

基于事件的虚拟现实用户体验评估方法研究

马思琪 车啸平 于 淇 岳晨峰

北京交通大学软件学院 北京 100044

(17121712@bjtu.edu.cn)

摘 要 近年来,随着虚拟现实(Virtual Reality,VR)技术的逐渐成熟,我国 VR 产业处于高速增长的态势。虽然 VR 的发展为内容设计提供了许多新的可能性,但由于 VR 应用的设计不成熟,VR 行业的从业者们仍面临着严峻的挑战,VR 中的设计仍需要通过用户使用来验证是否可行。因此,用户体验(User Experience,UX)研究对于成功设计 VR 软件至关重要。同时,随着用户对内容质量要求的提高,VR 内容是否有足够的吸引力将在很大程度上影响用户体验,决定了用户是否会进行更进一步的 VR 体验。因此,如何评估 VR 用户体验并找到影响用户体验的内容对于提高用户体验和用户黏性至关重要。目前,对 VR 的研究集中在硬件和软件的改善上,对内容设计的关注较少,对用户体验的评价也没有统一且明确的标准。文中尝试找出用户体验和用户特性以及 VR 内容之间的关联。首先,定义了 4 种类型的 VR 交互事件,并设计了一份问卷来收集测试者的用户特性及其主观评价。其次,将 80 名测试者分成两组,在固定的时间内体验两种类型的 VR 产品,在实验过程中,测试者的客观生理数据与参与实验的整个过程都被记录下来。最后,采用统计学方法和改进的 Prism 算法,找出了用户特性、游戏交互事件类型与用户体验之间的相关性。文中对 VR 用户体验规范化评估进行了初步尝试,实验结果可以为 VR 内容设计人员和开发人员提供參考。

关键词: 虚拟现实;用户体验;用户特性;VR 交互;Prism 算法

中图法分类号 TP311.5

Event-based User Experience Evaluation Method for Virtual Reality Applications

MA Si-qi, CHE Xiao-ping, YU Qi and YUE Chen-feng

School of Software Engineering, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China

Abstract With the rapid development of virtual reality(VR) technology in recent years, the VR industry is currently growing fast. Although VR provides many new possibilities for content form, due to the immaturity of VR application design, designers in the VR industry still face severe challenges. Design of VR applications still needs to be verified by users. Therefore, user experience(UX) analysis is really critical to the success of VR software development. At the same time, with the increase of users' requirements for VR content quality, whether the content is attractive enough will greatly affects users' experience and determine the service life of VR applications. Consequently, searching for interaction events that will affect VR UX is critical to improve user stickiness. At present, the researches on VR mainly focus on the improvement of hardware and software, and pay less attention to the content event design. Moreover, there is no unified and clear standard for VR UX evaluation. This paper attempts to find out the relationship between user traits, VR interaction events and user experience through realistic experiments. This paper firstly defines four types of VR interaction events, and designs a questionnaire for collecting the tester's traits and their subjective evaluation. During the experiment, objective physiological data of the testers and their participation process are recorded. The 80 testers are divided into two groups to experience two types of VR games with constant time. The statistical method and improved Prism algorithm are used to find out the correlation among user traits, type of game interaction events and user experience. The experiment results can provide references for VR designers and developers, and at the same time provide the preliminary study to standardized VR user experience evaluation.

Keywords Virtual reality, User experience, User traits, VR interaction, Prism algorithm

1 引言

近年来,随着虚拟现实技术的逐渐成熟,以及 VR 市场规模的逐步扩大,高盛集团预测,到 2025 年 VR/AR 市场收入

将达到 800 亿美元。与此同时,VR 产品成本的降低和可用性的提高进一步推动了 VR 的普及。在此之前,VR 在硬件技术上已经取得了长足的进步,人们对 VR 应用的关注度逐渐增高^[1]。如同优质的游戏带动了 PC 设备的销量,VR 行业

到稿日期:2020-01-09 返修日期:2020-06-04

通信作者:车啸平(xpche@bjtu.edu.cn)

中真正刺激用户消费的还是优质的内容^[2],随着消费者内容消费习惯的逐渐形成,VR应用的收益也在逐渐增加。然而,VR内容的发展仍然面临一个主要的瓶颈,据映维网统计,截至2018年4月,中国主要VR内容平台Steam,Oculus PC,Oculus Mobile,PlayStation VR上的VR游戏数量分别约为2400,1000,1300,230。与大量的手机游戏和主机游戏相比,这仍然是一个小数目。

最近发布了多款VR头盔显示器(HMD),人们对VR应用程序的设计和开发越来越感兴趣^[3]。尽管VR为新的内容和交互设计提供了令人兴奋的可能性,但由于VR软件设计的不成熟,目前设计师们面临着众多挑战。在设计更成熟的环境(如桌面或移动计算)时,设计人员可以使用完善的交互模式和约定。例如,在桌面软件上,用户熟悉在窗口的角落有一个按钮来关闭程序,而在智能手机上,用户熟悉汉堡包菜单和捏缩放。由于VR中的3D环境通常提供与其他软件界面大不相同的交互模式,因此一些触摸屏和桌面软件的惯例不能直接映射到VR交互中。因此,VR中的许多交互都需要通过用户验证来实验,用户体验研究对于成功设计新VR软件交互至关重要。

目前,VR UX研究主要集中在以下几方面:VR的沉浸感和晕动症^[4-6]、使用VR进行文化传播或者作为教学辅助工具^[7-9]、使用VR治疗疾病或提供心理引导^[10-12]、VR中的压力和认知负荷^[13-16]、VR中的移动^[3,17-18]。目前,大部分VR环境只能允许单个用户,容易造成孤独感,部分研究尝试寻找VR中可能的社交方式^[9,19]。然而,现有的VR用户体验研究还没有完全发掘用户自身特征与交互事件之间的相关性。

本文的目的是找出VR游戏中与用户体验正相关的规则集,这些规则集由用户自身的特性和游戏中交互事件的类别组成。基于此,可以根据目标用户的喜好,准确地向目标用户群体推荐合适的VR内容,提高用户粘性。本文选择了游戏公司VAVLE开发的“The Lab”中的Slingshot和Longbow进行实验。“The Lab”自2016年上线以来一直是Steam上排名前三的VR游戏,并且获得了用户的一致好评。我们通过问卷调查,获得了实验中测试人员的用户自身特性和主观评价,并且定义了4种典型的交互事件类型(触摸 touch、抓取 grab、操作 operation、移动 move),在实验过程中,通过摄像记录测试人员在整个测试过程中的参与情况。为了得到更精确的影响用户体验的因素,我们改进了Prism规则归纳算法。

本文的主要贡献有:1)提供了一种问卷设计方法进行数据采集,以收集用户特性和主观、客观体验;2)提出了一种改进的Prism算法,用于处理较为复杂的数据样本;3)总结了用户特性、交互事件与VR用户体验间的关系,并用规则集的形式来表示。本文第2节简要介绍了VR用户体验的研究现状和用户体验评价方法;第3节展示了问卷的设计和交互事件的定义;第4节详细介绍了问卷数据处理、心率数据处理以及Prism算法的改进;第5节介绍了实验环境和实验结果分析;最后对全文进行了总结和展望。

2 相关工作

用户体验研究对于成功设计新的VR软件交互至关重要。

然而,目前关于VR用户体验的研究依然无法确认用户自身特性和游戏中交互事件类别与用户的实际体验是否呈正相关关系。同时,如何将主客观方法相结合,对用户体验进行准确地评价仍然是一项具有挑战性的任务。

2.1 VR用户体验研究

VR研究主要是研究用户在VR环境下的退出、指导、场景过渡、声音和移动方式等方面的体验。文献[5]通过采访测试人员,探索了退出VR并回归现实的短时间体验,并提出了6种可以缓解或提升退出体验的设计。文献[20]通过对15名大学生用户的研究,探讨了教学方法对VR严肃游戏用户体验的影响,并试图找到能提供更好的用户体验的指示类型。文献[21]通过基于问卷的用户实验,研究了VR中场景转换对用户体验的影响。文献[6]通过对比实验发现,在VR中适度且有针对性地使用拟声词确实能够在引导用户的注意力和提供对象的功能可见性方面提供帮助,从而增强用户体验,甚至增强存在感和沉浸感。文献[3]研究了VR游戏中4种常用的基于第一人称控制器的运动技术对玩家体验的影响,结果表明,相比其他技术,自由传送移动提供了最佳的用户体验和最小的不适感。

然而,现有的VR交互中针对用户体验的研究还远远不够。文献[22]在功能可见性这一定义下,确定了哪些操作是可能的,以及用户如何与游戏中的内容进行交互。文献[23]识别了功能可见性的特征,并发现了功能可见性在增强VR游戏用户体验中的作用。文献[24]对比了第一人称与第三人称的VR手动交互体验,使用问卷验证了这种交互是否为用户提供了更好的体验。此外,其使用3种类型定义了第三人称虚拟现实(TPVR)的交互,即在虚拟环境中移动、选择虚拟对象和使用包含多种功能和行为的菜单界面,并对其进行了用户体验的研究,但是该文献只使用了问卷调查,没有使用客观的方法进行验证。

2.2 用户体验的主客观研究方法

现有的VR用户体验评估方法包括主观评估法、客观评估法和两种方法的结合。

用户体验的主观评价方法主要是用户的自我评价,可以通过口头评价或问卷调查的方式对VR产品各个方面的直接体验进行评价^[25]。问卷能够有效地评估用户对不同规模产品的主观体验^[26]。文献[27]设计了一种调查工具Virtual Experience Test(VET),其使用1(非常不同意)到5(非常同意)的问题打分模式来测量整体虚拟环境体验,但该实验只对一个游戏环境进行了研究。文献[28]修改了现有的晕动症模拟器问卷,开发了一个VR晕动症问卷,作为VR环境下的测量指标。文献[7]在一个海滩场所的三维VR环境模型中评估可用性和用户体验,它通过测试者的行为来评估他们在虚拟世界中的交互,以及他们在问卷中对存在感和晕动症模拟器的反应。

客观评价用户体验的方法主要是监测用户的脑电波、心率、皮肤电导、呼吸、眼球运动等生理信号^[29-31]。心跳活动能反映出用户情绪的变化,因此心率监测通常被认为是测量用户情绪状态的一种有效方法^[32]。文献[32]开发了一种测试VR游戏用户体验的新方法:脑电图(Electroencephalogram,

EEG)信号和大脑功能连通性(Functional connectivity,FC)。结果表明,对于两款不同可用性的VR游戏,FC具有显著性差异,脑电图中的伽马谱带也存在显著性差异,这说明EEG是分析VR游戏用户体验的良好工具。

此外,大量的研究集中在主客观评价的结合方法上。由于沉浸式虚拟环境(Immersive Virtual Environment,IVE)的用户体验中的大部分内容都可以通过问卷来测量,因此文献[33]重点研究了问卷法。但是,大量其他研究者仍然认为,衡量在IVE中的用户体验的最好方法是收集合适的主客观方法的结果并进行比较。本文中,测试者在体验VR场景后被要求回答 Igroup Presence Questionnaire (IPQ),这样可以对比客观的可视性能数据与主观的性能评估工具,将问卷调查与心率相结合可以更全面、更有说服力地评估用户体验^[34]。

以上研究表明,VR用户体验与用户特性和交互行为类型有关,但现有研究还不够全面。因此,本文选择研究VR中用户特性与交互事件以及用户体验之间的关系。同时,鉴于现有的研究并没有采用客观的方法来验证最后的结论,本文采用心电图来客观验证用户体验。

3 准备工作

为了探究VR用户的用户体验、用户特性与游戏中不同类型交互事件之间的相关性,本文设计了一份包含用户自身特征、基本生理数据和游戏评分的问卷,同时定义了游戏中4种类型的交互事件,并分别计算每种交互事件的操作成功率以进行后续分析。

3.1 问卷设计

文献[35]表明,性别差异可能会影响VR体验;文献[4]表明VR中的用户体验依赖于个体特征。因此,本文认为用户体验与用户自身特性相关。问卷包括性别、年龄、性格特征、锻炼频率、游戏体验、基本心率和继续玩VR游戏的意愿。其中,性格特征分为外向型和内向型;游戏体验分为丰富和较少;运动频率分为较高和较低;以基础心率作为心率参考值处理心率数据。为了评估测试者对VR的主观体验,问卷要求测试者对游戏过程进行评分,由于测试者对游戏的偏好可能会因游戏阶段而存在差异,因此根据游戏时间的不同,将游戏历程分为3个阶段:开始阶段、中间阶段和最后阶段。根据Likert 五级主观量表^[36],将3个阶段的打分范围设置为1—5,1代表“不喜欢”,5代表“喜欢”。表1列出了用户特性和用户主观体验问卷。

表1 用户特性和用户体验问卷

Table 1 User characteristics and experience questionnaire

项目	选项1	选项2
年龄	16~50	
性别	男	女
游戏体验	丰富	较少
运动频率	较高	较低
性格特征	外向型	内向型
基础心率	测量值	
是否愿意继续玩	是	否
第一阶段打分	1—5	
第二阶段打分	1—5	
第三阶段打分	1—5	

3.2 交互事件定义

根据文献[24],本文推测VR交互事件的成功率会影响测试者的用户体验,依照与VR环境的交互,定义4种交互事件类型(见图1):1)触摸,触摸或点击VR环境的元素,例如触摸菜单、项目和按钮;2)抓取,抓取VR环境的元素,例如抓取弓箭和物品;3)操作,执行特定的操作以实现目标,例如用弹弓或弓箭击中目标;4)移动,将用户传送到一定距离以外的目标地点。

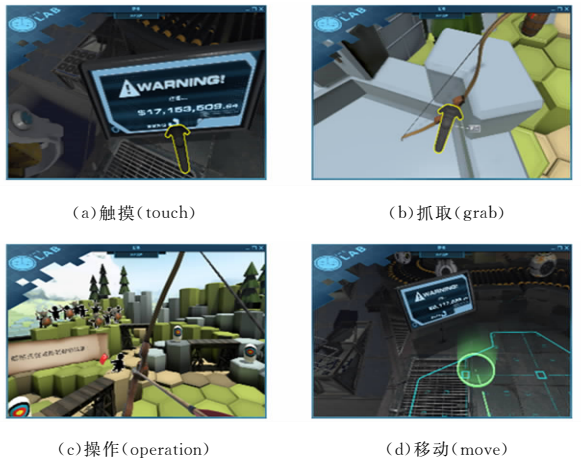


图1 4种类型的交互事件

Fig. 1 Four types of interaction events

4 数据处理和算法介绍

4.1 数据处理

由文献[4]可知,用户特性可能会影响测试者的游戏体验。本文选取问卷中的性别、游戏经验(包括手机游戏、主机游戏)、运动频率和性格特征作为用户特性的特征值。没有选取年龄作为用户特性的原因是,测试者的年龄均为18~25岁。然后,将特征值数字化并划分为不同的集合。

根据上文提到的3个阶段的评分系统,本文定义了3种不同的评分趋势:评分趋势上升被认为是positive的用户体验,评分趋势下降被认为是negative的用户体验,评分趋势稳定被认为是neutral的用户体验。例如,某一样本3个阶段的得分分别为3,4,5,则该样本为用户体验Positive的样本。得分趋势与用户体验定义之间的关系如图2所示。

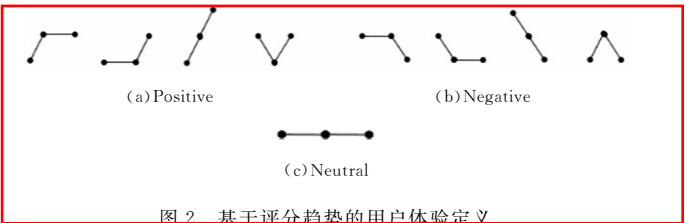


图2 基于评分趋势的用户体验定义

Fig. 2 UX definition based on score trends

为准确获取各交互事件的发生时间和事件发生时测试者的心率变化,本文同步心率监测仪的时间和摄像机的时间。在实验过程中,使用专业的心率监测仪来测量使用者的实时心率,并在心率数据导出后,将交互事件的类型和该事件的成功或失败对应标记在该事件发生时相应的心率数据的位置。

通过交互事件的成功次数与总数的比值,计算出每种类型的交互事件对于每个测试者的成功率,并将上述 4 种类型的交互事件的成功率转换为整数,如表 2 所列。

表 2 交互事件特征的含义

Table 2 Interaction event feature value

交互事件类别	成功率	特征值
触摸	高	1
	低	0
抓取	高	1
	低	0
操作	高	1
	低	0
移动	高	1
	低	0

最后,以用户特性和 4 种类型交互事件的成功率为特征,将测试者的评分趋势分为 positive 和 negative,通过 Prism 算法得到与用户体验相关的规则集。

为客观地验证这些规则集,本文在实验过程中用脉搏血氧计采集用户的实时心率数据。由于每个测试者的基础心律不同^[32],根据每个测试者的基础心律对采集到的实时心率数据进行调整。由调整后的心率数据计算交互事件前后测试者的心率变化值来客观反映交互事件发生时测试者的生理体验,如图 3 所示。其中,左纵轴数字 1 对应触摸事件,数字 2 对应抓取事件,数字 3 对应操作事件,数字 4 对应移动事件。

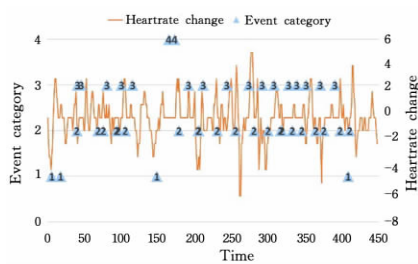


图 3 交互事件与实时心率变化

Fig. 3 Interaction event and change of real-time heart rate

4.2 Prism 算法的改进

本文旨在探讨用户特性、VR 交互事件与用户体验之间的关系。根据知识表示的不同类型,目前的规则归纳分类算法可以分为两类:决策树算法和模块规则归纳算法。

然而,决策树算法也存在不足,即经过剪枝操作,其输出结果在某种程度上仍然难以形成比较直观的理解。此外,决策树算法容易出现过拟合现象。因此,本文选择能够从数据集中总结出相关规则的 Prism 算法。虽然 Prism 算法也是以 ID3 算法为基础的,但是它使用不同的归纳策略来指导模块化规则,从而解决了许多与决策树相关的问题。

该算法将训练样本集 D 定义为属性空间 X 与类别范围空间 $dom(y)$ 的笛卡尔积,即:

$$D = X \times dom(y) \quad (1)$$

当属性值离散时,有:

$$X = dom(a_1) \times dom(a_2) \times \cdots \times dom(a_n) \quad (2)$$

其中, $dom(a_i)$ ($i=1, 2, \dots, n$) 表示第 i 个属性的取值空间。

训练集中的所有样本都可以表示为 m 元组,即:

$$D = (\langle x_1, y_1 \rangle, \dots, \langle x_m, y_m \rangle) \quad (3)$$

其中, x_j ($j=1, 2, \dots, m$) 是属性向量, y_j ($j=1, 2, \dots, m$) 是类别范围空间中的值。

根据上述训练集,规则学习系统得出的规则形式为:

$$\text{IF } f_1 \wedge f_2 \wedge \cdots \wedge f_l \text{ THEN } Class = y_j$$

其中,规则的先行项是一系列特征值的逻辑与,特征 f_k ($k=1, 2, \dots, l$) 用于测试待分类的样本属性值是否满足该条件。该规则的结论给出了分类结果,Prism 算法将二维数据表看作一个离散的决策系统,把系统中的属性值作为信息论中的信息进行处理。

归纳算法的任务是找到“属性-值”配对,如 $a_i = v$ (v 代表属性),这样此配对可以为特定类别 y_j 贡献最多的信息,即令 $I(Class = y_j | a_i = v)$ 最大,其中:

$$I = \log_2 \left(\frac{p(Class = y_j | a_i = v)}{p(Class = y_j)} \right) \text{ bits} \quad (4)$$

$p(Class = y_j)$ 对于所有的“属性-值”匹配都是相同的,因此,需要找到使 $p(Class = y_j | a_i = v)$ 最大的“属性-值”配对 $a_i = v$ 。具体算法如算法 1 所示。

由于采集到的问卷数据和心率数据中存在连续值和缺失值,本文对部分 read 函数进行了改进:用同一特征集合中的众数替换缺失的特征值,并将所有特征值转换为离散整数。

算法 1 基于 Prism 的有标签数据实例学习分类规则

1. FOR $i=1 \rightarrow C$ DO
2. $D \leftarrow \text{Dataset};$
3. WHILE D does not contain only instances of class y_j DO
4. FORALL attributes $a_i \in D$ DO
5. IF attribute a_i is categorical THEN
6. Calculate the conditional probability, $p(y_j | a_i = v)$ for all possible attribute-value ($a_i = v$) from attribute a_i ;
7. ELSE IF attribute a_i is numerical THEN
8. sort D according to v values;
9. FOREACH v value of a_i DO
10. calculate $p(y_j | a_i \leq v)$ and $p(y_j | a_i > v)$;
11. END
12. END
13. END
14. Select the $(a_i = v)$, $(a_i > v)$, or $(a_i \leq v)$ with the maximum conditional probability as a rule term;
15. $D \leftarrow S$, create a subset S from D containing all the instances covered by selected rule term at line 15;
16. END
17. The induced rule R is a conjunction of all selected $(a_i = v)$, $(a_i > v)$, or $(a_i \leq v)$ at line 15;
18. Remove all instances covered by rule R from original Dataset;
19. REPEAT
20. lines 2 to 19;
21. UNTIL all instances of class y_j have been removed;
22. Reset input Dataset to its initial state;
23. END
24. RETURN induced rules.

5 实验

5.1 实验环境

本文选择 80 名没有 VR 体验经历的测试者进行实验,他们被平均分成两组,在“The Lab”中体验两款 VR 游戏,即 Slingshot 和 Longbow,如图 4 所示。

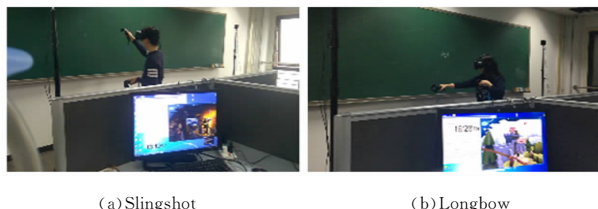


图 4 实验环境

Fig. 4 Experiment environment

在开始游戏前,测试者需要填写一份问卷,其中包括表 1 中的所有信息。

在实验过程中,用户始终佩戴脉搏血氧仪,用于测量和记录实时心率;使用录像机来记录每位用户的游戏体验过程。为了保证测试结果的客观性,在测试过程中没有任何外部的指导或干扰,每个测试者的体验时间不少于 8 min。游戏结束后,测试者填写问卷的最后两栏(游戏前、中、后 3 个阶段的得分)。

5.2 结论

由于视频采集和心率采集设备的不稳定性(例如,心率采集设备可能由于测试者的剧烈活动而断开连接,导致心率采集无效),本文在实验后删除了无效的数据。为了准确计算每一种交互事件的成功率和对应的心率变化值,我们手工标注了每一位测试者的 4 种交互事件类型和每一种事件的成功/失败,如图 3 所示。

根据上述数据处理方法,计算 4 种类型的交互事件的成功率以及每种事件的平均心率变化。经过数据预处理,使用改进的 Prism 算法计算用户特性、交互事件类别与用户体验(positive 或 negative)之间的关系。由于实验样本数量较少,为了避免使用全部样本直接生成的规则集,过拟合,本文采用随机抽样的方法多次生成规则集,并从中选取能够覆盖最多测试集样本的规则集。

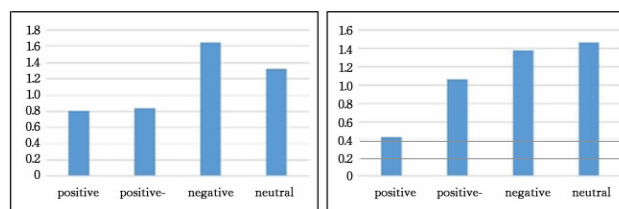
5.2.1 Slingshot

下面列出了在 Slingshot 游戏中与用户体验正相关的规则集。

- 1) $positive \leftarrow (gameEx, 1) \cap (gender, 2)$
- 2) $positive \leftarrow (sportEx, 1) \cap (grab, 1)$
- 3) $positive \leftarrow (personality, 1) \cap (operation, 1)$

从规则 1)可以看出,具有丰富游戏经验的女性测试者对于 Slingshot 有着 positive 的用户体验。由于该规则不涉及交互事件,因此这里不讨论如何通过心率数据验证该规则。

如图 5 所示,“positive”表示规则所涵盖的 positive 样本,“positive-”表示规则未涵盖的 positive 样本,“negative”表示规则未涵盖的 negative 样本,“neutral”表示规则未涵盖的 neutral 样本。



(a) 抓取事件成功的各组平均心率的变化情况 (b) 操作事件成功的各组平均心率的变化情况

图 5 Slingshot 中 positive 的用户体验结果

Fig. 5 Positive UX results in Slingshot

规则 2)表明,拥有丰富锻炼经验的测试者在抓取事件上的成功率高,其用户体验可能是 positive 的。图 5(a)显示,“positive”的平均心率变化明显低于“negative”和“neutral”的心率变化,略低于“positive-”的心率变化。由于稳定的心率状态一般对应于 positive 的用户体验^[31],因此本文结论得到了验证,即抓取事件的设计可以提升有丰富锻炼经验的用户的体验。

规则 3)表明,操作事件成功率高的外向型测试者可能具有 positive 的用户体验。图 5(b)显示,“positive”的平均心率变化明显低于“positive-”“negative”“neutral”。根据文献[37],本文结论得到验证,即可实现的操作事件设计将对外向型用户产生 positive 的影响。

下面列出了与用户体验负相关的规则集。

- 1) $negative \leftarrow (sportEx, 0) \cap (grab, 1)$
- 2) $negative \leftarrow (grab, 0) \cap (sportEx, 1) \cap (touch, 1)$
- 3) $negative \leftarrow (gameEx, 1) \cap (operation, 1)$

如图 6 所示,“negative”表示规则所涵盖的 negative 样本,“negative-”表示规则未涵盖的 negative 样本,“positive”表示规则未涵盖的 positive 样本,“neutral”表示规则未涵盖的 neutral 样本。

规则 1)表明,缺乏体育锻炼而抓取事件成功率高的测试者可能存在 negative 的用户体验。图 6(a)中,“negative”的平均心率变化明显高于“negative-”“positive”“neutral”。由于高波动性的心率信号一般对应 negative 的用户体验^[31],因此本文结论得到验证,即不经常参加体育活动的用户很快会对简单的抓取事件失去兴趣。

规则 2)表明,经常进行体育锻炼的测试者,抓取事件的成功率较低,触摸事件的成功率较高,这种情况可能存在 negative 的用户体验。由图 6(b)和图 6(c)可以看出,在抓取和触摸事件中,“negative”的平均心率变化明显高于“negative-”“positive”“neutral”,因此本文结论得到验证,即对 positive 参加体育锻炼的用户来说,较易实现的抓取事件和较少的触摸事件将满足其需求。

规则 3)表明,拥有丰富游戏经验且操作事件成功率高的测试者很可能存在 negative 的用户体验。根据图 6(d),“negative”的平均心率变化明显高于“negative-”“positive”“neutral”,因此本文结论得到验证,即游戏经验丰富的用户只会被具有挑战性的操作事件所吸引。

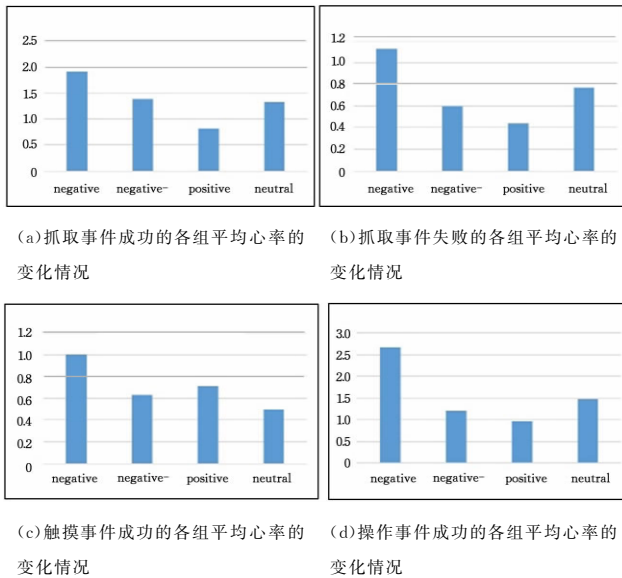


图 6 Slingshot 中 negative 的用户体验结果

Fig. 6 Negative UX results in Slingshot

5.2.2 Longbow

下面列出了 Longbow 游戏中与用户体验正相关的规则集。

- 1) $positive \leftarrow (move, 0) \cap (personality, 1)$
- 2) $positive \leftarrow (personality, 0) \cap (gender, 2) \cap (touch, 1)$
- 3) $positive \leftarrow (personality, 0) \cap (gameEx, 1) \cap (grab, 1)$

规则 1) 表明,性格外向型的测试者在移动事件的成功率较低时,很可能拥有 positive 的用户体验。图 7(a) 中,“positive”的平均心率变化明显低于“positive-”和“negative”,略高于“neutral”。当不考虑“neutral”样本时,本文结论得到验证,即高难度的移动事件会吸引性格外向型的用户。

规则 2) 表明,内向型的女性测试者的触摸事件成功率高,可能有 positive 的用户体验。图 7(b) 中,“positive”的平均心率变化明显低于“positive-”和“neutral”的心率变化,略低于“negative”的心率变化,因此本文结论得到验证,即内向型的女性用户较容易满足于低难度的触摸事件。

规则 3) 表明,具有丰富游戏经验和较高抓取事件成功率的内向型测试者很可能具有 positive 的用户体验。从图 7(c) 可以看出,“positive”的平均心率变化明显低于“positive-”和“neutral”的心率变化,略低于“negative”的心率变化,因此本文结论得到验证,即内向型且游戏经验丰富的用户更习惯低难度的抓取事件。

下面列出了 Longbow 中与用户体验 negative 相关的规则集。

- 1) $negative \leftarrow (gameEx, 0) \cap (personality, 1)$
- 2) $negative \leftarrow (gameEx, 0) \cap (gender, 1)$

从规则 1) 可以看出,游戏经验较少的外向型测试者对 Longbow 的用户体验整体上是 negative 的。规则 2) 表明,缺乏游戏经验的男性测试者,会对游戏产生 negative 的用户体验。由于这两条规则不涉及交互事件,因此这里不通过心率数据验证这两条规则。

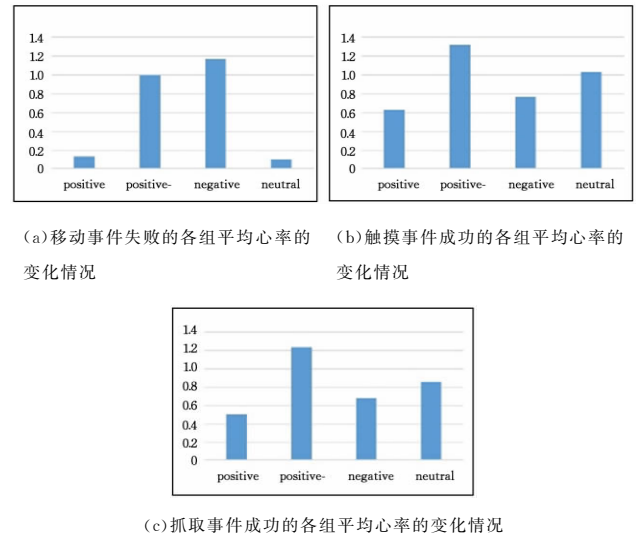


图 7 Longbow 中 positive 的用户体验结果

Fig. 7 Positive UX results in Longbow

5.3 讨论

本文得到的实验结果略微不同于常识。基本交互事件“抓取”“触摸”“移动”的配置会对 VR 用户体验产生重要影响,在这些事件上模糊不清的设计会导致游戏内的动作失败,从而对 VR 用户体验产生 negative 影响;而基于目标的交互事件“操作”对 VR 用户体验的影响则居于次席。同时本文发现,针对不同的用户群体设计出可以动态调整难度的功能,可以在整体上提升 VR 用户的用户体验。

在游戏内容设计的部分,对于“抓取”“触摸”“移动”事件,Longbow 比 Slingshot 更易于实现。从图 8 可以看出,Longbow 中这 3 种类型的交互事件的成功率均高于 Slingshot。而 Longbow 中交互事件的总平均心率变化小于 Slingshot 中交互事件的总平均心率变化,证实了基本交互事件“抓取”“触摸”“移动”的成功配置对用户体验有 positive 影响。该结论证明了本文的结论。

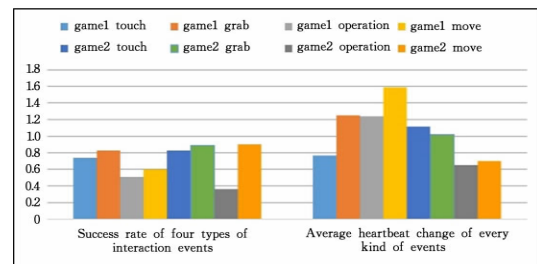


图 8 交互事件的成功率和平均心率变化

Fig. 8 Success rate and average heart rate change of events

所有测试者对两个游戏的前、中、后 3 个阶段的打分情况如图 9(a) 所示,Longbow 的 3 个阶段的得分均高于 Slingshot,这说明 Longbow 比 Slingshot 能给用户带来更好的用户体验。如图 9(b) 和图 9(c) 所示,在关于“是否愿意继续玩游戏”的调查中,即使是对于难度较高的“操作”事件,愿意继续玩 Longbow 的测试者比例仍然显著高于 Slingshot。这从另一个角度证明了 VR 内容设计的重要性。

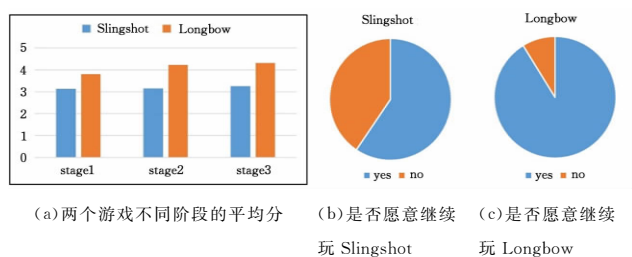


图9 两个游戏的比较

Fig.9 Comparison of two games

结束语 本文首先设计了一份包含用户特性和用户主观评价的问卷。其次,在实验过程中,记录 80 名测试者的 VR 体验数据,包括问卷信息、实时心率和游戏过程的录像,并对两款 VR 游戏中的交互事件进行了分类和总结,定义了 4 种类型的交互事件,证明其与心率变化存在相关性,并准确计算出了各测试者在不同类型事件上的成功率。再次,由于采集到的心率数据中存在连续值和缺失值,本文对 Prism 算法进行了改进,把所有缺失的特征值替换后,将所有数据转换为离散整数值。之后,以问卷采集到的用户特性和交互事件的成功率为特征,以用户评分趋势为结果类别,得到与用户体验相关的规则集。最后,为了验证规则集的准确性,分别计算用户体验交互事件时规则覆盖的数据集和未覆盖的数据集两类心率的平均变化。实验结果表明,与用户体验相关的规则集可以通过心率变化来验证,该规则集对 VR 设计师和开发者具有一定的参考价值。

参考文献

- [1] BERG L P, VANCE J M. Industry use of virtual reality in product design and manufacturing: a survey[J]. *Virtual Reality*, 2017, 21(1): 1-17.
- [2] HAMARI J, ALHA K, JÄRVELÄ S, et al. Why do players buy in-game content? An empirical study on concrete purchase motivations[J]. *Computers in Human Behavior*, 2017, 68: 538-546.
- [3] FROMMEL J, SONNTAG S, WEBER M. Effects of controller-based locomotion on player experience in a virtual reality exploration game[C]//*Proceedings of the 12th International Conference on the Foundations of Digital Games*. ACM, 2017: 30.
- [4] SHIN D. Empathy and embodied experience in virtual environment: To what extent can virtual reality stimulate empathy and embodied experience? [J]. *Computers in Human Behavior*, 2018, 78: 64-73.
- [5] KNIBBE J, SCHJERLUND J, PETRAEUS M, et al. The dream is collapsing: the experience of exiting VR[C]//*Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, 2018: 483.
- [6] OH J, KIM G J. Effect of accompanying onomatopoeia with sound feedback toward presence and user experience in virtual reality[C]//*Proceedings of the 24th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology*. ACM, 2018: 81.
- [7] TRINDADE Y, REBELO F, NORIEGA P. Tourism and virtual reality: user experience evaluation of a virtual environment prototype[C]//*International Conference of Design, User Experience, and Usability*. Springer, Cham, 2018: 730-742.
- [8] KELLING C, KAUKHANEN O, VÄÄTÄJÄ H, et al. Implications of Audio and Narration in the User Experience Design of Virtual Reality[C]//*Proceedings of the 22nd International Academic Mindtrek Conference*. ACM, 2018: 258-261.
- [9] ROTH D, KLEINBECK C, FEIGL T, et al. [poster] social augmentations in multi-user virtual reality: A virtual museum experience[C]//*2017 IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR-Adjunct)*. IEEE, 2017: 42-43.
- [10] SENNO B, BARCHA P. Customizing User Experience with Adaptive Virtual Reality[C]//*Proceedings of the 23rd International Conference on Intelligent User Interfaces Companion*. ACM, 2018: 42.
- [11] CHITTARO L, SIONI R, CRESCENTINI C, et al. Mortality salience in virtual reality experiences and its effects on users' attitudes towards risk[J]. *International Journal of Human-Computer Studies*, 2017, 101: 10-22.
- [12] ANDERSEN T, ANISIMOVAITE G, CHRISTIANSEN A, et al. A preliminary study of users' experiences of meditation in virtual reality[C]//*2017 IEEE Virtual Reality (VR)*. IEEE, 2017: 343-344.
- [13] CHO D, HAM J, OH J, et al. Detection of stress levels from bio-signals measured in virtual reality environments using a kernel-based extreme learning machine[J]. *Sensors*, 2017, 17(10): 2435.
- [14] BAKKER J, PECHENIZKIY M, SIDOROVA N. What's your current stress level? Detection of stress patterns from GSR sensor data[C]//*2011 IEEE 11th International Conference on Data Mining Workshops*. IEEE, 2011: 573-580.
- [15] SARKAR P, ROSS K, RUBERTO A J, et al. Classification of cognitive load and expertise for adaptive simulation using deep multitask learning[C]//*2019 8th International Conference on Affective Computing and Intelligent Interaction (ACII)*. IEEE, 2019: 1-7.
- [16] HINKLE L, KHOSHHAHAL K, METSIS V. Physiological Measurement for Emotion Recognition in Virtual Reality[C]//*2019 2nd International Conference on Data Intelligence and Security (ICDIS)*. IEEE, 2019: 136-143.
- [17] WARREN L E, BOWMAN D A. User experience with semi-natural locomotion techniques in virtual reality: the case of the Virtuix Omni[C]//*Proceedings of the 5th Symposium on Spatial User Interaction*. ACM, 2017: 163-163.
- [18] CALANDRA D, BILLI M, LAMBERTI F, et al. Arm swinging vs treadmill: a comparison between two techniques for locomotion in virtual reality[C]//*Proceedings of the 39th Annual European Association for Computer Graphics Conference: Short Papers*. Eurographics Association, 2018: 53-56.
- [19] GUGENHEIMER J, STEMASOV E, FROMMEL J, et al. Sharevr: Enabling co-located experiences for virtual reality between hmd and non-hmd users[C]//*Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*.

- ACM, 2017; 4021-4033.
- [20] BOZGEYIKLI L, RAIJ A, KATKOORI S, et al. Effects of Instruction Methods on User Experience in Virtual Reality Serious Games[C]// International Conference on Virtual, Augmented and Mixed Reality. Springer, Cham, 2017; 215-226.
- [21] MEN L, BRYAN-KINNS N, HASSARD A S, et al. The impact of transitions on user experience in virtual reality[C]// 2017 IEEE Virtual Reality (VR). IEEE, 2017; 285-286.
- [22] JERALD J. The VR book: Human-centered design for virtual reality[M]. Morgan & Claypool, 2015.
- [23] LEE J, BANG J, SUH H. Identifying Affordance Features in Virtual Reality: How Do Virtual Reality Games Reinforce User Experience? [C]// International Conference on Augmented Cognition. Springer, Cham, 2018; 383-394.
- [24] KIM M, LEE J, KIM C, et al. Tpv: User interaction of third person virtual reality for new presence and experience[J]. Symmetry, 2018, 10(4): 109.
- [25] HARMS J, SEITZ D, WIMMER C, et al. Low-cost gamification of online surveys: Improving the user experience through achievement badges[C]// Proceedings of the 2015 Annual Symposium on Computer-Human Interaction in Play. ACM, 2015; 109-113.
- [26] SCHREPP M, COTA M P, GONÇALVES R, et al. Adaption of user experience questionnaires for different user groups[J]. Universal Access in the Information Society, 2017, 16(3): 629-640.
- [27] CHERTOFF D B, GOLDIEZ B, LAVIOLA J J. Virtual Experience Test: A virtual environment evaluation questionnaire[C]// 2010 IEEE virtual reality conference (VR). IEEE, 2010; 103-110.
- [28] KIM H K, PARK J, CHOI Y, et al. Virtual reality sickness questionnaire (VRSQ): Motion sickness measurement index in a virtual reality environment[J]. Applied ergonomics, 2018, 69: 66-73.
- [29] HEALEY J A, PICARD R W. Detecting stress during real-world driving tasks using physiological sensors[J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2005, 6(2): 156-166.
- [30] DENNISON M S, WISTI A Z, D'ZMURA M. Use of physiological signals to predict cybersickness[J]. Displays, 2016, 44: 42-52.
- [31] WANG Y, CHARDONNET J R, MERIENNE F. VR sickness prediction for navigation in immersive virtual environments using a deep long short term memory model[C]// 2019 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR). IEEE, 2019; 1874-1881.
- [32] YAO L, LIU Y, LI W, et al. Using physiological measures to evaluate user experience of mobile applications[C]// International Conference on Engineering Psychology and Cognitive Ergonomics. Springer, Cham, 2014; 301-310.
- [33] TCHA-TOKEY K, LOUP-ESCANDE E, CHRISTMANN O, et al. A questionnaire to measure the user experience in immersive virtual environments[C]// Proceedings of the 2016 Virtual Reality International Conference. ACM, 2016; 19.
- [34] YU Q, CHE X, MA S, et al. A Hybrid User Experience Evaluation Method for Mobile Games[J]. IEEE Access, 2018, 6: 49067-49079.
- [35] PARSONS T D, LARSON P, KRATZ K, et al. Sex differences in mental rotation and spatial rotation in a virtual environment [J]. Neuropsychologia, 2004, 42(4): 555-562.
- [36] LIKERT R. A technique for the measurement of attitudes[J]. Archives of Psychology, 1932, 140: 54-55.
- [37] YUDA E, YAMAMOTO K, YOSHIDA Y, et al. Discrimination of Emotional Type by Heartbeat Signal Information[C]// 2018 IEEE 7th Global Conference on Consumer Electronics (GCCE). IEEE, 2018; 531-532.



MA Si-qi, born in 1995, postgraduate. Her main research interests include data analysis, machine learning, testing and user experience.



CHE Xiao-ping, born in 1986, Ph.D, associate professor, is a member of China Computer Federation, the ACM and the IEEE. His main research interests include user experience, passive testing, crowdsensing and Internet of Things.