

基于频域反射法的土壤水分传感器设计

陈 栋 温宗周

(西安工程大学 电子信息学院 西安 710048)

摘 要: 为了使农业生产实现现代化、精细化、节约化的要求,设计了一种基于频域反射法的土壤水传感器,能够实现土壤墒情的自动采集、传输等功能。该采集单元以单片机为核心,采用 STM32 自带 ADC 通道进行数据采集,通过无线传输技术让数据进行实时传输,利用 TCP/IP 通信协议将土壤墒情信息等现场数据发送到远程控制中心并由控制中心进行处理,克服了传统土壤水分检测仪精度低、实时性差、携带不便等缺点。实验结果表明:此系统测量误差小,数据传输无误,能够持久可靠工作。该传感器使用简单,适合农技人员在田间使用,通过对土壤水分监测来指导农田灌溉具有现实意义。

关键词: 土壤含水率;频域反射;扫频法;无线传输

中图分类号: P412.1 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 170.1520

Design of soil moisture sensor based on principle of frequency domain reflectometry

Chen Dong Wen Zongzhou

(Xi'an Polytechnic University, Electronics and Information College, Xi'an 710048, China)

Abstract: In order to achieve the refinement of modern agricultural production requirements, this paper designed a portable soil moisture sensor, it can realize automatically collect and transfer soil information. The system takes the MCU as the core, via wireless transmission technology and uses TCP/IP protocol to send the data of soil to the remote control center and process it. This system overcame the disadvantages of traditional soil moisture sensor such as the low precision and bad real time capability and difficult to carry. The analysis results show that: error of FDR soil moisture sensor measurement is small and data transfer is correct, so it can be able to complete work reliable. The sensor is simple to use, not only suitable for use by technicians in the field, but also has practical significance through the soil moisture monitoring to guide agricultural irrigation.

Keywords: soil moisture; frequency domain reflectometry(FDR); sweep method; wireless transmission

1 引 言

我国是农业大国,农业现代化是发展的必然趋势。农业精准化的两个标准技术是信息采集技术和设备的智能化,最终实现智慧农业^[1]。土壤含水率的测量是精细农业的基础,农作物进行灌溉时要获得准确的土壤墒情来适时适量进行灌溉。我国当前农业用水效率只有 35%~45%,提高灌溉用水效率可以节约大量用水。随着电子、计算机和通信技术的迅速发展,研制出一种测量准确、快速、方便的土壤水分传感器^[2-3]。传统土壤水分测量主要是以固定站点监测的方式,其功能齐全,但其造价成本太高、只能在固定地点安置、站点维护难度大,而便携式土壤水分传感器使用方便且性价比高,有广泛的市场需求。采用集成度高的 STM32 为处理芯片,其内部带有 ADC 和 DMA,可节约成本还可大大提高转换的精度和快速性。数据传输采用无

线传输,使现场数据实时传送到监控中心,由监控中心对数据进行再处理,得到当地的干旱情况,根据报告结果对水资源进行合理的分配,达到节水的效果。由于室外温差大,所以加上温度模块进行对实验结果修正。本文设计了基于频域反射法(FDR)、采用无线传输技术、使用实验室标准的校正方法,研制出一种便携式土壤水分传感器。

2 系统总体方案设计

本文设计的土壤水分检测系统的总体结构如图 1 所示,它主要由土壤水分传感器、微处理控制器模块、键盘模块、显示模块、GPRS/GSM 通信模块、电源模块等组成。

土壤水分检测采用基于频域反射法的土壤水分测量方法。土壤水分传感器采集土壤水分信号并将该信传送到微处理器的模数转换通道;GPRS/GSM 通信模块将土壤墒情传送给土壤墒情监测中心和多个负责人的手机上;微处

收稿日期:2015-08

理器模块负责各个模块的协同工作,并对水分传感器采集的信号进行处理;显示模块主要负责土壤水分含量、测量时间和通信情况的显示;电源模块则保证系统能够运行。

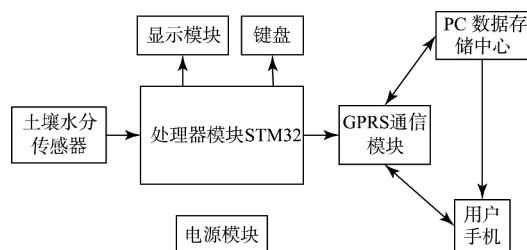


图 1 土壤水分检测系统框图

3 功能模块设计

3.1 土壤水分传感器

目前国内外用于土壤水分检测的方法主要有:时域反射法(TDR)和频域反射法(FDR)。采用 TDR 的水分传感器价格昂贵,而应用 FDR 原理的水分传感器能够很好反映土壤水分含量且价格便宜^[4-5]。FDR 是利用电磁波在介质中传播的频率来测量土壤的表现介电常数 ϵ ,从而间接获得土壤的容积含水量 θ_v ^[6-8]。传感器的探针由 4 根不锈钢钢针,以中间探针为中心周围均匀分布 3 个探针,中间探针为驱动电极作为等效电容的一个极,一周的 3 个电极敏感电极连接在一起作为等效电容的另一极。

土壤水分传感器的模型如图 2 所示。震荡电路产生 20~150 MHz 的扫频信号,由同轴电缆传送至探针,探针和其间的土壤等效为一个电容,他们组成调谐电路,由扫频电路获得共振频率并通过共振频率来获得土壤的介电常数,进而计算出土壤体积含水量。

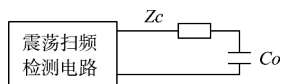


图 2 土壤水分传感器简化模型

如图可知,探针的等效阻抗 z_t , c_0 为探针在空气中的等效电容, z_a 为探针在空气中的等效阻抗, ϵ 为土壤的介电常数, ω 为角频率。 z_t 为同轴电缆传输线的阻抗, s_{11} , s_{12} 为传输线与探针和探针在空气中的反射系数,由式(2)(3)定义。将式(1)分别和式(2)、式(3)结合,可以得到探针的等效阻抗 z_t 表达式和探针在空气中的等效阻抗 z_a 表达式,代入式(1)中既可以得到式(4),求出介电常数 ϵ ,再根据式(5)计算土壤容积含水量。

$$z_t = \frac{1}{j\omega C_0 \epsilon} = \frac{z_a}{\epsilon} \quad (1)$$

$$s_{11} = \frac{Z_t - Z_l}{Z_t + Z_l} \quad (2)$$

$$s_{12} = \frac{z_a - z_t}{z_a + z_t} \quad (3)$$

$$\epsilon = \frac{(1 + S_{12})(1 - S_{11})}{(1 - S_{12})(1 + S_{11})} \quad (4)$$

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

式(5)中: a 和 b 由土壤类型决定。设计一个便携式土壤水分传感器,其输出为电压信号,测量范围为大,精度高,响应时间短,采用直流电源供电。

3.2 GPRS/GSM 通信模块

GPRS/GSM 通讯技术已被广泛应用在各种通信设备和检测仪器中^[9]。使用 GPRS 技术可以把数据分组发送和接收,按流量计费。大部分的中低速率的数据传送都应用该项技术可以显著降低系统运行的成本。我国 GPRS 在内地的覆盖率已达到了 90% 以上,信号稳定。本设计采用 SIM900A 芯片,它属于双频 GSM/GPRS 模块,其性能稳定,性价比高,采用工业标准接口,可以 SMS、数据和传真信息的传输。SIM900A 内部嵌入 TCP/IP 协议,支持 AT 指令集。微处理器把接收到的数据按照协议进行打包,再编辑成相应的 AT 指令,通过串口把信息数据发送到通信电路来实现把数据传送到 Internet 网络。

为提高系统的可靠性,将实时采集到的各参数通过 GPRS 公网或者卫星传输至控制中心,通过 2 种通信相结合的传输体制,使农技人员能够及时的得到准确的测量数据。

3.3 STM32 处理器

本文采用 ARM 公司 Cortex-M3 内核的 STM32F103RBT6 微处理器,其具有高性能、低成本、低功耗、封装小等特点适合嵌入式应用的开发和设计^[10]。STM32F103RBT6 微控制器内置 12 位的 AD、3 路 USART 通讯接口、时钟频率最高可达 72 MHz^[11]。微处理器负责把传感器采集到的信号处理并通过 LCD 显示,最后通过无线数据传输到后台。LCD 负责含水量、采集时间和说明性信息的显示。主程序流程如图 3 所示。

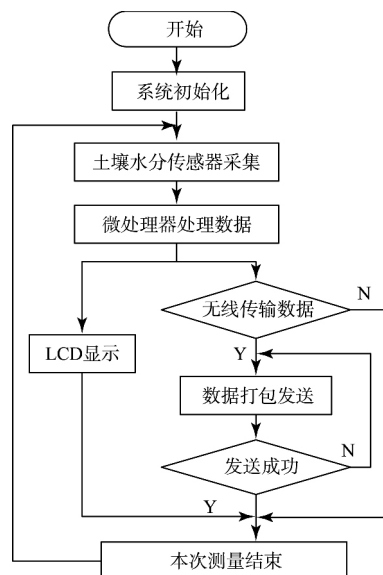


图 3 软件流程图

3.4 电源模块

便携式仪器的电源要做到长时间不用进行更换,这就要考虑到电源的功耗、成本和体积。由于本系统中各个模块使用的电压不同,就需要把电源电压进行升压和降压处理。电源模块设计思路如图 4 所示,各个模块所需电压大小:土壤水分传感器需要 9~12 V、LCD 需要 5 V、控制器采用 3.3 V、GPRS/GSM 需要 3.3 V~5.5 V。电源选用 12V 锂电池组,采用 LM2576 降压供给水分传感器,采用 ASM1117 将 LM2576 输出电压转化为 5 V、3.3 V 和 4 V,分别供给 LCD、微控制器和 GPRS/GSM 模块。ASM1117 芯片性价比高且电路外围器件少,设计灵活方便。

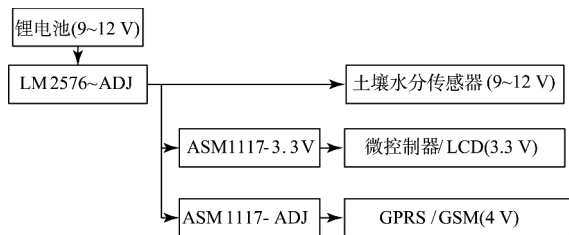


图 4 电源模块框图

4 校正与测试

采用频域反射法间接测量得到的土壤含水量与真实值存在一定误差^[12]。直接测量土壤水分含量的方法是烘干法,是目前最精确的测量方法,用它来标定其它原理的土壤水分传感器。烘干法测量的是重量含水量,频域反射法检测出的是体积含水量,两者之间可以相互转换,使得测量的信息更加符合标准。在实验室配置含水量为一定梯度的土样,分别用两种方法进行测试并计算出平均误差。

$$\bar{\sigma} = \sum_{i=1}^N |x_i - a_i| / N \quad (6)$$

$$\theta_m = \frac{w_1 - w_2}{w_2 - w_0} \times 100\% \quad (7)$$

$$r_0 = w_s / v \quad (8)$$

$$\theta_v = r_0 \theta_m \quad (9)$$

根据式(6)可以计算出本土壤水分传感器的精度,式(7)中 w_0 、 w_1 、 w_2 分别为盒子的重量、湿土和盒子总重、干土和盒子总重。其中式(6) x_i 、 a_i 、 N 分别为传感器的测量值、烘干法测量值每次实验测量的次数。通过式(7)、(8)、(9)可以推导出土壤的体积含水量和重量含水量使其归一化,其中 r_0 为土壤干容重,它是土壤样品的干土重和土壤样品体积之比。在实验室对每份土样各进行 3 次测量,对其实验数据进行分析并进行拟合得到式(10)的校正函数并将其写到程序中对数据进行校正。传感器校正曲线如图 5 所示。

$$y = 5.6315 x_3 - 0.0413 x_2 + 1.5346 x - 3.9571 \quad (10)$$

• 108 •

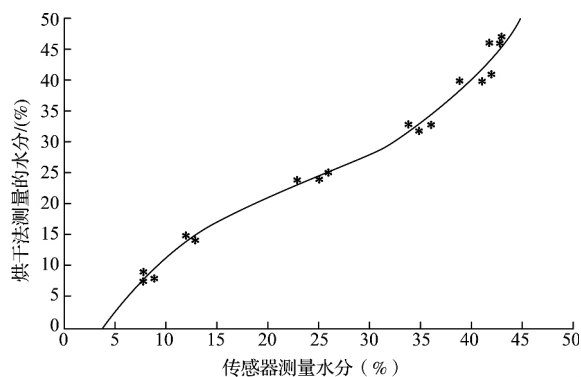


图 5 传感器实验校正曲线

使用 3 个土壤水分传感器进行长时间测试,结果如图 6 显示:土壤容积含水量误差符合国家气象局规定 @ < 5% 的要求,无线数据传输正常,系统可正常工作 3 个月以上。

节点2详细数据表				
节点编号	节点名称	节点位置	节点状态	节点数据
无线节点	节点编号	节点名称	节点位置	节点数据
节点1	71004801	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.8 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.8	
节点2	71004802	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点3	71004803	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点4	71004804	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点5	71004805	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点6	71004806	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点7	71004807	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点8	71004808	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点9	71004809	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点10	71004810	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点11	71004811	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点12	71004812	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点13	71004813	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点14	71004814	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点15	71004815	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点16	71004816	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点17	71004817	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点18	71004818	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点19	71004819	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	
节点20	71004820	2014-07-05 11:00:25	【土壤含水量(%)】 19.9 【电源电压(V)】 11.85 【温度(℃)】 24.7	

图 6 上位机接收到的数据

5 结论

由于人工测量土壤水分费时费力,本文设计了土壤水分检测仪能够实时准确的检测土壤墒情,且结构小巧,适合农技人员田间使用,通过无线数据传输,中心站点可以对数据进行汇总,并可以和智能灌溉系统联系在一起,提高水的利用率,为农作物增产提高保证,提高农业现代化水平,有广泛的应用市场。

参考文献

- [1] 孙克,吴海华,雷鹏,等. 传感器技术在农业领域中的应用[J]. 农业工程,2015,5(2):32-35.
- [2] 邹金成,胥义,王健,等. 基于 WSN 的多温共配冷链信息监测系统开发[J]. 电子测量与仪器学报,2014,28(5):545-552.
- [3] 李所林,宋威,宋良平,等. 便携式土壤墒情和土壤温度测量仪的设计[J]. 电子技术应用,2013,39(7):28-34.
- [4] 李智峰. 便携式土壤水分自动采集仪的参数率定及对比实验[J]. 水科学与工程技术,2015,32(3):37-40.
- [5] 张剑平. 工业仪表多功能模拟量输出电路研究[J]. 仪器仪表学报,2014,35(6):169-173.

- [6] 杨绍辉,杨卫中,王一鸣.土壤墒情信息采集与远程监测系统[J].农业机械学报,2010,41(9):173-173.
- [7] 张益,马友华,江朝晖,等.含温度补偿的便携式土壤水分测定仪研制[J].传感器与微系统,2014,33(5):73-83.
- [8] 唐玉邦,何志刚,虞利俊,等.土壤水分传感器(FDR)在作物精准灌溉中的标定与应用[J].江苏农业科学,2014,42(4):343-344.
- [9] 瞿华香,赵萍,陈桂鹏,等.基于无线传感器网络的精准农业研究进展[J].中国农学通报,2014,30(33):268-272.
- [10] 孙书鹰,陈志佳,寇超.新一代嵌入式微处理器 STM32F103 开发与应用[J].微计算机应用,2010,31(12):59-63.
- [11] 袁雪,张志文,司庆丹.基于 ARM 的智能数据采集系统设计[J].国外电子测量技术,2014,33(2):66-71.
- [12] 成林,杨光仙,陈海波,等.烘干称重法测定土壤水分取样误差分析[J].气象与环境科学,2009,32(2):33-36.

作者简介

陈栋,1989 年生,在读研究生。研究方向为嵌入式系统工业应用。

E-mail:308276207@qq.com

温宗周,1962 年出生,副教授,主要研究方向为嵌入式应用系统与开发。

是德科技为多发射器信号仿真推出经济高效的参考解决方案

利用经校准的软硬件解决方案支持接收机测试

2016 年 3 月 18 日,北京——是德科技公司(NYSE:KEYS)近日宣布,推出一款经济高效的参考解决方案——多发射机场景仿真器参考解决方案,旨在为电子战(EW)仿真和测试创建真实的多发射机信号环境。作为是德科技参考解决方案家族的新成员,它同步集成了多个 N5193A UXG 捷变信号发生器。凭借业内领先的 UXG 和 N7660B Signal Studio 多发射机场景生成软件,它使工程师在仿真真实的动态雷达对抗信号时更快速、更精确。相比同类系统,它具有明显的价格优势。

生成真实的多发射机信号环境或场景异常复杂,需要恰当管理多个脉冲列并识别、计算和排序脉冲交叠。该解决方案易于配置到工程师的测试平台,可在 180 纳秒内同步完成频率更改和幅度建立,进而达到每秒数百万的脉冲的生成,让工程师轻松仿真数千个对抗发射信号。

在多发射机信号环境下进行到达角(AoA)测量和运动仿真,其难度又更进一步。信号的运动将给 AoA 仿真增添动态电平、多普勒频率和脉冲幅度的变化,以及带来相位和时间的偏移。为实现 AoA 仿真,该参考解决方案配备了一套定制的校准系统,可在多个 UXG 上针对时间、幅度和相位进行调整。校准系统含有校准软件(N7660B Signal Studio 软件)和领先的是德科技硬件,如 PNA 或 PNA-X 矢量网络分析仪(用以幅度和相位校准)、Infiniium

系列示波器(用以时间、幅度和相位校准),以及 U2000 系列 USB 功率传感器(用以低成本的单纯幅度校准)。

现在,工程师可以轻松配置雷达参数(如频率、幅度、天线扫描、脉冲重复间隔、脉宽和脉内调制),然后借助 Signal Studio 软件的图形用户界面,交错处理多雷达对抗发射机的信号。电子战工程师可把对抗发射机整合到场景中,利用多普勒脉冲报告,通过改变发射机的起始时间、优先顺序和脉冲重复间隔来优化脉冲密度,降低脉冲冲突。此外,利用 Signal Studio 软件,还可以直接控制和配置 AoA 和运动参数,比如改变各端口之间的时间偏置、功率电平、信号相位和多普勒频率。全新的时域分析功能可让用户直观显示上述操作。该功能可以显示天线扫描码型,并且示出任何发射机及其相关平台的运动情况。

用户根据脉冲描述字(PDW)列表,可将 Signal Studio 软件生成的多发射机场景下载至一个或多个 UXG。而且,还可以计算 PDW,再由局域网将其传输至 UXG,从而使场景长度几乎不受限制。高性能 UXG 以快至 180 ns 的速度提供相位相干的频率和幅度输出,时间分辨率高达 10 ps,无杂散动态范围达到 -70 dBc。UXG 还可用作独立的本地振荡器或可扩展的对抗信号仿真器。综合上述能力,航空/国防工程师将会轻松创建更接近于真实的复杂环境仿真,从而对 ECM 系统性能更有信心。