

智慧技术赋能下地铁客运组织效率提升实践研究

郭瑞芳 王冉

徐州地铁运营有限公司, 中国·江苏 徐州 221000

摘要: 伴随着城市轨道交通网络规模的不断扩大, 地铁客运强度不断上升, 传统的依靠人工计划和静态调度的客运组织方式渐渐暴露出响应迟缓、资源分配失衡、高峰期拥挤等种种弊端。所以智慧技术在地铁运营领域的运用, 就是提高地铁客运组织效率的一种方式。本文主要对大数据、物联网、人工智能、数字孪生、云计算等技术手段在客流预测、动态调度、应急管理方面的应用机制进行分析, 并给出以多技术融合为基础的客运组织优化路径。经过研究得知, 智慧化手段可以明显提高地铁系统的运行效率和运营服务质量, 给城市的轨道交通高质量发展提供支持。

关键词: 智慧地铁; 客运组织; 大数据; 客流预测; 运营优化

Practical research on improving the efficiency of subway passenger transport organization with smart technology

Guo Ruifang, Wang Ran

Xuzhou Metro Operation Co., Ltd, China Jiangsu Xuzhou 221000

Abstract: With the continuous expansion of the scale of urban rail transit network and the rising intensity of subway passenger transport, the traditional passenger transport organization mode relying on manual planning and static scheduling has gradually exposed many disadvantages, such as slow response, unbalanced resource allocation, peak congestion and so on. Therefore, the application of smart technology in the field of subway operation is a way to improve the efficiency of subway passenger transport organization. This paper mainly analyzes the application mechanism of big data, Internet of things, artificial intelligence, digital twins, cloud computing and other technical means in passenger flow forecasting, dynamic scheduling, emergency management, and gives the passenger transport organization optimization path based on multi technology integration. The research shows that intelligent means can significantly improve the operation efficiency and service quality of the subway system, and provide support for the high-quality development of urban rail transit.

Keywords: Smart subway; Passenger transport organization; Big data; Passenger flow forecast; Operational optimization

0 引言

在城市化迅速发展的大环境下, 轨道交通成了大城市公共交通系统的主要部分。由于通勤需求不断增大, 地铁系统在早晚高峰期间普遍存在着客流高度集中、站内拥堵严重、调度压力增大的问题。传统的客运组织方式依靠人工的计划调度和经验的决策, 对于复杂的动态客流存在着明显的不足。近些年来, 伴随着大数据、人工智能以及物联网这些新一代信息技术的迅猛发展, 智慧地铁的创建渐渐深入, 客运组织形式由静态的管理转向了动态的智能化, 这已是不可逆转的趋势。利用数据驱动的客流分析和调度体系, 可以对客流的变化进行及时的感知并作出相应的反应, 进而提高整个地铁系统的运行效率。

1 地铁客运组织及运行特征分析

1.1 客运组织基本构成

地铁客运组织体系是由车站组织系统、列车运行系统

和客流控制系统三大部分组成。车站组织系统包含进出站闸机、安检设备、站台引导设施等, 其主要作用就是保证乘客有秩序地进出站; 列车运行系统负责列车的编组、发车间隔和运行调度, 是客运能力的主要承载者; 客流控制系统用限流、分流、导流等手段来实现对客流的宏观调控。另外通信系统、信号系统和调度指挥中心一起组成地铁运营的中枢系统, 各个系统之间的协同程度影响着客运组织效率。

1.2 客流运行特征

地铁客流具有很强的时空分布特点。客流有明显的高峰和低谷现象, 早晚高峰时客流量是平时的 2-3 倍甚至更多。其次就是空间分布不均, 核心区的商务区和交通枢纽站点客流密度比外围高很多。另外客流还具有很强的突发性, 大型活动、节假日、突发事件都会引起客流的异常波动。由于它的复杂性, 传统的静态调度方式已经不能满足

实际运营的要求了, 客运组织必须向动态化、智能化方向发展。

2 智慧技术在地铁客运组织中的应用基础

2.1 大数据技术

大数据技术属于智慧地铁体系的基础性支撑技术, 它的主要价值就是实现对海量、多源异构数据的采集、存储、处理和分析, 进而给客运组织赋予精准的数据支撑。地铁运营过程中数据的来源主要有自动售检票系统 (AFC)、视频监控系统 (CCTV)、列车运行记录系统、移动通信信令数据等几个方面。对 AFC 数据进行分析可以准确掌握乘客进出站的时间、站点分布和出行路线特征; 用视频监控数据进行结构化处理可以得到站内实时客流密度的动态识别; 用手机信令数据可以对城市空间范围内客流迁移规律做宏观的反映。经过融合处理之后, 就可得到比较完整的客流行为画像。大数据技术除了可以用来做客流统计分析之外, 更主要的是可以进行客流趋势预测以及运营决策的改进。对历史客流数据和实时运行数据进行联合建模之后, 可以找出客流变化的周期性规律和突发性波动特征, 进而给行车组织、站内疏导、运力调配提供量化的依据。特别是高峰时段用数据驱动的预测模型提前做好运力预配, 从而改善局部拥堵。

2.2 物联网技术 (IoT)

物联网技术在地铁系统各个设备、基础设施上布设传感器和通信模块, 从而达到对运行状态的全方位感知以及实时互联的目的, 是创建智慧车站、智慧线路的基础。在车站层面, 闸机设备可以实时上传客流通行数据, 扶梯和电梯系统可以反馈运行状态和故障信息, 站台区域可以通过压力传感器或者视频分析技术来监测拥挤程度, 在列车层面, 车载传感器可以实时采集运行速度、载客率以及车厢拥挤情况。经过物联网平台汇集之后, 可以得到包含“车、站、线”一体化的实时运行感知网络。物联网技术的应用使地铁系统可视化、可控制水平大大提高。运营调度中心依靠实时数据对全线运行状况展开动态监测, 在出现异常状况的时候立刻采取干预手段, 比如改变进站流线, 增添疏导人员或者启动限流举措。另外设备运行状态的实时监测可以提前发现潜在的故障, 实现预测性维护, 从而提高系统的可靠性。

2.3 人工智能技术

人工智能技术在智慧地铁中主要应用于客流预测、异常检测、智能决策支持这三个方面, 核心就是用算法模型来达到对复杂的交通系统进行自适应优化的目的。对于客

流预测来说, 使用 LSTM 神经网络、时序回归模型等机器学习或者深度学习方法, 可以得到较好的短时客流预测结果。该类模型可以考虑时间因素、天气状况、节假日的影响以及历史出行规律等各方面的影响来提高预测的准确性以及稳定性。异常识别依靠的是计算机视觉的人工智能技术, 在车站监控视频里即时找出拥堵、逆行、摔倒这类异常状况并发出警报给控制中心。该种方式比传统的手工监测要快得多、准确得多。人工智能可以对运营人员在智能调度中所作出的列车运行图的优化以及运力调整作出辅助。在客流出现异常增长的时候, 系统可以自行生成多种调度方案, 然后利用仿真来评判各个方案的好坏, 从中挑选出最佳方案。

2.4 数字孪生技术

数字孪生技术建立起了和现实地铁系统高度一致的虚拟模型, 物理系统的运行状态可以被实时映射、动态仿真, 成为智慧地铁走向精细化管理的重要技术支撑。数字孪生环境下车站布局、线路结构、设备情况、客流状况都可以用三维可视化的形式展示出来, 并且可以和实时数据同步更新。运营管理人员可以利用虚拟空间对不同的客流组织方案进行模拟测试, 即改变进出站流线、调整换乘路径或者改变列车运行间隔等, 从而评价各种策略的运行效果。相比于传统的依靠经验来做出决策的方式来说, 数字孪生技术的优势就在于可以干扰实际的运营, 在虚拟世界里完成多方案比较和改进的过程, 从而减少试错的成本。另外, 数字孪生系统在应急演练中也可以模拟突发事件的场景 (设备故障、大客流冲击等), 使运营部门提前制订应对措施, 从而提升整个系统的韧性以及安全性。

2.5 云计算与边缘计算

云计算和边缘计算一起构成智慧地铁数据处理与计算体系的“双层架构”, 对提高系统处理能力和响应速度起到重要的作用。云计算主要是做大规模的数据存储、历史数据分析和复杂的模型训练。利用云平台可以将来自各个线路、各个系统的大量运营数据进行整合, 从而达到统一管理、分析的目的。并且利用云端计算的能力可以运行复杂的客流预测模型和全网调度优化算法。边缘计算主要处理的是车站或线路级的实时数据, 保证快速反应。在客流突然发生变化或者设备出现故障的时候, 边缘节点可以自行对数据进行分析并作出决策, 不需要完全依靠云端系统, 从而大大减少了响应延迟, 提高了系统的实时性。云计算和边缘计算一起工作形成“云端统筹 + 边缘执行”的运行模式。该种模式不但可以提高数据处理的速度, 还可以使

系统在复杂的运行环境下保持稳定可靠,给地铁客运组织智能化升级打下了良好的技术基础。

3 智慧技术赋能下客运组织效率提升路径

3.1 基于客流预测的动态运力配置

根据客流预测来开展动态运力调配工作,属于提高地铁系统运输效率的重要途径之一,它实际上就是用数据建模的方式来达成供需之间的精准对接。利用大数据平台以及人工智能算法,可以对历史客流数据、实时进出站数据、外部影响因素(天气状况、节假日特征、大型活动等)进行综合分析,进而创建起短时客流预测模型和中长期需求预测模型。系统可以按照预测的结果来改变列车运行图。在早晚高峰阶段,缩短行车间隔、增加上线列车数量或者采用小编组高频运行方式来提高线路整体输送能力,在平峰时段适当加大行车间隔或者调整列车上线比例来降低能耗和运营成本,达到资源优化配置的目的。另外一些高负荷线路还会采用弹性运力调度机制,在客流快速上升的时候自动调动备用运力,使运力得到快速增加。该种动态调整机制很好地克服了传统固定运行图的弊端,使得地铁的运营更加灵活高效。

3.2 智能车站客流引导系统优化

智能车站客流引导系统的根本目的就是达到站内客流均衡分布、高效疏导的效果,进而减少局部拥堵情况,改善乘客通行速度。本系统依靠物联网感知设备和视频识别技术,对车站内各个重要的地方(进站口、安检区、扶梯口、站台等)的客流密度展开即时监测并作出预警。系统依靠数据支撑,可以凭借智能算法来判定拥堵风险等级,并且可以自动生成分流策略。当某一个进站通道出现客流积压的时候,系统会通过电子导向屏及时调整乘客的导向信息,把部分乘客引导到其他的出入口;同时利用广播和移动终端进行推送,从而达到多渠道的引导效果。另外一些先进的系统会加入“路径优化算法”,依照乘客的站点以及当前的客流状况来挑选最佳的换乘线路,进而缩减站内无谓的流动和避免重复的拥堵。采用精细化引导的方式,可以大大提高站内空间利用率和乘客的通行体验。

3.3 基于多源数据融合的调度优化

基于多源数据融合的调度优化是实现全网协同运行的基础,它主要是解决信息孤岛问题,使各个系统、各个线路的信息能够整合起来,进行共享。将自动售检票系统(AFC)数据、列车运行控制数据、视频监控数据、设备运行状态数据等结合起来,就可以形成一个包含人流、车流、设备流的综合数据体系。在此基础上,调度中心可以

对全网客流分布、运行状态有实时了解,而且可以基于统一的数据平台来做出协同的决策。当某一线路出现客流激增的时候,系统可以联动相邻线路进行运力支援,通过改变列车运行间隔或者采取跨线调度的方式来达到网络级运力平衡的目的。多源数据融合可以提高单条线路的运行效率,也可以从整体上提高城市轨道交通网络的资源配置能力,提高系统的整体韧性。

3.4 智能应急处置机制

智能应急处置机制主要针对突发客流激增、设备故障、安全事件等异常情况展开工作,它的主要目的就是做到快速识别、快速反应、协同处置。当系统对实时监测数据做出异常判断的时候,就会马上发出分级预警信号,依照事件的严重程度来执行相应的应急方案。局部站点发生瞬时客流超载的时候,系统会自动生成限流操作,即关闭部分进站通道,实行分批放行或者改变列车停靠安排,对于更高级别的危险情况,还会采取临时封站或者列车跳停等措施来预防风险的发生。智能应急系统可以实现多部门联动,即地铁运营中心、站务人员、公安系统和应急管理部门等各方面的信息共享和协同调度,由统一指挥平台来协调。该种“自动预警、协同响应”的模式大大缩减了应急处置的时间,提升了整个系统的安全性和韧性。

3.5 智慧票务与无感出行优化

智慧票务系统属于提高乘客出行效率的关键前端部分,其发展趋向正在渐渐从传统的票卡形式向无感化、智能化的出行方式转变。使用移动支付、二维码通行、人脸识别、NFC等手段,使乘客可以快速进站出站,不需要复杂的票务手续,大大提高了通行速度。在此基础上,一些城市又加入“预约乘车”和“分时出行”的方式,以引导乘客错峰出行的方式来改善客流结构。早高峰时段系统利用移动应用给乘客提供不同的乘车时间选择方案,并配合票价优惠等手段,促使客流向平峰时段转移。另外,智慧票务系统可以同客流预测系统联动起来,从而达到票务数据和客流调度协同优化的目的。当预测到某一时段客流超载的时候,可以提前采取票务限制或者引导措施,从源头上减少高峰冲击的压力,从而达到前端调控和后端调度相结合的客流管理方式。

4 结语

伴随着城市轨道交通网络规模不断增大,地铁客运组织所面对的客流压力和运行复杂程度也不断提高,传统的依靠经验、静态调度的管理模式已经不能适应现代化运营的要求。智慧技术的加入使得地铁系统在数据感知、数据

分析、协调调度等各方面都得到了全方位的升级，客运组织也由原来的被动应对变成现在的主动预判、智能调控。借助大数据、人工智能、物联网、数字孪生、云计算这些技术相互融合的应用方式，使地铁运营可以对客流做出更精确的预估，对运力进行更好的安排，并且可以对站内进行有效的疏导工作。但是就目前而言，智慧地铁的创建还在持续发展的阶段，在数据标准统一、系统集成深度以及跨平台协同能力等各方面都存在进一步改善的空间。未来还要加强多源数据融合、智能算法的改进，创建全流程一体化运营管理体系来持续改善地铁系统智能化水平及应急反应速度。依靠不断的技术革新和管理改善，可以给城市轨道交通的高质量发展赋予更为有力的支持。

参考文献：

- [1] 陈炜. 地铁客运组织方式及安全解析[J]. 中国物流与采购, 2024(10): 57.
- [2] 李一川. 地铁客运组织方式比较研究[J]. 建材与装饰, 2023(2): 264.
- [3] 刘海霞. 地铁车站客运组织的管理与控制[J]. 科技资讯, 2023, 16(24): 57-58.
- [4] 吴康生, 杨东平. 地铁客运组织方式及安全探讨[J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024(16): 142-143.

作者简介：郭瑞芳（1992.10-），女，汉族，河南郑州人，本科，中级工程师，研究方向：城市轨道交通。