

考虑拥挤度的城市轨道交通乘客时空路径还原方法

蔡 金

(重庆市轨道交通(集团)有限公司, 401120, 重庆)

摘 要 [目的] 客流是城市轨道交通运营管理的支撑, 在城市轨道交通日益发展的情况下, 对客流精细化和准确度的要求越来越高。为提高客流分配的精确性, 需要研究城市轨道交通时空路径选择的流程方法。[方法] 针对城市轨道交通特点, 基于换乘站网络简化线网结构模型, 改进了各 OD (起讫点) 之间的短路径计算方法; 结合路径费用容许区域的相对阈值和绝对阈值, 筛选有效物理路径; 根据进出站走行时间、换乘走行时间和列车时刻表等数据构建时空路径, 并搜索可行时空路径集合; 利用仿真理念, 以时间推演来还原站台候车过程中列车拥挤度对乘客上车行为的影响, 从微观层面合理判断乘客选择的时空路径, 叠加个体时空位置形成线网客流时空分布状态。[结果及结论] 南宁地铁实例表明, 乘客时空路径还原方法以进出站 OD 为源数据, 不仅可以输出传统的换乘量和断面客流量, 还能进一步输出精细的乘客 OD 时空数据和列车上下车客流数据, 从而弥补微观客流数据的空白。

关键词 城市轨道交通; 时空路径; 客流分配; 拥挤度; 精确性

中图分类号 U293.13

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.06.003

Method for Restoring Urban Rail Transit Passenger Spatio-Temporal Paths in Consideration of Congestion

CAI Jin

(Chongqing Rail Transit (Group) Co., Ltd., 401120, Chongqing, China)

Abstract [Objective] Passenger flow is the pillar for operation and management of urban rail transit. With the increasing development of urban rail transit, the demand for meticulous and accurate passenger flow analysis is getting higher and higher. To improve the accuracy of passenger flow allocation, it is necessary to study the process and method of passenger spatio-temporal path selection in urban rail transit. [Method] Firstly, according to the characteristics of urban rail transit, the shortest path algorithms between various ODs (original and destination) is improved based on the simplified network structure model of the transfer station network. Secondly, based on the relative and absolute thresholds for path cost allowable are-

a, the effective physical path is screened. Then the spatio-temporal paths are constructed according to the data including the passenger entry and exit time, the walking time for transfer and the train schedule, and the set of feasible spatio-temporal paths is searched. Finally, with the simulation concept, the influence of train congestion on passenger boarding behavior is restored through time evolution, and passengers' choices of spatio-temporal paths are reasonably determined from the microscopic level, and the spatio-temporal distribution state of passenger flow in the network comes into being with the superimposed individual spatio-temporal positions. [Result & Conclusion] The example of Nanning Metro shows that with inbound and outbound OD as the source data, the proposed method can output not only the traditional passenger transfer volume and sectional passenger flow volume, but also the elaborate passenger OD spatio-temporal data as well as the passenger flow on and off trains data, making up the gap of micro passenger flow data.

Key words urban rail transit; spatio-temporal path; passenger flow distribution; congestion; accuracy

在城市轨道交通网络化的发展过程中, 为了给乘客提供更加人性化的舒适服务, 运营企业对客流数据精细化和准确性的要求不断提高。

目前对客流分配和清分的研究较多。文献[1-2]在物理路径的基础上, 优化路径选择问题; 文献[3]提出了出行过程中大客流冲击在轨道站台形成的滞留现象; 文献[4]量化了乘客对路网的熟悉程度; 文献[5]充分利用刷卡交易数据的时间信息, 提出客流分配模型; 文献[6-7]考虑微观层面和宏观层面的出行影响因素, 对客流进行仿真; 文献[8-10]分别通过 Logit(逻辑回归)模型、均衡配流模型和联合方式划分交通分配模型进行配流。

现有研究大多将出行过程中各种影响因素量化为静态广义费用, 建立物理路径, 选择模型来表示乘客起讫点之间的空间转移过程。然而, 城市轨道交通系统依靠列车运行来转移客流, 仅凭物理路

径难以判断特定时间点下乘客的空间位置。本文在现有研究基础上,考虑列车拥挤度等因素的影响,通过重点研究时空路径选择的流程方法,还原乘客的出行过程,从而提高客流数据的准确度。

1 时空路径选择

在实际出行中,若高峰时段列车拥挤度过高,则站点的部分候车乘客会无法挤上最近到站的列车。着眼于网络出行过程,列车拥挤度同路网结构、乘客路径选择及时刻表等因素相关。在城市轨道交通系统中,乘客通常在进站前选择物理路径;直至列车到站上下客时,站台上的候车乘客才能确切感知本次列车的拥挤度。若列车拥挤度较低,则乘客正常上车;否则,乘客将继续排队等候下次列车,直至上车为止。可见,列车拥挤度影响乘客的乘坐车次,进而影响网络客流的时空分布。由此可知,为有效提高换乘和断面等客流数据的精确性,时空路径选择须重点关注人车匹配问题。

时空路径可以直观表示乘客在城市轨道交通系统中出行的过程,可以定位特定时间点下乘客的空间位置。时空路径的选择,是进一步提高客流数据精确性的关键,涵盖物理路径选择和考虑拥挤度的人车匹配。

1.1 物理路径搜索

1.1.1 k 短路算法

灵活使用基础网络简化后的换乘站网络,可以高效求解静态网络中的第 k 条短路径(即短路径 k)。首先,利用 A^* (A-Star) 算法计算换乘站网络的短路径 k ,然后,根据非换乘站与换乘站之间的拓扑关系,推算基础网络各个车站之间的短路径 k 。具体步骤如下:

步骤1 初始化正向和反向换乘站网络。

步骤2 利用 SPFA (Shortest Path Faster Algorithm) 算法计算反向网络中终点 D 到 p 点的最短路径。

步骤3 利用 A^* 算法搜索换乘站网络 OD (起讫点) 之间的短路径 k 。

步骤4 根据节点网络与基础网络的联系,拓展基础网络 OD 之间的短路径 k 。

1.1.2 有效路径筛选

文献[11]较全面地研究了路径有效性的筛选方法,本文参考了其中路径费用的容许区域判断,

即若路径 k 的路径费用值大于费用阈值 V (单位 min),则路径 k 被判定为无效路径。其中:

$$V = \min(C_{\min}(1+a), C_{\min}+b)$$

式中:

C_{\min} ——最短路径的费用;

a ——费用相对阈值, $a \in (0, 1)$;

b ——费用绝对阈值,通常 $b \in (10 \text{ min}, 30 \text{ min})$ 。

1.1.3 路径选择概率

文献[11-13]都通过有效路径的平均费用来计算该路径被选择的概率。在较大规模路网中, OD 之间有效路径条数较多,使用平均费用会削弱最短路径被选择的概率,从而降低客流分配的准确性。为保证最短路径的选择概率具有绝对优先性,本文结合高斯分布和 MNL (Multinomial Logit) 模型,提出路径的选择概率模型,即:

$$\begin{cases} U_k = \exp[-(fC_k - C_{\min})^2 / (2\sigma^2)] \\ P_k = U_k / (\sum_{k \in K} U_k) \end{cases}$$

式中:

U_k ——短路径 k 的效用值;

f ——换乘惩罚系数,与路网结构相关;

C_k ——短路径 k 的费用,单位 min ;

σ ——概率调整系数,按文献[4]取值;

P_k —— OD 之间短路径 k 的选择概率。

1.2 时空路径选择

1.2.1 可行时空路径搜索

乘客的时空路径是在物理路径的基础上,结合行为时空弧和列车时空弧确定的。乘客到达终点站下车后会尽快出站,通常不会在站内滞留。根据此出行习惯,本文采用“反向定界,正向扩展”的思路搜索有效时空路径。即通过 OD 对交易数据的出站和进站时间分别确定最晚和最早的可行时空路径,再在时空窗内获取可达时空路径集合。具体步骤如下:

搜索步骤1 根据乘客进出站地点,利用“轮盘赌”方法选择物理路径,途经的节点车站集合为 $M = \{0, 1, \dots, m\}$, $m \geq 1$, m 是节点车站数量,节点车站指进出车站和换乘车站。

搜索步骤2 搜索最晚可行时空路径。①令 $i = m$, T_{EXIT} 为乘客出站时刻, t_{OUT} 为乘客出站走行时长。②当满足 $|T_{\text{EXIT}} - t_{\text{OUT}} - T_{\text{ARR}, r, i}|$ 为最小,且 $M_{i-1} \in S_r$, 则把列车 r 从 M_{i-1} 到 M_i 的时空弧添加到

f_{LATEST} ;其中: $T_{\text{ARR},r,i}$ 是指列车 r 在车站 i 的到达时间, S_r 是指列车 r 途经的车站集合, f_{LATEST} 是指最晚可达时空路径。③若 $i-1=0$,补全 f_{LATEST} 中乘客行为时空弧,进入搜索步骤 3;否则 $i=i-1$, $T_{\text{EXIT}}=T_{\text{DEP},r,i}$, $t_{\text{OUT}}=t_{\text{TRAN},i}$,重复②;其中: $T_{\text{DEP},r,i}$ 是指列车 r 在车站 i 的出发时间, $t_{\text{TRAN},i}$ 为乘客在车站 i 的换乘行走时长。

搜索步骤 3 搜索最早可行时空路径。①令 $i=0$, T_{ENTER} 为乘客进站时刻, t_{IN} 为乘客进站行走时长。②当满足 $|T_{\text{DEP},r,i}-T_{\text{ENTER}}-t_{\text{IN}}|$ 为最小,且 $M_{i+1} \in S_r$,则把列车 r 从 M_i 到 M_{i+1} 的时空弧添加到 f_{EARLIEST} ;其中: f_{EARLIEST} 是指最早可达时空路径。③若 $i+1=0$,补全 f_{EARLIEST} 中乘客行为时空弧,进入搜索步骤 4;否则 $i=i+1$, $T_{\text{ENTER}}=T_{\text{ARR},r,i}$, $t_{\text{IN}}=t_{\text{TRAN},i}$,重复②。

搜索步骤 4 若 $f_{\text{EARLIEST}}=f_{\text{LATEST}}$,则有效时空路径集合 $F=\{f_{\text{EARLIEST}}\}$;若 $f_{\text{EARLIEST}} \neq f_{\text{LATEST}}$,则 $F \in [f_{\text{EARLIEST}}, f_{\text{LATEST}}]$, $[f_{\text{EARLIEST}}, f_{\text{LATEST}}]$ 表示物理路径不变的情况下,由最早和最晚时空路径确定的有效时空路径时间窗,如图 1 中阴影部分所示。

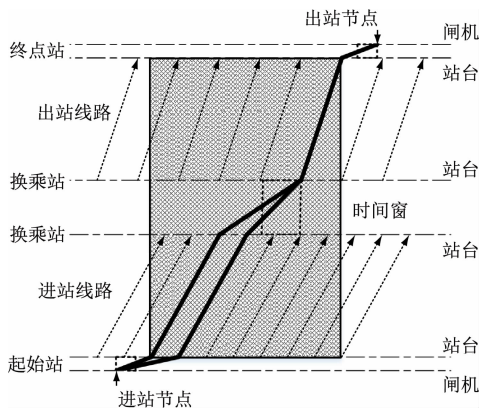


图 1 有效时空路径时间窗示意图

Fig. 1 Time window of available spatio-temporal paths

1.2.2 时空路径选择方法

时空路径可以反映乘客与列车之间的匹配关系,合理选择时空路径能大幅提高客流数据的精确性。路网列车运行仿真可以模拟候车-上车关键环节,帮助乘客判断选择合适的时空路径,从而还原最大拥挤度 g_{EXP} 对出行的影响。具体选择步骤如下:

选择步骤 1 乘客集合 Q (乘客 $q \in Q$) 按进站时间升序排列,令乘客 q 选择路径索引 $n_q=0$, $y_q=1$, T_{SIMU} 为运营开始时间, t_{STEP} 为仿真时间步长。

选择步骤 2 按照前文方法更新乘客可行时空路径集合 F_q ,乘客选择时空路径 $f_q=F_q(n_q)$ 。

选择步骤 3 更新列车拥挤度 $g_r=w_r/h_r$,其中: w_r 、 h_r 分别是列车客运量和列车运力。

选择步骤 4 遍历集合 Q ,若 $T_{\text{SIMU}} > T_{\text{ENTER},q}$,进入步骤 5,其中 $T_{\text{ENTER},q}$ 是乘客 q 的进站时间;否则进入步骤 6。

选择步骤 5 若 $g_{r,q} < g_{\text{EXP}}$,或者 $g_{r,q} \geq g_{\text{EXP}}$ 且 $f_q=f_{\text{LATEST},q}$,进入选择步骤 6,其中: $g_{r,q}$ 是乘客 q 需要乘坐的列车 r 的拥挤度, $f_{\text{LATEST},q}$ 是乘客 q 最晚可达时空路径;否则, $n_q=n_q+1$,进入选择步骤 2。

选择步骤 6 令 $T_{\text{SIMU}}=T_{\text{SIMU}}+t_{\text{STEP}}$,若 $T_{\text{SIMU}} > T_{\text{END}}$,则结束仿真,其中 T_{END} 为运营结束时间;否则返回选择步骤 3。

2 案例分析

截至 2021 年,南宁地铁有 4 条运营线路,87 座基础车站,含 7 座换乘站,上下行分 166 个断面,52 个换乘方向。本算例中最大拥挤度为 110%,选取典型乘客的乘车行为进行分析。典型乘客的列车选择信息如表 1 所示。

表 1 典型乘客列车选择信息

Tab. 1 Typical passengers' train selection information

项目	不同典型乘客的列车选择信息	
	乘客 1	乘客 2
起始站	1 号线火车站	2 号线苏卢站
终点站	1 号线万象城站	1 号线百花岭站
物理路径	火车站—万象城站	苏卢站—火车站—百花岭站
换乘情况	不换乘	在火车站换乘 1 次
进站时间	13:33:06	13:18:30
出站时间	13:53:24	14:04:52
可选列车	10510 次	20409 次换乘 10510 次(时空弧 1) 20409 次换乘 10610 次(时空弧 2)
乘车时段	13:34:09—	时空弧 1 为 13:20:22—13:29:00、
	13:52:16	13:34:09—13:59:54 时空弧 2 为 13:20:22—13:29:00、 13:37:09—14:02:54

乘客选择物理路径后,根据列车拥挤度判断能否挤上列车。表 1 中,乘客 1 和乘客 2 在火车站排队上车,乘坐 10510 次列车时的拥挤度超过 110%。其中:乘客 1 时空路径中的列车时空弧只有 10510 次,因此判断其忍受拥挤继续乘车;乘客 2 有 2 条时空路径,面对“上车难”时判断其选择乘坐下次列

车。由表1可见,乘客2下车时间与出站时间的匹配度更高。这也解释了部分列车拥挤度大于期望拥挤度现象的成因。

列车上下客流是形成断面客运量和换乘量的基础,乘客只有通过列车的运输才能实现转移。以瞬时客运量最大的10710次上行列车为例,计算得到其列车运行情况如表2所示。

表2 10710次列车运行情况
Tab.2 Operation information of train 10710

途经车站	发车时间	上车量/ 人次	下车量/ 人次	车载量/ 人次	拥挤度/ %
石埠站	13:24:31	70	0	70	4.76
南职院站	13:27:02	99	0	169	11.50
鹏飞路站	13:29:00	235	4	400	27.21
客运站站	13:31:41	239	11	628	42.72
民族大学站	13:33:54	233	17	844	57.41
清川站	13:36:44	300	17	1127	76.67
动物园站	13:39:06	285	90	1322	89.93
鲁班路站	13:41:39	162	53	1431	97.35
广西大学站	13:43:51	217	83	1565	106.46
白苍岭站	13:46:22	106	25	1646	111.97
火车站站	13:48:59	284	419	1511	102.79
朝阳广场站	13:51:18	521	821	1211	82.38
新民路站	13:53:22	60	58	1213	82.52
民族广场站	13:55:17	67	96	1184	80.54
麻村站	13:57:26	69	84	1169	79.52
南湖站	13:59:59	33	86	1116	75.92
金湖广场站	14:02:15	231	319	1028	69.93
会展中心站	14:04:29	52	261	819	55.71
万象城站	14:06:16	25	245	599	40.75
商务区站	14:08:00	13	80	532	36.19
凤岭站	14:10:04	4	31	505	34.35
琅东客运站站	14:12:01	32	173	364	24.76
百花岭站	14:14:29	2	26	340	23.13
佛子岭站	14:16:52	0	3	337	22.93
火车东站站		0	337	0	

由表2可知:10710次列车在朝阳广场站的上车客流量和下车客流量最多,分别为521人次和821人次;该次列车在途经白苍岭站—火车站断面时,列车拥挤度达到峰值(111.97%);朝阳广场站作为线网重点车站,其换乘客流量巨大。火车站站是10710次列车客流变化的拐点车站,该站至终

点站区段的车载客运量呈现逐渐减少趋势。

3 结语

本文基于时空路径的概念,依托物理路径提出时空路径的搜索方法,并通过仿真模拟实际出行中列车拥挤度对乘车的影响来确定乘客的时空路径。由南宁地铁的实例分析发现:列车上下客数据强调了客流分配的准确性,乘客时空分布数据对于乘客画像和运行图优化的研究提供更精细的数据支撑。本文提出的流程方法得到的计算结果相比于传统清分更加微观,具有很强的现实性、应用性和实操性。

参考文献

- [1] 刘海旭, 荣新. 基于 k 短路的多路径交通分配研究[J]. 综合运输, 2018, 40(1): 68.
LIU Haixu, RONG Xin. Multi-path traffic assignment based on k shortest paths [J]. China Transportation Review, 2018, 40(1): 68.
- [2] 王保华, 何世伟, 宋瑞, 等. 综合运输体系下快捷货运网络流量分配优化模型及算法[J]. 铁道学报, 2009, 31(2): 12.
WANG Baohua, HE Shiwei, SONG Rui, et al. Multi-modal express shipment network routing optimization model and algorithm [J]. Journal of the China Railway Society, 2009, 31(2): 12.
- [3] 赵烈秋, 孔繁钰. 基于GA的城市轨道交通客流分配问题[J]. 后勤工程学院学报, 2008, 24(2): 106.
ZHAO Lieqiu, KONG Fanyu. Using GA to solve passenger flow assignment problem for urban rail transit[J]. Journal of Logistical Engineering University, 2008, 24(2): 106.
- [4] 乔珂, 赵鹏, 秦志鹏. 基于乘客类别的轨道交通网络乘客路径选择[J]. 北京交通大学学报, 2012, 36(6): 102.
QIAO Ke, ZHAO Peng, QIN Zhipeng. Route choice based on passenger classification for the urban mass transit network [J]. Journal of Beijing Jiaotong University, 2012, 36(6): 102.
- [5] 翁小雄, 汪周盼, 黄靖翔. 基于朴素贝叶斯轨道交通网络客流分配模型[J]. 重庆交通大学学报(自然科学版), 2018, 37(6): 110.
WENG Xiaoxiong, WANG Zhoupan, HUANG Jingxiang. Model of passenger flow assignment in rail transit network based on naive Bayes [J]. Journal of Chongqing Jiaotong University (Natural Science), 2018, 37(6): 110.
- [6] TEKLU F. A stochastic process approach for frequency-based transit assignment with strict capacity constraints [J]. Networks and Spatial Economics, 2008, 8(2): 225.
- [7] RAVEAU S, GUO Z, MUÑOZ J C, et al. A behavioural comparison of route choice on metro networks: time, transfers, crowding, topology and socio-demographics [J]. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 2014, 66: 185.

(下转第22页)

- model[J]. Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2006, 9(1): 15.
- [2] FRUIN J J. Designing for pedestrians[J]. Moving Sidewalks, 1970(1):135.
- [3] HOOGENDOORN S P, DAAMEN W. Pedestrian behavior at bottlenecks[J]. Transportation Science, 2005, 39(2): 147.
- [4] LV W, FANG Z, WEI X, et al. Experiment and modelling for pedestrian following behavior using velocity-headway relation[J]. Procedia Engineering, 2013, 62: 525.
- [5] RIO K, WARREN W H. A data-driven model of pedestrian following and emergent crowd behavior[C]//WEIDMANN U, KIRSCH U, SCHRECKENBERG M. Pedestrian and Evacuation Dynamics 2012. Cham: Springer, 2014: 561-574.
- [6] 曹宁博, 赵利英, 曲昭伟, 等. 考虑双向行人跟随行为的社会力模型[J]. 吉林大学学报(工学版), 2019, 49(3): 688.
- CAO Ningbo, ZHAO Liying, QU Zhaowei, et al. Social force model considering bi-direction pedestrian slipstreaming behavior[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2019, 49(3): 688.
- [7] 杨灿, 陈群, 陈璐. 考虑在能见度受限下行人跟随行为特性的建模与模拟[J]. 物理学报, 2019, 68(24): 87.
- YANG Can, CHEN Qun, CHEN Lu. Modeling and simulation of following behaviors of pedestrians under limited visibility[J]. Acta Physica Sinica, 2019, 68(24): 87.
- [8] 宫庆胜. 轨道交通乘客跟随行为状态识别与分析[D]. 北京: 北京工业大学, 2018.
- GONG Qingsheng. Identification and analysis of following behavior state of rail transit passengers[D]. Beijing: Beijing University of Technology, 2018.
- [9] 王雨佳. 城市轨道交通车站站台行人跟随行为仿真模型研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2019.
- WANG Yujia. The research of pedestrian following behavior simulation model in platform of urban rail transit station[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2019.
- [10] YUAN Z, JIA H, LIAO M, et al. Simulation model of self-organizing pedestrian movement considering following behavior[J]. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2017, 18(8): 1142.
- [11] 魏万旭, 方勇, 胡华, 等. 基于视频数据挖掘的城市轨道交通车站行人交通行为特征提取系统研究[J]. 铁道运输与经济, 2021, 43(8): 119.
- WEI Wanxu, FANG Yong, HU Hua, et al. Study on characteristics extraction system of pedestrian traffic behavior for subway stations based on video data mining[J]. Railway Transport and Economy, 2021, 43(8): 119.
- [12] Transportation Research Board. Highway capacity manual 2000[R]. Washington D C: National Research Council, 2000.
- 收稿日期:2021-12-29 修回日期:2022-02-07 出版日期:2024-06-10
Received:2021-12-29 Revised:2022-02-07 Published:2024-06-10
· 第一作者:方勇,讲师,fangyong87@tongji.edu.cn
通信作者:胡华,教授,huhua1979@126.com
· ©《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

(上接第 15 页)

- [8] 周刚, 王伟. 地铁线路客流分配方法与算法研究[J]. 广东公路交通, 2001, 27(4): 32.
- ZHOU Gang, WANG Wei. Research on passenger flow distribution method and algorithm of subway line[J]. Guangdong Highway Communications, 2001, 27(4): 32.
- [9] 孔繁钰, 李献忠. 弹性需求下的轨道交通客流分配模型和算法[J]. 西安工程大学学报, 2008, 22(1): 104.
- KONG Fanyu, LI Xianzhong. User equilibrium model and algorithm for rail transit under elastic demand[J]. Journal of Xi'an Polytechnic University, 2008, 22(1): 104.
- [10] 过秀成, 吕慎. 基于合作竞争类 OD 联合方式划分轨道客流分配模型研究[J]. 中国公路学报, 2000, 13(4): 91.
- GUO Xiucheng, LYU Shen. Study of URT's joint modal split assignment model on cooperative and competitive OD matrix[J]. China Journal of Highway and Transport, 2000, 13(4): 91.
- [11] 徐瑞华, 罗钦, 高鹏. 基于多路径的城市轨道交通网络客流分布模型及算法研究[J]. 铁道学报, 2009, 31(2): 110.
- XU Ruihua, LUO Qin, GAO Peng. Passenger flow distribution model and algorithm for urban rail transit network based on multi-route choice[J]. Journal of the China Railway Society, 2009, 31(2): 110.
- [12] 赵峰, 张星臣, 刘智丽. 城市轨道交通系统运营清分方法研究[J]. 交通运输系统工程与信息, 2007, 7(6): 85.
- ZHAO Feng, ZHANG Xingchen, LIU Zhili. Modeling income distribution of the auto fare collection system[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2007, 7(6): 85.
- [13] 四兵锋, 高亮, 毛保华. 无缝换乘的城市轨道交通运营清分模型及算法[J]. 管理科学学报, 2009, 12(5): 36.
- SI Bingfeng, GAO Liang, MAO Baohua. Toll allocation model for urban railway traffic system under condition of seamless exchange[J]. Journal of Management Sciences in China, 2009, 12(5): 36.
- 收稿日期:2021-11-28 修回日期:2024-02-01 出版日期:2024-06-10
Received:2021-11-28 Revised:2024-02-01 Published:2024-06-10
· 作者:蔡金,高级工程师,crtjgzx@126.com
· ©《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