

基于物联网的新风地暖控制系统设计

汪尔衡

江苏大学京江学院

DOI:10.12238/acair.v2i3.8610

[摘要] 物联网技术的迅猛发展,为新风地暖控制系统的设计提供了创新契机。本研究针对传统地暖系统控制精度低、能耗高等问题,设计了一种基于物联网的新风地暖控制系统。系统采用Zigbee技术进行低功耗、高可靠性的通信,实现对温度、湿度和CO₂浓度等环境参数的实时监控与调节,以PID控制算法和智能优化方法,提高温度控制精度和响应速度,通过大数据分析和机器学习技术实现能效优化,显著降低系统能耗。

[关键词] 物联网; 新风地暖; 控制系统; 设计

中图分类号: TL503.6 **文献标识码:** A

Design of fresh air floor heating control system based on the Internet of Things

Erheng Wang

Jiangsu University Jingjiang College

[Abstract] The rapid development of the Internet of Things technology provides an innovative opportunity for the design of the fresh air floor heating control system. This paper designs a new air floor heating control system based on the Internet of Things for the problems of low control accuracy and high energy consumption. System using Zigbee technology for low power consumption, high reliability of communication, implementation of temperature, humidity and CO₂ concentration of environmental parameters such as real-time monitoring and adjustment, with PID control algorithm and intelligent optimization method, improve the temperature control accuracy and response speed, through big data analysis and machine learning technology to realize energy efficiency optimization, significantly reduce the system energy consumption.

[Key words] Internet of Things; fresh air and floor heating; control system; design

引言

现有地暖系统往往依赖简单的开关控制,无法实时监测和调节室内环境参数,导致温度控制精度低、能源浪费严重。传统智能系统缺乏有效的数据传输和安全保障机制,容易受到外界干扰和数据泄露的威胁。物联网技术的引入,为地暖系统的智能化升级提供了可能。

1 系统架构设计

系统总体设计构筑于高度的模块化原则,致力于实现平台的可一致性和高灵活度部署。控制架构综合了微处理器、边缘计算节点以及云数据分析平台,三者协同确保从数据采集到执行命令的每一环节精确无误。主控单元采用基于ARM架构的微控制器,其高速运算能力可实时处理来自传感器的大量数据,并生成相应的控制信号。硬件设计关键在于选择适应高变化环境的传感器与执行机构。系统选用了高范围的数字温度传感器(HSH-DM3M-E),工作环境-40℃-60℃,IP65级别防水,确保环境数据的准确性和获取可靠性。所有传感器信息收集模块均通过

IEEE802.15.4标准的无线网络与控制器相连,此网络标准支持低功耗运行,适合室内长时间部署。执行器则采用VE4015A1146电磁阀,控制系统功耗,实现地暖系统的精确温控,最大化热能利用率。软件设计方面,系统软件基于RTOS实时操作系统开发,确保任务的实时性和系统的稳定性。数据处理模块采用先进的模糊逻辑和机器学习算法,不仅根据环境数据动态调整室内温度,还能学习用户的使用习惯,自动优化控制策略。用户界面则构建在高度定制的图形用户界面(GUI)上,支持多种操作系统和设备,实现从PC端到移动端的全平台覆盖,极大提升用户的交互体验和系统的可操作性。

2 网络通信协议

2.1 物联网通信技术选择

物联网通信技术的选择直接影响系统的可靠性、功耗和覆盖范围,Wi-Fi技术具有高数据传输速率和广泛的设备兼容性,适合高带宽应用场景。然而,Wi-Fi的高功耗特性和有限的覆盖范围限制其在电池供电设备中的应用。Zigbee技术以低功耗和

高可靠性著称,支持网状网络拓扑,增强网络覆盖范围和稳定性,适用于低带宽需求的传感器网络。LoRa技术提供超长距离的低功耗通信解决方案,支持广域覆盖和深度穿透,但其数据传输速率和实时性较低,适合大范围、低数据量的物联网应用。在本系统中,Zigbee技术的低功耗和高可靠性特点最为适用。Zigbee的网状网络架构能够有效覆盖室内复杂环境,通过多跳通信增强信号传输稳定性。传感器和控制器间的数据传输通过Zigbee模块完成,确保数据的实时性和准确性。Zigbee的低功耗特性保证系统长期稳定运行,适用于需要频繁数据采集和传输的场景。系统通过Zigbee协调器管理网络内的所有节点,实现高效的数据交换和命令传递。

2.2 数据传输安全

为了确保数据在传输过程中的保密性和完整性,系统采用多层加密和身份认证机制。数据在传输前使用高级加密标准(AES)进行128位加密,确保数据在网络中的安全性。AES加密具有高效、可靠的特点,在物联网设备中广泛应用,能够有效防止数据窃听和篡改。传输过程中,系统使用传输层安全协议(TLS/SSL)为设备间的通信提供端到端的加密通道。TLS/SSL协议通过握手过程建立安全连接,使用公钥加密技术验证通信双方的身份,确保数据传输的保密性和完整性。系统在实现TLS/SSL协议时,采用硬件加速模块,提高加密运算速度和系统整体性能。身份认证方面,系统使用基于证书的认证方式,每个设备在接入网络前需通过数字证书验证身份。数字证书包含设备的公钥信息和身份信息,由可信的证书颁发机构(CA)签发,确保设备间通信的可信性。认证过程中,设备通过交换证书进行身份验证,确保只有授权设备才能接入网络。为了进一步增强数据安全性,系统采用动态密钥管理机制。密钥定期更新,防止长期使用同一密钥带来的安全风险。动态密钥管理通过安全密钥分发协议实现,确保密钥在分发过程中的安全性和可靠性。系统还实现了安全日志记录功能,对所有数据传输和认证过程进行详细记录,便于安全审计和事件追溯。

3 控制算法与优化

3.1 温度控制算法

温度控制算法采用比例-积分-微分(PID)控制策略,核心逻辑通过实时采集环境温度数据与设定温度值之间的误差进行调节。比例控制项(P)基于当前误差进行线性放大,迅速响应环境变化,调整控制器输出。积分控制项(I)累积历史误差,消除长期稳定状态下的偏差,确保系统在恒温条件下的精确性。微分控制项(D)考虑误差变化速率,提前预测温度趋势,减少系统振荡和过调现象。控制参数P、I、D的设置依赖于系统响应特性,通过频域分析和时域响应分析确定最优值。频域分析采用奈奎斯特图和波德图,通过调整开环增益和相位裕度,确保系统稳定性和快速响应。时域响应分析采用阶跃响应和脉冲响应方法,评估系统的上升时间、超调量和稳态误差,根据实验结果调整控制参数,达到最优控制效果。算法优化方法包括自适应控制和智能优化算法。自适应控制通过实时监测系统运行状态,动态调整PID参

数,提高系统对环境变化的适应能力。智能优化算法如遗传算法和粒子群优化(PSO),通过全局搜索和局部优化结合,自动寻找最佳参数组合。遗传算法通过选择、交叉和变异操作,提高参数寻优效率;粒子群优化通过模拟群体行为,增强全局搜索能力和局部搜索精度。实施效果通过仿真和实际测试验证。仿真环境下,优化后的PID控制算法在响应速度、超调量和稳态误差方面均表现优异。实际测试中,系统在不同环境条件下均能快速稳定地达到设定温度,控制精度和稳定性显著提升。数据分析表明,优化后的算法能够有效降低温度波动,提高用户舒适度和系统能效。

3.2 能效优化

能效优化基于对系统能源消耗数据的详细分析,旨在最大限度地提高能源利用效率,降低运行成本。能源消耗数据分析包括数据采集、处理和统计三个阶段。数据采集通过高精度能量计量装置,实时监测系统各环节的能耗情况。数据处理通过数据清洗、异常值检测和数据融合,确保数据的准确性和完整性。数据统计采用描述性统计和推断性统计方法,生成详细的能耗报告和趋势分析。节能措施包括运行策略优化和控制算法改进。运行策略优化采用模型预测控制(MPC)方法,基于环境温度预测、用户习惯分析和历史能耗数据,动态调整地暖系统的启停时刻和运行模式,避免不必要的能源消耗。控制算法改进通过引入模糊控制和神经网络控制技术,根据实际运行状况实时调整控制参数,提高系统响应速度和控制精度。此外,系统引入基于物联网的能源管理平台,通过大数据分析和机器学习技术,深入挖掘能耗数据中的潜在节能机会。平台能够自动识别高能耗设备和不合理的能源使用模式,提供针对性的节能建议和优化方案。能源管理平台的核心模块包括数据采集模块、数据分析模块和优化建议模块。数据采集模块负责实时监测和记录系统的能源消耗情况。数据分析模块通过聚类分析、关联规则挖掘和时间序列分析等方法,识别能耗模式和异常情况。优化建议模块基于分析结果,生成具体的节能方案和优化策略。能效优化策略的实施结果通过多维度数据分析和实际运行验证,系统在保持用户舒适度的前提下,显著降低了能源消耗。能源消耗数据的对比分析显示,优化后的系统能效比提高,运行成本降低。节能措施的效果通过实验数据和现场反馈得到了充分验证,系统在节能和性能提升方面达到了预期目标。

4 系统实现与测试

4.1 系统部署

系统部署过程中面临多项技术挑战。实际安装过程中,设备的物理位置选择和布线规划尤为重要。传感器安装在特定位置以确保数据采集的精确性,例如,温度传感器需避开热源和冷源,CO2传感器需安装在空气流通较好的位置。设备布线则通过CAT6网线和高性能无线模块结合,确保数据传输的稳定性和速度,布线方案需避开电磁干扰源,如大功率电器和金属管道。配置系统时,采用集中式控制架构。中央控制单元(CCU)连接所有传感器和执行器,通过RS485总线进行通信。RS485总线在总线拓

扑中提供高抗干扰能力和长距离传输特性,适用于复杂建筑结构的布线需求。传感器校准采用标准校准仪器进行,每个传感器的校准系数存储在CCU中,通过串行通信协议读取。控制参数的初始化设置根据实验数据确定,初始参数如PID控制器的比例、积分和微分系数设定为 $P=0.6$ 、 $I=0.8$ 、 $D=0.2$ 。系统调试过程中,初步检查硬件连接状态,使用万用表测量各连接点的电压、电流和电阻,确保电气连接可靠。系统上电后,检查通信链路的稳定性,使用网络分析仪测试RS485总线的通信质量,确保数据传输无丢包和误码。软件调试阶段,首先加载系统固件和控制算法,运行自检程序检查各传感器和执行器的状态,记录故障码并进行排查。调试过程中,使用热成像仪监测地暖管道的温度分布,确保热量分布均匀,避免热斑和冷斑现象。初次运行时,设置初始环境温度为 20°C ,通过温控面板设定目标温度为 22°C ,观察系统响应情况,记录温度变化曲线和响应时间。温度曲线的上升段和稳态段数据记录于数据日志中,用于后续算法优化。

4. 2性能测试

性能测试方案设计涵盖多种测试环境和运行工况,包括恒温测试、温度波动测试和能耗测试。测试设备包括高精度数字温度计(测量精度 $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$)、数据采集系统(采样频率1Hz)、高精度功率计(测量精度 $\pm 0.5\%$),确保数据的准确性和可追溯性。恒温测试在稳定环境条件下进行,设定初始室温为 20°C ,将目标温度设定为 24°C ,记录温度从 20°C 升至 24°C 的时间,控制器输出功率和室温变化数据。测试数据显示,系统达到目标温度的时间为15分钟,温度控制精度为 $\pm 0.2^{\circ}\text{C}$ 。通过频域分析,系统的自然频率和阻尼比确定为0.5Hz和0.7,验证控制算法的稳定性和快速响应特性。温度波动测试模拟环境温度剧烈变化的工况,设定初始温度为 22°C ,外部环境温度变化从 20°C 到 26°C ,记

录系统的响应时间和温度波动幅度。测试结果表明,系统在外部温度变化范围内,能在3分钟内恢复到设定温度,温度波动幅度控制在 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ 以内。能耗测试通过功率计记录系统在不同运行模式下的功率消耗数据。测试包括恒温模式、节能模式和快速升温模式,每种模式下运行时间为24小时。数据分析显示,恒温模式下的平均功率消耗为2.5kW,节能模式下的平均功率消耗为1.8kW,快速升温模式下的峰值功率消耗为3.5kW。能效优化措施的实施,使系统在节能模式下,能效比提高了28%。性能评估通过对测试数据的综合分析,验证系统在各种运行条件下的稳定性和能效。温度控制精度、响应速度和能耗数据表明,优化后的系统在不同工况下均表现优异,满足设计要求。通过系统实现与测试的详细数据分析和技术手段,确保了系统的高性能和可靠性。

5 结束语

物联网技术在新风地暖控制系统设计中的应用展现了巨大的潜力,未来的研究应聚焦于进一步提升系统的智能化水平,通过集成更多类型的传感器和执行器,实现对室内环境的全方位监控与优化。

[参考文献]

- [1]李翠环.基于物联网的地暖+新风系统节能控制[J].物联网技术,2023,13(09):135-137.
- [2]蔡孟君.基于无线组网技术的智能地暖控制系统[D].导师:陈科明;林董源.杭州电子科技大学,2019.
- [3]赵栋.智能模块化电地暖温度控制方法的研究[D].导师:黄大荣.重庆交通大学,2018.
- [4]冯宏伟.物联网时代地暖温度节能监控系统的开发研究[J].榆林学院学报,2014,24(04):61-63.