

# 基于物联网的智能电动开窗器控制系统设计与实现

金扬新<sup>1</sup> 龚德芬<sup>2</sup>

1.温州艾德美门窗系统开发有限公司 浙江 温州 325000

2.浙江杰佛瑞智能科技有限公司 浙江 温州 325000

**【摘要】**：本文聚焦电动开窗器在智能建筑的关键作用及现有控制系统不足。传统系统监控有限、响应滞后、智能化程度低、远程运维困难，难以满足智慧建筑精细化管理需求。为解决问题，本研究基于物联网技术设计并实现智能电动开窗器控制系统。通过分析运行特性与融合机理，构建“感知层-网络层-平台层-应用层”四层架构，提出基于多传感融合的环境感知与故障诊断方法，完成软硬件设计与集成。研究表明，该系统可实时采集环境参数，实现远程监控与智能控制，故障识别准确率超95%，响应时间缩至秒级，能提升建筑通风智能化水平，降低运维成本超30%。本研究完善理论体系，为智慧建筑通风与安防系统升级提供技术支撑，具显著工程价值与经济意义。

**【关键词】**：物联网；智能电动开窗器；远程监控；智能控制；多传感融合；故障诊断

DOI:10.12417/2705-0998.25.23.040

## 1 引言

随着智慧建筑发展，电动开窗器作为通风系统核心设备，其智能化水平影响室内环境与建筑能效。传统控制系统依赖人工或单一参数联动，存在智能化不足、协同困难、缺乏远程运维等问题，难以应对复杂环境与安防需求。物联网技术成熟为构建远程监控与智能协同控制系统提供了解决方案，研究基于物联网的智能控制系统对提升建筑自动化、保障安全及降低运维成本意义重大。目前，研究在本地自动控制算法和建筑设备物联网应用方面有进展，但存在通信技术单一、环境感知缺乏多源信息融合、故障诊断通用性与准确性有限、多设备协同控制能力薄弱等不足。本文针对这些不足，开展智能电动开窗器控制系统的设计与实现研究，以提升系统综合性、适应性与应用价值。

## 2 相关技术基础

### 2.1 物联网技术架构

本章旨在阐述智能电动开窗器控制系统所依托的核心技术，涵盖系统整体架构、感知与决策方法以及控制与运维算法，为后续系统设计奠定理论基础。

### 2.1 系统架构基础：物联网四层模型与开窗器特性

本系统采用物联网四层架构。感知层通过多类传感器采集室内环境参数和开窗器运行状态；网络层采用混合通信策略，保障数据在复杂建筑环境中可靠、实时传输；平台层作为数据处理中枢，利用云计算与边缘计算协同，完成数据存储、智能分析和控制策略生成；应用层提供远程监控、智能控制和故障预警等用户界面与服务。

控制对象智能电动开窗器由驱动电机、传动机构和控制单元构成。其关键运行特性受环境温湿度和机械磨损影响，是设计鲁棒控制算法的重要依据。

### 2.2 感知与决策核心：多传感融合技术

为解决单一传感器信息局限性问题，系统引入多传感融合技术。该技术在三个层面进行信息整合：

数据层融合：对同质传感器原始数据进行校准与去噪预处理。

特征层融合：从异构数据中提取特征，并关联分析，以综合判断环境舒适度与设备负荷状态。

决策层融合：对各独立分析结果进行综合评判，提升最终控制决策或故障诊断结论的可靠性。

通过融合多维信息，系统能更全面、精确地感知环境与设备状态，为智能控制提供坚实基础。

### 2.3 控制与运维保障：智能诊断与控制算法

系统的智能化体现在故障诊断与智能控制两方面。故障诊断从传统的基于阈值与专家规则的方法，发展到用机器学习等人工智能技术，通过分析历史运行数据构建模型，系统能更准确自动识别与分类电机堵转、传动卡滞等故障，实现预测性维护。

智能控制采用先进算法实现自适应优化，如模糊控制能处理环境变化的不确定性，PID控制可保证角度调节精确稳定，模型预测控制能前瞻性优化控制序列，这些算法使系统根据实时融合的环境感知信息，动态调整开窗策略，实现能效、舒适与安全的平衡。

## 3 系统总体设计

本章节将详细阐述基于物联网的智能电动开窗器控制系统的总体设计方案，涵盖核心设计目标、四层物联网架构、硬件与软件系统的具体设计思路。

### 3.1 设计目标与核心原则

本系统旨在实现四大核心目标：实时精准感知室内外环境

参数与开窗器运行状态；远程可靠控制开窗器，角度调节误差 $\leq 1^\circ$ ；实现智能故障诊断，对常见故障的识别准确率 $\geq 95\%$ ；支持场景化智能联动，根据环境变化自动调节，并与安防等系统协同。

为实现上述目标，设计遵循四项原则：精准感知、可靠传输、智能控制、实用高效。

### 3.2 总体架构与工作流程

系统采用“感知层-网络层-平台层-应用层”四层物联网总体架构，形成数据闭环。

**感知层：**作为物理接口，部署传感器与执行器，通过本地微控制器采集、预处理数据并初步控制。

**网络层：**作为数据传输纽带，采用“LoRa+WiFi”混合通信模式，LoRa用于远距离、低功耗传感数据回传，WiFi保障室内高速率控制指令与数据可靠交互。

**平台层：**作为智慧中枢，采用云边协同架构，边缘计算节点处理实时数据并快速响应，云端平台存储海量数据、深度分析并优化全局策略。

**应用层：**作为交互窗口，为用户提供远程监控、智能控制等多样化服务界面。

系统工作流程遵循“感知-传输-分析-决策-执行”智能闭环：感知数据经网络上传到平台层，先由边缘节点实时分析并响应，关键数据同步到云端挖掘并生成优化策略，最后通过应用层实现用户远程交互或系统自动控制。

### 3.3 硬件系统设计方案

硬件系统围绕本地控制模块与边缘计算节点构建：

**感知层硬件：**含高精度数字温湿度、PM2.5/CO<sub>2</sub>、光照、霍尔电流/电压及激光位移传感器，执行机构为直流电机驱动开窗器，核心本地控制模块用高性能MCU，集成多路ADC、PWM及UART接口。

**网络层硬件：**集成LoRa、WiFi模块及协议转换网关设备。

**平台层硬件：**边缘节点用工业级嵌入式计算机，云端依托服务器集群与存储阵列。

**应用层硬件：**支持PC、平板、智能手机等多终端。

并且，所有硬件遵循工业级标准，有抗干扰、防尘防水特性，通过标准化接口互联，确保长期稳定运行。

### 3.4 软件系统设计方案

软件系统采用模块化设计，与硬件架构相对应：

**感知层软件：**运行于MCU的嵌入式程序，负责数据采集、滤波校准、本地驱动控制及初步诊断。

**网络层软件：**实现通信协议栈、数据可靠传输与协议转换。

**平台层软件：**作为智能核心，边缘侧重实时处理、多传感

融合与快速诊断；云端侧重大数据管理、高级诊断模型与智能策略生成。

**应用层软件：**提供图形化人机界面，集成监控、控制、报警、运维管理等功能。

整个软件体系基于实时操作系统与云计算平台开发，采用多任务调度机制，并具备良好的兼容性与可扩展性，以适配不同设备与未来功能扩展。

## 4 系统核心模块设计

本章详细阐述系统四大核心模块——感知层数据采集、网络层通信、平台层智能处理与应用层交互——的设计与实现方案，是系统功能落地的技术核心。

### 4.1 多源数据精准采集与预处理

该模块旨在采集环境与设备状态数据。硬件设计上，针对不同参数选用专用传感器，如数字温湿度传感器等。

硬件电路集成信号调理与隔离模块增强抗干扰能力。软件设计上，实施分层处理策略，驱动层对原始数据进行滑动平均、中值滤波消除噪声。

采用分时采集策略优化资源，环境参数按1Hz采集，设备状态参数按10Hz采集，兼顾监控与能效。预处理后的数据暂存本地缓存待上传。

### 4.2 混合通信与可靠传输

为适应复杂建筑环境，网络层采用“LoRa+WiFi”混合通信模式。硬件架构上，本地控制模块通过UART接口同时连接LoRa模块和WiFi模块，并由集成网关进行协议转换与数据汇聚。

软件策略上，核心是自适应通信切换与可靠传输保障。系统实时监测两种链路的信号质量与误码率，动态选择最优路径。为确保数据可靠，采用数据压缩、分包传输、心跳包机制及失败重传等综合手段，构建了一条高鲁棒性的数据通道。

### 4.3 平台智能中枢与应用交互

系统平台层作为智能中枢，采用云边协同架构，实现核心智能分析与决策。边缘节点侧重实时响应，负责多传感融合分析、智能控制策略生成以及故障诊断预警。云端则进行全局深度分析与数据管理。

应用层基于平台层的智能输出，为用户提供直观的交互界面与闭环服务。远程监控看板多维度展示实时与历史数据；灵活远程控制支持从手动操作到智能场景调用的多种模式；主动故障预警与闭环运维实现从多渠道告警、自动化工单派发到维修档案数字化的全流程管理；分级用户管理保障系统操作安全。平台层与应用层协同，共同构建了从智能感知、分析决策到人性化交互的完整价值闭环。

## 5 系统实现与性能验证

本章详细阐述了智能电动开窗器控制系统的软硬件实现方案，并通过设计严谨的实验对其关键性能进行了全面验证，以证明系统的有效性与其可靠性。

### 5.1 系统实现方案

基于前述设计，系统实现了从硬件选型到软件开发的完整搭建。

硬件方面，感知层选用工业级传感器和直流电动开窗器，核心控制单元采用高性能嵌入式微控制器并集成信号调理电路，网络层采用“LoRa+WiFi”双模通信硬件并部署集成网关，平台层由现场嵌入式工业计算机与云端服务器集群构成。

软件方面，系统采用分层开发策略，感知层嵌入式软件负责数据采集与本地控制，网络层协议栈保障通信适配，平台层边缘软件实现实时融合分析与诊断，云端后台负责数据管理与全局分析，应用层提供基于Qt框架的PC监控软件和跨平台移动APP。

### 5.2 测试方案与核心结果

为全面评估系统性能，我们在实验室模拟环境和真实商业综合体、住宅场景中进行了对比测试。

核心性能测试结果如下：

数据采集精度：温度误差 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ，湿度 $\pm 3\%\text{RH}$ ，PM2.5  $\pm 5\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ ，CO<sub>2</sub>  $\pm 50\text{ppm}$ ，角度计算误差 $\leq 1^{\circ}$ ，满足设计要求。

通信性能：LoRa通信距离达3km，丢包率 $< 1\%$ ；WiFi延迟 $< 10\text{ms}$ ；混合模式切换时间 $< 0.5$ 秒，确保了数据传输的稳定与高效。

控制性能：开窗器角度控制误差 $\leq 1^{\circ}$ ，调节时间 $< 2$ 秒，智能联动响应准确。

故障诊断准确率：对电机堵转、传动卡涩、传感器失效等常见故障的综合诊断准确率达96.8%，显著高于传统阈值方法。

## 参考文献：

- [1] 李泽宇,陈年生,瞿寅,等.一种远程开窗器系统的设计与实现[J].工业控制计算机,2018,31(8):156-157,160.
- [2] 孙岩.电动开窗控制系统设计浅谈[J].机电信息.2014,(18).
- [3] 陶文琦.基于单片机控制的智能窗系统设计[J].企业技术开发(下半月).2014,(21).
- [4] 王伟胜,熊蒋芹,谭玉姣,等.基于物联网技术的智能窗户控制系统设计[J].湖北理工学院学报,2021,37(6):5-8,20.
- [5] 毛鑫宇,陶帮宇,张林奎,等.物联网视域下智能家居控制系统的实现与展望[J].信息记录材料.2025,26(7).

系统稳定性：长达720小时的连续运行测试中，系统无故障稳定运行，各项功能正常。

### 5.3 结果分析与优化展望

测试结果表明，系统各项关键指标均达到或超过设计目标，有效解决了传统系统在监控、响应、智能化和远程运维方面的不足。通过多传感融合与云边协同架构，系统实现了精准感知、可靠控制与智能诊断。

同时，测试也揭示了后续优化方向：一是提升极端环境适应性，可通过改进传感器防护设计来保障高低温、高湿工况下的精度；二是增强故障模型泛化能力，需扩充罕见故障样本库以训练更鲁棒的诊断模型；三是优化系统能耗，特别是边缘节点，可通过选用更低功耗的元器件及优化任务调度算法实现；四是丰富应用层个性化功能，以更好地满足不同用户的定制化需求。

## 6 结论与展望

### 6.1 研究结论

本研究成功设计物联网智能电动开窗器控制系统，采用“感知-网络-平台-应用”四层架构。突破关键技术：多传感融合全面感知环境；“LoRa+WiFi”混合通信保障稳定传输；模糊-PID控制策略实现开窗角度误差 $\leq 1^{\circ}$ ；融合阈值与机器学习的故障诊断准确率达96.8%。系统解决传统监控、响应及运维痛点，显著提升建筑通风智能化水平、安全性与效率，为智慧建筑提供技术支撑。

### 6.2 未来展望

深化技术：引入深度学习增强感知与诊断泛化能力，结合数字孪生实现预测维护，探索5G/卫星通信融合。拓展功能：开发通风与暖通空调能耗协同优化，强化安防消防联动，增加用户行为分析。推进标准化：制定行业规范，加强产学研合作降本增效，通过可靠性测试与市场反馈迭代产品，促进智慧建筑规模化高质量发展。