

# 基于多传感器的室内空气质量检测系统设计

杨小山,霍永星,孟 浩,李兴海,陈芝俊

(青海盐湖工业股份有限公司钾肥分公司 青海 海西 816000)

**【摘要】**随着居民生活质量的提高,人们对室内空气质量的关注日益增强,因此开发智能化的室内空气质量检测系统已成为环境监测领域的重要研究方向。本文设计了一种基于 STM32 的多传感器室内空气质量检测系统,该系统能够实时监测温湿度、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )浓度等多种环境参数,并通过物联网平台实现远程数据存储与交互。系统采用自动和手动两种控制模式,通过集成多传感器模块和无线传输模块,有效提高了系统的检测精度和运行稳定性。本研究为室内空气质量监测系统的智能化发展提供了一种有效的解决方案,具有广泛的应用前景。

**【关键词】**STM;室内空气质量监测;OneNET 平台;传感器

**【中图分类号】**TP368.1

**【文献标识码】**A

**【文章编号】**1009-5624(2025)05-0142-03

DOI:10.16009/j.cnki.cn13-1295/tq.2025.05.053

## 0 引言

随着人们对室内环境质量和健康生活方式的关注日益提升,室内空气质量检测技术逐渐成为环境监测领域的研究热点。空气中的污染物如  $\text{PM}_{2.5}$ 、二氧化碳( $\text{CO}_2$ )、甲醛等不仅影响人体健康,还会导致多种呼吸道疾病甚至慢性病的发生<sup>[1]</sup>。因此,构建能够实时监测室内空气质量的系统,对保障公众健康、优化居住环境具有重要意义。同时,随着物联网技术的迅速发展,多传感器结合大数据分析的智能化环境监测成为一种新的发展方向,其实时性、高效性和系统性能能够显著提升空气质量监测的覆盖范围和准确性,为现代环境治理提供技术支撑<sup>[2]</sup>。

近年来,国内外在空气质量监测方面取得了许多技术进展。一方面,监测技术从单一污染物指标逐渐向多参数监测发展,例如  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{CO}_2$  和温湿度的联动监测成为研究热点<sup>[3]</sup>。另一方面,基于物联网技术的智能监测平台正在迅速推广,如传感器网络结合云计算技术的应用显著提高了监测数据的可靠性和处理效率。然而,现有系统在数据融合、多传感器协作和云平台集成等方面仍然存在一定局限性,尤其在低成本、高精度、多污染物协同监测方面亟待突破。因此,设计并实现一套高效、智能化的室内空气质量监测系统成为当前研究的重要方向<sup>[4-5]</sup>。

本文基于 OneNET(物联网平台),设计并开发了一套多传感器的室内空气质量监测系统。该系统集成了多种环境参数传感器,能够对  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{CO}_2$ 、温湿度等指标进行实时监测,并通过云平台实现远程数据存储和处理。同时,系统采用模块化设计,增强了其灵活性和扩展性,为室内环境监测提供了高效、可靠的解决方案,为智能化室内环境管理奠定了技术基础。

## 1 室内空气质量检测原理

### 1.1 室内空气污染物种类及危害

室内空气污染物是影响人体健康和生活质量的重要因素,主要来源于建筑材料、家具、日常生活活动以及外界

空气污染物的侵入。常见的室内空气污染物可分为以下几类:一是颗粒物(如  $\text{PM}_{2.5}$ 、 $\text{PM}_{10}$ ),来源于烹饪、吸烟以及外部污染物的侵入,长时间吸入会导致呼吸道疾病甚至心血管疾病;二是气态污染物,包括  $\text{CO}_2$ 、一氧化碳( $\text{CO}$ )、甲醛( $\text{HCHO}$ )和挥发性有机物( $\text{VOCs}$ ),这些物质多来源于室内装修、燃烧和人体代谢,其中甲醛和  $\text{VOCs}$  具有明显的致癌性和刺激性;三是微生物污染物(如细菌、霉菌和病毒),它们易在潮湿环境中滋生,影响人体免疫系统;四是放射性物质(如氡气),其来源为建筑材料和土壤,长期暴露可能导致肺癌。这些污染物对室内环境质量造成了严重影响,特别是对于老年人、儿童和慢性病患者,室内空气污染危害尤为显著。因此,室内空气质量检测与监测对于改善人居环境、保障公众健康具有重要意义。

### 1.2 空气质量检测技术原理

空气质量检测技术通过采集环境中的污染物信息,结合相应的分析算法,实现对空气污染物的种类和浓度的实时检测。常用的空气质量检测方法包括物理法、化学法和传感器法。物理法主要利用粒径分离技术(如光学散射和  $\beta$  射线吸收)检测颗粒物;化学法则包括比色法、电化学法和光谱分析,适用于气态污染物的检测;传感器法依托半导体、电化学和光学传感器,能够实现多种污染物的实时检测,其具有响应快速、体积小、集成度高等特点,是当前广泛应用的技术之一。在空气质量检测设备中,颗粒物传感器通常基于激光散射原理,通过测量光强变化推算颗粒物的浓度。气体传感器如电化学传感器通过检测电极间的电流变化实现目标气体的定量分析。随着物联网技术的发展,多传感器系统结合大数据分析云平台,实现了空气质量检测的实时性、远程化和智能化。这种技术的发展为现代环境监测提供了重要支持,能够覆盖更广的污染物范围并提高检测精度。

### 1.3 多传感器融合技术基础

多传感器融合技术是现代空气质量检测系统的核心,通过将多种传感器的数据进行采集、融合和分析,实现对多维环境信息的综合感知。单一传感器由于灵敏度、检测范围和测量精度的局限,难以满足复杂环境中空气污染物

作者简介:杨小山(1976—),男,青海海东,本科,副高级工程师,研究方向:自动化控制。

的全面监测需求。而多传感器融合技术通过整合不同类型传感器(如颗粒物传感器、气体传感器、温湿度传感器等)的数据,能够提高系统的检测能力和可靠性。融合技术的关键在于数据处理与优化,常用的数据融合算法包括加权平均法、卡尔曼滤波、贝叶斯估计和深度学习等。这些算法能够对多传感器的数据进行去噪、特征提取和优化组合,最大限度地提高检测精度和环境适应性。此外,多传感器融合还依赖于分布式架构与通信协议,通过物联网平台实现传感器节点间的协同工作与远程数据共享。例如,基于消息队列遥测传输协议(message queuing telemetry transport, MQTT)的云端架构能够实现高效的数据传输与处理,进一步提升系统的智能化和可扩展性。多传感器融合技术的广泛应用,使得空气质量检测系统在精准监测、远程操作和实时分析方面取得了显著进展,为智能化环境监测提供了有力支撑。

## 2 系统总体设计

### 2.1 系统设计目标

本次课题选定的多传感器室内空气检测装置,一方面与我们的生活具有紧密地相连,另一方面是结合当下物联网的火热发展,使设计能够满足相关参数检测功能的前提下,能够极大地提高工作效率。本设计选用 STM32F103C8T6 开发板。其中主要的研究内容有以下几点:首先是利用 STM32F103C8T6 最小系统设计出能够满足检测室内可燃性气体及 CO 气体浓度的硬件电路,其次是要通过添加 OneNET 软件包和 MQTT 程序移植,调试出能够将温湿度及 CO 气体浓度数据进行读取的串口,同时还要利用 ESP-01S 模块将建立的设备通过 MQTT 将数据流接入 OneNET 平台,最后是 OneNET 平台侧设备的创建及可视化页面的制作,并能够通过平台侧完成指令的下发实现对相应数据的调控。

### 2.2 系统设计方案

本设计主要选用温湿度和 CO 浓度检测模块、ESP8266 无线传输模块、驱动风扇及 OneNET 网页平台组成。装置电源接通后,温湿度和 CO 气体浓度模块进行数据采集,采集到的信息经 STM32F103C8T6 最小系统处理后进行数据串口调试,待调试成功后通过 ESP8266 模块将数据接至 OneNET 平台进行实时动态显示与存储,并通过 OneNET 平台下发相关控制量的设定阈值,若所测的数据超过阈值,则硬件端蜂鸣器发出警报,若在超出阈值的状态下,通过人为的下发指令实现蜂鸣器和风扇的启停工作。也可通过自动控制模式,利用设定程序自动控制相关器件的工作。

### 2.3 系统硬件设计

根据以上系统总体设计方案,确定了系统硬件的组成即 STM32 单片机、温湿度采集模块、CO 气体浓度检测模块、无线通模块和驱动风扇,本章节现对各模块进行详细介绍与分析。

#### 2.3.1 复位电路

复位电路是微控制器中经常用到的电路,其目的是有效控制芯片程序的运行。而单片机中的复位一般有两种,一种是上电复位,而上电复位是微处理器中一个重要的操作,如没有这个操作则中央处理器直接上电的话可能会出现程序跑飞或存储器报错等情况。另一种是按键复位,按下按钮 SW1,电路会恢复到初始状态,随机存取存储器清零,从只读存储器的 0 地址开始执行程序。简而言之,复位电路的原理就是利用 RC 电路的充放电原理,使得复位引脚获得一个短暂的低电平,让单片机程序复位,把除了备份区域寄存器以外所有寄存器状态恢复原始状态,让所有连接到复位的相关功能都回到初始的工作状态。

#### 2.3.2 温湿度传感器模块

室内环境的温湿度是检测室内环境检测的一个基础指标,故系统添置了温湿度集成检测模块。由于在实际使用中发现温湿度模块数据变化灵敏,响应速度较快,所以选用湿度作为系统的一个控制量,起到下发指令调控的作用。由于其具有非常突出的稳定性,所以可适应非常极端的检测环境。但 DHT11 数字温湿度传感器相较于传统的单个检测温度的 DS18B20 传感器而言,环境检测的精度要稍显逊色。同时由于该模块仅有一个数据端口,所以这里选用 PB7 作为引脚端口,可以节省一定的单片机输入/输出端口。与此同时,该传感器模块内集成了温湿度采集信号模块,并配置了 AD 数据转换电路,能够实现较长的信号传输距离和精准的信号数据。

#### 2.3.3 空气质量检测模块

选用 MQ-9 CO 气体浓度检测传感器作为室内空气质量检测的一项指标。其中 MQ-9 CO 气体浓度传感器选用二氧化锡作为元件材料,当二氧化锡遇到空气中的可燃性气体时材料的导电率随机发生变化,为此便可通过材料的导电率的变化对可燃性气体进行检测。当利用高低温循环检测的方式进行检测时,可燃性气体的出现会使导电率随之增加,再由简单的电路进行转换后便可得到相应的输出信号。因此,对室内 CO 气体浓度检测系统而言是一个很好的低成本选用传感器。虽然该传感器具有高灵敏度及低成本的优点,但在实际使用中却并不适合用于通讯模块的下发指令控制端,且编程复杂度较高,因此仅适用于普通数据流的独显。

### 2.4 系统软件设计

结合前文所叙述到的部分硬件原理,结合以上功能的实现,其中软件部分主要包括主函数编程结构以及所涉及的 ESP8266 模块、OneNET 平台联网通讯、DHT11 模块、ADC 数据信号采集以及串口的调试几个部分,下面来对部分相关程序进行简要的功能或逻辑介绍。

#### 2.4.1 软件介绍

Keil 软件是美国软件公司开发的一套既包含丰富的库函数同时还具备强大的开发调试环境的软件。此外,



Keil 软件还同时兼容 C 语言和汇编语言的功能,在大量使用 C 语言程序进行编写时也可在部分位置嵌入汇编语言,这样既可以提高程序的运行效率,同时又可以使程序更加模块化、更加简洁易懂。经过不断迭代,目前已经更新到了第五代版本,但每次更新也都大同小异。对于本项目而言,由于开发平台所提供的大多数资料为库函数开发,所以这里选用的是以库函数调用的方式进行程序编写。

#### 2.4.2 程序设计

由于本设计设定了两种工作模式,一种是手动模式,另一种为自动工作模式,并且两种工作模式都由平台侧通过下发{"f\_data":0}指令进行两种模式的切换选择。当在手动工作模式下时,此时平台侧下发上端阈值,设备响应,指令下发成功。当所测的温湿度超过设置的湿度阈值时,蜂鸣器和驱动风扇开始工作。此时需要平台侧通过再次下发开启蜂鸣器和风扇指令,才能对蜂鸣器和风扇进行工作状态的设定。当处于自动工作模式下时,若所测量的湿度高于设定的阈值,风扇和蜂鸣器自动开启工作,温湿度数值全程在平台侧进行动态显示。

### 3 系统调试

#### 3.1 硬件测试

硬件测试的主要功能是验证所设计的 CO 空气质量检测装置是否满足正常的工作要求。在系统设计前期,首先根据总体设计要求进行元器件的选购,同时还购买了一套小型锡焊设备和一个万用表,用来测量硬件电路的压降和电流。在大部分元器件买来后,按照功能需求进行电路搭建。在搭建前期,首先对小功能进行尝试焊接,在添加每一功能模块之前,尽量先使用一个工作状态显示灯进行模拟演示,以确保在前期的功能测试中,整个系统以及简单能供都是处于正常工作状态。由于时间有限,所以对于部分模块的搭建选择了直接在板上打上热熔胶进行固定,虽然没有锡焊美观方便,但整体硬件功能依然满足。由于 STM32F103C8T6 芯片的部分引脚具有特定的功能,所以对于硬件电路的端口选择有所限制。例如在风扇工作时选用了 PA12 引脚,对于需要进行串口的调试时只能选用 PA9 和 PA10 或者 PB10 和 PB11,因为 PA2 和 PA3 已经被用作 ESP8266 通讯模块的串口,在做硬件的设计时还需要提前查阅好相关手册。

硬件电路的调试方法主要采用静态调试或动态调试。

静态调试主要是在设备未接通的情况下进行的调试,主要包括目测检查是否存在脱焊、少焊和短路等问题,以确保设备连接正常。其次,需要通过万用表对各压降和电流值进行数据测验。动态调试主要是在设备联机之后,按各个模块或者各个功能进行调试,但调试的工作量更大,难度也更高。

#### 3.2 软件测试

由于 Keil uVision5 采用 C 语言进行编程,所以相较于汇编语言来说具有更高的模块化思维,同时程序也更加简洁明了。在创建项目之前,首先需要根据开发者中心相关配置的需求进行勾选,并配置好所需芯片型号。然后,进行主函数的编写和库函数的修改。对于 STM32 的程序而言,库函数的使用无疑可以减少大量的工作量,同时也使得主程序变得更加简短。但是对于本次物联网通讯项目中用到的无线通信程序而言,尤其是 MQTT 协议的移植修改工作仍然较为繁重,并且二次开发修改的难度依然较高。因此,对于部分库函数的调用,只能通过开发平台或论坛中提到的修改后的方案进行使用。

### 4 结语

本设计基于物联网技术,开发了一套多传感器室内空气质量检测系统,能够对 PM2.5、CO<sub>2</sub>、温湿度等多项空气质量参数进行实时监测和数据分析。系统以 STM32 为核心控制模块,通过集成多种传感器模块与无线通信模块,实现了数据采集、传输和云平台远程监控的功能。与传统单片机设计相比,本系统实现了低功耗、高扩展性以及模块化设计的目标,同时提高了数据传输的精度与效率,为现代化智能环境监测提供了切实可行的解决方案。

### 【参考文献】

- [1] 张安然. 基于新能源和物联网的校园生态环境监测系统设[D]. 北京:华北电力大学,2021.
- [2] 马骏. 基于单片机的电气自动化控制技术研究[J]. 造纸装备及材料,2024,53(3):122-125.
- [3] 张改莲. 基于单片机的智能家用空气质量检测系统[J]. 数字技术与应用,2016,34(12):3,8.
- [4] 曹督尊,刘国彦,赵金才,等. 基于 STM32 的智能室内空气质量监测系统设[J]. 科技视界,2020(16):25-27.
- [5] 汤振. 基于物联网的家庭室内环境监测系统的研究与实现[D]. 南京:南京邮电大学,2018.