

# 基于 LoRa 的暗渠危险气体自动监测系统

刘静远, 施华君

(中国电子科技集团公司 第三十二研究所, 上海 201808)

**摘要:** 针对暗渠中易燃易爆危险气体的监测问题, 设计了一套基于 LoRa 无线通信的自组织、自动监测预警系统。系统自底向上由数据采集节点、网关节点和云端服务器构成, 节点之间的数据通信采用 LoRa 无线通信的方式, 网关对收集的数据进行封装、打包上传, 云端运行的 Web 服务器将网关上传的数据进行解析、筛选及实时动态显示, 当易燃易爆气体浓度达到一定阈值时会触发报警, 通过短信方式通知相应的管理人员进行处理, 实现暗渠危险气体的自动监测以及危险预警功能。

**关键词:** LoRa; 危险气体; 动态监测; 数据可视化

**中图分类号:** TP31

**文献标识码:** A

## Automation Detection System of Explosible Gas in Underground Channel Based on LoRa

Liu Jingyuan, Shi Huajun

(China Electronics Technology Group Corporation NO. 32 Research Institute, Shanghai 201808, China)

**Abstract:** A self-organizing automatic monitoring and early warning system based on LoRa wireless communication is designed for the detection problem of flammable and explosive dangerous gases in underground channel. The system is composed of data acquisition node, gateway node and cloud server from bottom to top. The data communication between nodes adopts LoRa mode. The cloud runs web server to analyze, screen and display the data uploaded from the gateway. When the concentration of flammable and explosive gas reaches a certain threshold, the alarm will be triggered and the corresponding management personnel will be informed to deal with it by SMS to realize the automatic monitoring and danger warning function of harmful gas in underground channel.

**Keywords:** LoRa; explosible gas; dynamic monitoring; data visualization

## 0 引言

近些年来我国暗渠危险气体爆炸引发的事故屡见不鲜, 造成了巨大的生命/财产损失, 然而, 目前为止还没有专门针对暗渠可燃危险气体监测的相关实用系统, 可以说, 暗渠危险气体监测在城市化进程如此之快的今天仍然存在巨大的缺口, 因此, 专门针对暗渠可燃危险气体的监测预警系统迫在眉睫。本文提出了一套基于 LoRa 无线通信的暗渠危险气体监测系统, 本系统具有功耗低、自动化、实时性强、自动报警等特点, 与传统的人工监测相比有着显著优势。本系统的数据采集节点使用 Arduino 作为控制单元, 网关节点采用树莓派进行数据收集, 云端采用阿里云搭建 Web 服务器, 并根据应用需求设计了一套 Web 端数据监测平台, 方便系统管理员进行监测和管理<sup>[2]</sup>。

## 1 系统整体设计

本系统主要由三部分构成: 数据采集节点、网关节点

以及云端服务器。系统的节点之间采用 LoRa 点对点通信的方式, 网络拓扑结构为树形结构, 数据经过采集以及层层汇集到网关节点, 网关节点对数据进行解析、筛选、打包上传, 网关通过 WiFi 模块将数据上传至云端, 云端将网关采集到的数据写入数据库中, Web 服务器从数据库中读取数据并在云端进行动态显示, 当数据达到设定阈值时, 会触发报警, 系统会自动向系统管理员发送短信进行报警。为了预防节点电压不足导致系统无法正常工作, 本系统专门设计了电压监测模块用于监测每个节点的电压状况, 在上报采集的气体浓度的同时上报节点电压, 当节点电压低于设定阈值时, 管理员同样会收到短信通知, 进一步提高系统的可靠性和稳定性。系统的整体设计如图 1 所示。

## 2 系统硬件设计

### 2.1 LoRa 通信模块

本系统采用基于 SX1278 调制解调器的 LoRa 无线通

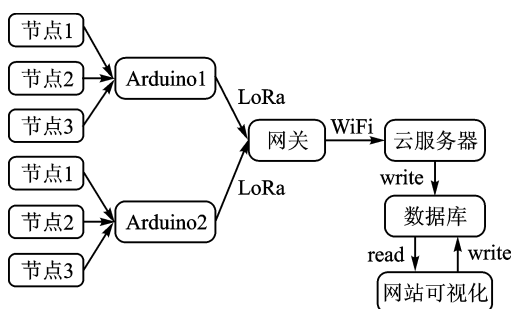


图1 系统整体设计图

信模块,模块的传输距离超过3公里,最大发射功率为20 dB,完全满足本系统的应用要求。除此之外,SX1278 调制解调器可通过 AT 指令进行模式及频段设置,可以满足不同的应用需求。与其他同类器件相比,SX1278 在大幅降低功耗的基础上,还显著优化了相位噪声、选择性、接收机线性度、三阶输入截取点等各项性能<sup>[3-4]</sup>。

## 2.2 危险气体浓度监测模块

危险气体浓度监测模块采用 MQ-9 可燃气体传感器, MQ-9 气体传感器所使用的气敏材料是在清洁空气中电导率较低的二氧化锡( $\text{SnO}_2$ )。采用高低温循环监测方式,低温状态用于监测一氧化碳,传感器的电导率随空气中一氧化碳浓度增加而增大,高温状态监测可燃气体甲烷、丙烷并清洗低温时吸附的杂散气体。本系统采用节点电压来指示节点数据是否有效,用节点模拟量输出来判断节点危险气体浓度。节点危险气体浓度(主要为烷类浓度)正常范围值为 20~70,节点浓度超过 70 则可初步判断危险气体浓度过高,低于 20 则可判断节点电源电压处于较低状态,应及时更换电源。

## 2.3 节点电压监测模块

为了在实际应用中消除传感器节点信息监测不准、信息上报不及时等众多隐患,本系统引入了传感器节点电压监测模块,图2为电压监测模块的电路原理图。

此模块主要由两个 10 k $\Omega$  电阻以及一个 100 nF 的滤波电容构成,模块有三个接线端,一端直接接到电池正极,另一端接地,信号输出端接到单片机模拟口,由两个电阻对电池电压进行分压。由于本模块采用 9 V 电池供电,因此 AO 引脚分得一半的电池电压,输出值的正常范围大约在 4.20~5 V 之间,除此之外的电压值则可判定为异常电压。电压实时监测模块增强了系统的稳定性、可靠性。

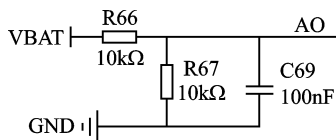


图2 电压监测模块电路原理图

## 3 系统软件设计

### 3.1 数据帧格式设计

为了保证信息在无线传输中的可靠性,本系统规定了一套信息收发协议。数据帧序列由二进制字节流构成,采用 CRC 校验以确保传输信息的可靠性。一段传输序列由 48 位二进制信息字段及 CRC 字段构成,从起始端到终端依次为帧头编号、区域标号、传感器编号、气敏传感器的数值、节点电压值以及帧尾以及 CRC 校验字段。帧头、帧尾字段用于判断序列的起始和结束;区域字段代表传感器节点所处的区域编号,本字段为 8 位二进制字符,可以代表不同的城市或者同一城市的不同区域,最多可以支持 255 个区域;传感器编号字段对应为同一区域的不同传感器,本字段为 8 位二进制字符,因此每个区域最多安放 255 个节点;传感器采集的气体浓度及电压信息经过转换分别存放到数值和电压字段。数据帧格式如下:

帧头	区域	编号	浓度	电压	帧尾	CRC
----	----	----	----	----	----	-----

### 3.2 数据采集节点程序设计

数据采集节点主要由气体浓度监测模块、电压监测模块以及单片机控制模块构成,单片机采用 Arduino,主要负责控制数据的采集、封装和上传。首先程序将采集到的数据按照上述规定的协议进行封装,然后调用 LoRa 模块发送信息,LoRa 模块上电后一般会处于睡眠模式,单片机通过调用 LoRa.begin() 函数将模块由睡眠模式激活为待机模式,若此时有发送任务,单片机会调用 LoRa.begin\_package() 函数将 LoRa 模块由待机模式转为发送模式,执行数据发送的任务,待任务完成之后,执行 LoRa.end\_package() 函数将 LoRa 模块由发送模式重新转为待机模式,等待下一次发送任务<sup>[5]</sup>。

### 3.3 网关节点程序设计

系统选用树莓派作为网关,网关接收采集节点通过 LoRa 发送的数据,经过校验、解包、封装等一系列操作之后再再将数据通过 Post 请求的方式递交给服务器。本系统的网关采用轮询的工作方式,网关程序基于 Python3.7 进行编写,引入了 Python 中 serial、requests、json 等函数库,网关程序实现的大致流程可以概括为如下几个步骤:第一步,网关接收 LoRa 数据包,并将数据转换为 utf-8 编码;第二步,网关需要对从串口读到的数据进行格式判断,校验帧头及帧尾并进行 CRC 校验(符合的数据包则接收,不符合的数据包则丢弃),对符合要求的数据帧进行字段提取,并将各个字段重新封装为 json 格式;第三步,网关需要将封装好的 json 包通过 post 请求的方式递交给云端服

务器,由服务器端运行的 php 脚本接收数据并进行相应处理<sup>[6]</sup>。

### 3.4 云端数据库设计

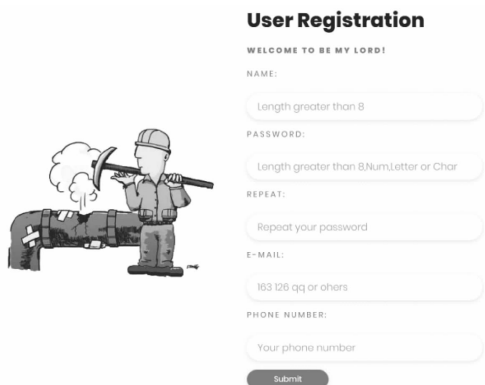
本系统采用云端数据库存储数据,数据库中主要有 LogReg 和 Sensor\_Det 两张表。LogReg 表用于存放用户注册信息,主要有 username、password、email、regdate、phone 几个属性,其中用户名为主码<sup>[7]</sup>。Sensor\_Det 表用于存储从网关读取的传感器节点信息,包括 Number、SensorNum、Location、Destiny、Time、DangerRelease、Voltage 几个属性,其中 Number 为主码。Sensor\_Det 表如图 3 所示。

Num	SensorNum	Location	Destiny	Time	DangerRelease	Voltage
1	1	Qingdao	12	2019-05-13 15:16:59	1	452
2	1	Qingdao	8	2019-05-13 15:17:07	1	456
3	1	Qingdao	8	2019-05-13 15:17:48	1	456
4	1	Qingdao	12	2019-05-13 15:17:57	1	452
5	1	Qingdao	8	2019-05-13 15:18:05	1	456
6	1	Qingdao	8	2019-05-13 15:18:13	1	456
7	1	Qingdao	8	2019-05-13 15:18:21	1	452
8	1	Qingdao	8	2019-05-13 15:18:29	1	456
9	1	Qingdao	8	2019-05-13 15:18:38	1	456
10	1	Qingdao	12	2019-05-13 15:18:46	1	452
11	1	Qingdao	8	2019-05-13 15:18:54	1	456

图 3 Sensor\_Det 表结构

### 3.5 云服务器设计

本系统采用负载均衡的 nginx 框架搭建云服务器,在有限的带宽、内存条件下进一步提升了服务器的稳定性和负载均衡。云服务器端实现了用户的注册、登录、数据可视化、短信报警等一系列功能。对于任何一个完整的系统,尤其是对于涉及工业安全的系统一定要进行用户权限的设置,只有管理员(即注册用户)才有权对系统进行访问或者相关操作,本系统的注册及登录功能的实现采用 post 及 session 的方式,并将用户的注册信息保存在云数据库中<sup>[8]</sup>。注册登录界面图 4 和图 5 所示。



**User Registration**

WELCOME TO BE MY LORD!

NAME:

Length greater than 8

PASSWORD:

Length greater than 8, Num, Letter or Char

REPEAT:

Repeat your password

E-MAIL:

163 126 qq or others

PHONE NUMBER:

Your phone number

Submit

图 4 注册界面

为了实时动态地对现场数据进行展示,本系统对数据库的数据访问全部采用 ajax 形式,节省网络流量的同时也



**GasDetection**

WELCOME BACK!

Register

Username or Email address

Password

☒ Remember Me

Login

图 5 登录界面

减轻了服务器的负载<sup>[9]</sup>。本系统还创新性地增加了短信预警功能,一旦出现危险状况,系统会在第一时间向用户注册时填写的手机号发送报警信息,报警信息如图 6 所示。

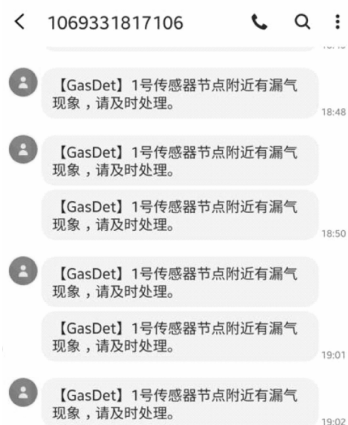


图 6 短信报警功能

## 4 系统测试与分析

经过一系列实地测试,本系统的传感器表现灵敏,所测数据与实际数据对比,均在正常误差范围之内。将节点置于暗渠之中,选用合适的发射频率,LoRa 无线通信的丢包率控制在 3% 以内,符合此应用场景的现实需求。实际测试中服务器共接收 18 个传感器节点采集的数据并进行可视化展示,服务器状况良好,数据延迟控制在 3 s 以内且未出现死机等状况。对于暗渠中出现危险气体浓度较高的情况,服务器端能够及时作出响应,并通过短信及时通知管理员进行处理,Web 端数据可视化如图 7 和图 8 所示。

## 5 结 语

本系统验证了基于 LoRa 的暗渠危险气体监测系统的可行性,与传统的人工监测或者半自动化监测相比,LoRa、Arduino、云服务器等物联网技术的应用使得本系统更加高效可靠,并且人力成本更低,具有广阔的应用前景。本系统也有值得改进的地方,比如换用功耗更低 MSP430 系列单片机作为采集节点,为数据采集节点增加 GPS 定位模块等,对于暗渠信号受阻的问题,可设计更高倍数的信号放大器加以解决。总的来说,本系统整体完成度较高,是一套涵盖了数据采集、处理、展示等一系列流程



图7 动态曲线展示

Voltage	Location	Destiny	Date-Time	Danger
452	Qingdao	24	2019-05-30 20:33:17	No
452	Qingdao	24	2019-05-30 20:33:08	No
452	Qingdao	24	2019-05-30 20:33:00	No
452	Qingdao	28	2019-05-30 20:32:52	No
452	Qingdao	28	2019-05-30 20:32:44	No
452	Qingdao	28	2019-05-30 20:32:36	No
452	Qingdao	28	2019-05-30 20:32:27	No
452	Qingdao	24	2019-05-30 20:32:19	No
452	Qingdao	28	2019-05-30 20:32:11	No
452	Qingdao	24	2019-05-30 20:32:03	No
452	Qingdao	28	2019-05-30 20:31:55	No

Voltage	Location	Destiny	Date-Time	Danger
452	Weihai	16	2019-05-30 20:33:21	No
448	Weihai	20	2019-05-30 20:33:12	No
452	Weihai	16	2019-05-30 20:33:04	No
452	Weihai	16	2019-05-30 20:32:56	No
452	Weihai	16	2019-05-30 20:32:48	No
452	Weihai	16	2019-05-30 20:32:40	No
452	Weihai	16	2019-05-30 20:32:31	No
452	Weihai	20	2019-05-30 20:32:23	No
452	Weihai	20	2019-05-30 20:32:15	No
452	Weihai	20	2019-05-30 20:32:07	No
452	Weihai	16	2019-05-30 20:31:59	No

图8 动态表格展示

的完整系统,且在恶劣的应用场景中表现出较高的可靠性,大大提升了暗渠危险气体监测的效率。

#### 参考文献

- [1] Petjirvi J, Pettissalo M, Mikhaylov K, et al. On the coverage of LPWANs: range evaluation and channel attenuation model for LoRa technology[C]//2015 14th International Conference on ITS Telecommunications (ITST). IEEE, 2015.
- [2] Mishra S, More A, Nalavade M. Intelligent Street Light Services Based on LoRa[J]. Social ence Electronic Publishing.
- [3] Zorbas D, O'Flynn B. Autonomous Collision-Free Scheduling for LoRa-Based Industrial Internet of Things[C]//DIPI 2019, in conjunction with WoWMoM, 2019.
- [4] 江莺, 俞旭, 俞铭津, 等. 基于 LoRa 的远程低功耗水压采集系统的设计[J]. 现代电子技术, 2020, 43(8): 113-116, 120.
- [5] 程晨. Arduino 开发实战指南[M]. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [6] 李玉英, 张建华. 基于树莓派的公路表面破损标记及数据采集装置[J]. 山西建筑, 2020, 46(13): 198-199.
- [7] RenéSiewert, Specovius S, Wu J. Web-based interactive visualization in a Grid-enabled neuroimaging application using HTML5[J]. Studies in Health Technology&Informatics, 2012, 175(175): 173.
- [8] 周玲余. 基于 jQuery 框架的页面前端特效的设计与实现[J]. 计算机与现代化, 2013(1): 61-63.
- [9] 熊文, 熊淑华, 孙旭, 等. Ajax 技术在 Web2.0 网站设计中的应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2012(3): 151-154.

刘静远(硕士研究生), 主要研究方向为图像处理、计算机视觉; 施华君(高级工程师), 主要研究方向为边缘计算、嵌入式高可靠计算机。  
通信作者: 刘静远, moteily@mail.ustc.edu.cn.

(责任编辑: 薛士然 收稿日期: 2020-12-11)