

城市轨道交通快慢车运行延误调整方案 仿真评价模型^{*}

李洪运^{1,2} 江志彬^{1,2} 赵源³ 来佳雯^{1,2}

(1. 同济大学道路与交通工程教育部重点实验室, 201804, 上海; 2. 上海市轨道交通结构耐久与系统安全重点实验室, 201804, 上海; 3. 上海申通地铁集团有限公司运营管理中心, 201100, 上海)

摘要 [目的] 制定合理的列车运行延误调整方案, 是保证城市轨道交通线路运营安全、可靠的重点工作之一。对于开行快慢车的城市轨道交通线路, 需要研究列车运行延误后乘客的选择列车行为, 并分析快慢车越行对乘客出行选择的影响。[方法] 对快慢车线路运行过程中乘客的留乘现象及乘客选择列车行为进行了分析, 设计了符合乘客上下车规则和乘客选择列车行为的仿真算法, 构建了快慢车运行延误调整方案仿真评价模型。考虑快慢车的始发时间、顺序, 以及越行的车次、站点, 制定了不同的列车运行延误调整方案。对上海轨道交通 16 号线原有的计划方案、4 个延误调整方案下乘客的出行过程进行了仿真, 并对 4 个延误调整方案进行了综合评价。[结果及结论] 该仿真评价模型具有有效性和可靠性, 既可为城市轨道交通运营企业评价列车开行方案提供仿真手段, 也可为乘客服务水平提升、列车运能利用率提高、列车开行方案优化等提供依据。

关键词 城市轨道交通; 行车组织; 列车运行延误调整; 快慢车; 乘客出行仿真

中图分类号 U292.4

DOI:10.16037/j.1007-869x.2024.09.005

Simulation and Evaluation Model of Operation Delay Adjustment Plan for Urban Rail Transit Express and Local Trains

LI Hongyun^{1,2}, JIANG Zhibin^{1,2}, ZHAO Yuan³, LAI Jiawen^{1,2}

(1. The Key Laboratory of Road and Traffic Engineering, Ministry of Education, 201804, Shanghai, China; 2. Shanghai Key Laboratory of Rail Infrastructure Durability and System Safety, 201804, Shanghai, China; 3. Operation Management Center, Shanghai Shentong Metro Group Co., Ltd., 201100, Shanghai, China)

Abstract [Objective] Making a reasonable train delay adjustment plan is one of the key tasks to ensure the safe and reliable operation of urban rail transit lines. For those lines with

express and local trains running on, it is necessary to study the passengers' train selection behavior during train delays, and analyze the influence of express and local trains overtaking on their choices as well. [Method] An analysis is conducted on passenger retention and their train selection behavior during express and local train operation on the line. A simulation algorithm that conforms to the rules of passenger boarding/alighting and their train selection behavior is designed, and a simulation and evaluation model for the operation plan adjustment due to express and local train delay is established. In consideration of the departure time and sequence of the express and local trains, and the overtaking trains and stations, different train delay adjustment plans are developed. The passenger's travel process under the original operation plan and four delay adjustment plans on Shanghai Metro Line 16 is simulated, and the four delay adjustment plans are comprehensively evaluated. [Result & Conclusion] The simulation and evaluation model is effective and reliable, which can provide simulation means for urban rail transit operators to evaluate train operation plans, and also provide the basis for improving passenger service level, train capacity utilization rate and train operation plans.

Key words urban rail transit; train operation organization; train operation delay adjustment; express and local trains; passenger travel simulation

我国越来越多的城市轨道交通线路采用了快慢车运行模式, 如上海轨道交通 16 号线、成都地铁 18 号线、广州地铁 21 号线等。快慢车的开行为乘客提供了更为多样化的列车选择^[1], 但也给线路的运营管理带来了新的挑战。尤其是延误发生后快慢车的运行调整, 是开行快慢车线路行车组织的难点。

列车运行延误调整是一个超大规模的组合优化问题。当前, 列车运行调整的主要关注点为列车

^{*} 国家自然科学基金项目(52372332); 上海申通地铁集团有限公司科研计划项目(JS-KY22R033-2)

延误时间、列车延误数量的最小化^[2-6]。在常规的城市轨道交通线路(即不开行快慢车的线路)中,列车运行调整需要考虑区间运行时分、最小停站时间、列车最小追踪间隔及站台最大容纳人数等约束条件,其优化目标涉及列车和乘客等多个方面^[7-11]。上述研究成果中,并没有考虑到开行快慢车的城市轨道交通线路条件(以下简称“快慢车条件”)下乘客选择列车的行为及快慢车越行对乘客出行选择的影响。

本文以开行快慢车的城市轨道交通线路为研究对象,分析了乘客出行过程和乘客上下车规则,设计了乘客选择列车行为的仿真算法,构建了基于列车-乘客交互的快慢车运行延误调整方案仿真评价模型,并搭建了仿真平台。最后,以上海轨道交通 16 号线为案例线路,验证了该仿真评价模型的有效性及其可靠性。

1 快慢车条件下的乘客出行过程分析

乘客在城市轨道交通线路中的移动,大致可以分为出发站站厅层走行、站台候车、上车、在途、下车、到达站站厅层走行等环节。乘客通过进站闸机或从其他线路换入,经过站厅层走行到达站台候车。在大客流情况下,尤其是在早晚高峰时段发生列车运行延误时,站台将出现大量的乘客滞留(以下简称“留乘”)现象^[12]。由于线路运能不能满足在站候车乘客的需求,乘客无法搭乘到达出发站台后的第一列列车,此时就需要继续在站台排队等候,直到能够上车为止。

乘客对所乘坐列车的选择,通常采用“随到随走”方式,即到达出发站台后乘坐首列抵达的列车。快慢车条件下会产生快车仅在部分车站停靠、快车越行慢车等现象,导致乘客在选择列车时,既要判断列车能否到达目的地车站,还要考虑列车的旅行时间差异,因此,乘客选择列车的原则从常规的“先发先乘”变成“先到先乘”。乘客若因留乘无法登上原计划乘坐的列车,将会按照上述原则做出新的列车选择,直至登上所需乘坐的列车。乘客在到达站下车出站或换乘至其他线路,其在本线的整个出行过程随之完成。

2 仿真评价模型设计

2.1 问题描述

不同于传统铁路固定时刻、固定坐席的出行方

式,城市轨道交通具有公交化运行特征。列车发生运行延误后,并不一定会导致乘客出行的延误,这是由于乘客一般会选择最快抵达候车站台且可到达目的地车站的列车。此外,调度人员会采用压缩行车间隔、区间加速运行等调整措施,使列车尽快恢复正点运行^[13],以期在列车运行延误时尽量减少部分乘客的出行时间^[14]。因此,城市轨道交通列车运行调整,不是简单地追求列车正点率,而是在保证正点率的基础上寻求乘客总出行时间减少、乘客总出行成本降低的多目标调整方案。

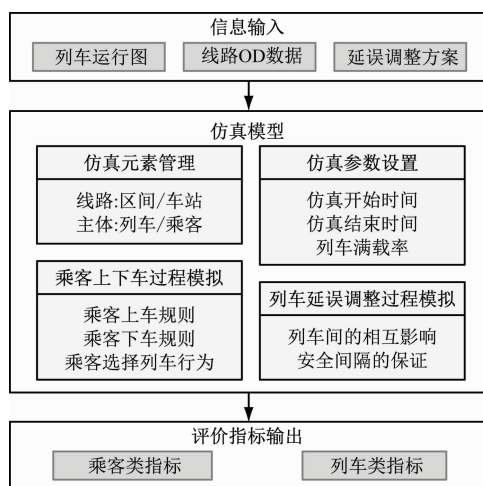
在快慢车条件下,由于线路结构、乘客、列车等组成要素一直处于动态交互状态,加上延误调整的策略目标多样,难以采用全局数学模型予以描述。为此,本文拟构建基于列车-乘客交互的快慢车运行延误调整方案仿真评价模型,以评价快慢车条件下列车运行调整策略的优劣程度。

2.2 模型假设

基于乘客出行过程的特征分析,本文对仿真评价模型做出以下假设:①乘客充分了解快慢车到达目的地车站的先后顺序;②乘客到达站台后,优先选择可直达且最快到达目的地车站的列车;③乘客在列车发车前到达站台即可上车,不考虑站台门及列车车门关闭至列车起动的的时间。

2.3 模型总体流程设计

仿真评价模型的总体流程如图 1 所示。图 1 中,最核心的是对乘客上下车规则的设定,以及乘客选择列车行为的仿真。



注:OD—一起讫点。

图 1 仿真评价模型的总体流程

Fig. 1 Overall working flow of the simulation and evaluation model

2.4 乘客上下车规则设定

列车按照时刻表运行。当列车的前方车站与乘客的到达站匹配时,则将这部分乘客放入拟下车乘客集合中。列车到站后,将即将下车的乘客从列车上的乘客集合中移除。

当候车乘客计划乘坐的列车到达乘客的出发站时,基于“先到先服务”原则,将候车乘客(包括因为留乘而重新进行列车选择的乘客)按照进站时间由早到晚排序。乘客根据顺序依次上车,乘客上车后,将实时更新上车乘客数,并判断列车上的乘客数是否已经达到最大可承载乘客数。重复上述过程,直至列车满载或候车乘客均已上车。未能上车的乘客,则需要重新选择计划乘坐列车,其状态被调整为“进站”(即已从进站闸机进入车站但未选择列车)。将成功上车的乘客暂放入拟上车乘客集合中,列车在车站出发后,再将此部分乘客加入到列车上的乘客集合中。

2.5 乘客选择列车行为仿真算法

在快慢车开行条件下,仿真算法需要考虑列车是否在乘客目的地车站停站,同时需要保证乘客的旅行时间更短。算法的核心是在发车时间晚于乘客到达出发站台时间的列车中,将在乘客出发站和到达站均停站的列车存入候选列车集,从中选出最快到达目的地车站的列车,将该列车作为乘客的计划乘坐列车。

图2为乘客选择列车的算法流程图。在每个仿真时间内,判断每位乘客的状态,若乘客 p 的状态为“进站”,则需要执行图2的算法流程。

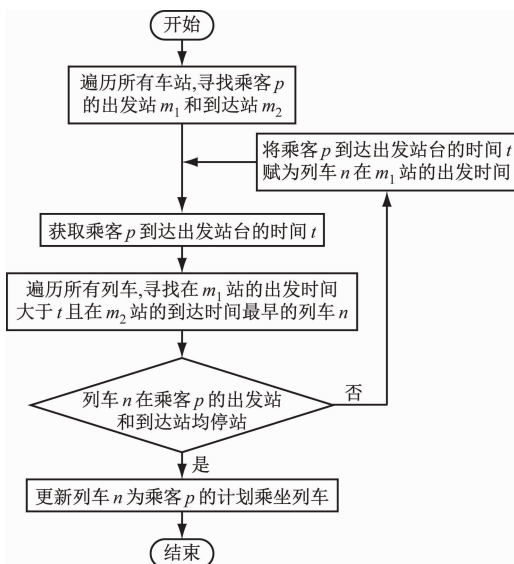


图2 乘客选择列车的算法流程

Fig. 2 Algorithm flowchart of passengers' train selection

2.6 评价指标输出

仿真评价模型输出的评价指标包括两大类:

1) 列车类指标,包括列车终到延误时间 t_e 、终到延误列车数 N_e 、系统延误恢复时间 t_s 、最大发车间隔 I_{\max} 。

2) 乘客类指标,包括留乘人数 P_c 、乘客留乘总时间 t_c 、乘客总旅行时间 t_t 、快车乘客平均旅行时间 \bar{t}_{rt} 。

考虑列车和乘客组合影响的综合指标,将上述两类评价指标进行量纲一化后采用加权法,即可计算得到该指标值。

2.6.1 列车类指标的计算方法

$$t_e = \sum_{n=1}^N (t_{n,sj} - t_{n,jh}) \quad (1)$$

$$\begin{cases} N_e = \sum_{n=1}^N f(t_{n,sj} - t_{n,jh}) \\ f(x) = \begin{cases} 1, & |x| \geq t_a \\ 0, & |x| < t_a \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

$$t_s = t_f - t_b \quad (3)$$

$$I_{\max} = \max \{ I_{n,n+1,m} \} \quad (4)$$

式中:

N ——列车总数;

$t_{n,sj}$ ——列车 n 在终到站的实际到达时间;

$t_{n,jh}$ ——列车 n 在终到站的计划到达时间;

x ——列车 n 在终到站的实际到达时间与计划到达时间的时间差;

$f(x)$ ——列车延误判断函数;

t_a ——列车实际到达时间与计划到达时间的偏离标准;

t_f ——轨道交通系统完全恢复到计划状态的时间;

t_b ——轨道交通系统开始出现延误的时间;

$I_{n,n+1,m}$ ——第 $n+1$ 次列车和第 n 次列车在第 m 站的出发间隔时间。

2.6.2 乘客类指标的计算方法

$$\begin{cases} P_c = \sum_{p=1}^P g(n_{p,wait}) \\ g(n_{p,wait}) = \begin{cases} 1, & n_{p,wait} \geq 2 \\ 0, & n_{p,wait} < 2 \end{cases} \end{cases} \quad (5)$$

$$t_c = \sum_{p=1}^P (t_p - t_{p,1}) \quad (6)$$

$$t_t = \sum_{p=1}^P (t_{p,out} - t_{p,in}) \quad (7)$$

$$\bar{t}_{rt} = \sum_{r=1}^R (t_{r,out} - t_{r,in}) / R \quad (8)$$

式中:

P ——乘客总数;

$n_{p,wait}$ ——乘客 p 的等待列车数;

$g(n_{p,wait})$ ——乘客留乘判断函数;

$t_{p,1}$ ——乘客 p 到站后第一列列车的出发时间;

t_p ——乘客 p 所乘坐列车的出发时间;

$t_{p,in}$ ——乘客 p 的进站时间;

$t_{p,out}$ ——乘客 p 的出站时间;

r ——乘坐直达车或大站车的第 r 个乘客;

R ——乘坐直达车或大站车的乘客总数;

$t_{r,in}$ ——直达车或大站车乘客 r 的进站时间;

$t_{r,out}$ ——直达车或大站车乘客 r 的出站时间。

2.6.3 考虑列车和乘客组合影响的综合指标计算方法

设考虑列车和乘客组合影响的综合指标为 Z 。由于列车类指标和乘客类指标均为负向指标,则 Z 越小,延误调整方案越好。

本次研究重在评价列车运行延误对乘客出行

的影响,故将列车类指标中影响乘客候车时间和站台乘客数的 I_{\max} ,以及乘客类指标中的 P_c 、 t_c 、 t_t 这 4 个指标的权重定为 0.20,其他 4 个指标的权重均取 0.05。

$$Z = \sum_{i=1}^8 \omega_i a_i \quad (9)$$

式中:

a_i ——第 i 个指标量纲一化后的值, i 的最大值为 8(列车类指标和乘客类指标共 8 个);

ω_i ——第 i 个指标的权重。

3 案例分析

3.1 案例线路的仿真方案设计

为验证仿真评价模型的有效性和可靠性,基于上述仿真评价模型,搭建了快慢车条件下的城市轨道交通乘客出行过程仿真平台。以上海轨道交通 16 号线某工作日的计划运行图为基础,设计初始延误的时间、地点。

图 3 为上海轨道交通 16 号线线路图,由龙阳路站至滴水湖站方向为上行,反之为下行。

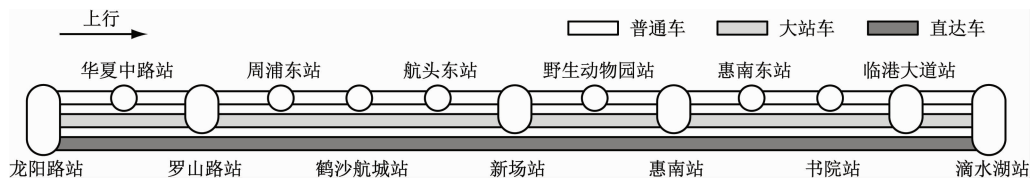


图 3 上海轨道交通 16 号线线路图

Fig. 3 Line map of Shanghai Metro Line 16

为使仿真结果更具有普适性,考虑延误对直达车或大站车的影响,把初始延误设置在某工作日早高峰前的 07:00,将在鹤沙航城站停靠的 161301 次(下行)列车的停站时间增加 600 s。考虑区间运行

时间、停站时间、折返时间、车站间隔时间、列车追踪间隔、车站到发时刻等运行图要素的约束,结合不同的延误调整策略,本文设计了 4 个延误调整方案,如表 1 所示。

表 1 列车运行延误的 4 个调整方案

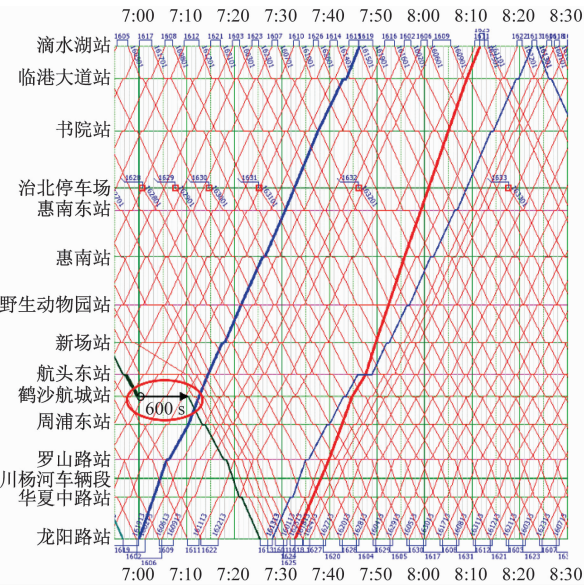
Tab. 1 Four adjustment plans for train operation delay

方案序号	调整策略	上行列车依次始发车次	162513 次列车越行的车次和站点
调整方案 1	不改变快慢车始发顺序,不改变快车越行的车次和站点	161313、160113、162513、161813、162413	在罗山路站越行 160113 次列车,在航头东站越行 161313 次列车,在野生动物园站越行 162213 次列车
调整方案 2	不改变快车始发时间,让慢车始发时间后延,以避让快车	162513、161313、160113、161813、162413	在野生动物园站越行 162213 次列车,在惠南东站越行 161113 次列车
调整方案 3	不改变快车始发时间,改变快车越行的车次和站点	161313、162513、160113、161813、162413	在罗山路站越行 161313 次列车,在野生动物园站越行 162213 次列车,在惠南东站越行 161113 次列车
调整方案 4	不改变快慢车始发顺序,改变快车越行的车次和站点	161313、160113、162513、161813、162413	在罗山路站越行 160113 次列车,在航头东站越行 161313 次列车,在惠南东站越行 162213 次列车

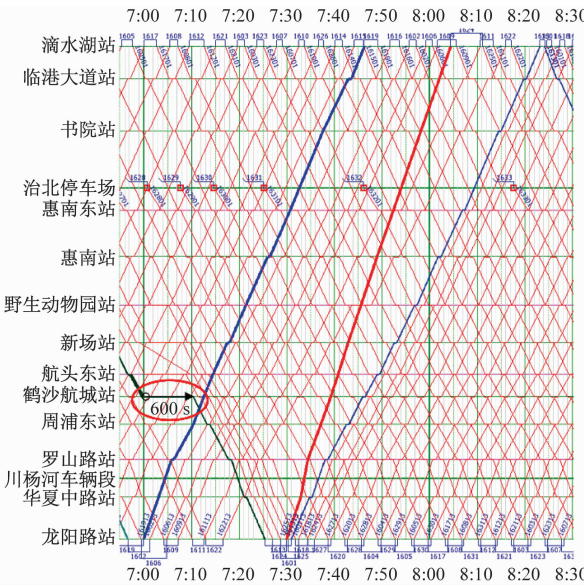
注:始发车次中,除 162513 次为直达列车外,其余车次均为站站停列车。

在此基础上,生成了相应的延误调整列车运行图,如图 4 所示。

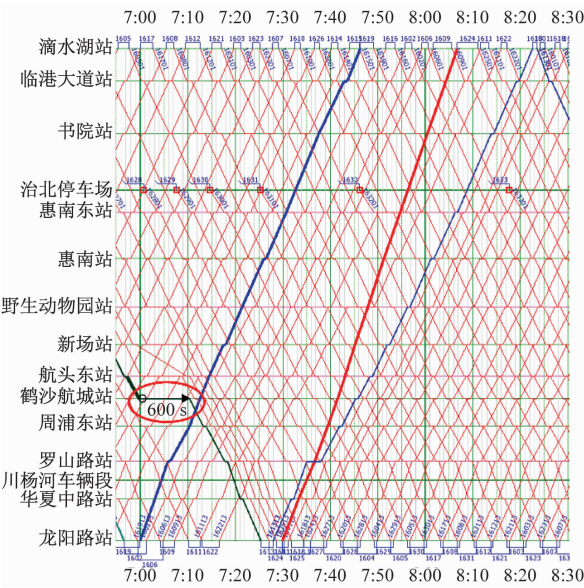
仿真评价模型的输入信息包括:当日 16 号线的计划运行图,4 个调整方案的列车运行图,当日经过



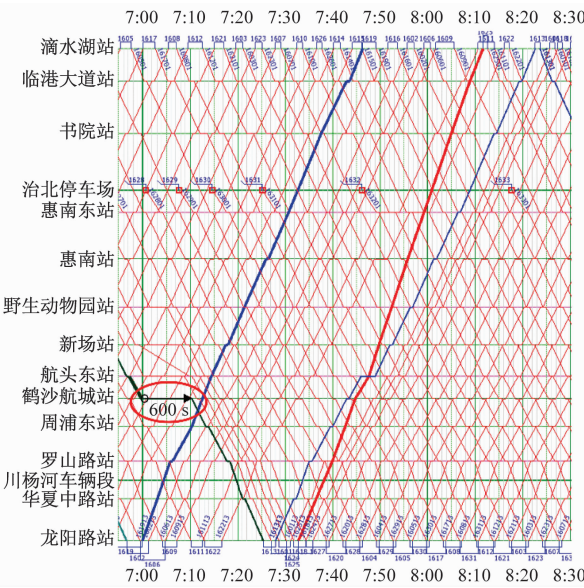
a) 调整方案 1



b) 调整方案 2



c) 调整方案 3



d) 调整方案 4

图 4 4 个延误调整方案的列车运行图截图

Fig. 4 Screenshots of train operation diagrams for the four train delay adjustment plans

上海轨道交通线网票务清分系统转换的 16 号线 OD 数据(起讫点均为 16 号线站点,共 192 651 条)。

仿真时,列车最大断面满载率取 120%,仿真起始时间为 05:00:00,结束时间为 10:00:00。

3.2 仿真结果分析

共有 74 918 名乘客在仿真时段内完成了出行。

表 2 为 4 个延误调整方案下各指标的计算结果。

由表 2 可看出,由于上行方向客流需求不大,不

表 2 4 个延误调整方案下各指标的计算结果

Tab.2 Calculation results of the indicators for the four train delay adjustment plans

方案	I_{\max}	P_c	t_c	t_t	\bar{t}_{rt}	t_e	N_e	t_s	Z
调整方案 1	0.867 7	0	0	0.924 0	0.500 0	1.000 0	1.000 0	0.973 6	0.532 0
调整方案 2	1.000 0	0	0	0.998 1	0	0.767 1	0.818 2	1.000 0	0.528 9
调整方案 3	0.827 7	0	0	1.000 0	1.000 0	0.760 9	0.818 2	0.939 9	0.541 5
调整方案 4	0.756 9	0	0	0.959 3	0.500 0	0.928 1	0.909 1	0.939 9	0.507 1

注:表内所有指标值均已经过量纲一化处理。

论哪个方案,都没有新增乘客留乘人数,因此各方案下 P_c 、 t_c 均为 0。

1) 虽然调整方案 1 的 t_i 最小(较调整方案 2、调整方案 3 的 t_i 下降了 7.6%),但在野生动物园站出现了 817 s 的超大行车间隔,导致 I_{\max} 指标不佳。

2) 调整方案 2 最主要的优势是保证了快车乘客的出行,减少了列车的终到延误,但牺牲了慢车乘客的利益, t_i 接近最高值。该方案造成了比调整方案 1 更严重的行车间隔, I_{\max} 高达 860 s。

3) 调整方案 3 拥有最好的延误相关指标,但乘客服务方面的指标较差,多个指标位于最高位,综合评价结果并不好。

4) 调整方案 4 虽然很多指标并非最优,但找到了一种较好的平衡,乘客和运营企业的需求均得到较好满足。该方案的 Z 最小,同调整方案 1、调整方案 2、调整方案 3 相比,调整方案 4 的 Z 分别降低了 4.7%、4.1%、6.4%。

在实际运营过程中,由于快车的停站数量有限,只对部分乘客提供快速运输服务,在客运量不大的条件下,不建议改变快慢车始发顺序,使慢车也能及时发出,避免始发站的发车间隔过大,减少大部分乘客的候车时间。另外,可以根据初始延误的时间长短和客流分布,调整快车的越行站点,避免由于列车越行而增加慢车在车站的待避时间,减少慢车乘客的旅行时间。

4 结语

本文为了实现对开行快慢车的城市轨道交通线路列车运行延误调整方案的评价,开发了基于列车-乘客交互的快慢车运行延误调整方案仿真评价模型。该模型能够还原乘客在单条线路中的出行过程,具有较好的有效性和可靠性。该模型既可为城市轨道交通运营企业评价列车开行方案提供仿真手段,也可为乘客服务水平提升、列车运能利用率提高、列车开行方案改进等提供依据。

在未来的研究中,可进一步将该模型扩展至市域(郊)轨道交通线路中,并且考虑乘客多样化出行选择,将乘客通过换乘到达目的地的出行方案纳入仿真评价模型中,进一步提升模型的适用性。

参考文献

- [1] 郑翔,王莹,孙元广,等.城市轨道交通快、慢车运营组织模式研究综述[J].交通工程,2018,18(4):38.
- [2] ZHANG S, KROON L, VEELENTURF L P, et al. Real-time high-speed train rescheduling in case of a complete blockage[J]. Transportation Research Part B, 2015, 78: 182.
- [3] 霍建维.突发事件下的列车运行调整模型与算法[D].北京:北京交通大学,2014.
- HUO Jianwei. Railway rescheduling model and algorithm under emergent incidents[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2014.
- [4] 季学胜,孟令云.列车到发时刻与进路同步优化的高速铁路列车运行调整模型[J].中国铁道科学,2014,35(4):117.
- Ji Xuesheng, MENG Lingyun. Train operation adjustment model for synchronously optimizing train arrival/departure time and route on high speed railway network[J]. China Railway Science, 2014, 35(4): 117.
- [5] 李晓娟,闫振英,韩宝明.基于多叉树的延误高速列车运行优化调整方法[J].交通运输系统工程与信息,2019,19(2):130.
- LI Xiaojuan, YAN Zhenying, HAN Baoming. An optimization adjustment method for delayed high-speed trains based on multi-tree[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2019, 19(2): 130.
- [6] 赵莉莉.基于旅客延误的城际铁路列车运行调整方法研究[D].北京:北京交通大学,2017.
- ZHAO Lili. Research on intercity railway timetable rescheduling problem towards reducing passengers delay[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2017.
- [7] 荣亚谊.考虑列车总晚点和乘客等待时间的城轨列车运行调整研究[D].北京:北京交通大学,2016.
- RONG Yayi. Urban rail transit train regulation based on train delay reduction and passenger's waiting time[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2016.
- [8] 项奕凡.延误条件下的城市轨道交通列车运行调整建模与方法研究[D].深圳:深圳大学,2019.
- XIANG Yifan. Research on modeling and method of urban rail transit train operation adjustment under delay conditions[D]. Shenzhen: Shenzhen University, 2019.
- [9] 柏赞,陈垚,陈玥,等.考虑列车总晚点和到发均衡性的地铁列车运行调整方法研究[J].交通运输系统工程与信息,2014,14(3):104.
- BAI Yun, CHEN Yao, CHEN Yue, et al. Rescheduling of metro train timetable for delay reduction and equilibrium of trains' arrival and departure[J]. Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology, 2014, 14(3): 104.
- [10] 卢佐安,夏一鸣,蔡佳,等.延误条件下综合多种策略的城轨列车运行调整优化[J].吉林大学学报(工学版),2021,51(5):1664.

- 越施工扰动机制研究[J]. 岩土力学, 2017, 38(4): 1133.
- ZHANG Xiaoqing, ZHANG Mengxi, LI Lin, et al. Mechanism of approaching construction disturbance caused by multi-line overlapped shield tunnelling[J]. Rock and Soil Mechanics, 2017, 38(4): 1133.
- [2] 魏纲, 齐永洁, 吴华君, 等. 地铁盾构下穿既有地铁隧道环向围压及受力变化[J]. 中南大学学报(自然科学版), 2020, 51(12): 3515.
- WEI Gang, QI Yongjie, WU Huajun, et al. Changes in circumferential pressure and stresses in existing tunnels caused by tunnel crossing[J]. Journal of Central South University (Science and Technology), 2020, 51(12): 3515.
- [3] 温科伟, 刘树亚, 杨红坡. 基于小应变硬化土模型的基坑开挖对下穿地铁隧道影响的三维数值模拟分析[J]. 工程力学, 2018, 35(增刊1): 80.
- WEN Kewei, LIU Shuya, YANG Hongpo. Three-dimensional numerical simulation analysis of the influence of foundation pit excavation on underpassing subway tunnel based on small strain hardened soil model [J]. Engineering Mechanics, 2018, 35(S1): 80.
- [4] 于宏福, 高登, 李海峰. 地铁盾构区间下穿有轨电车道床沉降分析[J]. 水利与建筑工程学报, 2021, 19(6): 63.
- YU Hongfu, GAO Deng, LI Haifeng. Analysis on the settlement of tram track bed with undercrossing metro shield tunnels[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering, 2021, 19(6): 63.
- [5] JIN D, YUAN D, LI X, et al. An in-tunnel grouting protection method for excavating twin tunnels beneath an existing tunnel[J]. Tunnelling and Underground Space Technology, 2018, 71: 27.
- [6] WU B, ZHANG Z, HUANG W. Comparison and selection of reinforcement schemes for shield tunnelling close crossing high-speed railway viaduct group[J]. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2019, 267(4): 042119.
- [7] 马文辉, 杨成永, 彭华, 等. 大直径泥水地铁盾构下穿地铁挡墙路基沉降控制[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2020, 47(3): 44.
- MA Wenhui, YANG Chengyong, PENG Hua, et al. Settlement control on retaining wall embankment affected by underneath traversing large-diameter slurry shield tunnels[J]. Journal of Hunan University (Natural Sciences), 2020, 47(3): 44.
- [8] 张浩. 新建地铁隧道对既有隧道影响的快速分析平台研发及应用[D]. 西安: 西安理工大学, 2020.
- ZHANG Hao. Development and application of a rapid analysis platform for the impact of new subway tunnels on existing tunnels [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2020.
- 收稿日期:2022-06-30 修回日期:2022-11-02 出版日期:2024-09-10
Received:2022-06-30 Revised:2022-11-02 Published:2024-09-10
- 第一作者:张亮亮,高级工程师,25010849@qq.com
通信作者:傅金阳,副教授,jy.fu@csu.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
-
- (上接第 30 页)
- HU Zuoan, XIA Yiming, CAI Jia, et al. Optimization of urban rail transit operation adjustment based on multiple strategies under delay[J]. Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2021, 51(5): 1664.
- [11] 解熙, 蒲琪. 城市轨道交通列车延误统计指标及评价指标体系研究[J]. 城市轨道交通研究, 2018, 21(4): 75.
- XIE Xi, PU Qi. Research on statistics index and evaluation index system of urban rail transit delays[J]. Urban Mass Transit, 2018, 21(4): 75.
- [12] JIANG Z B, XU C H, ZHANG D Q, et al. Evaluating rail transit timetable using big passengers' data[J]. Journal of Computer and System Sciences, 2016, 82(1): 144.
- [13] 江志彬, 季婷婷. 基于客流影响的城市轨道交通列车运行调整策略[J]. 城市轨道交通研究, 2014, 17(1): 39.
- JIANG Zhibin, JI Tingting. URT train regulation strategy based on passenger flow influence[J]. Urban Mass Transit, 2014, 17(1): 39.
- [14] JIANG Z B, LI F, XU R H, et al. A simulation model for estimating train and passenger delays in large-scale rail transit networks[J]. Journal of Central South University, 2012, 19(12): 3603.
- 收稿日期:2022-06-07 修回日期:2022-08-05 出版日期:2024-09-10
Received:2022-06-07 Revised:2022-08-05 Published:2024-09-10
- 第一作者:李洪运,博士研究生,hylicn@foxmail.com
通信作者:江志彬,副教授,jzb@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

欢迎访问《城市轨道交通研究》网站

www.umt 1998.tongji.edu.cn