

基于物联网的智能交通灯控制系统

张焕想

郑州工业应用技术学院

DOI:10.32629/acair.v4i2.20415

[摘要] 交通信号灯是城市道路交通管理最基础的控制手段,其配时方案的科学性直接影响着路口的通行效率和交通安全水平。传统交通灯多采用固定配时或简单感应控制模式,难以实时适应动态变化的车流状况,在高峰时段极易造成局部拥堵和资源浪费。物联网技术为交通灯控制系统的智能化升级提供了全新的技术思路。本文围绕基于物联网的智能交通灯控制系统展开系统研究,首先分析了传统交通灯控制的局限性及物联网赋能交通灯控制的技术逻辑;其次,从系统架构设计、感知数据采集、智能配时算法和多路口协调控制四个方面详细阐述了系统的关键技术与实现方案;最后,针对部署实施中面临的通信可靠性、系统安全和运维管理等问题提出了优化建议。

[关键词] 物联网; 智能交通灯; 信号控制; 动态配时; 车流感知

中图分类号: TN915.5 **文献标识码:** A

IoT-Based Intelligent Traffic Light Control System

Huanxiang Zhang

Zhengzhou University of Industrial Technology

[Abstract] Traffic signal lights serve as the most fundamental control measure in urban road traffic management, and the scientific quality of their timing plans directly affects intersection throughput and traffic safety. Traditional traffic lights mostly adopt fixed-time or simple actuated control modes, which are unable to adapt in real time to dynamically changing traffic flows, often causing localized congestion and resource waste during peak hours. The Internet of Things (IoT) technology provides a novel technical approach for the intelligent upgrading of traffic light control systems. This paper conducts a systematic study on IoT-based intelligent traffic light control systems. It first analyzes the limitations of traditional traffic light control and the technical logic of IoT-enabled signal control. Then, from four aspects including system architecture design, perceptual data collection, intelligent timing algorithms, and multi-intersection coordinated control, the key technologies and implementation schemes of the system are elaborated in detail. Finally, optimization suggestions are proposed for challenges such as communication reliability, system security, and operation and maintenance management encountered during deployment.

[Key words] Internet of Things; intelligent traffic light; signal control; dynamic timing; traffic flow perception

引言

交通信号灯自20世纪初诞生以来,一直是城市交叉路口交通组织和冲突消解最核心的管理工具。经过百余年的发展,信号控制技术已经从最初的人工手动切换演进到定时控制和半感应控制阶段,但多数城市路口目前仍在使用预先设定的固定配时方案。这类方案通常依据历史交通调查数据计算得出,一旦投入使用便长期保持不变,除非交通管理部门进行人工调整。然而,城市交通流量具有显著的时变性和随机性特征,工作日与周末的车流模式差异明显,同一天内的早高峰、平峰和晚高峰阶段交通需求各不相同,突发事件和大型活动更会导致车流量的剧烈

波动。固定配时方案无法响应这些动态变化,在车流量较大的方向上绿灯时间可能不够用导致排队溢出,而在车流量较小的方向上绿灯时间又存在冗余造成通行资源浪费。

物联网技术为交通灯控制的智能化变革提供了坚实的技术底座^[1]。本文在此基础上,从系统架构、关键技术和实际部署挑战三个层面对基于物联网的智能交通灯控制系统进行系统剖析,力图为该领域的技术研究和工程实践提供有价值的参考。

1 传统交通灯控制的局限性与物联网赋能逻辑

1.1 传统控制模式的主要不足

当前城市路口交通灯控制大致可分为定时控制、感应控制和联网协调控制三种模式。定时控制模式下,各相位的绿灯时长完全按照预设的固定方案循环运行,不考虑路口实际的车流变化,其最大弊端在于无法应对交通需求的动态波动。感应控制模式虽然引入了车辆检测器来感知路口的车辆存在,但受限于检测手段的单一性和数据处理能力的不足,仅能进行有限的配时微调,无法实现真正意义上的全局优化。联网协调控制在部分城市的主干道上有所应用,通过光缆将相邻路口的信号机连接并统一调度以实现绿波通行,但这种方案的建设成本较高,且调度策略的灵活性受限于中心控制系统的计算能力^[2]。

1. 2物联网赋能交通灯控制的技术逻辑

物联网技术之所以能够从根本上改变交通灯控制的方式,在于它提供了一套从实时感知到智能决策再到精准执行的完整技术链条。在感知层面,物联网借助多种类型的路侧传感器和车载通信终端,能够以秒级甚至亚秒级的时间精度获取路口各进口方向的车辆数量、排队长度、车速和车辆类型等多维度交通参数,这些高频实时数据远比传统的人工调查和定点检测更加全面准确。在传输层面,物联网的多种通信手段保证了感知数据能够快速可靠地到达处理平台。在决策层面,云计算和边缘计算提供的强大算力使得复杂的配时优化算法能够在极短的时间内完成运算,生成适应当前交通状况的最优配时方案。在执行层面,优化后的信号配时方案通过网络即时下发至路口信号机,实现信号灯的实时动态调整。这一闭环控制链条使得每一个信号周期的配时都可以根据最新的交通数据进行优化,交通灯不再是按部就班运转的机械装置,而是能够感知环境、思考决策和自适应调整的智能系统。

2 系统关键技术与实现方案

2.1 系统架构设计

基于物联网的智能交通灯控制系统在整体架构上采用端、边、云三级协同的设计思路。端侧层部署在每一个受控路口,包括各类交通流量感知设备、信号控制机和本地通信模块,负责交通数据的实时采集和信号灯的直接驱动。边缘层以区域交通管理节点的形式部署在若干相邻路口的地理中心位置,配备具有一定计算能力的边缘服务器,负责对管辖区域内各路口上报的实时数据进行汇聚处理,并执行区域级别的多路口协调优化算法。云端层是整个系统的中枢平台,部署在交通管理中心的数据机房或公有云上,负责全市交通数据的存储分析、宏观交通态势的研判、长周期配时方案的优化迭代和系统的统一管理维护^[3]。这种三级架构在保障单路口控制实时性的同时,兼顾了区域协同和全局优化的需要。

2.2 多源交通数据感知与融合

交通数据的全面准确采集是智能配时决策的前提和基础。物联网智能交通灯系统综合运用多种感知手段来获取路口的交通状态信息。地磁车辆检测器埋设于路面下方,通过检测车辆经过时引起的地球磁场扰动来统计车辆数量和判断车辆存在,具有安装隐蔽、不受天气影响和维护方便的优点。毫米波交通雷达

架设于路口上方的杆件上,能够同时检测多个车道上车辆的位置、速度和行驶方向,覆盖范围较大且在雨雪雾等恶劣天气下仍能稳定工作。高清视频摄像头配合视觉智能分析算法,可以从监控画面中自动提取车辆计数、排队长度估算和交通事件识别等信息。此外,通过车路协同通信获取的车载终端上报数据也是一个日益重要的信息来源^[4]。多源数据经过时空对齐和融合处理后,形成对路口交通状况的全景式描述,为后续的智能配时算法提供高质量的输入。

2.3 智能信号配时优化算法

智能配时算法是整个系统的核心智能所在,其性能直接决定了交通灯控制的优化效果。相较于传统的固定配时计算方法,基于物联网实时数据驱动的配时优化算法可以根据路口当前的交通需求动态生成最优的相位方案和绿灯时长分配。在单路口层面,系统根据各进口方向的实时车流量和排队长度,运用模糊控制或强化学习等算法实时调整各相位的绿灯持续时间。当某一方向的车流量明显增大时,算法自动延长该方向的绿灯时间并适当压缩车流较少方向的绿灯时间,使路口的通行能力始终与实际交通需求保持匹配。在实现过程中,算法需要兼顾多个优化目标,最小化路口所有方向的平均延误时间、避免单一方向等待时间过长引发排队溢出、保障行人过街的最低绿灯安全时间以及为特种车辆提供优先通行保障。这些约束条件之间可能存在相互矛盾的关系,算法需要在它们之间寻找合理的平衡点^[5]。

2.4 多路口绿波协调控制

单路口的独立优化虽然能够改善局部的通行效率,但城市道路上相邻路口之间的车流存在密切的上下游关联关系,如果各路口各自为政地进行信号优化,很可能出现上游路口放行的车队到达下游路口时正好遇到红灯而不得不再次停车等待的情况。绿波协调控制正是为解决这一问题而设计的方案,其核心思想是通过合理设置主干道上相邻路口之间的信号相位差,使车辆以推荐的行驶速度沿主干道行进时能够连续通过多个路口而不必停车,形成绿灯波的效果。在物联网技术的支撑下,绿波协调控制的实现方式较传统方案有了质的提升。边缘计算节点汇聚管辖区域内所有路口的实时车流数据后,综合考虑各路口之间的距离、车流量分布和车辆行驶速度等因素,动态计算最优的相位差方案,而非依赖事先设定的固定相位差参数。当主干道的车流分布发生显著变化(如某一路口发生事故导致车流改道)时,系统能够快速重新计算并调整相位差方案,保证绿波效果不被打破。这种数据驱动的自适应绿波协调策略能够显著提升主干道的整体通行效率,降低沿途车辆的平均停车次数和延误时间。

3 部署实施中的问题与优化建议

3.1 通信可靠性保障

交通灯控制属于对实时性和可靠性要求极高的关键基础设施,通信链路一旦出现中断或严重延迟,可能导致路口信号灯无法正常切换,进而引发交通秩序混乱甚至安全事故。因此,通信

可靠性的保障是系统部署中必须优先解决的问题。建议在通信方案设计中采用有线与无线相结合的冗余架构,主通信链路使用光纤专线确保带宽和稳定性,备用链路使用4G/5G蜂窝网络在主链路故障时自动接管,同时在路口信号机本地固化一套应急配时方案,确保在极端情况下通信完全中断时信号灯仍能维持基本的安全运行。

3.2 系统安全防护

智能交通灯控制系统一旦被恶意入侵和篡改,后果不堪设想。攻击者如果能够远程控制信号灯的状态切换,可能故意制造冲突信号导致严重交通事故。系统安全防护应当从网络隔离、通信加密、访问控制和入侵检测四个层面建立纵深防御机制。控制网络应与互联网进行物理或逻辑隔离,所有的控制指令和数据传输必须经过加密认证,对信号机的远程访问实施严格的身份验证和操作审计,同时部署专门的安全监测系统对网络中的异常流量和可疑行为进行实时检测和告警。

3.3 运维管理与持续优化

路口感知设备长期暴露在室外环境中,面临着日晒雨淋、灰尘侵蚀和车辆振动等不利因素的影响,设备故障的概率随使用时间的延长而逐步上升。建立一套完善的设备健康监测和运维管理机制是保障系统长期稳定运行的必要条件。物联网平台本身可以对各路口感知设备和通信模块的在线状态进行实时监控,一旦某个设备离线或数据质量下降便自动生成维护工单。在算法层面,配时优化模型也需要随着城市交通格局的变化而持续迭代更新,定期利用积累的历史数据对算法参数进行重新训练和校准,确保优化效果不会随时间推移而衰减。

4 结语

基于物联网的智能交通灯控制系统代表了城市交通信号管

理从经验驱动向数据驱动转型的重要方向。本文从传统控制模式的不足出发,系统阐述了物联网赋能交通灯控制的技术逻辑和系统架构,深入分析了多源数据感知融合、智能配时优化算法和多路口绿波协调控制等关键技术的实现方案,并就通信可靠性、系统安全和运维管理等现实挑战提出了针对性的应对建议。物联网技术的引入使交通灯从被动执行固定程序的简单装置进化为能够感知环境并自主决策的智能系统,对于提升路口通行效率、减少车辆延误和改善城市交通环境具有切实可行的应用价值。随着通信技术、人工智能算法和车路协同体系的持续发展,智能交通灯控制系统的精细化和智慧化水平必将进一步提升,为构建更加畅通、安全和宜居的城市交通体系贡献更大的力量。

[参考文献]

- [1]张安顺.基于物联网的智能交通管理系统设计[J].佳木斯大学学报(自然科学版),2026,44(01):38-40+33.
- [2]孙应兵.面向县域智能交通的物联网通信架构与关键技术[J].中国信息化,2025,(12):161-162.
- [3]赖名廉.智能交通物联网中5G移动通信技术的应用研究[J].数字通信世界,2025,(10):131-133.
- [4]吴颖.基于物联网的智能交通设施综合管理平台研究与设计[J].传感器世界,2025,31(06):37-42.
- [5]刘春芽,苏江峰,谢子龙,薛雪,寇玉佼.基于物联网技术的智能交通控制系统研究[J].人民公交,2025,(06):130-132.

作者简介:

张焕想(2006--),女,河南省平顶山市郏县人,本科在读,主要研究方向:物联网工程。