

曾镜源, 洪添胜, 杨洲, 等. 果园灌溉物联网实时监控系统的研制与试验 [J]. 华南农业大学学报, 2020, 41(6): 145-153.  
ZENG Jingyuan, HONG Tiansheng, YANG Zhou, et al. Design and experiment of real-time monitoring system for orchard irrigation based on internet of things[J]. Journal of South China Agricultural University, 2020, 41(6): 145-153.

# 果园灌溉物联网实时监控系统的研制与试验

曾镜源<sup>1,2,3</sup>, 洪添胜<sup>2</sup>, 杨洲<sup>1,2</sup>, 李富<sup>3</sup>

(1 广东省山区特色农业资源保护与精准利用重点实验室, 广东 梅州 514015; 2 华南农业大学 工程学院, 广东 广州 510642; 3 嘉应学院 计算机学院, 广东 梅州 514015)

**摘要:**【目的】简化果园网络部署, 延伸信号覆盖范围, 提供精细、实时的灌溉监控, 并提高其对传统设备的兼容性。【方法】通过窄带物联网 (NB-IoT) 和 LoRa 混合组网实现远程数据传输、延伸基站信号覆盖范围。采用终端电学参数检测电路及标定功率, 结合异常检测算法, 精准监测设备运行状态, 并将异常状态即时上传, 降低数据上传频率。同时在保证处理能力的前提下降低处理器主频, 从而延长待机时长。【结果】果园现场监测系统实现了 150 ms 内上报异常状态, 并将上报次数限制为每年 2 万次。校正检测功率后, 功率的线性回归预测决定系数 ( $R^2$ ) 为 0.999 8。通过宏生成 JSON 数据, 生成时长为 cJSON 方法的 10%, 进一步降低 MCU 计算需求。在满足计算和控制需求的前提下, 2 MHz 的微处理器主频和 200 mA·h 锂电池可以满足果园灌溉监控系统计算和持续工作的最低要求, 采用低功耗微处理器可以进一步延长工作时间。【结论】监控系统延伸了 NB-IoT 网络的覆盖范围, 可实现精准、低成本和实时的远程监控。

**关键词:** 果园灌溉; 窄带物联网; LoRa; 设备监控; 云平台  
**中图分类号:** S24      **文献标志码:** A      **文章编号:** 1001-411X(2020)06-0145-09

## Design and experiment of real-time monitoring system for orchard irrigation based on internet of things

ZENG Jingyuan<sup>1,2,3</sup>, HONG Tiansheng<sup>2</sup>, YANG Zhou<sup>1,2</sup>, LI Fu<sup>3</sup>

(1 Guangdong Provincial Key Laboratory of Conservation and Precision Utilization of Characteristic Agricultural Resources in Mountainous Areas, Meizhou 514015, China; 2 College of Engineering, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3 College of Computer Science, Jiaying University, Meizhou 514015, China)

**Abstract:** 【Objective】To simplify network deployment in orchards, extend the signal coverage, provide precise and real-time irrigation monitoring, and improve its compatibility with traditional equipment. 【Method】Remote data transmission and extended coverage of base station signals were realized by combining narrow band internet of things (NB-IoT) and LoRa network. The circuit was examined using terminal electrical parameter and the power was calibrated, which was combined with the anomaly detection algorithm to accurately monitor the operation status of the equipment. The abnormal status was uploaded immediately, and the data upload frequency was reduced. Meanwhile, the main frequency of the processor was reduced to extend the standby time under the premise of ensuring the processing capacity. 【Result】Abnormal status was uploaded within 150 ms and the frequency was limited to 20 000 times per year for the orchard real-time monitoring system. After calibrating the detection power, the determination coeffecient was 0.999 8 for the

收稿日期: 2020-05-10      网络首发时间: 2020-10-22 09:35:36  
网络首发地址: <https://kns.cnki.net/kcms/detail/44.1110.S.20201022.0847.002.html>  
作者简介: 曾镜源 (1980—), 男, 讲师, 博士, E-mail: [15140706@qq.com](mailto:15140706@qq.com); 通信作者: 杨洲 (1972—), 男, 教授, 博士, E-mail: [yangzhou@scau.edu.cn](mailto:yangzhou@scau.edu.cn)  
基金项目: 国家重点研发计划 (2016YFD0200700); 嘉应学院创新强校项目 【2015 (3-6-25)】; 广东省普通高校重点科研平台建设项目 (2019GCZX007); 广东省农村科技特派员重点派驻任务 (KTP20200281); 嘉应学院-广梅园大数据研究与应用协同中心孵化基金 (130B0310)

linear regression prediction of power. The process time of JSON data generated by macro was 10% of that of cJSON method, which further reduced the calculation requirement of MCU. On the premise of meeting the requirements of calculation and control, the main frequency of 2 MHz microprocessor and 200 mA·h lithium battery could meet the minimum requirements of calculation and continuous operation of orchard irrigation monitoring system. The use of low-power microprocessor could further extend the working time.

【Conclusion】 This monitoring system extends the coverage of NB-IoT network and realizes accurate, low-cost and real-time remote monitoring.

**Key words:** orchard irrigation; narrow band internet of things (NB-IoT); LoRa; equipment monitoring; cloud platform

我国柚、橙等柑橘类果园主要分布在广东、江西和广西等地山区，其水肥灌溉作业由人工现场操作逐步向离线定时控制<sup>[1-3]</sup>、物联网在线远程监控<sup>[4-6]</sup>等现代农业方向发展。随着技术的发展，设备的精细监控、故障检测、果园设备的兼容性和网络部署等方面均在不断完善，以适应智慧果园和市场需求<sup>[7-9]</sup>。

云服务、云计算、物联网、大数据、3S 等为代表的信息技术，被广泛应用于农业各领域，促进农业的现代化。其中物联网能获取最直接的现场数据和控制现场设备，为农业现代化提供基础数据<sup>[10-13]</sup>。农业物联网局部信息传输技术主要有 ZigBee、433 MHz 无线射频、Bluetooth、Wi-Fi 等，远程传输依托运营商网络<sup>[5,9,14]</sup>。低功耗广域通信网 (Low power wide area, LPWA) 是面向物联网中远距离和低功耗的通信需求技术，主要包括窄带物联网 (Narrow band internet of things, NB-IoT)、增强型机器类型通信 (Enhance machine type communication, eMTC)、长距离 (LoLong-range, LoRa) 通信、SigFox 等，具有覆盖广、功耗低、成本低、连接稳定的特点，其中，NB-IoT 和 LoRa 因在功耗和传输距离方面有明显优势，成为推广应用的主要技术<sup>[15-16]</sup>。现阶段运营商用 NB-IoT 来布置物联网，其上报数据至云平台方面有优势，但其信号覆盖有限，需要

通过 LoRa 扩展其覆盖范围。

农业物联网会受农业环境影响，如墙体厚度及材质、作物高度、地形地貌、田间遮挡物、气候等，在应用中需要研究和整合相关技术，以适应农业场景的需要。本研究依据果园灌溉需求，整合 2 种物联网通信新技术，在原有灌溉控制系统的基础上，对通信技术和检测电路等重新进行了设计，通过传感器采集土壤、空气和设备运行状态等相关信息反馈给云平台，使平台全面掌握灌溉所产生的细微变化，从而提升灌溉的精细化水平，起到节能减排、简化网络部署和节约成本等作用。以期系统既能满足灌溉需求，又可兼容果园其他传感器和设备，为农业生产和农产品信息溯源提供数据通道。

### 1 系统总体架构设计

系统总体框架包括现场设备、无线网络和云平台设计。整体系统依托电信的 NB-IoT 平台 (EasyIoT 开发者云平台，简称公有云)，实现终端与私有云服务器 (简称私有云) 的数据传输。果园局部数据传输采用 LoRa 扩展 NB 终端的无线覆盖范围，也为灌溉作业提供实时的反馈信号。依据果园实际需求，设计了如图 1 所示的整体系统架构。

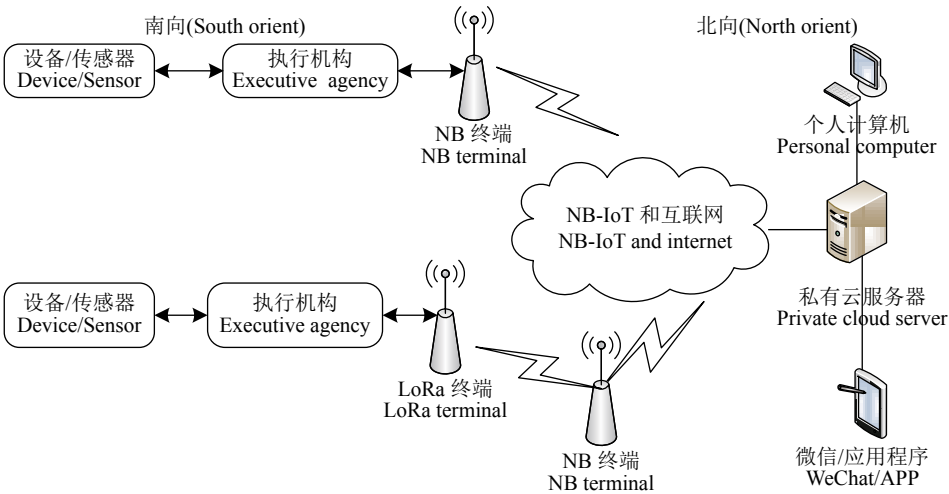


图 1 果园监控云平台总体架构

Fig. 1 Main architecture of cloud platform for orchard monitor and control

总体架构中,北向系统主要由云服务器、PC 和智能手机上的 APP 构成,南向系统主要由负责与基站通信的通信终端模块和与具体设备或传感器相连的执行机构构成。通信终端根据 NB-IoT 基站信号是否覆盖,配备 NB-IoT 或 LoRa 通信模块,具体实践中,将通信终端与执行机构以通用接口的形式整合成一体。

1.1 南北向系统设计

对精细化果园管理系统业务需求的分析表明,通用系统需要满足系统管理模块化、设备类型分类化、系统容量最大化等要求<sup>[12,17-18]</sup>。对产品以研发和管理的最小功能单元划分,最小单元以模块(包括软件和硬件模块)通过通用接口加载到系统,在硬件上采用通用电路板设计,在软件上只需要更新固件,可减少设计研发及维护成本。

山地果园日常事务主要有浇水、施肥、虫害监测、喷洒农药等<sup>[19]</sup>。果园终端的功能是可模块化的,其中通信模块是所有终端都必需的,用于数据的收发。指令执行模块和传感器模块是可选的,根据需求进行选配。在原有的滴灌控制研究基础上,本研究采用新的物联网和互联网技术,为传统果园设备、数据采集和智能设备设计监控终端,以期为果园设备控制和数据传输提供便利。终端内部功能框架图如图 2 所示。

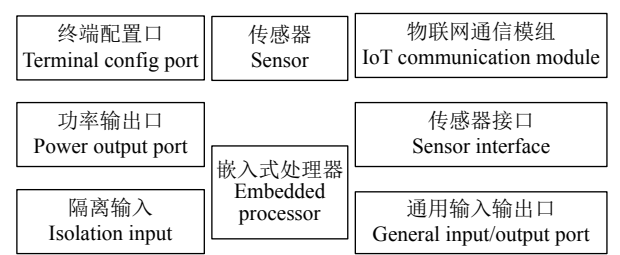


图 2 终端内部功能框架图

Fig. 2 Inner block diagram for terminal

终端样机的主要功能有数据通信、继电器控制、异常检测与上报、定位、终端设备编号、常用传感器数据采集、输入输出隔离、设置信息掉电存储、PC 机设置、提供通用接口等。

1.1.1 南向终端关键电路设计 终端的主控微处理器选用 STM32F103(功耗要求高时用 STM32L151 替换),通信模组选用移远 BC95-B5。其中通信模组内部 LDO 输出的 DC 3V 为微处理器供电。模组的 RESET 引脚连接微处理器的 GPIO 引脚,再用 3 V 的电压上拉,实现硬件复位。新注册设备、重设连接的服务器、修改通信模式(eDRX 或 PSM)或需要重新获取基站时间时,需要对模组复位,也可用 AT 指令对模组复位。

终端电路集成了通电检测、电池电压检测和复位电路(图 3)。图 3a 中 PWR\_BAD 信号连接微处理器的 GPIO 口,检测 5 V 电源是否正常。当采用 AC 220V 为系统供电或 USB 供电处于正常供电状态时,此信号应为高电平,据此判断供电是否正常。ADC\_BAT\_V 检测锂电池电压,供 Easy IoT 的固件代码回调使用,每次上传数据时,自动将终端的电量信息上报。令微处理器从 ADC 口的读数为  $D$ ,依据图 3a 电路和欧姆定律,锂电池电压( $V_{Li}$ )计算公式为:

$$V_{Li} = 3D(R_{19} + R_{20})/2^{12}, \tag{1}$$

EasyIoT 平台上报的电量是按百分比来计算的,所以折算后的上报值( $Y$ )为:

$$Y = 100V_{Li}/4.2。 \tag{2}$$

锂电池电量与电压是非线性关系,所以实践中对检测精度要求较高时,可以采用查表法来实现,即根据  $D$  值查表得到电量值,然后将电量数据传入电量回调函数,上传至计算机服务器后台。

微处理器与 BC95 的复位电路分开设计,因为特殊情况下微处理器需要单独复位,如果同时复位 BC95,需要较长的时间与基站重新建立连接,也增加了连接次数。为加快重启速度和减少连接次数,本研究将微处理器与模组的复位引脚分开,通过微处理器的 GPIO 引脚与模组的复位引脚相连,由微处理器的程序控制 GPIO 去复位模组。

从用电安全和用户习惯角度考虑,外部电源只有部分时段才能提供,其他时段通过锂电池供电,故需要有供电、充电及整流电路(也称 LDO)(图 3b),其中用 5 V 电压与电源模块或 USB 的供电引脚相连,通过 TP4056 实现对锂电池的充电管理。利用二极管 D6、D8 和 D10 结电压压降,将 5 V 降压后直接给模组供电,这样当锂电池出现故障时,只要外部电源有电,则整个电路板就能正常供电。无锂电池时,VBAT 处电压不稳定,特别是模组收发数据期间,电压下降至 3 V 左右,但实际测试时,发现此电压的波动并不影响数据收发的稳定性。

ME6206A33 为 LDO,输出 3.3 V 供微处理器及外围电路使用。因为 BC95 可以输出 3.0 V, LDO 为可选部分。D2 为 5.1 V 稳压管,可防止外部输入电压过高烧毁内部芯片。泵房以外的温度、湿度、土壤含水量等传感器模块采用原有的太阳能模块供电,输出到锂电池接口,由 BC95 模组的 LDO 输出 3 V 供系统其他部分使用。

果园泵房的基本功能是抽水、浇水和施肥。将浇水和施肥通过混肥装置进行一体化设计,以达到

更好的效果。果园现场测试时发现, 电网电压不稳定是山地果园普遍存在的问题, 部分地区波动范围为 170~240 V, 电机也有可能出现故障, 果农或果园管理人员无法确认远程设备的运行状态, 如电机是否启动、电机有没有损坏和电网电压是否正常等。

在执行终端中加入电量计量电路以获取果园(特别是泵房)用电设备运行的精确状态, 可以精确监控功率、电压、电流和电量。监控页面可图形化显示当前的功率和电压, 依据这 2 个参数的动态变

化, 管理人员可以判断远程设备是否有故障, 甚至可以根据文献 [20] 分析出引起故障的原因。电量检测功能电路如图 3c 所示, 此电路需双路隔离电源, 其中一路供给处理器等低压数字电路部分, 另一路电量供检测芯片 HLW8032 使用。

滴灌和混肥装置常用电磁阀实现水管的开关控制, 电磁阀需要采用 H 桥电路/芯片实现双向控制, 其控制信号的脉冲宽度由 CPU 决定, 以兼容不同的电磁阀。

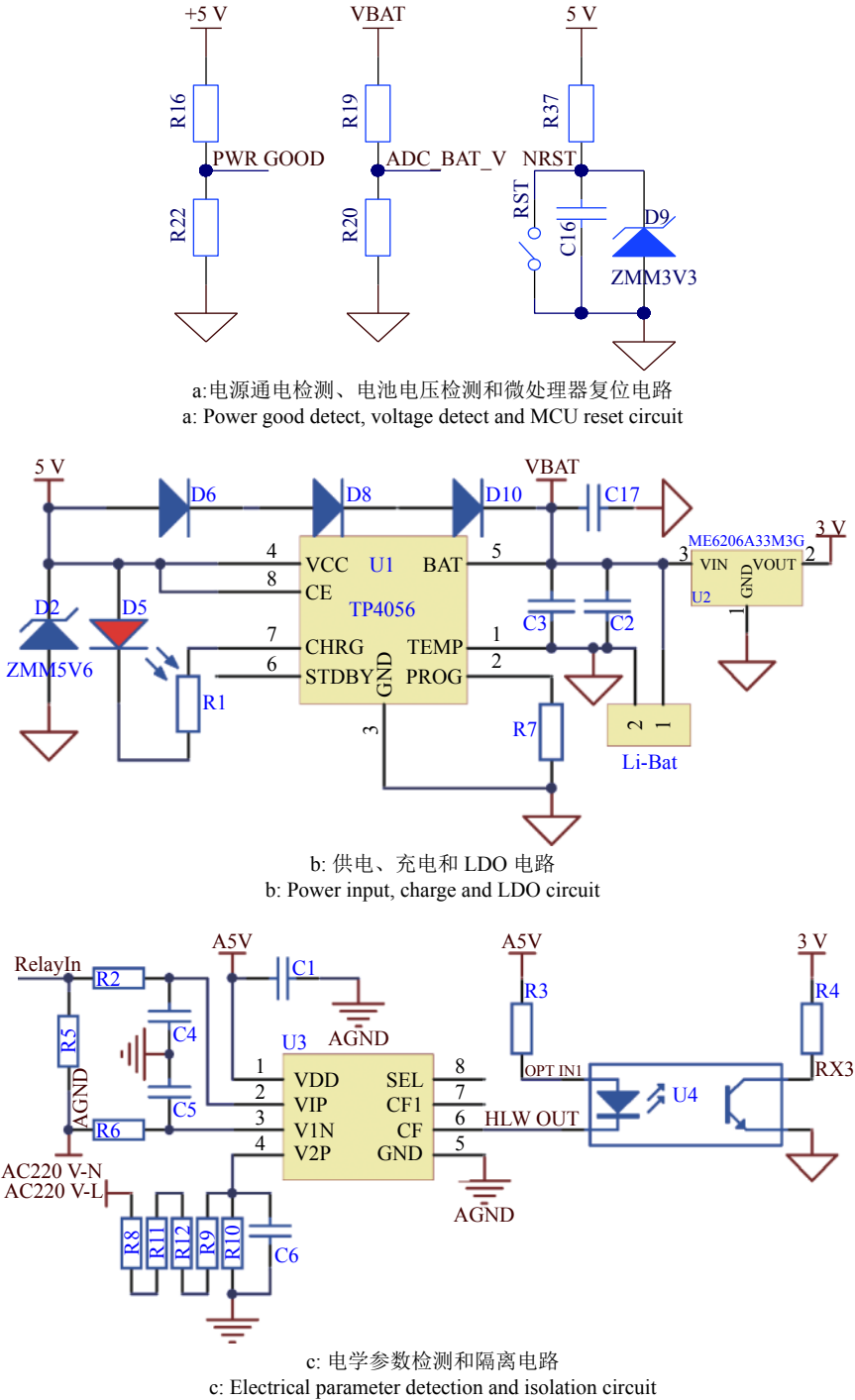


图 3 终端关键电路  
Fig. 3 Key circuit for terminal



微处理器 (Microcontroller unit, MCU) 的串口负责与 BC95-B5、HLW8032、PC 或 LoRa 模块进行通信, 另外还需要提供 I2C 和 SPI 等常用的外设接口, 以提高终端的兼容性。终端 MCU 的主要外设接口如图 4 所示。

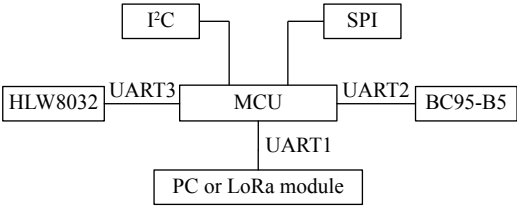


图 4 终端 MCU 主要外设接口

Fig. 4 Main interface for terminal MCU

继电器和电量检测电路负责对泵房电机抽水、浇水和施肥等作业进行监测和控制, 检测作业功率、电压、电流等参数。终端内控制板与通信模组等集成设计, 简化接线、方便测试和批量应用。此外, 终端还实现了电机开关控制、蓝牙通信、MOS 驱动和光耦隔离等, 完善了微处理器与外围设备的交互。

1.1.2 终端固件的兼容性改进 通信终端 (含 NB 终端和 LoRa 终端) 设计要考虑兼容已有设备。果园已有设备包括各种传感器和智能设备, 对外提

供 UART、SPI 和 I²C 等常见硬件接口, 通过修改已有设备的固件程序, 可以实现数据兼容。山地果园滴灌作业需要检测的主要指标有土壤含水量、温度和湿度等<sup>[2]</sup>。

终端开发基于 EasyIoT 的开源库, 其终端固件与平台的数据交换采用 CoAP 协议。公有云与私有云之间的数据交换采用 JSON 协议交换。为解决果园终端数据的多样性, 在由 LoRa 组成的局域网之间进行数据传输, 在 NB 终端内设计了在 CoAP 协议内嵌 JSON 数据的方式, 实现从终端至私有云服务器的数据交换, 而 LoRa 终端直接采用 JSON 数据格式<sup>[21-22]</sup>。本研究采用 cJSON 开源代码实现, 但由于 STM32F1/L1 系列处理器的 SRAM 大小和处理性能的限制, 需要对 cJSON 源代码进行修改, 以提高效率。

通信终端提供 3 种常见接口: UART、SPI 和 I²C, 将已有设备的数据输出格式修改为 JSON 格式, 经 UART 通道, 即可完成数据上下行传输。传感器改造后网络结构如图 5 所示。

嵌入开发通信终端的内部固件程序流程如图 6 所示。

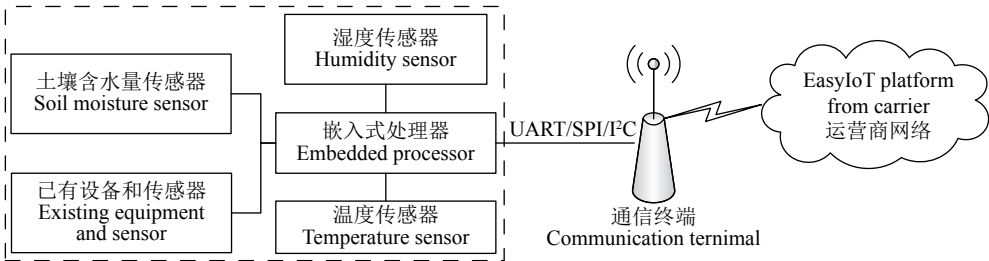


图 5 已有设备传感器和设备改进

Fig. 5 Sensors and device improvement of existing equipment

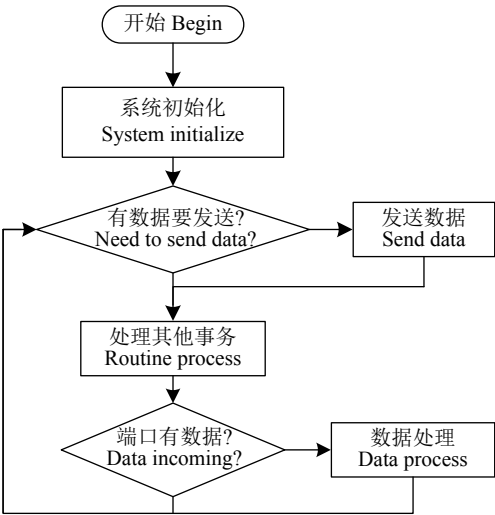


图 6 固件程序流程图

Fig. 6 Flow chart of firmware

终端收到的平台数据, 经 cJSON 解释后, 数据格式与 PC 机指令格式保持一致, 需要测试相关指令时, 直接由 PC 机发送相同的指令, 方便离线调试。固件运行相关的信息也通过串口发送到 PC 机, PC 机通过串口助手可实时了解系统运行状态。

固件还有数据掉电储存功能, 将用户设置的参数存储在 Flash 内。

1.1.3 北向应用云平台设计 EasyIoT 的 Java 开发包, 采用 HttpClient 开发包与平台连接, 数据采用 JSON 数据交换协议, 其中 JSON 采用 fastJSON 进行编码与解码。

系统整体主要由上报数据、发送指令、权限控制、数据解析等模块构成。项目初期选择租用云服务器部署项目, 云服务器使用 Ubuntu 系统, 运行

MySQL、Redis、Tomcat 等软件。不同的模块组合成不同的子系统, 主要功能包括数据收集、视图、服务调用和单点登录等。云服务器开放不同端口运行不

同的子系统, 为提高系统性能, 使用 Nginx 软件实现子系统集群。网页系统功能如图 7 所示。

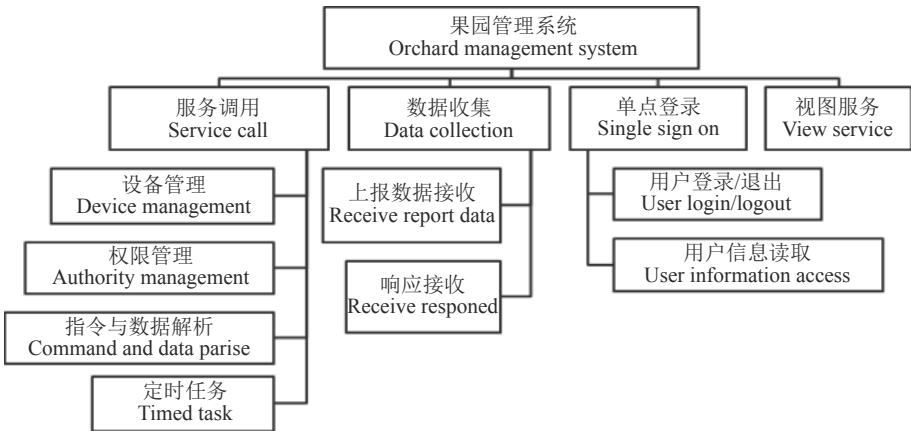


图 7 网页系统功能框图  
Fig. 7 Function block of web system

2 系统测试

2.1 终端测试环境搭建

为便于批量测试终端设备的运行情况, 本研究采用 40 W 电灯模拟泵房的水泵和灯光等需要继电器进行开关控制的设备 (终端的继电器为 AC 220 V/10 A, 最高可带 2 200 W 负载), 用于测试数据收发、电学参数检测、传感器数据传输和解释、电池待机时间、终端稳定性等项目。测试板上安装 10 套终端设备, 持续测试和观察终端的可靠性, 也方便查找故障。控制指令由远程服务器发送或本地计算机通过串口线模拟远程数据发送。本地计算机模拟远程指令发送, 加快指令测试效率、减少连接次数。PC 机通过 USB 转 UART 串口适配器, 连接终端微处理器的 UART 口, 具体端口见图 3 通信终端的主控微处理器电路图。BC95-B5 与微处理器的 UART2 连接, 而 PC 机的适配器与微处理器的 UART1 连接, 微处理器程序解释串口指令时, 两路的串口数据输入到同一个串口指令解释函数, 实现 PC 指令与远程指令同等作用, 但来自 PC 的指令可以即时响应, 起到加快调试的作用。能够收发串口数据的软件就可以实现对此终端的测试。

2.2 JSON 数据格式解释测试

在 STM32F103C8T6 处理器上, 分别基于 Janson 与 cJSON 对 JSON 数据进行解释。因 Janson 在 Keil 里提供, 而 cJSON 来自 JSON 库的源代码。测试 {"foo": 42, "bar": 7}, 其中将 Heap\_Size 改为 0x1800 时, 测试生成和解释串:

{"foo": 42, "bar": 7}。Janson 可以成功生成并解释 32 次, 第 33 次出错。cJSON 可以成功生成并解释 44 次, 第 45 次出错。JSON 测试结果表明, Janson 与 cJSON 对 JSON 数据的生成次数有限。但 2 个库函数对 JSON 串解释未测试到上限, 所以本研究设计的终端设备, JSON 串改用宏定义生成, 生成时间约为 cJSON 方法的 10%, 而解释采用 cJSON 库。生成和解释的测试程序流程如图 8 所示。

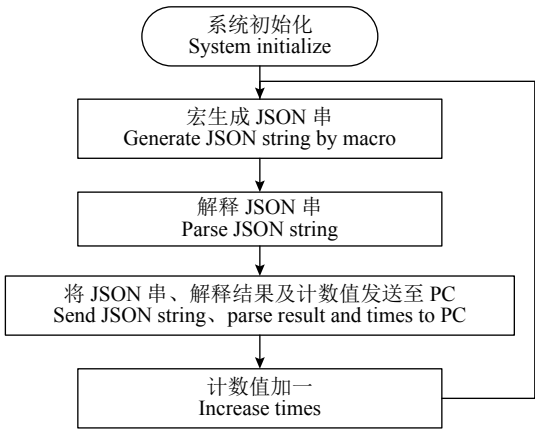


图 8 JSON 串生成与解释测试  
Fig. 8 Test for generating and parsing JSON string

大部分设备 10 年内解释次数不超过 20 万次, 因此测试程序以此值为终止条件。PC 观察的测试结果表明, 本研究的 JSON 串生成方法满足设备长期运行要求。

2.3 HLW8032 数据标定试验

功率计量芯片 HLW8032 出厂时已经过校准,

但由于电路中的采样电阻等电路中的元器件值存在误差, 所以对于要求较高的场合, 需要再次进行校准。本研究设计使用的元器件, 测量功率分别为 13 和 200 W 的设备, 实测值比标称值高约 10%。电量计量值校准方法如图 9 所示。

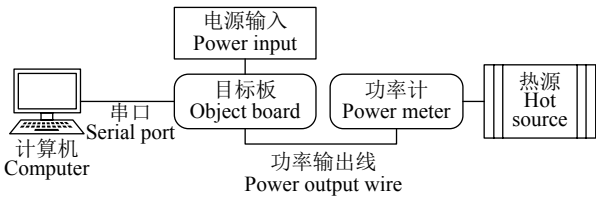


图 9 计量值校准框图

Fig. 9 Block diagram for meterage value calibration

利用图 9 的校准方案, 测试结果如图 10 所示。由图 10 可以看出, 测试功率与实际功率可以拟合为过原点的直线, 测试误差来自电学参数检测和隔离电路芯器件的参数, 拟合的决定系数为 0.999 8, 拟合的线性公式为:

y = 1.128 8x - 8.944 0。(3)

为减少工作量, 对于同一批次的元器件, 测试 1 次拟合直线的斜率即可用于推算实际功率。

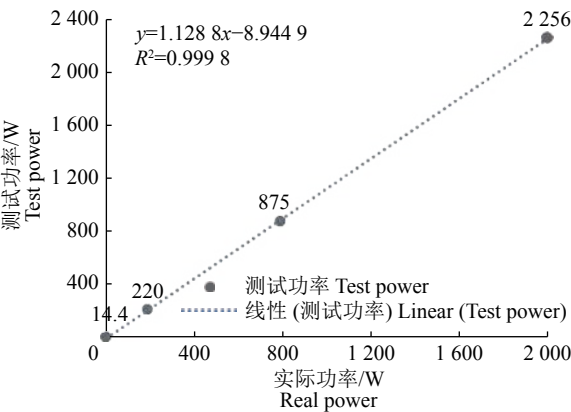


图 10 功率标定测试结果

Fig. 10 Power calibration test result

2.4 功率变动上报试验

通过功率计量芯片对输出功率进行监控, 当功率变动幅度超过阈值时, 终端及时自动上报状态。典型应用是果园灌溉系统, 果农远程发送或预先设置了电机启动, 配合湿度传感器上传的信息, 果农可以确定正在作业的水泵有没有启动、功率是否在正常范围内、灌溉是否成功等。

周期性上报数据能够观察到长时间跨度的状态变化, 但设备启动/停止或突然发生故障时需要即时上报, 以便云平台即时做出响应。加权递推平均

滤波法为经典的软件滤波算法, 可以有效地消除异常的瞬时值对信号计算带来的影响。采用中值滤波法去除噪声, 并在规定时间内不重复上报同类型功率突变状态, 通过这种方法, 可以在有限的上传次数内, 及时上报数据。

本研究基于加权递推平均滤波法设计了滤波分析公式, 即是否上报的计算公式:

Y = { 1 if (WcXc / (n-2) - WoXo / (m-2) >= T), 0 其他情况 } (4)

式中,  $X_n$  为电学参数检测电路在前  $n$  个时刻检测得到的值,  $X_n = \{x[-n+1], \dots, x[-1], x[0]\}$ ;  $X_m$  为在前  $m$  个时刻检测得到的值,  $X_m = \{x[-m-k+1], \dots, x[-1-k+1], x[-k]\}$ ;  $X_c$  为集合  $X_n$  去掉其中的最大值 [即  $\max(X_n)$ ] 和最小值 [即  $\min(X_n)$ ] 2 个元素而形成的集合, 故  $X_c$  为  $n-2$  维;  $X_o$  为集合  $X_m$  去掉其中的最大值 [即  $\max(X_m)$ ] 和最小值 [即  $\min(X_m)$ ] 2 个元素而形成的集合, 故  $X_o$  为  $m-2$  维;  $W_c$  为  $n-2$  维行向量,  $n>2$ ;  $T$  是阈值;  $W_o$  为  $m-2$  维行向量,  $m>2$ ;  $k$  为历史数据序列偏移量; 当  $Y=1$  时, 判定为异常状态; 当  $Y=0$  时, 判定为正常状态。相关参数可远程设置, 以增加滤波算法的通用性。

果园现场设备受干扰的随机性强、时间跨度大, 且受上报次数的限制, 因此, 以果园设备直接测试对功率变动的响应速度不现实。为测试功率变动的有效性, 本研究测试了 1 个标称功率为 13 W 的负载和 1 个有多档 (200、600 和 1 200 W) 的负载。为方便测试, 式 (4) 取  $n=6, m=4$ , 忽略功率不变的时间段, 得到 2 种功率曲线 (图 11)。

不同负载对应不同阈值, 图 11a、11b 分别选取 5 和 50 W 时, 可以在 150 ms 内检测出异常, 而分别取 10 和 150 W 时, 可以在 100 ms 内检测出异常, 即在时间段内实现即时上报。果园现场测试发现, 由于山地果园电网的不稳定以及其他干扰的存在, 平台监测到的上报次数较多, 而短时间内同性质故障信息重复上报无意义, 所以需要限制短时间内同类故障上报。本研究中采用的上报数据的方案为: 1) 周期性上报: 忙时间间隔 15 min/次, 闲时间间隔 60 min/次; 2) 设备启动与停止时各上报一次; 3) 功率变动异常时上报一次, 同类型异常在规定时间内不重复上报。

终端设备可以检测出异常的状态, 云端也可检测异常数据。由于周期性上报数据时将常用的状态上传到云端, 云端将当前状态与数据库内的历史数

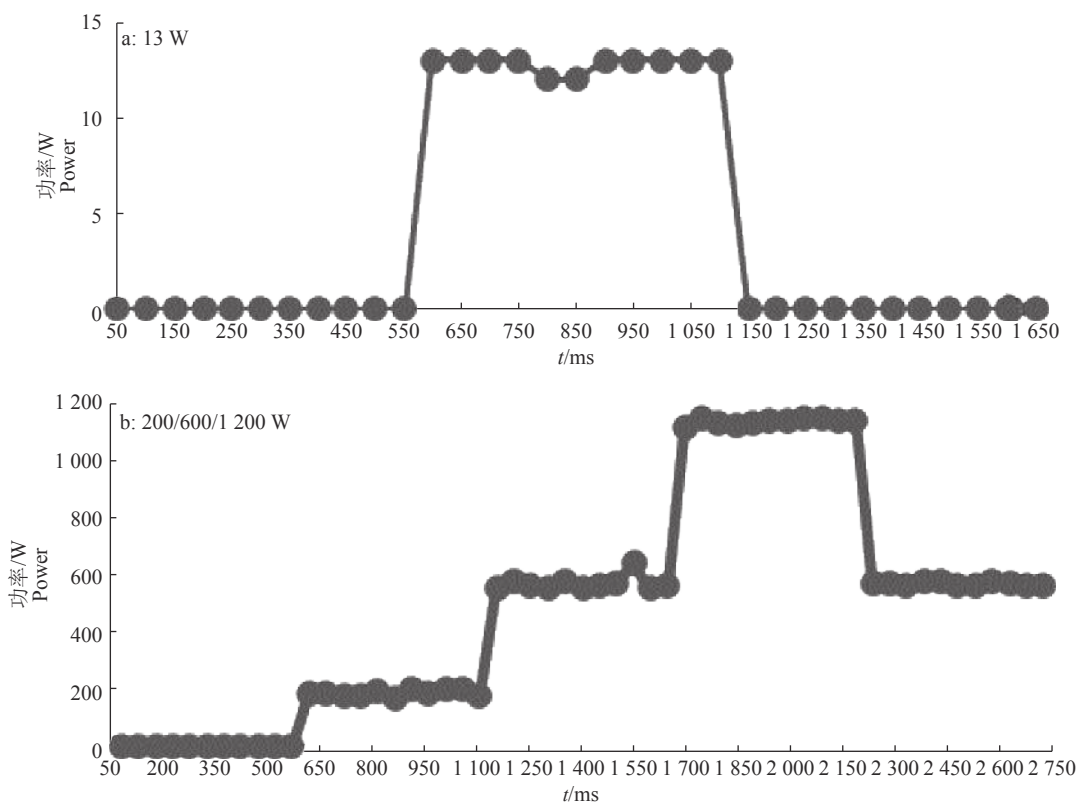


图 11 不同负载下的功率曲线

Fig. 11 Test curve of power under different loads

据对比,可检测到异常,并做出响应。通过试验选定相关参数,有效的减少连接次数、节约资费。

2.5 功耗测试

试验测试时,将终端供电、充电和 LDO 电路的锂电池接口串联万用表的电流测试端口进行电流测试。

试验测试结果 (表 1) 表明,终端功耗主要由控制板待机功耗和 NB-IoT 模组唤醒后的功耗组成。根据 STM 芯片文档,降低微处理器主频可降低功

耗,在满足所有日常计算的情况下,主频降至 1~2 MHz 可以满足正常计算和控制操作。考虑到处理能力的冗余,设定微处理器最低主频为 2 MHz。

每次收发数据的状态持续 20 s。出于安全考虑,泵房需要抽水时才供电。抽水泵通电时,充电电路给锂电池充电。在不充电情况下,按上报频率 200 mA·H 锂电池,实际工作时长为 24 h,考虑到工程冗余,300~400 mA·H 锂电池可以满足正常工作需求。

表 1 功耗测试

Table 1 Power consumption test

项目 Item	测量功耗/mA Measured power	微处理器功耗/mA Microprocessor power	微处理器外设功耗/mA Microprocessor peripheral power consumption	微处理器主频/MHz Microprocessor frequency
待机 Standby	9.0	3.30	0.77	8
收发数据 Transceiver data	62.0	3.30	0.77	8
	60.0	1.51	0.31	2

换用 STM32L151 的微处理器, 200 mA·H 电池实际工作时长为 4 d, 是 STM32F103 的 4 倍。

3 结论

本研究整合 NB-IoT 和 LoRa 技术, 设计了山地果园现场监控终端和远程云平台, 是农业大数据建

立数据采集和远程传输的基础, 简化了系统部署, 解决了 NB-IoT 覆盖盲区的问题。

电学参数检测电路结合参数异常检测算法, 实现即时异常状态上报, 并将上报次数限制在每年 2 万次, 可在 150 ms 内检测出异常状态。将 JSON 数据解释和生成分开实现, 在内存受限的微处理器



中实现 JSON 数据生成和解释 20 万次以上。对检测功率进行标定, 其中功率的线性回归预测决定系数 ( $R^2$ ) 为 0.999 8。通过电路低功耗设计和降低微处理器主频等, 终端配 200 mA·H 锂电池可满足常规工作需求, 采用低功耗微处理器可以进一步延长工作时间。在满足计算和控制需求的前提下, 2 MHz 的微处理器主频和 200 mA·H 锂电池可以满足果园灌溉系统计算和持续工作的要求。

本研究采用的物联网新技术、电学参数检测电路、终端 JSON 数据格式和滤波算法, 解决了在有限连接次数下的即时上报问题, 并延伸了物联网的覆盖范围。这些技术的有机整合具有较强的创新性、扩展性和兼容性, 可以延伸较多的综合应用。

参考文献:

[1] 李加念, 洪添胜, 卢加纳, 等. 柑橘园低功耗滴灌控制器的设计与实现[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 134-139.

[2] 李加念, 洪添胜, 冯瑞珏, 等. 柑橘园水肥一体化滴灌自动控制装置的研制[J]. 农业工程学报, 2012, 28(10): 91-97.

[3] 洪添胜, 冯瑞珏, 李加念, 等. 单节干电池供电的滴灌控制器的设计与试验[J]. 排灌机械工程学报, 2011, 29(5): 455-460.

[4] 吴秋明, 缴锡云, 潘渝, 等. 基于物联网的干旱区智能化微灌系统[J]. 农业工程学报, 2012, 28(1): 118-122.

[5] 沈建炜, 李林, 魏新华. 丘陵地区蓝莓园智能灌溉决策系统设计[J]. 农业机械学报, 2018, 49(S1): 379-386.

[6] 江新兰, 杨邦杰, 高万林, 等. 基于两线解码技术的水肥一体化云灌溉系统研究[J]. 农业机械学报, 2016, 47(S1): 267-272.

[7] 初光勇, 宰青青, 谭晓波, 等. 基于单片机的山地果园无线水肥一体灌溉系统设计[J]. 自动化应用, 2018(2): 20-21.

[8] 仇服春, 高洪岐, 安然, 等. 果园节水灌溉与水肥一体化的应用[J]. 北方果树, 2017(6): 16-18.

[9] 赵荣阳, 王斌, 姜重然. 基于 ZigBee 的智能农业灌溉系统研究[J]. 农机化研究, 2016, 38(6): 244-248.

[10] 田宏武, 郑文刚, 李寒. 大田农业节水物联网技术应用现状与发展趋势[J]. 农业工程学报, 2016, 32(21): 1-12.

[11] 王怀宇, 赵建军, 李景丽, 等. 基于物联网的温室大棚远程控制系统研究[J]. 农机化研究, 2015, 37(1): 123-127.

[12] 李道亮, 杨昊. 农业物联网技术研究进展与发展趋势分析[J]. 农业机械学报, 2018, 49(1): 1-20.

[13] 杜克明, 褚金翔, 孙忠富, 等. WebGIS 在农业环境物联网监测系统中的应用[J]. 农业工程学报, 2016, 32(4): 171-178.

[14] 杨伟志, 孙道宗, 刘建梅, 等. 基于物联网和人工智能的柑橘灌溉专家系统[J]. 节水灌溉, 2019(9): 116-120.

[15] RASHMI S S, WEI Y Q, HWANG S H. A survey on LP-WA technology: LoRa and NB-IoT[J]. ICT Express, 2017, 3(1): 14-21.

[16] WANG Y P E, LIN X, ADHIKARY A, et al. A primer on 3GPP narrow band internet of things[J]. IEEE Commun Mag, 2017, 55(3): 117-123.

[17] 周炜. 智能农业大棚物联网研究与应用[D]. 长春: 长春工业大学, 2017.

[18] 唐荣. 基于物联网的农业感知数据融合应用研究[D]. 长春: 吉林大学, 2016.

[19] 岳学军, 刘永鑫, 洪添胜, 等. 山地果园中低功耗无线滴灌控制装置设计与试验[J]. 农业工程学报, 2014, 30(9): 102-109.

[20] 曾镜源, 冯亚芬. 一种用于现场设置终端的方法及适配器: CN110046110A [P]. 2019-07-23.

[21] 曾镜源, 冯亚芬. 一种山地果园灌溉远程监控方法及控制系统: CN109924112A [P]. 2019-06-25.

[22] 曾镜源, 冯亚芬. 一种基于 NB-IoT 的农情信息实时监测平台: CN110113575A [P]. 2019-08-09.

【责任编辑 霍 欢】