

基于物联网的室内空气质量智能感知与净化系统

卢 令^{1a}, 蔡乐才², 高 祥^{1b}, 李随群^{1c}

(1. 四川理工学院 a. 分析测试中心; b. 机械工程学院; c. 计算机学院, 四川 自贡 643000; 2. 宜宾学院, 四川 宜宾 644000)

摘 要:为实现室内空气质量的智能感知与实时净化,设计了基于物联网的室内空气质量智能感知与净化系统。该系统采用物联网三层体系结构作为整体框架,包括室内环境感知层、网络传输层和应用服务层。系统以 STM32 为内核微控制器,采用嵌入式实时操作系统为软件平台,设计五层空气过滤网,实现甲醛、PM2.5、TVOC 以及温湿度等室内空气质量参数的实时采集,实现手机 APP 软件远程的监测与控制,建立室内空气质量的评价标准。通过 24 h 的测试运行,系统运行稳定,实验室内的空气质量得到明显改善,净化效果显著。结果表明,该系统能够对室内空气进行智能感知与净化,并且对空气质量做出客观评价,为室内空气质量的调控提供可靠依据,具有较高的使用价值。

关键词:物联网技术;感知;ZigBee 网络;空气净化

中图分类号:TP27

文献标志码:A

引 言

随着国民收入不断提高、家庭居住条件显著改善,国民对家庭生活的品质要求越来越高,对居住空间环境的环保要求也越来越苛刻,但是整体环境质量却不容乐观,尤其对入住新家的人来说,装修残留的甲醛等有害气体会威胁家人的健康。室内空气的污染主要来源于家居装修、家庭生活活动(烹饪、吸烟等)、人自身的排泄物以及室外大气的污染^[1-2]。目前,空气净化器成为解决室内空气污染问题的首选仪器,然而仅具净化功能的空气净化器已经不能满足用户的需求。目前市场上出售的空气净化器的主要功能是过滤室内空气

中的有害物质,而对室内空气的环境参数不能做出实时检测并进行评估反馈给用户^[3-5]。随着物联网技术的不断发展与创新,改变现有室内空气净化器的功能与结构,设计一款兼具室内空气感知与净化功能的仪器越来越重要。智能化的空气净化器不仅能过滤空气中对人体有害的物质,还可以对室内空气质量进行科学的评估。本文设计的基于物联网的室内空气质量智能感知与净化系统对现有的空气净化器的功能进行了增加,用户不仅可以直接操作空气净化器,还可以通过移动终端 APP 软件,如手机或平板电脑,进行远程的检测和操控空气净化器,方便用户实时掌控室内空气的质量^[6-7]。

收稿日期:2018-03-26

基金项目:人工智能四川省重点实验室项目(2015RYY02);企业信息化与物联网测控技术四川省高校重点实验室项目(2016WYY03; 2017WYY02);四川省智慧旅游基地项目(ZHZ16-01)

作者简介:卢 令(1986-),男,江苏连云港人,助教,硕士,主要从事物联网技术与智能系统方面的研究,(E-mail)luling346@163.com

通信作者:李随群(1987-),男,河南泌阳人,助理实验师,硕士,主要从事嵌入式、物联网技术与应用等方面的研究,(E-mail)suiqun17@163.com

1 系统总体结构

物联网的感知具有很强的异构性,为实现信息之间的互通、互联和互操作,物联网是一个开放的、分层的、可扩展的网络体系结构^[8,9]。系统的工作原理:感知节点通过甲醛传感器、PM2.5传感器、温湿度传感器以及TVOC(总挥发性有机物)传感器等实时采集室内空气的质量数据,通过无线网络上传数据到服务器,如智能终端手机APP或电脑终端访问服务器,获取相应的环境数据,通过服务器发送命令到系统,控制系统净化模块的运行。

基于物联网的室内空气实时感知与净化系统是充分利用物联网的感知技术、通讯技术和智能控制技术来实现系统的全面功能,系统采用物联网的三层体系结构:室内环境感知层、网络传输层和应用服务层^[10-11]。系统的总体结构如图1所示。

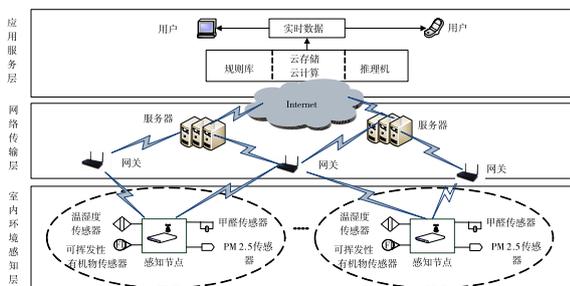


图1 系统的总体结构

室内环境感知层:感知层最基本的元素就是各种不同功能的传感器,通过适量的传感器节点组成的感知网络实现对室内空气质量的全面感知,并且通过无线网络进行联网,实现数据信息的实时汇聚与传输^[12]。采用模块化结构来设计各感知节点,对室内空气质量进行感知。主要的环境感知因子有温湿度传感器、甲醛传感器、PM2.5传感器、TVOC传感器等。

网络传输层:主要完成室内环境信息的交互^[13]。在系统中,环境信息和控制信息的传输需要无线网络的支持,本文设计的感知节点采用 ZigBee 模块,可以利用 ZigBee 网络实现数据的无线传输,该模块采用的是高性能的 ZigBee 方案,可以提供 DIP 接口与 SMT 接口,还可以直接连接 TTL 接口设备,实现数据的无线传输;低功耗设计,最低功耗小于 1mA;提供 6 路 I/O,可实现数字

量输入输出、脉冲输出;其中有 3 路 I/O 还可实现模拟量采集、脉冲计数等功能^[14]。室内 ZigBee 无线网络的拓扑结构如图 2 所示。

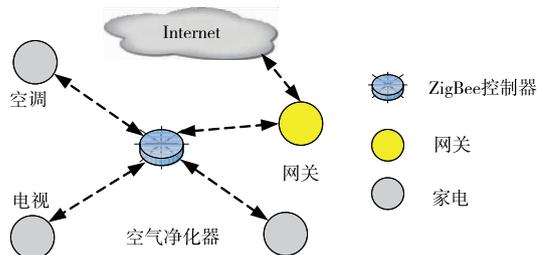


图2 室内网络拓扑结构

应用服务层:用户的融合应用为该层的主要核心。通过对室内空气质量信息全面感知的基础上实现对设备的远程控制。用户通过控制设备如手机 APP 或电脑终端实时地获取室内空气质量的信息,并且可以远程控制室内家电的运行。由用户端输出触发信号,系统接收触发信号,根据推理机和规则库中的信息与相应的控制规则将信号转化成实际的操作信息,并将操作信息在相应的家电中实现。

2 感知模块设计

2.1 净化器设备端硬件设计

净化器的控制电路是由 STM32 微控制器、电源模块、LED 触摸屏、交流电机、传感器模块等组成。系统 CPU 处理器采用的是高性能 ARM Cortex - M3 架构的 STM32F103VET6 芯片,其主频为 72 MHz,芯片内部 Flash 程序存储器为 512 KB,芯片存储容量 RAM 为 64 KB,时钟频率为 8 MHz。LED 采用的是 4.3 寸触摸显示屏。电机采用的是松下专用空气净化器电机,频率为 50/60 Hz,转速 1500 rpm ~ 2600 rpm,静音风量大。系统的硬件框图和实物图分别如图 3 与图 4 所示。

空气净化器 MCU 的操作系统采用的是嵌入式实时操作系统(RTOS),采用 5 个工作线程,功能分别为任务管理、I/O 操作、LED 液晶显示、传感器数据采集和 ZigBee 通信,其中每个线程都是单独的事件,当空气净化器收到关机的指令,结束主程序,关闭所有线程。

2.2 应用软件程序设计

系统的主程序包括 ZigBee 无线通信、数据的实时采集、人机交互以及控制风机运转等。通过 ZigBee 模块实

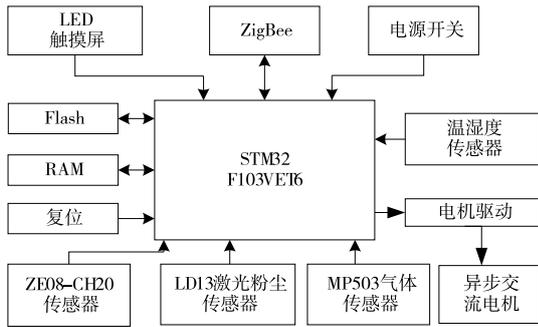


图 3 系统硬件框图

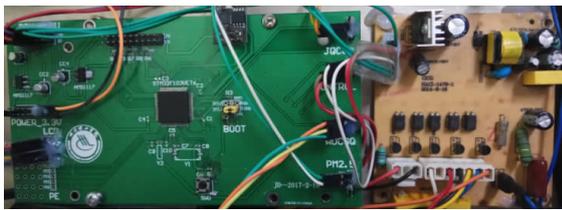


图 4 硬件实物图

现数据上传和控制信息的交互传输,室内空气质量信息实时可见,对净化模块可随时开启,实时净化;系统自带人机交互界面,可以通过手机远程和 LCD 界面实时进行控制系统的运转和数据接收与显示。系统主程序流程图如图 5 所示。

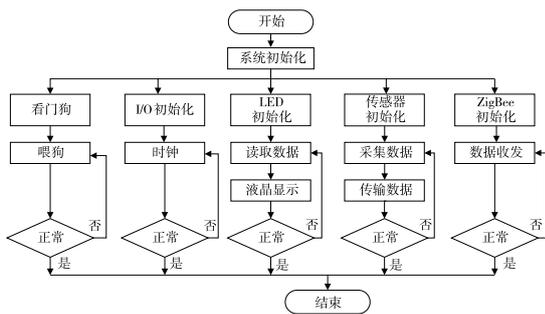


图 5 主程序流程图

3 净化模块设计

3.1 过滤层设计

净化模块是室内空气过滤净化装置,对室内空气质量的提升起关键作用。本文设计的净化模块采用 5 层过滤结构:初级过滤网、活性炭过滤网、HEPA 过滤网、HIMOP 过滤层和加湿滤网。初级过滤网是净化模块的第一层,可以高效地吸附空气中灰尘颗粒和粉尘,保护后面的过滤网;活性炭过滤网去除室内空气中异味;HEPA 过滤网可以有效吸附室内烟雾、灰尘以及细菌等污

染物,对直径为 $0.3 \mu\text{m}$ 以下的微粒去除效率可达到 99.7% 以上,等级是 H10;HIMOP 过滤层能够解决由于装修导致的室内空气污染,尤其是对于甲醛有超强的功效,同时可以去除空气中挥发性有机物、苯系物以及可吸入颗粒物(如 PM2.5、烟雾、花粉)等对人体有害气体;加湿滤网用来加湿空气,能迅速降尘。

3.2 净化评价

室内空气质量的评价及评级受多种因子的影响,本文采用 PSO 优化算法^[17]对室内空气的质量进行评价。根据《室内空气质量标准》GB/T18883 - 2002^[18]选取实际环境指标甲醛、PM2.5 和 TVOC 作为评价因子。采用 GB/T18883 - 2002 将室内空气质量分为 3 个等级,见表 1,其中 T_2 为标准浓度的阈值。

表 1 室内空气质量分级(单位: mg/m^3)

评价因子	质量等级		
	T_1	T_2	T_3
甲醛	0.05	0.10	0.20
PM2.5	0.05	0.15	0.25
TVOC	0.40	0.60	0.80

通过三个评价因子建立的空气质量分级对 T - S 模糊神经网络^[19]进行训练,得出可以评价的模型,生成评价等级。经过 T - S 模糊神经网络的训练将室内空气质量分为三个等级^[20-21],见表 2,一级为空气质量优良,没有污染;二级为空气污染不超标,不会影响生活起居;三级为至少有一个指标超标,影响正常的起居生活。

表 2 室内空气质量等级

输出	等级
< 0.996	一级
$> 0.996, < 1.575$	二级
> 1.575	三级

4 系统测试

设计完成后,对空气净化器进行了功能测试,包括净化器控制软件工作是否正常、空气净化器的风机运转情况、空气质量传感器数据的采集、ZigBee 无线数据的上传、手机 APP 数据的显示以及 LED 液晶的触摸控制

与显示等。测试设定在 30 m² 左右的实验室,室内环境为室温 20 ℃和湿度 21%。实验时将空气净化器放置在实验室的中间位置,当空气净化器风机开启时可以使室内空气的拥有良好循环。在实验开始后对实验室进行 24 h 的封闭,使实验室室内保持一个稳定的环境。

测试结果如图 6 所示。图 6(a)为 LED 液晶显示屏显示结果,经过 1 h 的测试,室内 PM2.5 数值及甲醛数值稳定且低于设计的阈值,因此采用风速 1 档,以最低风速运转;图 6(b)为手机 APP 端显示的室内 PM2.5 的数值,与仪器端的 LED 显示数值一致。通过手机客户端控制空气净化器风速的档位,均可按指令变换风速,测试结果正常。

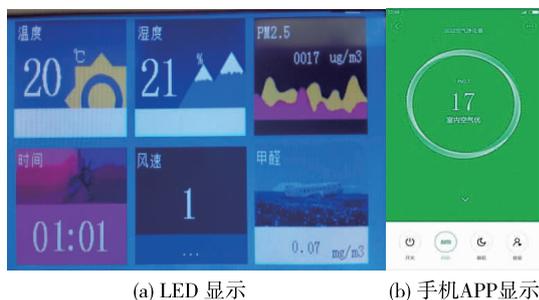


图 6 测试结果

通过 24 h 的系统测试,甲醛、PM2.5、TVOC 三个指标的净化趋势如图 7 所示。连续净化 24h 后,实验室的甲醛、PM2.5、TVOC 的浓度均有明显降低,空气质量等级达到一级效果,空气质量优良。甲醛、PM2.5 以及 TVOC 三个指标的净化效率为 62.5%、83.3% 和 85%,说明净化效果明显。

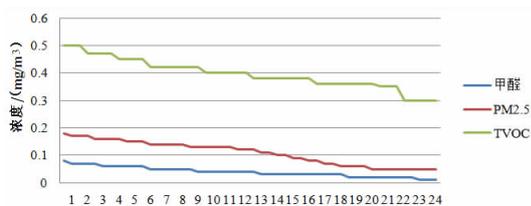


图 7 净化趋势图

5 结束语

本文对基于物联网的室内空气质量智能感知与净化系统的关键技术进行了深入研究,设计一套完全可行的智能感知与净化系统。系统的感知模块实现智能

感知室内空气质量的信息,系统的净化模块采用五层过滤层设计,经 24 h 的实际测试,甲醛、PM2.5 以及 TVOC 的浓度明显降低,净化效率分别达到 62.5%、83.3% 和 85%,说明净化效果优良。通过手机 APP 进行远程监测与控制,实现对室内的空气质量进行智能评级。实验测试表明,本文设计的空气净化系统对空气质量的智能感知与净化效果优良,在满足成本预算的前提下实现各个功能模块的安全及可靠运转,实现了智能化控制,真正满足了室内空气感知与净化的智能化要求。

参考文献:

- [1] 钱华,戴海夏.室内空气污染与人体健康的关系[J].环境与职业医学,2007,24(4):426-430.
- [2] 曹勤,刘砚华,魏复盛.我国室内空气污染状况及防止建议[J].中国环境监测,2003,19(5):67-72.
- [3] 李春明,张会,陈丁楷.室内空气质量在线检测系统的研制[J].环境科学与技术,2017,40(5):141-144,152.
- [4] 冯笑,张卫民.基于物联网的室内雾霾净化系统设计与实现[J].工业控制计算机,2017,30(9):82-83.
- [5] 张鹏,冯显英,霍睿.基于 STM32 的多功能空气净化器控制系统开发[J].电子技术应用,2017,43(3):80-83.
- [6] WU F, XU L, KUMARI S, et al. An efficient authentication and key agreement scheme for multi-gateway wireless sensor networks in IoT deployment[J]. Journal of Network & Computer Applications, 2017, 89: 72-85.
- [7] MAI V, KHALIL I. Design and implementation of a secure cloud-based billing model for smart meters as an Internet of Things using homomorphic cryptography[J]. Journal Future Generation Computer Systems, 2017, 72: 327-338.
- [8] 陈海明,崔莉,谢开斌.物联网体系结构与实现方法的比较研究[J].计算机学报,2013,36(1):168-188.
- [9] 沈苏彬,杨震.物联网体系结构及其标准化[J].南京邮电大学学报:自然科学版,2015,35(1):1-18.
- [10] 郭威彤,宋海声,杨鸿武,等.一种便携式室内空气质

- 量快速检测仪设计[J].传感器与微系统,2015,34(4):92-94.
- [11] 孙其博,刘杰,黎彝,等.物联网:概念、架构与关键技术研究综述[J].北京邮电大学学报,2010,33(3):1-9.
- [12] 高祥,蔡乐才,居锦武,等.白酒固态发酵的温度感知装置设计[J].四川理工学院学报:自然科学版,2014,27(6):55-58.
- [13] 王怡,鄂旭.基于物联网无线传感的智能家居研究[J].计算机技术与发展,2015,25(2):234-237.
- [14] 陈培英,王承林,胡红林,等.基于 ARM 及 ZigBee 的智能家居远程监控系统实现路径[J].现代电子技术,2017,40(19):41-44.
- [15] 邢核,李国刚.综合评价室内质量初探[J].环境监测管理与技术,2006,18(2):35-37.
- [16] 李念平,朱赤晖,文伟.室内空气品质的灰色评价[J].湖南大学学报:自然科学版,2002,29(4):85-91.
- [17] 陈双叶,徐文政,丁双春,等.改进 PSO-TSFNN 智能家居室内空气质量检测与评价[J].电子技术应用,2017,43(1):84-87,91.
- [18] GB/T18883-2002.室内空气质量标准[S].
- [19] 孙增圻,徐红兵.基于 T-S 模型的模糊神经网络[J].清华大学学报:自然科学版,1997,37(3):76-80.
- [20] 韩敏,范迎南.基于 T-S 模型的扩展型模糊神经网络及应用[J].系统工程学报,2007,22(5):532-538.
- [21] 周忠寿.基于 T-S 模型的模糊神经网络在水质评价中的应用[D].南京:河海大学,2007.

Intellisense and Purification System for Indoor Air Quality Based on Internet of Things

LU Ling^{1a}, CAI Lecai², GAO Xiang^{1b}, LI Suiqun^{1c}

(1a. Analytical and Testing Center; 1b. School of Mechanical Engineering; 1c. School of Science & Engineer, Sichuan University of Science & Engineering, Zigong 643000, China; 2. Yibin University, Yibin 644000, China)

Abstract: To realize the intelligent perception and real-time purification of indoor air quality, an intelligent indoor air quality perception and purification system was designed based on internet of things. The overall structure of the system was composed of three tier architecture of internet of things including the intellisense layer of indoor environment, the network transmission layer and the application service layer. STM32 was taken as the core microcontroller in the system. The embedded real-time operation system was adopted as the software platform. Five layers of air filter network were designed. The real time collection of indoor air quality was realized, such as PM2.5, formaldehyde, TVOC, temperature and humidity. The mobile APP software of remote monitoring and control was realized. And the evaluation standard of indoor air quality was established. Through the test run of 24 hours, the system ran stably, the air quality in the laboratory was obviously improved, and the purification effect was remarkable. The results show that the system can make intelligent perception and purification of indoor air, make an objective evaluation of air quality, provide a reliable basis for the control of indoor air quality, and has a high value of use.

Key words: internet of things technology; intellisense; ZigBee network; air purification