

考虑出行者感知的城市轨道交通接驳服务评价^{*}

乔相荣¹ 姜 珊² 巩舜妹³ 杨祥一¹

(1. 深圳市综合交通设计研究院有限公司, 518003, 深圳;

2. 南京市城市与交通规划设计研究院股份有限公司, 210008, 南京;

3. 宿州学院资源与土木工程学院, 234099, 宿州//第一作者, 高级工程师)

摘 要 以城市轨道交通接驳过程中交通设施给出行者带来的约束为研究对象,建立了城市轨道交通接驳感知评价模型(Rasch 模型)。基于西安市城市轨道交通乘客的问卷调查,分析城市轨道交通不同接驳方式对不同性别、年龄、收入,以及接驳过程满意度的个体产生的出行感知的影响,并从降低接驳难度角度提出接驳意见。调查结果表明,选择道路公交作为接驳方式时,道路公交的运输能力适配性、线网布局匹配性、运输准确性、运营时间匹配性等对不同的人有一定的感知难度;选择步行及自行车等慢行接驳方式时,人们对慢行标志辨识度、骑行环境障碍性、骑行环境安全性、骑行环境舒适性的感知难度较大;选择小汽车作为接驳方式时,人们对小汽车的停车便捷性、收费情况、停车场设置情况等较为敏感。

关键词 城市轨道交通; 接驳; 服务评价, 出行感知; Rasch 模型

中图分类号 U530.7; U492.4⁺1

DOI:10.16037/j.1007-869x.2020.08.010

Service Evaluation of Urban Rail Transit Transportation Based on Passenger Perception

QIAO Xiangrong, JIANG Shan, GONG Shunmei, YANG Xiangyi

Abstract Targeted at the constraints that transportation infrastructure imposes on passengers in urban rail transit connection process, an urban rail transit connection perception assessment model (Rasch model) is established. Based on a questionnaire survey among Xi'an urban rail transit passengers, the influence of different urban rail transit connections on the traveling perception of passengers with different gender, age, income and satisfaction in the connection process is analyzed, suggestions on alleviating the traveling difficulties are put forward. The survey results show that when choosing road bus as the connection mode, the bus capacity adaptability, line network compatibility,

traffic accuracy and operation time matching will cause certain perceptual difficulties for different people. While in the case of pedestrian traveling mode, people feel it difficult to perceive the pedestrian traffic sign, cycling environment obstacle, cycling environment safety and cycling environment comfort. In the motor vehicle traveling mode, people are more sensitive to parking convenience, fee charging situation and parking lot availability.

Key words urban rail transit; transportation; service assessment; traveling perception; Rasch model

First-author's address Shenzhen Transportation Design & Research Institute, 518003, Shenzhen, China

城市轨道交通线路布局固定、走向单一,可达性较低,在点与点之间的无缝衔接方面存在较大的劣势。改善其接驳服务的质量,可有效增加城市轨道交通服务满意度,是提高城市轨道交通的核心竞争力的重要手段。改善接驳服务质量,先要对接驳服务进行评价。

国外关于城市轨道交通接驳服务评价的研究主要集中在对于接驳方式评价体系的评价和改善。文献[1]通过增加道路公交线路的覆盖范围及提高运行准时性等方法,来达到提高道路公交运营服务质量的目的。文献[2]通过改善票价、可达性和机动性来提高城市轨道交通的竞争力。文献[3]发现公交可达性和乘客感知服务水平是乘客角度最重要的评价指标。文献[4]通过改善城市电车接驳的步行可达性来提升城市规划质量。

国内对于城市轨道交通接驳服务评价的研究主要集中在与其他交通方式的线网布局衔接、站点布局衔接及出行行为衔接等方面。文献[5]针对城市轨道交通线路站点周边自行车停车障碍性及停

^{*} 国家自然科学基金项目(No.51878062)

车区域布局两方面对接驳方式进行了阐述。目前,对于城市轨道交通接驳服务的研究主要是针对接驳设施的服务质量,几乎没有从乘客的角度来研究城市轨道交通接驳方式的设计。本文以出行者出行行为感知为基础,将心理测量模型引入接驳服务的评价,结合出行者的出行特征提出了改善城市轨道交通服务质量的方案。

1 城市轨道交通接驳服务的评价指标

1.1 接驳的影响因素分析

城市轨道交通站点周边的接驳方式与出行者的收入、整次出行的距离、整次出行的时间,以及周边服务设施的便捷性等相关。

1.2 接驳评价指标选取

本文选取舒适性、安全性、协调性和便捷性四类一级指标对城市轨道交通接驳服务质量进行评价。评价指标的含义如表 1 所示。

表 1 城市轨道交通站点周边接驳评价指标表

备选指标		主要解释	测量指标
舒适性	舒适度	可采用换乘便捷性、换乘占地面积、换乘步行距离等反应	行舒适性 骑行便捷性 购物方便性
	人均换乘面积	换乘设施的舒适性	接驳过程拥挤度
安全性	安全度	流量与服务设施间布局的合理性	骑行设施、停车安全度,个人财产安全度,应急能力
协调度	集散能力匹配度	交通集散方式对于出行者的集散能力,可通过交通方式间的换乘比例得到	换乘方式接驳匹配度 换乘方式时间匹配度 换乘设施布局合理性 站点名称统一性 换乘线网匹配性 候车时间可靠性
	换乘准时性	出行者到达换乘点的可靠性	
便捷性	换乘时间	出行者交通方式间转换所需要的时间	换乘时间是否合理
	换乘距离	接驳平均步行距离	换乘距离是否合理
	站点可达性	衡量出行者选择到达目的地的便捷度	接驳标志清晰完整度

2 数据采集与分析

2.1 数据采集

本文通过问卷星平台于 2019 年 6 月对西安市乘坐过城市轨道交通的出行者进行调查。共发放 500 份调查问卷,回收了 474 份有效问卷和 26 份无效问卷。问卷有效回收率为 94.8%。问卷主要对出行者属性、出行者满意程度、城市轨道交通接驳服务水平等 3 方面进行调查。

1) 出行者个人属性。主要包括出行者的个人信息,如性别及年龄等。

2) 城市轨道交通站点周边不同接驳方式的服务能力。满意度衡量选择五级李克特量表。调查内容主要包括以下几方面:道路公交与城市轨道交通运行时间是否协调、交通方式间的运输能力是否匹配、道路公交运行是否可靠、P&R(Park and Ride)停车场的可用性、出租车安全性、骑行环境安全性、非机动车停车设施需求性、过街横道舒适性、标志标线视认性等。

3) 出行满意程度评价。调查主要分析出行者对站点周边不同接驳方式的便捷性、安全性、协调性、经济性等方面满意度,并选择二分制评价方法来量化满意度。

2.2 城市轨道交通满意度分析

2.2.1 城市轨道交通接驳服务满意度分析

站点周边不同接驳方式的服务评价表如表 2 所示。由表 2 可见,出行者对各接驳方式的服务满意度大多为 3~4 分。这表明出行者对接驳方式及设施较满意。表 2 中部分指标满意度相对较低,这是因为乘客对道路公交运行可靠度、自行车骑行环境、P&R 停车场的可用性等方面满意度不高。

表 2 城市轨道交通站点周边不同接驳方式服务评价表

接驳方式	评价指标	乘客满意度评分	满意度评分均值
道路公交	运营时间匹配	3.94	3.502
	运输能力满足	3.53	
	道路公交线网覆盖匹配	3.41	
	道路公交出行可靠	2.89	
	换乘便捷	3.74	
步行	人均占地面积	3.58	3.380
	指示信息清晰	3.52	
	步行设施完善	3.07	
	步行环境舒适	3.35	
自行车	骑行环境	2.91	3.027
	设施布局合理	3.36	
	骑行环境安全	2.81	
小汽车	临时停车方便	3.37	3.265
	P&R 停车场可用	3.16	

2.2.2 城市轨道交通接驳方式满意度分析

通过建立接驳出行满意度多元回归模型,探究各接驳方式出行满意度评价指标对出行全过程整体满意度的影响。问卷调查采用二分制评价(满意=1,不满意=0),因此,该数据可进行二元 Logistic 回归分析。将影响接驳感知的指标按照接驳方式进行分类,则第 j 种接驳方式的第 i 个指标 x_{ji} 为模型自变量,第 j 种接驳方式的满意度 y_j 为因变量。则各接驳方式的二元 Logistic 模型为:

$$P_j(y_j = 1 | x_i) = 1/[1 + \exp(-\alpha_j + \sum_{i=1}^n \beta_{ji}x_{ji})]$$

(1)

式中：

P_j ——当 $y_j=1$ 时,城市轨道交通第 j 种接驳方式的预测概率；

x_i ——当 $y_j=1$ 时的第 i 个指标；

α_j ——第 j 种接驳方式的截距；

β_{ji} ——第 j 种接驳方式下第 i 个指标的出行难度。

模型预测得到的结果如表 3 所示。

表 3 各接驳方式的满意度影响因素			
接驳方式	x_{ji}	β_{ji}	P_j
步行	步行空间开阔	2.207 2	0.003 2 **
	接驳标志清晰	-1.397 4	0.159 3
	步行环境优美	1.823 5	0.038 9 *
	步行家具完善	1.969 9	0.026 4 *
自行车	停车设施充足	0.794 4	0.105 3
	骑行环境安全	1.326 5	0.068 5
	停车空间充足	2.263 4	0.001 1 **
道路公交	运营时间相协调	1.889 2	1.091 2×10 ⁻⁵ ***
	运量匹配度高	1.184 8	0.685 1×10 ⁻³ ***
	公交线网匹配度高	1.369 8	0.134 2×10 ⁻³ ***
	公交接驳可靠性高	0.813 8	1.573 9×10 ⁻² *
小汽车	P&R 停车场	2.857 5	3.842 3×10 ⁻¹¹ ***
	小汽车临时停靠方便	1.068 0	0.216 8×10 ⁻¹ *

注：*** 表示在 99%的置信区间显著；** 表示在 95%的置信区间显著；* 表示在 90%的置信区间显著

道路公交是城市轨道交通最主要的接驳方式。该接驳方式的出行者满意度对全样本满意度影响很大。根据分析结果可以看出,道路公交接驳方式中,道路公交的运量、设施和线网的匹配度及接驳可靠性对应的 P_j 值较大,因此这三项指标对出行者满意度有积极影响。值得注意的是,道路公交的运营时间匹配度的 β_{ji} 值较大,说明其影响结果权重较大,反映出出行者对道路公交接驳时间的匹配程度十分看重,在改善道路公交与城市轨道交通接驳的服务质量的时候可着重考虑。对于小汽车接驳出行者而言,P&R 停车场的设置可提高该类乘客的感知满意度。

3 模型构建

Rasch 模型主要是为了处理单个样本的能力和不同难度问题的关系。本文建立的 Rasch 模型,以各交通方式接驳城市轨道交通的设施不便性感知为基础,以项目反应理论为基本思想,通过对比接驳设施不变的出行难度与出行者克服该出行难度

的能力角度,定量诊断城市轨道交通站点周边设施的服务质量。在第 j 种接驳方式中,个体能力为 θ_i 的受试者做出正确反应 $x_{ji}=1$ 的概率 P 为：

$$P\{x_{ji} = 1 | \theta_i, \beta_j\} = \exp(\theta_i - \beta_j)/(1 + \exp(\theta_i - \beta_j))$$

(2)

其中, $\beta_j = \sum_i \beta_{ij}$, 为第 i 种接驳方式的出行难度。则受试者做出错误反应 $x_{ji}=0$ 的概率为：

$$P\{x_{ji} = 0 | \theta_i, \beta_j\} = 1 - P\{x_{ji} = 1 | \theta_i, \beta_j\} = 1/(1 + \exp(\theta_i - \beta_j))$$

(3)

结合式(2)及式(3),可以得到：

$$\ln\left(\frac{P(x_{ji} = 1 | \theta_i, \beta_j)}{P(x_{ji} = 0 | \theta_i, \beta_j)}\right) = \theta_i - \beta_j$$

(4)

4 结果实证

结合实际情况选择 Rasch 模型评价指标,相关信息见表 4。

表 4 Rasch 模型评价指标的选取及其编号			
指标编号	评价指标	指标编号	评价指标
1	运营时间匹配	8	骑行环境安全
2	运输能力满足	9	临时停车方便
3	停车设施便捷	10	标志视认性
4	P&R 停车场可用	11	指示信息清晰
5	道路公交覆盖匹配	12	步行环境舒适
6	道路公交出行可靠	13	骑行环境舒适
7	人均占地面积	14	步行设施完善

4.1 样本群体的差异性分析

本研究根据样本的个体属性(年龄、性别、职业等)及对站点周边设施的了解程度、接驳设施满意程度等将调查数据分类,并通过单因素方差分析方法进行分析,分析结果如表 5 所示。

表 5 个体属性的单因素方差分析结果			
个体属性	子集分类	平均能力	个体属性的 P
性别	男性	0.75	0.001 ***
	女性	1.58	
年龄	<35 周岁	2.26	0.002 ***
	≥35 周岁	1.64	
收入	<6 000 元	1.51	0.032 ***
	≥6 000 元	1.07	
站点周边设施的熟悉度	熟悉	2.14	0.502
	不熟悉	2.01	
站点周边设施的满意度	满意	1.71	0.001 ***
	不满意	0.75	

注：*** 表示在 99%的置信区间显著;平均能力指克服接驳过程中设施不足带来的束缚的能力

当置信水平在 99%时,对样本个体评价指标进行方差分析发现,年龄、收入、性别及接驳设施满意

程度等指标均呈现较好的显著性。这表明:接驳出行者在这四项指标分析中的个体能力存在显著差异,具有较好的统计特性。在性别划分的不同子集中,男性能力明显低于女性能力,说明女性更容易克服接驳过程中设施不足带来的束缚。在年龄划分的不同子集中,年龄小于 35 岁的出行者更容易接受换乘过程中遇到的困难。收入超过 6 000 元的出行者更不愿意克服接驳过程遇到的困难。对本次出行满意的出行者,个体能力更高;对本次出行不满意的个体样本,感知不适性更强。在整次换乘过程,出行者子集对站点周边设施熟悉度显著性指标的 P 值仅为 0.502,说明该项指标不会对个体能力产生影响。

4.2 项目功能差异分析

为明确分析改善接驳设施后所吸引的目标出行者,需采用项目功能差异(DIF)分析,进一步研究群体差异性对各出行难度产生的反应。DIF 是指两个可比较的个体(出行者)之间的绩效差异,即通过 DIF 分析来识别导致出行者在接驳过程中感知困难的因素。一般可以通过 P 值来判断 DIF 的显著水平,当 P 值小于 0.05 时,意味 DIF 显著;当 P 值大于 0.05 时,意味着 DIF 可以忽略不计。 P 值越显著则

表示该样本对出行的感知越敏感。结合表 4 ,经过分析,得到不同属性样本群的感知难度 G 及 P 值(见表 6)。

从表 6 可以看出,在道路公交接驳方式中:指标 2 的女性 P 值较小,DIF 显著,说明其感知难度不如男性,即当道路公交运输性能不足时,女性更易感知该指标带来的接驳问题,说明女性对该指标更敏感;指标 5,超过 35 岁的出行者的感知难度较大;对于指标 6,年龄小于 35 岁的出行者感知难度更大。在收入情况分类子集中:对指标 1 和指标 5,个人收入不超过 6 000 元的出行者感知难度更小;对于指标 6,收入小于 6 000 元的出行者的感知难度较大;对指标 1 较敏感的出行者在接驳过程中都感到满意。

在步行接驳方式中,对于指标 10,女性接驳者及对出行过程满意的出行者感知困难度相对大一些(其 P 值较小,DIF 显著,)。自行车接驳方式的 3 个指标,对于指标 8,女性、不超过 35 岁及收入不超过 6 000 元的出行者感知到的困难度更大;对于指标 13 及指标 8,对接驳过程感到不满意的出行者感受到的难度更大。在小汽车的接驳方式中,出行者更加关注指标 9,收入超过 6 000 元和出行不满意的人更加重视 P&R 停车设施的可用状况(指标 4)。

表 6 不同属性样本的 G 与 P

接驳方式	指标编号	性别			年龄			接驳过程满意度			收入		
		G		P	G		P	G		P	G		P
		女	男		<35 周岁	≥35 周岁		满意	不满意		<6 000 元	≥6 000 元	
道路公交	1	-1.63	-2.0	0.577 0	-2.16	-1.28	0.117 0	-0.60	-2.67	0.000 1 *	-2.19	-0.93	0.027 6 *
	2	-2.02	-0.4	0.001 7 *	-0.81	-1.28	0.359 0	-0.60	-1.17	0.239 0	-0.82	-1.38	0.331 0
	5	-1.32	-0.7	0.204 0	-1.34	-0.42	0.048 9 *	-1.40	-0.74	0.214 0	-1.28	-0.25	0.032 0 *
	6	-0.11	-0.1	1.002 0	0.27	-0.95	0.008 7 *	-0.10	-0.10	1.000 0	0.16	-0.93	0.033 7 *
	11	-0.94	-0.8	0.765 0	-0.97	-0.67	0.513 0	-0.60	-0.99	0.427 0	-0.69	-1.38	0.224 0
步行	7	1.85	1.6	0.355 0	1.53	2.06	0.126 0	1.50	2.00	0.120 0	1.54	2.11	0.104 0
	10	-1.32	0.3	0.000 4 *	-0.38	-0.30	0.853 0	0.60	-1.26	0.000 1 *	-0.50	0.02	0.235 0
	12	-0.94	-0.1	0.062 0	-0.38	-0.67	0.523 0	-0.30	-0.59	0.497 0	-0.32	-0.93	0.246 0
	14	-0.98	0.6	0.314 0	0.57	1.25	0.050 0	1.10	0.57	0.111 0	0.66	1.21	0.124 0
自行车	3	0.60	0.2	0.233 0	0.75	-0.30	0.008 0	0.20	0.57	0.328 0	0.62	-0.11	0.084 0
	8	1.62	0.3	0.000 3 *	1.32	0.55	0.032 2 *	0.10	1.83	0.000 2 *	1.35	0.36	0.012 3 *
	13	-0.81	-0.8	1.001 0	-0.89	-0.67	0.634 0	-1.60	-0.44	0.028 6 *	-0.75	-0.93	0.743 0
小汽车	4	2.08	0.7	0.001 0 *	1.32	1.76	0.185 0	1.10	1.94	0.008 5 *	1.23	2.03	0.022 3 *
	9	0.04	1.4	0.000 2 *	0.71	0.71	1.000 0	1.20	0.22	0.003 7 *	0.79	0.57	0.574 0

注: * 表示在 90%的置信区间显著

5 结语

综合上述分析,本文从出行者角度给出改善和提升城市轨道交通接驳服务质量的建议:

1) 改善道路公交运行的可靠性。不超过 35 岁、收入不超过 6 000 元的出行者更加倾向于选择道

路公交作为接驳方式。

2) 骑行环境的安全性有待改善。女性、不超过 35 岁及收入不超过 6 000 元的出行者更倾向于选择自行车作为接驳方式。

3) 完善接驳相关标志可辨识度、增加停车设施

(下转第 49 页)

4 实训系统的应用

实训系统主要配合城市轨道交通专业的线路与站场、行车组织、运输设备及行车调度实训等课程相关教学内容,能够训练站务员、行车值班员、行车调度员及列车司机等岗位的核心技能,既能培养行车业务专项技能,又能培养全局意识和团队意识。目前,该实训系统已经在广东交通职业技术学院等高职院校和宁波地铁、广州地铁等城市轨道交通企业推广应用,并且得到了这些用户的较高评价。

5 结语

本文介绍的实训系统基于3D游戏引擎和Visual Studio C#软件开发,融合了VR技术、网络技术及数据库技术,通过游戏的用户体验设计,融入工作任务驱动等教学方法,搭建了全局漫游学习、多岗位协同训练、教学考核一体化的实训平台,解决了城市轨道交通行车组织教学资源匮乏、学生学习兴趣不高、故障处理和岗位协同能力不足等问题。

参考文献

- [1] 邹少文.城市轨道交通视景仿真信号系统研究[J].城市轨道交通研究,2018(1):53.

- [2] 颜月霞,吴晓华.城市轨道交通虚拟三维行车实训系统构建分析[J].中国现代教育装备,2016(19):14.
- [3] 叶华平,姚军,钱雪军.城市轨道交通列车虚拟驾驶仿真系统[J].城市轨道交通研究,2015(11):124.
- [4] 卢曙光,齐磊,杨军.城市轨道交通调度指挥仿真系统研究[J].都市快轨交通,2009(5):50.
- [5] 崔宏巍,朱方来.多层次协同式实践教学平台构建与研究[J].实验技术与管理,2014(3):143.
- [6] 张晓梅,鲁工圆,何必胜,等.基于城市轨道交通调度指挥仿真系统的实验教学研究[J].实验室科学,2019,22(3):134.
- [7] 李健,林鸿睿,黄璐.城市轨道交通ATC仿真实验教学创新[J].实验室研究与探索,2013(8):310.
- [8] 朱悦,李文捷,丁仁源.基于多媒体技术的3D建模方法与实践[J].信息系统工程,2015(4):88.
- [9] BOOCH G,MAKSIMCHUK R A,ENGEL M W,et al. Object-Oriented Analysis and Design with Applications[M]. 3rd ed. Reading,Massachusetts:Addison-Wesley Professional,2007.
- [10] 李亚娟,王海峰.基于VR技术的虚拟旅游系统的设计与实现[J].自动化与仪器仪表,2019(9):195.
- [11] 董凤龙,陈虹伊,华旻磊,等.基于Unity3D的电力培训虚拟现实系统设计与实现[J].工业控制计算机,2019(9):6.

(收稿日期:2019-10-22)

(上接第43页)

便捷性等措施将会提高小汽车出行者对接驳过程的满意度。

4) 补充、完善步行接驳标志,可以提高女性接驳者的满意度。

本文分析了出行者感知对城市轨道交通接驳服务的评价,并给出了相应改善措施方案。从出行者感知角度出发,利用Rasch模型分析结果,对接驳过程中由于个体属性差异而造成行为差异的出行者进行甄别,明确城市轨道交通接驳过程服务的乘客类型及计划诱导的出行群体,并提出针对性改善建议,对城市轨道交通接驳服务质量提升有一定的参考价值。

参考文献

- [1] CHERRY T,TOWNSEND C. Assessment of potential improvements to metro-bus transfers in Bangkok, Thailand[J]. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board,2012(2276):116.

- [2] FOTH N,MANAUGH K,EL-GENEIDY A M. Towards equitable transit:examining transit accessibility and social need in Toronto, Canada, 1996—2006[J]. Journal of Transport Geography,2013,29:1.
- [3] EBOLI L,MAZZULLA G. A methodology forevaluating transit service quality based on subjective and objective measures from the passenger's point of view[J]. Transport Policy, 2011(1):172.
- [4] KESAVAN Y,GIOVANNUCCI E,FUCHS C S,et al. A Study on Connectivity and Accessibility between Tram Stops and Public Facilities[J]. American Journal of Epidemiology, 2009(2):247.
- [5] 宋倩茹. 基于轨道交通接驳的自行车停车设施布设方法研究[D]. 北京:北京交通大学,2017.

(收稿日期:2019-11-08)