****

****

**人工智能期末论文**

**题 目 基于脑机接口技术发展的综述----**

**班 级 英才班 --**

**学 号 P21714001 ---**

**姓 名 刘峰 --------**

**日 期 2019.12.07 -**

**脑机接口技术综述**

刘峰

**摘要：**脑机接口是在人脑与计算机或其它电子设备之间建立的直接的交流和控制通道 ,通过这种通道 ,人就可 以直接通过脑来表达想法或操纵设备 ,而不需要语言或动作 ,这可以有效增强身体严重残疾的患者与外界交流或控 制外部环境的能力 ,以提高患者的生活质量.脑机接口技术是一种涉及神经科学、 信号检测、 信号处理、 模式识别等多 学科的交叉技术.本文对脑机接口技术的发展、 研究现状、 工作原理以及涉及的关键技术进行了较为详细地综述 ,在 总结脑机接口技术存在问题的基础上 ,探讨了该领域进一步研究的方向

**关键词：**脑机接口;脑电图;事件相关电位;特征提取;通信

脑机接口 (BrainComputer Interface ,BCI)技术形成于 20 世 纪 70 年代 (1973 年 ,Vidal) [1] ,是一种涉及神经科学、信号检测、信号处理、模式识别等多学科的交叉技术. 20 多年来 ,随着人们对神经系统功能认识的提高和计算机技术的发展 ,BCI 技术的研究呈明显的上升趋势 ,特别是1999 年和2002 年两次 BCI国际会议的召开为BCI技术的发展指明了方向.目前 ,BCI 技术已引起国际上众多学科科技工作者的普遍关注 ,成为生物医学工程、计算机技术、通信等领域一个新的研究热点. BCI是一种连接大脑和外部设备的实时通信系统. BCI系统可以把大脑发出的信息直接转换成能够驱动外部设备的命令 ,并代替人的肢体或语言器官实现人与外界的交流以及对 外部环境的控制.换言之 ,BCI系统可以代替正常外围神经和肌肉组织 ,实现人与计算机之间或人与外部环境之间的通信.

**一、脑机接口的定义**

脑机接口（英语：brain-computer interface，简称BCI；有时也称作direct neural interface或者brain-machine interface），是在人或动物脑（或者脑细胞的培养物）与外部设备间创建的直接连接通路。在单向脑机接口的情况下，计算机或者接受脑传来的命令，或者发送信号到脑（例如视频重建），但不能同时发送和接收信号[1]。而双向脑机接口允许脑和外部设备间的双向信息交换。

在该定义中，“脑”一词意指有机生命形式的脑或神经系统，而并非仅仅是抽象的“心智”（mind）。“机”意指任何处理或计算的设备，其形式可以从简单电路到硅芯片。

对脑机接口的研究已持续了超过30年了。20世纪90年代中期以来，从实验中获得的此类知识呈显著增长。在多年来动物实验的实践基础上，应用于人体的早期植入设备被设计及制造出来，用于恢复损伤的听觉、视觉和肢体运动能力。研究的主线是大脑不同寻常的皮层可塑性，它与脑机接口相适应，可以象自然肢体那样控制植入的假肢。在当前所获取的技术与知识的进展之下，脑机接口研究的先驱者们可令人信服地尝试制造出增强人体功能的脑机接口，而不仅仅止于恢复人体的功能。这种技术在以前还只存在于科幻小说之中。

**二、BCI的应用**

作为一种多学科交叉的新兴通信技术 ,目前 ,BCI 的研究 大多处于理论和实验室阶段 ,离实际应用还有一定的差距. 但从其性能来看 ,BCI 系统及其技术将在涉及人脑的各个领域 发挥重要的作用 ,尤其是对于活动能力严重缺失患者的能力恢复和功能训练具有重要意义.目前 ,对 BCI应用的研究主要集中在以下几个方面 :

(1)交流功能 　这类研究的目的是提高语言功能丧失患 者与外界的交流能力.一个典型的例子是 Niels Birbaumer等人研究的思想转换装置 (TTD) . 该装置由训练和拼写两部分 组成 ,在训练阶段 ,通过视听反馈和慢波脑电位(SCP) 的正向 增强完成 SCP的自动调整 ;在拼写阶段 ,训练者用 SCP对字母 或单词进行选择 ,对不能进行字母或单次选择的患者 ,可以让 他们进行“是” 或“否” 的选择 ,以实现其与外部环境的交流.

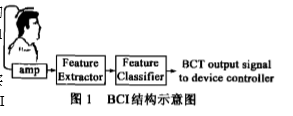
(2)环境控制　目前 ,对 BCI 环境控制的研究主要是 基于虚拟现实技术.虚拟现实具有相对安全和目标可移动的 特点 ,它能为训练和调整神经系统活动提供一个安全可靠的 环境.受试者大脑发出操作命令 ,这种命令不是由肌肉和外围 神经传出并执行 ,而是由 BCI系统经过检测、 分析和识别相应 的脑电信号 ,确定要进行的操作 ,然后由输出装备对目标进行 控制.

(3)运动功能恢复 由 BCI 系统完成脑电信号的检测和 分类识别过程 ,然后把命令输出给神经假体 ,完成已经失去功 能的外围神经应有的功能 ,或者把命令信号输出给轮椅上的命令接受系统 ,完成运动、行走等功能 ,使四肢完全丧失功能的患者能够在无人照看的情况下自己进行一些简单的活动 , 或进行功能性的辅助训练.

(4)在其他领域的应用 　从理论上讲 ,只要有神经电参与 的通信系统 ,都可以应用 BCI技术 ,如适用于残疾人的无人驾 驶汽车 ,就是把操作过程中脑电信号的一系列变化 ,由 BCI系统实时的转换成操作命令 ,实现无人直接驾驶的目的. R C Wu 和 S F Liang等人[5，6]描述了一种基于事件相关电位(ERP) 的BCI技术在智能交通中的应用 ,该系统可以模拟驾驶员对 不同交通信号或标志的反应程度 ,从而为交通信号与交通标 志的设置提供更加科学的依据. BCI的初步应用表明 ,一方面 ,BCI 可以作为辅助治疗方案用于残疾人 ,特别是运动功能或语言功能丧失但大脑功能保持完好的患者的运动或语言功能的恢复治疗 ,以提高患者 的生活质量 ;另一方面 ,在危险环境中或对人有害的环境中 (如粉尘污染严重的车间内) ,可以用这种系统代替人的肢体 完成某些操作.当然 ,要实现这种应用还需要进行大量的研究工作。视觉脑机接口方面的一位先驱是William Dobelle。他的皮层视觉脑机接口主要用于后天失明的病人。1978年，Dobelle在一位男性盲人Jerry的视觉皮层植入了68个电极的阵列，并成功制造了光幻视（Phosphene）。该脑机接口系统包括一个采集视频的摄像机，信号处理设备和受驱动的皮层刺激电极。植入后，病人可以在有限的视野内看到灰度调制的低分辨率、低刷新率点阵图像。该视觉假体系统是便携式的，且病人可以在不受医师和技师帮助的条件下独立使用。2002年，Jens Naumann成为了接受Dobelle的第二代皮层视觉假体植入的16位病人中的第一位。第二代皮层视觉假体的特点是能将光幻视更好地映射到视野，创建更稳定均一的视觉。其光幻视点阵覆盖的视野更大。接受植入后不久，Jens就可以自己在研究中心附近慢速驾车漫游。2005年，Cyberkinetics公司获得美国FDA批准，在九位病人进行了第一期的运动皮层脑机接口临床试验。四肢瘫痪的Matt Nagle成为了第一位用侵入式脑机接口来控制机械臂的病人，他能够通过运动意图来完成机械臂控制、电脑光标控制等任务。其植入物位于前中回的运动皮层对应手臂和手部的区域。该植入称为BrainGate，是包含96个电极的阵列. 1999年，美国凯斯西留地大学由Hunter Peckham领导的研究组用64导脑电图恢复了四肢瘫痪病人Jim Jatich的一定的手部运动功能。该技术分析脑电信号中的β波，来分类病人所想的向上和向下两个概念，进而控制一个外部开关。除此以外，该技术还可以使病人控制电脑光标以及驱动其手部的神经控制器，来一定程度上回复运动功能。John Donoghue及其同事创立了Cybernetics公司，宗旨是推动实用的人类脑机接口技术的发展。该公司当前以Cybernetics神经技术公司为名在美国股市上市。BrainGate是该公司生产的电极阵列，该产品基于美国犹他大学的Richard Normann研发的“犹他”电极阵列。2004年为止，William Dobelle创建的公司已经在16位失明病人内植入了初级视皮层视觉假体。该公司当前仍在继续研发视觉植入物，但这类产品至今没有获得FDA的批准，因而不能在美国境内使用于人类。 Macrotellect宏智力科技[1]公司。该公司生产了一个消费级别的脑机接口可穿戴式设备BrainLink，定位于娱乐（Neuro-Gaming），教育（儿童的大脑训练）以及健康（大脑健康数据管理）。其价格较为亲民，使得非侵入式脑机接口技术得以推广至大众消费领域。2003年，美国南加州大学的Theodore Berger小组开始研制能够模拟海马体功能的神经芯片。该小组的目标是将这种神经芯片植入大鼠脑内，使其称为第一种高级脑功能假体。他们之所以选择海马体作为研究对象，是因为其高度有序的组织以及丰富的研究文献。海马体的功能与记忆生成和长期记忆有关佛罗里达大学的Thomas DeMarse用提取自大鼠脑的包含25000个神经元的培养物来操控一个F-22战斗机模拟程序。这些神经元提起自大脑皮层，离体以后，它们在培养皿上迅速集结成活的神经元网络，并且与60个电极通讯，来控制战斗机的上下和左右摇摆运动。该项目的主要目的是研究人类的脑在细胞层面上如何学习特定的计算任务。

**三、BCI系统及其工作原理**

BCI的原理及概念：神经科学的研究表明 ,在大脑产生动作意识之后和动作 执行之前 ,或者受试主体受到外界刺激之后 ,其神经系统的电 活动会发生相应的改变. 神经电活动的这种变化可以通过一定的手段检测出来 ,并作为动作即将发生的特征信号.通过对这些特征信号进行分类识别 ,分辨出引发脑电变化的动作意 图 ,再用计算机语言进行编程 ,把人的思维活动转变成命令信 号驱动外部设备 ,实现在没有肌肉和外围神经直接参与的情况下 ,人脑对外部环境的控制.这就是 BCI的基本工作原理. 第一次 BCI 国际会议给出的BCI的定义是[9] :“脑计算机接口(Brain Computer Interface) 是一种不依赖于正常的由外 围神经和肌肉组成的输出通路的通讯系统” . BCI 完全不依赖 肌肉和外围神经的参与 ,直接实现脑和计算机的通信.这对完全没有活动能力的患者(如脑中风 ,肌萎缩性 (脊髓) 侧索硬化 ,脑瘫等)的辅助治疗和语言功能、行为能力的恢复 ,对特殊环境中外部设备的控制 ,甚至对娱乐方式的改进都具有非常重要的意义. BCI系统的基本结构 基于各种不同的需求 ,人们已经设计出多种可以在实验 室中进行演示的基于脑电的BCI原型系统[8 ,9] . 原理上 ,BCI系统一般由输入、 输出和信号处理及转换等 功能环节组成.输入环节的功能是产生、检测包含有某种特性 的脑电活动特征信号 ,以及对这种特征用参数加以描述. 信号处理的作用是对源信号进行处理分析 ,把连续的模 拟信号转换成用某些特征参数 (如幅值、 自回归模型的系数 等)表示的数字信号 ,以便于计算机的读取和处理 ,并对这些 特征信号进行识别分类 ,确定其对应的意念活动. 信号转换是根据信号分析、 分类之后得到的特征信号产生驱动或操作命令 ,对输出装置进行操作 ,或直接输出表示患 者意图的字母或单词 ,达到与外界交流的目的.作为连接输入 和输出的中间环节 ,信号分析与转换是BCI系统的重要组成 部分.在训练强度不变的情况下 ,改进信号分析与转换的算法 ,可以提高分类的准确性 ,以优化BCI系统的控制性能. BCI系统的输出装置包括指针运动、字符选择、神经假体的运动以及对其他设备的控制等. BCI 系统的基本构成如图 1 所示. 作为一种实时通信系统 ,BCI 系统的设计还应 考虑其它相关问题 ,如开/ 关控制、反应时间、速度和精度以及与之相关的信息传输率、训练方式、训练人数、应用场合等. BCI的分类第一次 BCI国际会议根据输入信号的性质把 BCI系统分成两大类 ,即 :使用自发脑电信号的 BCI系统和使用诱发脑电信号BCI系统.



基于自发脑电的 BCI系统是应用自发脑电作为系统的输入特征信号.其特点是 ：受试者经过训练之后能够自主地控制脑电变化 ,从而直接控制外部环境 ,但通常需要对受试者进行大量的训练 ,容易受其身体状况、情绪、病情等各种因素的 影响.诱发脑电信号的 BCI 系统使用外在刺激诱发大脑皮层相应部位的电活动产生变化 ,并以其作为特征信号.外部诱发 BCI系统不需要对受试者进行过多的训练 ,但需要特定的环境(如排成矩阵的闪烁视觉刺激输入) ,这不利于系统的推广 和应用.在系统输出模式上 ,前者能使操作者把指针移到任意的二维或者多维位置 ,而后者只能使操作者在所列出的选项中进行选择. 根据信号检测的方式不同 ,也可以把 BCI 分为电极内置式和电极外置式两种基本形式[12] .电极内置式信号检测方法使电极直接和大脑皮层接触或进入大脑皮层 ,测量的信号噪声小、损失低 ,但由于涉及外科手术 ,操作复杂 ,需要具有专业技术的操作人员 ,而且容易感染. 电极外置式信号检测方法 , 操作简单 ,安全 ,有利于 BCI系统的推广 ,但由于电极距离信号源较远 ,噪声较大.在 BCI系统设计中 ,使用何种方案应根据信号的特征、测量技术的水平以及实际要求的精度等因素综合考虑.

**四、BCI的发展状况及存在的问题**

BCI的发展状况 BCI的研究只有大约 20 年的历史 ,对于这种新型通讯技 术的研究 ,目前仍处于理论和实验室研究阶段. 1999 年和 2002 年两次 BCI国际会议的召开 ,为 BCI 的发展带来了机遇 并引起了多学科科技工作者的研究兴趣. BCI 技术的最初研究局限于给身体严重残疾的患者提供一种有效的与外界交流 的机制 ,随着技术的逐步成熟和应用需求的提高出现了应用于拼写、控制指针运动和控制神经假体的各种脑2机接口系统 ,各种信号处理技术也得到了迅速发展.下面是国际上较有影响的一些研究工作 :

(1) Wadsworth中心的研究工作[2] 　Wadsworth 中心一直 研究如何用从运动感觉皮层测得的 EEG信号控制指针的一维或二维运动.在如何提高运动的速度和精度上 ,提出了以下三个方面的改进措施 :改进信号的特征选择和信号的转化方 法 ;结合其他信号特征 ;优化人和接口之间的调整配合.另外 , 为了便于比较和评估 ,他们研制了一种 BCI22000 通用 BCI 系 统.该中心与其他研究机构合作 ,开发了 BCI 的简单应用 ,并 对其应用性能进行了测试研究.

(2) NSF( Neil Squire Foundation) 的发展状况[3] 　NSF 是加拿大的一个非赢利性组织 ,该组织从事BCI研究的目的是 , 让由于身体残疾而无法与外界交流的患者重新获得与外界交 流的能力 ,其最终目标是设计一种先进的通讯设备 ,使患有严 重残疾的人获得一个有效的、方便的控制计算机或神经假体等外部设备的能力. NSF的工作开始于十年前 ,主要研究了鲁棒统计信号处 理方法 ,从一维 EEG信号中估计自发 EEG,以单次检测的运动相关电位作为检测信号和估计信号之间的差别. 近年来 , NSF的工作转到了低频异步开关的设计 ,以减少信号处理过程中的延迟和提高分类精度 ,使用的驱动信号是具有自调整功能的运动想象活动产生的神经电信号.

(3) GSU(乔治亚州大学) 脑实验室的研究[4] 　该实验室 致力于 BCI 在现实环境中的应用 ,探索把通过训练获取的BCI技术转化为控制现实环境的方法. 目前研究的课题有 :用户接口控制参数、主体的训练和生物反馈、创造性表达及应用、 辅助交流和环境控制等.

(4) Graz2BCI技术的发展状况 　GP furtscheller[8]等人进 行了一系列基于 ERD 的 BCI系统的研究 ,并实现GrazⅠ和 GrazⅡ两个有代表性的 BCI 系统. G raze2BCI 技术在 BCI 的发展 中具有非常重要的地位 ,其神经生理学基础是肢体的实际运动和想象运动能够在大脑皮层的相同部位产生电位的变化.他们早期的工作主要集中在参数估计方法和对各种分类 器的测试研究 ,目前研究的重点是时域内两种不同的想象运动。

(5)高上凯课题组的研究 　清华大学高上凯教授的项目组在脑机接口研究中深入分析了稳态视觉诱发电位的特征和提取方法 ,设计了一种具有高传输速率的基于稳态视觉诱发电位的脑机接口系统[9] . 该系统在识别的正确率和信号 传输速度方面取得了重大突破 ,信号传输的速度达到了68bits/ min ,平均准确率达到了 87. 5 %.

**五、结束语**

BCI是一种多学科交叉的新兴技术 ,它涉及神经科学、 信 号检测、 信号处理、 模式识别等多种学科领域. BCI 技术的研究具有重要的理论意义和广阔的应用前景. 由于 BCI 技术的 发展起步较晚 ,相应的理论和算法很不成熟 ,对其应用的研究很不完善 ,有待于更多的科技工作者致力于这一领域的研究 工作.随着技术的不断完善和成熟 ,BCI将会逐步地应用于现实 ,并为仿生学开辟新的应用领域.本文在查阅大量文献的基础上 ,对 BCI技术的工作原理、 涉及的关键技术等问题进行了较为详细的综述 ,指出了该领域存在的主要问题 ,并展望了该 领域的发展方向.

**参考文献：**

[1]廉师友.人工智能技术导论[M].3版,西安:西安电子科技大学出版社,2007.5.

[2] J R Wolpaw ,DJ McFarland. The Wadsworth center brain2computer in2 terface(BCI) research and development program[J ]. IEEE Transaction on Neural Systems and Rehabilitation Engineering ,2003 ,11(2) :204 207.

[3] G E Birch ,S G Mason ,J F Borisoff. Current trends in brain2computer interface research at the Neil Squire foundation[J ]. IEEE Transaction on Neural Systems and Rehabilitation Engineering ,2003 ,11(2) :123 126.

[4]M Moore. Real2world applications for brain2computer interface technol2 ogy[J ]. IEEE Transaction on Neural Systems and Rehabilitation Engi2 neering ,2003 ,11(2) :162 - 165.

[5]吴小培 ,张道信. 基于多维统计分析方法的脑电消噪[J ]. 安徽大学学报 ,2002 ,26(4) :69 - 75.

[6]吴小培 ,冯焕清 ,周荷琴. 基于小波变换的脑电瞬态信号检测 [J ]. 数据采集与处理 ,2001 ,16(1) :86 - 89.

[7] 吴小培. 独立分量分析及其在脑电信号处理中的应用[D]. 博 士学位论文. 安徽:中国科学技术大学 ,2002.

[8] G Pfurtscheller ,C Neuper. G raze2BCI:State of the art and clinical ap2p lications[J ]. IEEE Transaction on Neural Systems and Rehabilitation Engineering ,2003 ,11(2) :177 - 180.

[9] X iaorong Gao ,Dingfeng Xu ,Ming Cheng. A BCI2based environmentalc ontroller for the motion2disabled[J ]. IEEE Transaction on Neural Sys2t ems and Rehabilitation Engineering ,2003 ,11(2) :137 - 140..

[10]官金安 ,林家瑞. 脑2机接口技术进展与挑战[J ]. 中国医疗器 械 ,2004 ,28(3) :157 - 161.

[11]程明 ,任宇鹏 ,高小榕. 脑点信号控制康复机器人的关键技术 [J ]. 机器人技术与应用 ,2003 ,16(4) :45 - 48.

[12] J R Wolpaw ,DJ McFarland. The Wadsworth center brain2computer in2 terface(BCI) research and development program[J ]. IEEE Transaction on Neural Systems and Rehabilitation Engineering ,2003 ,11(2) :204 207.

[13] G E Birch ,S G Mason ,J F Borisoff. Current trends in brain2computer interface research at the Neil Squire foundation[J ]. IEEE Transaction on Neural Systems and Rehabilitation Engineering ,2003 ,11(2) :123 126.

[14]杨立才，李陌敏，李光林.脑机接口技术综述[J].电子学报,2005.