

# 基于 LoRa 技术的可燃气体监测系统设计

张海涛, 韩耀振

(山东交通学院 信息科学与电气工程学院, 山东 济南 250357)

**摘要:** 针对目前可燃气体监测系统存在的通信传输距离短和功耗高的问题, 提出了一种基于 LoRa 技术的可燃气体监测系统设计方案, 给出了系统的总体设计以及详细的系统硬件组成和原型, 软件系统由 Keil 软件编译实现。基于 FM33LG048 设计的无线传感器采集现场气体浓度, 通过 SX1278 无线射频模块与 LoRa 控制器通信; 以高性能, 低功耗 STM32F103 为主控制单元设计的 LoRa 控制器接收、处理、存储无线传感器数据, 并提供操作界面, 其中, 控制器中的 LoRa 网关作为中继通过 GPRS 将接收的数据发送到云平台。系统可通过 LoRa 控制器在本地查看、操作无线传感器, 通过手机或电脑远程增、删、改、查无线传感器相关信息。

**关键词:** 可燃气体监测; LoRa; 无线传输; STM32 单片机; SX1278; Keil

**中图分类号:** TP23; TP277

**文献标识码:** A

**文章编号:** 2095-1302 (2022) 10-0012-04

## 0 引言

在石油化工行业中不可避免的存在各种易燃易爆、有毒有害气体, 这些气体一旦长时间泄露或积聚在周围环境中, 将可能引起火灾、爆炸或人身中毒等重大事故。因此, 对可燃气体的监测是安全生产过程中至关重要的环节。随着物联网的发展, 无线网络技术在可燃气体监测系统中的应用越来越广泛。文献 [1-3] 通过 ZigBee 技术将传感器采集的数据传送到网关节点, 由监控中心进行数据分析和处理。文献 [4-6] 以 GPRS 网络为基础, 通过 IP 数据流方式传送数据信息, 实现对可燃气体的远程监控。以上系统通过采用不同的无线通信技术, 均实现了对可燃气体的远程监控。但 ZigBee 技术无法实现远距离传输, GPRS 又易发生丢包现象。针对以上问题, 结合 LoRa 通信距离远、信号收发灵敏度高、功耗低等优点, 本文设计了一种基于 LoRa 自组网的可燃气体监测系统, 能够有效监测可燃气体浓度。

## 1 系统工作原理及功能

图 1 所示为可燃气体监测系统结构框图, 系统主要由无线传感器、LoRa 控制器和气体监测云平台组成。无线传感器采集现场气体浓度, 对数据进行处理, 然后 LoRa 模块按照规定的通信协议主动将数据发送到相应的 LoRa 控制器。LoRa 控制器对浓度数据进行分析、判断、处理, 并定时发

送到云平台, 云平台接收、显示 LoRa 控制器的数据, 数据异常时平台立即发送短信通知相关人员。

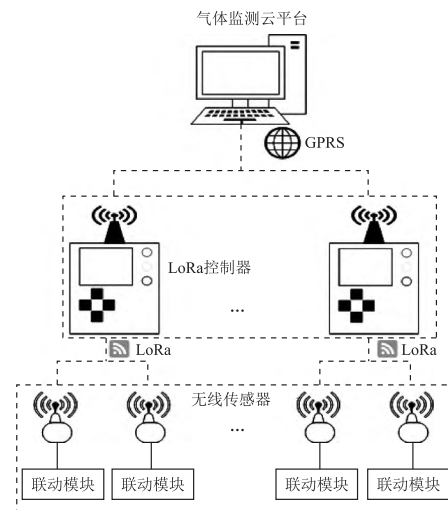


图 1 系统结构框图

系统分为 3 个层次, 气体监测云平台与 LoRa 控制器之间采用 GPRS 通信方式; LoRa 控制器和无线传感器之间采用 LoRa 通信方式; 无线传感器和联动模块之间采用 RS 485 通信方式。设计的 LoRa 控制器可连接 256 个无线传感器, 每个无线传感器都有唯一的识别码。为避免信道拥堵, 系统默认 1 个控制器最多可连接 100 个无线传感器。

无线传感器将采集的气体浓度转换成 0~5 V 电压信号, 并经过处理转换成相应的数据格式。除此之外, 无线传感器还具有现场数字显示、调零、标定、变更地址、声光报警等功能。其中, 联动模块由电磁阀和排风风扇组成, 无线传感器发生报警时, 联动模块对应的继电器工作, 关闭电磁阀并

收稿日期: 2021-12-27 修回日期: 2022-01-26

基金项目: 山东省大学生创新创业训练计划项目: 基于 LoRa 的自组网的有害气体检测预警系统 (S202111510005); 山东省重点研发计划项目: 大数据驱动的车用天然气发动机的协同优化控制器研发及应用 (2019GSF109076)

启动排风风扇，从而避免事故的发生。

LoRa 控制器是系统最重要的部分，也是系统设计的难点所在。LoRa 控制器一方面通过 232 与串口屏通信，可查看报警时间、报警浓度、故障类型等，也可设置、修改、查阅系统参数；另一方面，LoRa 控制器中的 LoRa 网关接收无线传感器上传的气体浓度信息，并进行分析、处理、判断。然后将处理数据定期通过无线远传至气体监测云平台，现场报警时立即上传。同时也可修改 IP 地址、无线传感器数量、上传时间等参数。

## 2 系统硬件设计

LoRa 控制器主要包括电源模块、显示模块、无线通信模块,选用性能稳定的 STM32F103RBT6 作为控制中心。电源模块主要由主电供电和电池供电两部分组成,主电供电由 LS05-13B24R3 将交流电压 220 V 转换成单片机所需要的直流电压 5 V。LS05-13B24R3 是金升阳提供的小型化裸板的高效绿色模块电源,具有交直流两用、输入电压范围宽、高可靠性、低功耗、安全隔离等优点,主电源电路原理如图 2 所示。电池供电则由 24 V 电池进行供电,24 V 转 5 V 直流降压电路采用 MP1584 芯片。开关电源通过在内部 MOS 管上加 PWM 开关信号,控制 MOS 管的导通和关断,使电感和电容充放电,以此来将电源电压降压的目的。电池供电电路原理如图 3 所示。

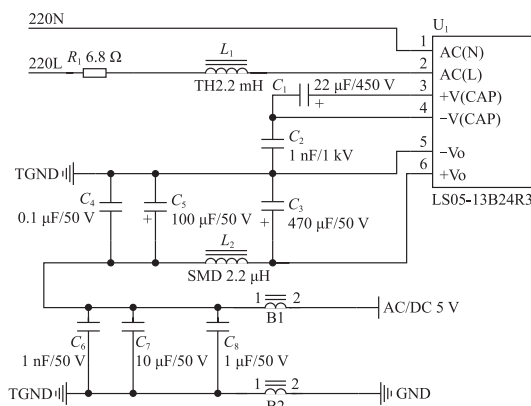


图 2 主电源电路原理

无线模块由 LoRa 网关和 GPRS 模块组成, 主要电路原理如图 4 所示。LoRa 网关采用 SEMTECH 公司出品的 SX1278 射频芯片。SX1278 射频芯片是一种半双工传输的低中频收发器, 具有高灵敏度、低功耗、抗干扰等特点。采用星型网络架构, 能将数百万的无线传感器节点与 LoRa 网关连接<sup>[7]</sup>。射频前端和数字状态机所有重要参数均可通过一个 SPI 接口进行配置, 通过 SPI 可以访问 1278 的配置寄存器。使用 SX1278 需要注意两点: 一是与 MCU 连接时注意共地连接; 二是 RST 管脚是 SX1278 无线模块的复位引脚,

低电平有效，在初始化操作成功后严禁使用此管脚。SX1278 的工作频率为 433 MHz，在同等发射功率下低频的传输距离更远，覆盖范围更广<sup>[8]</sup>。GPRS 模块采用 SIMCom 提供的 SIM800C，SIM800C 采用省电技术设计，在休眠状态下电流低至 0.6 mA<sup>[9]</sup>。将 SIM800C 的 TXD 和 RXD 与 MCU 的串口 2 连接，并通过 MCU 的串口 1 进行打印。

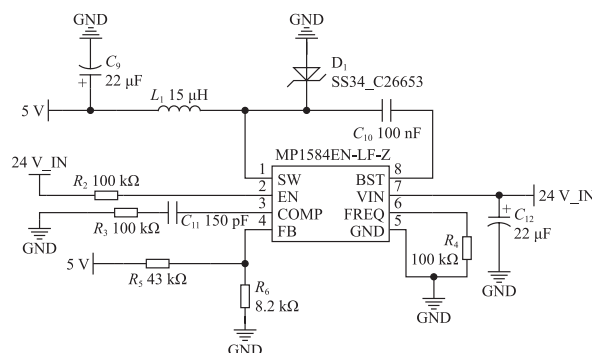


图3 电池供电电路原理

显示模块选用迪文 DGUS 屏, 通过 232 与微控制器通信, 电路原理如图 5 所示。DGUS 屏主要把 GUI 分解成控件并按页面配置。控件显示由变量控制<sup>[10]</sup>, 通过 PC 软件配置好控件文件下载到 DGUS 屏后, 通过串口改写变量值即可实现控件显示的相应改变。

无线传感器主要完成对现场气体浓度的采集和数据发送, 电路原理如图 6 所示。选用 5 V 高性能锂电池供电, 当电池电压下降到 3.3 V 后, 蜂鸣器持续 10 s 警报以提醒用户。无线传感器的微控制器选用 FM33LG048, FM33LG048 是一款基于 ARM32 位 Cortex-M0+ 内核的产品, 片上内存包括 256 KB FLASH 和 32 KB RAM, 集成低功耗硬件时钟, 内置液晶显示驱动, 独特的超低功耗架构设计使得芯片在 1 MS/s 采样率下, 功耗仅为 250  $\mu$ A。红外遥控模块选用 VS1838B, 可实现对无线传感器的调零和标定。

### 3 系统软件设计

### 3.1 无线传感器软件设计

无线传感器工作流程如图 7 所示。首先对微处理器和各模块进行初始化,LoRa 模块上电后延时 15 s,待 LoRa 模块配置完成后,开始扫描信道,连接对应的 LoRa 网关,建立 LoRa 网络。组网成功后,无线传感器采集数据,每个传感器采集 10 次数据并取平均值,以保证采集数据的准确性,然后按照规定的协议发送到 LoRa 网关。当气体浓度超过安全阈值时,自动启动联动模块。无线传感器和 LoRa 控制器采用一发一收模式,每一次通信均有应答指令。无线传感器上行数据包括设备上行数据、设备应答,LoRa 控制器下行数据包括主站下行命令、主站应答。

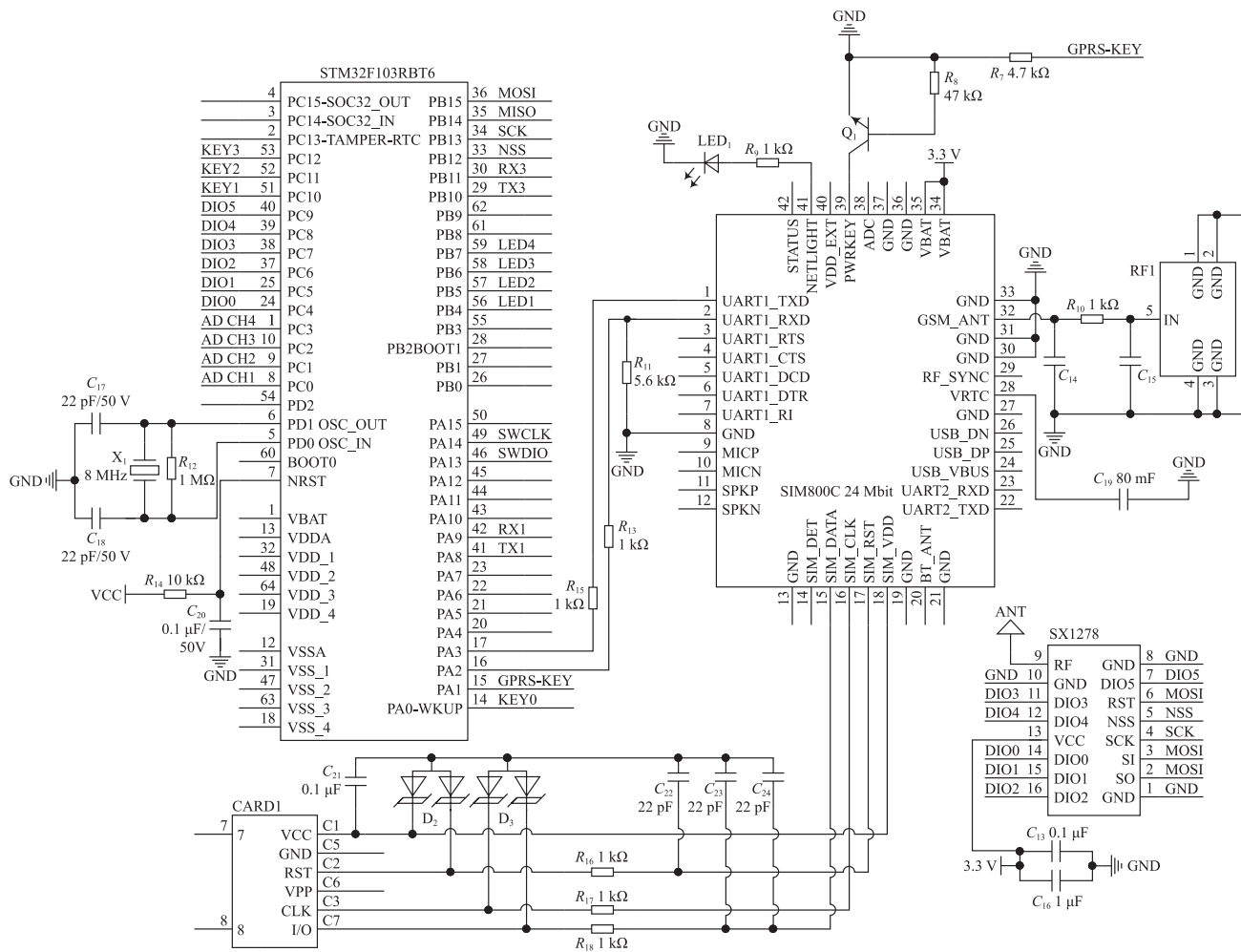


图4 无线模块电路

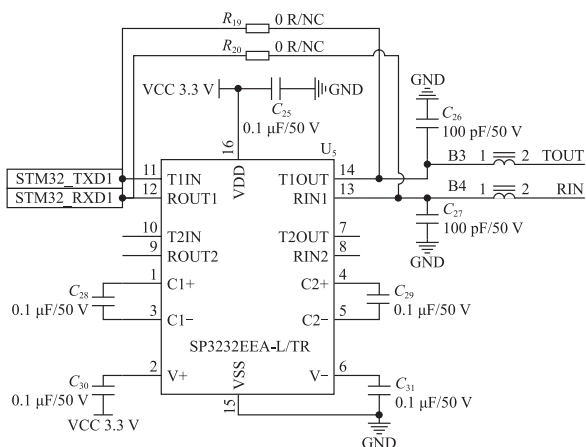


图5 232通信电路

### 3.2 LoRa 主控制器软件设计

在进入循环之前，首先对微处理器和芯片进行初始化，显示开机画面 3 min，在此过程中不断进行电源检测、按键检测、屏幕检测。开机成功后，LoRa 网关上电，并扫描查看是否有 LoRa 节点加入。LoRa 节点加入后，控制器对接

收到的数据进行分析判断，主要分为正常、故障、报警三种状态，然后按顺序提取协议中无线传感器中对应的气体浓度和状态位，将其存储到 FLASH 中。正常状态下，上传时间为 6 h，若为故障或报警状态，则立即上传。为降低系统功耗，未达到上传时间时系统处于休眠状态。键值检测及处理部分主要检测屏幕是否有反应，能否根据相应键值进行相关操作。屏幕界面分为三级权限操作目录，每一级权限下有若干下拉界面选项，这些操作功能都在按键数据处理函数中完成。

进入循环之后，需要注意每一个函数处理完成后都要进行备电电路检测。

LoRa 控制器与云平台间采用 4G 长连接模式，通过 TCP 与云平台建立连接，首次建立连接或者断开连接再次连接上线后，首先发送登录帧，等待云平台应答，超时无应答并重试两次仍无应答则自动断开服务器，释放连接资源；如果收到云平台应答，则进入正常工作流程，按 LoRa 控制器设置的上传周期上传数据。LoRa 控制器无数据传输时，断开连接。

如果连续 5 次连接失败, 计数器开始计数, 模块重新上电初始化, 当计数器达到 10 次后, 清零并发出警报, 蓝色指示

灯常亮, 提醒用户联网失败。LoRa 控制器工作流程如图 8 所示。

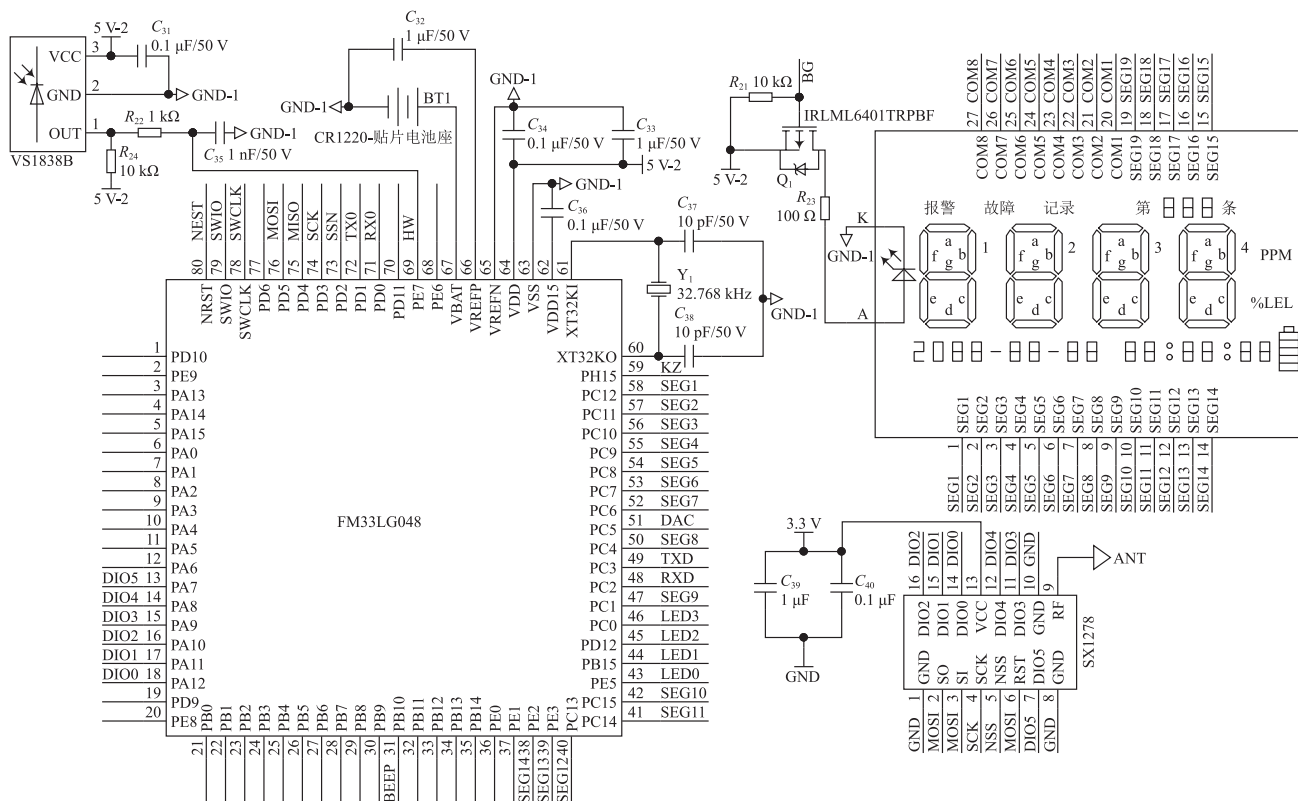


图 6 无线传感器电路

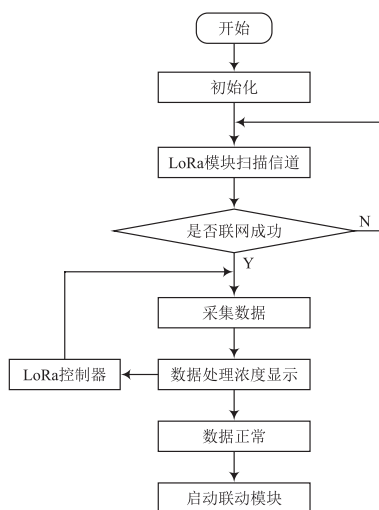


图 7 无线传感器工作流程

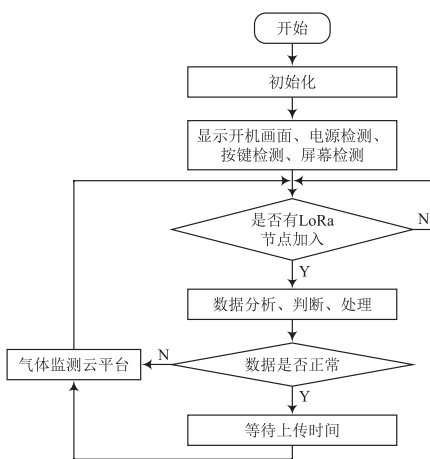


图 8 LoRa 控制器工作流程

## 参考文献

- [1] 黄青龙, 游胜玉, 何月顺. 基于 ZigBee 技术的可燃气体监测报警系统的设计 [J]. 物联网技术, 2021, 11 (7): 18-19.
- [2] 张鹏, 秦飞舟. 基于 ZigBee 技术的室内可燃气体监测系统 [J]. 电脑知识与技术, 2015, 11 (27): 204-205.
- [3] 宋绍成. 基于 ZigBee 的化工可燃气体与有毒气体智能报警终端硬件设计 [J]. 黑龙江科技信息, 2013, 17 (27): 91.

(下转第 20 页)

## 4 结语

基于 LoRa 技术的可燃气体监测系统能够有效监测多种可燃性气体, 在通信距离传输和功耗性能方面都有了不同程度的改善, 实现了可燃气体安全云监控, 提高了整体区域可燃气体监测系统的实时性和可靠性。



由图中的构型数据与误差的关系可知,空间构型二的特征点位置分布比构型一所示的空间分布标定误差更小。并且对表4中构型二数据进行分析可知,对于空间构型二的位置分布,当4个点空间差异越大即4个点在横向和纵向距离增大时标定误差会下降。

### 2.2.3 特征点数量实验分析

通过实验分析了空间构型对单应性变换标定误差的影响,证明了空间构型二比空间构型一的标定误差小,本节选择空间构型二作为特征点分布,保持构型不变的情况下研究特征点数量对单应性标定误差的影响。特征点位置实验数据 $(x_i, y_i)$ 为 $(11.2, 2.5)$ ,  $(14, 2.5)$ ,  $(18.2, -4.7)$ ,  $(24, -4.7)$ ,  $(17, 2.5)$ ,  $(30, -4.7)$ ,  $(20, 2.5)$ ,  $(36, -4.7)$ ,表5为不同特征点数量的标定误差数据。

表5 特征点数量与标定误差

数 量	4	5	6	7	8
误差/像素	3.17	2.23	1.22	1.22	1.23

通过表中的数据可以看出,在同一种空间构型下,随着特征点数量单应性标定误差逐渐下降,当点数增加到6个点时,标定误差已经基本不发生变化。所以在标定时选择6个点较为合适。

## 3 结 语

本文研究了毫米波雷达与摄像头单应性变换标定方法中误差因素对单应性变换标定精度的影响。建立了误差模型并分别对毫米波雷达设备误差、特征点空间位置构型、特征点

数量这三个因素对标定精度的影响进行了实验分析。结果表明,文中的空间构型二特征点位置分布的标定误差较小,并且在空间构型二下,特征点数量选择6点标定误差可达到最小并且基本不再变化。本文的结果为后续毫米波雷达与摄像头标定实验方案的设计提供了基础,具有一定的研究意义。

## 参 考 文 献

- [1] World Health Organization. Global Status Report on Road Safety 2015[R]. Geneva: World Health Organization, 2015.
- [2] 郭璘,周继彪,董升,等.基于改进K-means算法的城市道路交通事故分析[J].中国公路学报,2018,31(4):270-279.
- [3] 郭延永,刘攀,吴瑶,等.基于贝叶斯多元泊松-对数正态分布的交通冲突模型[J].中国公路学报,2018,31(1):1-9.
- [4] CHRISTOPH M L. Moving object detection with laser scanners [J]. Journal of field robotics, 2012.
- [5] Ji Z, Prokhorov D. Radar-vision fusion for object classification [C]// Automation Congress, 2008. Wac. IEEE Xplore, 2008: 1-6.
- [6] NABATI R, QI H. Center fusion: center-based radar and camera fusion for 3D object detection [D]. University of Tennessee Knoxville, 2020.
- [7] 张富有.雷达与摄像机视频融合的车辆检测跟踪技术研究[D].深圳:深圳大学,2018.
- [8] 郑冬,冯鹏,龙邹荣,等.面向多因素工况下的相机标定精度综述[J].国外电子测量技术,2020,39(8):109-116.
- [9] 陈晓燕,董志国,轧刚,等.相机标定精度外界影响因素仿真及实验研究[J].太原理工大学学报,2016,47(1):16-20.
- [10] REDMOND M. A Flexible New Technique for Camera Calibration [Z]. 2016.

(上接第15页)

- [4] 包亮,王里奥,陈萌,等.基于GPRS的排水管道可燃气体远程在线监控系统的设计与实现[J].给水排水,2009,45(s1):445-448.
- [5] 甘平,徐子航,胡国文,等.基于GPRS的远程可燃气体检测系统研究与设计[J].实验室研究与探索,2013,32(9):54-56.
- [6] 闫成志.基于GPRS的化粪池可燃气体监测系统[J].无线互联科技,2016,13(16):65-66.
- [7] 李时杰,何怡刚,罗旗舞,等.基于LoRa的电气设备温湿度监

- 测终端设计[J].传感器与微系统,2018,37(4):89-91.
- [8] 张琴,戴阳,杨胜龙,等.基于LoRa的低功耗水产养殖水质监测系统[J].传感器与微系统,2019,38(11):96-99.
- [9] 林子其,郝建豹,潘伟荣,等.一种具有防盗功能的智能空调控制器[J].广东交通职业技术学院学报,2019,18(4):32-36.
- [10] 张建良,吴越,齐冬莲,等.基于DSP的微电网泛能控制实验平台设计[J].实验室研究与探索,2018,37(2):83-86.

作者简介:张海涛(1995—),男,研究生,研究方向为嵌入式开发。

韩耀振(1984—),男,教授,主要研究方向为现代能源控制技术、新能源系统控制。