

基于 NB-IoT 的花椒生长环境因子监测系统*

梁裕巧^{1,2}, 李洪兵¹, 罗洋¹, 康云川¹, 宋小令¹, 向伟³

(1. 重庆三峡学院计算机科学与工程学院, 重庆市, 404120; 2. 重庆市梁平区农业农村委, 重庆市, 405200;
3. 重庆市江津区农业农村委, 重庆市, 402260)

摘要:针对当前花椒产业种植基础设施薄弱, 监测手段不足, 信息化程度不高等问题, 提出一种基于窄带物联网(Narrow Band Internet of Things, NB-IoT)的花椒生长环境监测系统。通过采用新型 NB-IoT 窄带通信技术与互联型微处理器 STM32、物联网云平台 and 多种传感器结合设计一套深覆盖、强连接、低成本的花椒生长环境监测系统, 有效降低组网成本, 并将设计好的系统在江津区进行实地测验。测试结果表明: 本系统采用非均匀部署方式使每个节点能量消耗逐渐变小, 且网络生命周期在 250 m 范围内能达到 1 000 轮的峰值; 通信距离能适应 10 km 以上远程通信环境, 在 10 km 范围内平均丢包率不超过 0.35%; 通信距离超过 10 km 时, 平均丢包率在 0.85% 以内, 经测试达到了预期效果。该系统设计弥补了传统种植中无法实时对花椒生长状态进行远程监测的弊端, 为花椒的智能化种植提供一种可靠的技术方案, 同时也为花椒种植人员提供一种高效的管理决策手段。

关键词: NB-IoT; 花椒; 监测; STM32; 传感器技术

中图分类号: S24 **文献标识码:** A **文章编号:** 2095-5553 (2021) 06-0166-08

梁裕巧, 李洪兵, 罗洋, 康云川, 宋小令, 向伟. 基于 NB-IoT 的花椒生长环境因子监测系统[J]. 中国农机化学报, 2021, 42(6): 166-173

Liang Yuqiao, Li Hongbing, Luo Yang, Kang Yunchuan, Song Xiaoling, Xiang Wei. Monitoring system for the growth environmental factors of Zanthoxylum bungeanum based on NB-IoT [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2021, 42(6): 166-173

0 引言

近年来, 花椒产业飞速发展, 并已经成为许多地区主导产业。据统计, 截至 2019 年底全国花椒主产区种植面积达 1 118.27 km², 年产干花椒 42.2 万 t。其中西南地区四川、云南、贵州和重庆等省市栽种面积达 691.93 km², 年产 27 万 t, 分别占全国 58.2% 和 64%。重庆市江津区种植九叶青花椒面积达 36.67 km², 产出鲜花椒 28 万 t。花椒种植已成为全区农产品种植的主导产业, 由于花椒种植面积大、区域分散导致花椒管理粗放、监测不精准, 设计一套基于利用窄带物联网(NB-IoT)技术的花椒生长环境监测系统, 以无线传感技术、计算机技术和无线网络通信为技术支撑, 实现对花椒生长环境实时数据采集传输、处理、分析^[1-3]。国内外许多研究人员开展了对相关作物生长数据监测的研究。韩团军^[4]利用 ZigBee 和 WIFI 技术结合设计了一

套针对山区农田环境监测系统, 通过 ZigBee 和 WIFI 协议转换将农田环境数据发送到 Web 服务器进行显示; 许伦辉等^[5]基于 ZigBee 和 GPRS 技术实现农田区域气象远程监测; 施苗苗等^[6]利用 ZigBee 和 GPRS 多网络融合构建底层采集无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)采集农作物生长信息。

以上研究利用 ZigBee、GPRS、WIFI 等多种网络通讯技术融合实现了数据传输, 虽然基本实现了对作物生长数据的监测, 但组网能力还存在不足。ZigBee 网络衍射和穿透能力较弱, 在复杂的花椒种植环境中, 一旦有障碍物遮挡, 其组网通讯能力将不复存在, 在规模化的花椒种植条件下, 组网相对复杂, 节点容易出现故障; GPRS 调制方式技术已经陈旧, 网络传输速率低, 传输时延较高, 数据在传输过程中容易出现丢包现象, 不利于花椒生长数据的实时无缝上传; WIFI 技术传输距离较短, 适用于智能家居环

收稿日期: 2020 年 8 月 19 日 修回日期: 2020 年 12 月 9 日

* 基金项目: 重庆市自然科学基金项目(cstc2018jcyjAX0202); 重庆市教委科学技术研究项目(KJQN202001229); 重庆市人工智能+智慧农业学科群开放基金(ZNNYKFB201901)

第一作者: 梁裕巧, 男, 1996 年生, 重庆人, 硕士; 研究方向为农业工程与信息技术、农业物联网、无线传感器网络。E-mail: 1028422481@qq.com

通讯作者: 李洪兵, 男, 1981 年生, 重庆人, 博士, 副教授; 研究方向为无线传感器网络、控制工程与控制理论。E-mail: sxxylhb@163.com

境,很难满足山区花椒种植设施的组网通信需求,也很难实现对花椒生长情况的远程监测。通过对组网通信技术的指标进行分析,在花椒的生长数据的监测应用中,以上通讯方式均存在弊端。因此,提出一种基于窄带物联网(NB-IoT)的花椒监测系统以满足花椒生长环境的自动化监测,适应于花椒规模化种植需求。系统通过 NB-IoT 通信模块将采集的数据传输至物联网云平台,物联网云平台通过 HTTP 协议传送至手机端。用户可通过物联网云平台对花椒生长数据进行实时监测和管理,通过手机端实时查看数据和进行系统决策^[7-15]。

1 NB-IoT 技术特点

NB-IoT 是 NB-CIoT 和 NB-LTE 融合形成的一种新型广域低功耗窄带物联网通信方式,使用 License 频段,可采取带内、保护带或独立载波等三种部署方式并与现有网络共存,采用蜂窝数据传输,极大简化了网络部署结构,NB-IoT 网络通讯传输采用一站式传输平台,无需进行数据中转,在数据传输方式有极大的便携性。NB-IoT 具有以下特点:一是覆盖增强,与 GPRS 比较 NB-IoT 覆盖增强 20 dB,其中上行功率谱密度提升 7 dB,重复编码增益重复 2~16 次增益 3~12 dB,而覆盖增强用于提升覆盖深度和覆盖概率;二是海量连接,一个 NB-IoT 网络理论上支持 10 万个设备连接,占空比低,小数据包采用低频率传输且时延不敏感;三是低功耗,一个 NB-IoT 网络节点电池寿命最久达 10 年;四是低成本,NB-IoT 采用单天线半双工通信,单片 SoC 内置功放降低的产品成本,协议栈简化

减少片内 FLASH/RAM 节约了开发成本。因此,利用 NB-IoT 窄带通讯技术可作为花椒数据监测传输介质并实现数据高速远程通信传输。NB-IoT 网络基本架构如图 1 所示。

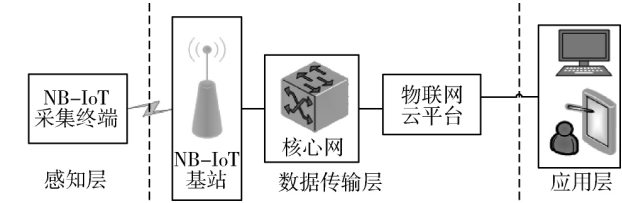


图 1 NB-IoT 网络基本架构
Fig. 1 Basic architecture of NB-IoT network

2 系统整体结构

系统架构按照物联网分层模型设计为感知层、传输层、平台层和应用层。感知层主要包含前端检测节点,节点内置空气温湿度、土壤温湿度、光照强度、二氧化碳浓度等传感器,实现对监测区域空气和土壤环境参数的检测;传输层主要包含 NB-IoT 远程蜂窝网络通信,将前端节点采集到的数据通过 NB-IoT 传送至云服务端;平台层为采用 B/S 架构的 NB-IoT 物联网云平台,底层设备通过 TCP/IP、UDP 网络通信协议直接接入云服务平台,云服务端对数据进行分析与处理;应用层通过 HTML 和 APP 给予用户操作界面,用户可通过网页或者 APP 实时远程查看数据,对数据量设置阈值,系统进行数据处理后实现预警与智能反馈调节作用。系统可实现花椒种植环境实时监测、远程查看、分析与预警等功能,其系统体系结构如图 2 所示。

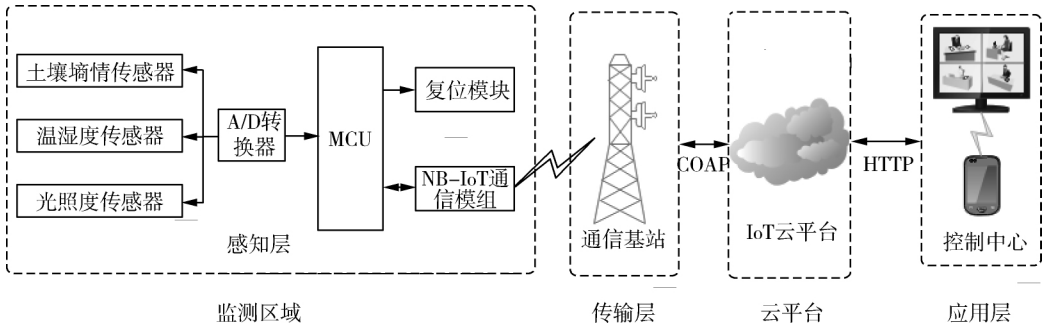


图 2 系统体系结构图
Fig. 2 System architecture diagram

2.1 系统硬件设计

2.1.1 感知层电路单元

系统感知层硬件采用 STM32L151C6 单片机为核心处理器,该款处理器工作电压范围为 1.65~3.6 V,唤醒时间只需 8 μ s。因低功耗而被广泛应用于工业、农业、楼与自动化等场所,其处理器内核基于 ARM $\text{\textcircled{C}}$ Cortex $\text{\textcircled{C}}$ - M3 CPU 大大减少了功率损耗。除此

STM32L151C6 还包含 7 个 DMA 通道控制器,8 个外围通信接口并支持串行线调试和 JTAG 及跟踪。土壤墒情监测采用 MS10 型号的三脚直插式电容式土壤水分传感器(Capacitance Sensor,CS),性能较优,可监测环境复杂偏远区域,3.3 V 电压驱动、4~20 mA 电流输出,检测灵敏度极高。空气温度以及土壤湿度监测采用应用广泛的 DHT11 型温湿度传感器,湿度采集

精度为 $\pm 5\%$,温度采集精度为 $\pm 2\%$,其响应快、稳定性高、低成本等特点满足系统需求。二氧化碳检测采用 MH-Z19B 传感器,3.3 V 电压驱动、量程为 0~5 000 ppm、精度为 $\pm(50 \text{ ppm}+5\% \text{ 读数值})$ 。当地区域海拔与压强采用 MPL3115A2 传感器,1 Hz 采样模式下功耗仅为 8.5 μA 、待机功耗仅为 2 μA ,超低功耗

的特点十分适合系统户外使用需求。光照监测采用 BH1750 光照传感器,具有精度高、响应时间快等特点。BH1750 和 MPL3115A2 传感器与 MCU 采用 IIC 通信、MH-Z19B 与 MCU 采用 USART 通信、DHT11 和 MS10 与 MCU 采用 ONE-WIRE 单总线连接通信。感知层核心电路图如图 3 所示。

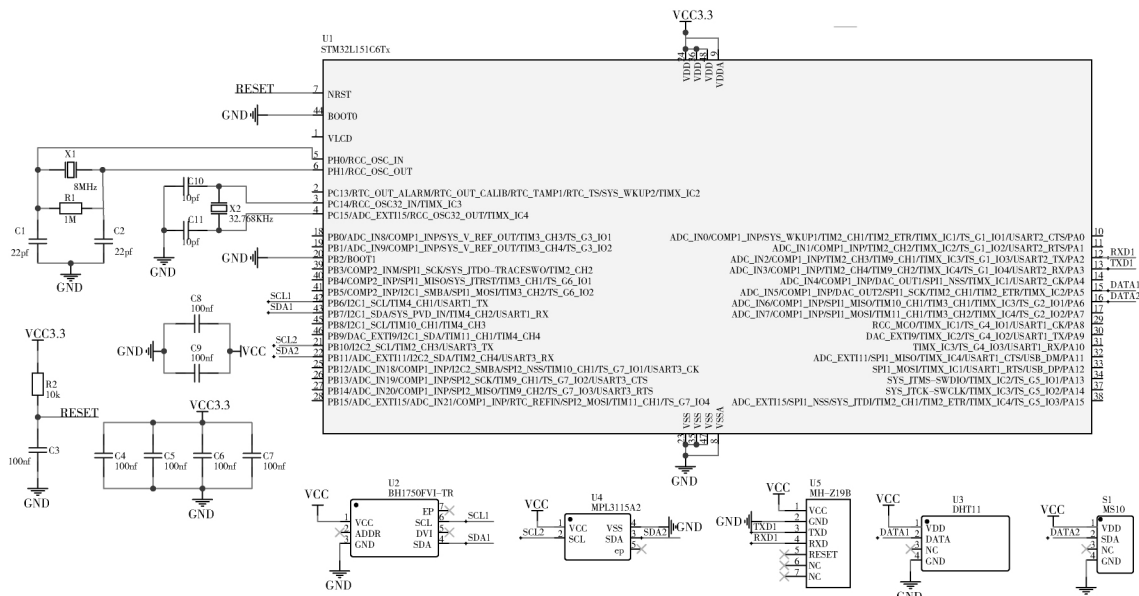


图 3 感知层核心电路图

Fig. 3 Perception layer core circuit diagram

2.1.2 NB 通信模组硬件单元

NB 通信模组主要承担了数据上传与命令下发,通过 STM32 与 NB 通信模组结合对其进行控制,通过 SIM 卡信息读取和匹配状态,最后传输至物联网云端,控制中心通过网络协议解析实现系统远程数据查询决策。本次花椒生长花椒监测系统通信模块采用了 BC28 芯片作为核心处理器,BC28 芯片采用第三款 LPWA 模组,支持多种频段,且在 Multi tone 模式下最大上行速率可达 62.5 kbps,BC28 能兼容 GSM/GPRS 系列的 M26 模块,让用户使用方便快速灵活。

2.2 系统软件设计

2.2.1 STM32 与 NB 模组通信

本系统采用 KEIL MDK5 集成开发环境进行 STM32 程序的编写与编译,并通过 Jlinkv9 开发工具对系统进行在线调试与程序烧录。STM32 与 NB-IoT 模组之间采用 USART 通信,NB 模组有两种上云通信协议:UDP 和 CoAP 协议。系统采用 CoAP 协议进行配置通信,设备 MCU 将采集到的数据经处理后通过 NB 模组发送请求到指定的 CoAP 服务器,然后 NB 模组接收来自 CoAP 服务器的数据,对数据进行解析并将结果发送至串口缓存,MCU 通过 USART 进行数

据读取。

通过配置 CDP 服务器,设置 CoAP 服务器地址端口:AT+NCDP=<117.60.157.137>[5683],设置 CoAP 发送确认功能使能:AT+CoAPRPY=1。设置串口显示 AT+NNMI=1。设置串口显示有三种状态:当设置为 1 时,会同时受到数据并显示;设置为 0 时,通知和显示同时关闭;设置为 2 时,串口仅收到通知。配置使能完成,方便 MCU 与 NB 模组的通信与调试。STM32 与 NB 模组 CoAP 通信模式如图 4 所示。

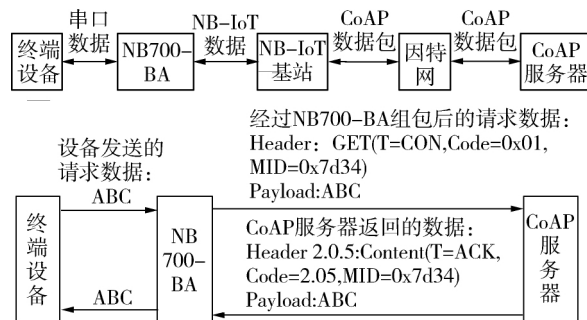


图 4 STM32 与 NB 模组 CoAP 通信模式图

Fig. 4 Communication mode diagram of STM32 and NB module CoAP

2.2.2 NB 模组与平台建立对接

NB 模组与电信物联网云平台建立对接,进入物联网云平台开发者中心创建 NB-IoT 项目自定义各种

设备类型,根据页面弹出的信息框选择 CoAP 协议类型,编写 Profile 文件并增加属性来描述设备类型和设备服务能力。开发完 Profile 文件后可以在平台界面上以图形化的方式完成设备与平台之间的消息映射。平台中集成了多种编解码插件模板,开发者可以根据所需设备类型开发修改各种编解码插件,节约开发时间,通过部署插件与 Profile 文件建立对于关系测试设备是否上传和下发各种十进制参数。NB 模组与云平台对接流程如图 5 所示。

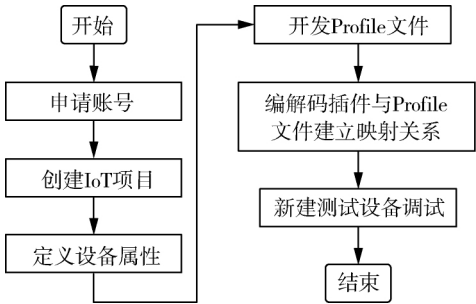


图 5 NB 模组与云平台对接流程图

Fig. 5 NB module and cloud platform docking flowchart

2.2.3 数据传输

NB 模组与平台对接成功,并将底层各种传感器采集数据通过 MCU 串口以 AT 命令发送到 NB 模组,NB 模组底层发送的数据接收并通过 payload 自动封装成为 CoAP 协议发送至物联网云平台。系统采用 CoAP 协议包并根据对应的设备 Profile 文件匹配插件,对模组发送过来的 payload 进行解析,最后就数据存储到云平台。在实际硬件设备中,使用前需提前注册设备,使用串口调试助手以 AT 指令获取模块唯一 IMEI 号,执行 AT+CREG? 指令查看注网是否成功,若返回 0 或 1 表示成功。注网成功分为两步上传数据:第一步是使用 AT+NCDP 指令配置服务器地址,设备接入可看到 IP 地址 117.60.157.137:5683 (CoAP)。第二步使用 AT+NMGS 指令发送指令数据。NB 模组上传数据核心程序如下。

```

uint8_t connect_CoAP(char* serve_ip)
{
    char temp[64]="AT+NCDP=";
    strcat(temp,serve_ip);
    strcat(temp,"5683");
    if(!BC28_send_cmd(temp,"ok",100))
    }
  
```

数据传输基于标准的 Modbus RTU 协议进行了扩展开发,采用 16 位 CRC 校验,数据请求传送一帧为 21 个字节,即 168 bit,数据帧组成为:设备号+功能码+寄存器起始地址+寄存器单元长度+字节数+数据+CRC 校验。

2.2.4 数据采集

花椒种植管理相对粗放,土壤和水分含量影响其生长速度和结果率。其生长基本条件有:温湿度、光照度、土壤水分,海拔高度。该系统采集模块包含空气温湿度监测、光照度监测、海拔高度和土壤湿度监测部分。系统感知层主控芯片统一采用 STM32L151C6, BH1750 光照传感器通过 IIC 总线指令进行测量,测量模式分为两种:一次测量和连续测量。DHT11 温湿度传感器采用单总线接口协议对空气湿度与土壤湿度进行测量,土壤体积含水率测量范围 20%~95%,空气湿度测量范围为 20%~95%。MS10 土壤墒情传感器采用 IIC 总线协议对土壤湿度进行测量,测量范围为 0~100%,测量精度可达到 0.1%。MPL3115A2 传感器通过 IIC 总线对当地海拔和压强进行测量,直接读出数字信号。ZH-Z10B 二氧化碳传感器通过 PWM/USART 对空气二氧化碳含量进行测量,读出原始数据信息后进行数据补偿。

3 监控中心设计

监控中心设计分别采用 Web 端云平台和手机 App 设计,用户可远程进行数据监看与控制。监控中心服务资源采用基于 NB-IoT 的物联网云平台,该平台为底层传输提供安全可靠的数据报送、数据存储等,用户无需购买传统硬件设备、数据库等中间件,下位机采用 Modbus RTU(CRC16)协议完成部署通信,基于开发 SDK,可通过有人云 API 进行二次开发,完成数据统计、分析与预测操作。云平台监控大屏界面如图 6 所示。



图 6 云平台监控大屏界面

Fig. 6 Cloud platform monitoring large screen interface

手机端开发采用 Eclipse 免费开源开发工具,且 Eclipse 附带了一个标准的插件集,包括 Java 开发工具 (Java Development Kit, JDK)。手机端通过 HTTP 协议和云平台进行通讯,也可以调用开放的 API 接口控制设备和下发命令。物联网云平台收到的数据也同时推送至手机端实时查看当前数据。APP 运行流程如图 7 所示。

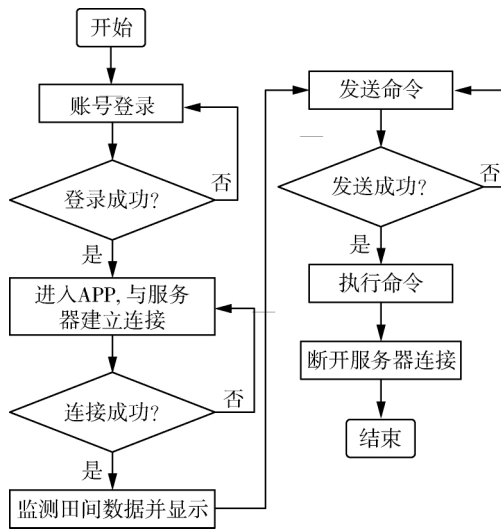


图 7 APP 运行流程图

Fig. 7 APP operation flow chart

4 系统测试分析

4.1 节点部署与能耗计算

在花椒监测过程中,为避免 NB-IoT 节点部署大面积散乱,数据传输冗余。而大部分地区地形复杂,花椒种植分布不规则。针对 NB-IoT 节点在田间节点能耗消耗过大问题,采用非均匀节点部署。分别假设部署区域为(A)正方形,NB-IoT 网络基站(S)部署在(A)的中心,NB-IoT 节点(K)以基站(S)为中心点,呈圆环形式部署在基站周围。以 S 为中心,将整个 A 区域内的圆环分别标记 $P_1, P_2, P_3 \dots P_N$ 。其 NB-IoT 节点部署模型如图 8 所示。

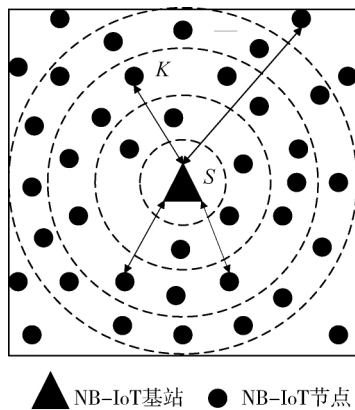


图 8 NB-IoT 节点部署模型

Fig. 8 NB-IoT node deployment model

基站(S)与节点(K)之间的数据通信采用多路衰减能量模型,已知基站(S)与节点(K)之间的通信距离为 d 时,节点发送 len 比特数据所消耗的能量

$$E_{tr}(len, d) = \begin{cases} lenE_{dec} + lenE_{amp1}d^2 & (d < d_0) \\ lenE_{dec} + lenE_{amp2}d^4 & (d \geq d_0) \end{cases} \quad (1)$$

式中: E_{dec} ——收发数据所消耗的能量;

E_{amp} ——放大器能量消耗。

K 节点接收数据所消耗能量

$$E_{rx}(len) = lenE_{dec} \quad (2)$$

其中, d_0 取值为 50 m, E_{dec} 取值 50 nJ/bit, E_{amp1} 取值 10 J/(bit · m²), E_{amp2} 取值 0.001 3 pJ/(bit · m⁴)。

设置节点间发生数据包的长度为 len 比特,当节点按照均匀分布在监控区域中,并组成(S)到节点之间的距离为直径 $2r$ 。在数据集中节点所消耗能量

$$E_{normal} = len(E_{dec} + E_{amp1}r^2) \quad (3)$$

计算处于第 P 层圆环中的节点总能耗

$$E_s(P) = lenN_{normal}(k)E_{dec} + lenN_c(E_{dec} + E_{amp2}(kr)^4) \quad (4)$$

式中: $N_{normal}(k)$ ——圆环区域内节点个数;

P ——圆环区域层。

通过分析计算,非均匀部署能有效活跃冗余节点个数,优化节点采集能力且节约能耗周期。在分析测试过程中与传统均匀节点部署相比,仿真结果如图 9 所示。

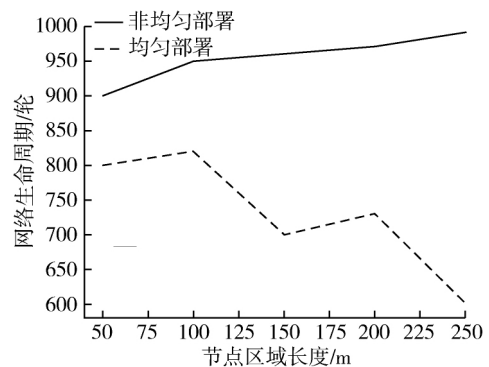


图 9 节点部署分析对比

Fig. 9 Comparison of node deployment analysis

仿真结果表明:当节点模块正常传输时,采用传统均匀节点部署方式其网络生命周期会随着节点区域长度的变化而逐渐减少,且节点部署距离在 100 m 和 200 m 时,网络生命周期呈现阶梯式下降;而采用非均匀节点部署时,各个节点发挥最大优势,节点网络生命周期随着节点区域长度逐渐平缓上升,最终达到网络生命周期 1 000 轮的峰值。

4.2 系统实地测试

系统搭建完成后,在江津区某花椒种植基地完成实地测试。同一片区域内分别布置节点 1、节点 2、节点 3、节点 4,每个节点分布与基站距离不同,且安装距离基站分别为 50 m、100 m、150 m、200 m。通过不同距离对节点传输性能、传输时延进行测试。系统参考 QN—QX5 便携式农业环境检测仪所测得的参数为标准值,将系统各节点测得的数据与标准值进行比较。节点分布如图 10 所示,安装距离基站为 50 m、100 m、

150 m、200 m 的节点,如表 1、表 2、表 3、表 4 所示分别为截取同一时刻的实时监测数据。

表 1 节点 1 实时测试数据
Tab. 1 Real time test data of node 1

参数名称	数据 ID	标准值	监测值	相对误差/%
Soil-Moisture/%RH	295 311	79.00	78.99	±0.01
Soil-Temperature/℃	295 310	25.06	25.07	±0.03
Altitude/m	295 309	47.80	47.04	±0.15
Atmospheric-Pressure/hPa	295 308	992.80	986.05	±0.60
CO ₂ /ppm	295 307	400.00	401.20	±0.30
Air Temperature/℃	295 232	28.20	28.21	±0.03
Light intensity/Lux	295 264	13 650	13 620	±0.22

表 2 节点 2 实时测试数据
Tab. 2 Real time test data of node 2

参数名称	数据 ID	标准值	监测值	相对误差/%
Soil-Moisture/%RH	295 311	79.00	78.98	±0.03
Soil-Temperature/℃	295 310	25.06	25.06	0
Altitude/m	295 309	47.80	47.51	±0.60
Atmospheric-Pressure/hPa	295 308	992.80	995.97	±0.31
CO ₂ /ppm	295 307	400.00	398.60	±0.35
Air Temperature/℃	295 232	28.20	28.19	±0.04
Light intensity/Lux	295 264	13 650	13 642	±0.05

表 3 节点 3 实时测试数据
Tab. 3 Real time test data of node 3

参数名称	数据 ID	标准值	监测值	相对误差/%
Soil-Moisture/%RH	295 311	79.00	79.01	±0.01
Soil-Temperature/℃	295 310	25.06	25.05	±0.04
Altitude/m	295 309	47.80	47.61	±0.40
Atmospheric-Pressure/hPa	295 308	992.80	996.96	±0.42
CO ₂ /ppm	295 307	400.00	401.80	±0.45
Air Temperature/℃	295 232	28.20	28.26	±0.21
Light intensity/Lux	295 264	13 650	13 653	±0.02

表 4 节点 4 实时测试数据
Tab. 4 Real time test data of node 4

参数名称	数据 ID	标准值	监测值	相对误差/%
Soil-Moisture/%RH	295 311	79.00	79.02	±0.03
Soil-Temperature/℃	295 310	25.06	25.06	0
Altitude/m	295 309	47.80	47.51	±0.60
Atmospheric-Pressure/hPa	295 308	992.80	996.27	±0.35
CO ₂ /ppm	295 307	400.00	397.68	±0.58
Air Temperature/℃	295 232	28.20	28.24	±0.14
Light intensity/Lux	295 264	13 650	13 662	±0.08

4.3 试验结果与分析

本系统性能测试主要分为硬件测试、信号传输测试以及传感器采集信息功能测试。将节点应对如图 10 进行部署,通过传感器节点进行数据采集,并发送

到 IoT 云平台。设置节点上传周期为 30 min,每帧发送数据包大小为 168 bit,在 IoT 云平台进行数据收集与查看,将接收到的数据与节点所发送的数据进行分析得出丢包率,统计周期为 30 d。经测试,节点 1、节

点 2、节点 3、节点 4 在 50~200 m 范围丢包率为 0.15% 以内。在郊区测试距离为 5 km 时,丢包率为 0.35% 以内,测试距离超过 10 km 时,丢包率为 0.85% 以内,除去稳定的近距离 100 m 内范围,0.1~10 km 范围内平均丢包率为 0.35%,具有非常良好的通信可靠性。IoT 云平台正常接收底层传感器传送数据,将接收的数据进行云存储并加以分析。NB-IoT 远程无线传输数据通信测试如表 5 所示。

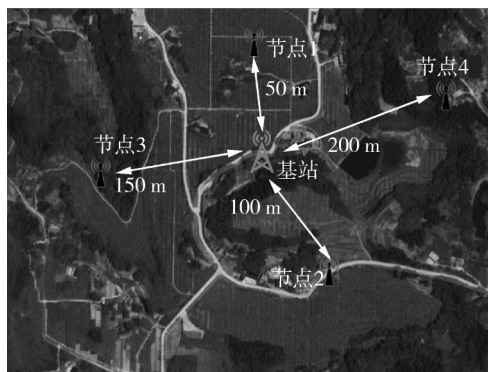


图 10 系统节点分布

Fig. 10 System node distribution

表 5 NB-IoT 远程无线传输数据通信测试

Tab. 5 Data communication test of NB-IoT remote wireless transmission

距离 /m	节点发送 数据/帧	云平台接受 数据/帧	丢失数据 /帧	丢包率 /%
50	1 440	1 440	0	0.00
100	1 440	1 440	0	0.00
150	1 440	1 439	1	0.07
200	1 440	1 438	2	0.14
5 000	1 440	1 435	5	0.35
10 000	1 440	1 428	12	0.83

5 结论

本文以花椒生长环境监测为背景,研制出一套基于 NB-IoT 窄带通信技术的花椒环境因子监测系统,并将系统进行实地测试,得出以下结论。

1) 系统采用非均匀节点部署方式进行监测,通过系统建模分析计算得出采用节点非均匀部署与传统节点均匀部署方式相比,节点能量消耗逐渐降低,有效地延长了节点网络生命周期。

2) 针对系统性能测试,将各个节点分布在不同距离和区域实地测试,并抓取数据传输丢包率,当通信距离在 0.1~10 km 范围内平均丢包率为 0.35%;当大于 10 km 时,丢包率为 0.85%,该系统能较好的完成各项监测任务,达到了预期效果。

3) 采用基于 NB-IoT 的物联网云平台进行远程监

控,直接通过 API 接口进行连接,避免用户进行二次开发,大大降低了系统研发成本。总的来说该系统能有效完成花椒生长环境的监测,并提供了一种智能采集、远程传输的技术手段,为花椒栽培的种植大户提供了决策和参考。目前,该系统运行于重庆市某花椒示范种植场地,运行效果良好,深受相关行业部门的好评,满足大规模化的花椒种植需求。

参 考 文 献

- [1] 赵小中, 平本强, 胡波, 等. 基于 PC 端的农残速测仪智能化检测管理系统设计与应用[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(2): 60—66.
Zhao Xiaozhong, Ping Benqiang, Hu Bo, et al. Development and application of intelligent detection and management system for rapid pesticide detector based on PC [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(2): 60—66.
- [2] 赵继春, 孙素芬, 郭建鑫, 等. 基于无线传感器网络的设施农业环境智能监测系统设计与应用[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(4): 146—151.
Zhao Jichun, Sun Sufen, Guo Jianxin, et al. Design of intelligent monitoring system for facility agriculture environment based on wireless sensor network [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(4): 146—151.
- [3] 杨仕曦, 吕广斌, 黄云, 等. 九龙坡花椒种植区地形、土壤肥力与花椒产量的关系[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2019, 27(12): 1823—1832.
Yang Shixi, Lü Guangbin, Huang Yun, et al. Relationships of Zanthoxylum bungeanum yield with topography and soil fertility in Jiulongpo area [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2019, 27(12): 1823—1832.
- [4] 韩团军. 基于 WiFi 与 ZigBee 的山区农田环境监测系统研究[J]. 现代电子技术, 2019, 42(2): 14—17.
Han Tuanjun. Research on mountainous farmland environmental monitoring system based on WiFi and ZigBee [J]. Modern Electronics Technique, 2019, 42(2): 14—17.
- [5] 许伦辉, 李鹏, 周勇. 基于 ZigBee 和 GPRS 的农业区域气象环境远程监测系统设计与应用[J]. 江苏农业科学, 2015, 43(6): 380—383.
- [6] 施苗苗, 宋建成, 田慕琴, 等. 基于物联网的设施农业远程智能化信息监测系统的开发[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(11): 392—395.
- [7] 李欣倪, 张文爱, 宋健, 等. 基于 Android 平台的变量施肥无线控制系统设计与试验[J]. 中国农机化学报, 2019, 40(3): 165—172.
Li Xinni, Zhang Wenai, Song Jian, et al. Design and experiment of variable rate fertilization wireless control system based on Android platform [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2019, 40(3): 165—172.
- [8] 赵正军, 王福平, 潘杰, 等. 基于 Wi-Fi 的马铃薯贮藏环境测控系统设计与应用[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(2): 233—237.

- [9] 宦娟, 吴帆, 曹伟建, 等. 基于窄带物联网的养殖塘水质监测系统研制[J]. 农业工程学报, 2019, 35(8): 252—261.
Huan Juan, Wu Fan, Cao Weijian, et al. Development of water quality monitoring system of aquaculture ponds based on narrow band Internet of Things [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2019, 35(8): 252—261.
- [10] 曾志雄, 余乔东, 易子骐, 等. 基于WSN的集中通风式分娩猪舍环境参数时空分布特性[J]. 农业工程学报, 2020, 36(12): 204—211.
Zeng Zhixiong, Yu Qiaodong, Yi Ziqi, et al. Spatiotemporal distribution characteristics of environmental parameters of centralized ventilation delivery sows based on WSN [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2020, 36(12): 204—211.
- [11] 杨卫中, 王雅淳, 姚瑶, 等. 基于窄带物联网的土壤墒情监测系统[J]. 农业机械学报, 2019, 50(S1): 243—247.
Yang Weizhong, Wang Yachun, Yao Yao, et al. Soil moisture monitoring system based on narrow band Internet of Things [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(S1): 243—247.
- [12] 朱丹, 陈学东, 张学俭, 等. 基于物联网的设施农业温室远程监控系统研究[J]. 中国农机化学报, 2020, 41(5): 176—181.
Zhu Dan, Chen Xuedong, Zhang Xuejian, et al. Research on remote monitoring system of greenhouses for facility agriculture based on Internet of Things [J]. Journal of Chinese Agricultural Mechanization, 2020, 41(5): 176—181.
- [13] 黄双成, 赵扬, 李志伟, 等. 基于NB-IoT的粮库智能门窗群监控系统设计与实现[J]. 江苏农业科学, 2020, 48(10): 245—249.
- [14] 康云川, 代彦, 梁裕巧. 基于Raspberry Pi与Arduino的智能大棚监控系统研究[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(15): 251—255.
- [15] 曾志雄, 董冰, 吕恩利, 等. 猪舍环境无线多点多源远程监测系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(2): 332—340, 349.
Zeng Zhixiong, Dong Bing, Lü Enli, et al. Design and experiment of wireless multi-point and multi-source remote monitoring system for pig house environment [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(2): 332—340, 349.

Monitoring system for the growth environmental factors of *Zanthoxylum bungeanum* based on NB-IoT

Liang Yuqiao^{1, 2}, Li Hongbing¹, Luo Yang¹, Kang Yunchuan¹, Song Xiaoling¹, Xiang Wei³

(1. School of Computer Science and Engineering, Chongqing Three Gorges University, Chongqing, 404120, China;

2. Agricultural and Rural Committee of Liangping District, Chongqing City, Chongqing, 405200, China;

3. Agriculture and Rural Committee of Jiangjin District, Chongqing City, Chongqing, 402260, China)

Abstract: Aiming at the problems of weak planting infrastructure, insufficient monitoring methods, and low degree of informatization in the current prickly ash industry, this paper proposes a *Zanthoxylum bungeanum* growing environment monitoring system based on Narrow Band Internet of Things (NB-IoT). By adopting new NB-IoT wireless communication technology, interconnected microprocessor STM32, IoT cloud platform and multiple sensors to design a set of deep-covering, strong-connected, low-cost *Zanthoxylum bungeanum* growing environment monitoring system, and by using non-uniform node deployment method, we observed improved network life cycle of each node, reduced network costs, and conducted field tests on the designed system in Jiangjin District. The test results show that the system uses a non-uniform deployment method to gradually reduce each node's energy consumption, and the network life cycle can reach a peak of 1 000 rounds within a range of 250 m. The communication distance can adapt to a remote communication environment of more than 10 km. Within a range of 10 km, the average internal packet loss rate does not exceed 0.35%. When the communication distance exceeds 10 km, the average packet loss is within 0.85%, and the test has achieved the expected effect. The design makes up for the shortcomings of traditional planting that cannot remotely monitor the growth status of *Zanthoxylum bungeanum* in real-time. It provides a reliable technical solution for the intelligent planting of *Zanthoxylum bungeanum*. At the same time, it also provides an efficient management decision-making method for *Zanthoxylum bungeanum* growers.

Keywords: NB-IoT; *Zanthoxylum bungeanum*; monitoring; STM32; sensor technology