

Research on real-time scheduling optimization of urban public transportation based on the integration of Internet of Things and big data

Zirui Cheng¹ Wei Wang^{2*} Rubi Guo¹ Yuhan Zhang¹

1. Chang'an Dublin International College of Transportation at Chang'an University, Xi'an, Shaanxi, 710018, China

2. School of Emergency Management, Shaanxi College of Finance and Economics, Xianyang, Shaanxi, 712099, China

Abstract

With the increasing complexity of urban transportation systems and growing passenger flow volatility, traditional bus dispatching mechanisms can no longer meet real-time and flexible requirements, making it imperative to introduce emerging technologies for optimization. IoT technology's high-frequency, multi-dimensional sensing capabilities, combined with big data's ability to efficiently integrate and deeply mine heterogeneous information sources, provide an intelligent solution for urban public transport scheduling. Taking Xi'an Bus Company 6's Route 18 dispatching as a case study, this paper constructs a real-time dispatch optimization model integrating IoT and big data. The research systematically analyzes current industry practices, demonstrates the practical value of dispatch optimization, and proposes machine learning-based model construction strategies and system implementation approaches through real-world scenarios. These contributions provide technical support and model paradigms for precise urban public transport scheduling and dynamic resource allocation.

Keywords

IoT; Big Data; Integration; Xi'an City; Urban Public Transport; Real-Time Dispatching; Optimization; Research

基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化研究

程子芮¹ 王伟^{2*} 郭茹苾¹ 张郁涵¹

1. 长安大学长安都柏林国际交通学院, 中国·陕西 西安 710018

2. 陕西财经职业技术学院应急管理学院, 中国·陕西 咸阳 712099

摘要

随着城市交通系统日趋复杂与客流波动性增强,传统公交调度机制已难以满足实时性与灵活性要求,亟需引入新兴技术予以优化。物联网技术具备高频率、多维度感知能力,大数据技术则提供多源异构信息的高效整合与深度挖掘能力,两者融合为城市公交调度提供智能化解决路径。本文以西安市公交6公司18路汽车调度为案例,构建融合物联网与大数据的公交实时调度优化模型,系统分析当前研究现状,论证调度优化的现实价值,并结合实际调度场景,提出基于机器学习算法的调度模型构建路径与系统实现策略,为城市公交精准调度、资源动态配置提供技术支撑与模型范式。

关键词

物联网; 大数据; 融合; 西安市; 城市公交; 实时调度; 优化; 研究

1 引言

城市公交线路的运营管理一直是一个复杂而困难的问题。传统的公交调度方法往往依赖于静态的时间表和经验判断,无法准确地预测和应对交通拥堵、客流高峰等问题。而随着物联网、大数据等技术的发展,利用这些技术实现城市

公交线路的实时监控与优化调度成为可能。如物联网技术的支持下,城市公交车辆可以通过GPS等定位设备实时上传位置信息,乘客可以通过手机App或公交站台的显示屏实时获取公交车的到达时间和位置^[1]。而借助于大数据的集成处理能力,可实现多维动态信息实时采集与智能调度决策,为构建高效、智能、适应性强的公交调度体系提供技术支撑。

2 研究现状

在智能交通系统建设背景下,国内外针对公交调度优化的研究逐步从静态模型走向实时动态优化,物联网与大数据融合成为当前研究的热点方向。国外研究起步较早,主要集中在车载传感器数据采集、GPS定位与实时路径优化方面。

【课题项目】基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化研究(项目编号 300102365821)。

【作者简介】程子芮(2006-),女,中国陕西商洛人,本科,从事交通运输研究。

如部分研究基于车载通信与深度学习优化调度策略,同时也有研究人员提出联合优化模型整合线路规划与实时调度;国内研究近年快速跟进,部分研究人员利用GPS与加速度传感器获取公交运行数据,而一些研究则从天气、节假日等多因子入手构建调度模型。但整体而言,多数研究仍存在以下不足:一是数据来源结构单一,缺乏融合社会活动、气象等外部变量;二是调度模型多依赖静态优化,难以应对实时客流与道路变化;三是系统开发层面尚缺面向实际应用的调度辅助系统。在西安市公交系统中,尤其是6公司18路线路,当前调度方式仍以静态排班为主,尚未实现感知-处理-反馈一体化的智能调度流程。为解决此类问题,亟需融合物联网高频采集机制与大数据集成分析能力,构建适配复杂城市交通环境的实时公交调度系统^[2]。

3 基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化价值

当前我国机动车保有量不断增加,城市交通拥堵和空气污染问题日趋严重,而提高公共交通的使用效率就是解决这些问题的一个有效方式。然而当前城市公交调度模式存在着响应慢、频率低以及不能准确应对客流突发性变化的特点。但随着科技迅猛发展,物联网加大数据的调度系统能够实现运行状态的实时感知和主动响应,从而促使城市公交系统实现快速反应。简单而言,一方面可以利用物联网车载终端和站点的设备获取高频度的数据信息,例如:车辆的速度、车上的乘客数量、到站停留的时间等重要数据;另一方面可以通过大数据平台调用不同的结构化数据源,如交通流、天气情况和历史客流量等异构数据,并且根据算法模型计算出适用于各种场景的调度策略。本文基于西安市公交公司6公司的数据接入及技术积累,随后结合实践在原系统的基础上从静态排班推动其实现实时动态调度,使系统的调度更加灵活。同时基于创新层面而言,基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化突破了以往系统封闭、决策滞后的问题,通过该调度算法、仿真模型以及决策系统等联合不仅实现了调度平台的智能化决策,同时解决了城市交通的“高频变化+多因素干扰”难题,从而有效提高了公交车辆的周转效率和准点率。

4 基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化研究

4.1 多维公交数据采集系统设计

在基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化研究中,面向多源异构数据的高频率感知与高可用性采集系统构建是核心技术环节。针对西安市公交运行环境与客流特征,需设计集成式多维公交数据采集系统,构建以车载边缘终端与站点智能节点协同运行的分层感知架构。在车载侧,选取18路公交线路作为试点,安装高精度GPS定位模块(误差<3m)、惯性导航系统(INS)与三轴加速度传感器,

用于实时采集车辆位置、运行速度、加减速行为等关键动态指标;同时部署基于毫米波雷达融合热成像技术的载客量识别模块,实现车内客流密度的动态检测与分布建模。站点侧建立人流量识别的边缘感知终端,集成红外人体感应计数器以及高帧率摄像头,利用YOLOv5深度学习模型实现候车人数识别和排队状态动态标定;另外一方面,在保证高峰期数据传输高稳定性和高吞吐量的前提下,使用5G SA组网并通过MQTT协议进行低时延、高可靠性的数据上传,同时部署边缘网关完成数据本地化预处理及异常数据的初期筛选工作,避免了核心网的数据压力^[3]。此外,站点与车上采用基于LoRa和Wi-Fi的混合组网方式构建微基站通信方式,进行区域协同信息交互,加强了感知节点间的时空一致性。最后,所有原始感知数据均采用JSON标准格式封装后传输到Kafka流式平台入库中心数据湖,进行结构化、半结构化的入库与标注,从而服务于公交调度优化模型的数据底座,为公交调度优化模型提供高质量且时空完整的数据源。

4.2 多源异构数据融合处理机制构建

为构建适应复杂城市环境下公交系统调度优化需求的多源异构数据融合处理机制,本文依托物联网技术与大数据平台,面向西安市公交运行实际,设计融合实时性、完整性与可比性的处理架构。首先,基于Apache Spark构建分布式数据预处理平台,对接车辆GPS数据、城市路况监测信息、气象灾害预警信号及历史客流轨迹数据,依托MLlib模块实现噪声剔除、空值填补(如使用K近邻或贝叶斯插值)、异常检测(采用孤立森林算法)、统一时空索引转换与数据格式标准化操作,提升数据处理吞吐能力与一致性。其次,在语义层级实现空间与时间维度的深度融合,通过构建基于地理编码的站点空间映射模型,完成不同来源数据的站点归属一致化处理,同时基于线网结构信息建立多层次线路匹配机制,并融合统一时间标注机制,通过采取分钟级时间片划分作为时序对齐基础实现异构数据同步融合。特征提取环节采用PCA和KPCA算法对高维特征空间进行压缩,保留道路密度、车速波动、客流集中度等重要的时空指标,继而组成多维少冗余的特征矩阵。为描述交通状态及客流行为高度的非线性耦合作用,应用Apriori和DBSCAN算法完成关联模式挖掘以及聚类分析,提取出高频拥堵节点及突发客流峰值事件的共聚特性演化规律,并由此得到一种整体化的数据表征形式,然后将结构化后的信息带入基于图神经网络及Transformer的调度优化模型中进行多源异构数据的动态交通环境下的高效融合及调度模型的训练。

4.3 公交实时调度优化模型构建

调度优化模型的构建需在满足公交企业运营效益最大化与乘客服务体验最优化之间寻求平衡,需系统纳入运营成本、乘客等待时间、车辆调度均衡性、线路载荷分布等约束因子,建立多目标非线性优化框架。结合西安市公交6公司18路线路运营实际,构建模型时首先以“乘客候车时间最

小化”与“单位时间运营成本最小化”为双目标函数，辅以约束条件集合，包括车载容量限制、路段饱和度上限、调度频次阈值及高峰/非高峰时段差异性要素，形成基于现实规则的优化决策空间^[4]。在模型算法层面，引入融合梯度提升树与多层感知器的异构集成架构，前者用于挖掘非线性客流演变规律与节律性趋势，后者针对高维特征间的交互关系建立复杂函数映射模型，以增强对短时交通状态突变的预测能力。输入变量构建以实证数据驱动为基础，核心特征变量包括分钟级客流分布矩阵、历史调度序列、道路通行指数（通过高德地图API与交警平台数据融合生成）、天气等级分类（结合气象局预报模型分类预处理）及节假日标记二值变量等，所有变量通过归一化与时序对齐处理后构成多维时间序列特征张量。输出结果主要包括发车频率向量、分时段首末车间隔时间、车辆投放节奏图与停靠站策略集合。模型训练采用历史运行数据与物联网采集的实时动态数据相结合的双轨制训练机制，并引入滑动时间窗技术对模型权重参数进行增量式更新，以提升模型对突发性交通扰动与突变客流的自适应能力。根据SHAP算法构建特征重要性评价模块，实现模型结构的可解释和稳定，同时通过仿真验证模型行为逻辑，为工程应用作铺垫；基于AnyLogic构建西安市公交6公司18路典型调度断面并运行仿真实验，利用站点积累客流信息设置仿真场景（雨雪天、早晚高峰期、节日前期等），将该模型运用于具有多样性和不确定性因素的实际运行动态环境，在不干扰模型正常运行情况下，持续输出调度命令，并将其与现有调度规则进行对比分析（如发车间隔均值标准差、线路运行总成本、准点率波动幅度、乘客平均等候时间等），以检验其鲁棒性与可迁移性，为实际部署提供理论依据与技术参数参考。

4.4 调度辅助决策系统开发与集成

为实现基于物联网与大数据融合的城市公交实时调度优化目标，本文构建了一套调度辅助决策系统，系统集成调度算法、可视化组件与反馈机制，构成“获取—分析—决策—反馈”闭环架构。在系统设计方面，前端基于Vue与Echarts框架构建信息动态可视化模块，通过WebSocket协议与后端建立低延迟通信链路，实现车辆GPS轨迹、站点乘客流量热力图、线路运行状态等调度关键数据的实时展示

与交互。后端采用Flask微服务架构，将调度模型、数据接口、用户指令处理解耦部署，支持模块化拓展与容器化编排。调度引擎核心依托Python构建调度模型接口与多方案生成器，系统接收用户自定义运行参数（如发车间隔、运力调度策略、优先级规则等），随后利用遗传算法、粒子群优化算法等算法生成多种调度方案，同时利用客流预测数据、线路运行约束开展动态仿真评估，以实现不同方案可视比分析^[5]。以IoT数据回传为基础构建了反馈模块，具体为：公交车载终端实时采集车辆运行轨迹、站点上客人数、到站时间偏差等运行实时数据，并将乘客通过APP上传的乘车拥堵体验反馈等感受信息一并收集起来组成调度执行效果数据库，为调度模型高频次在线提供训练样本以及支持模型参数更新和模型结构自适应演化。在系统运维层面集成Docker、Kubernetes实现跨平台部署及弹性伸缩，并建立分布式数据库备份机制以及高并发压力模拟模块，保证多终端并发情况下的高可用性与调度响应实时性。

5 结语

基于物联网和大数据融合的公交实时调度优化不仅是提高城市公共交通服务水平的主要路径，同时也是智慧交通的重要组成部分。本文从西安公交6公司18路调度的实际情况出发，提出构建多源数据采集、智能调度建模和系统集成为一体的公交车调度优化体系，研究发现采用融合式的架构可以做到对公交调度更加精准及时的部署和应对，避免过多的资源浪费，实现更好的调度效率以及乘客体验。

参考文献

- [1] 王增鑫,孙锐.利用物联网技术实现城市公交线路实时监控与优化调度[J].人民公交, 2024(17):75-79.
- [2] 王增鑫,孙锐.城市公共交通智能调度系统设计与实现——基于物联网与大数据技术[J].人民公交, 2024(13):89-93.
- [3] 王成杰,徐九韵,朱兰芳,等.物联网数据融合的动态队列感知CSMA调度方案[J].计算机与数字工程, 2023, 51(1):181-185.
- [4] 公维杰,黄钰婷.基于物联网的公共交通客流预测研究[J].人民公交, 2024(11):77-82.
- [5] 张聪.智慧城市多维感知数据预测与公共资源调度技术研究[D].北京邮电大学,2022.