

# 一种车载动态称重控制方法与试验研究

刘友林, 代建龙, 颜武刚, 彭云, 陈建军

湖南创远高新机械有限责任公司, 湖南 长沙

收稿日期: 2023年2月8日; 录用日期: 2023年3月8日; 发布日期: 2023年3月16日

## 摘要

传统的车载称重系统一般采用静态称重方案, 需要将整车开到特定的地磅上进行称重。这种方式智能化程度低, 影响设备的装载效率。车载动态称重方案容易受到本身和外部的干扰, 影响称重精度及稳定性。本文提出一种软件处理方法, 可以尽可能地减小干扰, 从而提升系统性能。在环卫垃圾压缩车和矿用铲运机上应用本文所述的方法, 实时动态称量的精度和稳定性得到了提升, 验证了本方案的可行性。

## 关键词

车载, 动态称重, 压缩垃圾车, 铲运机, 精度, 稳定性

# Research on a Control Method and Tests on Vehicle Dynamic Weighing

Youlin Liu, Jianlong Dai, Wugang Yan, Yun Peng, Jianjun Chen

Hunan Chuangyuan High-Tech Machinery Co., Ltd., Changsha Hunan

Received: Feb. 8<sup>th</sup>, 2023; accepted: Mar. 8<sup>th</sup>, 2023; published: Mar. 16<sup>th</sup>, 2023

## Abstract

The traditional vehicle weighing system generally adopts the static weighing scheme. It is necessary to drive the whole vehicle to a specific weighbridge for weighing. This method is not intelligent, and it will affect the loading efficiency of the equipment. Vehicle dynamic weighing scheme is vulnerable to internal and external interference, influencing the accuracy and stability of the weighing system. This paper proposes a software processing method, interference can be minimized, so as to improve the system performance. The method described in this paper is applied to the environmentally compressed garbage truck and mine scraper, the accuracy and stability of dynamic weighing have been improved, and this verifies the feasibility of this scheme.

## Keywords

Vehicle, Dynamic Weighing, Compressed Garbage Truck, Scraper, Accuracy, Stability

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

## 1. 引言

随着经济的发展和科技进步,现代交通运输业飞速发展,车辆的超限超载对交通安全、运输市场及汽车生产秩序造成了极大伤害[1][2][3]。主要表现在:1)使国家税费大量流失,公路的养护费、管理费、通行费都是按车管部门核定的吨位收取,超载必然导致这部分费用的流失。2)严重损坏了公路基础设施。3)造成交通事故频繁发生。以上情况促使公路交通部门了解当前公路上行驶车辆的车型组成、轴载谱和超载程度,分析超重车辆对路面损坏的影响程度,以便估算公路交通部门需为此增加的建设投资,并制定相应的管理措施和管理法规,为公路运营部门按车重收费提供有效的技术手段[4]。

另外,在厂矿、铁路、港口、生活垃圾分类、垃圾收转运计费等相关车辆设备的作业场景里,也会经常用到车载称重系统。车载动态称重系统与车辆的机械控制部分集成为一体,在车辆作业中实现自动称重。在装载的同时,同步反映装载量,精确装卸,杜绝超载,提高工作效率;收集和监控设备的相关称重数据,可以达到设备运转的透明化监控,方便日常管理。

如何提高动态称重的精度,降低称重系统的成本是一个困扰该行业的难题,国内外一直都在探索寻找更好的动态称重方案。如何设计出速度快、抗干扰能力强、准确度高的新型动态称重,对交通部门有效地实施超限管理、保证行车安全、延长公路的使用寿命、降低公路养护的成本、减小环境污染等方面有着显著的社会效益和经济效益。

## 2. 总体方案

影响车载动态称重系统称重精度和稳定性的因素很多[5],可分为确定性因素和不确定性因素两大类。其中,确定性因素主要有:

- 1) 不同类型的车载设备,几何结构受力/动力学姿态模型复杂多变;
- 2) 上料过程速度快,可采样时间短;
- 3) 整个上料过程一般为变速曲线运动,运动轨迹复杂。

不确定性因素主要有:

- 1) 机械结构件本身存在加工精度误差;
- 2) 液压系统容易受外界温度/液压油品类/阀体差异影响;
- 3) 车辆底盘的轮胎以及道路起伏程度和坡度影响;
- 4) 工作时车载设备本身受发动机等抖动影响;
- 5) 环境温度等会影响设备本身运动特性,车载传感器的采样精度。

以上因素都会不可避免地影响到车载动态称重系统的精度和稳定性[6]。本文提出一种软件算法(该方法在原有称重系统上不增加任何硬件成本,只通过改进软件控制算法并实车验证),可以较大程度地筛分掉干扰数据,提取到合适的采样数据,并拟合出合理的数据曲线,从而提升整个车载动态称重系统的精度。

该系统方案硬件部分主要有控制器、显示器、压/应力传感器、位置传感器、电缆线束等。软件算法主要涉及两项关键技术：一是数据的采集与有效处理；二是动态称重特性曲线高度拟合。

### 3. 数据采集与处理模块

典型的车载动态称重系统，力传感器的信号采集图如下图 1。以黑色中位线为界，蓝色线显示的是连续两次完整的上料过程(装料 - 上升 - 卸料 - 回位)的实时曲线图。

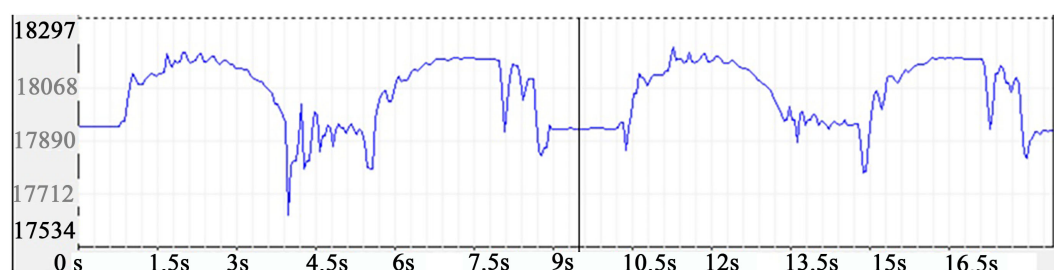


Figure 1. Raw sampling curve of the force sensor

图 1. 力传感器原始采样曲线图

1) 常见的动态采样数据处理技术有[7]：积分法、平均值法、参数估计的系统辨识法、经验模态分解法以及神经网络算法。其中，平均值法是动态称重数据处理常用的方法，这种方法取传感器输出信号相对稳定部分分析，通过计算信号相对稳定部分的有效均值，从而来估算装载装置的实时重量。但是由于动态车辆称重系统的复杂性，采集到的传感器信号中往往包含各种各样的干扰，因此结果一直未能令人满意。

2) 本文采用一种改进后的均值滤波法[8]：非对称数据自动筛分离群值算法(Automatically Sieving Separation Group Value of Asymmetric Data, 简称 ASSAD 方法)来进行动态称重系统采集数据的处理。实验结果表明，该算法能较好地去除系统干扰噪声影响。

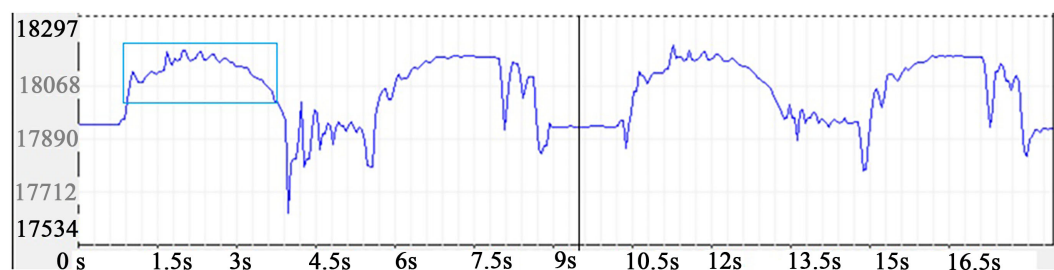


Figure 2. Schematic diagram of sampling interval

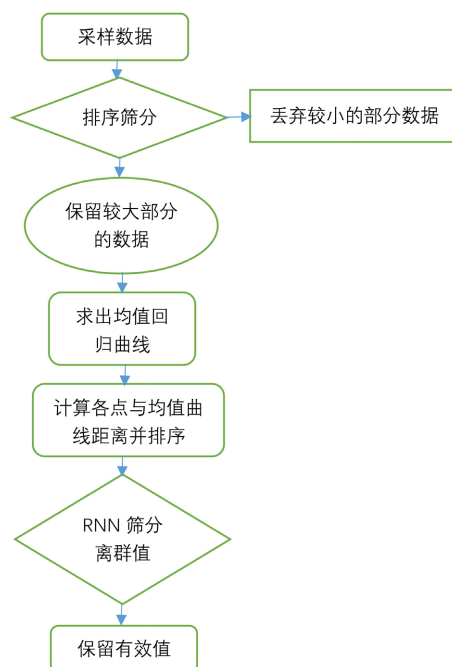
图 2. 采样区间示意图

3) 上述图 2 中的绿色矩形框中显示的是在设备装料举升过程中，力传感器采集的实时信号变化曲线，此曲线段近似为梯形。由于装载机构在举升过程中振动大，从而导致曲线抖动明显。另外，在举升到位和下放到位的过程中，整个装载机构容易受到系统冲击。使用中应该去除冲击和抖动影响，保留合适区间的采样值作为计算依据。

4) 非对称数据自动筛分离群值(ASSAD)算法的具体流程：

a) 对区间采样值进行排序，去掉一半小的采样数据，保留一半大的采样数据；

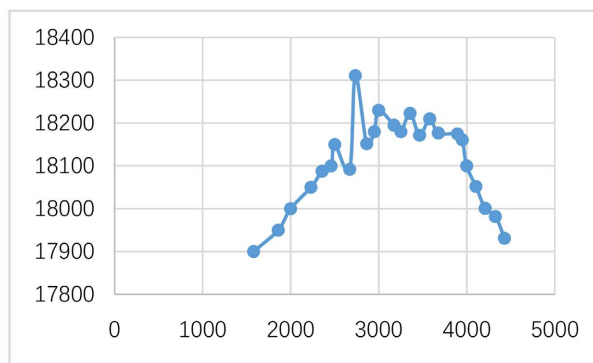
- b) 求出剩下的一半大的采样数据的均值回归曲线；
  - c) 依次计算这部分较大采样数据，与回归曲线之间的距离；
  - d) 依据各个点与回归曲线的距离值，进行自动排序，去掉距离较远的离群值；
  - e) 根据 K 近邻(K\_NN)算法，筛选出离均值回归曲线较近的那部分数据均值，作为有效值。
- 5) 采样数据处理流程图如下图 3



**Figure 3.** Data processing flow chart  
**图 3.** 数据处理流程图

#### 6) 采样结果分析

本文截取了一段典型的动态称重过程中的采样数据，如下图 4 所示，共计 25 组原始数据。



**Figure 4.** Raw sampled data  
**图 4.** 原始采样数据

经过初次排序筛分处理后的剩余数据如下图 5 所示。

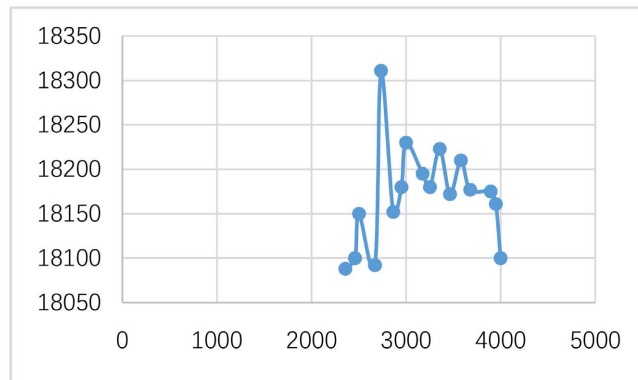


Figure 5. Data after initial screening

图 5. 初次筛分后的数据

经过算法自动筛分离群值后，最后保留的有效数据如下图 6 所示。从图中可以看出，该算法可以较好地去除采样过程中的噪声干扰。

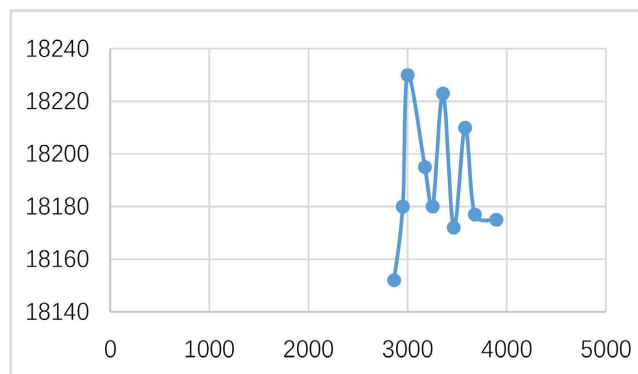


Figure 6. Valid data after processing

图 6. 处理后的有效数据

#### 4. 称重特性曲线拟合模块

车载动态称重系统，一般先选取几个特定的重量进行标定。标定完成后，通过算法拟合出一条全量程的称重特性曲线。得到了特性曲线，就可以根据采样变化，实时计算出当前的装载重量。工程上一般常用最小二乘法来解决曲线拟合的问题。最小二乘法的基本思想是：给定一组数据(一般是二维数组，包含 X 和 Y 坐标)，根据误差平方和最小化原则，找出这些数据的最近匹配函数。如果采用多次曲线函数来拟合所有数据，算法难度和复杂度很大。本文介绍采用递推最小二乘法(简称 LRS)分段直线拟合来代替曲线拟合，从而建立车载称重曲线模型[9] [10] [11] [12]。

##### 1) 递推最小二乘法分段原理

先取二维数组的前两个点 A (X1, Y1)、B (X2, Y2)，利用最小二乘法求出拟合直线的数学模型  $Y = K \cdot X + B$ 。再取第三个点 C (X3, Y3)，计算出点 B 和点 C 确定的直线方程的斜率 K。斜率 K 与 K 的几何关系如下图 7 所示。如果  $\tan\theta$  小于给定的阈值，则把 C 点与前面的点放在一起，再用最小二乘法重新计算拟合直线方程。依次类推，直到发现有大于给定的阈值，这样就完成了第一段拟合直线方程。然后从大于的这个点开始分段，与后续的点重复前面的步骤，直到所有的点都完成拟合。

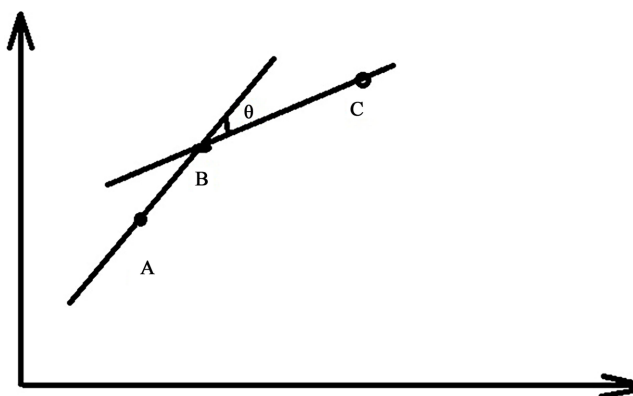


Figure 7. Schematic diagram of the principle of the recursive least squares method

图 7. 递推最小二乘法原理示意图

## 2) 算法逻辑流程

- a) 输入阈值  $\gamma =$  设定值,  $a = 1, j = 2$ , 同时记录这  $N$  个点的坐标  $(X_n, Y_n)$ ;
- b) 对第  $a$  个点到第  $j$  个点, 这几个点用最小二乘法计算出拟合直线方程:  $Y = K * X + B$ ;
- c) 分别计算出  $K, K = (Y_{j+1} - Y_j) / (X_{j+1} - X_j)$ ;
- d) 如果  $j + 1 > N$ , 则停止计算, 输出  $Y = K * X + B$ ;
- e) 如果  $\tan\theta \leq \gamma$ , 则  $j = j + 1$ , 跳转到步骤 2;
- f) 如果  $\tan\theta > \gamma$ , 则输出  $Y = K * X + B$ , 跳转到步骤 7;
- g) 对于  $j, j + 1$  这两个点用最小二乘法给出拟合直线方程  $Y = K * X + B$ , 令  $a = j, j = j + 1$ , 跳转到步骤 3, 直至所有的点完成拟合。

## 3) 结果分析

本文截取车载动态称重测试中的一次实验数据, 做称重特性曲线拟合测试, 一共进行了 12 组数据标定, 见下表。

12 组数据采用多次曲线拟合的结果如下图 8 所示。

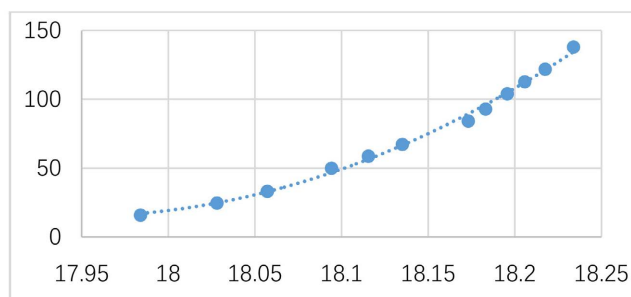


Figure 8. Multiple curve fitting diagram

图 8. 多次曲线拟合图

多次拟合曲线方程:  $Y = 1437.3 * X^2 - 51587 * X + 462895$ , 拟合准确度为  $R^2 = 0.9961$ 。

如图 9, 分段拟合直线一方程:  $Y = 350.69 * X - 6295.1$ , 拟合准确度为  $R^2 = 0.9761$ 。

如图 10, 分段拟合直线二方程:  $Y = 875.21 * X - 15821$ , 拟合准确度为  $R^2 = 0.9991$ 。

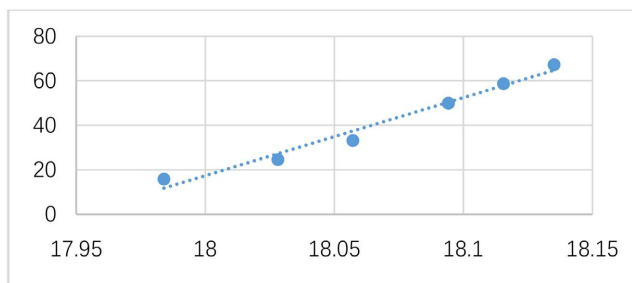


Figure 9. Segmented fitting straight line 1

图 9. 分段拟合直线一

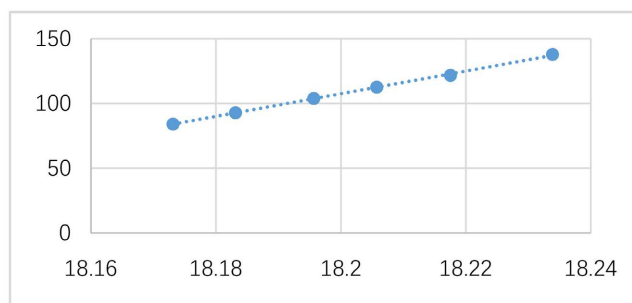


Figure 10. Segmented fitting line 2

图 10. 分段拟合直线二

从上述三个拟合图形中可以看出,采用多项式曲线拟合后的系统精度为 99.61%,采用分段直线拟合后的系统整体精度为 98.76%。采用分段直线拟合后的系统精度虽略有下降,但是实时性更好,同时大大降低了算法的复杂度。

## 5. 结论

本文提供了一种车载动态称重系统的软件控制方法,通过对采样数据进行合理的筛分和优化,保留处理后的有效数据作为模型计算的原始依据。同时,通过采用递推最小二乘法原理,拟合出设备的动态称重特性曲线,从而计算出车载设备的实时装载量,作为设备作业过程中重要的工况数据保存。

本文涉及的车载动态称重系统软件控制方法,不影响原设备的硬件结构,实施成本低,适配性强,兼容性好。此方法已经在环卫设备的后装式垃圾压缩车和侧装式垃圾压缩车、以及地下矿用铲运机上进行了充分样机验证,整体称重精度能控制在 90%~95%左右,可以进行批量推广。

## 参考文献

- [1] 付宏勋,张宇,赵强. 车载称重系统研究综述[J]. 中国测试, 2022, 48(5): 14-21.
- [2] 赵千. 基于多传感器的路面动态称重系统研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 北京科技大学, 2020.
- [3] 孙飞,田芳. 高速公路省界动态称重系统设计与执法机制研究[J]. 江苏建筑, 2022(z1): 136-140.
- [4] 郝晓娴. 车载动态治超监控系统的设计与研究[D]: [硕士学位论文]. 太原: 太原理工大学, 2017.
- [5] 郝晓娴,牛昱光,韩芝星. 基于小波和 BP 神经网络的车载动态称重算法[J]. 仪表技术与传感器, 2017(8): 110-113+121.
- [6] 施昌彦. 动态称重测力技术的现状和发展趋势[J]. 计量学报, 2001, 22(3): 201-205.
- [7] 赵桂清. BP 神经网络信息融合的汽车载重测量方案[J]. 机械设计与制造, 2017, 55(12): 134-137.



- [8] 周晓萍. 高低频噪声区分滤除的车辆载重动态测量方法[J]. 机械设计与制造, 2020, 58(9): 108-112.
- [9] 何磊. 基于动态称重技术的车辆载重测量系统的设计与研究[D]: [硕士学位论文]. 武汉: 武汉科技大学, 2019.
- [10] 郑惠群, 陈偕雄. 动态称重技术问题的分析和研究[J]. 科技通报, 2006, 22(4): 567-570.
- [11] 徐光华, 张继军, 屈梁生. 基于系统辨识的动态汽车衡称重方法[J]. 中国机械工程, 2002, 13(8): 682-685.
- [12] 姚恩涛, 季娟, 张明. 两轴车辆动态称重信号分析方法研究[J]. 传感器技术, 2005, 24(12): 22-25.