

基于无线网络的室内甲醛监测系统设计

刘威¹, 郑焕祺^{2,4}, 杨胜坤³, 周玉成²

(1. 山东建筑大学信息与电气工程学院; 2. 山东建筑大学建筑城规学院, 山东 济南, 250101; 3. 山东省产品质量检验研究院; 4. 国家装饰装修材料质量检验检测中心, 山东 济南 250102)

摘要: 针对传统室内甲醛检测仪无法同时监测多个测量点甲醛浓度变化的问题, 设计一种基于无线网络的室内甲醛监测系统。监测系统包括采集终端、协调器和上位机3部分, 采集终端通过甲醛传感器和温湿度传感器获取环境变化数据, 借助 ZigBee 无线组网发送至协调器; 协调器接收数据后写入 OLED 屏并通过串口传输至上位机中, 使用 Python 脚本将实时数据插入 MySQL 数据库中; 上位机依托 Apache 服务器和 PHP 语言在网页端进行 MySQL 库中的数据读取和显示。经测试, 该系统实现了对室内多房间的甲醛浓度在线监测, 协调器 OLED 屏和浏览器页面实时显示数据变化, 并通过电脑端和移动端查看本地或云上监测记录。实验表明, 系统稳定性高、简单易行且灵活性强, 具有较高的实用价值和应用前景。

关键词: ZigBee; 甲醛浓度; 监测系统设计; 数据库

DOI: 10.11907/rjtk.231810

中图分类号: TP311; TN92

文献标识码: A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号: 1672-7800(2024)007-0104-06



Design of Indoor Formaldehyde Monitoring System Based on Wireless Network

LIU Wei¹, ZHENG Huanqi^{2,4}, YANG Shengkun³, ZHOU Yucheng²

(1. School of Information and Electrical Engineering, Shandong Jianzhu University; 2. School of Architecture and Urban Planning, Shandong Jianzhu University, Ji'nan 250101, China; 3. Shandong Institute for Product Quality Inspection; 4. National Center of Quality Inspection and Test for Decoration Materials, Ji'nan 250102, China)

Abstract: Aiming at the problem that the traditional indoor formaldehyde detector cannot monitor the change of formaldehyde concentration at multiple measuring points at the same time, this study designs an indoor formaldehyde monitoring system based on wireless network. The monitoring system includes three parts: acquisition terminal, coordinator and upper computer. The acquisition terminal obtains environmental change data through formaldehyde sensor and temperature and humidity sensor, and sends it to the coordinator by ZigBee wireless networking. After receiving the data, the coordinator writes it into OLED screen and transmits it to the upper computer through serial port, and uses python script to insert real-time data into MySQL database. The upper computer reads and displays the data in MySQL library on the web page based on Apache server and PHP language. After testing, the online monitoring of formaldehyde concentration in indoor multi-rooms is realized. The coordinator OLED screen and browser page display data changes in real time, and the local or cloud monitoring records can be viewed through the computer and mobile terminal. Experiments show that the system has high stability, simplicity and flexibility, and has high practical value and application prospect.

Key Words: ZigBee; formaldehyde concentration; monitoring system design; database

0 引言

居民房屋装修和新家具购置需求的增多, 加剧了室内

空气质量的污染^[1]。其中, 污染物甲醛是一种具有刺激性气味和较高毒性的物质, 长期生活在高浓度甲醛区域会损害人体健康^[2]。甲醛的释放周期较长, 一般长达3~15年, 而传统的手持式甲醛检测仪只能对某个特定位置进行区

收稿日期: 2023-09-11

扫描二维码阅读全文:



基金项目: 泰山学者优势特色学科人才团队项目(2015162); 山东建筑大学博士基金项目(X21110Z)

作者简介: 刘威(2000-), 男, 山东建筑大学信息与电气工程学院硕士研究生, 研究方向为智能环境与网络化控制; 郑焕祺(1987-), 男, 山东建筑大学建筑城规学院讲师, 研究方向为绿色建筑能源与环境系统研究智能化。本文通讯作者: 郑焕祺。

域短时检测,无法持续性地同时检测多个区域的甲醛浓度。因此,提出一种可长期检测室内多房间甲醛浓度的监测系统具有实际意义。

目前,国内外已有针对甲醛监测系统的研究。Broek等^[3]采用高灵敏度纳米颗粒的电化学传感器设计一种手持式甲醛检测仪,该系统使用简单且准确度高,但是无法实现对甲醛的长期监测。谢檬等^[4]基于单片机和传感器设计甲醛监测系统,在上位机面板上使用指针和曲线显示当前甲醛浓度变化情况,能够实现长时间甲醛浓度的实时监测,但是无法对多个测量点进行同时监测。余燕娟等^[5]以单片机为控制核心,采用RS485总线分布式的结构进行多点布局,能够实现多测量点甲醛连续监测,但是在实际应用中布线会出现较大问题。

基于以上综述,本文设计一种基于无线网络的室内甲醛监测系统,旨在长时间监测家庭区域多个房间的甲醛浓度和温湿度变化,且可通过多终端访问监测结果,为室内环境监测提供了更全面的数据,进一步增强了该系统的实用价值和应用前景。

1 系统整体架构

ZigBee是一种典型的无线通信技术,它主要应用于短距离和低功耗的情形^[6-7]。其通信协议主要分为基于IEEE 802.15.4技术标准的物理层和介质访问层,以及ZigBee联盟标准化的网络层、应用程序支持子层和应用层^[8]。ZigBee协议栈将各层协议进行组合,向用户提供应用层函数,从而更简便地实现了ZigBee通信及组网传输^[9-10]。同时,其因短距离无线通信的稳定性,在面积约束的家庭场景中具有更好的应用前景。

鉴于此,本研究采用ZigBee无线网络作为信息交换的枢纽。整个监测系统由采集终端、协调器和上位机3部分构成。采集终端和协调器均采用CC2530芯片作为主控制器,基于内部协议栈进行自组网并实现数据无线传输。采集终端与传感器相连,并接收传感器输出的信号,经CC2530主控制器处理完成后无线传输至协调器,采集终端与协调器的无线通信依靠ZigBee组网实现;协调器接收到无线网络发送的各采集终端数据后,经CC2530主控制器处理完成,发送至OLED屏显示,并通过串口传输到上位机并写入MySQL数据库;在上位机通过网页关联数据库,实现各采集终端数据的读取和显示。系统整体架构如图1所示。

鉴于现场实际应用中,由于房屋面积大、单个房间数量多,而出现信号衰减和覆盖面不全等问题,可根据需求对协调器的数目进行增减,易于拓展。同时,采集终端与协调器的连接采用星型拓扑结构,各采集终端与协调器进行点对点通信。采集终端之间不存在直接性通信连接,两个采集终端若进行通信,需要借助协调器实现中转功能。

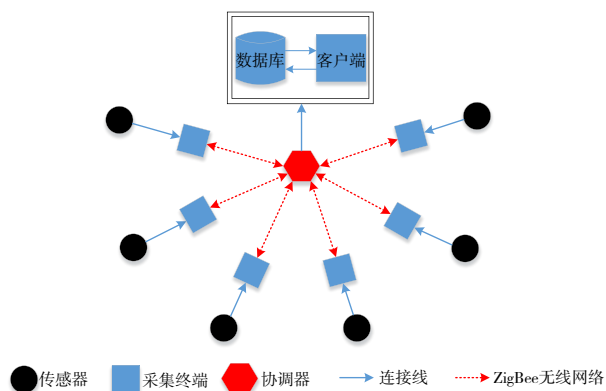


Fig. 1 Overall system structure

图1 系统整体架构

当某一采集终端发生故障时,其余采集终端不受其影响,继续正常工作,极大增加了系统运行稳定性。

2 系统硬件设计

2.1 采集终端

采集终端采用CC2530芯片作为主控制器。CC2530不仅片上资源丰富,且集成了RF收发器和增强型的8051CPU的优秀性能,能够建立起稳定的网络节点^[11-12]。更重要的是其内部结合ZigBee协议栈,能提供一个完整的ZigBee解决方案。在该设备内增加CC2591功放芯片,能够有效地扩大无线通信传输的距离。

甲醛检测模块采用达特WZ-S-K型甲醛检测模组,该模块结合先进的微检测技术,能够精确地将环境中的甲醛含量转换为标准化的浓度值,并将其以数字形式输出。该模块分为主动上传和问答式两种命令格式,出厂默认设置为主动上传模式,即每秒通过串口进行一次数据传输。主动上传模式在能耗、带宽、数据冗余和实时性等方面存在缺点,不易操控,因此本系统选用问答式模式进行甲醛浓度采集,极大提高了系统可操作性。

温湿度检测模块采用AM2302温湿度传感器,它是一款数字式传感器,内部集成了电容式感湿元件和高精度测温元件^[13]。该传感器能够通过单总线数字信号与控制器I/O口进行通信,实现对环境温度和湿度的准确测量。在使用该模块时,应确保两次之间的采样间隔不小于2s,若低于2s进行温湿度采集,会导致数据测量不准确。

供电模块采用单节可充电锂电池,为采集终端和传感器提供电源,不需要其它电源线进行供电,方便采集终端的放置,灵活性强。本研究所用可充电锂电池的电压范围为3.7~4.2V,为了向基板和芯片提供稳定的5V和3.3V电源,选用先升压再降压的思路。首先使用升压芯片将锂电池电压升到5V,再通过降压芯片AMS1117-3.3得到稳定的3.3V电源,最终得到稳定的5V和3.3V电源,以此完成供电模块设计。

2.2 协调器

协调器同采集终端结构一致,采用CC2530芯片作为主控制器。协调器接收采集终端通过ZigBee网络发送的数据并将其显示到OLED屏,整个OLED的屏幕点阵为128×64个,可显示数字、字母、汉字和图片。协调器的供电模块采用单节可充电锂电池,内部结构与采集终端相同。

OLED屏显示数据的同时,协调器也会将数据通过串口发送到上位机。主控制器CC2530片上有两个USART串口,本研究选用USART0串口作为UART模式,通过软件编程将主控制器CC2530的P0_2引脚和P0_3引脚设置为UART模式的RX和TX。主控制器需先将数据转换为字符串类型或十六进制数,然后通过USART0串口将数据发送到上位机。为实现上位机与协调器的通信,需要在协调器基板上安装CH340C芯片,实现USB转串口的功能,然后通过USB线连接,在上位机安装相应的驱动便可实现协调器与上位机的数据传输。

3 系统软件设计

下位机的系统设计采用IAR Embedded Workbench作为软件开发环境,使用C语言进行编写程序,基于ZigBee协议栈完成组网、发送和接收等功能。协调器和各采集终端的连接采用星型拓扑结构,实现点对点传输。系统主要分为主动模式和睡眠模式两种运行模式,不同的工作模式会影响锂电池的耗电量,为节约功耗以便系统长时间运行,系统在没有任务可执行时进入睡眠模式。只有当定时器中断或外部中断时系统才退出睡眠模式,进而完成数据接收任务。主动模式时,CPU、外设和RF收发器都处于活动状态,设备全功率运行。上位机的系统设计采用Visual Studio Code软件,编写Python和PHP程序。Python程序的主要功能是将读取的串口数据写入MySQL数据库中,完成数据存储。PHP程序放入Apache运行目录下,进而实现在网页端读取数据库数据并显示的功能。

3.1 采集终端

当采集终端上电运行时,首先进行系统初始化,检测环境中存在的ZigBee网络并加入组网。组网成功后系统进入睡眠模式,等待定时器产生中断,设置每隔5s产生一次定时器中断。当定时器中断产生后系统进入主动模式,主控制器CC2530通过串口向甲醛检测模组发送问答命令并等待接收。当主控制器串口接收到数据后触发串口接收事件,在该事件下,一方面将接收的十六进制甲醛数据转换成十进制浓度数据,另一方面向温湿度传感器发送采集命令并接收数据。甲醛浓度和温湿度处理完成后,将其转换成字符串数组,并调用ZigBee协议栈的无线发送函数,将字符串数组数据打包并通过ZigBee无线网络发送到协调器。采集终端软件流程如图2所示。

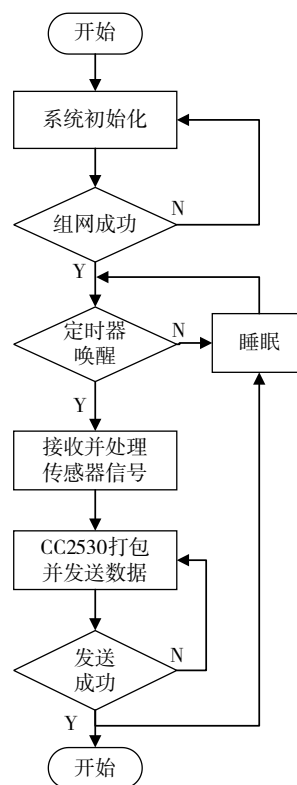


Fig. 2 Flow of acquisition terminal software
图2 采集终端软件流程

3.2 协调器

协调器上电运行时,首先进行系统初始化,检测ZigBee网络是否创建成功。当网络创建成功后,采集终端会检测网络并请求加入该网络,协调器响应后形成自组网模式。协调器接收到采集终端发送的数据包后进入主动模式,将数据包进行处理并放入缓存区,完成后进入睡眠模式,等待下一个采集终端数据包的到来。直到遍历完所有的采集终端,主控制器CC2530将缓存区数据整合成字符串数组,通过串口将数据发送到上位机,其中串口通信的波特率设置为9600。协调器软件流程如图3所示。

3.3 上位机

上位机基于Python平台和MySQL数据库技术。MySQL是一种免费开源的数据库软件,使用范围广、操作简单快捷,能够实现数据存储功能^[14-15]。首先使用MySQL创建一个数据库,在数据库中创建表格用以存储数据。本研究创建命名为LOG_ID、TIME和DATA_1-DATA_9等9列的表,其中DATA_1-DATA_9等列分别存储各采集终端的数据,LOG_ID下放入追踪数字ID号,TIME下放入本地时间信息。当上位机接收到COM口的数据后放入数据库中的DATA,同时将数字ID号和接收数据时的本地时间分别放到LOG_ID和TIME,方便数据查询和处理。

登录页面是用户进入网站或应用程序的入口,它提供了身份验证机制,实现对用户数据的保护。该功能的实现依托MySQL数据库,在库中创建一个名为user的表,表中包含username、password和phone3个字段,分别用来存储

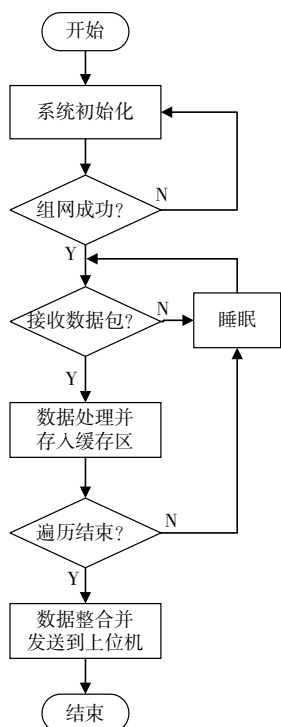


Fig. 3 Coordinator software flow

图 3 协调器软件流程

用户名、密码和手机号。在登录页面输入用户名、密码和验证码,点击登录按钮后,系统首先核实验证码是否正确,其次系统会从数据库中查询相应用户名对应的记录,并比对用户输入的密码与数据库中存储的密码是否匹配。若密码匹配成功,则允许用户登录,否则拒绝登录并给出错误提示。

本文依托 Apache 服务器和 PHP 脚本实现在电脑和手机实时查询数据信息。Apache 是一种能提供 http 服务的 Web 服务器,负责响应所接收的 Web 请求;PHP 是一种可编程的脚本语言,应用于 Web 网站功能开发^[16]。Apache 加载后,上位机拥有 PHP 解释器,当 Web 服务器接收到 PHP 脚本文件的请求时,Apache 就调用 PHP 解释器运行 PHP 程序,并将运行结果返回到浏览器页面。为了在浏览器页面上显示存储在 MySQL 数据库的信息,通过 PHP 脚本程序与数据库进行连接,连接成功后能够操作和管理存储的数据。上位机架构如图 4 所示。

本文基于 Apache+PHP+MySQL 的环境,实现在上位机浏览器上实时监测协调器发送的数据信息。在其它设备如手机上也实时监测到数据信息,只需要下位机接入互联网,上位机程序及配置环境布置到云端服务器,从而使用联网的设备实现浏览器访问功能。如需本地查看实时监测数据信息,仅使得其设备上上位机处于同一局域网下便可。

4 系统运行与结果分析

为验证系统的可行性,本研究拟选用 1 个协调器和 3

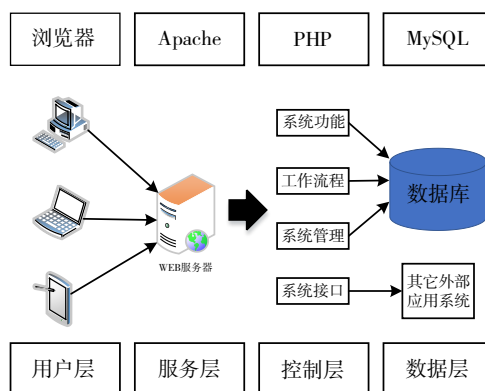


Fig. 4 Upper computer architecture

图 4 上位机架构

个采集终端进行系统测试,采集终端分别命名为终端 A、终端 B 和终端 C。在 IAR Embedded Workbench 软件里编写程序,通过 ZigBee 仿真器分别将程序下载到协调器和采集终端。系统上电运行后,协调器和采集终端完成 ZigBee 自组网,通过协调器 OLED 显示屏可以实时监测到终端 A、终端 B 和终端 C 所处环境的甲醛浓度和温湿度信息,显示屏数据每隔两秒进行一次更新,实现终端 A 至终端 C 数据的循环播放。上位机通过 USB 线连接到协调器,在上位机上运行 Python 程序将串口发送的信息实时存储到 MySQL 数据库中,在浏览器页面输入网址后跳转,在该网址下能够看到各采集终端所处环境的甲醛浓度和温湿度信息。

4.1 系统稳定性测试

为验证系统稳定性,采用一对协调器和终端进行距离和墙壁障碍测试。选取本课题组实验室为测试地点,协调器和终端各通过串口连接到笔记本,在串口调试窗口上进行数据包的发送和接收。在实验测试过程中,终端每 1 s 发送一次数据包,发射功率设置为 -17.5 dBm。通过固定协调器,并不断改变终端位置,测试无线网络成功传输的有效距离,依此确定实际应用时终端的部署方案。测试结果如表 1 所示。

Table 1 Packet loss rate test with transmission power of -17.5 dBm

表 1 发射功率-17.5 dBm 的丢包率测试

序号	距离/m	墙壁/层	发送包/个	接收包/个	丢包率/%
1	10	0	1 000	1 000	0
2	20	0	1 000	998	0.2
3	30	0	1 000	973	2.7
4	40	0	1 000	Null	Null
6	10	1	1 000	985	1.5
7	20	1	1 000	962	3.8
8	30	1	1 000	948	5.8

根据实验测试结果可知,丢包率会随着传输距离和墙壁障碍的增加而变大,当终端与协调器距离达到 40 m 时,无线传输网络不稳定,协调器会将系统状态更改为 Orphan Response Sent,即终端节点掉线。提高发射器的发射功率能够增加无线传输的通信距离和稳定性,有效解决上述问题。本系统设备发射功率的范围在 -28~4.5 dBm,因此本实验采用最大功率 4.5 dBm 进行测试,测试结果如表 2

所示。

Table 2 Packet loss rate test with transmission power of 4.5 dBm

表2 发射功率4.5 dBm的丢包率测试

序号	距离/m	墙壁/层	发送包/个	接收包/个	丢包率/%
1	10	0	1 000	1 000	0
2	20	0	1 000	1 000	0
3	30	0	1 000	1 000	0
4	40	0	1 000	999	0.1
5	50	0	1 000	992	0.8
6	10	1	1 000	995	0.5
7	20	1	1 000	988	1.2
8	30	1	1 000	972	2.8

根据实验测试结果可知,当发射功率达到4.5 dBm时,系统无线传输的稳定性极大增强,在不存在墙壁障碍物的情形下,50 m以内距离的丢包率低于1%;存在一层墙壁障碍时,30 m以内距离的丢包率低于3%,完全可以满足室内甲醛监测需求。发射功率的增加虽然会提升无线网络稳定性,但也会使得耗能变大。因此,综合考虑系统稳定性及耗能性,经过多次实验,最终将系统的发射功率设置为-4 dBm,耗电量低至26 mA,且在存在墙壁干扰的30 m范围内丢包率不超过5%。

4.2 系统整体测试

为进一步测试整个系统可行性,在放置木制家具的30 m³气候室中对整个系统的功能进行测试,其中气候室的尺寸大小为3.5 m×3.5 m×2.45 m。在气候室中木制家具持续释放甲醛,3个采集终端分别放在不同位置进行甲醛和温湿度监测,其中终端A放在木制家具旁,终端B和终端C分别放在木制家具的两边,并在每个终端附近放置标准甲醛检测仪和温湿度检测仪。整个系统测试结构如图5所示。

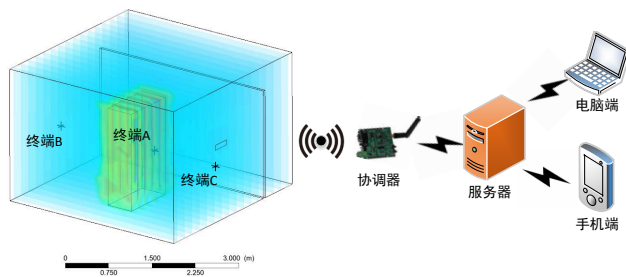


Fig. 5 The system test structure

图5 系统测试结构

为验证系统灵敏度,对系统自组网的响应时间进行测试。首先给协调器上电运行,接着向各终端供电,测试其终端成功加入网络的时间,经多次实验,协调器创建网络的时间约为3 s,各终端成功入网的时间约为2.6 s。因此,该系统能够较快完成通信的连接,为后续数据发送奠定基础。

整个实验测试为2 h,终端采集数据的周期时长设置为5 s。实验过程中,观察上位机在线监测系统能否正常接收数据并显示在Web浏览器,在监测页面显示的数据与该节点的状态是否一致。同时,将监测系统和各检测仪的

结果记录下来,通过结果对比分析系统准确性和可靠性。各终端与检测仪测量结果的最大误差如表3所示。

Table 3 Maximum error of each terminal data

表3 各终端数据最大误差

采集终端	甲醛误差/%	温度误差/%	湿度误差/%
终端A	1.76	0.87	1.59
终端B	2.43	1.36	0.91
终端C	2.01	0.95	1.21

实验结果显示,在浏览器页面能够准确显示下位机各终端传输的数据,并且可通过其它设备如手机进行查看,更具灵活性。由表3可知,本系统甲醛测量数据与标准检测仪之间的误差不超过3%,且温湿度数据误差低于2%,并且系统运行期间正常工作,不存在设备掉线、网络异常等状况。若发生设备掉线等状况,首先检查物理连接,确保设备的电源正常连接,设备与通信网络之间的物理连接没有松动或损坏;然后进行网络连接检查,确保设备所使用的网络正常运行,没有网络异常;最后重启设备,尝试将掉线设备重新启动,通过重新启动设备可以重建与通信网络之间的连接。因此,通过对本系统的实验测试可知,该系统具有较高的准确性和稳定性,符合设计需求,具有一定应用价值。

5 结语

本研究设计了一套基于无线网络的室内甲醛无线监测系统,能够有效监测室内甲醛浓度和温湿度变化。采用ZigBee无线通信网络,避免了传统布线复杂性,简化系统结构。协调器OLED显示屏实时监测各采集终端的甲醛浓度和温湿度变化,上位机通过Web浏览器进行访问,能够监测到各采集终端甲醛浓度和温湿度变化的实时数据和历史数据。经测试,本系统稳定可靠,可用于家庭室内甲醛浓度和温湿度监测。当监测到室内甲醛浓度较高时,能够及时采取应对措施,有效避免甲醛浓度过高带来的危害。

参考文献:

[1] CHEN C H. Detection and control of formaldehyde pollution in interior decoration and decoration projects[J]. Urban Architecture Space, 2021, 28(S1): 251-252.
陈灿煌. 室内装饰装修工程中甲醛污染检测与控制[J]. 城市住宅, 2021, 28(S1): 251-252.

[2] WANG Y J, YU L L, QIN Q, et al. Recent advances of indoor air formaldehyde detection and removal technologies[J]. Journal of Wuhan Institute of Technology, 2022, 44(5): 482-489, 503.
王永靖, 余良浪, 秦琴, 等. 室内空气甲醛检测及去除技术的最新进展[J]. 武汉工程大学学报, 2022, 44(5): 482-489, 503.

[3] BROEK J V D, CERREJON D K, PRATSINIS S E, et al. Selective formaldehyde detection at ppb in indoor air with a portable sensor[J]. Journal of Hazardous Materials, 2020, 399: 123052.

- [4] XIE M, DING M C. Design of formaldehyde concentration monitoring system based on LabVIEW [J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2020, 39(5): 104-106.
谢榛,丁梦超. 基于Lab VIEW的甲醛浓度监测系统设计[J]. *传感器与微系统*, 2020, 39(5): 104-106.
- [5] YU Y J, GAO X. Multi-point formaldehyde continuous monitoring system based on RS485 bus [J]. *Journal of Yibin University*, 2020, 20(6): 23-28.
余燕娟,高翔. 一种采用RS485总线分布式布局的多点甲醛连续监测系统[J]. *宜宾学院学报*, 2020, 20(6): 23-28.
- [6] SONG L Q, HAN X H, YUAN S B, et al. Design and implementation of ZigBee wireless sensor network platform [J]. *Computer & Digital Engineering*, 2018, 46(3): 508-511, 522.
宋连庆,韩兴会,袁世博,等. ZigBee无线传感器网络平台设计与实现[J]. *计算机与数字工程*, 2018, 46(3): 508-511, 522.
- [7] SUN Z G, WANG X J, LI M K, et al. The design of monitoring system of cable insulation based on DSP and ZigBee technology [J]. *Software Guide*, 2020, 19(8): 139-142.
孙中泉,王新军,李梦珂,等. 基于DSP与ZigBee的电缆绝缘状态监测系统[J]. *软件导刊*, 2020, 19(8): 139-142.
- [8] SHANG C, GAO J W. Design of train axle temperature monitoring system based on ZigBee and cloud terminal [J]. *Transducer and Microsystem Technologies*, 2021, 40(8): 110-112, 120.
尚川,高军伟. 基于ZigBee和云端的列车轴温监测系统[J]. *传感器与微系统*, 2021, 40(8): 110-112, 120.
- [9] ZHAO Y Q. Design of airport environment multi-parameter monitoring system based on ZigBee technology [J]. *Electronic Design Engineering*, 2020, 28(15): 61-64, 69.
赵艳启. 基于ZigBee技术的机场环境多参数监测系统[J]. *电子设计工程*, 2020, 28(15): 61-64, 69.
- [10] CUI X Y, WU L Z. Design of intelligent air purification system based on ZigBee wireless technology [J]. *Software Guide*, 2016, 15(7): 107-109.
崔曦元,吴凌智. 基于ZigBee无线技术的智能空气净化系统设计[J]. *软件导刊*, 2016, 15(7): 107-109.
- [11] SHI B L, WANG G, ZHANG H X, et al. Strain data acquisition system based on ZigBee wireless network [J]. *Instrument Technique and Sensor*, 2020(1): 79-82.
史兵丽,王刚,张会新,等. 基于ZigBee无线网络的应变数据采集系统[J]. *仪表技术与传感器*, 2020(1): 79-82.
- [12] WANG L, DING B C, ZHANG Q, et al. Status monitoring system of ship power equipment based on the Internet of Things [J]. *Computer & Digital Engineering*, 2019, 47(2): 485-488.
王雷,丁伯才,张琪,等. 基于物联网的船舶电力设备状态监测系统[J]. *计算机与数字工程*, 2019, 47(2): 485-488.
- [13] YAN L L, RONG S Y, ZHANG Y, et al. Design of photovoltaic module parameter monitoring system based on LabVIEW and LoRa technology [J]. *Internet of Things Technologies*, 2022, 12(12): 57-59.
严莉莉,荣世莹,张洋,等. 基于LabVIEW和LoRa技术的光伏电池组件参数监测系统[J]. *物联网技术*, 2022, 12(12): 57-59.
- [14] ZHU Y Q, LI D Q, WANG J H. Wide field electromagnetic data processing and interpretation platform based on MySQL [J]. *Geophysical and Geochemical Exploration*, 2021, 45(4): 1030-1036.
朱云起,李帝铨,王金海. 基于MySQL的广域电磁法数据处理与解释软件[J]. *物探与化探*, 2021, 45(4): 1030-1036.
- [15] CAO Z Q, CUI Z G. The listening training system for sonar operators based on B/S structure [J]. *Electronic Design Engineering*, 2020, 28(5): 71-75.
曹占启,崔滋刚. 基于B/S架构的声纳员听音训练系统[J]. *电子设计工程*, 2020, 28(5): 71-75.
- [16] ZHAO W T. Dynamic website design and implementation based on PHP and MySQL [J]. *Computer Programming Skills & Maintenance*, 2022(8): 103-105, 109.
赵婉彤. 基于PHP与MySQL的动态网站设计与实现[J]. *电脑编程技巧与维护*, 2022(8): 103-105, 109.

(责任编辑:孙娟)