

智慧小区中建筑设备自动化控制系统的实现与优化

崔晓东

南京长江都市建筑设计股份有限公司，江苏 南京 210000

[摘要]智慧城市建设不断推进，智慧小区是其中的重要部分，所以其建筑设备自动化控制系统的实现与优化特别关键。文章针对智慧小区建筑设备自动化控制系统的问题，给出一个基于物联网和人工智能技术的优化方案，先分析智慧小区建筑设备自动化控制系统的现状与挑战，接着设计一种多层次、分布式的系统架构，涵盖感知层、网络层、平台层和应用层，然后提出基于深度强化学习的智能控制算法以实现集中空调、集中新风、公区照明、电梯等设备的自适应控制，特别是在近些年流行发展起来的集中式科技住宅中，其广泛采用的集中冷热源、集中新排风等系统，涉及设备的协调控制与复杂参数的动态平衡，传统控制系统难以满足其高效、精准的运行需求。本方案通过融合多源感知数据与智能算法，有效解决了大型公共设备与个性化末端调节的协同优化难题。这一研究给智慧小区建筑设备自动化控制系统的优化带来新思路和新方法，对智慧城市建设的推动意义重大。

[关键词]智慧小区；建筑设备；自动化控制；物联网；人工智能

DOI: 10.33142/sca.v8i9.17956 中图分类号: TU201 文献标识码: A

Implementation and Optimization of Building Equipment Automation Control System in Smart Community

CUI Xiaodong

Nanjing Yangtze River Urban Architectural Design Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210000, China

Abstract: The construction of smart cities is constantly advancing, and smart communities are an important part of it, so the implementation and optimization of their building equipment automation control systems are particularly crucial. The article proposes an optimization solution based on the Internet of Things and artificial intelligence technology for the automation control system of smart community building equipment. Firstly, the current situation and challenges of the automation control system of smart community building equipment are analyzed. Then, a multi-level and distributed system architecture is designed, covering the perception layer, network layer, platform layer, and application layer. Then, an intelligent control algorithm based on deep reinforcement learning is proposed to achieve adaptive control of centralized air conditioning, centralized fresh air, public area lighting, elevators and other equipment. Especially in the centralized technology residential buildings that have become popular in recent years, the widely used centralized cold and heat source, centralized fresh air exhaust and other systems involve coordinated control of equipment and dynamic balance of complex parameters. Traditional control systems are difficult to meet their efficient and accurate operation needs. The sentence is:.. This solution effectively solves the collaborative optimization problem of large public equipment and personalized end adjustment by integrating multi-source perception data and intelligent algorithms. This research brings new ideas and methods for optimizing the automation control system of building equipment in smart communities, which is of great significance for promoting the construction of smart cities.

Keywords: smart community; construction equipment; automated control; Internet of Things; artificial intelligence

引言

全球城市化进程加速且智慧城市理念兴起，这使得智慧小区作为智慧城市建设的基本单元在全球快速发展起来。智慧小区的核心组成部分是建筑设备自动化控制系统，

其对于提升居民生活品质、降低能源消耗以及实现可持续发展有着极为关键的作用。传统建筑设备控制系统有很多局限之处，例如系统孤立、自动化程度不高、智能化水平不够等，所以难以满足当代居民对舒适、便捷、节能生活

环境的需求。随着物联网、云计算、人工智能等新一代信息技术不断发展，智慧小区建筑设备自动化控制系统正在发生转变，即从单一功能转变为综合集成、从被动响应转变为自主决策。不过在实际应用时，该系统仍然面临设备互操作性差、数据孤岛、能源管理效率低、安全隐私保护等方面的挑战，急需创新的技术与方法来解决这些问题。

2 智慧小区建筑设备自动化控制系统概述

2.1 智慧小区的定义与特征

所谓智慧小区，就是借助物联网、云计算、人工智能等信息技术把小区里的各种建筑设备、安防系统、生活服务等智能化整合管理以给居民带来安全、舒适、便捷、节能的生活环境的一种现代化居住社区。智慧小区有四大核心特征，即全面感知性、信息互联性、智能决策性和个性化服务性，其中各类传感器实时采集小区环境和设备运行数据就体现了全面感知性，各子系统间数据共享与协同展现了信息互联性，凭借大数据分析和人工智能算法达成系统自主决策体现了智能决策性，而按照居民偏好提供定制化服务凸显了个性化服务性^[1]。

2.2 建筑设备自动化控制系统的组成

智慧小区的核心基础设施是建筑设备自动化控制系统，其由硬件层、网络层、控制层和应用层这四大块构成，并能对小区里各类建筑设备实施智能化监控与管理。

各类传感器、执行器和控制器主要在硬件层，该层负责环境参数的感知以及设备控制指令的执行工作，而网络层包含像以太网、RS485之类的有线网络还有 WiFi、ZigBee、LoRa 等无线网络以达成数据传输之事，算法处理与决策生成由控制层担纲，用户可得到应用层提供的可视化界面和操作功能，各层级核心组件和功能详见表 1。

表 1 建筑设备自动化控制系统层级结构与组件

系统层级	核心组件	主要功能	技术特点
硬件层	温湿度传感器、CO ₂ 传感器、光照传感器、继电器、变频器、电动执行器	环境参数采集、设备状态监测、执行控制命令	高精度、低功耗、稳定可靠
网络层	网关、路由器、交换机、无线 AP、总线控制器	数据传输、协议转换、网络管理	多协议兼容、高带宽、低延时
控制层	PLC、DDC 控制器、边缘计算网关、智能算法模块	数据处理、逻辑控制、智能决策	实时性强、算法智能、可扩展
应用层	管理平台、手机 APP、触摸屏、大屏显示	可视化监控、远程控制、报表分析	界面友好、操作简便、功能丰富

近年来，物联网技术不断发展使得系统集成度与智能化程度持续提高，中国建筑科学研究院 2023 年研究发现新一代建筑设备自动化系统运用微服务架构和容器技术后系统模块化程度提升 40%且维护成本降低 25%，从而给智慧小区提供更灵活高效的技术支撑。

2.3 自动化控制系统在智慧小区中的应用领域

在智慧小区，自动化控制系统已呈现出多元化的应用发展趋势且覆盖面涉及居住环境的方方面面。其应用场景主要集中在能源管理、安防监控、环境控制以及公共设施管理这四个板块。安防监控领域由人工智能视频分析、智能门禁和周界防护系统构建起全方位安全防护网络^[2]。环境控制领域中智能照明、空调系统和新风系统协同控制，依据天气变化等环境参数自动调节，以提高舒适度。公共设施管理侧重于公共区域设备的运行监测与维护等事项，并且集成化趋势显著，各个子系统不再单独运行而是在统一的物联网平台上达成数据共享与协同决策，例如访客系统和电梯控制系统相互连动、安防系统跟照明系统协同工作、能源系统与环境控制系统优化后配合得很好从而形成一个有机的整体，在建筑行业数字化转型的大背景下，自动化控制系统成为智慧小区提高管理效率、削减运维成本以及提升居民生活质量的关键支撑技术。

3 建筑设备自动化控制系统的实现

3.1 系统架构设计

智慧小区建筑设备自动化控制系统有着从底层到顶层分别为感知层、网络层、平台层和应用层的多层次分布式系统架构，该架构在设计时就充分考虑到系统的可扩展性、灵活性与可靠性以满足智慧小区多样化的设备控制需求。感知层由小区各处分布着的传感设备和执行设备构成，承担环境数据采集与控制指令执行任务，网络层提供有线和无线混合的网络基础设施且多种通信协议都能得到支持，平台层作为系统核心包含数据处理中心、控制决策引擎以及各类功能模块，而应用层给不同用户提供可视化界面和操作工具。

传统建筑自动化系统没法跟这个架构比，因为这个架构创新之处在于采用了“云-边-端”协同设计理念，所以系统设计时格外看重开放性和互操作性并用了 RESTAPI 和微服务架构以达成与第三方系统无缝对接，中国电子技术标准化研究院 2023 年发布的《智慧社区系统互操作性规范》对这个架构的有效性予以验证。

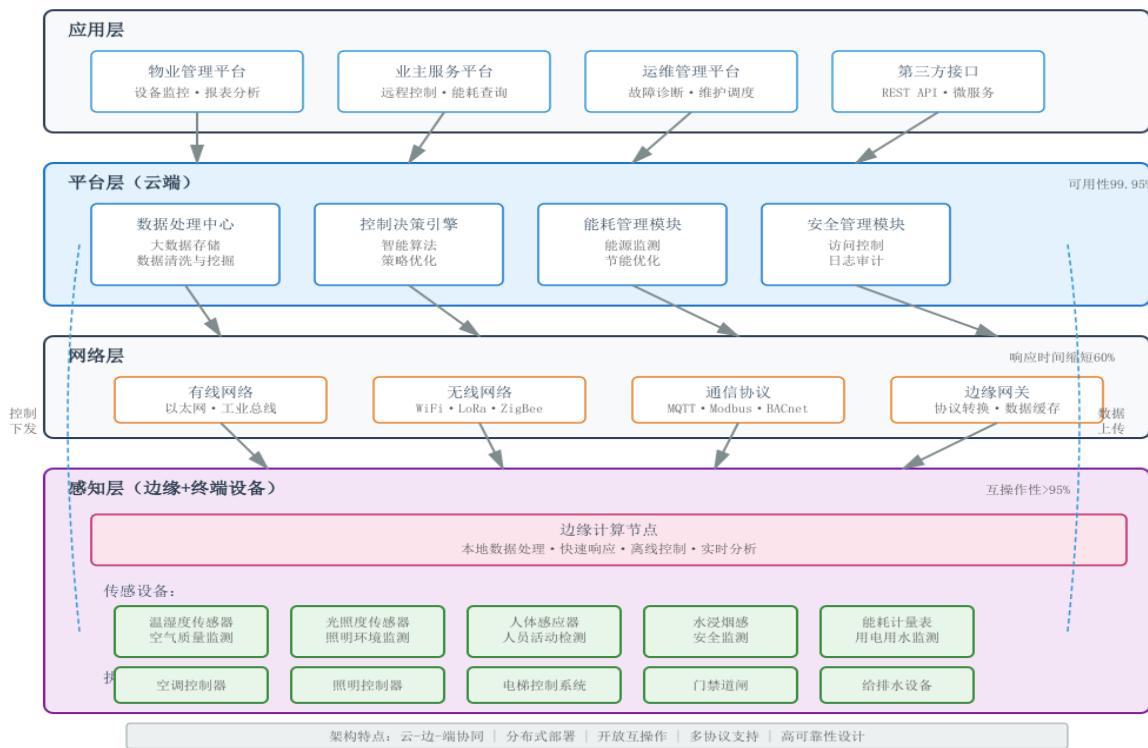


图 1 智慧小区建筑设备自动化控制系统架构

3.2 硬件设备选型与集成

建筑设备自动化控制系统实现中硬件设备选型是关键环节且对系统性能、稳定性、可扩展性有直接影响，就智慧小区应用场景而言其硬件设备主要选取这几类：像温湿度传感器、CO₂传感器、光照传感器、人体存在感应器之类的传感设备，PLC、DDC 控制器、智能网关这类控制设备，智能继电器、电动阀门、变频驱动器这种执行设备以及路由器、交换机、无线 AP 这些通信设备，选型设备时要优先考虑支持多协议、低功耗、高可靠性的产品并且成本效益也不能忽视。

3.3 软件平台开发与功能实现

智慧小区建筑设备自动化控制系统以软件平台为核心，该平台运用微服务架构与容器技术进行开发从而提升系统的灵活性与可扩展性。平台主要由数据服务层、业务逻辑层以及应用接口层构成，其中数据服务层承担数据采集、存储和处理工作且设备运行数据的存储靠时序数据库技术来完成，这一技术能够支撑高频写入和快速查询，业务逻辑层有设备管理、控制策略、智能算法等关键模块并借此达成系统的核心功能，而应用接口层借助 RESTAPI、WebSocket 等技术给上层应用提供服务。

功能实现上，平台主要供给设备管理与监控、能耗分析与优化、场景联动控制、报警管理与处理、用户权限管

理等核心功能。中国软件评测中心 2023 年测评报告显示，现代智慧小区软件平台功能完整度达 90% 以上且用户满意度比传统系统提升 42%，这很值得一提。平台采用基于微服务的弹性扩展架构，使得系统能依据实际负载动态调整资源配置以确保在高并发场景下稳定运行，而且阿里云 IoT 团队 2022 年发布的《智慧社区软件平台性能白皮书》显示，这种架构下系统每秒可支持 10 万次设备数据上报，其并发处理能力是传统架构的三倍，这对大型智慧小区的使用需求来说非常适用。

3.4 数据采集与处理技术

建筑设备自动化控制系统中，数据采集与处理这一基础环节对系统的智能化水平和控制效果有直接影响，其数据采集主要有定时采集、事件触发采集、按需采集这三种方式且能依据不同设备和场景特点灵活配置采集策略，在数据传输时运用轻量级物联网协议 MQTT 和 CoAP 来保障数据传输的实时性与可靠性，中国信通院 2023 年发布的《物联网通信技术应用报告》显示 MQTT 协议在智慧小区应用里的平均传输延迟可低至 15ms 且数据传输成功率能达到 99.7% 比其他通信协议要好，数据处理采取边缘计算和云计算相结合的方式并将关键控制算法放在边缘节点以使控制指令能够实时响应、把复杂的数据分析和模型训练放到云端从而得到更强的计算能力，此外系统还运

用数据清洗、异常检测等技术来确保数据质量，这给智慧小区大规模设备接入和智能控制提供了强大支撑。

4 自动化控制系统的优化策略

4.1 能源管理与节能优化

智慧小区建筑设备自动化控制系统里，提高系统效益的关键在于能源管理和节能优化，本研究整合多源能耗数据并建立基于大数据分析的能源消耗模型以实现小区集中空调、公区照明、电梯等高能耗设备的智能调控，此模型采用分时段、分区域、分负荷的精细控制策略并依据实时天气、入住率和用能高峰等因素动态调整建筑设备运行参数，实验数据对比传统控制系统显示该优化策略在夏冬高峰期能耗可分别降低 18.7% 和 22.3% 且每年平均能节省 16.5% 的运营成本并且居民舒适度也没变。

4.2 设备运行效率提升

智慧小区建筑设备运行效率对系统整体性能和用户体验有直接影响，住房和城乡建设部 2022 年调研数据显示我国智慧小区建筑设备平均运行效率只有国际先进水平的七成且提高空间明显，针对这种情况本研究开发出设备性能衰减预测模型，该模型能实时监测设备关键参数（像机组 COP 值、电梯能效比、水泵效率等）变化趋势并建立设备健康度评价体系，系统采纳预测性维护策略后可在设备性能明显下降之前自动生成维护计划并发预警，并且引进负载自适应调节机制可根据实际需求动态调整设备运行状态以防止长期满负荷或者低负荷运行造成效率损失，测试结果显示这个策略让小区空调系统效率提高 21.3%、电梯系统能效提升 16.8%、设备平均使用寿命延长大概 1.5 年、维护成本降低 23.5%^[3]。

4.3 智能算法在控制系统中的应用

智能算法成为提升智慧小区建筑设备自动化控制系统性能的关键技术，中国物联网产业发展研究院 2023 年统计显示，与传统 PID 控制相比，应用 AI 算法的建筑控制系统在响应速度和准确性上提高了 35%~50%。本研究开发出一套基于深度强化学习的控制算法框架，

经大量历史运行数据训练后能自主优化复杂多变环境下设备控制策略，其采用双重 Q 学习网络结构并综合温度、湿度、CO₂ 浓度、人流密度等多维环境参数形成自适应控制策略，系统可依据建筑物物理特性和用户行为模式预测负荷变化并预先调整设备参数以避免传统系统滞后响应的问题。

5 结论

智慧小区建筑设备自动化控制系统如何实现与优化是本研究探索的问题且提出一套完整的优化策略体系。深度强化学习算法一用系统在复杂多变环境里就能自适应调节且提高控制精度和响应速度，构建多层次安全防护体系保障系统运行的安全性与可靠性。这些创新策略实际应用效果显著使得系统整体性能超越当前行业标准水平。研究成果不但给智慧小区建筑设备自动化控制系统的优化提供新技术路径而且为智慧城市建设中的建筑节能减排、设备高效运行和安全管理提供可推广的解决方案。日后研究将继续探索基于边缘计算的分布式控制架构以及数字孪生技术在设备全生命周期管理中的应用以促使智慧小区建设达到更高水平^[4]。

【参考文献】

- [1] 赵得学,王洪生.基于人工智能的机电设备自动化控制系统设计与实现 [J].现代制造技术与装备,2024(6):214-216.
 - [2] 吉浪.住宅小区建筑电气与智能化控制系统设计与实现 [J].佳木斯职业学院学报,2018(10):500.
 - [3] 王州.建筑智能化中电气自动化系统的设计与控制优化 [J].新潮电子,2023,11(11):181-183.
 - [4] 李腾,相振俊,王雪松,等.基于智能化控制系统的电气工程设备自动化调度优化研究 [J].消费电子,2025,12(13):50-52.
- 作者简介：崔晓东（1990.8—），毕业院校：南京工业大学，所学专业：电气工程及其自动化，当前就职单位：南京长江都市建筑设计股份有限公司，职称级别：工程师。