et. *Multi-band OFDM Physical Layer Proposal for IEEE 802.15 Task Group 3a. [S.l.], Setembro 2004.*

[4] FISHER,R. et al. *DS-UWB Physical Layer Submission to 802.15 Task Group 3a. [S.l.], Julho 2004.*

8. BIOGRAFIA



Vinícius Oliveira Diógenes Bessa, atualmente cursando o nono semestre de Engenharia Elétrica no Instituto de Educação Superior de Brasília - IESB, e trabalhando na Brasil Telecom.



Francisco Carlos Pereira Dias, Engenheiro de Telecomunicações pelo IESB, atualmente trabalhando como consultor técnico pela JFM Informática no Ministério da Agricultura.