

文章编号: 1005-8451 (2016) 03-0062-05

基于Anylogic的城市轨道交通车站仿真应用研究

赵路敏¹, 郑宇², 谢金鑫¹

(1.北京市轨道交通指挥中心, 北京 100101; 2.北京市工程咨询公司, 北京 100031)

摘要: 本文在综合比选仿真软件的基础上, 介绍Anylogic软件的仿真建模技术流程, 对仿真过程中关键技术进行研究。以北京地铁宣武门站为例, 建立车站2D、3D展示模型, 利用仿真数据分析、评估地铁4号线换乘2号线的制约瓶颈, 提出宣武门站优化建议。验证了Anylogic软件在车站仿真评估应用中的可行性, 并为城市轨道交通车站评估优化工作提供支持。

关键词: 轨道交通; 车站仿真; Anylogic; 评估优化

中图分类号: U231.4 TP39 **文献标识码:** A

Simulation of Urban Transit station based on Anylogic

ZHAO Lumin¹, ZHENG Yu², XIE Jinxin¹

(1. Beijing Metro Network Control Center, Beijing 100101, China;

2. Beijing Municipal Engineering Consulting Corporation, Beijing 100031, China)

Abstract: In this paper, on the basis of comprehensive comparison of the simulation software, the process of modeling and simulating with Anylogic was introduced, and the key technology in the process of simulation was studied. Taken Xuanwumen Station as an example, the station display model with 2D and 3D was established. The simulation data was used to analyze and evaluate the transfer bottleneck from the metro line 4 to metro line 2. Optimization for Xuanwumen Station was put forward. The feasibility of Anylogic in the application of station simulation and evaluation was tested and verified. It could provide support to the evaluation and optimization for Urban Transit station.

Key words: Urban Transit; station simulation; Anylogic; evaluation and optimization

随着城市轨道交通网络化程度的不断提高, 作为运输系统基层环节的车站, 客流量也迅猛增长, 尤其早晚高峰时段设备设施超负荷运转现象严重, 大大降低了运营的安全性和运输效率。由于车站建设时耗费了大量的人力物力, 一旦建成便难于改造, 因此需从客运设施布局、乘客客运组织等方面着手降低车站运营压力。利用车站行人仿真技术对掌握车站空间占用情况, 反映客流的随机性和复杂性, 分析设备设施负荷程度与布局的关系, 查找进出站及换乘环节的瓶颈是一种更加科学有效的方法。

1 仿真软件选择

综合考虑国内外车站仿真软件所使用的行人微

观交通仿真模型、软件的技术成熟度和流程度、应用领域、开放性、性价比等情况, 选择 AnyLogic 仿真软件。与其它仿真软件对比如表 1 所示, AnyLogic 具有以下优点^[1]:

(1) 软件采用的行人仿真模型是目前比较被认可的行人动力学模型、社会力学模型, 可以反映乘客个体走行特征及行人自组织现象;

(2) 软件具有开放式的体系结构, 支持与 Java 自定义模块协同工作, 可动态地进行数据读写, 并将结果输出到 3D 环境;

(3) 更贴近地铁车站建模的需求, 支持高度定制的车站开发环境, 如行人分类(性别、年龄、携包等)、行人与列车交互、行人路线规划、各种物理环境的实现(屏蔽门、电梯等)、列车满载率限制等;

(4) 具有灵活的图形化操作界面和数据分析工具。

收稿日期: 2015-08-12

基金项目: 国家科技支撑计划课题(2011BAG01B01)。

作者简介: 赵路敏, 工程师; 郑宇, 工程师。

表1 仿真软件的功能对比表

软件名称	建模方法	能否二次开发或与其它软件衔接	能否实现人、车混合仿真
Legion	元胞自动机	不能二次开发，能与Aimsum衔接	与Aimsum结合，实现人、车混合仿真
STEPS	元胞自动机	不能二次开发	否
SimWalk	社会学模型	不能二次开发	否
AnyLogic	社会学模型	开放式体系结构，支持二次开发	与交通库一起实现人、车混合仿真

2 车站仿真技术流程

车站仿真针对业务需求情况，可分为正常方案、预测方案和疏散方案3种。正常方案目标为实现已运营车站客运组织、设备设施布局优化，预测方案目标为评估未来客流对设备设施的影响，疏散方案目标为评估突发事件下车站的疏散能力。上述3种评估流程基本一致，只是使用的数据和参数不同。一般情况下，车站仿真分为基础资料获取、2D与3D建模、仿真效果展示和仿真评估优化4个主要过程^[2]，如图1所示。

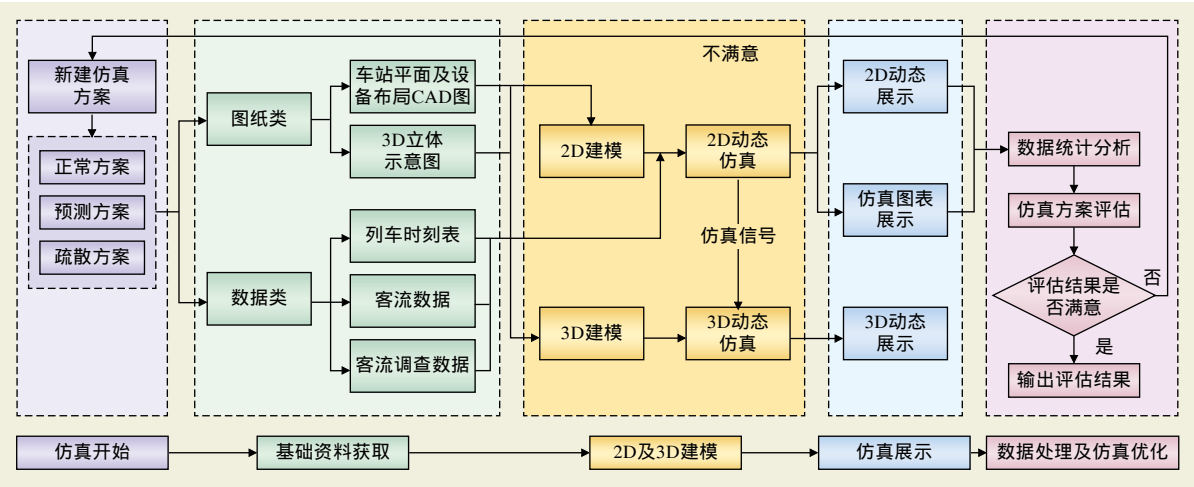


图1 车站仿真技术流程

3 仿真关键技术

3.1 流线组织技术

乘客在特定的车站内进站、出站和换乘流线基本是固定的。客流时间不均衡特征明显的车站，高峰与平峰可能有所不同。Anylogic软件在行人产生后，为了模拟乘客集散的具体过程，需配置相应的流线和目的地D1、D2...Dn来组织客流在车站内进站、出站、换乘、上车、下车的过程^[3]。一般而言，主要有行人

流与列车流，行人流又包括进站流、出站流及换乘流。

3.2 参数配置技术

车站仿真基本目标是要客观、真实反映车站乘客在站内的活动，若达到与实际最接近的仿真效果必要条件之一就是配置准确、合理的仿真参数^[4]。通过对Anylogic功能的分析，参数配置可以归为4类，如表2所示。

表2 车站仿真参数配置表

序号	参数类型	参数作用	参数
1	乘客个体特征	描述车站乘客个体出行特征	年龄、性别、占用空间、携包类型、是否结伴出行
2	客流分布规律	描述车站客流量在车站内的分布情况	出入口客流比例、进出站闸机客流比例、进站安检比例、楼扶梯使用比例、站台候车分布比例
3	客运组织方案	通过设备设施服务状态组合配置反映客运组织方案	站外限流、通道限流围栏状态、进出站闸机状态、自动扶梯状态
4	设备设施服务	反映设备设施固有服务信息	额定通行能力、设备额定服务时间、设备额定通过时间

3.3 模块封装技术

Anylogic软件虽然已经有描述地铁行为的标准

库和行人库，但是由于北京地铁特有的客流特征和客运组织方式，需在原库基础上二次开发。现场调研后归纳封装

的行为模块^[5]如表3所示，部分行为模块如图2所示。

3.4 评估优化技术

仿真过程中Anylogic可以对车站各区域客流数量及密度、设备设施利用率及排队情况、乘客站内停留时间等进行统计分析。为了满足客流与设备设施能力适应性评估需要，提出以下指标来识别站内瓶颈，找出薄弱环节。

3.4.1 瓶颈识别技术

表3 车站仿真参数配置表

序号	模块名称	模块功能
1	自动扶梯	实现自动扶梯在不同的客流状态下乘客右侧站立左侧行走和双侧均静止站立的行为
2	站台候车	实现站台乘客候车的车头车中车尾位置候车不均匀及扇形/一字型排队行为
3	安检	实现乘客进站时,有包安检无包直接通过或采用手持安检的行为
4	购票	实现持一票通的乘客自助及半自助购票的行为
5	滞留登车	实现一定满载率水平下,站台乘客滞留数量、上车乘客数量与满载率的关系
6	设备状态	实现在不同时段下设备运行的状态,如自动扶梯上行/下行/停用、闸机进站/出站/停用等,以实现设备状态的控制
7	设备服务过程	实现乘客使用进出站闸机、安检机、自动扶梯的过程描述,如到达设备、使用设备、离开设备
8	扶梯步梯选择	实现不同客流状态下乘客对楼梯扶梯选择的行为。客流较小时,乘客选择扶梯比例大;当客流达到某一种状态后,乘客楼梯扶梯选择比例相当

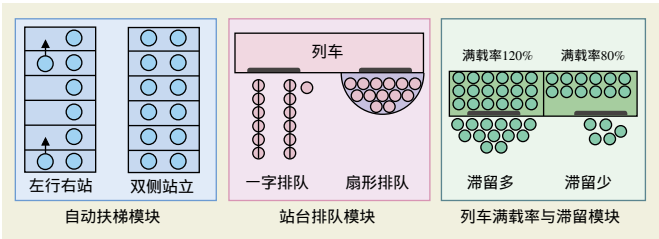


图2 Anylogic中模块封装行为示意图

按照乘客出行过程中经过的节点顺序,当前方节点的通行能力大于后方节点的通行能力时,即 $C4 < C3 < C2 < C1$, 该区域随着乘客数量不断增加,密度增大,运动速度减少,产生拥塞。若要安全运行,应控制通道内各节点的运行状态满足以下准则: $C4 > C3 > C2 > C1$, 如图3所示。当其中一个符号发生变化时出现阻塞,称之为基于节点分析法的瓶颈识别技术。

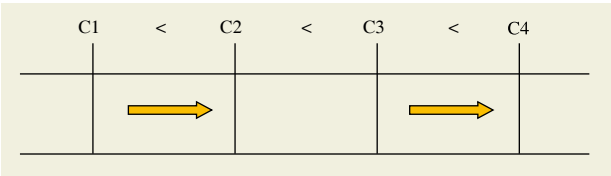


图3 瓶颈识别技术示意图

3.4.2 能力适应性评估指标

针对瓶颈位置,建立能力适应性评估指标^[6],以评估瓶颈对乘客出行过程的影响程度。

设备设施负荷度—统计时段内,车站供乘客使用的各项设备设施利用或占用的情况,如式(1):

$$S_i = \frac{Q_i}{C_i} \times 100\% \tag{1}$$

式中, S_i 指该设备设施的负荷度; Q_i 指该设备设施实际客流量; C_i 指该设备设施的固有通过能力。

设备设施排队人数—统计时段内,等待接收设备设施服务的乘客排队人数,以反应进出站、检票等资源是否足够。

瓶颈拥挤持续时间—统计时段内,瓶颈处设备设施区域密度连续高于某一阈值时的持续时间,反映通道拥挤的延续情况。

3.5 2D与3D接口技术

车站 3D 综合展示包括车站主体建模、站内客流展示、设备设施状态展示,其功能实现需由 2D 仿真提供相应的乘客信号并通过数据接口实现。接口内容如图4所示。

3.5.1 车站主体建模

结合 2D 仿真的 CAD 图纸,通过现场拍照、3D 灰模建立、贴图等工作完成车站实体建筑及设备设施建模。建模时 2D 仿真需提供图纸原点坐标、层编号、区域划分及设备编号,以达到站内客流、设备设施状态与 2D 仿真一致。

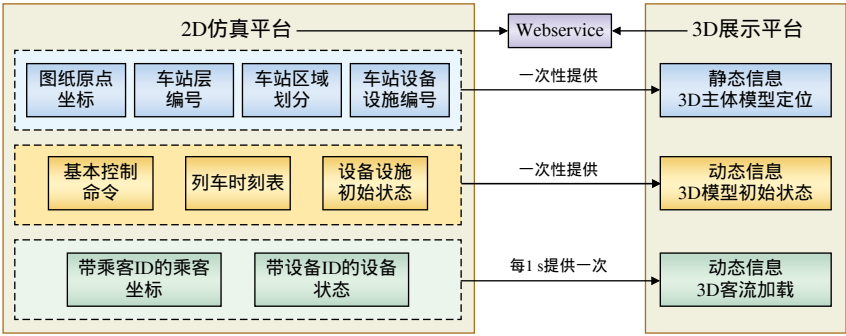


图4 2D仿真与3D展示接口内容

3.5.2 站内客流展示及设备设施状态展示

3D 综合展示一次性获得 2D 仿真总体信息,包含基本控制命令、设备初始状态、列车时刻表等;再通过主体建模中已明确的位置及编号信息,以 1 s 的间隔向 2D 仿真服务器端请求个体 ID 的位置及设备 ID 的状态信息,最终在 3D 中展现出来。

4 地铁宣武门站实例验证

4.1 基本情况

宣武门站是地铁2号线和4号线的换乘车站，两条线布置呈“+”字型布局，换乘时通过东西两侧的通道进行换乘。宣武门站的大客流集中在工作日早高峰7:00~9:00，尤其4号线换2号线(以下简称“4换2”)的客流量达到宣武门站总集散量的50%，客流集中且大，给车站客运组织造成了很大压力。目前在换乘站厅采用围栏绕行的方式限流，以降低乘客到达通道的集中性。

4.2 数据处理

按照车站仿真建模流程，经过现场踏勘调研后，完成了乘客个体特征、客流分布规律等参数收集及CAD图纸修改，标定了层级、区域划分及设备编号，在软件中对仿真参数、流线组织及客运组织等内容进行了配置，并通过现场拍照完成3D建模。

4.3 仿真展现

以某工作日早高峰7:00~9:00的进出站及换乘客流、列车运行时刻表、列车满载率为输入数据，对宣武门站早高峰的客流情况进行了仿真，2D仿真展示及3D展示如图5、图6所示。

4.4 瓶颈识别及评估



图5 宣武门站2D仿真动画展示界面

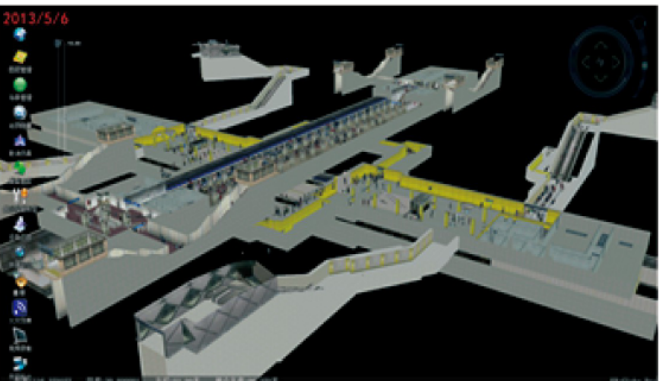


图6 宣武门站3D综合展示界面

4.4.1 瓶颈识别

根据《地铁设计规范》中对设备设施通行能力的界定^[7]，4换2过程中各部位能力C南/北侧楼扶梯>C限流围栏<C通道>C2号线楼梯。根据瓶颈识别技术，限流围栏、2号线楼梯均为4换2过程中的瓶颈。但由于限流围栏设置的目的是分散乘客集中到达速度，所以不界定为瓶颈。而2号线上行楼梯较通道能力小17750 p/h，为4换2流线中客流通行的制约瓶颈。图7为高峰时段的仿真密度图，可清晰看出瓶颈位置。

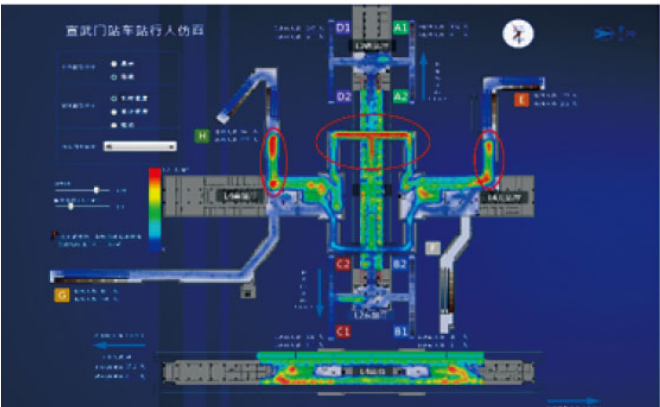


图7 宣武门站仿真实时密度图

4.4.2 瓶颈评估指标

(1) 楼梯负荷度

2号线楼梯负荷度如图8所示。从7:20开始负荷度就处于100%左右，一直持续到8:40，楼梯负荷度大，持续时间长。

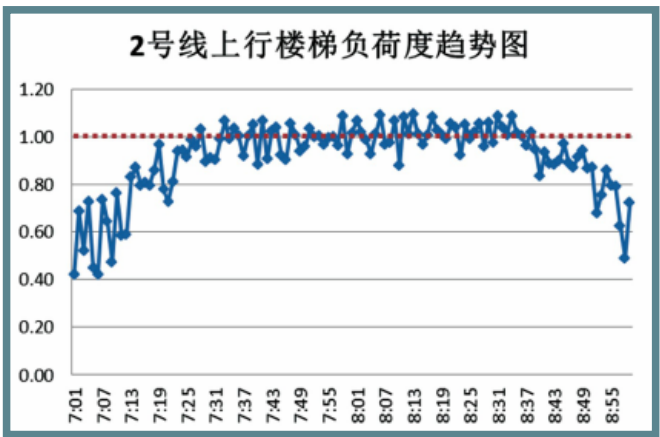


图8 2号线楼梯流量及负荷度趋势图

(2) 楼梯排队长度

为了说明排队人数的状态，辅以该区域密度说明，如图9所示。高峰时2号线上行楼梯排队人数

35 人左右,最高达 45 人,区域密度远大于等候区域临界安全经验值 2.4 p/m^2 ,最高达到 3.73 p/m^2 ,已经非常拥挤^[8]。

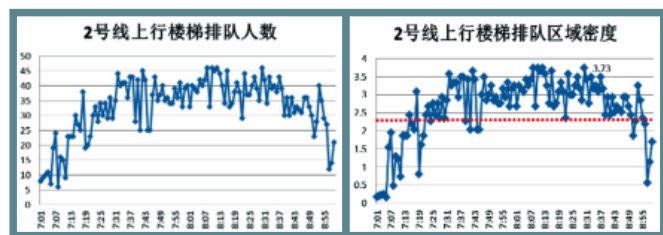


图9 2号线楼梯排队人数及密度趋势图

(3) 楼梯拥挤持续时间

按照楼梯走行区域的临界安全经验值,当楼梯密度大于 2.1 p/m^2 时,楼梯已非常拥挤。从 7:20 ~ 8:40 约 80 min,2 号线楼梯的密度持续高于临界值,最高时达到 2.93 p/m^2 ,如图 10 所示,持续时间达 80 min。

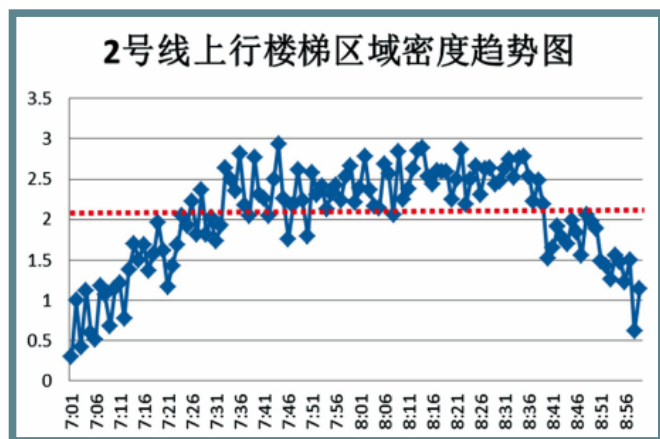


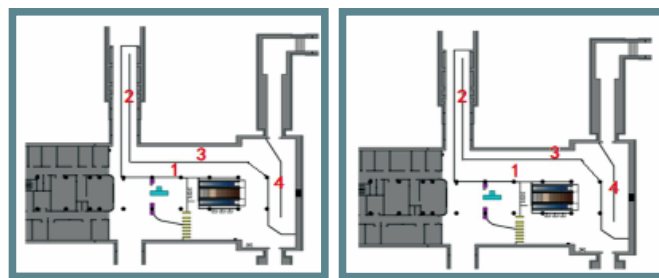
图10 2号线楼梯密度趋势图

4.4.3 改造优化建议

拓宽 2 号线上行楼梯宽度。2 号线上行楼梯的能力较西北、西南两侧通道的合计能力小 $17\,750 \text{ p/h}$,按照上行楼梯单位宽度的通行能力约需要拓宽 4.8 m 。但由于 2 号线站台两侧柱子及内部结构影响,改造已建成的站台困难较大。

将拥挤位置前移至站厅,降低封闭通道人群拥挤踩踏的危险性。(1) 优化限流围栏设置。考虑将站厅限流围栏(位置 2) 2.3 m 宽度缩为 1 m ,通行能力将由 $23\,000 \text{ p/h}$ 降低为 $10\,000 \text{ p/h}$,可与楼梯能力相匹配,如图 11 所示。(2) 加大站厅限流力度。在站厅设置限流围栏绕行的基础上,在通道口增加

分批放行的限流措施。



优化前: 位置3宽度2.7 m

优化后: 位置3宽度1 m

图11 换乘限流围栏优化图

5 结束语

本文在车站日益增长的客流压力背景下,基于 Anylogic 软件对车站仿真的技术流程、关键技术及瓶颈识别方法、评估指标等内容进行了研究,并以地铁宣武门站为例进行软件的应用验证,分析了宣武门站 4 号线换乘 2 号线的瓶颈,提出了宣武门站改造优化建议。仿真结果显示与现场具有较高的一致性,说明 Anylogic 在车站仿真评估上具有较强的可行性和适用性。

参考文献:

- [1] 胡明伟,史其信.城市轨道交通车站客流组织的仿真和评价[J].交通信息与安全,2009,27(3).
- [2] 杜海晖.大型客运站客流组织动态仿真系统实现方法的研究[D].北京:北京交通大学,2011.
- [3] 李洪旭,李海鹰,樊校,许心越.基于 Anylogic 的地铁车站集散能力仿真分析评估[J].铁路计算机应用,2012,21(8).
- [4] 刘启钢,杜旭升,杨旭.大型铁路客运站客流组织仿真技术研究[J].铁路运输与经济,2012,32(10).
- [5] 北京市轨道交通指挥中心二期工程信息中心系统需求说明书[R].2011.
- [6] 陆奕婧,邹晓磊.城市轨道交通车站客运组织评价[J].交通科技与经济,2009,11(1).
- [7] 中华人民共和国住房和城乡建设部,中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.GB 50517-2013 地铁设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2013.
- [8] 胡清梅.城市轨道交通车站客流承载能力的评估与仿真研究[D].北京:北京交通大学,2011.

责任编辑 陈蓉