

基于RT-Thread的低功耗环境监测与节能控制系统

郭宇航, 陈洪江

重庆科技大学电子与电气工程学院, 重庆

收稿日期: 2026年5月19日; 录用日期: 2026年6月2日; 发布日期: 2026年9月29日

摘要

在工业园、校园等人员密集的高密度场景中, 普遍存在人员离场后电器持续空转的现象, 造成能源的极大浪费。针对这一痛点, 我们精心研发了低功耗环境监测与节能控制系统。该系统暂定使用英飞凌PSoC6为主控核心, 构建起高效智能的智能体系。系统集成雷达、温湿度、红外等多类型传感器, 能够精准捕捉人员活动轨迹与环境参数变化。用户可通过按键操作, 在OLED屏幕上直观查看实时检测数据与电器运行状态。同时, CYW43012WiFi模块作为数据传输桥梁, 借助MQTT协议将传感器采集的数据稳定上传至OneNET云平台。在云端进行数据边缘处理结合预设逻辑进行分析判断, 并将控制指令回传至主控, 实现对电器的智能启停控制。此外, 系统配套开发的网页端, 不仅能实时可视化展示各类监测数据, 还支持用户远程操控电器, 打破空间限制, 真正做到节能管理便捷化、智能化。

关键词

嵌入式系统, 低功耗, 环境监测, 云平台, 智能家居, PSoC6

Low-Power Environmental Monitoring and Energy-Saving Control System Based on RT-Thread

Yuhang Guo, Hongjiang Chen

School of Electronic and Electrical Engineering, Chongqing University of Science and Technology, Chongqing

Received: May 19, 2026; accepted: June 2, 2026; published: September 29, 2026

Abstract

In densely populated areas like industrial parks and campuses, the persistent idling of electrical

文章引用: 郭宇航, 陈洪江. 基于 RT-Thread 的低功耗环境监测与节能控制系统[J]. 嵌入式技术与智能系统, 2026, 3(1): 24-33. DOI: 10.12677/etis.2026.31003

appliances after people leave is a common phenomenon, leading to significant energy waste. Addressing this pain point, we have meticulously developed a low-power environment monitoring and energy-saving control system. This system tentatively uses Infineon PSoC6 as the main control core to build an efficient and intelligent system. Integrating multiple types of sensors, including radar, temperature and humidity, and infrared, the system can accurately capture personnel activity trajectories and changes in environmental parameters. Users can intuitively view real-time detection data and appliance operating status on the OLED screen through button operations. Meanwhile, the CYW43012 WiFi module serves as a data transmission bridge, leveraging the MQTT protocol to stably upload sensor-collected data to the OneNET cloud platform. Data edge processing is performed in the cloud, combined with preset logic for analysis and judgment, and control instructions are sent back to the main controller to achieve intelligent start-stop control of electrical appliances. In addition, the system's supporting web interface not only visualizes various monitoring data in real-time but also supports users in remotely controlling appliances, breaking spatial re-strictions and truly achieving convenient and intelligent energy management.

Keywords

Embedded Systems, Low Power Consumption, Environmental Monitoring, Cloud Platform, Smart Home, PSoC6

Copyright © 2026 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

在全球能源短缺和环境污染问题日益严峻的当下, 节能降耗已成为各个领域发展的重要目标。智能家居作为人们日常生活中广泛应用的领域, 其能耗问题也受到了越来越多的关注。传统智能家居主要依赖摄像头或红外传感器来实现环境感知和设备控制, 然而这些传感器存在着设备功耗较大的明显缺陷。以摄像头为例, 其持续的图像采集和传输需要消耗大量的电量, 不仅增加了家庭的能源开支, 也不符合低碳环保的发展理念。对于一些依赖电池供电的智能家居设备来说, 高功耗还会导致设备续航时间缩短, 频繁充电给用户带来诸多不便。

除了节能降耗方面的不足, 传统智能家居的环境感知技术还存在其他明显缺陷。例如, 摄像头在实现环境感知的过程中, 可能会导致隐私泄露问题。随着人们对隐私保护意识的不断提高, 这种可能侵犯用户隐私的技术逐渐难以满足用户的需求。而红外传感器在黑暗、强光等环境下适应性差, 无法准确感知环境变化, 这使得智能家居在复杂的环境条件下难以发挥有效的作用。例如, 在夜晚光线较暗时, 红外传感器可能无法准确检测到人体的活动, 从而影响智能家居设备的正常控制。

随着人们对设备安全性、智能性、隐私保护和低功耗要求的不断提高, 迫切需要一种更安全、可靠且适应性强的感知技术。毫米波人体感应雷达(60 GHz/24GHz)作为具有穿透性强、高精度非接触式人体感应传感器, 能够在不侵犯隐私的前提下, 实现对人体的精准检测。它不会像摄像头那样采集图像信息, 避免了隐私泄露的风险, 同时其高精度的感知能力能够在各种复杂环境下准确检测人体的存在、位置和运动状态, 解决了红外传感器在环境适应性方面的问题。

系统采用英飞凌 PsoC6-evaluationkit-062S2 双核微控制器为核心载体, 其 ARM Cortex-M4 与 Cortex-M0+异构双核架构可实现毫米波人体感应雷达数据的实时处理与任务分级调度, 在保障高精度感知响应的同时降低系统整体功耗。依托 RT-Thread 操作系统的低功耗电源管理框架、实时内核调度及丰富的 IoT

协议栈(如 MQTT), 结合毫米波人体感应雷达、AHT20 温湿度传感器等专用驱动软件包, 构建起从传感器数据采集到设备联动控制的全链路优化架构。通过深度整合物联网生态, 方案支持 Wi-Fi/蓝牙多模通信协同, 可无缝接入主流智能家居平台, 为实现「低功耗运行 - 高精度感知 - 全场景联动」的智能控制方案提供软硬件协同的技术保障[1] [2]。

2. 系统硬件平台设计

系统使用英飞凌 Pso6-evaluationkit-062S2 开发板和 RT-Thread Studio IDE 开发工具[3], 设计并实现一款物联网智能家居毫米波雷达感知系统。该系统需实现高精度人体感知、精准探测静止/运动人体(呼吸监测)、多协议物联网集成、MQTT 协议接入 OneNET 云平台、支持 App 远程控制与 3D 数字孪生可视化、隐私保护型智能联动等功能, 充分发挥操作系统和硬件平台的性能。

2.1. 主控设计

本系统采用英飞凌 PSoC6 作为核心硬件平台, PSoC6 是一款基于 32 位 Arm® Cortex®-M4 和 Cortex®-M0+内核的微控制器系列, 利用其双核架构[3], 可以优化功耗和性能, 来达到最佳的平衡。M4 核最大工作频率为 150 MHz, M0+核最高工作频率为 100 MHz, 该系列基于超低功耗架构设计, 适用于低功耗的应用场景。外观如图 1。

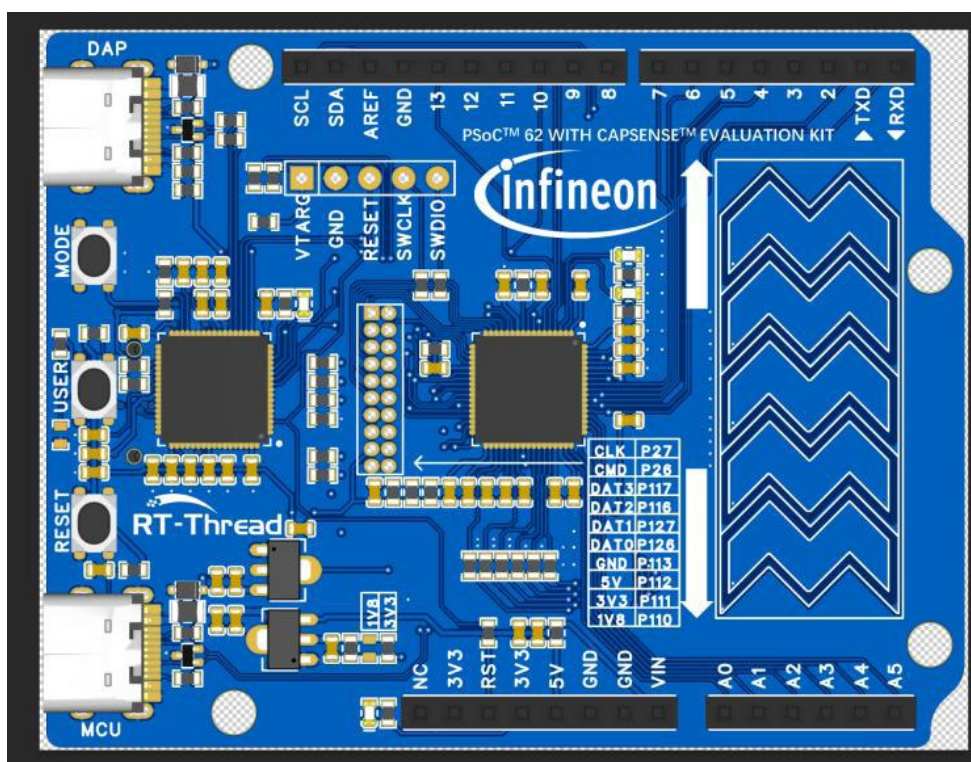


Figure 1. PSoC6-evaluationkit-062S2 development board

图 1. PSoC6-evaluationkit-062S2 开发板

2.2. 传感器选型

传感器选择 LD2412 人体感应雷达模块、AHT20 温湿度模块、红外人体模块和 CCS811 空气检测模块。

LD2412 人体感应雷达模块采用多普勒 + FMCW 技术, 可同时检测人体的呼吸、心跳等微动和人行走等明显运动, 解决传统 PIR 传感器无法识别静态人员的痛点; 加之具有空间分区感知: 支持 3 个距离门(可配置为 0.5~8 米)和 4 个角度分区, 通过串口协议输出各区域的目标状态(存在/静止/移动), 实现空间精细化监测。超低功耗与智能唤醒机制大幅减少数据传输量与主控负担。抗干扰强、复杂环境适应性强, 不受光线、热源(如投影仪、暖气)影响, 检测准确率 > 98%。图 2 显示了 LD2412 雷达的命令流程。

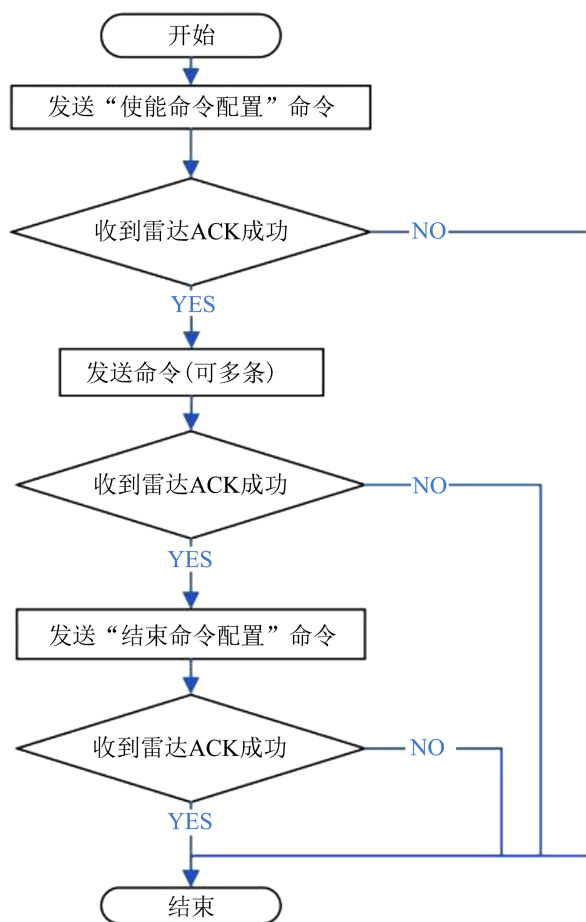


Figure 2. Command configuration flow of the LD2412 radar

图 2. LD2412 雷达命令配置流程

AHT20 温湿度传感器: 采用高精度数字式温湿度传感器, 基于 I2C 通信协议(速率 400 kHz), 支持宽范围环境监测, 温度检测范围 -40°C ~ 85°C , 精度 $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$, 分辨率 0.01°C ; 湿度: 检测范围 0% ~ $100\%\text{RH}$, 精度 $\pm 2\%\text{RH}$, 分辨率 $0.02\%\text{RH}$; 功耗: 待机电流 $< 5\ \mu\text{A}$, 单次采样功耗 $0.15\ \text{mW}$, 满足低功耗设计需求; 抗干扰特性: 内置硬件滤波与温度补偿算法, 可抵御工业环境中的电磁干扰(EMI), 适应 -40°C ~ 85°C 、 0% ~ $95\%\text{RH}$ (无冷凝)复杂环境。

人体红外感应模块具有被动红外(PIR)原理、低误报设计并结合温度补偿功能与可调节触发模式。通过检测人体辐射的 $9\sim 10\ \mu\text{m}$ 红外线变化感知移动, 有效探测距离 2~3 米, 角度 110° , 适合教室、会议室门口等典型场景的人员出入区域。内置双元热释电传感器与菲涅尔透镜, 可区分人体移动与热源干扰(如灯具), 结合雷达数据融合后。内置屏蔽罩与滤波电路, 可抵御工业环境中的电机、变频器等电磁干扰, 适合工业园等高噪声场景。

CCS811 空气检测模块是基于金属氧化物(MOX)传感器阵列与专用微处理器，通过气体吸附引起的电阻变化感知气体浓度。能检测挥发性有机化合物(VOCs)：检测范围 0~32,768 ppb，分辨率 1 ppb；二氧化碳等效值(eCO₂)：检测范围 400~8192 ppm，精度±75 ppm 或±5% (取较大值)；并支持温度补偿(内置温度传感器，精度±2℃)。内置自校准算法，减少长期使用中的漂移，工作温度-40℃~85℃，湿度 0%~95% RH (无冷凝)，适合工业车间、教室等复杂场景。抗干扰能力强，环境适应性高。

多种传感器的协同使用是低功耗环境监测与节能控制系统的核心技术策略，通过功能互补、数据融合与智能调度，显著提升系统的可靠性、精准性与应用扩展性[4]。

3. 软件架构设计

系统软件基于 RT-Thread 操作系统开发，RT-Thread 内核提供任务调度、内存管理、中断处理等基本功能，做到双核微控制器的分时调用，进一步控制功耗，确保系统的实时性和稳定性[5]。充分利用其提供的组件及软件包，实现对毫米波雷达、通信模块等硬件设备的驱动开发，进一步实现系统的高效运行和功能扩展。系统总架构如图 3 所示。

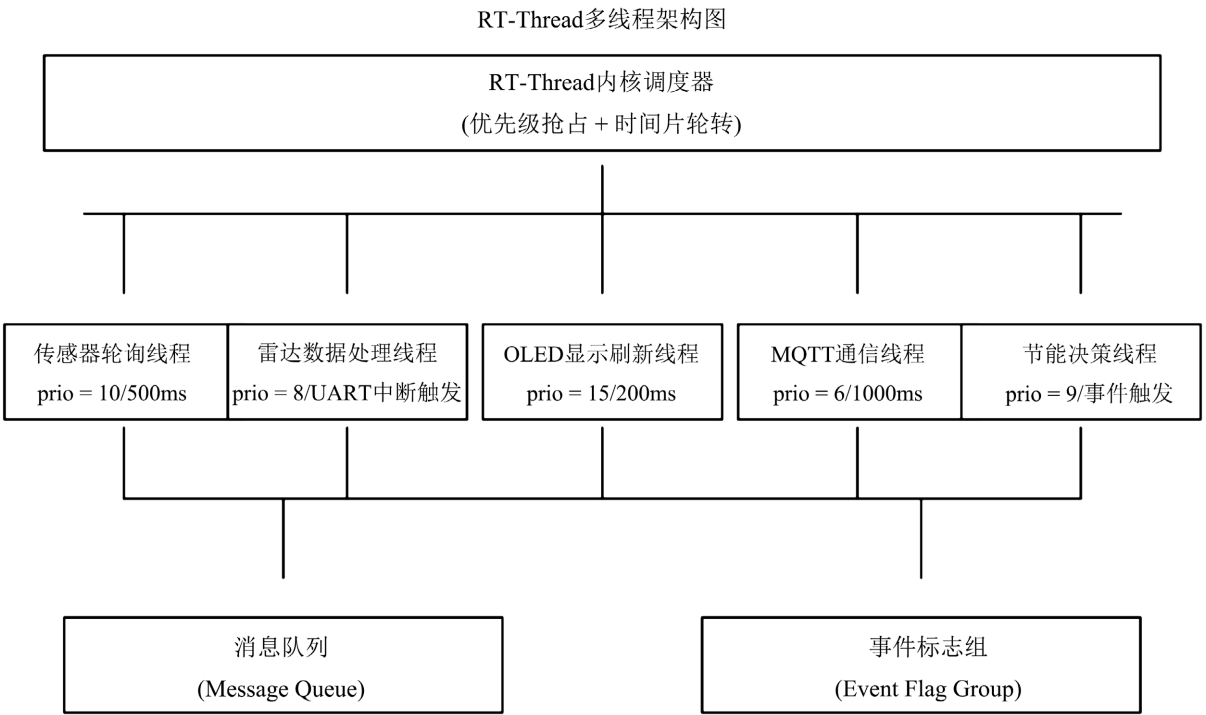


Figure 3. RT-thread multi-threading architecture diagram
图 3. RT-Thread 多线程架构图

M4 核：最大工作频率为 150 MHz，主要供物联网通信模块使用，实现多协议的集成，包括 Wi-Fi、蓝牙等协议的栈管理和数据传输。MQTT 协议接入 OneNET 云平台，完成数据的上传和下发。

M0+核：M0+核最高工作频率为 100 MHz，主要供系统功能模块使用：

1) 环境数据处理模块：负责接收雷达、温湿度、传感器的数据，进行信号处理和目标检测，提取人体的位置、速度、呼吸频率等信息。提高检测精度和抗干扰能力[6]。

2) 智能联动模块：根据人体感知数据和用户设置的规则，实现家居设备的智能联动控制。例如，当检测到有人进入房间时，自动打开灯光。

多种传感器结合的协同增效, 互补检测盲区: LD2412 雷达模块弥补红外人体识别模块无法检测静态人员的缺陷, 同时红外人体识别模块的快速响应特性(<0.5 秒)可补充雷达在人员快速移动时的判断延迟; 温湿度加空气检测辅助决策: 结合 AHT20 与 CCS811 数据, 当检测到人员存在但温湿度异常(如湿度 > 80%)或 CO₂ 浓度升高时, 优先保持通风设备运行, 避免单一传感器误判。分级唤醒机制: 常态下仅红外人体识别模块、AHT20 和 CCS811 工作(总功耗 < 5 mA); 当红外人体识别模块触发疑似有人信号时, LD2412 进行精确确认; 仅在 LD2412 确认人员存在后, 才启动云端通信与电器控制逻辑, 大幅度降低功耗。LD2412 的 3D 空间检测能力与红外人体识别模块的平面检测形成立体监测网络, 优化空间覆盖效率。

系统采用星型组网架构, 以 PSoC6 开发板为核心节点, 通过 Wi-Fi 模块接入互联网, 接入 OneNET 云平台。其他智能设备通过蓝牙模块与核心节点通信, 组成智能家居局域网。手机 App 或网页端通过互联网与物联网平台通信, 实现对系统的远程控制。毫米波雷达模块实时采集人体数据, 经核心节点处理后, 通过通信模块上传至平台, 并根据规则触发智能联动操作。

4. 人机交互设计

系统通过 Wi-Fi 模块或蓝牙模块连接到互联网, 使用 MQTT 协议与 OneNET 云平台建立连接, 读取传感器的数据通过 MQTT 消息上传至平台, 平台进行数据处理, 然后下发控制指令到系统, 实现远程控制功能。采用 TLS/SSL 加密技术, 保障数据传输的安全性。利用 3D 建模技术, 将家居环境构建成三维模型, 并在 App 或网页端显示。通过与系统实时数据的交互, 实现 3D 模型中设备状态的动态更新, 如灯光的开关、窗帘的开合等。在下位机, OLED 屏上显示各电器的工作状态, 并且可以通过按键对电器进行控制。

4.1. 串口通信协议帧结构

LD2412 与 PSoC6 通过 UART 串口(TTL 3.3 V)通信, 协议遵循《LD2412 串口通信协议 V1.05》。协议定义了数据上报帧(雷达 → 主控)和命令/ACK 帧(主控 ↔ 雷达)两种帧类型。

数据上报帧格式(雷达上报检测结果): 帧头为{0xF4, 0xF3, 0xF2, 0xF1} (4 字节), 帧尾为{0xF8, 0xF7, 0xF6, 0xF5} (4 字节), 帧内包含 2 字节小端长度、1 字节数据类型(0x02 基础/0x01 工程)、1 字节帧内头(0xAA)、1 字节目标状态(0 = 无/1 = 运动/2 = 静止/3 = 运动 + 静止)、2 字节小端运动距离(cm)、1 字节运动能量(0~100)、2 字节小端静止距离(cm)、1 字节静止能量(0~100)。工程模式额外包含 14 个距离门运动能量和 14 个距离门静止能量数据(表 1)。

Table 1. List of main commands of LD2412

表 1. LD2412 主要命令字列表

命令字	功能	命令值示例
0x00FF	使能配置(任何配置前必须先发送)	0x0001
0x00FE	结束配置(配置完成后发送)	无
0x0002	设置基础参数(距离门/延时/极性)	5 字节配置参数
0x0012	读取基础参数	无
0x0003	设置运动灵敏度	每个距离门 1 字节
0x0005	设置电源模式	0x00 = 休眠, 0x01 = 正常
0x0062	使能工程模式	无

4.2. 配置命令交互流程

由 PSoC6 主控与雷达通过串口完成指令应答式通信, 具体流程如下:

使能配置: PSoC6 主控向 LD2412 雷达发送使能配置命令(0x00FF, 参数 0x0100); 雷达接收指令后进入配置模式, 并向主控返回成功应答(ACK)。

延时等待: 主控收到应答后, 等待 20 ms, 确保雷达稳定进入配置状态。

下发配置参数: 主控发送设置基础参数命令(0x0002, 5 字节配置数据), 数据包含最小距离门、最大距离门、无人延时高低字节、输出极性; 雷达解析参数后更新内部配置, 返回成功应答(ACK)。

再次延时: 主控再次等待 20 ms, 保障参数配置生效。

结束配置: 主控发送结束配置命令(0x00FE); 雷达保存配置参数并恢复正常工作模式, 最后向主控返回成功应答(ACK), 整个配置流程完成。

5. 系统实现与测试

5.1. 帧解析算法

```
// UART 接收回调函数
static rt_err_t ld2412_uart_rx_cb(rt_device_t dev, rt_size_t size) {
    if (size == 0) return -RT_ERROR;
    ld2412_dev_t *target_dev = RT_NULL;
    for (int i = 0; i < LD2412_MAX_DEV; i++) {
        if (ld2412_dev_list[i] != NULL && ld2412_dev_list[i]->uart_dev == dev) {
            target_dev = ld2412_dev_list[i]; break;
        }
    }
    if (target_dev == RT_NULL) return -RT_ERROR;
    rt_uint8_t rx_data[32] = {0};
    rt_size_t read_len = rt_device_read(dev, 0, rx_data, size);
    if (read_len > 0) {
        rt_mutex_take(target_dev->mutex, RT_WAITING_FOREVER);
        rt_ringbuffer_put(&target_dev->uart_rb, rx_data, read_len);
        rt_mutex_release(target_dev->mutex);
        ld2412_parse_data_frame(target_dev);
    }
    return RT_EOK;
}
```

5.2. 驱动数据结构

```
// 工程模式数据
typedef struct {
    rt_uint8_t max_mot_gate;        // 最大运动距离门号
    rt_uint8_t max_static_gate;     // 最大静止距离门号
    rt_uint8_t mot_energy[14];      // 14 距离门运动能量(0~100)
    rt_uint8_t static_energy[14];   // 14 距离门静止能量(0~100)
    rt_uint8_t light_sensor;        // 光感值(0~255)
} ld2412_eng_data_t;
```

```
// 传感器设备结构体(多设备独立资源)
typedef struct {
    struct rt_sensor_device sensor;    // RT-Thread 传感器框架设备
    rt_device_t uart_dev;              // UART 设备句柄
    struct rt_ringbuffer uart_rb;      // 环形缓冲区
    rt_uint8_t rb_buf[128];           // 缓冲区数据区
    rt_mutex_t mutex;                 // 线程安全互斥锁
    rt_uint8_t out_pin;               // 设备独立 OUT 引脚
    ld2412_detect_res_t detect_res;    // 最新检测结果
    rt_bool_t eng_mode_en;            // 工程模式使能标志
} ld2412_dev_t;
```

5.3. RT-Thread 传感器框架适配

```
static struct rt_sensor_ops ld2412_sensor_ops = {
    .fetch_data = ld2412_fetch_data,
    .control     = ld2412_control,
};

static rt_size_t ld2412_fetch_data(struct rt_sensor_device *sensor,
                                   void *buf, rt_size_t len) {
    ld2412_dev_t *dev = (ld2412_dev_t *)sensor;
    struct rt_sensor_data *data = (struct rt_sensor_data *)buf;
    rt_mutex_take(dev->mutex, RT_WAITING_FOREVER);
    data->type = LD2412_SENSOR_TYPE;
    data->data.presence = (dev->detect_res.target_state != 0) ? 1 : 0;
    data->timestamp = rt_sensor_get_ts();
    rt_mutex_release(dev->mutex);
    return 1;
}
```

5.4. 三级分级唤醒低功耗调度策略

该策略将低功耗但不可靠的红外传感器作为第一级“哨兵”、毫米波雷达作为第二级“确认者”、WiFi 通信作为最高级通道, 仅在低级触发后才逐级唤醒更高功耗模块。各模块休眠/唤醒控制均通过 RT-Thread 设备驱动接口和线程挂起/恢复机制实现。

5.5. 多传感器数据融合决策

1) 人员存在性综合判断: 红外 PIR 快速响应(<0.5 s) + LD2412 雷达(含静止人体呼吸微动检测)互补融合, 检测准确率 > 98%。

2) 环境质量辅助决策: 见表 2。

Table 2. Rule table for environmental quality decision support
表 2. 环境质量辅助决策规则表

触发条件	执行动作	优先级
湿度 > 80% RH	开启除湿/通风设备	高
eCO ₂ > 1000 ppm	开启新风系统	高
温度 > 30℃且人员存在	开启空调/风扇	中
人员持续离开>10 秒	关闭所有电器	最高
所有环境参数正常	仅保持照明按需工作	低
0x0005	设置电源模式	0x00 = 休眠, 0x01 = 正常

3) 云端规则引擎：复杂决策逻辑部署于 OneNET 云端，终端仅上传原始数据并接收执行指令，实现“终端轻量级感知 + 云端重量级决策”的分工架构。

5.6. 系统测试与结果分析

5.6.1. 系统测试

测试环境：20 m² 教室(5 m × 4 m)，雷达挂壁安装于 1.8 m 高度，距离门配置 1~8 (0.75~6 m)。测试人员按预设动作在教室内活动，通过串口记录 LD2412 上报目标状态与实际状态比对(表 3)。

Table 3. Human body detection accuracy test results
表 3. 人体检测准确性测试结果

测试场景	测试次数	正确检测	准确率	备注
单人正常行走(≈1 m/s)	50	50	100%	-
单人静坐阅读(距雷达 3 m)	50	49	98%	1 次漏检：身着厚重棉被
单人静坐办公打字	50	50	100%	手部微动即可检测
单人平躺/睡眠	30	29	96.7%	仅呼吸微动(体表 ≈ 0.5 mm 位移)
3 人依次进出(间隔 5 s)	30	30	100%	-
无人状态(空房间 30 min)	50	50	100%	无误报
强光环境	40	40	100%	光线不影响毫米波
全暗环境	40	40	100%	光线不影响毫米波

LD2412 毫米波雷达在各类光照条件下检测性能稳定，不受光线影响。对静止人体呼吸微动检测(约 0.5 mm 体表位移)是相比 PIR 传感器的核心优势。唯一漏检为身着厚重棉被的极限工况。

5.6.2. 安装参数优化测试

推荐教室场景采用 1.8 m 挂壁高度、距离门 1~10 (0.75~7.5 m)的配置(表 4)。

Table 4. Test of the relationship between installation height and detection range
表 4. 安装高度与探测范围关系测试

安装高度	距离门配置	最近盲区	最远有效距离	推荐场景
1.2 m	1~8	≈0.5 m	≈5.5 m	小办公室
1.8 m	1~10	≈0.3 m	≈7.2 m	教室(推荐)
2.4 m	1~12	≈0.2 m	≈8.5 m	大型会议室

6. 系统特色与创新点

结合目前市场现有产品的情况, 本作品具有以下特色及创新点:

1) 基于毫米波雷达的非视觉隐私保护方案: 高精度非接触式感知, 采用 LD2412 毫米波雷达模块, 融合多普勒与 FMCW 技术, 可精准检测人体呼吸、心跳微动及移动轨迹。相比传统摄像头方案, 无需视觉成像即可实现存在性检测, 从源头杜绝隐私泄露风险, 满足校园、工业园等公共场景的隐私安全需求。支持 3 个距离门(0.5~8 米可调)与 4 个角度分区, 通过串口通信协议输出各区域目标状态(存在/静止/移动), 实现对高密度场景的精细化空间监测, 突破传统 PIR 传感器仅能平面检测的局限。

2) 多传感器协同增效与低功耗架构: 动静检测融合, 毫米波雷达弥补红外模块无法检测静态人员的缺陷, 集成 AHT20 温湿度模块与 CCS811 空气检测模块, 当检测到人员存在且温湿度异常(如湿度 > 80%)或 eCO_2 浓度升高时, 自动触发通风设备运行, 实现“人员存在检测 + 环境质量调节”的双重决策机制。

3) 分级唤醒节能机制: 常态下仅 M0+核控制红外、温湿度、空气检测模块工作(总功耗 < 5 mA), 当红外模块触发疑似信号时, 唤醒 M4 核控制毫米波雷达进行精确确认和数据采集, 仅确认人员存在后, 启动云端通信与电器控制逻辑, 较传统全时段联网方案功耗更低。

4) “终端轻量级感知 + 云端重量级决策”的分工: 终端负责多源数据采集与初步处理, 通过 CYW43012 WiFi 模块以 MQTT 协议加密传输至 OneNET 云平台(采用 TLS/SSL 加密), 云端执行数据建模、规则判断与策略迭代, 回传控制指令实现电器智能启停, 从而提升系统级节能效率。云端进行数据边缘化处理也进一步降低设备功耗。

5) 模块化可扩展架构: 硬件层采用即插即用式传感器接口设计, 软件层基于 RT-Thread 组件化开发(如设备驱动框架、物联网协议栈), 支持快速扩展烟雾传感器、光照传感器等外设, 适配家庭、办公室、会议室等多场景定制化需求, 通过功能裁剪可将成本进一步压缩。

7. 总结与展望

本文基于 RT-Thread 操作系统, 以 PSoC6 双核主控为硬件核心, 搭建了一套低功耗环境监测与节能控制系统。系统融合毫米波雷达、温湿度及空气检测多类传感器, 完成人体存在识别与环境数据实时采集, 通过 WiFi 结合 MQTT 协议接入 OneNET 云平台, 实现设备远程监测与智能节能联动控制。本系统采用多传感器数据融合与分级唤醒低功耗策略, 摒弃传统摄像头监测方式, 兼顾隐私保护与环境适配能力, 有效解决场地电器空转能耗浪费问题, 达到智能化节能管控的设计效果。后续将进一步优化传感器协同检测算法, 降低系统运行功耗、提升检测准确率; 优化云端智能控制逻辑, 增加自适应节能调度功能; 同时简化硬件结构、压缩设备成本, 推动该低功耗节能控制系统在校园、工业园区等多场景规模化推广应用。

参考文献

- [1] 王宜怀, 刘洋, 黄河, 等. 实时操作系统应用技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2024: 234.
- [2] 周小龙, 仇李琦, 王洋, 等. 一种通用低功耗 MCU 的功耗管理单元设计[J]. 信息记录材料, 2026, 27(7): 48-50.
- [3] 徐丽华, 王宜怀, 奚圣鑫. 基于 Cortex-M4 内核的 RT-Thread 上下文切换机制剖析[J]. 计算机应用与软件, 2025, 42(1): 213-216+302.
- [4] 张烨, 魏遴桐, 乔正石, 等. 低功耗 NB-IoT 驱动的智慧物联供热监控系统设计[J]. 吉林大学学报(信息科学版), 2026, 44(2): 276-283.
- [5] 郑苗秀, 沈鸿飞, 廖建尚. RT-Thread 实时操作系统内核、驱动和应用开发技术[M]. 北京: 电子工业出版社, 2024: 324.
- [6] 李楷文, 潘启勇. 一种基于 RT-Thread 的室内环境监测系统设计[J]. 工业控制计算机, 2024, 37(12): 140-141+144.