

包装过程称量信号处理方法研究

孟文晔

(乌兰察布职业学院, 内蒙古 乌兰察布 012000)

摘要: 目的 为提高包装过程定量称量精度, 结合卡尔曼滤波算法和模糊控制原理设计一种称量信号处理方法。**方法** 定量称量控制系统一般由触摸屏、控制器、称量传感器、变频器等电气设备组成。以传感器信号处理为主要研究对象, 提出一种改进卡尔曼滤波算法。采用卡尔曼滤波器实现称量信号中随机噪声的处理。利用模糊控制器来实时监测卡尔曼滤波每次更新后实际方差和理论方差的差值。最后, 进行实验研究。**结果** 实验结果表明, 改进卡尔曼滤波的实际性能比较理想, 滤波处理前, 称量误差最大可以达到 2.5%; 经滤波处理后, 最大称量误差只有 0.26%。**结论** 所述信号处理方法可以有效地降低称量信号噪声, 提高称量精度。

关键词: 称量; 卡尔曼滤波; 模糊控制; 包装

中图分类号: TB486; TP274.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2022)09-0184-05

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2022.09.025

Processing Method of Weighing Signal in Packaging Process

MENG Wen-ye

(Ulanqab Vocational College, Inner Mongolia Ulanqab 012000, China)

ABSTRACT: This paper aims to improve the quantitative weighing accuracy of packaging process, and design a weighing signal processing method by combining kalman filtering algorithm and fuzzy control principle. Quantitative weighing control system is generally composed of touch screen, controller, weighing sensor, inverter and other electrical equipment. Taking sensor signal processing as the main research object, an improved kalman filtering algorithm is proposed. Kalman filter is used to deal with random noise in weighing signal. A fuzzy controller is used to monitor the difference between the actual variance and the theoretical variance after each update of kalman filter. Finally, an experimental study is carried out. The experimental results show that the actual performance of the improved Kalman filter is relatively ideal, and the maximum weighing error can reach 2.5% before filtering. After filtering, the maximum weighing error is only 0.26%. The signal processing method can effectively reduce the weighing signal noise and improve the weighing accuracy.

KEY WORDS: weighing; Kalman filtering; fuzzy control; packaging

当前, 物料生产、加工类企业大多采用自动化控制实现各个工艺流程, 原材料经过加工处理后变成合格的物料, 最后进行装料成袋并包装^[1-3]。近几年, 随着工业技术的不断进步, 自动称重技术日趋成熟; 但是从根本上讲, 称重精度仍然是整个自动称量设备

的关键同时也是提高产品质量和企业效益首要解决的问题^[4-5]。为提高称量精度, 许多学者进行了相关研究。董婷等^[6]利用模糊控制、神经网络和常规 PID 控制等几种方法实现了控制器参数的优化和在线调整, 然后将其应用到自动称量包装控制系统。从国

收稿日期: 2021-07-27

基金项目: 内蒙古自治区高等学校科学研究项目 (NJSY20269)

作者简介: 孟文晔 (1987—), 女, 硕士, 乌兰察布职业学院讲师, 主要研究方向为计算机科学技术与软件工程。

进^[7]采用 STC12C5A69S2 单片机设计了一种称量包装电路, 主要利用光电耦合减小干扰, 电机点动控制减小误差。上述研究虽取得了一定的效果, 但是并没有解决称量信号干扰问题。实际上, 称量过程中, 信号会不可避免地受到干扰, 进而影响称量精度^[8-10]。文中以称量信号处理为主要研究对象, 提出一种基于改进卡尔曼滤波算法的称量系统, 重点处理不稳定或噪声较大的被测信号, 同时预测、校正信号偏差, 以提高称量精度。

1 称量系统整体框架

对大多数包装设备来说, 称量包装系统主要由 2 部分组成: 定量称量模块和自动包装模块。其中定量称量模块由送料、下料、称量、筛选等单元组成; 自动包装模块由包装、封口、成品输出等单元组成。文中以定量称量模块为研究对象, 重点讨论称量信号的处理。

文中以粉末状或颗粒状物料包装为主要应用对象, 定量称量控制系统一般由触摸屏、控制器、称量传感器、变频器等电气设备组成。其中, 触摸屏可实现人机交互, 输入工艺参数、显示设备运行状态系统等; 控制器是整个系统的控制核心; 称量传感器可实时获取物料质量; 变频器可实现放料阀门电机控制, 进而调节阀门开度。正常工作时, 称量传感器会将待包装物料的重量转化为毫安级电信号; 该信号由模拟量采集装置获取并转换为数字信号; 最后, 将数字信号传送至控制器。控制器会根据实际质量和设定质量之间的差值决定加料方式, 如果差值较大则采取粗加料方式, 以提高加料速度; 如果差值较小则采取精加料方式, 以提高称量精度。称量控制系统结构见图 1。

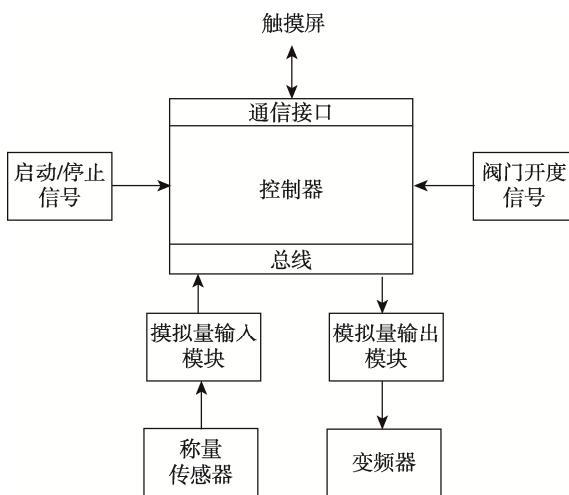


图 1 称量控制系统结构
Fig.1 Structure of weighing control system

在获取待包装物料质量时, 称量传感器会受到外部噪声、振动等因素影响, 其输出信号与真实信号存

在一定的偏差。如何确保称量传感器输出信号的准确性对提高系统的称量精度具有十分重要的意义, 因此, 文中结合卡尔曼滤波算法和模糊控制来提高称量传感器输出信号的稳定性和准确性。

2 称量信号处理算法

2.1 卡尔曼滤波

称量传感器输出信号和真实信号之间会存在一定偏差, 造成偏差的因素可分为 2 类: 直流分量和随机噪声^[11-12]。具体描述见式(1)。

$$A = a + a' + n \quad (1)$$

式中: A 为输出信号; a 为真实信号; a' 为直流分量; n 为随机噪声。直流分量可以通过多次测量取平均值进行事先校正, 故其处理过程比较简单。随机噪声具有较强的不稳定性和随机性, 无法进行测量。对于随机噪声, 事先校正的效果有限, 需要采用滤波器消除噪声。称量过程中, 信号干扰因素可分为 2 种: 内部干扰和外部干扰。外部干扰主要指外界干扰波以及环境因素, 如电磁干扰、静电干扰等, 可通过提高系统屏蔽性解决。内部干扰多发生在传感器采集信号、信号转换过程中, 具体表现为脉冲干扰的形式; 另外, 还有热噪声属于高斯白噪声的一种。对于内部干扰, 从软件上进行改进, 不仅可以简化电路, 还可以降低硬件的二次干扰和成本。在众多滤波算法中, 卡尔曼滤波在消除高斯白噪声方面更具有针对性。综合比较, 卡尔曼滤波算法可实时更新, 滤波效果理想, 因此可将其应用到称量传感器的信号处理上。

定义 n 时刻的状态变量为 X_n , 其可通过前一时刻的状态 X_{n-1} 得到, 即满足式(2)。

$$X_n = F_n X_{n-1} + B_n U_n + W_n \quad (2)$$

式中: F_n 为状态转移矩阵; B_n 为控制矩阵; U_n 为控制量; W_n 为噪声。称量传感器并没有控制输入, 因此 $B_n U_n$ 项为 0。

定义测量值为 Y_n , 可描述为式(3)。

$$Y_n = H_n X_n + V_n \quad (3)$$

式中: H_n 为测量矩阵; V_n 为噪声。大多数情况下, 可认为噪声 V_n 和 W_n 均服从高斯分布。

卡尔曼滤波的实现过程可分为 2 个阶段: 预测和更新。在预测过程中, 算法存在 2 个关键变量, 即状态变量和估计方差。状态变量见式(2), 估计方差则可以用式(4)表示。

$$P(n|n-1) = F_n P(n-1|n-1) F_n^T + Q_n \quad (4)$$

式中: F_n^T 为 F_n 的转置矩阵; Q_n 为估计噪声。在更新阶段, 文中采用最小均方差估计得到了卡尔曼滤波算法最佳增益, 见式(5)。

$$K_n = P(n-1|n-1) H_n^T (H_n P(n|n-1) H_n^T + R_n)^{-1} \quad (5)$$

式中: R_n 为测量值估计噪声。

根据卡尔曼最佳增益和最新测量值, 状态变量更新值表示见式(6)。

$$\tilde{X}(n|n)=\tilde{X}(n|n-1)+K_n(Y_n-H_n\tilde{X}(n|n-1)) \quad (6)$$

那么估计方差的更新值表示见式(7)。

$$P(n|n)=(1-K_nH_n)P(n|n-1) \quad (7)$$

2.2 模糊控制器

在实际工作过程中, 称量传感器输出信号中噪声的随机性非常强, 仅采用卡尔曼滤波虽然可以提高信号质量, 但是在一些高精度场合卡尔曼滤波算法仍无法满足要求。为进一步提高称量精度, 文中设计了一种模糊控制器来实时监测卡尔曼滤波每次更新后实际方差和理论方差的差值。利用模糊推理实现方差值的在线调整^[13-15]。

定义方差的差值见式(8)。

$$e=P_a-P_t \quad (8)$$

式中: P_a 为实际方差; P_t 为理论方差。

模糊控制器的输入量为差值 e 及其变化率 e' , 模糊控制器输出量为方差调整变量 U 。如此, 在称量信号滤波过程中, 模糊控制器会实时输出一个控制量 U 并将其作用到卡尔曼滤波算法, 以实时调整估计方差

来提高滤波精度。根据模糊控制规则, 模糊控制器的输入变量 e 可以分为 7 类, 即负大、负中、负小、零、正小、正中、正大, 可分别用 NB、NM、NS、Z、PS、PM、PB 表示; 模糊控制器的输入变量 e' 可以分为 5 类, 即负大、负中、零、正中、正大, 可分别用 NB、NM、Z、PM、PB 表示; 模糊控制器的输出变量 U 可以分为 7 类, 即大正小、中正小、正小、正中、正大、中正大、大正大, 可分别用 PVS、PMS、PS、PM、PMB、PVB 表示。三者之间关系见表 1。

3 实验研究

为验证所述称量信号处理方法的性能, 文中进行了实验研究。实验场景见图 2。

将文中信号处理方法移植到实际定量称量包装设备中, 现场进行多次重复实验。物料为洗衣粉; 设定物料质量为 500 g; 称量系统有效屏蔽, 减少外部干扰影响, 称量结果见表 2。由表 2 可以看出, 滤波处理前, 称量误差最大可以达到 2.5%; 经滤波处理后, 最大称量误差只有 0.26%。实验结果表明, 基于模糊控制的卡尔曼滤波算法可以有效地降低称量信号噪声, 提高称量精度。

表 1 模糊控制规则
Tab.1 Fuzzy control rule

e'	e						
	PB	PM	PS	Z	NS	NM	NB
PB	PVB	PB	PMB	PMS	PVS	PS	PMB
PM	PB	PMB	PM	PM	PS	PMS	PB
Z	PMB	PM	PMS	PM	PMS	PM	PMB
NM	PB	PMS	PS	PM	PM	PMB	PB
NB	PMB	PS	PVS	PMS	PMB	PB	PVB



图 2 实验场景
Fig.2 The experimental scene

表 2 实验结果
Tab.2 The experimental results

序号	标定值/g	未滤波称量值/g	滤波称量值/g	未滤波误差/%	滤波误差/%
1	500	512.6	501.1	2.5	0.22
2	500	511.8	501.2	2.36	0.24
3	500	490.3	499.2	-1.94	-0.16
4	500	495.1	502.0	-0.98	0.4
5	500	508.2	499.0	1.64	-0.2
6	500	506.4	501.3	1.28	0.26
7	500	493.3	500.9	-1.34	0.18
8	500	511.5	499.5	2.3	-0.1
9	500	496.5	499.6	-0.7	-0.12
10	500	508.6	500.2	1.72	0.04

4 结语

为提高定量称量包装系统的称量精度,降低噪声对称量信号的影响,文中设计了一种称量信号处理方法。在介绍称量设备结构的基础上,结合卡尔曼滤波和模糊控制提出了一种称量信号滤波方法,可以去除幅度较大的随机噪声。实验结果表明,采用改进卡尔曼滤波算法可以大幅度提高称量精度,有利于提高定量称量包装过程的自动化程度。

参考文献:

- [1] 田智慧, 张永胜, 王国平. 自动称量配料控制系统设计[J]. 包装工程, 2019, 40(1): 140-144.
TIAN Zhi-hui, ZHANG Yong-sheng, WANG Guo-ping. Design of Automatic Weighing Batching Control System[J]. Packaging Engineering, 2019, 40(1): 140-144.
- [2] 钱婷婷, 李正明, 石鑫, 等. 基于单片机的自动称重系统[J]. 制造业自动化, 2014, 36(16): 116-117.
QIAN Ting-ting, LI Zheng-ming, SHI Xin, et al. The Automatic Weighing System Based on Singlechip[J]. Manufacturing Automation, 2014, 36(16): 116-117.
- [3] 耿爽, 黄劼. 基于 C8051F021 的高精度自动装料称重系统研制[J]. 电子测量技术, 2019, 42(1): 83-86.
GENG Shuang, HUANG Jie. Design of High Accuracy Automatic Loading and Weighing System Based on C8051F₀₂₁[J]. Electronic Measurement Technology, 2019, 42(1): 83-86.
- [4] GAJDA J, BURNOS P, SROKA R. Accuracy Assessment of Weigh-Inmotion Systems for Vehicle's Direct Enforcement[J]. IEEE Intelligent Transportation Sys-
- tems Magazine, 2018, 10(1): 88-94.
- [5] 葛亮, 李俊兰, 胡泽, 等. 基于虚拟技术的高精度称重系统设计[J]. 制造业自动化, 2011, 33(20): 154-156.
GE Liang, LI Jun-lan, HU Ze, et al. The Design of High Precision Weighing System Based on Virtual Technology[J]. Manufacturing Automation, 2011, 33(20): 154-156.
- [6] 董婷. 一种自动称重包装控制系统设计[J]. 控制工程, 2017, 24(2): 372-377.
DONG Ting. Control System Design of Automatic Weighing Packaging Machinery[J]. Control Engineering of China, 2017, 24(2): 372-377.
- [7] 丛国进. 基于 STC¹²C5A60S2 单片机的自动称重控制设计[J]. 价值工程, 2016, 35(4): 119-120.
CONG Guo-jin. A Control Design of the Automatic Weighing Instrument Based on STC¹²C5A60S2 Microcontroller[J]. Value Engineering, 2016, 35(4): 119-120.
- [8] 孙亮亮, 付宏才, 甘义权, 等. 基于 MATLAB 仿真的电子皮带秤信号滤波研究[J]. 电子测量技术, 2018, 41(13): 89-93.
SUN Liang-liang, FU Hong-cai, GAN Yi-quan, et al. Research on Electronic Belt Scale Signal Filtering Based on MATLAB Simulation[J]. Electronic Measurement Technology, 2018, 41(13): 89-93.
- [9] SHU Yi, LI Cheng, WANG Zhe, et al. A Pressure Sensing System for Heart Rate Monitoring with Polymer-Based Pressure Sensors and an Anti-Interference Post Processing Circuit[J]. Sensors, 2015, 15(2): 3224-3235.
- [10] KAPUSTA, ZHU, LYDEN. Sampling Circuits that Break the kT/C Thermal Noise Limit[J]. IEEE Journal

- of Solid-State Circuits, 2014, 49(8): 1694-1701.
- [11] 黄端, 胡悦, 王峰. 卡尔曼滤波在电梯加速度信号处理上的应用[J]. 工业控制计算机, 2018, 31(7): 48-50.
HUANG Duan, HU Yue, WANG Feng. Acceleration Signal Processing of Elevator Based on Kalman Filter[J]. Industrial Control Computer, 2018, 31(7): 48-50.
- [12] 杨军, 李丽宏, 周尚儒. 基于自适应卡尔曼滤波的动态称重算法的研究[J]. 自动化与仪表, 2014, 29(8): 5-8.
YANG Jun, LI Li-hong, ZHOU Shang-ru. Research of Dynamic Weighing Algorithm Based on Adaptive Kalman Filter[J]. Automation & Instrumentation, 2014, 29(8): 5-8.
- [13] 黄宇航, 陈勇. 基于模糊卡尔曼滤波的锂电池 SOC 估算研究[J]. 北京信息科技大学学报(自然科学版), 2019, 34(3): 48-52.
HUANG Yu-hang, CHEN Yong. Research on SOC Es-
- timation for Lithium Battery Based on Fuzzy Adaptive Kalman Filtering[J]. Journal of Beijing Information Science & Technology University, 2019, 34(3): 48-52.
- [14] 文常保, 戚一婷, 宿建斌, 等. 基于新型卡尔曼滤波算法的称重系统实现研究[J]. 自动化与仪表, 2020, 35(2): 52-56.
WEN Chang-bao, QI Yi-ping, SU Jian-bin, et al. Research on Implementation of Weighing System Based on Novel Kalman Filter Algorithm[J]. Automation & Instrumentation, 2020, 35(2): 52-56.
- [15] 李若贤, 付宏才, 夏敏, 等. 基于自适应卡尔曼滤波的电子皮带秤信号处理[J]. 自动化技术与应用, 2019, 38(8): 73-76.
LI Ruo-xian, FU Hong-cai, XIA Min, et al. Signal Processing of Electronic Belt Scale Based on Adaptive Kalman Filter[J]. Techniques of Automation and Applications, 2019, 38(8): 73-76.

责任编辑: 曾钰婵