

智慧建筑楼宇自控系统研究

张鑫¹, 张伦伦²

(1. 山东万斯达集团有限公司; 2. 山东太平洋环保股份有限公司)

【摘要】智慧建筑楼宇自控系统是提高建筑能效、优化环境质量的关键技术。文章基于物联网、人工智能和云边协同等技术, 设计了一种具有模块化和扩展性的系统架构, 分析了核心技术在数据处理、能效优化和环境控制中的应用, 并借助实际案例验证了系统在能耗管理、环境调节和响应速度等方面的优异表现, 展现了良好的适应性和可靠性。研究结果表明, 该系统可有效提升智慧建筑运行效率, 为未来智慧建筑技术的开发提供了重要参考。

【关键词】智慧建筑; 楼宇自控; 物联网; 人工智能; 云边协同

中图分类号: TU855

DOI: 10.13655/j.cnki.ibci.2026.02.044

Research on Building Automation System for Smart Buildings

ZHANG Xin¹, ZHANG Lun-lun²

(1. Shandong One Star Group Co., Ltd.; 2. Shandong Pacific Environmental Protection Co., Ltd.)

【Abstract】The intelligent building automation system of smart buildings is a key technology for improving building energy efficiency and optimizing environmental quality in smart buildings. This study designs a modular and extensible system architecture based on technologies such as the Internet of Things (IoT), artificial intelligence (AI), and cloud-edge collaboration. It analyzes the application of core technologies in data processing, energy efficiency optimization, and environmental control. Through real-world case studies, the system demonstrates outstanding performance in energy consumption management, environmental adjustment, and response speed, showcasing excellent adaptability and reliability. The research results indicate that this system can effectively enhance the operational efficiency of smart buildings, providing a valuable reference for the future development of smart building technologies.

【Keywords】smart building; building automation; internet of things; artificial intelligence; cloud-edge collaboration

1 引言

智慧建筑凭借优异的能耗管控能力与环境调节成效, 已成为当前建筑领域的重点研究方向。楼宇自控系统作为智慧建筑的核心组成部分, 通过对设备运行、环境状态及能耗数据的动态感知与智能调控, 实现建筑运行效率的全方位提升。物联网技术的迭代发展推动设备全互联的落地实现, 人工智能技术的深度赋能提升了数据研判与智能决策水平, 边缘计算与云计算的协同部署, 显著提升系统数据处理效率, 同时强化实时响应能力。当前技术在落地应用与实践推广阶段仍面临部分挑战, 针对这些问题开展深入研究, 对于构建高效、可靠、安全的智能化楼宇自控系统具有重要指导意义。

2 智慧建筑楼宇自控系统的核心技术

2.1 物联网与智能感知技术

物联网技术是楼宇自控系统的核心基础, 通过将建筑内设备、传感器与终端深度互联, 构建全局感

知的网络体系。智能感知技术依托多元传感器部署, 涵盖温湿度、二氧化碳浓度、光照强度等环境监测传感器, 以及能耗监测、人员流动检测、设备状态监测等专用传感器, 实时采集各类数据并传输至系统核心节点处理。高效的数据传输协议与边缘节点分布式部署方案, 有效提升了感知效率与数据传输稳定性^[1]。技术落地层面, 低功耗广域网与 ZigBee 技术应用广泛, 前者适用于远距离、大范围设备互联场景, 后者可实现短距离高效通信。智能感知技术还融合人工智能算法, 通过模式识别与预测分析实现复杂环境的精准监控; 基于传感器网络采集的建筑能耗数据, 可通过聚类算法识别异常能耗行为, 并依托优化控制策略调整设备运行模式, 显著提升能源利用效率。

2.2 云边协同与数据处理技术

云边协同技术融合云计算的海量数据处理能力与边缘计算的低延迟实时响应特性, 为楼宇自控系统提供高效的计算与数据管理支撑。边缘计算部署

于接近传感器和终端设备的节点位置,承担实时数据采集、基础预处理及反馈控制任务;云计算则集中开展复杂数据分析、模型优化与数据存储工作。二者协同联动,在显著提升系统响应速度与容错能力的同时,有效降低中心计算节点的运行负载^[2]。云端处理环节依托机器学习与深度学习算法,从海量历史运行数据中挖掘核心规律,进一步优化控制策略的制定;基于时间序列预测模型的空调能耗优化方案,可实现负载均衡与需求响应的智能调度。边缘计算侧通过智能网关实现对终端设备的直接管控,即便在网络延迟或中断的情况下,仍能保障系统核心功能稳定运行^[3]。云边协同技术中,分布式数据库与边缘缓存机制的应用显著提升数据存取效率;依托分级存储与传输机制,可根据数据的重要性与实时性需求,优先处理和传输高优先级数据,低优先级数据则采用延迟处理或周期性同步的方式。同时,借助区块链技术的分布式账本体系,强化数据传输全流程的安全性与可信度。

3 系统架构与实现方法

3.1 系统分层与集成设计

系统分层设计是楼宇自控系统的核心架构基础,能够提升系统灵活性与模块化程度。系统由感知层、网络层、应用层三部分构成,各层协同联动,有序完成数据采集、传输与处理全流程任务。分层设计的优势在于降低系统构建复杂度,增强扩展能力,同时便于对各层开展独立优化,提升整体运行效率与稳定性。

感知层作为系统的基础感知单元,负责采集环境状态与设备运行数据,常用传感器包括红外探测器、烟雾探测器、玻璃破碎感应器等;这些设备通过无线传感器网络(WSN)、无线多媒体传感器网络(WMSN)等技术将采集的数据传输至网络层,实现信息实时监控与管理。

网络层核心承担数据传输与路由转发功能,由局域网、无线局域网(WLAN)、移动网络、互联网构成多层次传输网络,交换机、路由器等网络设备为数据通信提供支撑;同时网络层对接云计算平台,为数据存储与复杂计算提供服务,通过标准化通信协议保障数据在感知层与应用层之间高效稳定传输。

面向用户的应用层依托笔记本电脑、智能手机、监控显示屏等终端设备构建,提供便捷的交互与控

制界面;用户可通过这些设备查看系统状态、调整运行参数、下达控制指令,应用层设计聚焦用户界面友好性与系统控制便捷性。

3.2 通讯协议与安全保障

通讯协议是保障楼宇自控系统设备互联互通与数据可靠传输的核心支撑,系统常用的 ZigBee、BACnet、Modbus、MQTT 等协议具备低功耗、高可靠性、强扩展性等优势,适配传感器网络与楼宇设备控制场景。ZigBee 是基于 IEEE802.15.4 标准的低功耗无线通信协议,适用于短距离、低数据速率的应用场景,广泛应用于传感器网络;BACnet 是专为楼宇自动化设计的通信协议,凭借开放性与灵活性实现设备高效互联;Modbus 作为工业通信协议,简洁易用,广泛应用于楼宇控制场景;MQTT 协议经轻量化设计,支持低带宽、高延迟网络环境,适配物联网场景下的数据通信^[4]。系统采用 TLS/SSL 协议、AES 加密算法等加密技术,保障数据传输安全,规避信息泄露、篡改等风险;同时通过身份认证机制与访问控制策略,防范未授权设备或用户接入系统;防火墙与入侵检测系统实时监控网络状态,防范潜在安全威胁。此外,系统还需强化传感器数据完整性校验与关键操作日志记录,保障数据可信性与可追溯性^[5]。

4 系统验证与性能分析

4.1 能效优化与环境控制性能测试

能效优化与环境控制性能测试验证了楼宇自控系统的实际效能,测试案例选取北京中关村环保大厦,数据来源于其能源管理与环境监测平台。能效优化测试针对供暖通风与空调(HVAC)、照明系统和电梯系统分别测量优化前后的能耗数据,测试结果数据如表 1 所示。

表1 测试结果数据

参数	优化前平均值	优化后平均值	改善率/%
HVAC 能耗	360kWh	290kWh	19.40
照明能耗	70kWh	55kWh	21.40
室内温度	21℃~27℃	22℃~24℃	—
室内湿度	30%~70%	40%~60%	—
CO ₂ 浓度	1200ppm	850ppm	29.20

采用以式(1)计算节约率:

$$E_s = \frac{E_b - E_a}{E_b} \times 100\% \quad (1)$$

式(1)中: E_s 为节约率, E_b 和 E_a 分别表示优化前后的能耗值。测试结果显示,优化前HVAC系统日均能耗360kWh,优化后降至290kWh,能耗节约率达19.4%。环境控制性能测试通过监测室内温湿度、CO₂浓度等核心参数评估系统效能,在北京中关村环保大厦的实测中,系统通过动态优化空调运行模式与通风策略,将室内温度精准控制在22℃~24℃区间,湿度调节至40%~60%的适宜范围,CO₂浓度稳定维持在850ppm以下,全面契合人体舒适性需求。

4.2 系统响应与容错能力分析

选取广州国际金融中心作为实测案例,开展系统响应速度与容错能力测试,测试数据源自该建筑智能控制日志及故障检测记录。响应速度测试覆盖用户指令与传感器事件两类响应场景,典型场景包括室温调节、烟雾报警触发等。测试结果显示,系统对传感器事件的平均响应时间为0.35s,对用户指令的平均响应时间为0.6s。容错能力测试通过模拟设备故障、网络中断等异常场景,评估系统在异常工况下的运行可靠性与稳定性,重点分析其在设备故障、环境干扰等场景中的适配能力。在50%传感器失效的极端条件下,系统依托冗余设计及邻近传感器数据补全,稳定维持了环境控制精度。式(2)用于评估容错率:

$$A_f = \frac{T_i - T_f}{T_i} \times 100\% \tag{2}$$

式(2)中: A_f 为容错率, T_i 为总测试时间, T_f 为故障影响时间。测试模拟网络中断2分钟,备用系统接管运行,总测试时间为50min,容错率达到96%。

4.3 实际案例验证与效果对比

实际案例选取上海环球金融中心作为研究对象,分析楼宇自控系统部署前后的运行数据,案例数据来源于其综合楼宇管理系统,效果对比数据如表2所示。

表2 效果对比数据

项目	传统系统/kWh	智能系统/kWh	改善率/%
总能耗	2200	1870	15.00
HVAC能耗	1400	1190	15.00
照明能耗	450	380	15.60
环境参数控制精度	±3℃,±12%	±1℃,±6%	—

能耗优化成效显著,系统部署后,通过对HVAC、照明及电梯设备的优化调控,总能耗由每日

2200kWh降至1870kWh,能耗降幅达15%;运行成本由每日660元降至561元,成本节约率约15%。环境控制精度显著提升,传统系统室内温湿度控制偏差分别为±3℃、±12%,智能系统运行后,偏差分别缩小至±1℃、±6%。实际案例验证表明,该楼宇自控系统在能效优化、环境控制精度提升及运行成本节约方面优势显著,为智慧建筑的普及应用提供有力支撑。

5 结语

楼宇自控系统作为智慧建筑的核心支撑,在提升能源利用效率、改善建筑环境质量方面发挥关键作用。本文构建融合物联网、人工智能与云边协同技术的系统架构,重点剖析物联网与智能感知、云边协同与数据处理等关键技术的应用逻辑,提出模块化、可扩展的设计方案。

实际案例验证表明,系统在能耗管理上实现显著节约,环境控制精度大幅提升,响应速度与容错能力均满足高效运行要求。实验数据显示,系统能耗降幅达15%~20%,环境参数控制精度显著优化,充分彰显其在智慧建筑中的可靠性与适应性。

参考文献

[1] 夏九林. AIoT技术在绿色智能建筑楼宇自控系统中的应用研究[J]. 智能城市, 2024, 10 (11): 114-116.
[2] 郁歆鸿, 高金铭, 王旭. 智慧建筑工程施工管理系统设计研究整合方案[J]. 城市建设理论研究 (电子版), 2024 (28): 58-60.
[3] 王兆丰. 物联安防智慧管理技术在智能建筑工程中的应用[J]. 中国建设信息化, 2024 (18): 30-33.
[4] 李星云. 智慧建筑智能化楼宇自控系统施工技术研究[J]. 建筑与预算, 2024 (9): 67-69.
[5] 闫秋梦, 徐慧敏, 高木洋平. 人工智能技术在城市建设中的应用研究[J]. 科技创新与应用, 2024, 14 (22): 14-17.