

Farmland Information Collection System Based on Internet of Things Model^{*}

WU Hui^{1,2}, XING Hongyan^{1,2*}, WU Hongjun^{1,2}, LIU Gang^{1,2},
YAN Yan^{1,2}, YU Pei^{1,2}, DAI Xuifei^{1,2}

(1. Collaborative Innovation Center for Meteorological Disaster Prediction and Evaluation, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China; 2. Jiangsu Key Laboratory of Meteorological Detection and Information Processing, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: Aiming at the lack of monitoring of heterogeneous environment and crop characteristics in traditional agricultural field management system, this paper designs a farmland information collection system based on internet of things model based on the demand of refined agricultural development. The system integrated a variety of high-precision environmental monitoring sensors, positioning chips and high-speed data communication and storage modules to achieve real-time monitoring of multi-parameter farmland information such as crop chlorophyll content, air temperature and humidity, light intensity, soil temperature and humidity and field location. The system was also equipped with a complete cloud server system. Users can observe and collect monitoring information in real time through the server interface and mobile APP, which has good human-computer interaction. Experiments show that the farmland information collection system can collect farmland information and various information parameters of crops in real time, accurately and conveniently.

Key words: agricultural information; the internet of things model; BDS field positioning; 4G wireless communication
EEACC: 8680; 6210M doi: 10.3969/j.issn.1005-9490.2019.04.047

基于物联网模式的农田信息采集系统^{*}

吴 慧^{1,2}, 行鸿彦^{1,2*}, 吴红军^{1,2}, 刘 刚^{1,2}, 阎 妍^{1,2}, 余 培^{1,2}, 戴学飞^{1,2}

(1. 南京信息工程大学气象灾害预报预警与评估协同创新中心, 南京 210044;
2. 南京信息工程大学江苏省气象探测与信息处理重点实验室, 南京 210044)

摘 要: 针对传统农业田间管理系统对非均一环境和作物特性监测的缺失, 基于精细化农业发展需求, 设计了一种基于物联网模式的农田信息采集系统。本系统集成多种高精度环境监测传感器、定位芯片和高速数据通信和存储模块, 实现了对作物叶绿素含量、空气温湿度、光照强度、土壤湿度和田间位置等多参数农田信息的实时监测功能, 并且配备了完善的云端服务器系统, 用户可以通过服务器界面和手机 APP 实时观察和统计监测信息, 具有良好的人机交互性。实验表明该农田信息采集系统可以实时、准确、方便地采集农田信息和农作物的多种信息参数。

关键词: 农业信息; 物联网模式; BDS 田间定位; 4G 无线传输

中图分类号: TP391.8

文献标识码: A

文章编号: 1005-9490(2019)04-1056-07

随着信息技术的不断发展, 实现传统农业向精细集约信息化农业的转变已经成为维持农业可持续发展的系统工程, 这也是现代农业技术的发展趋势。因此, 信息技术在农业中的应用必将成为现代农业工程研究的重点领域之一^[1]。

为了满足农业生产需求和农业资源的高效利用, 利用现代信息技术采集作物生长环境中的一些必要的农田信息是现代农业的基础。薛文龙^[2]设计的基于物联网的农田环境信息采集控制与预警系统, 实现了农业气象要素采集和基本风险预警, 然而其采用的

项目来源: 国家自然科学基金项目(61671248, 41605121); 江苏省重点研发计划项目(BE2018719); 江苏省“信息与通信工程”优势学科计划项目; 江苏省研究生科研创新计划项目(KYCX18_1038)

收稿日期: 2018-08-08 **修改日期:** 2018-09-21

ZigBee 监测控制网络,带宽严重不足,并且如果关键节点出现故障,后面的节点会全部受到影响,系统稳定性差,不适合实际应用。廖懿华等人^[3]利用多旋翼无人机低空采集农田信息,可快速、高效、准确获取农田信息,但是多旋翼无人机为欠驱动系统,在农田环境下其飞行稳定性易受自然风、电磁干扰等近地面环境因素影响,其飞行稳定性关系到能否采集符合要求的农田信息。孟志军等人^[4]设计的基于嵌入式组件技术的精准农业农田信息采集系统,进行田间地物分布信息采集、作物生长环境时空变化信息监测,但是本系统成本高,制作复杂,不适合小型农场的推广使用。傅瑶^[5]利用类壁虎农田信息采集机器人实时采集农田信息,智能化程度高,灵活性强,但是在实际应用中,由于植物接触面积较小,机器人的粘附作用较弱,机器人的运动稳定性差。

针对上述问题,本文设计了一种基于物联网模式的农田信息采集系统。本系统不仅集成了先进的微控制器芯片、多种高精度环境监测传感器、定位芯片和高速数据通信和存储模块,而且配备了远程 App 监测与完善的云端服务器系统,能够实现对作物叶绿素含量、空气温湿度、光照强度、土壤温湿度和田间位置等多参数农田信息的实时监测功能。实验表明该农田信息采集系统可以实时、准确、方便地采集农田信息和农作物的多种信息参数,具有成本低、及时、准确、易用等优点。

1 农田信息采集系统设计

农田信息采集系统由 3 个部分组成,包括农田信息采集装置、云端服务器和手机 App。本系统采用 ST 公司的 STM32F407ZGT6 芯片作为主控芯片,主频可达 168 MHz,同时具备 FPU 单元以及 DSP 指令功能,且片上资源能够满足本系统设计所需。农田信息采集系统设计方案如图 1 所示。

首先主控制器按相应的协议对各个传感器进行配置以实现农田环境要素的采集,然后利用 STM32F407ZGT6 对获得的环境要素数据进行编码,

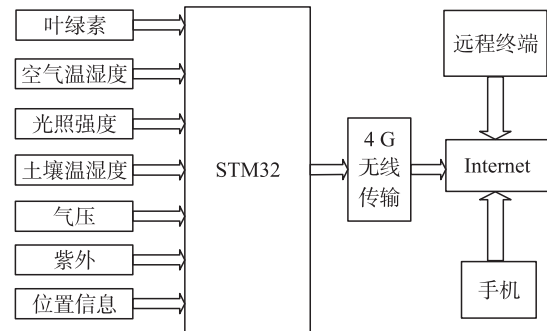


图 1 农田信息采集系统框图

并通过 4G 无线传输模块发送到云端服务器上;云端服务器对接收到的编码信息进行解析显示,同时将解析完的各环境要素保存到本地,以便为后期的农业生产的自动化管理提供详细的基础数据^[6]。此外,管理人员还可通过手机 App 对农田情况进行远程便携式的实时监控。结合实际需求,本系统的测量范围和精度要求如表 1 所示。

表 1 测量参数的基本要求

参数	单位	范围	精度
叶绿素	SPAD	0~100	±5%
空气温度	℃	0~50	±2%
空气湿度	%RH	20~90	±5%
光照强度	Lux	0~200 000	±3.5%
土壤温度	℃	-30~50	±2.5%
土壤湿度	%RH	0~99	±5.5%
气压	hPa	0~11 000 hPa	±0.5%
紫外	μW/cm ²	0~15 000	±10%

2 系统硬件设计

2.1 传感器选型

农田信息采集系统中最关键的部分是各环境要素的测量。根据所定的测量需求,本系统选用 DHT11 传感器进行空气温湿度测量,温度测量范围为 0℃~50℃,精度为±2℃,湿度测量范围为 20%RH~90%RH,精度为 5%RH,具有较高的可靠性和稳定性;选用 SMET-2 传感器测量土壤温湿度,该传感器内置温湿度补偿算法,可通过 RS-485 接口与主控制器连接;采用 B-LUX-V30B 光照传感器采集光照强度,其测量范围可达 0 Lux~200 000 Lux;选取 ML8511 传感器检测紫外线强度,其内含有一个放大器,可将光电流转换成与紫外强度成正比例关系的电压信号,通过 STM32F407ZGT6 芯片内部的 12 位 ADC 对其进行采样,并最终换算成对应的紫外强度值;气压检测模块选用 BMP280 传感器芯片,相对精度为±0.12 hPa equiv.±1 m,绝对精度为 typ.±1 hPa。

2.2 作物叶片叶绿素含量的快速无损检测技术

叶绿素含量是反映植物营养、光合作用和生长状况的重要指标,实时准确采集作物叶片叶绿素含量是作物营养诊断和科学施肥管理的基础^[7]。近年来,针对水稻、马铃薯、小麦、玉米等作物的叶绿素检测,基于多光谱的叶绿素相对含量测定方法吸引了众多研究者的关注。黄慧等人^[7]提出了定量分析模型,得出了叶片叶绿素相对含量与反射光谱之间的关系,通过研究冬小麦叶片叶绿素含量的无损检测,利用 MSC 和 SNV 预处理提高精度。叶绿素

在蓝光和红光区域是吸收高峰,吸收低谷是绿光区域,而几乎不吸收近红外区域的光。因此,选择红光区域和近红外区域进行叶绿素相对含量的测量。叶绿素吸收波长为 650 nm 的红光,而不吸收波长为 940 nm 的红外光。发射和接收近红外光是为了降低叶片厚度等因素对测量结果的影响。红光照射叶片后,叶片的叶绿素吸收一部分红光,并且反射少量红光后,接收器将剩余透过叶片的红光转换为电信号,然后 A/D 转换器将电信号转换为数字信号,微处理器通过数字信号计算叶绿素的相对含量,表示为 SPAD 值,定义为式(1):

$$SPAD = K \lg \left(\frac{IR_t / IR_0}{R_t / R_0} \right) \quad (1)$$

K 为常数; IR_t 为接收到的经过叶片的 940 nm 的红外光强度; IR_0 为发射的红外光强度; R_t 为接收到的经过叶片的 650 nm 红光强度; R_0 为发射的红光强度^[8]。

叶绿素测量模块由发光电路和光强检测电路两部分组成。光强检测电路采用 OPT101 传感器,其中集成了感光器、信号放大器和输出电压对光强的线性相关;A/D 模块采用 ADS7841,具有 12 位分辨率,且精度满足测量要求。叶绿素测量流程图如图 2 所示。

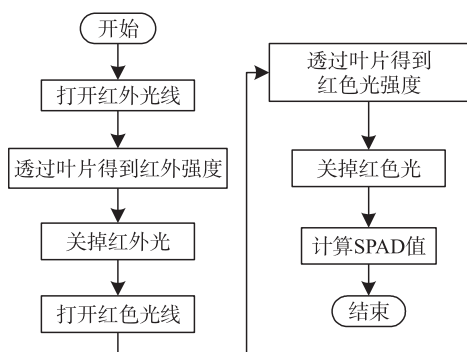


图 2 叶绿素测量流程图

2.3 田间定位

北斗定位系统是我国具有自主知识产权的导航定位系统,具有定位、授时以及短报文通信等功能^[9]。UM220-iii 芯片采用联合定位 BDS/GPS 双模系统,GNSS 多系统集成和卡尔曼滤波算法,以保证在各种复杂的环境有连续可靠的定位结果,并且其定位精度是 2.5 m CEP。数据接口采用 NMEA-0183 协议,广泛使用在现场的车辆监控,导航,通信,手持设备供电等方面^[10]。本系统可以将上述信息与农田信息采集装置得到的农田参数进行比较,使农业技术人员能够实时地了解不同领域作物的健康状况和环境信息。

在 UM220-iii UNICORE 协议,所有输入和输出

报表被称为消息。每个消息都是一些 ASCII 字符的字符串,所有信息开始的字符是 \$,只要从电文中的 GSV 和 RMC 部分提取出经纬度信息即可,具体解析流程如图 3 所示。

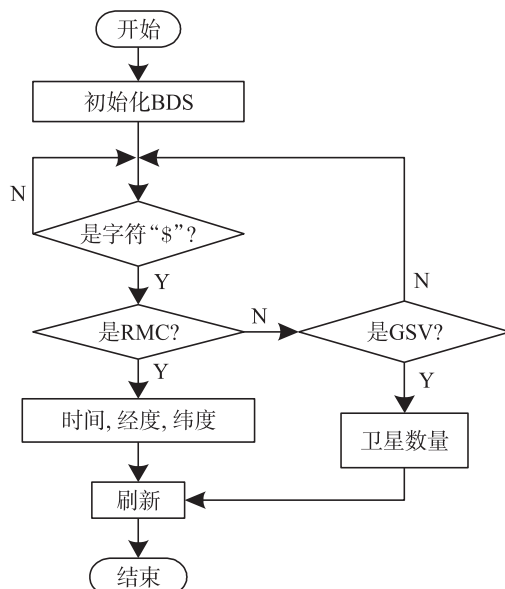


图 3 经纬度解析流程图

2.4 无线传输模块

无线传输使用 USR-LTE-7S4 无线传输模块^[11],它的核心功能是“透传”,便于集成开发且具有高度易用性。USR-LTE-7S4 共有 2 种工作模式,采用网络透传模式,用户的串口设备通过该模块和网络上指定的服务器进行数据交换。支持 AT 指令,本系统中其与主控制器之间采用串口通信,通信速度设为 115 200 bit/s。在发送数据之前需使用 AT 指令与云端服务器建立 TCP 连接,接收到连接建立成功反馈后即可发送数据,STM32 将各传感器检测到的各环境要素和位置信息按相应格式编码后,通过串口发送模块即可发送数据。

2.5 电源电路

电源电路模块使用太阳能电池板给锂电池充电^[12],然后由锂电池分压给各个模块供电,其硬件电路如图 4 所示。

采集系统需要 3 种电压源,+3.3 V,+5 V 和 +8 V。为了保证系统的稳定可靠运行,电源采用 3 个 18650 可充电锂电池串联,额定电压为 3.7 V,每个电池容量为 2 900 mA。然后,电源通过 LM2596S-ADI 调节输入电压+8 V 给 4G 模块供电,通过 MP2359 调节+5 V 给 BDS、土壤温湿度模块供电;+5 V 电压通过 AMS1117-3.3 调节+3.3 V 给 STM32、叶绿素、空气温湿度、光照强度、气压、紫外等模块供电。供电系统框图如图 5 所示。

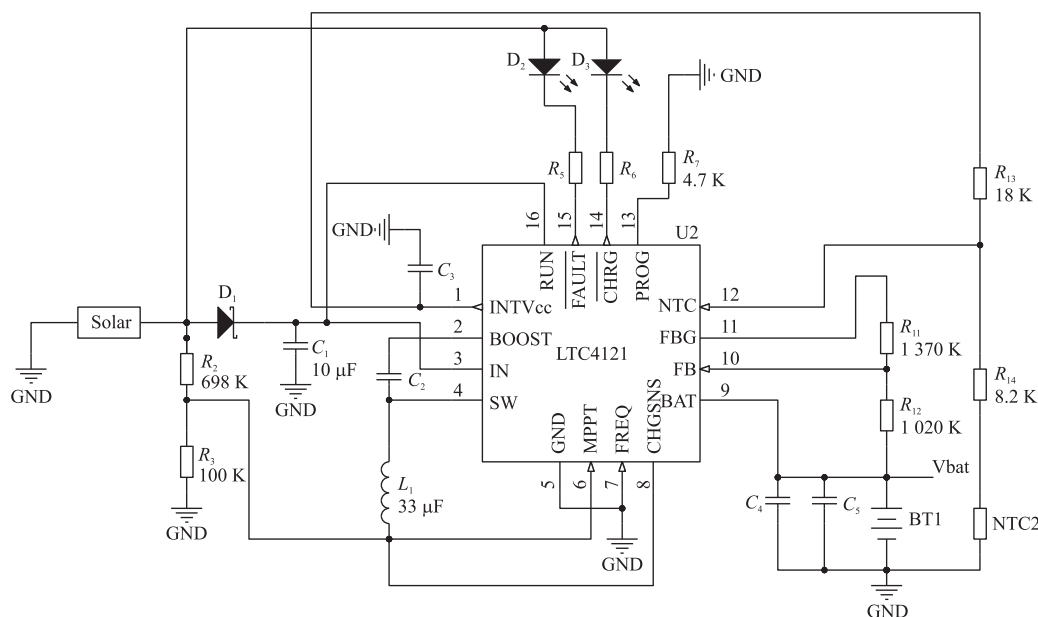


图 4 太阳能充放电硬件电路图

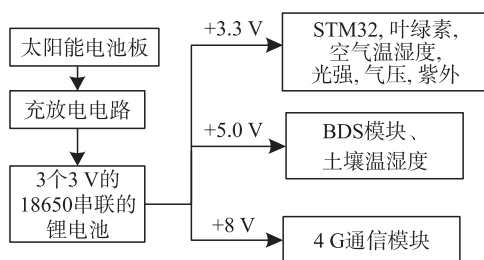


图 5 供电系统框图

3 采集装置的软件结构

农田信息采集装置实现农田信息采集、位置信息采集、无线数据传输等功能。操作系统采用UCOSIII,负责农田信息采集装置软件系统各个任务的创建与管理,确保整套系统的流畅运行^[13]。

农田信息采集装置运行流程如下:首先,初始化传感器与通信接口,然后读取各个传感器数据,并按照编码要求处理传感器数据,通过 4G 无线通信将数据发送到云端服务器。通过云端服务器或者手机客户端实时显示接收的数据,即可远程监控农田信息和农作物信息。

UCOSIII 操作系统通过控制七大任务的运行来实现农田信息采集装置的采集与调试功能,包括叶绿素相对含量的测定;环境温度和湿度的测量;光照强度的测量;土壤温度、湿度测量;环境气压和紫外的测量;经纬度信息的采集;解析农田信息、农作物信息以及定位数据。优先级较高的任务具有较高的实时性要求^[14]。系统的流程图如图 6 所示。

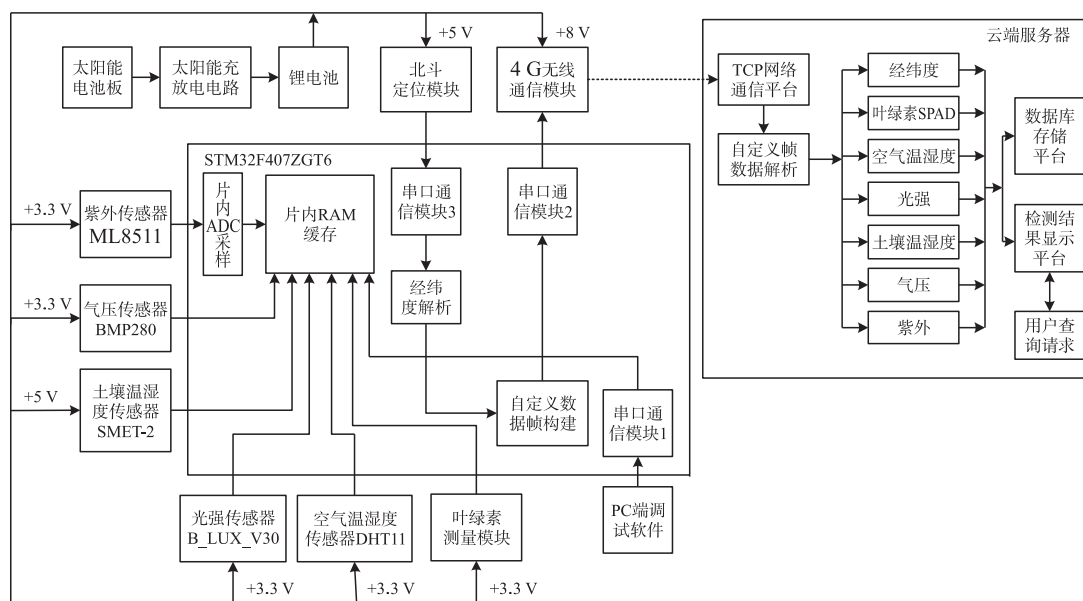


图 6 农田信息采集装置运行流程图

4 系统测试

系统测试地点位于南京信息工程大学气象实验基地,测试时间为2018年6月1日、6月5日和6月10日。采集系统操作如下:系统供电后,屏幕显示“请持有叶绿素夹”,在空载条件下实现红光和近红外光的光强测量,完成初始化标定。当采集叶绿素相对含量时,需要将叶片夹在夹子中,并按“叶绿素测量”按钮开始测量,结果将显示在屏幕上。收集土壤信息时,选择一个合适的测量点远离石头等硬的地区,消除砂土表面,保持土壤底层表面疏松程度、将测量探头垂直和完全插入土壤中,避免晃动探头。农田信息采集系统实物图如图7所示。

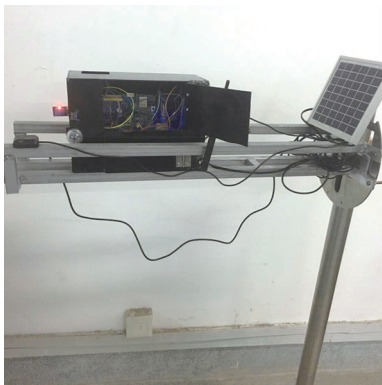


图7 农田信息采集系统实物图

所有传感器放置好后,打开农田信息采集装置。如果设置在自动模式,它将直接收集位置信息,空气温湿度,土壤温湿度,光照强度,气压,紫外等农田信息。农田信息的采集将很快显示在屏幕上,并通过4G无线传输整点上传到云端服务器。图8显示了在2018年6月1日实时农田信息。

手机APP^[15]方便查看实时农田信息,当采集设备在野外、大棚等无人值守的情况下长期运行时,可对农田信息进行实时远程监控。具体操作步骤是:打开手机的网络服务;运行程序;点击“打开服务



图8 实时农田信息显示图

器”按钮;手机会主动连接到云端服务器;成功连接后,如果服务器从农田信息采集系统接收数据,在服务器上运行的客户端软件将农田信息发送到手机;如果应用程序接收数据,将显示如图9所示。



图9 手机终端显示图

5 实验结果分析

为检测本系统精度是否可以满足实际检测需求,将本农田信息采集系统与高精度仪器进行对照。叶绿素测定仪采用TYS-A,空气温湿度检测仪采用ZOGLAB 佐格 DSR-THCO2 工业温湿度记录仪表,光照强度检测仪采用华谊 PM6612 高精度流明亮度仪,土壤温湿度检测仪采用顺科达土壤温湿度计,气压检测仪采用DQY 大气压检测仪,紫外检测仪采用紫外线强度检测仪器LS123。

本系统测量结果为实测值,高精度仪器测量结果为标准值。针对环境数据,本系统采用误差率 δ 来衡量各传感器的工作性能,误差率即实测值 $f_{\text{实测}}$ 和标准值 $f_{\text{标准}}$ 之间的绝对误差 Δ 与标准值 $f_{\text{标准}}$ 的比,误差率越低,农田信息采集准确性越高,具体计算式(2)所示:

$$\delta = \frac{|f_{\text{实测}} - f_{\text{标准}}|}{f_{\text{标准}}} \times 100\% \quad (2)$$

系统所测得的测量参数与相应标准值对比结果如表2~表4所示。

表 2 6 月 1 日 1 号试验田 9 点采集结果

测量参数	叶绿素 /SPAD	空气温 度/℃	空气湿 度/%RH	光照强 度/Lux	土壤温 度/℃	土壤湿 度/%RH	气压 /hPa	紫外 /(W/m ²)
实测值 $f_{\text{实测}}$	31.2	25	73	24 256.512	24	75%	1 011.00	12.3
标准值 $f_{\text{标准}}$	32.4	25	73	23 851.432	24	75%	1 012.00	12.4
绝对误差 Δ	1.2	0	0	405.080	0	0	1.00	0.1
误差率 δ	3.7%	0	0	1.70%	0	0	0.1%	0.81%

表 3 6 月 5 日 2 号试验田 14 点采集结果

测量参数	叶绿素 /SPAD	空气温 度/℃	空气湿 度/%RH	光照强 度/Lux	土壤温 度/℃	土壤湿 度/%RH	气压 /hPa	紫外 /(W/m ²)
实测值 $f_{\text{实测}}$	32.8	30	62	30 156.224	29	66	1 011.00	14.5
标准值 $f_{\text{标准}}$	33.1	30	61	30 512.480	29	67	1 012.00	14.7
绝对误差 Δ	0.3	0	1	356.256	0	1	1.00	0.2
误差率 δ	0.9%	0	1.63%	1.17%	0	1.49%	0.1%	1.36%

表 4 6 月 10 日 3 号试验田 18 点采集结果

测量参数	叶绿素 /SPAD	空气温 度/℃	空气湿 度/%RH	光照强 度/Lux	土壤温 度/℃	土壤湿 度/%RH	气压 /hPa	紫外 /(W/m ²)
实测值 $f_{\text{实测}}$	30.3	23	69	12 378.540	22	70	1 011.00	10.1
标准值 $f_{\text{标准}}$	30.9	24	70	12 557.146	23	69	1 010.00	9.9
绝对误差 Δ	0.6	1	1	178.606	1	1	1.00	0.2
误差率 δ	1.9%	4.17%	1.43%	1.42%	4.35%	1.45%	0.1%	2.02%

提取表 2~表 4 中的测量参数和误差率,可以得到 3 次监测结果的平均误差率,如表 5 所示。

表 5 平均误差率

测量参数	叶绿素	空气温度	空气湿度	光照强度	土壤温度	土壤湿度	气压	紫外
平均误差率 $\delta_{\text{平均}}$	2.17%	1.39%	1.02%	1.43%	1.45%	0.98%	0.1%	1.40%

分析表 2~表 4 的数据可知,三次监测结果中,各测量参数的误差率变化幅度较小:叶绿素采集误差率在 2.17%附近波动,空气温度采集误差可以稳定在 1 ℃ 以内,空气湿度采集误差率可以稳定在 1.02%,光照强度采集误差率可以稳定在 1.43%,土壤温度采集误差可以稳定在 1 ℃ 以内,土壤湿度采集误差率可以在 0.98%附近波动,气压采集误差率可以稳定在 0.1%,紫外采集误差率可以稳定在 1.40%,充分验证了本系统农田信息采集的稳定性。

分析表 5 可知,叶绿素、温度、湿度等测量参数的平均误差率完全在可控范围之内,并且符合表 1 测量参数的基本要求,可以说明本系统环境数据采集的准确性。

综上所述,该农田信息采集系统监测到的农田信息和农作物信息与高精度仪器所测得的数据基本一致。由于系统的固有误差、零点漂移误差等对测量数值产生了一定的影响,但是分析实验结果表明本系统可以以较小的误差进行农田信息采集。并且本文设计的系统便于用户随时随地进行远程监控,具有很强的实用性。

6 结论

基于物联网模式的农田信息采集系统集成多种高精度环境监测传感器、定位芯片和高速数据通信和存储模块,实现了对作物叶绿素含量、空气温湿度、光照强度、土壤温湿度和田间位置等多参数农田信息的实时监测功能,并且配备了完善的云端服务器系统,用户可以通过服务器界面和手机 APP 实时观察和统计监测信息,具有良好的人机交互性。

本系统具有成本较低、适用性广、实用价值高、数据采集精度高等特点。系统满足农田信息监测过程中对移动性、便捷性、多测点、远程监控等方面的要求,解决了农业信息监测中布线不便、传输范围小等难题,能够满足农业环境监测智能化、信息化的需求,具有很高的市场价值。

本系统有待在实际应用中不断积累和完善,还有很大提升空间。如果今后能结合深度学习算法通过农作物图像智能识别农作物生长阶段并通过该农田信息采集系统进行农作物的自动化灌溉、施肥、收割等措施,农业生产自动化管理能实现质的飞跃。

参考文献:

- [1] 车艳双,李民赞,郑立华,等. 基于 GPS 和 PDA 的移动智能农田信息采集系统开发[J]. 农业工程学报,2010,26(S2):109-114.
- [2] 薛文龙. 基于物联网的农田环境信息采集控制与预警系统[J]. 江苏农业科学,2017,45(9):195-198.
- [3] 廖懿华,张铁民,兰玉彬. 农田信息采集用多旋翼无人机姿态稳定控制系统设计与试验[J]. 农业工程学报,2017,33(3):88-98.
- [4] 孟志军,王秀,赵春江,等. 基于嵌入式组件技术的精准农业农田信息采集系统的设计与实现[J]. 农业工程学报,2005(4):91-96.
- [5] 傅瑶. 类壁虎农田信息采集机器人运动控制系统的研究[J]. 农机化研究,2017,39(1):96-100.
- [6] 项贤军,周荣晶,王才峰. 基于 STM32 的智能探测小车控制系统设计[J]. 电子测量技术,2016,39(4):86-89.
- [7] 黄慧,王伟,彭彦昆,等. 利用高光谱扫描技术检测小麦叶片叶绿素含量[J]. 光谱学与光谱分析,2010,24(1):25-26.
- [8] Bayaer Tubuxin, Parinaz Rahimzadeh-Bajgiran, Y-usaku Ginnan, et al. Estimating Chlorophyll Content and Photochemical Yield of Photosystem II(Φ PSII) Using Solar-Induced Chl-Orophyll Fluorescence Measurements at Different Growing Stages of Attached Leaves[J]. Journal of Experimental Botany, 2015, 66(18):5595-5603.
- [9] 顾一中,孙亚民,王华,等. 基于北斗定位系统的新型无线传感器网络路由算法[J]. 兵工学报,2009,30(3):306-312.
- [10] 龚凌翔,叶芝慧,冯奇,等. 基于 STM32 的北斗/RFID 组合定位系统设计[J]. 电子测量技术,2014,37(4):76-82.
- [11] 王萍,李颖哲,常若艇. 4G 移动通信城市环境电波传播特性测量与建模[J]. 电波科学学报,2008,23(6):1159-1163.
- [12] 朱舟,余绍俊,于勃,等. WSN 节点中能量管理方案设计[J]. 电子测量与仪器学报,2015,29(12):1798-1805.
- [13] 曹康,苏岩,万莹,等. 嵌入式数字微流控荧光液滴分选平台[J]. 仪器仪表学报,2016,37(S1):108-112.
- [14] 张帝,董飞,高彬,等. 基于嵌入式实时操作系统的智能矿灯设计[J]. 工矿自动化,2018,44(2):23-27.
- [15] Yamashita Jyunya, Okamoto Yoshihiro, Na-Kamura Yasuaki, et al. A Study on Estimates Setting for APP Decoding in Iterative Decoding System[J]. ITE Technical Report, 2010, 34.20(0):73-78.



吴 慧(1995-),女,2017 年于江苏理工学院获得学士学位,现为南京信息工程大学硕士研究生,主要研究方向为仪器仪表技术、信号检测与处理,1627986719@qq.com;



行鸿彦(1962-),男,通讯作者,1983 年于太原理工大学获得学士学位,1990 年于吉林大学获得硕士学位,2003 年于西安交通大学获得博士学位,现为南京信息工程大学教授、博士生导师,主要研究方向为气象仪器设计与计量,信号检测与处理等, xinghy@nuist.edu.cn。