

基于物联网的便携式智能环境监测系统

刘培强

远景（山东）数字技术有限公司 山东 德州 253000

摘要：本系统集成多种传感器、主控板、无线网络通信模块、显示与报警模块，实现环境数据的实时采集、传输、显示与报警。系统体积小、功耗低，适用于多种场景。通过WiFi模块与远程平台通信，用户可实时查看环境数据。测试表明，系统响应迅速，测量准确，传输稳定。未来计划优化续航时间，提升显示亮度，拓展应用场景，以满足更广泛的用户需求。

关键词：基于物联网；便携式智能环境监测系统；硬件设计；软件设计

引言：随着环境问题日益严峻，实时监测环境质量变得尤为重要。本系统利用物联网技术，设计了一款便携式智能环境监测系统。该系统集成了多种传感器，可实时监测温湿度、PM2.5、有害气体等环境参数。其具有体积小、功耗低、操作简便等特点，适用于多种环境场景。本文旨在介绍该系统的架构、设计与实现，以期对环境监测领域提供一种新的解决方案。

1 系统总体设计

1.1 系统架构概述

本系统遵循物联网三层架构设计，即感知层、传输层和应用层。感知层集成多种传感器，负责环境数据的实时采集；传输层通过无线网络通信技术，确保数据高效、稳定地传输至远程平台；应用层则提供用户界面，用于数据展示、报警提示及历史数据查询等。

1.2 主要组件与功能

（1）主控板选择与功能：我们选用Arduino Nano作为主控核心，因其体积小、功耗低且编程简便。Arduino Nano负责处理传感器数据，控制显示与报警模块，并通过无线网络通信模块发送数据。（2）传感器模块选择与配置：系统集成火焰传感器、MQ-2气体传感器和声音传感器，分别用于监测火灾隐患、有害气体泄漏和异常声响。传感器模块与主控板连接，通过预设阈值判断环境状态，实现智能监测。（3）无线网络通信模块设计：选用WiFi模块实现系统与远程平台的无线通信。WiFi模块支持TCP/IP协议，确保数据稳定、快速地传输至服务器。用户可通过手机APP或网页端实时查看环境数据。（4）显示与报警模块设计与实现：OLED显示屏实时展示环境数据，提供直观的用户体验。蜂鸣器在检测到异常情况时立即发出报警声，确保用户能够迅速响应。显示与报警模块均与主控板连接，实现智能化控制与反馈^[1]。

2 基于物联网的便携式智能环境监测系统硬件设计

2.1 主控板设计

（1）Arduino Nano开发板的特性与优势：作为系统核心控制单元，Arduino Nano采用ATmega328P微控制器，具备小巧便携的特性，尺寸仅45mm×18mm，非常适合便携式设备集成。其优势在于支持丰富的数字I/O引脚（14个）和模拟输入引脚（8个），可满足多模块协同工作需求；兼容ArduinoIDE开发环境，代码编写与调试便捷，降低开发门槛；同时拥有5V工作电压，能直接与多数传感器模块匹配，减少电平转换电路设计。此外，其低功耗特性（空闲模式下电流约1.1mA）可延长便携式设备的续航时间，符合系统便携性要求^[2]。（2）主控板与其他模块的接口设计：采用标准化接口提升模块兼容性，传感器模块通过I2C接口（SDA/A4、SCL/A5）连接温湿度、光照等数字传感器，实现多设备共线通信，减少引脚占用；PM2.5等模拟传感器通过A0-A7模拟输入引脚连接，配合内部10位ADC完成模数转换；无线通信模块与显示模块采用UART串口（RXD、TXD）实现数据传输，支持全双工通信；报警模块通过数字引脚（如D2）连接，采用高低电平触发控制。接口电路中加入10KΩ上拉电阻稳定I2C通信信号，并设计防反接二极管保护主控板，增强系统稳定性。

2.2 传感器模块设计

（1）各类传感器的选型与特性分析：温湿度监测选用SHT30，支持I2C通信，精度达±2%RH、±0.3℃，响应速度快；PM2.5检测采用GP2Y1014AU0F，模拟输出型传感器，检测范围0.3-10μm颗粒，响应时间<1秒；光照强度监测选用BH1750，数字输出型，测量范围1-65535lux，精度±20%。所选传感器均具备低功耗特性（工作电流<10mA），且体积小巧，适合便携式设计。（2）传感器数据采集与处理电路设计：模拟传感器（如GP2Y1014AU0F）输出信号经RC滤波电路（10KΩ电阻

+100nF电容)降噪后,接入ArduinoNano模拟输入引脚;数字传感器(如SHT30、BH1750)直接通过I2C接口与主控板连接,电路中设计3.3V稳压模块(采用AMS1117-3.3)为传感器供电,避免电压波动影响测量精度。数据处理电路中加入电源指示灯(LED串联220Ω电阻),直观显示模块工作状态^[3]。

2.3 无线通信模块设计

(1) WiFi模块的工作原理与数据传输流程:选用ESP8266WiFi模块,通过UART接口与主控板通信,工作在STA模式下连接指定无线网络。其工作原理为:接收主控板发送的传感器数据后,通过TCP/IP协议将数据上传至云端服务器;同时可接收服务器下发的控制指令,反馈至主控板执行相应操作。数据传输流程采用“请求-响应”机制,每30秒发送一次数据,确保通信稳定性,降低功耗。(2) 无线通信协议的选择与实现:采用MQTT协议作为数据传输协议,相比HTTP协议更轻量,适合低带宽场景。协议实现通过在ESP8266中烧录MQTT客户端固件,设置broker地址、客户端ID及认证信息;主控板通过AT指令配置WiFi模块连接参数,将传感器数据封装为JSON格式(如{"temp":25.3,"hum":60.2})发送至指定主题,完成数据上传。

2.4 显示与报警模块设计

(1) OLED显示屏的选型与接口设计:选用0.96英寸OLED显示屏(SSD1306驱动),支持I2C通信,分辨率128×64,功耗仅0.04W(工作状态),适合便携式设备。接口电路直接与主控板I2C引脚连接,无需额外驱动电路,通过Arduino库函数实现字符与图形显示,实时刷新传感器数据(如温度、湿度、PM2.5值),屏幕亮度可通过软件调节,延长续航。(2) 蜂鸣器的报警电路设计:采用有源蜂鸣器,通过NPN三极管(2N3904)构成开关电路,三极管基极经1KΩ电阻与主控板数字引脚连接。当传感器检测值超过预设阈值(如PM2.5 > 75μg/m³)时,主控板输出高电平驱动三极管导通,蜂鸣器发声报警;报警时长设为3秒,间隔5秒重复,直至数值恢复正常,避免持续报警消耗电能。电路中并联100μF电解电容,减少蜂鸣器工作时的电源干扰。

3 基于物联网的便携式智能环境监测系统软件设计

3.1 软件架构与流程设计

(1) 系统软件的整体架构与模块划分:采用分层架构设计,自下而上分为硬件驱动层、数据处理层、通信层和应用层。硬件驱动层负责传感器、WiFi模块、OLED屏及蜂鸣器的底层控制;数据处理层实现数据采集、滤波与格式转换;通信层处理无线连接与数据收发;应用

层统筹系统逻辑,包括阈值判断与报警控制。模块划分为采集模块、处理模块、通信模块、显示模块和报警模块,各模块通过函数接口调用,降低耦合性。(2) 数据采集、处理、传输与显示的流程设计:系统上电后初始化各模块,进入主循环:采集模块按1秒间隔读取传感器数据,经处理模块采用滑动平均滤波去除噪声,转换为标准化数据(如温度保留1位小数);判断数据是否超阈值,若超标触发报警模块驱动蜂鸣器;同时将数据发送至显示模块,在OLED屏刷新显示;每30秒通信模块将数据打包为JSON格式,通过WiFi上传至物联网平台,完成一次数据流程^[4]。

3.2 数据采集与处理软件设计

(1) 传感器数据采集软件的实现:针对不同传感器编写驱动函数,SHT30通过I2C通信函数(Wire库)发送读取指令,解析返回的16位数据计算温湿度;GP2Y1014AU0F调用analogRead()读取模拟值,代入校准公式(浓度 = 0.172×电压-0.0999)转换为PM2.5值;BH1750通过I2C读取光照原始值,除以1.2得到lux值。采集函数加入超时判断(如50ms未响应则重试),提升稳定性。(2) 数据预处理与滤波算法的设计:预处理阶段校验数据合理性(如温度范围-10~50℃),超出范围则标记为无效值并沿用前次有效数据。滤波采用滑动平均算法,对连续5次采集值求平均,平衡实时性与平滑度;对突变数据(如前后差值超3倍标准差)采用限幅滤波,保留合理波动范围,避免异常值影响系统判断。

3.3 无线通信软件设计

(1) WiFi模块的配置与数据传输软件实现:通过AT指令集配置ESP8266,初始化函数发送AT+CWJAP指令连接WiFi,AT+MQTT指令配置broker地址与端口;数据传输采用封装函数,将传感器数据拼接为JSON字符串(如{"pm25":35,"temp":24.5}),调用AT+MQTTPUB指令发布至指定主题。加入重连机制,若连接断开(检测到+MQTTDISCONNECT),3秒后重新执行配置流程。(2) 与物联网平台的通信协议设计:基于MQTT协议设计通信格式,上行数据主题设为“device/data”,包含设备ID、时间戳与监测值;下行主题“device/cmd”接收平台下发的阈值修改指令。协议实现加入校验位(采用CRC16算法),接收数据时验证完整性,错误则返回重发请求,确保数据传输可靠。

3.4 显示与报警软件设计

(1) OLED显示屏的驱动软件实现:基于SSD1306库编写显示函数,采用分页显示策略:首行显示设备状态(如“WiFi:Connected”),中间两行显示实时数据(左

列参数名+右列数值),末行显示更新时间。实现数据滚动动画(新数据从右侧滑入),提升视觉体验;低电量时自动降低刷新率(从1秒/次改为5秒/次),节省功耗。(2)报警条件的设定与报警软件的实现:报警阈值通过EEPROM存储,支持通过物联网平台远程修改(默认值:PM2.5 > 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 、温度 > 35 $^{\circ}\text{C}$)。报警函数接收处理后的实时数据,与阈值比对,满足条件时置位报警标志,驱动蜂鸣器按“响1秒停2秒”循环工作;同时在OLED屏闪烁显示超标参数(如“PM2.5HIGH!”),直至数据恢复正常或手动按复位键解除。

4 系统测试与性能评估

4.1 测试环境与方法

(1)模拟环境测试方案:搭建三类测试场景,包括实验室可控环境(温湿度箱、粉尘发生器模拟0-50 $^{\circ}\text{C}$ 、20%-90%RH、0-500 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 浓度)、室外自然环境(城市街道、公园)及极端环境(-10 $^{\circ}\text{C}$ 低温箱、高湿度封闭空间)。每种场景持续测试24小时,每10分钟记录一次数据,对比系统输出与标准仪器(如温湿度计、激光粉尘仪)读数。

(2)核心性能测试方法:准确性测试采用误差率计算($|\text{系统值}-\text{标准值}|/\text{标准值}\times 100\%$);传输稳定性通过连续1000次数据上传成功率评估;实时性测试记录传感器采样至云端显示的延迟时间,重复50次取平均值。

4.2 性能测试结果与分析

(1)关键性能指标:系统响应时间平均0.8秒(传感器采样到显示),数据传输速率稳定在120bps,连续传输成功率99.2%;温湿度测量误差 < 3%,PM2.5误差 < 5%,满足便携式监测需求。低温环境(-10 $^{\circ}\text{C}$)下响应时间增至1.5秒,但数据稳定性未受显著影响。(2)报警性能评估:设置3组超标阈值,触发报警的平均延迟0.3秒,

准确率100%。在100次异常模拟中,仅1次因网络波动导致报警延迟(2.1秒),整体及时性满足实际应用要求。

4.3 用户反馈与改进建议

(1)用户体验反馈:10名测试用户中,8人认可便携性与操作简易性,但提出3点共性问题:续航时间不足(平均6小时)、OLED屏强光下可视性差、报警音量偏小。(2)改进方向:硬件上改用低功耗传感器与锂电池(目标续航12小时),升级高亮度显示屏;软件新增数据趋势图表功能与远程阈值调节;未来可集成GPS定位与多设备组网,实现区域环境联防监测,拓展农业、仓储等应用场景。

结束语

基于物联网的便携式智能环境监测系统,凭借其便携性、实时性和智能化特点,有效提升了环境监测的效率和精度。通过多传感器集成、高效无线通信技术以及直观的用户界面,系统实现了对多种环境参数的精准监测与预警。未来,随着技术的不断演进,该系统将进一步优化续航、显示与报警性能,并拓展应用场景,为环境保护与公共安全提供更加全面、高效的解决方案。

参考文献

- [1]陈宇,戴亮,戚蕊,等.智能环境监测系统设计[J].数字技术与应用,2021,(06):57-58.
- [2]王瑞祥,杨定成.基于Arduino的智能环境监测系统的设计与制作[J].科学技术创新,2020,(08):88-89.
- [3]曹左煜,赵晨辉,乔俊福,等.基于物联网的智能环境监测系统[J].机械工程与自动化,2025,(12):132-133.
- [4]徐晓丹.基于物联网的便携式智能环境监测系统[J].物联网技术,2025,(04):37-38.