

基于快速滤波及非对称切尾均值的检重秤改进

Fast filtering and asymmetrical trimmed-mean mass estimator for the checkweigher

许金州 石秀东 王彬 李进

XU Jin-zhou SHI Xiu-dong WANG Bin LI Jin

(江南大学机械学院, 江苏 无锡 214122)

(School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi, Jiangsu 214122, China)

摘要:为解决皮带式检重分级装备,在高速工作时检重精度低的问题,首先对检重系统进行建模,研究检重秤在静止、空载运行、加载工作下的系统状态,对检重秤采集的信号进行时频分析,找出干扰源和干扰频段,分析其产生原因及变化趋势,确定滤波指标。依指标,设计 FIR 数字滤波器提高数据信噪比。降噪后采用 2 种方式进行重量值估计:① 非对称切尾均值(Trimmed-mean mass estimator, TME),取去噪后的最后 N 个采样数据按大小排序,对排序后的数据进行非对称切尾,找出准确的观测区间,然后对该区间取平均值;② 算数平均重量估计(Average mass estimation, AME),截取最后 N 个数据取平均值。结果表明:TME 方式所得检重误差低于 0.3%,平均误差 0.155%;AME 平均误差为 0.758%。FIR 滤波可快速去噪,TME 重量估计能令检重精度更高。

关键词:动态检重系统;时频分析;FIR 滤波;非对称切尾均值

Abstract: In order to solve the problem of low weight detection precision of belt type weight detection equipment at high speed. Firstly, the model of weight detection system was modeled, and then the checkweigher in static, no-load operation, the normal work of the state of the system was checked to analyze time frequency signals. The source of interference and its frequency were found out, then an analysis of its causes and changes were analyzed, determining the index filtering. According to the index, the FIR digital filter was designed to denoise the data. After filtering, two methods were adopted as follows. The weight estimation of asymmetric trimmed mean (Trimmed-mean mass estimator, referred to as TME) was investigated. After taking the last N data and sorting by size, this sequence was cut in an asymmetrical way for average. Moreover, the

arithmetic average weight estimation (Averagemass estimation, referred to as AME) used to intercept the last N data, and the average was adopted. The results showed that the weight error of TME was less than 0.3%, and the average error is 0.155%, with the average error of AME 0.758%. It was concluded that the FIR filtering could fast denoise the wave, and the TME weight estimation had higher detection accuracy.

Keywords: dynamic weighing; time-frequency analysis; FIR filtering; sorting-based trimmed mean

皮带秤作为一种检重衡器,在产品包装、货运等行业中的应用越来越广泛,如农产品在线检测分级、药品或化学品净含量标准检测等^[1-2]。由于市场需要,对检重的精度与速度要求^[3]逐渐提高。本文以市场上通用的皮带检重秤为研究对象,该秤在高速工作时,平均误差率超过 1%,不能满足包装品的检测要求。皮带检重秤在运行时会伴随各种干扰,例如:自身的^[4]或相邻装置传递的振动(托盘及被测物料的滑动或晃动,皮带与支撑板摩擦,减速箱齿轮、主动与被动辊筒等的振动)、感应干扰^[5-6]、工作环境(厂房的温度、湿度、灰尘含量等)干扰等。

目前的解决方法有改进结构和数据滤波处理(硬件电路滤波和软件算法滤波^[7])。硬件滤波主要采用 RC 电路^[8]。先用硬件滤除高频干扰,避免频谱混叠,得到满意的截止区。软件滤波相对于硬件滤波而言^[9],具有可选增益比较高、可编程、不受环境影响等优势;但软件滤波器不易控制,参数选取上有主观性。软件滤波多采用滑动均值或限幅均值等方法;常用的软件滤波并不能解决采样时间短、数据呈重尾分布的特点,也无法高效抑制大量的随机干扰。一个算法滤波难以同时实现平滑与抗随机要求;多种算法组合或多次滤波虽能实现平滑抗随机功能,但会占用系统大量内存,无法实现快速检重。

针对上述问题,本试验首先对检重系统进行时频分析^[10],找出干扰源,确定工作与干扰的频谱区间;然后设计 FIR 滤波器^[11-12]对采样信号进行快速预滤波,以提高信噪

基金项目:国家科技支撑计划项目(编号:2015BAF12B00)

作者简介:许金州,男,江南大学在读硕士研究生。

通信作者:石秀东(1965—),男,江南大学副教授,博士。

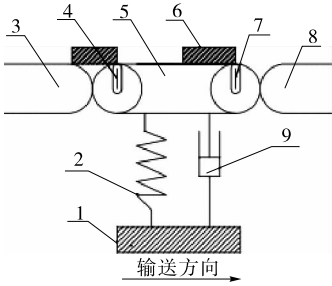
E-mail: shixd5718@163.com

收稿日期:2017-06-05

比;参考自适应加权的处理方法^[13-16],设计一种非对称切尾取均值的新方法来估计滤波后的检重值,并将该值作为最终检测输出。

1 皮带检重秤模型及工作流程

皮带检重秤实物简图见图 1。其工作流程:物料从上料区进入导入输送机,经加速、缓冲后,匀速进入检重台,前端光电接近开关(QL:10-36VDCPNP SH)检测到物料托盘进入检重台后,开始采集信号,当后端接近开关检测到载物托盘时,停止信号采集,至此一次采集完毕。



1. 称重传感器 2. 等效弹簧 3. 导入输送机 4. 前端接近开关
5. 检重台 6. 物料 7. 后端接近开关 8. 导出输送机 9. 等效机械阻尼

图 1 皮带检重秤模型简化

Figure 1 Simplified model of belt weighing scale

2 检重系统干扰分析与抗干扰设计

2.1 系统静止状态分析

忽略外界干扰,检重系统可视为一个典型二阶阻尼系统,其数学模型为:

$$(m+M)\ddot{x}(t)+c\dot{x}(t)+kx(t)=Mg, \tag{1}$$

式中:

- m ——检重台质量,g;
- M ——物料质量,g;
- k ——系统等效刚度;N/m;
- c ——等效的阻尼系数;
- g ——重力加速度,m/s²;
- x ——竖直方向位移,m。

式(1)作为二阶系统其标准形式:

$$\ddot{x}(t)+2\xi\omega_n\dot{x}(t)+\omega_n^2x(t)=\frac{Mg}{m+M}, \tag{2}$$

式中:

- $\omega_n=\sqrt{\frac{k}{M+m}}$;
- $\xi=\frac{c}{2\sqrt{(M+m)k}}$;
- ω_n ——固有圆频率,rad/s;
- ξ ——阻尼比。

采用塑料锤敲击检重台的方式施加一个脉冲激励信号,采集输出响应,在 Matlab 中经离散傅立叶快速变换(FFT)得到时域图和频域图,见图 2。

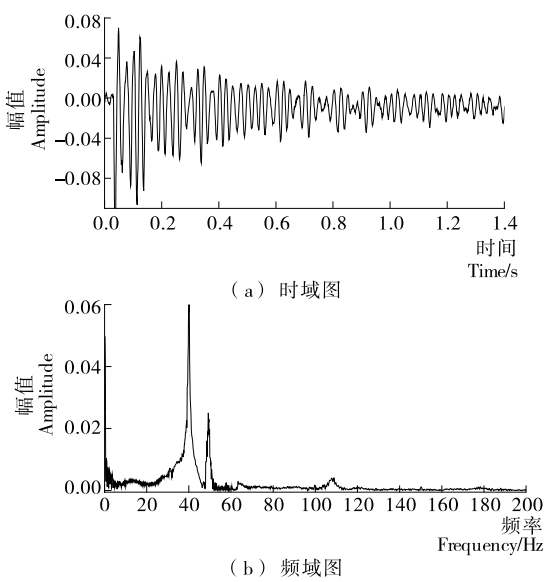


图 2 脉冲激励响应时域图和频域图

Figure 2 Time-frequency domain spectrum of impulse excitation response

由文献[17]中的公式可得:

$$\xi \approx \frac{1}{2n\pi} \ln \frac{A_1}{A_n} \approx 0.0327, \tag{3}$$

式中:

A_1, A_n ——图 2(a)曲线上相隔 n 个周期的 2 个峰值。
由此可知阻尼比 $\xi \ll 1$,阻尼越小,振荡越强,导致系统所显示的信号不能反应真实值。阻尼过小,系统从响应到稳态所需时间较长,难以实现快速检重。从图 2(a)中可看出,欠阻尼系统振动衰减过程,该系统类似一个二阶系统;从图 2(b)中看,0~50 Hz 低频干扰相对较明显,其中 40 Hz 和 50 Hz 附近有高峰值,50 Hz 是工频干扰,所以高峰值所对的 40 Hz 就是垂直方向的固有频率。

2.2 空载运行时振动干扰分析

皮带检重秤在 0.85 m/s 的速度下空载运行,采集输出响应,在 Matlab 中经离散傅立叶快速变换(FFT)得其频域图,见图 3。

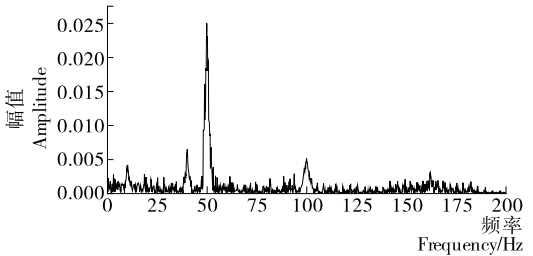


图 3 空载运行频域图

Figure 3 Frequency domain spectrum of no-load operation

由图 3 可知:由于空载激励比较弱,各段振幅相对较小。可以看出干扰主要在 10,40,50,100 Hz 附近,峰值比较大的频段。

2.3 加载运行时振动干扰分析

通过加载运行研究,找出物料所产生的激励对系统的影

响,确定物料称重的振频率区间,为滤波提供依据。皮带检重秤在 0.85 m/s 的速度下加载运行,采集输出响应,在 Matlab 中经离散傅立叶快速变换 (FFT) 得其频域图,见图 4。

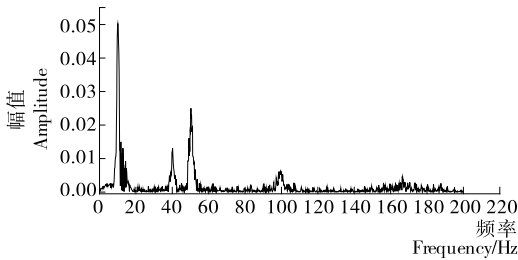


图 4 加载运行频域图

Figure 4 Frequency domain spectrum of loading operation

与图 3 相比,图 4 在 10 Hz 附近多出一个明显的峰值。该峰值是被测物料冲击时的低频振动峰值。10 Hz 附近的区间是滤波的重点区间,高于 10 Hz 的部分可通过低通滤波抑制。

2.4 称重系统抗干扰设计

通过上述分析,初步的抗干扰设计如下。

结构上采用分离式机构,尽量避免其他临近装置对皮带秤造成的干扰;采用轻质铝合金托板减小惯性,增大固有频率利于稳定。供电系统,使电动机电缆独立走线;在电源线上加屏蔽珠,电源线端部加去耦电容。传输过程抗干扰,在进行 AD 转换之前,在传输电路中加入一阶 RC 低通滤波器,滤除高频干扰,降低模拟前端混叠现象。

上述硬件方面的抑制,在电压不稳定、温度变化等情况下,对突变信号、随机信号效果较差。提高处理速度,需要对离散数字信号快速处理。提高精度,须滤除大量随机干扰。针对处理速度,本文设计了一种 FIR 数字滤波器;精度上,作为检重秤,只需要在有限的时间内确定一个精确的估计值即可,基于其中思路本试验设计了一种基于非对称切尾取均值的重量估计方法。

3 基于非对称切尾均值的重量估计

在重量估计之前对数据快速预处理,对包含振动的信号进行去噪,提高信噪比。对比无限数字滤波 IIR 及自适应滤波,有限数字滤波 FIR 去噪效果更稳定,具有严格的线性相位可使处理后的数据延迟更短。

3.1 基于 MATLAB 的 FIR 选频滤波器设计

FIR 滤波器的步骤:

(1) 确定指标。根据测量数据,确定滤波指标低通 $\omega_s = 10$ Hz,阻带最小衰减 $R_s = 40$ dB。计算理想滤波器取样响应

$$h_d(n) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\omega_s}^{\omega_s} H_d(e^{j\omega}) e^{j\omega n} d\omega。$$

(2) 采用加窗函数的形式实现 $h_d(n)$ 的截断,确定窗长。单位取样响应 $h(n) = h_d(n) \omega(n)$ 。 $\omega(n)$ 是窗函数。利用 MATALAB 中的 fdatool 设计基于窗函数的 FIR 滤波器。根据 3.1(1) 指标,在满足阻带最小衰减 40 dB 条件下,选择哈明窗。窗长度选择 $N = 15$,滤波器阶数 $M = N - 1 = 14$ 。

(3) 检验 $h(n)$ 的频响 $H(e^{j\omega})$ 是否满足 $H_d(e^{j\omega})$ 的要求, $H(e^{j\omega}) = FT[h(n)] = \sum_{n=1}^{N-1} h(n) e^{-j\omega n}$ 。

(4) 若满足要求,保存为滤波器 M 文件以调用;若不满足,调整 N 值直到满足指标要求。

滤波前后的效果图见图 5。

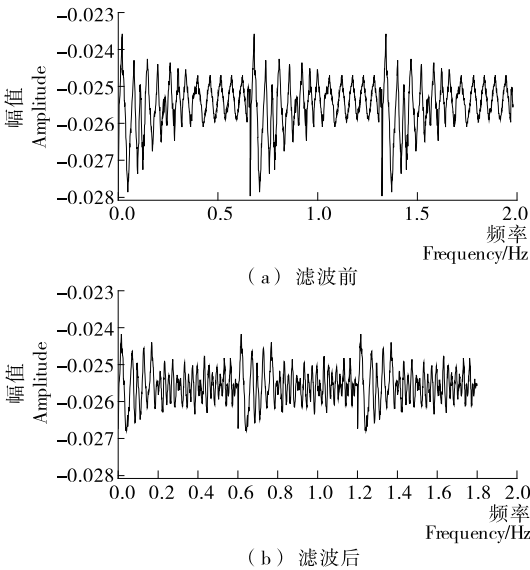


图 5 FIR 滤波前后的加载时域图

Figure 5 Time domain diagram of loading before and after FIR filtering

3.2 基于非对称切尾平均值重量估计方法

如图 5, FIR 滤波已经滤除了部分干扰,平稳区变长,但重尾部分还是比较明显,低频随机干扰仍然存在。本研究用一种基于排序的切尾平均值重量估计法 (Trimmed-mean mass estimator, TME) 切取有效区间得到更精准的测量结果。

(1) 对采集后的数据,截取滤波后称重传感器的分析区间内的最后 N 个采样数据(用序列 $X_N = [x_1, x_2, \dots, x_N]$ 表示)用于重量的估计。

(2) 对 X_N 进行升序排序得到其顺序统计量 $X_{(N)} = [x_{(1)}, x_{(2)}, \dots, x_{(N)}]$, 其中 $x_{(1)} \leq x_{(2)} \leq \dots \leq x_{(N)}$ 。

(3) 确定系数 k 和 j , 计算非对称切尾平均值作为最后的重量估计:

$$\hat{m}(k, j) = \frac{\sum_{i=\lfloor kN \rfloor + 1}^{\lfloor N-jN \rfloor} x_i}{N - \lfloor kN \rfloor - \lfloor jN \rfloor}, \quad k \geq 0, j \geq 0, k + j < 1。 \tag{4}$$

式(4)中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 表示 floor 函数,其功能是向下取整。从 $\hat{m}(k, j)$ 的定义知,排序后的统计量 $X_{(N)}$ 的最小的 $\lfloor kN \rfloor$ 个观测样本和最大的 $\lfloor jN \rfloor$ 个观测样本视作为离群值 (outliers) 而被剔除。 k, j 值通过经验估测,并用统计方法多次优化得到最佳值。

4 验证实验结果分析

仪器为市场上通用的电阻应变式皮带检重秤;材料为若

干个橘子与托盘。根据称重实际情况,被检测物的重量范围应该在最大量程的 20%~40%,选择最大量程为 1.2 kg 的称重传感器。实验验证使用算数平均估计(AME)与非对称切尾均值(TME)算法的检重效果。取 8 组产品样品 M_o ,对每个产品各测 5 次取平均值记为 M_{1n} 、 M_{2n} ,测量误差率为 ϵ_{1n} 、 ϵ_{2n} 。误差率计算方式按式(5)。

$$\epsilon = \frac{M_n - M_o}{M_n} \times 100\%。$$

测量结果见表 1。

表 1 动态检重测量估计与误差率

Table 1 Dynamic weight measurement estimation and error rate

M_o/g	AME		TME	
	M_{1n}/g	ϵ_{1n}	M_{2n}/g	ϵ_{2n}
355.15	351.74	0.96	354.40	0.21
350.35	347.44	0.83	349.93	0.12
360.57	357.43	0.87	360.30	0.15
355.22	352.56	0.75	354.30	0.26
356.23	353.77	0.69	355.48	0.21
350.35	348.39	0.56	350.35	0.00
375.35	372.84	0.67	374.75	0.16
350.60	348.04	0.73	350.14	0.13

由表 1 可知,AME 最大测量误差率为 0.96%,平均误差 0.758%;TME 最大误差率为 0.26%,平均误差仅为0.155%。改进算法使该秤测量平均误差减小了约 0.608%。

5 结论

本试验针对皮带检重秤高速低精度的问题,采用一系列硬件措施提高了系统抗干扰能力,对采集的数据选用 FIR 进行快速数字滤波处理,并对处理后的数据作非对称切尾均值重量估计。试验证明,改进后的检重秤可实现高精度快速检重目标。

参考文献

[1] 杨庆奇. 动态检重秤在食品行业中的应用[J]. 中国食品工业, 2000(7): 39.

(上接第 88 页)

[19] 杨东鹏, 张春荣, 董民, 等. 用于检测蔬菜有机磷和氨基甲酸酯类农药残留的酶抑制分光光度法研究进展[J]. 中国农学通报, 2004, 20(2): 37-39.

[20] 罗俊霞, 李德瑜, 袁小伟, 等. 酶抑制法测定多种有机磷和氨基甲酸酯类农药残留的试验[J]. 浙江农业科学, 2015, 56(6): 883-887.

[21] 张莹. 果蔬中有机磷及氨基甲酸酯类农药残留快速测定方法[J]. 现代农业科技, 2012(3): 211-213.

[22] 卞华松, 张大年, 赵一先. 水污染物的超声波降解研究进展[J]. 环境污染治理技术与设备, 2000, 1(1): 56-64.

[23] 沈其动, 吴胜举, 吕园丽, 等. 超声波降解水中有机污染物技术[J]. 菏泽学院学报, 2007, 29(2): 55-58, 91.

[24] 钟爱国. 超声波诱导降解甲胺磷[J]. 化工环保, 2000, 20(2):

[2] GUNATHILAKE D M C C, WASALA W M C B, PALIPANE KB. Design, development and evaluation of a size grading machine for onion[J]. Procedia Food Science, 2016, 6: 103-107.

[3] 韩乔生, 芦金石, 陶学恒, 等. 高效高精度动态静态组合块状食品称重分选系统[J]. 食品与机械, 2016, 32(10): 89-93.

[4] 李光乐. FFS 包装机伺服电子定量秤研究[J]. 食品与机械, 2013, 29(4): 118-121.

[5] 毛建东. 动态称重系统的动态补偿和校正[J]. 食品与机械, 2006, 22(2): 84-86.

[6] 李静, 马志宏. 电磁干扰环境下产品失效机理分析[J]. 环境技术, 2010, 28(1): 5-8.

[7] 中达电通公司. 浅析软件滤波在自动控制中的应用[J]. 电力电子, 2007(3): 38-40.

[8] 朱克佳. 浅析无源 RC 滤波电路在常用电子系统中的应用[J]. 电子制作, 2013(10): 199.

[9] 万如敏, 蔡荣芳. 数据采集系统信号分析处理的硬件软件实现[J]. 电气自动化, 1998, 20(4): 55-57.

[10] 徐岩, 张晓明, 王瑜, 等. 基于离散傅里叶变换的频谱分析新方法[J]. 电力系统保护与控制, 2011, 39(11): 38-43.

[11] 周金治. 基于 Matlab 与 DSP 的 FIR 数字滤波器软硬件实现[J]. 现代电子技术, 2005, 28(17): 1-2.

[12] SAMAD M A, UDDIN J, AHMEDM R. FIR filter design using modified lanczos window function[J]. Advanced Materials Research, 2012, 566: 49-56.

[13] FRAIMAN R, MUNIZ G. Trimmed Means for Functional Data[J]. Test, 2001, 10(2): 419-440.

[14] ISSA I, BOLON P. Adaptive Weighted α Filter [C]// European Signal Processing Conference, 1996. Eusipco 1996. [S.l.]: IEEE, 2015: 1-4.

[15] NOWAK R D, BARANIUK R G. Adaptive Weighted Highpass Filters Using MultiscaleAnalysis[J]. IEEE Transactions on Image Processing a Publication of the IEEE Signal Processing Society, 1998, 7(7): 1 068-1 074.

[16] ARCE G R. A general weighted median filter structure admitting negative weights[J]. Signal Processing IEEE Transactions on, 1998, 46(12): 3 195-3 205.

[17] 黄俊钦. 测试系统动力学[M]. 北京: 国防工业出版社, 1996: 108-119.

17-19.

[25] INEZ H, ULRIKE P. Ultrasonic irradiation of carb- ofuran; Decomposition kinetics and reactor characterization[J]. Wat Res, 2001, 35(6): 1 448-1 451.

[26] JIANG Yi, PÉTRIER Christian, WAITE T David. Kinetics and mechanisms of ultrasonic degradation of volatile chlorinated aromatics in aqueous solutions[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2002, 9(6): 317-323.

[27] DAVID B, KENJI O, NORIMICHI T, et al. Ultrasonic and photochemical degradation of chlorpropham and 3-chloroaniline in aqueous solution[J]. Wat Res, 1998, 32(8): 2 452-2 456.

[28] 宋伟, 徐雪丽. 超声波诱导过碳酸钠降解有机磷农药[J]. 江苏农业科学, 2014, 42(9): 307-309.