

基于LoRa和物联网技术的矿井环境监测系统设计

蓝升传¹, 陶干强¹, 房智恒², 曾庆田³, 王史文³, 朱忠华^{1*}

1. 南华大学资源与环境安全工程学院, 湖南 衡阳 421001;

2. 中冶长天国际工程有限责任公司, 湖南 长沙 410205;

3. 云南迪庆有色金属有限责任公司, 云南 香格里拉 674400



摘要: 矿山井下环境特殊, 且开采过程常伴随有毒有害气体, 在对此类环境参数进行采集与传输时, 常用无线通信技术存在通信距离短和抗干扰差的弊端。为解决此问题, 设计了一套基于LoRa和物联网技术的矿井环境监测系统, 对井下环境进行实时监测, 并通过LoRa模块进行传输。监测系统包括数据采集端、汇总终端和数据监测平台3个部分, 数据监测平台包括云平台 and 微信小程序。数据采集端搭配环境多传感器, 通过布置多个LoRa中继节点传输监测点数据, 实现较长距离无线传输, 汇总终端将数据处理后通过WIFI发送至云平台, 微信小程序数据通过调用云平台数据得到, 最终完成监测数据的存储及可视化。测试结果表明: 该系统功能稳定, 能够实现井下的环境监测功能, 易于安装、便于二次开发且井下无需排线。本研究进一步完善了矿山安全监测系统, 增强了矿山灾害防治能力与应急救援能力。

关键词: 矿山通信; 环境监测; LoRa; 物联网; STM32; 微信小程序

中图分类号: TD76 文献标志码: A 文章编号: 1005-2518(2023)01-0144-09 DOI: 10.11872/j.issn.1005-2518.2023.01.140

引用格式: LAN Shengchuan, TAO Ganqiang, FANG Zhiheng, et al. Design of Mine Environmental Monitoring System Based on LoRa and IoT Technology[J]. Gold Science and Technology, 2023, 31(1): 144-152. 蓝升传, 陶干强, 房智恒, 等. 基于LoRa和物联网技术的矿井环境监测系统设计[J]. 黄金科学技术, 2023, 31(1): 144-152.

矿产资源开采面临着许多风险, 环境安全是主要威胁之一(辛宪耀, 2021)。因此, 做好矿井环境监测是矿产资源安全开采的重要保障。目前, 传统人工抄表记录监测数据的方式已不再适应当前监测要求(贺洪江等, 2016), 而有线连接的方式存在施工复杂、功耗较高及后期维护困难等问题(武风波等, 2019)。无线通信技术和物联网的蓬勃发展为解决上述问题提供了新的思路。现阶段矿山常用的无线通信技术有WIFI、ZigBee和4G等。其中, WIFI通信技术通信速率高, 但传输距离短, 抗干扰能力较弱; ZigBee的优势在于低功耗、低成本, 通常应用于人员和机车定位; 4G在井下的应用依赖于基站, 因此应用成本较高(金枫等, 2013; 王军等,

2017; 霍振龙, 2022)。

以LoRa为代表的低功耗广域网是目前较为热门的物联网技术, 具有运行功耗低、通讯距离远等特点, 通常应用于地质灾害监测(郭伟等, 2020; Chu et al., 2021; Wang et al., 2022)、森林火情和环境监测(张铮等, 2019; Herring et al., 2022)以及定位系统(Liu et al., 2021)等方面。也有学者将LoRa技术应用于地下环境中, 例如: 王大涛等(2018)在隧道中搭建LoRa通信局域网, 设计低功耗供电策略, 并验证了系统的可行性; 韩团军等(2019)设计了基于LoRa的矿井环境监测系统, 以端到端的方式实现监测功能, 但一定的环境条件对于长距离的矿井环境监测是不利的。将LoRa技术移植在矿井

收稿日期: 2022-10-10; 修订日期: 2022-12-08

基金项目: 金属矿山安全与健康国家重点实验室开放基金项目“深井开采工程岩体质量数字化评价关键技术研究”(编号: 2018-JSKSSYS-01)、湖南省教育厅优秀项目“砂岩型铀矿床全矿域数字化渗透模型构建方法”(编号: 21B0446)和云南迪庆有色金属有限责任公司企业委托项目“普朗铜矿采矿自然崩落放矿与地表塌陷规律研究”联合资助

作者简介: 蓝升传(1997-), 男, 安徽滁州人, 硕士研究生, 从事环境监测领域相关研究工作。20212002210096@stu.usc.edu.cn

*通信作者: 朱忠华(1981-), 男, 湖南郴州人, 博士, 讲师, 从事数字矿山理论及技术研究工作。zzhnhao545@126.com

中,需要解决射频信号在巷道中传播时产生的路径损耗和多径衰落的问题,这2个问题使得通讯距离大打折扣,想要完全实现矿山长距离地下与地面的无线连接,还需要克服环境因素的影响(RayChowdhury et al.,2021)。为解决较长距离监测的问题,Abrardo et al.(2019)研究提出了一种基于LoRa技术的多跳线性网络架构,即从接收端到发送端由多个节点组成,路径上节点可以监测或转发数据,并通过布置多个中继节点,实现较长距离的渡槽环境监测。研究表明,在矿井中应用无线通信首要解决的是通信距离的问题,而矿井环境监测对通信速率要求并不高,与WIFI、ZigBee和UWB等无线通信技术相比,LoRa技术的通信距离更远、功耗更低,应用在矿井中具有较大优势(Song et al.,2017;王大涛等,2018;韩团军等,2019;Abrardo et al.,2019;RayChowdhury et al.,2021)。

针对矿井环境监测存在传输距离短、功耗大和布线复杂等问题,基于LoRa和物联网技术,以监测甲烷、温湿度、一氧化碳和氢及其子体环境信息为主要指标,设计了一套矿井环境监测系统。通过在端到端的基础上增加中继节点,在多跳LoRa模式下实现矿井环境较长距离的数据传输,为矿井安全开采提供保障。

1 系统总体结构和功能

系统总体结构包括数据采集端、数据汇总端和数据监测端3个部分。环境数据采集端所有外围模块连接至STM32,使用Keil5编写各模块驱动程序,烧录至STM32驱动各模块运行,随后通过LoRa模块将采集的数据发送至中继节点,中继节点以“中继模式”,即按照设定的路径将接收到的数据转发,直至汇总端,以达到延长传输距离的目的。数据汇总端通过LoRa模块接收监测节点发送的数据,经过打包处理后由WIFI模块上传至云平台。在云平台对数据流进行解析,通过数据监测页面设计展示数据图形并完成对应监测数据绑定,最终实现云平台监测数据的可视化,移动端在微信小程序界面设计后调用云平台相关API获得所需监测数据。系统总体结构如图1所示。

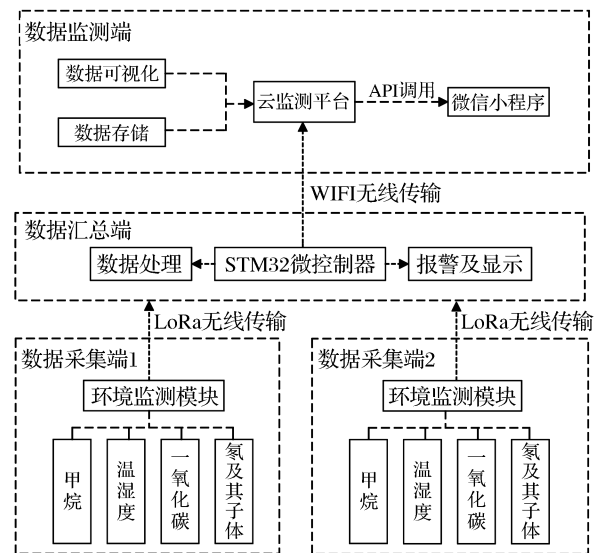


图1 系统总体结构图

Fig.1 Overall structure diagram of the system

2 硬件模块设计

整个系统硬件分为数据采集端和数据汇总端2个部分。数据采集端由环境监测模块和多传感器模块组成,其中环境监测模块包括STM32微控制器模块、电源模块、LCD显示模块、LoRa模块和报警模块,数据采集端负责获取环境数据信息,经历多个LoRa模块将数据中继传输至汇总端。数据汇总端包括电源模块、STM32微控制器模块、LoRa模块、WIFI模块、LCD显示模块和报警模块,数据汇总端负责收集数据采集端的数据信息并发往云平台。系统总体硬件框图如图2所示。

(1)电源模块:电源模块采用本安型电源,其结构包括供电系统、直流电转换电路、保护电路和本安电路,由5节锂电池组组成的供电系统可提供19V输入电压。

(2)微控制器:微控制器模块使用STM32F103ZET6开发板,该开发板拥有4路USART接口、3个12位ADC(Analog to Digital Converter)接口、1个12位DAC(Digital to Analog Converter)接口和112个通用I/O接口,丰富的板载资源可以满足本次设计。

(3)传感器模块:传感器模块由多个传感器组成,用于实时采集井下环境信息,本次设计中使用了甲烷传感器、温湿度传感器、一氧化碳传感器和氢及其子体监测模块。

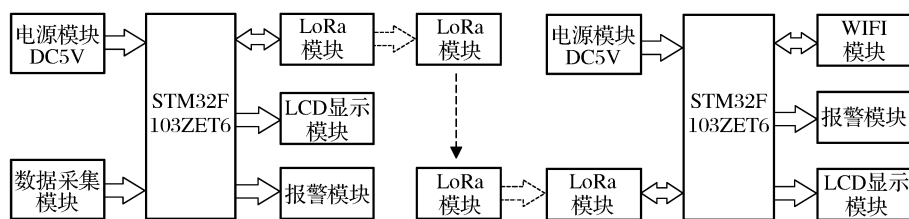


图2 系统总体硬件框图

Fig.2 Overall hardware block diagram of the system

甲烷监测模块:甲烷监测模块采用MQ-4型气体传感器,该传感器使用导电率较低的二氧化锡作为气敏材料,对甲烷有很高的灵敏度,检测范围为 $300 \times 10^{-6} \sim 10\,000 \times 10^{-6}$,具有快速响应和恢复特性、使用期限长且稳定性高等特点。MQ-4型气体传感器电路图如图3所示,其中 R_p 用来调节传感器对监测气体浓度的灵敏度,AOUT为模拟信号输出端口,DOUT为TTL开关信号输出(低电平有效),甲烷浓度计算公式(冯宇宸等,2021)如下:

$$C = \frac{ADCval * \frac{V}{n} - b}{a} * c \quad (1)$$

式中: C 为甲烷浓度($\times 10^{-6}$); $ADCval$ 为读取STM32 ADC的值(V); V 为基准电压(V); a 为分辨率,为4096; b 为AOUT端电压(V ,无甲烷环境下为0.5V); c 为被测气体浓度增量($\times 10^{-6}$),当检测到甲烷时,电压每升高0.1V,实际被测气体浓度增加 200×10^{-6} 。

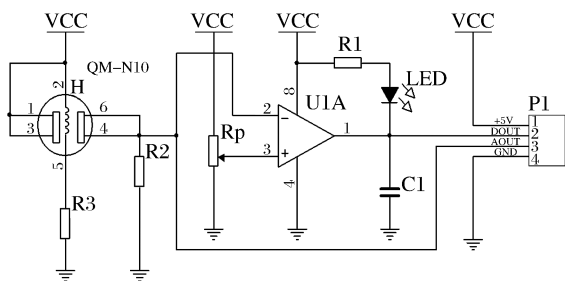


图3 MQ-4传感器电路

Fig.3 MQ-4 sensor circuit

温湿度监测模块:温湿度监测模块采用DHT11型传感器,该传感器设计简单,与STM32之间采用简单的单总线进行通信,仅仅需要一个I/O口且不需要进行模数转换,输出的数字信号可以直接使用。需要注意的是,连接STM32时需要外接1K的上拉电阻,作用是保护主控模块的I/O口以及防止外界的信号干扰。

一氧化碳监测模块:一氧化碳监测模块使用了MQ-7型传感器,该传感器与甲烷监测传感器使用的气敏材料相同,都是导电率较低的二氧化锡。另外,MQ-7传感器采用高低温循环检测方式,低温(1.5V加热)检测一氧化碳,传感器的电导率随空气中一氧化碳气体浓度的增加而增加,高温(5.0V加热)清洗低温时吸附的杂散气体。使用简单的电路即可将电导率的变化转换为与该气体浓度相对应的输出信号(马须敬等,2018)。根据灵敏度特性曲线拟合出一氧化碳浓度计算公式(陈于平,2013)为

$$C = 98.322f \times \text{pow}\left(\frac{R_s}{R_0}, -1.458f\right) \quad (2)$$

式中: C 为一氧化碳浓度($\times 10^{-6}$); R_s 为传感器在不同气体和不同浓度下的电阻值(R); R_0 为传感器在清洁空气中的电阻值(R)。

氨及其子体监测模块:氨及其子体监测模块使用了RHZM-I型氨及其子体连续监测仪,该模块具有体积小、响应迅速、灵敏度高且可以连续监测氨及其子体浓度等优点。在设备工作过程中,入口滤膜过滤空气中存在的氨子体,随后纯氨在通过衰变室的过程中生成新子体,最后由衰变室出口处的探测器检测 α 计数得出氨浓度(张文涛等,2005)。

(4)报警模块设计:报警模块采用蜂鸣器和LED灯组合形式实现报警功能。STM32微控制器模块通过相应接口和对应通信协议获取外围传感器的监测数据并加以处理,将处理后的数据与程序中预先设定的报警阈值进行对比,进而判断是否出现险情,当监测数据达到设定阈值时,LED闪烁、蜂鸣器报警、云平台向微信推送报警信息。

(5)无线通信模块设计:无线通信模块是数据采集端和数据汇总端的核心,承担数据汇总和数据上传的任务,是搭建无线通信网络的关键。系统无

线通信模块包括LoRa模块和WIFI模块。

LoRa模块选择的是Semtech公司设计的SX126x芯片,最大发射功率为+22 dBm,接收灵敏度为-170 dBm,默认工作在433 MHz免申请频段,具有低功耗和良好的稳定性,使用在煤矿环境监测中具有较大优势。本设计数据采集端和汇总端中LoRa模块的RXD和TXD连接STM32的TX和RX引脚进行串口通信,用来发送或接收无线数据信息(周援植,2022)。

WIFI模块选择的是物联网领域常用的ESP8266-01s模块,该模块支持3种工作模式,分别为STA(Station模式,可连接到其他热点)、AP(此模块作为热点)和STA+AP(2种模式共存,可实现局域网和广域网的无缝切换)(尤琦涵等,2017)。本次设计中WIFI模块使用了STA模式并应用于汇总端,负责向云服务器上传监测数据信息的任务。

3 软件模块设计

软件模块设计包括矿山井下数据采集端软件设计、汇总端软件设计和数据监测端软件设计3部分。

3.1 数据采集端软件设计

数据采集端主要包括STM32微控制器、DHT11温湿度传感器、MQ-4甲烷传感器、蜂鸣器和LoRa等模块。DHT11和STM32微控制器之间通过I/O口进行单总线通信,MQ-4传感器的DOUT悬空,监测数据通过AOUT接口将数据发往STM32,由内部ADC模块读取,LoRa模块和STM32进行串口通信。程序开始阶段需要对外围设备驱动程序进行初始化,然后判断是否连续接收传感器采集的环境数据,随后将数据与报警阈值进行对比判断,最后由LoRa模块将数据发往汇总端。数据采集端软件设计流程如图4所示。

3.2 汇总端软件设计

汇总端由STM32微控制器、LoRa模块和WIFI模块组成。LoRa模块承担接收数据采集端发送的数据信息功能,WIFI模块将接收数据信息发送至云平台,二者与STM32微控制器通过USART串口进行通信。数据接收和发送过程如下:首先对外围设备驱动程序进行初始化,随后发送AT指令检测WIFI模块通讯链路连接状态,若失败则重新初始

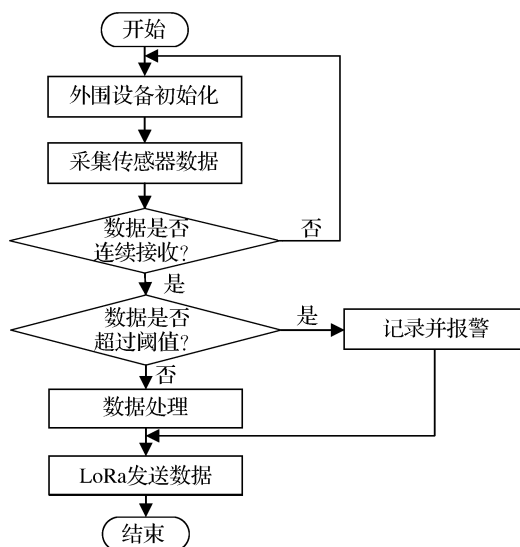


图4 数据采集端软件设计流程

Fig.4 Monitoring end software design flow chart

化外围设备,成功则对WIFI模块进行网络配置并连接TCP服务器,此时开启LoRa串口中断进行一次数据接收,为区分不同数据采集节点的数据信息,各节点采用“数据采集节点编号+监测数据+结束标志符”的形式发送数据信息(韩团军等,2019),当接收到数据采集节点编号时,开始一次数据接收,收到结束标识符时停止数据接收并关闭LoRa串口中断,随后对监测数据进行判断,当监测数据低于或超出设定阈值时,报警模块工作且云平台向微信推送报警信息,最后通过WIFI模块将数据发送至云平台。汇总端软件设计流程如图5所示。

3.3 数据监测端软件设计

云平台使用中国移动搭建的OneNet物联网平台,将物联网设备接入后可实现数据上传和监测信息可视化等功能。设备接入流程包括以下5个部分:(1)登陆并创建账号;(2)创建产品和设备;(3)设备接入;(4)数据流及解析数据流的Lua脚本设计;(5)监测数据展示页面设计。在设备接入方面云平台提供了RGMP、TCP透传和HTTP等接入协议(陈宝远等,2017),鉴于TCP透传具有用户自定义脚本、高灵活性以及支持一个连接传输多个设备数据等优点,本设计使用此协议进行设备接入。为实现监测数据的有效读取,需要对监测数据进行解析处理,主要包括数据流模板名称、数据上传时间戳和数据值等,为此在汇总端软件设计中增加数组

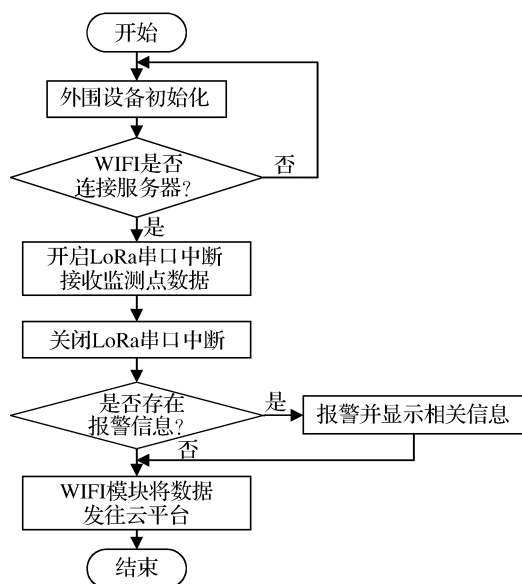


图5 汇总端软件设计流程图

Fig.5 Master software design flow chart

send_buff,用来存放接收的监测数据和监测时间等信息,通过调试确定温湿度等监测信息在数组中的位置,并对应定义为user_data.temp,user_data.humi等变量。然后编写与云平台的对接协议,通过函数hal_AT_printf(send_buff)实现监测数据上传。最后在云平台可视化项目中选择展示图标,编辑数据过滤器,绑定图标与监测数据,实现监测数据的可视化。

监测小程序包括4个模块,分别是js(脚本代码)、json(配置文件)、wxml(页面结构文件)和wxs(样式表文件),其中以js和wxml为主。在完成界面设计后,通过接口工具postman测试云平台数据并定位数据位置,然后使用js模块中的wx.request函数请求云平台监测数据,并绑定请求数据与显示模块,实现监测数据的动态显示。小程序的应用便于在任何一部联网手机上了解当前监测数据(申立群等,2002),供管理者和决策者更灵活地掌握当前矿井环境信息。

4 系统测试和对比分析

为验证系统的可用性和可靠性,分别在地表和矿井现场环境对该系统进行测试。测试中LoRa模块参数设置为:9 600波特率,空中速率1.2 kb/s,发射功率+22 dBm,发射频率433 MHz,单次测试发送

100字节数据包,以50 m为间隔验证通信距离和丢包率。

4.1 地表测试

地表测试地点选择南华大学卧虎山,周围树木密集,存在信号发射架和无线路由器等电子设备,对无线通信质量的影响较大,可以模拟矿井中大量电子设备运行环境,测试场地示意图如图6所示。通信质量测试结果见表1。



图6 地表测试点

Fig.6 Surface test sites

表1 地表通信质量测试结果

Table 1 Communication quality test results

组数	传输距离/m	发送数据包数/个	接收数据包数/个	丢包率/%
1	50	100	100	0
2	100	100	100	0
3	150	100	100	0
4	200	100	100	0
5	250	100	99	1
6	300	100	98	2
7	350	100	96	4
8	400	100	96	4
9	450	100	92	8
10	500	100	87	13

注:丢包率=[(发送数据-接收数据)/发送数据]×100%

由表1可以看出,随着传输距离的增加,丢包率有所增加,当传输距离超过400 m时,丢包率明显增长。地表通信质量测试的目的是为矿井测试提供通信距离参考。

4.2 矿井测试

矿井测试地点选择云南普朗铜矿 3 720 m 无轨平硐, 3 720 m 无轨平硐海拔高度为 3 720 m, 断面为三心拱, 宽度约为 5 m, 高度约为 4 m, 长度约为 870 m, 可视距离约为 400 m, 该直巷道具有一定复制性, 系统整体性能验证点和实物图如图 7 和

图8所示。该矿山为5G智慧矿山示范基地,建设了完整的矿山安全避险六大系统,无人驾驶系统依赖矿井WIFI,对网络稳定性、网络延迟状况和传输速率要求很高,因此网络状况良好,便于系统整体验证。未加中继节点时的通信质量测试结果如表2所示。

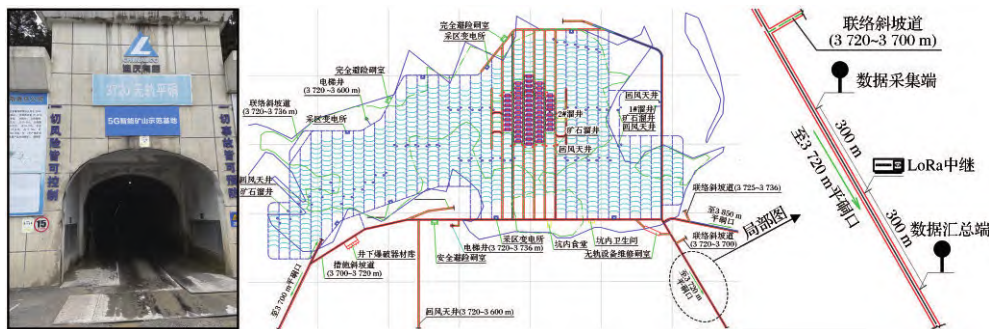


图7 系统整体性能验证点

Fig.7 Overall system performance verification points

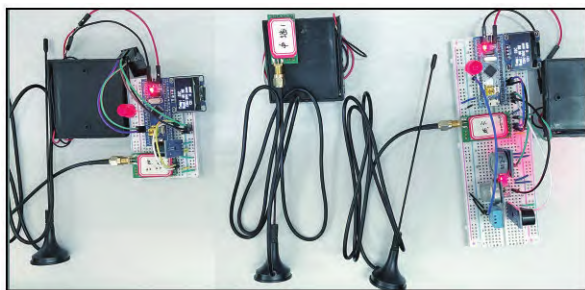


图8 实物图

Fig.8 Real figure

表2 矿井通信质量测试结果

Table 2 Communication quality test results

组数	传输距离/m	发送数据包数/个	接收数据包数/个	丢包率/%
1	50	100	100	0
2	100	100	100	0
3	150	100	100	0
4	200	100	100	0
5	250	100	100	0
6	300	100	100	0
7	350	100	0	100
8	400	100	0	100

注:丢包率=[(发送数据-接收数据)/发送数据]×100%

由表2可以看出,在未加中继节点情况下,传输距离超过350 m时无法接收到发送的数据,经过进一步测试,在不丢包前提下的极限传输距离约为

324 m。当遮挡物及强电设备较多时,中继节点可设置在300 m左右。后续增加中继节点进行系统整体性能验证,系统整体性能验证点如图7所示。经过3天测试,系统整体运行稳定,在汇总端可以看到数据采集端实时采样的信息,在云平台和小程序数据监测页面可以看出数据采集端读取的环境信息,监测信息与矿井现有监测信息相同。监测数据页面如图9和图10所示,实测监测页面信息延迟1~2 s。

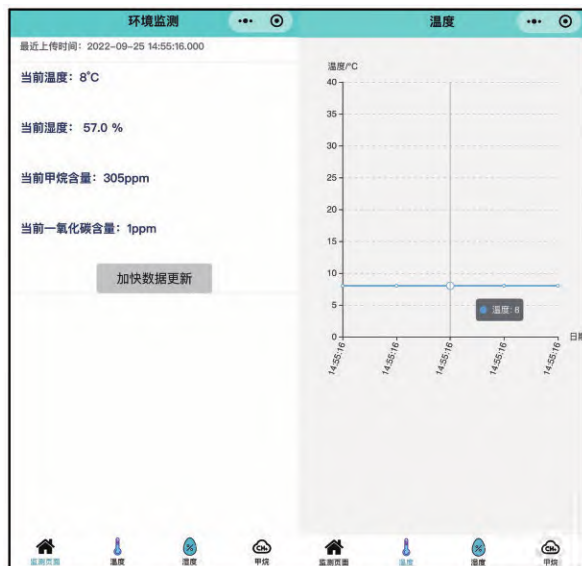


图9 微信小程序监测页面

Fig.9 WeChat applet monitoring page



图10 云平台监测页面

Fig.10 Cloud platform monitoring page

4.3 对比分析

通过对比矿井和地表测试结果可以看出:地表测试通信质量不稳定,主要是由于测试时周围电子设备活动较为强烈导致,与刘宇等(2023)研究结论一致,而矿井测试期间矿井处于停工检修状态,因此环境中干扰源较少,通信质量较稳定;相对于地表测试,矿井测试信号传输距离较短,其原因是巷道较地表空间狭小、地面存在积水、围岩粗糙且较为潮湿,导致电磁波传输距离受到一定影响。

5 结语

综合 LoRa 和物联网技术设计了一种矿井环境监测系统。使用 LoRa 无线通信降低系统功耗,提高系统的整体效率,无线监测的方式在最大程度上减少了系统的布线,中继模式的应用可以完成较长距离的矿井环境监测。通过现场测试,该系统运行稳定,能够实现矿井环境数据的采集、传输和远程监测,在一定程度上完善了矿山安全监测与应急救援系统,具有一定的推广应用与参考价值。

从当前物联网与北斗的发展趋势来看,产业链各部分趋向标准化,感知技术成本的降低和数据信息的共享很有可能使“物联网+北斗”行业更上一层楼。下一步工作将结合北斗卫星导航系统,综合 LoRa 和北斗定位和短报文功能,研究偏远地区自然或人为灾害导致基础设施瘫痪情况下的环境信息获取与即时情况上报功能,为决策和救援提供必要信息,增强矿山灾害防治与应急救援能力。

参考文献 (References):

Abrardo A, Pozzebon A, 2019. A multi-hop LoRa linear sensor network for the monitoring of underground environments: The case of the medieval aqueducts in Siena, Italy[J]. Sensors, 19(2):402.

Chen Baoyuan, Chu Qingwen, Sun Zhongxiang, et al, 2017. The solution of IOT based on OneNet cloud server[J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 22(5):76-80.

Chen Yuping, 2013. Design of a wireless methane concentration monitoring system based on "Holtek" MCU and nRF905 [J]. Electronics World, (24):38-39.

Chu M, Patton A, Roering J, et al, 2021. SitkaNet: A low-cost, distributed sensor network for landslide monitoring and study[J]. HardwareX, 9:e00191. doi: 10.1016/j.ohx.2021.e00191.

Feng Yuchen, Lu Ziqing, Feng Shuo, et al, 2021. Intelligent detection system of environment under mine based on STM32F407 and LoRa [J]. Manufacture and Upgrading Today, (4):28-29, 36.

Guo Wei, Wang Chenhui, Li Peng, et al, 2020. Design of the distributed real-time monitoring system for geological hazards based on LoRa[J]. Hydrogeology & Engineering Geology, 47(4):107-113.

Han Tuanjun, Yin Jiwei, Zhao Zengqun, et al, 2019. Design and research of mine data monitoring system based on LoRa technology [J]. Modern Electronics Technique, 42(20):160-163.

He Hongjiang, Liu Chuncheng, Ren Jiantao, 2016. Implementation of mine environment monitoring system based on STM32[J]. Automation & Instrumentation, 31(3):63-67.

Herring B, Sharp T, Roberts T, et al, 2022. Underground LoRa sensor node for bushfire monitoring [J]. Fire Technology, 58(3):1087-1095.

Huo Zhenlong, 2022. Current situation and development trend of mine wireless communication system [J]. Journal of Mine Automation, 48(6):1-5.

Jin Feng, Zhang Da, Zhan Kai, 2013. Wireless communications technology for underground metal mines [J]. Nonferrous Metals (Mining Section), 65(1):1-6, 23.

Liu Q, Bai X J, Gan X L, et al, 2021. Lora RTT ranging characterization and indoor positioning system [J]. Wireless Com-

- munications and Mobile Computing, 2021: 1-10.
- Liu Yu, Hu Shangmao, Liu Gang, et al, 2023. Wireless transmission scheme of transmission line monitoring signals in mountainous area based on LoRa and GPRS[J]. High Voltage Apparatus, 59(2): 177-183, 189.
- Ma Xujing, Xu Lei, 2018. Research status and development trend of gas sensors[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 37(5): 1-4, 12.
- Ray Chowdhury A, Pramanik A, Roy G C, 2021. New approach for localization and smart data transmission inside underground mine environment[J]. SN Applied Sciences, 3(6): 604.
- Shen Liqun, Liu Yi, 2002. Network management of mining survey data[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science), (3): 302-305.
- Song Y H, Lin J, Tang M, et al, 2017. An internet of energy things based on wireless LPWAN[J]. Engineering, 3(4): 460-466.
- Wang C H, Guo W, Yang K, et al, 2022. Real-time monitoring system of landslide based on LoRa architecture[J]. Frontiers in Earth Science. doi: 10.3389/FEART.2022.899509.
- Wang Datao, Teng Degui, Li Chao, 2018. Tunnel health-monitoring system based on low-power wireless sensor networks[J]. Bulletin of Surveying and Mapping, (Supp.1): 273-277.
- Wang Jun, Gu Yidong, Zeng Ke, 2017. Application analysis of WiFi communication technology in coal mine informatization[J]. Journal of Mine Automation, 43(7): 90-93.
- Wu Fengbo, Lü Qiantong, 2019. Design of downhole environmental monitoring system based on embedded technology[J]. Modern Electronics Technique, 42(13): 42-46.
- Xin Xian Yao, 2021. Safety investment and supervision of group coal enterprises based on evolutionary game[J]. Coal Engineering, 53(2): 186-190.
- You Qihan, Chen Zhaoshi, Zhang Qin, 2017. Smart classroom system based on OneNET cloud platform WiFi remote control[J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 17(10): 69-73.
- Zhang Wentao, Li Aiwu, 2005. RHZM- I radon and it's daughters continuous monitor[J]. Nuclear Electronics and Detection Technology, (6): 250-252.
- Zhang Zheng, Cao Shouqi, Zhu Jianping, et al, 2019. Long range low power sensor networks with LoRa sensor for large area fishery environment monitoring[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 35(1): 164-171.
- Zhou Yuanzhi, 2022. Design and Implementation of Smart Agriculture System Based on Wireless Sensors Networks [D]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China.
- 陈宝远, 褚庆文, 孙忠祥, 等, 2017. 一种基于 OneNet 设备云的智能硬件组网方法[J]. 哈尔滨理工大学学报, 22(5): 76-80.
- 陈于平, 2013. 基于“盛群”单片机和 nRF905 的甲烷浓度无线监测系统设计[J]. 电子世界, (24): 38-39.
- 冯宇宸, 陆子清, 冯烁, 等, 2021. 基于 STM32F407 与 LoRa 的矿下采空区环境智能检测系统[J]. 今日制造与升级, (4): 28-29, 36.
- 郭伟, 王晨辉, 李鹏, 等, 2020. 基于 LoRa 的地质灾害分布式实时监测系统设计[J]. 水文地质工程地质, 47(4): 107-113.
- 韩团军, 尹继武, 赵增群, 等, 2019. 基于 LoRa 技术的矿井数据监测系统的设计与研究[J]. 现代电子技术, 42(20): 160-163.
- 贺洪江, 刘春成, 任建涛, 2016. 基于 STM32 的矿井环境分布式检测系统研究[J]. 自动化与仪表, 31(3): 63-67.
- 霍振龙, 2022. 矿井无线通信系统现状与发展趋势[J]. 工矿自动化, 48(6): 1-5.
- 金枫, 张达, 战凯, 2013. 地下金属矿无线通讯技术[J]. 有色金属(矿山部分), 65(1): 1-6, 23.
- 刘宇, 胡上茂, 刘刚, 等, 2023. 基于 LoRa 和 GPRS 的山区输电线路监测信号无线传输方案[J]. 高压电器, 59(2): 177-183, 189.
- 马须敬, 徐磊, 2018. 气体传感器的研究现状与发展趋势[J]. 传感器与微系统, 37(5): 1-4, 12.
- 申立群, 刘谊, 2002. 矿山测量数据的网络化管理[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), (3): 302-305.
- 王大涛, 滕德贵, 李超, 2018. 基于低功耗无线传感网络的隧道健康监测监测系统[J]. 测绘通报, (增1): 273-277.
- 王军, 顾义东, 曾苛, 2017. WiFi 通信技术在煤矿信息化中的应用分析[J]. 工矿自动化, 43(7): 90-93.
- 武风波, 吕茜彤, 2019. 基于嵌入式的井下环境监测系统设计[J]. 现代电子技术, 42(13): 42-46.
- 辛宪耀, 2021. 基于演化博弈的集团化煤炭企业安全投入与监督研究[J]. 煤炭工程, 53(2): 186-190.
- 尤琦涵, 陈兆仕, 张沁, 2017. OneNET 云平台 WiFi 远程控制智能教室系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 17(10): 69-73.
- 张文涛, 李爱武, 2005. RHZM- I 型氡及其子体连续监测仪[J]. 核电子学与探测技术, (6): 250-252.
- 张铮, 曹守启, 朱建平, 等, 2019. 面向大面积渔业环境监测

的长距离低功耗 LoRa 传感器网络[J]. 农业工程学报, 35(1):164-171.

周援植, 2022. 基于无线传感器网络技术的智慧农业系统设计与实现[D]. 成都: 电子科技大学.

Design of Mine Environmental Monitoring System Based on LoRa and IoT Technology

LAN Shengchuan¹, TAO Ganqiang¹, FANG Zhiheng², ZENG Qingtian³, WANG Shiwen³, ZHU Zhonghua¹

1.School of Resource Environment and Safety Engineering, University of South China, Changsha 421001, Hunan, China;

2.MCC Changtian International Engineering Co., Ltd., Changsha 410205, Hunan, China;

3.Yunnan Diqing Non-ferrous Metals Co., Ltd., Shangri-La 674400, Yunnan, China

Abstract: The underground environment of mine is special, and the mining process is often accompanied by toxic and harmful gases. For the collection and transmission of such environmental parameters, the common wireless communication technology has the disadvantages of short communication distance and poor anti-interference. To solve this problem, a mine environment monitoring system based on LoRa and IOT technology was designed to monitor the underground environment in real time and transmit through LoRa modules. The monitoring system includes three parts, namely data collection end, aggregation terminal, and data monitoring platform, and the data monitoring platform includes cloud platform and WeChat applet. The data collection end is paired with environmental multi-sensors and transmits monitoring point data by arranging multiple LoRa relay nodes to achieve longer distance wireless transmission. The aggregation terminal sends the data to the cloud platform through WIFI after processing. The WeChat applet data is obtained by calling the cloud platform data and finally completes the storage and visualization of monitoring data. The test results show that the system is functionally stable, can realize the environmental monitoring function of underground, and it is easy to install, easy to secondary development and no need to line up underground. This study provides a reference for the design of underground environmental monitoring systems in similar mines. This study can improve the mine safety monitoring system and enhance the capacity of mine disaster prevention and emergency rescue.

Key words: mine communications; environmental monitoring; LoRa; Internet of Things; STM32; WeChat applet