

## 8

### Conclusões e Trabalhos Futuros

Este trabalho investigou o desempenho do sistema MC CDMA (*Multi Carrier Code Division Multiple Access*) e do sistema MC DS CDMA (*Multi Carrier Direct Sequence Code Division Multiple Access*). Esses sistemas são resultantes da associação da modulação em múltiplas portadoras ortogonais OFDM (*Orthogonal Frequency Division Multiplexing*) e da técnica de acesso por divisão de código CDMA (*Code Division Multiple Access*). Assim, é possível explorar a aplicabilidade de técnicas, individualmente, propostas para OFDM e para CDMA nos dois sistemas MC estudados.

Os focos principais do trabalho foram as análises de estimação de canal assistida e as de estimação cega. Na análise de estimação assistida por símbolos piloto foram aplicados dois enfoques distintos para obtenção das estimativas de canal melhoradas dos sistemas. No primeiro enfoque, multiplica-se a estimativa convencional MMSE (Mínimo Erro Médio Quadrático) da resposta em frequência do canal por uma matriz de projeção, a fim de projetá-la no subespaço  $S$  em que a verdadeira resposta de frequência do equivalente discreto do canal tem que estar contida. No segundo enfoque, aplica-se uma restrição no problema de minimização da função custo MMSE, forçando *a priori* a estimativa da resposta em frequência do canal a pertencer ao subespaço  $S$ .

Os resultados numéricos obtidos mostraram que o desempenho do sistema MC CDMA é bastante sensível ao aumento do número de usuários ativos do sistema. Contudo, empregando as estimativas de canal melhoradas essa sensibilidade foi reduzida. Considerando o enlace reverso do sistema MC CDMA foram estabelecidos limitantes inferiores e superiores para as expressões do erro médio quadrático normalizado das estimativa do canal convencional e melhoradas, e para os respectivos fatores de redução da componente da IMA no erro da estimativa do canal reverso. Um ponto importante a ser mencionado é que esses limitantes independem das características do canal.

Com respeito ao sistema MC DS CDMA foi verificado que independente do efeito adverso do canal é possível preservar a ortogonalidade dos códigos e, assim, o seu desempenho é insensível ao aumento da carga de usuários. Ademais, para baixa razão sinal ruído o sistema MC DS CDMA apresenta desempenho superior ao do

MC CDMA, principalmente, quando a carga de usuários ativos aumenta.

Numa etapa posterior, para o enlace direto dos sistemas, utilizaram-se símbolos e códigos pilotos iguais na obtenção da estimativa do canal, o que permitiu melhorar a qualidade do estimador por meio de uma redução na componente do ruído aditivo presente no erro (NMSE) dessa estimativa. Ainda para esse enlace, foi considerada a transmissão simultânea de símbolos pilotos ortogonais, o que também possibilitou a obtenção de bons resultados de desempenho MSE, porém inferiores aos obtidos com símbolos iguais.

A estimação cega de canal foi investigada para o enlace reverso do sistema MC DS CDMA ZP, na qual foram consideradas duas técnicas distintas de estimação anteriormente propostas para os sistemas CDMA e OFDM. A primeira técnica baseou-se na propriedade de ortogonalidade do subespaço do sinal e do ruído. A metodologia apresentada expressou o problema numa decomposição em autovalores e autovetores e utilizou-se o método de potência para obter o principal autovetor associado à estimativa do canal e diminuir a complexidade do procedimento. Ainda visando a diminuição da complexidade e melhorar a qualidade do estimador da resposta em frequência do canal foram utilizados o produto de Hadamard e uma suposição conservativa de que o intervalo de guarda é suficiente para acomodar todas as componentes de multipercurso do canal. Os resultados obtidos por simulação foram bastante favoráveis corroborando para a utilização do método proposto em ambientes de baixa, média e alta razão sinal ruído.

Na segunda técnica de estimação cega investigada foi apresentado um método baseado em casamento de correlação de dados, no qual a estimativa do canal é obtida pela minimização de uma função custo definida como o quadrado da norma de Frobenius da matriz de erro resultante da comparação da matriz de autocorrelação com a sua estimativa obtida por amostragem média. Os resultados numéricos obtidos foram satisfatórios em ambientes de moderada razão sinal ruído, permitindo observar um desempenho de erro médio quadrático e de taxa de erro de bit similar ao dos tradicionais métodos cegos de identificação de subespaço, porém com complexidade computacional mais amena.

Para trabalhos futuros sugere-se:

1. para ambos os sistemas analisar a aplicação de símbolos pilotos escondidos entre os dados de informação, estabelecendo os limitantes do erro médio quadrático normalizado e dos fatores de redução da interferência de múltiplo acesso e de redução do ruído;
2. investigar métodos alternativos de estimação cega para o sistema MC CDMA;
3. investigar as técnicas de estimação assistidas em sistemas MC CDMA e MC DS CDMA incorporando múltiplas antenas - MIMO (*Multiple Input Multiple*

*Output*);

4. aplicar as análises cegas para os ambos os sistemas incorporando a técnica MIMO;
5. analisar processos para minimizar a interferência através de otimização de assinaturas (processamento na transmissão) com decisão realimentada para ambos os sistemas;

## 8.1

### Artigos Publicados em Anais de Congressos Nacionais

1. **Estimação Cega de Canal para Sistemas MC DS CDMA ZP Baseada nos Métodos das Potências e de Subespaço.** Deolinda Fontes Cardoso, Fabian David Backx e Raimundo Sampaio Neto. *XXVI Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBrT 2008*. Rio de Janeiro, Setembro, 2008 [15].
2. **A Simulação Monte Carlo na Avaliação do Desempenho de Sistemas de Transmissão OFDM com Estimativas de Canal Baseadas em *Correlation Matching*.** Deolinda Fontes Cardoso, Fabian David Backx e Raimundo Sampaio Neto. *XI Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - SPOLM 2008*. Rio de Janeiro, Agosto, 2008 [16].
3. **Análise Estatística Baseada no Método de Subespaço e na Técnica de Potência Aplicada em Redes de Comunicações Móveis.** Deolinda Fontes Cardoso, Fabian David Backx e Raimundo Sampaio Neto. *XI Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - SPOLM 2008*. Rio de Janeiro, Agosto, 2008 [17].
4. **Análise de Estimadores de Canal Assistidos para Sistemas CDMA com Múltiplas Portadoras.** Deolinda Fontes Cardoso, T. Vinhoza e Raimundo Sampaio Neto. *XXV Simpósio Brasileiro de Telecomunicações - SBrT 2007*. Recife, Setembro, 2007 [9].
5. **Modelagem Matemática Aplicada ao Desempenho de Sistemas de Transmissão Digital.** Deolinda Fontes Cardoso, T.T.V.Vinhoza e Raimundo Sampaio Neto. *X Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - SPOLM 2007*. Rio de Janeiro, Novembro, 2007 [10].
6. **A Simulação como Ferramenta de Auxílio na Avaliação de um Sistema de Comunicação CDMA com Múltiplas Portadoras.** Deolinda Fontes Cardoso, T. Vinhoza e Raimundo Sampaio Neto. *X Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - SPOLM 2007*. Rio de Janeiro, Novembro, 2007 [11].

7. **Redes Neurais Recorrentes Aplicadas na Detecção Multiusuário em Sistemas de Comunicação sem Fio DS-CDMA.** Deolinda Fontes Cardoso, T. Vinhoza. *IX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - SPOLM 2006*. Rio de Janeiro, Agosto, 2006 [7].
8. **O Uso da Simulação para Avaliar o Desempenho de Sistemas de Comunicação sem Fio.** Deolinda Fontes Cardoso, C.A. Medina. *IX Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - SPOLM 2006*. Rio de Janeiro, Agosto, 2006 [8].
9. **Estratégias de Detecção Multiusuário para Minimizar a Interferência em Sistemas de Comunicação sem Fio DS-CDMA.** Deolinda Fontes Cardoso, T. Vinhoza. *VIII Simpósio de Pesquisa Operacional e Logística da Marinha - SPOLM 2005*. Rio de Janeiro, Agosto, 2005 [6].

## 8.2

### Artigos Publicados em Periódicos Nacionais

10. *Revista Pesquisa Naval*. **Estratégias de Detecção Multiusuário para Minimizar a Interferência em Sistemas de Comunicação DS-CDMA.** Deolinda Fontes Cardoso, T. Vinhoza. Número 19, vol.1, pp. 117-122, ISSN 1414-8595. Rio de Janeiro, 2007 [12].
11. *Revista Pesquisa Naval*. **Redes Neurais Recorrentes Aplicadas na Detecção Multiusuário em Sistemas de Comunicação sem Fio DS-CDMA.** Deolinda Fontes Cardoso, T. Vinhoza. Número 19, vol. 1, pp. 170-177, ISSN 1414-8595. Rio de Janeiro, 2007 [13].
12. *Revista Pesquisa Naval*. **A Simulação como Ferramenta de Auxílio na Avaliação de um Sistema de Comunicação CDMA com Múltiplas Portadoras.** Deolinda Fontes Cardoso, T. Vinhoza, Raimundo Sampaio Neto. Número 20, vol. 1, pp. 90-99, ISSN 1414-8595. Rio de Janeiro. 2008 [18].
13. *Revista Pesquisa Naval*. **Modelagem Matemática Aplicada na Comparação de Desempenho dos Sistemas MC CDMA e MC DS CDMA Empregados em Redes de Telecomunicações sem Fio.** Deolinda Fontes Cardoso, Fabian David Backx e Raimundo Sampaio Neto. Número 21, vol. 1, ISSN 1414-8595. Rio de Janeiro. 2008 [19].
14. *Aceito em 2008 - Revista Pesquisa Naval - Número 22*. **Sistemas de Telecomunicações MC DS CDMA Com Estimção Cega De Canal Baseada no**

**Método de Subespaço e na Técnica de Potência.** Deolinda Fontes Cardoso, Fabian David Backx e Raimundo Sampaio Neto [23].

15. **Aceito em 2008 - Revista Pesquisa Naval. Desempenho de um Sistema de Telecomunicações OFDM com Estimativas de Segunda Ordem Baseadas em Casamento de Correlação de Dados.** Deolinda Fontes Cardoso, Fabian David Backx e Raimundo Sampaio Neto [24].

### 8.3

#### Artigos Aceitos e Publicados em Simpósios Internacionais

16. **On Correlation Matching Approaches to Blind Multipath Parameter Estimation in MC-DS-CDMA ZP Systems.** *IEEE Radio and Wireless Symposium - 2009 IEEE MTT-S Radio and Wireless Week, RAWCON-2009.* Deolinda Fontes Cardoso, Fabian David Backx e Raimundo Sampaio Neto. San Diego, California, EUA, Janeiro, 2009 [20].
17. **Alternative Subspace Method for Improved Blind Channel Estimation in Uplink Zero Padded MC-DS/CDMA Systems.** *Australasian Telecommunication Networks and Applications Conference 2008, ATNAC 2008.* Deolinda Fontes Cardoso, Fabian David Backx e Raimundo Sampaio Neto. Adelaide, Australia, Dezembro, 2008 [14].
18. **Performance of Multicarrier CDMA Systems with Improved Pilot-Aided Channel Estimation.** *IEEE WONS 2009.* Deolinda Fontes Cardoso, Fabian David Backx e Raimundo Sampaio Neto. Snowbird, EUA, Fevereiro, 2009 [21].
19. **Improved Pilot-Aided Channel Estimation in Zero Padded MC-CDMA Systems.** *IEEE International Symposium in Wireless and Pervasive Computing - ISWPC 2009.* Deolinda Fontes Cardoso, Fabian David Backx e Raimundo Sampaio Neto. Melbourne, Australia, Fevereiro, 2009 [22].