

基于 LoRaWAN 的智慧农业系统^①



张美平^{1,2}, 陈清建¹, 张少敏¹, 郭毅¹

¹(福建师范大学 数学与信息学院, 福州 350117)

²(福建省网络安全与密码技术重点实验室, 福州 350007)

通讯作者: 张美平, E-mail: mpjason@fjnu.edu.cn

摘要: 目前在智慧农业系统通信架构的实现上, 利用较多的往往是 ZigBee、WiFi 等技术, 虽然其基本能够实现较长距离传输、低功耗等需求, 但是在诸如抗干扰性、成本开销等方面上也还存在着许多缺点. 针对这些问题, 本文介绍了一种基于 LoRaWAN 技术设计的智慧农业系统. LoRa 终端利用 STM32 单片机作为主控制器结合 LoRa 射频模块设计而成, 通过树莓派来搭建 LoRa 网关集中器进行数据转发, 在云服务器上部署 ChirpStack 服务与 Flask Web 应用实现了对农业作物生长环境的远程监测与管理功能, 并详细描述该 LoRaWAN 应用系统的工作原理以及系统设计. 最终所实现的系统数据传输稳定, 抗干扰性强, 同时也极大地降低了开发成本.

关键词: 智慧农业; LoRaWAN; 嵌入式网关; Flask

引用格式: 张美平, 陈清建, 张少敏, 郭毅. 基于 LoRaWAN 的智慧农业系统. 计算机系统应用, 2020, 29(12): 111-116. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/7723.html>

Intelligent Agricultural System Based on LoRaWAN

ZHANG Mei-Ping^{1,2}, CHEN Qing-Jian¹, ZHANG Shao-Min¹, GUO Yi¹

¹(College of Mathematics and Informatics, Fujian Normal University, Fuzhou 350117, China)

²(Fujian Provincial Key Lab of Network Security & Cryptology, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

Abstract: At present, ZigBee, WiFi, and other communication technologies are widely used in the realization of communication architecture of smart agriculture system. Although these can basically achieve long-distance transmission, low-power consumption, and other requirements, there are still many shortcomings in such aspects as anti-interference and cost. To solve these problems, this study introduces a smart agriculture system based on LoRaWAN technology. The LoRa terminal node is designed by using STM32 MCU as the main controller and LoRa RF module as the data transceiver module, and the raspberry pi is used to build a LoRa gateway concentrator for data forwarding, we finally realize the monitoring of environmental of crop growth and the portable system management function by setting up the ChirpStack service and Flask application on the cloud server. The working principle and system design of the LoRaWAN application system are described in detail. The system has stable data transmission and strong anti-interference, also dramatically reduces development costs.

Key words: intelligent agricultural; LoRaWAN; embedded gateway; Flask

在低功耗广域网技术兴起之前, 大多数的无线技术都难以做到远距离和低功耗的兼顾. 目前大部分的智慧农业系统采用 ZigBee 无线通信技术进行数据传

输. 虽然 ZigBee 技术满足智慧农业对于低功耗、低成本的需求, 但其却无法实现远距离传输的需求, 这在无形之中增加了中继节点的开销. 同时, ZigBee 技术在高

① 基金项目: 2020 福建师范大学“大学生创新创业训练计划”(cx11-2020140)

Foundation item: Year 2020, Innovation Training Program for Students of Fujian Normal University (cx11-2020140)

收稿时间: 2020-04-27; 修改时间: 2020-06-03; 采用时间: 2020-06-23; csa 在线出版时间: 2020-11-30

频率通信的情况下有着信号衰减快的问题,易受到其他信号的干扰,从而影响有效数据的传输,已难以满足目前智慧农业系统的数据传输需求^[1].远距离无线电(Long Range Radio, LoRa)作为非授权频谱的低功率广域网络(Low-Power Wide-Area Network, LPWAN)的一种新兴技术,具有远距离通信的优点外,也有低成本、多节点、低功耗、抗干扰性强等优势^[2].LoRaWAN是基于LoRa远距离通信网络设计的一套通讯协议和系统架构,目前已经成为LPWAN中重要的技术标准之一.

近几年国内外开展了一系列对LoRaWAN智慧农业应用系统方案设计的研究.在国内,赵兰枝提出了基于LoRaWAN物联网技术的农田环境监测系统研究相关的设计方案,给出了系统实现所需结构与功能框架,为开发一个LoRaWAN农业应用系统提供了不错的框架思路基础^[3];刘映江分析了低功耗广域网在农田监测中的应用价值,也设计了一套LoRaWAN智慧农业监测系统,并介绍了相关硬件平台实现与技术原理^[4].在国外,Ibrahim等将LoRaWAN技术应用在了智慧蘑菇屋来达到控制屋内的环境最终实现了更高的产量,并且对系统能耗、射频进行了相应的分析^[5].这些方案都

为LoRaWAN智慧农业应用系统的设计提供了一定的基础借鉴.

本文所设计的LoRaWAN智慧农业应用系统,在同样实现LoRa终端与LoRa网关软硬件功能部分的基础上,在云服务的搭建中还结合ChirpStack这一个开源服务项目,相比于上述应用,结合该服务能够提供便捷的网络管理,使得系统开发简易快速,用户更多只需要考虑应用需求方面的开发.本文将详细介绍系统开发流程,为今后LoRaWAN应用系统的开发提供良好可靠的方案基础.

1 系统框架

基于LoRaWAN设计的智慧农业系统,由LoRa终端、LoRa网关集中器以及ChirpStack服务、Flask Web应用4个部分组成.在LoRa终端上外接多种传感器与执行器,能够将数据封装通过LoRa传输至网关集中器;LoRa网关集中器能够并行接收处理多个终端节点的数据并通过UDP协议传输至服务器;服务器结合ChirpStack服务与Flask Web应用为用户呈现可视化监测与管理界面.系统框架如图1所示.

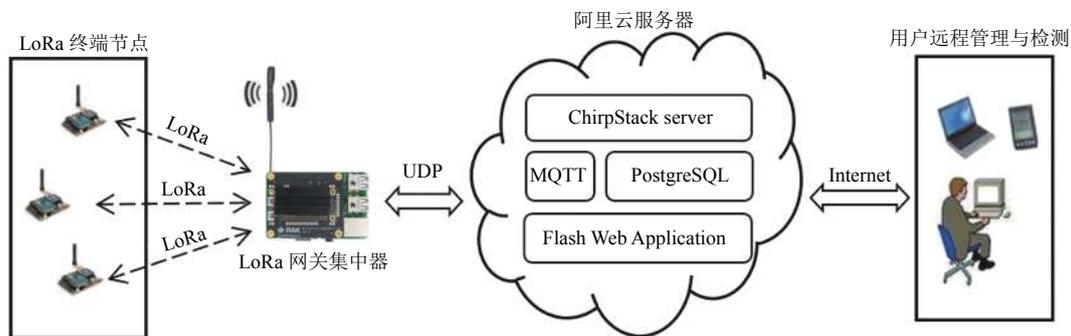


图1 系统总体框架

2 系统硬件设计

2.1 LoRa 终端

LoRa终端系统采用以STM32F103VET6为控制芯片的开发板作为控制器,搭载传感器模块(DHT11温湿度传感器、FC-28土壤湿度传感器、TSL2561光强传感器)、LoRa通信模块(RAK811 Breakout Board)、LCD液晶触摸屏模块与执行模块(水泵、散热器),整个LoRa终端的硬件结构如图2所示.LoRa终端能进行传感器数据的采集以及通过LoRa通信模块传输数据,同时还具有液晶屏显示与自动灌溉功能,利用串口与PC端连接还可以接收PC端的配置指令.

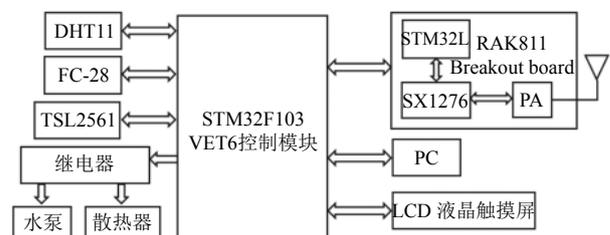


图2 LoRa终端硬件系统设计框图

RAK811远距离LoRa收发模块,其拥有小巧、简单、远距离传输和低功耗的特点,能够很好地应用于远距离无线传输解决方案当中,支持P2P通信和

LoRaWAN 组网方式, 该模块集成了 Semtech 的 SX1276 芯片, 以及 STM32L 芯片, 并且提供了 UART 接口, 能够通过简单的 AT 串口指令来进行 LoRa 模块的配置与数据收发.

2.2 LoRa 网关集中器硬件系统结构

LoRa 网关集中器采用了“树莓派+RAK2245 Pi HAT 模块”组合搭建而成, 其硬件结构如图 3 所示. RAK2245 Pi HAT 是一款适配于树莓派的 LoRa 网关集中器模块, 集成了 Ublox Max-7Q GPS 模块以及散热器, 能够支持 8 个信道, 并且适用于 LoRaWAN 全球所有频段, 它拥有一个基于 Semtech SX1301 的基带处理器用来进行数据包的管理和两个 Semtech SX1257 来用于射频前端 I/Q 收发器. RAK2245 Pi HAT 主要负责 LoRa 信号的发送以及接收, 树莓派则主要负责作为核心控制板, 处理数据和运算等^[6].

3 系统软件设计

3.1 LoRa 终端入网与运行流程

根据 LoRaWAN 协议, 终端入网首先需要定义终端

类型、入网方式以及通信频段. 由于 LoRa 通信模块支持 AT 指令进行配置, 将 LoRa 终端利用串口配置为符合此次系统需求的 Class A 类型, 入网方式为 OTAA 空中激活模式, 频段为中国的 CN_470_510; 其次此系统 OTAA 入网方式还需要为终端配置 DevEUI、AppKey 两个入网参数. 在上述配置完成基础上, 终端开机后可以自行进行入网请求操作, 并在入网成功之后结合 Class A 工作模式进行传感器数据的采集与上传等工作, 整个终端运行流程如图 4 所示.

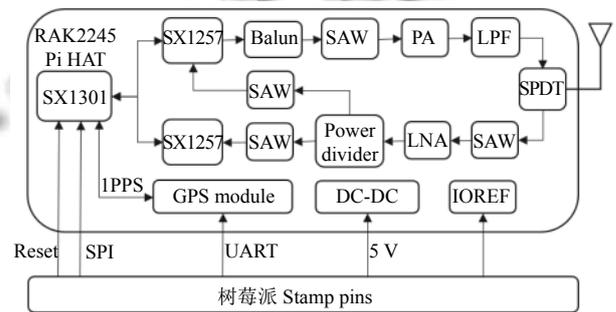


图 3 LoRa 网关集中器硬件设计框图

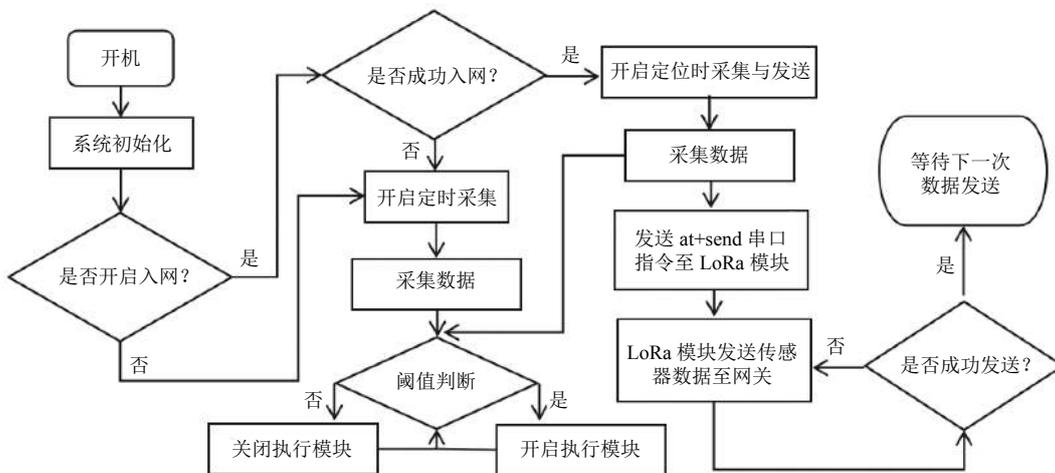


图 4 终端系统运行流程

3.2 LoRa 网关集中器数据转发功能

LoRa 网关集中器的数据转发功能主要是依赖于 Packet_forworder 这一程序来实现, 它会负责将网关收到的 RF 数据包通过 UDP 协议发送给服务器, 以及将服务器的下行数据包通过 RF 发送到指定的信道进而传输给 LoRa 终端节点, 可以理解为是网关集中器和服务器之间的一个包转发器.

Packet_forworder 主要通过 Semtech 提供的开源

代码进行编译得到, 在 libloragw 核心库的基础上编译成的 lora_pkt_fwd 应用程序将会作为树莓派开机自启服务, 让树莓派利用 SPI 接口通信使 RAK2245 集中器开发板实现数据转发功能, 通过读取 global.json 配置文件来指定需要监听的频段与服务器的 IP 地址, UDP 端口等, 而我们需要做的便是对 global.json 配置文件进行修改以实现 CN_470_510 频段的数据监听与转发至指定服务器的功能.

3.3 ChirpStack 服务部署与配置

ChirpStack 作为一个开源的 LoRaWAN Server 服务器端项目, 包含了 Gateway Bridge、Network Server、Application Server 和 Geolocation Server, 并且集成了许多接口供第三方应用使用, 是目前 LoRaWAN 服务端中一个很好可行的解决方案。

部署 ChirpStack 服务器需要先安装 mosquitto MQTT 服务器、Redis 以及 PostgreSQL 数据库来供 ChirpStack 服务使用, 在 PostgreSQL 中需要为 Network Server 以及 Application Server 创建相应的数据库, 以及终端数据的建表操作。在添加 repository 之后利用 apt 工具依次安装 Gateway Bridge、Network Server 以及 Application Server, 3 个 Server 的配置文件都在 etc 对应的目录下, 需要对 Network Server 以及 Application Server 的 toml 配置文件进行修改, 在 Network Server 配置文件中需配置接收频段为 CN_470_510, 而在 Application Server 配置文件中需要给定 jwt_secret 密钥内容以便后续 REST API 的调用, 同时二者都需要指定 PostgreSQL 配置项对应到各自数据库的 DSN 地址。

在 ChirpStack 服务部署完成之后, 通过 Application Server 提供的 Web 界面进行应用层的初始化配置, 具体如下:

- (1) 添加相对应关联的 Network Server 服务项, 指定 IP 地址与端口号, 默认配置文件中的端口为 8000;
- (2) 添加 Service-profiles 服务配置项, 其中需要指定上述 Network servers 的服务项;
- (3) 添加 Device-profiles 设备配置项, 根据本文系统终端设计需求, 需要创建一个 Class A 类型、OTAA 入网方式的 Device-profiles。针对终端数据的碎片化, 在配置项中 codec 一栏, 可以供用户编写 LoRa 终端数据传输的编解码函数, 其中支持 JS 语言实现, 能够将终端原始数据转换为用户所需如 JSON 格式的数据, 以便后续存储后便捷提取解析数据。

3.4 Flask Web 应用开发

ChirpStack 服务为用户提供了和 LoRa 底层网络的对接和管理功能, 但还需要用户进一步开发自己所需的应用系统, 因此系统使用 Flask 应用框架开发一个 Web 应用来进行智能农业终端数据的可视化展示^[7], 整个 Flask Web 应用框架结构图如图 5 所示。

ChirpStack Application Server 提供了 REST API 接口以实现终端、网关、用户信息的获取等快速

操作, 在 REST API 的接口调用请求中需要在请求头的 Authorization 字段附上生成的 JWT TOKEN, JWT TOKEN 中的签名密钥即为 ChirpStack Application Server 配置文件中设置的 jwt_secret 字段; 同时 Application Server 还会向 MQTT Broker 发布 LoRa 终端的上下行数据消息。

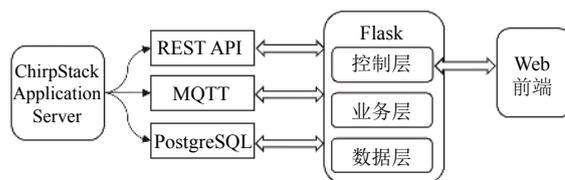


图 5 Flask Web 应用框架结构图

整个 Flask Web 项目运行流程图如图 6 所示。当 Flask Web 项目运行时, 如果接收到前端的请求时通过控制层解析并且匹配 route 路由找到相应的视图函数之后执行业务层逻辑的处理, 在业务逻辑处理的时候如有需要便可以快速调用 REST API 接口以对接 ChirpStack 服务, 当有需要操作数据库时便可以交给数据层处理, 数据库的操作则使用了 SQLAlchemy 来创建 ORM 模型将数据库内容实例化成对象, 能够增加抽象地方方便数据访问。此外, Flask Web 项目还开启了一个用于监听 MQTT 终端数据消息的线程来进行终端上行数据的数据存储操作。

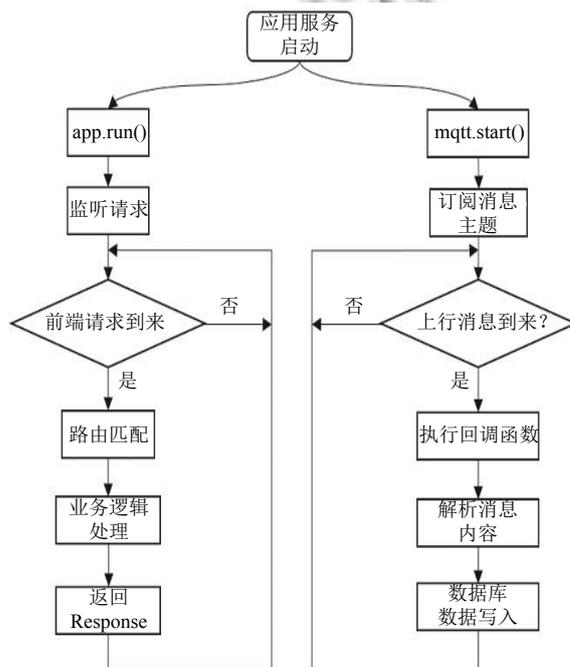


图 6 Flask Web 应用运行流程

3.5 系统数据通信流程

整个 LoRaWAN 智慧农业系统搭建完成之后, 其数据通信流程如图 7 所示。

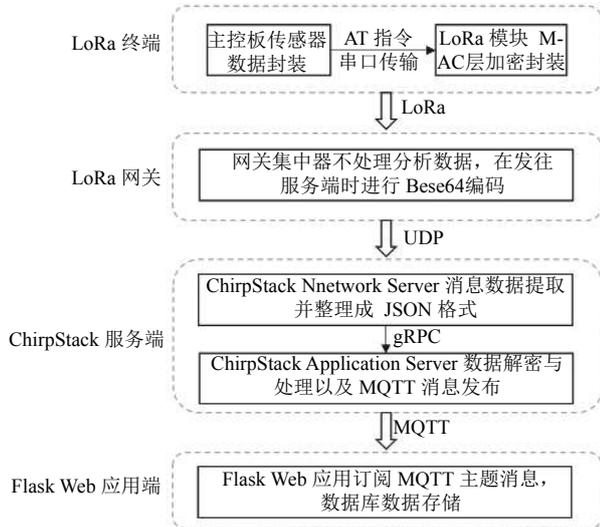


图 7 系统数据通信流程

具体过程如下:

(1) LoRa 终端主控板在通过表 1 对传感器数据进行封装后, 利用串口 AT 指令发送十六进制格式原始封装数据至 LoRa 模块, LoRa 模块会通过 AppKey 衍生的 AppSKey 应用层会话密钥来对数据进行 AES128 位算法加密填入 MAC 层帧中的 FRMPayload 部分再通过 LoRa 发送至网关集中器。

表 1 传感器数据封装格式

位置	内容
第1个字节	头部0x7E(SOF)
第2个字节	数据的字节长度
第3个字节	环境温度
第4个字节	环境湿度
第5个字节	土壤湿度
第6和第7个字节	光照强度
第8个字节	校验和

(2) LoRa 网关集中器在接收到终端的上行数据后, 对其进行 Base64 编码再通过 UDP 协议传输至 ChirpStack 服务端。

(3) ChirpStack 服务中 Network Server 先将网关集中器转发上来的数据进行提取并且整理成 JSON 格式, 然后通过 gRPC 传输至 Application Server, Application Server 会负责对数据进行解密操作之后发布到 MQTT Broker。

(4) Flask Web 应用通过订阅 MQTT 相应主题来获取到 Application Server 解密之后的终端 JSON 格式消息, 然后进行数据库的存储操作。

4 系统测试与总结

系统测试硬件实物框架图如图 8 所示。

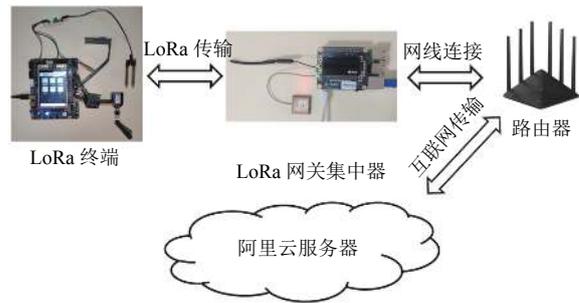


图 8 系统测试硬件框架

在 LoRa 终端节点开机入网成功之后, 采集完传感器环境数据后结合 Class A 类型工作模式发送至 LoRa 网关集中器, 通过串口调试工具查看 LoRa 终端运行结果如图 9 所示。

```

DevEui: 631F54388E3CB772
AppEui: 631F54388E3CB772
AppKey: 02E64B01A2E902429568601CAF21AADO
OTAA Join Start...
ERROR: RUI_AT_UNSUPPORTED 1
[LoRa]:Join retry Cnt:1
设备入网暂时失败, 尝试重新入网
[LoRa]:Join Success
OK
设备入网成功!
at+send=lora:2:7E081A3F01001C76
LORA模块发送传感器数据无回复
at+send=lora:2:7E081A3F01001C76
等待数据发送
[LoRa]: RUI_MCPS_CONFIRMED send success
OK
at+recv=0, -84, 3, 0:
LORA模块发送传感器数据成功!
    
```

图 9 LoRa 终端入网与数据传输

在 LoRa 网关集中器中, 可以开启监听日志程序 util_pkt_logger 来进行数据传输监听, 结果如图 10 所示。

```

log file name: /pktlog_882/E8FFFECEB8IA_28200410/53502.csv
log
gateway IP: mode: M, UTC timestamp: us count: frequency: RF chain: RX chain: status: size: modulation
882/E8FFFECEB8IA: "2020-04-10 07:53:58.248Z", 10441804, 486500000, 0, 1, "CRC_OK", 21, "LORA", 125000, "SF12"
882/E8FFFECEB8IA: "2020-04-10 07:53:58.248Z", 10441804, 486500000, 0, 1, "CRC_OK", 21, "LORA", 125000, "SF12"
882/E8FFFECEB8IA: "2020-04-10 07:53:58.248Z", 10441804, 486500000, 0, 1, "CRC_OK", 21, "LORA", 125000, "SF12"
882/E8FFFECEB8IA: "2020-04-10 07:53:58.248Z", 10441804, 486500000, 0, 1, "CRC_OK", 21, "LORA", 125000, "SF12"
882/E8FFFECEB8IA: "2020-04-10 07:53:58.248Z", 10441804, 486500000, 0, 1, "CRC_OK", 20, "LORA", 125000, "SF12"
    
```

图 10 网关 util_pkt_logger 程序监听

在 LoRa 网关将终端数据通过 UDP 传输到服务器后,通过开启 Flask Web 应用服务,结合 ChirpStack 服务运行后,用户进行系统登录后,观察传感器数据界面实际运行效果如图 11 所示,可以观察到 LoRa 终端数据最终能够稳定地传输并更新展示在了 Web 界面当中。



图 11 Web 应用运行效果图

本文所提出的基于 LoRaWAN 技术设计的智慧农业系统方案,实现了农业大棚环境数据的远程监测管理等功能,并且对整个系统的架构、软硬件设计以及程序运行流程做了详细的介绍.系统具有开发快速便

捷,数据传输安全可靠的优点,同时,系统因为采用了 Class A 模式从而牺牲了一定控制下发的实时性来换取更佳的低功耗性能,还有进一步改进的空间.总而言之,基于 LoRaWAN 技术设计的智慧农业系统方案还可应用于多种场合环境监测应用,具有一定的应用前景,希望能够为今后 LoRaWAN 应用开发提供一定的参考借鉴。

参考文献

- 1 郑贵林,汪体成.基于 LoRa 的温室环境智能监控系统的设计.江苏农业科学,2019,47(10): 216-219.
- 2 龚天平.LORA 技术实现远距离、低功耗无线数据传输.电子世界,2016,(10): 115,117.
- 3 赵兰枝.基于 LoRaWAN 物联网技术的农田环境监测系统研究.电脑编程技巧与维护,2019,(10): 13-14,37.
- 4 刘映江.基于 LoRaWAN 物联网技术的农田环境监测系统的设计[硕士学位论文].成都:西南石油大学,2018.
- 5 Ibrahim NHN, Ibrahim AR, Mat I, *et al.* LoRaWAN in climate monitoring in advance precision agriculture system. Proceedings of 2018 International Conference on Intelligent System and Advanced System. Kuala Lumpur, Malaysia. 2018. 1-6.
- 6 李达,杨祯,刘辉席,等.嵌入式 Linux 的 LoRaWAN 集成网关系统设计.单片机与嵌入式系统应用,2019,19(7): 10-14.
- 7 李超,徐云龙,华中伟,等.一种基于 Python Flask 的 Web 服务器端设计.信息与电脑,2019,(8): 87-88.