

脑机接口研究概述

Summary on Brain-computer Interface

胡剑锋 肖守柏

Hu Jianfeng Xiao Shoubai

(江西蓝天学院信息技术研究所, 江西 南昌 330098)

(Jiangxi Blue Sky University, Jiangxi Nanchang 330098)

摘要: 脑机接口 (BCI) 是在人脑和外界之间建立不依赖于常规大脑信息输出通路 (外周神经和肌肉组织) 的一种通讯系统, 概述了基于 EEG 的 BCI 技术的基本原理、研究方法、类型和研究现状, 并分析了存在的问题与应用前景。

关键词: 脑机接口; 脑电图; 通信

中图分类号: TP335

文献标识码: A

文章编号: 1671—4792—(2007)9—0025—04

Abstract: Brain-computer interface (BCI) is a communication system in which messages or commands that an individual sends to the external world do not pass through the brain's normal output pathways (peripheral nerves and muscles). This review summarized the basic principle, research methods, classification and status, the problems in current studies and the direction for future investigation are analyzed.

Key words: Brain-computer interface; EEG; Communication

0 引言

脑机接口 (Brain-computer Interface, 以下简称 BCI), 是近年来发展起来的一种人机接口, 它不依赖于大脑的正常输出通路 (即外围神经和肌肉组织), 就可以实现人脑与外界 (计算机或其它外部装置) 直接通信的系统。要想实现 BCI, 有三个必要条件: 第一, 必须有一种能够可靠反映大脑思维的信号; 第二, 这种信号能够被实时且快速的收集; 第三, 这种信号有明确的分类。目前可用于 BCI 的人脑信号有: EEG (脑电图), EMG (脑磁图) 和 fMRI (功能性核磁共振图像) 等。目前大多数 BCI 研究机构采用的大脑信号是 EEG。

1 基本结构

BCI 系统一般都具备信号采集, 信号分析和控制器三个功能模块 (见图 1)。

(1) 信号采集: 受试者头部戴上一个电极帽, 采集 EEG 信号, 并传送给放大器, 信号一般需放大 10000 倍左右, 经过预处理, 包括信号的滤波和 A/D

转换, 最后转化为数字信号存储于计算机中。

(2) 信号分析: 利用 FFT、小波分析等算法, 从经过预处理的 EEG 信号中提取与受试者意图相关的特定特征量; 特征量提取后交给分类器进行分类, 分类器的输出即作为控制器的输入。

(3) 控制器: 将已分类的信号转换为实际的动作, 如在显示器上的光标移动、机械手运动、字母输入、控制轮椅、开电视等。

有些 BCI 系统还设置了反馈环节 (如图 1 中所示), 不仅能让受试者清楚自己的思维产生的控制结果, 同时还能够帮助受试者根据这个结果来自主调整脑电信号, 以达到预期目标。

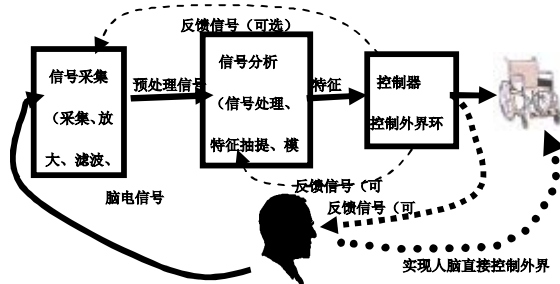


图 1 BCI 系统基本结构

2 方法

2.1 EEG 信号采样及存储

(1) 电极: 目前多数采用按照国际 10-20 系统设定好电极位置的电极帽来提取 EEG 信号。

(2) 电极数目的确定和位置的选择: 在 BCI 研究中, 需要确定测量 EEG 信号的电极的数目。较多的电极数目, 在提高 EEG 信号定位的准确性的同时增加了处理的复杂度。

(3) 预处理: 信号采集过程中, 会夹杂干扰, 常见的有市电干扰、眼动干扰等, 必须通过某种方式减弱或除去干扰, 同时保证原有信号成分特征不被改变。

(4) 存储: 通过电极帽采集的信号是模拟信号, 在输入到计算机处理之前, 必须通过 A/D 板将其转化为数字信号, 以便存储在计算机内进一步分析处理。

2.2 BCI 研究中采用 EEG 信号的类型

(1) P300: P300 是一种事件相关电位, 其峰值大约出现在事件发生后 300 毫秒, 相关事件发生的概率越小, 所引起的 P300 越显著。

(2) 视觉诱发电位 (VEP): 视觉器官受到光或图形刺激后, 在大脑特定部位所记录的 EEG 电位变化, 称之为视觉诱发电位。

(3) 事件相关同步 (ERS) 或去同步电位 (ERD): 单边的肢体运动或想象运动, 对侧脑区产生事件相关去同步电位, 同侧脑区产生事件相关同步电位。

(4) 皮层慢电位: 皮层慢电位 (SCP) 是皮层电位的变化, 持续时间为几百毫秒到几秒, 实验者通过反馈训练学习, 可以自主控制 SCP 幅度产生正向或负向偏移。

(5) 自发脑电信号: 在不同的意识状态下, 人们脑电中的不同节律呈现出各异的活动状态。按照所在频段的不同分类, 一般采用希腊字母 (α 、 β 、 γ 、 δ 、 θ) 来表示不同的自发 EEG 信号节律。比如 α 节律在 8-13Hz 频段, 而 β 节律则在 13-22Hz 频段。

采用以上几种脑电信号作为 BCI 输入信号, 具有各自的特点和局限。P300 和 VEP 都属于诱发电位, 不需要进行训练, 其信号检测和处理方法较简单且正确率较高, 不足之处是需要额外的刺激装置提供刺激, 并且依赖于人的某种知觉 (如视觉)。其它几类信号的优点是可以不依赖外部刺激就可产生, 但需要大量的特殊训练。

2.3 训练

某些 BCI 系统基于事件诱发电位的, 如 P300 或 VEP, 并不需要训练, 受试者按照指示就能启动实验。通常, 为了实验能够顺利开展, 在初次实验前, 对受试者都要进行训练, 只是时间长短而已。训练的时间和过程因 BCI 系统和受试者而异。

在某些 BCI 系统中, 用户必须了解如何自主调节自身的 EEG 信号幅度, 则训练是必不可少的, 而且训练时间可能会比较长; 在基于模式识别的 BCI 系统中, 训练侧重于获得相应的参数; 在基于操作条件方法的 BCI 系统中, 可能需要受试者反复训练, 可能长达数月才能达到预计的效果。

2.4 反馈

大多数 BCI 系统是需要反馈的, 最常见的反馈形式是光标控制, 受试者把光标移到指定目标位置, 只能使用上/下或左/右两组命令。一开始, 光标在屏幕中央, 每一节以光标碰到目标位置或相反位置为结束。当碰到目标位置, 光标会闪烁, 说明成功; 这种反馈能够加强受试者用意念操作光标的信心。光标控制提供的反馈是持续性反馈, 受试者能够亲眼看到自己意念驱动光标在移动, 如方向不对可以及时调整。在 BCI 系统中, 特别是基于操作条件的 BCI 系统中, 反馈是必要的, 受试者需要知道哪种意念能够移动光标朝哪个方向运动。反馈既有好处也有负面影响。

2.5 算法

BCI 的算法是指在信号处理阶段, 能够将 BCI 输入的信号转化为对外界进行控制的命令的一系列信号处理算法, 也就是说, 这些算法可以从当前使用者的脑电信号获得抽象的特征向量, 并将这些向量转化为决定设备控制的命令。如果某一特征量代表的思维状态过多, 交叉过大, 使用这一特征量就很难区分不同思维状态; 反之, 如果某一特征量能够严格区分不同思维状态, 使用这一特征量就能具有很好的功效。无论采用哪种算法, 都以实现最优的性能及良好的实用性为目的。在 BCI 中应用的算法有小波变换、主成分分析、独立分量分析、人工神经网络、贝叶斯-卡尔曼滤波、线性判别分析、支持向量机等。

3 研究现状

正式研究 BCI 的时间至今不足 20 年, 目前绝大部分 BCI 研究处于实验室研究阶段, 尚无大规模商业应用。1999 年、2002 年和 2006 年三次 BCI 国际会议的召开, 为 BCI 的发展推波助澜。下面列举的是一些国际上 BCI 研究有影响的实验室及他们的

BCI 研究方向:

1、奥地利Graz理工大学

Pfurtscheller等人采用事件相关同步/去同步电位作为BCI信号输入。在这套系统中,受试者可以控制光标的移动。

2、美国Wadsworth中心

Wolpaw等人训练受试者自由调节自身 μ 节律,并通过 μ 节律的变化来实现光标移动、字母拼写和假肢控制等功能。由于灵活控制自身 μ 节律变化比较困难,所以并不是每个受试者都能学会使用这套装置。

3、德国Tübingen大学

Birbaumer等人设计了一个名为思想翻译器(Thought Translation Device, TTD)的装置,通过慢皮层电位的变化来实现对外界的控制,使用视觉反馈,实现了字母拼写等功能。

4、美国伊利若斯大学

Farwell和Donchin采用P300诱发电位作为BCI信号输入。在计算机显示屏上显示一个6×6包含36个字母的格子,使用者要求选择一个特定字母,每行和每列都在闪烁,频率为10Hz,计算对每行和每列闪烁的平均反应,测量P300幅值。对包含特定字母的行和列的反应幅度最大,根据这个特性就可以从P300诱发电位中“找到”特定字母。

5、美国Smith-Kettlewell视觉科学研究所

Sutter等人设计的脑反应接口以对视觉刺激反应中所产生的视觉诱发电位作为BCI信号输入,通过诱发电位选择计算机显示屏上某一特定部分,进而可以实现选择的功能。

6、我国清华大学

高上凯等人深入分析了稳态视觉诱发电位(SSVEP)的特征和提取方法,设计了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,可用于残疾人的动作控制或环境设备控制等领域。

以上几种BCI系统间的比较如表1。

表一 不同BCI间的比较

系统	训练时间	选项个数	速度(比特/每分钟)	错误率	持续性	用户满意度
奥地利Graz理工大学	2-2.5 小时	2	N/A	<11%	N/A	N/A
美国Wadsworth中心	几个小时	2	20	10%	N/A	N/A
德国Tubingen大学	几个月	27	2	10-30%	不好	间接反感
美国伊利若斯大学	几分钟	36	4	5%	很好	N/A
美国Smith-Kettlewell视觉科学研究所	10-60 分钟	64	30	10%	很好	还行

注:其中速度值为平均速度,N/A表示没有数据报道或没有讨论

4 目前存在的问题

BCI 是一门新兴的研究领域,涉及计算机科学、神经科学、心理认知科学、生物医学工程、数学、信号处理、临床医学、自动控制等多个领域,仍有大量的问题尚待解决,目前主要存在以下问题:

(1)速度太慢

从整体性能上看,大多数信息传输率在20bit/min以下,对于一些实际应用还太慢。

(2)稳定性不高

系统稳定性随研究方法、受试者和控制系统不同变化较大,缺乏自适应能力。

(3)缺乏统一标准

目前尚无统一的BCI基础理论框架,兼容性较差。

(4)实用性不强

目前的BCI系统大多都是在特定的实验室环境下设计,真正在日常生活环境下的应用极少,BCI装置的制作费用一般都很昂贵,这些都使得BCI系统的实际应用受到限制。

(5)采样信号缺乏具体意义

很难把脑电信号类型与心理意识活动直接联系起来。

(6)没有统一信号处理方法

信号处理方法是目前BCI研究的重点,由于百家争鸣也造成目前研究方法的多样性,特征提取方法和分类方法没有统一的标准,没有任何一种信号处理方法能够为所有BCI研究者所采纳。

(7)反馈的必需性

要不要反馈?如何反馈?目前仍有争议。一方面,反馈提高了系统的准确性和稳定性,同时,另一方面,反馈也给整个系统带来额外的负荷,可能会降低信息传输率,同时也给受试者带来操作上的困难。

(8)训练的必要性

目前对要不要训练及采取何种训练尚有不同观点。有些BCI系统还需要较长时间的训练过程,需要受试者掌握改变自身脑电变化的技巧,需要耗费大量的时间和精力,容易产生疲惫和反感。

(9)难以持续性工作

目前大多数BCI系统都只是在特定范围内工作,系统的连续工作能力受到了限制,受试者难以在实验中实时“观察”自己所有的意识。

(10)个体差异造成很大影响

由于每个人的思维方式、行为习惯等都不完全

一样, 需要针对每一类人设计不同的实验参数和训练方法。即使是同一个人, 由于他(她)的生理状况、心理状况、情绪态度、操作适用性、目的性等的改变, 可能会造成已设计好的 BCI 装置无法继续使用。

5 应用前景

由于 BCI 系统可以不依赖于外部肌肉和神经就可以实现人机交互, 因此有着极为广阔的应用前景。目前, BCI 的应用主要集中于医学领域、人工智能的实现以及提供新型的娱乐方式。

5.1 在医学方面的应用

在医学领域中, BCI 可以帮助肢体障碍患者提高他们的生活质量。

(1) 实现简单的通信

通过 BCI 能够使用电脑浏览网页、拨打电话和模拟阅读等。

(2) 控制周围环境

通过 BCI 可以控制轮椅、开门、开灯等。

(3) 运动康复

通过 BCI 控制康复机器人的方法, 辅助伤残人士进行运动功能重建和生活自理。

(4) 治疗

BCI 技术可以为将来治疗技术的发展起到推动作用, 如利用深层大脑激励来治疗帕金森病。

5.2 在医学以外的其它方面的应用

虽然目前 BCI 系统主要应用于医学领域, 特别是为残疾人提供帮助, 但是 BCI 的用途决不仅仅限于在医学领域中应用, 在其它诸多领域都可以得到广泛的应用。

(1) 特殊环境作业

例如, 宇航员可以应用 BCI 监控远距离的仪器设备; 控制机器人在危险或不适宜人工操作的环境中工作。

(2) BCI 可以为电子游戏提供附加控制

当前流行的电子游戏是要操作者靠鼠标、键盘或操纵杆来进行操作的, 如果能够实现靠“思想”就能完成控制的电子游戏, 一定会吸引更多的游戏爱好者。

(3) 在艺术领域中, 可使用 BCI 来进行创新

例如, 生物收音机、人脑化音乐设备等。

(4) 生物身份识别

由于 EEG 信号有特异性, 有可能实现一种交互式、主动型的人体身份验证系统。

从理论上讲, 只要有神经电参与并可分类的通

信系统, 都可以应用 BCI 技术。

6 结束语

在过去的十几年中, BCI 的研究发展十分迅猛, 目前的 BCI 研究主要是为某些患者(一般指思维正常但有运动障碍的病人)提供一种与外界交流的手段或控制外界的方式以及协助其康复。随着对人脑结构与功能认识的愈加清晰, 提取脑电信号技术手段的提高, 以及高效率、低成本的计算机的出现, BCI 研究人员将研究出“更快、更准、更易”的 BCI 技术。当然, 在 BCI 的发展中仍存在着诸多挑战。比如, 目前尚无一个 BCI 系统可以做到既精确又能实现快速控制; 还没有真正的商业化产品问世。

总之, BCI 研究有着广阔的前景, 不仅加强对人自身的认识, 同时也将改变人类的生活方式。

参考文献:

[1] Birbaumer N, Ghanayim N, Hinterberger T, Iversen I, Kotchoubey B, Kübler A, Perelmutter J, Taub E, Flor H. A spelling device for the paralyzed. *Nature* 1999, 398: 297, 298.

[2] Farwell LA, Dochin E. Talking off the top of your head: Toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potential. *Electroencephalogr. Clin Neurophysiol*, 1988, 70: 510.

[3] Gao XR, Xu D, Cheng M and Gao SK. A BCI-based environmental controller for the motion-disabled. *IEEE Trans Rehab Eng*, 2003, 11(2): 137

[4] Middendorf M, McMillan G, Calhoun G, Jones KS. Brain-computer interfaces based on steady-state visual evoked response. *IEEE Trans Rehabil Eng* 2000, 8: 211, 213.

[5] Sutter EE. The brain response interface: communication through visually induced electrical brain responses. *J Microcomput Appl* 1992, 15: 31, 45.

[6] Jonathan R. Wolpaw, Niels Birbaumer, Dennis J. McFarland, Gert Pfurtscheller, Theresa M. Vaughan. Brain-computer interfaces for communication and control. *Clinical Neurophysiology* 2002, 113: 767, 791.

作者简介

胡剑锋(1976-), 男(汉族), 江西景德镇人, 江西蓝天学院信息技术研究所, 副教授, 中科院博士, 主要从事脑机接口研究。