

面向智慧校园的物联网能耗监测与智能调控系统设计

高峰

湖北工业大学工程技术学院, 湖北 武汉 430068

DOI: 10.61369/TACS.2025050044

摘 要 : 随着信息技术的飞速发展, 智慧校园建设已成为提升教育管理水平和优化资源配置的重要途径。面向智慧校园的物联网能耗监测与智能调控系统, 旨在通过集成物联网技术、大数据分析与人工智能算法, 实现对校园内各类能耗设备的实时监测、精准分析与智能调控, 以达到节能减排、提高能源利用效率的目的。本文首先介绍了系统总体设计, 明确了设计目标与原则, 并详细阐述了系统架构设计思路, 包括智能感知层、可靠网络传输层、平台层、智能调控策略生成与执行机制以及应用层的设计与实现, 实现了对能耗设备的智能调控, 切实提高了系统的易用性和实用性。

关 键 词 : 智慧校园; 物联网能耗监测; 智能调控; 系统设计

Design of IoT Energy Consumption Monitoring and Intelligent Control System for Smart Campus

Gao Feng

School of Engineering and Technology, Hubei University of Technology, Wuhan, Hubei 430068

Abstract : With the rapid development of information technology, the construction of smart campuses has become an important way to improve educational management levels and optimize resource allocation. The IoT-based energy consumption monitoring and intelligent control system for smart campuses aims to achieve real-time monitoring, accurate analysis, and intelligent control of various energy-consuming equipment on campus by integrating IoT technology, big data analysis, and artificial intelligence algorithms, so as to achieve energy conservation and emission reduction and improve energy utilization efficiency. This paper first introduces the overall system design, clarifies the design goals and principles, and elaborates on the system architecture design ideas, including the design and implementation of the intelligent perception layer, reliable network transmission layer, platform layer, intelligent control strategy generation and execution mechanism, and application layer. It realizes the intelligent control of energy-consuming equipment and effectively improves the usability and practicality of the system.

Keywords : smart campus; IoT energy consumption monitoring; intelligent control; system design

随着高等教育规模的持续扩大和校园设施智能化水平的显著提升, 高校能源消耗总量急剧攀升, 能耗结构日趋复杂, 已成为制约绿色校园建设与可持续发展的关键瓶颈。传统能耗管理方式普遍存在数据采集滞后、依赖人工经验、调控粗放低效等突出问题, 难以满足精细化、智能化管理需求。物联网技术凭借其泛在感知、实时互联与智能处理的核心优势, 为破解这一难题提供了崭新路径^[1]。本文旨在设计一套面向智慧校园的物联网能耗监测与智能调控系统, 通过构建覆盖校园主要用能单元的立体感知网络, 实现能耗数据的精准实时采集与传输; 依托大数据平台进行深度分析与建模; 最终基于智能算法生成优化调控策略并自动执行。该系统致力于显著提升校园能效管理水平, 有效降低运营成本, 并为推动智慧校园向更加绿色低碳的方向发展提供坚实的技术支撑。

一、系统总体设计

(一) 系统设计目标与原则

本系统设计的核心目标是构建一个高效、智能、可靠的校园能耗管控体系, 以实现能源使用的全面可视化、监测实时化、分析智能化和调控自动化。具体目标包括实现对校园内建筑照明、暖通空调、实验设备、信息机房等重点用能系统能耗数据的分钟

级高精度采集与汇聚^[2]; 建立覆盖全校、分区域分类型的能耗动态监测平台, 提供多维度统计分析; 基于历史与实时数据, 运用人工智能算法预测用能负荷趋势, 识别异常能耗并精准定位; 依据预设策略及优化算法, 自动或半自动下发调控指令至末端设备, 如调节空调温度设定值、控制照明开关与亮度、优化设备启停时序等, 实现需求响应与节能优化^[3]。设计遵循先进性原则, 采用成熟的物联网、云计算与人工智能技术; 注重可扩展性, 支持未来

项目信息: 湖北省教育厅科学研究计划指导性项目, 项目名称: 物联网技术的健身资源推荐系统的研究与实现, 项目编号: B2017457

设备接入与功能升级；强调可靠性，确保数据采集传输稳定与系统运行安全；突出实用性，界面友好、操作便捷，切实服务于校园管理实际需求，最终达成显著降低校园综合能耗强度与碳排放水平的核心诉求。

（二）系统架构设计

系统采用分层分布式架构，由感知层、网络层、平台层和应用层四大部分有机协同构成。感知层作为系统触角，广泛部署于各楼宇及用能单元，包含智能电表、水表、燃气表、温湿度传感器、光照传感器、空调控制器、智能开关等多样化物联网传感设备，负责实时、精准地采集电力、水量、燃气、环境参数及设备运行状态等原始能耗数据^[4]。网络层承担信息高速公路职能，依据校园环境特点与传输需求，综合运用低功耗广域网技术、校园光纤专网和无线局域网技术，确保海量感知数据高效、稳定、安全地传输至云端数据中心。平台层是系统的智能中枢，基于云计算架构构建，提供强大的数据接入管理、海量存储、实时计算流处理、批处理分析、机器学习模型训练与部署能力，负责对原始数据进行清洗、融合、存储，并运行核心能耗分析模型与智能调控算法^[5]。应用层面向最终用户，提供能耗实时监测大屏、多维度统计分析报告、能耗预警与诊断、智能策略配置与执行管理、能效对标考核等核心功能模块，服务于管理者、运维人员及决策者不同层级的应用需求。智慧校园能耗监测与智能调控系统架构设计如图1所示。

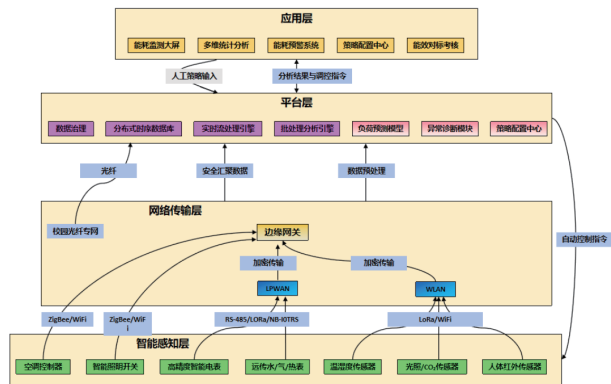


图1 智慧校园能耗监测与智能调控系统架构设计

（三）关键技术实现

系统实现的关键技术支撑主要体现在三个方面。物联网通信与感知技术是基础，选用低功耗、广覆盖的通信方案确保末端设备在复杂校园环境中的稳定接入与长续航能力，高精度智能传感技术保障了能耗及环境数据的准确捕获。大数据处理与分析技术是核心引擎，通过分布式存储框架高效管理海量时序能耗数据，利用流式计算引擎处理实时数据流，结合批处理技术进行历史数据的深度挖掘^[6]；运用数据挖掘算法识别能耗模式、发现关联规则，进行负荷特性分析。智能调控算法是系统智慧的体现，基于机器学习特别是时间序列预测模型，对建筑物及区域未来短中期用能负荷进行高精度预测；结合优化算法，在满足舒适度与功能需求约束条件下，自动生成成本最低或能效最优的设备调控策略^[7]；建立知识库与规则引擎，支持基于策略的自动化响应，例如根据室内人数动态调节新风量，依据室外光照强度自动调光，在

电价高峰时段主动削减非必要负荷等。

二、系统核心模块设计与实现

（一）智能感知层设计与设备选型

智能感知层是系统获取能耗与环境数据的物理基础，其设计与设备选型直接关系到监测数据的全面性、准确性与实时性。针对智慧校园多样化的用能场景，感知层采用多层次、多类型的传感器网络部署策略。在电力监测方面，选用高精度智能电表，具备电压、电流、功率、功率因数、电量等全电气参数测量能力，支持 RS-485、LoRa 或 NB-IoT 等多种通信接口，分别部署于校园变电站、配电房、楼层配电箱及重点用能设备末端，实现从总进线到分支回路再到单体设备的电能消耗精细化计量^[8]。在水、气、热等资源监测上，采用脉冲输出或直读式远传智能水表、燃气表及热量表，实现用量数据的自动采集。环境感知设备则包括温湿度传感器、光照度传感器、二氧化碳浓度传感器以及人体红外感应器，广泛分布于教室、办公室、实验室、图书馆、宿舍等空间，用于捕捉影响能耗的关键环境参数和人员活动状态^[9]。设备选型严格遵循高精度、长寿命、低功耗、强抗干扰能力原则，并充分考虑校园环境的安装便利性与防护等级要求，确保感知层在各种工况下稳定可靠运行，为上层分析决策提供坚实的数据支撑。

（二）可靠网络传输层构建

网络传输层承担着将海量、分散的感知层数据高效、安全、稳定汇聚至云平台的核心任务。针对校园环境地域广、建筑密集、结构复杂的特点，采用融合异构网络架构。对于位置固定且数据量大的节点，如配电室智能电表、楼宇能源管理子站，优先利用校园已有的高速光纤专网进行回传，保障高带宽和低延迟^[10]。对于分布广泛、部署位置灵活且数据量适中的传感器节点，如室内环境传感器、智能水电表，采用低功耗广域网技术进行覆盖，其广覆盖、穿透性强、终端功耗低的特性非常适合校园复杂环境下的海量设备接入。在楼宇内部，充分利用成熟的无线局域网技术，为移动巡检设备或临时增加的监测点提供灵活便捷的接入。网络架构设计采用边缘计算思想，在区域汇聚节点部署轻量级边缘网关，实现本地数据的初步过滤、协议转换与缓存，有效减轻核心网络带宽压力，提升系统响应速度^[11]。同时，网络层集成多重安全保障机制，包括设备接入认证、数据传输加密、访问控制策略等，确保能耗数据在传输过程中的机密性、完整性与可用性。

（三）平台层数据治理与智能分析引擎

平台层作为系统的“大脑”，其核心在于强大的数据治理能力与智能分析引擎。数据治理模块首先负责对接入的海量、多源、异构的原始能耗与环境数据进行高效清洗，剔除异常值、填补缺失值、统一时间戳与数据格式。随后进行数据融合处理，将来自不同传感器、不同协议、不同时间尺度的数据关联整合，形成结构化的、具有明确时空标签的校园全域能耗数据集，存储于高性能的分布式时序数据库中^[12]。在此基础上，构建智能分析引

擎。该引擎包含实时流处理模块，对持续涌入的数据流进行即时计算分析，如实时功率越限报警、瞬时能耗突增检测。批处理分析模块则依托大数据计算框架，对历史数据进行深度挖掘，执行复杂的任务，如基于聚类算法识别不同建筑或区域的典型能耗模式，通过关联规则挖掘发现设备能耗与环境参数、作息时间的潜在联系。核心的负荷预测模型通常采用机器学习算法，如长短期记忆网络或梯度提升决策树，结合历史能耗数据、天气预报、课程日历、节假日信息等多维特征，对未来不同时间尺度进行高精度预测^[13]。异常诊断模块则利用统计学方法或孤立森林等算法，自动识别偏离正常模式的能耗异常点，辅助定位潜在故障或浪费行为，为智能调控提供决策依据。

（四）智能调控策略生成与执行机制

智能调控是本系统实现节能增效的关键闭环环节。调控策略生成引擎基于平台层提供的实时监测数据、预测结果和诊断信息，结合预设的优化目标与约束条件，自动计算并输出最优或次优的设备控制指令。策略生成主要依赖两大类方法：基于规则引擎的响应式调控和基于优化模型的预测式调控^[14]。规则引擎允许管理员灵活定义各种节能策略，例如当教室无人且光照充足时自

动关闭灯光和调节空调至节能模式，或在电网尖峰电价时段主动削减非关键可调负荷。预测式调控则更为高级，通常采用模型预测控制框架，结合负荷预测模型和建筑热力学模型，在满足室内环境舒适度要求的硬约束下，滚动优化未来一段时间内空调、新风、照明等系统的运行设定值，以追求全局能耗成本最低或碳排放最小。生成的调控策略通过标准协议下发至应用层或直接通过网络层传递至边缘网关，最终作用于末端执行机构，如智能照明开关、变频空调控制器、新风阀门执行器等^[15]。系统提供策略模拟推演与效果评估功能，并支持手动审核确认或自动执行模式，确保调控动作安全、可靠、有效。

面向智慧校园的物联网能耗监测与智能调控系统，通过构建“感知－传输－平台－应用”四层架构，深度融合物联网感知、大数据分析 with 智能决策技术，真正实现了校园能耗的精细化、动态化监测与智能化、自动化调控。该系统能够显著提升校园能源利用效率，有效降低运营成本，优化设施管理，并为构建绿色低碳、可持续发展的智慧校园提供了坚实的技术支撑与可行的实施路径，具有重要的实践价值与推广前景。

参考文献

- [1] 苑红星. 基于物联网与数字孪生的智慧校园可视化设计及应用研究 [J]. 物联网技术, 2025, 15 (14): 106-109+115.
- [2] 薛佳妮. 物联网赋能智慧校园信息化建设 [J]. 中国科技信息, 2025, (12): 160-162.
- [3] 李虎群, 张哲, 张心, 等. 基于“三网合一”的智慧校园物联网设计 [J]. 物联网技术, 2025, 15 (09): 68-72+76.
- [4] 吴延慧. 智慧校园数据治理与教育信息化管理路径探析 [J]. 高科技与产业化, 2025, 31 (04): 62-66.
- [5] 刘岩, 杜玮, 王明明, 等. 基于区块链的智慧校园数据共享模式与技术方案 [J]. 数智技术研究与应用, 2025, 1 (02): 18-26.
- [6] 施清华. 云计算支持的物联网在智慧校园中的应用 [J]. 数字技术与应用, 2025, 43 (03): 211-213.
- [7] 李娟. 物联网技术在智慧校园中数据管理与分析的应用 [J]. 数字通信世界, 2025, (02): 97-99+249.
- [8] 孙丽丽, 房洪涛. 数字孪生技术在智慧校园物联网终端设备数据交互中的应用 [J]. 电子产品世界, 2025, 32 (02): 69-72.
- [9] 陈强, 孙海涛, 江远航. 智慧校园能耗分析与优化管理系统设计与实现 [J]. 电子制作, 2023, 31 (08): 73-75+97.
- [10] 张烨汶. 基于实时采集监控的校园智慧能源监管方法研究 [D]. 中南大学, 2023.
- [11] 崔占鹏. 基于区块链的智慧校园运维管理系统设计 [J]. 信息与电脑 (理论版), 2021, 33 (14): 95-97.
- [12] 余伟吉. 智慧校园运维管理系统需求分析及架构研究 [D]. 广州大学, 2021.
- [13] 李秉林, 韦钰, 周香伶. 智慧校园能耗监管平台方案设计 [J]. 电脑与电信, 2020, (12): 4-6+57.
- [14] 刘文翰. 基于机器学习的电力负荷预测方法与智慧校园应用研究 [D]. 湘潭大学, 2020.
- [15] 林书句. 基于物联网的智慧校园集群控制系统的设计与实现 [J]. 现代信息科技, 2020, 4 (09): 160-163.