

城市轨道交通换乘站位置对乘客换乘路径选择的影响^{*}蒋 黎^{1,2} 包佳瑶³ 高 明³ 朱 炜^{1,2}

(1. 同济大学交通运输工程学院, 201804, 上海; 2. 上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点试验室, 201804, 上海;

3. 南昌轨道交通集团有限公司运营分公司, 330038, 南昌)

摘 要 [目的]城市轨道交通乘客实际出行中存在一些不宜量化的因素(如换乘站在线网中的位置等)。这些因素难以量化折算为城市轨道交通多路径概率选择模型中的出行路径阻抗,需要研究这些因素对乘客路径选择的影响。[方法]根据换乘站在城市轨道交通路径中的位置将换乘站划分为居路径前段、居路径中间、居路径后段三类。基于手机信令获取到的上海轨道交通线网乘客出行数据,选取其中的典型 OD(起讫点)对及符合研究要求的换乘站,将多路径概率选择模型计算得到的选择比例与路径实际选择比例进行对比,分析得到不同换乘站类型对乘客换乘路径选择的影响规律。[结果及结论]与居路径中间换乘站相比,乘客更趋于选择在居路径前段、居路径后段的换乘站进行换乘,其路径实际选择比例较模型计算选择比例约高 10%。构建多路径概率选择模型时,不能简单地换乘因素量化折算为阻抗,应对各换乘因素进行综合考虑。

关键词 城市轨道交通; 换乘站位置; 换乘路径选择; 手机信令数据

中图分类号 U231.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.04.011

Influence of Urban Rail Transit Interchange Station Location on Passenger Interchange Route Selection

JIANG Li^{1,2}, BAO Jiayao³, GAO Ming³, ZHU Wei^{1,2}

(1. College of Transportation Engineering, Tongji University, 201804, Shanghai, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Rail Infrastructure Durability and System Safety, 201804, Shanghai, China; 3. Operations Branch, Nanchang Rail Transit Group Co., Ltd., 330038, Nanchang, China)

Abstract [Objective] There are some non-quantifiable factors in the actual travel of passengers in urban rail transit (such as the position of interchange stations in the line network), which are challenging to quantify and convert into impedance in the multi-route probability choice model of urban rail transit. It is necessary to study the impact of these factors on passenger

route choice. [Method] According to the positions, interchange stations along urban rail transit routes are classified into three categories: near route front (forward path), in route middle, and near route end (backward path). Based on actual passenger travel data obtained from mobile signaling in Shanghai rail transit network, typical OD (origin-destination) pairs and interchange stations meeting research requirements are selected. The selection proportions calculated by the multi-route probability choice model are compared with the actual selection proportions, and the influence law of different interchange station types on passenger interchange route choice is obtained from analysis. [Result & Conclusion] Compared to interchange stations located in route middle, passengers tend to choose those located near route front or end. The actual choice proportion of routes is approximately 10% higher than the model-calculated selection proportion. When constructing a multi-route probability choice model, interchange factors shouldn't be simply quantified and converted into impedance, rather various interchange factors should be comprehensively considered.

Key words urban rail transit; interchange station location; interchange route selection; mobile signaling data

城市轨道交通网络化运营阶段,乘客在同一对 OD(起讫点)间出行存在多条可行路径,我国大多采用基于多路径的概率选择模型来估计乘客在网络中的出行路径选择。这类模型将乘客出行的时间、换乘便捷性、乘坐舒适性等因素统一量化并折算为出行路径的阻抗^[1-3],这样的处理方法在简化了问题的同时也导致模型计算结果出现偏差。

一些研究也发现了对换乘等因素的主观感受会影响乘客的出行选择决策^[4-6],但难于将这些主观因素简单地统一量化为阻抗。本文基于手机信令数据统计信息,对上海城市轨道交通网络典型 OD 间换乘站位置对乘客换乘路径选择的影响进行实证研究,并与现有阻抗统一量化折算的多路径概率选择

^{*} 南昌轨道交通科研计划项目(2021HGKYC005);国家自然科学基金项目(72071147)

模型的计算结果进行对比,分析验证换乘站位置对城市轨道交通乘客换乘路径选择的实际影响。

1 城市轨道交通路径中换乘站位置划分

城市轨道交通乘客在选择出行路径时,往往不清楚路径的实际旅行时间或里程,而会以路径途经车站数量作为比选的依据。为此,本文将车站视为网络中的节点,将线路视为网络中的连接线,相邻车站间的距离视为 1,并将两个车站间隔的线路区间断面数量定义为两个车站的间距。图 1 为换乘站在城市轨道交通路径中的位置示意图,将换乘站划分为三类:

- 1) 居路径前段:路径中的 T 站(换乘站)到 D 站(终点站)的距离同 T 站到 O 站(起点站)的距离之差大于等于路径全长的 1/3,如图 1 a)所示。
- 2) 居路径中间:路径中的 T 站到 O 站的距离同 T 站到 D 站的距离之差小于路径全长的 1/3,如图 1 b)所示。
- 3) 居路径后段:路径中的 T 站到 O 站的距离同 T 站到 D 站的距离之差大于等于路径全长的 1/3,如图 1 c)所示。

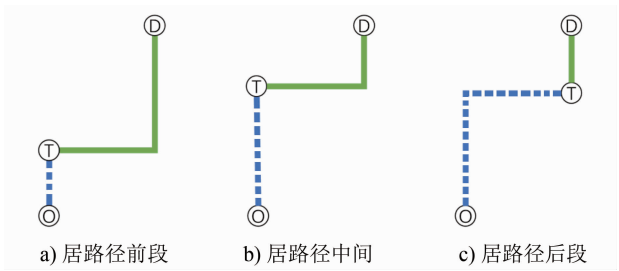


图 1 换乘站在城市轨道交通路径中的位置类型
Fig.1 Location types of interchange stations in urban rail transit route

2 基于手机信令数据的 OD 间路径客流提取

本文主要基于中国联通智慧足迹 Daas BI 平台的手机信令数据来提取 OD 间路径客流,数据包含上海联通 2019 年 5 月共计 700 万名用户的交通出行数据(已脱敏),其中涉及上海轨道交通出行方式记录的数据为 4.0584 亿条。与城市轨道交通出行方式相关记录的数据表为“move_subway”表,其字段及含义如表 1 所示。

通过“move_subway”表获取上海轨道交通线网中客流的 OD 情况及路径,其步骤如下:

步骤 1 根据“flag”字段的差异,将“move_subway”表筛选为 3 张表(O 站表、D 站表及 T 站

- 表)待用;
- 步骤 2 将 O 站表和 D 站表“uid”、“move_id”、“date”等字段连接,得到乘客单次出行的 OD 记录表;
- 步骤 3 以不同 O 站、T 站对 OD 记录表进行统计,可以得到各个 OD 对间的客流;
- 步骤 4 将 OD 记录表和 T 站表通过“uid”、“move_id”、“date”字段连接,得到乘客每次出行途经的换乘站记录表;
- 步骤 5 通过选择 O 站、D 站和 T 站来查询指定路径的客运量情况。

表 1 上海轨道交通出行记录数据表的字段及含义
Tab.1 Field and meaning of Shanghai rail transit travel record data sheet

字段	类型	含义
uid	bigint	用户编号
move_id	int	月度出行编号
time	string	经过城市轨道交通车站的时间
station	string	城市轨道交通车站名称
line	string	城市轨道交通车站线路
flag	string	经过类型
city	string	城市
date	int	日期

3 基于上海轨道交通网络的实证分析

3.1 典型 OD 数据的选取

为了分析城市轨道交通换乘站位置对乘客换乘路径选择的影响,应尽量排除其他因素(如路径旅行时间、换乘难易程度、路径换乘次数等)对路径选择的影响。为此,基于以下原则筛选用于本文实证分析的典型 OD 数据:①OD 间具备 2 条及以上通过不同换乘站相连的路径;②不同路径的总旅行时间差距小且换乘次数相同;③不同路径上的换乘站在该路径中所处的位置类型不同;④不同换乘站的换乘走行时间及换乘难易程度相似。

以上海轨道交通网络为实际背景,筛选得到的换乘站如表 2 所示。表 2 中:序号为 1 的数据记录表示四平路站和老西门站是轨道交通 8 号线和轨道交通 10 号线的共同换乘站,四平路站的站内换乘平均距离 S_i 为 34 m、平均换乘时间 T_i 为 1 min;老西门站的 S_i 为 105 m、 T_i 为 2 min;四平路站和老西门站在轨道交通 8 号线、轨道交通 10 号线上的换乘站

表 2 典型 OD 数据选用的换乘站及相关参数

Tab. 2 Interchange stations and related parameters selected for typical OD data							
序号	换乘线路	换乘站 1			换乘站 2		
		换乘站名称	S_i/m	T_i/min	换乘站名称	S_i/m	T_i/min
1	8 号线、10 号线	四平路站	34	1	老西门站	105	2
2	10 号线、12 号线	陕西南路站	108	2	天潼路站	90	2

间距 I_i 分别为 8 站和 7 站。序号为 2 的数据记录类同,陕西南路站和天潼路站在轨道交通 10 号线、轨道交通 12 号线上的 I_i 分别为 5 站和 4 站。

为使典型 OD 对间有两条阻抗相近的有效路径,所选 OD 应分别位于两个换乘站以远位置的不同线路上。为进一步观察 T 站同 O 站或 D 站间的距离对乘客换乘路径选择行为的影响,本文固定其中一端的 O 站或 D 站,在此基础上对乘客换乘行为进行分析。结合车站条件、OD 间客运量等因素,最终选取得到典型的 OD 对数据,如表 3 所示。

表 3 选取的典型 OD 对情况一览表

Tab. 3 Selected typical OD pair situation

OD 对序号	典型 OD 对	
	O 站	D 站
序号 1—序号 5	新江湾城站至同济大学站	东方体育中心站
序号 6—序号 9	上海图书馆站	江浦公园站至巨峰路站
序号 10—序号 14	宋园路站	鞍山新村站至黄兴公园站

3.2 典型 OD 对数据统计结果

分别统计表 3 中各典型 OD 对的日客运量和各

条路径上的日客运量,将基于手机信令数据计算统计的结果作为乘客路径选择的实际比例,再将其与多路径概率选择模型计算得到的路径选择比例作对比。

表 4 为不同 O 站至固定 D 站(东方体育中心站)的路径选择情况。表 4 中:各 OD 对间两条路径选择比例与模型计算得到的选择比例相差较大。与模型计算选择比例相比,在四平路站换乘的路径由于该站属于居路径前段类型,其实际选择比例均大于模型计算选择比例。序号 4-1 至序号 4-5 的 OD 数据因 O 站至四平路站的间距逐渐变小,选择在四平路站换乘的比例整体呈现增加的趋势。

同理得到另外两组典型 OD 对数据的结果,如表 5、表 6 所示。由表 5、表 6 可知:各 OD 对间两条路径的实际选择比例与模型计算选择比例的差值不大。尽管不同 OD 对的 OD 间距有较大的差异,但实际选择结果均具备以下特征:T 站越靠近 O 站或 D 站,其路径实际选择比例与模型计算选择比例的差值越大,且随着 T 站靠近 O 站或 D 站的程度的增大或减小,该条路径实际选择比例也随之增加或减少。

表 4 不同 O 站至固定 D 站(东方体育中心站)的路径选择情况

Tab. 4 Route choices from different O stations to fixed D station (Oriental Sports Center Station)

序号	OD 总记录数/条	O 站	D 站	T 站	OT 间距/个	TD 间距/个	OD 间距/个	路径人数	路径实际选择比例/%	模型计算选择比例/%
4-1	126	新江湾城站	东方体育中心站	四平路站	7	15	22	21	16.67	13.00
				老西门站	14	7	21	105	83.33	87.00
4-2	166	三门路站	东方体育中心站	四平路站	5	15	20	34	20.48	13.00
				老西门站	12	7	19	132	79.52	87.00
4-3	407	江湾体育场站	东方体育中心站	四平路站	4	15	19	69	16.95	13.00
				老西门站	11	7	18	338	83.05	87.00
4-4	152	五角场站	东方体育中心站	四平路站	3	15	18	46	30.26	13.00
				老西门站	10	7	17	106	69.74	87.00
4-5	162	同济大学站	东方体育中心站	四平路站	1	15	16	37	22.84	13.00
				老西门站	8	7	15	125	77.16	87.00

注:OT 间距等于 O 站至 T 站线路区间的断面数量;TD 间距等于 T 站至 D 站线路区间的断面数量;OD 间距等于 O 站至 D 站线路区间的断面数量。

表 5 固定 O 站(上海图书馆站)至不同 D 站的路径选择情况

Tab.5 Route choices from fixed O station (Shanghai Library Station) to different D stations										
序号	OD 总记录数/条	O 站	D 站	T 站	OT 间距/个	TD 间距/个	OD 间距/个	路径人数	路径实际选择比例/%	模型计算选择比例/%
5-1	140	上海图书馆站	江浦公园站	陕西南路站	1	8	9	107	76.43	51.70
				天潼路站	6	4	10	33	23.57	48.30
5-2	180	上海图书馆站	宁国路站	陕西南路站	1	9	10	99	55.00	51.70
				天潼路站	6	5	11	81	45.00	48.30
5-3	147	上海图书馆站	东陆路站	陕西南路站	1	13	14	110	74.83	51.70
				天潼路站	6	9	15	37	25.17	48.30
5-4	226	上海图书馆站	巨峰路站	陕西南路站	1	14	15	142	62.83	51.70
				天潼路站	6	10	16	84	37.17	48.30

表 6 固定 O 站(宋园路站)至不同 D 站的路径选择情况

Tab.6 Route choices from fixed O station (Songyuan Road Station) to different D stations										
序号	OD 总记录数/条	O 站	D 站	T 站	OT 间距/个	TD 间距/个	OD 间距/个	路径人数	路径实际选择比例/%	模型计算选择比例/%
6-1	287	宋园路站	鞍山新村站	老西门站	6	9	15	1	0.35	45.00
				四平路站	13	1	14	286	99.65	55.00
6-2	202	宋园路站	江浦路站	老西门站	6	10	16	8	3.96	45.00
				四平路站	13	2	15	194	96.04	55.00
6-3	156	宋园路站	黄兴路站	老西门站	6	11	17	7	4.49	45.00
				四平路站	13	3	16	149	95.51	55.00
6-4	216	宋园路站	延吉中路站	老西门站	6	12	18	7	3.24	45.00
				四平路站	13	4	17	209	96.76	55.00
6-5	148	宋园路站	黄兴公园站	老西门站	6	13	19	39	26.35	45.00
				四平路站	13	5	18	109	73.65	55.00

研究发现,减轻途中换乘负担是乘客的普遍心理。尽早换乘到目的线路,或尽可能延长在本线的乘坐时间,均能在一定程度上减轻乘客在乘车途中的“折腾感受”。尽管换乘频次并未减少,乘客出于这种心理会更容易选择 T 站靠近 O 站或 D 站的路径。以 O 站为同济大学站、D 站为东方体育中心站为例,OD 间有两条换乘路径,如图 2 所示。选择在老西门站换乘时(见图 2 a)),乘客需要先在 10 号线乘坐 8 站,然后换乘 8 号线,在 8 号线再乘坐 7 站即可到达东方体育中心站,其 OD 间距为 15 个;选择在四平路站换乘时(见图 2 b)),乘客在 10 号线仅需乘坐 1 站,然后换乘 8 号线,在 8 号线再乘坐 15 站即可抵达东方体育中心站,其 OD 间距为 16 个。

这两种换乘路径中,总的旅行时间相差不大,但选择在四平路站换乘时,由于四平路站位于路径极靠前的位置,乘客易产生换乘更加便捷的心理(因

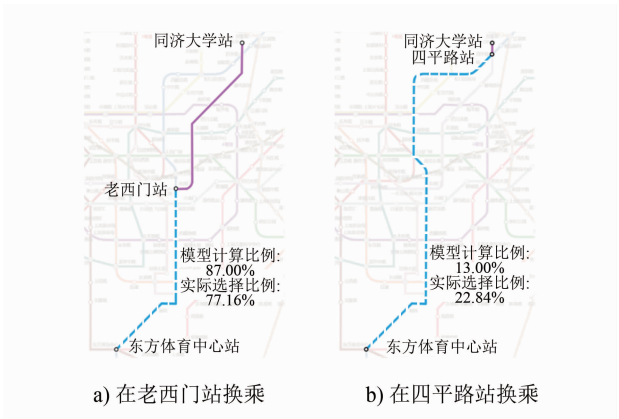


图 2 同济大学站至东方体育中心站两条路径对比
Fig. 2 Comparison of two routes from Tongji University Station to Oriental Sports Center Station

为出发后仅需一站即可换乘到目的线路),趋向选择此换乘路径,致使选择此路径的实际比例较模型计算比例约增加 10%。

4 结语

本文选取上海轨道交通线网的典型 OD 数据,基于手机信令技术对数据进行实证分析。研究结果表明:换乘站在路径中的位置对城市轨道交通乘客路径选择行为存在一定的影响。相较于换乘站位于中间的路径,换乘站距离起点站或终点站更近的路径更易被乘客选择。

在影响乘客路径选择决策的诸多因素中,乘客对换乘的感知是一项难以量化折算为阻抗的因素,须对现有多路径概率选择模型的适用性进行验证分析,必要时还应结合新的技术和数据来探索新的模型和方法,以满足精细化和智能化城市轨道交通网络客流分析的需求。

参考文献

- [1] ZHAO J J, ZHANG F, TU L, et al. Estimation of passenger route choice pattern using smart card data for complex metro systems [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017, 18(4): 790.
- [2] 钟仕辰. 考虑反向绕行的城市轨道交通乘客路径选择行为研究 [D]. 北京:北京交通大学, 2021.
- ZHONG Shichen. Research on passenger route choice behavior of urban rail transit considering reverse detour [D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2021.

- [3] 倪少权, 杨皓男, 彭强. 基于乘客路径选择的多制式轨道交通客流分配 [J]. 交通运输系统工程与信息, 2021, 21(1): 108.
- NI Shaoquan, YANG Haonan, PENG Qiang. Passenger flow allocation for multi-modal rail transit based on passenger route selection [J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2021, 21(1): 108.
- [4] HOCHMAIR H. The influence of map design on route choice from public transportation maps in urban areas [J]. Cartographic Journal, 2013, 46(3): 242.
- [5] 毛亚兰. 基于心理账户理论的城市轨道交通客流分配研究 [D]. 成都:西南交通大学, 2020.
- MAO Yalan. Research on urban rail transit passenger flow allocation based on mental account theory [D]. Chengdu: Southwest Jiaotong University, 2020.
- [6] 李艺, 施澄, 邹智军. 城市轨道交通乘客换乘决策因素分析 [J]. 城市交通, 2021, 19(2): 121.
- LI Yi, SHI Cheng, ZOU Zhijun. Analysis of passenger transfer decision factors in urban rail transit [J]. Urban Transport of China, 2021, 19(2): 121.

· 收稿日期:2022-08-25 修回日期:2022-10-17 出版日期:2024-04-10
Received: 2022-08-25 Revised: 2022-10-17 Published: 2024-04-10
· 第一作者:蒋黎, 硕士研究生, 2133449@tongji.edu.cn
通信作者:朱炜, 研究员, zhuweimail@tongji.edu.cn
· ©《城市轨道交通研究》杂志社, 开放获取 CC BY-NC-ND 协议
© Urban Mass Transit Magazine Press. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license

上海轨道交通全网客流量创历史新高

2024 年 3 月 8 日, 适逢“三八”国际妇女节, 同时又是周五, 在“气候+节日+小周末”等多重因素叠加效应的带动下, 当天上海轨道交通全网客流量创下新高, 达到 1 339.7 万人次(不含磁浮线), 其中, 进站客流量为 746.6 万人次, 换乘客流量为 593.1 万人次。较上一纪录, 即 2019 年, 同样是 3 月 8 日的 1 329.4 万人次, 增加了 10.3 万人次。其中, 有 5 条线路的客流量创单线历史新高, 有 6 条线路单日客流量突破百万人次。

从客流增长规律来看, 春运后城市出行人流量随之增加, 3 月客流回归明显, 上海轨道交通全网基础通勤客流持续增长。3 月 8 日恰逢“三八”国际妇女节, 又恰逢周五, 各商圈促销活动, 以及赛事、演艺、展会等活动较多。且近日天气逐日回暖, 市民出行意愿进一步增长, 多重因素叠加下, 上海轨道交通全网络创下客流量历史新高。为应对“三八”国际妇女节大客流, 3 月 8 日, 上海轨道交通累计投用备车 175 列, 加开了 441 列次。

时隔 5 年, 上海轨道交通再次迎来客流新高, 除了天气晴好叠加节日外, 还得益于上海轨道交通网络的不断增长延伸。2019 年, 上海轨道交通全网共有 17 条线路、415 座车站, 线路全长 705 km; 如今全网共有 20 条线路、508 座站, 线路全长 831 km。另外, 近年来, 随着城市不断发展和人口的增加, 日常通勤、商务出行和旅游需求也在不断增长。据统计, 在上海城市公共交通出行客流中, 城市轨道交通客流比例由 2019 年的不到 65%, 上升到目前的 76%, 这些因素共同促成了上海轨道交通客流量再创新高。

(来源:上海轨道交通微信公众号)