

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DESENVOLVIMENTO DE MODELOS, TÉCNICAS E  
APLICAÇÕES PARA ARRANJO DE SENSORES**

**JOÃO PAULO CARVALHO LUSTOSA DA COSTA**

**ORIENTADOR: RICARDO ZELENOVSKY**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

**PUBLICAÇÃO: PPGENE.DM – 024A/06**

**BRASÍLIA/DF: JANEIRO – 2006**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

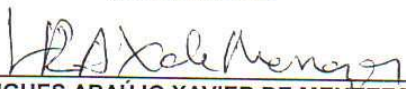
DESENVOLVIMENTO DE MODELOS, TÉCNICAS E APLICAÇÕES  
PARA ARRANJOS DE SENSORES

João Paulo Carvalho Lustosa da Costa

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE.

APROVADA POR:

  
\_\_\_\_\_  
RICARDO ZELENOSKY, Dr, ENE/UNB  
(ORIENTADOR)

  
\_\_\_\_\_  
LEONARDO RODRIGUES ARAÚJO XAVIER DE MENEZES, Ph.D., ENE/UNB  
(EXAMINADOR INTERNO)

  
\_\_\_\_\_  
GEOVANY ARAÚJO BORGES, Dr., ENE/UNB  
(EXAMINADOR INTERNO)

BRASÍLIA, 20 DE JANEIRO DE 2006.

## **FICHA CATALOGRÁFICA**

COSTA, JOÃO PAULO CARVALHO LUSTOSA DA

Desenvolvimento de Modelos, Técnicas e Aplicações para Arranjos de Sensores [Distrito Federal] 2006.

xiv,118 p., 210 x 297 mm (ENE/FT/UnB, Mestre, Engenharia Elétrica, 2006).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Elétrica.

1. Modelagem de Arranjos de Sensores

2. Estimação de Direção de Chegada

3. Estimação de Frequência

4. Prótese Auditiva Inteligente

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## **REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA**

COSTA, J. P. C. L. (2006). Desenvolvimento de Modelos, Técnicas e Aplicações para Arranjos de Sensores. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica, Publicação PPGENE.DM- 024A/06, Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 118 p.

## **CESSÃO DE DIREITOS**

AUTOR: João Paulo Carvalho Lustosa da Costa.

TÍTULO: Desenvolvimento de Modelos, Técnicas e Aplicações para Arranjos de Sensores.

GRAU: Mestre

ANO: 2006

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

---

João Paulo Carvalho Lustosa da Costa

Rua Oswaldo Cruz, nº 3020, Apto. 101, Bairro Dionísio Torres.

60125-151 Fortaleza – CE – Brasil.

**Dedico esta dissertação a todos os portadores de deficiência auditiva do mundo. Espero que minha contribuição ajude tornar possível a melhora na qualidade de vida destas pessoas no futuro.**

## AGRADECIMENTOS

- a Deus, por sempre estar ao meu lado e pelas diversas inspirações que me concedeu durante esta dissertação;
- ao orientador desta dissertação, Professor Ricardo Zelenovsky, minha referência na engenharia e docência, pela amizade, confiança e incentivo, além da honra de ser o seu primeiro aluno a concluir o curso de mestrado. Agradeço também pelas oportunidades que me deu como Professor do Laboratório de Arquitetura de Processadores Digitais da Universidade de Brasília e Pesquisador da Agência Brasileira de Inteligência.
- a minha esposa, pela compreensão e apoio, principalmente, durante as noites e finais de semanas sacrificados;
- a minha família, pela minha formação intelectual e moral que tornou possível diversas realizações em minha vida;
- aos professores da UnB, pela excelência das aulas e pelas contribuições intelectuais;
- aos professores e companheiros de graduação do IME, pela excelente formação da graduação;
- ao Gen Pedroza Rêgo, TC Suzukawa, Ten Puttini e ST Augusto, pelo companheirismo durante todo o curso de mestrado.

## **RESUMO**

### **DESENVOLVIMENTO DE MODELOS, TÉCNICAS E APLICAÇÕES PARA ARRANJOS DE SENSORES**

Um arranjo de sensores em qualquer forma geométrica e empregando técnicas de processamento de sinais permite a obtenção de algumas vantagens como: ganho de sinal, rejeição a interferência, diversidade espacial e eficiência de potência.

O presente trabalho foi desenvolvido tendo como objetivo geral o desenvolvimento de modelos, técnicas e aplicações que permitissem uma maior exploração do potencial dos arranjos de sensores. Como objetivos específicos, este trabalho procurou desenvolver: modelos para arranjos retangulares e lineares e para frentes de ondas planas e circulares, técnicas para estimação de direção de chegada baseadas no algoritmo EM, estimação seqüencial de direção de chegada e frequência e aplicações dos modelos e técnicas no estudo da Prótese Auditiva Inteligente e também na estimação de dados com multipercursos.

O modelo desenvolvido considerando o arranjo retangular uniforme permite que seja estimada a direção de chegada em um ambiente tridimensional e o modelo considerando frentes de ondas circulares permite que sejam encontrados os limites erros entre os modelos de frentes planas e circulares.

São apresentadas técnicas baseadas em estimação espacial, estimação de subespaços e estimação empregando o algoritmo EM. Durante a apresentação do algoritmo EM para estimação de direção de chegada utilizando modelagem estocástica dos sinais é feito um estudo e desenvolvimento de uma nova versão deste algoritmo EM permitindo uma melhora significativa deste método. Para ratificar o desempenho de cada técnica são apresentadas simulações.

Para a estimação seqüencial de direção de chegada e frequência foi desenvolvido um algoritmo específico. Este algoritmo é adaptado para tornar possível a combinação de quaisquer técnicas de estimação de frequência e estimação de direção de chegada. Na estimação de frequência foram apresentadas técnicas baseadas em PLL, matriz de correlação e FFT.

Na parte de aplicação são apresentadas duas: a Prótese Auditiva Inteligente para o auxílio dos portadores de deficiência auditiva e a estimação de dados baseada em técnicas de controle ótimo.

## **ABSTRACT**

### **DEVELOPMENT OF MODELS, TECHNIQUES AND APPLICATIONS FOR SENSOR ARRAY**

A sensor array in any geometric form and employing signal processing techniques allows obtaining a few very advantages like: signal gain, interference rejection, spatial diversity and power efficiency.

The present work was developed having the general objective the study and development of models, techniques and applications to allow a greater exploration of sensor array potential. As specific objective, this work searched to develop: models for rectangular and linear arrays and for circular and planar wave fronts, techniques for direction-of-arrival estimation based on EM algorithm, joint estimation for direction-of-arrival and frequency and applications of models and techniques in the study and development of Intelligent Hearing Aid and also in the data estimation with multipath.

The developed model considering rectangular uniform array allows that direction-of-arrival estimation in a three-dimensional environment and the model considering circular wave fronts allows finding the error limits between the models for planar wave fronts and circular wave fronts.

Techniques based on spatial estimation, subspaces estimation and estimation employing EM algorithm are presented. During the presentation of EM algorithm for direction-of-arrival estimation using signal stochastic modeling is produced a study and development o a new version of this EM algorithm allowing to improve significantly this method. To confirm the performance of each technique, simulations are presented.

For joint estimation of direction-of-arrival and frequency, a specific algorithm was developed. This algorithm is adapted to make possible combination of any techniques of frequency estimation and direction-of-arrival estimation. For frequency estimation, techniques based on PLL, correlation matrix and FFT are presented.

In application part, there are two: the Intelligent Hearing Aid for helping hard hearing people and the data estimation based on optimal control techniques.

## SUMÁRIO

<b>1 - INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
<b>2 - CONCEITUAÇÃO BÁSICA E MOLAGENS.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1 - EQUACIONAMENTO DO ARRANJO LINEAR UNIFORME PARA FRENTES DE ONDAS PLANAS.....</b>	<b>5</b>
<b>2.2 - EQUACIONAMENTO DO ARRANJO RETANGULAR UNIFORME PARA FRENTES DE ONDAS PLANAS.....</b>	<b>10</b>
<b>2.3 - EQUACIONAMENTO DO ARRANJO PLANAR GENÉRICO PARA FRENTES DE ONDAS PLANAS.....</b>	<b>13</b>
<b>2.4 - EQUACIONAMENTO DO ARRANJO LINEAR UNIFORME PARA FRENTES DE ONDAS CIRCULARES.....</b>	<b>14</b>
<b>2.5 - VERIFICAÇÃO DOS LIMITES ENTRE FRENTES PLANAS E CIRCULARES VIA SIMULAÇÕES.....</b>	<b>21</b>
<b>3 - TÉCNICAS DE ESTIMAÇÃO DE DIREÇÃO DE CHEGADA.....</b>	<b>29</b>
<b>3.1 – ATRASO E SOMA.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2 – MÉTODO DE CAPON.....</b>	<b>30</b>
<b>3.3 – MUSIC .....</b>	<b>31</b>
<b>3.4 – CÁLCULO DA ESTIMAÇÃO DA POTÊNCIA ESPACIAL A PARTIR DOS SUBESPAÇOS .....</b>	<b>33</b>
<b>3.5 – EM COM MODELAGEM DETERMINÍSTICA DOS SINAIS .....</b>	<b>35</b>
<b>3.6 – EM COM MODELAGEM ESTOCÁSTICA DOS SINAIS .....</b>	<b>39</b>
<b>3.6.1 – Cálculo da covariância de cada usuário e das matrizes de informação.....</b>	<b>41</b>
<b>3.6.2 – Passo E baseado em [9].....</b>	<b>42</b>
<b>3.6.3 – Passo E-1 (EMS-1).....</b>	<b>43</b>
<b>3.6.4 – Passo E-2 (EMS-2).....</b>	<b>43</b>
<b>3.6.5 – Passo E-3 (EMS-3).....</b>	<b>44</b>
<b>3.6.6 – Passo E-4 (EMS-4).....</b>	<b>45</b>
<b>3.6.7 – Maximização da matriz de correlação estimada <math>C_{zi}</math> ( passo M ) .....</b>	<b>45</b>



3.7 – MÉTODO DA DERIVADA.....	48
3.8 – ATRASO E SOMA (DS) TRIDIMENSIONAL (3-D) .....	50
3.9 – SIMULAÇÕES.....	52
3.9.1 – Método da Derivada.....	52
3.9.2 – DS 3-D .....	54
3.9.3 – Comparação ente algoritmos EM.....	56
3.9.4 – Desempenho dos métodos de estimação de doa para quatro parâmetros.....	61
4 - MÉTODO DE ESTIMAÇÃO SEQÜENCIAL DE DIREÇÃO DE CHEGADA E FREQÜÊNCIA.....	67
4.1 – ESTIMAÇÃO DE FREQÜÊNCIA BASEADA EM UM PLL .....	67
4.2 – ESTIMAÇÃO BASEADA EM MATRIZ DE CORRELAÇÃO .....	68
4.3 – ESTIMAÇÃO BASEADA EM FFT.....	69
4.4 – ALGORITMO PARA ESTIMAÇÃO SEQÜENCIAL.....	71
4.5 – SIMULAÇÕES.....	72
5 - APLICAÇÃO EM PRÓTESES AUDITIVAS INTELIGENTES.....	76
5.1 – INTRODUÇÃO .....	76
5.1.1 - Definição e classificação de perda auditiva.....	76
5.1.2 - Análise demográfica dos portadores de perda auditiva.....	77
5.1.3 - Conseqüências para o indivíduo com perda.....	78
5.1.4 - Tratamento utilizado na atualidade.....	78
5.2 – SIMULAÇÃO DE UMA PRÓTESE AUDITIVA INTELIGENTE.....	79
5.2.1 - Caso de modo automático para SNR de –6 dB.....	80
5.2.2 - Caso de modo automático para SNR de 0 dB.....	83
5.2.3 - Caso de modo manual para SNR de –20 dB .....	84
5.2.4 - Caso de modo manual para SNR de –20 dB com erro de 10°.....	85
5.2.5 - Caso de modo manual para SNR de –40 dB.....	86
5.3 – MODELO DE PROJETO PARA PRÓTESE AUDITIVA INTELIGENTE.....	87
5.4 – VIABILIDADE FÍSICA DA PRÓTESE AUDITIVA INTELIGENTE.....	88
5.5 – GUIA DE PROJETO DE PRÓTESE AUDITIVA INTELIGENTE.....	90

<b>6 - CONCLUSÕES.....</b>	<b>92</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>97</b>
<b>APÊNDICES</b>	
<b>A – ESTIMAÇÃO DO SINAL SEM ESTIMAR DOA.....</b>	<b>100</b>
<b>B – EFEITO FAIXA DE DIREÇÃO.....</b>	<b>101</b>
<b>C – PROPOSTA DE EMPREGO DE TÉCNICA DE CONTROLE ÓTIMO NA ESTIMAÇÃO DE DADOS COM MULTIPERCUSOS.....</b>	<b>102</b>
<b>D – ROTINA PARA GERAÇÃO DE SINAIS DE FRENTES PLANAS CORRELACIONADOS.....</b>	<b>107</b>
<b>E – ROTINA PARA GERAÇÃO DE SINAIS DE FRENTES CIRCULARES CORRELACIONADOS.....</b>	<b>109</b>
<b>F – ROTINA PARA GERAÇÃO DE SINAIS DE FRENTES PLANAS CORRELACIONADOS TRIDIMENSIONAIS.....</b>	<b>111</b>
<b>G - ROTINA PARA GERAÇÃO DE SINAIS DE FRENTES PLANAS DESCORRELACIONADOS.....</b>	<b>114</b>
<b>H – ROTINA DO ALGORITMO EM COM MODELAGEM DETERMINÍSTICA PARA TEMPO REAL.....</b>	<b>116</b>
<b>I – ROTINA DO ALGORITMO EM COM MODELAGEM ESTOCÁSTICA.....</b>	<b>120</b>
<b>J – ROTINA DO DS 3-D.....</b>	<b>124</b>
<b>K – ROTINA DO ALGORITMO PARA ESTIMAÇÃO SEQUENCIAL.....</b>	<b>126</b>
<b>L – ROTINA DO ALGORITMO DE FUNCIONAMENTO DO PLL.....</b>	<b>129</b>

## Gracias por visitar este Libro Electrónico

Puedes leer la versión completa de este libro electrónico en diferentes formatos:

- HTML(Gratis / Disponible a todos los usuarios)
- PDF / TXT(Disponible a miembros V.I.P. Los miembros con una membresía básica pueden acceder hasta 5 libros electrónicos en formato PDF/TXT durante el mes.)
- Epub y Mobipocket (Exclusivos para miembros V.I.P.)

Para descargar este libro completo, tan solo seleccione el formato deseado, abajo:

