

一种集成化教室空气感知系统的设计与实现*

曾佳慧 瞿少成 毛文琪 刘 艺 万洪波

(华中师范大学 物理科学与技术学院 武汉 430079)

摘 要: 针对高密度人群教室空气质量差导致学生学习效率低和损害学生身心健康的问题,设计了一种集成化的教室空气感知系统。首先,阐述了集成化教室空气感知系统的整体设计;其次,基于模块化设计方法,分别详细设计了感知PM_{2.5}、PM₁₀、甲醛浓度、挥发性有机物、二氧化碳浓度等数据的采集模块,主控制模块、电源模块与液晶显示模块等硬件电路,并完成了硬件模块的软件设计。经过系统标定与联调测试,系统能准确感知教室空气中PM_{2.5}、PM₁₀、二氧化碳、甲醛、挥发性有机物的浓度等,且稳定性良好。该系统能广泛应用于中小学及高校教室,对改善教室空气具有一定的应用价值。

关键词: 教室空气;传感器;数据采集;集成化

中图分类号: TP368.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1010

Design and implementation of an integrated classroom air perception system

Zeng Jiahui Qu Shaocheng Mao Wenqi Liu Yi Wan Hongbo

(College of Physical Science and Technology, Central China Normal University, Wuhan 430079, China)

Abstract: To solve the issue of poor air quality in high-density classrooms, which leads to low learning efficiency and hurts the physical health, we design an integrated perception system. First of all, this paper elaborates the overall design of the integrated classroom air perception system. Secondly, the hardware circuits of indoor and outdoor data acquisition module, main control module, power supply module and liquid crystal display module are designed by modular design approach. Meanwhile, software programs are designed for the corresponding modules. After the software and hardware joint debugging of the system, it can not only display the perceived concentration of PM_{2.5}, PM₁₀, carbon dioxide, formaldehyde, volatile organic compounds, but also has good stability. The system can be applied to the classrooms of school, and has certain application value for making air better.

Keywords: classroom air; sensor; data collection; integration

0 引 言

随着经济的发展和人们生活水平的提升,空气污染问题也随之出现,全年空气污染较严重的天数不断增加^[1]。人们开始意识到空气污染严重影响了人们的身心健康,特别是青少年学生的身心发展^[2]。教室外面污染空气通过对流进入教室内,使得教室空气受到污染。又因为教室是高密度人群聚集的场所,人体自身产生的气体也将改变教室空气各成分的比例,都会影响学生的学习效率。当学生长期处于空气质量差的环境中,将会诱发呼吸道疾病以及其他身体疾病^[3]。现在国内外都在建设智慧教室,以推进现代化技术与教育的融合^[4]。智慧教室建设的基础是要求能对教室环境进行实时智能感知,一种好的感知系统将

对学生的学习环境改善有很大的帮助^[5]。因此,一种集成化教室空气感知系统的研发对现代化教室的建设具有重要研究价值,让学生健康多了一份保障。

目前在空气感知领域中,大多数学者研究的空气质量检测系统主要针对卧室和商场的空气质量检测,缺少专门针对高密度人群教室的空气质量监测系统^[6-10]。现阶段的空气检测系统模块化程度不高,系统开发混乱^[11]。同时也无法从多方面来评价空气质量,后期维护与更新也有很多不足^[12]。为了解决中小学和高校教室空气质量差的问题,改善教室空气质量,本文采用模块化设计方法设计了一种集成化教室空气感知系统。该系统直接由220 V家庭电压进行供电,通过传感器感知室内空气质量数据和感知室外空气质量数据。然后空气感知模块对数据进行处理,传输

收稿日期:2020-12-04

* 基金项目:国家自然科学基金(61673190,F030101)、教育部中央高校探索创新项目(CCNU18TS042)、武汉市洪山区产学研项目(2016-4)资助

到主控芯片。最后,主控芯片将数据上传至液晶屏幕进行显示,实现对教室空气的感知。若将设计完成的系统放入教室中连续测试 24 h,该系统能稳定地实时监测教室空气质量。

1 系统设计

该教室空气感知系统主要由 5 个模块组成,包括主控模块、电源模块、液晶显示模块、室内空气感知模块和室外空气感知模块。这种模块化设计方法能满足多功能需要和差异化应用^[13]。通过调查发现,师生们最关心的教室空气质量参数有温度、湿度、PM2.5、PM10、二氧化碳、甲醛、挥发性有机物,因此室内空气感知模块的功能通过温湿度传感器、PM2.5/PM10 传感器、二氧化碳传感器、甲醛传感器、挥发性有机物传感器采集数据,室外空气感知模块通过温湿度传感器采集温度和湿度数据。室内和室外空气感知模块均采用 STM32F103VET6 作为处理器,该模块处理器的作用是处理传感器采集的数据并将处理后的数据上传至主控制器模块。主控芯片选用 STM32F103VET6,此芯片的功能是将室内和室外空气感知模块的数据进行融合,最后将处理完的数据传输至液晶屏显示。教室空气感知系统如图 1 所示。

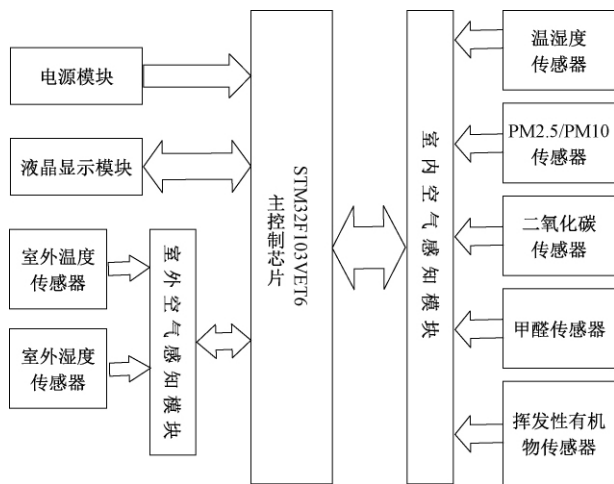


图1 教室空气感知系统

2 教室空气感知系统的硬件电路设计

2.1 电源模块

该系统直接采用 220 V 交流电压进行供电,因此该模块的功能是将 220 V 交流电压转换为 3.3 和 5 V 直流电压。在电路中加入保险丝防止电路发生短路,提高电路的安全性。220 V 交流电压经过变压器降压为 20 V 交流电压,再通过交流-直流转换器 IRM-20-5 将 20 V 交流电压转换为 5 V 的直流电压。此时 LED 指示灯亮,表示成功转换成 5 V 电压。此时可以为需要 5 V 直流电压的元器件提供 5 V 的直流电源。5 V 直流电压通过电压转换芯片

ASM1117 输出 3.3 V 稳定的电压,为需要 3.3 V 电压的芯片供电。电源模块硬件电路如图 2 所示。

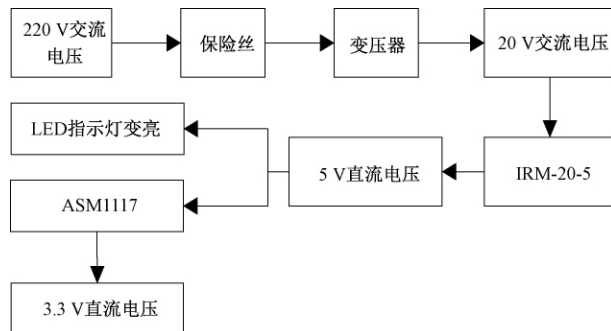


图2 电源模块硬件电路

2.2 甲醛感知模块

根据功能需求分析,选用的甲醛的传感器正常工作温度应该在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 45\text{ }^{\circ}\text{C}$,其精度应不大于 0.0134 mg/m^3 ,量程应 $>1.34\text{ mg/m}^3$ 。经过对市面上的传感器综合分析比较后,选用英国达特公司的 WZ-S-K 甲醛检测模组实时来感知甲醛浓度。该传感器响应速度快,能满足实时性的要求。该传感器测量精度高,最小测量精度为 0.0013 mg/m^3 ,量程为 $0 \sim 2.68\text{ mg/m}^3$,能在 $-20\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度下工作五年以上,符合设计要求。在硬件电路设计上,采用 UART 通信方式将感知的甲醛浓度数据发送至室内感知模块的主控芯片进行数据处理。

2.3 温湿度感知模块

温湿度感知模块的功能是为了实现感知教室的温度和湿度。根据功能需求分析,该系统测量的温湿度的范围能在 $-30\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$, $0 \sim 100\% \text{ RH}$ 之间。经过分析比较后,选用 SHT20 作为该模块的传感器。SHT20 集成了电容式湿度传感器和带隙温度传感器,其中温湿度的测量范围分别为 $-40\text{ }^{\circ}\text{C} \sim 125\text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $0 \sim 100\% \text{ RH}$,符合设计标准。在硬件电路, SHT20 通用 I²C 接口与室内感知模块的处理器器的 I²C 接口相连^[14]。其中相对湿度可以根据 SHT20 输出的相对湿度信号 S_{RH} ,通过式(1)计算相对湿度(单位以 %RH 表示)的值。

$$RH = -6 + 125 \frac{S_{RH}}{2^{16}} \quad (1)$$

温度可以由 SHT20 输出信号 S_T 通过式(2)进行计算温度(单位以 $^{\circ}\text{C}$ 表示)的值。

$$T = -46.8 + 175.72 \frac{S_T}{2^{16}} \quad (2)$$

2.4 PM2.5/PM10 感知模块

本文系统需要能够室温下测量空气中粒径 $\leq 10\text{ }\mu\text{m}$ 颗粒物的浓度和粒径 $\leq 2.5\text{ }\mu\text{m}$ 颗粒物的浓度。颗粒物质量浓度分辨率要求 $<1\text{ }\mu\text{g/m}^3$ 。经过综合考虑,该系统选用北京攀藤科技有限公司的 PMS5003 颗粒物浓度传感器。该传感器的颗粒物测量粒径范围为 $0.3 \sim 1.0$ 、 $1.0 \sim 2.5$ 、

2.5~10.0 μm 。颗粒物质量浓度分辨率为 $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 。所以选用 PMS5003 符合设计要求。PMS5003 硬件上采用 UART 的通信方式与室内感知模块的 STM32 传输数据。

2.5 二氧化碳感知模块

二氧化碳浓度是教室感知系统的重要测量指标,二氧化碳浓度过高会使学生容易犯困^[15]。该模块的功能是准确测量二氧化碳的浓度。经分析比较后,本文选用瑞典森尔系列的 s8-0053 作为二氧化碳模块的传感器。该传感器采用非色散红外的工作原理测量二氧化碳浓度,测量精度高。该模块的最小分辨率为 1×10^{-6} ,其中能测量二氧化碳浓度的最大值为 2000×10^{-6} 。该传感器还有数据更新时间短、使用寿命长、功耗低、体积小等特点,完全能够满足系统的设计要求。在硬件电路设计上,该模块硬件电路采用 UART 的通信方式与室内感知模块的 STM32 芯片传输数据。

2.6 挥发性有机物感知模块

该模块用于感知室内挥发性有机物浓度,防止教室有异味。根据功能需求分析,选用 AMS 公司气体传感器 iAQ-core 来感知室内挥发性有机物。该传感器可探测醛类、有机胺、芳香烃、一氧化碳、醇类、有机酸类等基本物质浓度。该模块通过加热分析空气各成分比例,最后转换为总挥发性有机物(total volatile organic compounds, TVOC)浓度值。该模块测量范围为 $0.125 \sim 0.6 \text{ mg}/\text{m}^3$ 。该模块具有预热时间少、功耗小、灵敏度高等优点,能满足设计要求。该模块硬件电路采用 I²C 通信方式与室内空气感知模块的 STM32 传输数据。

2.7 液晶显示模块

根据功能需求分析要求测量的各种指标能够直观实时地显示,此系统的人机交互方式选用可触控液晶屏。综合各种因素考虑,本文选用北京迪文科技有限公司的工业串口屏 DMT80480L070_02WT。该屏幕支持电阻式触摸屏,一般采用 UART 通信方式与主控芯片通信^[16]。该屏幕需要使用 DGUS_Y7597 应用程序设计液晶屏幕的界面,再将设计的界面通过 SD 卡下载至液晶屏幕。

3 教室空气感知系统软件设计

3.1 空气感知模块软件设计

各个传感器采集的数据需要进行处理与上传,因此需要设计教室空气感知模块处理器芯片 STM32F103VET6 的软件程序。STM32F103VET6 在上电后,对其进行系统初始化,再周期读取二氧化碳、甲醛、温湿度、PM2.5、PM10、挥发性有机物等气体浓度,并对接收的数据进行处理。最后,根据 UART 通信协议将处理的数据上传至主控控制芯片。空气感知模块软件设计流程如图 3 所示。

3.2 主控制模块软件设计

主控制模块软件设计是教室空气感知系统软件设计的核心部分。室内和室外空气感知模块上传的空气质量数据需要通过主控制模块进行数据处理,因此主控制模块需要

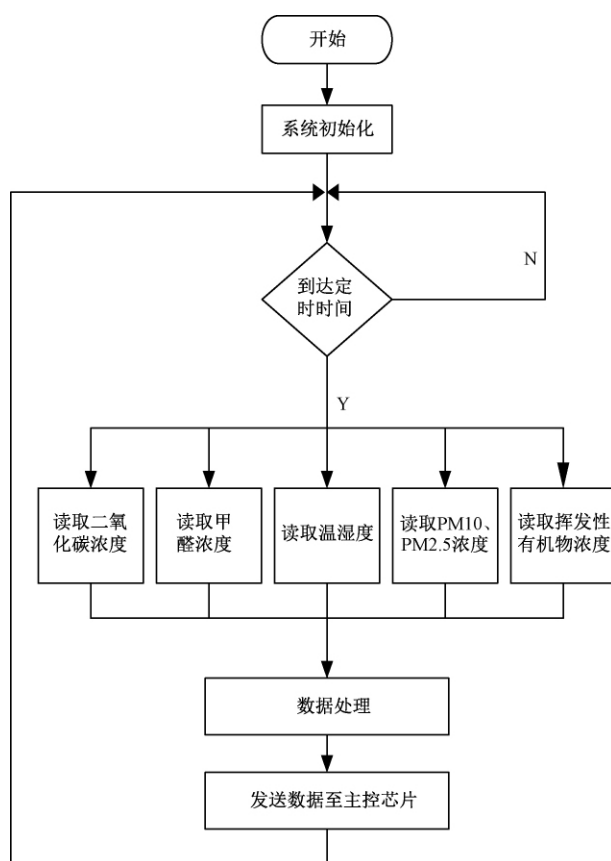


图3 空气感知模块软件设计流程

设计相应的软件程序,定时接收上传的数据和下发指令,并传输数据至液晶屏实时显示。

主控制模块软件设计流程如图 4 所示。首先对系统进行初始化,再周期接收室内外空气感知模块发送过来的数据,提取接收的室内外空气质量信息,并对数据处理。通过 UART 通信协议,发送 DGUS 屏的开发指令至液晶屏,并将空气质量信息写到液晶屏的变量存储器,同样通过发送相应指令方式将数据写到 DGUS 屏的曲线缓冲区。最后,主控程序发送相应指令读取变量存储器的参数,将空气各成分数据显示在液晶屏幕相应的位置。

4 实验结果

根据以上设计原理,使用 Altium Designer 绘制原理图和 PCB 图。软件程序的设计则使用 Keil 进行开发。设计的实物如图 5 所示。为了检测教室空气感知系统的功能性,能否实现需求的各种功能,分别单独测试了室内空气感知模块、室外空气感知模块、主控制模块和液晶显示模块的功能,又将教室空气感知系统整体进行了联合调试。图 6 所示为联合调试的液晶显示结果。测试结果表明各种空气质量数据显示字体清晰,页面布局美观,数据更新速度快,系统实时性好。

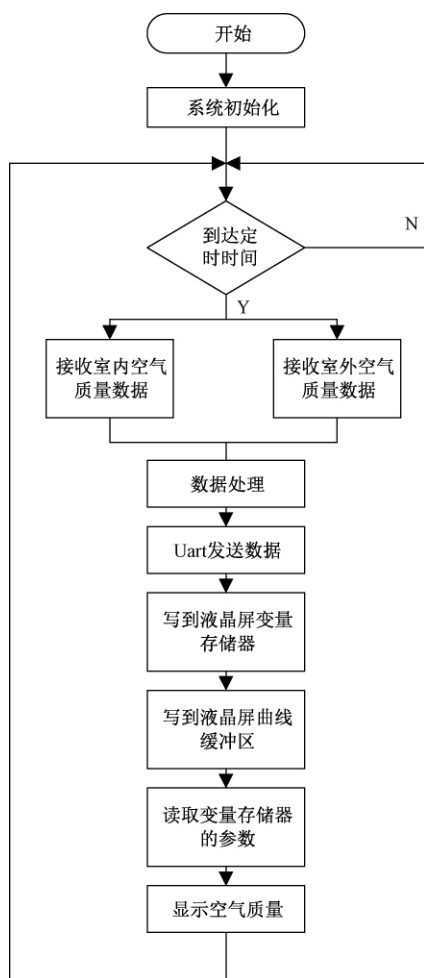


图 4 主控制模块软件设计流程

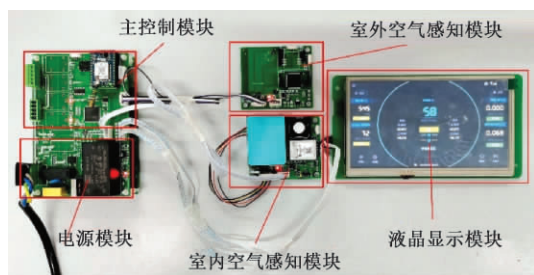


图 5 教室空气感知系统实物



图 6 液晶屏幕显示

为了验证测试结果的准确性和稳定性,将该系统放在实际教室中测试。以华中师范大学九号楼某间教室作为测试地点,经连续测试 24 h 后,该教室在 8:00,13:00,18:00,21:00 这 4 个时间点的空气感知测试结果如表 1 所示。

表 1 教室空气感知系统测试结果

	8:00	13:00	18:00	21:00
室内温度/℃	18.9	24.5	20.4	19.0
室内湿度/%RH	24.8	21.8	23.1	26.4
甲醛/(mg·m ⁻³)	0.001	0.04	0.001	0.002
CO ₂ (10 ⁻⁶)	589	1 282	629	1 025
TVOC/(mg·m ⁻³)	0.079	0.158	0.122	0.094
PM2.5/(μg·m ⁻³)	47	31	35	48
PM10/(μg·m ⁻³)	58	34	44	61
室外温度/℃	16.9	23.3	19.4	17.1
室内湿度/%RH	23.6	19.2	20.5	24.0

在教室测试的结果表明该监测系统运行正常,测试各个成分的浓度均在合理范围内。从测试结果来看,由于教室人群散发的热量,导致温度普遍要比室外略高,湿度两者相差不大。当天教室中的 PM2.5 与 PM10 数值较低,教室空气中可吸入的颗粒物较少,与武汉市当天的空气质量相符。由于教室使用的年限较长所以甲醛的浓度一直处于较低状态挥发性有机物也处于较低水平。全天教室的温度在早上最低,中午最高,晚上气温略微下降,与预期结果相符合。早上由于学生到教室的人较少,二氧化碳浓度较低,在中午 13:00 的时候教室二氧化碳的浓度明显增加,傍晚 18:00 的时候,学生出去吃饭或出去活动,因此二氧化碳浓度较低,晚上 21:00 需要上晚自习,因此此时的二氧化碳浓度又处于较高的状态。综上所述,设计的系统能实时感知教室空气的质量,符合设计要求。

5 结 论

本文设计了一种基于 STM32 的集成化教室空气感知系统,为现代化教室的建设提供了一种新思路。本文采用自顶而下的设计方法,对各个模块软硬件设计,并对设计的系统进行实验验证。经过全天对教室空气的测试,结果表明该系统能准确感知教室空气质量。该系统不仅具有准确度高、外观精美、生产成本低、监测的气体种类丰富、实用性强等优点,而且还有大多数市面上空气检测设备不具有的室外空气感知功能,适合应用于中小学、高校的教室和图书馆中。该系统为教室空气质量的改善提供了切实可行的方案,同时也丰富了教育系统的硬件设备种类。由于时间原因,还有许多地方不够完善。下一步的工作是添加 4G 通信模块将数据上传至服务器,实现远程教室空气质量监测的功能。还需要添加新风机模块,实现对教室智能换风的功能。

参考文献

- [1] 李景富, 崔英. 基于多传感器融合的空气质量检测[J]. 现代电子技术, 2020, 43(19): 171-174.
- [2] 凌启东, 袁冠, 王敏, 等. 基于信息融合的开放式空气质量监测系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(5): 149-156.
- [3] 宋高峰. 基于 ARM 单片机的空气质量检测系统研究[D]. 长春: 吉林大学, 2018.
- [4] 尹合栋, 于泽元, 易全勇. 智慧教室评价指标体系的构建[J]. 现代教育技术, 2020, 30(3): 80-87.
- [5] 郭志强. 面向智慧教室的嵌入式控制系统设计与实现[D]. 武汉: 华中师范大学, 2016.
- [6] LUO L, ZHANG Y, LING Z, et al. On the security and data integrity of low-cost sensor networks for air quality monitoring [J]. Sensors, 2018, 18 (12): 4451-4473.
- [7] 周佩丽, 谭文, 彭志敏. 基于 TDLAS 的烟气中 CO 浓度混合取样式在线监测[J]. 仪器仪表学报, 2019, 40(11): 233-240.
- [8] 成相伟, 王磊, 张文文. 阵列式气体传感器的信号采集系统设计[J]. 电子测量技术, 2020, 43(1): 120-126.
- [9] NEHA S, EKATA P. Indoor air quality remote monitoring system based on raspberry Pi [J]. International Journal of Environment Research, 2020, 2(1): 10-13.
- [10] WANG W, TIAN X, WANG L. Design of air quality monitoring system based on microcontroller [J]. International Core Journal of Engineering, 2020, 6(11): 265-273.
- [11] 马嫚, 程铅, 陈慧, 等. 基于信息融合技术的空气质量检测系统[J]. 电子器件, 2013, 36(4): 554-558.
- [12] 孙彦赞, 彭肖峰, 王涛, 等. 基于 MODBUS 协议的车载空气质量检测系统设计[J]. 电子测量技术, 2017, 40(8): 226-230.
- [13] 李博宸, 丁喜波, 蔡庆瑶. 密闭环境空气质量监测系统及其评价方法研究[J]. 哈尔滨理工大学学报, 2019, 24(1): 60-65.
- [14] 钱平, 李伟, 鲁国庆. 基于 EnOcean 和 GPRS 的远程空气监控系统研究[J]. 计算机仿真, 2017, 34(6): 407-410.
- [15] 周书涵, 郭森杰, 王雪羽, 等. 学校教室室内空气质量调查及成因分析[J]. 建筑热能通调, 2017, 36(12): 35-37.
- [16] 卫建华, 刘文玥, 徐薇, 等. 基于 USART HMI 的空气质量测量系统的设计[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(1): 77-81.

作者简介

曾佳慧, 硕士研究生, 主要研究方向为嵌入式与智能控制技术。

E-mail: 1282217015@qq.com

瞿少成, 工学博士, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为智能信息处理与非线性控制技术。

E-mail: qushaocheng@mail.ccnu.edu.cn