

DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.06.031

基于电容式湿度传感器的植物粉料含水率测量*

戈振扬 于英杰 张梦珠

(昆明理工大学现代农业工程学院, 昆明 650500)

【摘要】 提出了一种基于电容式湿度传感器的植物粉料含水率测量方法。由电容式湿度传感器和数据采集卡组成的测量系统获取植物粉料含水率数据,应用一阶差分法剔除奇异值后,通过惯性滤波法处理数据。由菊花粉含水率的13个测量值与烘干法测得的真值对比试验结果可知,测量值与真值之间的最大相对误差为1.61%,平均相对误差为0.76%,均小于5%(测量样品数为5时置信区间为95%),表明该方法能够用于测量低水分植物粉料的含水率。

关键词: 植物粉料 含水率 电容式湿度传感器

中图分类号: S237 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2012)06-0174-04

Moisture Content Measurement for Plant Material Powder Based on Capacitive Humidity Sensor

Ge Zhenyang Yu Yingjie Zhang Mengzhu

(Faculty of Modern Agricultural Engineering, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650500, China)

Abstract

A method of measuring moisture content for plant material powder based on HM1520LF capacitive humidity sensor was introduced. The raw data sequence of moisture content was acquired by measurement system which consists of capacitive humidity sensor and data acquisition card. After excluding alternative singular by one rank difference method, inertia filtering method was employed to process the data sequence. By accordingly comparing 13 measured values of moisture content with corresponding true values from the baking oven, the maximal relative error of moisture content between measured values and true values was 1.61%, and the average relative error was 0.76%, both less than 5% (confidence interval 95% for 5 samples). As a result, the method can be used to determine the low moisture content of plant material powder.

Key words Plant material powder, Moisture content, Capacitive humidity sensor

引言

植物粉料不仅可用作一些口含片等食品的功能修饰剂,也可取代甲、乙基纤维素成为药片制片的充填物。由于使用压片机制片剂时要求粉料的含水率为3%~5%,而植物粉料一般都具有较强的吸湿性,所以含水率是相关产品加工工艺中一个关键参数。采用烘箱烘干法测量植物粉料的含水率,耗时

长、过程繁琐。采用非接触式微波技术测量粉料含水率时,为排除微波场的干扰,被测样品需插入到微波谐振腔中,环境条件难以满足要求^[1]。近红外测量法虽能准确测量粉粒含水率,可精度受限于距离,且成本太高^[2]。PM-5013型水分快速测量仪虽可进行现场快速测量,但因传感器的探头与被测粉料要充分接触,且探头周围20 cm范围内不能有金属物质,使用受到限制^[3]。快速中子湿度计不仅成本

收稿日期:2011-09-13 修回日期:2012-01-15

*科技型中小企业技术创新基金资助项目(08C26215302346)

作者简介:戈振扬,教授,博士,主要从事生物生产材料特性检测研究,E-mail:ge.27@kmust.edu.cn

高,还需要特别的核辐射防护^[4]。国内外已有应用电阻、电容原理制成的传感器测量粉料含水率。与电阻式湿度传感器相比,电容式湿度传感器灵敏度高、响应速度快,但测量精度低。

综合考虑测量成本、使用方便程度、测量精度以及水分分布对测量结果的影响,提出一种采用电容式湿度传感器进行植物粉料含水率测量方法,以期实现对植物粉料低含水率的有效测量。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验样品为菊花粉,是将干燥的菊花用粉碎机制成粉料后经 100 目筛筛分得到。试验前菊花粉样品密封保存。每个样品的质量为 (5 ± 0.0002) g,共 10 个样品,平均分为 2 组进行水分测量试验,一组选用湿度传感器,另一组选用烘箱烘干法。在 12 d 内,每隔 1 d 分别用湿度传感器和烘箱烘干法同时测量每组样品含水率。

1.2 含水率测量值数据采集系统

采用电容式湿度传感器测量植物粉料含水率的系统主要由 HM1520LF 型电容式湿度传感器^[5]、DAQ-12 型数据采集卡、计算机和晶体管稳压电源组成。HM1520LF 是一种适合于测量低含水率粉末(1%~8%)的传感器,测量精度为 $\pm 1\%$,具有长时间在低湿度条件下精度不受影响、固体聚合物结构封装、化学稳定性好和响应时间快等优点,这些优点减小了外界电场或磁场的干扰,以及环境温度对测量精度的影响。试验是在温度恒定(室温)下进行的,即可以不考虑温度变化的影响。数据采集卡的工作参数设置为:A/D 通道为 CH0,采样时间间隔为 10s,数据库配置文件为 daqp-12.dat。湿度传感器获取菊花粉样品含水率数据后,由数据采集卡中的 A/D 转换器实现模拟信号到数字信号的转换,晶体管稳压电源给传感器和数据采集卡提供所需的电压和电流,用计算机完成测量信号的处理、暂存以及测量平台的构建,提供系统软件的运行平台。系统组成如图 1 所示。采样通道设置、采样时间间隔设置、数据库配置、数据测量和处理采用 LabVIEW 操作软件和 Matlab 7.0 软件混合编程来实现。

1.3 含水率标定真值试验方法

采用 DHG-9240A 型电热恒温鼓风干燥箱对样品进行干燥,以 GW 5009.3—2010 标准采用的烘箱烘干法测得的植物粉料含水率(5 个样品平均值)作为真值标定测量值^[6]。由于完全干燥后所测得的干质量差控制在 0.0002 g 之内,即含水率控制在 0.004% 的范围内,故可忽略样品的初始含水率为

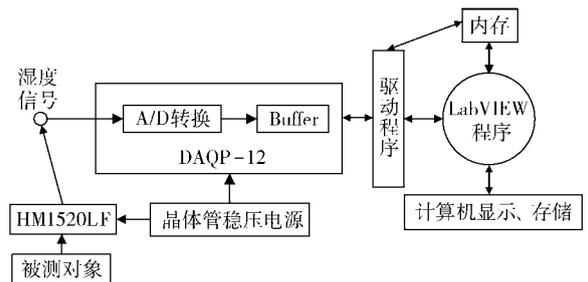


图 1 数据采集系统框图

Fig. 1 Block diagram of data acquisition system

零。植物粉料含水率(湿基含水率)计算公式为

$$M_r = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100\% \quad (1)$$

式中 M_r ——含水率, %

W_1 ——湿粉料质量, m

W_2 ——绝干粉料质量, m

1.4 含水率测量值获取

采用湿度传感器测量另外 5 个样品粉料含水率,取其平均值作为测量值。方法是对每个样品以 10 s 为间隔,在 300 s 时间段内测得的一组含有 30 个数据的原始数据序列,该原始数据序列曲线经过剔除奇异值,再用惯性滤波方法处理后,取 30 个数据的平均值作为该样品粉料含水率测量值。

植物粉料含水率测量系统的采集终端应用了虚拟仪器(virtual instrument,简称 VI)技术^[7]、Access 技术和 PCMCIA 串行接口技术设计而成,通过定时及事件驱动 2 种采集方式实现含水率数据的采集,同时应用基于 SQL Server 2005 技术开发的数据管理软件实现对数据的管理、储存,方便数据的读取与回放。程序设计采用积木式编程方式,把整个系统分成几个子 VI,由每一个子 VI 实现一个具体的任务,并独自进行编程、调试后连接起来形成一个完整的程序^[8]。本测量系统的整个程序由系统主程序、Database Configure Dialog 子 VI、Volt and Humidity Calculate 子 VI 及 LabSQL 数据库各个子 VI 组成。

植物粉料含水率测量系统数据采集流程如图 2 所示。首先,在数据库配置子 VI 中给出数据源和数据存储表格名称;然后,在前面板中设置采样通道、采样时间间隔等参数,循环次数由 LabVIEW 程序编制的信息采集软件设定,依靠 while 循环结构控制采样次数。

2 数据处理与分析

2.1 含水率原始数据序列奇异值剔除

由于湿度传感器在测量时需插入到粉料样品盒中,探头与松软的粉料接触不可能非常稳定,这时湿

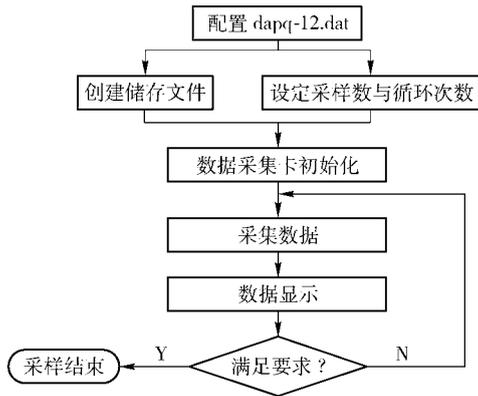


图2 系统数据采集流程图

Fig.2 Flow chart of data acquisition system

度传感器敏感元件会因微弱的抖动有所响应;另外,该测量系统中的供电稳压的微弱变化也可能造成敏感元件有所响应。因此,采集到的含水率原始数据系列中会存在奇异值,应该剔除。

剔除奇异值采用一阶差分法,即通过预测值及其误差限的值来确定原始数据序列中的某一数值是否为奇异值。图3为菊花粉样品第4天的含水率测量值原始数据序列曲线。图中A、B、C为奇异点。

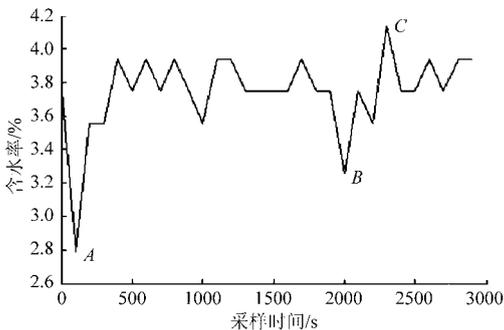


图3 菊花粉样品第4天含水率测量值原始数据序列曲线

Fig.3 Curve of raw data sequence of moisture measuring value of chrysanthemum in the fourth day

设 W 为误差限, x_t 为 t 时刻的采样值, x'_t 为 t 时刻的预测值,由一阶差分方程推算得

$$x'_t = 2x_{t-1} - x_{t-2} \quad (2)$$

若 $|x_t - x'_t| > W$, 则该采样值 x_t 即为奇异项,应剔除,而以预测值 x'_t 来取代采样值 x_t , 再次重复上述过程来判断下一时刻的采样值是否为奇异项。在数据处理过程中,如果第一个采样值即为奇异值,则一开始就必须先找到能满足上述关系的3个连续点,即满足 $|x_t - 2x_{t-1} + x_{t-2}| \leq W$, 此处的3个点可以作为起始点,然后以 x_{t-1} 和 x_{t-2} 为起始点,向 x_t 方向预测 x'_{t-3} , 即 $x'_{t-3} = 2x_{t-2} - x_{t-1}$, 再判断 x_{t-3} 是否为奇异项,循环判断至找出满足关系的连续3个点 x_1 、 x_2 、 x_3 。图4为菊花粉样品第4天的含水率测量值剔除奇异值后曲线。

根据系统精度,取误差限 W 为原始数据序列标

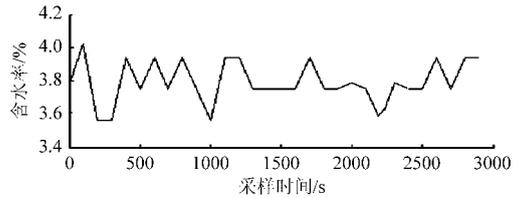


图4 菊花粉样品第4天含水率测量值剔除奇异值曲线

Fig.4 Curve after filtering using excluding alternative singular of chrysanthemum in the fourth day

准差的1倍,即

$$W = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n}} \quad (3)$$

式中 x_i ——数据序列中第 i 次采样值

\bar{x} ——数据序列均值

n ——采样次数,取 $n = 30$

2.2 惯性滤波处理

惯性滤波是基于连续系统的 RC 电路滤波原理的一种动态滤波方法,惯性滤波法的表达式为

$$Y_n = (1 - \alpha)X_n + \alpha Y_{n-1} \quad (4)$$

其中

$$\alpha = T_s / T_r$$

式中 X_n ——第 n 次采样值

Y_n ——第 n 次采样后滤波结果输出值

α ——滤波平滑系数

T_s ——采样周期

T_r ——滤波时间常数

在实际系统中 α 由试验确定,但一般要求被检测的信号不产生明显的纹波。每天采样数据经惯性滤波后的曲线如图5所示。

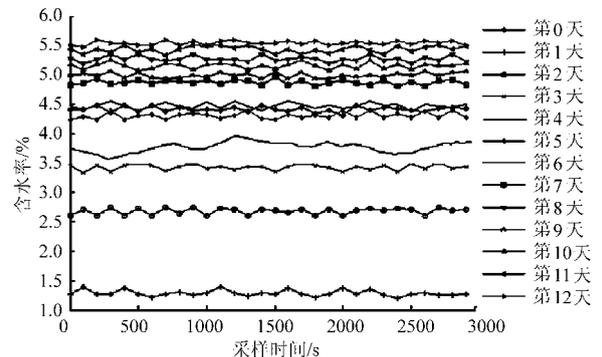


图5 每天采样数据惯性滤波曲线

Fig.5 Curves chart after filtering of chrysanthemum powder

3 结果与分析

将图5中每天测量数据求取平均值与烘箱烘干法测得真值比较结果如表1所示。

从表1可以看出,测量值和真值之间的相对误差较小,最大为1.61%,最小为0,均值为0.76%,均不超过5% (测量样品数为5时的置信区间为95%),表明系统具有较高精度,用湿度传感器测量植物粉料含水率的方法是可行的。

表1 菊花粉含水率结果比较

Tab.1 Results comparison of moisture content for chrysanthemum powder

时间/d	真值/%	测量值/%	差值/%	相对误差/%
0	4.35 ± 0.14	4.42 ± 0.15	0.07	1.61
1	1.26 ± 0.06	1.27 ± 0.02	0.01	0.79
2	2.70 ± 0.17	2.70 ± 0.05	0	0
3	3.44 ± 0.31	3.42 ± 0.11	0.02	0.58
4	3.89 ± 0.13	3.82 ± 0.13	0.07	0.79
5	4.27 ± 0.11	4.31 ± 0.08	0.04	0.94
6	4.51 ± 0.20	4.46 ± 0.08	0.05	1.11
7	4.84 ± 0.15	4.89 ± 0.10	0.05	1.03
8	5.24 ± 0.15	5.26 ± 0.04	0.02	0.38
9	4.99 ± 0.08	4.96 ± 0.05	0.03	0.60
10	5.11 ± 0.01	5.16 ± 0.07	0.05	0.98
11	5.44 ± 0.10	5.41 ± 0.10	0.03	0.55
12	5.56 ± 0.08	5.49 ± 0.12	0.07	0.54

另外,第8天菊花粉含水率真值为5.24%,明显高于第9天的含水率4.99%和第10天的含水率5.11%,菊花粉含水率的变化出现暂时的高峰值可能是受到菊花粉的返潮和当天空气湿度的影响。

4 结束语

基于电容式湿度传感器设计了一种低水分植物粉料含水率的测量系统,应用虚拟仪器技术和惯性滤波方法处理数据,耗时短、成本低。

把菊花粉含水率的13个测量值与烘干法测量真值结果相比较,结果发现,两者之间的相对误差较小,可以实现对低水分植物粉料含水率的测量。

参 考 文 献

- Chua H S, Parkinson G, Haigh A D, et al. A method of determining the moisture content of bulk wheat grain[J]. Food Engineering, 2007, 78(4): 1155 ~ 1158.
- 张晓芳,俞信,阎吉祥,等. 近红外反射技术开放式检测棉籽中水分和油含量的研究[J]. 光谱学与光谱分析, 2007, 27(3): 473 ~ 476.
Zhang Xiaofang, Yu Xin, Yan Jixiang, et al. Measurement of moisture and oil content in gross cotton seed based on near-infrared reflectance technique by open detecting mode[J]. Spectroscopy and Spectral Analysis, 2007, 27(3): 473 ~ 476. (in Chinese)
- Won N, Cho M Y. Pneumatic drying of iron ore particles in vertical tube[J]. Drying Technology, 2004, 22(4): 877 ~ 891.
- Cywicka Jakiel T, Loskiewicz J, Tracz G. The optimisation of the fast neutron and gamma-ray transmission set-up for moisture measurement of coke[J]. Appl. Radiat. Isot., 2003, 58(1): 137 ~ 142.
- 张荣标,余功江,张磊,等. WSN 土壤湿度采集节点电压补偿方法研究[J]. 农业机械学报, 2010, 41(11): 178 ~ 182.
Zhang Rongbiao, Yu Gongjiang, Zhang Lei, et al. Voltage compensation method of WSN soil moisture acquisition nodes [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2010, 41(11): 178 ~ 182. (in Chinese)
- de Knecht R J, van den Brink H. Improvement of the drying oven method for the determination of the moisture content of milk powder[J]. International Dairy, 1998, 8(8): 733 ~ 738.
- Jing J F, Li P F, Zhang H W, et al. Research on on-line inspection system for moisture content of fabric based on LabVIEW [C]//International Conference on Computer-Aided Industrial Design & Conceptual Design, 2009: 2114 ~ 2117.
- 路纹纹,吕新民,张立明. 棉花水分测试仪的设计[J]. 农机化研究, 2008(5): 89 ~ 92.
Lu Wenwen, Lü Xinmin, Zhang Liming, et al. The design and research on apparatus of cotton moisture measurement[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2008(5): 89 ~ 92. (in Chinese)