

基于事件相关电位的 BCI 新型输入系统研究*

王根,方慧娟,罗登

(华侨大学 信息科学与工程学院,福建 厦门 361021)

摘要: 设计了基于事件相关电位(ERP)的脑-机接口(BCI)系统,根据 ERP 中 P300 的特性,分别对比输入字符的形式及颜色,并在此基础上采用不同的实验参数进行了多次实验。对采集到的脑电信号(EEG)使用叠加平均、独立成份分析(ICA)、Fisher 线性分类器来进行分析处理。实验结果表明,输入方式及实验参数会对 P300 的时域特性及识别率产生较大的影响。

关键词: 脑-机接口;事件相关电位;P300;独立成分分析;Fisher 线性分类器

中图分类号: TP334.7;R318

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2013)07-0066-03

Study on the new input of BCI system based on ERP

Wang Gen, Fang Huijuan, Luo Deng

(College of Information Science and Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

Abstract: This paper designs a BCI (Brain-Computer Interface) system based on ERP (Event-Related Potentials), this paper has carried on many times experiment by using different experimental parameters based on comparing of the input character's form and color, according to the P300 potential characteristics. The collected EEG (electroencephalogram) data can be analyzed and processed by average, ICA (Independent Component Analysis), Fisher linear classifier. The experimental results show that it can produce great influence about the time domain and recognition rate of P300 characteristics by the input method and experimental parameters.

Key words: BCI; ERP; P300; ICA; Fisher

脑-机接口 BCI (Brain-Computer Interface) 为人脑与外界事物进行信息交流和控制提供了一种全新的通道,随着人们对大脑的研究越来越深入,可以不使用语言或动作,直接通过脑电信号来表达想法或者操纵设备。BCI 系统一般由三部分组成:对脑电信号的采集;对脑电信号进行处理;将处理之后分类正确的控制信号输出,实现对外围设备的控制。事件相关电位 ERP (Event-Related Potentials) 是脑电图 EEG (electroencephalogram) 中的一种,当外加一种特定的刺激,作用于感觉系统或脑的某一部位,在给予刺激或撤销刺激时,在脑区引起的电位变化^[1]。ERP 中的 P300 电位是脑-机接口中广泛使用的信号。浙江大学的陈卫东等人设计的基于 P300 电位的 BCI 系统实现对虚拟手臂的控制;瑞士洛桑联邦理工学院 (EPFL) 实验室为残疾人设计出基于 P300 的 BCI 控制系统^[2]。

如何让 BCI 系统贴近生活,设计出更为简单实用的

BCI 系统,就显得比较重要了。在日常生活中,人们对于密码并不陌生,本文设计的基于 ERP 的新型输入系统,为密码输入提供了一种更为安全的方式,不用手就可以实现密码的输入。由于好的数据是无可替代的^[3],通过实验范式设计来产生较好的刺激效果就显得尤为重要。本文通过变换输入字符的形式及颜色,对不同实验参数进行多组实验。对采集到的 EEG 进行叠加平均,将 P300 从 EEG 背景噪声中分离出来,然后利用独立成份分析 ICA (Independent Component Analysis) 来剔除眼电,用 Fisher 线性分类器进行分类,对实验结果进行分析比较来选出最佳的刺激输入形式。

1 实验范式

1.1 字符的形式及颜色

用于密码输入的字符形式可以选择阿拉伯数字 (0、1、……9) (以下简称数字) 或者大写的数字 (零、壹、……玖) (以下简称汉字)。人们一般非常熟悉阿拉伯数字;大写的数字,普及率不及阿拉伯数字,但是在一些特

* 基金项目: 华侨大学高层次人才科研启动费项目 (09BS617)

技术与方法 Technique and Method

殊的场合,如银行还是会经常用到。并且相对于拼音文字,汉字是更为彻底的视觉文字,其脑机制更注重视觉加工^[4]。除了字符形式的对比外,又进行了字符颜色(黑色、红色)的对比。黑色是较为普遍的颜色,红色能够引起人们较为强烈的反应。本文共设计了四组实验:黑色数字、红色数字、黑色汉字及红色汉字。

1.2 实验参数

实验过程中,准备阶段屏幕上将会呈现 1 s 的“+”,之后随机出现的字符即为目标字符,持续呈现 1 s,随后一轮 10 个字符随机闪烁出现,重复多轮,当出现与目标字符相同的字符时,要求被试者默数一次。每个字符出现的概率相同,且满足偏差刺激概率小于 30%;标准刺激概率大于 70%。综合考虑参考文献[5-6]之后,初步设定字符闪烁方式亮暗时间/s 的组合取为[0.1, 0.3], [0.15, 0.3], [0.2, 0.3], [0.1, 0.4], [0.15, 0.4], [0.2, 0.4];字符重复次数的取值为 10, 13, 15, 20;连续无间隔训练的目标字符个数为 8, 10, 15, 18。实验过程中发现:亮暗时间太短,被试者的眼睛会很快进入疲劳状态,个别被试者还会流眼泪;如果亮暗时间太长,被试者容易走神,刺激效果不明显;随着目标字符数目的增多,实验所需的时间就会越久,被试者的注意力会下降。在咨询被试者的基础上,分析采集到的数据,最终确定实验参数为:字符闪烁方式为亮 0.15 s,暗 0.4 s;训练一个目标字符过程中,每个字符随机重复闪烁 13 次;测试完 8 个目标字符之后,被试者可以适当休息。

1.3 脑电信号采集

实验采用 VC++ 中的 MFC 编写信号的采集存储等处理程序,实现 19 导(FP1, FP2, F3, F4, C3, C4, P3, P4, Po7, Po8, F7, F8, Oz, T4, T5, T6, Fz, Cz, Pz) EEG 的同步采集。通过银-氯化银电极制作的电极帽采集 EEG,经过数字放大器(中科新拓公司,UEA-24BZ)放大,采样频率定为 100 Hz,30 Hz 低通滤波。由 4 名女性、3 名男性参与实验,平均年龄是 24.7 岁,对颜色可以正常识别,视力矫正到正常,右利手。在实验之前,被试者已明确自己的任务,保持头皮干净,情绪稳定,身体状况良好。实验室温度控制在 25℃ 左右。采用单极导联,耳电极为参考电极。测试期间被试者要精神放松,注意力集中,尽可能减少眨眼及肢体运动。待实验结束,咨询被试者默数的目标字符出现次数,以此来判断被试者注意力的集中程度。

2 数据处理

2.1 独立分量分析

对每名被试者的各组数据分别进行分析,ICA 在去除眼电干扰方面有比较强的优势,不需要依赖于数据的任务标签,可以在无监督的模式下进行,得到更多独立的信号源,较为真实地反映大脑的源活动,确保各个分量尽可能的独立,绘制出相应的独立分量的空间模式图。观察图像,若在前额 FP1、FP2 处,颜色越红就表明

眼电干扰越大,在随后的处理当中,要在尽可能地保留原始数据的基础上,适当地剔除这些干扰明显的量。

2.2 P300 的波形分析

对同一被试者所采集的四组数据进行分析,分别绘制出在 Oz 处目标字符与非目标字符在刺激之后 0.7 s 内的波形图,如图 1 所示,此被试者比较熟悉汉字中的大写数字,P300 电位的峰值都出现在 0.4 s 附近。在同为数字刺激时,在图 1(b)中目标字符相对于非目标字符波形的起伏较大,刺激的效应较为剧烈。在同为汉字刺激时,在图 1(c)图中目标刺激的最大峰值更为明显,而图 1(d)中的波形较为杂乱,对最大峰值有干扰。综合四幅图像来看,图 1(b)中红色数字的刺激效果是最好的,在目标刺激的起始阶段,波形较为平稳,P300 的峰值集中出现在目标刺激之后的 0.2~0.5 s 之间。

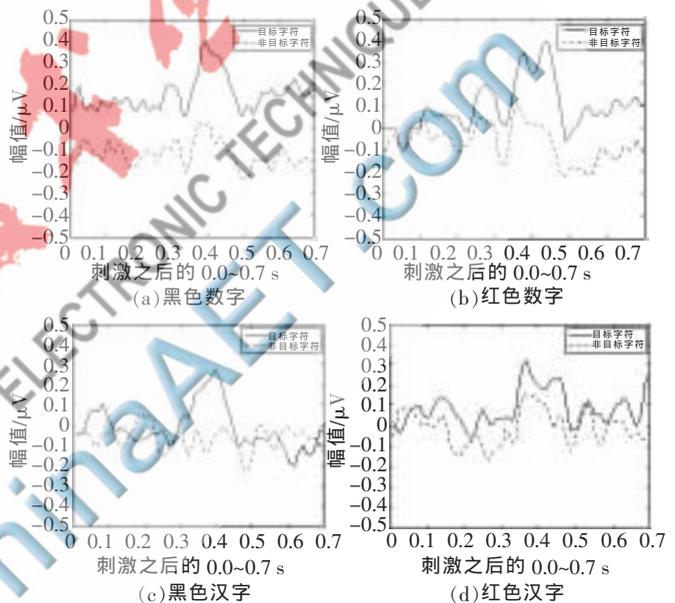


图 1 刺激之后 0.7 s 内 Oz 处的波形图

当被试者对于汉字中的大写数字不熟悉时,汉字试验中,目标字符刺激所产生的 P300 电位峰值会向后延迟,出现在 0.5 s 之后。推测其中的原因可能是:当被试对于比较熟悉的图片时,反应快一些;当出现不熟悉的图片时,反应会慢一些,这样目标字符刺激产生的 P300 电位会向后面有些许的延迟。

2.3 正确率分析

同一个被试者,两周内要完成四组实验。所采集到的数据为:黑色数字组共 96 个字符;红色数字组共 96 个字符;黑色汉字组共 99 个字符;红色汉字组共 98 个字符,分别进行分类。取刺激之后 0.7 s 内的数据作为分类特征,进行 10 次 8 折交叉验证,分别对四组实验的样本数据分类。绘制出字符闪烁重复次数与正确率之间的关系,如图 2 所示。

字符在重复闪烁 6~9 次之后,会达到一个较为平稳的正确率,随着字符闪烁重复次数的增多,并不能提高

技术与方法

Technique and Method

相应的正确率。所以在设计实验范式时,可以适当减少字符闪烁的重复次数,缩短实验时间,最终提高输入系统的效率。在图 2(a)、(b)中,红色数字的正确率比黑色数字的正确率高;图 2(b)、(d)中,红色数字的正确率要比红色汉字的正确率高很多,即在四组实验当中,红色数字的分类效果最好。

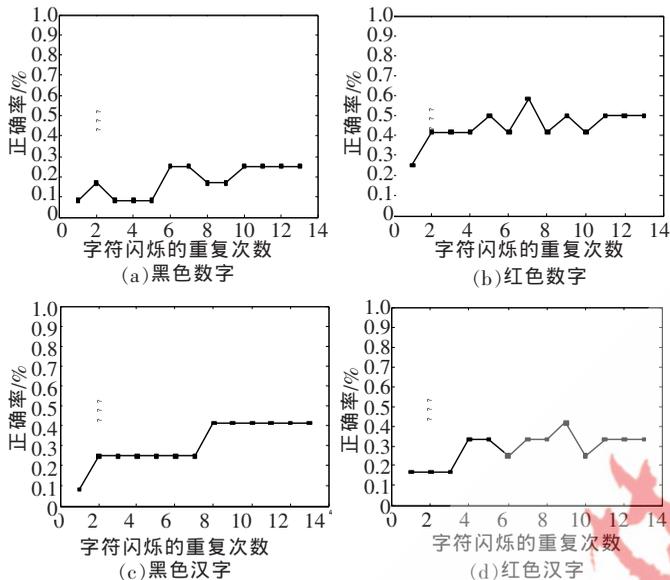


图 2 字符闪烁的重复次数与正确率的关系

综上所述:在图 1 中,红色数字的波形效果是最好的,目标刺激之后的初始阶段波形较为平稳,在 0.2~0.5 s 内,P300 峰值最大;在图 2 中,红色数字的分类正确率最高。鉴于人们对于阿拉伯数字的熟悉程度远远高于数字的大写汉字,及对于此密码输入系统的推广,确定出红色数字为最佳的刺激方式。

本文所设计的基于 ERP 的 BCI 新型输入系统,通过分别对比输入字符的形式及颜色,采用不同的实验参数进行了多次实验,将脑电信号的处理结果进行比较,确定出了实验范式的最佳刺激方式及合理的实验参数。

在数据采集过程中,由于实验室的条件有限,不能做到完全隔音,以后需要在更加严谨的实验环境中进

行。被试者在面对不停闪烁的字符时,很容易疲劳,眨眼是无法避免的,所以要尽量克服 BCI 任务的枯燥感,减少被试者的疲劳程度,使采集到的数据尽可能干净。今后的工作中,在利用 Fisher 分类时,还可以挑选出对 P300 起关键作用的通道或者仅选择刺激之后的 0.2~0.6 s 之间的数据进行分析,降低数据的维数,进一步提高 BCI 系统的效率。

参考文献

- [1] 赵仑.ERP 实验教程(修订版)[M].南京:东南大学出版社,2010.
- [2] HOFFMANN U, VESIN J M, EBRAHIMI T, et al. An efficient P300-based brain-computer interface for disabled subjects [J]. Journal of Neuroscience Methods, 2008, 167 (1):115-125.
- [3] (美)STEVEN J.LUCK 著.事件相关电位基础[M].范思陆,丁玉珑,曲折,等,译.上海:华东师范大学出版社,2008.
- [4] 张学新,方卓,杜英春,等.顶中区 N200:一个中文视觉词汇识别特有的脑电反应[J].科学通报,2012,57(5):332-347.
- [5] POLICH J. Updating P300: An integrative theory of P3a and P3b [J]. Clinical Neurophysiology, 2007, 118 (10): 2128-2148.
- [6] DUNCAN C C, BARRY R J, CONNOLLY J F, et al. Event-related potentials in clinical research: Guidelines for eliciting, recording, and quantifying mismatch negativity, P300, and N400 [J]. Clinical Neurophysiology, 2009,120 (1)1883-1908.

(收稿日期:2013-01-07)

作者简介:

王根,女,1985 年生,硕士研究生,主要研究方向:脑机接口系统。

方慧娟,女,1979 年生,讲师,博士,主要研究方向:神经网络理论,脑电信号分析。