

FDR 土壤湿度传感器的温度补偿模型研究

张 健, 谢守勇, 刘 军, 陈 翀, 赵 镭

(西南大学 工程技术学院, 重庆 400716)

摘 要: 为提高 FDR 土壤湿度传感器在不同温度环境下测量土壤含水率的精度,设计了一套以 STM32F103RBT6 为核心控制单元的温湿度测量系统。利用该系统对不同温度和含水率的土壤样本进行温湿度信息采集,并运用多传感器数据融合技术及二元回归分析法对采集到的信息进行处理;根据最小二乘法原理,建立了 FDR 土壤湿度传感器的温度补偿模型。将该补偿模型运用到测量系统中进行验证,结果表明:在测量土壤含水率时,采用该补偿模型后的测量系统能有效降低对土壤温度的敏感性,实现土壤含水率的准确测量。

关键词: FDR 土壤湿度传感器; 温度补偿; 测量系统; 最小二乘法

中图分类号: S237

文献标识码: A

文章编号: 1003-188X(2018)04-0177-06

DOI:10.13427/j.cnki.njyi.2018.04.034

0 引言

随着现代农业特别是精细农业的发展,土壤信息的获取与收集在农业生产过程中显得尤为重要^[1]。土壤含水率是土壤信息中最重要和最常用的参数之一,对土壤中各类养分的溶解和微生物活性有重要影响^[2]。快速、准确测定土壤含水率信息,可及时了解农田旱情、涝情的发生,并做出有效评估,制定合理有效的抗旱、抗涝决策,适时排水灌溉,对于指导农耕作业具有重要意义^[3-6]。

土壤含水率的测量方法有很多,利用 FDR (Frequency Domain Reflectometry) 技术的土壤湿度传感器测量法,具有连续性、易操作、便捷性、自动化程度高和对土壤扰动小等优点,被广泛应用在土壤含水率检测上^[7-8]。但从已有的研究^[9-11]来看,大多数研究成果忽视了温度对 FDR 传感器测量土壤含水率的影响;而在温差较大的土壤环境下,温度导致的测量误差不容忽视。因此,本文将采用多传感器数据融合技术、二元回归分析法和最小二乘法,建立 FDR 土壤湿度传感器的温度补偿模型,并将该模型应用在设计的温湿度测量系统中进行测试,从而验证该模型对 FDR 土壤湿度传感器在不同土壤温度下的测量误差具有良好的补偿效果。

1 选材与处理

实验选用的土壤为农田耕层土壤,将取回的土壤用细纱布滤除较大的石子颗粒和杂质,放在 105℃ 的恒温箱内进行烘干至恒定质量。实验前的准备:采用精度为 0.1 g 的电子秤称取 17 份 300 g 的烘干土壤和不同质量的纯净水配制成的 17 种不同含水率土壤样本。每种土壤样本均放置在可密封的铝盒内,以防止水分蒸发,静置 24 h,以便均匀混合。实验时,首先对配置的每种土壤样本各称取 100 g,采用烘干法获取全部土壤样本的真实含水率,并作为参考标准;其次,根据土壤样本的真实含水率,按 8:3:6 的比例将土壤样本选择性的分成 A、B、C 等 3 组,并将这 3 组样本分别用于土壤湿度传感器的标定实验、土壤湿度传感器的稳定性与准确性校验实验,以及系统对土壤温湿度数据的采集与验证实验。

2 搭建系统测量平台

2.1 总体结构

土壤温湿度测量系统由处理器模块、土壤含水率信号采集模块、土壤温度信号采集模块、电源模块、触摸屏模块和数据存储模块组成,可实现对土壤含水率和土壤温度信息的采集、显示及存储。系统的结构示意图和实物图如图 1 和图 2 所示。

处理器模块采用 ST 公司的 STM32F103RBT6 芯片,用于数据的分析与处理。该芯片具有体积小、功耗低、性能高等优点^[12],可以满足本系统所要完成的功能。信号调理电路的主要作用是:将土壤温度传感器输出的信号转换为处理器中 ADC 模块能够采样的

收稿日期: 2017-04-10

基金项目: 重庆市重点产业共性关键技术创新专项 (cstc2015zdcy-ztx80002)

作者简介: 张 健(1990-),男,山东临沂人,硕士研究生,(E-mail)wj_zhangjian@163.com。

通讯作者: 谢守勇(1969-),男,重庆人,教授,硕士生导师,(E-mail)xsyswu@163.com。

电压信号。扩展接口为预留接口,如采用无线模块对系统进行扩展,将数据发送到上位机,以便对数据的分析和长期存储。

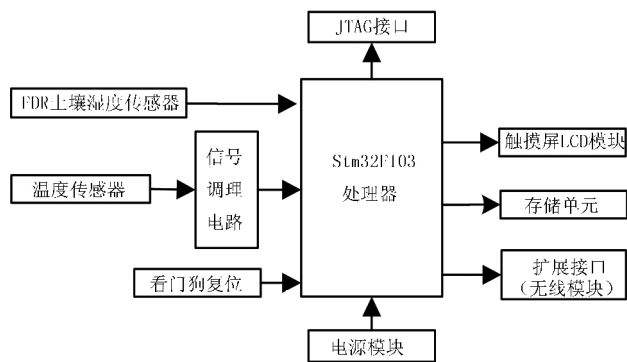


图 1 系统结构示意图
Fig.1 Schematic diagram of the system structure



图 2 系统实物图
Fig.2 System physical map

2.2 系统设计

2.2.1 土壤湿度传感器的标定

选取 MS-10 型的 FDR 土壤湿度传感器来测量实验样本的土壤含水率。测量原理是:利用电磁波在土壤中传播的频率测试土壤的表观介电常数,通过土壤的介电常数对土壤水分含量的真实反应,从而得到土壤的含水率^[13-14]。

采用该传感器多次测量某一含水率的土壤样本,并求取对应输出的电压均值作为此含水率水平下的测量值。按照该方法,测量多种不同含水率的土壤样本,并对最终得到的数据进行关联性分析,从而确定待测土样的数学函数关系。具体实验操作如下:在室温为 25℃ 的环境下,用 FDR 土壤湿度传感器分别对 A 组的 8 份样本在土壤下层 30cm 处进行测量,每隔 10s 测量 1 次,连续测量 6 次;将每次 AD 端口采样的电压值记录、保存,并计算其平均值作为最终测量结果,得

到的数据如表 1 所示。

表 1 土壤含水率检测数据
Table 1 The measured data of Soil moisture content

测量序号	土壤含水率 /%	输出电压值 /V	测量序号	土壤含水率 /%	输出电压值 /V
1	7.394	0.854	5	20.421	1.315
2	11.624	1.017	6	23.643	1.443
3	13.833	1.101	7	27.545	1.562
4	17.641	1.239	8	32.721	1.791

运用 MatLab 软件对表 1 中的实验数据进行回归分析,最终得到 FDR 土壤湿度传感器在环境温度为 25℃ 时的输入输出特性曲线拟合表达式为

$$\varphi = -1.315u_0^2 + 31.178u_0 - 18.578 \quad (R^2 = 0.9981) \quad (1)$$

其中, φ 为质量含水率; u_0 为土壤湿度检测端测量的电压值; R^2 为可决系数,越接近 1,拟合程度越好。

2.2.2 温度传感器的调理电路与标定

土壤样本温度的测量选用以铂 (Pt) 电阻作为感温元件的 Pt100 温度传感器。该传感器具有测量精度高、性能稳定的特点,在温度变化不大时,传感器阻值与温度变量之间呈优异的线性函数关系^[15]。

在测定 PT100 铂电阻温度传感器的温度系数时,设计了 PT100 温度传感器的信号调理电路,如图 3 所示。在信号调理电路中,PT100 温度传感器作为非平衡电桥的一个桥臂电阻,由于其阻值较小,采用三线制接法来抵消引线电阻带来的影响,同时采用双极运算放大电路,放大输出信号。

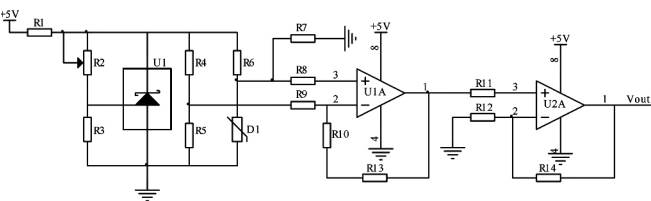


图 3 PT100 铂电阻信号调理电路
Fig.3 PT100 platinum resistance signal conditioning circuit

由于在整个系统运行过程中测量温度范围为 0 ~ 50℃,故对 PT100 铂电阻温度传感器采用线性拟合的方式进行标定。同时,为验证在较大范围内温度检测的准确性,PT100 铂电阻温度传感器标定实验将在高低温恒温槽中进行。在不同环境温度下,运行系统调试程序,计算出处理器 AD 端所采集到的电压值,读取记录数据,如表 2 所示。

表 2 温度传感器拟合数据
Table 2 The fitting data of Temperature sensor

序号	设置温度 /℃	AD2 端电压 /V	序号	设置温度 /℃	AD2 端电压 /V
1	10	0.669	5	50	1.876
2	20	0.973	6	60	2.231
3	30	1.312	7	70	2.412
4	40	1.557	8	80	2.732

运用 MatLab 软件 ,根据表 2 数据 ,对 PT100 温度传感器测量电压值与温度值进行拟合 ,可得到该传感器的输入输出特性曲线拟合表达式为

$$T = 33.907u_1 - 13.328 \quad (R^2 = 0.9975) \quad (2)$$

其中 T 为测量温度值 ; u_1 为该温度检测端测量的电压值 ; R^2 为可决系数。

2.2.3 软件设计

信息采集软件开发平台使用美国 Keil 软件公司出品的 uVision4 开发平台 ,通过采用 C 语言编程 ,进行土壤温度和土壤湿度信息的采集、处理和传输控制等操作^[16]。程序设计分模块进行 ,主要包括数据采集与处理模块、液晶屏显示模块、时钟芯片初始化模块、看门狗复位模块等。系统上电复位后 ,进行初始化操作 ,然后等待 LCD 液晶屏触发采集信号 ;一旦系统收到采集指令 ,将开启对土壤湿度传感器、PT00 温度传感器输出信号的采集。由于外界干扰或某些不可预知的因素 ,如果模拟量受到干扰 ,则经 A/D 转换后的结果会偏离真实值 ,可能会出现一些随机的误差。本系统中采用去极值均值滤波法 ,先进行循环采样 ,每隔 10ms 采集 1 次 ,总共采集 10 次 ;将每次采集到的数据进行存储 ,得到一个 A/D 转换的数据序列 ;然后进行数据的分析和处理 ,去掉极值 ,并将剩余数据求取平均值 ,发送至液晶屏上进行数据的显示。本设计的重点内容是数据采集及处理模块 ,系统流程如图 4 所示。

2.3 系统性能测试

为检测系统的误差和稳定性 ,分别对系统的两种传感器进行数据的采集和分析。首先 ,用系统的 FDR 土壤湿度传感器在 25℃ 恒温环境下测量 B 组 3 份土壤样本的含水率 ;其次 ,在 10、20、30℃ 的恒温环境下 ,用系统的 Pt100 温度传感器测量该环境的温度信息。在上述测量过程中 ,同一测试环境下 ,重复测试 6 次 ,通过观察和记录到的显示屏上的数据信息如表 3 所示。

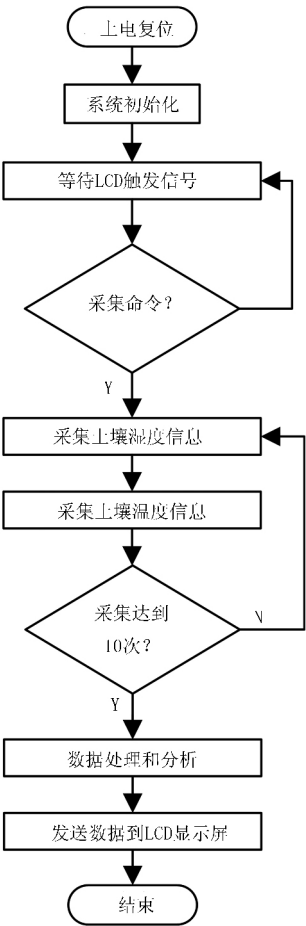


图 4 系统流程图

Fig. 4 System flow chart

表 3 系统温湿度采集数据表

Table 3 Data collection table of temperature and humidity

数值	土壤含水率 /%			环境温度 /℃		
多次试验 测量值	9.73	15.83	21.41	10.31	19.92	30.12
	9.49	15.71	21.18	9.86	20.51	29.57
	9.01	16.19	21.53	9.93	20.45	29.26
	9.74	15.86	20.96	9.72	19.72	30.15
	9.89	15.61	21.64	9.62	20.02	29.68
	8.92	16.32	21.36	9.71	20.24	29.37
实际值	9.24	16.23	21.84	10.00	20.00	30.00
δ	2.46	1.91	2.24	1.42	0.72	1.03
\bar{x}	9.46	15.92	21.35	9.86	20.14	29.69
s	0.41	0.28	0.25	0.25	0.31	0.37

由表 3 可以看出 :该系统测得的土壤含水率相对误差不超过 3% ,测得的环境温度相对误差不超过 2% ,测得的土壤湿度和环境温度数据置信区间都在 $[\bar{x} - 3s, \bar{x} + 3s]$ 内 (\bar{x} 是数据平均数 δ 是相对误差 , s 是标准偏差)。这说明 ,该系统测量的数据置信水平高 ,系统稳定。

3 建模与分析

3.1 数据采集

实验平台搭建完成后,使用温湿度测量系统,在不同环境温度条件下分别对 C 组的 6 个土壤样本进

行土壤温湿度电压输出信号的采集。为能够控制环境温度,该实验在温室内进行。实验开始前,连接好 FDR 土壤水分传感器和铂电阻温度传感器;实验进行时,分别记录温湿度采集系统液晶屏上输出的电压值;实验结束后,整理得到的数据如表 4 所示。

表 4 土壤温湿度传感器在不同温度下的实验数据

Table 4 Experimental data of soil temperature and humidity sensor at different temperatures

土壤样本	电压值/V	含水率/%					
		8.312	10.217	15.231	19.321	24.323	29.874
样本 1 (15℃)	U_{φ}	0.854	0.941	1.098	1.204	1.422	1.584
	U_T	0.832	0.832	0.832	0.832	0.832	0.832
样本 2 (20℃)	U_{φ}	0.875	0.959	1.113	1.241	1.448	1.615
	U_T	0.964	0.964	0.964	0.964	0.964	0.964
样本 3 (25℃)	U_{φ}	0.891	0.965	1.141	1.276	1.482	1.662
	U_T	1.109	1.109	1.109	1.109	1.109	1.109
样本 4 (30℃)	U_{φ}	0.915	0.997	1.189	1.325	1.504	1.687
	U_T	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243	1.243
样本 5 (35℃)	U_{φ}	0.946	1.032	1.225	1.374	1.529	1.737
	U_T	1.386	1.386	1.386	1.386	1.386	1.386
样本 6 (40℃)	U_{φ}	0.962	1.067	1.252	1.403	1.586	1.754
	U_T	1.526	1.526	1.526	1.526	1.526	1.526

表 4 中的数据是对 6 个不同含水率的土壤样本在不同环境温度环境下测量到的土壤温湿度的采样电压值。其中, U_{φ} 为 FDR 土壤湿度传感器输出的采样电压值; U_T 为铂电阻传感器输出的采样电压值。由表 4 可以看出:土壤含水率相同的情况下, FDR 土壤湿度传感器输出的采样电压值随土壤温度的变化而变化。

3.2 建立补偿模型

FDR 土壤湿度传感器在理想情况下应该是一个单输入单输出系统^[17],而实际情况下用 FDR 土壤湿度传感器测量土壤湿度时受到土壤温度变化的影响明显,并不是一个单输入单输出系统。因此,本文采用数据融合技术,建立 FDR 土壤湿度传感器与 PT100 铂电阻温度传感器的数据融合系统。两传感器的数据融合系统框图如图 5 所示。

数据融合系统中,信号源来自于两个检测传感器: T 为被测土壤样本的温度值; φ 为被测土壤样本的真实湿度值。表 4 中:在某一温度下,用温湿度测量系统测量某一份土壤样本,获取的该份样本土壤含水率的采样电压值为 U_{φ} ,土壤温度的采样电压值为 U_T ,则经过数据融合后的土壤含水率参量 R 可表示为

$$R = f(U_{\varphi}, U_T) \tag{3}$$

由二维坐标 (U_{φ_j}, U_{Tj}) 决定 R 在一个平面上 j 是实验样本数。所以,可以利用二元回归方程表示,即

$$R = k_0 + k_1 U_{\varphi} + k_2 U_T + k_3 U_{\varphi}^2 + k_4 U_{\varphi} \cdot U_T + k_5 U_T^2 + \varepsilon \tag{4}$$

其中 $k_0 \sim k_5$ 为常数; ε 为高阶无穷小。通过求出式中各项的常数,就可得到土壤湿度传感器与土壤温度之间的输入-输出关系。常系数的确定采用最小二乘法原理^[18-19],寻找最优的二次拟合曲线方程。 M 为土壤样本湿度真实值与计算值的均方差,则

$$\begin{aligned} &M(k_0, k_1, k_2, k_3, k_4, k_5) \\ &= \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s [f(U_{\varphi_j}, U_{Tj}) - \varphi_j]^2 \\ &= \frac{1}{s} \sum_{j=1}^s \sum_{p=0}^n [k_p h_{jp} - \varphi_{jp}]^2 \end{aligned} \tag{5}$$

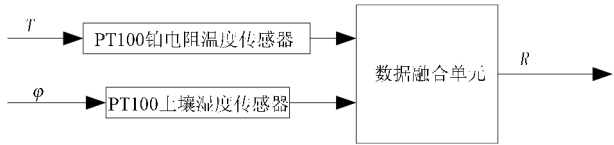


图 5 数据融合系统框图

Fig. 5 Data fusion system block diagram

其中, s 为实验样本总数; φ_j 为第 j 个样本土壤真实湿度值; n 为二元方程式的项数。求取最优解, 则是对上述多元函数求极值。令偏导数为零, 则

$$\begin{cases} \frac{\varphi M}{\varphi k_0} = 2 \sum_{j=1}^{36} [\sum_{p=0}^5 k_p h_{jp} - \varphi_j] \cdot h_{j0} = 0 & h_{j0} = 1 \\ \frac{\varphi M}{\varphi k_1} = 2 \sum_{j=1}^{36} [\sum_{p=0}^5 k_p h_{jp} - \varphi_j] \cdot h_{j1} = 0 & h_{j1} = U_{\varphi_j} \\ \frac{\varphi M}{\varphi k_2} = 2 \sum_{j=1}^{36} [\sum_{p=0}^5 k_p h_{jp} - \varphi_j] \cdot h_{j2} = 0 & h_{j2} = U_{T_j} \\ \frac{\varphi M}{\varphi k_3} = 2 \sum_{j=1}^{36} [\sum_{p=0}^5 k_p h_{jp} - \varphi_j] \cdot h_{j3} = 0 & h_{j3} = U_{\varphi_j}^2 \\ \frac{\varphi M}{\varphi k_4} = 2 \sum_{j=1}^{36} [\sum_{p=0}^5 k_p h_{jp} - \varphi_j] \cdot h_{j4} = 0 & h_{j4} = U_{\varphi_j} \cdot U_{T_j} \\ \frac{\varphi M}{\varphi k_5} = 2 \sum_{j=1}^{36} [\sum_{p=0}^5 k_p h_{jp} - \varphi_j] \cdot h_{j5} = 0 & h_{j5} = U_{T_j}^2 \end{cases} \quad (6)$$

由方程组可得到如下关系式, 即

$$\sum_{j=1}^{36} [\sum_{p=0}^5 k_p h_{jp}] \cdot h_{jp} = \sum_{j=1}^{36} \varphi_j \cdot h_{jp} \quad (7)$$

根据线性代数知识, 可写为

$$K \cdot H \cdot H^T = O \cdot H^T \quad (8)$$

进行变换可求得最小二乘最优解的求解式为

$$K = O \cdot H^T (H \cdot H^T)^{-1} \quad (9)$$

$$K \cdot H = \sum_{p=0}^5 k_p \cdot h_{jp}, O \cdot H^T = \sum_{j=1}^{36} \varphi_j \cdot h_{jp}$$

用 MatLab 进行矩阵运算, 将表 4 中的数据代入到矩阵方程, 则可以得到二元回归方程的各项系数为 $k_0 = -13.7892$, $k_1 = 27.2859$, $k_2 = 0.8983$, $k_3 = 2.2254$, $k_4 = -4.0547$, $k_5 = -0.9127$ 。所以经温度补偿后的二元回归方程为

$$R = -13.7892 + 27.2859 U_{\varphi} + 0.8983 U_T + 2.2254 U_{\varphi}^2 - 4.0547 U_{\varphi} \cdot U_T - 0.9127 U_T^2 \quad (10)$$

3.3 补偿验证

将上述采用二元回归分析法得到的补偿模型应用在实验平台搭建的温湿度测量系统中, 通过该系统进行补偿模型的验证试验。试验中, 选取 C 组中土壤含水率为 8.312%、15.231%、19.321%、24.323% 的土壤样本, 在不同温度环境下测量土壤含水率, 绘制出土壤实际含水率曲线及温度补偿前后的曲线, 如图 6 ~ 图 9 所示。

由图 6 ~ 图 9 可以看出: 在土壤温度为 15 ~ 40℃ 条件下, 测量含水率为 8.312%、15.231%、19.321% 和 24.323% 的土壤样本时, 采用未加入补偿模型的系统进行测量, 测量结果容易受到土壤温度的影响, 且土壤温度变化越大, 受到的影响也越大; 将补偿模型

应用到测量系统后, 系统的测量偏差减小, 测量结果的准确性得到提高。

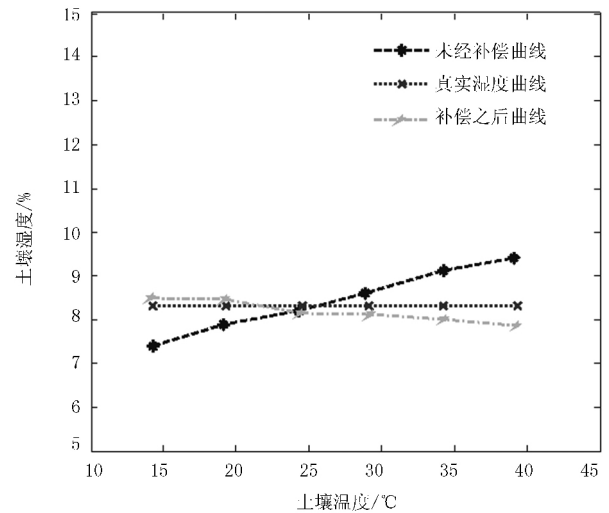


图 6 土壤含水率 8.312% 温度曲线

Fig. 6 The temperature curve at soil moisture content is 8.312%

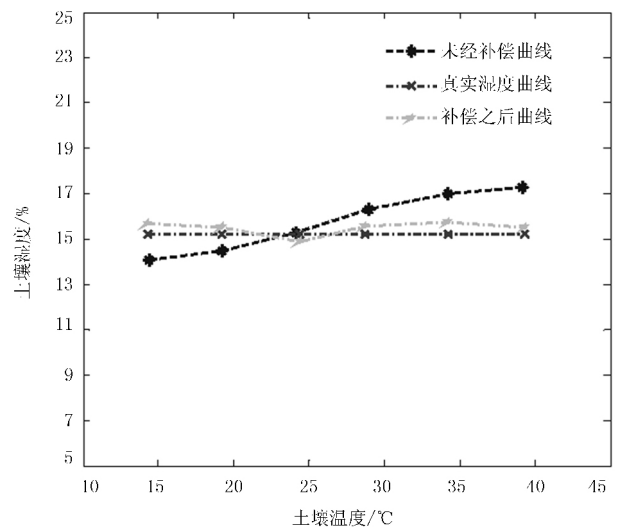


图 7 土壤含水率 15.231% 温度曲线

Fig. 7 The temperature curve at soil moisture content is 15.231%

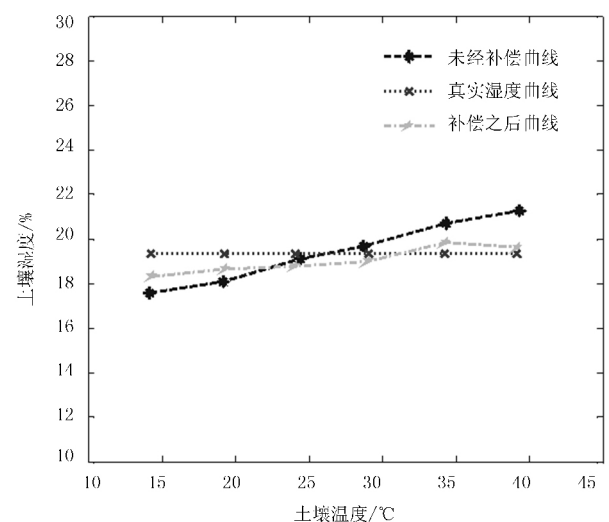


图 8 土壤含水率 19.321% 温度曲线

Fig. 8 The temperature curve at soil moisture content is 19.321%

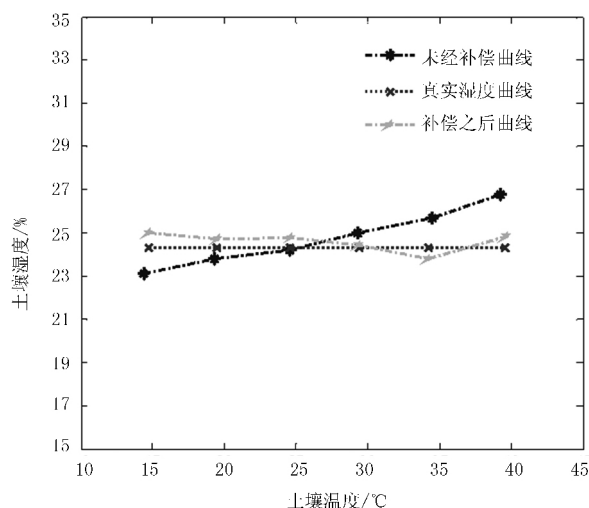


图 9 土壤含水率 24.323% 温度曲线

Fig. 9 The temperature curve at soil moisture content is 24.323%

4 结论

本文为补偿土壤温度变化对 FDR 土壤湿度传感器测量值产生的误差,搭建了土壤温湿度系统测量平台,并对搭建的系统测量平台进行了准确性和稳定性分析。运用该系统平台测试了不同温度环境下的土壤样本获取样本数据,通过对采集到的样本数据进行分析处理,建立了用于 FDR 土壤湿度传感器的温度补偿模型。将该模型应用到测量系统平台中进行测试,结果表明:经补偿后的测量系统平台,在不同的土壤温度环境下测量的土壤含水率偏差能够控制在 $\pm 2\%$ 以内,测量结果更接近于真实值。由此说明,该补偿模型对土壤温度所引起的 FDR 土壤湿度传感器的测量误差具有很好的补偿效果。

参考文献:

- [1] 裴正军. 基于 GPS、GIS 及虚拟仪器的精细农业信息采集与处理技术的研究[D]. 杭州:浙江大学,2003.
- [2] 郭占军,秦文虎,项学海. 便携式土壤水分测试系统设计[J]. 测控技术,2009,28(12):1-5.
- [3] 杨卫中,王一鸣,石庆兰,等. 吉林市土壤含水率监测系统开发及利用[J]. 农业工程学报,2010,26(S2):177-181.
- [4] 杨海天,于婷婷,李春胜,等. 基于 GPRS 的土壤含水率远程监测系统[J]. 农业工程,2016,6(1):32-36.

- [5] 彭胜民,周修理,程雪,等. 基于 ARM 的土壤含水率无线传输系统设计[J]. 农业机械学报,2009,40(s1):241-243.
- [6] 樊志平,洪添胜,刘志壮,等. 柑橘园土壤含水率远程监控系统设计与实现[J]. 农业工程学报,2010,26(8):205-210.
- [7] 高磊,施斌,唐朝生,等. 温度对 FDR 测量土壤体积分含水量的影响[J]. 冰川冻土,2010,32(5):964-969.
- [8] Kizito F, Campbell C S, Campbell G S, et al. Frequency, electrical conductivity and temperature analysis of a low-cost capacitance soil moisture sensor [J]. Journal of Hydrology, 2008, 352(3-4):367-378.
- [9] 张宪,姜晶,王劲松. 基于 FDR 技术的土壤水分传感器设计[J]. 自动化技术与应用,2011,30(11):61-65.
- [10] 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.
- [11] 张瑞卿,戈振扬,单伟,等. 基于 FDR 原理的自动灌溉系统设计[J]. 传感器与微系统,2014,33(2):80-82.
- [12] 丁力,宋志平,徐萌萌,等. 基于 STM32 的嵌入式测控系统设计[J]. 中南大学学报:自然科学版,2013(s1):260-265.
- [13] Topp G C, Davis J L, Annan A P. Electromagnetic determination of soil water content: Measurements in coaxial transmission lines [J]. Water Resources Research, 1980, 16(3):574-582.
- [14] Skaling W, Skaling P E. Probe for measuring moisture in soil and other mediums: America, US5420517 [P]. 1995-05-30.
- [15] 郝桂青,李健飞. 铂电阻温度传感器实现线性测温方案的研究[J]. 自动化仪表,2011,32(11):84-86.
- [16] 黄志平,唐亚纯. Keil μ Vision 4 在 C8051F321 仿真调试中的应用[J]. 电脑知识与技术,2009,36(5):10308-10309.
- [17] 曹美,徐晓辉,苏彦莽,等. 温度对 FDR 土壤湿度传感器的影响研究[J]. 节水灌溉,2015(1):17-19.
- [18] Liu J, Li R, Chang H. Multi-sensor data fusion based on correlation function and least square [J]. Control & Decision, 2006, 21(6):714-716.
- [19] 都强,杭柏林. 最小二乘法在多传感器测量标定中的应用[J]. 传感技术学报,2005,18(2):244-246.

(下转第 189 页)

2015, 31(3):62–69.

农业科学 2011(13):15–17.

[13] 张烨,李长友,李建民,等. 稻谷摩擦特性研究[J]. 广东

Simulation and Experimental Research on Automatic Supplying – seeds Device of Pneumatic and Vibratory Precision Seeder

Chen Jin¹, Ding Song¹, Gong Zhiqiang², Lian Yi¹

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China; 2. Chaohu University, Hefei 238000, China)

Abstract: In order to achieving the object of automatic quantitative supplying rice seeds without impacting seeding efficiency when pneumatic vibration precision seeder operates, for maintaining seeds thickness within a rational range to improve seeding efficiency. Chang You 3 super rice seeds and nursery tray with 448 holes was selected to operate seeding experiments. The law was found that seeds mass of the vibration plate decrease about 450g in every 13 seeding plates after the 3rd plate; Construction form of supplying seeds device was established, supplying seeds method was also confirmed using photoelectric sensor counts seeding plate number, and cell wheel rotation speed at 0.209rad/s in the total 10 seconds of supplying seeds controlled by PLC controller after analyzing seeding process; the discrete element method model of quantitative supplying – seeds device and super rice seed model based on EDEM, the mathematical modeling was set up about the relationship between supplying mass and experiment factor including the hole radius and number after 2 – factor and single – factor simulation experiments, using DPS data processing system conducted analysis for simulation experiment data and calculation. 5 holes and 64mm was determined suitably after calculating according to the mathematical modeling by one seed box, which supplied idea and theoretical basis for design of automatic quantitative supplying rice seeds of pneumatic vibration precision seeder.

Key words: precision seeder; supplying seeds; discrete element method; PLC; simulation

(上接第 182 页)

Abstract ID:1003 – 188X(2018)04 – 0177 – EA

Research on the Temperature Compensation Model of the FDR Soil Moisture Sensor

Zhang Jian, Xie Shouyong, Liu Jun, Chen Chong, Zhao Lei

(School of Engineering and Technology, Southwest University, Chongqing 400715, China)

Abstract: In order to improve the measurement accuracy of FDR soil moisture sensor under different temperatures, this paper designed a set of temperature and humidity measurement system which regards STM32F103RBT6 as core control unit. The measurement system is used to collect the temperature and humidity information of different temperature and humidity soil samples. And the multi – sensor data fusion technology and two element regression analysis method are used to process the data. According to the principle of least square method, a temperature compensation model of the FDR soil moisture sensor is presented. The proposed compensation model is tested in the measurement system, and the results show that when we used the measurement system which adopts the proposed compensation model, it can not only reduce the sensitivity of soil temperature but also achieve an accurate measurement of the soil moisture.

Key words: FDR soil moisture sensor; temperature compensation; measurement system; least square method