

学校编码: 10384

分类号 _____ 密级 _____

学 号: 23320121152993

UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

基于运动想象的脑机接口特征提取与模式
分类方法研究

**Research of Brain-Computer Interface Based on Motor
Imagery Feature Extraction and Pattern Classification**

蔡燕福

指导教师姓名: 郑灵翔 高级工程师

专 业 名 称: 信号与信息处理

论文提交日期: 2015 年 月

论文答辩时间: 2015 年 月

学位授予日期: 2015 年 月

答辩委员会主席: _____

评 阅 人: _____

2015 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下，独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果，均在文中以适当方式明确标明，并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外，该学位论文为()课题(组)的研究成果，获得()课题(组)经费或实验室的资助，在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称，未有此项声明内容的，可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1.经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2.不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

近些年来,随着神经科学、信号处理、计算机科学等领域的不断地深入发展,作为这些学科的交叉学科——脑机接口,目前已成为了当前国际上科学研究的热门领域。脑机接口是一种不同于人脑神经与肢体肌肉组织的正常通道,而是通过解析人脑神经活动信息来与外界设备交流的通讯控制系统。由于脑电信号具有幅值微弱、非平稳、噪声干扰强等特点,导致该类信号特征提取与模式分类的复杂性以及构建在线脑机接口系统的困难。经过充分调研与研究,本文采用了对二分类与四分类脑机接口更加有效的特征提取方法,并构建一套基于运动想象的在线足球射门脑机接口系统。

本文试图从分析当前特征提取算法与模式分类算法对脑电信号适应性入手,通过优化脑电信号预处理,构建一组特征提取算法与模式分类算法。在二分类脑机接口系统中,首先,针对共同空间模式(Common Spatial Pattern, CSP)计算过程缺乏频域信息,且信号中混淆了大量的无关频率信号。为此本文结合了张量分解,它能够保留多维数据以及各维数据之间的关联信息。与此同时,针对提取后的特征分别使用了线性判别分析(Linear Discriminant Analysis, LDA)、支持向量机(Support Vector Machine, SVM)进行分析比较。其次,在四分类运动想象脑机接口系统中,本文采取子带能量和时域参数的方法,分别采用 LDA 和 SVM 两种分类器,并且在训练集中选择取最优的参数组合,并应用到四分类的脑机接口系统中。

实验表明,在二分类脑机接口系统中,本文使用的方法平均准确率能比一般方法有所提高;在四分类脑机接口系统中,结果显示在不同的受试者数据中都取得良好的分类效果,进而采用 Emotive EPOC 脑电信号采集系统设计了一套基于运动想象的在线足球射门脑机接口系统。该方案及其拓展改进在家庭娱乐、医疗康复等方面有着良好的前景和价值。

关键字: 脑机接口; 运动想象; 共同空间模式

厦门大学博硕士学位论文摘要库

Abstract

In recent years, with the further development of neural science, signal processing, computer science and other fields, as the subject of interdisciplinary, brain computer interface is in its rapid development, and now has become a hot area of the current international scientific research. Brain-computer interface is a kind system of different from normal channel between one brain and body muscle tissue, but by parsing brain activity information to communicate with external equipment control system of communication. However brain electrical signals with the features of weak amplitude, non-stationary and noise, often leads to the complexity of the signal feature extraction and pattern classification and the difficulty of building asynchronous brain-computer interface system. This paper has designed classification and feature extraction method for the brain-computer interface two and four classification problems, and then built a set of asynchronous brain control intelligent car system.

This article attempts from the analysis of the current feature extraction and pattern classification algorithms adaptability of EEG signals, combined with optimization of brain electrical signal preprocessing, build a set of feature extraction and pattern classification algorithm. First, the traditional common spatial pattern (CSP) calculation process lacks of frequency domain information, and also has nothing to do a lot of frequency signal mixed in among them, which has the serious influence on the effectiveness of the feature vector. This article combines the tensor decomposition method, which can keep the correlation between the multidimensional data and each dimension data information, time domain airspace frequency domain such as multimodal information. At the same time, according to the features of the extracted after respectively using the linear discriminant model (LDA), support vector machine (SVM) and integrated classifier carries on the analysis comparison. Secondly, in the four categories (left hand, right hand, leg and tongue) the movement of thought

experiments, this paper adopted the sub-band power and the method of time domain coefficient, using the data from the 4th BCI competition . Linear Discriminant Analysis(LDA) and Support Vector Machine (SVM) were used respectively to two kinds of classifier, and the training focused on testing different characteristic parameters, selection of the optimal parameter application for the test set.

Through the binary classification algorithm validation in brain-machine interface, shows that the average accuracy for all participants to higher than traditional methods. In four classification algorithms to verify, results showed that in different subjects in the data achieved good classification effect. Based on Emotive and design a set of online brain control the smart car system based on motion imagine. And based on Emotive EPOC , a set of online soccer shot brain computer interface system is designed.The program and its extention could have good prospects and value in the household entertainment,medical rehabilitation and so on.

Key Words: Brain Computer Interface; Motor Imagery; Common Spatial Pattern

目 录

摘要.....	I
Abstract	III
目 录.....	V
Content	VII
第 1 章 绪论.....	1
1.1 研究背景与意义	1
1.2 脑机接口概述.....	3
1.2.1 脑机接口系统组成.....	3
1.2.2 脑电信号生理基础.....	4
1.3 国内外研究现状	8
1.4 论文的主要工作及章节安排	11
第 2 章 基于运动想象的脑机接口系统设计.....	13
2.1 概述.....	13
2.2 运动想象实验范式	13
2.2.1 离线左右手运动想象实验范式.....	13
2.2.2 在线左右手运动想象实验范式.....	14
2.3 脑电信号预处理	16
2.4 特征提取理论分析	17
2.5 脑机接口的评价标准	24
2.6 交叉验证法.....	24
2.7 本章小节.....	25
第 3 章 基于运动想象脑机接口特征提取与分类算法研究	27
3.1 概述.....	27
3.2 基于运动想像的特征提取方法研究	27

3.2.1 张量分解与共同空间模式.....	27
3.2.2 子带能量.....	30
3.2.3 时域参数.....	31
3.3 分类方法研究.....	32
3.4 基于运动想象的二分类脑机接口实验仿真	35
3.4.1 张量分解与共同空间模式特征提取.....	35
3.4.1 仿真结果分析.....	37
3.5 基于运动想象的四分类脑机接口实验仿真	39
3.5.1 子带能量特征提取与参数选择.....	40
3.5.2 时域参数特征提取与参数选择.....	43
3.5.3 仿真结果分析.....	45
3.6 本章小节.....	47
第 4 章 在线脑机接口系统应用设计.....	49
4.1 概述.....	49
4.2 实验平台介绍.....	49
4.3 基于运动想象在线足球射门脑机接口系统设计	50
4.3.1 在线足球射门脑机接口系统设计框架.....	50
4.3.2 脑电信号处理电脑平台.....	52
4.3.3 在线足球射门脑机接口系统验证.....	56
4.4 本章小节.....	65
第 5 章 总结与展望	67
5.1 工作总结.....	67
5.2 未来工作展望.....	68
参考文献.....	69
致谢.....	75
攻读硕士学位期间发表的论文	77

Content

Abstract In Chinese	I
Abstract In English.....	III
Content In Chinese	V
Content In English.....	VII
Chapter 1 Preface	1
1.1 Research Background And Significant	1
1.2 Overview Of BCI System	3
1.2.1 Composition Of BCI System.....	3
1.2.2 Physiology Of EEG.....	4
1.3 Research Status At Home And Abroad	8
1.4 Objectives And Content Arrangement Of This Paper.....	11
Chapter 2 Design Of BCI System Based On Motor Imagery....	13
2.1 Overview	13
2.2 Experimental Paradigm Of BCI System.....	13
2.2.1 Offline Experimental Paradigm Of BCI System.....	13
2.2.2 Online Experimental Paradigm Of BCI System	14
2.3 EEG Preprocessing	16
2.4 Feature Extraction	17
2.5 Assessment Criteria Of BCI.....	24
2.6 Cross-validation Method	24
2.7 Summary	25
Chapter 3 Study On Feature Extraction And Classification	27
3.1 Overview	27
3.2 Study Of Feature Extraction	27
3.2.1 Tensor And CSP Feature Extraction	27

3.2.2Sub-band Power Feature Extraction	30
3.2.3Time Domain Coefficient Feature Extraction	31
3.3Stady Of Classification Method	32
3.4 Stady Of Two Classification BCI System.....	35
3.4.1Tensor And CSP Feature Extraction	35
3.4.2Experiments And Results Analysis	37
3.5Stady Of Four Classification BCI System.....	39
3.4.1Sub-band Power Feature Extraction	40
3.4.2Time Domain Coefficient Feature Extraction	43
3.4.3Experiments And Results Analysis	45
3.6Summary	47
Chapter 4 Design Of Online BCI System.....	49
4.1Overview	49
4.2Description Of Experiments Platform	49
4.3Online Football BCI System Based On Motor Imagery	50
4.3.1BCI Overall Design Framework	50
4.3.2EEG Processing Plaform.....	52
4.3.3Online Fooball Shoot BCI System.....	56
4.4Summary	65
Chapter 5 Summary And Outlook.....	67
5.1Summary	67
5.2Outlook.....	68
References.....	69
Acknowledgements	75
Papers And Projects During The Master	77

第 1 章 绪论

1.1 研究背景与意义

在 2014 年的腾讯 WE 大会，来自全球各地的 12 位顶级科学家、互联网思想家和技术专家带来的畅想未来主题演讲中，脑机接口(Brain Computer Interface, BCI)与人工智能、基因科技等成为了未来最值得期待的前沿创新项目^[1]。正是有如此广阔的市场前景与社会价值，并且随着计算机技术与生物医学的不断发展，结合了计算机技术与生物医学工程等多学科融合的脑机接口，越来越受到科学家的重视与研究。经过众多科研工作者的努力，以脑机接口为代表的脑科学研究已经成为热门领域之一。

脑机接口为代表的脑科学研究同时也加深了人类对自身的了解，为探索人类大脑的奥秘打开了一个新的窗口。而人脑作为人类的神经中枢，控制身体的方方面面，并且通过人体肌肉组织来完成复杂的行为与动作。然而对于许多失去正常肌肉组织功能的残疾人来说，这种正常的方式是阻断的。据统计，全球人口中残疾人的比例达 6.5%，也就是至少有 6.5 亿的残疾人，其中相当部分的人，其大脑功能是正常的，但某些部位肌肉组织无法运动的^[2]。同时随着全球老龄化，越来越多的国家进入老龄化阶段，据相关统计，中国大概有老年人的人口已经占到总人口的 20%，同时在这些老年中许多人丧失了部分自理能力，甚至是完全丧失了自理能力，给家庭与社会带来了痛苦与沉重的负担^[2]。对于这些残疾人和失去生活治理能力的老年人，即使是现代医疗如此发达，也无法恢复他们的基本生活能力。所以创建一种无需经过肌肉组织来与外界进行有效沟通的非正常方式是非常必须且迫切的。

脑机接口技术，指的是一种不同于通过人脑神经系统与肢体肌肉组织的正常控制方式，而是通过解析人脑神经活动信息来与外界交流的通讯控制系统。通过采集大脑皮层生物电信号，分析大脑的意识信息，并且建立大脑与计算机等电子设备的通道，人们就可以摒弃传统的语言与肢体动作，通过自己的意念直接控制

设备。脑机接口技术因此将成为人与电子设备交流的一种正常方式，并构筑人与电子设备之间的新桥梁，使得脑电信号可以直接控制外部电子设备。正是如此，60 年代之后，随着科学技术的快速发展，对脑电信号的研究方法与手段越来越丰富，人们的研究也越来越深入，并取得了很多具有现实意义的成果，尤其是在疾病诊断与医疗康复方面^[3]。并且最近十几年来，脑机接口，作为一种通过分析脑电信号来获取大脑不同思维活动并将这些思维活动转化为控制信号的技术，变得极具科研价值与应用价值。

脑机接口作为与人工智能，基因科技并列的新兴科学技术，其巨大的理论和实际应用价值已经得到了广泛的认可。目前比较活跃的应用领域主要在以下几方面：

(1) 医疗康复领域的应用

在医疗康复领域，最直接而且迫切的应用是为大脑功能正常但是有运动功能障碍的人提供一种类似于正常人能够对外界环境变化进行交流和操作的通道，如控制轮椅，照明开关，甚至是恢复部分运动功能等。而对于全身瘫痪、说话甚至呼吸有困难的人来说，至少可以提高他们的独立性并且增强生活的信心。并且如果经常使用脑机接口设备，还能有效的修复大脑的思维能力，也可以得到更好地进行康复性治疗。随着脑电处理技术的不断发展，已经对临床治疗法阵的推动具有重大的意义^[4-6]。

(2) 国防军事领域的应用

在科幻电影《阿凡达》中，受伤的退役军人使用脑电控制系统，重新作为战士投入作战，反映出了未来科学技术与军事应用结合的可怕图景。其实从 2004 年开始，美国国防部新技术应用管理部门就已经投入巨资，在全美多个神经工程领域著名的实验室中开展了“意念远程操控机器人”的大量研究^[7]。美国军方对《阿凡达》影片中的技术表现出了非常大的关注。据相关报道，他们打算在未来实现电影中类似的机械战士，甚至可以实现士兵的意念代替真实兵力上战场^[8]。

(3) 生活娱乐领域的应用

脑机接口技术还可以提供一种新的娱乐方式，通过思维来代替手等传统方式进行娱乐游戏。并且，如果将脑机接口技术与其他领域结合，往往产生令人惊叹

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.