

基于 HTC Vive 的 VR 界面元素编码研究

孙玮伯, 吕健, 虞杰, 张文召
(贵州大学, 贵阳 550025)

摘要: **目的** 为了进一步提高虚拟界面的交互高效性, 设计实验探究不同元素的尺寸、扩展比和位置对虚拟远程移动交互的可用性影响。**方法** 基于 HTC Vive 平台结合第 4 代虚幻引擎 (Unreal Engine 4) 构建实验环境, 选取十八名有 VR 设备使用经验的被试, 测试了六种尺寸、三种扩展比和二十五个区域位置的可用性, 并对实验结果进行方差分析。**结果** 选择相关性系数大于 0.8 的十六组有效数据, 得到如下结果: 目标尺寸为 270 mm 时在任务完成时间、指向误差和指向便携性表现最好; 扩展比越大越好, 尤其是当目标尺寸小于 360 mm 时; 界面中心和左侧位置优于其他区域位置, 更适合放置主要交互元素或强调元素。**结论** 实验搭建的虚拟现实系统及相关结论可为后续虚拟界面的设计提供客观科学的指导性建议, 对提高虚拟界面交互的可用性有重要影响。

关键词: 虚拟现实; 界面设计; 远程移动交互; 元素编码

中图分类号: TB472 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2020)10-0175-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2020.10.027

VR Interface Element Coding Based on HTC Vive

SUN Wei-bo, LYU Jian, YU Jie, ZHANG Wen-zhao
(Guizhou University, Guiyang 550025, China)

ABSTRACT: The work aims to further improve the interaction efficiency of the virtual interface and design experiments to explore the effects of different element sizes, expansion ratios and locations on the usability of virtual remote mobile interaction. The experimental environment was constructed based on HTC Vive platform and Unreal Engine 4. 18 subjects with VR equipment experience were selected to test the usability of 6 sizes, 3 expansion ratios and 25 regional locations, and the variance analysis of the experimental results was carried out. The results were as follows: when the target size was 270 mm, the task completion time, pointing error and pointing portability were the best. The larger the expansion ratio, the better, especially when the target size was less than 360 mm. The center and left side of the interface were better than the rest of the area, making it more suitable for placing primary interaction elements or emphasis elements. The virtual reality system built in this experiment and the related conclusions herein can provide objective and scientific guidance for the design of the subsequent virtual interface, and have an important impact on improving the usability of the virtual interface interaction.

KEY WORDS: virtual reality; interface design; remote mobile interaction; element coding

随着传感器技术与计算机图形学的发展, 虚拟现实技术凭借其良好的用户体验和高效的人机交互方式备受瞩目。界面设计是虚拟现实交互设计的核心所

在, 为用户提供有效的信息交换媒介。合理的界面设计对虚拟现实环境下的用户体验和交互效率有着重要的影响^[1]。而虚拟界面与人交互的距离及它的尺

收稿日期: 2020-01-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (51505094); 贵州省科技项目 (LH 字[2016]7467、[2016]2327、[2017]1046、[2017]2016、[2018]1049、[2016]12)

作者简介: 孙玮伯 (1993—), 男, 山东人, 贵州大学硕士生, 主攻人机界面、交互与体验设计。

通信作者: 吕健 (1983—), 男, 河北人, 博士, 贵州大学副教授, 主要研究方向为工业设计、智能设计。

寸,相比传统界面来说差异较大,无法将传统界面的交互元素设计规范直接移植到虚拟现实应用的界面设计领域。因此,基于 HTC Vive 平台,探索在虚拟环境下远程移动控制过程中可交互元素的尺寸、扩展比和位置对可用性及其用户满意度的影响,为后续研究和虚拟平台的搭建提供可靠的依据。

1 相关研究

以 HTC Vive 为例,用户与虚拟界面的信息交互过程,主要利用手柄或其他输入设备对其中的可交互元素进行指向操作来完成与虚拟系统的信息交换^[2-3]。此过程主要包含用户对目标元素的搜索、指向和点击三个步骤,是影响用户与虚拟系统人机交互高效性的主要因素。

著名的费茨定律^[4]指出,指向任务的选择时间会随着目标元素尺寸的减小而增大。增加屏幕上的目标元素尺寸可以简化选择目标任务的难度,但相对的屏幕中承载的信息量和用户可操作空间的大小将降低^[5-6]。因此,在不降低可用性或用户满意度的前提下,尽可能采用小的可交互元素或对象的尺寸^[7]。根据微软的设计指南建议,可点击目标应采用大于 16×16 像素,以便任何输入设备都可以被轻松点击。对于小型智能设备,建议的最小控件尺寸为 23×23 像素^[8]。可使用公式 $H=\tan\theta\times D$ (其中 H 为物体的高度, D 为用户眼睛和物体之间的距离, θ 为用户眼睛的视角)计算对应的高度值,从维基百科得到典型的距离 D 为 500 mm,点距 d 为 0.28 mm,以 16×16 像素尺寸为例,高度 $H=d\times p$ (其中 d 为点距, p 为像素数, $p=16$),求得 H 值为 4.48 mm, $\tan\theta$ 值为 0.00896,进而求得视角 θ 为 0.51° (30.8′)。故距离 2.5 m 时,通过公式计算求得对应的高度为 22.4 mm。然而,在虚拟环境下的界面尺寸往往远大于这些小型智能设备。因此在考虑大屏幕设计时,这些尺寸建议对于目前虚拟界面尺寸和用户与虚拟界面的距离并不适用。

目标扩展是一种通过在光标接近或到达目标区域时,增加目标大小来改善指向性能的技术,以及为点击动作提供视觉反馈^[9]。这不仅使目标在未扩展状态下节省了屏幕空间,而且还提供了更大的区域来点击的好处^[10]。同时,目标扩展可以通过减少对精细运动控制的需求来改善运动时间并降低错误率^[11]。

总的来说,针对远程指向任务中的可点击元素的适当大小的现有建议都太小,因此并不合适的在虚拟现实,用户与屏幕之间存在的长距离的情况下使用。并且现有的目标扩展研究也主要集中在使用电脑鼠标或平板电脑的操作上。尽管如此,目前在试图确定可点击元素的大小、扩展和位置的适当性,从而提高虚拟现实中大屏幕的交互效率这方面的研究仍较少。

表 1 相关硬件配置
Tab.1 Related hardware configuration

硬件名称	配置
处理器	Intel Core I7 6700K 4.00 GHz
显卡	NVIDIA GeForce GTX 1080
内存	32 G (DDR4)

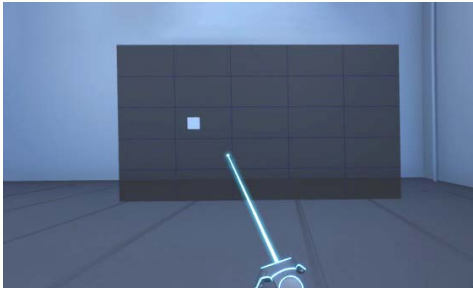


图 1 实验场景
Fig.1 Experiment scene

2 实验设计

2.1 目的

通过实验,研究在虚拟环境下远程移动控制过程中可交互元素的尺寸、扩展比和位置对可用性及其用户满意度的影响。

2.2 实验设备及被试

实验所采用的 VR 设备为 HTC Vive,并配备相关软件,所配备的计算机硬件具体参数,见表 1。共十八人(男性九人,女性九人)参与实验,年龄介于 21~29 岁之间,(平均年龄 24.5 岁)。所有参与者与测试人员的视力或矫正视力正常,无色盲、色弱等特征,没有运动障碍,全部为右利手,并且之前对虚拟现实产品有所接触和了解。

2.3 实验系统及环境

实验系统使用第 4 代虚幻引擎(Unreal Engine 4)进行开发,结合设备特点与硬件图形处理能力,在渲染时将视域按照设备的最大视域(FoV)设置为 110°,可视区域范围设置为 0.1~30 m,其他相关实验环境借鉴国际电信联盟电信标准分局(ITU-T)指定的 P.910 标准^[12]进行设置。由于操作者需要长时间观测,界面区域大小为 4.87 m×2.74 m,区域背景贴图为黑色半透明^[13],并将其划分为 5×5 的网格区域,实验场景见图 1。被试者位置固定,与屏幕中心的距离为 2.5 m,此距离接近于对用户造成最小视觉疲劳的适当距离。在这个实验系统中,参与者位置固定且可以反复选择一个随机出现在界面区域任意位置的矩形按钮目标。当参与者在完成所有界面区域中的目标点击任务时,下一组目标的大小会随机逐渐增大或减小。此外,当射线光标位于目标区域之上时,目标的大小就会按照



图 2 李克特量表选择界面
Fig.2 Likert Scale selection interface

预定的扩展比增加。系统会自动记录选择目标的任务完成时间和错误次数等数据。

2.4 实验程序

目标尺寸为 90~540 mm 之间的六个级别，扩展比为 0%、10%及 30%三个级别，这些大小的范围是根据游戏平台 steam 上的热门 VR 应用(如 THE LAB 等)中的交互按钮的大小调查而定的。每个被试人员均在二十五个区域点击了六个目标尺寸和三个扩展比。因此，每一个被试人员执行的总点击量是四百五十次(六个目标大小，二十五个位置，三个扩展比)。

实验流程如下：被试穿戴好设备登入实验系统后，首先，观看指导语，熟悉整个实验操作过程中的注意事项，并练习操作 3 min；实验开始后，他们控制手柄指向随机出现在界面区域中的目标，并扣动扳机键确定选择，初始目标大小为最大，扩展比为 0%，出现在屏幕中心区域(区域 13)，若能正确选择目标，则有声音提示，并记录任务完成时间，若未能正确点击目标，则不提供任何反馈且统计错误次数，直到成功点击目标为止；然后，随机地提供下一个目标，在参与者在所有地点指向并点击目标后，界面区域显示李克特 9 分量表，见图 2，他们被要求在量表上主观评估当前目标大小的指向便利性(指参与者指向和点击目标的容易程度)；点击确定按钮后，实验系统等待 5s 进入下一组目标尺寸的输入，参与者对下一个目标大小执行相同的任务；最后，在参与者完成了所有扩展比为 0%的目标尺寸的任务后，他们被要求再一次执行上述任务过程，并以目标尺寸的另一个变化顺序依次应用到扩展比为 10%与 30%的目标上。

3 实验结果

通过计算每名被试的主观评分结果与平均意见分值 MOS (Mean Opinion Score) 之间的皮尔森相关系数 PCC (Pearson Linear Correlation Coefficient)，将两位相关系数低于 0.8 的测试人员数据剔除，得到剩余的十六组有效数据。

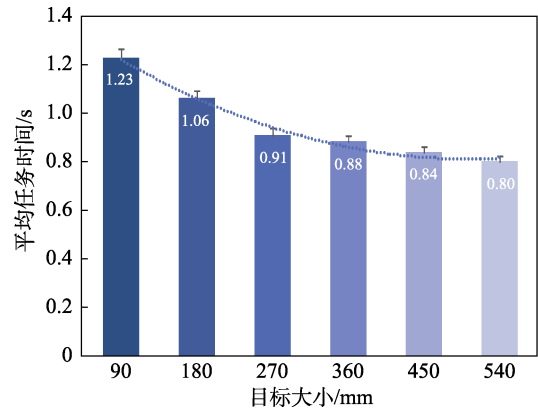


图 3 不同目标尺寸的平均任务完成时间
Fig.3 Average task completion time for different target sizes

3.1 任务时间

不同目标尺寸的平均任务完成时间见图 3，随着目标尺寸的增加，平均任务完成时间明显减少 ($F=444.712$, $p=0.000$, $p<0.05$)。在 270 mm 时，任务完成时间趋于平稳。任务完成时间根据参与者的不同有显著差异 ($F=47.594$, $p=0.000$, $p<0.05$)。

根据目标出现的位置，任务完成时间显著不同 ($F=13.332$, $p=0.000$, $p<0.05$)。每种目标大小在不同区域的任务平均完成时间见图 4，以当前尺寸大小的最短与最长的平均任务时间为标度，划分四个灰度等级，用时越短颜色越深，即深色反映了当前位置的指向便利性。当目标尺寸为 270 mm 时，各位置的平均任务完成时间均小于 1 s。有趣的是，点击运动控制的最好位置往往位于界面区域的中心。相比之下，界面最下方和最右侧的区域总体来说是差的。目标区域与目标尺寸之间的交互作用弱 ($F=1.194$, $p=0.058$, $p>0.05$)，说明目标尺寸的大小受位置的影响有限。随着目标尺寸的增大，各个位置的平均任务时间也缩短了。

不同扩展比的平均任务时间和扩展比与目标大小的关系，见图 5—6，当扩展增大时，任务完成时间明显缩短 ($F=25.709$, $p=0.000$, $p<0.05$)。与此同时，扩展比与目标尺寸之间存在显著的交互作用 ($F=6.379$, $p=0.000$, $p<0.05$)。此外，随着目标尺寸增大到 270 mm 以上，扩展比的影响趋于衰减，如图 6 所示。然而扩展比与位置之间无显著交互作用 ($F=1.331$, $p=0.293$, $p>0.05$)。

3.2 平均误差

随着目标尺寸 ($F=27.973$, $p=0.000$, $p<0.05$) 的增加，误差也显著减少。不同目标大小的错误数见图 7，误差在 270 mm 时最低，之后基本趋于平稳。错误的数量与参与者有显著交互作用 ($F=12.362$, $p=0.000$, $p<0.05$)。

与任务完成时间的情况一样，错误数量根据位置显著不同 ($F=4.175$, $p=0.048$, $p<0.05$)。然而位置与

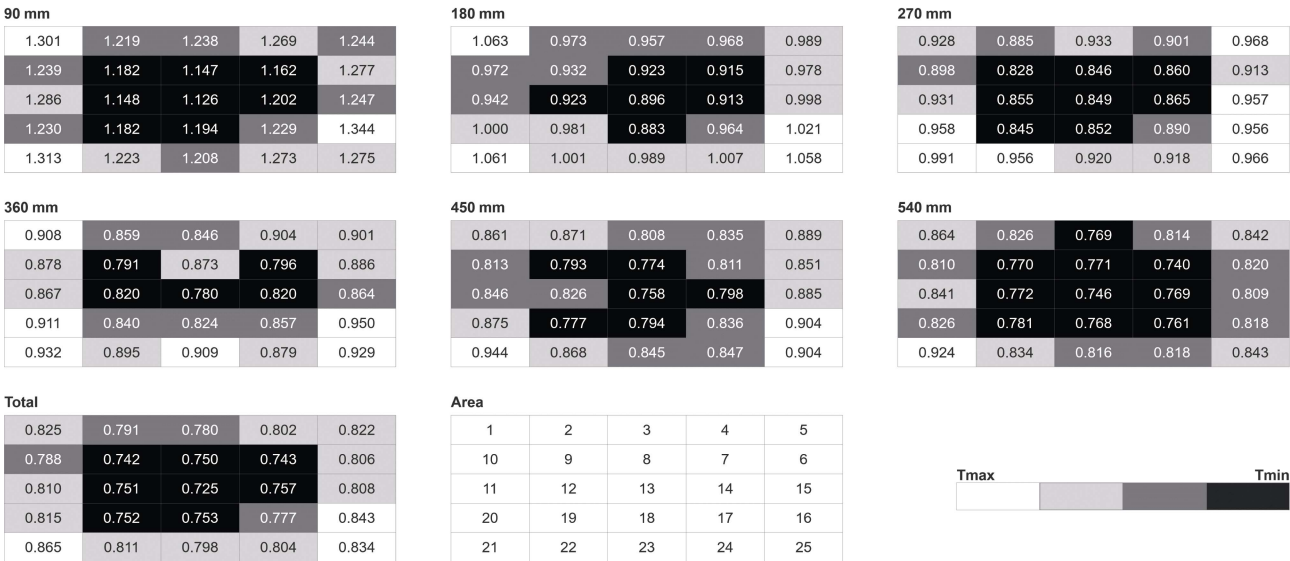


图 4 每种目标大小在不同区域的任务平均完成时间

Fig.4 Average task completion time for each target size in different regions

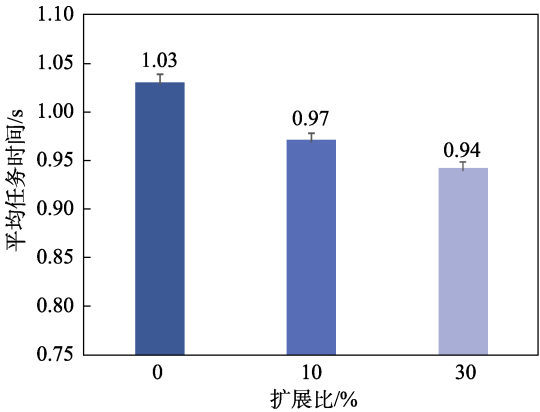


图 5 不同扩展比的平均任务时间

Fig.5 Average task time of different expansion ratios

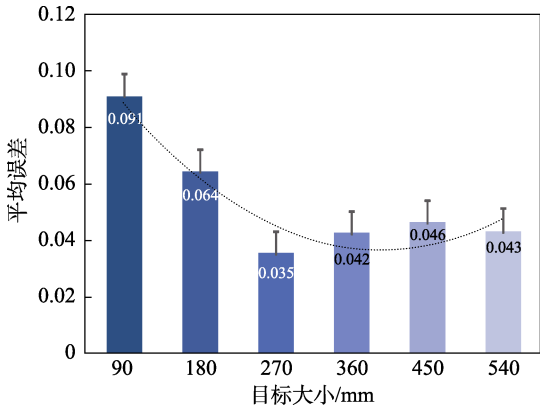


图 7 不同目标大小的错误数

Fig.7 Number of errors with different target sizes

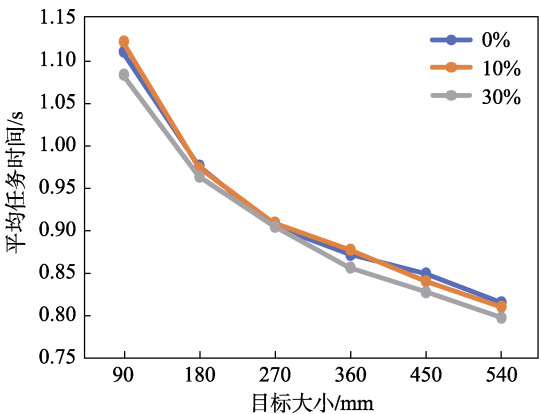


图 6 扩展比与目标大小的关系

Fig.6 Relationship between expansion ratio and target size

目标尺寸之间没有显著的交互作用 ($F=0.867$, $p=0.872$, $p<0.05$)。每个目标大小在所有位置的平均错误数见图 8, 显示了每个目标大小在所有位置的平均误差, 其中, 以当前尺寸大小的最小与最大的平均误差为标度, 划分四个灰度等级, 错误率越低颜色越深,

即深色反映了当前位置的指向便利性。总的来说, 以界面区域左上角到右下角为分界, 观察到左下角明显优于右上角。换句话说, 从指向错误的角度来看, 左下角可能比右上角更适合放置可点击元素。

此外, 随着扩展比的增加, 误差明显减少 ($F=5.256$, $p=0.001$, $p<0.05$)。不同扩展比的平均误差和扩展比与目标尺寸的关系, 见图 9—10, 当目标尺寸增加到 270 mm 以上时, 扩展比对错误数量的影响减小。特别是当扩展比为 30% 时, 在目标尺寸为 360 mm 时, 减小误差的效果减弱。这是由扩展比与目标尺寸之间的显著交互作用所决定的 ($F=1.970$, $p=0.008$, $p<0.05$)。然而扩展比与位置之间无显著交互作用 ($F=0.924$, $p=0.660$, $p<0.05$)。

3.3 指出方便

尽管指向便捷性的评判由参与者的不同而不同 ($F=24.321$, $p=0.000$, $p<0.05$), 但指向便捷性在扩展比上表现显著 ($F=13.376$, $p=0.000$, $p<0.05$)。并且由不同目标大小的平均意见分值可知, 见图 11, 随

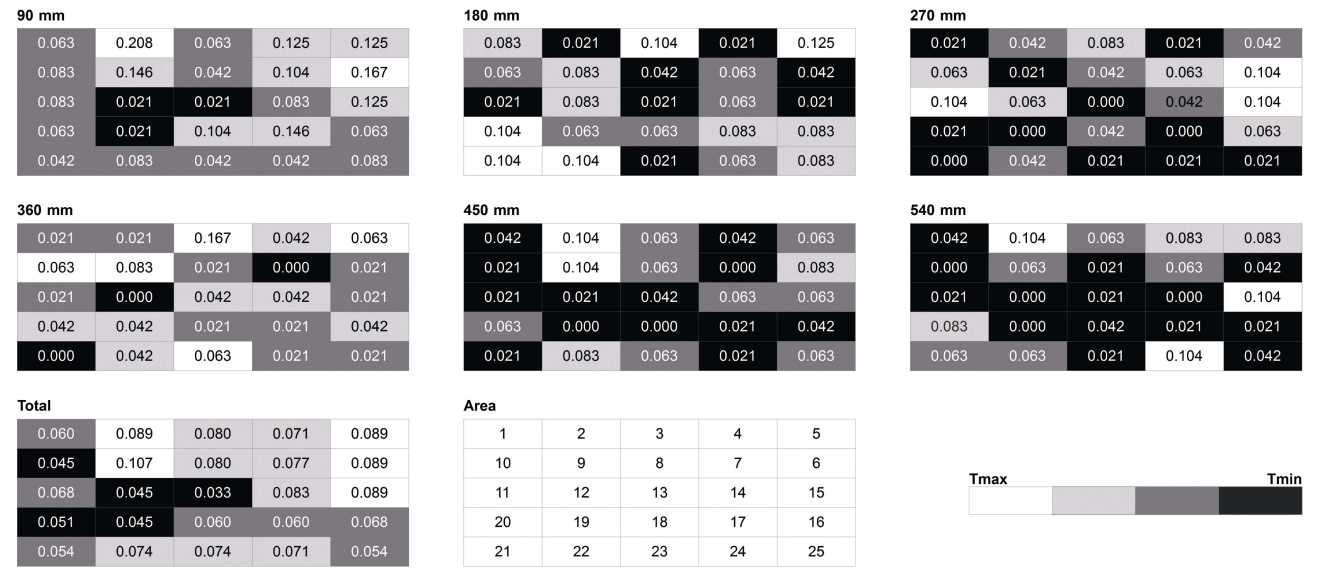


图 8 每个目标大小在所有位置的平均错误数
Fig.8 Average number of errors per target size at all locations

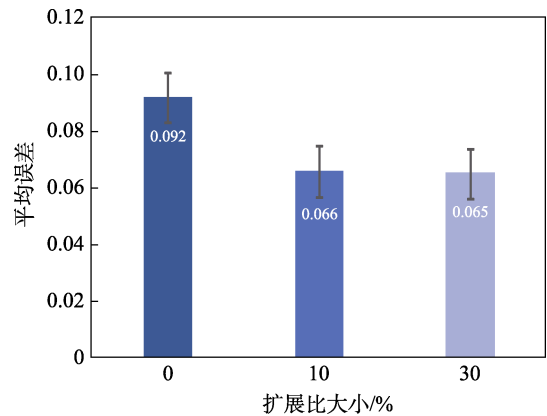


图 9 不同扩展比的平均误差
Fig.9 Average error of different expansion ratios

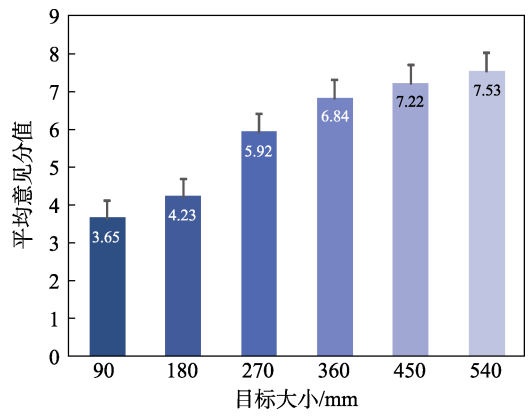


图 11 不同目标大小的平均意见分值
Fig.11 Mean opinion scores for different target sizes

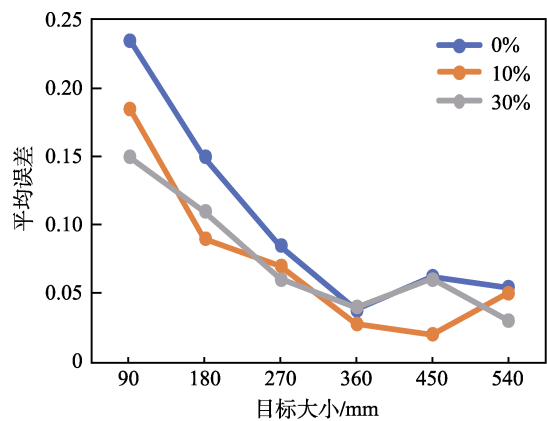


图 10 扩展比与目标尺寸的关系
Fig.10 Relationship between expansion ratio and target size

随着目标尺寸的增大参与者对目标的指向变得更加便捷 ($F=107.932$, $p=0.000$, $p<0.05$), 但扩展比与目标尺寸之间无显著交互作用 ($F=1.001$, $p=0.459$, $p>0.05$)。

4 讨论

首先, 在虚拟环境下移动控制的可用性随着目标尺寸的增大而提高。实验中, 随着目标尺寸的增大, 任务时间缩短, 错误率降低, 指向便捷性提高。然而, 减少错误比降低任务时间更为重要, 并且对于移动控制来说, 手抖是影响移动控制的主要因素, 因此采取更大的可交互元素更为合理, 故建议尺寸为 270 mm。然而, 决定可交互元素的尺寸大小也需要考虑其他因素, 例如将磁吸这类移动控制的目标辅助技术加入到虚拟交互中, 也可能会允许适当地降低可交互元素的尺寸。

其次, 移动控制的可用性随着扩展比的增大而提高。实验中, 随着扩展比的增大, 任务时间缩短, 错误率降低。特别是当扩展比为 30% 时, 对于 180 mm 的小目标尺寸, 误差稳定。换言之, 较大的扩展比对于较小的目标而言更为有利。相反, 当目标尺寸大于 360 mm 时, 没有观察到扩展比的这种影响。因此,

如果虚拟界面中可交互元素尺寸不大于 360 mm 时,建议尽可能使用较大的扩展比。然而有时介于美观问题或目标元素展开时,可能遮挡相邻元素,这种情况下,建议适当地将扩展比范围制定在 10%~30%之间。

最后,在为虚拟系统设置屏幕时还需要考虑的一个重要问题是确定布局的优先级或交互元素的位置。通过实验的结果表明,不同目标位置的指向便捷性不同。就快速点击来说,中心区域更为适合,但就错误率来看,最下方区域相对较好。故建议经常使用的功能按钮(如菜单)或强调元素(如推荐内容)应位于界面的中心或左边。

5 结语

研究旨在揭示在虚拟现实远程移动交互中可点击元素的可用设计,包括其尺寸、位置、和扩展比。为此,实验测试了六个目标尺寸(90 mm、180 mm、270 mm、360 mm、450 mm 和 540 mm)、三个扩展比(0%、10%和 30%)及二十五个将界面分割成大小相同的区域位置。结果显示,目标尺寸为 270 mm 时在任务完成时间、错误率和指向便捷性方面表现最佳;扩展比越大越好,尤其是当目标尺寸小于 360 mm 时;同时,还确定了适合点击的目标位置。对提高虚拟界面的可用性有重要意义。下一阶段课题将考虑植入眼动模块,结合人的认知特性,探讨颜色特征编码对虚拟界面可用性的影响。

参考文献:

- [1] 李晶, 郁舒兰, 吴晓莉. 人机界面形状特征编码对视觉认知绩效的影响[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2018, 30(1): 163-179.
LI Jing, YU Shu-lan, WU Xiao-li. Effects of Shape Character Encodings in the Human-Computer Interface on Visual Cognitive Performance[J]. Journal of Computer-Aided Design & Computer Graphics, 2018, 30(1): 163-179.
- [2] 邓丽, 余隋怀, 陈波. 基于 Vague 集的人机界面布局眼动追踪评价[J]. 工程设计学报, 2016, 23(3): 222-227.
DENG Li, YU Sui-huai, CHEN Bo. Eye Tracking Evaluation of Human-machine Interface Layout Based on Vague Set[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2016, 23(3): 222-227.
- [3] NIEHORSTER D C, LI L, LAPPE M. The Accuracy and Precision of Position and Orientation Tracking in the HTC Vive Virtual Reality System for Scientific Research[J]. I Perception, 2017, 8(3): 204166951770820.
- [4] FITTS P M. The Information Capacity of the Human Motor System in Controlling the Amplitude of Movement[J]. Journal of Experimental Psychology General, 1992, 121(3): 262-269.
- [5] ZHAI S, GUIARD Y, GUIARD Y. Human on-line Response to Target Expansion[C]. In Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2004.
- [6] 韩静华, 牛菁. 格式塔心理学在界面设计中的应用研究[J]. 包装工程, 2017, 38(8): 108-111.
HAN Jing-hua, NIU Qing. Application of Gestalt Psychology in Interface Design[J]. Packaging Engineering, 2017, 38(8): 108-111.
- [7] COLLE H, HISZEM K. Standing at a Kiosk: Effects of Key Size and Spacing on Touch Screen Numeric Keypad Performance and User Preference[J]. Ergonomics, 2004, 47(13): 1406-1423.
- [8] 杜桂丹. 手机游戏中人机界面交互设计的优化方向研究[J]. 包装工程, 2018, 39(4): 245-250.
DU Gui-dan. Optimization Direction of Human-computer Interaction Design in Mobile Games[J]. Packaging Engineering, 2018, 39(4): 245-250.
- [9] LEE D, KWON S, CHUNG M K. Effects of User Age and Target-Expansion Methods on Target-acquisition Tasks Using a Mouse[J]. Applied Ergonomics, 2012, 43(1): 166-175.
- [10] HWANG F, HOLLINWORTH N, WILLIAMS N. Effects of Target Expansion on Selection Performance in Older Computer Users[J]. Acm Transactions on Accessible Computing, 2013, 5(1): 1-26.
- [11] ELMQVIST N, FEKETE J D. Semantic Pointing for Object Picking in Complex 3D Environments[C]. Graphics Interface Conference: Canadian Information Processing Society, 2013.
- [12] TOMINAGA T, MASUDA M, OKAMOTO J, et al. Performance Comparisons of Subjective Quality Assessment Methods for Video[J]. Ieice Transactions on Communications, 2010, 97(1): 82-87.
- [13] 侯艳红, 张林, 苗丹民. 色彩背景对视觉认知任务的生理学及绩效影响研究[J]. 中国临床心理学杂志, 2008, 16(5): 506-508.
HOU Yan-hong, ZHANG Lin, MIAO Dan-min. Physiological Influence in Vision Perception Tests with Different Color Background[J]. Chinese Journal of Clinical Psychology, 2008, 16(5): 506-508.