

基于脑电技术的手机游戏用户体验评价研究*

姜钧译¹, 郭 伏¹, 吕 伟¹, 王 瑶¹, 肖 扬²

(1.东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110169)

(2.东北大学 计算机学院, 辽宁 沈阳 110169)

摘 要 为实现手机游戏用户体验的有效评价, 利用脑电 (electroencephalogram, EEG) 技术记录不同用户体验水平的手机游戏引起的被试脑电活动变化, 并利用所开发量表测量被试游戏体验后的主观评价。采用节律波能量值将各频段波形进行定量化分析, 分析节律波能量值与主观评价的关系。实验结果表明, 头皮后顶区和枕区的 α 节律波能量值、前部顶区和颞区的 δ 节律波能量值等脑电指标可以用于区分不同手机游戏的用户体验水平, EEG 技术可能成为测量手机游戏用户体验水平的一种新的方法。

关键词 手机游戏, 用户体验, 脑电, α , δ

中图分类号 B842.6

1 引言

随着智能手机的普及, 手机游戏已成为人们日常生活中休闲娱乐的重要方式。据统计, 我国网民使用手机进行游戏的比例接近 50%, 手机娱乐服务已经成为移动互联网业务增长的核心推动力。然而, 面对游戏市场上纷繁的游戏种类和数量, 真正能够吸引用户并获得巨大利润的手机游戏却屈指可数^[1]。问题的症结在于部分游戏糟糕的设计带来的用户体验与用户期望相差甚远, 用户在游戏体验中无法获得足够的愉悦感和成就感, 导致用户精神疲劳并最终放弃或卸载游戏^[2]。

提升用户体验是游戏设计最重要的目标, 有助于设计人员在设计初期对手机游戏进行规范化评价, 从而进行针对性的改进^[3]。学术界对用户体验的定义目前还未达成一致, 相关研究文献多是根据实际研究问题来选择用户体验的构成要素的^[4]。心流体验理论由 Csikszentmihalyi^[5]提出并被广泛应用于游戏研究中。该理论指出, 用户体验研究属性包括可用性、用户技能、挑战、注意力、愉悦性、唤醒度及临场感等, 用户体验被描述为用户的一种全身心投入、最佳的体验状态^[6]。Sweetser 等基于心流体验理论, 结合多种游戏可用性和用户体验启发式方法建立了 GameFlow 模型, 用于对传统电子游戏用户体验进行评价^[7], 它包含引起用户心流体验的各种因素, 如沉浸感、清晰的目标、控制感、反馈、注意力、挑战、技能和社交。Fu 等在 GameFlow 模型的基础上增加了用户知识提升维度并建立了 EGameFlow 模型, 实现了对教育类游戏的用户体验评价^[8]。Korhonen 和 Koivisto 建立了移动游戏可玩性启发式评价模型, 该模型是由可用性、移动性、游戏性三个维度构成, 是第一个重点考虑移动性因素的用户体验评价模型^[9]。以往对游戏用户体验的研究多采用专家评估或用户调查两种方法, 研究方式的主观性并不能真实反映游戏玩家当时的心理状态, 情感变化的复杂性也导致用户往往因为语言匮乏无法表达心中所想, 从而导致

* 基金项目: 国家自然科学基金项目 (71471033, 71771045); 东北大学“双一流”学科建设资助项目 (02050021940101)。

通信作者: 姜钧译, 东北大学工商管理学院, 博士研究生, E-mail: 13998885836@163.com。

评价结果缺乏说服力。

近些年,人机交互(human computer interaction, HCI)设计领域逐渐采用生理指标进行用户体验评价,并越来越受到游戏领域的重视^[10]。生理信号是人体内部器官在情感发生变化时而产生的一种生物电信号,生理数据能够以持续的方式获得,从而能够实时地评估用户的情感状态。以往用于测量游戏玩家情感的生理方法有面部表情编码系统(facial action coding system, FACS)、皮肤电反应(galvanic skin response, GSR)、心电图(electrocardiogram, ECG)等。然而,随着研究的深入,这些方法存在的局限也逐渐暴露出来。例如,轻度情感刺激往往不能引起可观测的用户面部表情变化,导致无法充分揭示用户持续的情感变化^[11];年龄、性别、体温、皮肤、湿度、深呼吸等会对用户的GSR产生影响,用户性格特点的差异也会影响测量结果,导致用户组间或同一用户在不同测试时段的GSR测量结果难以比较^[12];而ECG只能在积极刺激和消极刺激呈现后的第6秒产生差异,而无法对刺激呈现前5秒内的用户情感进行甄别^[13]。因此,需要探索更加准确的生理手段以用于用户体验测量。

目前,神经科学在用户体验领域得到了广泛的应用,其中EEG技术提供了一种访问和记录用户神经活动的方法,允许计算机检索并分析用户思考时产生的脑电频谱特征,是一种可靠且具有高分辨率的生理测量手段。相比于其他脑神经研究方法(正电子发射断层扫描技术、功能磁共振成像等),无创伤的脑电测量能够直接反映出人们的具体心理活动,且成本较低,是探索脑活动的一种常用技术。通常需要对脑电信号进行特征提取,然后分析其所代表的心理含义。常用的脑电特征有时域特征、频域特征和时-频特征^[14]。时域分析指的是利用脑电波形图相关信息(峰值和潜伏期的均值、方差等)作为特征,采用事件相关电位(event-related potentials, ERP)技术进行分析;频域分析则是指利用脑电信号频域特征作为脑电特征,利用现代功率谱分析方法,得出与特定脑活动相关的频率。在EEG研究中,以下五种频带的指标常被用到^[15-17],即 δ (0.5~4赫兹)、 θ (4~8赫兹)、 α (8~13赫兹)、 β (13~30赫兹)、 γ (30~80赫兹),这些频带的脑电波所表示的含义及产生的主要部位如表1所示。

表1 不同频带脑电波的含义及产生的主要部位

频带/赫兹	含义	产生的主要部位
δ [0.5, 4)	无意识状态、动机	前扣带皮层内侧和伏隔核
θ [4, 8)	幻想、情感	岛叶及右侧顶叶皮层
α [8, 13)	注意力、短期记忆	后顶区和枕区
β [13, 30)	感官运动行为	额区和枕区
γ [30, 80)	信息接收和传输、综合加工	额区、顶区和枕区

一些学者已经将EEG技术应用于传统电视游戏研究。例如,Johnson等采用问卷调查和EEG技术测量相结合的方法,研究在合作型游戏中非玩家角色(non-player character, NPC)与玩家角色(player character, PC)作为玩家队友时的用户体验差异。主观结果表明,PC作为队友时玩家与队友的联系更紧密,但游戏绩效和沉浸感较低;脑电结果表明,PC作为队友时玩家 α 节律波、 θ 节律波和 β 节律波的能量值相对更高^[18]。McMahan等通过测量玩家的脑电信号来反映游戏参与度,分析结果表明, θ 节律波能量值和 $\beta/(\alpha+\theta)$ 能量比在不同模式下呈现显著性差异,能够用于预测玩家的参与度^[19]。Nacke等在游戏“半条命2004”中设计了玩家认知为无聊、沉浸和心流的三种游戏场景,用于测量玩家在不同场景下的脑电数据。结果表明, δ 节律波和 θ 节律波能量值在心流与无聊两种场景下均不存在显著性差异,但均与沉浸场景存在显著性差异^[20]。另外,Javaid等采用Higuchi的分形维数法对游戏玩家的脑电信号进行特征提取,利用支持向量机算法建立游戏用户情感4分类(愉悦、悲伤、快乐、沮丧)模型,结果表明选择8个电极点进行的情感分类准确率明显高于3个电极点^[21]。上述研究都是针对传统电视游戏,

而手机游戏在操作方式(多为触屏或重力感应)、屏幕尺寸(3.5~6英寸^①)等方面均与传统电视游戏存在较大区别,这些因素也决定了手机游戏具有便携性、游戏时间碎片化、参与性强、易于上手等特点;在游戏受众上,传统电视游戏的“骨灰级”玩家偏多,游戏多以竞技目的为主,而手机游戏的潜在用户更为广泛,任何拥有智能手机的用户都可能成为手机游戏的受众,游戏也多以休闲目的为主。上述差异共同决定了手机游戏用户体验区别于传统电视游戏,因此不应将对于传统电视游戏的分析结论简单地套用到手机游戏研究中,而需要做进一步验证。

对游戏用户进行生理测量能够获得连续、及时、非侵入的客观数据,实验精度较高。但是,如何对生理指标数据进行合理的解释却是该方法的难点,且大部分心理状态和生理反应之间存在多对一的关系。所以,在使用生理测量时一般需要结合使用主观问卷,这样做既能够基于主客观方法实现对手机游戏用户体验的综合评价,又能够根据以往研究对生理数据进行充分解释^[22]。基于上述分析,本文采用主观问卷与EEG技术相结合的方法,旨在探讨不同用户体验水平的手机游戏所引起玩家脑电活动的差异,从而弥补现有手机游戏用户体验测量方法的不足。

实验选择手机游戏作为刺激材料,通过用户主观评价确定不同手机游戏的用户体验水平,将手机游戏用户体验水平分为高低两类,为脑电实验研究提供依据。本文中用户体验是指手机游戏体验引起的用户认知和反应,不涉及用户在游戏外的交互行为。最后将手机游戏中高用户体验水平、低用户体验水平和休息阶段引起的脑电活动进行对比,预期不同用户体验水平的手机游戏能引起用户在游戏功能上认知的差异,潜意识下用户会对体验水平高的手机游戏表现出一定的偏好或者倾向性,主要表现在脑电活动的差异上。综合脑电和认知科学的研究,以及不同频带的节律波能够反映人们的认知和心理,从而推测不同用户体验水平的手机游戏主要引起被试注意、情感体验、信息处理、记忆、幻想等方面的差异^[16, 23],具体表现在 δ [0.5, 4)、 θ [4, 8)、 α [8, 13)和 γ [30, 80),因此初步选定以上4个EEG技术指标用于手机游戏用户体验实验研究。

2 研究方法

本文的研究主要采用问卷调查和脑电实验相结合的方法。问卷调查主要验证实验采用的手机游戏用户体验主观评价量表的有效性,同时也可为后续的脑电实验研究提供实验材料分类依据。具体过程如下:首先,结合以往研究构建手机游戏用户体验评价量表,确认量表效度;其次,被试参与实验游戏的主观评价,根据已有手机游戏量表将实验游戏进行分类,确定实验游戏的用户体验水平,从而为脑电实验提供叠加对比的依据。脑电实验则进一步探索被试在对手机游戏进行用户体验时的神经反应,为揭示手机游戏用户体验的评价提供生理依据。

2.1 手机游戏的用户体验评价

2.1.1 手机游戏选择

《2016年中国手机游戏行业趋势绿皮书》显示,2015年我国移动电竞游戏用户规模达到1.96亿人次,相比于2014年提高了2.2倍,移动电竞收入达到60亿元,相比于2014年提高了30%。随着手机游戏市场竞争的加剧,研究手机游戏的设计更具实际意义。根据360手机助手下载排行榜,在精选栏中随机选取5款手机游戏作为实验材料,分别是:海岛奇兵、皇室战争、开心消消乐、欢乐斗地主和地铁跑酷。

^① 1英寸=2.54厘米。

2.1.2 手机游戏用户体验量表

(1) 手机游戏用户体验量表构建。根据 Csikszentmihalyi 的最佳体验理论^[5]、GameFlow 模型^[7]与 Korhonen 和 Koivisto^[9]建立的移动游戏可玩性评价模型等研究设计手机游戏用户体验量表, 对手机游戏用户体验的评价主要从反馈、沉浸、挑战、社交、控制及移动六个方面(附录 A)进行。采用 7 分制李克特量表对指标进行评价(1 分表示完全不同意, 7 分表示完全同意)。

(2) 问卷设计和调查。问卷内容包括被试基本信息(性别、年龄、学历、职业)和手机游戏用户体验评价指标。考虑手机游戏使用对象主要面向广大青年, 问卷调查对象主要集中于在校大学生和企业职工, 调查方式包括手机软件问卷星或发放纸质问卷两种形式, 共收集问卷 397 份, 剔除漏填及填写一致性的无效问卷后, 得到有效问卷 380 份。经过 SPSS 18.0 进行数据处理, 得到量表信度克隆巴赫 α 系数=0.890>0.7, 通过信度检验^[24]。验证性因子分析结果表明, 该量表具有良好的收敛效度和判别效度, 适用于手机游戏用户体验调查研究。

2.2 脑电实验

2.2.1 实验材料及设备

通过主观评价问卷最后确定的 5 款手机游戏中, 皇室战争用户体验水平最高, 而地铁跑酷最低, 因此选择这两款手机游戏作为本次脑电实验的刺激材料。实验所使用的手机型号是 OPPO R7sm, 搭载 5.1.1 版本的 Android 系统。屏幕尺寸为 5.5 英寸, 分辨率为 1920×1080。

实验采用 Neuroscan 公司所生产的 128 导脑电记录设备, 硬件包括脑电信号采集放大器、电极帽及 Stim 系统。软件包括 Curry 7.0 脑电记录分析系统和用来进行数据处理的 Matlab 程序。电极位置采用国际 10-20 系统, 实验中利用 Ag/AgCl 电极帽上 C3、C4、CP3、CP4、CPZ、CZ、F3、F4、F7、F8、FC3、FC4、FCZ、FP1、FP2、FPZ、FT7、FT8、FZ、O1、O2、OZ、P3、P4、P7、P8、PO3、PO4、POZ、PZ、T7、T8、TP7 和 TP8 总共 34 个电极点采集脑电信号(附录 B)。同时安置 4 个电极记录眼电, 在左眼正上方 1.5 厘米处和正下方 1.5 厘米处安置电极采集垂直眼电, 以及左右眼角外侧 1.5 厘米处安置电极采集水平眼电。参考电极放置于左侧乳突, 同时记录右侧乳突电极。接地电极为位于 FPZ 和 FZ 中间的 GND 电极。头皮与每个电极之间的电阻均需小于 5000 欧, 连续记录时滤波带通为 0.05~100 赫兹, 采样率采用 500 赫兹。

2.2.2 实验被试

选取东北大学 24 名在校学生(男性 21 人, 女性 3 人)作为被试, 年龄为 18~27 岁。参与实验的被试身体健康, 且均为右利手, 裸眼或矫正视力正常。被试在实验前对实验过程知情并自愿进行实验, 所有被试使用手机游戏年限均在 2 年以上。

2.2.3 实验程序

实验时对每位被试单独施测, 并确保被试的实验环境相同。进行手机游戏任务之前, 要求被试静坐休息三分钟, 记录被试处于平静状态下的脑电信号。休息结束后, 要求被试进行手机游戏任务。为了消除因为游戏任务顺序可能造成的差异, 将被试随机分配为与游戏顺序相反的两组。具体游戏任务说明如下。游戏皇室战争任务: 浏览菜单信息及卡牌信息→选择卡牌组成出战卡组→与其他玩家进行一局对战→在对战过程中发送系统表情或文字, 进行互动, 对战结束即任务结束→填写主观评价问卷。游戏地铁跑酷任务: 浏览菜单等信息→进入形象菜单, 选择角色→点击开始游戏, 任务时间设置为 5 分钟, 由主试

提醒被试结束任务→填写主观评价问卷。整体实验结束后，与被试进行简单的访谈，进一步了解被试对于两款游戏体验的主观感受。

邀请被试进入环境适中的实验室，向被试说明实验任务流程和注意事项。打开 Neuroscan 主机，被试佩戴脑电帽，被试脑电波达到平稳状态后开始记录。通过 E-prime^①系统分别在实验开始前（休息状态）、两款游戏开始时、两款游戏结束后的五个时间点设置标记点，以便于后期数据段的截取。具体流程如图 1 所示，实验场景如图 2 所示。

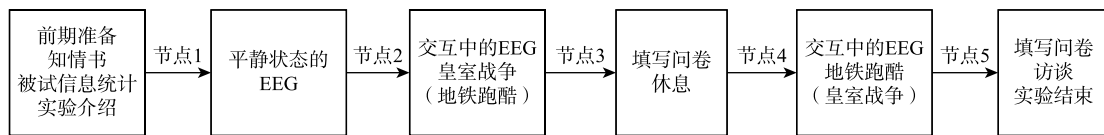


图 1 实验流程

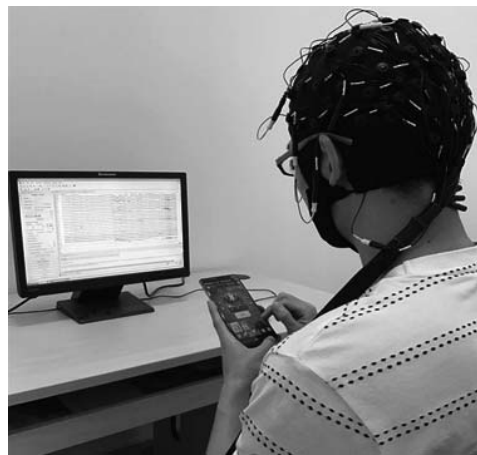


图 2 实验场景

2.2.4 脑电信号的处理

1) 伪迹处理

脑电信号受人们内心活动的影响，具有很强的随机性及节律多样性，因此脑电信号比较容易受到其他信号干扰，从而形成干扰和伪迹。这里综合使用 Matlab R2008a、Curry 7.0 系列软件和 eeglab 工具箱来对脑电信号进行伪迹处理。

2) 脑电信号的特征提取

通常采用的脑电信号特征提取指标有样本熵和节律波能量值^[25, 26]。本文中的样本熵在三个阶段均无明显变化趋势，因此不做分析。节律波能量值对每一频段的节律波按照时间序列进行幅值的运算，其运算公式如下：

$$E_b = \sum_{i=1}^t |x_i|^2 \quad (1)$$

其中， $i=1, 2, \dots, t$ ； b 为不同频率的波段； E_b 为不同节律的能量； $|x_i|$ 为时间点 i 的幅值绝对值。依次计算每个被试在各个电极点的节律波能量值，随着时间的变化，就可以得到每个频段的波形随着任务进行，其节律波能量值的变化情况。考虑刺激作用于脑机制时各节律波变化的同步性，有必要计算节律波间能

① E-prime 是 experimenter's prime 的简称，是实现计算机行为研究的一个跨平台系统。

量比，并将其作为衡量游戏用户体验水平的综合指标，其计算公式如下：

$$P_b = \frac{E_b}{\sum_b E_b} \quad (2)$$

通常选取两种相对能量比值算法^[27]： δ/α 和 $(\delta+\theta) / (\alpha+\theta)$ 。经过预处理，可以得到每位被试的所选电极点在相应频段的波形，然后，根据式（1）和式（2）计算出各节律波能量值和相对能量比值，最后进行统计分析，并做出脑地形图。

3 实验结果分析

3.1 主观测量结果

对收集到的生理 EEG 数据和主观评价数据进行相应处理，剔除存在数据缺失的被试，最终保留 20 组数据（男性 17 组，女性 3 组）。描述性统计结果如表 2 所示，对两款手机游戏用户体验主观评价数据进行配对样本 *t* 检验。统计结果显示，除移动和控制两个维度外，两款游戏在其余维度和用户体验总分上均表现出显著的差异，对游戏皇室战争的主观评价要明显优于游戏地铁跑酷，如图 3 所示。

表 2 两款游戏用户体验水平的评价结果

游戏	反馈	沉浸	挑战	社交	移动	控制	用户体验
皇室战争	6.2500	6.2375	5.6667	5.6125	5.4875	4.7750	34.0292
地铁跑酷	5.7667	4.5625	4.5000	2.9625	5.0375	4.4250	27.2542

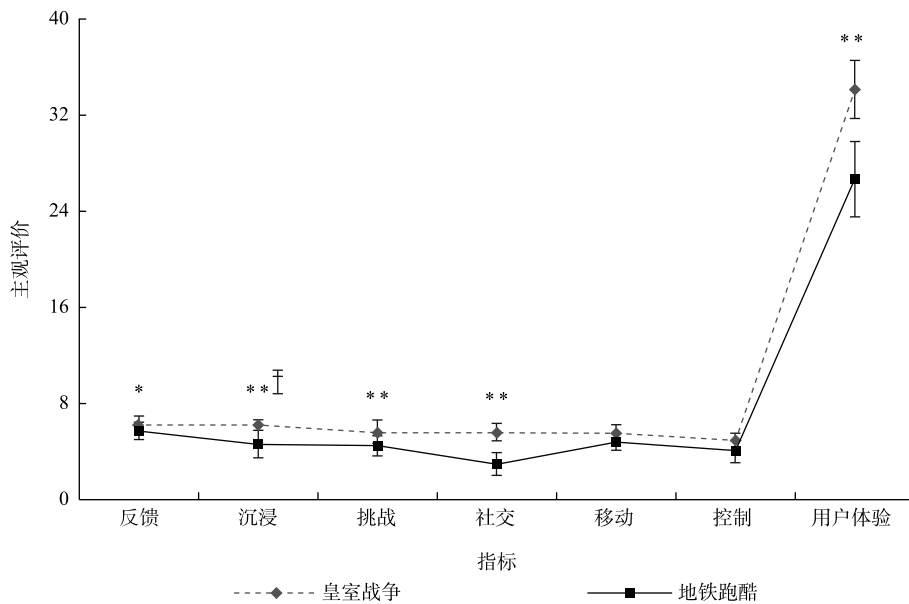


图 3 两款游戏用户体验主观评价

*表示 $p < 0.05$; **表示 $p < 0.01$

节点的误差线表示主观评价的区间范围

3.2 脑电测量结果

首先计算出被试在休息、皇室战争和地铁跑酷三个阶段的脑电信号节律波的相对能量值。经过对比，

发现所选电极点在各频段的节律波能量值变化情况基本一致,对选取电极点 CZ 做详细说明。图 4 显示被试进行高用户体验水平的手机游戏(皇室战争)时,各电极点的 δ 节律波、 θ 节律波、 γ 节律波及两种算法的能量值在高用户体验的手机游戏中最高,在休息阶段最低;而各电极点的 α 节律波能量值在皇室战争阶段最低,在休息阶段最高。

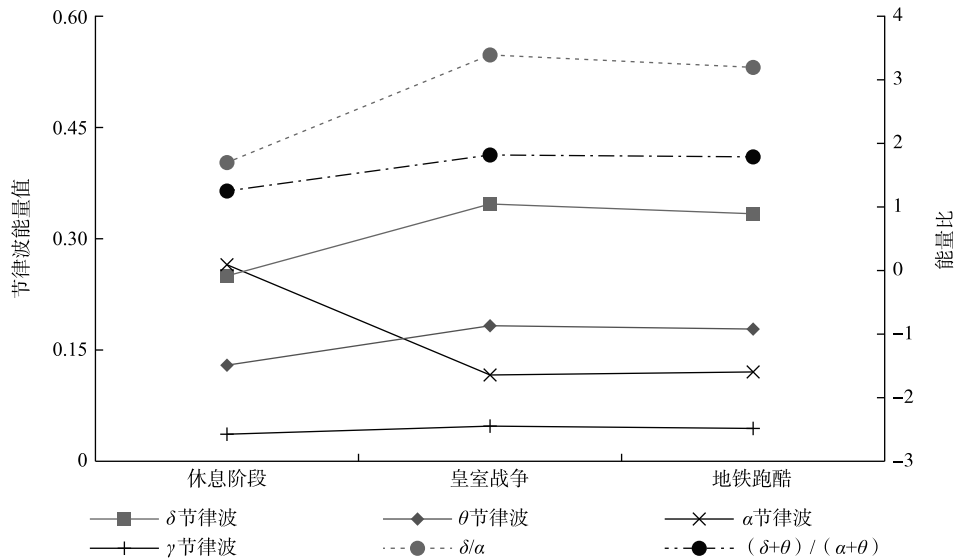


图 4 电极点 CZ 在三个阶段的相对能量

为展示被试三个阶段各节律波能量值差异所在的位置和区域,图 5 给出了 4 种节律波和 2 种能量比在不同阶段下的能量值地形图。对每位被试在休息、游戏皇室战争和游戏地铁跑酷阶段中激活程度明显的电极点的节律波能量值的均值进行配对样本 t 检验,以检验被试在各阶段的脑电指标差异是否显著。分析结果表明: δ 节律波能量值地形图中头皮前部顶区和颞区电极点激活程度明显(主要是 F3、FZ、F4、FC3、FCZ、FC4、T7、TP7、P7、T8、TP8 和 P8 电极点),休息阶段的 δ 节律波能量值显著小于游戏阶段,且高用户体验水平下的 δ 节律波能量值显著大于低用户体验水平下的值 ($p < 0.05$)。 θ 节律波能量值地形图中头皮额区和前部顶区电极点激活程度明显(主要是 FP1、FPZ、FP2、F3、FZ 和 F4 电极点),休息阶段的 θ 节律波能量值显著小于游戏阶段,但两种用户体验水平下的 θ 节律波能量值差异并不显著 ($p = 0.378$)。 α 节律波能量值地形图激活明显区域集中在后顶区和枕区(主要是 P7、P8、O1、O2、PO3、POZ 和 PO4 电极点),休息阶段的 α 节律波能量值显著大于游戏阶段,低用户体验水平下的 α 节律波能量值显著大于高用户体验水平下的值 ($p < 0.05$)。 γ 节律波能量值地形图激活明显区域集中在枕区和后部顶区左侧(主要是 CP3、CPZ、P3、PZ 和 O1 电极点),休息阶段的 γ 节律波能量值显著低于游戏阶段,但两种用户体验水平下的 γ 节律波能量值差异并不显著 ($p = 0.405$)。能量比 δ/α 能量值地形图激活明显区域集中在额区和前部顶区(主要是 FP1、FPZ、FP2、FZ 和 FCZ 电极点),休息阶段的 δ/α 相对能量比值显著小于游戏阶段,且高用户体验水平下的 δ/α 能量比显著大于低用户体验水平下的能量比 ($p < 0.05$)。能量比 $(\delta+\theta)/(\alpha+\theta)$ 的能量值地形图激活明显区域集中在中央顶区和右侧颞区(主要是 FZ、FCZ 和 T8 电极点),休息阶段的 $(\delta+\theta)/(\alpha+\theta)$ 相对能量比值显著小于游戏阶段,且高用户体验水平下的 $(\delta+\theta)/(\alpha+\theta)$ 能量比显著大于低用户体验水平下的能量比 ($p < 0.001$)。检验结果如表 3 所示。

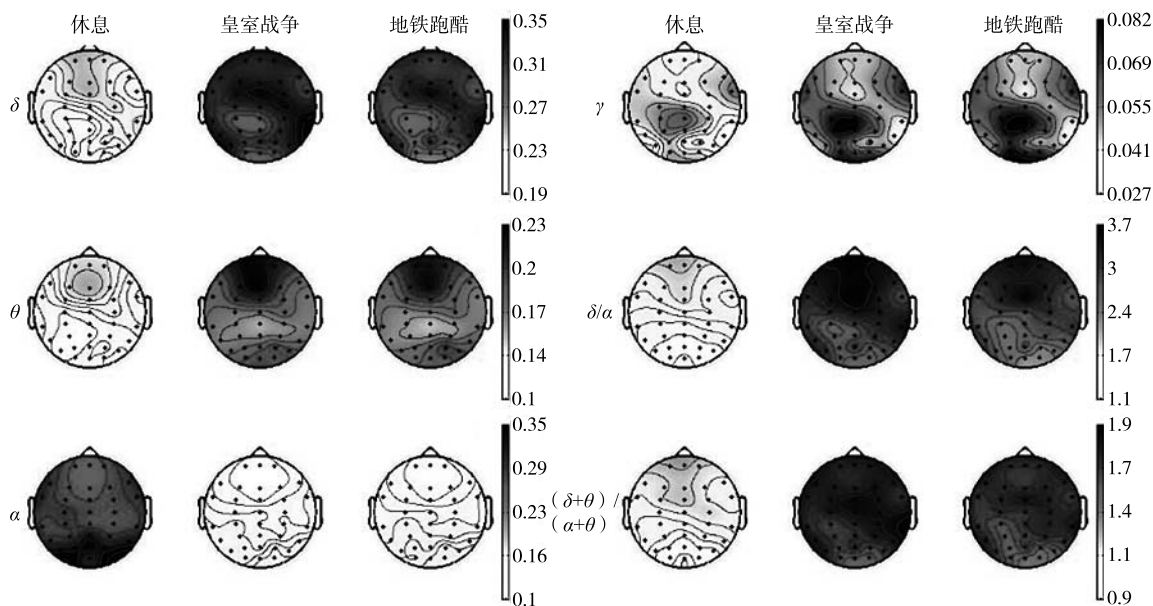


图5 节律波和能量比在不同阶段下的能量值地形图

表3 EEG 指标配对样本 t 检验结果

EEG 指标	配对样本	均值	标准差	t	df	Sig. (双侧)
δ	休息阶段-皇室战争	-0.092	0.090	-4.560	19	0.000
	休息阶段-地铁跑酷	-0.081	0.086	-4.177	19	0.001
	皇室战争-地铁跑酷	0.011	0.021	2.499	19	0.022
θ	休息阶段-皇室战争	-0.074	0.066	-4.974	19	0.000
	休息阶段-地铁跑酷	-0.066	0.045	-6.563	19	0.000
	皇室战争-地铁跑酷	0.008	0.040	0.903	19	0.378
α	休息阶段-皇室战争	0.202	0.196	4.608	19	0.000
	休息阶段-地铁跑酷	0.191	0.190	4.492	19	0.000
	皇室战争-地铁跑酷	-0.011	0.015	-3.230	19	0.004
γ	休息阶段-皇室战争	-0.016	0.018	-3.937	19	0.001
	休息阶段-地铁跑酷	-0.019	0.021	-4.073	19	0.001
	皇室战争-地铁跑酷	-0.003	0.016	-0.852	19	0.405
δ/α	休息阶段-皇室战争	-1.122	1.395	-3.597	19	0.002
	休息阶段-地铁跑酷	-0.690	1.207	-2.557	19	0.019
	皇室战争-地铁跑酷	0.432	0.536	3.603	19	0.002
(δ+θ) / (α+θ)	休息阶段-皇室战争	-0.524	0.610	-3.844	19	0.001
	休息阶段-地铁跑酷	-0.338	0.557	-2.709	19	0.014
	皇室战争-地铁跑酷	0.186	0.161	5.172	19	0.000

综上所述，测量结果表明所有电极点的各个节律波和能量比在休息、游戏皇室战争、游戏地铁跑酷三个阶段的变化趋势基本一致，且与对应激活脑区内的电极点能量值或能量比的平均值变化趋势相同

(尽管 θ 节律波和 γ 节律波能量值统计上未达到显著性水平), 从而佐证了脑电测量结果的有效性。

3.3 脑电结果与主观评价结果关系分析

为进一步探索主观评价和脑电信号的关系, 需要对手机游戏用户体验的主观评价数据和脑电数据进行相关性分析。其中, 主观评价数据取两款手机游戏用户体验主观评价的平均值, 4 个频段的节律波能量值和 2 种算法能量比同样取两款游戏的平均值, 选取 3.2 节中能量值最大的电极点 FPZ。将手机游戏用户体验主观评价数据、4 种节律波能量值和 2 种算法能量比分别输入到 SPSS 18.0 中, 执行双变量相关性分析, 结果如表 4 所示。

表 4 主观评价结果和节律波能量值相关性 (自由度为 20)

维度	δ	θ	α	γ	δ/α	$(\delta+\theta)/(\alpha+\theta)$
用户体验	0.469*	0.177	-0.477*	-0.338	0.467*	0.473*
	0.041	0.456	0.034	0.145	0.038	0.035
反馈	0.111	0.139	-0.146	-0.140	-0.114	-0.178
	0.640	0.558	0.540	0.555	0.633	0.452
沉浸	0.562**	0.136	-0.012	0.086	-0.092	-0.172
	0.010	0.567	0.959	0.719	0.698	0.468
挑战	0.001	-0.115	-0.456*	-0.214	0.344	0.177
	0.995	0.628	0.043	0.364	0.137	0.455
社交	0.156	0.351	-0.515*	-0.353	0.553*	0.610**
	0.512	0.129	0.020	0.127	0.011	0.004
移动	0.119	0.190	-0.219	-0.220	0.234	0.336
	0.616	0.421	0.353	0.352	0.320	0.148
控制	0.155	0.056	-0.336	-0.284	0.314	0.281
	0.514	0.816	0.148	0.225	0.178	0.230

**表示在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关; *表示在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关

注: 灰底数据表示显著相关

结果显示, 手机游戏用户体验水平与 δ 节律波能量值、 δ/α 、 $(\delta+\theta)/(\alpha+\theta)$ 相对能量比呈显著正相关, 与 α 节律波能量值呈显著负相关, 与其他节律波能量值之间并无显著相关性。在手机游戏用户体验的各个维度上, 沉浸维度与 δ 节律波能量值呈显著正相关; 挑战维度与 α 节律波能量值呈显著负相关; 社交维度则与 α 节律波能量值呈显著负相关, 与相对能量比值 δ/α 和 $(\delta+\theta)/(\alpha+\theta)$ 呈显著正相关。相关性分析验证了 EEG 指标用于测量手机游戏用户体验水平的可行性, 通过主观问卷和脑电测量能从不同方面反映手游玩家的用户体验水平, 为更全面地测量手机游戏用户体验提供了新的研究思路。

4 讨论

研究证明, 不同频段的脑电与手机游戏玩家的认知加工、情绪、记忆等有关^[28]。在实验中, 玩家与手机游戏进行交互, 不仅涉及感官体验, 而且涉及对各种任务信息的加工和处理, 因此产生了各种频段的波形。对于 α 波, 统计结果显示在后顶区和枕区电极位置手机游戏用户体验具有显著的主效应。当大

脑皮层处于非活动状态、精神处于懒惰状态时,会产生 α 节律波^[29],并伴随任务注意力需求的增加而逐渐降低^[30]。Kate 在开发针对游戏用户的脑机接口时,利用 α 节律波能量值来预测当前玩家的参与度水平。当玩家的 α 节律波能量值升高时,其游戏参与度水平降低^[31]。虽然实验不是针对玩家注意力、参与度的测量,但是游戏的用户体验往往涉及玩家的专注度、沉浸感及各种积极的参与和好的感觉等,且玩家在体验高用户体验水平的手机游戏时会处于较强的兴奋、活跃、注意力高度集中的状态。而且,本文研究也发现了类似的结果,即不同用户体验水平的手机游戏在提升玩家注意力、精神状态和参与度的能力方面也不同,在脑神经反应上主要体现在 α 节律波能量值的差异上,也就是说用户体验水平较高的手机游戏会使得 α 节律波能量值减小。相关性分析结果表明,手机游戏用户体验主观评价的分指标,即挑战和社交,与 α 节律波能量值显著负相关。游戏挑战与玩家技能相匹配时会使玩家更为专注和愉悦,游戏难度过大则会导致用户焦虑,难度较低又会使玩家无聊^[7];而社交功能能够增强玩家积极情绪、唤醒度和参与度^[18],竞争与合作机制有助于提升用户游戏动机和愉悦性^[3]。因而,可推测手机游戏社交与挑战要素将影响玩家专注度、参与度和唤醒度等心理指标,且玩家脑认知加工过程的变化主要表现在 α 节律波能量值上的差异,而要素与 α 节律波能量值间的具体反应机制还需通过进一步实验来证明。

另外,对于 δ 节律波的统计分析显示,在头皮前部顶区和颞区电极位置,手机游戏用户体验主效应显著。高用户体验的手机游戏更易于提升玩家的注意力、情绪效价和唤醒度,反映在脑神经活动上主要表现在 δ 节律波能量值的升高。以往研究表明, δ 节律波通常与人类无意识的状态相关,如忘记过去的创伤和烦恼等^[22]。Harmony 等在脑力任务的绩效测量中指出, δ 节律波能够反映用户的注意力,其能量值随着用户注意力的提高而上升^[32]。Reuderink 等在研究玩家在游戏的情绪和唤醒度等心理状态中指出,右枕区的 δ 节律波能量值与用户唤醒度呈显著正相关^[33]。依据心流理论,玩家实现最优体验的必要前提是沉浸、专注、时间扭曲等^[7],这也是检验游戏体验好坏的关键。玩家开始游戏后主要经历“参与—专注—完全沉浸”三个阶段,并且呈周期性变化。在这一由浅入深的过程中,玩家自我意识逐渐消失,并忽略了周边环境和日常琐事,而当达到完全沉浸状态时,玩家的注意力、情绪效价和唤醒度达到最高。以上论述说明,本文关于 δ 节律波的研究结论与前人研究相一致,即用户体验水平低的手机游戏引起的 δ 节律波能量值更低。相关性分析发现,主观评价分指标“沉浸”与 δ 节律波能量值显著正相关,沉浸度是反映玩家在游戏世界中时间扭曲和现实分离的状态,产生这种状态的主要原因是玩家注意力高度集中^[7],即手机游戏沉浸要素对于吸引用户注意力有重要作用,反映在脑认知活动中主要表现在 δ 节律波能量值的变化。

对于两种算法,统计结果表明,手机游戏用户体验与 δ/α 和 $(\delta+\theta)/(\alpha+\theta)$ 能量比显著正相关,分指标社交也具有同样的结果。Schleiger 等指出额区 δ/α 能量比与认知效果显著相关,伴随对信息理解、记忆、表达能力的提升而增加^[34],Franken 等指出节律波相对能量比的大小能够反映人们的注意力集中程度^[35],Ko 等利用 EEG 信号相对能量比建立了一套情感识别系统^[36]。根据用户体验理论,游戏体验过程可划分为玩家对游戏的感性、交互和本能三个层次,每一层次的用户体验内容和认知过程不尽相同。上述研究表明,节律波间交互作用能够用于反映用户体验的某些内容或过程,而本文研究与前人发现相类似,是对神经科学在游戏领域的运用做了进一步探索。

研究之初,预想所选脑电指标在两款实验游戏间均存在显著性差异,并与用户体验主观评价显著相关,然而分析结果表明 θ 节律波和 γ 节律波能量值未达到统计上显著水平。 θ 节律波与人的幻想、创造力、直觉力、情感和感觉相联系^[37]。Bekkedal 等综述了将脑电研究用于情感分类和识别的研究,他们指出 θ 节律波与情感效价有关,积极的情感会诱发相对较弱的 θ 节律波^[23],另外 Kavcic 等研究表明, θ 节律波与记忆正相关^[38]。根据上述分析可以判断,游戏会诱发玩家 θ 节律波的上升,可反映玩家情感效价、记忆等认知能力的变化。考虑两款游戏 θ 节律波不显著的原因可能是实验设计时没有设置明确的记忆任

务, 导致玩家在无任务状态下进行了游戏; 同时实验时间设置较短, 游戏皇室战争的优势未能在短时间内体现出来, 玩家情感效价还未达到预期水平实验就已结束。因此, 虽然游戏皇室战争诱发的 θ 节律波能量值高于游戏地铁跑酷, 但差异不显著。多数研究人员认为, γ 节律波反映了意识的产生机制, 将不同的脑功能模块连接在一起形成整体的感知, 对信息在脑干中的接收、传输、加工、综合、反馈等高级功能和人脑的认知活动具有重要作用^[16]。主观评价结果和对游戏本身的分析表明, 游戏皇室战争是一款任务需求较高、可供选择策略较多、制作精良的手机游戏, 而游戏地铁跑酷在剧情和策略等方面的设计比较单一, 表现在对游戏信息的接收、综合和加工等方面, 因此推测游戏皇室战争需要玩家具备更高的认知和处理能力。考虑实验结果与预期不符的原因可能在于被试的选择上, 18 名被试有过游戏地铁跑酷或跑酷类游戏的体验经历, 操作比较娴熟; 而对于游戏皇室战争, 12 名被试只在实验前两天进行了简单练习, 且没有同类型游戏的体验经历, 因此超过半数被试在进行游戏皇室战争实验时以对战失利告终。推测短期内被试未能熟练掌握游戏操作且对游戏元素和信息的理解还不到位, 这可能成为 γ 节律波不显著的原因之一。

5 结束语

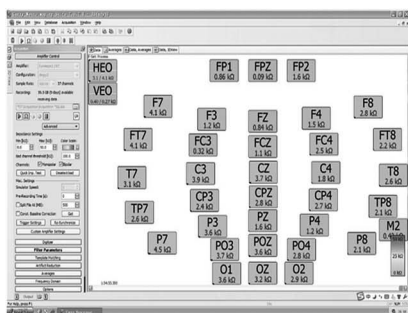
研究手机游戏用户体验评价有助于从玩家角度为游戏设计师提供产品改进建议, 以便第一时间抓住玩家需求。本文以用户从点击游戏图标到最终退出游戏全过程作为研究对象, 从脑认知角度解读玩家进行手机游戏时的用户体验, 配合使用主观问卷调查, 使评价方法更加具有说服力, 也为更好地测量用户体验提供了新的思路。实验发现, 手机游戏用户体验与 α 节律波能量值显著负相关, 与 δ 节律波能量值、 δ/α 、 $(\delta+\theta)/(\alpha+\theta)$ 能量比显著正相关, 与其他节律波能量值之间不存在显著相关性。在手机游戏用户体验的单项指标上, 沉浸性与 δ 节律波能量值表现出显著的正相关, 挑战性则与 α 节律波能量值表现出显著的负相关, 社交性则与 α 节律波能量值表现出显著负相关, 与两种能量比 δ/α 、 $(\delta+\theta)/(\alpha+\theta)$ 表现出显著正相关。研究发现, 被试对手机游戏的熟练程度可能会影响其对游戏信息和元素的理解能力, 进而影响 γ 节律波, 而实验时间长短和任务设置可能会影响被试在游戏中的情感和记忆, 进而影响 θ 节律波, 这需要通过进一步的脑电实验来验证。

本文研究中存在的主要局限在于, 首先, 没有考虑玩家性别差异对手机游戏用户体验的影响, 女性被试数量较少; 其次, 实验选择的两款游戏材料属于不同类型, 但未能对不同类型手机游戏的用户体验差异做进一步分析; 最后, 实验选择的调查对象没有包含老年人, 而主要集中为在校大学生和刚毕业参加工作的职工, 虽然这一人群为手机游戏的主要用户, 但随着我国人口老龄化现象凸显, 开发适合于老年人的手机游戏将成为游戏产业拓宽业务领域的必然趋势, 因此, 在对研究成果进行推广时, 需要考虑样本的代表性。未来研究可以围绕以下几方面展开。第一, 被试选择上要充分考虑女性玩家对于手机游戏的体验特征和偏好, 美国神经心理学家米尔列维通过研究发现, 男性与女性的大脑皮层结构和活动方式差异较大, 女性在视觉、听觉、触觉等感官知觉方面通常比男性敏感, 著名数据分析平台 Flurry 在 2015 年 8 月的调查报告中指出, 女性玩家的消费次数比男性玩家高 31%, 因此有必要深层次地探析女性情感的需求。第二, 探寻引起玩家用户认知差异的手机游戏关键特征设计的方法, 考虑运用更多的感官系统 (心率、眼动、肌电等), 分析它们与关键设计特征的关系, 从而能够更详细地指导手机游戏设计。第三, 手机游戏用户体验包含用户从点击游戏图标开始到最终退出游戏的所有过程, 现有研究多是笼统性的概括一段时间的用户体验, 但是这种方式时效性较差, 难以反映游戏用户的真实感受, 未来研究可对手机游戏用户体验按照阶段划分, 这将更有利于用户体验的测量和评价。

附录 A 手机游戏用户体验评价指标

维度	描述	参考
反馈	当做出操作时，我能够及时接收到游戏的反馈	Sweetser 和 Wyeth ^[7] Jennett 等 ^[39] Fu 等 ^[8]
	我能够接收到在游戏中任务成功与否的及时反馈	
	我能够及时接收到在游戏中获得奖励的反馈	
沉浸	游戏具有吸引力	
	我的情感能够随着游戏情节的改变而变化	
	在玩游戏时，我暂时忘记了烦恼	
	在玩游戏时，我感觉不到时间的流逝	
挑战	游戏提供在线帮助（如文本、视频或者音频提示等）来帮助我完成挑战	
	通过不断完成挑战，我的技术和对游戏的理解逐渐提高	
	我受到了自身技术提高的鼓舞	
社交	游戏支持玩家之间的竞争	
	游戏支持玩家之间的合作	
	在游戏过程中我能够与其他玩家进行互动与交流	
	游戏提供的排行榜能够清楚地反映我的游戏水平	
控制	我能够自主控制游戏进程，可随时开始、暂停及保存游戏	
	游戏中我能够自由使用策略	
	通过操控游戏中的角色，我能够实现自己的意图	
	当运行出现故障时，我能够使游戏迅速恢复到故障前的状态	
移动	游戏界面简洁	Korhonen 和 Koivisto ^[9]
	游戏操作简单、易理解	
	我能够在不同状态下（行走、站立、坐姿等）进行游戏	
	我能够在不同环境下（噪声、照明灯）进行游戏	
	每一局游戏时间适中	

附录 B 电极位置及实验材料



参考文献

- [1] 傅小贞, 李婷. 基于用户体验的手机游戏评估模型设计[R]. User Friendly 2014 暨 UXPA 中国第十一届用户体验行业年会, 2014.
- [2] 林心山. 本土手机游戏行业现状与手机游戏设计精品化创新探讨[J]. 武夷学院学报, 2016, 35 (11): 52-56.
- [3] Pyae A, Raitoharju R, Luimula M, et al. Serious games and active healthy ageing: a pilot usability testing of existing games[J]. International Journal of Networking and Virtual Organisations, 2016, 16 (1): 103-120.
- [4] 郭伏, 丁一, 张雪峰, 等. 事件相关电位 N1 和 N2 用于智能手机用户体验评价的研究[J]. 信息系统学报, 2016, (1): 12-26.
- [5] Csikszentmihalyi M. Flow: the psychology of optimal experience[J]. Design Issues, 1990, 8 (1): 75-77.
- [6] 黄石. 基于用户交互体验的游戏性评估[J]. 北京理工大学学报 (社会科学版), 2010, 12 (4): 102-104.
- [7] Sweetser P, Wyeth P. GameFlow: a model for evaluating player enjoyment in games[J]. Conference on Computability in Europe, 2005, 3 (3): 3-37.
- [8] Fu F L, Su R C, Yu S C. EGameFlow: a scale to measure learners' enjoyment of e-learning games[J]. Computers in Education, 2009, 52 (1): 101-112.
- [9] Korhonen H, Koivisto E M I. Playability heuristics for mobile games[R]. Conference on Human-Computer Interaction with Mobile Devices and Services, 2006.
- [10] Chu K, Wong C Y, Khong C W. Methodologies for evaluating player experience in game play[R]. International Conference on Human-Computer Interaction, 2011.
- [11] Hazlett R L. Measuring emotional valence during interactive experiences: boys at video game play[R]. Human Factors in Computing Systems, 2006.
- [12] Sim H, Lee W H, Kim J Y. A study on emotion classification utilizing bio-signal (PPG, GSR, RESP) [R]. Art, Culture, Game, Graphics, Broadcasting and Digital Contents, 2015.
- [13] Isbister K, Schaffer N. Game Usability: Advice from the Experts for Advancing the Player Experience[M]. Boca Raton: CRC Press, 2008.
- [14] 刘建成, 蔡湛宇. 脑电信号 (EEG) 分析方法的现状与发展[J]. 中国医学物理学杂志, 1998, 15 (4): 252-255.
- [15] 唐艳. 基于时间、频率和空间域的自发脑电信号提取[D]. 长沙: 中南大学, 2008.
- [16] Roux F, Uhlhaas P J. Working memory and neural oscillations: alpha-gamma versus theta-gamma codes for distinct WM information? [J]. Trends in Cognitive Sciences, 2014, 18 (1): 16-25.
- [17] Knyazev G G, Slobodskoj-plusnin J Y, Bocharov A V. Event related delta and theta synchronization during explicit and implicit emotion processing [J]. Neuroscience, 2009, 164 (4): 1588-1600.
- [18] Johnson D, Wyeth P, Clark M, et al. Cooperative game play with avatars and agents: differences in brain activity and the experience of play[R]. Human Factors in Computing Systems, 2015.
- [19] McMahan T, Parberry I, Parsons T D. Evaluating electroencephalography engagement indices during video game play[R]. Foundations of Digital Games Conference, 2015.
- [20] Nacke L E, Stellmach S, Lindley C A. Electroencephalographic assessment of player experience: a pilot study in affective ludology[J]. Simulation & Gaming, 2011, 42 (5): 632-655.
- [21] Javaid M M, Yousaf M A, Sheikh Q Z, et al. Real-time EEG-based human emotion recognition[R]. International Conference on Neural Information Processing, 2015.
- [22] Cacioppo J T, Tassinary L G, Berntson G G. Handbook of Psychophysiology[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2000: 397-408.
- [23] Bekkedal M Y V, Rossi J, Panksepp J. Human brain EEG indices of emotions: delineating responses to affective vocalizations by measuring frontal theta event-related synchronization[J]. Neuroscience and Biobehavioral Reviews, 2011, 35 (9): 1959-1970.
- [24] Nunnally J C, Bernstein I H. Psychometric theory[J]. American Educational Research Journal, 1994.
- [25] Khushaba R N, Wise C, Kodagoda S, et al. Consumer neuroscience: assessing the brain response to marketing stimuli using electroencephalogram (EEG) and eye tracking[J]. Expert Systems with Applications, 2013, 40 (9): 3803-3812.
- [26] Bigdely-Shamlo N, Mullen T, Kothe C, et al. The PREP pipeline: standardized preprocessing for large-scale EEG analysis [J]. Frontiers in Neuroinformatics, 2015, 9 (16): 16-17.
- [27] 刘巨娟. 基于脑电信号识别的驾驶员-汽车混合控制系统设计[D]. 沈阳: 东北大学, 2014.
- [28] Demiralp T, Bayraktaroglu Z, Lenz D, et al. Gamma amplitudes are coupled to theta phase in human EEG during visual perception[J]. International Journal of Psychophysiology, 2007, 64 (1): 24-30.

- [29] Pfurtscheller G, Zalaudek K, Neuper C. Event-related beta synchronization after wrist, finger and thumb movement[J]. *Electroencephalography & Clinical Neurophysiology Velectromyography and Motor Control*, 1998, 109 (2): 154-160.
- [30] Ray W J, Cole H W. EEG alpha activity reflects attentional demands, and beta activity reflects emotional and cognitive processes[J]. *Science*, 1985, 228 (4700): 750-752.
- [31] Ewing K C, Fairclough S H, Gilleade K. Evaluation of an adaptive game that uses EEG measures validated during the design process as inputs to a biocybernetic loop[J]. *Frontiers in Human Neuroscience*, 2016, (10): 223.
- [32] Harmony T, Fernández T, Silva J, et al. EEG delta activity: an indicator of attention to internal processing during performance of mental tasks[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 1996, 24 (1): 161-171.
- [33] Reuderink B, Muhl C, Poel M. Valence, arousal and dominance in the EEG during game play[J]. *International Journal of Autonomous & Adaptive Communications Systems*, 2013, 6 (1): 45-62.
- [34] Schleiger E, Sheikh N, Rowland T, et al. Frontal EEG delta/alpha ratio and screening for post-stroke cognitive deficits: the power of four electrodes[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2014, 94 (1): 19-24.
- [35] Franken I, Stam C J, Hendriks V M, et al. Electroencephalographic power and coherence analyses suggest altered brain function in abstinent male heroin-dependent patients[J]. *Neuropsychobiology*, 2004, 49 (2): 105-110.
- [36] Ko K E, Yang H C, Sim K B. Emotion recognition using EEG signals with relative power values and Bayesian network[J]. *International Journal of Control Automation & Systems*, 2009, 7 (5): 865-870.
- [37] Aftanas L I, Golocheikine S A. Human anterior and frontal midline theta and lower alpha reflect emotionally positive state and internalized attention: high-resolution EEG investigation of meditation[J]. *Neuroscience Letters*, 2001, 310 (1): 57-60.
- [38] Kavcic V, Zalar B, Giordani B. The relationship between baseline EEG spectra power and memory performance in older African Americans endorsing cognitive concerns in a community setting[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2016, 109 (1): 116-123.
- [39] Jennett C, Cox A L, Cairns P, et al. Measuring and defining the experience of immersion in games[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2008, 66 (9): 641-661.

Research on Evaluation of Mobile Game User Experience Based on Electroencephalogram Technology

JIANG Junyi¹, GUO Fu¹, LV Wei¹, WANG Yao¹, XIAO Yang²

(1. College of Management, Northeastern University, Shenyang 110169, China)

(2. College of Computer, Northeastern University, Shenyang 110169, China)

Abstract In order to realize the effective evaluation of mobile game user experience, the experiment studied the Electroencephalogram (EEG) activity changes of participants caused by two mobile games which represented different user experience level, and used the scale to measure the subjective evaluation. The energy value of the rhythm wave was used to quantify the waveform of each frequency band, and the relationship between the energy value of the rhythm wave and subjective evaluation was analyzed. The results show that the Alpha energy values in the posterior parietal and occipital regions of the scalp, Delta energy values in the anterior parietal and temporal regions can be used to distinguish user experience level of mobile phone game, and EEG technology may be a new method to measure the user experience level of mobile games.

Key words Mobile phone games, User experience, EEG, α , δ

作者简介

姜钧译 (1990—), 男, 东北大学工商管理学院博士研究生, 主要研究方向: 手机游戏用户体验测量和评价等。E-mail: 13998885836@163.com。

郭伏 (1964—), 女, 东北大学工商管理学院教授、博士生导师, 主要研究方向: 感性工学、用户体验、脑力负荷等。E-mail: fguo@mail.neu.edu.cn。

吕伟 (1993—), 男, 东北大学工商管理学院博士研究生, 主要研究方向: 用户疲劳、用户脑认知

等。E-mail: lvatneu@163.com。

王瑶（1991—），男，东北大学工商管理学院硕士研究生，主要研究方向：手机游戏愉悦度测量等。
E-mail: 1510510@stu.neu.edu.cn。

肖扬（1996—），男，东北大学计算机学院本科生。E-mail: 215539427@qq.com。