

# 基于 LoRa 和 NB-IOT 的远程温室监控系统的 设计与应用

顾志强<sup>1</sup>, 朱 武<sup>1</sup>, 王光东<sup>2</sup>

(1. 上海电力大学 电子与信息工程学院, 上海 200090;

2. 国网上海电力崇明供电公司, 上海 201250)

**摘要:** 为了提升农业远程监控系统的数据可视化与信息化水平, 该文设计了一种集成环境因子采集、图像采集、无线通信和远程监控的温室监控系统。该系统利用嵌入式微处理器采集环境因子数据, 采用 ESP32CAM 搭载 OV2640 摄像头采集叶片病虫害图像, 通过 LoRa 和 NB-IOT 进行组网, 将数据上传至云服务器, 并通过基于 B/S 架构的监控平台实现温室数据上传与控制命令下发。系统结合 YOLOv8 目标检测算法, 对采集的病虫害图片进行识别, 以预防病虫害对温室作物产生的不利影响。测试结果显示, 在 3000 米范围内, LoRa 通信成功率达到 98%。经过验证, 系统运行稳定可靠, 能够实现温室的远程监控与应用。

**关键词:** 温室; 远程监控; 图像采集; YOLOv8; 叶片病虫害

**中图分类号:** TP277; TP399

**文章编号:** 1000-0682(2025)02-0048-06

**文献标识码:** A

**DOI:** 10.19950/j.cnki.CN61-1121/TH.2025.02.009

## Design and application of a remote greenhouse monitoring system based on LoRa and NB-IoT

GU Zhiqiang<sup>1</sup>, ZHU Wu<sup>1</sup>, WANG Guangdong<sup>2</sup>

(1. School of Electronic and Information Engineering, Shanghai University of Electric Power, Shanghai 200090, China;

2. State Grid Shanghai Electric Power Chongming Supply Company, Shanghai 201250, China)

**Abstract:** To enhance the data visualization and informatization levels of agricultural remote monitoring systems, this paper designs an integrated greenhouse monitoring system. The system combines environmental factor collection, image acquisition, wireless communication, and remote monitoring. An embedded microprocessor is used to collect environmental data, while an ESP32CAM with an OV2640 camera captures images of leaf pests and diseases. LoRa and NB-IoT technologies are employed for networking, enabling data upload to a cloud server. A B/S architecture-based monitoring platform facilitates data upload and control command issuance for the greenhouse. The system incorporates the YOLOv8 object detection algorithm to identify pests and diseases in the collected images, preventing potential adverse effects on greenhouse crops. Test results demonstrate that within a range of 3000 meters, the LoRa communication success rate reaches 98%. Validation tests confirm the system's stable and reliable operation, making it effective for remote greenhouse monitoring and applications.

**Keywords:** greenhouse; remote monitoring; image capture; YOLOv8; leaf pests and diseases

收稿日期: 2024-07-11

**第一作者:** 顾志强(1998—), 男, 安徽阜阳人, 硕士, 主要研究方向为物联网与计算机视觉。E-mail: 1241692955@qq.com

**通信作者:** 朱武(1969—), 男, 湖北随州人, 博士, 教授, 主要研究方向为信号处理、检测技术、电器设备故障诊断。

E-mail: zjnzwsy@126.com

## 0 引言

随着智慧农业的发展, 温室大棚的规模也在不断扩大。然而, 在精准种植、科学管理和疫病控制方面仍存在诸多问题<sup>[1]</sup>。传统温室种植依赖经验, 可能导致农药滥用、温室温度异常、光线不足及

病虫害频发等问题<sup>[2]</sup>。但是,物联网技术<sup>[3]</sup>和图像识别技术的进步,为农业提供了重要的技术支持,有效监测农作物的生长状态及预防病虫害已经成为可能<sup>[4-5]</sup>。

国内外许多学者已经在远程温室监控和植物叶片识别等方面展开了多方面的研究。例如,张净等<sup>[6]</sup>使用 OV9726 摄像头进行农作物监测,并利用 LoRa 无线通信技术进行数据传输,结合克隆算法和朴素贝叶斯分类器来识别叶片。陶冶等<sup>[7]</sup>构建了基于 Darknet 和 YOLO 的农作物病虫害识别 APP 系统,并使用批量正则化等技术优化模型。万云等<sup>[8]</sup>设计了基于 LoRa 技术的温室群远程监控系统,以解决实现温室群中各环境因子的远程监控。张美娜等<sup>[9]</sup>采用巡检机器人、移动通信网络、云服务器和远程监控中心组成的系统,实现了人机交互与番茄识别任务。此外,Juan Contreras - Castillo 等<sup>[10]</sup>结合物联网和 CNN 构建了 SAgric - IoT 农业技术平台,实现了大棚灌溉施肥的自动控制及环境监测,并提供疾病早期检测。Dan Jeric Arcega Rustia 等<sup>[11]</sup>提出了一种集成摄像头模块和嵌入式系统的自动害虫计数和环境状况监测系统,该系统可避免人工计数,及时评估病虫害和环境信息。Luyi - Da Quach 等<sup>[12]</sup>基于 MobileNet 模型提出了番茄健康检查系统,利用 Grad - CAM + + 对西红柿进行检测、分类和计数。

由于国内外学者对 LoRa 和 NB - IOT 联合组网和远程温室监控系统在病虫害识别方面的应用研究较少。因此借鉴前人的研究经验,该文设计了一种基于 LoRa 和 NB - IOT 的远程温室监控系统。系统

采用低功耗、远距离传输的 LoRa 无线模块和 NB - IOT 模块,实现温室环境参数的自动采集、实时监控和数据可视化分析。该系统通过摄像头采集农作物照片,制作数据集并导入 YOLOv8 模型中进行番茄病虫害检测,对受到病虫害感染的植物进行及时干预,从而实现植物的最佳生长状态。

## 1 系统总体框架

该系统包含多传感器环境因子采集模块、图像采集模块、通信模块和叶片病虫害识别模块。其主要工作流程如下:传感器采集农作物生长环境的温湿度、烟雾浓度、光照强度和土壤湿度数据,同时配备灯光、风扇和灌溉设备。传感器数据经 MCU 处理后传送至节点的 LoRa 模块,通过 LoRa 自组网协议传输到由 LoRa、MCU 和 NB - IOT 组成的网关进行处理,最终透传至用户上位机。该系统通过摄像头采集室内农作物图像,保存图像并利用计算机视觉技术构建目标检测模型,建立相关植物的病虫害识别模型,进而判断植物病虫害情况。上位机采用 Web 端进行可视化显示,Web 端采用 B/S 架构,通过浏览器和服务端之间的交互完成用户与系统的信息传递。前端使用 Vue 作为主要开发框架,后端基于 SpringBoot 构建,实现温室信息获取和控制命令下达。系统具有用户登录、数据监测、历史数据查询、远程控制、视频监控和拍照等功能。APP 端采用网页嵌套,利用 Android 的 WebView 在应用中嵌入浏览器引擎而呈现 Web 内容。系统的整体结构如图 1 所示。

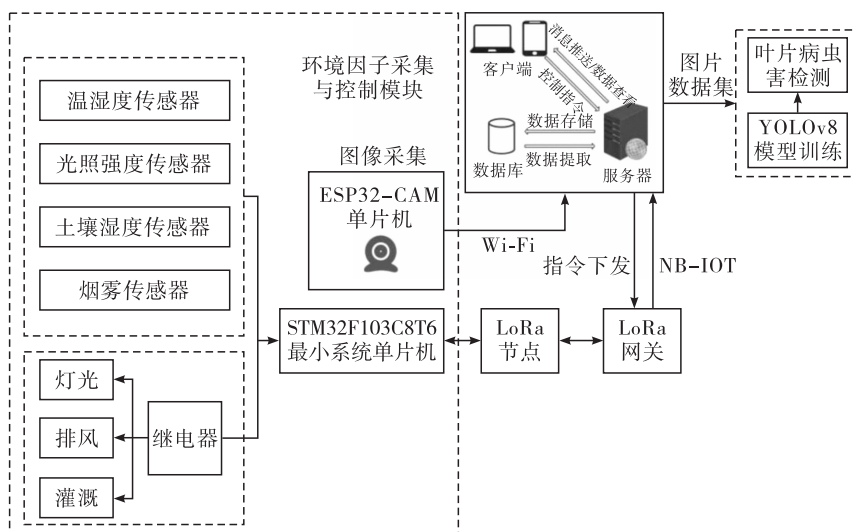


图 1 系统整体结构图

## 2 硬件系统设计

### 2.1 控制芯片 MCU

为满足系统功能需求,该系统采用两块控制芯片:一块负责本地数据采集、初步处理和与 LORA 模块通信,另一块接收数据并与 NB - IoT 模块通信。选择 STM32F103C8T6 作为核心控制芯片,因其具备数据处理、丰富外设、低功耗和经济实惠的特点。

### 2.2 数据采集模块

该系统选用 AHT10 温湿度传感器,具有高精度、高可靠性、强稳定性和抗干扰性强等优势<sup>[13]</sup>。AHT10 为贴片式封装,6 引脚设计,其中 SDA(接 MCU PB7)为 IIC 数据线,SCL(接 MCU PB6)为 IIC 时钟线,ADR 接 GND,NC 悬空,VDD 接 3.3 V,GND 接地,温度测量范围为 -40 ~ 85 °C,精度为 ±0.5 °C。温度  $T$  的转换公式如式(1)所示:

$$T(^{\circ}\text{C}) = \left( \frac{S_T}{2^{20}} \right) \times 200 - 50$$

其中: $T$  代表温度(°C); $S_T$  代表二十位温度输出信号。湿度测量范围为 0 ~ 100% RH,测量精度为 ±3% RH,湿度  $RH$  的转换公式如式(2)所示:

$$RH(\%) = \left( \frac{S_{RH}}{2^{20}} \right) \times 100\%$$

其中: $RH$  代表相对湿度(%); $S_{RH}$  表示 20 位相对湿度输出信号。

该系统选用 TEMENT6000 光照强度传感器,检测范围为 1 ~ 1000 Lux,适用于温室环境<sup>[14]</sup>。一端串联分压电阻,另一端接地,MCU 通过采集 TEMENT6000 与分压电阻连接端的电压来检测光照强度。光照变化导致电阻变化,进而改变电压,MCU 通过 PA0 采集电压值并推算光照强度。

该系统采用 YL-69 土壤湿度传感器,具有耐用性、低功耗和可靠性。其测量范围为 0 ~ 100% RH,精度为 ±5%,工作温度为 10 ~ 30 °C。传感器利用土壤电导率与湿度正相关的特性进行测量。湿度增加时,导电性增加,电阻值减小;反之,湿度降低,电阻值增加<sup>[15]</sup>。探针一端接地,另一端接 3.3 V 电源,模拟湿度信号通过上拉电阻接入 MCU 的 PA1 引脚。

该系统选用 MQ-2 烟雾传感器,具有长寿命、可靠性高、响应快、双路信号输出等特点。其探测浓度范围为 300 ~ 10 000 ppm,工作电压为 5 V。MQ-2 由二氧化锡作为气敏材料,当空气中可燃气体浓度增加时,电导率会随之升高<sup>[16]</sup>。传感器将烟雾浓

度转换为模拟信号。MQ-2 传感器的模拟输出 AO 通过一个 2 kΩ 电阻接入 MCU 的 PA2 引脚,并经过另一个 2 kΩ 电阻接地。

### 2.3 图像采集模块

摄像头节点是温室监测系统的核心组件,由 ESP32 - CAM 板和 OV2640 摄像头组成,具备 Wi-Fi 和蓝牙通信功能<sup>[17]</sup>。通过摄像头拍摄植物图片,可以及时发现生长异常、病害迹象或其他问题,有助于采取预防措施,最大限度地减少损失。ESP32 - CAM 具备较强的图像处理能力,能够高效捕捉、处理和传输图像数据,并提供多个通信接口,便于与其他设备和传感器连接。

### 2.4 通信模块

系统采用无线通信传输,由 DX-LR01-A 和 BC260Y 模块构成。DX-LR01-A 是高性能、低功耗、远距离的 LoRa 模块,通信距离可达 3800 米,支持多种调制方式,频段为 150 ~ 960 MHz。BC260Y 是低功耗、小体积、高性能的 NB-IoT 核心板,集成了 USB、电源芯片、SMA 天线接口和 SIM 卡槽<sup>[18]</sup>。DX-LR01-A 实现节点与网关之间的通信,BC260Y 实现网关与云平台之间的通信。LoRa 和 NB-IoT 模块通过 USART 串口与 MCU 连接,LoRa 的 TX 和 RX 接 MCU 的 PA9 和 PA10 引脚,M0 和 M1 接 PA11 和 PA12 引脚,NB-IoT 接 PA2 和 PA3 引脚。部分的通信电路原理图如图 2 所示。

### 2.5 驱动模块

驱动模块控制温室内的关键设备,如水泵、灯光和排风扇,以维持理想的生长环境,提高植物产量和质量。当光照低于阈值时自动补光;烟雾浓度高于阈值时开启风扇;土壤湿度低于阈值时启动灌溉,并触发蜂鸣器报警。驱动模块由三个继电器驱动,分别连接 MCU 的 PB4、PB8 和 PB9 引脚。

## 3 系统软件设计

### 3.1 终端节点软件设计

终端节点用于数据采集和远距离传输。为满足低功耗需求,系统采用空中唤醒机制,网关节点发送唤醒码唤醒终端节点。终端节点在睡眠模式下仅在被唤醒时响应。唤醒后,终端节点判断数据类型。如果是查询请求,则打开串口读取传感器数据并发送至网关节点;如果是控制指令,则通过继电器控制外设,完成操作后重新进入睡眠状态。终端节点程序流程图如图 3 所示。

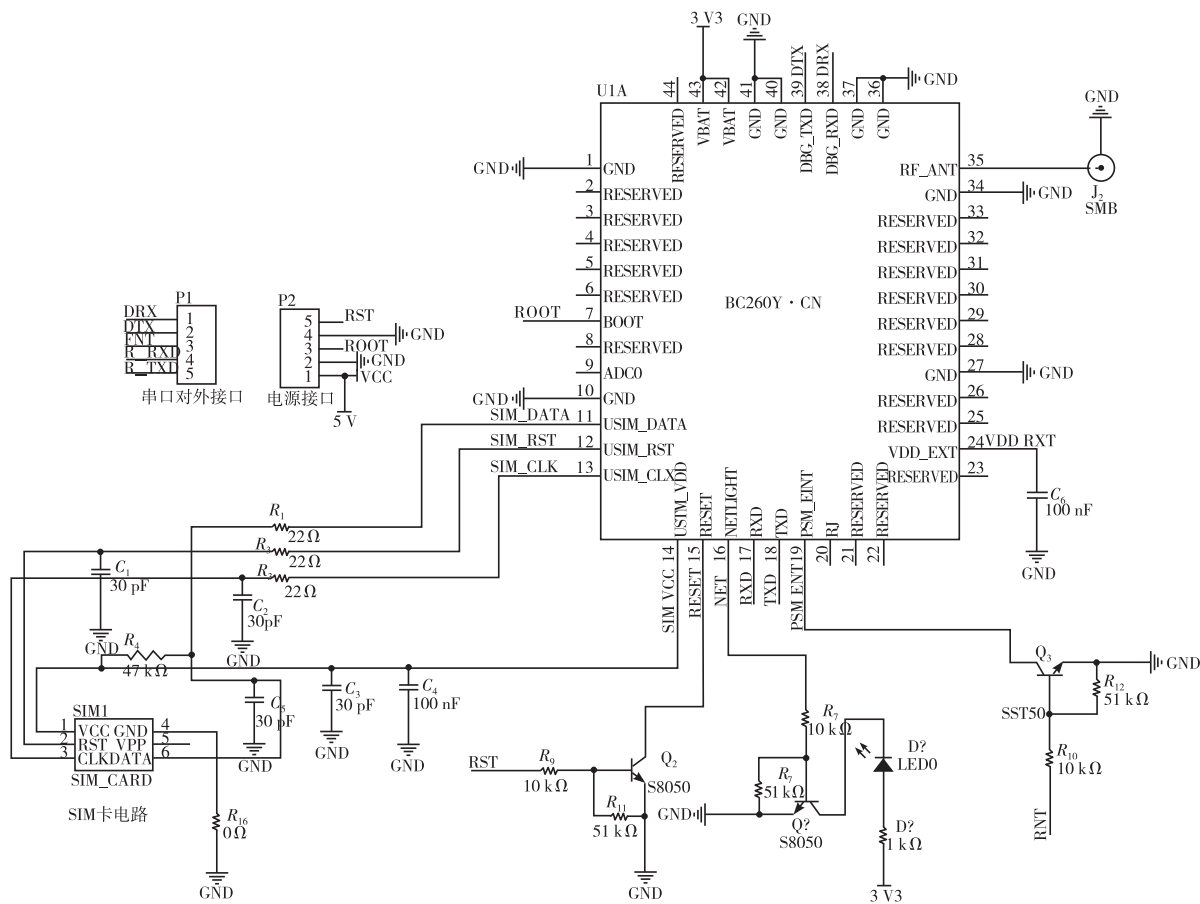


图 2 部分的通信电路原理图

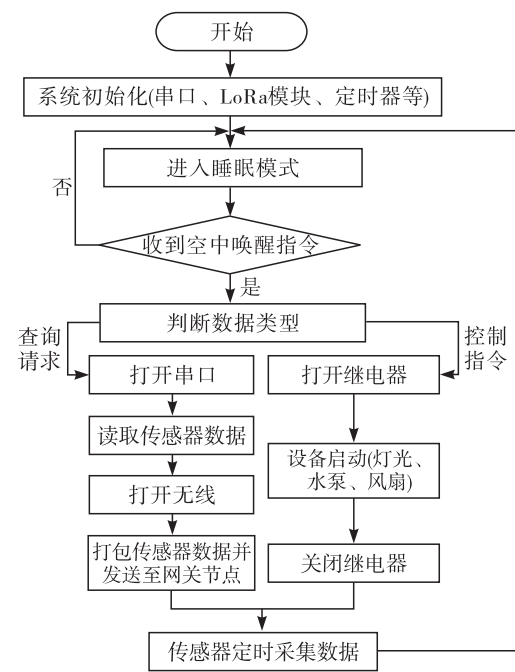


图 3 终端节点程序流程图

到 NB - IoT 模块。系统检测 USART1 是否有新的数据,并对其进行解析,从而下发相应的指令或发送查询请求以获取最新数据。LoRa 网关的程序流程如图 4 所示。

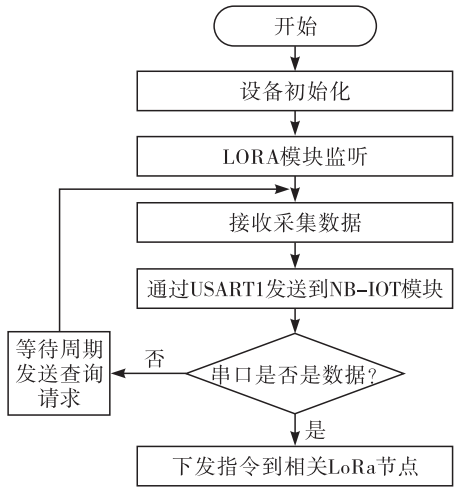


图 4 LoRa 网关程序流程图

3.2 LoRa 网关节点软件设计

LoRa 网关节点与 LoRa 传感节点之间通过发送查询请求和控制指令进行通信。LoRa 模块接收并处理传感节点的数据,然后通过 USART1 接口传输

3.3 NB - IOT 模块软件设计

NB - IoT 模块将 LoRa 网关发送的数据包上传至阿里云平台,通过 USART2 串口与 MCU 相连,MCU 通过 AT 指令进行网络配置。NB - IoT 模块与

阿里云平台通过 COAP 协议传输数据,在周期性上传数据时,系统采集数据并发送至云平台,同时检查是否有来自云平台的控制指令,并将其发送至 LoRa 网关执行。NB-IoT 模块软件设计流程图如图 5 所示。

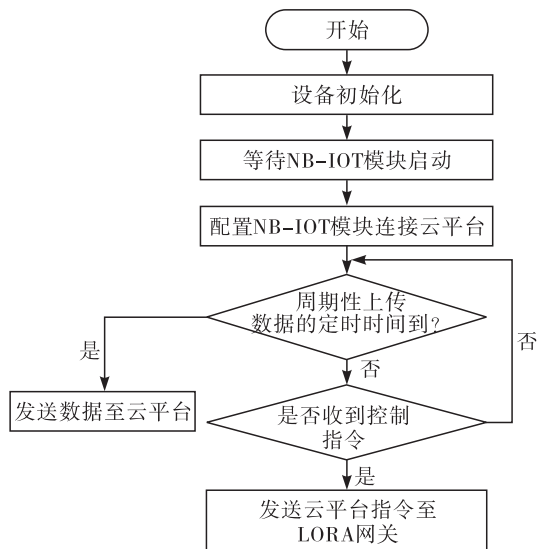


图 5 NB-IOT 模块软件设计流程图

### 3.4 上位机软件设计

上位机软件设计分为前端和后端。前端采用 Vue 框架,通过 Axios 库向后端发送请求,获取本地数据库数据。后端基于 Java 语言,使用 SpringBoot 框架搭建。当数据通过 NB-IoT 传输至阿里云服务器,后端应用程序通过 POST 请求调用阿里云 API 获取实时数据,存储到本地 MySQL 数据库,并根据前端请求返回 JSON 格式数据。上位机总体结构如图 6 所示。

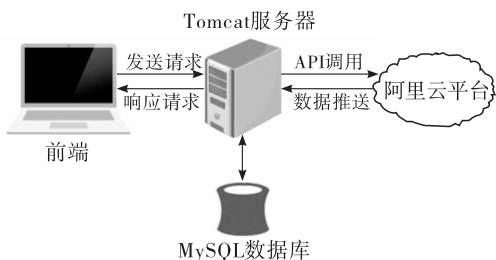


图 6 上位机总体结构图

## 4 温室系统在叶片病虫害识别中的应用

### 4.1 图片数据集处理

由于该系统处于开发阶段,无法在温室拍摄病虫害叶片图像,因此选择公开数据集进行训练和测试。实验数据集采用 PlantVillage<sup>[19]</sup> 和 Kaggle 上的 Tomato 数据集组合而成,包括 8 种番茄病虫害叶片和 1 种健康叶片:早疫病、晚疫病、黄化曲叶病、红蜘蛛病、斑点病、花叶病、叶霉病、潜叶蛾病和健康叶

片。为了提高模型的泛化能力,对原始图片进行了翻转、平移、旋转和增强等处理,最终扩充后的数据集包含 4126 张图像。其中,训练集 3300 张、测试集 414 张、验证集 412 张,按照 8:1:1 的比例划分。

### 4.2 YOLO 模型概述

YOLO 是一个端到端的目标检测方法,通过单阶段处理直接从图像中提取检测结果。此算法将图像划分为多个网格,并对每个网格进行边界框和类别置信度的预测。YOLOv8 是 2023 年 1 月发布的最新 SOTA 模型,继承了 YOLO 系列优点,并进行了改进,包括使用 C2f 模块、取消上采样卷积、改用耦合头结构、无锚节点检测等,提升了检测速度和精度。该文基于 YOLOv8 模型检测叶片病虫害,通过配置参数训练病虫害图像,得到可部署的最优模型。如图 7 所示为 YOLOv8 网络结构图。

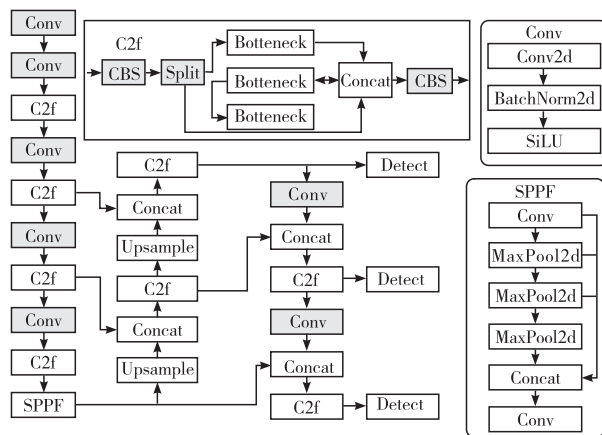


图 7 YOLOv8 网络结构图

## 5 系统实验与结果

### 5.1 系统通信测试

将 LoRa 节点与 LoRa 网关均上电,通过配置 LoRa 的 AT 指令进行 LoRa 的通信连接,配置完成 LoRa 之后,经过 MCU 的 AT 指令来配置 NB-IOT 进行上云,如图 8 为上云的图片。

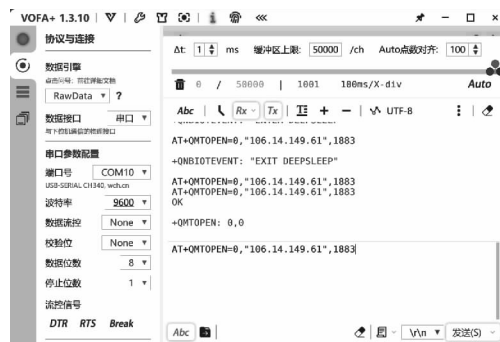


图 8 MCU 配置上云

## 5.2 通信距离测试

为了验证该系统的通信距离,该实验在空旷区域通信测试,节点与网关每隔 1 km 测试一次,记录发包和收包的误差,最终可记录通信准确度。所测数据如表 1 所示。

表 1 通信距离测试

直线距离/m	发送数据/条	接收数据/条	通信成功率/%
1000	832	832	100%
2000	945	942	99%
3000	972	961	98%
4000	875	711	81%

由表 1 可知,从 2000 m 开始有数据丢包的现象出现,随着距离增加丢包率随之增加,但是在系统的正常通信范围内。

## 5.3 系统需求实现

经过系统软件与硬件设计、测试、功能调整等过程,最终该系统 Web 端实现以下功能:(1)用户登录;(2)管理员和用户信息增删改查;(3)环境因子实时监测和控制;(4)查询历史数据;(5)视频监控和拍照。系统实物图如图 9 所示。图 10 为管理页面。图 11 为 APP 视频监控和拍照的页面。

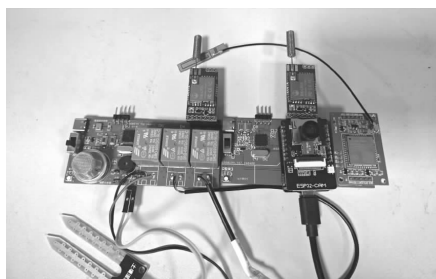


图 9 系统实物图



图 10 温室系统管理页面



图 11 视频监控和拍照页面

## 5.4 系统在病虫害识别应用的可视化分析

为了便于温室管理人员查看叶片病虫害情况,该设计开发了一个基于 Qt 的可视化界面。该界面包括以下功能:(1)通过上传照片或视频实时检测叶片病虫害情况;(2)统计区域内检测到的叶斑数量;(3)对识别出的每个病虫害叶斑进行准确度统计;(4)提供不同病虫害种类的防治措施。当叶斑数量为 0 时,认定为健康,无需进行人工干预;当叶斑数量在 0 到 3 之间时,病害程度为轻微,并给出相应的治理措施;当叶斑数量大于 3 时,病害程度为严重,并给出相应的治理措施。图 12 展示了病虫害检测的可视化界面。



图 12 病虫害检测可视化界面

## 6 总结

(1)该文结合了现代温室的管理需求,设计了一种远程温室监控系统。该系统包含了环境采集模块、图像采集模块、无线通信模块、远程监控终端。经过实验验证,系统运行稳定,各部分之间衔接完善,基本满足用户需求。

(2)为了将温室监控系统应用于农作物病虫害识别,采用了 YOLOv8 目标检测算法进行叶片病虫害的识别。开发的可视化界面可以根据叶斑的数量来判断病虫害的严重程度,并为不同的病害提供相应的防治措施,从而方便管理人员了解植物的生长状态。

(3)鉴于该系统仍处于开发阶段,无法实现该系统采集的数据集投入到目标检测的过程中。未来需要将该系统拍照的数据集用于目标识别中,在系统上即可实现对病虫害的监测。

### 参考文献:

- [1] 朱诗泉,许艳华,黄晋洲. 基于物联网的智慧种植一体机的设计与实现[J]. 物联网技术,2023,13(7): 101 - 104 + 107.
- [2] 杨婧喧. 我国农业大棚现状及未来发展趋势[J]. 种子科技,2023,41(14): 142 - 144.

(下转第 75 页)



- virtual factory replication[J]. White paper, 2014(1): 1-7.
- [3] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(01): 1-18.
- [4] 牛进鑫, 孙文磊, 刘国良, 等. 基于数字孪生驱动的机器人运动仿真与状态虚实同步映射研究[J]. 现代制造工程, 2024(5): 48-55.
- [5] LIU S, BAO J, LU Y, et al. Digital twin modeling method based on biomimicry for machining aerospace components[J]. Elsevier, 2021.
- [6] ZONG X, LUAN Y, WANG H, et al. A multi-robot monitoring system based on digital twin[J]. Procedia Computer Science, 2021(183): 94-99.
- [7] 刘怡沛, 江龙韬, 秦岭, 等. 基于嵌入式的可移动环境监测机器人系统设计与研究[J]. 计算机测量与控制, 2023, 31(2): 62-68.
- [8] 文国军, 祁靖焯, 赵权, 等. 基于数字孪生的工业机器人虚实联动系统开发[J]. 机床与液压, 2023, 51(15): 9-14.
- [9] 陶飞, 刘蔚然, 张萌, 等. 数字孪生五维模型及十大领域应用[J]. 计算机集成制造系统, 2019, 25(01): 1-18.
- [10] 廖伟智, 张彬, 徐国栋, 等. 基于数字孪生的粮库可视化监控与管理系统研发[J]. 制造业自动化, 2023, 45(11): 202-207.
- [11] 熊风光, 陈霖, 韩慧妍, 等. 基于 MQTT 协议的轻量化文本信息分发技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2024, 34(2): 90-97.
- [12] 张大松, 姜洪朝, 刘智国. 基于 SHA-256 的可信启动完整性校验程序设计与验证[J]. 网络安全技术与应用, 2022(3): 49-51.
- [13] 卓蔚. 基于 MD5 算法的无线传感网络用户身份分簇节点安全认证方法[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2023, 23(02): 49-52.
- [14] 王瑾. 面向区块链的 SHA256 算法的形式化研究[D]. 北京: 北京化工大学计算机技术, 2022.
- [15] 刘泽超, 梁涛, 孙若尘, 等. 基于国密算法的 MQTT 安全机制研究与实现[J]. 计算机科学, 2024, 51(2): 333-342.
- [16] 周卫斌, 张达强, 毕明帆, 等. 基于 SSL/TLS 协议的芯片测试软件平台设计[J]. 天津科技大学学报, 2022, 37(03): 43-48.
- [17] 曹小华, 李泊桓, 徐上尉. 基于 MQTT 协议的物联网岸电监控系统[J]. 计算机应用与软件, 2023, 40(3): 11-16+27.
- [18] 李文清, 高平, 李光松. 基于数据分析的 DEFLATE 算法特征研究[J]. 信息工程大学学报, 2021, 22(01): 74-80.



(上接第 53 页)

- [3] 《物联网技术》杂志栏目简介[J]. 物联网技术, 2023, 13(10): 3.
- [4] 贾敬敦, 鲁相洁, 黄峰, 等. 远程控制与无线通信技术在农业中的应用分析与展望[J]. 农业机械学报, 2021, 52(201): 351-359.
- [5] 李东, 吕爽. 物联网和人工智能技术在农业中的应用研究[J]. 现代农机, 2024(2): 11-13.
- [6] 张净, 张康, 刘晓梅, 等. 基于物联网的远程温室视觉监控系统设计与实现[J]. 中国农机化学报, 2023, 44(1): 100-107.
- [7] 陶冶, 孔建磊, 金学波, 等. 基于深度学习的农作物病虫害图像识别 APP 系统设计[J]. 计算机应用与软件, 2022, 39(3): 341-345.
- [8] 万云, 蒋阳. 基于 LoRa 技术的温室群远程监控系统的设计[J]. 计算机工程与设计, 2021, 42(2): 595-601.
- [9] 张美娜, 王潇, 梁万杰, 等. 温室远程监控系统人机交互与番茄识别研究[J]. 农业机械学报, 2022, 53(10): 363-370.
- [10] Contreras-Castillo J, Guerrero-Ibañez J A, Santana-Mancilla P C, et al. SAgric-IoT: An IoT-based platform and deep learning for greenhouse monitoring[J]. Applied Sciences, 2023, 13(3): 1961.
- [11] Rustia D J A, Lin C E, Chung J Y, et al. Application of an image and environmental sensor network for automated greenhouse insect pest monitoring[J]. Journal of Asia-Pacific Entomology, 2020, 23(1): 17-28.
- [12] Quach L D, Quoc K N, Quynh A N, et al. Tomato health monitoring system: tomato classification, detection, and counting system based on YOLOv8 model with explainable mobileNet models using Grad-CAM++[J]. IEEE Access, 2024(12): 9719-9737.
- [13] 吕金华, 窦文森, 舒宏启, 等. 基于 ROS 的智能消毒机器人设计与应用[J]. 电子质量, 2023(6): 19-22.
- [14] 洗进, 洗允廷. 基于 STM32 的智慧农业大棚系统设计[J]. 现代电子技术, 2023, 46(4): 70-74.
- [15] 陈婧文. 基于 ARM 的土壤水分监测系统[J]. 南方农机, 2020, 51(4): 137-138.
- [16] 周熊. 基于 AT89C52 单片机的烟雾报警器设计[J]. 电子设计工程, 2013(1): 164-165+169.
- [17] 张聚涛, 孙祥, 王超. 基于 ESP32 单片机履带探索机器人设计[J]. 信息记录材料, 2024, 25(2): 4-7.
- [18] 陈子聪, 熊志金. 轨道区段占用检测系统的 NB-IoT 网络通信节点设计[J]. 机电工程技术, 2023, 52(12): 42-45.
- [19] Hughes DP, Salathe M. An open access repository of images on plant health to enable the development of mobile disease diagnostics[J]. Computer Science, 2015.