



杨梅,刘木华,朱霏雨,等.基于蓝牙技术的土壤环境信息传感器设计[J].江西农业大学学报,2023,45(4):963-971.
YANG M,LIU M H,ZHU F Y,et al.Design of soil environmental information sensor based on bluetooth technology[J].Acta agricul-
turae universitatis Jiangxiensis,2023,45(4):963-971.

基于蓝牙技术的土壤环境信息传感器设计

杨 梅^{1,2},刘木华^{1,2},朱霏雨^{1,2},黄双根^{1,2},袁海超^{1,2},赵进辉^{1,2*}

(1.江西农业大学 工学院,江西 南昌 330045;2.江西省现代农业装备重点实验室,江西 南昌 330045)

摘要:【目的】为满足土壤环境信息的自动监测,适时了解土壤环境情况,及时分析土壤温湿度、光照等对农作物生长发育的影响,实现土壤环境信息的快速检测,设计一种基于蓝牙技术的土壤环境信息传感器。【方法】以STM8L051F3P6单片机为控制芯片,利用平行板电容探针、温度传感器、空气温湿度传感器、光敏电阻作为主要检测部件设计检测电路,分别检测土壤湿度、土壤温度、土壤周围的空气温湿度和光照强度,采用单节锂离子电池作为供电电源,同时将单片机与蓝牙通讯技术相结合,实现对被测区域土壤环境信息的实时监测。根据农业标准土壤水分测定法,配备不同土壤湿度样品,标定土壤湿度。【结果】完成土壤环境信息传感器的软硬件整体设计与土壤湿度标定试验:(1)信息采集,即土壤环境信息传感器通过各个模块的硬件检测电路实现土壤环境信息包括土壤温湿度、土壤周围空气温湿度、光照情况的实时采集;(2)数据处理,即该传感器将采集的原始信息数据经过单片机处理后实现土壤环境信息检测;(3)数据发送,即通过蓝牙技术将检测结果发送至用户端显示;(4)土壤含水率的标定,即采用设计的土壤环境信息传感器进行了土壤湿度标定试验,在土壤湿度0%~25%内建立输出电压值与土壤湿度之间的关系模型,模型的决定系数为0.935 2。【结论】设计的土壤环境信息传感器系统运行良好,能准确顺利地发送检测数据。土壤湿度标定试验结果表明,土壤环境信息传感器检测电压值对土壤湿度之间有良好的线性关系。整个传感器系统成本较低,易于制作,能保持长时间的使用。该传感器的测量范围也能满足大部分农业生产的需求,具有一定的实用价值。

关键词:传感器;土壤;环境信息;蓝牙技术

中图分类号:S237;TP212 文献标志码:A

开放科学(资源服务)标识码(OSID):

文章编号:1000-2286(2023)04-0963-09



Design of Soil Environmental Information Sensor Based on Bluetooth Technology

YANG Mei^{1,2}, LIU Muhua^{1,2}, ZHU Feiyu^{1,2}, HUANG Shuanggen^{1,2},
YUAN Haichao^{1,2}, ZHAO Jinhui^{1,2*}

(1. College of Engineering, Jiangxi Agricultural University, Nanchang 330045, China; 2. Jiangxi Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment, Nanchang 330045, China)

Abstract: [Objective] In order to meet the automatic monitoring of soil environment information, understand the soil environment conditions in a timely manner, analyze the effect of soil temperature, humidity,

收稿日期:2023-02-27 修回日期:2023-05-10

基金项目:江西省重点研发计划项目(20212BBF61014)

Project supported by the Key R&D Project of Jiangxi Province(20212BBF61014)

作者简介:杨梅,硕士生, orcid.org/0000-0003-1709-7083, 1843036190@qq.com; *通信作者:赵进辉,教授,博士,主要从事传感器与检测技术研究, zjhxiaocao@sina.com。

light and on crop growth and development and realize the rapid detection of soil environment information, a soil environment information sensor based on bluetooth technology was designed. [Method] Using STM8L051F3P6 microcontroller as the control chip, and parallel plate capacitor probe, temperature sensor, air temperature and humidity sensor, and photoresistor were used as the main detection components to the detection circuit, which respectively detected soil moisture, soil temperature, air temperature and humidity and light intensity around the soil. A single lithium-ion battery was used as the power supply. The single chip microcomputer and bluetooth communication technology were combined to realize the real-time monitoring of soil environmental information in the measured area. According to the agricultural standard soil moisture determination method, different soil moisture samples were prepared to calibrate soil moisture. [Result] The overall design of the hardware and software of the soil environment information sensor and the calibration test of soil moisture were completed: (1) Information collection. The soil environment information sensor realized real-time collection of soil environment information, including soil temperature and humidity, soil ambient air temperature and humidity, light conditions through the hardware detection circuit of each module; (2) Data processing. The sensor collected the original data after single-chip microcomputer processing to realize soil environment information detection; (3) Data transmission. Detection results were sent to the client for display through bluetooth technology; (4) Calibration of soil moisture content. The calibration test of soil moisture was conducted by using the designed soil environmental information sensor, and the relationship model between the output voltage value and soil moisture was established in the range of 0–25% of soil moisture. The coefficient of determination of the model was 0.935 2. [Conclusion] The soil environment information sensor system designed in this study works well, and it can send detection data accurately and smoothly. The results of soil moisture calibration test showed that the voltage value of soil environmental information sensor designed in this study has a good linear relationship with soil moisture. The cost of the entire sensor system is low. It is easy to manufacture, and it can be used for a long time. The measuring range of the sensor can also meet the needs of most agricultural production, and it has a certain practical value.

Keywords: sensor; soil; environment information; bluetooth technology

【研究意义】随着生活水平的提高,人们对蔬菜等农作物有了更高质量的需求。土壤是农作物赖以生长的物质基础,在农业中占据着不可或缺的关键地位。即使现代农业已经发展到无土栽培阶段^[1-2],但许多重要农作物仍然需在土壤中成长,其环境状况对农作物生长质量显得尤为重要^[3-5]。土壤的温度与湿度都是土壤环境信息的重要参数,各种农作物在不同生长期对土壤的温湿度要求不同,准确和及时地测定土壤的温湿度,有助于研究和了解土壤的动态变化规律和空间分布状态,从而有效控制农作物的生长和灌溉以取得更好的收成^[6]。土壤周围空气中的温湿度同样对农作物生长的土壤环境有着重要意义,它既可以影响农作物的生理作用、代谢过程,也可以通过土温土湿直接影响水肥的吸收和输导,甚至与农作物病虫害的发生也有密切联系^[7],准确和及时地测定土壤周围的空气温湿度,有助于提高农作物的生长质量。光照作为植物能量的唯一来源,影响着植物的生长、发育及其他许多特性^[8-10],也是土壤环境信息的重要参数之一。【前人研究进展】目前,许多学者针对土壤环境信息检测开展了大量研究,也得到了诸多成果。方圆等^[11]利用无线传感器,设计了一种精准灌溉、节约用水的棉田墒情监控系统。杨义等^[12]从物联网数据采集系统的角度出发,设计了基于NB-IoT与云平台的物联网数据采集系统,实现了环境土壤温湿度的可靠收集。周宇峰等^[13]为实现土壤碳通量监测,研制了可感知土壤CO₂浓度和温湿度等环境参数的检测装置。邓芳明等^[14]提出的一种基于无源射频识别传感标签的农田土壤环境监测技术,具有许多显著优点。

【本研究切入点】上述系统实现了土壤温湿度、CO₂浓度等信息的检测,建立起了土壤环境参数的收集、监测,但对多信息集成的土壤环境信息检测系统还有待进一步探索研究。【拟解决的关键问题】本研

究拟以单片机为主控,设计一款土壤环境信息传感器,通过探头以及传感器检测土壤温度、湿度,空气温湿度以及光照强度,利用蓝牙模块实现数据信息的无线传输,通过上位机界面直观显示土壤环境信息数据,监测土壤环境。

1 土壤环境信息传感器硬件系统设计

1.1 总体设计方案

基于蓝牙技术的土壤环境信息传感器硬件系统的总体框图设计如图 1 所示。其中以 STM8L051F3P6 单片机为主控,由空气温湿度检测电路,土壤湿度检测电路,土壤温度检测电路,光照检测电路,蓝牙模块,电源模块,下载电路组成。

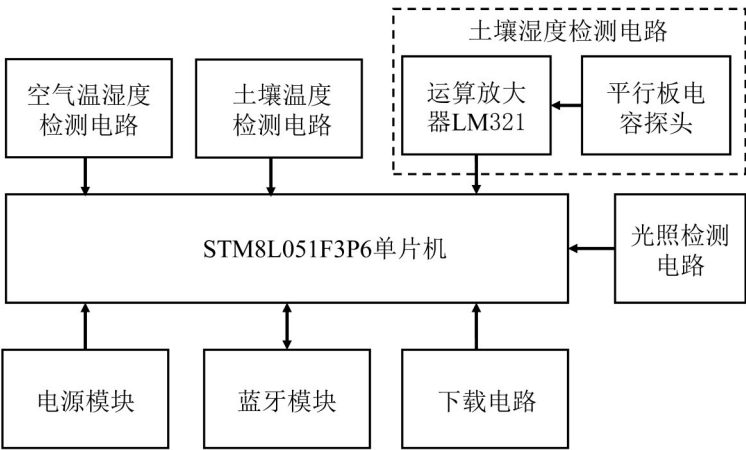


图 1 系统总体框架
Fig.1 Overall block diagram of the system

系统启动后,空气温湿度检测电路使用的空气温湿度传感器 SHT30 将检测到的空气温湿度数据传给单片机,以供处理;土壤湿度检测电路以平行板电容探头插入土壤的方式接通该检测电路,以模拟电阻的形式得出该土壤湿度下的电阻率,经运算放大器放大的模拟电压信号输入到单片机的 AD 口进行电压转换得到数字信号,再通过数据处理和运算得到土壤湿度;土壤温度检测电路以温度传感器 DS18B20 为核心检测土壤温度,并将测量结果直接以数字量形式传给单片机^[15];光照检测电路可通过光敏电阻阻值大小标定光照强度,转换成相应的电压值^[16];蓝牙模块可与单片机交流信息:当单片机将收集到的数据处理之后,蓝牙接收数据并传送给用户;用户发送指令时通过蓝牙传给单片机响应;电源模块则由锂电池进行供电,且能通过 USB 不断充电;下载模块与 PC 端相连,下载程序。

1.2 单片机主控模块设计

本研究设计的土壤环境信息传感器所使用的单片机为 ST 系列 STM8L051F3P6,其电路原理如图 2 所示。该单片机一共没有 20 个引脚,具体连接如下:1、2 号引脚分别与晶振相连,作为单片机的晶振电路;3、4 号引脚作为下载端口,分别设计了两种下载方式,可供用户进行下载方式选择;5、6 号引脚分别与蓝牙的串口接收、串口发送引脚相连,分别实现用户发送指令到蓝牙再到单片机响应、单片机接收数据发送到蓝牙再到用户两种功能;9 号引脚与光敏电阻相连;10 号引脚与土壤湿度检测电路相连;11 号引脚与温度传感器 DS18B20 的数据端口相连,实现单片机对温度传感器的读写操作;12 号引脚连接电源检测电路,实现单片机读取当前电压并与正常电压范围比较,判断工作是否稳定;13、17、20 号引脚分别与蓝牙模块相连,可进行蓝牙的模式配置、唤醒模式、角色选择;15、16 号引脚与充电模块的指示灯相连;18、19 号引脚分别与空气温湿度传感器 SHT30 的串行数据、串行时钟相连,实现传感器与单片机之间的数据的传输以及同步通信。

1.3 空气温湿度检测电路

空气温湿度检测电路所采用的传感器为 SHT30,其具体连接如图 3 所示。该传感器在正常温度范围

强,能构成一个高性能的温度检测系统。其测温范围在 $-55\sim+125\text{ }^{\circ}\text{C}$,在 $-10\sim+85\text{ }^{\circ}\text{C}$ 内最大误差为 $\pm 0.4\text{ }^{\circ}\text{C}$,满足本次设计要求,且为单总线接口,读出或写入信息仅需一个引脚就能进行,简化了硬件电路^[17-19]。DS18B20具有3个引脚,其中3号引脚VCC接3 V电源;2号引脚DQ为单总线通信接口,与单片机相连,传输信息;1号引脚接地。当系统初始化后,温度传感器就可以开始工作。

1.7 蓝牙模块

本设计的土壤环境信息传感器由蓝牙模块E104-BT02采集和发送信号,具体连接电路如图6所示。E104-BT02模块支持BluetoothV4.2标准,简单配置后可与符合蓝牙4.2协议的主机建立蓝牙连接,实现串口数据透传。

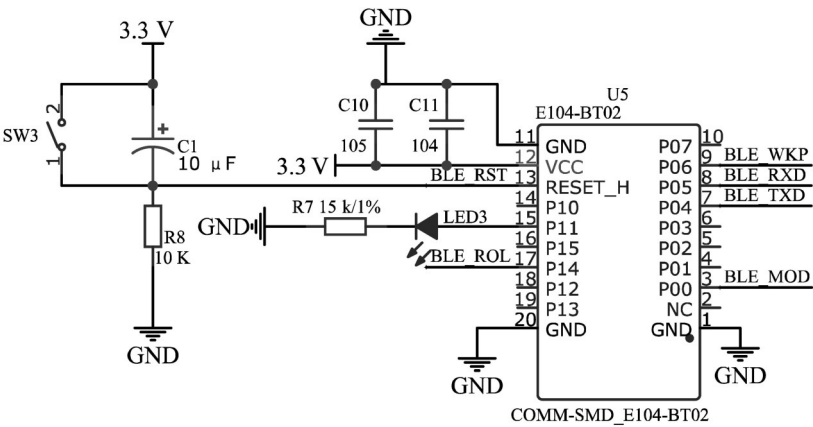


图6 蓝牙通讯电路

Fig.6 Bluetooth communication circuit

该蓝牙模块连接参考其数据手册推荐连接方式^[20]。当系统上电后,蓝牙未能匹配到与之通信的设备时,15号引脚的初始高电平使LED灯点亮,当蓝牙配对到通信设备时,15号引脚电平转为低电平使LED不导通熄灭;9号引脚功能为模块唤醒,低电平为唤醒模式,高电平持续6 s以上进入睡眠模式,该模块一般处于睡眠状态,能有效省电;8号引脚功能为串口接收,用户输入指令时蓝牙将收集到的指令发送给单片机响应;7号引脚功能为串口发送,其他模块采集到数据后传送给单片机处理后,蓝牙将信息传送给用户;3号引脚和17号引脚分别为模式配置、角色选择引脚,与单片机相连。

1.8 电源电路

为方便携带和测量,本设计使用锂电池供电方式,其电路原理图连接如图7所示。由于电池所带电压为4.2 V,整个电路的工作电压为3.3 V,所以使用XC6206系列XC6206P332MR线性稳压器,可将电压降到3.3 V并稳定在3.3 V左右。

为检测电池是否正常工作,设计了一个电源检测电路,具体连接电路图如图8所示。将测得的电池两端的电压输入到主控芯片,与程序代码标定电量百分比比较是否在其正常范围内来判断是否正常工作

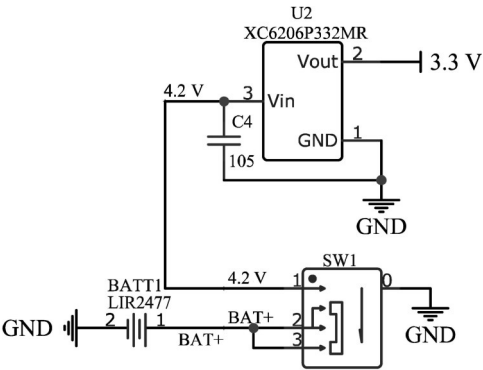


图7 电源电路

Fig.7 Power supply circuit

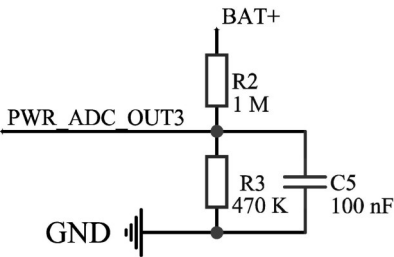


图8 电源检测电路

Fig.8 Power supply detection circuit

作。R2与R3在该设计中起稳压作用,保护电路。

充电电路原理图如图9所示。关于锂电池充电,本系统采用的是单节锂离子电池恒流/恒压线性充电器TP4057,其外围电路少,且具有防倒充电路,充电结束阈值是恒流充电电流的1/10^[20]。TP4057共有6个引脚,其中1号引脚CHRG为电池充电指示端与单片机15号引脚相连,5号引脚STDBY电池充电完成指示端与单片机16号引脚相连,并分别接了1个LED灯,用以提示充电中和已充满。当电池需要充电时,外接电源从4号引脚VCC流入,从3号引脚流入电池进行充电。

1.9 下载电路

本次设计了两种下载方式下载程序,连接原理图如图10所示。其一是用杜邦线连接外部下载器下载,其二是用USB直接连接PC端下载。当连接USB时,VCC连接外部电源,可给电池充电。

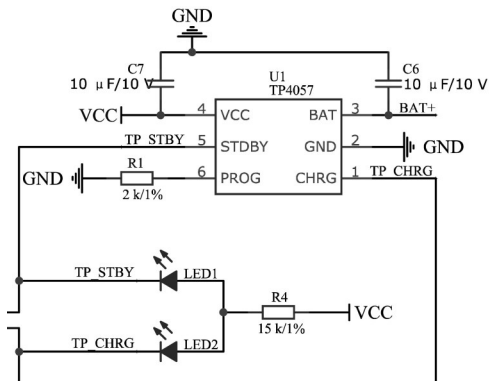


图9 充电电路

Fig.9 Charging circuit

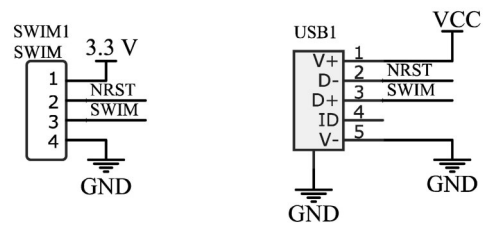


图10 下载电路

Fig.10 Download the circuit

2 土壤环境信息传感器软件系统设计

本设计的土壤环境信息传感器软件设计主流程图如图11所示。打开土壤环境信息传感器开关,电源接通后,程序先对硬件及外设进行初始化设置,包括系统时钟,电量计、ADC通道、蓝牙、串口等。初始化完成后,土壤环境信息传感器进行如下工作:判断唤醒标志、接收传输数据、控制进入低功耗模式。

该传感器执行任务时:唤醒标志为TRUE,通过串口接收指令并进行响应;唤醒标志为FALSE,开启RTC定时器中断,采集数据并发送后进入低功耗,等待下次被唤醒。

当传感器进入低功耗模式后,无法接收外部发来的串口数据指令,可行的方法是外部中断唤醒与RTC定时器中断唤醒:1)蓝牙模块7号引脚与单片机PA3相连,在进入低功耗模式之前将PA3设置为外部中断触发模式,当蓝牙接收到数据时即可通过外部中断唤醒单片机,令唤醒标志为TRUE,开启串口接收中断进而接收指令响应串口数据;2)RTC定时器唤醒即通过进入低功耗模式之前开启的RTC定时器中断入口,使能RTC中断,有周期地唤醒此中断来采集数据并发送,然后继续流程。

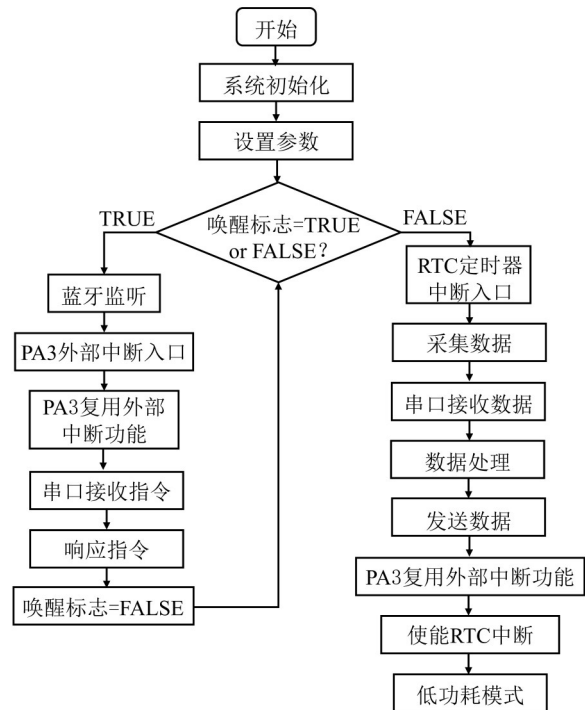
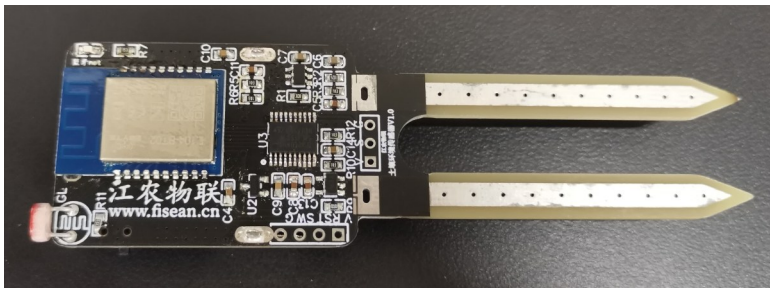


图11 系统主流程

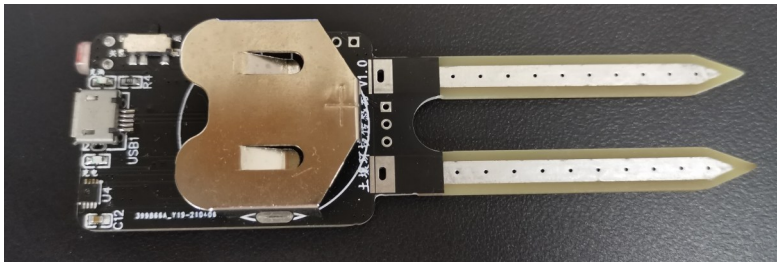
Fig.11 Main flow diagram of the system

3 系统调试

土壤环境信息传感器实物图如图 12 所示。该传感器进行土壤湿度检测的平行板电容探针尺寸为 6 mm×45 mm,与印刷电路板同一材质,腐蚀问题较小,可保持长时间的使用。因此,该土壤环境信息传感器适用于绝大部分农田土壤环境检测。测试过程如下:打开电源,蓝牙模块的 LED 灯被点亮,当蓝牙连接到设备后进入低功耗模式,即蓝牙模块的 LED 灯会熄灭,将传感器插进土壤中,传感器就能进入状态,开始传输数据。设备显示接收数据如图 13 所示,依次为电量、土壤温度、土壤湿度、空气温度、空气湿度与光照百分比。



A. 土壤环境信息传感器的正面。
A.The front of the soil environment information sensor.



B. 土壤环境信息传感器的背面。
B.The back of the soil environment information sensor.

图 12 土壤环境信息传感器

Fig.12 Soil environment information sensor

本次试验根据农业标准 NY/T52—1987《土壤水分测定法》^[21]的有关说明配置不同土壤湿度样品进行土壤湿度标定。在室温 22 ℃ 环境下进行传感器湿度标定,取土壤湿度在 0%~25% 内共 9 组不同土壤湿度样品作为测量点,测量时将平行板湿度探头完全插入到土壤中,静置 30 min,得到不同土壤湿度下的 A/D 采样值。对湿度与输出电压值进行线性拟合,如图 14 所示,得到湿度标定曲线为 $\text{Humid} = -16.881 \cdot \text{Voltage} + 27.094$,标定曲线的决定系数 $R^2 = 0.935\ 2$ 。与文献[22]中的土壤湿度传感器标定曲线决定系数(0.915 9)相比,本研究设计的传感器标定曲线决定系数有一定提高。



图 13 数据显示
Fig.13 Shows the data

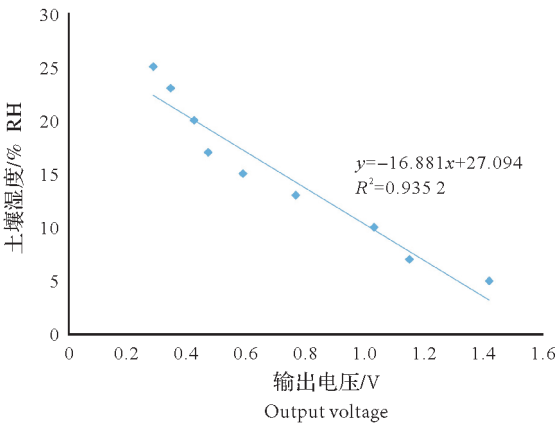


图 14 土壤湿度标定曲线
Fig.14 Calibration curve of soil moisture

4 结论

本设计利用传感器与蓝牙技术,对土壤环境信息检测系统进行了研究,主要结论如下:

(1)设计了一种基于蓝牙技术的土壤环境信息传感器,采用传感器和单片机对土壤温湿度、空气温湿度、光照强度进行实时检测,并通过土壤环境信息传感器标定试验,建立了土壤湿度标定曲线,其决定系数为0.935 2。

(2)利用蓝牙模块和单片机实现采集数据信息和发送的双向通信,实现对土壤环境的实时监控。

(3)该传感器试验结果表明了系统运行稳定,检测精度高,且还具有成本低、功耗低、无污染、适合农田土壤环境长期监测等显著优点,对提高农业环境监测可视化、信息化,推动智慧农业具有重要意义。

致谢:江西省教育厅科技计划项目(GJJ210420)同时对本研究给予了资助,谨致谢意!

参考文献 References:

- [1] 白百一,李文一,陈杏禹,等.无土栽培基质研究进展[J].现代农业科技,2022(16):55-59.
BAI B Y, LI W Y, CHEN X Y, et al. Research progress of soilless cultivation substrate [J]. Modern agricultural science and technology, 2022(16):55-59.
- [2] OBAID A A, KHALIL N H, AL-ALAWY H H, et al. Effect of planting density, foliar spraying and overlapping system on the growth and productivity using soilless culture system[J]. Journal of the saudi society of agricultural sciences, 2022, 21(8):506-510.
- [3] 音春燕,吴荡,王康,等.大棚环境因子对青萝卜肉质根膨大期营养生长的影响[J].安徽科技学院学报,2021,35(5):66-71.
YIN C Y, WU D, WANG K, et al. Effects of greenhouse environmental factors on vegetative growth of fleshy root of green radish during Expansion stage[J]. Journal of Anhui university of science and technology, 2021, 35(5):66-71.
- [4] 姚琪.设施温湿环境对马铃薯杂交结实的影响[D].延边:延边大学,2021.
YAO Q. Effects of temperature and humidity on potato hybrid fruit[D]. Yanbian: Yanbian University, 2021.
- [5] 乐章燕,刘晶森,廖荣伟,等.土壤温湿度对玉米根系的影响[J].玉米科学.2013,21(6):68-72.
LE Z Y, LIU J M, LIAO R W, et al. Effects of soil temperature and humidity on maize root system[J]. Journal of maize science, 2013, 21(6):68-72.
- [6] 戴宇培.土壤温湿度传感器及其数据采集系统设计[D].南京:南京林业大学,2017.
DAI Y P. Design of soil temperature and humidity sensor and data acquisition system[D]. Nanjing: Nanjing Forestry University, 2017.
- [7] 黄媛,李瑜玲,杨英茹,等.一种温室大棚空气温湿度监测装置的设计[J].湖南农业科学,2020(1):86-89.
HUANG Y, LI Y L, YANG Y R, et al. Design of air temperature and humidity monitoring device in greenhouse[J]. Hunan agricultural sciences, 2020(1):86-89.
- [8] 苏立芳.LED补光对日光温室黄瓜生长、生理指标及品质的影响[D].邯郸:河北工程大学,2018.
SU L F. Effects of LED supplementary light on growth, physiological indexes and quality of cucumber in solar greenhouse [D]. Handan: Hebei University of Engineering, 2018.
- [9] 赵玉萍,邹志荣,杨振超,等.不同温度和光照对温室番茄光合作用及果实品质的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2010,38(5):125-130.
ZHAO Y P, ZOU Z R, YANG Z C, et al. Effects of different temperature and light on photosynthesis and fruit quality of greenhouse tomato[J]. Journal of northwest A & F university (natural science edition), 2010, 38(5):125-130.
- [10] 戚文乐,武晶晶,吴嘉乐,等.结实期遮光对不同类型晚稻产量和品质的影响[J].江西农业大学学报,2022,44(6):1329-1339.
QI W L, WU J J, WU J L, et al. Effects of shading during fruiting period on yield and quality of different types of late rice[J]. Acta agriculturae universitatis Jiangxiensis, 2022, 44(6):1329-1339.
- [11] 方圆,张立新,胡雪,等.基于无线传感器的棉田土壤墒情监控系统设计[J].农机化研究,2020,42(11):71-75.
FANG Y, ZHANG L X, HU X, et al. Design of soil moisture monitoring system in cotton field based on wireless sensor[J].

- Research on agricultural mechanization, 2020, 42(11): 71-75.
- [12] 杨义, 刘会丹, 万雪芬, 等. 基于环境温湿度的土壤水分温度预测研究[J]. 现代电子技术, 2022, 45(18): 159-165.
YANG Y, LIU H D, WAN X F, et al. Prediction of soil moisture temperature based on ambient temperature and humidity[J]. Modern electronic technology, 2022, 45(18): 159-165.
- [13] 周宇峰, 吴晓平, 周国模, 等. 基于无线传感网的土壤碳通量测量装置研制[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(11): 125-129.
ZHOU Y F, WU X P, ZHOU G M, et al. Development of soil carbon flux measuring device based on wireless sensor network[J]. Journal of experimental technology and management, 2021, 38(11): 125-129.
- [14] 邓芳明, 吴翔, 李兵, 等. 基于无源RFID传感标签的农田土壤环境监测技术研究[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 187-193.
DENG F M, WU X, LI B, et al. Research on farmland soil environment monitoring technology based on passive RFID sensor tags[J]. Transactions of the Chinese society for agricultural machinery, 2018, 49(8): 187-193.
- [15] 李想. 温度传感器DS18B20在温室大棚中的实现[J]. 南方农机, 2020, 51(16): 182-183.
LI X. Implementation of temperature sensor DS18B20 in greenhouse[J]. Southern agricultural machinery, 2020, 51(16): 182-183.
- [16] 范雄杰. 基于51单片机控制的智能LED灯[J]. 科技与企业, 2015(9): 75.
FAN X J. Intelligent LED lamp controlled by 51 microcontroller[J]. Science and technology enterprises, 2015(9): 75.
- [17] 张仲明, 郭东伟, 吕巍, 等. 基于DS18B20温度传感器的温度测量系统设计[J]. 实验技术与管理, 2018, 35(5): 76-79.
ZHANG Z M, GUO D W, LYU W, et al. Design of temperature measurement system based on DS18B20 temperature sensor[J]. Experimental technology and management, 2018, 35(5): 76-79.
- [18] 刘海萍, 苏世彬. 基于DS18B20的温度采集系统设计[J]. 科技信息, 2009(11): 26-29.
LIU H P, SU S B. Design of temperature acquisition system based on DS18B20[J]. Science and technology information, 2009(11): 26-29.
- [19] 赵松. 田间土壤温度无线监测系统研究[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
ZHAO S. Research on wireless monitoring system of field soil temperature[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.
- [20] 王伟. 便携式燕麦含水率测量仪的研制[D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2014.
WANG W. Development of portable Oat moisture content measuring instrument[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2014.
- [21] 中华人民共和国农牧渔业部. 土壤水分测定法: NY/T52—1987[S]. 北京: 中国标准出版社, 1987.
Ministry of Agriculture, Animal Husbandry and Fisheries of the PRC. Soil moisture determination method: NY/T52—1987[S]. Beijing: Standards Press of China, 1987.
- [22] 甘露萍, 谢守勇, 杨艳. 一种土壤湿度传感器的研制[J]. 农机化研究, 2008(10): 91-94.
GAN L P, XIE S Y, YANG Y. Development of soil moisture sensor[J]. Journal of agricultural mechanization research, 2008(10): 91-94.