

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA POLITÉCNICA

ERICK DARÍO LEÓN BUENO DE CAMARGO

**Desenvolvimento de algoritmo de imagens absolutas de Tomografia por
Impedância Elétrica para uso clínico**

São Paulo

2013

ERICK DARÍO LEÓN BUENO DE CAMARGO

**Desenvolvimento de algoritmo de imagens absolutas de Tomografia por
Impedância Elétrica para uso clínico**

Tese apresentada à Escola Politécnica da
Universidade de São Paulo para obtenção do
título de Doutor em Engenharia

Área de Concentração: Controle e Automação

Orientador: Prof. Dr. Raúl Gonzalez Lima

São Paulo

2013

Este exemplar foi revisado e alterado em relação à versão original, sob responsabilidade única do autor e com a anuência de seu orientador.

São Paulo, 19 de Julho de 2013.

Assinatura do autor _____

Assinatura do orientador _____

FICHA CATALOGRÁFICA

Camargo, Erick Darío León Bueno de
Desenvolvimento de algoritmo de imagens absolutas de
Tomografia por Impedância Elétrica para uso clínico / E.D.L.B.
Camargo -- versão corr. -- São Paulo, 2013.
105 p.

Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de
São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Tomografia 2. Problemas Inversos 3. Imageamento
(Bioengenharia) I. Universidade de São Paulo. Escola
Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

Dedico este trabalho aos meus pais, Víctor e Cilene, à minha esposa Fernanda e aos meus filhos Daniel e Laura. Sem o amor, apoio e compreensão de vocês este trabalho não existiria.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar gostaria de agradecer ao Prof. Raúl Gonzalez Lima, cuja orientação e dedicação aos seus alunos sempre transcendeu o mundo acadêmico. Agradeço também a todos os amigos do Laboratório de Engenharia Ambiental e Biomédica da EPUSP, Fernando de Moura, Isadora Hoffman, Julio Aya, Miguel Montoya, Natalia Herrera, Olavo Silva, Talles Rattis e Thais Samed, e ao pessoal da Faculdade de Medicina Veterinária da USP, Alessandro Martins, Ana Carolina Fonseca, Prof. Angelo Stopiglia, Caio Biasi, Prof. Denise Fantoni e Prof. Francisco Blasquez. O resultado final deste trabalho dependeu do esforço de todos vocês. Obrigado!

Gostaria de agradecer também a todos os amigos que fiz na Timpel S.A. e na Faculdade de Medicina da USP e ao Prof. Marcelo Britto Passos Amato não só pelos inúmeros ensinamentos, conversas e pelos dados coletados em suíno mas também pela oportunidade de participar todos esses anos do Lim09.

Agradeço ao Prof. Jari Kaipio (University of Auckland) pela ideia de desenvolver um atlas anatômico para uso como informação *a priori* na TIE, e à Prof. Jennifer Mueller (Colorado State University) pelas valiosas discussões durante sua visita ao Brasil.

Finalmente, agradeço à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro a este trabalho.

"No campo da observação, a sorte só favorece os espíritos preparados."

Louis Pasteur

RESUMO

A Tomografia de Impedância Elétrica é uma técnica de obtenção de imagens não invasiva que pode ser usada em aplicações clínicas para estimar a impeditividade dos tecidos a partir de medidas elétricas na superfície do corpo. Matematicamente este é um problema inverso, não linear e mal posto. Geralmente é usado um filtro espacial Gaussiano passa alta como método de regularização para resolver o problema inverso. O objetivo principal deste trabalho é propor o uso de informação estatística fisiológica e anatômica da distribuição de resistividades dos tecidos do tórax, também chamada de atlas anatômico, em conjunto com o filtro Gaussiano como métodos de regularização. A metodologia proposta usa o método dos elementos finitos e o algoritmo de Gauss-Newton para reconstruir imagens de resistividade tridimensionais. A Teoria do Erro de Aproximação é utilizada para reduzir os erros relacionados à discretização e dimensões da malha de elementos finitos. Dados de tomografia de impedância elétrica e imagens de tomografia computadorizada coletados *in vivo* em um suíno com diferentes alterações fisiológicas pulmonares foram utilizados para validar o algoritmo proposto. As imagens obtidas foram consistentes com os fenômenos de atelectasia, derrame pleural, pneumotórax e variações associadas a diferentes níveis de pressão durante a ventilação mecânica. Os resultados mostram que a reconstrução de imagens de suínos com informação clínica significativa é possível quando tanto o filtro Gaussiano quanto o atlas anatômico são usados como métodos de regularização.

ABSTRACT

Electrical Impedance Tomography is a non invasive imaging technique that can be used in clinical applications to infer living tissue impeditivity from boundary electrical measurements. Mathematically this is a non-linear ill-posed inverse problem. Usually a spatial high-pass Gaussian filter is used as a regularization method for solving the inverse problem. The main objective of this work is to propose the use of physiological and anatomical priors of tissue resistivity distribution within the thorax, also known as anatomical atlas, in conjunction with the Gaussian filter as regularization methods. The proposed methodology employs the finite element method and the Gauss-Newton algorithm in order to reconstruct three-dimensional resistivity images. The Approximation Error Theory is used to reduce discretization effects and mesh size errors. Electrical impedance tomography data and computed tomography images of physiological pulmonary changes collected *in vivo* in a swine were used to validate the proposed method. The images obtained are compatible with atelectasis, pneumothorax, pleural effusion and different ventilation pressures during mechanical ventilation. The results show that image reconstruction from swines with clinically significant information is feasible when both the Gaussian filter and the anatomical atlas are used as regularization methods.

SUMÁRIO

| | |
|---|-------------|
| Lista de Figuras | x |
| Lista de Tabelas | xvii |
| 1 Introdução | 1 |
| 1.1 Objetivos | 4 |
| 2 Formulação do Problema na TIE | 5 |
| 2.1 Modelo do domínio..... | 5 |
| 2.2 Discretização do domínio..... | 6 |
| 2.2.1 Gerador de malhas de elementos finitos..... | 6 |
| 2.2.2 Impedância de contato e modelos de eletrodo..... | 11 |
| 2.2.3 Estimação da impedância de contato..... | 15 |
| 2.2.4 Efeito da discretização das malhas..... | 18 |
| 3 Solução do problema inverso | 24 |
| 3.1 Algoritmo utilizado..... | 24 |
| 3.2 Problemas mal-postos..... | 25 |
| 3.3 Ajuste da regularização de Tikhonov generalizada..... | 27 |
| 3.4 Equipamentos utilizados..... | 28 |
| 3.4.1 Protótipo Dixtal..... | 28 |
| 3.4.2 Frankie..... | 29 |
| 3.4.3 Fantoma experimental..... | 29 |
| 3.5 Imagens bidimensionais e tridimensionais..... | 30 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.5.1 | Simulações com esferas | 30 |
| 3.5.2 | Simulações com estruturas fisiológicas | 32 |
| 3.6 | Teoria do erro de aproximação | 34 |
| 3.6.1 | Dados coletados em fantoma experimental | 36 |
| 4 | Atlas anatômico | 40 |
| 4.1 | Obtenção de imagens de resistividade a partir de imagens de CT | 41 |
| 4.2 | Medidas de impedância dos tecidos | 43 |
| 4.3 | Imagem média e covariância do tórax suíno | 47 |
| 4.4 | Simulações com imagem média e pneumotórax | 52 |
| 4.5 | Simulações com matriz de covariância e esferas | 54 |
| 4.6 | Reconstrução a partir de dados reais | 56 |
| 4.6.1 | Alterações fisiológicas pulmonares | 56 |
| 4.6.2 | PEEP de 5 cmH ₂ O | 59 |
| 4.6.3 | PEEP de 12 cmH ₂ O | 63 |
| 4.6.4 | PEEP de 25 cmH ₂ O | 65 |
| 4.6.5 | Atelectasia total em um dos pulmões | 66 |
| 4.6.6 | Pneumotórax moderado | 67 |
| 4.6.7 | Pneumotórax grave | 69 |
| 4.6.8 | Derrame pleural moderado | 70 |
| 4.6.9 | Derrame pleural grave | 72 |
| 4.6.10 | Resumo dos resultados | 73 |
| 5 | Discussão e conclusão | 82 |
| | Apêndice A – Modelo Completo de Eletrodo | 85 |
| | Apêndice B – Discretização do domínio | 88 |

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:

