

文章编号:1007-2780(2015)01-0180-06

基于 LabView 的伺服转台 Stribeck 摩擦测量系统

李玉霞*,孟浩然,张 斌,王 帅
(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033)

摘要:基于虚拟仪器技术,利用 NI USB-4431 数据采集卡、LabView 软件研发了一种伺服转台 Stribeck 摩擦测量系统,实现对光电设备伺服转台的 Stribeck 摩擦力矩测试。该套系统通过 LabView 程序控制 USB-4431 数据采集卡,实现了对转台速度、加速度、电流的采集、显示、存储、数据分析等功能。以某一光电设备 T 型架方位转台实验,获得该转台的最大静摩擦力矩参数、库仑摩擦力矩参数、临界速度和黏滞摩擦系数。经验证,将摩擦参数带入模型中,正弦曲线引导下,转台仿真与实验的速度相关系数达 0.99。该系统人机界面友好,可实现在线显示与测量,提供丰富接口,系统功能可做进一步扩展。

关 键 词:LabView;虚拟仪器;摩擦力测量;伺服转台;显示
中图分类号:TH-39 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20153001.0180

Stribeck friction measure system of servo table based on Labview

LI Yu-xia*, MENG Hao-ran, ZHANG Bin, WANG Shuai
(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China)

Abstract: Based on virtual instrument technique, in order to realize measuring Stribeck friction toque of servo turning table on optoelectronic device, a kind of Stribeck friction measuring system was developed using NI USB-4431 Data Acquisition Card. Using Labview to control USB-4431 Data Acquisition Card, this system can realize the collection, display, save and analysis of physical data, including velocity, acceleration and current. The experiment is carried out on the azimuthal servo turning table of T type support, the parameters of max friction, coulomb friction, critical velocity, viscous friction were obtained. The experiment verified that the correlation coefficients between simulation and experiment velocity can reach to 0.99 under sine guide when the friction model was used. The system provided friendly human-computer interface, it can realized on-line display and measurement, it also provided plentiful ports. The function of the system can expanded for other use.

Key words: LabView; virtual instrument; friction measuring; servo turning table; display

1 引 言

摩擦是影响伺服系统跟踪精度的主要因素,

其主要表现为零速附近的速​​度畸变、极限环振荡等现象,严重影响伺服系统的控制精度^[1]。因此摩擦的测量对于伺服转台性能评价及高精度控制补偿器设计具有重要意义^[2-3]。基于 Stribeck 摩

收稿日期:2014-02-17;修订日期:2014-04-07.
基金项目:中科院第三期创新工程基金资助项目(No. 201125730.1)
* 通信联系人,E-mail:lyx26691023@163.com

擦模型可以表征动静摩擦随速度变化的现象,在实际工程中具有很强的实用性^[4-6]。

传统对转台的摩擦测量多是通过数字示波器或采集卡获得数据,数据存储后人工离线在 Matlab 中进行数据处理及分析,获得最终的摩擦特性曲线,存在不能实时采集分析显示,实验时间长、测试速度慢、自动化程度低的缺点。

本文中利用虚拟仪器技术^[7],基于 LABVIEW 软件开发了一套摩擦测量系统。可实现对 Stribeck 摩擦的在线实时测量。将采集参数设置、数据存储、曲线显示及分析集成到一个界面中可实时直观的观测摩擦曲线的动态变化,以实现转台的摩擦性能进行评价,提高了工作效率。此外,该系统提供了丰富的对外接口,以便今后测量功能扩展及完善。

2 摩擦测量原理及系统构成

2.1 Stribeck 摩擦测量原理

转台的摩擦力矩由力矩平衡原理测量,若考虑摩擦力矩的影响,整个转台的力矩平衡方程为:

$$T_a - T_f = J \frac{d\omega_m}{dt}, \quad (1)$$

其中: T_a 为电机驱动力矩, T_f 为摩擦力矩, J 为转动惯量, $\frac{d\omega_m}{dt}$ 为角加速度, ω_m 为角速度。即电机输出驱动力矩 T_a 克服摩擦力矩 T_f 使转台产生加速度 $\frac{d\omega_m}{dt}$ 。由式(1)可知,摩擦力矩可由式(2)获得。

$$T_f = T_a - J \frac{d\omega_m}{dt}. \quad (2)$$

由电机原理可得,电机输出

$$T_a = K_t I_a, \quad (3)$$

其中: K_t 为电机扭矩系数, I_a 为电机电枢电流。由式(2)(3)可知,摩擦力矩可表示为如式(4)所示:

$$T_f = K_t I_a - J \frac{d\omega_m}{dt}. \quad (4)$$

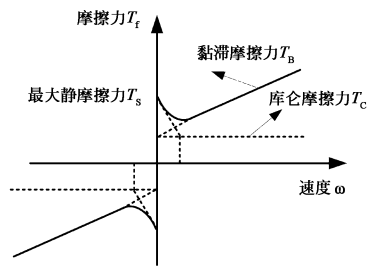
其中对于一个固定的电机 K_t 可以认为是个常数,对于一个固定的转台, J 可以认为是个常数。因此只要再测得输出电流 I_a 和转台运动加速度 $\frac{d\omega_m}{dt}$,便可获得摩擦力矩 T_f ,同时测量转台速度,

便可获得速度与力矩间的关系。

但为能将摩擦力矩应用到控制模型中,需对摩擦力进行建模分析,摩擦力矩与转台运动速度有一定关系,而 Stribeck 摩擦描述的是动静摩擦与速度之间的关系模型。该摩擦模型可描述出库仑摩擦、最大静摩擦、黏滞摩擦及和 Stribeck 现象,即在宏观滑动阶段下,摩擦力与速度呈非线性变化关系,随着速度的增大,摩擦力经历先下降到一个极小值,而后随速度增大而增大的过程,而此部分为影响转台运动精度的主要原因。用数学模型描述如式(5)所示:

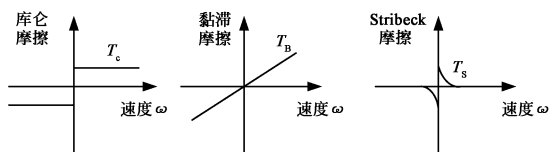
$$T_f(v) = \text{sgn}(v)(T_c + (T_s - T_c)e^{-|\omega/\omega_s| \delta_{ss}}) + B \cdot \omega, \quad (5)$$

其中: $T_f(v)$ 为摩擦力矩, T_c 为库仑摩擦力矩, T_s 为最大静摩擦力矩, v_s 为 Stribeck 速度, δ_{ss} 用来控制 Stribeck 曲线形状, B 为黏滞摩擦系数, ω 为转台角速度。整个 Stribeck 摩擦力矩曲线示意图如图 1(a)所示,其由库仑摩擦力矩 T_c 、黏滞摩擦力矩 $B \cdot \omega$ 、最大静摩擦力矩 T_s 及 Stribeck 摩擦力矩 $(T_s - T_c)e^{-|\omega/\omega_s| \delta_{ss}}$ 组成,如图 1(b)所示。



(a) 示意图

(a) Schematic diagram



(b) 组成图

(b) Composition diagram

图 1 Stribeck 摩擦力矩

Fig. 1 Stribeck friction torque

将测量的不同速度下的 $T_f(v)$ 数据经过非线性拟合处理后,获得 Stribeck 摩擦模型中的各个参数,描述出摩擦现象。

2.2 测量系统整体构成

由 2.1 所述,要获得力矩与速度的关系,需要同时电机输出电流、转台式速度、转台加速度、时间数据,再对数据进行处理获得摩擦力矩参数。

整个测量系统的组成框图如图 2 所示,通过直流电源给转台电机恒定电压,驱动电机匀速转动,利用陀螺测量转台电机的速度,加速度计测量转台运行的加速度,霍尔电流表测量驱动电机的电流。数据采集卡同时获得时间、电流、速度及加速度对数据进行 AD 转换,传输数据到 PC 机中,利用 LabView 进行数据采集、存储、显示并处理。

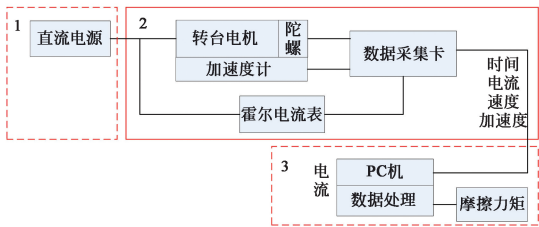


图 2 测量系统组成框图
Fig. 2 Block diagram of measuring system

2.3 硬件系统设计

测量系统中的硬件部分包括传感器和数据采集卡两部分,传感器为陀螺、加速度传感器及霍尔电流表。根据测量目的及测量精度要求,选用了 FOT GYROSCOPE 的 209516 陀螺,陀螺的标度因数为 $52.3\text{ mV}/(^{\circ}/\text{s})$,噪声系数为 $30.3\text{ }\mu\text{V}/\sqrt{\text{Hz}}$,消耗电流为 102.4 mA 。选取 Wilcoxon research 的 731A 压电振动加速度计,加速度计的标度因数设为 10 V/g ,量程为 $\pm 0.5\text{ g}$,放大器采用 P31,内部设定 450 Hz 的滤波器,设备如图 3 所示。霍尔电流表选用 Tektronix TCPA300 电流计,其标度因数为 5 A/V 。数据采集卡选用 NI

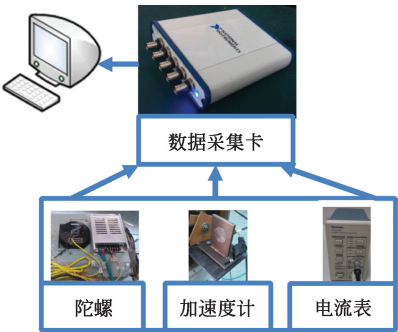


图 3 测量系统硬件组成
Fig. 3 Hardware composition of measuring system

公司的 USB4431 数据采集卡,NI4431 数据采集卡为 24 位的高精度采集模块,4 通道 A/D 输入,1 通道 D/A 输出,电压采集量程为 $\pm 10\text{ V}$ 。

3 软件系统设计

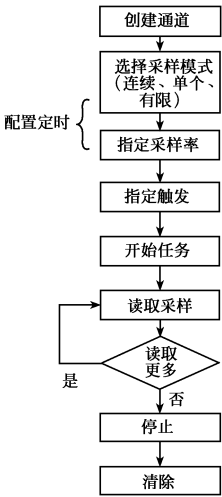
3.1 设计原理及流程

整个软件分为数据采集、数据转换、数据显示、数据分析、数据存储五大模块。数据采集模块将数据采集后,传送到数据转换模块,将采集数据转换为数组、簇或图形的形式,以用来对数据的显示、分析及存储。其中显示模块实现人机交互界面,用户通过界面设置采集参数,分析结果可显示在界面中。分析模块实现摩擦测量数据的后台处理,将数据处理及拟合算法嵌入到分析模块中。存储模块实现对采集数据的存储,用作事后其他数据分析与处理。

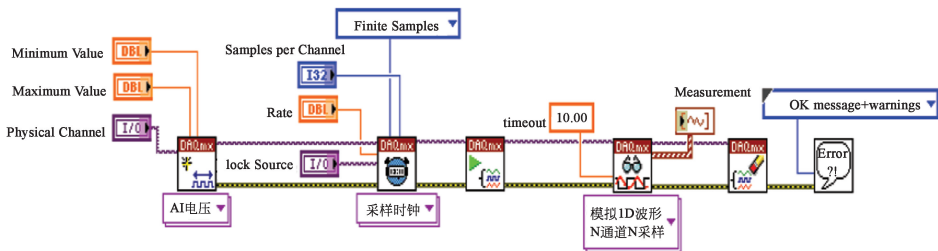
3.2 数据采集流程

数据采集模块是整个测量系统的第一步,也是测量系统是否能实现的关键部分,整个采集流程如图 4(a)所示,分为以下 5 部分顺序执行:创建数据采集通道;配置采样定时,确定采样模式和采样率;配置触发;开始任务读取采样;清除任务。其中读取采样数据部分循环执行,可实现连续数据采集。

采用 LabVIEW 对 USB 4431 采集卡数据采集模块编程如图 4(b)所示,利用 LabView 针对采集卡通讯接口控件,可简捷方便地实现 4 个通道数据的采集任务。



(a) 流程图
(a) Flow chart



(b)程序

(b)Program

图 4 数据采集流程及程序

Fig. 4 Flow chart and program of data collection

3.3 软件界面

设计的软件界面图如图 5 所示,由参数设置、分析结果数据显示、分析结果图形显示 3 部分组成。参数设置部分包括通道参数设置和传感器参数设置。通道参数设置包括采样模式、采样总数及采样率设置。传感器参数设置包括加速度系数、扭矩系数(电流系数)及陀螺速度系数设置。分析结果数据显示部分为 Stribeck 摩擦模型中的确定摩擦力的 4 个参数: T_c 、 T_s 、 δ_{ts} 、 B 。界面的图形显示部分包括所有通道数据、驱动电机转矩、转台速度、电机输出总转矩、速度-干扰力矩关系,电流转矩滤波后信号、速度-干扰力矩滤波后关系及不同速度下干扰力矩有效值关系。Stribeck 摩擦力矩参数需通过对不同速度下干扰力矩有效值关系拟合分析获取。而对其他数据的图形显示是为分析处理中对转台工作状况的监测,直观清晰的监测到数据处理中用到的数据,保证分析的正确可靠性。

3.4 软件发布

为实现在不安装 LabView 软件的计算机上运行摩擦测量程序,将软件发布为独立应用程序,程序发布由 LabView 中项目管理的程序生成规范实现^[8],配置生成程序的各项配置页如图 6 所示。生成应用程序后,在未安装有 LabView 软件的计算机中直接点击应用程序即可进行摩擦力矩测量。

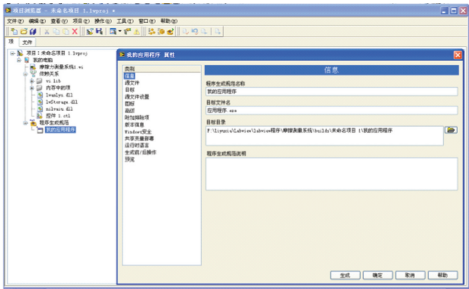


图 6 生成程序属性配置

Fig. 6 Property configuration of creating program

4 实验结果

采用上述摩擦力矩测量软件对一 T 型架方位轴转台进行测量,得到速度与干扰力矩关系及拟合曲线如图 7 所示,依据非线性拟合公式获得各摩擦力矩系数为 $T_c=0.011\ 5$; $T_s=1.682\ 3$; $v_s=0.083\ 3$; $B=0.016\ 5$ 。

将测量出的摩擦力矩带入原伺服系统模型中,正弦引导下,将仿真与实际测量的曲线进行比较。其中未加摩擦模型的速度曲线如图 8(a)所示,加入摩擦模型的速度曲线如图 8(b)所示,由

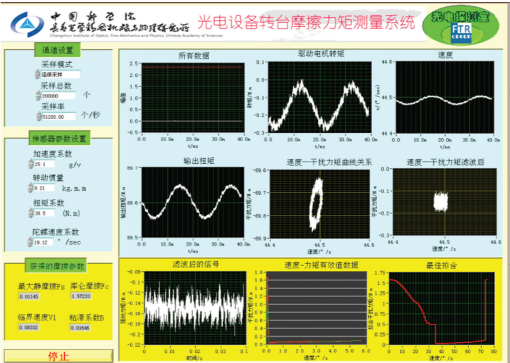


图 5 软件界面图

Fig. 5 Software interface

图可见,未加摩擦模型的仿真曲线不能反应速度为“0”时的速度畸变,经相关分析,转台仿与实验的速度相关系数达 0.99。

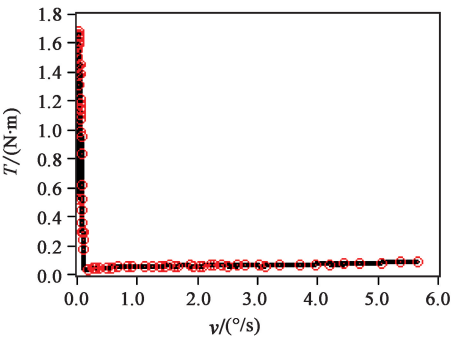
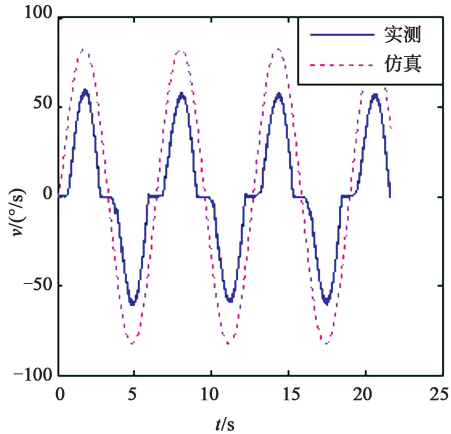
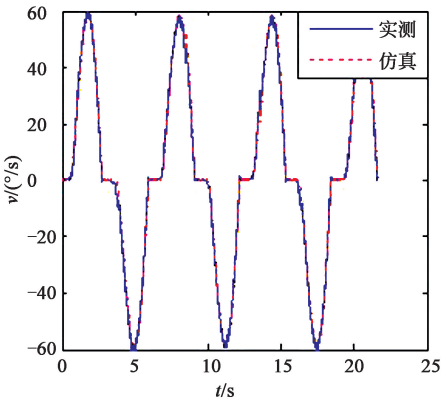


图 7 速度与干扰力矩有效值曲线

Fig. 7 Curve of velocity and disturb toque



(a)未加摩擦模型
(a)Without friction model



(b)加摩擦模型
(b)With friction model

图 8 正弦引导下仿真与实验结果

Fig. 8 Simulation and experiment results in sine guide

5 结 论

基于虚拟仪器技术,搭建了一套摩擦测量系统,实验结果表明,该系统可实时动态显示摩擦与速度间关系,并可计算出摩擦参数,为进一步的摩擦补偿研究及机械特性分析提供了前提。界面操作简单方便,显示信息量大,且直观易读取,提高了工作效率,另外系统提供了丰富接口,可实现进一步的功能扩展,如数据分析、数据存储等。通过软件发布,生成可执行安装 exe 文件,可在未安装 LabView 的计算机上运行,具有很强的实用性。

参 考 文 献:

[1] 宋彦. 伺服系统提高速度平稳度的关键技术研究[D]. 长春: 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所, 2010.
Song Y. Study and realization on key technology for improve velocity stability [D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2010. (in Chinese)

[2] Hongliu D, Satish S N. Modeling and compensation of low-velocity friction with bounds [J]. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 1999, 7(1): 110-121.

[3] Jayesh A, Bernard F, Avraham H. Implementation of a friction estimation and compensation technique [J]. *IEEE Control Systems*, 1997(8): 71-76.

[4] Candus. C, Astrom K J, Braun. K. Adaptive friction compensation in DC-Motor drives [J]. *Robotics and Automation*, 1987, 10(6): 681-685.

[5] 胡浩军, 毛耀, 马佳光, 等. 稳定转台摩擦参数的测量及其对稳定精度的影响[J]. *光电工程*, 2007, 34(5): 5-9.
Hu H J, Mao Y, Ma J G, et al. Stabilized turntable friction parameters measurement and the effect on the stabilized accuracy [J]. *Opto-Electronic Engineering*, 2007, 34(5): 5-9. (in Chinese)

[6] Brain A, Pierre D, Carlos C D W. A survey of models, analysis tools and compensation methods for the control of

machines with friction [J]. *Automatica*,1994,30(7):1083-1183.

[7] 杨守旺,葛文奇,徐正平,等. 音圈电机稳速系统及图形化调试界面设计[J]. 液晶与显示,2010,25(1):149-153.
Yang S W, Ge W Q, Xu Z P, *et al.* Design of graphic interface and speed control based on VCM [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2010, 25(1):149-153. (in Chinese)

[8] 徐晓东,郑对元,肖武. LabVIEW8.5 常用功能与编程 实例精讲[M]. 北京:电子工业出版社,2009:382-401.
Xu X D, Zheng D Y, Xiao W. *LabVIEW8.5 Frequently Used Functions and Programming Living Example De-tailedly Explanations* [M]. Beijing:Publishing House of Electronics Industry, 2009:382-401. (in Chinese)

作者简介:李玉霞(1987—),女,山东菏泽人,硕士,研究实习员,主要从事地基望远镜精密跟踪控制、故障诊断监控与测试等工作。E-mail:lyx26691023@163.com

华东理工大学液晶光子学材料研究小组

华东理工大学具有四十余年液晶材料研究的历史,是国内较早开展液晶材料研究的单位之一。液晶光子学材料研究组继承了几十年的研究基础,由沈冬教授于 2008 年建立,综合考虑研究组的知识结构、背景,结合长远发展的需要,经过几年的努力逐步形成了从材料分子设计材料合成、混配、功能化材料性质测试、分析与性能优化简单元器件制备的集材料制备、表征、器件化于一体,具有鲜明特色的研究小组。该课题组目前有教授 1 人,副教授(特别研究员)1 人,在读研究生 9 人。以蓝相液晶材料的合成与性能、结构可控功能材料的合成与性能、可调控液晶微结构材料、液晶光激励材料和有机发光材料的合成为研究重点。

近五年来在国家自然科学基金委、教育部、上海市、华东理工大学以及各企业单位的共同资助下,研究工作稳步推进,取得了一系列成果。利用弯曲形分子诱导获得了稳定的蓝相液晶,提出了获得稳定蓝相液晶的新思想和新方法;开发了在极端低温条件下稳定工作的聚合物稳定蓝相液晶;发现了存在于聚合物稳定蓝相体系内的双稳态现象;实现了液晶自组装体系的微结构多外场调控;制备了不同类型的高性能可调谐液晶激光材料;合成了具备高量子效率的有机发光染料;并且依托“结构可控先进功能材料教育部重点实验室”和“超细材料制备与应用教育部重点实验室”正在进行可控液晶微结构与纳米/液晶复合材料的光学新应用研究。

研究组在过去五年内发表期刊论文 18 篇,其中 SCI 一区、二区 9 篇;受邀进行综述性论文撰稿或评论 2 次;在蓝相液晶方面获美国发明专利和中国发明专利授权各一项,美国发明专利公开 4 项,台湾专利公开 2 项;此外,与国际、国内液晶学术团体保持紧密的联系与合作,受邀做大会邀请报告 4 次,获得来自各学术团体奖项 5 次。

