

基于 BIM + VR 技术的客运枢纽标识系统 综合评估方法

赵晓华¹, 任贵超², 王冰冰³, 陈志雄¹

(1. 北京工业大学城市交通学院北京市交通工程重点实验室, 北京 100124; 2. 北京智能车联产业创新中心有限公司, 北京 100176; 3. 北京工业大学建筑与城市规划学院, 北京 100124)

摘要: 为优化客运枢纽标识系统设计, 解决其指引功效评估的难题, 以寻路理论为基础, 利用建筑信息建模 (building information modeling, BIM) 技术搭建城市综合客运枢纽场景, 通过虚拟现实 (virtual reality, VR) 技术完成虚拟现实环境下的沉浸式寻路实验, 从而获取以寻路时间、转错弯次数及停驻观望次数为指标的被试寻路特征, 进而采用灰色近优综合评价方法, 实现基于 BIM + VR 技术的多指标条件下综合客运枢纽标识系统评估及优化。结果表明, 标识系统设计对被试寻路行为有显著影响。相较于旧版标识系统, 被试在新版标识系统环境下流线 1 中的寻路时间及停驻观望次数显著性降低, 转错弯次数无明显差异。同时, 被试在新版标识系统环境下流线 2 中的寻路时间及转错弯次数显著性降低, 停驻观望次数无明显差异。新版标识系统近优度大于旧版标识系统, 即新版标识系统综合指引功效优于旧版。研究形成以 BIM + VR 技术为基础、以乘客空间认知为导向的城市综合客运枢纽标识系统一般性评估方法, 为其他封闭空间标识系统优化设计研究提供基础。

关键词: 客运枢纽; 标识系统; 寻路理论; 建筑信息建模 (BIM); 虚拟现实 (VR); 评估及优化方法

中图分类号: U 492.1

文献标志码: A

文章编号: 0254 - 0037(2020)01 - 0051 - 07

doi: 10.11936/bjtxb2018070040

Evaluation of a Transport Hub Sign System Based on BIM + VR Technology

ZHAO Xiaohua¹, REN Guichao², WANG Bingbing³, CHEN Zhixiong¹

(1. Beijing Key Laboratory of Traffic Engineering, College of Metropolitan Transportation, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China; 2. Beijing Innovation Center for Mobility Intelligent, Beijing 100176, China; 3. College of Architecture and Urban Planning, Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: For the purpose of optimizing the design of signage system in transport hub and solving the evaluation problems, this paper employed building information modeling (BIM) and virtual reality (VR) technology to conduct the research on a signage system's evaluation and optimization. During the experiment, participants' wayfinding time, wrong turns, and stopping and looking were collected. Then, the gray nearly optimal solution method was used to evaluate the comprehensive efficiency of the signage system. Results show that signage system has a significant influence on passengers' wayfinding performance. Besides, the guiding efficiency of the new signage system is higher than the old one. In the new signage system environment, wayfinding time, and stopping and looking times have a significant decrease in line 1. No significant difference is found in wrong turns. At the same time, wayfinding time and wrong turns have a significant decrease in line 2. No significant difference is found in stopping and

收稿日期: 2018-07-31

基金项目: 北京市科技计划资助项目 (D171100003917001)

作者简介: 赵晓华(1971—), 女, 教授, 博士生导师, 主要从事交通行为与安全方面的研究, E-mail: zhaoxiaohua@bjut.edu.cn

looking. Additionally, the research proposes a general method of the signage system's evaluation based on the BIM + VR technology and passengers' spatial cognition. The research provides a basis for evaluating and optimizing signage system in other closed spaces.

Key words: passenger transport hub; signage system; wayfinding theory; building information modeling (BIM); virtual reality (VR); the method of evaluation and optimization

近年来,随着人们出行需求的持续增长,交通场站客流量不断上升。客运枢纽作为多种交通方式的连接点,在客流集散及为乘客提供换乘服务等方面发挥着至关重要的作用。为了满足大客流、高服务、多功能的运输需求,客运枢纽建筑结构不断向立体化、综合化发展,布局日渐复杂,导致乘客在寻找目的地过程中容易产生迷茫,降低通行效率。标识系统是枢纽与乘客之间一种重要的交流语言,指引功效良好的标识系统能够辅助乘客在枢纽复杂的环境中快速、准确到达目的地。从功能和用途角度,标识系统分为导向标识、位置标识以及综合信息标识等^[1]。其中,综合信息标识是借助图形与文字等方式向乘客传递枢纽交通、空间结构以及客运服务等信息的标识,具有信息丰富、设置灵活的特点,是导向标识与位置标识的有效补充。目前,位置与导向等标识已有 DB11/T657《公共交通客运标识》、GB/T20501《公共信息导向系统》等规范指导设计^[1-2],而关于综合信息标识的设计尚缺乏相关指导原则,导致在综合信息标识设计及应用过程中存在设置位置不科学、设计样式差异性较大等现象。因此,有必要梳理枢纽综合信息标识系统的设计及应用状况,针对现有标识系统的设计要素,寻找一种普遍的评估及优化方法,最大限度地发挥其指引引导效能,最终形成集美观、人文、功能为一体的设计方法,为枢纽客流集散的高效运转及导则规范制定提供依据。

目前,以寻路理论为导向的评估方法是标识系统主要评估方法之一。寻路理论是解决空间问题的理论,由信息处理、决策制定与决策执行3个部分组成^[3]。信息处理也称为空间认知建立,指通过感官获取环境信息并经处理而形成空间概念的过程;决策制定是指在空间认知建立的基础上,按照对目的地的判断而制定路径的过程;决策执行是指将决策在正确位置转变为适当行动的过程。目前已有较多学者基于寻路理论对标识系统开展了大量研究。O'Neill^[4]利用寻路理论,研究了大学里楼层平面复杂度与标识类型对寻路行为的影响。Lam等^[5]在对香港国际机场枢纽的寻路研究中发现标识系统对寻

路行为有重要影响。Corlett等^[6]研究了标识布设与寻路行为的关系,发现标识被简化并移到决策点后,人们用于寻找目的地的时间显著减少。周鑫^[7]以寻路理论为基础,通过调查乘客在上海南站中寻路的感受,分析评估了客运场站的空间特征与设计。禹丹丹^[8]以北京南站综合交通枢纽为调研对象,通过跟踪、访谈以及问卷等调查方法,从标识点、流线以及平面3个层面挖掘乘客在枢纽空间内的寻路行为特征与规律,建立乘客寻路和环境标识交互的仿真模型。汤天培等^[9]针对导向标识系统指引功效,从标识的颜色、图形文字、版面布局、信息量以及标识连续性等方面建立评价体系,提出一种基于区间数的综合评价方法。曹冬青^[10]在对导向标识种类、功能分析的基础上,采用标识设置间距、数量以及设置方式、视读性等指标建立导向标识评价体系,提出基于模糊综合评价法的标识布设评价模型。事实上,在以往以寻路理论为基础研究乘客对空间标识系统认知行为的过程中,多采用“事后评估”的方法。然而,此研究过程缺乏寻路行为客观数据的支撑。Carpman等^[11]在寻路理论的基础上,提出将寻路时间、转错弯次数、停驻观望次数等指标作为寻路行为客观评估指标,得到了较多研究人员的认可。而采用建筑信息建模(building information modeling, BIM) + 虚拟现实(virtual reality, VR)技术,能够通过乘客沉浸式的感知体验,实现多种标识系统设计方案实施前的评测。即采用实验测试手段获取寻路行为客观数据,实现基于乘客视角的多种标识设计方案的评估及优选,将“事后评估”转化为“事前评估”,避免应用后仍存在不合理的现象。

实际上, BIM是一种以三维手段模拟建筑物信息的虚拟建模技术, VR是指综合利用计算机技术生成可交互的三维环境,并提供沉浸感觉的技术。在标识设计领域,当前已有不少研究围绕 BIM + VR技术展开。Motamedi等^[12]利用 BIM + VR技术分析了客运枢纽内的标识能见度,建立了标识系统优化模型。Vilar等^[13]基于 BIM + VR技术,研究了水平与垂直标识系统指引功效,分析不同标识系统对乘

客寻路行为的影响。刘长富等^[14]基于 BIM + VR 技术,研究了沈阳万泉公园地铁站内饰设计。高雪等^[15]借助 BIM 技术研究了建筑物疏散引导需求,建立消防疏散模型,实现建筑物内三维动态疏散路径引导。上述研究利用 BIM + VR 技术,在虚拟现实环境下,实现了标识系统的设计及优化。

综上,针对标识系统优化评估难的问题,论文以寻路理论为基础,以客运枢纽综合信息标识系统为对象,研究基于 BIM + VR 技术的客运枢纽标识系统评价方法,进而对综合信息标识系统设计导则的形成提供支持。

1 实验设计

论文以北京市四惠交通枢纽综合信息标识系统为对象开展研究。四惠交通枢纽建筑面积约为 3.67 万 m²,集多种交通方式于一体,包括长途、公交、出租车以及地铁等多种换乘站台,乘客对换乘站台信息指引存在较大需求。然而,由于缺乏综合信息标识相关设计规范,枢纽现有综合信息标识系统主要按照施工经验设置,调查结果显示普遍存在指引信息不完整、设置位置不科学以及识别度较低等问题。因此,以现有枢纽综合信息标识系统为旧版作为对照,结合乘客需求、用户访谈及美学设计原则,设计形成新版综合信息系统,采用寻路理论,基于乘客寻路行为实现新旧标识系统的综合评价及优化。

1.1 标识设计

研究从内容、样式以及位置 3 个方面优化综合信息标识系统。内容方面,新版综合信息标识设计遵循以下原则:1) 引导信息覆盖枢纽本层所有交通设施,不同楼层间设施通过综合信息标识灯箱内的空间结构图衔接;2) 增加对卫生间与换乘楼梯的指引,更好地体现人性化设计思想。样式方面,新版综合信息标识采用蓝白色彩搭配,形成与导向标识系统相一致的色调,增加枢纽标识系统整体性,同时建议采用微软雅黑(中文)与 Arial 字体(英文)。位置设置方面,新版综合信息标识设置遵循以下原则:1) 在换乘大厅中心与枢纽进出口处设置;2) 在楼梯口与流线交叉处设置;3) 在流线中客流进出口处设置。枢纽旧版与新版综合信息标识如图 1、2 所示。布设位置如图 3、4 所示(圆圈为综合信息标识位置)。

1.2 场景搭建与流线选取

实验按照北京市四惠交通枢纽建筑参数,利用 Autodesk Revit 软件搭建枢纽精确模型,模型面积与



图 1 旧版综合信息标识
Fig. 1 Old general information signage

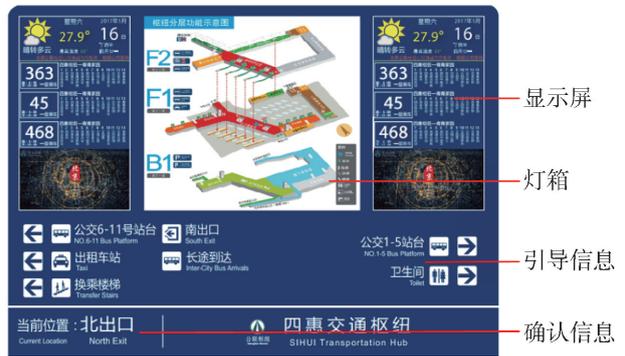


图 2 新版综合信息标识
Fig. 2 New general information signage

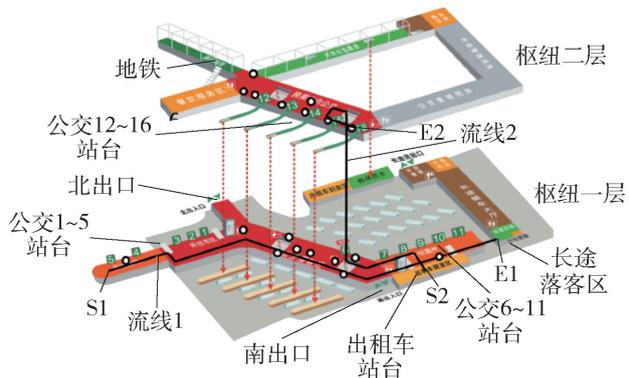


图 3 旧版综合信息标识位置设置
Fig. 3 Placement of old general information signage

枢纽面积同为 3.67 万 m²。模型内部立柱、楼梯、站台等建筑结构以及导向标识、位置标识均与枢纽实际环境保持一致。将旧版及新版综合信息标识分别导入模拟场景中,并利用 Fuzor3D 渲染软件实现模拟场景与虚拟环境连接,枢纽平面与虚拟现实环境下场景如图 5 所示。

由于枢纽内流线数量较多,为了提高评估效率,同时使评估结果具有一定的代表性,枢纽中典型评估流线选取原则如下:1) 选取起终点位于同一楼层

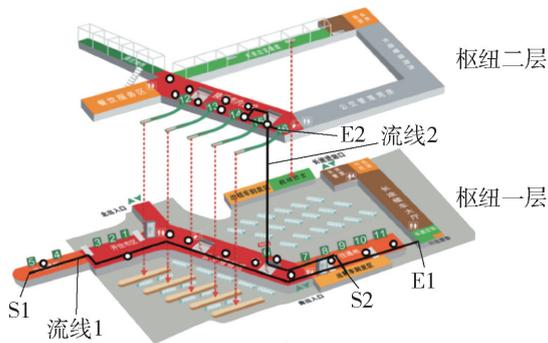


图4 新版综合信息标识位置设置示意

Fig. 4 Placement of new general information signage



图5 四惠枢纽虚拟现实环境场景

Fig. 5 Virtual reality environment of Sihui transport hub

以及位于不同楼层的流线; 2) 选取距离最长的流线; 3) 不同流线选取过程中, 应尽量避免路线的重复. 本实验选取流线如图3、4中黑色线路所示. 其中, 流线1起点(S1)为公交5站台, 终点(E1)为长途落客, 起终点位于同一楼层, 为本层流线中距离最长流线; 为避免与流线1线路重复, 流线2起点(S2)为出租车站台, 终点(E2)为枢纽二层的公交16站台, 起终点位于不同楼层.

1.3 实验设备

实验采用 HTC VIVE 设备实现虚拟环境下沉浸式寻路实验, 包括头戴式设备、键盘以及空间定位追踪装置. 其中, 头戴式设备双眼组合分辨率为 $2\ 160 \times 1\ 200$ 像素, 刷新频率为 90 Hz, 视场角为 110° . 被试可利用键盘方向键与自身转动控制在虚拟环境中的

移动与转向. 实验过程中, 实验员使用秒表与计数器记录实验寻路数据.

1.4 实验被试

实验招募对枢纽环境不熟悉的 46 名研究生作为被试, 其中男性和女性各 23 名. 被试年龄分布为 22 ~ 25 岁 (Mean = 23.3, SD = 1.43). 被试均身体状况良好, 无色弱、色盲. 考虑到被试个人寻路能力的差异可能会对实验结果造成影响, 采用 Hegarty 等^[16]提出的 SBSOD 方向感调查量表评估被试的空间寻路能力, 进而按照评估结果, 将被试分为平均寻路能力相当的 A、B 两组 (每组各 23 人).

1.5 实验流程

虚拟环境下的寻路实验主要包括 5 个步骤.

步骤 1 实验员宣读实验指导语, 告知被试在实验过程中注意事项, 如设备使用、意外事件处理等.

步骤 2 被试在场景的非实验区域熟悉虚拟环境, 佩戴头戴式设备后, 利用键盘方向键练习在枢纽场景内的移动与转向. 若被试在测试阶段没有任何不良反应, 则继续参加正式实验.

步骤 3 被试填写个人相关信息, 记录基本信息与实验前生心理状态.

步骤 4 被试正式开始寻路实验, 按照随机顺序完成流线 1 与流线 2 的寻路任务. A 组与 B 组被试分别在旧版与新版综合信息标识系统环境下完成寻路实验, 实验员记录被试寻路过程中的寻路时间、转错弯次数以及停驻观望次数.

步骤 5 实验完成后, 填写实验后主观问卷, 获取被试对枢纽场景真实度与有效性的评估.

2 指标计算

客观寻路行为特征直接反映综合信息标识系统指引功效, 选取寻路时间、转错弯次数以及停驻观望次数 3 个指标, 分析被试在综合信息标识系统中的寻路行为. 指标定义及计算方法如下.

1) 寻路时间

寻路时间是指被试从开始寻路到最终到达目的地所经历的时间, 反映综合信息标识系统指引效率, 且指标越小表示标识系统指引效率越高. 实验过程中, 实验员使用秒表分别记录被试开始寻路以及到达目的地的时间, 计算公式为

$$T_{wf} = T_e - T_s \quad (1)$$

式中: T_{wf} 为寻路时间; T_e 为到达目的地时间; T_s 为开始寻路时间.

2) 转错弯次数

转错弯次数是指被试从开始寻路到最终到达目的地过程中转错弯的次数,反映综合信息标识内容与样式适宜度,且指标越小表示标识内容与样式适宜度越好.实验员使用计数器记录被试转错弯次数,计算公式为

$$E_{wf} = \sum E_i \quad (2)$$

式中: E_{wf} 为寻路过程中转错弯行为总次数; E_i 为寻路过程中转错弯行为.

3) 停驻观望次数

停驻观望次数是指被试从开始寻路到最终到达目的地过程中完全停止行进的次数,反映综合信息

标识设置位置适宜程度,且指标越小表示标识设置位置适宜度越好.实验员使用计数器记录被试停驻与观望次数,计算公式为

$$S_{wf} = \sum S_i \quad (3)$$

式中: S_{wf} 为寻路过程中停驻与观望行为总次数; S_i 为寻路过程中停驻与观望行为.

3 数据分析

对旧版综合信息标识环境下A组被试与新版综合信息标识环境下B组被试分别在流线1、2中的寻路时间、转错弯次数及停驻观望次数进行显著性分析,结果如表1所示.

表1 寻路过程指标统计

Table 1 Statistics of wayfinding indicators

流线	指标	旧版综合信息标识		新版综合信息标识		显著性
		Mean	SD	Mean	SD	
流线1	T_{wf1}	287.74	8.920	262.13	5.529	0.019* ↓
	E_{wf1}	0.17	0.120	0.30	0.183	0.430
	S_{wf1}	1.78	0.217	1.13	0.181	0.023* ↓
流线2	T_{wf2}	213.00	18.045	163.30	10.332	0.021* ↓
	E_{wf2}	1.48	0.217	0.48	0.139	0.000* ↓
	S_{wf2}	0.57	0.164	0.30	0.098	0.333

注: T_{wfi} 表示被试在第*i*条流线下的寻路时间,单位为s; E_{wfi} 、 S_{wfi} 分别表示被试在第*i*条流线下的转错弯次数与停驻观望次数,单位为次;* ↓表示指标值显著下降.

寻路时间(T_{wf1} 、 T_{wf2})反映综合信息标识系统指引效率.经检验,数据符合正态分布且方差齐次.利用独立样本*T*检验方法分析数据,结果如表1所示.在流线1中,被试在新版综合信息标识系统下平均寻路时间(262.13 s)小于旧版综合信息标识系统下平均寻路时间(287.74 s)($p=0.019$),在流线2中,被试在新版综合信息标识系统下的寻路时间(163.30 s)同样小于旧版综合信息标识系统下的寻路时间(213.00 s)($p=0.021$),表明新版综合信息标识系统指引效率优于旧版综合信息标识系统.

转错弯次数(E_{wf1} 、 E_{wf2})反映综合信息标识内容与样式适宜程度.经检验,转错弯次数呈非正态分布,因此使用非参数检验方法中的Mann-Whitney U test方法分析数据.在流线1中,新版综合信息标识系统下被试转错弯次数(0.30次)与旧版综合信息标识系统下转错弯次数(0.17次)无显著性差异($U=243.5$, $p=0.430$),可能是由于流线1的起点与终点位于同一楼层内,被试寻找目的地难度较低

而导致无显著差异(见表1).在流线2中,新版综合信息标识系统下转错弯次数(0.48次)小于旧版综合信息标识系统下转错弯次数(1.48次)($U=113.5$, $p=0.000$),表明新版综合信息标识内容与样式适宜程度优于旧版综合信息标识.

停驻观望次数(S_{wf1} 、 S_{wf2})反映综合信息标识位置设置适宜程度.经检验,停驻观望次数数据呈非正态分布,因此使用非参数检验方法中的Mann-Whitney U test方法分析数据.在流线1中,新版综合信息标识系统下被试停驻观望次数(1.13次)小于旧版综合信息标识系统下停驻观望次数(1.78次)($U=165.5$, $p=0.023$),表明新版综合信息标识系统位置设置适宜程度较好(见表1).而在流线2中,新版综合信息标识系统下被试停驻观望次数(0.30次)与旧版综合信息标识系统下停驻观望次数(0.57次)无显著性差异($U=227.5$, $p=0.333$),可能是由于流线2长度较短,被试停驻与观望的需求较少导致.

通过对寻路时间、转错弯次数以及停驻观望次数指标的显著性分析,可知在流线1中,寻路时间与停驻观望次数呈显著性差异,即新版综合信息标识指引效率与位置设置优于旧版综合信息标识;流线2中,寻路时间与转错弯次数呈显著性差异,即新版综合信息标识指引效率与内容样式适宜程度优于旧版综合信息标识。

4 标识系统综合评估

通过虚拟环境下的寻路实验,研究分析了被试在旧版与新版综合信息标识系统环境下,不同流线中的寻路时间、转错弯次数及停驻观望次数。然而,分析指标发现,同一标识系统环境下,流线1与流线2中指标表现存在差异,同时,同一流线中旧版与新版标识系统下指标表现也存在差异。为综合评估枢纽标识系统指引功效,考虑各指标差异,论文采用灰色近优方法进一步处理寻路数据。灰色近优方法可避免对分析结果人为的干预,同时无大样本要求。

使用灰色近优综合评估方法,首先需要建立灰矩阵,然后建立白化灰矩阵,具体过程为:设有标识系统 $M_j(j=1,2,\dots,m)$, 评估指标 $C_i(i=1,2,\dots,n)$ 以及相应的白化灰量 R_{ij} , 得到灰矩阵

$$\mathbf{R}_{n \times m} = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{11} & \cdots & R_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ R_{n1} & \cdots & R_{nm} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中 R_{ij} 为第 j 种标识系统的第 i 个评估指标。鉴于各评估指标的量纲不统一而难以计算,因此首先进行量纲为一处理,即把各指标值映射到 $[0,1]$, 然后以映射后的效果测度取代原评估指标,得到近优白化灰矩阵

$$\mathbf{R}'_{n \times m} = \begin{bmatrix} C_1 \\ \vdots \\ C_n \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R'_{11} & \cdots & R'_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ R'_{n1} & \cdots & R'_{nm} \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中 $\mathbf{R}'_{n \times m}$ 为第 j 种标识系统的第 i 个评估指标的近优白化灰量值,即测度效果。测度效果一般包括上限效果测度(应用于越大越优型指标)、下限效果测度(应用于越小越优型指标)以及中限效果测度(应用于适中型指标)。在本文中,寻路时间、转错弯次数与停驻观望次数越小表示该标识系统总体指引功效越好,因此采用下限效果测度,测度效果处理方式

$$R'_{ij} = \frac{\min \{R'_{ij}, \mu_{\min}\}}{R'_{ij}} \quad (6)$$

式中 μ_{\min} 为指定的较小值。由式(4)~(6),结合旧版与新版综合信息标识系统环境下的寻路时间、转错弯次数以及停驻观望次数,求解得出综合信息标识系统近优度,即综合信息标识系统的指引功效,从而完成对标识系统评估。

以寻路时间、转错弯次数以及停驻观望次数为指标,代入式(4)得综合信息标识系统白化灰矩阵

$$\mathbf{R}_{6 \times 2} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 287.74 & 262.13 \\ 213.00 & 163.30 \\ 0.17 & 0.30 \\ 1.48 & 0.47 \\ 1.78 & 1.13 \\ 0.57 & 0.30 \end{bmatrix}$$

式中 $C_1, C_2, C_3, C_4, C_5, C_6$ 分别为流线1与流线2的寻路时间、转错弯次数、停驻观望次数。

在综合信息标识系统总体指引功效的评估中,寻路时间、转错弯次数与停驻观望次数越少,表明标识系统指引功效越好,由式(5)可得标识系统近优白化灰矩阵

$$\mathbf{R}'_{6 \times 2} = \begin{bmatrix} C_1 \\ C_2 \\ C_3 \\ C_4 \\ C_5 \\ C_6 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0.91 & 1 \\ 0.77 & 1 \\ 1 & 0.57 \\ 0.32 & 1 \\ 0.63 & 1 \\ 0.54 & 1 \end{bmatrix}$$

进而根据式(6)计算旧版与新版综合标识系统综合指标近优度,即

$$\mathbf{R}'_s = S_j \left[\frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 R'_{i1} \quad \frac{1}{6} \sum_{i=1}^6 R'_{i2} \right] = S_j [0.70 \quad 0.93]$$

得到旧版综合信息标识系统近优度值为0.70,新版综合信息标识系统近优度值为0.93,因此新版综合信息标识总体指引功效优于旧版综合信息标识系统。

5 结论

以客运枢纽综合信息标识系统为研究对象,论文基于寻路理论,利用BIM+VR技术,通过虚拟环境下的寻路实验,获取被试的寻路时间、转错弯次数以及停驻观望次数,评估旧版与新版综合信息标识系统指引功效,形成以乘客空间认知特性与需求为基础的封闭空间标识系统一般性评估方法。实验结果表明新版综合信息标识系统指引功效优于旧版综合信息标识系统。此外,被试对实验场景真实性主

观评价为 8.04 分(0 分代表不真实,10 分代表真实),场景比较符合被试对客运枢纽环境的预期。

1) 流线 1 中,新版综合信息标识系统下被试寻路时间与停驻观望次数小于旧版综合信息标识系统,而转错弯次数无显著性差异;流线 2 中,新版综合信息标识系统下寻路时间与转错弯次数小于旧版综合信息标识系统,停驻与观望次数无显著性差异。

2) 利用灰色近优方法综合 2 条典型流线的寻路效果,得出新版综合信息标识系统近优度值大于旧版综合信息标识的结果,即枢纽新版综合信息标识系统指路功效优于旧版综合信息标识。

3) 研究形成基于 BIM+VR 技术的枢纽标识系统评价方法,评价过程如下:① 利用 BIM 技术搭建枢纽虚拟场景与标识系统模型;② 基于流线选取原则,选择典型流线;③ 招募被试,进行虚拟环境下的寻路实验;④ 利用灰色近优综合评估方法评估标识系统指路功效。

论文最大的创新在于 BIM 与 VR 技术相结合,利用实验测试手段,解决空间标识系统的评估优化问题,也为封闭空间其他标识系统的优化评估提供了途径。关于标识颜色、连续性等因素对标识系统指引功效的影响,将在后续研究中给出。

参考文献:

[1] 北京市交通委员会. 公共交通客运标识:DB/T 657.1—2009[S]. 北京:北京市质量技术监督局,2009.

[2] 全国图形符号标准化技术委员会. 公共信息导向计划:GB/T 20501.2—2013[S]. 北京:中国标准出版社,2013.

[3] ARTHUR P, PASSINI R. Wayfinding: people, signs and architecture [M]. New York: McGraw-Hill Book Co, 1992.

[4] O'NEILL M J. Effects of signage and floor plan configuration on wayfinding accuracy [J]. *Environment & Behavior*, 1991, 23(5): 553-574.

[5] LAM W H K, TAM M L, WONG S C, et al. Wayfinding in the passenger terminal of Hong Kong International Airport [J]. *Journal of Air Transport Management*, 2003, 9(2): 73-81.

[6] CORLETT E N, MANENICA I, BISHOP R P. The design of direction finding systems in buildings [J]. *Applied Ergonomics*, 1972, 3(2): 66-69.

[7] 周鑫. 基于寻路理论的铁路枢纽客站空间组织与设计研究[D]. 成都:西南交通大学,2010.

ZHOU X. Research on space organization and design of hub-type railway passenger stations based on wayfinding theory [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2010. (in Chinese)

[8] 禹丹丹. 基于寻路行为的轨道交通枢纽导向标识布局方案仿真评估研究[D]. 北京:北京交通大学,2012.

YU D D. Evaluation of guidance sign set project based on passenger wayfinding behavior in rail transit hubs using simulation method [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2012. (in Chinese)

[9] 汤天培,徐勋倩,赵胜男. 综合客运枢纽静态导向标识系统评价研究[J]. 广西大学学报(自然科学版), 2013, 38(6): 1389-1395.

TANG T P, XU X Q, ZHAO S N. Study on evaluation of static guiding sign system of comprehensive passenger terminal [J]. *Journal of Guangxi University (Nat Sci Ed)*, 2013, 38(6): 1389-1395. (in Chinese)

[10] 曹冬清. 大型综合交通枢纽站旅客向导标识的布设方案及评价方法研究[D]. 北京:北京交通大学,2008.

CAO D Q. Research of sign-oriented set project and evaluation of passenger in large-scale integrated transport station [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2008. (in Chinese)

[11] CARPMAN J R, GRANT M A, SIMMONS D A. No more mazes [J]. *Progressive Architecture*, 1985, 66(1): 156-157.

[12] MOTAMEDI A, WANG Z, YABUKI N, et al. Signage visibility analysis and optimization system using BIM-enabled virtual reality (VR) environments[J]. *Advanced Engineering Informatics*, 2017, 32(1): 248-262.

[13] VILAR E, REBELO F, NORIEGA P. Indoor human wayfinding performance using vertical and horizontal signage in virtual reality [J]. *Human Factors & Ergonomics in Manufacturing & Service Industries*, 2012, 24(6): 601-615.

[14] 刘长富,郭涛. 基于 BIM+VR 技术的沈阳地铁万泉公园站 MEP 设计研究[J]. 建筑技术开发, 2017, 44(9): 18-19.

LIU C F, GUO T. MEP design of wanquan park subway station in shenyang based on BIM+VR technology [J]. *Architectural Design*, 2017, 44(9): 18-19. (in Chinese)

[15] 高雪,王佳,衣俊艳. 基于 BIM 技术的建筑内疏散路径引导研究[J]. 建筑科学, 2016, 32(2): 143-146.

GAO X, WANG J, YI J Y. Evacuation path guidance based on BIM [J]. *Building Science*, 2016, 32(2): 143-146. (in Chinese)

[16] HEGARTY M, RICHARDSON A E, MONTELLO D R, et al. Development of a self-report measure of environmental spatial ability[J]. *Intelligence*, 2002, 30(5): 425-447.