

粮食干燥机水分在线检测系统研究

滕召胜, 宁乐炜, 张海霞, 杨清海, 张洪川

(湖南大学电气与信息工程学院, 长沙 410082)

摘 要: 潮粮干燥是东北、华北地区秋粮入库前必不可少的加工环节, 由于样品流动性、水分分散性等因素的影响, 干燥过程中的粮食水分快速、在线、准确检测一直是影响干燥质量的亟待解决的关键技术。根据粮食干燥机的工况特点, 提出并研制了一种基于多路水分传感器实时观测信息融合的粮食干燥机水分在线检测系统, 介绍了系统的工作原理、硬件构成和软件设计, 给出了信息融合算法。系统以单片机 80C196KC 为信息处理核心, 采用大屏幕中文液晶显示。实际运行表明, 系统具有信号传输距离远、测量准确、运行可靠、智能化程度高等特点, 能够满足粮食干燥机水分在线检测的要求。

关键词: 粮食干燥机; 水分; 在线检测; 信息融合

中图分类号: S379.3; S27

文献标识码: A

文章编号: 1002-6819(2004)05-0130-04

0 引言

受气候条件影响, 东北地区和华北地区每年秋收后都要收购大量的潮粮(高水分粮食), 其中仅东北地区每年收购潮粮就在 250 亿 kg 以上^[1]。为保证粮食的安全储藏, 潮粮入库前必须进行干燥处理。因此, 近年来, 许多学者与工程技术人员在潮粮干燥技术与设备方面进行了大量的探索研究, 研究了新的干燥技术与干燥设备^[2-4]。文献[5]通过对粮食烘干塔水分在线检测系统的实时性要求分析, 介绍了在 VB 程序中实现信息实时传输和处理的多线程编程方法, 论述了串行通信、动态图形显示、温度补偿和实时信息处理方法。文献[6]将圆筒型结构的粮食水分检测传感器置于干燥机的出口和入口处, 依据粮食的水分变化导致传感器电容量的变化, 完成粮食水分在线实时检测。由于潮粮的品种主要是玉米, 颗粒大, 形状不规则, 干燥过程中处于缓慢流动状态, 因而水分检测的随机影响因素复杂, 很难实施在线采样与准确测量。测量手段不完善, 致使长期以来粮食干燥机出粮口的粮食水分检测一直采用每隔 1 h 定时取样、用 130 定时干燥的耗电费时方法, 一次测量至少需要 45 min, 滞后长, 实时性差, 粮食干燥质量难以保证, 自动测量控制无法实现^[7]。

为此, 作者在国家粮食局的大力支持下, 研制了一个基于多路水分传感器信息融合的粮食干燥机水分在线检测系统, 取得了良好的应用效果。系统采用 8 个利于现场安装取样的插杆式水分快速测定传感器, 对干燥机出粮口的流动粮食进行现场连续采样, 对每个传感器的时间序列采样值进行滑动数字滤波, 然后对 8 路测量结果进行参数估计信息融合处理。系统分别显示干燥机各出粮口的粮食水分值和出粮口水分的典型值, 作为测量结果和控制依据。系统的测量误差 $\leq 5\%$, 一次测量只

需 1~2 s。

系统采用大屏幕中文 LCD 显示, 可显示水分测量结果、参数设置状况及故障自检信息等多项内容。

1 系统的测量原理

1.1 系统的硬件构成

粮食干燥机水分在线检测系统构成如图 1 所示。

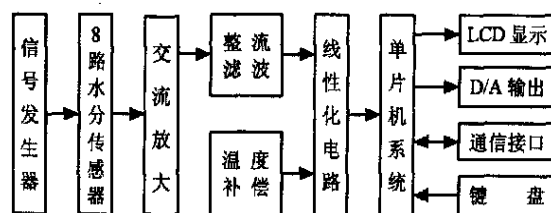


图 1 系统的构成

Fig 1 Composition of the system

系统的工作过程为: 8 路插杆式水分传感器分别置于干燥机的 8 个出粮槽中, 随时将水分检测信号传送到调理电路(包括交流放大、整流滤波、温度补偿、线性化等电路单元)供处理, 得到与被测粮食水分含量成正比的 0~5 V 直流电压信号, 送至 16 位单片机 80C196KC 的 8 路 A/D 转换口。单片机对 8 路测量信号实施滑动数字滤波与信息融合处理。D/A 转换输出与出粮口粮食水分典型值成正比的直流电压信号, 通过变频调速器控制鼓风机与送料电机, 实现对干燥机的热风量和潮粮进塔速度的控制。通信接口用以实现系统与工控机的连接。干燥机的温度测量和电机变频调速都是通过工控机实现的。

1.2 插杆式水分传感器

文献[8]研究了粮食的导电特性, 发现了粮食的导电浴盆效应: 在某一频带, 粮食的阻抗呈现较低状态, 其导电能力与水分含量成正比关系。施加幅值不变的某一频带的标准激励信号, 通过测量由被测粮食的阻抗所决定的导通电流, 可间接测量出粮食的水分含量。基于这一原理的粮食干燥机水分传感器设计成插杆形式, 如图 2 所示。传感器由电极 1、电极 2、绝缘层 1、绝缘层 2、加长管、安装柄、信号线、固线螺钉等组成。电极 1 为标准信号发送电极, 发送的标准信号经传感器周围粮食衰

收稿日期: 2003-01-06 修订日期: 2004-07-20

基金项目: 湖南省自然科学基金项目(00JJY2061); 湖南省杰出中青年专家基金项目(01JZY2101)

作者简介: 滕召胜, 教授, 博士生导师, 主要从事智能检测、信息处理、自动化技术研究。长沙市 湖南大学电气与信息工程学院, 410082

减, 由电极 2 即接收电极得到与被测粮食水分含量相应的测量信号, 送后续调理电路处理。传感器的信号传输距离可达 100 m。

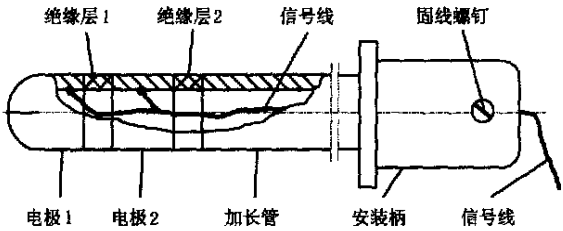


图 2 插杆式水分传感器结构图
Fig 2 Structure of insertion-type sensor of moisture content

传感器的电极与加长管均采用 1Cr18Ni9Ti 材料制成并抛光, 绝缘层材料选用聚四氟乙烯。材料选择不仅能保证传感器的电气与机械性能, 还能避免传感器表面残留粉尘对测量结果造成影响。

2 水分在线检测信息融合方法

信息融合在农业工程中具有广阔应用前景^[9]。粮食干燥机的水分快速检测结果包括各个传感器按时间序列采样的实时水分检测结果, 和不同空间位置 8 路水分传感器测量结果的典型值。这种涉及单传感器按时间序列重复观测和不同位置传感器测量信息估计的多传感器智能检测系统, 采用信息融合有利于消除测量中的不确定性, 获得更准确可靠的测量结果。当某个传感器失效时, 系统依据非失效传感器提供的测量信息, 仍能够获得出粮口粮食水分含量的准确值。

2.1 单传感器的滑动数字滤波

环境干扰、被测样品在电极周围的排列、被测样品水分含量的不均匀等随机因素都构成对粮食干燥机水分在线检测系统测量结果的随机影响。为提高系统水分检测的实时性、重复性和准确性, 各路传感器在进行多次观测的基础上均进行滑动平均值数字滤波处理, 这种处理方法具有较好的实时性。

滑动平均值数字滤波法以采样次数固定的 N 个采样数据作为数字滤波的测量列, 系统的某个传感器每进行一次采样, 都将采样结果置于测量列的末尾, 并“挤掉”原来列首的那个数据, 测量列仍保持 N 个最近 M 次的采样数据。每当有新的采样数据进入测量列, 单片机都对这 N 个最近 N 次的采样数据进行算术平均值计算。即各传感器的水分测量结果 \overline{M}_p 为

$$\overline{M}_p = \frac{1}{N} \sum_{q=1}^N M_{pq} \tag{1}$$

式中 $p = 1, 2, \dots, 8, M_{pq}$ 为传感器 p 的第 q 次水分采样结果。

2.2 多路水分传感器的信息融合算法

对安放在 8 个出粮槽内的水分传感器进行滑动数字滤波得到的测量列, 按照空间位置相邻二传感器不在一组的原则分为 2 组(若编号连续, 则奇数编号传感器

为一组, 偶数编号传感器为一组), 对二组测量数据进行算术平均值计算, 然后采用分批估算法, 估计出接近粮食水分真实值的典型值, 即融合值 \hat{M}^+ , 从而消除测量过程中的不确定性, 实现干燥机出粮口粮食水分的在线、实时、快速、准确测定。

2 组水分传感器的算术平均值测量结果可表示为测量方程

$$M = H \hat{M}^+ + V \tag{2}$$

式中 M —— 水分算术平均值测量结果; H —— 系数矩阵; \hat{M}^+ —— 出粮口粮食水分典型值; V —— 测量噪声。

设第 1 组非失效传感器的测量数据为

$$M_{11}, M_{12}, \dots, M_{1m} \quad m = 4$$

第 2 组非失效传感器的测量数据为

$$M_{21}, M_{22}, \dots, M_{2n} \quad n = 4$$

则 2 组测量数据的算术平均值分别为

$$\overline{M}_{(1)} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m M_{1i} \tag{3}$$

$$\overline{M}_{(2)} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n M_{2i} \tag{4}$$

相应地, 2 组测量数据的近似误差分别为

$$\hat{\sigma}_{(1)} = \sqrt{\frac{1}{m-1} \sum_{i=1}^m (M_{1i} - \overline{M}_{(1)})^2} \tag{5}$$

$$\hat{\sigma}_{(2)} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (M_{2i} - \overline{M}_{(2)})^2} \tag{6}$$

同时考虑 1、2 组的测量结果, 并设系数矩阵 $H =$

$$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}, \text{ 则测量方程 (2) 可变成}$$

$$M = \begin{bmatrix} \overline{M}_{(1)} \\ \overline{M}_{(2)} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \hat{M}^+ + \begin{bmatrix} V_{(1)} \\ V_{(2)} \end{bmatrix} \tag{7}$$

式中 $V_{(1)}, V_{(2)}$ —— 分别为 $\overline{M}_{(1)}, \overline{M}_{(2)}$ 的测量噪声, 即剩余误差。

此时, $\overline{M}_{(1)}, \overline{M}_{(2)}$ 为同一批的 2 个测量数据, 在此之前没有任何有关水分测量的统计资料, 即此前测量结果的方差 $\hat{\sigma}^- =$, $(\hat{\sigma}^-)^{-1} = 0$ 。

测量噪声的协方差为^[10]

$$R = E[VV^T] = \begin{bmatrix} E[V_{(1)}^2] & E[V_{(1)}V_{(2)}] \\ E[V_{(2)}V_{(1)}] & E[V_{(2)}^2] \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \hat{\sigma}_{(1)}^2 & 0 \\ 0 & \hat{\sigma}_{(2)}^2 \end{bmatrix} \tag{8}$$

式中 V^T 为 V 的转置矩阵。

分批估计后得到的水分融合值的方差为

$$\hat{\sigma}^+ = [(\hat{\sigma}^-)^{-1} + H^T R^{-1} H]^{-1} = \left\{ [1 \ 1] \begin{bmatrix} \frac{1}{\hat{\sigma}_{(1)}^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\hat{\sigma}_{(2)}^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix} \right\}^{-1} = \frac{\hat{\sigma}_{(1)}^2 \hat{\sigma}_{(2)}^2}{\hat{\sigma}_{(1)}^2 + \hat{\sigma}_{(2)}^2} \tag{9}$$

式中 H^T 为 H 的转置矩阵。

由分批估计导出的出粮口水分检测信息融合值 \hat{M}^+ 为

$$\begin{aligned}\hat{M}^+ &= [\hat{\sigma}^+ (\hat{\sigma}^-)^{-1}] \hat{M}^- + [\hat{\sigma}^+ + H^T R^{-1}] M \\ &= [\hat{\sigma}^+ H^T R^{-1}] M\end{aligned}\quad (10)$$

将式(8)、(9)代入式(10)得

$$\begin{aligned}\hat{M}^+ &= \frac{\hat{\sigma}_{(1)}^2 \hat{\sigma}_{(2)}^2}{\hat{\sigma}_{(1)}^2 + \hat{\sigma}_{(2)}^2} [1 \ 1] \begin{bmatrix} \frac{1}{\hat{\sigma}_{(1)}^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\hat{\sigma}_{(2)}^2} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{M}_{(1)} \\ \bar{M}_{(2)} \end{bmatrix} \\ &= \frac{\hat{\sigma}_{(2)}^2}{\hat{\sigma}_{(1)}^2 + \hat{\sigma}_{(2)}^2} \bar{M}_{(1)} + \frac{\hat{\sigma}_{(1)}^2}{\hat{\sigma}_{(1)}^2 + \hat{\sigma}_{(2)}^2} \bar{M}_{(2)}\end{aligned}\quad (11)$$

式(11)为基于多传感器参数估计信息融合的出粮口粮食水分含量测量结果。这种基于算术平均值与分批估计相结合的多路水分快速检测实时信息融合方法,是在获得2个较可靠的测量初值 $\bar{M}_{(1)}$ 、 $\bar{M}_{(2)}$ 的基础上,以二者的方差为加权计算变量,对 $\bar{M}_{(1)}$ 、 $\bar{M}_{(2)}$ 进行加权处理,以获得更准确可靠的测量结果。 $\bar{M}_{(1)}$ 与 $\bar{M}_{(2)}$ 的误差越大,式(11)计算出的测量结果对误差的改善效果越明显。特殊情况下,当二者方差相等,即 $\hat{\sigma}_{(1)}^2 = \hat{\sigma}_{(2)}^2$ 时,式(11)的计算实际成为算术平均值计算。

3 系统的软件设计

粮食干燥机水分在线检测系统采用高性能CHMOS 16位单片机80C196KC^[11],其内部带有16K字节的EPROM和488字节的RAM,8个A/D转换通道在需要提高分辨率时可设置为10位方式,而在需要提高转换速度时又可设置为8位方式。由于运行速度快、精度高、功能强,这种单片机在智能检测中得到了越来越多的应用。

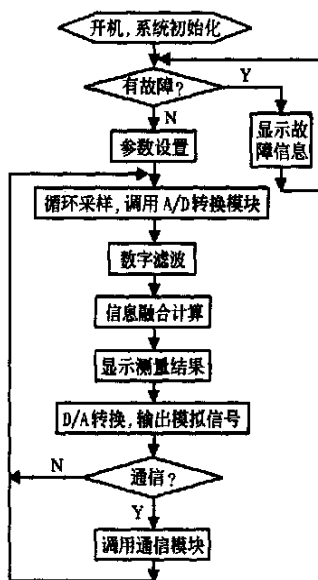


图3 系统主程序流程图

Fig 3 Master program of the system

粮食干燥机水分在线检测系统的软件设计采用结构化程序设计方案,具有较好的模块性、可移植性和易修改性。系统的软件模块主要有:初始化模块、故障自检模块、参数设置模块、A/D转换模块、D/A转换模块、数字滤波模块、信息融合模块、显示模块、通信模块等。A/D转换采用10位方式。图3为系统主程序流程简图。

4 结论

由于单传感器水分检测采用了滑动数字滤波技术,多路传感器水分检测采用了基于参数估计的信息融合方法,粮食干燥机水分在线检测系统的测量准确性和可靠性大大提高,重复性明显改善。系统在黑龙江省10多个日干燥量200t的HT-200型粮食干燥机投入使用以来,测量准确,运行可靠,与GB5497-85粮食水分测定标准方法^[12]比较,系统在主要测量范围(10%~18%)的测量误差 $\leq 5\%$,满足粮食干燥机水分快速在线测量要求。

[参考文献]

- [1] 洪家乐,徐增寿,柳芳久,等.粮食干燥机的机型比较和选型意见[J].粮食储藏,1998,27(5):46-50
- [2] 杨洲,罗锡文,李长友.高湿稻谷逐步升温干燥工艺试验研究[J].农业工程学报,2002,18(6):137-140
- [3] Dong Tieyou, Toshinorikimura, Shigeru Yoshizaki, et al. Energy efficiency in microwave drying [J]. 农业工程学报,2002,18(5):43-47.
- [4] Liu Xueqiang, Huang Xiangdong, Wu Wenfu, et al. Thin-layer drying experimental system based on virtual instruments[J]. 农业工程学报,2002,18(5):241-245
- [5] 蔡铁,滕召胜,郑舜生.粮食烘干塔水分在线检测系统中的实时信息采集与处理[J].自动化与仪表,2001(5):47-50
- [6] 丁丽英.粮食水分在线检测系统的设计[J].计量与测试技术,2003(6):14-16
- [7] <http://www.tjagri.gov.cn/tjnj/zhuanjia/keyan>
- [8] 滕召胜,周光俊,童调生.粮食的导电浴盆效应与新型水分检测方法研究[J].中国粮油学报,1999,14(1):59-62
- [9] 李小昱,王为,雷廷武.多传感器信息融合技术及其在农业工程中的应用前景[J].农业工程学报,2003,19(3):10-13
- [10] 滕召胜.水分快速测定的一种实时信息处理方法[J].湖南大学学报,2002,29(1):80-84
- [11] 孙涵芳. Intel 16位单片机[J].北京:北京航空航天大学出版社,1995
- [12] GB5497-85 粮食水分测定标准方法[M].北京:中国标准出版社,1985

On-line measurement system of grain dryer
for monitoring moisture content

Teng Zhaosheng, Ning Lew ei, Zhang Haixia, Yang Qinghai, Zhang Hongchuan
(College of Electrical and Information Engineering, Hunan University, Changsha 410082, China)

Abstract: It is necessary to dry moist grain before storage in the Northeast and North China after harvest in autumn. Because of the flow ability and dispersed moisture content of grain, the rapid, on-line and accurate moisture content measuring is a key problem demanding prompt solution. According to the working state of grain dryer, this paper presents an on-line measuring system of moisture content for grain dryer, which is based on multisensor information fusion technology. The measuring principles, hardware structure and software design were introduced, and the information fusion algorithm was given. The measuring system applies 80C196KC single-chip processor as information processing unit, and has friendly user interface with Chinese display LCD. Practical application indicates that this system has many advantages, such as the long distance signal transmission ability, high accuracy, good reliability and intelligence, which can fully meet the needs of on-line measurement of moisture content for grain dryer.

Key words: grain dryer; moisture content; on-line measurement; information fusion