

文章编号: 1006-3080(2019)03-0458-08

DOI: 10.14135/j.cnki.1006-3080.20180330002

基于多种灰度闪光刺激的 P300 脑-机接口性能研究

郭妙吉, 金 晶, 王行愚

(华东理工大学信息科学与工程学院, 化工过程先进控制和优化技术教育部重点实验室, 上海 200237)

摘要: 因 P300 脑-机接口系统的准确率和信息传输率较高, 已被广泛应用。研究表明, 视觉刺激的强度会影响脑-机接口的性能, 本文对此展开了相关范式研究。首先, 按人眼感知灰度的敏锐度将视觉刺激强度划分为 9 种灰度值并设计刺激范式; 然后, 通过实验采集 9 种灰度值刺激源诱发的 P300 电位数据; 最后, 对数据进行分析, 得到灰度值与 P300 电位强度和电位分类准确率的关系信息。实验结果表明, 振幅、潜伏期与灰度值之间存在一种波动增长关系, 同样, 灰度值与电位分类准确率也呈现此种关系, 为 P300 脑-机接口系统的刺激源设计提供了重要依据。

关键词: 脑-机接口; 灰度值; 闪光刺激; P300

中图分类号: TP29

文献标志码: A

脑-机接口 (Brain-Computer Interface, BCI) 是一种新型的人机交互技术, 它能够不依赖外围神经与肌肉即可完成对外部设备的控制, 并实现信息交互^[1-4]。脑-机接口不仅可以辅助残疾人实现生活自理, 还能在人类与机器之间建立一条全新的信息交互通道, 故而成为人机交互技术中的一个研究热点。

P300 信号是指刺激发生后约 300 ms 处出现的一个正向波峰^[5], 属于事件相关电位 (Event-Related Potential, ERP)^[6]的一种。基于 P300 的脑-机接口通常通过 Oddball 范式诱发较为明显的波形。Farewell 等^[7]于 1988 年设计了首个基于 P300 的拼写系统。P300 脑-机接口系统因其可以获得较高的分类准确率和信息传输速度, 是应用最广泛的脑-机接口系统之一。

视觉刺激强度 (Visual Stimulus Intensity) 是影响视觉诱发脑-机接口性能的因素之一^[8]。Polich 等^[9]的研究表明, 高强度视觉刺激比低强度刺激产生更高的 P300 幅值和更短的潜伏期。马伟忠等^[10]则从系统性能上展开研究, 将空心方框和实心方框分别设为低强度刺激和高强度刺激, 研究结果表明, 在识别准确率上, 高强度刺激比低强度刺激高出 3%。在信

息传输率上, 高强度刺激比低强度刺激提高了 8.9%。Jiang 等^[11]将红 (255, 0, 0) 白 (255, 255, 255) 转盘和黄 (255, 255, 0) 绿 (144, 238, 144) 转盘设为高强度刺激与低强度刺激进行对比实验, 结果前者的幅值显著高于后者, 而在潜伏期与准确率上无显著差异。Li 等^[12]利用亮度、对比度设置高强度刺激与低强度刺激, 结果前者的准确率显著高于后者。本文基于以上工作, 探究了不同灰度值在纯黑背景下, 不同灰度值的刺激对脑-机接口的准确率、信息传输率、振幅、潜伏期的影响, 并对诱发 P300 的 9 种灰度值进行了比较分析。

1 实验设计与方法

1.1 受试者情况

本研究共有 18 名志愿者参与, 其中男性 13 名, 女性 5 名, 均为在校研究生, 年龄为 23~25 岁, 视力正常或经矫正后正常。

1.2 灰度值设定

在 RGB 图像模式中, 每一通道的取值范围为

收稿日期: 2018-04-08

基金项目: 国家自然科学基金 (91420302, 61573142); 国家重点研发计划 (2017YFB13003002); 111 引智计划 (B17017)

作者简介: 郭妙吉 (1994-), 女, 浙江宁波人, 硕士生, 主要从事脑机接口范式设计、脑电信号分析的研究。E-mail: 1211836798@qq.com

通信联系人: 金 晶, E-mail: jinjingat@gmail.com

引用本文: 郭妙吉, 金 晶, 王行愚. 基于多种灰度闪光刺激的 P300 脑-机接口性能研究 [J]. 华东理工大学学报 (自然科学版), 2019, 45(3): 458-465.

Citation: GUO Miaoji, JIN Jing, WANG Xingyu. Effects of Stimulus with Multiple Grey Values on P300 Brain-Computer Interface [J]. Journal of East China University of Science and Technology, 2019, 45(3): 458-465.

0~255, 在计算机内部分别使用 8 位二进制数表示。由于本实验的 9 种灰度值刺激的 R、G、B 三通道设定值完全相同, 故 9 个灰度值等级可用对应的 9 种灰度值简化表示, 如表 1 所示。本实验的目标刺激含有 9 种灰度值, 每次出现刺激的灰度值随机, 不同灰度值出现的概率相同。

表 1 灰度值等级与灰度值对应关系
Table 1 Nine levels of grey values

Level	Grey value
1	219
2	197
3	174
4	151
5	128
6	105
7	75
8	51
9	20

1.3 范式设计与实验过程

本文基于经典行列范式并对其进行了改进。如图 1 所示, 在屏幕四周和中央各分布了大小为 106×106 像素的方块, 由灰色 (77, 77, 77) 细框标识, 默认色为黑色 (0, 0, 0), 同屏幕背景一致。显示器型号为

Lenovo UOAFG989, 分辨率 1 600×900像素, 光源为 LCD, 色域为 sRGB 模式, 显示器显示白色的光强约为 200 cd/m²。

完成一次实验的流程如图 2 所示, 可知本实验的离线部分共计 3 轮 (Run)。每轮实验中, 包含 5 组实验单元 (Epoch), 即识别 5 个目标。当目标刺激出现时要求受试者默数次数, 共进行 16 次实验 (Trial), 故一名受试者完成离线实验需要完成 16×5×3=240 Trials, 其中刺激间隔 (Stimulus Onset Asynchrony, SOA) 为 400 ms, 刺激持续时间为 200 ms。实验开始时, 系统会给出目标刺激所在位置, 用空心方形小框表示并持续 3 s, 随后, 当该位置出现任何灰度值的闪光时, 受试者均需默数计数, 并无视其他位置的非目标刺激, 直到系统提示下一个实验单元 (Epoch) 开始, 空心方形小框再次出现, 则更改注视对象继而对新的提示位置开始重新计数, 以此类推。每个 Run 之间受试者可以休息 10~15 min。其中图 1(a) 表示第 1 个 epoch 的目标提示框出现; 图 1(b) 表示注视目标方块, 每当其出现闪光时则计数; 图 1(c) 表示第 1 个 epoch 完成, 即完成一个 Rrun 的 1/5, 出现下一个 epoch 目标提示框; 图 1(d) 表示注视新目标方块, 规则同上, 以此类推。

在线实验则是受试者对一个目标至少进行两次计数后, 系统屏幕上直接反馈识别结果 (即 8 个位置对应的 A~H 字符) 的一种实验形式。在线反馈由离线数据训练得到的分类模型分类的结果产生, 另外,



a—Square frame reminding the target area in the first epoch; b—Flicker to be counted in the target area; c—Showing the end of the first epoch and where to stare in the next epoch; d—Re-counting the flicker appearing in the new target area

图 1 实验范式

Fig. 1 Experimental paradigm

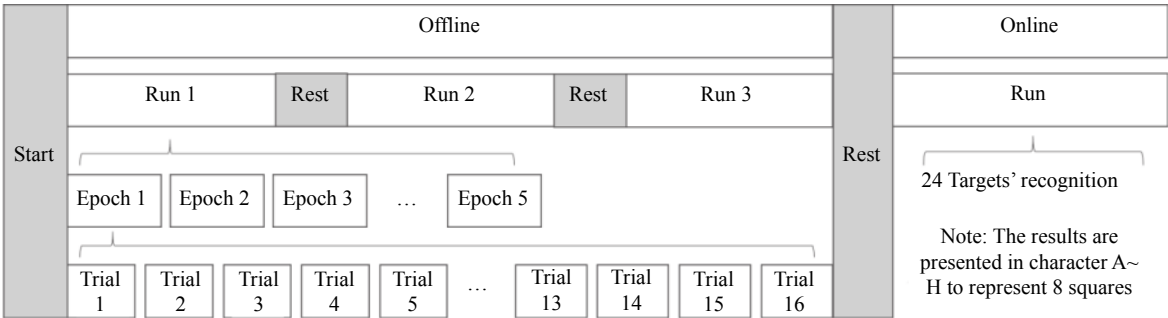


图 2 实验流程图

Fig. 2 Flow chart of offline and online experiment

其分类过程中采用一种自适应方法使得一个目标的在线识别次数会远远小于离线实验,从而缩短在线实验时间,提高系统效率。整个在线实验共计识别24个目标,根据提示空心框对目标刺激进行计数,且连续执行无休息。

1.4 数据采集

脑电波 (Electroencephalogram, EEG) 数据通过 g.EEGcap 电极帽和 g.USBamp 放大器采集得到,放大器的灵敏度为 $100 \mu\text{V}$, 采样率为 256 Hz 。使用的导联为 Fz、FC1、FC2、C3、Cz、C4、P3、Pz、P4、O1、Oz、O2、P7、P8、F3、F4 共 16 个,地极为 FPz, 参考电极(R)为右耳垂,电极放置如图 3 所示。

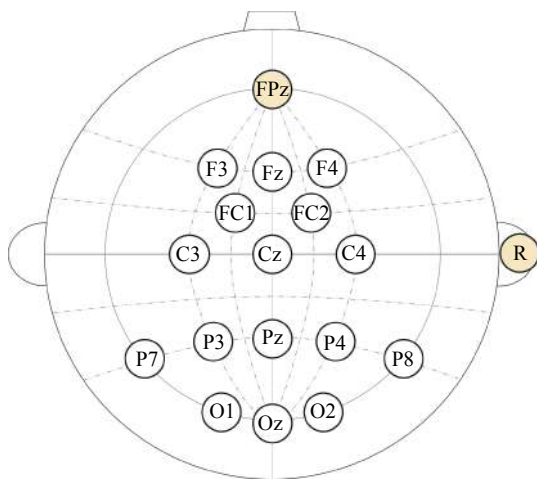


图 3 电极分布图

Fig. 3 Configuration of electrodes

1.5 数据处理

离线数据处理包括两个阶段:特征提取和分类识别。

第一阶段,采用三阶 Butterworth 滤波器对 $0.1 \sim 30 \text{ Hz}$ 频段数据进行带通滤波,并对滤波后的数据进行下采样,把 256 Hz 的数据下采样到 36.6 Hz ,即每 7 个数据点取其中一点。对刺激发生前 100 ms 至刺激发生后 800 ms 的数据进行提取特征,将下采样后的数据进行整理,故每名受试者经过 3 轮离线实验后均可得一个 $16 \times 30 \times 1920$ 的三维矩阵,供训练分类模型。

第二阶段,采用贝叶斯线性判别分析 (Bayesian Linear Discriminant Analysis, BLDA) 方法训练分类器。该方法由 Hoffmann 等^[13]首次于 2008 年提出,适用于解决高维数据和含噪数据的过拟合问题,在事件相关电位的识别中取得了优异的分类效果。

在线实验中,在线数据经分类器得出识别结果并反馈在屏幕上。采用 Jin 等^[14]提出的在线自适应控制方法来缩短实验时间,提高系统效率。当一个

目标连续两个 Trial 的识别结果一致时,系统会自动输出该结果对应的英文字母,相反,如果运行完全部 16 个 Trial 后依然无法满足连续两个结果一致,则输出 16 个结果中最高概率值所对应的英文字符。

2 实验结果与分析

2.1 离线数据分析

2.1.1 不同灰度值刺激对 P300 识别准确率和信息传输率的影响 按灰度值将数据分为 9 组,通过 15 折交叉验证获得单次 Trial 准确率,并计算相应的信息传输率 (Information Transfer Rate, ITR)^[2],公式如下:

$$B = \log_2 N + \text{Acc} \cdot \log_2 \text{Acc} + (1 - \text{Acc}) \cdot \log_2 \left(\frac{1 - \text{Acc}}{N - 1} \right) \quad (1)$$

$$\text{ITR} = \frac{B \cdot 60}{t} \quad (2)$$

式中: N 为一个 Trial 中等概率发生的目标个数,本文中 $N=8$, 屏幕中 8 块刺激区域发生闪光的几率相等,均为 $1/8$; Acc 是受试者关于一个灰度值的准确率; B 为相应灰度值的比特率; t 为单次 Trial 所需时间; ITR 的单位为 bit/min 。图 4 示出了 18 名受试者 (S1 ~ S18) 关于 9 个灰度等级的准确率和信息传输率以及平均值折线。从图 4 可知,前 8 个灰度等级的平均准确率在 75% 以上,而灰度等级 9 的准确率在 30% 左右;灰度等级 1~8 的信息传输率为 $25 \sim 35 \text{ bit/min}$, 灰度等级 9 的信息传输率则低于 10 bit/min 。

为了进一步分析灰度值对准确率与信息传输率的影响,首先通过 R-J 检验 (Ryan-Joiner test)^[15-16] 检验数据正态性,再利用 Mauchly 氏检验法 (Mauchly's Sphericity Test)^[17] 检验球形性,在以上两次检验基础上进行单因素重复测量方差分析 (One-Way repeated Measures Anova)^[18] 检验灰度因素的显著性,并进行两两组别的显著性分析。

离线分析表明,灰度值的 9 个水平对准确率 ($F(8, 136) = 25.801, p < 0.05$)、信息传输率 ($F(6, 102) = 27.516, p < 0.05$) 均存在显著影响。准确率、信息传输率关于灰度等级的平均值折线图如图 5 所示。可以看出,准确率(图 5(a))、ITR (图 5(b)) 的整体趋势均为波动下降,灰度等级 2 的准确率与信息传输率达到相对最高,分别为 81.8% 和 35.0 bit/min 。为了进一步分析两两灰度组别的显著性情况,选择最小显著性差异法 (Least-Significant Difference, LSD) 进行事后检验 (Post-hoc analysis)。结果显示,准确率方面,灰度等级 9 与其他 8 个灰度等级均呈显著差异 ($p < 0.01$); 灰度等级 2 与灰度等级 7 ($p < 0.01$)、灰度等级

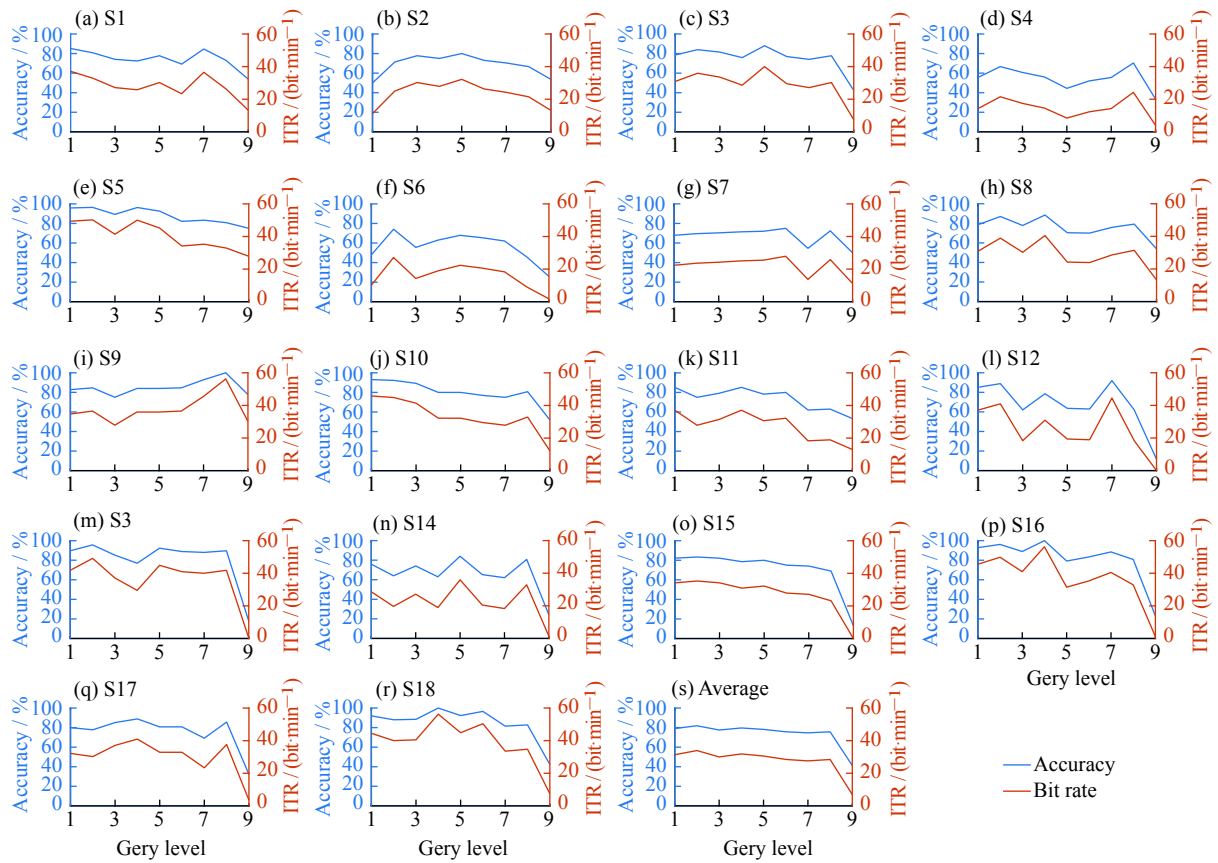


图4 18名受试者关于9个灰度等级的准确率和信息传输率以及平均值折线图

Fig. 4 Accuracy and ITR on nine grey levels through overlapping averaging per subject

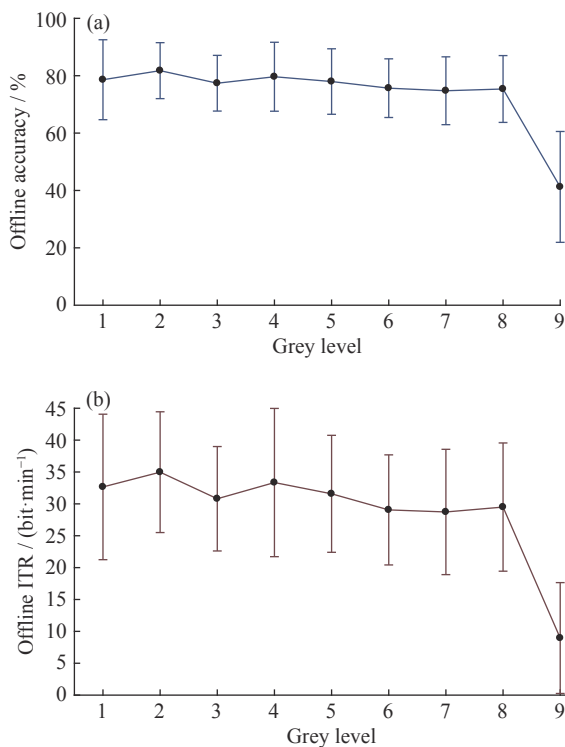


图5 准确率、信息传输率关于灰度等级的平均值折线图

Fig. 5 Bar graphs of accuracy and ITR

6($p<0.05$)、灰度等级8($p<0.05$)呈显著差异。信息传输率方面, 灰度等级9与其他8个灰度等级差异显著($p<0.01$); 灰度等级2与灰度等级7($p<0.01$)、灰度等级3($p<0.05$)、灰度等级6($p<0.05$)差异显著; 灰度等级4和灰度等级6($p<0.05$)差异显著。

2.1.2 不同灰度值刺激对P300潜伏期与振幅的影响

(1) 单导联Pz。由于P300信号易淹没在背景噪声和自发脑电中, 所以一般采用叠加平均的方法获得较为纯净的P300波形。参照文献[19], 选用Pz导联进行P300振幅与潜伏期研究, 并画出Pz导联在不同灰度值下目标与非目标的幅值图。在刺激发生前的100 ms至发生后的800 ms时间范围内, 发现P300的目标与非目标波形在灰度等级为1~6和9的情况下区分明显。如图6所示, 每个幅值图下对应了N200负波与P300正波的峰值时刻点的脑地形图, 并将潜伏期与幅值信息绘制于图7, 便于比较灰度值与潜伏期和幅值的内在关联。

灰度值对潜伏期没有显著影响($F(6, 105)=2.136$, $p=0.054>0.05$), 且各组别两两比较也未得显著性差异。其中, 灰度等级1的平均潜伏期最短, 为275.8 ms, 灰度等级9的平均潜伏期最长, 为303.8 ms。

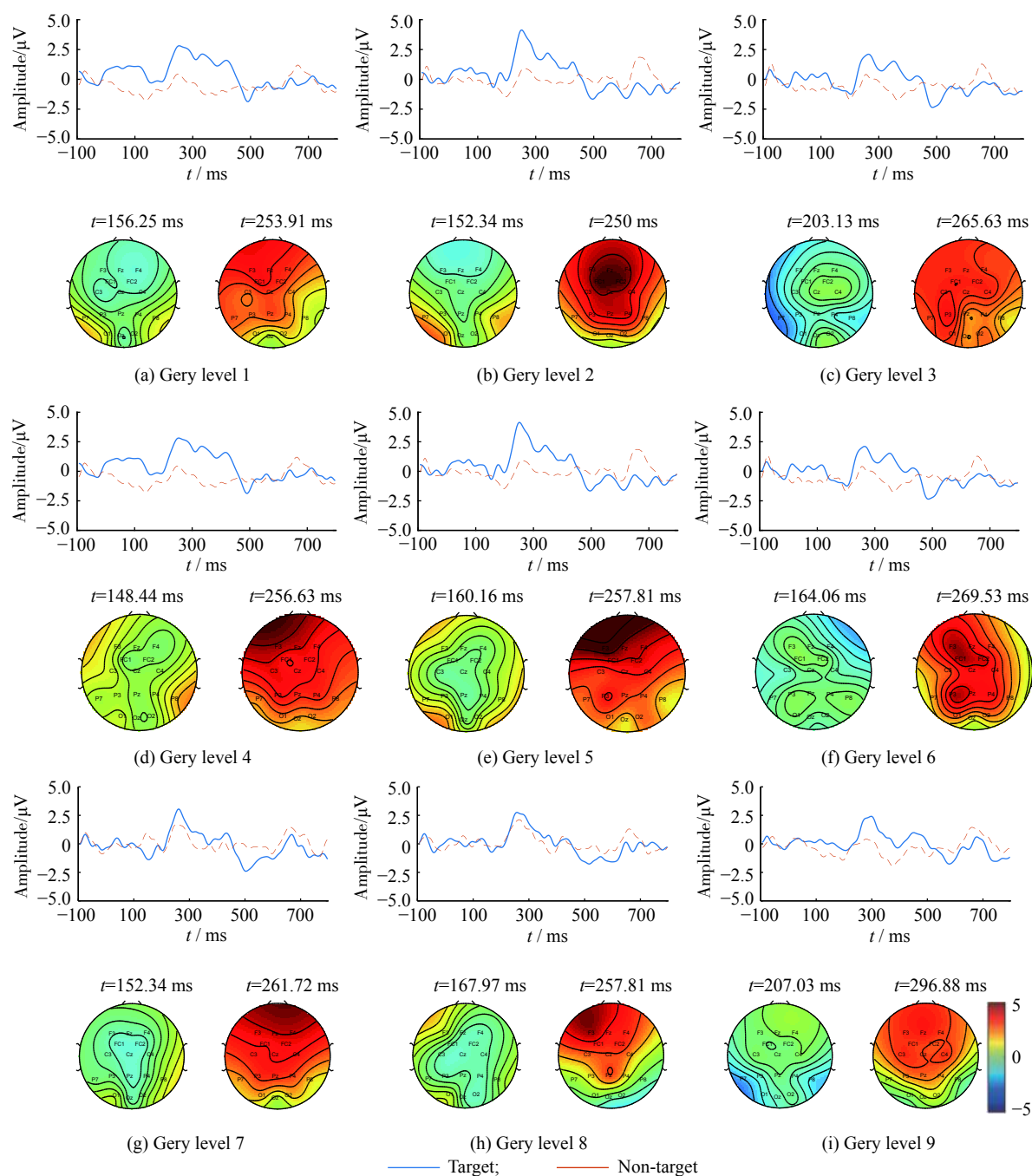


图6 导联 Pz 关于 9 种灰度的叠加平均幅值图以及脑地形图

Fig. 6 Averaged P300 waveforms with topographic maps at Pz for target and non-target

灰度值对振幅无显著影响 ($F(4, 73)=1.22, p=0.31>0.05$), 事后多重比较未发现组间显著。其中, 灰度等级 2 的平均幅值最高, 为 $6.0 \mu\text{V}$, 灰度等级 9 的平均幅值最低, 为 $4.2 \mu\text{V}$ 。

(2) 分区多导联。将 16 导联分为中央区 (Fz, Cz, Pz, Oz)、左半脑区 (FC1, C3, P3, O1, P7, F3) 和右半脑区 (FC2, C4, P4, O2, P8, F4)^[11], 比较不同灰度等级的潜伏期和振幅情况。

图 8(a) 显示左右脑区的潜伏期高于中央区, 灰度等级 1~8 的左脑区潜伏期几乎相等, 灰度等级 9 的

左脑区潜伏期高于右脑区; 分区来看, 左脑区不同灰度等级的潜伏期有显著差异 ($F=3.33, p=0.044<0.05$), 经 LSD 得灰度等级 9 显著高于其他 8 个组别 ($p<0.05$); 中央区不同灰度等级的潜伏期无显著差异 ($F=1.54, p=0.1906>0.05$), 多重比较中灰度等级 9 的潜伏期也显著高于其他组别; 右脑区不同灰度的潜伏期也无显著差异 ($F=1.09, p=0.386>0.05$), 多重比较中灰度等级 9 分别与灰度等级 1 ($p=0.0299$)、灰度等级 2 ($p=0.0184$)、灰度等级 3 ($p=0.0255$) 呈显著差异。

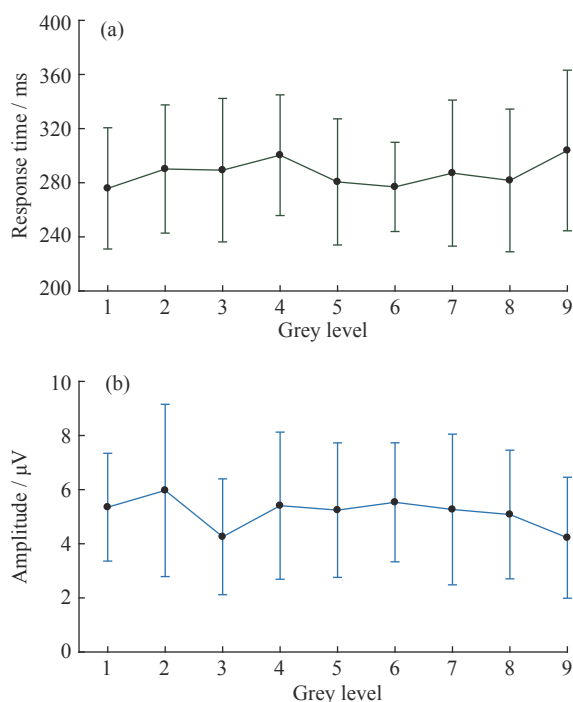


图7 Pz导联的潜伏期-灰度与振幅-灰度的均值标准差折线图

Fig. 7 Averaged response time and amplitude at Pz

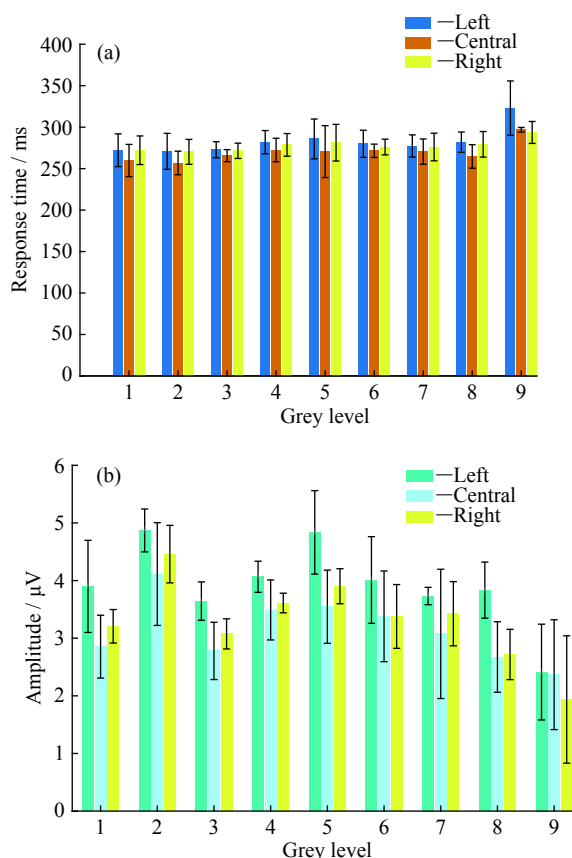


图8 P300潜伏期与幅值的分脑区对比

Fig. 8 Response time and amplitude comparison of P300

图8(b)显示左脑区振幅在各灰度等级上均高于其他两区, 灰度等级1~8的中央区振幅都低于左右两

区; 分区来看, 左脑区不同灰度等级的振幅有显著差异 ($F=7.8, p<0.05$), 经 LSD 得灰度等级 2 和灰度等级 5 显著高于其他 7 个组别 ($p<0.05$), 灰度等级 9 显著低于其他 8 个组别 ($p<0.05$); 中央区不同灰度等级的振幅无显著差异 ($F=1.52, p=0.1982>0.05$), 但灰度等级 2 分别与灰度等级 3 ($p=0.043$)、灰度等级 8 ($p=0.0278$)、灰度等级 9 ($p=0.0089$) 呈显著差异; 右脑区不同灰度值的振幅有显著差异 ($F=8.99, p<0.05$), 且振幅最小的灰度等级 9 显著小于其他组别, 振幅最高的灰度等级 2 除了灰度等级 5 外都显著高于其他组别。

2.2 在线实验结果

在线实验结果如图9所示。在各灰度等级平均准确率与信息传输率上, 灰度等级 3 表现最优, 分别达到 $(82\pm 15)\%$ 和 (43.29 ± 12.88) bit/min; 在平均叠加次数和耗时上, S12 的平均叠加次数最少, 为 3 次, 故耗时最短, 为 254.4 s; 灰度等级 1 和灰度等级 3 均有 5 人达到 100% 的准确率。经图9(a)箱线图比较可以看出, 灰度等级 1 和灰度等级 3 的 Q1 (上四分位) 和 Q3 (下四分位) 几乎一致, 灰度等级 3 的下触须短于灰度等级 1 且中位数位于箱体中央, 整体分布对称、集中性好于灰度等级 1, 故灰度等级 3 在线准确率表现最佳; 图9(b)中, 灰度等级 3 的 Q1 和 Q3 是全组别最高, 箱体集中性较好。另一方面, 灰度等级 9 的准确率最低, 信息传输率也最低, 在线测试效果不佳, 故不宜选用。

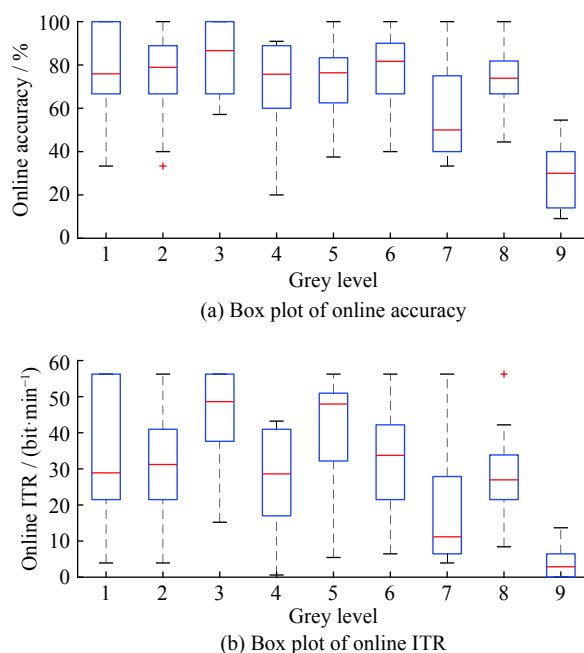


图9 9个灰度等级下的系统在线性能

Fig. 9 Online system performance based on nine grey levels

3 结果与讨论

把刺激灰度值划分为9个肉眼可区分的灰度等级,通过采集并分析受试者注视不同灰度目标的数据来研究多种灰度对脑-机接口性能的影响,实验发现诱发信号的分类准确率并非单纯地随着灰度值上升而提高。

从图5可见,离线准确率与ITR随着灰度等级的降低而波动下降,其中灰度等级2的离线准确率最佳,并且离线信息传输率也在灰度等级2时达到最高;而在线结果则显示灰度等级3在所有灰度等级中取得了最高的平均值和稳定的标准差,是各灰度等级中表现最优的,平均在线准确率为82.0%,平均信息传输率为43.3 bit/min。对于灰度等级9,由于灰度值最低,其诱发信号的可识别性显著低于其他灰度等级。

在潜伏期与振幅方面,文献[9]表明刺激强度的增加会增加P300振幅并减小其潜伏期。本文针对Pz电极进行分析,结果显示9个灰度等级在Pz处的潜伏期并无显著差异,其中灰度等级9相较其他灰度等级潜伏期最长,平均值为304.0 ms,而灰度等级1和灰度等级6的潜伏期最短,为276.0 ms和277.0 ms;另外,灰度等级9的平均振幅最小,为4.2 μV ;灰度等级2的平均振幅最大,为6.0 μV 。实验数据表明,潜伏期随着灰度等级的降低而波动增长;在同种灰度等级下,中央区诱发的信号潜伏期要低于左右脑区。

4 结论

本文的主要目的是探索灰度值与P300脑-机接口性能的关系,从性能指标(识别准确率、信息传输率)和波形指标(潜伏期、振幅)上综合比较了不同灰度值带来的变化和影响,得到其随灰度值波动变化的趋势关系,为P300范式设计中的灰度值选择提供依据。

参考文献:

- [1] WOLPAW J R, BIRBAUMER N, HEETDERKS W J, *et al.* Brain-computer interface technology: A review of the first international meeting[J]. *IEEE Transactions on Rehabilitation Engineering*, 2000, 8(2): 164-173.
- [2] WOLPAW J R, BIRBAUMER N, MCFARLAND D J, *et al.* Brain-computer interfaces for communication and control[J]. *Clinical Neurophysiology*, 2002, 113(6): 767-

- 791.
- [3] BLANKERTZ B, MÜLLER K R, CURIO G, *et al.* The BCI competition 2003: Progress and perspectives in detection and discrimination of EEG single trials[J]. *IEEE Transactions on Bio-medical Engineering*, 2004, 51(6): 1044-1051.
- [4] VAUGHAN T M, HEETDERKS W J, TREJO L J, *et al.* Brain-computer interface technology: A review of the second international meeting[J]. *IEEE Transactions on Neural Systems & Rehabilitation Engineering*, 2003, 11(2): 94-109.
- [5] SUTTON S, TUETING P, ZUBIN J, *et al.* Information delivery and the sensory evoked potential[J]. *Science*, 1967, 155(3768): 1436-1439.
- [6] KAUFMANN T, HERWEG A, KÜBLER A. Toward brain-computer interface based wheelchair control utilizing tactually-evoked event-related potentials[J]. *Journal of Neuroengineering & Rehabilitation*, 2014, 11(1): 1-17.
- [7] FARWELL L A, DONCHIN E. Talking off the top of your head: Toward a mental prosthesis utilizing event-related brain potentials[J]. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology*, 1988, 70(6): 510-523.
- [8] 李奇, 刘帅, 史凯阳, 等. 基于P300脑机接口系统实验范式的研究现状[J]. *电子科技*, 2015, 28(5): 164-168.
- [9] POLICH J, ELLERSON P C, COHEN J. P300, Stimulus intensity, modality, and probability[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 1996, 23(1): 55-62.
- [10] 马忠伟, 高上凯. 基于P300的脑-机接口: 视觉刺激强度对性能的影响[J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 2008, 48(3): 415-418.
- [11] JIANG Y, HONG J, LI X L, *et al.* Analysis on visual ergonomics of instrument display system through event-related-potential[C]//*IEEE International Inter-Disciplinary Conference on Cognitive Methods in Situation Awareness and Decision Support*. USA: IEEE, 2014: 35-39.
- [12] LI Y, BAHN S, CHANG S N, *et al.* Effects of luminosity contrast and stimulus duration on user performance and preference in a P300-based brain computer interface[J]. *International Journal of Human Computer Interaction*, 2014, 30(2): 151-163.
- [13] 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.
- [14] JIN J, SELLERS E W, ZHOU S, *et al.* A P300 brainu 2013 computer interface based on a modification of the mismatch negativity paradigm[J]. *International Journal of Neural Systems*, 2015, 25(3): 157-584.
- [15] KONING A J. Normality Tests[M]. USA: John Wiley & Sons Ltd, 2008.

- [16] MELLOR C, RYAN B F, JOINER B L, *et al.* Minitab Handbook[M]. USA: Journal of the Royal Statistical Society, 1986.
- [17] MAUCHLY J W. Significance test for sphericity of a normal n -variate distribution[J]. *Annals of Mathematical Statistics*, 1940, 11(2): 204-209.
- [18] HERTZOG C, ROVINE M. Repeated-measures analysis of variance in developmental research: Selected issues[J]. *Child Development*, 1985, 56(4): 787-809.
- [19] SELLERS E W, KRUSIENSKI D J, MCFARLAND D J, *et al.* A P300 event-related potential brain-computer interface (BCI): The effects of matrix size and inter stimulus interval on performance[J]. *Biological Psychology*, 2006, 73(3): 242-252.

Effects of Stimulus with Multiple Grey Values on P300 Brain-Computer Interface

GUO Miaoji, JIN Jing, WANG Xingyu

(Key Laboratory of Advanced Control and Optimization for Chemical Processes, Ministry of Education, School of Information Science and Engineering, East China University of Science and Technology, Shanghai 200237, China)

Abstract: P300-based brain-computer interface (BCI) has been widely applied due to its high accuracy and information transfer rate (ITR). Previous research showed that the intensity of visual stimuli would affect the performance of brain-computer interface systems. In this paper, we proposed a novel configuration of visual stimulus on grey value. Firstly, the RGB full range (from 0 to 255) was divided into 9 levels according to the grey-scale sensitivity of the human eye. This is for exploring the intrinsic effects brought by the grey value about the amplitude and response time (RT) of P300 wave, and the accuracy and ITR of the BCI system. In this new paradigm, 9 kinds of stimuli were displayed in the assigned squares distributed on the black (255, 255, 255) background. During this process, the stimulus was presented with random grey values in target squares or in non-target ones, which required every subject to focus his/her mind on every target flicker in the target square in spite of the differences in grey values. 18 healthy subjects were invited to do the experiment where 16 channels were utilized. It was found that the increasing in grey value produced fluctuation increasing in amplitude, accuracy and ITR, while the increasing in grey value resulted in decreasing in RT with fluctuations. Moreover, the grey value 2 showed the highest averaged offline accuracy, ITR and amplitude of P300, while the grey value 3 performed the highest averaged online accuracy and ITR. These results provided evidence for stimulus design and grey value selection.

Key words: brain-computer interface; grey value; flash stimulation; P300