

利用 Fisher 判别式和事件相关电位的 心理意识真实性识别

赵敏¹, 郑崇勋¹, 赵春临^{1,2}, 刘建平²

(1. 西安交通大学生物医学工程教育部重点实验室, 710049, 西安; 2. 武警工程学院通信工程系, 710086, 西安)

摘要: 提出一种基于 Fisher 判别式和事件相关电位(ERP)的心理意识真实性识别新方法,以可识别的有意义的个人信息(如姓名、生日)作为被测试信息,应用隐藏信息测试(CIT)模式对 15 名受试者进行了测试并记录其脑电信号.将多通道 ERP P300 幅度和受试者的反应时间组成特征参数,利用 Fisher 判别式进行心理意识真实性识别分类,获得 93.3%的平均识别率,明显高于以往研究方法的识别率.因此,基于多通道 ERP 和 Fisher 判别式的方法具有无创性及较高识别率等优点,可以作为一种心理意识真实性检测的新方法.

关键词: 心理意识;事件相关电位;Fisher 判别式;测谎

中图分类号: R318.04;R395.9 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)08-0132-05

Identification of Mentality Facticity Based on Fisher Discriminant Analysis and Event-Related Potentials

ZHAO Min¹, ZHENG Chongxun¹, ZHAO Chunlin^{1,2}, LIU Jianpin²

(1. Key Laboratory of Biomedical Information Engineering of Education Ministry, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China;
2. Communication Engineering Department, Engineering College of Armed Police Force, Xi'an 710086, China)

Abstract: Fisher discriminant analysis (FDA) and event-related potentials (ERP) are adopted to identify mentality facticity or detect lie. Some identifiably meaning information, such as subject name and birthday, are selected as the concealed information to be identified, 15 subjects were tested by concealed information test (CIT) paradigm and their electroencephalographs (EEG) are recorded. Multi-channel ERP P300 amplitude and reaction time of subject are used as the feature parameters and an FDA is applied to identify mentality facticity with a 93.3% of the detection correctness, which is higher than that of methods in the previous researches, and the advantages of non-invasion in the proposed method get obvious.

Keywords: mentality; event-related potential; Fisher discriminant analysis; lie detection

心理意识真实性是人脑对客观存在的反映.通常人们在社会交往中利用各种行为或语言来掩饰或否定自己的真实意识以达到欺骗对方的目的,多数含有刻意的欺骗,成为社会和经济发展的不安定因素.因此,心理意识真实性检测,俗称测谎,成为刑侦、反恐、安全审查、认知损伤评估及人事测评等部门迫切需要的技术.目前,普遍使用的测谎技术是多

道心理测试,测试机理主要依据的是人在说谎时的恐惧、紧张等情感反应引发的由自主神经系统调节的生理反应值的异常,而这些反应值极易受到主观心理因素(焦虑、紧张等)的影响,其局限性促使应用脑电(EEG)信号研究心理意识真实性得到广泛的关注.

在应用 EEG 信号的测谎研究中,基于事件相关

电位(ERP)P300 的检测方法可能是最成熟的. 早期的研究报告显示识别率为 85%~90%,但是近期的研究报告显示识别率仅为 33%~90%^[1-4]. 基于 ERP P300 的传统检测方法,如自举幅度差异法(BAD)和自举相关系数差异法(BCD),仅仅利用单个通道的 P300 幅度信息区分诚实和欺骗性反应,因此其识别率在很大程度上依赖于单通道 P300 幅度的稳定性. 文献[2]指出,单一的 P300 幅度容易受到一些简单反对策和噪声的影响,所以有必要应用多参数分析方法和模式识别分类方法来提高心理意识真实性的识别率,而反应时间可以反映受试者在欺骗执行过程中的认知控制和冲突反应方面的变化^[5]. 为此,本文提出以多通道 ERP 和行为数据作为多特征参数、应用 Fisher 判别式识别心理意识真实性的新途径.

1 Fisher 判别分析

1.1 Fisher 判别分析方法

Fisher 判别分析方法的基本思想是投影,即将高维数据点投影到低维空间上,根据类间方差最大、类内方差最小的原则确定判别函数. Fisher 判别函数取线性判别函数形式

$$w_1x_1 + w_2x_2 + \cdots + w_nx_n = \sum_{i=1}^n w_ix_i$$

其中判别系数就是投影向量 $w=(w_1, w_2, \cdots, w_n)^T$, 根据类间方差最大、类内方差最小原则,寻找优化的 Fisher 判别式等于最大化的 Fisher 判别准则^[6-7]

$$F_{FDR} = \frac{w^T S_b w}{w^T S_w w} \tag{1}$$

式中: S_b 和 S_w 分别是类间样本离差矩阵和类内样本离差矩阵. 最后投影向量 w 满足数学模型 $(S_b - \lambda S_w)w=0$,求得满足该式的最大特征值 λ_0 对应的特征向量 $w_0=(w_{01}, w_{02}, \cdots, w_{0n})^T$,则判别函数 $f(x)=w_0^T x$.

1.2 Fisher 判别效果评价

为考察上述判别准则是否优良,采用留一交叉验证法^[8]计算识别率. 从总类别为 G_i 、容量为 n_i 的样本 $X^{(i)}_a=(x^{(i)}_{a1}, x^{(i)}_{a2}, \cdots, x^{(i)}_{ap})^T (\alpha=1,2,\cdots,n; i=1,2,\cdots,m)$ 中依次取出 1 组样本作为测试样本,用其他 $\sum n_i - 1$ 组样本作为训练样本,建立判别函数,然后把测试样本带入建立的判别函数中,利用判别准则进行判别. 设总的误判个数为 N ,则识别率 $\eta=(1-\frac{N}{n_1+n_2+\cdots+n_m}) \times 100\%$.

2 实验及数据采集

实验对象为在校学生自愿者 15 名,包括本科生和研究生,没有任何精神疾病和脑病病史,男性 11 名,女性 4 名,年龄为 21~24 岁,视力或矫正视力正常. 实验时间为上午 9:30~10:30 或下午 3:30~4:30,整个实验过程在正常照明、安静、尽量舒适的室内环境进行. 每个受试者完成两组实验,要求受试者在测试过程中尽量避免身体移动.

采用受试者的真实姓名和无关姓名、真实生日和无关日期作为两组实验的被测试信息,以“你是 $\times \times \times$?”、“生日是 $\times$ 月 $\times$ 日?”的形式出现,测试序列的编排和出现依据典型的 CIT 范式^[1,3-4],包括 3 类刺激信息.

(1)探测刺激. 测试者和被测试者都知晓的真实信息(真实姓名或生日),但受试者试图隐瞒并故意否认的项,回答“不是”,即说谎项.

(2)无关刺激. 与探测刺激同类性质的非真实信息(无关姓名或日期),也是要求受试者回答“不是”,在本实验的两组测试中分别是 5 个陌生人的姓名和与生日无关的日期信息.

(3)靶刺激. 由测试者专门指定的无关刺激,但是要求受试者当该刺激信息出现时完成与其他两类信息相反的反应任务,即肯定回答“是”,其作用主要是要求受试者在测试过程中集中注意力并监督其是否配合实验. 在本实验中,为了统一回答问题时“是”和“不是”的对应关系,我们对靶刺激信息做了修改,以我们指定一个受试者认识人的姓名以“你认识 $\times \times$?”和“国庆是 10 月 1 日?”的提问作为靶刺激.

每组测试随机出现 160 次,无关刺激为 112 次(70%),探测刺激和靶刺激各 24 次(15%),刺激呈现的时间为 1.5 s,刺激之间间隔为 2.0~2.2 s. 受试者者按照实验要求,对随机出现的刺激问题判断后以尽快按下鼠标“左键”或“右键”的形式回答“是”或“不是”. 一组测试完成后受试者休息 5 min 后进行下一组测试.

用标准 10-20 导联头皮电极系统 32 导电极帽采集 EEG 数据,记录 FP1、FP2、F7、F3、Fz、F4、F8、FT7、FC3、FCz、FC4、FT8、T7、C3、Cz、C4、T8、TP7、CP3、CPz、CP4、TP8、P7、P3、Pz、P4、P8、O1、Oz、O2 共 30 通道脑电信号,同时记录垂直眼电(EOG),参考电极为双侧乳突,前额接地,放大器的通带频率为 0.3~70 Hz,采样频率为 1 kHz,各导联阻抗均小于 5 k Ω . 采集的数据经去除眼电伪迹,取刺激出现前

500 ms 到后 1 500 ms 的数据做分析,平均各类刺激的分段数据得到对应各类刺激的 ERP 数据,然后对 ERP 数据进行 0.5~31.5 Hz 的数字滤波处理。

3 特征分析

特征分析的主要目的是评估所选择的特征参数对于诚实性和欺骗性反应的可区分性,具体到实验中就是评估所选择的特征参数是否可以有效地区分探测刺激和无关刺激。本文主要从受试者的行为数据和 ERP 两个方面选择特征参数,并应用单因素方差分析方法评估其有效性。

3.1 行为数据特征

通过 stim4.2 软件记录行为数据,主要分析受试者对刺激信息的反应时间。取受试者对 3 类刺激信息的平均反应时间作为行为数据特征参数,所有受试者对探测刺激和无关刺激的平均反应时间的均值和标准差如表 1 所示,受试者对探测刺激的反应时间大于对无关刺激的反应时间(t)。单因素方差分析显示,与刺激类型相关的反应时间之间的差异显著, $F(1,58)=11.629,P=0.001$ 。

表 1 对应于两类刺激的 P300 幅值及反应时间的均值和标准差

刺激类型	P300 幅值/ μV			t /ms
	Cz	CPz	Pz	
探测刺激	15.22±5.76**	17.41±5.98**	13.74±6.23**	668±145**
无关刺激	5.97±3.34	7.34±3.70	6.52±3.65	534±97

注:表中带**的数据表示 $P<0.001$ 。

3.2 ERP 特征

本研究通过提取 EEG 信号的特征参数来区分诚实性和欺骗性反应,具体到实验中就是通过提取探测刺激、无关刺激诱发的 ERP 信号特征来区分探测刺激和无关刺激,即提取 Cz、CPz、Pz 3 个通道的 P300 幅值。用峰-峰值方法计算 P300 幅值^[2],即在刺激出现后的 300~800 ms 找到长度为 100 ms 数据段的正的最大平均值,该数据段的中点对应的时间为 P300 潜伏期,从潜伏期到 1 500 ms 之间找长度为 100 ms 数据段的一个负的最大平均值,正、负最大值数据段的中点的差即为 P300 幅值测量值。

图 1 分别为 3 个通道的 ERP 总平均波形,从图中可以明显看出,探测刺激的总平均 ERP 幅值在 300~500 ms 之间,明显大于无关刺激对应值。以刺激类型相关的单因素方差分析结果显示,3 个通道

的 P300 幅值在探测刺激和无关刺激之间都存在显著性差异:Cz 电极的 $F(1,58)=57.763,P<0.001$; CPz 电极的 $F(1,58)=61.434,P<0.001$; Pz 电极的 $F(1,58)=29.947,P<0.001$ 。

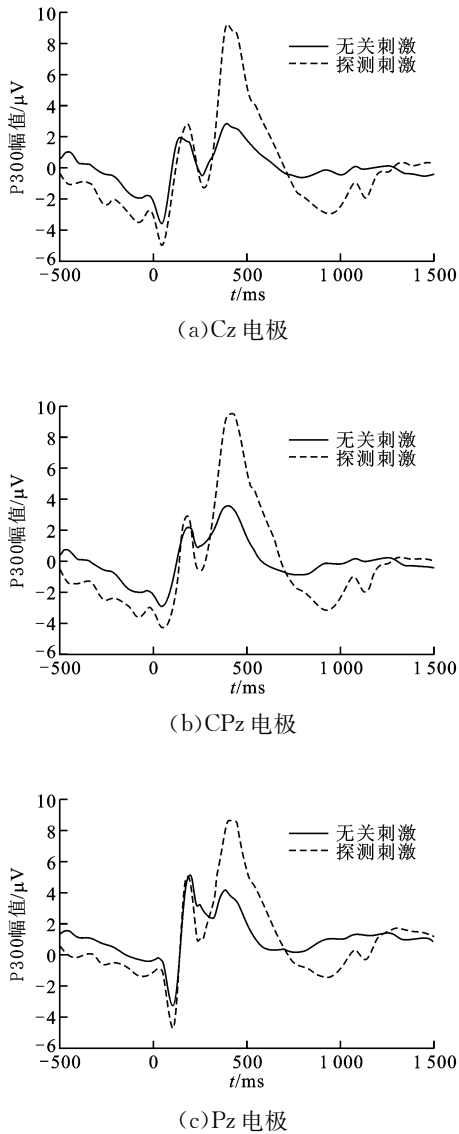


图 1 两类刺激信息在 Cz、CPz 和 Pz 电极诱发的总平均 ERP

4 结果与讨论

行为数据的分析结果显示,受试者对于探测刺激的反应时间显著高于对无关刺激的反应时间($P=0.001$)。这一结果说明,受试者在执行欺骗的过程中需要更大的认知控制和冲突反应^[5],从而导致更慢的反应时间,这与文献^[5]的结论一致。

ERP 分析结果显示,探测刺激在 Cz、CPz 和 Pz 3 个电极诱发的 ERP P300 幅值显著高于无关刺激诱发的 P300 幅值,与先前的研究结果一致^[1,3-4]。这

是由于 CIT 测试范式类似于经典的“oddball”范式,利用刺激序列中的小概率事件诱发 P300 成分. 尽管在测试序列中探测刺激和无关刺激属于同类型刺激,测试过程中受试者对两类刺激都做了否定的回答,但是受试者的大脑对探测刺激(自己的姓名和生日)的认知程度高于无关刺激而使其成为小概率事件,从而诱发明显的 P300 成分. 这说明,事件相关电位 P300 可以有效监测受试者试图隐藏的信息,只与受试者对刺激信息的认知相关,而不受人的主观意志控制.

特征参数分析结果显示,反应时间和多个电极的 P300 幅值在无关刺激和相关刺激之间呈相似的变化趋势. 因此,本研究在提取多特征参数 (Cz、CPz、Pz 幅值和反应时间) 的基础上,应用 Fisher 线性判别函数检测隐藏信息. 同时,为了克服小样本数据的缺陷,采用留一交叉验证法^[8]对 Fisher 判别式进行训练测试,即从所有样本中逐次选择 1 组样本留做测试,其余样本用来做训练. 对应两类刺激信息的所有测试样本的 Fisher 判别式距离如图 2 所示,识别率如表 2 所示. 从表中可以看出,本文提出的方法获得了 93.3% 的平均识别率,值得注意的是无关刺激的识别率达到 96.6%,这对于在测谎应用中避免把无辜判为有罪具有重要的实践意义.

与先前研究^[1-4]普遍应用的 BAD 和 BCD 方法相比,本文提出方法得到更高的识别率,如表 2 所

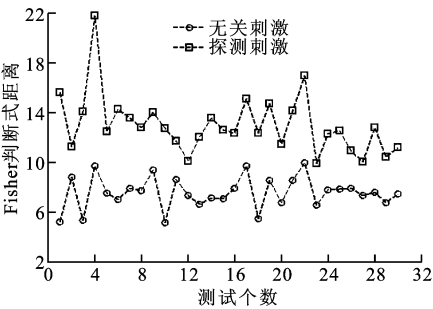


图 2 对应两类刺激信息的所有测试样本的 Fisher 判别式距离

表 2 3 种研究方法的心理意识真实性识别率比较

方法	识别率/%		
	无关刺激	探测刺激	平均
Fisher	96.6	90	93.3
BAD	86.6	80	83.3
BCD	80.0	73.3	76.6

示. 这主要是因为,应用多维特征参数的 Fisher 判别方法,不仅综合了多通道 ERP 特征信息,同时也结合了受试者执行欺骗行为时的反应时间信息. 这一结果说明,从受试者对隐藏信息本身的认知识别和执行欺骗行为的认知控制两个方面可以更好地检测欺骗,从而有效地提高心理意识真实性的识别率.

5 结 论

本文将多通道 ERP 和受试者的行为数据作为特征参数,应用 Fisher 判别准则对 CIT 心理测试实验模式下的心理意识真实性进行识别分类. 实验以受试者自己的姓名和生日作为实验探测刺激信息,尽管受试者对真实的探测刺激问题和无关刺激问题做了同样的否定回答,但是受试者对自己熟悉的且真实的探测刺激信息较不熟悉的且非真实的无关刺激信息需要更慢的反应时间,同时探测刺激信息相对于无关刺激信息在中线中央区域和顶叶区都诱发了更大 ERP P300 成分. 这说明多通道 ERP 和反应时间可以从不同角度反映刺激信息类型与心理意识真实性的相关性,以此作为多特征参数并应用 Fisher 判别分析可以更有效地识别心理意识真实性.

但是,本研究中所测试的隐藏信息是受试者的自传体信息(自己的姓名和生日),而且样本相对较少. 已有研究^[3-4]显示,与非自传体信息相比,自传体信息更容易诱发出相对明显的 ERP 特征参数,因此应用自传体信息作为隐藏信息会获得相对较高的识别率. 下一步的工作需要应用更接近于真实测谎情形中的相关信息作为测试模式中的隐藏信息,并增加相应样本量,来验证该模型的检测效率.

参考文献:

[1] ABOUTALEBI V, MORADI M H, KHALILZADEH M A. A comparison of methods for ERP assessment in a P300-based GKT[J]. International Journal of Psychophysiology, 2006, 62(2): 309-320.

[2] ROSENFELD J P, SOSKINS M, BOSH G, et al. Simple, effective countermeasures to P300-based tests of detection of concealed information[J]. Psychophysiology, 2004, 41(2): 205-219.

[3] ROSENFELD J P, BIROCHAK J R, FUREDY J J. P300-based detection of concealed autobiographical versus incidentally acquired information in target and non-target paradigms[J]. International Journal of Psychophysiology, 2006, 60(3): 251-259.

[4] ROSENFELD J P, SHUE E, SINGER E. Single ver-

sus multiple probe blocks of P300-based concealed information tests for self-referring versus incidentally obtained information[J]. *Biological Psychology*, 2007, 74(3):396-404.

- [5] JOHNSON R Jr, BARNHARDT J. The deceptive response: effects of response conflict and strategic monitoring on the late positive component and episodic memory-related brain activity [J]. *Biological Psychology*, 2003, 64(3):217-253.
- [6] XU Yong, LU Guangming. Analysis on fisher discriminant criterion and linear separability of feature space [C]// 2006 International Conference on Computational Intelligence and Security. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2006:1671-1676.
- [7] 裴晓梅, 郑崇勋, 徐进. 基于信息积累技术的大脑运动意识任务分类[J]. *西安交通大学学报*, 2008, 42(6): 756-759.
PEI Xiaomei, ZHENG Chongxun, XU Jin. Classification of motor imagery tasks with information-accumulated technique[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2008, 42(6):756-759.
- [8] MARTENS H A, DARDENNE P. Validation and verification of regression in small data sets [J]. *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, 1998, 44(1/2):99-121.

[本刊相关文献链接]

强迫选择实验中的心理测量函数研究. *西安交通大学学报*, 2010, 44(6):104-108.

脑电信号中肌电伪差的实时去除方法研究. *西安交通大学学报*, 2010, 44(4):114-118.

利用小波分解和支持向量机的心理意识真实性识别研究. *西安交通大学学报*, 2010, 44(4):119-124.

基于独立成分分析和流形学习的眼电伪差去除. *西安交通大学学报*, 2010, 44(2):113-118.

心算任务中与自主神经有关的头皮脑电活动研究. *西安交通大学学报*, 2009, 43(10):124-128.

脑深部刺激电极的结构优化及其模拟分析. *西安交*

通大学学报, 2008, 42(12):1537-1540.

基于多导脑电复杂性测度的脑疲劳分析. *西安交通大学学报*, 2008, 42(12):1555-1559.

一种医学 X 射线图像动态范围扩展方法. *西安交通大学学报*, 2008, 42(12):1468-1471.

基于信息积累技术的大脑运动意识任务分类. *西安交通大学学报*, 2008, 42(12):756-759.

基于近似熵的认知能力对事件相关电位的影响研究. *西安交通大学学报*, 2008, 42(10):1300-1303.

基于 Fisher 判据时频分析的运动相关脑电特征选择及优化. *西安交通大学学报*, 2008, 42(8):1026-1030.

基于信息积累技术的大脑运动意识任务分类. *西安交通大学学报*, 2008, 42(6):756-759.

CT 模体投影解析计算及其在射束硬化校正中的应用. *西安交通大学学报*, 2008, 42(6):664-668.

基于脑电功率谱-连续隐马尔科夫链的精神疲劳分级模型. *西安交通大学学报*, 2007, 41(12):1474-1478.

经验模态分解和 Kolmogorov 测度的癫痫预测算法. *西安交通大学学报*, 2007, 41(11):1364-1367.

基于样本熵的注意力相关脑电特征信息提取与分类. *西安交通大学学报*, 2007, 41(10):1237-1241.

基于功率谱分析的头皮电位和心率变异性关系研究. *西安交通大学学报*, 2007, 41(8):991-994.

基于多通道线性描述参数的生理性精神疲劳分析. *西安交通大学学报*, 2007, 41(6):737-740.

发射调频信号提高医学超声图像的信号噪声比. *西安交通大学学报*, 2007, 41(6):741-745.

基于多导脑电特征的生理性精神疲劳分析. *西安交通大学学报*, 2007, 41(2):250-254.

基于 Tsallis 熵和近似熵的认知事件相关电位动态复杂度分析. *西安交通大学学报*, 2007, 41(2):245-249.

(编辑 杜秀杰)