

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005480

基于物联网的教室模糊 AQI 监测管理系统*

毛文琪 瞿少成 赵亮 洪柏桦 曾佳慧

(华中师范大学物理科学与技术学院 武汉 430079)

摘要: 针对教室环境空气质量问题,设计了一种基于物联网的教室模糊 AQI 监测管理系统。基于 STM32 构建了一种集成多种空气质量传感器的监测平台与新风调节系统,并通过 TCP/IP 协议、MQTT 协议和 HTTP 协议完成了空气质量数据的传输;基于模糊推理理论,通过选取教室空气质量中 CO₂、VOC、甲醛、PM2.5 与 PM10 五种指标,设计了一种模糊空气质量指数(FAQI)评价方法;在此基础上,采用 Java Web 与数据库技术设计了后台管理系统,并采用 Vue.js 框架设计了 PC 端和移动端 APP,实现了教室空气质量的实时展示和新风系统的稳定控制。实际测试结果表明,该系统运行稳定,能有效实时监测与调控教室内空气质量,具有一定推广价值。

关键词: 物联网;教室;空气质量监测;Java Web;模糊推理

中图分类号: TN915 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4030

Fuzzy AQI monitoring management system for classroom based on IoT technology

Mao Wenqi Qu Shaocheng Zhao Liang Hong Baihua Zeng Jiahui

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

Abstract: Aiming at the problem of classroom ambient air quality, a fuzzy AQI monitoring management system for classrooms based on the IoT technology is designed. A monitoring platform integrating multiple air quality sensors and a fresh air conditioning system is constructed based on STM32, and the air quality data transmission is completed through TCP/IP, MQTT and HTTP protocols; by selecting five indicators of CO₂, VOC, formaldehyde, PM2.5 and PM10 in classroom air quality, a fuzzy air quality index (FAQI) evaluation method is designed based on fuzzy inference system; on this basis, Java Web/database technology and Vue.js framework are used to design background management system and APP, respectively, which realizes the real-time display of classroom air quality and stable control of the fresh air system. Practical test results show that the system runs stably, can effectively monitor and control the air quality in classrooms in real time, thus has certain promotion value.

Keywords: internet of things (IoT); classroom; air quality monitoring; Java Web; fuzzy inference

0 引言

随着现代网络技术、传感技术和射频识别等技术的快速发展,延伸出一种网络与智能传感设备进行数据交互的物联网技术,被誉为信息产业的第三次创新^[1-2]。物联网技术广泛应用于各个领域,其中在教育领域,物联网技术使得学校教学管理更具智能化和人性化^[3]。教室空气质量状况与师生的学习和身心健康关系十分密切。将物联网技术应用于教室环境监测当中,能为师生提供更加舒适的学习环境^[4-5]。

文献[6]设计了一款室内空气质量监测与净化装置,但

是缺乏远程设备管理平台和智能化的数据展示平台,不能查看历史空气质量数据和设备状态信息。文献[7]使用基于物联网(internet of things, IoT)的室内空气质量监控系统收集室内温湿度、PM2.5 和 CO₂, 并通过 PM2.5 和 CO₂ 的 IAQ 值反映室内空气质量指数,但其使用的环境参数较少,忽略了甲醛、VOC 等污染物对室内环境的影响。

针对上述问题,本文设计了一种基于物联网的教室模糊 AQI 监测管理系统,使用各类环境传感器实时采集教室空气质量数据,采集指标包括温湿度、CO₂、PM2.5、PM10、甲醛和 VOC; 基于 TCP/IP 协议、MQTT 物联网协议和 HTTP 协议完成数据的采集、存储与上传;设计开发了后

收稿日期:2020-12-03

* 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

台管理系统和前端APP实现对设备的远程管理和数据的展示。同时基于模糊推理系统,提出了一种模糊空气质量指数(fuzzy air quality index,FAQI)评价方法。基于物联网的教室模糊AQI监测管理系统对于提高教学质量、构建舒适健康的学习环境起着重大作用,具有广阔的应用前景^[8-9]。

1 系统总体设计

本文系统总体设计结构如图1所示。基于物联网技术的系统架构总体可分为感知层、网络层和应用层^[10]:感知层负责信息采集与传输;网络层负责将采集的信息通过互联网通信技术进行远程传输;应用层负责对前端感知层得到的信息进行处理,并实现具体的应用。空气质量指标的获取主要由嵌入式硬件平台完成^[11],本文主要完成软件系统的研究与设计。

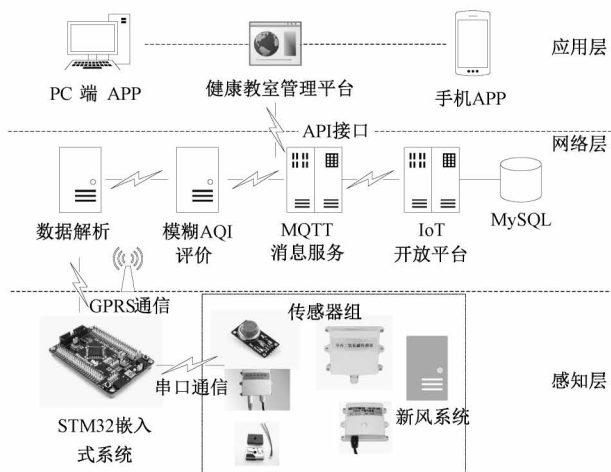


图1 系统总体架构

2 软件平台设计

2.1 软件系统整体架构

本文系统软件结构如图2所示。软件系统主要分为数据采集模块、数据解析模块以及数据展示模块。软件后台系统基于JEECG快速开发平台^[12],使用了Spring MVC、Hibernate4、MiniDao持久层框架和UI快速开发库等架构,前端设计使用Vue框架、Echarts库和JavaScript等架构。本系统通信协议中硬件部分与数据解析模块之间的通信采用基于TCP协议的Mina框架^[13]。MQTT通信中使用Apache-Apollo-1.7.1作为MQTT服务器^[14]。

2.2 后台管理系统功能设计

后台管理系统主要分为两大模块,IoT开放平台与健康教室管理平台,后台系统功能结构如图3所示。其中,IoT开放平台完成设备的接入及数据的存储与传输;健康教室管理平台实现设备和用户的管理及教室空气质量数据的获取与处理。

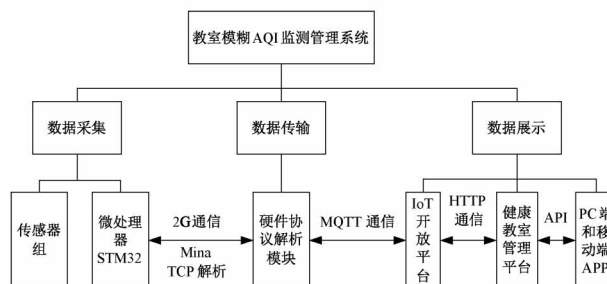


图2 系统软件结构

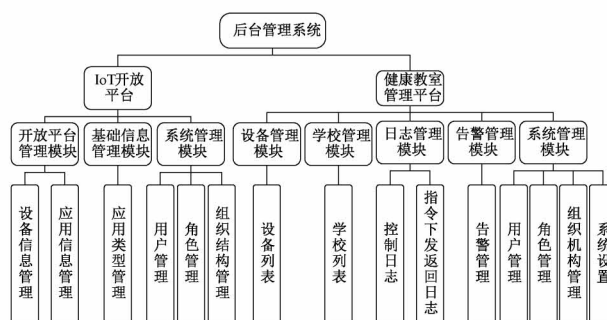


图3 后台管理系统功能结构

3 空气质量指数模糊推理模型

空气质量指数(AQI)是常用的大气环境评价指标,通过将几种常见空气污染物的监测浓度经相关计算公式计算得出,目前大多数文献采用极大算子法来求得总体AQI,即当日空气质量指数取决于个别空气质量指数(IAQI)最高的污染物。显然,这种方法忽略了其他污染物对空气质量的影响。因此,为了得到一个较科学的空气质量指数,综合反映各污染物对空气质量的影响,本文提出了一种空气质量指数模糊推理模型^[15]。

3.1 空气质量指数模糊推理算法

1)评价指标选取标准

本文选取了5种具有影响力的空气污染物,分别为CO₂、VOC、甲醛、PM2.5和PM10。为了对空气质量进行综合评价,首先需要评估每一种污染物,确定其浓度等级,以确定其对空气污染和个人健康的负面影响。参照国内环境标准文件,这里选取CO₂等级分布如表1所示。

2)模糊推理系统

模糊推理系统的主要作用是运用模糊理论建立室内环境空气质量指数,提高空气质量评价效率。模糊推理系统总体设计如图4所示。

3)模糊规则库的生成

模糊规则库的生成步骤如下:

(1)在模糊规则库生成前,本文首先确定了各污染物的浓度等级,如表1所示。

(2)模糊推理系统使用三角和梯形两种隶属度函数来确定一个确定范围内的浓度水平^[16-17]。选取CO₂隶属度

表 1 CO₂ 浓度等级

CO ₂ 浓度/10 ⁻⁶	产生的影响
350~450	优、同一般室外环境
350~1 000	良、空气清新,呼吸顺畅
650~1 300	轻度污染、感觉空气浑浊,并开始觉得昏昏欲睡
1 000~1 600	中度污染、感觉嗜睡、注意力无法集中、心跳加速、轻度恶心
1 500~2 000	重度污染、感觉气喘、头痛、眩晕

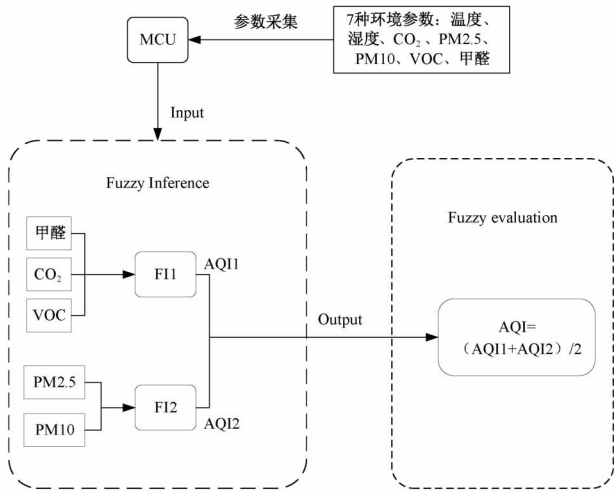


图 4 模糊推理系统总体设计

规则库。输出 AQI1 规则如表 2 所示。

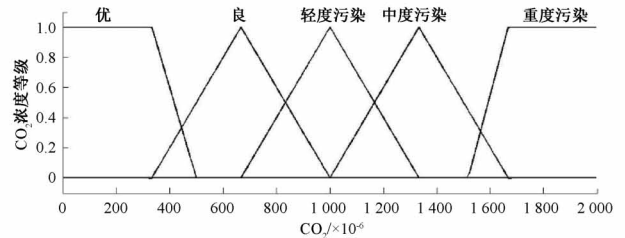


图 5 CO₂ 的隶属度函数

结果如图 5 所示,输出 AQI1 的结果如图 6 所示。

(3)在确定了模糊参数和隶属度函数后,给出了模糊

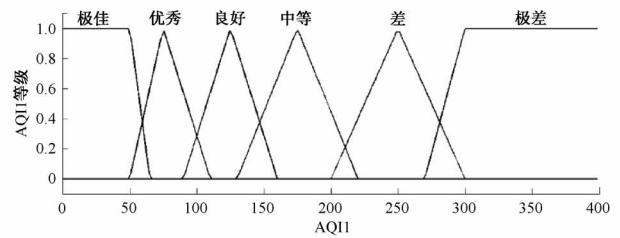


图 6 AQI1 的隶属度函数

表 2 AQI1 规则表

Num	Rules
1	if (HCHO is low) and (CO ₂ is very-low) and (VOC is very-low) then (AQI1 is excellent)
2	if (HCHO is low) and (CO ₂ is very-low) and (VOC is low) then (AQI1 is excellent)
3	if (HCHO is low) and (CO ₂ is very-low) and (VOC is medium) then (AQI1 is good)
4	if (HCHO is low) and (CO ₂ is very-low) and (VOC is high) then (AQI1 is good)
5	if (HCHO is low) and (CO ₂ is very-low) and (VOC is very-high) then (AQI1 is moderate)
...	...
75	if (HCHO is high) and (CO ₂ is very-high) and (VOC is very-high) then (AQI1 is hazardous)

(4)去模糊化

在规则推理过程完成后,模糊推理系统将模糊输出转换为清晰输出的最终过程称为去模糊化,这里使用质心法确定指标。质心法利用重心可能性来确定输出,是最常用的方法之一^[18]。

3.2 模型仿真结果

在 MATLAB 中对模糊推理系统进行了仿真。图 7 所示为 AQI1 的输出三维视图。 x 、 y 轴为室内空气污染物的输入值, z 轴为 AQI1 的输出值。由图 7 可知,CO₂ 和甲醛的浓度低时,教室内空气质量较好;浓度越高,教室内空气质量越差。

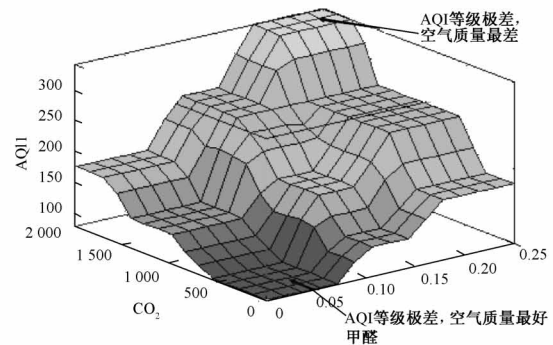


图 7 AQI1 输出三维视图

通过 Simulink 工具对模糊推理系统进行仿真,经相关计算得到最终的教室 AQI 评价结果,如图 8 所示,输入由甲醛、CO₂、VOC、PM_{2.5}、PM₁₀ 的常量值组成,5 种输入值分别作为两个模糊控制器的输入,其中 AQI1 为以甲醛、CO₂、VOC 为输入的模糊推理系统的输出, AQI2 为以 PM_{2.5}、PM₁₀ 作为输入的的输出指数;AQI 与 AQI2 进行求和、取平均计算后输出最终的 AQI 值。

表 3 所示为基于 Simulink 的模糊推理系统仿真实验结果,其将实测得到包含 CO₂、甲醛、VOC、PM_{2.5} 和 PM₁₀

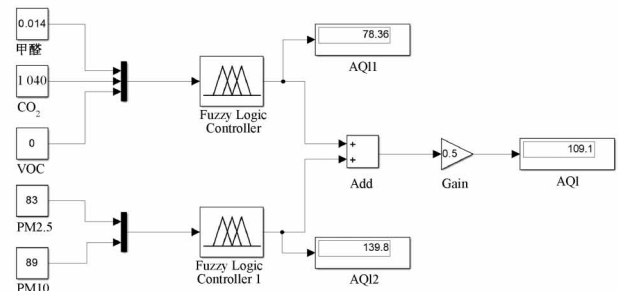


图 8 FAQI 的 Simulink 仿真结构

表 3 FAQI 实际测试结果

CO ₂	甲醛	VOC	PM _{2.5}	PM ₁₀	AQI	AQI 等级	FAQI	FAQI 等级
1 040	0.014	0	83	85	110	优	107.6	优
469	0.090	0.100	2	2	2	优	57.33	优
751	0.110	0.180	220	264	270	极差	187.5	差
430	0	0	37	44	52	优	31.54	极佳
600	0.060	0.080	66	66	88	优	61.61	优
545	0	0.108	140	165	185	差	104.4	优
800	0.010	0.060	20	30	30	极佳	38.14	极佳
328	0.140	0.190	7	9	10	极佳	77.80	优
1 300	0.250	0.800	35	35	50	极佳	186.6	差
500	0.010	0.010	250	350	300	危险	184.3	差

等 5 种空气质量的 10 组数据作为输入,得到 AQI(最大算法)和基于模糊推理得到的 FAQI 及其评价等级。

通过表 3 的仿真结果可知,当 CO₂、甲醛和 VOC 的浓度较小时,模糊评价的 FAQI 结果与目前常用使用最大算法得出的 AQI 值相差不大。但当 CO₂、甲醛和 VOC 的浓度过大且 PM_{2.5} 和 PM₁₀ 的浓度较低时,模糊评价的 FAQI 结果能较客观地显示当前空气质量的污染程度,而这一结果与使用最大算法得出的 AQI 值相差较大。实验结果表明,教室模糊 AQI 评价系统能较为科学地评价目前教室内空气质量的好坏。

4 系统实现与测试

4.1 系统软件实现

整个软件系统部署在腾讯云服务器上,系统运行成功之后,空气质量监测数据会以 1/30 s 的速率传输给软件后台系统进行处理。系统软件部分包含两个后台管理系统及 PC 端和移动端 APP,因篇幅限制,这里仅展示健康教室管理平台的设备管理界面和 PC 端 APP 的实时数据展示界面,如图 9 所示。设备管理界面主要对所安装的设备进行管理;PC 端 APP 主要完成数据的可视化展示,包括班级



图 9 健康教室管理平台和 PC 端 APP 功能展示

环境实时监测与历史数据变化趋势。系统测试表明,本系统各部分功能正常,在实际环境中测试,结果也符合预期。

4.2 系统性能测试

分别对后台管理系统和前端 APP 进行了稳定性测试、安全性测试及兼容性测试,测试结果如下:

1)稳定性:在网络不稳定、多次进行页面相互切换或多用户同时访问情况下,系统正常运行。

2)安全性:系统对敏感数据进行了加密处理,有可随时查询的详细的操作日志记录,有效保障了系统的安全。

3)兼容性:后台系统兼容 IE、谷歌浏览器及 Firefox 等常用浏览器;使用不同型号、版本的手机访问 APP,页面效果一致,数据访问正常。

以上测试结果表明,本系统运行稳定,兼容性好,并且具有较高的安全性和可行性。

5 结 论

本文设计和实现了一种基于物联网技术的教室模糊 AQI 监测管理系统,对实时采集的教室内温湿度、CO₂ 浓度、PM_{2.5} 浓度、PM₁₀ 浓度、甲醛浓度和有害气体浓度等反映空气质量状况的信息进行处理,能在 PC 端和移动端进行展示,并能实现新风系统的远程控制。同时,本文设计了一种基于模糊推理理论的 FAQI 评价方法,以五种环境参数对空气质量的综合影响作为 AQI 的评价标准,实现教室内空气质量的综合评价。此系统用户使用方便,测量空气质量参数较多,可扩展性强,稳定性高,作为智慧校园系统的子系统具有一定推广价值。

参考文献

- [1] 钱志鸿,王义君. 物联网技术与应用研究[J]. 电子学报,2012,40(5):1023-1029.
- [2] 路龙龙,刘学锋,毛建华,等. 基于物联网的医院自助终端智能管理系统设计[J]. 电子测量技术,2012,35(7):88-91.
- [3] 巴音查汗,安鹏. 基于嵌入式及 RFID 物联网技术的智慧校园系统设计及实现[J]. 现代电子技术,2017,40(16):63-68.
- [4] 崔曼,薛惠锋,卜凡彪,等. 基于物联网与云计算的环境监测系统研究[J]. 西安工业大学学报,2013,33(7):577-582.
- [5] 张玉清,周威,彭安妮,等. 物联网安全综述[J]. 计算机研究与发展,2017,54(10):2130-2143.

- [6] 秦君,邵清亮,郭美琳. 智能室内空气环境质量监测与净化系统设计[J]. 自动化仪表,2018,39(3):99-102.
- [7] KIM H H, KWAK M J, KIM K J, et al. Evaluation of IAQ management using an iot-based indoor garden[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health,2020,17(6):1-14.
- [8] 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的研究[J]. 电子测量与仪器学报,2020,34(5):149-156.
- [9] 陈平,刘臻. 智慧校园的物联网基础架构研究[J]. 武汉大学学报(理学版),2012,58(S1):141-146.
- [10] 戴建,史志才,吴飞,等. 基于三层架构的智能家居系统研究与实现[J]. 电子测量技术,2016,39(1):114-118.
- [11] 韦海成,王森军,魏鑫,等. 基于 STM32 的室内空气质量监测自适应调节系统[J]. 现代电子技术,2016,39(8):130-134,137.
- [12] 郑毅,李明江,闫宾. 基于 J2EE 代码生成器的软件开发框架的研究及应用[J]. 计算机科学,2017,44(10A):212-215.
- [13] 剧忻,苗放. 基于 MINA 开发高性能网络应用程序——以实现 XMPP 协议 Openfire3.3.3 为例[J]. 重庆工学院学报(自然科学版),2008,22(10):121-125,160.
- [14] 于海飞,张爱军. 基于 MQTT 的多协议物联网网关设计与实现[J]. 国外电子测量技术,2019,38(11):45-51.
- [15] DIONOVA B W, MOHAMMED M N, AL-ZUBAIDI S, et al. Environment indoor air quality assessment using fuzzy inference system[J]. ICT Express,2020,6(3):185-194.
- [16] 吴旭,张建华,赵天阳,等. 基于模糊聚类和模糊推理的电网连锁故障预警方法[J]. 电网技术,2013,37(6):185-193.
- [17] 李昂,付敬奇,沈华明,等. 基于模糊聚类和猫群算法的室内定位算法[J]. 仪器仪表学报,2020,41(1):674-680.
- [18] 袁学海,李洪兴,杨雪. 基于模糊变换的模糊系统和模糊推理建模法[J]. 电子学报,2013,41(4):674-680.

作者简介

毛文琪,硕士研究生,主要研究方向为智能 Web 技术。

瞿少成,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