

Research on the Control System of Smart Street Lighting Based on Internet of Things

Huahai Lin

Shenzhen Global Lighting Technology Co., Ltd., Shenzhen, Guangdong, 518000, China

Abstract

Against the backdrop of the in-depth advancement of new urbanization and the accelerated iteration of digital technologies, the integration of high-tech fields such as the Internet, big data, cloud computing, and artificial intelligence (AI) with urban infrastructure construction is becoming increasingly close, putting higher demands on the intelligentization and refinement level of urban lighting systems. Traditional urban street lighting systems, which adopt manual timed control modes, suffer from low intelligence, severe energy waste, and low operational efficiency, making them unable to meet the needs of smart city development. Smart lighting systems, 凭借 their core technical advantages such as energy saving and consumption reduction, adaptive dimming, and remote operation and maintenance, have become a key path to solving traditional lighting dilemmas and promoting urban sustainable development. This paper, based on the Internet of Things (IoT) technology architecture and combined with the current development status of the urban lighting industry, constructs an urban smart street lighting control system that integrates data collection, intelligent analysis, and remote control. It elaborates in detail on the system's functional design, architectural framework, and core modules. Additionally, aiming at the existing shortcomings of the current system, it proposes future optimization directions based on machine learning, functional expansion, and edge computing, providing technical reference for the upgrading and iteration of smart city lighting systems.

Keywords

Internet of Things; Smart Streetlights; Lighting Control System; Smart City; Energy-saving Optimization

基于物联网的城市智慧路灯照明控制系统研究

林华海

深圳市全局照明科技有限公司, 中国·广东深圳 518000

摘要

在新型城镇化建设深入推进与数字技术加速迭代的背景下, 互联网、大数据、云计算及人工智能(AI)等高新技术与城市基础设施建设的融合日益紧密, 对城市照明系统的智能化、精细化水平提出了更高要求。传统城市路灯照明系统因采用人工定时控制模式, 存在智能化程度低、能源浪费严重、运维效率低下等突出问题, 已难以适配智慧城市发展需求。智慧照明系统凭借节能降耗、自适应调光、远程运维等核心技术优势, 成为破解传统照明困境、推动城市可持续发展的关键路径。本文立足物联网技术架构, 结合城市照明行业发展现状, 构建了集数据采集、智能分析、远程控制于一体的城市智慧路灯照明控制系统, 详细阐述了系统的功能设计、架构体系及核心模块, 并针对当前系统存在的不足, 提出了基于机器学习、功能拓展及边缘计算的优化方向, 为智慧城市照明系统的升级迭代提供技术参考。

关键词

物联网; 智慧路灯; 照明控制系统; 智慧城市; 节能优化

1 引言

随着“双碳”目标的提出与智慧城市建设的全面提速, 绿色低碳、高效智能已成为城市基础设施发展的核心导向。城市路灯作为保障交通出行安全、提升居民生活品质的关键公共设施, 其照明系统的智能化转型是智慧城市的重要组成部分。传统路灯照明系统多采用集中式定时控制,

缺乏对环境光线、交通流量等动态因素的感知与响应能力, 导致电力资源浪费严重, 且故障排查依赖人工巡检, 维护成本高、效率低。在此背景下, 基于物联网技术的智慧路灯照明控制系统应运而生, 通过整合传感器、无线通信、大数据分析等技术, 实现照明系统的自适应调节、远程监控与智能运维, 不仅能显著降低能耗, 还能提升城市照明管理的精细化水平。本文基于物联网技术架构, 系统设计城市智慧路灯照明控制系统, 深入分析其核心功能与运行机制, 并展望未来发展趋势, 为城市照明系统的智能化升级提供理论与技术支撑。

【作者简介】林华海(1984-), 男, 中国广东茂名, 工程师, 从事城市照明控制与供配电智能化研究。

2 智慧城市照明概述

在城市化进程与数字技术革新的双重驱动下，大数据处理、云计算、人工智能等前沿技术已深度渗透到城市建设的各个领域，为智慧城市发展奠定了坚实的技术基础。城市智慧照明作为智慧城市基础设施的重要组成部分，是传统照明系统与现代信息技术深度融合的产物，其核心特征体现为智能化控制、高效节能、便捷运维及多功能集成。传统城市照明系统普遍存在三大痛点：一是控制模式僵化，仅能实现整体开关控制，无法根据环境变化动态调节亮度；二是能源利用效率低，长期处于满负荷运行状态，造成大量电力浪费；三是运维管理粗放，故障检测滞后，维护成本高昂。而智慧照明系统通过引入物联网、传感器及智能控制技术，能够实时感知环境参数与设备运行状态，实现照明亮度的自适应调节与设备故障的精准预警，有效破解传统照明系统的瓶颈问题，为城市高质量发展提供可靠的照明保障。

3 城市智慧路灯照明控制系统架构设计

3.1 系统应用功能定位

为响应“碳达峰、碳中和”战略目标，提升城市照明管理的智能化与精细化水平，本研究设计的城市智慧路灯照明控制系统以节能优化、智能调控、高效运维为核心目标，重点实现以下四大功能：一是全流程数据处理功能，通过传感器实时采集光照强度、车流量、设备运行参数等数据，经传输模块上传至云平台，完成数据的存储、清洗、分析与挖掘；二是智能调光功能，基于大数据分析的人工智能算法，结合环境动态变化与交通流量规律，自动调节路灯照明亮度，在保障照明质量的前提下最大化节能；三是故障智能预警与定位功能，实时监测路灯运行状态，当出现电压异常、灯具损坏等故障时，系统自动触发报警，并通过电子地图精准定位故障点，推送故障类型及处理建议；四是全生命周期追溯功能，系统自动记录设备运行数据、故障处理记录、维护日志等信息，支持历史数据查询与统计分析，为运维决策提供数据支撑。

3.2 系统架构体系设计

城市智慧路灯照明控制系统采用“终端感知层-网络传输层-云平台管理层-应用服务层”四层架构设计，各层功能既相互独立又协同联动，确保系统的稳定性、扩展性与智能化水平。具体架构如下：

1. 终端感知层：作为系统的数据采集终端，主要由LED路灯、单灯控制器、传感器及电源模块组成。单灯控制器作为核心终端设备，集成4G CAT1、NB-IoT等无线通信模块，实现与云平台的远程数据交互；传感器包括光照强度传感器、电压电流传感器、温湿度传感器及车流量传感器，负责采集环境参数与设备运行状态数据；电源模块为终端设备提供稳定供电，保障设备持续运行。

2. 网络传输层：承担数据传输的核心任务，采用“无

线通信+互联网”的传输模式，通过4G CAT1、NB-IoT等低功耗广域网技术，将终端感知层采集的数据上传至云平台，同时将云平台下发的控制指令传输至终端设备，实现数据的双向实时传输。

3. 云平台管理层：作为系统的核心中枢，负责数据的存储、处理、分析与决策。云平台集成大数据处理引擎与人工智能算法模型，对采集的多维度数据进行深度挖掘，分析环境变化规律与交通流量特征，生成最优调光策略；同时构建设备管理数据库，存储设备信息、运行数据、故障记录等内容，为应用服务层提供数据支撑。

4. 应用服务层：面向用户提供多样化的应用服务，包括PC端后台管理系统与移动终端APP。管理人员通过该层可实现路灯远程开关控制、亮度调节、故障查询、数据统计分析等操作，实时掌握系统运行状态，提升管理效率。

在系统运行过程中，终端感知层通过传感器采集道路宽度、灯具间距、光照强度、车流量、设备电压电流等数据，经网络传输层上传至云平台；云平台通过人工智能算法对数据进行整合分析，生成针对性的控制指令，再经网络传输层下发至单灯控制器，实现路灯亮度的自适应调节；若检测到设备异常，系统立即触发报警，在应用服务层推送故障信息，指导管理人员开展维护工作。

4 城市智慧路灯照明控制系统核心模块研究

4.1 设施模块组成与功能

设施模块是城市智慧路灯照明控制系统的基础支撑，基于物联网传输技术搭建，主要包括电源供应系统、智能照明终端与通信接口模块，其核心功能是实现数据采集与指令执行。

1. 电源供应系统：采用交流转直流(AC/DC)电源模块，输入电压为220V交流电，输出稳定的12V/24V直流电，为单灯控制器、传感器等终端设备提供持续供电；同时集成过压、过流保护功能，确保设备安全运行。

2. 智能照明终端：由LED路灯与单灯控制器组成。LED路灯采用高光效、低功耗光源，具备长寿命、环保等优势；单灯控制器集成微处理器、无线通信模块与控制电路，能够接收云平台指令，实现路灯开关控制、亮度调节(0-100%无级调光)，并采集路灯运行参数(电压、电流、功率)反馈至云平台。

3. 传感器模块：包括光照强度传感器(检测环境光线亮度，精度 $\pm 5\%$)、电压电流传感器(监测路灯运行电参数，误差 $\leq 1\%$)、温湿度传感器(采集环境温湿度，温度精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ ，湿度精度 $\pm 3\%$)及车流量传感器(统计道路车流量，检测精度 $\geq 95\%$)。传感器实时采集数据并传输至单灯控制器，为智能调光与故障诊断提供数据支撑。

设施模块的运行机制如下：传感器实时采集环境与设备数据，单灯控制器对数据进行初步处理后上传至云平台；

云平台根据数据分析结果下发调光指令，单灯控制器接收指令后调节 LED 路灯的驱动电流，实现亮度自适应调节；例如，当光照强度传感器检测到环境亮度高于预设阈值（如 500lux）时，系统自动降低路灯功率至 30% 以下；当车流量传感器检测到道路车流量低于预设值时，自动调节亮度至 50%，实现节能目标。

4.2 系统核心功能实现

4.2.1 单灯精准控制

系统突破传统集中式控制模式，采用单灯控制方案，通过单灯控制器实现对每个路灯的独立管控。管理人员可通过 PC 端后台或移动 APP，针对单个、多个或指定区域的路灯进行开关控制与亮度调节，调节精度达 1%，满足不同场景下的照明需求。例如，对城市主干道路灯采用较高亮度（80%-100%），对次干道及居民区道路采用中等亮度（50%-70%），对深夜车流量稀少的道路采用低亮度（30%-50%），实现差异化照明控制。

4.2.2 智能运维管理

系统集成故障诊断与预警功能，通过电压电流传感器实时监测路灯运行参数，当检测到参数异常（如电压超出额定范围、电流为零）时，自动判定为故障状态，并通过云平台推送报警信息至管理人员终端，同时在电子地图上精准定位故障点（定位精度 ≤ 5 米），明确故障类型（如灯具损坏、线路短路、控制器故障）及处理建议。此外，系统自动记录设备运行数据与维护日志，生成运维统计报表（如故障发生率、维护时长、能耗数据），为管理人员制定维护计划、优化运维资源配置提供数据支撑，大幅降低人工巡检成本，提升运维效率。

4.2.3 节能优化控制

系统采用“多维度数据融合 + AI 算法”的节能控制策略，结合光照强度、车流量、时间段等多维度数据，通过机器学习算法构建调光模型，实现照明亮度的自适应优化。经实测验证，与传统路灯照明系统相比，该系统可降低能耗 30%-50%；同时，系统支持电力负荷响应功能，当城市电网处于用电高峰期时，可根据电网调度指令自动降低路灯亮度（如降低 20%-30%），缓解电网供电压力，提升电力资源利用效率。

4.2.4 三遥管理技术应用

系统引入遥测、遥控、遥信“三遥”技术，实现照明设施的全面智能化管控。遥测功能通过传感器实时采集路灯运行参数（电压、电流、功率、能耗）与环境参数（光照强度、温湿度、车流量）；遥控功能通过云平台远程控制路灯开关与亮度调节；遥信功能实现设备运行状态（正常、故障）与控制指令执行结果的实时反馈。三遥技术的应用，构建了“数据采集 - 指令下发 - 状态反馈”的闭环控制体系，确保系统运行的可靠性与可控性。

5 未来发展展望

针对上述不足，结合前沿技术发展趋势，未来城市智慧路灯照明控制系统将向以下方向优化升级：

1. 引入先进机器学习算法，提升自适应控制能力：融合强化学习、深度学习等算法，基于实时环境数据（光照、车流量、天气）与历史运行数据，构建动态调光模型，实现控制策略的自主优化与实时调整；例如，通过强化学习算法让系统自主学习不同场景下的最优调光方案，提升对突发场景的适应能力。

2. 拓展“一杆多用”功能，构建多功能集成平台：整合气象传感器、高清摄像头、紧急呼叫按钮、公共 WiFi、新能源汽车充电桩等设备，将智慧路灯打造为智慧城市的感知节点与服务终端，实现照明、安防、通信、充电等多功能集成，提升基础设施的综合利用价值。

3. 引入边缘计算技术，优化系统运行性能：在单灯控制器或区域网关中部署边缘计算节点，将部分数据处理任务（如实时调光决策、故障初步诊断）下沉至边缘端，减少云端数据传输量与计算负荷，提升系统的实时响应速度（响应延迟 ≤ 1 秒），增强系统稳定性。

4. 推进 5G/6G 技术融合应用：随着 5G 技术的普及与 6G 技术的研发，未来将采用 5G/6G 通信技术替代现有无线通信模块，实现更高速率、更低延迟、更大连接数的数据传输，支持海量终端设备的同时接入，为系统的规模化应用与功能拓展提供通信保障。

6 结语

本文基于物联网技术架构，设计了一套集数据采集、智能分析、远程控制于一体的城市智慧路灯照明控制系统，详细阐述了系统的四层架构体系、核心设施模块与功能实现机制。该系统通过单灯精准控制、智能运维管理与节能优化控制，有效解决了传统路灯照明系统的能耗高、运维难等问题。尽管当前系统仍存在自适应能力不足、功能集成度低等问题，但随着机器学习、边缘计算、5G/6G 等技术的不断发展，未来城市智慧路灯照明控制系统将朝着多功能集成、自主智能、高效可靠的方向演进，为智慧城市建设提供更加强有力的支撑，助力实现城市的绿色、低碳、可持续发展。

参考文献

- [1] 李澄, 高伟, 张冬, 等. 基于 NB-IoT 的智慧照明系统在南昌的应用案例 [J]. 照明工程学报, 2022, 31 (05): 142-145+156.
- [2] 原红飞. 基于物联网的矿井智慧照明系统的设计及应用 [J]. 煤, 2022, 29 (08): 50-51.
- [3] 杨念, 韩斌, 黄树成. 属性加密机制在港口智慧照明系统中的研究与应用 [J]. 计算机与数字工程, 2022, 48 (05): 1050-1054.