

事件相关电位 N1 和 N2 用于智能手机用户体验评价的研究

郭伏 丁一 张雪峰 操雅琴

(东北大学 工商管理学院, 辽宁 沈阳 110167)

摘要 高水平的用户体验成为产品市场成功的关键, 很多学者对用户体验的测量进行了研究, 但是这些方法仍不足以完全反映用户体验水平。实验以智能手机为研究对象, 在不考虑品牌差异的情况下, 研究不同设计水平智能手机引起的脑电成份差异。实验结果表明, 用户体验水平较低的智能手机图片较用户体验水平高的智能手机图片诱发的 N1/N2 成分波幅大。N1/N2 成分可用于区分不同智能手机产品的设计水平, 事件相关电位 (event related potentials) 技术可能成为测量产品用户体验水平的一种新的方法。

关键词 用户体验, 视觉事件相关电位, N1, N2, 智能手机

中图分类号 TB472

1 引言

在竞争日益激烈的市场环境下, 企业必须兼顾产品设计的各个方面来确保市场的成功, 其中产品外观是影响用户购买决策的最主要要素之一。视觉通常是用户获取产品信息的第一渠道, 直接影响用户接下来的行为和进一步体验的发生, 因此良好的视觉体验是产品设计的关键^[1]。传统的产品设计往往根据设计者的经验和知识进行产品构造, 不能很好地被用户接受, 因此产品设计开始越来越注重用户的主观感受^[2]。用户在产品选择中的行为及购买决策受到自身对产品感知的影响, 但是产品设计者通常不知道用户的真正需求^[3]。用户体验不仅包括产品可用性, 而且包括用户的社会认知以及用户的情感体验, 如用户的愉悦性、美学体验、重复使用的意愿、使用产品的积极意愿和增强的心智模型^[4, 5], 逐渐成为研究的热点。但是由于用户体验具有主观性、动态性和环境依赖性, 这也使得用户体验的测量成为当前研究的难题^[6]。

生理测量技术的发展为用户体验提供了思路^[7, 8]。以往对于用户体验的测量多是采取主观问卷的方式, 但是这种方式并不能真实的反映被试当时的内部心理状态和感知过程, 测量结果存在一定的偏差^[9]。调查问卷测量用户的主观感受的局限性在于用户不可能准确记住他们在与产品交互过程中的主观感受^[10]。而生理信号是伴随着情感变化由人体内部器官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。与主观的方法相比, 生理信号虽然可能会受到身体运动等外在因素的影响, 但是更能客观真实的反映出当时的主观感受^[11]。用户体验主观性比较强, 用户并不能完全表达出对产品的感

*基金项目: 国家自然科学基金项目(71471033)、国家自然科学基金项目 (71171041)。

通信作者: 丁一, 东北大学工商管理学院, 博士研究生, E-mail: emiledy@sina.com。

知过程和描述当时的想法，因此需要探索更加准确的方法去测量产品带来的用户体验。

神经科学在市场学领域得到了广泛的应用，很多学者研究了用户观察品牌、产品、电视广告等引起的神经活动变化^[12]。其中功能磁共振成像是探索脑活动的一种常用技术。例如，Dimoka 和 Davis 研究了用户在使用不同可用性和易用性水平的网站时的神经机制，他们指出在使用高可用性的网站时被试的尾状核和前扣带皮层得到显著激活，并且激活程度和被试的主观评价显著相关，易用性高的网站能更强的激活背外侧前额叶皮层^[13]。Jacobsen 等^[14]研究了美学评价相关的神经活动，他们主要是探索几何图形美或丑引起的脑区域激活程度，指出美学感知相关的脑区域主要涉及中前部皮质层、前额叶、扣带回等区域。Schaefer 和 Rotte^[15]研究了被试在观察汽车标识时的神经反应过程，当被试看到豪车时，与看到普通车时相比，前额叶皮层得到显著激活。

与核磁共振成像技术相比，事件相关电位（event related potentials, ERPs）技术成本低且具有很高的时间分辨率。随着事件相关电位研究的发展，事件相关电位已经被认为能够直接反映人们的具体心理活动^[12]。相关研究指出，与视觉注意、感知和选择相关的脑电成分主要分布在前额区域^[16]。早期视觉注意的脑电成分出现在 100~200ms 之间，其中 N1 是属于外源性的早期视觉相关电位，与事物的物理特征有关，反映进入信息的感官处理，也体现人们早期注意力的分配，也受到更高阶认知（如综合分析、评价和创新等活动）的影响^[17]。N1 对于低阶属性的刺激（如颜色、大小、位置等属性）敏感，分为早期前部成分和晚期后部成分，主要与刺激诱发的注意力和吸引度有关^[17,18]。Righi 等^[17]（2014）指出不论脑前部还是脑后部产生的 N1 都与早期注意机制促进感知特征的提取有关，并且他们在研究中发现，功能可供性低同时外观吸引度高的工具在脑前部能诱发较大波幅的 N1，功能可供性高和吸引度高的工具则诱发较小的 N1。早期事件相关电位研究中，另一个与视觉相关的脑电成分是潜伏期在 100ms 至 200ms 的 P2 成分，通常与刺激的情感属性相关，并且正向情绪诱发的 P2 波幅更小，能够反映刺激的美学体验^[19,20]。Wang 等^[19]（2012）在对吊坠美学感知研究中发现，美的吊坠能诱发更小波幅的 P2。Handy 等^[20]（2008）对品牌标识的享喜好研究中发现，被试在观察不喜欢的品牌标识时能诱发更大波幅的 P2。N2 是一个峰值出现在刺激呈现后 200-350ms 的负波，反映被试对刺激之间冲突或差异的感知，属于高阶认知诱发的电位^[21]。Tommaso 等^[22]在对于几何图形美学评价的研究中，发现中性的几何图形要比美的图形能引起更负的 N2 波。Handy 等^[20]在品牌标识享乐性评价研究中也发现，被试观察不喜欢的品牌标识也能诱发更负的 N2 波。脑神经科学的研究和发展为揭开用户体验的内在认知过程提供了基础。另外 Ernst 等^[23]（2013）在对被试规避-倾向行为研究中发现，被试在观察能引发规避感知的刺激时能够诱发更负的 N1 和 N2。

以往对于脑电的研究较多地用于表情识别、注意、艺术美学评价，但是将事件相关电位技术用于评价和改进日常产品设计的研究还很少^[20]。一些学者单纯从可用性或美学等单一角度研究了商业产品所诱发的神经反应，但是用户体验是一个期望使用产品或者使用产品所产生的所有结果和反应的总和，这些体验结果不仅包括行为层面，而且包括生理反应和心

理反应^[24]。由于人们不能完全解释自身的认知和心理，尤其是在低注意水平下，而事件相关电位的研究可以提供传统方法（访谈、问卷和焦点小组）无法获得的信息^[7,10,11]。因此对于用户体验过程中用户神经反应的研究不仅可以帮助我们理解用户体验的内在形成机制，而且可以提供测量用户体验的新方法。基于以往研究对于用户体验测量以及脑认知的研究，本文旨在探索不同用户体验水平的智能手机所诱发的事件相关电位的差异，从而弥补传统用户体验测量方法的不足。

实验选择智能手机作为刺激材料，通过主观用户体验评价确定不同造型智能手机的用户体验水平，将用户体验水平分为高低两类，为脑电实验研究提供依据，在此用户体验是指主要指产品外观感知引起的感知和反应，并不涉及用户与产品的交互过程。其次在脑电实验中采用 oddball 范式^[19]，将智能手机图片作为标准刺激，将风景图片作为靶刺激。最后将智能手机中用户体验得分高和得分低之间引起的脑电成分进行对比。研究预期在不同用户体验水平的智能手机图片能引起用户注意分配及感知的差异，潜意识下会对用户体验水平高的智能手机表现出一定的偏好或者倾向性，主要表现在不同用户体验水平的智能手机图片所诱发的视觉相关电位的差异上。综合事件相关电位的研究，以及用户体验水平高的产品在情感诱发上更加正向、美学水平更高、可用性更高、造型更加协调、能较快的吸引用户注意等特点^[4]，推测不同用户体验水平的智能手机主要能引起被试注意、情感体验、美学感知、期望使用意愿等方面的差异，具体表现在前额区到中央区的 N1、N2 和 P2 波差异上。也即用户体验水平高的手机更能吸引用户的注意，在造型上更加协调，用户在认知上更加倾向于用户体验水平高的手机，从而诱发出波幅更小的 N1；用户体验水平高的智能手机美学体验更加优越，因此能够诱发更小的 P2 波幅；用户对用户体验水平高的智能手机表现出一定的偏好认知等，从而表现出较小的 N2 波。

2 研究方法

研究采用主观评价和脑电测量相结合的方式。问卷调查主要是验证实验采用的用户体验主观评价量表有效性，另一方面也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用户体验评价量表，确认量表效度；其次被试参与刺激材料的主观评价，根据已有用户体验问卷将实验材料进行分类，确定实验材料的用户体验水平，从而为脑电实验提供叠加对比的依据。脑电实验则是进一步探索被试在对智能手机造型进行用户体验时的神经反应，为揭示用户体验的评价提供生理依据。

2.1 不同造型智能手机的用户体验评价

(1) 智能手机选择

Nielsen 研究报告称中国智能手机普及率在 2013 年已经达到 71%¹，随着智能手机市场竞争的加剧，研究智能手机的设计更具实际意义，因此本研究以智能手机为例。根据 ABI 研究机构统计结果²选取最近三年销售量排名前三名的 Samsung、iPhone 和 HTC 手机品牌，

¹ <http://www.nielsen.com/cn/en/insights/news/2013/the-asian-mobile-consumer-decoded0.html>

² <https://www.abiresearch.com/press/samsung-and-apple-devices-dominate-smartphone-devi>

在网上共收集 12 幅智能手机图片，经过初步筛选，每个品牌的手机选择两种。由于本研究主要关注不同手机造型带给用户体验的差异，因此，将不同品牌的手机主屏经过 Adobe Photoshop® 7.0 统一处理，将原有手机的 logo 处理掉，研究不同用户体验水平的智能手机之间引起的神经反应差异。并且将智能手机图片调整为统一的亮度和对比度，由于人们的视觉偏好和物体的颜色有关，因此将图片色彩保留^[25]。

(2) 用户体验量表

1) 用户体验量表构建。用户体验的评价主要从情感、美学、可用性、吸引力以及体验意愿五个方面（附录 A）对进行。产品属性可以引起激发用户情感的反应，而用户在购买智能手机之前的情感主要有惊奇、满足、愉悦和期待^[26]；智能手机激发的美学感知，造型、对称性、整体形态和色彩能够全面反映产品美学设计水平^[27]；手机外观激发的视觉可用性。对于产品可用性的测量采用 Mugge 和 Schoormans 的提出的量表^[38]，指用户和产品交互之前产生的对于产品可用性的一种感知，主要从布局、易操作性和界面友好性三个方面进行评价；产品外观引发的吸引力感知（注意力），用户对产品印象的一种主观感受，主要从新颖性、印象、容易吸引人和激发使用兴趣四个方面进行评价^[29]；最后又额外增加了一个反映用户继续体验意愿的问题（我想进一步了解这部手机的用户体验效果）。指标评价采用 7 分制 Likert 量表，（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、使用智能手机时间、使用手机类型）、智能手机图片和智能手机用户体验评价指标。问卷调查对象为 34 名来自于工商管理、工业设计和会计专业的学生以及在职者（12 男，年龄在 20-35 岁），其中，12% 的被调查者使用时间智能手机 0.5~1 年，24% 的被调查者使用智能手机时间为 1~2 年，61% 的被调查者使用智能手机时间在 2 年以上，只有 3% 的被调查者使用智能手机时间在半年以下，可见被调查者对智能手机比较熟悉，保证了评价结果的可靠性。调查方式为通过电子邮件或者纸质问卷的形式进行评价，共收集问卷 204 份，删除不完整问卷及剔除使用 Samsung、iPhone 和 HTC 品牌手机被试的问卷 24 份，得到有效问卷 180 份。经过 SPSS 18.0 进行数据处理，得到量表信度 Cronbach alpha =0.965>0.7，通过信度检验^[30]。

2.2 脑电实验

(1) 实验材料及设备

主观评价的 6 幅智能手机图片和 3 幅选自网页的风景图共同组成脑电实验的实验材料。实验中当风景图片呈现时要求被试尽可能快的点击鼠标左键，因而被试对智能手机用户体验的脑神经反应是在低注意水平下产生的。将视觉刺激图片呈现在 19 英寸的灰色背景的液晶显示器中央（1440x900 像素）。为更加接近真实手机大小，将图片大小调整为 700x460 像素。通过 E-prime 2.0 professional 软件呈现刺激图片。实验采用 Neuroscan 公司的脑电记录和分析系统，电极位置在国际 10-20 系统基础上构成，采用 Ag/AgCl 64 导电极帽。

(2) 被试

18 名被试分别自于东北大学管理科学与工程专业的硕士研究生、博士生和计算机科学的本

科生（其中男性被试 10 人，年龄在 21-33 周岁，平均年龄 25.56 岁，标准差 2.25）。被试均为右利手，视力或矫正视力正常，身体健康，无神经或精神上的疾病史。在参与实验之前，所有被试都签署了知情同意书，参与者通过志愿者招募的形式进行选拔。所有被试使用智能手机年限均在 1 年以上，对智能手机较为熟悉，被试中都没使用过或者正在使用 Samsung、iPhone 或者 HTC 品牌的智能手机。

（3）实验程序

被试在参与脑电实验之前，通过调查问卷获取被试对智能手机用户体验水平的主观评价，为脑电数据处理提供对照。脑电实验采用 oddball 范式，要求被试尽可能快的对随机呈现的靶刺激点击鼠标左键进行反应（图 1）。图片随机呈现，其中风景图片作为靶刺激以 25% 的小概率随机呈现给被试。标准刺激为随机呈现的手机图片，智能手机图片呈现概率为 75%，其中用户体验得分最高的 1 副，用户体验得分最低的 1 幅，其他 4 幅，每幅图片呈现概率一样。

被试戴好脑电帽后调整坐姿舒适地静坐于安静的且光线柔和的实验室内，双眼注视屏幕中央。眼睛距离电脑约为 90cm，水平和垂直视角分别为 12.9。和 6.8。。电脑屏幕上首先会呈现实验指导语，是对实验任务的简单介绍。要求被试尽可能快的对风景图片进行点击鼠标左键，每幅智能手机图片呈现时间为 500ms，随后会出现一个 800~1200ms 的随机空屏，中间设定休息时间为 4 次，每次休息时间由被试自主决定，被试休息好之后点击鼠标左键继续实验，每幅智能手机图片共循环呈现 50 次，每名被试实验时间在 16-20 分钟之间，加上实验准备时间，一次实验共花费 30 分钟左右。

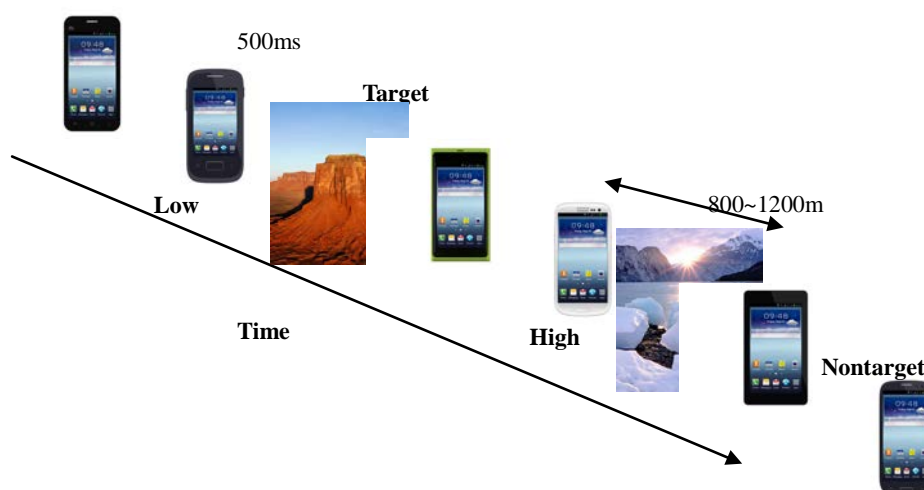


图 1 实验范式

（4）数据记录和分析

实验采用 Neuroscan 公司的脑电记录和分析系统，电极位置在国际 10-20 系统基础上构成，采用 Ag/AgCl 导电帽记录 23 个电极点（FP1、FPZ、FP2、F7、F3、FZ、F4、F8、T7、C3、CZ、C4、T8、P7、P3、PZ、P4、P8、O1、OZ、O2、CB1、CB2）的脑电数据（附录 B）。脑电记录时，左侧乳突作为参考电极，并且在右侧乳突处安置电极记录脑电数据以

便离线数据处理使用，接地点在前额 FPZ 和 FZ 的中点。双眼外侧约 1.5cm 处安置电极记录水平眼电(HEOG)，左眼上下眼眶安置电极记录垂直眼电(VEOG)。每个电极处的头皮电阻保持在 5 kΩ 以下，连续记录时滤波带通为 0.05~100 Hz，采样频率为 1000Hz/导。

3 实验结果分析

由于在脑电实验中，2 名被试由于数据不完整最终在 ERP 分析中被删除，因此实验数据最后来自于 16 名被试（8 男，平均年龄 25.50 岁，标准差 2.39）。

3.1 主观评价结果

16 名被试对三组智能手机的用户体验主观评价结果如表 1 所示。为方便比较，选择用户体验得分差异最大的一组进行脑电数据叠加，脑电实验数据处理将根据主观评价结果进行。统计结果显示两幅图片(附录 B)在各个指标上及用户体验总得分上均表现出显著的差异(图 2)。

表 1 三组智能手机用户体验水平的主观评价结果

指标	情感	美学	可用性	吸引力	体验意愿	总分
组 1	11.1	13.2	12.6	15.5	2.5	51.2
组 2	21.0	22.3	16.6	21.6	5.2	86.8
组 3	16.9	18.5	14.7	17.1	4.2	71.6
组 3	20.8	21.8	15.2	20.0	5.3	83.1
组 3	14.9	15.4	14.1	16.2	3.4	64.0
组 3	19.6	19.8	14.5	20.5	4.6	79.0

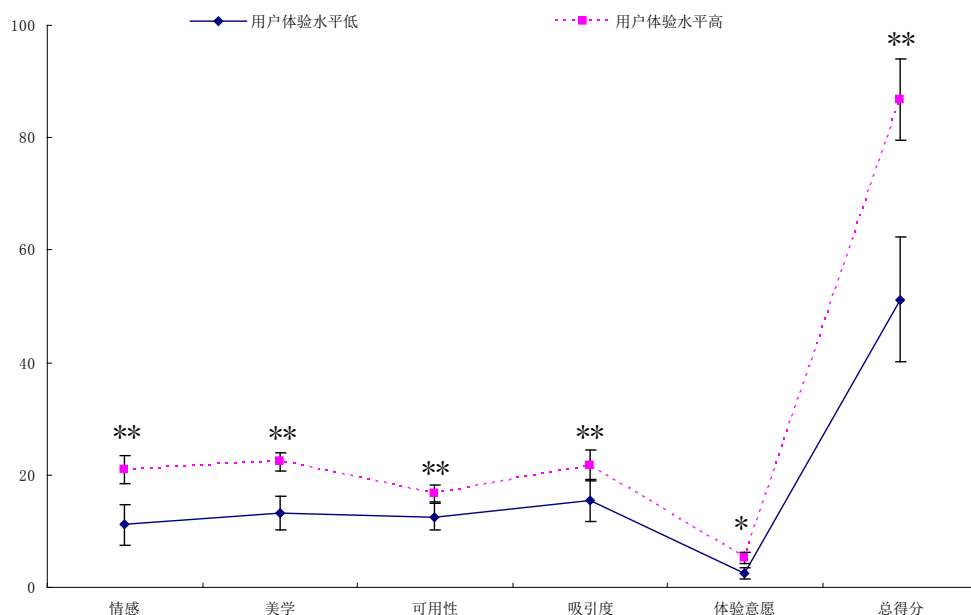


图 2 组 1 两幅智能手机主观评价 (*表示 $p < 0.05$, **表示 $p < 0.01$)

3.2 ERPs 结果分析

离线分析(off-line analysis)时，截取刺激呈现前 200 ms 到呈现后 500 ms 的脑电，

用-200~0ms 的平均波幅对基线进行校正。采用自动去除垂直眼电方式，剔除每个电极上幅值超过 $\pm 75\mu\text{V}$ 的脑电信号，滤波带通为 1~30 Hz。在脑电数据分析时，将组 1 智能手机用户体验得分高和低的图片分别进行叠加和平均。

分别对用户体验得分高和低的智能手机图片进行叠加和平均，也即不同智能手机的两组波形图片，16 名被试在各个电极点位置的 ERPs 总平均叠加图如图 3 所示。根据总波形图、脑地形图（图 4 和 5）以及相关研究^[19,21]，对于 N1，选取 F3、FZ、F4、C3、CZ、C4 电极点在时间窗 80~120ms 内进行统计分析；对于 P2 选取 FP1、FPZ、FP2、F3、FZ、F4、C3、CZ、C4 电极点在时间窗（140~165ms）内进行统计分析；对于 N2，选取 FP1、FPZ、FP2、F3、FZ、F4、C3、CZ、C4 电极点在时间窗 200~240ms 内进行波形成分分析。在每一时间窗口内，对平均电位采取被试内重复测量方差分析，两因素为用户体验水平（高和低）和电极位置（前额、额或者中央区）。

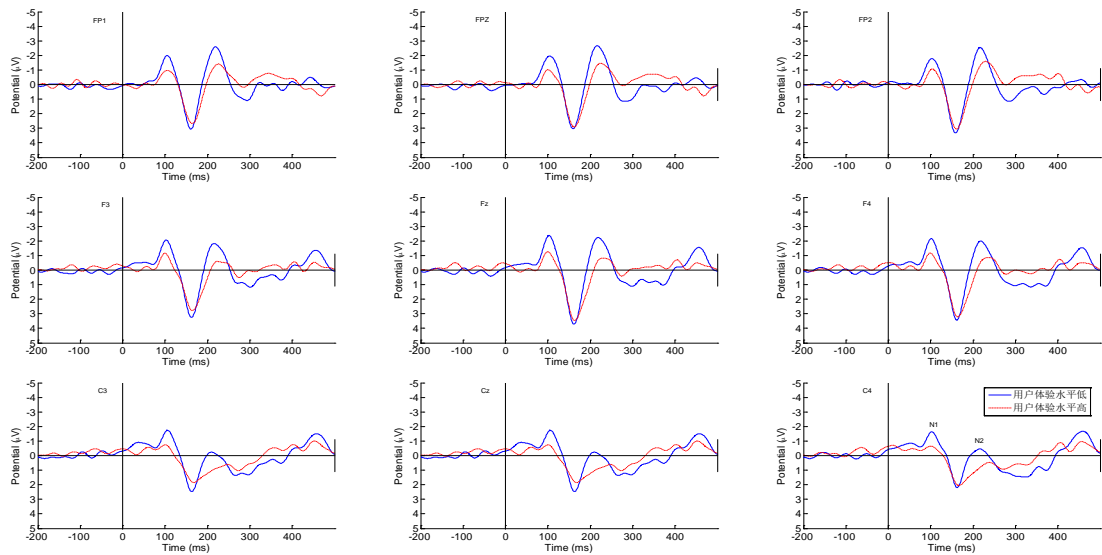


图 3 额区和中央区在不同智能手机用户体验水平（高和低）刺激下的 ERP 总平均图

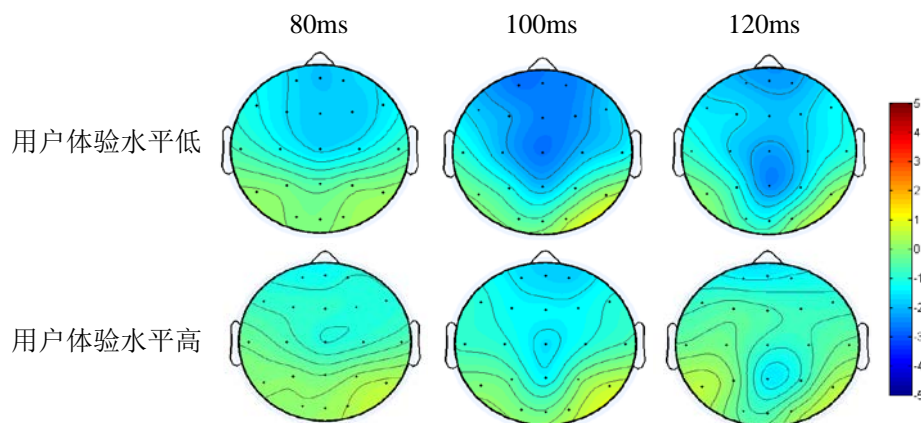


图 4 不同用户体验水平下 N1 的地形图

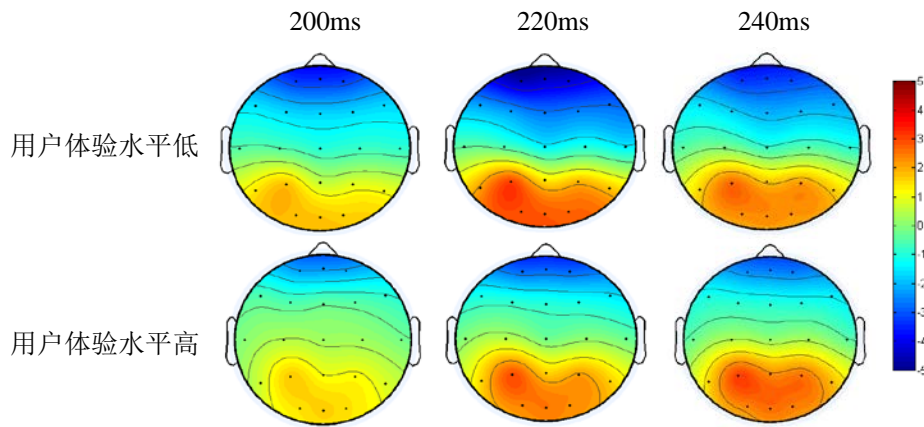


图 5 不同用户体验水平下 N2 的地形图

统计结果显示对于 N1 波（80~120ms），峰值在 100ms 左右，用户体验水平低的图片引发的 N1 波形更负，在额-中央区智能手机用户体验水平主效应显著， $[F(1,15)=22.583, p=0.001, \eta^2=0.601]$ ，电极位置主效应不显著 $[F(1,15)=0.356, p=0.560, \eta^2=0.021]$ ，用户体验水平和电极位置交互效应不显著 $[F(1,15)=2.286, p=0.151, \eta^2=0.132]$ 。比较发现，用户体验水平低的智能手机诱发更负的 N1 波。

对于 P2（140~165ms），峰值在 150ms 左右，在前额-中央区智能手机用户体验主效应不显著 $[F(1,15)=0.212, p=0.652, \eta^2=0.014]$ ，电极位置主效应不显著 $[F(2,30)=1.956, p=0.159, \eta^2=0.116]$ ，用户体验水平和电极位置交互效应不显著 $[F(2,30)=0.929, p=0.406, \eta^2=0.058]$ ，另外从波形图可以看出用户体验水平高的条件下诱发的 P2 波幅更小，但是统计上并没有达到显著水平。

对于 N2（200~240ms），峰值在 220ms 左右，在前额-中央区用户体验主效应显著 $[F(1,15)=6.586, p=0.021, \eta^2=0.305]$ ，电极位置主效应显著 $[F(2,30)=12.534, p=0.003, \eta^2=0.455]$ ，用户体验水平和电极位置交互效应不显著 $[F(2,30)=0.408, p=0.548, \eta^2=0.027]$ ，波形图显示用户体验水平低的图片引发的 N2 波形更负。N1 和 N2 在不同用户体验条件下的配对 t 检验结果如表 2 和表 3 所示。

图 4 和图 5 为 N1、N2 成分的头皮地形图。从图中可以看出，不同用户体验水平的智能手机图片诱发的脑电地形图很相似，激活区域主要分布头皮前部。在 80ms 后和 200ms 后额-中央区具有较为明显的负电活动，并且在智能手机用户体验水平低的条件下的大脑激活程度明显增强。

表 2 各个电极在用户体验高和低情况下 N1 成分在时间窗 80-120ms 的双样本配对 t 检验 (μV)

电极点	用户体验得分低		用户体验得分高		t	p
	均值	标准差	均值	标准差		
F3	-1.77	1.36	-1.13	1.67	-1.62	0.126
FZ	-2.15	1.55	-1.04	1.71	-2.46	0.026
F4	-2.17	1.54	-1.10	1.62	-2.37	0.032
C3	-1.68	1.23	-0.74	1.43	-3.26	0.005

CZ	-2.28	1.33	-1.17	1.55	-3.78	0.002
C4	-1.80	1.11	-0.84	1.45	-2.92	0.010

表 3 各个电极在用户体验高和低情况下 N2 成分在时间窗 200-240ms 的双样本配对 t 检验 (μV)

电极点	用户体验得分低		用户体验得分高		t	p
	均值	标准差	均值	标准差		
FP1	-4.50	5.75	-2.80	4.94	-2.03	0.061
FPZ	-4.48	5.77	-2.93	4.83	-1.47	0.161
FP2	-4.41	6.03	-2.96	4.67	-1.35	0.199
F3	-2.17	3.11	-0.89	2.63	-2.74	0.015
FZ	-2.43	3.39	-0.82	2.51	-3.39	0.004
F4	-2.39	3.40	-0.98	2.42	-2.69	0.017
C3	-0.53	2.41	0.42	2.01	-2.68	0.017
CZ	-1.34	3.07	-0.04	2.70	-3.71	0.002
C4	-1.06	2.64	0.17	2.10	-3.53	0.003

3.3 主观评价和脑电数据的相关性分析

为进一步探索主观评价和事件相关电位的关系,对组 1 两种智能手机图片的主观评价和 ERP 成分数据分别做相关性分析(表 4)。其中,对 N1 选取平均幅值最大的额区,对 N2 选取平均幅值最大的前额区,P2 选取平均幅值最大的额区。结果表明,N1 与除美学外的其他属性显著相关,N2 则与可用性和美学表现出显著相关性。P2 与用户体验各个维度表现出负相关,但是在统计上并没有表现出显著的相关性。

表 4 主观评价和脑电数据相关性

主观评价		情感	美学	可用性	吸引力	体验意愿	用户体验
图 1	N1	0.572*	0.632*	0.360	0.603*	0.543*	0.598**
	P2	-0.409	-0.460	-0.013	-0.092	-0.258	-0.227
	N2	0.436	0.435	0.475*	0.385	0.450*	0.450*

注: *表示在 0.05 的水平(双侧)上显著。

4 讨论

实验研究了伪 oddball 范式下不同用户体验水平的智能手机引起的脑电反应,在此用户体验主要是由产品外观设计水平不同引起的感知和反应,并没有涉及用户与智能手机的具体交互体验过程。从结果分析可以看出,用户在处理不同用户体验产品的过程中脑电成分有显著性差异。具体表现在脑前部 N1 和 N2 波形上,用户体验得分高的智能手机图片诱发的 N1/N2 成分的波幅值较得分低的图片诱发的波幅值小。对于 P2 成分,在所有电极点上,用户体验得分高和得分低的图片并没有表现出主效应。

实验结果表明对于 N1 波,统计结果显示在额-中央区电极位置用户体验具有显著的主效应。在低注意状态下对智能手机图片进行感知,智能手机用户体验水平的不同能引起注意

力的不同。也即由于刺激基本视觉特征而引起大脑早期视觉区域激活，是由“感官浸入”激发的神经活动，主要由刺激轮廓、形状、颜色等低阶属性所诱发^[31]。不同用户体验水平的智能手机在造型、颜色上存在差异，这一自下而上的认知过程主要体现在刺激所诱发的注意力上，在脑神经反应上主要体现在 N1 波幅的差异上，也即用户体验水平低的智能手机引起的 N1 更负。研究结果很好地验证了以往的研究，N1 振幅随着纯净物诱发的注意力降低而上升，和刺激的物理特征有关^{[32][33]}。表明用户体验水平高的智能手机能够吸引人的注意，从而在头皮前部表现出更浅的负波^[34]。Righi 等^[17]研究了工具的外观吸引度和运动启示之间的关系变化时，引起的电生理变化。结果表明，早期的视觉处理过程能够通过 N1 反映出来。而视觉吸引度和运动启示之间的不协调会引起 N1 波幅的增大。在其研究中，工具吸引度和运动启示之间的协调可以理解为工具的用户体验更加符合被试的认知，更容易被被试接受。从而在实验中发现不协调的工具较协调的工具引发的 N1 波形更负。本文研究发现类似的结果，用户体验水平高的智能手机看起来更加协调，从而不协调也即用户体验水平低的智能手机引起的 N1 波峰更大，但是潜伏期较 Righi 等^[17]更短。潜伏期较短的原因和本文实验范式有关，实验中不涉及对于工具的识别过程，因而刺激更加直接，从而导致 N1 潜伏期更短。

刺激呈现 150ms 左右，头皮前部出现 P2 成分，但是用户体验的统计分析显示用户体验主效应不显著。头皮前部的 P2 和目标刺激的基本属性（颜色、大小等）相关，并被证实能用于发现和分析任务相关特征^[35]。本实验中并没有针对非靶刺激制定任务，且刺激材料经过统一处理，在明度和对比度上没有差异，因此研究中被试对不同用户体验的手机图片感知时不能引起 P2 波幅值的显著差异。另外研究指出 P2 成分与情绪图片的正负效价有关，且对负向刺激更敏感^[36]。Spreckelmeye 等^[37]（2006）指出 P2 成分反映情感信息的早期处理，与快速的情绪编码有关。本实验中是对智能手机图片重复呈现进而叠加出的波形，不属于快速的情感感知；另外实验所使用的智能手机图片可能在情绪的正负效价上差异不明显，因此诱发的 P2 成分差异不显著。Wang 等^[19]研究指出图片的美或丑能够通过 P2 测量出来，但是本文并没有出现类似的结果，造成这一研究的差异可能和刺激材料的呈现有关，本文是单一刺激的叠加，而 Wang 等的研究是将众多美的吊坠和丑的吊坠单个刺激然后叠加的结果。

重复测量方差结果表明，不同用户体验水平的智能手机能引起显著性的 N2 差异，且用户体验水平低的智能手机能在额-中央区引起更负的 N2 波形。研究指出，头皮前部的 N2 是以刺激为导向的成分而不是监测失匹配，且 N2 是 ERP 的内源性成分，与人的认知加工、评价等有关^{[12][21]}。N2 平均幅值的显著性差异反应了被试对不同用户体验水平的智能手机存在认知和评价上的差异。用户在最初接触智能手机时会受到其第一视觉印象等低阶特征的影响，从而表现出早期的视觉神经反应（主要体现在诱发的注意力差异上），主要反映在峰值潜伏期更短的 N1 波上。同时，刺激也能够诱发被试高阶的认知，此时则主要反映在峰值潜伏期更长的 N2 波上。在 Ernst 等^[23]人的研究中，他们指出 N1 和 N2 能够反映人们的自主规避和倾向行为。当不同用户体验水平的智能手机循环呈现给被试时，被试会收到自己知识、记忆等影响对智能手机图片进行比较和分析，从而诱发被试相关的评价和决策神经，进而潜

在表现出喜好某一智能手机的倾向。本实验中并没有对让用户做出倾向和规避的选择，而是在实验之前进行告知被试刺激的内容，刺激材料诱发较为明显的 N2 成分可能和用户感知和自身认知的失匹配有关，用户体验得分高的智能手机更加符合用户内心的需求，也即引起的失匹配更小，从而表现出更浅的 N2 波。Tommaso 等^[22]在对艺术画和几何图形美学的研究中，让被试对图片的美学特征进行打分，脑电结果反映中性的图形较美的图形能够诱发更负的 N2 波。本研究数据表明，用户体验水平的图片较水平高的诱发更负的 N2 波，与 Tommaso 等^[22]不同，本研究并没有让被试进行评分任务。

脑地形图显示被试大脑前部灰质神经元活动较为活跃，从而在头皮前部电位上表现出较高的电压值。而统计结果表明，两种不同用户体验水平下的智能手机图片能够诱发出在幅值上表现出显著差异的 N1 和 N2 波。

从用户体验主观评价和事件相关电位之间的关系可以看出，N1 与情感、美学、吸引度和体验意愿显著正相关，N2 与可用性和体验意愿显著正相关。也即 N1/N2 越负，用户体验水平越低。相关性分析验证了事件相关电位用于测量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用户体验水平，为更全面的测量用户体验提供了新的研究思路。

5 结论

本文将事件相关电位技术应用于智能手机的用户体验测量，探索了用户对于智能手机的脑认知过程。用户体验的研究认为用户对产品的偏好是建立在个人对产品之间差异衡量的基础上的，偏好是用户自身感觉和态度的直接反映，并且影响用户的行为意愿和产品购买^[39]。因此对于用户接触产品初期的神经机制研究有助于提升产品设计，从而更好地第一时间抓住用户的需求。用户是否选择一款产品很大程度上取决于他们对产品视觉的感知^[40]。产品外观印象的体验对用户偏好和下一步行为影响很大，直接影响用户的购买意愿^[41]。有关研究指出用户对于产品第一印象的感知形成只需 50ms^[42]，但是对于这一短期过程的用户感知和体验研究缺乏深入的研究，采用测量精度更加精准的事件相关电位研究则有助于更好地了解用户体验的形成。

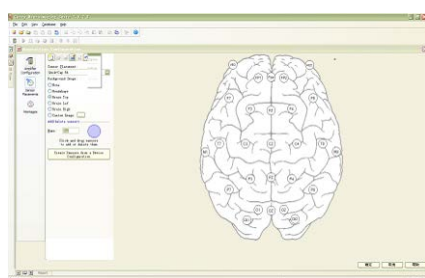
通过实验发现，用户在接触智能手机的初期用户体验过程中，受智能手机基本特征以及自身认知的影响，在主观评价和脑电结果上都表现出一定的差异。用户体验主观评价表明，实验材料在用户体验的各个维度存在显著差异；脑电实验中按照主观评价结果进行叠加分析，发现用户体验差异显著的智能手机能够诱发显著差异的 N1 和 N2 波；主观评价和事件相关电位相关性分析则验证了脑电技术用于测量产品用户体验水平的可能性，也为更好地测量用户体验提供了新的思路。本文研究发现事件相关电位技术可以用于反映产品外表差异引起的视觉感知及内在神经反映，即便是在低水平注意状态下，不同用户体验水平的智能手机还是能够诱发事件相关电位的差异。下一步研究可以探索引起用户认知差异的智能手机设计特征，从而为产品设计提供技术支持，并且将更多的感官系统如听觉、触觉考虑进去，将产品的交互过程进行研究，从而更好地提升产品的用户体验。

未来研究可以围绕以下几个方面展开。首先，更加广泛的选择不同群体的被试。研究中的被试来自于高校的学生，学历层次较高，对于其他群体的脑认知值得进一步研究，探索不同群体或者年龄段之间对产品外表特征的脑认知差异。对不同市场群体的智能手机脑认知的研究可以帮助公司进行更好的产品定位，根据不同群体的神经活动过程设计不同的产品，从而制定更加精准的市场营销策略；另外研究中没有考虑产品品牌的影响，在实际产品外表特征认知过程中，产品品牌影响用户的判断和决策，因此未来研究需要将产品品牌特征考虑进去；再者用户对事物的脑认知过程是自主或者有目的状态下的神经反应过程，未来研究可以更多地关注用户选择行为的脑神经反映过程，探索影响用户选择和判断行为的脑激活区域，从而为更加准确地找出影响用户神经反映的产品特征提供技术和方法支持；最后，用户对于产品的感知和认知往往是在某一具体环境发生的，因此未来研究还需将环境等因素考虑进去。

附录 A 智能手机用户体验评价指标

指标	说明	参考
情感	这部手机能给你带来惊奇的感觉	Seva& Helander, 2009
	这部手机能给人愉悦的感觉	
	这部手机能给人带来满足感	
	你期待试用这部手机	
美学	这部手机造型十分精致	Kim 等, 2014
	这部手机外形展现出高度的整体感	
	这部手机造型比例十分匀称	
	这部手机颜色很美观	
可用性	这部手机介面布局很清晰	Mugge& Schoormans, 2012
	这部手机看起来很容易操作	
	这部手机给人以友好的感觉	
吸引力	这部手机的某些部位设计新颖	Park 等, 2013
	这部手机能给人深刻的印象	
	这部手机很容易吸引人的眼球	
	这部手机能激发用户产生使用的兴趣	
体验意愿	我更倾向于体验这一手机	

附录 B 电极位置及实验材料



参考文献

- [1] Moshagen M, Thielsch M T. Facets of visual aesthetics[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2010, 68(10): 689-709.
- [2] Yang C C. Constructing a hybrid Kansei engineering system based on multiple affective responses: Application to product form design[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2011, 60(4): 760-768.
- [3] Barrena R, Sánchez M. Using emotional benefits as a differentiation strategy in saturated markets[J]. *Psychology & Marketing*, 2009, 26(11): 1002-1030.
- [4] Law E L C, van Schaik P. Modelling user experience—An agenda for research and practice[J]. *Interacting with Computers*, 2010, 22(5): 313-322.
- [5] Hassenzahl M, Tractinsky N. User experience—a research agenda[J]. *Behaviour & Information Technology*, 2006, 25(2): 91-97.
- [6] Vermeeren A P O S, Law E L C, Roto V, et al. User experience evaluation methods: current state and development needs[C]. *Proceedings of the 6th Nordic Conference on Human-Computer Interaction: Extending Boundaries*, ACM, 2010, pp:521-530.
- [7] Guo F, Cao Y, Ding Y, et al. A multimodal measurement method of users' emotional experiences shopping online[J]. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries* (In press).
- [8] Bailenson J N, Pontikakis E D, Mauss I B, et al. Real-time classification of evoked emotions using facial feature tracking and physiological responses[J]. *International Journal of Human-computer Studies*, 2008, 66(5): 303-317.
- [9] Kawasaki M, Yamaguchi Y. Effects of subjective preference of colors on attention-related occipital theta oscillations[J]. *NeuroImage*, 2012, 59(1): 808-814.
- [10] Tusche A, Bode S, Haynes J D. Neural responses to unattended products predict later consumer choices[J]. *The Journal of Neuroscience*, 2010, 30(23): 8024-8031.
- [11] Ariely D, Berns G S. Neuromarketing: The hope and hype of neuroimaging in business. *Nature Reviews Neuroscience*, 2010, 11: 284–292.
- [12] Treleaven-Hassard S, Gold J, Bellman S, et al. Using the P3a to gauge automatic attention to interactive television advertising[J]. *Journal of Economic Psychology*, 2010, 31(5):777-784.
- [13] Dimoka A. Where does TAM reside in the brain? The neural mechanisms underlying technology adoption.[C]. *Twenty Ninth International Conference on Information Systems*, Paris, 2008. http://www.sbm.temple.edu/minisites/neural/documents/ICIS%202008%20TAM%20Submitted_R1_final_submitted.pdf
- [14] Jacobsen T, Schubotz R I, Höfel L, et al. Brain correlates of aesthetic judgment of beauty.[J]. *Neuroimage*, 2006, 29:276–285.
- [15] Schaefer M, Rotte M. Thinking on luxury or pragmatic brand products: Brain responses to different categories of culturally based brands. *Brain Research*, 2007b, 1165, 98–104.
- [16] Carretie L, Hinojosa J A, Mercado F. Cerebral patterns of attentional habituation to emotional visual stimuli. *Psychophysiology*, 2003, 40: 381–388.
- [17] Righi S, Orlando V, Marzi T. Attractiveness and affordance shape tools neural coding: Insight from ERPs[J]. *International Journal of Psychophysiology*, 2014, 91(3): 240-253.
- [18] Sergei A, Alexei N G, Julius K. Categorization of unilaterally presented emotional words: an ERP analysis[J]. *Acta Neurobiol Exp*, 2000, 60:17–28.
- [19] Wang X, Huang Y, Ma Q, et al. Event-related potential P2 correlates of implicit aesthetic experience[J].

- Neuroreport, 2012, 23(14): 862-866.
- [20] Handy T C, Smilek D, Geiger L, et al. ERP evidence for rapid hedonic evaluation of logos[J]. *Journal of Cognitive Neuroscience*, 2010, 22(1): 124-138.
- [21] Folstein J R, Van Petten C. Influence of cognitive control and mismatch on the N2 component of the ERP: a review. *Psychophysiology*, 2008, 45, 152-70.
- [22] Tommaso M, Pecoraro C, Sardaro M, et al. Influence of aesthetic perception on visual event-related potentials[J]. *Consciousness and Cognition*, 2008, 17:933–945.
- [23] Ernst L H, Ehlis A C, Dresler T, et al. N1 and N2 ERPs reflect the regulation of automatic approach tendencies to positive stimuli[J]. *Neuroscience Research*, 2013, 75(3): 239-249.
- [24] Norman D A. *The Emotional Design*[M]. New York: Basic Books, 2005.
- [25] Palmer S E, Schloss K B. An ecological valence theory of human color preference[J]. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 2010, 107(19): 8877-8882.
- [26] Seva R R, Helander M G. The influence of cellular phone attributes on users' affective experiences: A cultural comparison[J]. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 2009, 39(2): 341-346.
- [27] Kim T, Jung E S, Im Y. Optimal control location for the customer-oriented design of smart phones[J]. *Information Sciences*, 2014, 257: 264-275.
- [28] Mugge R, Schoormans J P L. Product design and apparent usability. The influence of novelty in product appearance[J]. *Applied Ergonomics*, 2012, 43(6): 1081-1088.
- [29] Park J, Han S H, Kim H K, et al. Developing elements of user experience for mobile phones and services: survey, interview, and observation approaches[J]. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 2013, 23(4): 279-293.
- [30] Field A. *Discovering Statistics Using SPSS*[M] (third ed.). Sage, London, UK, 2009.
- [31] Vetter P, Newen A. Varieties of cognitive penetration in visual perception[J]. *Consciousness and Cognition*, 2014, 27: 62–75.
- [32] Luck S J, Heinze H J, Mangun G R, et al. Visual event-related potentials index focused attention within bilateral stimulus arrays. II. Functional dissociation of P1 and N1 components[J]. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1990, 75(6): 528-542.
- [33] Verleger R., Groen M., Heide W., Sobieralska K., et al. Selection of features within and without objects: Effects of gestalt appearance and object- based instruction on behavior and event- related brain potentials. *Psychophysiology*, 2008, 45: 499-510.
- [34] Hillyard S A, Hink R F, Schwent V L, et al. Electrical signs of selective attention in the human brain[J]. *Science*, 1973, 182(108): 177-180.
- [35] Luck S J, Hillyard S A. Electrophysiological correlates of feature analysis during visual search[J]. *Psychophysiology*, 1994, 31(3): 291-308.
- [36] Carretié L, Hinojosa J A, Martín-Loeches M, et al. Automatic attention to emotional stimuli: neural correlates[J]. *Human Brain Mapping*, 2004, 22(4): 290-299.
- [37] Spreckelmeyer K N, Kutas M, Urbach T P, et al. Combined perception of emotion in pictures and musical sounds[J]. *Brain Research*, 2006, 1070(1): 160-170.
- [38] Wu J H, Mai X Q, Yu Z L, et al. Effects of discrepancy between imagined and perceived sounds on the N2 component of the event-related potential[J]. *Psychophysiology*, 2010, 47: 289–298.
- [39] Lee S, Koubek R J. Users' perceptions of usability and aesthetics as criteria of pre–and post–use preferences[J]. *European Journal of Industrial Engineering*, 2012, 6(1): 87-117.
- [40] Lin Y C, Lai H H, Yeh C H. (2007). Consumer-oriented product form design based on fuzzy logic: A case study

- of mobile phones[J]. International Journal of Industrial Ergonomics, 2007, 37(6): 531-543.
- [41] Wu W Y, Liao Y K, Chatwuthikrai A. Applying conjoint analysis to evaluate consumer preferences toward subcompact cars[J]. Expert Systems with Applications, 2014, 41(6): 2782-2792.
- [42] Lindgaard G, Fernandes G, Dudek C, et al. Attention web designers: You have 50 milliseconds to make a good first impression![J]. Behaviour & Information Technology, 2006, 25(2): 115-126.

Using Event Related Potentials to Gauge User Experience of Smartphones

GUO Fu, DING Yi, ZHANG Xuefeng, CAO Yaqin

(School of Business Administration, NEU, Shenyang 110167, China)

Abstract User experience directly affects users' purchase decision, which is produced according to the analysis and judgment after information receiving of product appearance. The Smartphone was taken as an example. Neural responses were studied when users perceive smartphone pictures with different levels of design under the same brand. The experiment results show that the smartphone picture with lower score of visual experience elicited greater amplitudes of N1/N2 than the higher through within-subject repeated-measures analysis of variance. This indicates that the event-related potential methodology can differentiate the levels of smartphone and may be a new method to measure user experience of smartphones.

Key words User experience, Visual event-related potentials, N1, N2, Smartphone

作者简介

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

丁一（1988-），男，东北大学工商管理学院博士研究生，主要研究方向用户体验测量和评价、产品设计等。E-mail: emiledy@sina.com。

张雪峰（1981-），男，东北大学工商管理学院博士研究生，主要研究方向市场营销策略、用户脑认知等。E-mail: godalphar@163.com。

操雅琴（1981-），女，辽宁工程技术大学营销管理学院讲师，主要研究方向为电子商务、网站设计等。E-mail: caoyaqin.2007@163.com。