

基于WSN的室内空气可吸入颗粒物的检测与评估系统研究

冯金龙,陈育中

(江苏联合职业技术学院南京分院,江苏南京 210019)

【摘要】提出一种基于WSN和数据融合技术的室内空气可吸入颗粒物的检测与评估系统。系统无线采集终端集成了PM2.5、PM10颗粒物传感器以及温湿度传感器共4种传感器组成无线传感网,进行室内可吸入颗粒物与温湿度的数据采集,并通过协调器将采集到的数据发送给上位机,在上位机建立融合评价算法的模型,对室内可吸入颗粒物质量进行评价。实验表明,该系统能够完成室内颗粒物的数据采集、传输,并能够利用评价模型对室内空气质量做出评价。

【关键词】WSN;传感器;可吸入颗粒物;融合评价算法

【doi:10.3969/j.issn.2095-7661.2022.03.007】

【中图分类号】TN92;TP274

【文献标识码】A

【文章编号】2095-7661(2022)03-0025-06

Research on Detection and Evaluation System of Indoor Air Inhalable Particulates Based on WSN

FENG Jin-long, CHEN Yu-zhong

(Nanjing Branch of Jiangsu Union Technical Institute, Nanjing, Jiangsu, China 210019)

Abstract: A detection and evaluation system of inhalable particulate matter in indoor air based on WSN and data fusion technology is proposed. The system wireless collection terminal integrates PM2.5, PM10 particle sensor and temperature and humidity sensor to form a wireless sensor network for indoor inhalable particles and temperature and humidity data collection, and send the collected data to the host computer through the coordinator. A model of fusion evaluation algorithm was established in the upper computer to evaluate the quality of indoor inhalable particulate matter. Experiments show that the system can complete the data collection and transmission of indoor particulate matter, and can use the evaluation model to evaluate the indoor air quality.

Keywords: WSN; sensor; inhalable particulates; fusion evaluation algorithm

目前,随着经济的发展,人们生活水平日益提高,但煤炭和石油燃料消耗较大,大气环境质量日趋恶化,尤其是最近几年雾霾天气频发。雾霾严重影响空气质量,而空气质量直接影响着人们的健康,因此,对室内空气中的可吸入颗粒物进行监测以及定性评价是非常有必要的。

1 系统总体方案

设计一种基于WSN和数据融合技术的室内空气可吸入颗粒物的检测与评估系统,系统结构框如图1所示,分散的多个数据采集节点采集室内的

可吸入颗粒物,通过查阅资料发现温湿度对室内的可吸入颗粒物的浓度有较大的影响,故在数据采集节点模块上添加了温湿度传感器。数据采集节点模块通过ZigBee网络将采集到的数据发送给控制中心模块,控制中心模块将收集到的数据通过串口发送给上位机。上位机对采集到的数据进行分析处理。同时,控制中心模块接收上位机模块发送过来的指令,将指令通过无线网络发送给数据采集节点模块,比如:下发数据采集命令。本系统的上位机模块主要负责对采集到的数据进行数

【收稿日期】 2022-06-23

【作者信息】 冯金龙(1985—),男,江苏扬州人,江苏联合职业技术学院南京分院副教授,硕士,研究方向:物联网技术、检测技术与自动化装置、智能仪器仪表。

【基金项目】 2022年江苏省职业教育教学改革研究课题“‘对分课堂’教学模式在五年制高职现代通信技术专业群平台课程教学中的应用研究”(课题编号:ZYB549)。

据算法的融合并根据结果对照国家标准进行室内可吸入颗粒物质量评价。本系统还设置了GSM模块功能,当室内空气可吸入颗粒物质量没有达到用户设置的标准时,用户手机会接收到提示消息,此时,可以发送命令对室内空气净化设备进行反馈控制,减少室内可吸入颗粒物的浓度,提高室内空气的质量。

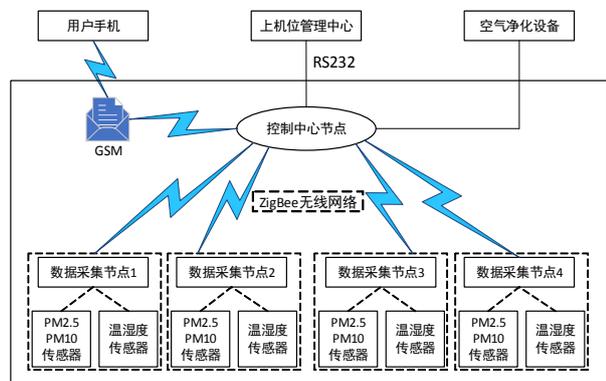


图1 系统结构框图

2 系统硬件设计

2.1 数据采集节点硬件设计

数据采集节点模块的硬件结构框如图2所示,由CC2530、电源模块、数据采集部分与接口电路组成。数据采集单元负责采集室内的可吸入颗粒物的浓度以及温湿度,并将数据通过CC2530的RF模块发送到控制中心上,调试接口单元负责程序的烧录,程序开发时调试接口是必不可少的一部分。

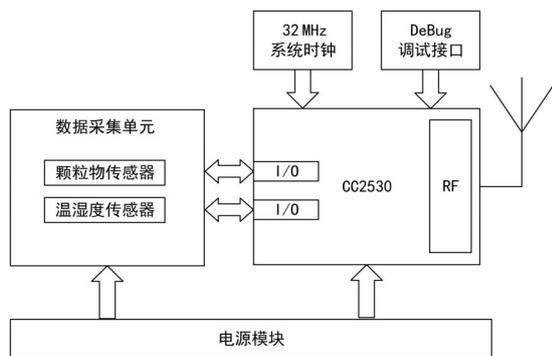


图2 数据采集节点模块硬件结构图

2.1.1 CC2530微控制器电路设计

本系统选用的无线微控制器是CC2530,内部集成了51单片机内核,且支持Z-Stack协议栈,是设计无线传感器网络的首先芯片。同时,CC2530还可以在多个运行模式间切换,模式切换所需时间短,特别适合用在低功耗场所^[1]。

2.1.2 可吸入颗粒物检测模块设计

本系统可吸入颗粒物传感器选用的是SM-PWM-01A,可利用光学方法检测可吸入颗粒物浓度,能够测量室内的两种不同粒径大小的颗粒物,

具体为PM10与PM2.5,SM-PWM-01A一共有5个管脚,在进行电路设计时具体电路图如图3所示。其中P2引脚是PM10的低脉冲输出,P1引脚是PM2.5的低脉冲输出,CC2530的P0_1、P0_0进行脉冲捕获。在实际应用中考虑到有电磁干扰,电路设计时,将传感器的GND引脚与传感器外部的金属屏蔽外壳相连接,减少电磁干扰。

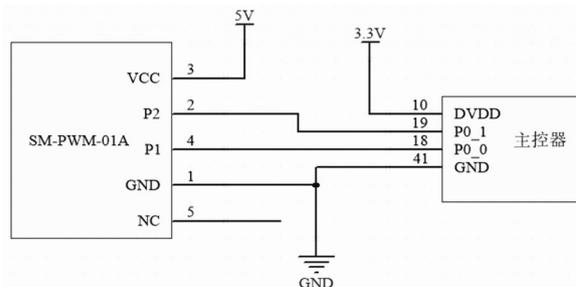


图3 可吸入颗粒物传感器电路设计图

2.1.3 温湿度检测模块设计

室内的温湿度对可吸入颗粒物的浓度有影响,所以在数据采集模块上添加了温湿度传感器DHT21,其内部集成了感湿元件、测温元件与一个8位的单片机,可同时测量温度与湿度,芯片共4个引脚,电路设计简单易实现^[2]。DHT21芯片采用单线制串行接口进行数据传输,其数据输出引脚与CC2530相连接,该款传感器经过测试,其信号的传输距离可达20 m左右,功耗极低,响应迅速,满足本系统要求。

2.2 控制中心模块硬件设计

控制中心模块在本系统中主要完成以下功能,首先是负责与数据采集节点模块进行ZigBee无线网络的组建,让整个无线网络能够正常进行数据通信。其次,控制中心模块设置了串口接口,负责与PC端进行数据通信,对接收到的数据进行数据处理。最后,控制中心还设置了GSM模块,当室内的可吸入颗粒浓度不符合要求时,可以通过GSM模块向用户发送提示消息,其系统结构框图如图4所示。考虑到系统后期的功能拓展,本系统还预留了一些拓展接口,比如:空气净化器接口。

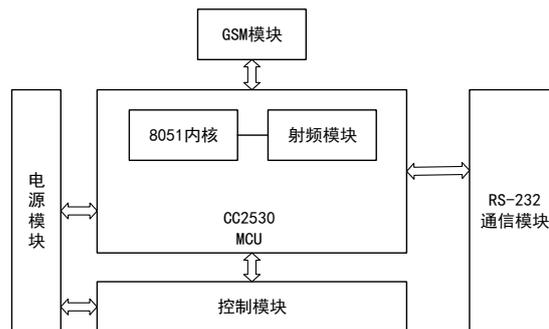


图4 控制中心模块硬件结构图

3 系统软件设计

系统的软件主体结构如图5所示。软件设计部分的主要工作集中在 ZigBee 无线网络软件设计、

传感器采集模块软件设计、控制中心软件设计以及数据的融合评价分析软件设计。

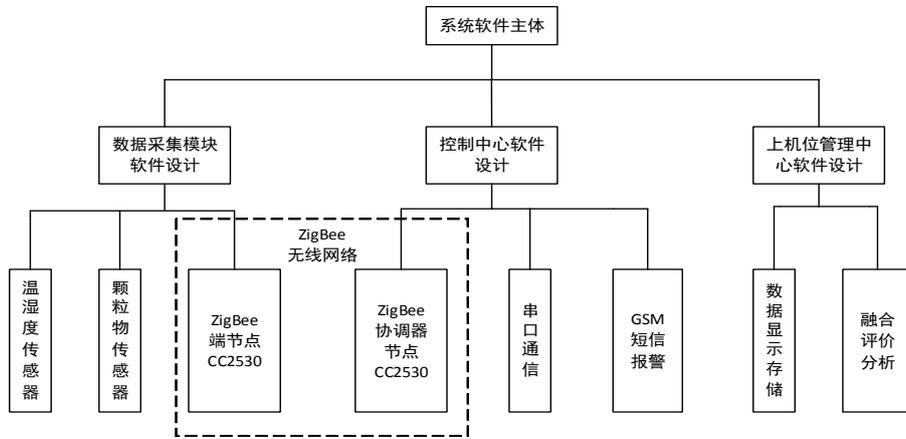


图5 系统软件主体结构图

3.1 无线网络节点设计

本系统的 ZigBee 无线网络通信是建立在 ZigBee 协议基础上的,使用的 Z-Stack 协议栈^[1]。

3.1.1 ZigBee协调器模块软件设计

本系统中控制中心模块在无线组网中充当了 ZigBee 网络协调器节点的工作,首先负责网络的组建,并允许终端节点加入网络,同时维护好网络。其次,协调器一方面接收上位机的指令,通过无线网络把指令传递给终端节点,另一方面收集终端节点的数据并转发给上位机。协调器模块得电以后硬件初始化,协议栈初始化,初始化结束以后开始建立网络,等待接收 PC 机指令与节点信息,当检测到 PC 机指令时,接收子节点加入网络请求,成功加入网络以后进行传感器信息采集。在每个节点不发生任何事件的情况下,设置 CC2530 处于休眠状态,以减少系统的功耗,中断可以唤醒 CC2530,并可以重新加入网络。

3.1.2 ZigBee终端模块软件设计

ZigBee 终端模块集成了各种传感器,负责可吸入颗粒物与温湿度数据的采集,并通过无线协议发送给协调器模块。系统上电初始化完成以后,发送入网请求,成功加入网络以后,接收协调器发送过来的控制命令,进行数据采集,采集到数据以后发送给协调器模块。为了降低系统的功耗,当终端节点不采集数据时,应进入休眠状态。

3.2 传感器采集模块软件设计

3.2.1 可吸入颗粒物传感器数据采集程序

传感器选用的是 SM-PWM-01A,其输出信号是低脉冲信号,在软件设计时,利用 CC2530 进行脉冲捕获,当传感器接收到采样命令以后,进行周

期性采样,采样周期的值应大于执行一次采样数据持续的时间,保证采样到的数据的真实性。

3.2.2 温湿度传感器数据采集程序

DHT21 芯片采用单线制串行接口进行数据传输,输出一组数据,长度为 40 bit^[3],输出格式为:40 bit 数据=16 bit 湿度数据+16 bit 温度数据+8 bit 校验和;湿度高 8 位+湿度低 8 位+温度高 8 位+温度低 8 位=校验和。CC2530 发送启动信号后,DHT21 进行数据采集,采集完成后,DHT21 发送响应信号,送出 40 位数据,数据采集流程如图 6 所示^[4]。

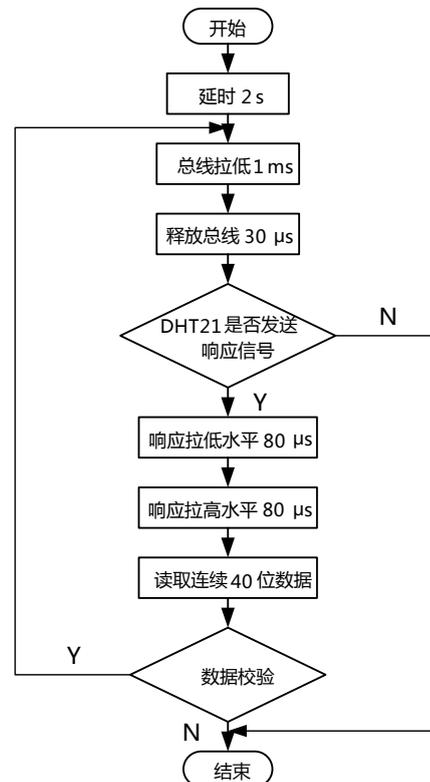


图6 DHT21数据采集流程图

3.3 控制模块软件设计

GSM 模块;GSM 模块调试单的结果如图 7 所示,当房间的可吸入颗粒物浓度超过预设阈值时,系统会利用 GSM 模块向用户手机发送提示消息。

RS232 通信模块;控制中心与上位机采用 RS232 接口进行通信,利用 Z-Stack 协议栈中的 hal_uart.c/h 文件与接口函数来完成数据收发工作。

3.4 数据融合以及评价模型

可吸入颗粒物数据融合的具体过程是传感器采集到的数据按同一参数先进行归一化加权平均,并结合模糊神经网络建立评价模型,以此对室内可吸入颗粒物质量进行科学等级评估^[5]。融合评价的具体算法流程如图 8 所示。本文对室内空气可吸入颗粒物质量建立的评价模型,如图 9 所示^[6-8]。

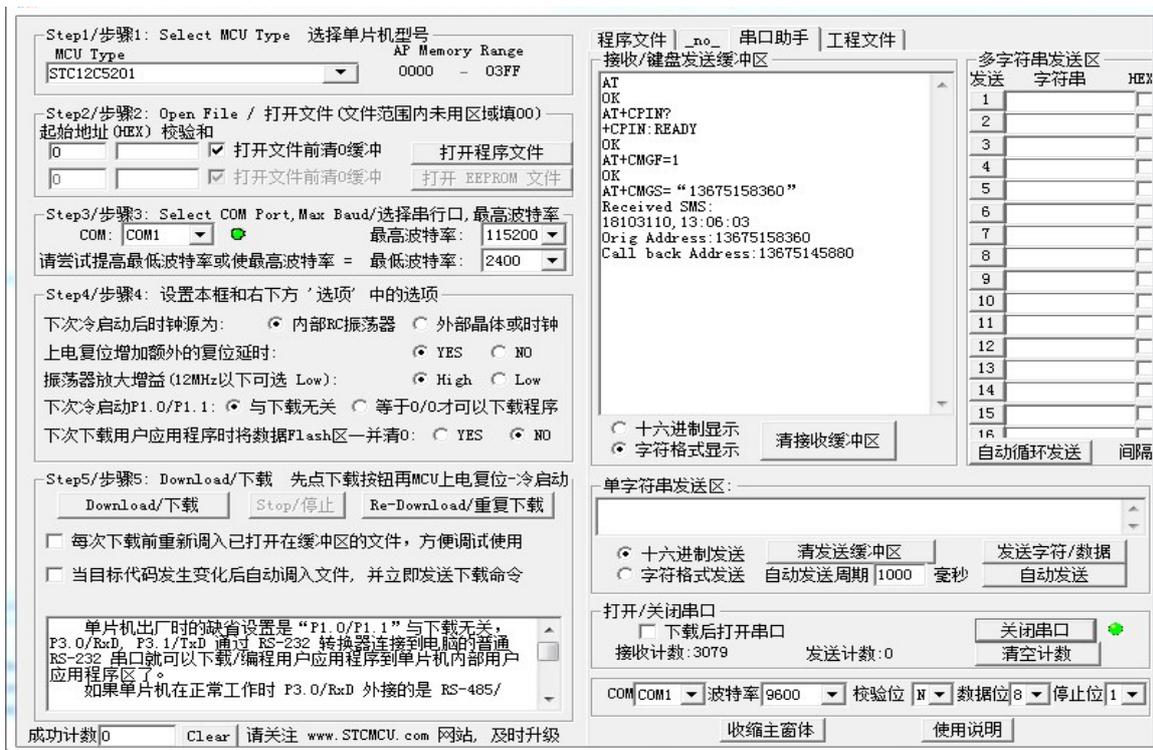


图7 GSM模块调试图

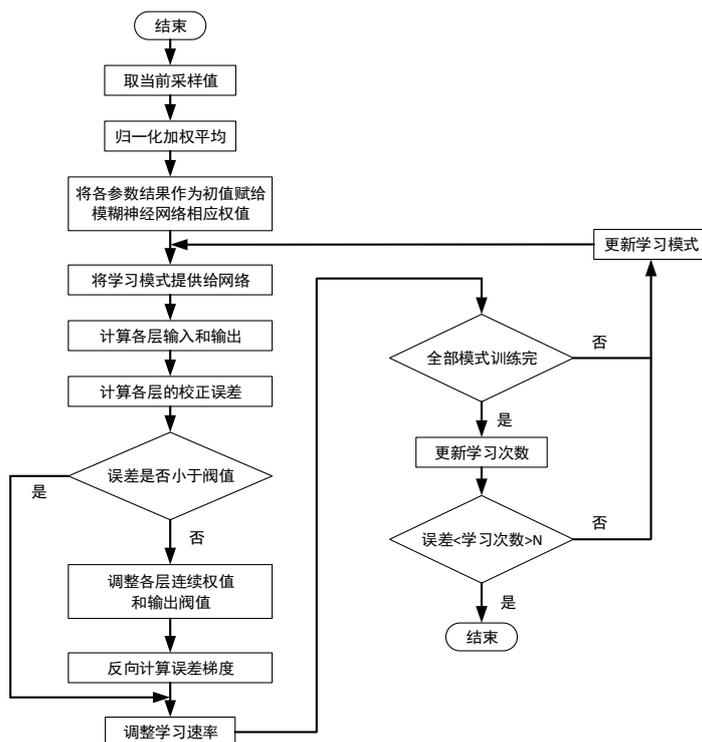


图8 融合评价算法流程图

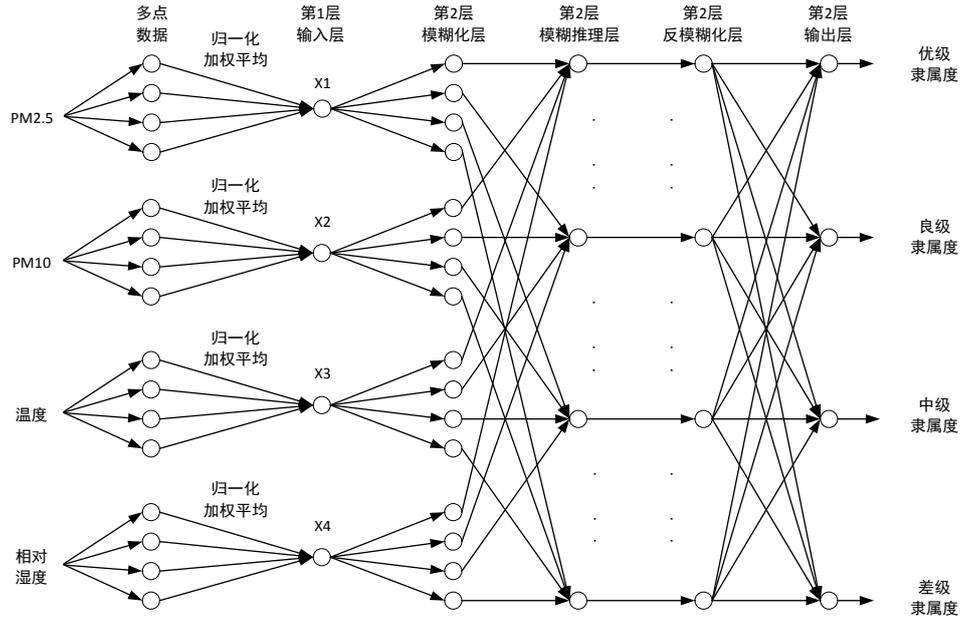


图9 融合评价模型图

传感器采集的是室内PM2.5、PM10、温度和相对湿度这4个参数,进行数据融合以后,按照国家室内可吸入颗粒物的参考标准将室内空气的可吸入颗粒物的质量划分为优、良、中、差4个等级。

4 系统测试以及评价

本文选取了实验室环境进行测试,在某日全天采集到的数据如图10至13所示。数据采集的间隔时长为1小时。

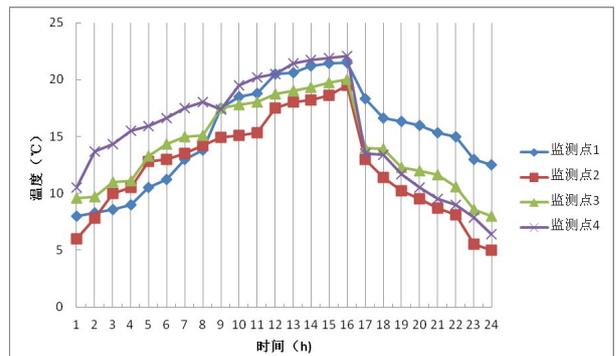


图12 温度测量数据图

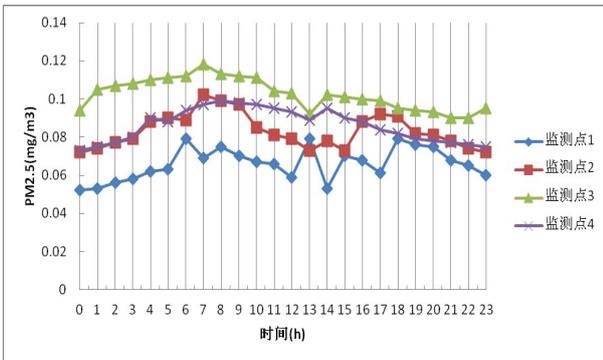


图10 PM2.5测量数据图

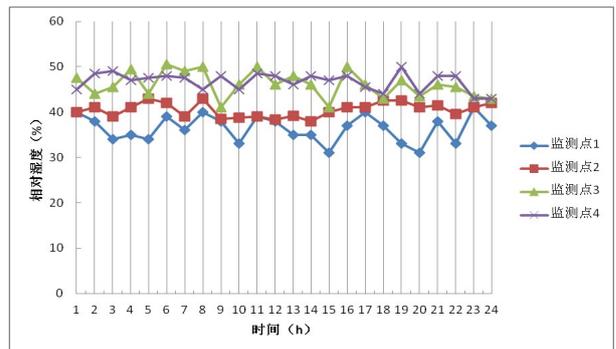


图13 湿度测量数据图

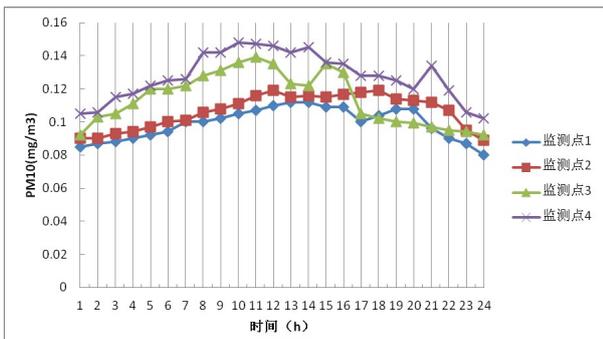


图11 PM10测量数据图

从上图中可以看出,在单个参数上,不同监测点的测量数据是不同的。因此,代表整体质量的单点监测数据误差较大。为了提高数据的准确性与可靠性,在进行数据处理时引入了归一化加权平均和模糊神经网络算法,以便对室内可吸入颗粒物质量做出更为客观的评价。本文选取了测试中的10组测量数据进行融合评价,归一化加权平均以后得到如下数据,如表1所示。

表1 室内可吸入颗粒物品质测量数据表

次数	输入样本				归一化输出样本			
	PM2.5(mg/m ³)	PM10(mg/m ³)	温度(℃)	相对湿度(%)	PM2.5(mg/m ³)	PM10(mg/m ³)	温度(℃)	相对湿度(%)
1	0.0415	0.0710	19.23	39.15	0.1985	0.1898	0.1765	0.1538
2	0.0970	0.0936	19.89	39.28	0.3337	-0.4983	0.1001	0.0213
3	0.1009	0.1015	18.55	39.57	0.1726	0.2668	0.0459	-0.0716
4	0.0737	0.0763	19.63	42.15	0.1367	0.1978	-0.1005	0.0779
5	0.0488	0.0951	19.89	40.15	0.0867	0.2988	-0.1998	-0.0859
6	0.0796	0.0998	20.08	39.87	0.1988	-0.4981	-0.0472	0.2001
7	0.0709	0.0925	19.85	39.52	0.2918	0.3987	0.1984	0.0723
8	0.0695	0.0684	17.38	50.13	0.2093	0.0378	-0.3999	0.3005
9	0.0495	0.0738	20.01	39.48	0.0199	0.1897	0.0207	-0.0317
10	0.0498	0.0795	20.15	49.52	0.0398	0.1052	0.0039	0.2005

之前已经建立了评价模型,再比对国家关于室内可吸入颗粒物的参考标准,对实际测量结果进行等级评价,其结果如表2所示。

表2 室内可吸入颗粒物品质融合评价结果表

次数	融合评价结果				质量等级
1	0.3147	0.6805	0.2135	0.7001	良
2	0.5983	0.2917	0.5376	0.1387	优
3	0.5587	0.2975	0.3854	0.2553	优
4	0.0978	0.6015	0.5002	0.0585	良
5	0.0134	0.6663	0.3046	0.1377	良
6	0.5531	0.3328	0.0956	0.1329	良
7	0.2364	0.5815	0.4429	0.0303	优
8	0.4141	0.6925	0.0965	0.0827	良
9	0.2256	0.8826	0.9964	0.1583	良
10	0.5589	0.5869	0.1325	0.1152	良

5 总结

本文设计了一种基于WSN和数据融合技术的室内空气可吸入颗粒物的检测与评估系统,选择PM2.5、PM10,以及与室内颗粒物质量相关的温度和湿度作为监测目标,采用多点监测的方法进行检测,在系统的实现过程中完成了相应的检测系

统的软硬件设计,并结合归一化加权平均算法与模糊神经网络理论进行了算法处理,最后,根据实际测量结果对室内空气可吸入颗粒物的质量进行了融合评价,具有一定的商业前景。

【参考文献】

- [1]冯金龙,钱蕾,丁力.一种基于无线网络的LED智能照明系统的研究与设计[J].武汉职业技术学院学报,2018(3):93-97.
- [2]秦天柱,张伟刚,瞿少成.基于Modbus协议的多路数据采集器[J].电子测量技术,2017(11):175-178.
- [3]苏朗.室内空气可吸入颗粒物的检测与控制研究[D].苏州:苏州科技大学,2017.
- [4]王鑫,潘贺,杨简.基于CC2530的ZigBee无线温湿度监测系统的设计[J].中国农机化学报,2014(3):217-220,238.
- [5]李向阳,曾文波.基于BP神经网络矩形微带天线谐振频率预测[J].广西科技大学学报,2014(3):26-31.
- [6]潘晓贝,王瑞娜.基于CC2530的农田环境监测系统设计[J].湖南邮电职业技术学院学报,2022(1):5-8.
- [7]杨玉涛.基于物联网技术的高速公路机电智能化管控系统研究[J].湖南邮电职业技术学院学报,2022(2):19-22.
- [8]龚瑞昆,王彦植,陈旭东,张仲.基于改进GPSR的WSN多跳概率算法[J].华北理工大学学报(自然科学版),2022(2):74-79.