

脑电信号分析方法 与脑机接口技术

贾花萍 赵俊龙 著



科学出版社

脑电信号分析方法 与脑机接口技术

贾花萍 赵俊龙 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

随着计算机、生物医学工程、医学等技术的迅速发展,脑电信号分析与脑机接口技术已经成为最热门的研究内容之一。全书主要内容分为两篇,第一篇为脑电信号的分析方法,在介绍传统脑电信号分析方法的同时,介绍了新的研究方法,如近似熵、复杂度、混沌理论等。第二篇介绍脑机接口技术,脑机接口技术可以为有运动障碍的残疾人提供一种全新的与外界交流的渠道,也能为健全人提高人机交互能力提供新的可能。脑机接口是近年来神经工程领域的一个研究热点。本书重点介绍基于头皮脑电信号的脑机接口系统,包括其工作原理、系统构成、当前发展水平与应用领域等。

全书内容丰富,讲解清晰、易懂,详略得当,可供大中专院校计算机、医学相关专业学生,脑电信号处理方面的研究人员,以及医务工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

脑电信号分析方法与脑机接口技术/贾花萍,赵俊龙著. —北京:科学出版社, 2016. 3

ISBN 978-7-03-047669-2

I. ①脑… II. ①贾… ②赵… III. ①脑-电生理学-信号分析
②脑神经-接口-人工神经-研究 IV. ①R338.8②TP183

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 049589 号

责任编辑:祝 洁 宋无汗 霍明亮/责任校对:李 影
责任印制:徐晓晨/封面设计:红叶图文

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

北京科印技术咨询服务公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本:720×1000 B5

2016 年 5 月第二次印刷 印张:11 7/8

字数:239 000

定价:88.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

自 1924 年 Berger 第一个发现并记录脑电波后,脑电信号作为一种复杂的、随机的、微弱的、背景噪声较强的、节律种类多样的神经生理电信号,受到了越来越广泛的研究。在对脑电信号研究的基础上,人类从未停止过对脑机接口的研究,脑机接口是在大脑与外部设备之间建立的一种直接交流通道。脑机接口是近年来神经工程领域的一个研究热点。脑机接口利用现代信息科学的研究方法,在大脑层次探索神经信息的加工、处理和传输过程,实现大脑与外部设备的直接交互,该技术可在运动或感觉通路受到损伤的残障人士的大脑和外部设备之间重新建立起一座“信息通信的桥梁”,将从大脑中检测到的神经信号转化为设备的控制指令,操控外部设备,同时也可将从外部环境中获得的信息转化为神经冲动,向大脑传递感觉信息。脑机接口研究将成为脑与认知科学,计算机与人工智能研究的最前沿技术,孕育着重大的理论突破,推动相关技术和产业的发展,对人类社会产生深刻的影响。

全书主要内容分为两大部分,第一篇介绍脑电信号的知识,第 1 章、第 2 章介绍了脑电信号的产生机理、研究状况、分类、获取以及噪声的消除;第 3 章介绍了脑电的正问题、逆问题及其研究方法;第 4 章介绍了脑电信号的特征提取方法;第 5 章、第 6 章在介绍传统脑电信号分析方法的同时,介绍了一些新的方法,如神经网络、支持向量机、独立分量分析、遗传算法、近似熵、复杂度、混沌理论等方法。第 7~9 章介绍了神经网络方法、神经网络集成方法在脑电信号分类中的应用,采用 BCI 实验数据进行实验,得到很好的分类效果。第二篇介绍脑机接口技术,脑机接口是在大脑与外部设备之间建立的一种直接交流通道。脑机接口技术可以为有运动障碍的残疾人提供一种全新的与外界交流的渠道,也能为健全人提高人机交互能力提供新的可能。脑机接口是近年来神经工程领域的一个研究热点,本书重点介绍基于头皮脑电信号的脑机接口系统,包括其工作原理、系统构成、当前发展水平与应用领域等。

本书在编写的过程中,由赵俊龙编写第 2 章及第 10 章第 10.9 节内容,其余章节由贾花萍编写。限于编者水平,书中难免有不足之处,敬请广大读者批评指正,衷心希望本书成为广大读者的良师益友!

本书的编写得到了渭南师范学院李尧龙教授和张郭军教授,以及渭南市中心医院张进社院长的大力支持,特别得到索红军副教授热情的指导和帮助,在此表示感谢。本书得到了 2014 年陕西省教育厅专项科研计划项目“属性约简神经网络

络的脑-计算机中脑电信号的分析与处理研究”(14JK1256)的资助,在此表示感谢。

贾花萍 赵俊龙

2015年6月

目 录

前言

第一篇 脑电信号分析方法

第 1 章 绪论	3
1.1 脑电信号的研究历史	5
1.2 脑电信号研究中存在的主要问题	7
1.3 EEG 研究与教育教学发展相互促进	7
1.3.1 教育教学发展促进 EEG 研究	7
1.3.2 EEG 研究促进了教育教学的发展	8
参考文献	9
第 2 章 EEG 信号	11
2.1 脑电图	11
2.2 EEG 信号的产生	11
2.3 EEG 信号的分类	12
2.3.1 BCI 使用的脑电信号类型	12
2.3.2 脑电在国际上的分类	15
2.4 EEG 信号的特点	18
2.5 EEG 信号的获取	20
2.5.1 脑电图仪与导联方式	20
2.5.2 EEG 信号获取	25
2.5.3 影响脑电图的因素	26
2.6 脑电图干扰和噪声原因分析	28
2.6.1 什么是伪迹	28
2.6.2 引起伪迹的因素	28
2.7 去除伪迹的方法	30
2.7.1 脑电图造成伪迹的去除	30
2.7.2 伪迹去除方法分类	31
2.7.3 消噪预处理方法难以有突破性发展的原因	34
2.8 EEG 信号的应用领域	35
参考文献	36
第 3 章 脑模型与脑电的正问题、逆问题	37
3.1 脑电正问题	37

3.2 脑电逆问题	37
3.2.1 脑电逆问题	37
3.2.2 脑电逆问题解决的核心思想	38
3.2.3 脑电逆问题难点及解决办法	41
参考文献	42
第4章 EEG 信号的特征提取	43
4.1 特征提取概述	43
4.2 EEG 信号的特征提取方法分类	44
4.3 基于神经网络的特征选择与提取方法	45
4.3.1 特征提取和特征选择	46
4.3.2 特征选择的原则	47
4.3.3 基于神经网络的特征选择与提取方法	48
参考文献	50
第5章 EEG 信号的经典分析方法	52
5.1 EEG 信号的时域分析	52
5.2 EEG 信号的频域分析	52
5.2.1 经典功率谱估计	53
5.2.2 现代功率谱估计方法	59
5.3 双谱分析	64
5.3.1 双谱分析概述	64
5.3.2 双谱分析方法	65
参考文献	65
第6章 EEG 信号的现代分析方法	67
6.1 时/频域分析方法	67
6.2 混沌理论	70
6.2.1 混沌理论概述	70
6.2.2 混沌特性	70
6.2.3 混沌理论的主要研究方法	71
6.2.4 混沌理论在脑电信号中的应用	72
6.2.5 混沌理论在脑电信号研究中存在的问题	72
6.3 匹配跟踪方法	72
6.3.1 匹配跟踪方法概述	72
6.3.2 匹配跟踪方法应用领域	74
6.4 非线性动力学分析	75
6.4.1 Lyapunov 指数	76

6.4.2 脑电信号的复杂度	76
6.4.3 相关维数	78
6.5 人工神经网络	79
6.5.1 反向传播网络	81
6.5.2 小波神经网络	81
6.6 神经网络集成方法	81
6.6.1 神经网络集成概述	81
6.6.2 神经网络集成方法	82
6.6.3 神经网络集成存在问题	86
6.7 支持向量机方法	86
6.7.1 SVM 概述	86
6.7.2 SVM 的工作原理	87
6.7.3 SVM 的优点及缺点	88
6.7.4 SVM 在 EEG 中的应用	89
6.8 ICA 方法	89
6.8.1 ICA 方法概述	89
6.8.2 ICA 方法在 EEG 中的应用	90
6.9 遗传算法	91
6.9.1 遗传算法概述	91
6.9.2 遗传算法的思想	92
6.9.3 遗传算法的特点	92
6.9.4 遗传算法的不足	93
6.9.5 遗传算法在 EEG 中的应用	93
6.10 功能磁共振成像与脑电的融合	94
6.10.1 功能性磁共振成像	94
6.10.2 EEG 与 fMRI 融合	95
6.10.3 EEG 与 fMRI 融合数据采集方式	96
6.10.4 同时采集 EEG 和 fMRI 数据时噪声的消除	97
6.11 其他方法	98
参考文献	98
第 7 章 基于神经网络的 EEG 信号分类方法	102
7.1 概述	102
7.2 数据来源	102
7.3 EEG 信号的预处理	103
7.4 特征提取	104

7.4.1 特征提取	104
7.4.2 样本预处理	107
7.5 BP 分类算法	107
7.5.1 BP 算法	108
7.5.2 BP 网络结构	109
7.6 MATLAB 中的 BP 神经网络设计	114
7.7 PNN 神经网络的 EEG 信号分类方法	118
7.7.1 PNN 概述	118
7.7.2 实验方法及结果	119
7.7.3 实验结果分析	120
参考文献	121
第 8 章 神经网络的光标上下移动 EEG 信号分类方法	122
8.1 数据来源	122
8.2 数据处理	123
8.2.1 预处理及频域特征提取	123
8.2.2 BP 网络设计	124
8.3 网络训练与测试	124
8.4 总结	126
参考文献	127
第 9 章 基于神经网络集成的睡眠脑电分期研究	128
9.1 概述	128
9.2 睡眠脑电信号特征提取方法研究现状	128
9.3 睡眠脑电信号模式分类方法研究现状	129
9.4 睡眠分期存在的问题	130
9.5 系统模型结构	131
9.6 方法	131
9.6.1 数据来源	131
9.6.2 特征提取	132
9.6.3 分类算法	133
9.7 结果分析	138
参考文献	138
第二篇 脑机接口技术	
第 10 章 脑机接口技术	143
10.1 脑机接口技术概述	143
10.2 脑机接口技术原理	144

10.2.1 脑-计算机接口系统的组成	145
10.2.2 信号采集	145
10.2.3 信号分析	145
10.2.4 控制部分	146
10.3 BCI 系统的研究方法	147
10.3.1 P300 事件相关电位法	147
10.3.2 稳态视觉诱发电位 SSVEP	147
10.3.3 事件相关同步或去同步法	147
10.3.4 皮层慢电位法	148
10.3.5 自发脑电信号法	148
10.3.6 植入电极法	148
10.4 脑机接口的研究进展	148
10.4.1 脑机接口研究进展	148
10.4.2 脑机接口研究大事	149
10.5 脑机接口的研究团队及主要研究成果	151
10.5.1 国内研究机构	151
10.5.2 国外研究机构	152
10.6 脑机接口的分类	154
10.7 脑机接口面临的挑战	157
10.7.1 存在问题	157
10.7.2 未来发展方向	159
10.7.3 我国“脑科学计划”	160
10.8 BCI 系统标准	161
10.8.1 BCI 系统的设计标准	161
10.8.2 BCI 系统评价标准	161
10.9 应用领域	162
10.9.1 医学领域	162
10.9.2 非医学领域	168
10.10 脑-计算机接口技术研究隐患	173
10.10.1 研究隐患	173
10.10.2 伦理问题	174
10.11 发展前景	175
参考文献	175
附录	179
主要缩略语	179

第一篇 脑电信号分析方法

第 1 章 绪 论

随着科学技术的不断进步，人们对大脑功能认识的深入研究以及高性能 PC 的问世，近 20 年以来一个新的研究领域——“脑-计算机接口”（brain computer interface, BCI; brain machine interface, BMI）正在蓬勃发展。研究发现，当人们打算进行某种行为的时候，大脑中会产生相应的生理电信号，而当人们进行不同的思维活动时，左右半脑检测到的生理电信号是不一样的。正是这些相应的生理电信号反映了人们的意图，并通过神经系统控制肌肉来实现人们的意图。为此，研究人员试图开发一套系统，它可以直接读取人脑中的生理电信号，并分析其含义，将其转换为控制信号直接对外部设备进行操控。

有些残疾人，他们几乎丧失了所有的肌肉运动能力，能否有一种方法来帮助他们实现与电脑的交流？自从 1929 年 Berger 描述了脑电图（electroencephalogram, EEG）信号以来，人们就推测，EEG 信号有可能用于人与计算机的交流和控制。瑞士科研人员最近开发出一项帮助残疾人工作的 EEG 信号识别技术，残疾人只需一顶带有电极的特殊帽子，便能直接用大脑对电脑“发布”指令，完成诸如写信等一些简单的工作。这项技术是利用贴在人头皮上的电极来运行的，电极能记录人脑的电磁活动，并将这些带电信号传给电脑的一个“中枢分类器”以辨认人脑的各种活动，接着电脑再把这些活动转化成相应的工作去完成，如开灯、利用电脑屏幕上的虚拟键盘写信等。最近，美国的一家医疗科研机构已获批准在患者脑皮层上植入微型芯片，患者通过脑电信号的改变就可以控制生活中的一些常用的设备。最近报道德国的一个科研机构，发明了一种被称为“脑快车”的装置，用户在戴上一个头部装置后，经过简单的训练就可以通过思维来玩电脑游戏了。美国媒体 2008 年 8 月 17 日报道，按照加利福尼亚大学欧文分校一个研究小组的设计，一些脑部有损伤、难以口头表达的患者戴上一种特制的帽子，帽子上的电极接触人的头皮并监测 EEG 信号活动，所获得的监测信息会传输到计算机里，供科学家解读。患者最初被要求从科学家列出的一些单词中暗自选择一个，心中默想，科学家则借助 EEG 信号同步分析康复者的大脑活动，“读出”他们所想到的单词。如此解读成功后，科学家打算让康复者扩展思考范围，针对更复杂的内容随便想些什么，然后由科学家进一步解读，但要达到解读复杂思考内容的程度可能需要数年时间。当然，目前的研究还处于最初阶段，他们希望这项工作有助于研制出“心思认知”软件，让脑部受伤、难以口头表达的患者不用说话就能与他人交流思想。

2006 年 12 月 17 日, 国际人脑-计算机学术会议在英属哥伦比亚的惠斯勒市举行。美国华盛顿大学教授拉杰什·瑞奥展示了他们最新研制成功的脑电波控制机器人。拉杰什·瑞奥表示, 这一最新技术取得的成功表明, 有朝一日, 科学家们将可以利用脑电波机器人来帮助重症残疾患者解决一些生活难题。研究人员还为使用轮椅者专门设计了使轮椅前、后、左、右移动的程序。这样一来, 人们就能将人脑意识信息直接与计算机沟通, 实现脑-计算机的信息交换。脑-计算机接口 (BCI) 技术为大脑和外界提供了一种全新的不依赖于周围神经和肌肉的信息交换与控制通道^[1]。这样, 对丧失肌肉运动能力的残疾人, 就可以帮助他们与外界事物发生联系。及时有效地提取和识别相关的脑电模式可以帮助严重瘫痪患者通过控制光标或辅助运动设备以替代其受损的运动功能, 或者帮助他们实现自己想做的动作, 建立一种与外界交流沟通的新途径。由于 EEG 信号记录简单、无创, 可以有效提取意识特征信息, 因此目前 BCI 技术多是基于 EEG^[1]。

EEG 信号是脑神经细胞群电生理活动的总体反映, 脑的不同状态和病因会使脑的不同区域或频段上的 EEG 信号发生变化, 从而使 EEG 信号表现出不同模式。脑电图检查现已在神经精神科的临床诊断中起着重要的作用, 已经发现许多脑病和精神疾病与 EEG 信号异常相关。EEG 信号也常用来做睡眠分析、麻醉深度的监护等。临床脑电图的分析大多是脑电图专家通过目测标注的方法来理解和评价的, 容易引起误差和疲劳, 且使得临床上多导 EEG 信号的“数据压缩”和“特征提取”一直停留在主观处理水平上。20 世纪 60 年代后, 计算机辅助 EEG 信号分析和 EEG 信号自动分析系统的开发研究, 从工程角度提出许多对 EEG 信号进行分析的方法, 并取得了一些进展和成绩。

1924 年德国精神病学家 Berger 记录了人类的首例脑电图, 20 世纪 30 年代后期, 脑电图技术开始应用于临床医学脑电研究中, 利用其能够提供准确可靠的生理功能和病理信息, 来判识脑部疾病的发生、发展及转归, 因此其医学价值是巨大的。任何神经系统脑部疾病如脑血管病、偏头痛、癫痫等所引起的脑功能和结构方面的改变, 均可导致 EEG 信号异常, 因此 EEG 信号的分析处理和特征提取对脑部疾病的辨识、病态预报和防治具有重要的意义。脑电图检查是临床无创获取 EEG 信号最为便捷而成熟的方式, 例如癫痫患者的脑电图常明显或不明显地记录到棘波、尖波、棘-慢复合波等癫痫样异常放电, 并且可以通过取样电极的位置进行癫痫病灶的定位^[2]。然而大脑的结构和功能十分复杂, 对 EEG 信号与各种脑神经细胞活动的明确对应关系目前所知不多。因此, 为了给基础研究和临床诊断提供更多的信息和依据, 近几十年来国内外已广泛开展了 EEG 信号分析和信息提取的研究, 并提出了多种 EEG 信号分析处理方法。

目前, 通过先进的测量技术, 人类已经可以有效且无需侵入体内便能轻易获取到如血压、心电、肌电或脑电活动等医学信号, 针对这些信号进一步加以分析

处理,使我们得以观察到心理变化时人体的生理反应。随着人类在脑神经科学方面知识的突破,EEG 信号摄取技术的渐趋成熟,计算机技术、信号处理技术以及 EEG 信号检测设备的快速发展和应用,EEG 信号已成为诊断大脑疾病、检测大脑功能和分析大脑认知活动的一个重要工具,有关 EEG 信号的研究也在不断发展和深化。EEG 信号综合地反映了神经系统的生理化活动,是分析神经活动 and 大脑状况的有力工具^[3]。在临床医学方面,EEG 信号处理不仅为某些脑疾病提供诊断依据,而且还为某些脑疾病提供了有效的治疗手段。在工程应用方面,人们也尝试利用 EEG 信号实现脑-机接口(BCI),利用人对不同的感觉、运动或认知活动的 EEG 信号的不同,通过对 EEG 信号的有效地提取和分类达到某种控制目的^[4]。

EEG 信号应用于脑机接口系统的一个关键是为那些思维正常但有严重运动障碍的患者(如肌萎缩侧索硬化)提供语言交流和环境控制途径,提高其生存质量,另外它在自动控制、军事等领域也有潜在的应用价值。EEG 信号的研究正成为脑科学、康复工程、生物医学工程及人机自动控制研究领域的一个新的前沿热点,就整体而言,由于受神经科学发展的限制,EEG 信号的特性仍然存在许多悬而未决的问题,甚至还不清楚系统是线性的还是非线性的,以及信号处理算法的完善与改进等方面的原因,因此,现在要找到一种普遍适应的 EEG 信号识别模型还不可能。相信随着各学科的不断发展与融合,将促进其向更高科学层次和更深技术内容的境界发展,并将以其实用性应用于更多领域,最终造福于人类。

1.1 脑电信号的研究历史

脑的研究是人类在自然科学中面临的最大的世纪性挑战。以生物控制论方法研究脑功能是大脑研究的重要方面,而 EEG 信号处理研究正是这方面的典型领域。在基础医学方面,由于 EEG 信号综合地反映了神经系统的理化活动,因而它的研究有助于对生理和病理活动中神经机理的深入探讨。在临床医学方面,EEG 信号的信息处理不但为某些脑疾病的诊断提供了客观依据,而且为某些脑疾病提供了有效的治疗手段。在心理学、精神病学、认知科学的研究中,EEG 信号处理具有重要的学术价值和广阔的应用前景。

脑电活动与脑区域、脑状态有着密切的关系,是了解人脑信息处理过程的一种极为重要的形式,EEG 信号的研究是了解脑活动机制、人的认知过程和诊断脑疾患的重要手段,也是实现人与外界通信的新手段。

自 1875 年开始,Caton 发现脑电波,了解了脑电活动的几个主要特征。当时所有的工作都是在低等动物上做的。

从 1929 年开始, Berger 记录并分析了人的脑电图。研究重点转移到临床应用方面, 例如神经病、精神病及心理学方面的应用。

第二次世界大战之后, 随着微电子技术和计算机技术的发展, 神经生理学家开始应用可供利用的各种先进技术和方法, 例如脑电分析仪、电子计算机、微电极的细胞内记录、在人脑内安全埋藏电极等。这些技术推动了脑研究的新发展, 使脑电活动能够与人类的行为联系起来进行考察。

20 世纪 80 年代, 非线性理论在 EEG 信号研究中得到了应用。

20 世纪 90 年代至今, 随着计算机科学的发展, 从 EEG 信号中提取与心理任务相关的模式成为可能, 脑机交互研究成为热点。

1929 年, 自从 Berger 首次记录了人的脑电信号以来, EEG 的处理手段和方法取得了长足的进步。EEG 信号提取分析方法从 1932 年 Dietch 首先提出的傅里叶变换, 后来相继引入频域分析、时域分析等经典方法, 到如今小波分析、神经网络分析、混沌分析、独立分量分析方法的有机组合, 各有优势与不足, 在机器自动进行 EEG 信号特征波检测方面还有很大的研究空间^[5-9]。这些研究以信号处理方法为依据, 利用计算机为工具, 设计出各种程序进行分析、处理和运算, 以期得出有价值的结果。

西安交通大学的裴晓梅等^[10]提出了利用事件相关脑电复杂度提取大脑运动意识特征, 应用 Mahalanobis 距离判别式分析法, 对人脑想象左右手运动任务进行分类, 获得了满意的结果。江朝晖等^[11]提出以近似熵为指标, 分别计算 EEG 信号的复杂度, 作为分类器的特征输入。唐艳等^[12]将独立成分分量和共空域子空间分解方法以及支持向量机学习方法结合起来, 用于提取 EEG 信号特征。Anderson 等^[13]利用多变量自回归 (MVAR) 模型理论求解 Yule-Walker 方程, 将所获得的多变量自回归模型系数作为 EEG 的特征向量, 利用有五个隐藏单元的神经网络对四个目标的两种不同意识任务进行分类, 对所有目标的平均识别率达到了 90.4%。Schlögl 等将带有时变参数的 AR 模型用到了非平稳随机信号上。考虑到脑电信号是一种非平稳信号, 故应用这种模型, 采用自适应的算法 (AAR), 提取模型的系数作 EEG 信号的特征向量, 并用支持向量机作分类器, 对同一目标进行左右手运动想象的意识活动进行了识别, 取得了很好的效果。朱建国等^[14]提出 EEG 信号虽然是颅内电生理改变最直接、有效的工具, 但是 EEG 的探测能力与放电神经元的大小、形状、位置有关, 同时还取决于电极与颅内产生电势之间的角度, 因此, EEG 不能做到精确的空间定位。而功能磁共振成像 (fMRI) 作为一种无创检查方法, 能够描绘出任务或刺激引起的局部脑区的血流变化, 广泛应用于人脑功能的研究。所以, 朱建国提出脑电图和功能磁共振同步联合对自发脑电活动进行研究。在朱建国等^[15]的另一篇文章中提出 EEG-fMRI 同步联合对局灶性癫痫进行定位。国外学者 Stern^[16]提出 EEG 和 fMRI 联合应用

于癫痫的研究。在国际上,同时获得 EEG 和 fMRI 信号,并进行信息融合,可得到更全面的脑功能信息,提高分辨率。此方面的研究已在德国、加拿大、日本等国家和国内少数单位展开。

1.2 脑电信号研究中存在的主要问题

由于 EEG 信号是一种时变的、背景噪声很强的非平稳随机信号,因此 EEG 信号的分析 and 处理一直是非常吸引人但又是具有相当难度的研究课题。EEG 信号的特点是信号极其微弱,一般在微伏级,且具有很强非平稳性和随机性,难以确定地表示和恰当地描述。EEG 信号的前一特点现今技术已能克服,可以通过标准的数字化脑电图仪获取,但后者仍是信号处理和机器识别学者热衷研究的领域。如何有效提取脑电信息以及根据这些信息实现对大脑各种状态下 EEG 信号的正确分类,是近年来研究比较多的课题。如何有效提取 EEG 信号所包含的信息成为脑电分类问题的关键步骤,自发 EEG 信号具有丰富的频率成分,不同的生理状态和病因下某些频段的能量在头皮不同区域的分布会发生变化,因此可以将不同区域上不同频段的能量作为分类器的特征向量。

目前将 EEG 信号应用于脑机接口实际还面临着一些问题,归纳起来主要有以下几点。

(1) 改善信号采集和处理方法。在早期信号的采集过程中,夹杂着许多伪迹(如 EMG 污染等),改善信号处理方法对于提高分类准确率有着重要的意义。

(2) 在 EEG 信号的提取和噪声的过滤、特征提取、数据分类方面开创新的、更为有效的方法。

(3) EEG 和 fMRI 同步联合也存在缺陷,EEG 和 fMRI 设备之间的相互干扰,被检查者的头动、心跳伪影等都能造成信号的改变,从而导致检查的敏感性、特异性变化。但是,作为一项新技术,相信随着硬件水平的提高和后期处理技术的成熟,将会得到广泛的应用。

1.3 EEG 研究与教育教学发展相互促进

随着计算机技术与网络技术的迅速发展和完善,现代信息技术已被广泛地应用于教学过程,成为当前教育领域的热点。

1.3.1 教育教学发展促进 EEG 研究

网络课程、专题学习网站和精品课程建设促进了 EEG 研究的宣传和发展,BBS、ICQ、Blog 等网络沟通方式和专业网站中的 EEG 讨论模块,可以培养学