

电 子 科 技 大 学

UNIVERSITY OF ELECTRONIC SCIENCE AND TECHNOLOGY OF CHINA

博士学位论文

DOCTORAL DISSERTATION



论文题目 下一代定量脑电技术中的参考与谱分析问题

学科专业 生物医学工程

学 号 201611090124

作者姓名 胡世昂

指导老师 Pedro A. Valdes-Sosa 教授

分类号 _____ 密级 _____

UDC 注 1 _____

学 位 论 文

下一代定量脑电技术中的参考与谱分析问题

(题名和副题名)

胡世昂

(作者姓名)

指导老师 _____ Pedro A. Valdes-Sosa 教授

电子科技大学 成都

(姓名、职称、单位名称)

申请学位级别 博士 学科专业 生物医学工程

提交论文日期 _____ 论文答辩日期 _____

学位授予单位和日期 电子科技大学 年 月

答辩委员会主席 _____

评阅人 _____

注 1: 注明《国际十进分类法 UDC》的类号。

Reference and Spectra analysis problems in the next generation of quantitative EEG

**A Doctoral Dissertation Submitted to
University of Electronic Science and Technology of China**

Discipline: Biomedical Engineering

Author: Shiang Hu

Supervisor: Dr. Pedro A. Valdes-Sosa

School: School of Life Science and Technology

摘 要

为了适应日益增长的宽带信号和非线性系统的工程应用，用于分析瞬态电磁散射问题的时域积分方程方法研究日趋活跃。本文以时域积分方程时间步进算法及其快速算法为研究课题，重点研究了时间步进算法的数值实现技术、后时稳定性问题以及两层平面波算法加速计算等，主要研究内容分为四部分。

.....

关键词： 定量脑电，无穷远参考，谱分析，脑连接，协方差统计

ABSTRACT

With the widespread engineering applications ranging from broadband signals and non-linear systems, time-domain integral equations (TDIE) methods for analyzing transient electromagnetic scattering problems are becoming widely used nowadays. TDIE-based marching-on-in-time (MOT) scheme and its fast algorithm are researched in this dissertation, including the numerical techniques of MOT scheme, late-time stability of MOT scheme, and two-level PWTD-enhanced MOT scheme. The contents are divided into four parts shown as follows.

Keywords: time-domain electromagnetic scattering, time-domain integral equation (TDIE), marching-on in-time (MOT) scheme, late-time instability, plane wave time-domain (PWTD) algorithm

目 录

第一章 绪 论	1
1.1 基于电磁学的神经成像	1
1.1.1 脑电图	1
1.1.2 脑磁图	1
1.1.3 核磁共振成像	1
1.1.4 模态之间的联系	1
1.2 定量脑电图	1
1.2.1 研究现状	1
1.2.2 存在的问题	1
1.3 本文的主要贡献与创新	1
1.4 本论文的结构安排	1
第二章 定量脑电中电势影响因素：参考模态与电极配置	2
2.1 引言	2
2.2 结果	2
2.3 本章小结	2
第三章 基于贝叶斯的无穷远参考下脑电电势的统一估计量：正则化的参考 电极标准化技术	3
3.1 引言	3
3.2 结果	3
3.3 本章小结	3
第四章 单极参考的统计学：推导及其属性	5
4.1 引言	5
4.2 结果	5
4.3 本章小结	5
第五章 定量脑电谱分析：基于 EM 算法的神经震荡提取	6
5.1 引言	6
5.2 结果	6
5.3 本章小结	6
第六章 多国家脑电模研究	7
6.1 引言	7

6.2 结果.....	7
6.3 本章小结.....	7
第七章 大尺度脑电研究的谱异质同构质量指标.....	8
7.1 引言.....	8
7.2 结果.....	8
7.3 本章小结.....	8
第八章 阿尔兹海模病的脑电研究与基因协同关系	9
8.1 引言.....	9
8.2 结果.....	9
8.3 本章小结	9
第九章 全文总结与展望.....	10
9.1 全文总结.....	10
9.2 后续工作展望	10
致 谢	11
参考文献.....	12
攻读博士学位期间取得的成果	13

第一章 绪 论

1.1 基于电磁学的神经成像

1.1.1 脑电图

1.1.2 脑磁图

1.1.3 核磁共振成像

1.1.4 模态之间的联系

1.2 定量脑电图

1.2.1 研究现状

1.2.2 存在的问题

1.3 本文的主要贡献与创新

本论文以定量脑电技术中的无穷远参考、贝叶斯估计、回归、协方差的结构以及黎曼统计和阿尔兹海默病为重点研究内容，主要创新点与贡献如下：

1.4 本论文的结构安排

本文的章节结构安排如下：第二章以参考电极和电极配置为重点讲述定量脑中电势的影响因素。第三章主要描述了脑电无穷远参考的统一的贝叶斯统计学架构。第四章描述了单点参考的统计学推导和属性以及综合讨论在实际应用中注意事项。

第二章 定量脑电中电势影响因素：参考模态与电极配置

2.1 引言

2.2 结果

2.3 本章小结

本章首先从时域麦克斯韦方程组出发推导得到了时域电场、磁场以及混合场积分方程。

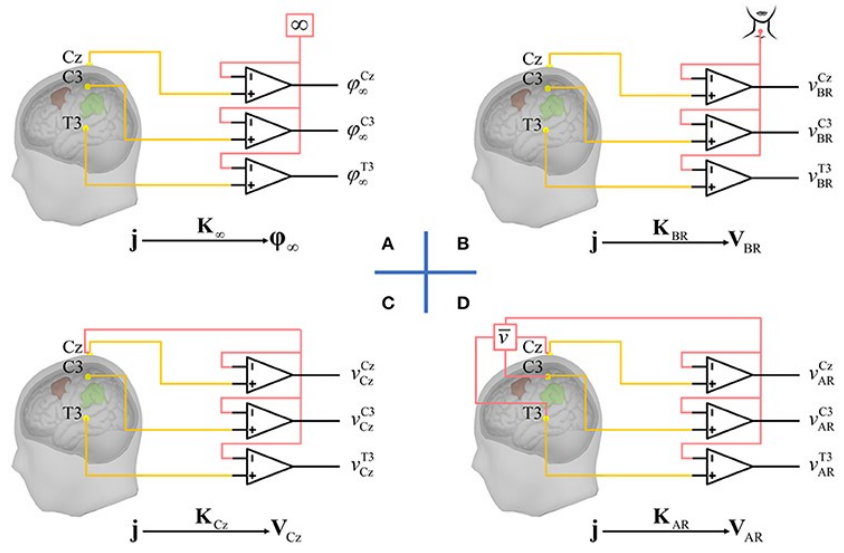
第三章 基于贝叶斯的无穷远参考下脑电电势的统一估计量：正则化的参考电极标准化技术

3.1 引言

90 年来，人类脑电图对于研究认知和临床神经科学来说已经成为不可或缺的工具。超高的时间分辨率、成本较低和无创性使其成为研究大脑的有力转化工具之一。然而，两个主要缺陷：容积传导效应造成的空间混叠模糊和总是基于一种参考点 [1] 的电势测量的固有不确定性，减少了其探究定位脑活动的的能力。空间模糊正在被先进的溯源成像技术所解决，不是本章节的重点。我们重点研究令人烦恼但不完全解决的“脑电参考电极问题上”。为了精确定义这一问题，我们注意到这是由于脑电记录的固有本质是两个位点上的电势差。如图一所示

3.2 结果

3.3 本章小结



第四章 单极参考的统计学：推导及其属性

4.1 引言

4.2 结果

4.3 本章小结

第五章 定量脑电谱分析：基于 EM 算法的神经震荡提取

5.1 引言

5.2 结果

5.3 本章小结

第六章 多国家脑电模研究

6.1 引言

6.2 结果

6.3 本章小结

第七章 大尺度脑电研究的谱异质同构质量指标

7.1 引言

7.2 结果

7.3 本章小结

第八章 阿尔兹海默病的脑电研究与基因协同关系

8.1 引言

8.2 结果

8.3 本章小结

第九章 全文总结与展望

9.1 全文总结

本文以时域积分方程方法为研究背景，主要对求解时域积分方程的时间步进算法以及两层平面波快速算法进行了研究。

9.2 后续工作展望

时域积分方程方法的研究近几年发展迅速，在本文研究工作的基础上，仍有以下方向值得进一步研究：

致 谢

在攻读博士学位期间，首先衷心感谢我的导师 **Pedro A. Valdes-Sosa** 教授，他在国际神经电磁学领域负有盛名，学识渊博，治学严谨，精益求精，对科研的孜孜不倦的热情感染了我，其不拘一格别有建树的思维影响了我；也衷心感谢中国古巴神经科技实验室副主任 **Maria** 教授，她温和细腻，也时而严厉，实验室任鹏副教授、董烨芸行政助理在学习和生活上的照顾。同时也感谢实验室博士后 **Esin**、王庆、博士生李敏、**Deriel**，硕士生韩振峰、袁齐、郭艳博、王颖等同学的同窗陪伴和帮助，还有很多同学不能一一列出。最后特别感谢我的父母和妻子，他们永远是我坚强的后盾。

参考文献

- [1] M. Teplan, et al. Fundamentals of eeg measurement[J]. Measurement science review, 2002, 2(2): 1-11

攻读博士学位期间取得的成果

- [1] S. Hu, Y. Lai, P. A. Valdes-Sosa, et al. How do reference montage and electrodes setup affect the measured scalp eeg potentials?[J]. Journal of neural engineering, 2018, 15(2): 026013
- [2] P. Ren, S. Hu, Z. Han, et al. Movement symmetry assessment by bilateral motion data fusion[J]. IEEE Transactions on Biomedical Engineering, 2018, 66(1): 225-236
- [3] S. Hu, D. Yao, M. L. Bringas-Vega, et al. The statistics of eeg unipolar references: derivations and properties[J]. Brain topography, 2019, 32(4): 696-703
- [4] D. Yao*, Y. Qin*, S. Hu*, et al. Which reference should we use for eeg and erp practice?[J]. Brain topography, 2019, 1-20
- [5] S. Hu, Q. Wang, P. A. Valdés-Sosa. Nonparametric maximum likelihood estimation of the electrophysiological spectra components[C]. The 25th Organization for Human Brain Mapping Annual Meeting, Italy, Rome, 2018,
- [6] S. Hu. Eeg zero reference: principle and applications[C]. Technology and Teaching Forum, Key Lab of Modern Teaching Technology, MOE, China, 2016,
- [7] S. Hu, P. A. Valdes-Sosa. Xi rhythms: decoding neural oscillations to create full brain high resolution spectra parametric mapping[J]. bioRxiv, 2019,
- [8] S. Hu, A. Ngulugulu, J. Bosch-Bayard, et al. Multinational qeeg developmental surfaces[J]. bioRxiv, 2019,