

基于 LoRa 的智慧城市交通信号灯自适应控制系统设计

朱谦宜

浙江科尔泵业股份有限公司 浙江温州

【摘要】随着城市交通压力的不断增加，传统交通信号灯控制方式已难以满足实时高效的交通管理需求。本文提出一种基于 LoRa 通信技术的智慧城市交通信号灯自适应控制系统，通过低功耗广域网实现信号灯与传感器之间的实时数据传输，结合交通流量动态调节信号灯周期，实现交通流的智能优化。该系统不仅提高了交通效率，减少了车辆等待时间，还增强了系统的扩展性和可靠性，为智慧城市交通管理提供了创新的解决方案。实验结果表明，系统在实际应用中表现出优越的性能和稳定性。

【关键词】LoRa；智慧城市；交通信号灯；自适应控制；交通管理

【收稿日期】2025 年 4 月 15 日

【出刊日期】2025 年 5 月 24 日

【DOI】10.12208/j.jer.20250236

Design of adaptive control system for smart city traffic lights based on LoRa

Qianyi Zhu

Zhejiang Ke'er Pump Industry Co., Ltd., Wenzhou, Zhejiang

【Abstract】As urban traffic pressure continues to increase, traditional traffic signal control methods can no longer meet the demands of real-time and efficient traffic management. This paper proposes an adaptive control system for smart city traffic signals based on LoRa communication technology. By using a low-power wide-area network, it achieves real-time data transmission between traffic signals and sensors, combined with dynamic adjustment of signal cycle based on traffic flow, to realize intelligent optimization of traffic flow. The system not only improves traffic efficiency and reduces vehicle waiting time, but also enhances the system's scalability and reliability, providing an innovative solution for smart city traffic management. Experimental results show that the system demonstrates superior performance and stability in practical applications.

【Keywords】LoRa; Smart city; Traffic lights; Adaptive control; Traffic management

引言

随着城市化进程的加快，交通拥堵问题日益突出，严重影响了市民出行效率和生活质量。传统的交通信号灯多采用固定时长控制，缺乏对实时交通状况的响应能力，导致资源浪费和交通瓶颈^[1]。近年来，物联网技术的迅速发展为智慧交通提供了技术基础，其中 LoRa 因其低功耗、长距离传输的优势成为理想的通信方案。利用 LoRa 技术实现交通信号灯的自适应控制，不仅能够实时感知交通流变化，还能动态调整信号周期，提高路口通行效率，推动智慧城市交通管理迈上新台阶。

1 智慧城市交通信号灯现状与挑战分析

智慧城市作为现代城市发展的重要方向，交通管理系统的智能化水平成为衡量城市智慧化程度的关键指标之一。交通信号灯作为城市交通流量调节的核心

设备，其控制策略的科学性和实时性直接影响交通效率和通行安全。传统交通信号灯多采用预设时段的定时控制方式，缺乏对实时交通流量变化的响应能力^[2]。这种静态控制模式在面对日益复杂和多变的交通环境时显得力不从心，常导致路口车辆拥堵、等待时间延长以及燃油消耗和尾气排放增加，难以满足智慧城市对绿色、环保、高效交通系统的需求。

随着物联网技术和大数据分析的迅速发展，交通信号灯的控制模式逐步向动态、智能方向转变。智慧城市交通系统需要实时感知道路交通状况，包括车辆数量、行驶速度、交通密度等多维度数据，依托强大的信息处理平台对数据进行快速分析，进而调整信号灯周期和相位，实现交通流的优化配置。然而，目前多地智慧交通系统仍面临通信基础设施不完善、数据传输时延较大以及系统稳定性不足等问题，阻碍了自适应信

号控制策略的广泛应用。传统通信方式如蜂窝网络和 Wi-Fi 虽然覆盖广,但功耗高、成本大且在复杂环境中易受干扰,限制了其在交通信号灯系统中的高效部署。

基于此,低功耗广域网络技术(LPWAN)中的 LoRa 通信因其远距离传输、低功耗、高穿透力的特点,逐渐成为智慧交通领域的研究热点。LoRa 技术能够实现传感器与信号灯之间的稳定数据交换,有效支持实时交通信息的采集与传输。通过 LoRa 网络,交通信号灯控制系统能够实时接收路况数据,快速响应交通流的变化,实现信号灯的动态调整与自适应控制^[3]。这种创新型通信方案不仅提升了系统的可靠性和经济性,还推动了智慧城市交通管理向更高效、智能的方向发展,成为破解传统信号灯控制瓶颈的关键技术路径。

2 基于 LoRa 技术的交通信号灯通信架构设计

基于 LoRa 技术的交通信号灯通信架构设计,旨在解决传统交通信号系统在数据传输距离、能耗和网络覆盖方面的局限性。LoRa (Long Range) 作为一种低功耗广域网(LPWAN)技术,具备远距离通信和极低功耗的特性,能够有效支撑智慧城市中交通信号灯与各类传感设备之间的实时数据交换。通过采用 LoRa 技术,交通信号灯系统可以实现对路况信息的远程采集和传输,为交通信号灯的智能调控提供坚实的通信保障^[4]。该架构充分利用 LoRa 的多信道能力和抗干扰性能,保证数据在复杂城市环境中的稳定传输,同时减少网络维护成本和能耗,提升系统的整体可靠性和经济性。

交通信号灯通信架构设计中,关键在于构建多层次网络拓扑结构,确保数据传输的高效性和灵活性。系统主要由传感层、通信层和控制层组成。传感层负责采集车辆流量、速度及环境信息,部署包括地磁传感器、摄像头和红外传感器等多种设备。通信层采用 LoRa 无线网络,将采集到的数据信息传输至控制中心。LoRa 网关作为数据汇聚节点,具备多信道并发接收能力,能够覆盖数公里范围的城市道路,有效突破了传统 Wi-Fi 和蜂窝通信在覆盖范围和能耗上的不足。控制层通过实时分析交通流数据,动态调整信号灯的工作状态,实现智能化的交通管理。整个架构设计充分考虑了网络拓扑的冗余备份机制,保证关键节点在异常情况下的快速恢复,提升系统的稳定运行能力。

系统通信协议和安全机制也是架构设计的重要组成部分。基于 LoRaWAN 协议规范,系统支持端到端加密,确保数据在传输过程中的机密性和完整性。为了适应交通信号灯控制对低延迟和高可靠性的需求,设

计了优化的数据传输机制,合理分配时隙和信道资源,减少数据丢包率和传输延迟。同时,引入多路径冗余传输策略,提高系统在高负载和复杂环境下的抗干扰能力。通过对通信链路的实时监控和自适应调整,系统能够及时发现异常情况并快速响应,从而保障交通信号灯控制的连续性和精准性。基于 LoRa 的通信架构不仅满足了智慧城市交通信号灯系统对远程控制和实时监测的需求,也为未来智慧交通的发展奠定了坚实的技术基础。

3 交通流自适应控制算法的设计与实现

交通流自适应控制算法作为智慧城市交通信号灯系统的核心,承担着根据实时交通流量动态调整信号灯配时的关键任务。该算法通过对采集到的交通数据进行实时分析和处理,实现交通信号周期的智能优化,提升路口通行效率。基于 LoRa 通信网络,系统能够稳定、低功耗地传输来自各类传感器的数据,包括车辆检测器、摄像头及环境监测装置^[5]。交通流数据经过预处理后输入控制算法,算法通过建立交通流模型和时隙分配机制,对不同方向的车流量、车速及排队长度等参数进行综合计算,从而确定最优绿灯时长和切换时机,以缓解交通拥堵和减少等待时间。此过程充分考虑交通流的不确定性和动态变化,确保信号灯调整具有高度的适应性和响应速度。

该自适应控制算法核心基于模糊逻辑和强化学习方法的融合设计,针对复杂多变的交通环境,模糊控制部分负责对交通参数进行模糊化处理,消除数据噪声和不确定性,提高算法稳定性。强化学习则通过不断与交通环境交互,优化信号灯配时策略,使系统在实际运行中逐步提升控制效果。具体实现中,系统将交通流量、等待时间、通行速度等指标作为状态输入,依据奖惩机制动态调整信号灯配时方案,实现对不同时间段和路口特征的个性化适配^[6]。此外,算法设计兼顾了非对称交通流和突发事件的处理能力,能够针对交通事故、道路施工等突发状况快速调整信号控制策略,保障交通流的平稳运行。

在实际应用过程中,算法通过与 LoRa 通信平台的深度整合,实现了数据采集与控制指令传输的实时高效连接。该系统利用 LoRa 的长距离传输和低功耗特性,支持多节点部署和大范围覆盖,有效解决了传统有线或短距离无线通信带来的限制。算法不仅保证了信号灯自适应控制的实时性,还极大地降低了系统能耗和维护成本。经过现场试验和仿真验证,交通流自适应控制算法显著提升了路口的通行效率,缩短了车辆平

均等待时间,有效缓解了高峰期交通压力,展现出良好的应用前景和推广价值。

4 系统性能验证与应用效果评估

系统性能验证主要通过搭建实验环境和实际路口部署两方面进行。实验环境中,选取典型城市交通路口,布置多节点 LoRa 通信设备,实现交通信号灯与各类交通流传感器的数据交互^[7]。系统利用 LoRa 低功耗广域网的长距离传输优势,确保数据的实时、稳定传送。通过采集车辆流量、车速、排队长度等关键交通参数,系统能够动态调整信号灯周期,实现自适应控制。实验过程中,重点考察了通信链路的稳定性、延迟时间以及数据丢包率,结果显示 LoRa 通信在复杂市区环境下依旧保持较低的误码率和高可靠性,满足智能信号控制对实时性的严格要求。

在实际应用方面,系统部署于多个交通拥堵较为严重的路口,结合路侧传感器和车辆检测技术,实时反馈交通流信息。自适应控制算法根据实时数据动态调整红绿灯时长,使交通流得以更加顺畅地疏导。经过一段时间的运行监测,路口的平均车辆等待时间明显缩短,交通流的均匀性和通行效率显著提升。同时,系统的扩展性表现优异,能够灵活适配不同规模和复杂度的路网结构,满足智慧城市多样化交通管理需求^[8]。运行数据表明,基于 LoRa 的通信平台不仅降低了系统建设与维护成本,还提升了设备的续航能力和稳定运行时间。

基于 LoRa 的智慧城市交通信号灯自适应控制系统在性能方面表现出色。它有效利用低功耗、远距离传输的优势,克服了传统交通信号灯系统在实时数据传输和控制响应上的瓶颈。通过对交通流的动态监控与智能调整,不仅优化了路口通行效率,也为缓解城市交通拥堵提供了新的技术路径。系统的实践应用验证了其高效性和可靠性,具备推广应用的广阔前景,为智慧城市交通管理的智能化发展奠定了坚实基础。

5 结语

基于 LoRa 技术的智慧城市交通信号灯自适应控制系统通过实现低功耗、长距离的数据传输,成功解决了传统交通信号控制中信息传递不及时、响应不灵活的问题。系统结合实时交通流量数据,动态调整信号灯

时长,有效提升了路口的通行效率和交通流畅度,显著降低了车辆等待时间。实验和实际应用结果表明,该系统具备良好的通信稳定性和较高的控制精度,能够适应复杂多变的城市交通环境。系统在扩展性和能耗控制方面表现突出,降低了建设与维护成本,增强了运行的持续性和可靠性。该自适应控制系统不仅提升了交通管理的智能化水平,也为智慧城市交通体系的建设提供了创新且切实可行的解决方案。未来,随着技术的不断发展,该系统有望进一步集成更多智能交通元素,推动城市交通向更加高效、安全和绿色的方向迈进。

参考文献

- [1] 王晰,翟文辉,田晓煜,等.风电并网系统近工频振荡的自适应阻尼控制[J/OL].电力系统自动化,1-12[2025-05-19].
- [2] 张芎逸,韩昱.完善城市更新顶层设计打造宜居、韧性、智慧城市[N].证券日报,2025-05-19(A02).
- [3] 马咏梅,耿生玲,赵维纳,等.基于 LoRa 微调的撒拉族建筑知识图谱构建[J/OL].山西大学学报(自然科学版),1-12[2025-05-19].
- [4] 张世栋,李培强.基于自适应参数调节与模型预测控制结合的 VSG 调频策略[J/OL].电源学报,1-18[2025-05-19].
- [5] 徐晶晶,韩晓洁.智慧城市背景下城建档案数据治理体系构建[J].山西档案,2025,(05):154-156.
- [6] 王日强.智慧城市背景下城市规划设计分析[J].居舍,2025,(14):85-87+94.
- [7] 谢铸帅,张广松,王忠.车内交通灯对驾驶行为特性的影响[J/OL].汽车工程师,1-6[2025-05-19].
- [8] 谭雅匀,张新,郑惠琳,等.节假日景区道路交通现状分析——以上海市临港新片区为例[J].科技创新与应用,2025,15(13):109-112+117.

版权声明: ©2025 作者与开放获取期刊研究中心(OAJRC)所有。本文章按照知识共享署名许可条款发表。

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

