

DOI:10.11918/201907050

虚拟现实技术的商业建筑互动设计方法

雷婷婷^{1,2}, 邹广天^{1,2}

(1. 哈尔滨工业大学 建筑学院, 哈尔滨 150006; 2. 寒地城乡人居环境科学与技术工业和信息化部重点实验室(哈尔滨工业大学), 哈尔滨 150006)

摘要: 为探索满足当代消费者行为需求的商业建筑设计方法, 立足于“互动设计”方法理论, 应用虚拟现实、行为模拟仿真等技术对商业建筑设计方法进行创新。首先, 通过对意大利米兰商业建筑问卷调查, 借助 SPSS 相关性分析解释消费行为的影响因素。然后, 在此基础上应用虚拟现实技术, 对商业建筑设计方案进行三维呈现, 以商业空间标识系统设计为例, 预设低明度色系且颜色和形态单一呈现的标识集合 A 和采用高明度色系与多形态的标识集合 B, 展开三维动态视景和行为模拟。最后, 依托 ResNet 图像识别技术分析用户的视觉体验与使用效果。研究结果表明: 平面布局、空间识别性、室内空间熟悉度与使用频率存在显著相关性, 视觉感知是选择商业建筑的主要驱动因素; 应用商业标识对比分析发现集合 B 的置信度的平均值与平均识别用时均小于集合 A, 表明标识系统设计应用明快的颜色和多变形态更容易被使用者所关注和接受。应用商业建筑互动设计方法展开商业建筑空间设计有助于提升空间吸引力与用户体验。

关键词: 商业建筑; 互动设计; 虚拟现实; 空间感知; 标识系统设计

中图分类号: TU18

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2020)12-0170-08

Interactive design for commercial buildings based on virtual reality

LEI Tingting^{1,2}, ZOU Guangtian^{1,2}

(1. School of Architecture, Harbin Institute of Technology, Harbin 150006, China;

2. Key Laboratory of Cold Region Urban and Rural Human Settlement Environment Science and Technology (Harbin Institute of Technology), Ministry of Industry and Information Technology, Harbin 150006, China)

Abstract: To meet the behavioral needs of contemporary consumers, based on the “interactive design” theory, the research technologies of virtual reality and behavior simulation were applied to improve the design method of commercial buildings. First, a questionnaire survey of the interior space of commercial buildings in Milan was carried out, and the influencing factors of consumer behaviors were explained by relevance analysis via statistical software SPSS. Then, the commercial interior space in three-dimensional dynamic scene was obtained by using the virtual reality technology. Taking the signage system design of commercial space as an example, the signage system set A with single color and low brightness and single form and set B with high brightness color and different shapes were preset, and virtual dynamic scene and behavior simulation were conducted. Finally, the ResNet image recognition technology was adopted to analyze users’ visual experience and use effect. Results show that the plan layout, spatial recognition, and spatial familiarity had significant correlation with usage frequency. Visual perception was the main driving factor in choosing commercial buildings. Comparative analysis of commercial signage system shows that the mean values of the degree of confidence and the average recognition time of set B were less than those of set A, indicating that the design of bright colors and different shapes of signage system is more likely to be concerned and accepted by users. Using the interactive design method to develop commercial building design is helpful to improve the attraction of interior space of commercial buildings.

Keywords: commercial buildings; interactive design; virtual reality; spatial perception; signage system design

随着商业建筑的集约化、综合化发展, 其室内空间价值逐渐凸显。商业建筑工程量大, 施工周期较长, 同时作为城市中重要的公共空间应用率极高, 与城市的经济发展、多元形象展现及人们的生活娱乐

都息息相关, 因此设计方案的舒适度、经济性和功能合理性十分重要。互动建筑强调参与性, 可以满足不断变化的个人、社会、环境需求, 又能通过建筑来提高生活质量^[1], 在建筑设计中广泛应用。商业建筑互动设计方法旨在运用环境行为学为建筑设计提供支持, 为商业建筑设计决策提供参考依据, 完善商业建筑设计体系, 实现设计过程中使用者与方案的互动, 使设计方案更加适应使用者行为与环境。

收稿日期: 2019-07-05

作者简介: 雷婷婷(1987—), 女, 博士研究生;

邹广天(1960—), 男, 教授, 博士生导师

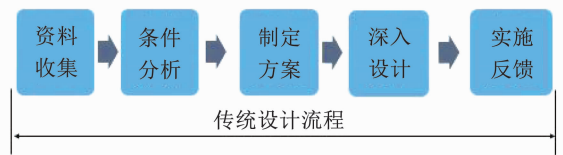
通信作者: 邹广天, zoug@hit.edu.cn

互动设计方法的理论基础源于互动建筑,最早由戈登·帕斯克(Gordon Pask)在21世纪初期提出,他的会话理论对人类如何与所处的环境进行对话并互相学习提出建议^[2-3];20世纪70年代,尼古拉斯·尼葛洛庞蒂(Nicholas Negroponte)提出了“响应式建筑”(responsive architecture),指建筑通过人工智能的进步和组件的小型化进行建构,从而能够智能地识别使用者活动、响应其需求以及内外部环境变化的建筑^[4];20世纪80年代后期由比尔·莫格里奇提出“交互设计”概念并应用于数字技术以及新媒体技术方面^[5].该理论以“可用性”与“用户体验”为核心,旨在规划和描述环境或生物的行为方式,由此在建筑设计中以使用者行为需求为导向的理论方法上填补了空白^[6].

现有的互动设计研究成果多侧重于互动的多媒体技术及表现形式方面,对于使用者与设计方案的互动研究较少.因此,本文在借鉴已有研究理论的基础上建构商业建筑互动设计方法,从使用者心理过程及行为的反馈来引导设计.如图1所示,该方法主要依靠虚拟现实技术,在设计初期建立真实尺寸的商业建筑来获得设计方案的实景,继而应用虚拟模型进行模拟实验,对被测者的相关调查数据的分析来发现方案中不符合使用需求的设计内容,对其进行修改重构,由此形成一个积极的反馈循环,这也是区别于传统的单向推进设计流程的方法.

1 基于虚拟现实技术的商业建筑互动设计思维与方法

应用虚拟现实技术的互动设计强调体验感,使



(a) 传统设计流程



(b) 互动设计流程

图1 传统设计流程与互动设计流程理念示意

Fig. 1 Traditional design process and concept of interactive design process

使用者在接近真实的空间中产生下意识的反应及相关行为,可以更直观真实的记录人的活动状态和心理情绪^[7].与传统的通过二维图像及语言形容进行的设计及沟通方式相比更加直观.虚拟现实技术集成了人机交互技术、传感技术、人机环境同步等,可以有效采集被测者的反馈并进行数据化分析,由此提高了设计人员的工作效率,同时也节约了成本保证了设计方案的质量(如图2所示).

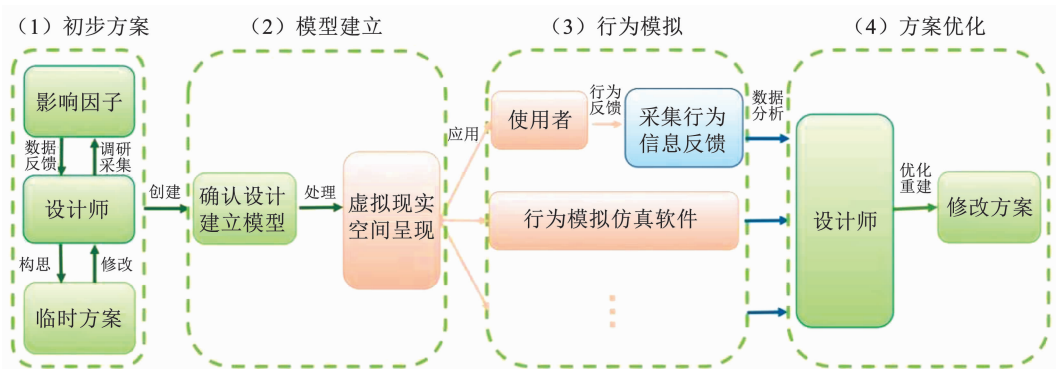


图2 互动设计方法流程

Fig. 2 Interactive design process

1.1 互动设计的理论基础

建筑互动设计的互动性体现在两个方面,一是指大众参与建筑设计,二是指建筑空间中通过信息技术的介入让人与建筑形成了一种明显的动态体系,从而进行互动^[8].传统方法中大多仅能实现设

计者思想的单向表达,而互动设计方法是经使用者与虚拟仿真的设计方案互动后,产生一系列行为带来的各种关联变量,从而反馈给设计者.

互动设计通过虚实结合的信息呈现、实时互动的虚拟漫游体验、信息反馈与方案优选等流程,通过

在虚拟现实场景中被测者的行为总结得到使用行为的普遍规律,或通过在虚拟现实模型中得到的动态影像与计算机图像识别等方法对其进行分析处理,从而得到影响因子或有效数据等,设计师可以根据分析结果并结合自身经验对设计方案进行优化。

1.2 互动设计的方法流程

1.2.1 调研采集设计影响因子

互动设计方法的理论基础来源于环境行为学下的相互渗透论,该理论指出人对环境具有的能动作用既包含物质、功能性的作用,也包含价值赋予和再解释的作用^[9]。该方法的核心是以使用者的行为为导向,对环境进行分析并以此为依据进行设计。本文通过对商业空间使用情况的调研,总结当代消费者的行为与心理特征,分析影响商业建筑使用情况的因素以指导商业建筑设计。

1.2.2 虚拟场景的实现

初步设计方案经过斟酌修改后进行确认设计,应用 AutoCAD 等传统建模软件将方案进行矢量化。在已确定的建筑模型上进行虚拟现实的场景构建,利用 3DSmax、Revit、Mars 等软件进行三维仿真建模及虚拟现实场景渲染。在建模过程中对于建筑内部空间应严格按照模型实际尺寸、比例、结构,最大程度还原建筑空间实际形态。同时在满足被测者正确认知的前提下,可通过简化次要构件及繁杂细部等方法优化模型,以确保硬件设备运行的流畅性。

1.2.3 空间体验及行为模拟

在虚拟的三维仿真模型中,被测者可进行多种感官体验,并应用眼动仪等生理数据采集设备或主观问卷调查等方法得到心理及行为信息;或应用 Unity 3D、MassMotion 3D 等软件,在模型中进行各种行为模拟实验。由于虚拟空间的数位特性,可以在工作环境里预设统计程序,自动记载运动轨迹等大量的行为信息,以此分析使用者的行为特征;也可利用图像识别等人工智能分析方法与虚拟现实交互式动态三维视景对接,模拟行为并得到量化结果。

1.2.4 信息反馈与方案优选

虚拟场景里可以实时反馈使用者发生的互动行为,并能保证反馈信息的高效性和针对性。可使用数据统计分析方法、模糊评价法等对其进行分析,据此科学地反映出数据的内在规律,使得到的结果更合理。通过该分析结果,设计者可以预估方案建成后的使用状况和使用者的需求,从而有针对性地对原有设计进行优化及修正。

2 商业建筑空间使用行为调研与分析

为检验方法的有效性和可行性,本文结合意大

利米兰商业中心的调研,举例介绍商业建筑互动设计方法的应用。

2.1 案例的选取与调研

本文对意大利米兰市中较受欢迎的两处商场为例进行调研,由于米兰市素有意大利经济首都之称,经济的繁荣造就其商业建筑历史悠久且发展成熟,其商业建筑设计对全球商业建筑的发展有着巨大的影响力,所以该调研对于商业建筑的研究有着重要的意义^[10]。本文选取的两处商场为米兰市典型的商业建筑,具有层数少,单层面积大,注重公共空间的环境塑造、公共设施完备等特征^[11]。笔者在走访了米兰的 5 家大型商业建筑后选择了位于米兰市郊的旋转木马购物中心(Carosello shopping center)和市中心的城市生活购物区(Citylife shopping district),这两个商业综合体都属于多功能复合型且运营模式成熟的典型案例。两个购物中心面积均超过 30 000 m²,旋转木马购物中心是意大利 20 世纪 90 年代最具代表性的购物中心,由于位置和开业时间等原因,其主要服务人群为周边居民及中老年人;城市生活购物区则是现代商场的代表,极具特征的建筑外形使其成为米兰市新地标,主要服务于市中心居住的市民及游客,尤其受年轻人喜爱,笔者调研时城市生活购物区虽开业不足一个月却已迎来超过一百万人次的客流量,城市生活项目中的住宅、室外公共活动区及配套设施等在 2009 年开始逐步面向大众开放,备受游客及市民喜爱^[12]。如图 3 所示分别为两个商场的室内现状与平面交通流线。

本次调研的目的在于对使用者在商业建筑室内的行为特征进行研究,探讨影响使用者选择商业建筑的驱动因素。通过文献[13-15]发现,对于商业建筑室内空间的驱动因素研究主要从空间感知、商业业态分布、平面与功能,建筑及选址特征、环境与公共设施情况等方面展开。笔者对米兰消费者购物过程需求的预调研发现,大多数来商场活动的市民不在乎时间成本,而是更愿意得到一个愉悦的购物过程,希望从商场空间获得资讯信息,并进行购物、餐饮、会友、亲子、散步、欣赏、参观、休憩等活动。综上所述,本文结合米兰消费者的心理与行为特征建立调查问卷的指标体系,主要体现使用者对商业空间的平面与功能、空间感知、建筑外部特征等方面的主观感受及行为特征。

于 2018 年 2 月在米兰市的两个商场开展了商业建筑使用行为特征及满意度调研,在每个购物中心随机发放了 100 份问卷调查,共发放 200 份问卷,有效问卷 192 份,有效回收率为 96.0%。问卷内容包括受访者基本信息与使用行为模式信息。



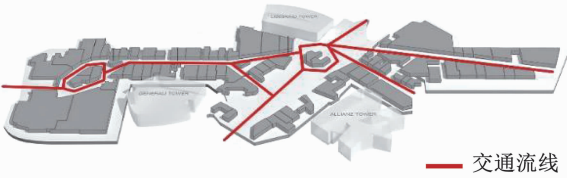
(a) 旋转木马购物中心现状照片



(b) 旋转木马购物中心主要交通流线与平面图



(c) 城市生活购物区现状照片



(d) 城市生活购物区主要交通流线与平面图

图 3 两个商场现状与平面图

Fig. 3 Current status photos and floor plans of two shopping malls

本文主要研究使用者的寻路行为,将调查问卷中寻路经历数据单独提取.关于寻路经历主观感受的调查选项和各选项占比数值见表 1,从中可以看出使用者对于两个商场的平面布局熟悉度和方向感知的主观感受存在较大差异.

两个商场使用频率数据将作为相关变量 Y 出现,为使用者对该商场喜爱程度的评判标准(如图 4 所示).在旋转木马商场调查中选择一个月去多次的占比最大,为 39.58%,而城市生活商场中占比最高选项是第 1 次来,为 58.33%.根据笔者现场访问发现两个商场购物频率差异主要原因为旋转木马商场在米兰营业时间较长,而城市生活商业区在笔者调研时刚刚开业一个月,市民对其不熟悉.

2.2 数据分析

按照调查问卷中使用者对商场主观感受的 3 个方面提取影响因素并依次进行了分类及编号,共得到 7 项主要影响因素,分别为交通流线、功能布局、

表 1 受访者寻路经历调研数值

Tab. 1 Survey data of interviewees' way-finding experience

商场名称	调研问题	选项	占比/%
Carosello 商业中心	对该商场的熟悉度	非常熟悉	60.42
		有一点熟悉	31.25
		不熟悉	8.33
	当在商场中行走时觉得该空间的复杂程度	平面简单	43.75
		有一点复杂	41.67
		很复杂	14.58
	对该商场方向的认知	一直知道	66.67
		有时知道,有时不知道	29.17
		自从进入该商场就不知道了	4.16
	该商场导引系统是否足够	是	87.50
否		12.50	
CityLife 商业区	对该商场的熟悉度	非常熟悉	12.50
		有一点熟悉	45.83
		不熟悉	41.67
	认为该商场的复杂程度	平面简单	31.25
		有一点复杂	50.00
		很复杂	18.75
	对该商场方向的认知	一直知道	31.25
		有时知道,有时不知道	66.67
		自从进入该商场就不知道了	2.08
	该商场导引系统是否足够	是	81.25
否		18.75	

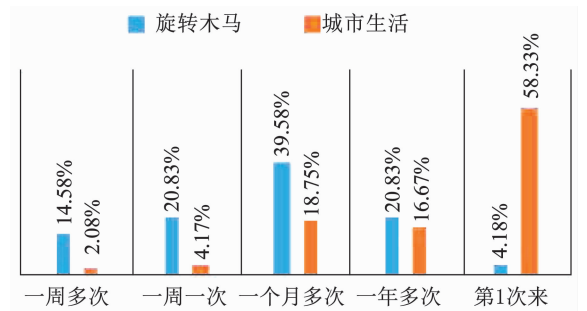


图 4 受访者对两个商场的使用频率数值

Fig. 4 Data of usage frequency of two shopping malls

空间识别性、内部空间熟悉度、环境满意度、建筑特征及交通可达性,并用 $X_1 - X_7$ 来标记(见表 2).应用 SPSS 将各个因子 X 分别与使用频率 Y 进行相关性分析,可以发现空间平面布局,空间识别性以及空间熟悉度与使用频率均存在显著的相关性,其相关系数均在 $P \leq 0.01$ 的显著水平上;在 3 个相关性显著的因子中空间识别性、熟悉度同属于空间感知这一大类别,由此推测空间感知相较于空间功能与建

筑外部特征是对使用者影响更大的驱动因素(见表 3)。

表 2 调查问卷的提取分类

Tab. 2 Extraction and classification of the questionnaire

调查类别	调查项目	编号
空间与功能	交通流线	X_1
	功能布局	X_2
	空间识别性	X_3
空间感知	空间熟悉度	X_4
	环境满意度	X_5
	建筑特征	X_6
外部特征	交通可达性	X_7

2.3 调研分析

根据米兰市两个商场使用者行为的调研结果得知空间感知是影响商场使用频率的主要因素之一。人对氛围的感知来自空间与环境的关系、空间相互之间的关系等,环境即成为空间感知的“界面”,所以环境与人之间的相对关系成为空间感知的重要参照^[16-17]。而视觉作为人类获取外界信息最重要的感官,视觉感知是空间体验最基本的方式,是情感体验的基础^[18]。

通过对寻路经历的满意度及改善建议进行访问,结果中对寻路经历表示不满意或一般满意的受访者大多都建议改善商场中的导引系统及一些功能空间的可达性。

表 3 受访者使用行为与商场使用频率相关性分析

Tab. 3 Relevance analysis of interviewees' behavior and usage frequency

地点	X_1 交通流线/ Y使用频率	X_2 功能布局/ Y使用频率	X_3 空间识别性/ Y使用频率	X_4 空间熟悉度/ Y使用频率	X_5 环境满意度/ Y使用频率	X_6 建筑特征/ Y使用频率	X_7 交通可达性/ Y使用频率
旋转木马购物中心	0.474 **	-0.334 *	0.377 **	0.511 **	-0.326 *	0.141	0.172
城市生活商业区	0.347 **	-0.097	0.297 **	0.551 **	-0.171	0.339 **	-0.121

注: *、**为显著相关,*为 $P \leq 0.05$; **为 $P \leq 0.01$ 。

3 基于虚拟现实技术的互动设计方法应用

根据调研得到的分析结果,本文将以商业建筑室内标识系统的优化设计为例,对商业建筑互动设计方法进行实践应用。

3.1 设计内容的虚拟仿真

由上文调研发现认知空间是影响使用者选择商业空间的重要因素,因此本文对商业空间中的标识系统进行优化设计研究,提升空间认知度。互动设计方法的第 1 步是对商业建筑空间模型的虚拟建构,应用虚拟现实三维软件 MARS,结合某商业空间设计方案进行仿真建模,得到虚拟空间 S,如图 5 所示。为优化操作体验,在建筑空间的虚拟建构中,仅对室内空间中必要的交通空间和装饰元素进行建

构,最大程度地降低模型渲染面数,减少系统运算。

对目前商场中广泛应用的标识系统进行归纳分析,借鉴了应用较多的标识设计原素,总结得到了两套风格不同的标识集合并建立模型,记为集合 A 与集合 B,每个集合中包含 11 种标识,如图 6 所示。标识集合 A 在颜色上以灰色系为主色,搭配 1~2 种装饰色,形态上以单一的长方形为主;集合 B 在色彩上以明快的颜色为主色调,搭配多种装饰颜色,形态上以几何体或异形为主。将两套标识集合以相同的分布和摆放方式分别置于虚拟商业室内空间 S 中,得到虚拟空间 S_A 和 S_B (如图 7 所示)。最后,利用虚拟现实动态视景技术,以使用者的视角用相同的路线和行进速度在 S_A 和 S_B 中分别进行漫游,并得到在不同标识集合中漫游视野视频数据,供后续分析使用。



(a) 商场原始模型



(b) 渲染后得到的虚拟现实场景

图 5 原始模型与软件渲染后的虚拟现实场景

Fig. 5 Original model and rendered virtual reality scene

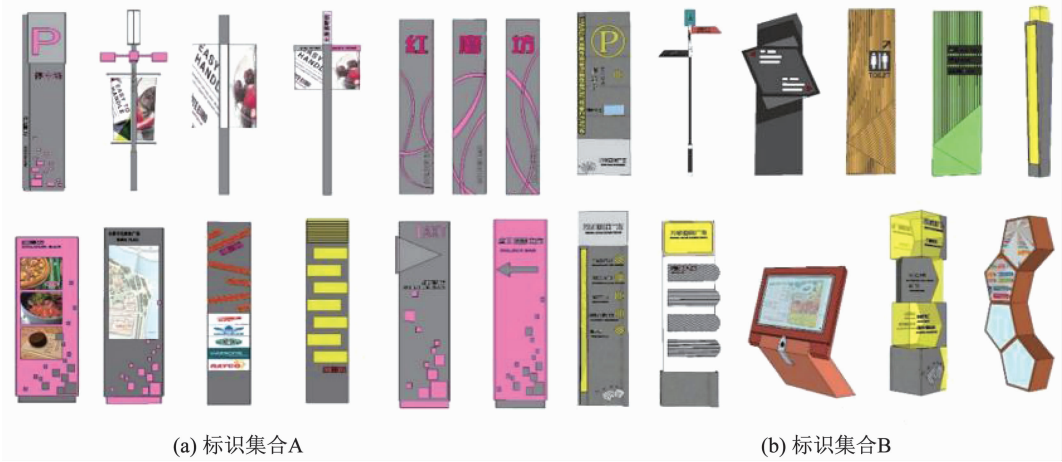


图 6 标识集合图形展示

Fig. 6 Design of signage system graphics

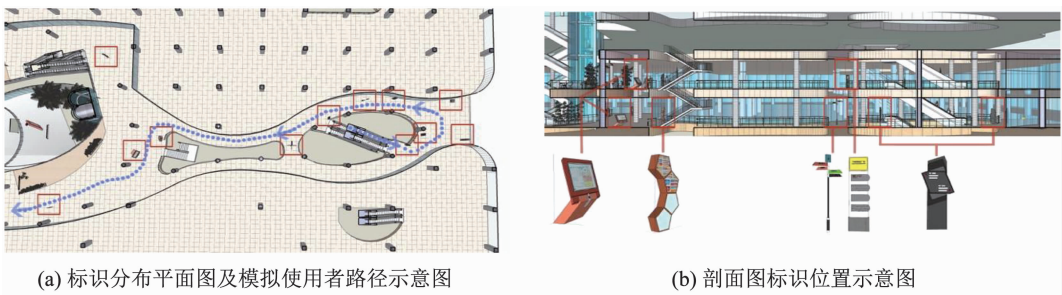


图 7 局部空间标识位置示意

Fig. 7 Location of signage system in local space

3.2 空间场景的互动与反馈

根据标识系统以视觉导向为主的特点,在本文中 选择应用基于 ResNet 神经网络结构的目标识别 模型进行分析. 该模型可与动态视角对接,模拟使用 者在虚拟商业建筑中漫游过程的视觉体验,并对商 业建筑室内空间中的标识系统做出有效的量化评价 [19].

3.2.1 基于目标检测的行为模拟识别度分析方法

虚拟现实视频数据集 S_A 和 S_B 模拟了使用者在 商业建筑中漫游的过程,在此基础上可基于目标检 测模型来模拟使用者的视觉体验,从而对商业建筑 中的标识设计进行量化评估,具体流程如图 8 所示.

应用上述目标标识检测模型来对标识集合 A 和标识集合 B 构建出的虚拟现实漫游视频分别进 行检测,得到对整个漫游过程中的识别结果,结果包 括在当前视野中识别出的标识位置、类别以及置信 度打分(置信度分值表示这个类别出现在边界框中 的概率以及此边界框大小的合适程度),如图 9 所 示. 其中一帧的识别结果示例.

由于视频中的每一帧都代表使用者当前时刻的 视野,帧与帧之间的前后顺序对应了使用者在行走 和视角改变时的动态变化. 因此,将所有帧的检测结

果联合起来进行相关分析可有效地分析出在这种互 动状态下,不同标识设计效果的优劣.

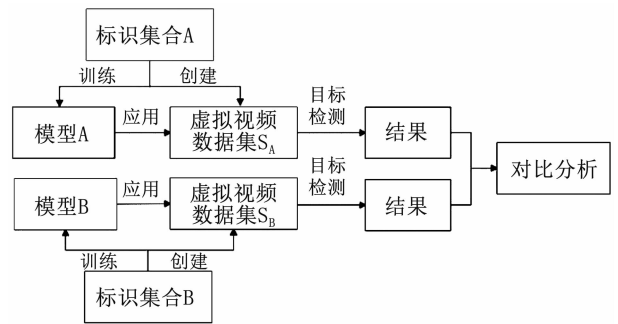


图 8 基于目标检测的分析方法流程

Fig. 8 Analysis method and process based on target detection

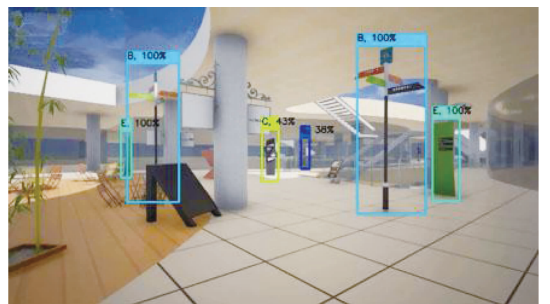


图 9 虚拟场景中的识别结果

Fig. 9 Recognition results in virtual scenes

3.2.2 行为模拟识别度的量化反馈

在标识显著性方面,主要以置信度打分作评判标准,它代表了检测模型对于当前识别出的标识的置信程度,对应于使用者“是否看清”这个标识^[20].在标识距离使用者较远时,通常置信度打分较低,距离较近时则相反.因此,置信度的分值可以表达标识的显著性特征,即标识是否易识别、易被发现等.两套方案在显著性上标识集合 A 的全类别识别用时均值为 0.68 s,标识集合 B 全类别识别用时均值为 0.46 s;在区分度上标识集合 A 全类别标识误识更正用时 0.28 s,标识集合 B 全类别标识误识更正用时 0.11 s.每一组标识集合的 11 个标识类别的置信度均值如图 10 所示.

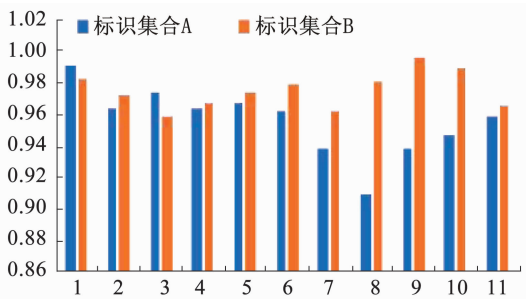


图 10 两组集合 11 类标识的置信度均值

Fig. 10 Mean values of degree of confidence of 11 kinds of signage system in two sets

3.3 识别结果的数据分析与修正

本文从结果可以发现在显著性方面,标识集合 B 的置信度的平均值与平均识别用时均小于标识集合 A,说明标识集合 B 在相同的商业建筑环境下更容易被使用者所识别,能够更快速地传递相关信息;在区分度方面,标识集合 B 的误识更正用时要比标识集合 A 的用时短,说明标识集合 B 中不同类别标识之间更容易区分.

标识牌的颜色、形态及表达方式对使用者的易识别度与易区分度都有很大影响,商业空间中的 B 类标识系统比 A 类更容易被使用者关注和接受,说明 B 类标识的形态表达具有更高的视觉感知度.由此,采用醒目的颜色并与多种色彩搭配使用可以有效提高易识别度.标识系统在形态设计上应打破目前常用的以常规形状为主、一套标识单一形态的设计方法,多样形或异形组合可有效提高易区分度.标识系统以图片与文字相结合的表达方式比单纯的文字表现更有效.

4 结 论

1)应用虚拟现实技术于互动设计方法中,为商业建筑设计提供新思路.本文针对商业建筑室内空

间特征,利用虚拟现实技术,以环境行为学下的相互渗透论为指导思想,得到以使用者与设计方案之间的互动反馈为主要过程的商业建筑互动设计方法.

2)以意大利米兰市两个商业中心为例进行调研,分析使用者行为特征,总结得到影响使用者选择商业建筑的主要驱动力.对使用者购物行为调研数据进行相关性分析,得到与使用频率呈显著相关的影响因素为平面布局、空间识别性、空间熟悉度.由此分析空间感知相较于空间功能及外部特征是影响使用者选择商业空间的更大驱动因素.

3)根据互动建筑的思想总结得到商业建筑互动设计的思维流程与方法.利用虚拟现实技术模拟商业建筑空间,得到具有逼真互动体验感的设计方案,据此获得使用者直观有效的行为反馈并进行相关分析.并以商业建筑中的标识系统优化设计为例展现互动设计的方法流程,该方法对于标识系统以及商业建筑的设计具有普适性和推广性.

参 考 文 献

- [1] 迈克尔·A·福克斯. 互动建筑将改变一切[J]. 陈曦,译. 装饰, 2010(3): 44
FOX M A. Interactive architecture will change everything [J]. CHEN Xi, trans. Art & Design, 2010(3): 44. DOI:10.16272/j.cnki.cn11-1392/j.2010.03.006
- [2] HAQUE U. The architectural relevance of Gordon Pask [J]. Architectural Design, 2007, 77(4): 54. DOI:10.1002/ad.487
- [3] 冯翰. 从先知图灵机到建筑设计互动计算范式[J]. 新建筑, 2015(5): 24
FENG Han. From the oracle machine to the interactive computation pattern of architectural design [J]. New Architecture, 2015(5): 24. DOI: 10.3969/j.issn.1000-3959.2015.05.006
- [4] MEAGHER M. Designing for change: The poetic potential of responsive architecture [J]. Frontiers of Architectural Research, 2015, 4(2): 159. DOI:10.1016/j.foar.2015.03.002
- [5] MOGGRIDGE B. Designing interactions[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 2007
- [6] 褚晓慧, 葛丹, 商文. 交互建筑设计的发展与实践探究——感知与回应[J]. 建筑与文化, 2018(6): 35
CHU Xiaohui, GE Dan, SHANG Wen. The research on application and development of interactive architecture—Senses and responses [J]. Architecture & Culture, 2018(6): 35. DOI: 10.3969/j.issn.1672-4909.2018.06.007
- [7] 杨帮华, 刘丽, 陆文字, 等. 基于虚拟现实技术的脑机交互反馈系统设计[J]. 北京生物医学工程, 2011, 30(4): 401
YANG Banghua, LIU Li, LU Wenyu, et al. Design of BCI feedback system based on virtual reality technology [J]. Beijing Biomedical Engineering, 2011, 30(4): 401. DOI: 10.3969/j.issn.1002-3208.2011.04.16
- [8] 向泽锐, 梁刚毅. 基于人-机-环境适配约束的产品设计方法[J]. 装饰, 2016(2): 136
XIANG Zerui, LIANG Gangyi. The method of product design based on constrained man-machine-environment compatibilities [J]. Art & Design, 2016(2): 136

- [9]李斌. 环境行为学的环境行为理论及其拓展[J]. 建筑学报, 2008(2): 30
LI Bin. Environmental behavior theory and its extension [J]. Architectural Journal, 2008 (2): 30. DOI: 10. 3969/j. issn. 0529 - 1399. 2008. 02. 010
- [10] DE NONI I, ORSI L, ZANDERIGHI L. Attributes of Milan influencing city brand attractiveness [J]. Journal of Destination Marketing & Management, 2014, 3 (4): 218. DOI: 10. 1016/ j. jdmm. 2014. 06. 001
- [11] DE NONI I, ORSI L, ZANDERIGHI L. Stereotypical versus experiential destination branding: The case of Milan city[J]. City, Culture and Society, 2019, 17: 38. DOI:10. 1016/j. ccs. 2018. 10. 001
- [12]华丽志. 米兰购物新热点, 一站式商业中心 CityLife 开业不到1个月迎客超百万人次[EB/OL]. (2017-12-30)[2019-07-16]. https://www.sohu.com/a/213765664_487885
HUA Lizhi. Milan's new shopping hotspot, one-stop shopping center CityLife opened less than a month to more than a million visitors[EB/OL]. (2017-12-30)[2019-07-16]. https://www.sohu.com/a/213765664_487885
- [13]伍利君. 消费者行为视角下的大型商业建筑空间设计研究——以互联网时代为背景[D]. 重庆: 重庆大学, 2017
WU Lijun. Study on the space design of the large commercial buildings from the perspective of consumer behavior—With the Internet Era as the background [D]. Chongqing: Chongqing University, 2017
- [14]孔维檀. 基于消费者行为的街区式商业动线设计研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2017
KONG Weitan. Research on flow space of block-type commercial complex based on consumer behavior[D]. Guangzhou: South China University of Technology, 2017
- [15]武扬. 购物者心理与行为在商业建筑设计中的体现[J]. 建筑学报, 2007(1): 72
WU Yang. Shoppers' psychology and behavior reflected in commercial building design[J]. Architectural Journal, 2007(1): 72. DOI: 10. 3969/j. issn. 0529 - 1399. 2007. 01. 020
- [16]胡滨. 空间的感知[J]. 建筑学报, 2019(3): 116
HU Bin. Perception of space[J]. Architectural Journal, 2019(3): 116. DOI:10. 3969/j. issn. 0529 - 1399. 2019. 03. 017
- [17]CHEBAT J C, GÉLINAS-CHEBAT C, THERRIEN K. Lost in a mall, the effects of gender, familiarity with the shopping mall and the shopping values on shoppers' wayfinding processes[J]. Journal of Business Research, 2005, 58(11):1590. DOI:10. 1016/j. jbusres. 2004. 02. 006
- [18]郝丽梅. 空间的人性价值——视觉感知下的空间序列的营造[D]. 南昌: 江西师范大学, 2011
HAO Limei. The human value in space—The construction of space sequence under the visual perception [D]. Nanchang: Jiangxi Normal University, 2011
- [19]徐江. 基于共享卷积神经网络的交通标志检测与识别研究[D]. 西安: 长安大学, 2018
XU Jiang. Traffic sign detection and recognition based on shared convolutional neural network [D]. Xi'an: Chang'an University, 2018
- [20]李姣, 张晓晖, 朱虹, 等. 多置信度重排序的行人再识别算法[J]. 模式识别与人工智能, 2017, 30(11): 995
LI Jiao, ZHANG Xiaohui, ZHU Hong, et al. Person re-identification via multiple confidences re-ranking [J]. Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2017, 30(11): 995. DOI: 10. 16451/j. cnki. issn1003 - 6059. 201711004

(编辑 张红)