

## 设计与制造

基于频域反射法的便携式土壤水分检测仪研制<sup>\*</sup>江朝晖<sup>1</sup>, 檀春节<sup>1</sup>, 支孝勤<sup>2</sup>, 王春生<sup>1</sup>, 马友华<sup>2</sup>

(1. 安徽农业大学 农业信息学安徽省重点实验室, 安徽 合肥 230036;

2. 安徽农业大学 资源环境与信息技术研究所, 安徽 合肥 230036)

**摘 要:** 根据土壤墒情监测的具体要求, 研制了一种新型便携式土壤水分检测仪。基于频域反射(FDR)原理采集土壤容积含水量, 采用标准的烘干称重实验对测量结果进行校正, 并同时获取检测点经度、纬度信息及实时时间, 通过 GPRS/GSM 及时传送给远程数据中心和责任人。实地测试表明: 土壤水分测量误差 < 3%, 数据传输无误。该仪器性价比高, 操作简便, 适合农技人员使用, 对土壤墒情实时监测和智能决策具有重要现实意义。

**关键词:** 土壤含水量; 频域反射; 远程无线通信; 便携式检测仪

中图分类号: TP 274 文献标识码: A 文章编号: 1000-9787(2013) 01-0079-04

Development of portable soil moisture detector based on principle of frequency domain reflectometry<sup>\*</sup>JIANG Zhao-hui<sup>1</sup>, TAN Chun-jie<sup>1</sup>, ZHI Xiao-qin<sup>2</sup>, WANG Chun-sheng<sup>1</sup>, MA You-hua<sup>2</sup>

(1. Anhui Key Laboratory of Agricultural Informatics, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. Institute of Resources Environment and Information Technology, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China)

**Abstract:** According to the specific requirements for soil moisture content monitoring, a new type of portable soil moisture detector is developed. The instrument measure soil moisture based on principle of frequency domain reflectometry(FDR) and calibrates the result by standard method of drying-weighing, obtain geographic location and test time at the same time. Measurement information is transferred to remote data center and mobile phone via GPRS/GSM in time. Field tests show that the measurement error is less than 3%, data transmission without error. The new portable soil moisture detector has advantages such as high cost-effective, simple operation, which is suitable for agricultural technician to use, has important practical significance for soil moisture real time monitoring and intelligent decision-making.

**Key words:** soil moisture; frequency domain reflectometry(FDR); remote wireless communication; portable detector

## 0 引 言

土壤的水分含量、耕作特性等对农作物的产量影响很大, 因此, 在每年的春播、秋种时节要及时、准确地获得土壤墒情, 以便合理安排灌溉。土壤含水量是土壤墒情的重要指标, 土壤含水量的准确、实时检测是现代农业面临的课题之一<sup>[1]</sup>。既要求对土壤湿度的准确性、均匀性、波动性进行客观的计量检测, 同时又有快速、方便、规范化等要求<sup>[2]</sup>。土壤水分测量经历了一个漫长的发展过程<sup>[3]</sup>: 传统的人工测量不仅要耗费大量的人力、物力, 而且时效性较差; 各种机械式湿度记录仪或巡检仪体积庞大、精度低、响应时间长, 且容易出现故障; 采用高分子湿敏电容器或湿敏电阻器

作为湿度传感器, 虽然提高了测量的精度, 但是测量电路复杂, 给应用带来了诸多不便。目前, 新的水分检测原理研究和新型土壤水分传感器设计取得了长足的进展, 在此基础上应用现代电子、计算机和通信技术设计研制了各种高性能的土壤水分检测装备<sup>[4-8]</sup>。

尽管固定式墒情监测系统具有精度高、功能齐全、监测面广等优势, 但其主要不足在于从固定点采集的墒情信息不能良好地反映耕地的正常使用状况。而手持式土壤水分测量仪则克服了这一缺点, 且性价比高, 方便农技、科研人员使用和推广, 具有广泛的市场需求和广阔的应用前景。但是现有的便携式土壤水分测量仪器大都具有以下特点:

收稿日期: 2012-11-07

<sup>\*</sup> 基金项目 “十一五”国家科技支撑计划资助项目(2009BADA6B02); 安徽省高校自然科学研究重点项目(KJ2012A103)

测量数据先保存在存储器或SD卡中,测量结束后将数据导入计算机进行后续处理,不仅易发生数据丢失,而且测量数据不能及时应用;缺乏测量位置、实时时间等辅助信息的自动获取,测量时由人工或其他设备记录测量位置,根据人工或测量仪器时钟获得测量时间,容易引起数据错乱和误差,不利于与GIS系统自动结合;另外,在传感器选用、测量结果校正等方面也存在不足。本文基于频域反射(FDR)原理,采用GPS/GPRS/GSM技术、结合标准的实验校正方法,研制一种新型的便携式土壤水分检测仪。

### 1 总体架构与功能

便携式土壤水分检测仪由土壤水分传感器、GPS信息接收模块、微处理控制器模块、键盘/显示模块、GPRS/GSM通信模块、可充电电源模块和相应软件组成,如图1所示。

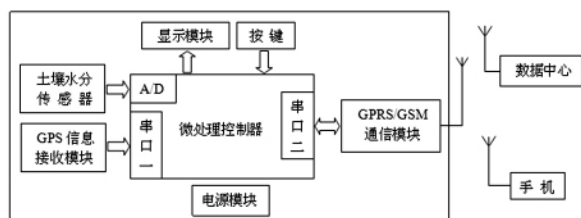


图1 土壤水分检测仪总体结构

Fig 1 Overall structure of soil moisture detector

土壤水分传感器输出模拟的相对湿度信号,经A/D转换输入到微处理控制器;GPS接收模块通过串口连接微处理控制器,获取经度、纬度和实时时间;LCD屏显示容积含水量、检测点位置、检测时间以及其他操作、提示信息;GPRS/GSM模块通过串口与微处理控制器相连,发送数据报或短信;微处理控制器统筹上述各模块工作,并负责原始水分数据的校正处理、GPS信息解析、数据打包和通信联络;电源模块给上述各模块供电,外接充电器。

有2种信息传输模式供选择:通过GPRS模式可将所有信息实时传输给远程数据中心,由数据中心进行进一步的处理和应用;通过GSM模式可将所有信息发送给多个手机用户,便于责任人及时了解墒情动态。

### 2 功能模块设计

#### 2.1 土壤水分传感器

基于介电法原理的土壤水分测量主要有时域反射(time domain reflectometry, TDR)测量法、频域反射(frequency domain reflectometry, FDR)测量法。与TDR相比,FDR在电极几何形状设计和工作频率选取上有更大的自由度,校准和自动连续监测更容易,测量精度较高,因此,采用FDR原理的土壤水分传感器更适合实际生产的需求。FDR是根据电磁波在介质中传播频率来测量土壤的表现介电常数 $\epsilon$ ,从而得到土壤容积含水量 $\theta_v$ 。传感器简化模型如图2所示。FDR探针等效为一个电容器,其间的土壤充当电介质,电容器和振荡器组成一个调谐电路。高频振荡电路产生几

十至几百兆赫的正弦信号,通过同轴电缆传输线传送到探头,根据扫频电路检测共振频率<sup>[9-11]</sup>。

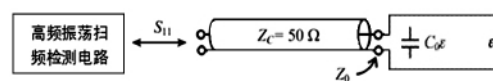


图2 土壤水分传感器模型

Fig 2 Model of soil moisture sensor

根据此模型,探针的等效阻抗 $Z_0$ 由式(1)表示,其中, $C_0$ 为探针在空气中的等效电容, $Z_{air}$ 为探针在空气中的等效阻抗, $\epsilon$ 为土壤的介电常数, $\omega$ 为角频率。 $Z_c$ 为同轴电缆传输线的阻抗, $S_{11}$ 为反射系数,由式(2)定义,由式(2)可得式(3),即 $Z_0$ 与 $Z_c$ 、 $S_{11}$ 的关系。将式(1)和式(3)结合,并按式(3)形式用空气中反射系数 $S_{11air}$ 表达 $Z_{air}$ ,则得到式(4)的 $\epsilon$ 。再根据式(5)计算土壤容积含水量 $\theta_v$ 。

$$Z_0 = \frac{1}{j\omega C_0 \epsilon} = \frac{Z_{air}}{\epsilon} \quad (1)$$

$$S_{11} = \frac{Z_0 - Z_c}{Z_0 + Z_c} \quad (2)$$

$$Z_0 = Z_c \frac{1 + S_{11}}{1 - S_{11}} \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{(1 + S_{11air})(1 - S_{11})}{(1 - S_{11air})(1 + S_{11})} \quad (4)$$

$$\theta_v = a \sqrt{\epsilon} + b \quad (5)$$

其中 $a$ 和 $b$ 由土壤类型决定。

本设计采用一种电流输出型FDR传感器,主要技术指标包括:量程为0%~100%,精度为 $\pm 3\%$ ,响应时间 $< 2s$ ,外接5~12V直流电压,采用电流/电压转换电路将其输出电流转换成0~5V的电压信号。

#### 2.2 GPS接收与GPRS/GSM通信

当前GPS接收技术与GPRS/GSM通信技术较为成熟,已广泛应用在各种测量仪器中<sup>[5,12,13]</sup>。本设计选用一种集成了GPS/GPRS/GSM功能的低功耗三合一模块,其中,GPS芯片是GS-91,GPRS/GSM芯片是SIMCOM公司的SIM100,内置TCP/IP协议,支持AT指令集。GPS模块通过串口将测试点地理位置信息送入微处理控制器,解析出精度、维度和时间,与测量的土壤水分数据整合,按照编码协议封装成数据帧,再以一定的流程编辑AT指令,并将指令和数据帧发送至GPRS/GSM电路,实现GPRS与Internet的网络连接和数据传输。

考虑到农田水分监测的特殊性和实用性,短信每次可同时发送给多个(可设置)手机用户,并且在偏远地区通信信号质量不稳定时,通过握手信号建立数据重发机制。

#### 2.3 控制处理模块

微控制/处理器采用STC12C5A60S2,它是一种高速/低功耗/超强抗干扰的新一代单片机,增强型8051内核,单时

钟/机器周期 8 路 10 位高速 A/D 转换 程序空间 60 kbyte , 片上 1280byteRAM ,双 UART 串口 ,通用 I/O 口 36 个 4 个 16 位定时器 ,7 路外部中断 ,在系统可编程 ,工作电压为 5.5~3.3 V ,工作频率范围为 0~35 MHz。

微控制/处理器统筹仪器的采集、处理、显示和远程传输。通过内置的 A/D 转换器将土壤水分传感器送来的模拟电压信号转换为数字信号 ,并按照预先设计的校正函数进行修正 通过串口 1 读取 GPS 信息 ,并解析出经度、纬度和时间 ,将含水量、经度、纬度和时间信息在 LCD 上显示 ,根据按键选择信息发送模式 ,按通信协议将含水量、经度、纬度和时间信息打包 ,通过串口 2 以 GPRS 或 GSM 模式进行通信联络和数据传输。主程序与 GPS 接收、GPRS 联络中断服务程序流程如图 3 所示。

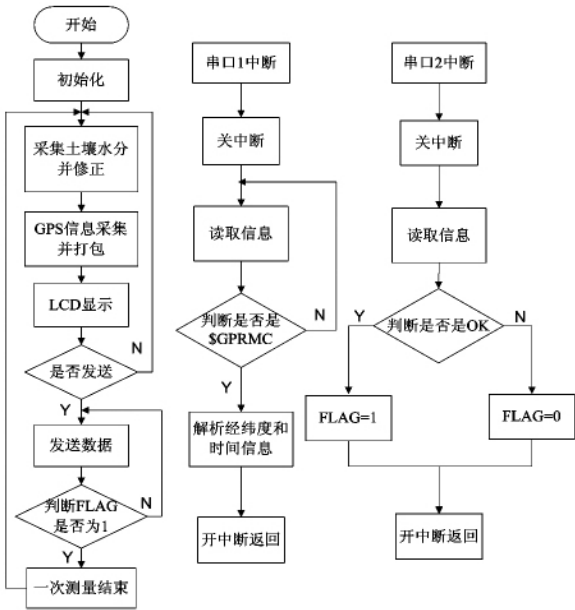


图 3 软件流程图

Fig 3 Software flow chart

2.4 电源模块

电源模块设计是便携式仪器的核心内容之一 ,需要综合考虑功耗、效率、重量/体积、成本以及使用方便性。本检测仪需要 3 路不同的电压和带载能力 ,其中土壤水分传感器需要 5~12 V 供电 ,单片机和 LCD 需要 5 V 供压 ,GPS/GPRS/GSM 模块需要 5~9 V 供电 ,且电流较大 ,在发送数据时大于 1 A。电源模块框图见图 4 选用一种 5500 mAh 可充电的锂电池组作为供电电源 ,其电压范围较宽 ,达到 4.5~8 V。设计 2 路稳压电路 ,一路通过 LM2577 升压作为 GPS/GPRS/GSM 模块的电源 ,可获得较大电流 ,降低功耗; 另一路采用 LM2577 升压和 LM1117 稳压 ,分别供给水分传感器和单片机/LCD 模块。LM2577 效率高 ,外围器件较少 ,设计方便。

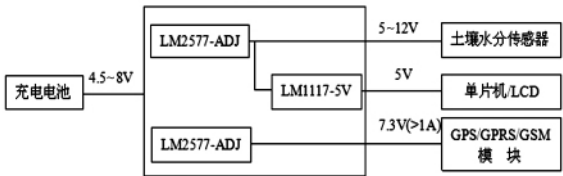


图 4 电源模块框图

Fig 4 Block diagram of power supply module

3 校正与测试

3.1 实验校正

采用标准的烘干称重法进行仪器校正<sup>[2]</sup>。在实验室中配置不同含水量梯度的原状土土壤样品 ,分别用研制的土壤水分检测仪和烘干称重法对每份样品进行测量和测定 ,每份样品各进行 3 次。

对上述实验获得的数据 ,用 Matlab 软件进行曲线拟合<sup>[8]</sup> ,如图 5 所示。经过反复实验和比较 ,获得式 (6) 的校正函数 ,固化在微处理程序中。

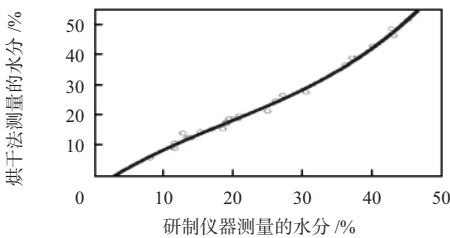


图 5 实验校正曲线

Fig 5 Experimental calibration curve

$$y = 5.4983 \times 4x^3 - 0.0314x^2 + 1.5346x - 4.2174 \quad (6)$$

需要特别指出的是 ,现有的土壤水分传感器只能测量土壤的容积含水量 ,而土壤墒情监测和决策需要获知土壤的质量含水量 ,两者之间的关系见式 (7)

$$\text{土壤质量含水量} = \text{土壤容积含水量} / \text{土壤容重} \quad (7)$$

土壤容重与土壤的类型、性状密切相关 ,不同地域的差异较大。因此 ,为了保证水分检测仪具有普遍适用性 ,容积含水量与质量含水量的换算放在数据中心( 后台) 进行 ,按照检测仪结果和测试点典型土壤容重自动换算。

3.2 实地测试

研制了一批便携式土壤水分检测仪样机 ,分别编号 ,在安徽省明光市进行了实地测试 ,部分结果见表 1 结果表明: 土壤容积含水量测量误差小于 3 % ,GPS 信息接收和 GPRS/GSM 通信正常 ,检测仪充电一次可连续工作 30 d 以上。目前 ,该检测仪已在明光市下属 8 个乡镇农技站试用。

4 结束语

针对我国土壤墒情监测的现实需求和现有土壤水分检测仪器存在的局限 ,本文研制了一种多功能、便携式土壤水分检测仪 ,该多功能便携式土壤水分检测仪为墒情监测决

表 1 安徽省明光市测试结果

Tab 1 Test results		
序 号	含水量( %)	采样时间
1	11.00	2012-3-27 10:33:53
2	23.32	2012-3-27 10:46:41
3	11.43	2012-3-27 11:44:14
4	8.41	2012-3-27 11:49:02
5	26.47	2012-3-27 15:22:24
6	50.63	2012-7-10 10:52:34
7	50.63	2012-7-10 10:52:37
8	50.63	2012-7-10 10:53:46
9	50.63	2012-7-10 10:54-39
10	50.63	2012-7-10 10:55:02
11	50.63	2012-7-10 10:56:59
12	24.94	2012-7-12 16:26:28
13	24.94	2012-7-12 16:27:02

策系统提供了实时、准确、广泛的数据来源,提高了墒情监测、决策的自动化和智能化水平,有利于防灾减灾,提高水资源利用率,促进粮食高产,具有较好的应用前景。

参考文献:

[1] 罗锡文,臧英,周志艳.精细农业中农情信息采集技术的研究进展[J].农业工程学报,2006,22(1):167-173.

[2] SL 364-2006 土壤墒情监测规范[S].北京:中国水利水电出版社,2006.

[3] 邓英春,许永辉.土壤水分测量方法研究综述[J].水文,2007,27(4):20-24.

[4] Yunseop K ,vans R G ,Iversen W M. Remote sensing and control of

an irrigation system using a distributed wireless sensor network[J]. IEEE Trans on Instrumentation and Measurement ,2008 ,57( 7) : 1379 - 1387.

[5] 李楠,刘成良,李彦明,等.基于3S技术联合的农田墒情远程监测系统开发[J].农业工程学报,2010,26(4):169-174.

[6] 魏景斌.便携式土壤湿度检测仪的研究与设计[D].保定:河北农业大学,2010,6.

[7] 李加念,洪添胜,冯瑞珏,等.橘园无线土壤水分传感器的设计与实现[J].传感器与微系统,2011,30(7):146-148,152.

[8] 王新忠,刘飞,由婷.基于高频电容原理的土壤剖面水分传感器研究[J].传感器与微系统,2012,31(10):12-15.

[9] Gaskin G J ,Miller J D. Measurement of soil water content using a simplified impedance measuring technique [J]. Journal of Agricultural Engineering Research ,1996 ,63: 153 - 160.

[10] Wojciech S ,Andrzej W. A FDR sensor for measuring complex soil dielectric permittivity in the 10 - 500 MHz frequency range [J]. Sensors ,2010 ,10: 3314 - 3329.

[11] 黄飞龙,黄宏智,李昕娣,等.基于频域反射的土壤水分探测传感器设计[J].传感技术学报,2011,24(9):1367-1370.

[12] 郭在华,李良福,覃彬全,等.网络化土壤电阻率参数采集系统研制[J].电子测量与仪器学报,2009,23(5):103-108.

[13] 王攀,汪文勇,杨挺,等.基于6LoWPAN的无线农田信息监测系统[J].传感器与微系统,2011,30(4):149-152.

作者简介:

江朝晖(1968-),男,安徽桐城人,博士,副教授,主要研究方向为信息采集与信号处理。

(上接第78页)

[3] Sun J Q ,Wang J S ,Wu X C ,et al. Novel method for high-yield synthesis of rutile SnO<sub>2</sub> nanorods by oriented aggregation [J]. Cryst Growth Des ,2006 ,6: 1584 - 1587.

[4] Pan J H ,Chai S Y ,Lee C ,et al. Controlled formation of highly crystallized cubic and hexagonal mesoporous SnO<sub>2</sub> thin films[J]. J Phys Chem C ,2007 ,111: 5582 - 5587.

[5] Lou Z ,Wang L ,Fei T ,et al. Enhanced ethanol sensing properties of NiO-doped SnO<sub>2</sub> polyhedra [J]. New Journal of Chemistry , 2012 ,36( 4) : 1003 - 1007.

[6] Mishra R K ,Sahay P P. Synthesis ,characterization and alcohol sensing property of Zn-doped SnO<sub>2</sub> nanoparticles [J]. Ceramics International ,2012 ,38: 2295 - 2304.

[7] Neri G ,Bonavita A ,Micali G ,et al. Ethanol sensors based on Pt-doped tin oxide nanopowders synthesised by gel-combustion[J]. Sensors and Actuators B ,2006 ,117: 196 - 204.

[8] Zhang H ,Li Z ,Liu L ,et al. Enhancement of hydrogen monitoring

properties based on Pd-SnO<sub>2</sub> composite nanofibers [J]. Sensors and Actuators B ,2010 ,147: 111 - 115.

[9] Shimizu Y ,Maekawa T ,Nakamura Y ,et al. Effects of gas diffusivity and reactivity on sensing properties of thick film SnO<sub>2</sub>-based sensors[J]. Sensors and Actuators B ,1998 ,46: 163 - 168.

[10] Shimizu Y ,Kai S ,Takao Y ,et al. Correlation between methylmercaptan gas-sensing properties and its surface chemistry of SnO<sub>2</sub>-based sensor materials [J]. Sens and Actuat B ,2000 ,65: 349 - 357.

[11] 曾令可,税安泽,刘平安,等.离子掺杂对纳米二氧化钛粒径的影响[J].人工晶体学报,2007,36(2):428-432.

[12] Zhang W H ,Zhang W D. Fabrication of SnO<sub>2</sub>-ZnO nano composite sensor for selective sensing of trimethylamine and the freshness of fishes [J]. Sensors and Actuators B ,2008 ,134: 403 - 408.

作者简介:

梅军鹏(1986-),男,湖北襄阳人,硕士研究生,研究方向为介孔材料与传感器。