

虚拟现实结合眼动追踪技术在家具设计中的应用前景

吕文蕾, 贺田潇, 耿晓杰

(北京林业大学材料科学与技术学院, 北京 100083)

摘要: 总结分析虚拟现实技术和眼动技术在产品设计领域研究中的应用现状, 分析单独基于虚拟现实或眼动实验研究方法的优势与不足; 介绍了虚拟现实结合眼动技术的特点、类别及应用, 探讨了将该组合技术引入家具设计研究中的必要性和可行性及应用方法和前景, 为家具设计研究提供新思路及相关理论支持。

关键词: 家具设计; 虚拟现实技术; 眼动追踪技术

中图分类号: TS664 文献标识码: B 文章编号: 1001-8654 (2019) 03-0036-05

Application Prospective of Virtual Reality Combining Eye Tracking Technology in Furniture Design

LU Wen-lei, HE Tian-xiao, GENG Xiao-jie

(College of Material Science and Technology, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: Application of virtual reality and eye tracking technology in product design were summarized and analyzed with respective advantages and disadvantages of the two methods. Necessity and feasibility of combining these two technologies into furniture design were discussed by introducing characteristics, categories and utilization of the combination to provide new ideas and technical support for furniture design.

Key words: furniture design; virtual reality technology; eye tracking technology

随着生活水平的不断提高, 家具设计的关注点开始从功能转向用户的身心体验。虚拟现实(VR)作为使家具设计三维立体化的平台, 大大提升和丰富了用户对家具设计的了解。

眼动追踪技术可以科学地衡量人类的视觉行为, 客观地反映用户的体验。将VR技术与眼动追踪技术结合应用, 有利于低成本、高效率、高真实度的家具设计评估, 对拓宽与发展以用户体验为中心的家具设计研究意义重大。

1 虚拟现实技术的特点及应用

VR技术具有沉浸性、交互性及想象性三大优势, 早在1995年^[1]开始作为现实生活情境替代方案, 随着相关技术设备的不断发展, 被广泛用于多类产品的设计、研发、模拟与评估^[2-4]。

在家居设计方面, VR技术多用作设计与展示设计的工具。如“宜家VR experience”虚拟现实应用, 客户通过VR设备打造真实的家庭环境, 从而选择满足自身需求的产品; 索菲亚、欧派、百强等家具公司也纷纷在销售中引入VR实景观摩项目, 不但节约部分样板房搭建成本, 同时提升了对客户的吸引力。

收稿日期: 2018-07-09; 修改日期: 2019-02-21

作者简介: 吕文蕾(1994—), 女, 北京林业大学硕士研究生。

责任作者: 耿晓杰, 女, 北京林业大学副教授。

此外,研究发现,利用VR沉浸式体验,可以尽可能消除实验室环境等外部因素对体验者判断的影响,在进行设计评价时,其可靠性优于2D平面展现设计的方式。同时在虚拟空间内部可进行视野范围等变量的控制,降低现实世界的内部多余变量的干扰^[5-6],提高研究的信度。

VR在技术和经济层面虽具有独特的优势,但在设计领域以其为平台的实验,往往只与问卷搭配使用,进行主观测评,缺乏相关生理数据的采集,主观与客观的结合分析与相互印证方面存在不足。

2 眼动技术的特点及应用

眼动行为是人的注意力和内心活动的生理表现,是基本上无意识的行为,可以反映人的潜意识。该技术在用户体验和设计评价方面的应用具有可靠性与优越性。眼动技术在产品设计领域研究中,一类是以印刷品或电子媒体为载体的平面信息(如图片)的关注调查;另一类则是在真实空间中,进行眼动行为的采集与分析。

由于基于平面信息的眼动实验成本较低、实验环境和材料的可控性强、且可使用非侵入式的桌面式眼动设备(图1a)进行实验,因此被广泛用于研究用户对造型、材料、颜色等设计特征的视觉偏好和感受,以及反向考察影响用户视觉体验的设计因素。如,在家具设计方面,利用南官帽椅样本图片(图2),研究其造型特征与用户喜好度、认知评价之间的关系^[7];另外也可采集用户对不同材质衣柜门板的眼动数据,分析用户对衣柜的审美偏好规律^[8]。



图1 眼动设备

Fig.1 Eye tracking equipment



图2 椅子热图^[7]

Fig.2 Heat map of chairs

现实中进行的眼动实验则更具真实性与实际性。头戴式眼动仪(图1b)允许体验者在环境中自由移动并观察物体,同时采集其眼动数据。此类实验多用于产品营销、零售业中的购物行为研究^[9-10],也常与操作任务或搜索任务相结合,通过分析用户的眼动特征、视线分配和操作或搜索绩效,验证设计的可用性,常用于公共空间导航标识设计^[11-12]。

虽然眼动技术在评估设计与考察用户体验方面,具有广泛性和先进性,但传统的眼动实验方法在设计领域的应用存在局限性。

1) 桌面式眼动仪的实验,需对以平面形式展示的设计对象进行缩放处理,以适应显示需求,且体验者只能通过有限的视角观察设计对象,可能会使体验失真,造成实验误差^[12]。

2) 头戴式眼动仪在现实背景下进行实验,多会涉及到真实对象、场景的制作或借用,成本较高,干扰因素(如照明、噪音等)也影响实验的客观性。另外,现场采集的眼动视频,工作人员在分析数据时需依次逐帧观看,以匹配和注释相应的兴趣区,工作量繁重^[13]。

3 虚拟现实技术结合眼动追踪技术

3.1 虚拟现实结合眼动追踪技术的实现方式

目前,VR场景中的眼动追踪,已在认知、医学、用户体验、人员培训以及设计等领域应用,且潜力无限^[6, 13, 14-17],根据VR环境形式的不同,其实现方式主要分为两种:

1) 基于洞穴式立体投影虚拟环境(CAVE):通过在房间大小立方体的三至六面墙上进行3D投影,多通道融合形成环绕式虚拟环境(图3左)。用户将佩戴具有移动眼动追踪功能的立体眼镜设备,来感知3D投影图形并提供眼动数据。用户可以在虚拟模型中随意移动(图3右),其注视点图将在回放实验记录时覆盖于3D场景中,用于后续分析(图4)。



图3 体验者位于CAVE虚拟环境中^[6]

Fig.3 A participant inside CAVE

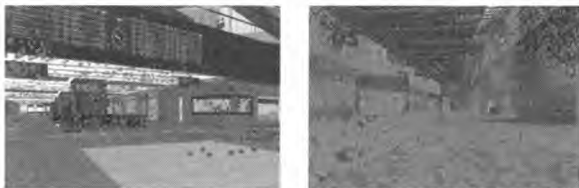


图4 3D模型中的注视点分布^[6]

Fig.4 Mapping of gaze points in 3D model

该方法可为用户提供一种具有高水平现实感的体验,视野和行动基本不受限,大大降低视觉扭曲的问题,但实验场所搭建的成本较高。

2) 基于头盔式虚拟环境:通过头盔式显示器(HMD)展现的虚拟环境(图5左)。

在HMD内部设置有相机,直接或通过反射红外光透射可见光的热镜拍摄眼睛^[16],实现实时眼动追踪,拍摄画面将同步传输至电脑上显示,用以计算瞳孔直径等眼动特征^[18]。该设备具有轻便、高分辨率、高精度和低成本等特点,但侵入式的佩戴方式可能会限制用户的自由和自然感。

与该类型的VR设备相匹配的眼动追踪模块形式有两类,其中多为内置式。①与VR头盔一体化集成,如日本的fove虚拟现实头盔自带眼动追踪功能;②可拆卸式的眼动追踪配件,如我国某公司研发的aSee Pro VR可拆卸方案(图5右),可与HTC vive头盔相结合,实现眼动控制及眼动数据的记录、输出。该方法的实验材料基于Unity3D、Unreal等主流仿真设计软件,相关资源丰富,真实性和交互性便于把控与实现,易于设计类学科的研究人员掌握;另外,对实验场地的要求低,操作简便。



图5 HMD眼动实验环境^[17]及设备

Fig.5 Eye tracking HMD

3.2 虚拟现实结合眼动技术的优势

虚拟现实结合眼动技术的优势,具体表现:

1) 优化用户体验。眼动追踪技术对注视点的局部渲染,能够提升虚拟现实的沉浸感和视觉传感深度,使VR界面更加真实自然^[19]。

2) 提高眼动追踪的精度和质量。眼动仪只有通

过校准,才能在后续实验中实现凝视与物体之间的映射。而校准期间所处的照明环境和头部稳定度,会直接影响校准精度和后续记录数据的质量。HMD可以完全控制外部照明和用户的头部位置,使眼动追踪具有更高的精度和质量^[13]。

3) 兼具平面与真实世界眼动实验方法的优点。VR环境保留了自然视觉中固有的立体深度线索,其中的视觉刺激和相关听觉输入的同时作用,使得所代表场景较平面式更具沉浸感^[14]和生态有效性,成本更低且可控^[20]。

另外,与真实世界不同的是,各原始眼动数据可以通过算法与兴趣区自动匹配,不再受实验环境和人工的影响,数据的可靠性大幅提升,整理数据集的工作量也显著减少^[13]。

4) 不再受研究对象的局限。眼动实验采用不同的桌面式或头戴式眼动设备,能够满足多种需求。

5) 可实现在实验室中客观地评估和分析大型特定场景中无实物或需要交互的产品设计。在VR中基于用户体验的设计评价与研究,将获得重要的视觉生理方面的数据,把相关的人引入认知深层次中。

4 虚拟现实结合眼动技术在家具设计中的应用

4.1 在家具外观设计研究中的应用

家具外观设计的感知主要包括视觉与触觉。目前,在视觉方面多使用不同的家具图片(仅呈现家具)为材料,通过评估设计和分析用户体验为外观设计提供指导,其结果往往偏重理论而忽略实际;而专门针对触觉方面的家具外观设计研究则较少。

VR结合眼动技术作为解决上述问题的方法,应用于家具外观设计研究中,可带来诸多便利:

1) VR技术使家具模型(图6)逼真、全方位、等比例的展现在用户眼前,使其眼动行为和视觉体验尽可能地接近现实,获得更可靠的眼动数据和用户反馈,提升实验结果的实践性与应用价值。



图6 家具模型的生成^[22]

Fig.6 Furniture modeling process

2) VR 使家具与使用场景一同呈现,结合眼动技术以家具和情景为变量,考察二者间的相互作用及其对用户的影响。这将家具外观设计研究提升到更为宏观的层面上,平衡现有实验中家具单一呈现或二维场景呈现所带来的理论与实际偏差。

还可以在虚拟现实,通过连接力触觉设备,表达场景中的材质触感(如纹理,阻挡感等)^[21],该技术将实现仿真家具的四维感知、无实物的家具材料触觉研究,也可用于用户在评价家具外观时,视觉和触觉行为间关系的综合研究。

4.2 在家具装配设计研究中的应用

利用 VR 联合眼动技术,可以实现家具的虚拟装配与眼动行为的同步追踪,主要应用:

1) 家具装配设计的生产研究。考察技术人员装配操作时的信息加工处理过程和特点,检验装配设计和流程的科学性,为研发经济、高效的装配设计提供指导,尤其针对无法大规模组装的传统家具。

2) 家具装配设计的用户体验研究。设置实验让用户学习或参照产品指引安装手册,进行可拆装家具的虚拟装配,通过分析用户学习与装配任务时的眼动行为和操作绩效,研究其认知过程及与装配效率之间的关系,检验家具装配说明和家具装配设计的可用性,为优化相关设计及制定方便用户装配方案,提供科学指导。

3) 家具装配设计的教学应用研究。为相关专业学生提供手动拆分与装配家具的机会,帮助其熟悉家具结构,以优化教学方案。

在实际应用方面,能够帮助设计者开发出顺应用户和生产需求的家具装配方案,同时缩减家具产品的设计周期和成本。

4.3 在家具展示设计研究中的应用

家具展示设计主要涉及展示场馆设计与家具展位设计,目前的展示设计方式多以设计师单边设计为主,缺乏对用户经验的考察与把控,难以保证设计方案的实施效果。VR 联合眼动技术可以实现家具展示环境的等比仿真模拟,并以观展者为中心,对家具展示进行设计:

1) 对家具展示场馆,采集用户在虚拟空间中漫游时的眼动数据,考察展示空间标识设计(如家具品牌标志)的可用性和吸引力,探究最有效的信息

表达方式。结合家具展位的搜寻任务,进行展位分布设计和动线设计研究。

2) 对家具展位,通过眼动行为分析用户在虚拟展位空间的注意力分布,研究展位环境(如色彩、布局)与家具展品的交互作用,对体验的影响机制,探究最为吸引眼球的展示方式。

除此之外,随着大面积家具展示成本的逐年增高,虚拟家具展示方式将成为主流^[23-24],该技术能够用于评估虚拟展示的效用,也为这一新兴展示方式的应用打下基础。

4.4 在古家具研究中的应用

传统古家具作为历史与文化的传承,是了解古代家具制造技法和工艺的重要材料,但针对古家具结构和细节的研究往往受到诸多限制。利用逆向工程技术,使用点云数据采集的方法对古家具进行扫描分析以及构建与修复,可以得到古家具的三维数字模型^[25],导入 VR 环境中与眼动技术相结合:

1) 能够利用 VR 手柄或眼动控制,实现拆分、拼装、旋转、缩放等交互操作,方便研究人员和用户更深层次的理解古家具的结构与外观(图7)。



图7 古家具虚拟交互应用^[25]

Fig.7 Virtue interactive of antique furniture

2) 同步采集眼动信息,将受到青睐的古家具形态或结构用于新家具的设计开发,从传统美学与技艺中吸收精华,为新家具创新设计提供养分。

4.5 在家具设计研究中应用条件的分析

VR 结合眼动技术作为一项高新技术,用于家具设计研究中时,在实验与技术方面有相应的问题与条件,需要加以注意和解决,才能保证应用效果:

1) VR 环境的质量。VR 系统需要呈现高水准的真实性和交互设置,否则用户将很难感受到介入感与虚拟现实的优势^[26]。

首先,在家具纹理贴图、造型、接缝等方面力求仿真精准;同时使用模型精简技术,尤其对一些庞大的场景,避免出现画面抖动、波纹、延时等问题而影响 VR 效果;需要使用较为专业的渲染引擎,

以获取逼真自然的光影效果。

其次,3D交互与眼动追踪,需要编程工作。需要家具专家与精通VR技术的计算机领域学者跨学科合作,以保证建模、交互与眼动追踪功能的质量。虽然实验的工作量较大,但创建的模型和代码可高度重复使用,支持实验设置的再现性。

2)眼动追踪系统的准确性。①详细了解设备参数,选用准度高于桌面式眼动系统的专业级虚拟现实眼动仪;②实验误差会影响眼动数据的准确度。首先,眼动仪与眼睛的相对位移(体验者的无意识调整和设备的滑动)会影响计算得到的注视点相对位置,需要实施滑动检测和误差补偿以保证信度^[16];其次,基于HMD实验时,体验者不宜化妆、佩戴隐形眼镜等。

3)硬件设备,保证画面真实、流畅、自然,同时保证实现眼动功能和实时记录保存数据。因此配备在符合相应外接设备(HDM头盔、眼动仪)要求的基础上,尽量使用较高配置的相关设备(如电脑)。

5 结语

基于VR眼动技术的实验作为传统眼动与VR实验的结合与延伸,能够促进“以人为本”的家具设计研究的发展和深入,具有良好的应用前景。

将VR结合眼动技术用于家具设计研究中,可以帮助设计者更好的了解用户需求,对家具的情感化及人性化设计,具有重要的指导作用,也可将该技术与其他生理检测设备(如肌电、皮电、脑电等)一同使用,进行更全面的科学研究。

参考文献:

- [1] Durlach N, Mavor A. Virtual reality: Scientific and technological challenges[C]. Washington: National Academy Press, 1995.
- [2] Sotiris M, Loukas R, George P, et al. Semantic-based taxonomy for immersive product design using VR techniques[J]. CIRP Annals Manufacturing Technology, 2012, 61: 147-150.
- [3] 姚雄华, 李磊, 张杰. 虚拟现实技术在飞机设计中的应用[J]. 航空制造技术, 2013(3): 67-70.
- [4] Kunwoo P, Jackyu P, Sungmin K, et al. Affective evaluation of interior design of commercial cars using 3D images[J]. Journal of the Ergonomics Society of Korea, 2014, 33(6): 516-532.
- [5] Francisco R, Paulo N. Using virtual reality to assess user experience[J]. Human Factors, 2012, 54(6): 964-982.
- [6] Helmut S F, Volker S, Stefan S. Evaluation of indoor guidance systems using eye tracking in an immersive virtual environment[J]. Spatial Cognition & Computation, 2017(1-2): 163-183.
- [7] 刘云, 李悦慧, 申黎明. 基于眼动追踪的南官帽椅造型特征认知分析[J]. 中南林业科技大学学报, 2017, 37(12): 146-152.
- [8] 刘明辉, 孙德林, 陈新义. 基于眼动分析的不同衣柜门板材质审美偏爱研究[J]. 林产工业, 2015, 42(5): 27-30.
- [9] Erik Wästlund, Tobias Otterbring, Anders Gustafsson, et al. Heuristics and resource depletion: eye-tracking customers' in situ gaze behavior in the field[J]. Journal of Business Research, 2015, 68(1): 95-101.
- [10] Tobias O, Erik W, Anders G. Eye tracking customers' visual attention in the wild: Dynamic gaze behavior mode rates the effect of store familiarity on navigational fluency[J]. Journal of Retailing and Consumer Services, 2016, 28:165-170.
- [11] 晋良海, 闵露, 陈述, 等. 公共空间导视系统的空间视域模型及其眼动验证[J]. 工程研究, 2017, 9(5): 430-438.
- [12] Nicole E, David P, Peter H. Language-driven anticipatory eye movements in virtual reality[J]. Behavior Research Methods, 2018, 50(3): 1102-1115.
- [13] Martin M, Jella P, Thies P, et al. Combining virtual reality and mobile eye tracking to provide a naturalistic experimental environment for shopper research [J/OL]. Journal of Business Research [2017-09-24], <http://dx.doi.org/10.1016/j.jbusres.2017.09.028>.
- [14] Pettersson J, Albo A, Eriksson J. Cognitive ability evaluation using virtual reality and eye tracking[C]. Ottawa: IEEE International Conference on Computational Intelligence and Virtual Environments for Measurement Systems and Applications (CIVEMSA), 2018: 1-6.
- [15] Alexander S, Andreas B, Kai K, et al. Forced-choice decision-making in modified trolley dilemma situations: a virtual reality and eye tracking study[J]. Frontiers in Behavioral Neuroscience, 2014(8): 1-16.
- [16] Otto H I, Charlotte B, Luara F d S, et al. Application of head-mounted devices with eye-tracking in virtual reality therapy[J]. Current Directions in Biomedical Engineering, 2017, 3(1): 53-56.
- [17] Andrew T D, Vinay S, Tim R, et al. Binocular eye tracking in virtual reality for inspection training[C]. Florida: ETRA Proceedings of the 2000 Symposium on Eye Tracking Research & Applications, 2001: 89-96.
- [18] Swirski L, Dodgson N. A fully-automatic, temporal approach to single camera, glint-free 3D eye model fitting [C]. Lund: the 17th European Conference on Eye Movements, 2013:1-10.
- [19] 熊小峰. 面向虚拟现实头盔的眼动跟踪系统研究[D]. 成都: 电子科技大学, 2017.
- [20] Loomis J M, Blascovich J J, Beall A C. Immersive virtual environment technology as a basic research tool in psychology[J]. Behavior Research Methods, Instruments & Computers, 1999, 31(4): 557-564.
- [21] 田磊. 基于图像的多模式力触觉表达与再现方法研究[D]. 南京: 东南大学, 2017.
- [22] So-Yeon Y, Hyunjoo O, Ji Y C. Understanding furniture design choices using a 3D virtual showroom[J]. Journal of Interior Design, 2010, 35(3): 33-50.
- [23] 马敬宇. 基于用户体验的家具虚拟展示设计研究[D]. 南京: 南京林业大学, 2017.
- [24] 薛婷, 朱剑刚, 黄琼涛. 基于 virtools 的家具虚拟展示方法及其应用研究[J]. 家具, 2017, 38(4): 65-71.
- [25] 杨道陵, 邢明, 毛红. 广式家具的 Alias 模型 CNC 验证及 VR 虚拟现实应用研究[J]. 轻工科技, 2016, 32(12): 102-104.
- [26] Brade J, Lorenz M, Busch M, et al. Being there again—presence in real and virtual environments and its relation to usability and user experience using a mobile navigation task[J]. International Journal of Human-computer studies, 2017(101): 76-87.

(责任编辑 孟凡丹、向琴)