

## 智能交通系统在城市轨道交通规划中的应用

褚满帅 祝建业

北京城建设计发展集团股份有限公司青岛分公司, 山东 青岛 266000

**[摘要]**智能化交通的发展给城市轨道交通规划带来新的技术支持,对于传统城市轨道交通规划存在的客流预测不准、线网设置与经济发展不相适应等问题,进行了智能交通系统应用于客流预测、网络规划、一体衔接以及运营调度四个主要方面的研究。结果表明,多源数据综合客流预测法可以提高45%以上,GIS在规划阶段就可以避免方案矛盾的发生,智能换乘设计可以使乘客大大节省等待时间,全自动驾驶线路系统智能化调度系统进一步提高了行车的安全性和效率。研究成果可为城市轨道交通规划的智能化转型提供理论参考。

**[关键词]**智能交通系统;城市轨道交通;智能调度

DOI: 10.33142/sca.v9i5.19742

中图分类号: U491.53

文献标识码: A

## Application of Intelligent Transportation System in Urban Rail Transit Planning

CHU Manshuai, ZHU Jianye

Qingdao Branch of Beijing Urban Construction Design & Development Group Co., Ltd., Qingdao, Shandong, 266000, China

**Abstract:** The development of intelligent transportation has brought new technological support to urban rail transit planning. In response to the problems of inaccurate passenger flow prediction and incompatible network settings with economic development in traditional urban rail transit planning, research has been conducted on the application of intelligent transportation systems in four main aspects: passenger flow prediction, network planning, integrated connection, and operation scheduling. The results show that the multi-source data comprehensive passenger flow prediction method can improve by more than 45%. GIS can avoid the occurrence of scheme contradictions in the planning stage. Intelligent transfer design can greatly save passengers waiting time. The intelligent scheduling system of the fully automated driving line system further improves the safety and efficiency of driving. The research results can provide theoretical reference for the intelligent transformation of urban rail transit planning.

**Keywords:** intelligent transportation system; urban rail transit; intelligent dispatching

### 引言

城市轨道交通是大城市的公共交通框架,在一个城市的公共交通系统中扮演着骨架的角色,它的规划水平高低直接影响到一个城市整个公共交通系统的运转质量和水平。传统的轨道交通规划设计方法随着越来越复杂的城镇空间结构以及多样化的出行需求,出现了很多不足之处:客流估计基于以往的数据和经验,不能抓住动态的变化趋势;线路规划与土地使用及城市发展之间缺乏联系;轨道交通与其他交通工具之间的连接存在“最后一公里”缺口问题;管理调度依然依靠人力经验,自动化程度较低等等,这些都迫切需要解决。智能交通的发展为解决这些问题带来了新的解决思路。智能交通技术结合大数据、AI、IoT、GIS等多项新兴技术的应用,在交通领域里做到了全方位监测、精细化分析、科学决策。把智能交通的理念与技术

应用到城市轨道交通规划设计当中来,让设计思路转变为由以经验为主变为以数据为支撑的一种模式已经成为行业内的普遍做法。本文从城市轨道交通客流预测、线网规划、一体化接驳和运营调度四大问题入手,阐述了智能交通如何应用于规划设计中。

### 1 智能交通系统在客流预测与需求分析中的应用

#### 1.1 多源数据融合下的客流特征提取

客流量预测的精确度受制于所输入数据的质量以及数量大小。传统的客流分析大多依靠AFC刷卡记录和人的调查数据,存在延迟、样本量不足问题,而智能交通系统的出现使多种来源不同类型的数据相结合成为现实,现在可以用来做客流分析的数据不仅仅是AFC刷卡数据,还有手机轨迹数据、公交车IC卡数据、视频监控数据、SNS到访签到数据等等,手机轨迹数据可以实时监控乘

客出行轨迹,空间范围广,视频监控数据利用计算机视觉技术可以得到车站内的瞬时人员密度、行走速率等细节的行为信息,在线采集与离线获取相结合,更加完整地描述了客流动态变化规律。研究发现,公共交通大数据分析可以显著提高城市轨道交通短期客流量预测准确率和及时度;而南京地铁的经验也证明,利用多种数据源结合来构建客流预测模型,在半小时以及一小时的时间间隔内,其结果要优于单一传统的模型,均值高达 45.69%左右;多种数据源之间如何融合则主要是处理好它们之间的异质性和时间空间分辨率的问题;常见的融合方式有三种:数据层面融合(把多个源头的的数据都归一到了同一的空间时间分辨率下)、特征级融合(先对各个独立的数据源分别抽取特征然后整合在一起),以及决策级融合(不同的数据源单独得出结论之后再加以汇总)。在实际的应用场景下,AFC 统计数据给出准确的进站数以及手机信令数据给出 OD 分布是最关键的数据来源。

### 1.2 基于机器学习的短期与中长期客流预测

基于大数据融合下机器学习算法是提高客流预测准确性的关键技术,相对于传统的统计时间序列模型而言,机器学习可以自适应地发现客流数据中的非线性和复杂的规律特点。而短期出行预测(15min~2h),主要是用于日常的运营管理调度;循环神经网络以及相关的长短时记忆网络,门控循环单元等都可有效的解决时间序列数据的长时间跨度相关问题。并且图神经网络还进一步引入了线路网络拓扑结构作为模型的一部分。而一些学者提出的分阶式多图序列到序列网络为了解决地铁系统不断延伸的问题,提出了模式演变监测手段只需要做局部更新而不需要全部刷新,既不影响预测结果还可以大大减少运算量。同时加入注意力机制和 transformer 结构可以使模型自主选择最有助于当前预测的时间段以及空间点。对于中长期的客流预测(月度与年度层面)属于线网设计及运能分配范畴,此类预测要考虑很多外部条件,例如城市发展状况、人口密度、产业结构、新开通线路等等。机器学习可以将这些因素作为控制项加入到模型当中,从而可以构建出以多因素驱动为主的客流演变过程仿真。

### 1.3 客流时空分布规律与线网承载力评估

客流预报的根本目的在于支持规划决策,以智能交通系统采集到的一手高精度客流数据为基础,可以对线网各线路、各时间段的客流负载量予以量化评价。客流时空分布规律研究有以下四个方面:日变化趋势(早晚客流峰值时间和平峰期客流区别)、周循环特性(工作日与周末间的差别)、季节波动特点、特殊事件对客流的影响程度

等规律的研究有利于调整列车运行计划及运力调度。网络容量评估就是考察各个区段断面客流密度与其设计载重能力之间的差距,找出高峰时期的堵点、卡口站台。天津轨道交通的研究结果得出:建立由服务性、通达性、可调性以及经济性等 7 个方面的运行图综合性评价指标体系可以对列车运行图进行全方位的定量分析,从而为运输资源的有效分配做出参考。

## 2 智能交通系统在线网规划与站点布局中的应用

### 2.1 基于 GIS 的线网拓扑优化与方案比选

地理信息系统进行的空间分析功能能够支持轨道线网的研究工作。传统的线网研究以人工经验为主,引入了 GIS 的技术以后可以实现多个方案的对比量化。而 GIS 的应用主要包括以下几方面:交通需求量化的分布图,线路路径缓冲区域分析、换乘站点选择及线路网络联通度评价等等。通过叠加人口密度、就业岗位、交通站点等要素可以得出客流通道以及薄弱区域。在重庆数字管线平台的应用中,基于 GIS 叠加高精度地下管线数据及拟修建轨道交通车站、线路,可以在图纸上提前准确找到可能出现的问题隐患,从而减少后期施工中的变故而及管线迁移等问题发生的情况。目前此平台已对 15 条轨交线进行了管线核查,并准确地标记出了 276 个重要节点。线网拓扑规划包含着选点以及选线两个方面的问题。通过 GIS 的可达性分析可以对不同的解决方案进行人口或者就业岗位的覆盖情况分析;通过网络分析可以对线网换乘便捷程度进行评价。多目标优化可以把人口覆盖最多、造价最少、换乘次数最少等目标整合在一起。

### 2.2 站点可达性与覆盖范围智能分析

站点设置是最小的线网构成单位,站点的服务范围(一般以步行 15min 作为半径)决定着轨网的覆盖面积大小,在 GIS 中的网络分析功能可以基于实际的道路网络而不是欧式距离来求解服务半径,更加真实地体现了站点可达性程度。智能分析就是:不同地区的平均步行速度的不同,过街设施(天桥、地下通道)障碍影响的程度,地面起伏情况等的精确化处理问题,建立一套步行网络模型后,可以得出各个站点的实际服务范围以及所覆盖的人口数量。北京交通大学研究的结果包括了以加权模体度进行航线网络节点的重要性分析以及高铁枢纽和城市轨道换乘客流路径仿真优化等,可借用到轨道交通站点评价当中。

### 2.3 线路规划与城市空间发展协同优化

公共交通除了满足现有的出行需求外,还可以对城市的空间形态产生一定的影响和作用。公共交通导向的城市

发展模式注重的是轨道交通车站周围土地高强度、混合式开发,而智能化交通系统则是公共交通导向发展进行定量研究的一个手段,把土地使用情况,房屋租金、公司注册信息等结合起来就可以计算出一个车站周围土地开发状态和发展前景。采用机器学习的方式就能够找出有希望进行公共交通导向发展的具有潜力的车站,给城市更新以及新城区的发展提供参考建议。结论显示,地铁线路走向与城市空间发展战略匹配程度决定了其线网效益的好坏。

### 3 智能交通系统在多模式交通一体化衔接中的应用

#### 3.1 轨道交通与常规公交、共享出行等方式的接驳设计

多网融合一体衔接是提高轨道出行全流程效率的重要手段。智能化交通技术的应用使得接驳设计由“被迫接受”变为了“主动参与”,接驳设计核心问题就是:车站周围需要配备多少公共交通工具供给?有多少辆单车可以投放?多少辆网约车作为临时停车点?智能交通系统根据车站客流到达的时空特性分析出各种接驳设施的需要数量,在此基础上进行公交与轻轨换乘优化研究发现基于动态规划法的换乘路径优化模型可以有效减少乘客在公交与轨道交通之间换乘的时间成本,广州新区的实际经验表明这种方法是可行的并且可以提高换乘效率。从更高层面来说,多种交通方式的一体化就需要打通各个运营方的数据孤岛。金华市“畅行中心”的推出,意味着地铁公交由单打独斗变成了联合起来战斗,“一码通城”的实现,以及通过统筹协调使得地铁公交发车间隔时间相吻合,这些都是很好的例子。

#### 3.2 综合交通枢纽换乘效率提升

综合交通枢纽是一个多种交通方式衔接的重要节点,而枢纽内部的换乘速度直接影响到这种多种交通方式组合出行的竞争能力。智能化交通可以通过如下几个方面来提高换乘效率:一是通过视觉检测以及 Wi-Fi 探针技术对人流进行统计,从而获得枢纽中的人流量大小以及行走路线等数据,用于发现瓶颈区域以及拥堵节点;二是运用数字孪生技术进行综合交通枢纽运行分析,在虚拟空间里面模拟不同的指引牌设置、通道尺寸、电梯数量等方案带来的影响。而上海虹桥枢纽实验证明,结合了视频计数技术、数字孪生出行链以及铁路地铁运营状态的多类型数据可以对枢纽水平上的客流动态有较高的准确度预测。本文提出的研究中 GEME-Net 模型结合了事件触发频率提升部分,大大加强了对于受列车时刻表影响而产生的客流量波动的反应速度。

表 1 综合交通枢纽换乘效率评价指标

| 指标类别  | 具体指标     | 说明             |
|-------|----------|----------------|
| 时间指标  | 平均换乘步行时间 | 从下车到上车的总步行耗时   |
| 距离指标  | 平均换乘步行距离 | 结合通道长度与垂直交通    |
| 便捷性指标 | 换乘通道饱和度  | 高峰期客流密度与设计容量比值 |
| 可靠性指标 | 换乘时间波动系数 | 不同时段换乘时间的标准差   |
| 信息化指标 | 导向标识清晰度  | 乘客寻路成功率与耗时     |

#### 3.3 最后一公里出行解决方案

“最后一公里”是制约轨道交通出行意愿的重要短板,智能化交通系统的发展给其解决带来技术支持。最后一公里方案有:需求响应式公交动态调度、共享单车潮汐式调度、定制公交路网设计等等,需求响应式公交能够根据轨道站客流到站情况实时调度发车间隔以及行驶方向;实时数据做支持的共享单车调度系统,能够在早晚高峰期把车辆转移至需求较大的地方。对于“缝合”思路下综合交通枢纽一体化设计的研究显示,慢行系统与轨道站点实现一体化后,有效增加轨道站点步行服务范围。

### 4 智能交通系统在运营调度与运行控制中的应用

#### 4.1 动态列车运行图编制与调整

行车时刻表是城市轨道交通运营调度工作的基础性文件之一。传统的时刻表编制周期一般是按季度或者年度来制定的,不能及时有效的解决突发性的的大客流和设备出现故障的问题。智能交通系统的加入使动态时刻表编制变为现实。通过对短时间内的客流进行估算,在非高峰期间拉开车距节省能源,在高峰期增加列数降低乘车压力。全自动运行条件下可以由全自动调度系统自动对计划进行修改。深圳地铁 16 号线的智能调度系统具备了动态时刻表编制的功能,可以根据实际的客流情况随时生成最佳方案的时刻表,并含有客流统计以及评价分析模块,极大程度提高了日常管理中调度工作的科学化。

#### 4.2 突发大客流下的协同调度与应急指挥

突发大客流(比如大型集会散场、极端天气造成出行方式转换)给运输调度带来极大考验,智能化交通管理系统依靠即时检测以及快速反应机制增强应急处理效能;突发大客流判断依靠视频识别、AFC 数据分析即时监测。当某一车站的进站量或者站台拥挤程度达到预定标准以后就会进行报警提醒;配合调度决策有:增加备用车辆;改变停靠站点的方式(跳站或者越行);采取限流措施;调配公交应急运载能力等等。天津轨道集团智慧调度系统构建研发了道岔故障、车辆故障、接触网断电等八种常见突发事件应急预案,实现了由“凭经验判断”到“借助于智能化工具辅助作出决断”的转变。

### 4.3 车底运用与乘务排班智能优化

车底运用（车辆周转）与乘务排班是运营组织中的两道主要难题。两方面都属于大规模组合优化问题，难度很大。车底运用优化的问题就是在满足运送要求的基础上对使用列车总数以及空走距离进行最优化。通过智能化算法比如遗传算法或者粒子群算法能在短时间内得到满意的结果；而乘务排班优化就既要保证遵守劳动制度又要考虑到乘务人员的一些喜好需求。北京交大采用了一种禁忌搜索法来进行乘务交路的规划，在很大程度上解决了大量网络中的乘务排班难题。全自动运营状态下，有些线路已经开展了无人值守，乘务配备量大为减少，但是远程监控以及应急处理人员轮班又成为一个新的调整问题。

## 5 结语

智能交通的应用让城市轨道交通的设计模式发生改变，在乘客需求预测方面，采用多种信息源的整合以及机器学习的方式，提高预测精确度；在线网布局方面，运用 GIS 空间分析以及数字孪生技术实现方案量化对比

及设计冲突的发生源头避免；在一体化对接方面，通过跨方式的智能调配以及统一的服务平台打破各运营商之间的信息鸿沟；在运营管理方面，动态时刻表制作和智能调度方案的应用使得反应更加迅速，利用率更高。虽然智能交通在实际运用过程中存在数据互联互通、标准欠缺等问题，但是伴随数字孪生、车路协同等新技术的发展，轨道交通规划设计智能化的程度还会不断提高。

### [参考文献]

- [1]费佳莹,严俊钦,陈佳.城市轨道交通超短时客流预测模型研究及应用[J].交通与运输,2024,40(1):47-52.
- [2]庞磊,任利剑,张哲浩,等.基于乘降客流特征的轨道交通站点分类及客流量影响因素分析[J].交通运输系统工程与信息,2023,23(4):184-193.
- [3]刘皓.城市轨道交通与公交一体化研究[J].中国新技术新产品,2025(7):101-104.

作者简介：褚满帅（1990—），男，汉族，河南商丘人，工程师，硕士研究生毕业，北京交通大学道路与铁道工程专业，现从事城市轨道交通线路和规划方向。