

基于大数据的城市交通信号配时动态优化策略研究

傅金辉

泰豪电源技术有限公司 江西南昌 330000

摘要: 伴随城市化进程的持续推进,城市交通流量呈不断增长态势,交通拥堵问题愈发凸显。作为城市交通管理的关键环节,交通信号配时的合理性对交通运行效率起到决定性作用。传统的信号配时方法往往难以适应动态变化的交通需求。本研究依托大数据技术,探究城市交通信号配时的动态优化策略。通过整合多源城市交通数据,涵盖车辆轨迹信息、交通流量统计以及实时路况数据,运用数据分析与挖掘技术进行深度处理,精准把握交通流量的动态变化规律。在此前提下,依据不同时段和路段的交通需求实时调整信号配时方案。基于大数据的动态优化策略能够显著提高城市交通运行效率,减少车辆等待频次和延误时长,缓解交通拥堵状况,为城市交通管理提供了科学且高效的解决办法。

关键词: 大数据;城市交通;信号配时;动态优化策略

引言

近年来,我国城市规模不断扩大,人口持续增长,机动车保有量也迅速攀升。这一趋势使得城市交通系统承受巨大压力,交通拥堵现象频发,不仅对居民出行造成不便,还对经济发展和环境质量产生不利影响。交通信号控制是城市交通管理中的核心内容之一,其目标是通过合理分配道路时空资源,确保交通流高效、有序运行。然而,传统信号配时方案多依赖于历史交通数据,具有较强的固定性和滞后性,难以适应实时变化的交通需求。例如,在早晚高峰时段,交通流量波动较大,而传统配时方案往往无法及时响应,导致部分路口出现车辆积压严重、通行效率下降的问题。

一、城市交通信号配时现状与挑战

(一) 传统信号配时方法及其局限性

剖析传统信号配时方法及其局限性,可揭示现有技术应对现代交通问题的内在缺陷。传统方法如韦伯斯特模型、ARRB方法等,基于历史交通流量数据建立数学模型计算固定信号参数。然而,其输入数据静态、宏观,无法反映交通流动态变化;计算过程有大量简化假设,与实际交通复杂因素不符。因此,基于这些模型的配时方案常偏离最优状态,制约城市交通效率提升。

(二) 城市交通流特性与信号配时的关联性

研究城市交通流特性与信号配时的关联性,能从交通流理论层面阐明动态优化的必要性与可行性。城市交通流具有时空分布特性,在时间上有早晚高峰等周期差

异,空间上不同区域和道路等级交通压力不均,且具有突发性。信号配时参数需与交通流特性紧密关联,固定配时方案无法满足不同时段需求。深入理解并量化交通流动态特性,是信号配时转向“主动引导”和制定动态优化策略的理论与科学依据^[1]。

(三) 当前信号配时系统中的主要问题

分析当前信号配时系统的主要问题,可为后续技术方案设计提供明确目标。现有系统存在数据获取能力不足,依赖线圈检测器,信息有限;优化算法滞后,多采用传统控制逻辑,优化周期长;缺乏协同控制能力,信号控制机独立运行,形成“红波带”等问题,导致系统在复杂交通需求下低效僵化。

(四) 大数据技术引入的必要性与优势

阐述大数据技术引入的必要性与优势,可论证本研究技术路线的先进性与不可替代性。引入大数据技术是解决上述问题的必然选择,因其传统数据源和处理方法失效。大数据技术优势体现在:数据源全面多样,可整合多源异构数据构建交通态势感知网络;数据处理与分析高效,能实时处理海量数据挖掘规律、预测状态;优化模型智能自适应,可根据实时数据自动生成最优配时方案,实现从“经验驱动”到“数据驱动”转变,为解决交通拥堵提供革命性方案。

二、基于大数据的交通信号配时动态优化方法

(一) 大数据采集与处理框架构建

大数据采集与处理框架构建为动态优化系统提供数据基础,是后续分析与决策的前提,其设计实现决定优

化策略精度、时效性和可靠性。数据采集需接入多源异构数据,如电警、定点检测器、浮动车GPS轨迹及手机信令数据等。数据处理要具备清洗、融合与标准化能力,清洗剔除无效异常数据,融合整合不同数据,标准化统一数据格式和时空基准。该框架将原始交通数据转化为决策信息资产,是系统运行的基石^[2]。

(二) 动态交通流状态识别与预测方法

动态交通流状态识别与预测方法让系统能主动预判,核心是用处理后的大数据量化和推断交通流状态。状态识别实时判别交通状况,划分等级、定位瓶颈和拥堵点,为决策提供依据。交通流预测运用多种算法,预测未来交通流量、速度变化趋势,捕捉周期性规律和空间传播特性,使信号控制提前干预,提升优化策略前瞻性和有效性,是动态优化关键环节。

(三) 信号配时参数自适应调整机制

信号配时参数自适应调整机制将交通流识别与预测结果转化为控制指令,是优化方法的“决策中枢”。其核心是建立算法模型,自动调整周期时长、绿信比和相位差等关键参数。周期时长匹配路口流量,绿信比分配绿灯时间,相位差协调交通流形成“绿波带”。该机制建立映射关系,用优化算法搜索最优解,实现信号控制从“固定方案”到“按需定制”。

(四) 动态优化策略的系统实现架构

动态优化策略的系统实现架构将数据采集、状态预测、参数调整等技术集成到软硬件平台,是研究成果应用的载体。架构设计兼顾多方面性能,采用分层设计,包含感知层、网络层、数据层、分析层、控制层和应用层。感知层采集数据,网络层传输数据,数据层存储管理数据,分析层进行运算决策,控制层下发配时方案,应用层提供交互界面。该架构确保动态优化策略稳定运行,转化为交通管理效益,是成果应用的技术保障^[3]。

三、动态优化策略的实施效果评估

(一) 评估指标体系构建

评估指标体系构建的价值在于为效果评估提供一套科学、全面、可衡量的标准,避免评估过程的主观性和片面性。一个完善的指标体系是客观反映优化策略实施效果的基础。该体系的构建遵循系统性、层次性、可操作性和导向性原则,从多个维度对交通运行状况进行综合考量。指标体系通常包含三个主要层面:效率指标、安全指标和环境指标。效率指标是核心,直接反映交通系统运行的顺畅程度,具体包括路网或关键路口的平均行程时间、平均延误时间、平均停车次数、车辆排队长

度、通行能力饱和度以及路网整体运行速度等。这些指标能够直观地体现动态优化策略对提升交通通行效率的贡献。安全指标关注交通运行的安全水平,包括交叉口冲突点的减少数量、交通流速度的离散程度(速度方差)、急加速和急减速事件的发生频率等。这些指标间接反映了优化策略在减少交通拥堵、稳定交通流方面对提升交通安全性的积极作用。环境指标则衡量策略实施对城市环境的影响,主要包括车辆怠速时间的减少量、因行驶效率提升而降低的燃油消耗量,以及相应的尾气污染物(如一氧化碳、氮氧化物、颗粒物)排放减少量。通过构建这样一个多维度的评估指标体系,能够全面、立体地评价动态优化策略的综合效益,使其价值不仅体现在交通效率的提升上,也延伸至公共安全和环境保护领域,为策略的推广和应用提供强有力的数据支撑。

(二) 动态优化策略实施前后对比分析

动态优化策略实施前后对比分析的价值在于通过实证数据,直接、清晰地展示优化策略所带来的具体改善效果,是验证策略有效性的最直接手段。这一分析过程依赖于严谨的实验设计和数据采集。在策略实施前,需要选择具有代表性的评估区域和评估时段,进行为期足够长的基础数据采集,建立起交通运行状态的基线。这些基线数据包括但不限于各路口的分时段流量、平均车速、排队长度、延误时间等,并与3.1节中构建的评估指标体系一一对应。在动态优化策略部署并稳定运行后,在相同的评估区域和评估时段内,再次进行相同指标的数据采集。通过将实施后的数据与实施前的基线数据进行逐一对比和统计分析,可以精确计算出各项指标的改善幅度。例如,可以得出主干道平均行程时间缩短的百分比、关键交叉口平均延误时间减少的秒数、路网整体平均速度提升的公里/小时数,以及车辆燃油消耗和污染物排放降低的具体数值。这种基于同一场景、同一标准的对比分析,排除了其他干扰因素,使得评估结果具有高度的可信度和说服力。其价值不仅在于证明了策略的有效性,更在于能够量化这种有效性,为交通管理部门评估投资回报、制定推广计划提供了坚实的事实依据^[4]。

(三) 不同交通场景下的优化效果分析

不同交通场景下的优化效果分析的价值在于揭示动态优化策略的适应性和鲁棒性,明确其在各类复杂交通条件下的表现特征和适用范围。城市交通状态并非一成不变,而是呈现出明显的时变特征和场景差异。因此,仅在单一或平均状态下评估策略效果是不全面的。本部

分的分析将选取几种典型的交通场景进行专项评估。第一种是高峰拥堵场景,重点评估策略在交通流量接近或超过道路通行能力时的表现,考察其能否通过精细化的配时调整,最大限度地缓解拥堵、防止路口死锁、维持交通流的有序通行。第二种是平峰顺畅场景,评估策略在交通流量较低、道路资源相对充裕时的表现,考察其能否通过减少不必要的红灯等待时间,提升车辆通行效率,实现“绿波带”的协调控制,降低行车延误。第三种是特殊事件场景,如大型活动、节假日、交通事故或恶劣天气等,评估策略在应对突发性、异常性交通需求时的响应速度和调整能力,考察其能否快速重新分配路权,引导交通流绕行,尽快恢复交通秩序。通过对这些差异化场景的深入分析,可以全面了解动态优化策略的优势与局限。例如,策略可能在高峰拥堵场景下对延误的改善效果显著,但在特殊事件场景下对交通流的疏导能力仍有提升空间。这种精细化的分析结果,对于策略的实际部署和运营具有重要指导意义,能够帮助管理者根据不同区域、不同时段交通特点,制定更为精准的应用策略和应急预案。

(四) 实施过程中存在的问题与改进方向

实施过程中存在的问题与改进方向的价值在于体现研究的严谨性和前瞻性,通过对实践过程中遇到的现实挑战进行深入剖析,为技术的持续完善和未来的研究方向提供明确指引。任何一项新技术在从理论走向实践的过程中,都不可避免地会遇到各种预想不到的问题。对这些问题的识别、分析和总结,是推动技术不断成熟和进步的必要环节。在动态优化策略的实施过程中,可能暴露的问题主要集中在几个方面。一是数据质量问题,例如部分检测器数据缺失、异常或精度不高,会直接影响状态识别和预测的准确性,进而影响优化决策的质量。二是模型泛化能力问题,训练好的优化模型在特定区域表现良好,但当应用于交通特征差异较大的其他区域时,其效果可能会打折扣,存在“过拟合”风险。三是系统可靠性与稳定性问题,在长时间、高负荷的运行状态下,软件系统或通信网络可能出现故障,导致优化指令无法及时下发,影响控制效果。四是人机协同与决策权分配问题,在何种情况下应完全由系统自动决策,何种情况下需要交通管理人员进行人工干预,是一个需要精细设计的操作规范问题。针对这些问题,改进方向也相应明确。针对数据质量问题,需要加强数据清洗算法的研究,

并构建多源数据融合机制,提高数据的鲁棒性。针对模型泛化问题,需要研究迁移学习、联邦学习等先进机器学习方法,提升模型在不同环境下的适应能力。针对系统可靠性问题,需要从系统架构层面引入冗余设计、故障自愈和降级运行机制。针对人机协同问题,则需要开发更为智能的辅助决策支持系统,为管理人员提供清晰、可靠的决策建议。通过对这些现实问题的直面和系统性思考,本研究不仅提供了当前阶段的解决方案,更规划了未来技术演进的路线图,确保研究成果能够持续迭代,不断适应未来城市交通发展的新需求和新挑战^[5]。

结语

基于大数据的城市交通信号配时动态优化策略在提升交通效率、保障安全和改善环境方面优势显著、潜力巨大。通过大数据采集处理、交通流状态识别预测及信号配时参数自适应调整等方法,构建了高效、稳定且具前瞻性的动态优化系统。其实施效果从多维度得到验证,证明了有效性和可靠性。但实施中也暴露出数据质量、模型泛化能力等方面的问题。为此,提出了改进方向以完善技术、提升系统性能和适应性。未来,随着相关技术发展,该策略将不断迭代升级,更好适应交通复杂性。期望本研究为交通管理部门提供参考,推动策略广泛应用,改善拥堵、提升出行体验、促进城市可持续发展,也希望更多研究者关注该领域,探索更优方案。

参考文献

- [1] 王金富.基于流量大数据的智能交通信号控制系统分析[J].城市建设理论研究(电子版),2019(36):59-59.DOI: CNKI: SUN: CSJL.0.2019-36-053.
- [2] 张伟,高乐,邱刚,等.基于大数据的城市智能交通信号灯系统研究[J].西部交通科技,2021,000(009):165-168.
- [3] 李林,钟鋈,谢凯.大数据视角下城市交通网络优化策略研究——以湖南省龙山县城为例[C]//面向高质量发展的空间治理——2021中国城市规划年会论文集(05城市规划新技术应用).2021.
- [4] 王笑予.基于大数据分析的城市交通状态监测与预报[D].上海交通大学,2019.
- [5] 邓明攀.城市轨道交通信号系统智能运维[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2022(4):4.