

小型方捆机草捆动态称量系统信号分析与处理

张安琪¹ 孟志军¹ 陈立平¹ 王培¹ 刘淮玉² 安晓飞¹

(1. 北京农业智能装备技术研究中心, 北京 100097; 2. 黑龙江八一农垦大学工程学院, 大庆 163319)

摘要:为实现小型方捆机草捆动态称量系统的准确测量,降低地面颠簸和机械传动引起的振动对草捆质量测量精度的影响,分析了打捆机作业速度、拖拉机 PTO 启停对草捆动态称量系统压力和角度噪声信号的作用机理。当系统采样频率为 40 Hz 时,压力噪声信号频率主要在 0.1 ~ 16 Hz;角度噪声信号频率主要在 3 ~ 4 Hz 和 16 ~ 17 Hz;打捆机作业速度与噪声信号强度呈正相关。在信号分析基础上,研究了信号处理方法。为提高滤波精度,首先采用基于 3σ 准则的双阈值动态滤波方法对信号进行预处理,消除奇异值影响,再利用分段线性插值补充空缺点,最后设计一种巴特沃斯带阻滤波器对噪声信号进行消除。田间试验结果表明,采用该方法对信号进行处理后,草捆质量预测相对误差为 $-4.15\% \sim 4.17\%$,优于均值滤波得到的结果,且该滤波方法适应性更好,更符合实际生产需要。

关键词: 方捆机; 草捆; 动态称量; 信号分析

中图分类号: S237 文献标识码: A 文章编号: 1000-1298(2020)S2-0243-06

Signal Analysis and Processing of Dynamic Weighing System for Small Square Baler

ZHANG Anqi¹ MENG Zhijun¹ CHEN Liping¹ WANG Pei¹ LIU Huaiyu² AN Xiaofei¹

(1. Beijing Research Center of Agricultural Intelligent Equipment Technology, Beijing 100097, China

2. College of Engineering, Heilongjiang Bayi Agricultural University, Daqing 163319, China)

Abstract: Aiming to accurately measure the dynamic weighing system of straw bale in small square baler and reduce the influence of vibration caused by ground jolting and mechanical transmission on the measuring accuracy of straw bale. The influence mechanism of different working speeds of baler and the start or stop of the tractor PTO on the pressure noise signal and angle noise signal of dynamic weighing system of straw bale was analyzed by an experiment. When the sampling frequency of the system was 40 Hz, the signal frequency of pressure noise was mainly within the range of 0.1 ~ 16 Hz. The frequency of the angle noise signal was mainly in the range of 3 ~ 4 Hz and 16 ~ 17 Hz. The working speed of baler was positively correlated with the noise signal strength. On the basis of signal analysis, the signal processing method was researched. First of all, aiming to eliminate the influence of singular value about the original signal, the double threshold based on the rule of 3σ method for signal preprocessing was carried out. Then piecewise linear interpolation was used to supplement the vacancy point. Finally, a Butterworth band stop filter was designed to eliminate the noise signal and further improve the filtering precision. The field test results showed that the relative error of straw bale quality prediction was between -4.15% and 4.17% after the signal was processed by the method. The relative error of straw bale quality prediction was between -5.15% and 5.08% after the signal was processed by the method of average filtering. The signal processing method was better than the average filtering. Moreover, this filtering method was more adaptable and met the actual production needs.

Key words: square baler; straw bales; dynamic weighing; signal analysis

收稿日期: 2020-08-20 修回日期: 2020-09-18

基金项目: 北京市农林科学院创新能力建设专项(KJCX20200416)、现代农业产业技术体系建设专项资金项目(CARS-03)和农机北斗导航与智能测控北京市工程实验室建设项目(PT2020-22)

作者简介: 张安琪(1989—),男,助理研究员,博士,主要从事农机智能装备研究,E-mail: zhangaq@nrcita.org.cn

通信作者: 安晓飞(1986—),男,副研究员,博士,主要从事农机智能装备研究,E-mail: anxf@nrcita.org.cn

0 引言

草捆动态称量技术是打捆机作业量监测的需要,实现草捆质量的动态测量对科学管理打捆机具有重要意义^[1-2]。目前发达国家在打捆机草捆质量监测上已经形成了成熟的技术方案^[3-11],基本成为打捆机的标配功能。而我国对打捆机的研究主要集中在机械结构优化^[12-14],较少涉及监测技术。文献[15-16]设计了一种圆捆机草捆称量系统,实现了草捆的随车动态称量。万其号等^[17]公开了一种方捆机草捆称量装置,通过将拉力传感器安装在放捆板支撑链上对草捆质量进行动态测量。高国民等^[18]基于自走式方捆机设计了一种草捆动态称量试验台,将称量槽与滑轨设置成2级阶梯结构,实现了草捆的动态分离及称量。张安琪等^[19]基于多传感器融合技术,设计了一套方捆机草捆动态称量系统,提出了一种草捆动态分离、识别方法,实现了小方捆机作业过程中草捆质量的在线测量。打捆机在作业过程中,受到地面颠簸和打捆机自身振动的影响,信号采集过程中存在很强的噪声。为实现草捆质量的准确测量,需研究算法对噪声信号有效去除,已有研究多采用均值滤波对系统信号进行简单处理,鲜有专门针对信号分析与处理方面的研究。

目前,动态称量信号处理研究多数集中在车辆动态称量、谷物收获机测产等领域。在车辆动态称量领域,张惠芳等^[20]利用巴特沃斯低通数字滤波器和 Levenberg-Marquardt 优化算法对车辆动态称量系统信号进行处理,极大提高了动态称量系统的测量精度。李莲等^[21]对动态轨道衡称系统误差进行了分析和处理,利用汉明窗对原始信号进行滤波处理,再对滤波后数据利用 3σ 准则去除粗大误差,最后对有效数据求平均值,最终实现质量测量误差控制在1%以内。肖俊等^[22]基于 Matlab 设计了 FIR 低通滤波器并将其应用于汽车动态轴组计量信号中,有效滤除了由汽车振动、称体晃动等因素引起的噪声信号。在谷物收获机测产领域,张振乾等^[23]对喂入量监测系统的扭矩信号、转速信号和 GPS 信号开展了分析与处理方法研究。对扭矩信号进行双阈值滤波、插值和降噪,对比了不同插值方法的预测效果和不同滤波方法的降噪效果。安晓飞等^[24-25]设计开发了基于光电漫反射原理的谷物产量计量系统,并提出了适用于谷物产量数据的双阈值动态滤波处理方法。

针对目前关于打捆机草捆动态称量系统信号分析及处理研究较少、地面颠簸和机械传动对噪声信号作用机理不清等问题。本文基于自主研发的小型

方捆机草捆动态称量系统^[19],分析打捆机作业速度、拖拉机 PTO 启停对草捆动态称量系统压力和角度噪声信号的作用机理,采用基于 3σ 准则的双阈值动态滤波方法对原始信号进行预处理,消除奇异值影响,利用分段线性插值补充空缺点,设计巴特沃斯带阻滤波器消除噪声信号,以期进一步提高滤波精度,最终实现草捆质量的准确测量。

1 噪声信号分析

1.1 材料与方法

1.1.1 试验材料

图1为自主研发的小型方捆机草捆动态称量系统^[19],该称量系统主要由支撑板、称量台、信息采集单元、数据采集处理单元、数据显示存储单元等组成。信息采集单元包括4路传感器,其中压力传感器选用蚌埠大洋传感器系统有限公司生产的 DYZ-101 型压力传感器,均匀分布在支撑板四周,用于监测称量台下压力;角度传感器选用瑞芬 LCA318T 型单轴姿态传感器,用于监测称量台俯仰角;限位开关选用欧姆龙 WLCA12-2 型限位开关,用于在线识别草捆状态;GPS 模块选用 NV08C Mini PCI-E 模块,用于监测打捆机作业位置及速度。数据采集处理单元采用 STM32F40 芯片,实现2路 A/D 信号、1路 I/O 采集,与上位机通过 RS485 通信,波特率为 9 600 b/s。数据显示存储单元选用已经预装 Windows 7 操作系统的 VMC3000 车载终端(NEXCOM 公司,中国台湾)。

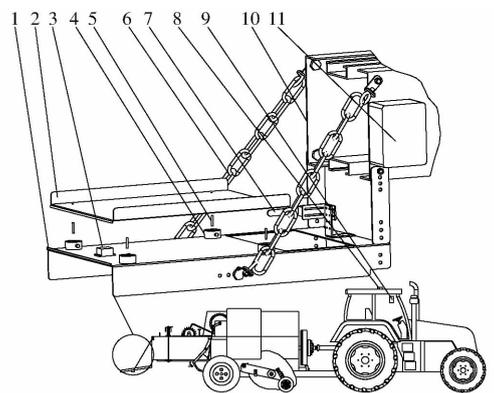


图1 草捆动态称量系统示意图

Fig. 1 Schematic of bale dynamic weighing system

1. 支撑板 2. 称量台 3. 角度传感器 4. 压力传感器 5. 定位销
6. 支撑链组件 7. 限位开关组件 8. GPS 模块 9. 显示终端
10. 压捆室 11. 数据采集处理单元

草捆从压捆室推出后,在自身重力作用下跌落至称量台,与后续草捆分离,通过实时采集称量台下压力和俯仰角,基于力学模型实时获取草捆质量。初始状态下称量台上无草捆,此时称量台下压力为

自身重力。在压捆室后续草捆的逐步推送下,草捆开始进入称量台,由于称量台下压力叠加草捆重力分量,称量台下压力逐步增大,直至草捆完全落入称量系统,并与限位开关接触。由于限位开关对草捆有一定的反作用力,此时称量台下压力并未达到最大,在后续草捆的继续推送下,草捆与限位开关分离并完全落入称量台,此时称量台下压力达到最大并保持稳定。直至草捆跌落至地面,称量台下压力回归到初始状态,并开始下一个测量循环。

1.1.2 试验方法

如图 2 所示,通过对称量台下压力达到最大并保持稳定这一区间进行力学分析,可知这一区间称量台下压力与压力传感器的反作用力始终处于受力平衡状态,可建立数学模型为

$$mg\cos\alpha + m'g\cos\alpha = F \quad (1)$$

式中 m ——单个草捆质量,kg

m' ——称量台质量,kg

α ——称量台俯仰角, ($^\circ$)

F ——压力传感器测量值,N

g ——重力加速度, m/s^2

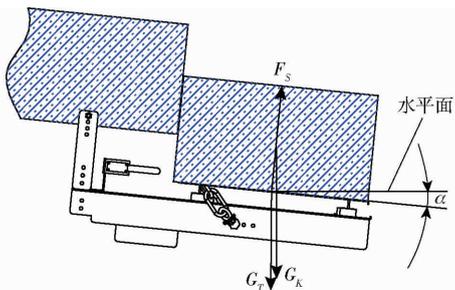


图 2 草捆在称量台上受力分析图

Fig. 2 Stress analysis diagram of straw bale in weighing table

由于 m' 为常量,由此可通过实时获取 F 与 α 计算单个草捆的质量 m 。实际作业过程中,打捆机作业的地块平整度不高,地面起伏频繁,打捆机会产生剧烈振动。此外,在拖拉机 PTO 的作用下,打捆机各传动系统及活塞同时动作,导致打捆机产生强烈的自振。这些因素都会对系统采集的压力与角度信号带来很强的噪声,为了消除噪声影响,获取准确的压力与角度信号,需对噪声信号的形成机理进行分析。

如图 3 所示,在草捆动态称量系统上放置 1 个成型草捆,设计 PTO 启动和 PTO 停止 2 种工作状态,这 2 种工作状态下,分别设置打捆机 0、4、8、12、16 km/h 这 5 种不同的作业速度,共计 10 种作业模式。对比分析这 10 种作业模式下草捆动态称量系统原始信号的频谱图,进而分析打捆机作业速度、拖拉机 PTO 启停对草捆动态称量系统采集信号的作

用机理。



图 3 试验现场

Fig. 3 Test site

试验于 2020 年 6 月在北京市昌平区小汤山国家精准农业研究示范基地进行,系统安装在天津轩禾农业机械制造有限公司生产的 9YFQ-2.2 型小方捆机上,牵引拖拉机为约翰迪尔 1204 型轮式拖拉机,系统采样频率为 40 Hz。

1.2 结果与讨论

通过对原始信号的频谱图进行分析,可得频率小于 0.1 Hz 的信号振幅远大于频率大于 0.1 Hz 的信号振幅,而且不同作业模式下,频率小于 0.1 Hz 的信号振幅几乎相同。由此可知噪声信号频率主要分布在 0.1 Hz 以上,基于此,本文主要对 0.1 Hz 以上频率的信号进行分析。

1.2.1 压力信号分析

图 4 为不同作业速度下,拖拉机 PTO 启动和停止状态下的压力信号频谱图。

由图 4 可得,不同打捆机作业速度下,PTO 启动状态下压力噪声信号振幅均大于 PTO 停止状态压力噪声信号振幅,随着打捆机作业速度增加,2 种状态下的噪声信号振幅逐渐一致。原因为当打捆机处于低速作业状态时,PTO 转动引起的打捆机自振是噪声的主要来源,此时 PTO 转动状态下的噪声信号振幅明显高于 PTO 停止状态下的噪声信号振幅;当打捆机处于中高速作业状态时,地面起伏导致的颠簸成为噪声的主要来源,此时 PTO 启停状态对噪声信号振幅作用不明显。随着打捆机作业速度的增加,噪声信号的振幅显著增加。原因为当打捆机作业速度变大时,打捆机上下起伏频率增大,振动变强,由此导致噪声信号振幅变大。

由图 4a 可知,当打捆机静止且 PTO 处于停止状态时,频率大于 0.1 Hz 的信号振幅为 0,此时压力信号几乎没有噪声;当 PTO 启动后,频率大于 0.1 Hz 的信号振幅约为 500 N,且较为均匀分布在 0.1 ~ 16 Hz 范围,此时噪声信号主要来自 PTO 转动。由图 4b ~ 4e 可知,随着打捆机作业速度上升,噪声信号频率逐步集中在 6 ~ 9 Hz 和 11 ~ 14 Hz 范围内,说明打捆机作业速度变大时,地面颠簸导致的

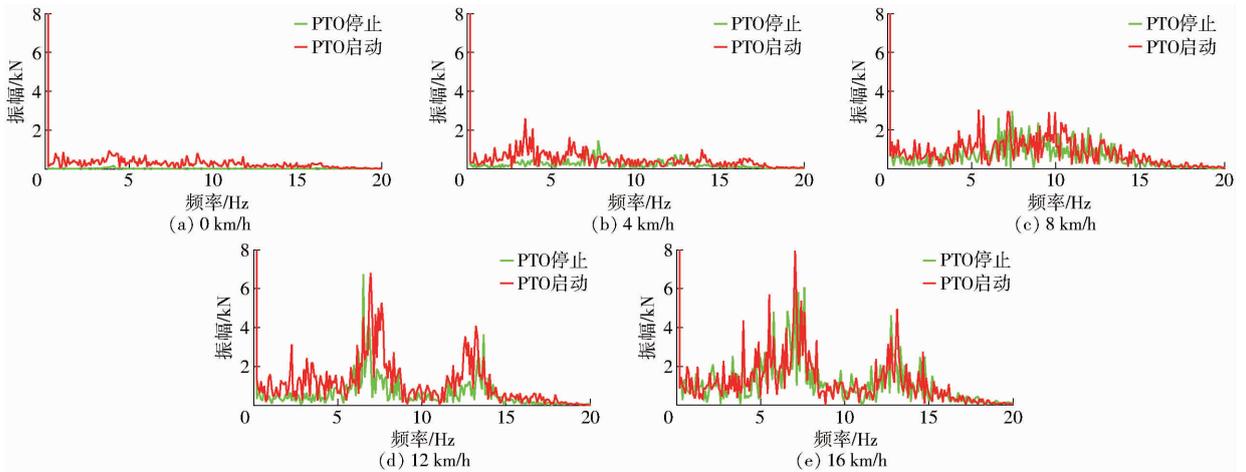


图4 不同作业速度下压力信号频谱图

Fig. 4 Spectrum diagrams of pressure signal at different operating speeds

机器振动逐步成为噪声信号的主要来源,且这部分噪声信号频率主要集中在6~9 Hz和11~14 Hz范围内。

综上,PTO转动和地面颠簸导致的振动是压力噪声信号的主要来源,噪声频率主要分布在0.1~16 Hz。

1.2.2 角度信号分析

图5为不同作业速度下,拖拉机PTO启动和停止2种状态下的角度信号频谱图。由图5a可知,当打捆机静止且PTO处于停止状态时,频率大于0.1 Hz的信号振幅为0,此时角度信号几乎没有噪声;当PTO启动后,角度信号开始出现噪声,噪声信号频率主要分布在3~4 Hz和16~18 Hz范围内,此时噪声信号主要来自PTO转动。由图5b~5e可知,随着打捆机作业速度增加,角度噪声信号振幅逐渐变大,当PTO处于启动时,频率3~4 Hz和16~17 Hz范围信号振幅明显大于其他区间信号振幅;PTO停止状态下各频率角度噪声信号振幅较为一

致。由此说明引起称量台俯仰角剧烈变化的主要原因是PTO转动引起的打捆机自振,且该部分噪声信号频率集中分布在3~4 Hz和16~17 Hz,而地面颠簸引起的打捆机振动对称量台俯仰角变化作用相对较小。

综上,PTO转动引起的打捆机自振是角度噪声信号的主要来源,噪声频率主要分布在3~4 Hz和16~17 Hz。

2 噪声信号处理

2.1 滤波降噪方法

在对草捆动态称量系统作业过程中压力与角度噪声信号进行分析基础上,利用双阈值滤波、分段线性插值和巴特沃斯带阻滤波器处理原始信号,流程如图6所示。

由于草捆动态称量系统田间作业过程中,压力与角度原始信号可能出现奇异值,这些奇异值占比非常小,但对草捆质量预测影响较大。对于剔除奇

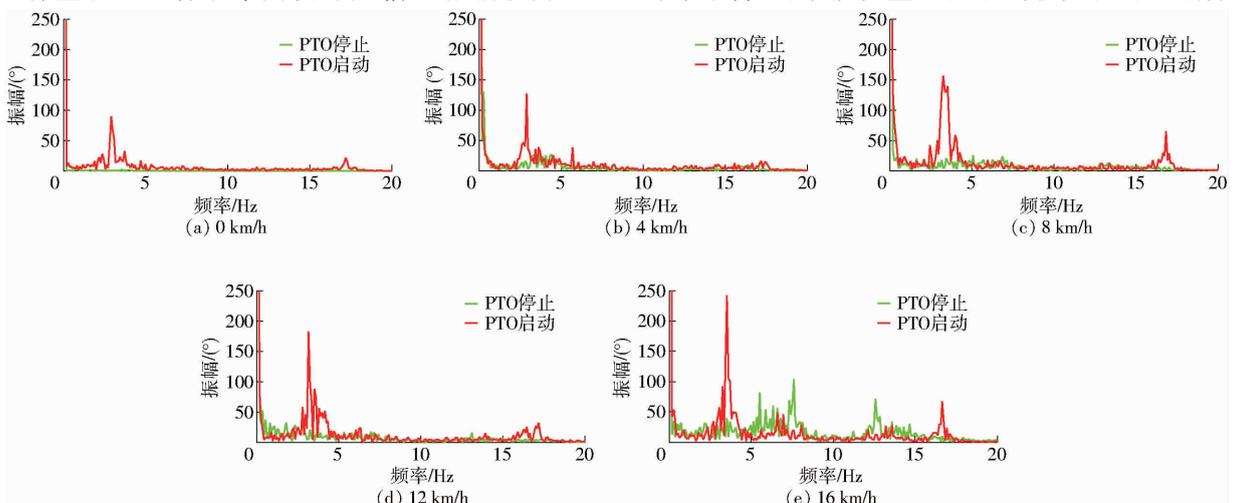


图5 不同作业速度下角度信号频谱图

Fig. 5 Spectrum diagram of angle signal at different operating speeds

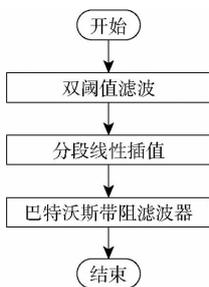


图 6 信号处理流程图

Fig. 6 Signal processing diagram

异值,当测量数据比较多且要求精度较高时,一般采用基于 3σ 准则的双阈值滤波算法对数据进行预处理, 3σ 准则为

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2} \quad (2)$$

式中 σ ——标准偏差

n ——总体样本数

X_i ——测量值

μ ——总体样本均值

当测量值 X_i 满足 $|X_i - \mu| > 3\sigma$ 时,即可认为此值为粗大误差,应该剔除。

超出阈值范围的数据被滤除后,需要通过插值补充空缺,选取分段线性插值方法,即以每个空缺前后两个点的平均值作为预测值,具体计算公式为

$$\begin{cases} x = (x_1 + x_2) / 2 \\ y = \frac{x - x_2}{x_1 - x_2} y_1 + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} y_2 \end{cases} \quad (3)$$

其中 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) 为空缺前后两个点坐标。

完成对数据的插值处理后,再采用数字滤波方法对信号进行降噪处理。根据前述分析可知,压力信号频率主要集中在 $0.1 \sim 16$ Hz,设计一种巴特沃斯带阻滤波器对压力信号进行处理,阶数设置为 4,阻带频率 $0.1 \sim 16$ Hz,通带上限频率 0.08 Hz,通带下限频率 18 Hz,采样频率为 40 Hz。

角度噪声信号频率主要集中在 $3 \sim 4$ Hz 和 $16 \sim 17$ Hz,设计一种巴特沃斯带阻滤波器对角度信号进行 2 次滤波处理。首先对 $3 \sim 4$ Hz 频率噪声信号进行截止,阶数设置为 4,阻带频率 $3 \sim 4$ Hz,通带上限频率 2 Hz,通带下限频率 6 Hz;再对 $16 \sim 17$ Hz 频率范围内噪声信号进行截止,阶数设置为 4,阻带频率 $16 \sim 17$ Hz,通带上限频率 12 Hz,通带下限频率 20 Hz;采样频率均为 40 Hz。

以 1.2 节中 PTO 启动状态下打捆机 8 km/h 作业速度采集的原始信号为对象,基于本文的信号处理方法对原始信号进行滤波降噪处理。图 7 为处理前后的信号时域图,由图 7a 可得,经过滤波后的压

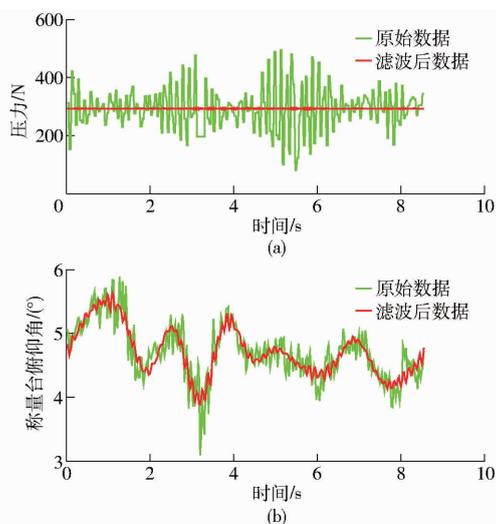


图 7 信号处理前后时域图

Fig. 7 Time domain diagram before and after signal processing

力信号数据变异性显著变小,数据基本处于 $290 \sim 295$ N 之间,数据上下波动不超过 1% ;由图 7b 可得,经过滤波后的角度信号数据整体平滑度得到明显改善,整体存在比较大的角度波动是由于地面起伏不平导致称量台俯仰角发生变化。

2.2 田间试验验证

为验证本文信号处理方法的准确性,开展田间打捆试验获取系统原始信号,基于均值滤波和本文信号处理方法对原始信号分别进行处理,将处理后的数据代入模型进行验证,对比 2 种方法的准确性。打捆试验共打草捆 30 个,打捆对象为小麦秸秆,小麦种植品种为京冬 22,试验中打捆机作业速度为 $5 \sim 15$ km/h 范围,系统采样频率为 40 Hz。

图 8 为田间打捆试验中 2 种信号处理方法下得出的草捆质量预测误差分布图。基于均值滤波得到的模型预测相对误差范围为 $-5.15\% \sim 5.08\%$,基于本文信号处理方法得到的模型预测的相对误差范围为 $-4.15\% \sim 4.17\%$,结果表明本文提出的信号处理方法优于均值滤波。

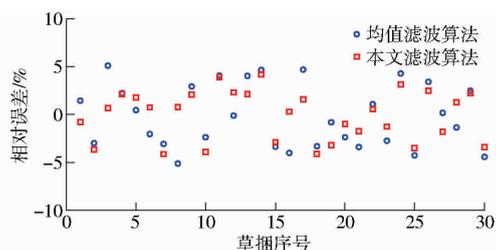


图 8 草捆动态称量结果

Fig. 8 Results of bale dynamic weighing

与文献[19]小型方捆机草捆动态称量系统设计与试验中的误差 $-4.40\% \sim 4.30\%$ 相比,本文结果提高较不明显。文献[19]试验速度为 $3 \sim 5$ km/h,作业速度较低,噪声信号强度较低,且分布较为均匀,

此时均值滤波可以实现较好的信号处理效果。但本文试验中作业速度为5~15 km/h之间,不仅速度范围大,而且速度更高,噪声信号强度更强且更集中,采用常规的均值滤波容易导致信号失真。因此本文提出的信号处理方法较常规均值滤波适应性更强,可以实现多种作业速度下的原始信号处理,更符合实际生产需要。

3 结论

(1)基于自主研发的小型方捆机草捆动态称量系统,对打捆机作业速度、拖拉机 PTO 启停对草捆

动态称量系统压力和角度噪声信号的作用机理进行了分析,当系统采样频率为40 Hz时,压力噪声信号频率主要在0.1~16 Hz范围内,角度噪声信号频率主要在3~4 Hz和16~17 Hz范围内,为系统信号的处理提供了理论依据。

(2)在信号分析基础上,利用双阈值滤波、分段线性插值和巴特沃斯带阻滤波器处理了原始信号,田间试验结果表明,基于该信号处理方法得到的模型预测相对误差范围为-4.15%~4.17%,优于均值滤波,且该方法的适应性更强,更符合实际生产需要。

参 考 文 献

- [1] 汪懋华. 精细农业[M]. 北京:中国农业大学出版社, 2011:1-6.
- [2] 罗锡文,廖娟,胡炼,等. 提高农业机械化水平促进农业可持续发展[J]. 农业工程学报, 2016, 32(1): 1-11.
LUO Xiwen, LIAO Juan, HU Lian, et al. Improving agricultural mechanization level to promote agricultural sustainable development[J]. Transactions of the CSAE, 2016, 32(1): 1-11. (in Chinese)
- [3] MAGUIRE S M, GODWIN R J, BLACKBURN K, et al. A dynamic weighing system for determining individual square bale weights during harvesting[J]. Biosystems Engineering, 2007, 98(2): 138-145.
- [4] KRAUS T J. Method for determining agricultural bale weight; US 201213633930[P]. 2012-10-03.
- [5] SEEGER J, WAGGONER R, BRIAN B, et al. Bale chute weighing apparatus for crop balers; EP 20100768280[P]. 2010-09-13.
- [6] SUN Y, BUESCHER W, LIN J, et al. An improved penetrometer technique for determining bale density[J]. Biosystems Engineering, 2010, 105(2): 273-277.
- [7] BEHME J A, SCHINSTOCKS J L, BASHFORD L L, et al. Site-specific yield for forages[J]. Computer Standards & Interfaces, 1999, 21(2):120.
- [8] AARON T P, MICHAEL S P, LINDSEY B S, et al. Effect of stem crushing on the uniaxial bulk compression behaviour of switchgrass and miscanthus[J]. Biosystems Engineering, 2018, 175(9): 52-62.
- [9] MARCHANT B P, SCARLETT A J, SPENCER D S, et al. Using acoustic emissions to monitor crop throughput of a large square baler[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 36(10): 33-54.
- [10] PRITCHARD G E, ARIZ G. Apparatus and method for electrically weighing bales in a mobile crop baler; US 5384436[P]. 1995-01-24.
- [11] VERHAEGHE O M. Baler with a weighing system; US 8635950(B2)[P]. 2014-01-28.
- [12] 王德成,贺长彬,武红剑,等. 苜蓿生产全程机械化技术研究现状与发展分析[J/OL]. 农业机械学报, 2017, 48(8): 1-25.
WANG Decheng, HE Changbin, WU Hongjian, et al. Review of alfalfa full-mechanized production technology[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2017, 48(8): 1-25. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=20170801&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2017.08.001. (in Chinese)
- [13] 董佳佳,王强,王振华,等. 麦秸圆捆打捆机研究现状及发展趋势[J]. 农业工程, 2019, 9(10): 29-31.
DONG Jiajia, WANG Qiang, WANG Zhenhua, et al. Research status and development trend of wheat straw round baler[J]. Agricultural Engineering, 2019, 9(10): 29-31. (in Chinese)
- [14] 韩江,周宏平,王金鹏. 农林业打捆机的发展概况及趋势探讨[J]. 林业机械与木工设备, 2015, 43(8): 10-13.
HAN Jiang, ZHOU Hongping, WANG Jinpeng. Development and trend of agricultural and forestry bundling machines[J]. Forestry Machinery & Woodworking Equipment, 2015, 43(8): 10-13. (in Chinese)
- [15] 刘超. 圆捆机草捆密度实时监测系统设计与试验[D]. 镇江:江苏大学, 2017
LIU Chao. Design and experiment of real-time bale density monitoring system of round baler[D]. Zhenjiang: Jiangsu University, 2017. (in Chinese)
- [16] 刘超,尹建军,陈树人,等. WDB800圆捆机草捆称量系统设计与试验[J]. 农机化研究, 2018, 40(7): 169-174.
LIU Chao, YIN Jianjun, CHEN Shuren, et al. Design and test of bale weighing system of WDB800 round baler[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(7): 169-174. (in Chinese)
- [17] 万其号,布库,焦巍,等. 一种打捆机监测显示系统: 203661663(U)[P]. 2014-06-25.
- [18] 高国民,郭辉,吕全贵,等. 方捆打捆机草捆动态称量试验台设计与试验[J]. 农机化研究, 2020, 42(4): 139-144.
GAO Guomin, GUO Hui, LÜ Quanguai, et al. Design and experimental research on baling dynamic weighing test rig for square baler[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2020, 42(4): 139-144. (in Chinese)
- [19] 张安琪,孟志军,陈立平,等. 小型方捆机草捆动态称量系统设计与试验[J]. 农业机械学报, 2020, 51(10):170-175,185.
ZHANG Anqi, MENG Zhijun, CHEN Liping, et al. Design and experiment of dynamic weighing system for small square baler[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2020, 51(10):170-175,185. (in Chinese)

- SONG Zhenghe, BI Shuqin, JIN Xiaoping, et al. Rapid design reasoning method for crawler harvester transmission system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp.2): 268-272. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s250&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.050. (in Chinese)
- [21] 李长林,王雪亮,金晓萍,等. 高速插秧机底盘快速设计专家系统[J/OL]. 农业机械学报,2012,43(增刊):323-328.
LI Changlin, WANG Xueliang, JIN Xiaoping, et al. Expert system design of chassis rapid design for high-speed transplanter[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(Supp.): 323-328. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2012s66&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2012.S0.066. (in Chinese)
- [22] 陈雨,毛恩荣,吕黄珍,等. 基于推理的大型收获机械变速箱参数化设计[J/OL]. 农业机械学报,2013,44(增刊2):278-282.
CHEN Yu, MAO Enrong, LÜ Huangzhen, et al. Parametric design of large harvesting machinery transmission gearbox based on reasoning[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(Supp.2): 278-282. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?flag=1&file_no=2013s252&journal_id=jcsam. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2013.S2.052. (in Chinese)
- [23] 朱忠祥,岳小微,杜岳峰,等. 玉米果穗剥皮的运动仿真与高速摄像试验[J]. 农业工程学报,2015,31(6):42-48.
ZHU Zhongxiang, YUE Xiaowei, DU Yuefeng, et al. Dynamic simulation and high-speed photography experiment on corn-ear husking[J]. Transactions of the CSAE, 2015, 31(6): 42-48. (in Chinese)
- [24] 徐丽明,王应彪,张东兴,等. 玉米通用剥皮机构设计与试验[J]. 农业机械学报,2011,42(增刊):14-20.
XU Liming, WANG Yingbiao, ZHANG Dongxing, et al. Design and experiment of corn universal husker mechanism[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(Supp.): 14-20. (in Chinese)
- [25] 戴株荫,曲继祥. 玉米果穗剥皮辊型及其主要参数优选试验[J]. 农业机械学报,1995,26(2):58-62.
DAI Zhuyin, QU Jixiang. The test for selecting the type and parameters of ear-corn husking roll[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 1995, 26(2): 58-62. (in Chinese)
- [26] 解福祥,宋健,霍洪鹏,等. 玉米苞叶力学性能与剥离试验[J]. 农机化研究,2018,40(8):129-133.
XIE Fuxiang, SONG Jian, HUO Hongpeng, et al. Mechanical properties and stripping test of maize bract[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2018, 40(8): 129-133. (in Chinese)
- [27] 赵武云. 组合式螺旋板齿种子玉米脱粒装置研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2012.
ZHAO Wuyun. Research on combined spiral plate tooth seed corn threshing device[D]. Yangling: Northwest A&F University, 2012. (in Chinese)

(上接第 248 页)

- [20] 张惠芳,张海宁. 动态车辆称重系统的算法研究[J]. 国外电子测量技术,2017,36(7):52-54.
ZHANG Huifang, ZHANG Haining. Research on the algorithm of dynamic vehicle weighing system[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2017, 36(7): 52-54. (in Chinese)
- [21] 李莲,翟丽霞. 动态轨道衡称重系统误差分析及数据处理的研究[J]. 仪器仪表学报,2011,32(12):270-273.
LI Lian, ZHAI Lixia. Research on error analysis and data processing of the dynamic track scale weighing system[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2011, 32(12): 270-273. (in Chinese)
- [22] 肖俊,张伟,王浩. FIR 滤波在汽车动态轴组计量信号处理中的应用[J]. 测控技术,2017,36(9):135-137.
XIAO Jun, ZHANG Wei, WANG Hao. Application of FIR filtering in vehicle dynamic axis group weighing signal processing[J]. Measurement & Control Technology, 2017, 36(9): 135-137. (in Chinese)
- [23] 张振乾,彭程,孙意凡,等. 联合收获机喂入量监测系统信号分析与处理[J/OL]. 农业机械学报,2019,50(增刊):73-78.
ZHANG Zhenqian, PENG Cheng, SUN Yifan, et al. Signal analysis and processing of combine harvester feedrate monitoring system[J/OL]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2019, 50(Supp.): 73-78. http://www.j-csam.org/jcsam/ch/reader/view_abstract.aspx?file_no=2019s012&flag=1. DOI:10.6041/j.issn.1000-1298.2019.S0.012. (in Chinese)
- [24] 付兴兰,张兆国,安晓飞,等. 光电漫反射式联合收割机谷物产量计量系统研发与性能试验[J]. 农业工程学报,2017,33(3):24-30.
FU Xinglan, ZHANG Zhaoguo, AN Xiaofei, et al. Development and performance experiment on grain yield monitoring system of combine harvester based on photoelectric diffuse reflectance[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(3): 24-30. (in Chinese)
- [25] 安晓飞,付兴兰,孟志军,等. 光电信号与收割机谷物产量数据转换模型的构建与验证[J]. 农业工程学报,2017,33(2):36-41.
AN Xiaofei, FU Xinglan, MENG Zhinjun, et al. Grain yield data transformation model based on photoelectric principle and its validation[J]. Transactions of the CSAE, 2017, 33(2): 36-41. (in Chinese)