

基于虚拟仪器技术的轮荷测量仪电测系统开发

赵新通, 常 龙, 杨丽君, 张喜军, 张国栋

(哈尔滨理工大学 机械动力工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080)

摘 要: 依据电阻应变测量原理, 应用机电一体化技术, 开发测量汽车轮荷的测量仪电测系统. 该系统由数采硬件电路和上位机车辆轮荷测量系统软件组成. 应变传感器测得的电压信号, 先后经过调理电路、A/D 转换电路和光电隔离电路, 传输给 MCU. 通过串口通信协议, MCU 与上位机轮荷测量系统间进行指令和数据的传输, 数据经过存储和运算处理后, 通过上位机系统面板把轮荷值传达给用户, 并将结果储存到 PC 机中. 采用砝码加载, 在可倾斜卡具上对测量仪进行了实验标定. 根据实验数据算得测量仪的非线性误差为 $\pm 0.72\%$, 重复性误差为 $\pm 1.37\%$, 迟滞性误差为 $\pm 1.47\%$, 灵敏度误差为 $\pm 1.67\%$, 最终得到综合误差为 $\pm 2.71\%$, 满足轮荷测量仪预期设计的测量精度和功能要求.

关键词: 应变测量; 多通道; 虚拟仪器技术; 上位机; 精度

中图分类号: TH39 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2014)05-0069-05

Development of Electric Measuring System of Wheel Load Measuring Instrument Based on Virtual Instrument Technology

ZHAO Xin-tong, CHANG Long, YANG Li-jun, ZHANG Xi-jun, ZHANG Guo-dong

(School of Mechanical and Power Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China)

Abstract: With the application of mechatronics technology, electric measuring system of wheel load measuring instrument is developed based on resistance strain measurement principle. The electric measuring system is composed of data acquisition circuit and upper computer wheel load measuring system software. Voltage signals from strain sensor pass through signal conditioning circuit, A/D conversion circuit and optical isolation circuit, on to MCU ultimately. Instructions and data transfer between MCU and PC wheel load measuring system via serial communication protocols. Users get wheel load value after data is restored and operated or result is restored at a specified directory as request. Weight as loading tool, the instrument is set above a tiltable jig and calibration by experiment. Errors are gained according to experiment data in which non-linear error is $\pm 0.72\%$, repeated error is $\pm 1.37\%$, hysteresis error is $\pm 1.47\%$ and comprehensive error is $\pm 2.71\%$ ultimately. It confirms that measurement accuracy and function performance of the instrument meet the pre designed requirements.

Key words: strain gauge measurement; multichannel; virtual instrument technology; upper computer; accuracy

收稿日期: 2013-09-06

基金项目: 黑龙江省自然科学基金(E201020); 黑龙江省教育厅科学技术研究项目(12521084).

作者简介: 赵新通(1971—), 男, 博士, 教授, 硕士研究生导师, E-mail: 5681604@qq.com;

常 龙(1988—), 男, 硕士研究生;

杨丽君(1989—), 女, 硕士研究生.

0 引言

在多轴重型车辆的设计中,汽车的质心位置将直接影响到车辆的安全性、操纵性和稳定性^[1].侧倾法是针对多轴重型车辆采用的质心测量方法:将车辆停放到安装有轮荷测量仪的倾翻台上,通过测量仪测得不同侧倾角度下的轮荷值,再根据质心计算公式得到车辆质心位置.本文开发的轮荷测量仪,是利用侧倾法实现车辆质心测量的核心器件.

1 应变传感器组成及其工作原理

1.1 应变传感器组成

应变传感器由弹性体、惠斯通电桥、导线和电源接口组成.传感器如图1所示,弹性体是一个整体式板型结构,材料为硬铝合金2A12.在合金板背面纵向对称地加工出两个支撑面,并在靠近两支撑的部位加工出4条长矩形通槽,定向弱化局部刚度,提高测量灵敏度^[2-4].刚度的定向降低,还有利于避免倾斜测量时切向力的干扰,实现解耦.



图1 应变传感器实物图

1.2 应变传感器工作原理

根据变形结构体材料的各向同性及连续性假设,可以认为弹性体由 n 条平行排列的弯曲梁组成.在测量板有效加载区域内,各个通道电压输出总和与加载载荷呈线性关系,并与载荷的加载位置无关.当传感器承受轮荷时,弹性体产生形变,利用惠斯通电桥将通槽内应变转换成电压信号,作为传感器的输出.

如图2所示,在弹性体支撑方向等间距地布置9个通道,每个通道的电桥由4个通槽内同一位置的4个电阻应变片组成.传感器的输出电压 U_o 为

$$U_o = \frac{K y_d L F}{4EI} U_i \quad (1)$$

式中: U_i 为每组电桥的供电电压(单位:V); K 为应变片的灵敏度系数(单位:无量纲); y_d 为应变片粘贴表面到中性轴的距离(单位:mm); L 为同侧两矩

形槽的中心距(单位:mm); E 为弹性体材料的弹性模量(单位: N/mm^2); I 为应变片所在截面对中性轴的惯性矩(单位: mm^4); F 为应变传感器上的加载载荷(单位:N).

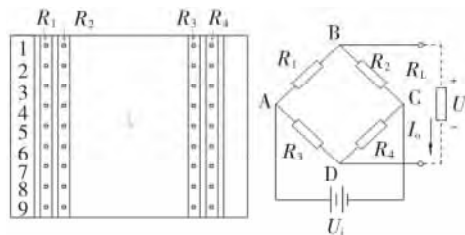


图2 应变传感器组桥方式

2 电测系统数采硬件电路

硬件电路是信号的载体.如图3所示,针对应变传感器有9个输出信号的特点,数采硬件电路采用3个双4选1的多路模拟选择开关CD4052,通过开关的多点切换功能,实现各个通道信号的分时选通.信号被选通后,又先后经过放大电路、滤波电路、A/D转换电路和光电隔离电路,传输给MCU-89C51.

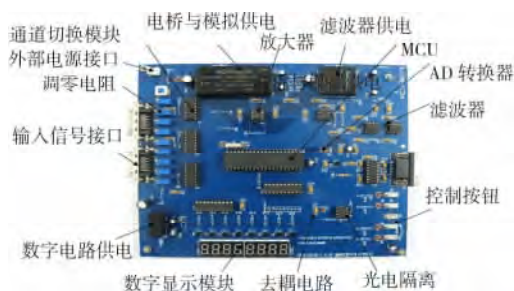


图3 数采硬件电路实物图

应变传感器输出的差模电压信号为 $0 \sim 6.81 \text{ mV}$,选择差分输入集成运算放大器AD620,将信号放大100倍.在差分信号的输入端之间连接一个大小为 $0.1 \mu\text{F}$ 的电容,可以增强对共模干扰噪声及谐波干扰噪声的滤除效果.因为应变传感器输出的信号为静态电压信号,所以周期性出现的信号将被视为信号的噪声.本文应用的巴特沃斯滤波器,通过在信号输入、输出端接入阻值 $50 \text{ k}\Omega$,电容 $1 \mu\text{F}$ 的RC去耦电容,有效地抑制了来自外界和内部其它元件的杂波干扰噪声.

选用高分辨率和低频应用场合的24位 $\Delta-\Sigma$ 型A/D转换器LTC2400,把模拟信号转换成MCU可以识别的数字信号,保证了转换的精确度.光电隔

离电路采用高速光耦 6N137,抑制了来自数字电路的较大噪声对模拟电路的干扰,从而提高电路系统的信噪比与稳定性,实现数字电路与模拟电路之间的隔离。

采取以上一系列的措施,有效地降低了来自数采硬件系统内部和外界的干扰噪声,保证了硬件电路部分的采集精确度。

3 上位机车辆轮荷测量系统软件开发

3.1 虚拟仪器技术简述

虚拟仪器技术就是利用高性能的模块化硬件,结合高效灵活的软件来完成各种测试、测量和自动化的应用。

用户可以采用直观化的图形编程语言,根据自己的应用需求创建友好的人机交互界面,自定义其功能。应用虚拟仪器技术开发的上位机具有使用灵活、界面友好、功能模块化以及可操作性强的优点^[5-7]。

3.2 上位机轮荷测量系统软件开发

车辆轮荷测量系统的软件功能如图4所示。本文以 LabVIEW 软件为核心,开发了轮荷测量仪电测系统的上位机软件,将通道控制、数据采集、数据存储、和数据波形显示等融合在一起,实现了多通道数据采集模块和轮荷测量模块的设计。

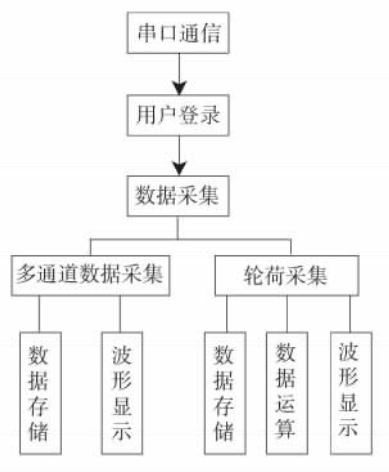


图4 上位机系统实现框图

3.2.1 多通道数据采集模块设计

在上位机软件开发中,多通道数据采集模块通过串口通讯与数采硬件系统实现指令与数据的传输。如图5所示,为多通道数据采集面板。

针对应变传感器的输入信号,数采硬件电路应用模控开关对9个通道进行分时选入。

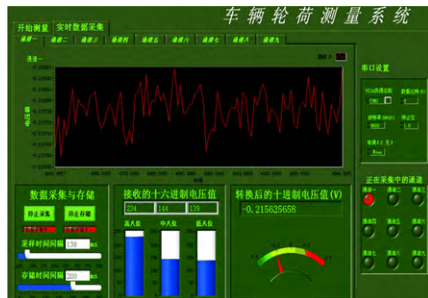


图5 多通道数据采集面板

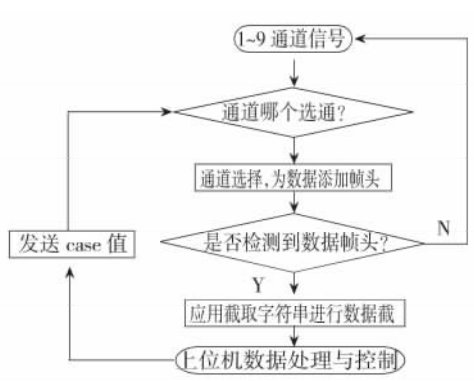


图6 多通道数据采集程序流程图

如图6所示,在数采硬件电路程序中应用了“switch-case”函数,为每个通道的进行标志参数设定:上位机系统通过串口发送 case 的数值给硬件电路,程序中的“switch-case”函数执行通道的判断与选通功能。由于每个通道采集的数据是通过串口不停地循环发送,上位机系统难以做到与数采硬件电路同时采集,容易造成数据的混乱。在上位机系统程序中,为每组数据添加帧头,应用查询法检测采集数据,实现了数据的同时采集,避免了上位机系统中数据的混乱。上位机系统程序如图7所示。

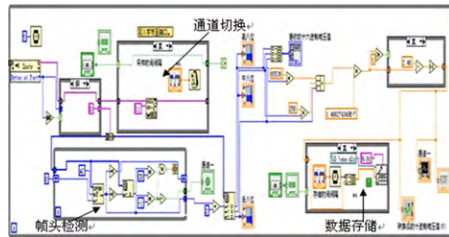


图7 车辆轮荷测量系统程序

3.2.2 轮荷采集模块设计

根据应变传感器的工作原理,将9个通道输出

的电压值求和,作为总的电压输出.利用 MATLAB 数据处理功能,采用最小二乘法,拟合得到系统标定之后输出电压值与轮荷值之间的函数关系为

$$y = 0.0015x - 0.0004 \quad (2)$$

式中: y 为输出电压值; x 为轮荷值.

如图 8 所示,为轮荷采集面板.在测量状态下,根据实际情况将采样时间间隔和存储时间间隔分别设置为 138 ms 和 200 ms.用户可以通过面板上的波形显示窗口观测轮荷值并以监测该轮荷测量系统随着时间变化的平稳性,也可以点击“开始存储”按钮,将轮荷值数据以“*.xls”格式存储在设定的 PC 机硬盘目录下,方便后续的数据处理.



图 8 轮荷采集面板

4 实验标定及误差分析

在实际工程应用中,轮荷测量仪的应变传感器将被安置在大型倾翻平台上,其在平台上可任意调整位置,以适应不同轴距与轮距车辆的轮荷测量.本文采用砝码来代替轮荷加载,用可倾斜卡具来代替倾翻台,对单个应变测量仪的电测系统进行实验标定.

4.1 加载实验

如图 9 所示,选用标准砝码(每个砝码的重量为 20 kg),分别对水平、倾斜两种状态下的测量仪进行加载.水平状态下,在测量仪上方中心位置放一金属垫圈,其上加载码.倾斜状态下,将测量仪置于可倾斜卡具上;为防止砝码下滑,测量仪上方用螺纹连接固定一箱体,并将砝码放入箱体中.实验过程中,调整卡具倾角 α 分别为 0、8.26°、17.24°和 33.24°.对于每种倾角下的加载,砝码数量由 0 逐渐增至 17 个,轮荷相应地从 0 加载到 340 kg(正行程),再将砝码数量逐渐减少,从 340 kg 卸载到 0(反行程),利用 LabVIEW 数据采集系统对每次加载进行数据实时采集和存储.根据采集的数据绘制输出电压-加载质量的实际特性曲线和拟合直线关系.

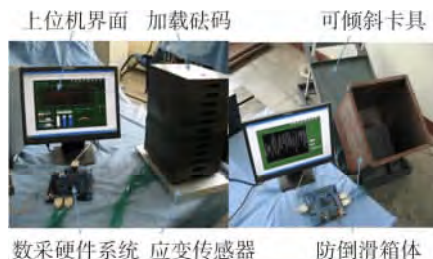


图 9 加载实验

4.2 轮荷测量仪静态特性和综合误差

测量仪的静态特性,指在静态测量情况下描述实际测量仪器与理想定常线性系统的接近程度.静态特性包括非线性度、重复性、迟滞性和灵敏度等,各特性对应的误差称为静态误差.

4.2.1 轮荷测量仪非线性误差

非线性误差用满量程范围内最大偏差与最大输出值的百分比表示,即:

$$\gamma_L = \pm \frac{\Delta L_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (3)$$

如图 10 所示,由实际特性曲线与拟合直线,得到二者差值 ΔL 与加载质量的关系.最大偏差值 $\Delta L_{\max} = 3.7$ mV,出现在加载质量为 340 kg 处,此时 $Y_{FS} = 511.6$ mV,计算出轮荷测量仪的非线性误差为

$$\gamma_L = \pm 0.72\%.$$

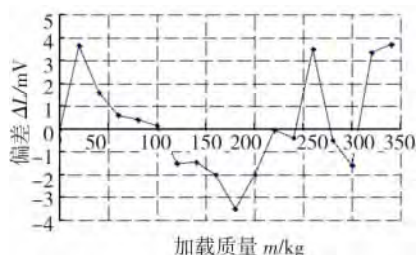


图 10 最大偏差与加载质量关系

4.2.2 轮荷测量仪重复性误差

轮荷测量仪的重复性,是指输入按同一方向做全量程连续多次变动时所得特性曲线不一致的程度,即:

$$\gamma_R = \pm \frac{\Delta R_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (4)$$

如图 11 所示,可以计算出正、反行程中最大重复性偏差值 $\Delta R_{\max} = 7.0$ mV,出现在正行程加载质量为 300 kg 处,计算出重复性误差为

$$\gamma_R = \pm 1.37\%$$

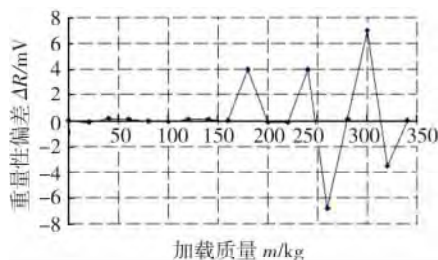


图 11 重复性偏差与加载质量关系

4.2.3 轮荷测量仪迟滞性误差

在整个量程范围内最大迟滞差值 $\Delta H_{\max}$ 与满量程输出值 Y_{FS} 的比值称为迟滞性误差,即

$$\gamma_H = \pm \frac{\Delta H_{\max}}{Y_{FS}} \times 100\% \quad (5)$$

如图 12 所示,可以计算出最大迟滞差值 $\Delta H_{\max} = 7.5 \text{ mV}$,出现在加载质量 320 kg 处,计算出迟滞性误差为

$$\gamma_H = \pm 1.47\%$$

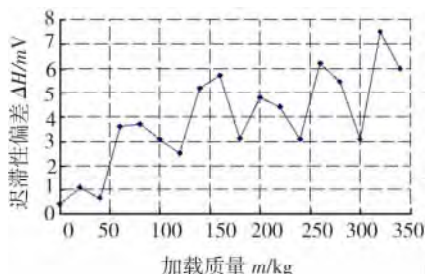


图 12 迟滞性偏差与加载质量关系

4.2.4 轮荷测量仪灵敏度误差

由式(2)得到灵敏度 $k = 0.0015$,通过进行多组实验得到轮荷测量仪的灵敏度产生变化量 $\Delta k \approx (2 \sim 3) \times 10^{-5}$,定义灵敏度误差为

$$\gamma_s = \pm \frac{\Delta k}{k} \times 100\% \quad (6)$$

本文取 $\Delta k = 2.5 \times 10^{-5}$,通过计算得到灵敏度误差为

$$\gamma_s = \pm 1.67\%$$

4.2.5 轮荷测量仪综合误差

根据误差的合成理论,测量仪的综合误差 δ 是由这几个单项误差综合得到的,即:

$$\delta = \pm \sqrt{\gamma_L^2 + \gamma_H^2 + \gamma_R^2 + \gamma_S^2} \quad (7)$$

由公式(6)和测量仪各单项误差值,得到轮荷测量仪的综合误差为:

$$\delta = \pm \sqrt{(0.72\%)^2 + (1.37\%)^2 + (1.47\%)^2 + (1.67\%)^2} = \pm 2.71\%$$

5 结 语

本文采用信号数采理论与抗干扰技术搭建硬件电路,运用虚拟仪器技术开发了上位机软件系统,实现对应变传感器微弱电压信号的调理输出和上下位机实时通信功能,完成了对测量仪电测系统的开发。通过实验标定,得到测量仪的静态误差为 $\pm 2.71\%$,满足精度要求,证明该测量仪电测系统可以实现车辆轮荷的数据采集与处理。同时,该电测系统的开发,为多轴重型车辆质心位置的高精度测量提供了支撑,具有一定的实际应用和参考价值。

参 考 文 献:

- [1] 郑水波, 韩正之, 唐厚君. 汽车稳定性控制 [J]. 自动化博览, 2005, 4(22): 22-24.
- [2] 刘九卿. 拉压式环形梁测力与称重传感器 [J]. 衡器, 2012(3): 5-11.
- [3] 刘九卿. 小量程平装置式称重传感器 [J]. 衡器, 2012(4): 4-7.
- [4] ZHAO Xintong, JIN Chengjun, LI Jianyu, et al. Simulation Analysis of Integration Shear Weighing Plate Based on ANSYS [C] // Proceedings of 2011 International Conference on Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology, Harbin China, 2011: 1563-1566.
- [5] POPOV AM, LABUTIN TA. Signal Recording System Based on a LabVIEW Virtual Instrument Using a Multichannel High Speed ADC [J]. Measurement Techniques, 2011, 54(2): 213-218.
- [6] JENSEN Mark B. Using LabVIEW to Demonstrate Instrumentation Principles [J]. Analytical and Bioanalytical Chemistry, July, 2011, 400(9): 2673-2676.
- [7] SUN Hanyu, YU Yong, CHEN Renbing, Y. A Signal Conditioning and Data Acquisition System for Micro/Nano Displacement Sensor [C] // Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, Tianjin, China, December 14-18, 2010.
- [8] ZHAO Xintong, LU Xiaodong. A Signal Conditioning Preposing Circuit for Portable Wheel Load Measure Plate [C] // Applied Mechanics and Materials, 2013: 95-98.
- [9] ZHAO Xintong, LU Xiaodong. Calibration of The Portable Strain-gauge-based Weight Plate [C] // Proceedings of the 10th International Conference on Frontiers of Design and Manufacturing, 2012.
- [10] 赵新通. 汽车惯性参数自动测量系统 [M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 2008: 1-3.
- [11] 张从力, 史记征, 陈曾江. 一种车载静态称重系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2013, 32(1): 99-101.
- [12] 杨树峰. 基于 ARM 的车辆动态称重系统研究与开发 [D]. 沈阳: 东北大学, 2010: 11-19.
- [13] 赵新通, 韩俊伟, 何景峰, 等. 带动压反馈的质心测量系统电液伺服控制方法 [J]. 机床与液压, 2008, 36(6): 51-53.

(下转第 81 页)

- trol System [C] // Harbin University of Science and Technology, China. Proceedings of 2th International Conference on Measurement, Information and Control (Volume 2) Harbin University of Science and Technology, China, 2013: 8.
- [4] 王淑红,熊光煜. 永磁无刷直流电动机转矩脉动的减小及动态仿真 [J]. 哈尔滨理工大学学报,2008(4): 82-86.
- [5] 陆地,李甲锋,王建信. 一种高可靠性直流无刷电机调速装置 [J]. 哈尔滨理工大学学报,2011(6): 46-49.
- [6] 李凤祥,朱伟进. 无刷直流电机双模控制技术研究与应用 [J]. 电机与控制学报,2013(3): 70-75.
- [7] 夏永洪,黄劭刚. 励磁电流脉动对电枢绕组空载电压波形的影响 [J]. 电机与控制学报,2012, 09: 21-25.
- [8] 薛晓明,杨长江. 无刷直流电机建模研究 [J]. 电机与控制学报,2009(6): 874-878+885.
- [9] 周京华,贾斌,章小卫,等. 三电平逆变器死区补偿策略研究 [J]. 电机与控制学报,2013(5): 69-74.
- [10] 赵向阳,葛文韬. 无刷直流电动机转子退磁故障的检测方法 [J]. 电机与控制学报,2012,(2): 50-55.
- [11] 高峰,张雪峰,季学武. 考虑定子电阻的无刷电机换相转矩脉动抑制 [J]. 电机与控制学报,2010(1): 26-31.
- (编辑: 王 萍)

+++++

(上接第73页)

- [4] 林颖,李文举,常永贵,等. 基于 ARM 的车载称重系统 [J]. 仪表技术与传感器,2008(3): 28-30.
- [5] 吴兴纯,赵金燕. 单片机运用系统的软件抗干扰技术研究与分析 [J]. 电子设计工程,2011,16(3): 37-44.
- [6] ALMODARRESI S. Application of Artificial Neural Networks to Intelligent Weighing Systems [J]. IEE Proceeding Science, Measurement & Technology,1999,146(6): 265-269.
- [7] WANG J,HSIEH M F. Vehicle Yaw-inertia-and Mass-independent Adaptive Steering Control [J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering, 2009,223(9): 1101-1108.
- [8] FERNANDEZ Rajan. Multi-axis Load Cell Designs Employing Multiple Shear Beams [J]. Applied Mechanics and Materials,2012: 1981-1986.
- [9] HAYASHI Yuchiro,TSUJUCHI Nobutaka,KoIZUMI Takayuku,et al. Development of a Novel Six-axis Force/moment Sensor Attached to a Prosthetic Limb for the Unrestrained Gait Measurement [C] // Proceedings of Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society, Boston, USA, 2011: 2921-2924.
- [10] SAITO Naoki,NAKAYAMA Noboru,SATO Toshiyuki. Development of a Four-axis Flexible Force Sensor Using Conductive Material [C] //IEEE 2011 International Conference on Robotics and Biomimetics,Hong Kong,2011: 1984-1989.
- (编辑: 温泽宇)