

# 时栅传感器动态自动测试与标定系统

高忠华,陈锡侯,彭东林,刘小康,王先全,郑方燕  
(重庆理工大学机械检测技术与装备教育部工程中心,重庆 400054)

**摘要:**时栅传感器误差曲线的动态自动标定工作,在保证精度的同时,大幅度减少了标定所需的时间。同时,利用软件实现卡尔曼滤波方法,进一步提高了动态标定精度。文中主要介绍了系统工作原理及动态标定的方法,使用结果表明:动态自动测试效率和标定精度达到了预定的指标。

**关键词:**时栅传感器;卡尔曼滤波;动态测试;自动标定

**中图分类号:** TP206 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002 - 1841(2010)02 - 0095 - 03

## Dynamic Automatic Testing and Calibration System of Time Grating Sensor

GAO Zhong-hua, CHEN Xi-hou, PENG Dong-lin, LU Xiao-kang, WANG Xian-quan, ZHENG Fang-yan  
(Engineering Centre of Mechanical Detection Technology and Equipment of the Education Ministry,  
Chongqing University of Technology, Chongqing 400054, China)

**Abstract:** The dynamic automatic testing and calibration work of time grating sensor error curve can not only ensure its precision, but also reduce testing and calibration time. It used Kalman filter with software to improve the dynamic automatic testing and calibration precision. This paper focused on the system principle and the dynamic automatic testing and calibration method. And the testing results prove that the testing efficiency and calibration precision reach expected requirements.

**Key words:** time grating sensor; Kalman filter; dynamic test; auto-calibration

### 0 引言

基于文献[1]提出的“时空坐标转换理论”概念而研发的时栅位移传感器,在研发出高精度实验样机之后,开始了市场化的研发阶段。时栅作为一种智能化仪器,可以通过误差理论修正和补偿达到高精度,这就需要同光栅、激光干涉仪等高精度母仪进行大量的比对工作。因此,对每一台产品都需要有一个测试校准的过程<sup>[2-4]</sup>,如此大量的标定工作是阻碍提高时栅传感器生产效率的主要因素。为此,标定方法是如何提高时栅传感器生产效率的主要问题。文中在文献[4]中提出的高精度数显时栅转台的“静态”标定系统的基础上,提出了一种应用于时栅传感器“动态”标定的方法,不但避免了静态标定所需的长时间等待转位位置定位的时间,还提高了传感器的标定精度,从而很好地解决了时栅动态标定和大批量生产之间的矛盾。

### 1 系统的工作原理及动态标定方法

#### 1.1 系统工作原理

图1为时栅动态标定的系统原理图。它是一个半闭环控制系统。动态标定时对速度的变化比较敏感,为了得到相对恒定的标定速度,系统采用FANUC数控系统来控制伺服电机做匀速转动,光栅和时栅传感器分别通过弹性联轴结安装在精密分度转台的主轴上,随转台同步转动。伺服电机通过同步带带动转台做匀速转动的同时,也使光栅和时栅同时转过相应的角位移。在系统做匀速转动的过程中,时栅和光栅按一定的周期通过串口向工控机发送数据,工控机接收到时栅、光栅的原始角度数据后做差值,便得到时栅的原始误差,然后利用工控机

进行相应的数据处理和实时显示。标定系统装置如图2所示。整个过程的采样、处理和屏幕显示(数据和曲线)全部是动态、自动和实时完成的。

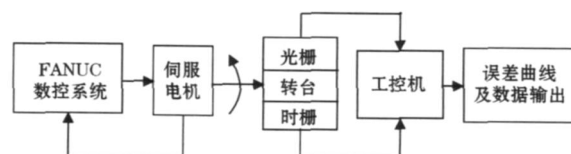


图1 系统原理图

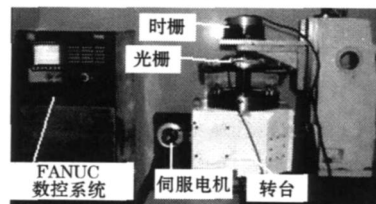


图2 标定系统装置图

#### 1.2 时栅传感器动态标定方法

利用“动态”数据采集的方法,即传感器在旋转过程中把时栅与光栅的原始数据实时地采集到上位机中,从而在上位机得到一条整周误差曲线,事后再进行整周误差修正。时栅是按等时间周期发送数据,而光栅则是按等空间间距发送数据,因此如何动态而同步地获取时栅和光栅的原始数据是动态标定首先要解决的问题。在硬件设计上,采用了用时栅信号周期性触发中断的方法来使时栅、光栅数据在同一时刻发送到上位机,这样就保证了时栅与光栅信号的同步。上位机接收到数据后,在软件设计上采用如下2种获取动态数据的方法:

(1)获取全部误差数据进行处理:时栅、光栅每隔一定的时

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50805150)

收稿日期:2009-11-04 收修改稿日期:2009-12-14

间  $t$  向上位机送一次数据,上位机判断第一个正确的数据到来后,将其后的所有误差数据都保存在上位机中。这种处理方法数据量大,所含误差信息丰富,且数据量的多少可以用电机旋转速度控制,速度快则获取的数据少;反之,速度慢则获取的数据多。数据量越大则获取的数据就越密集,即获取的数据对应时栅空间位置间隔越小,从而误差曲线越能反映时栅信号的真实信息,采集数据量的大小与速度的关系为:

$$D = \frac{60 \times 10^3}{t \times n} \quad (1)$$

式中: $D$ 为传感器旋转一周所采集到的数据个数; $n$ 为折算到传感器上的转速,  $r/min$ ;  $t$ 为 2次向上位机送数据的时间间隔,  $ms$

该方法处理的数据量很大,特别是慢速转动时,数据量非常大(可达  $10^6$  个)。采用这种数据处理方法,是为了满足动态标定时对数据滤波的需要,为了达到高精度标定的要求,要有足够多的数据来保障所采集的数据在空间位置的间隔很小,确保滤波的平滑性,然后再根据数据拟合的需要提取所需要的数据进行数据拟合和误差修正,因此这种方法适用于高精度的标定,且需要动态滤波的场合。

(2)获取部分误差数据进行处理:根据拟合需要的时栅空间位置,直接采集所需位置的误差数据,其余数据全部舍弃,采集完成后直接使用采集到的数据进行拟合。这种采集方法数据量小,且要设定采集点的定位精度,因为数据拟合时要求时栅要等间隔采样,所以采集点的定位精度要足够小才能保证时栅的等间隔采样要求。采集点的定位精度选择与传感器的转速有关,必须满足以下关系式

$$\frac{60 \times 10^3 \times \Delta}{1296000 \times n} > t \quad (2)$$

式中: $\Delta$ 为所需数据采集点的定位精度,  $(mm)$ ;  $n$ 为折算到传感器上的转速,  $r/min$ ;  $t$ 为 2次向上位机送数据的时间间隔,  $ms$

此种方法,不需要再提取数据,可直接使用采集到的数据进行拟合和误差修正,适用于一般精度的标定。

## 2 系统应用软件设计

标定系统的软件采用工程中常用的 VB6.0 编制,它是一种基于 G 语言 (Graphics Language,图形化编程语言) 的测试系统软件开发平台,G 语言采用图形化编程方式,具有丰富的扩展函数库,突出程序设计主线,而不必耗费大量的精力去编写界面和复杂的基本算法,使软件的开发效率得到极大的提高<sup>[5]</sup>。下面介绍几个主要的模块设计。

### 2.1 人机界面设计

图 3 是设计的测试系统界面,该测试软件既可以用于自动测试,也可以用于手动进行测试,图中的按钮就是为了手动测试的方便而设计的。测试所选的条件及测试的参数都在“参数设置”菜单中设置,包括如显示的分辨率设置,数字滤波方法的选择,定位精度设置等。

### 2.2 动态数据处理程序设计

图 4 是动态数据处理的流程图,根据标定精度的需要首先按式 (1)或式 (2)设定好系统工作转速,如果是一般精度的动态标定,要设定好定位精度,以确保等间隔采集数据,然后保存误

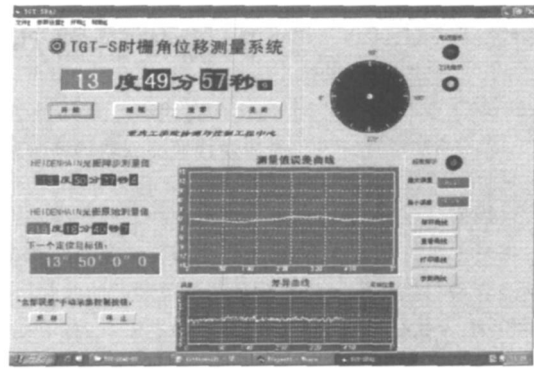


图 3 测试软件人机界面

差数据进行误差的拟合与修正;如果要求精度较高的标定,则需要卡尔曼动态滤波,然后提取一部分误差数据进行误差的拟合与修正。

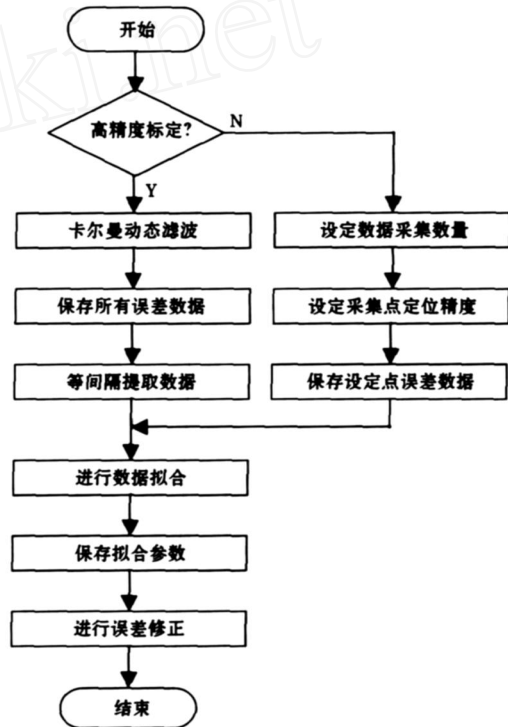


图 4 动态数据处理流程图

### 2.3 卡尔曼动态滤波算法的实现

静态标定时在数据采集的任一位置,由于传感器处于静止状态,其数据的波动由其自身的稳定性决定,为了得到一个稳定读数,可在时间轴上做一个平均滤波,该方法在时栅静态标定系统中得到了很好的应用。而动态标定时,由于每一个时刻时栅的数据都是变化的,无法实现静态标定所采用的在时间轴上的滤波,在动态标定中作者采用卡尔曼滤波的方法来动态预测空间位置的最优估算,克服读数稳定性和小周期误差问题。

简单来说,卡尔曼滤波是一个最优化自回归数据处理算法,它的使用条件是线性随机微分系统,过程和测量噪声都是符合高斯分配的高斯白噪声,首先要利用系统的过程模型,来预测下一状态<sup>[6]</sup>。假设现在的系统状态是  $k$ ,根据系统模型,可以基于系统的上一状态而预测出现在状态。根据标定系统的

单模型单测量特征,卡尔曼滤波算法主要包括以下几个过程。

(1)获取当前状态的预测值及与其对应的协方差

$$X(k|k-1) = X(k-1|k-1)$$

$$P(k|k-1) = P(k-1|k-1) + Q$$

式中: $X(k|k-1)$ 是利用前一状态得到的当前状态预测的结果; $P(k|k-1)$ 是对应的协方差; $X(k-1|k-1)$ 是前一状态最优的结果; $P(k-1|k-1)$ 是对应的协方差; $Q$ 是系统过程的协方差。

(2)获得当前状态最优估算值

$$K_g(k) = P(k|k-1) / [P(k|k-1) + R]$$

$$X(k|k) = X(k|k-1) + K_g(k) [Z(k) - X(k|k-1)]$$

式中: $K_g(k)$ 为卡尔曼增益; $X(k|k)$ 是状态  $k$  下最优的估算值; $Z(k)$ 是当前状态  $k$  下的测量值; $R$ 是系统测量协方差。

(3)更新当前状态下的协方差

$$P(k|k) = [1 - K_g(k)] P(k|k-1)$$

为了使卡尔曼滤波不断的运行下去直到系统过程结束,必须要更新当前  $k$  状态下协方差  $P(k|k)$ 。图 5 是卡尔曼滤波算法流程图。

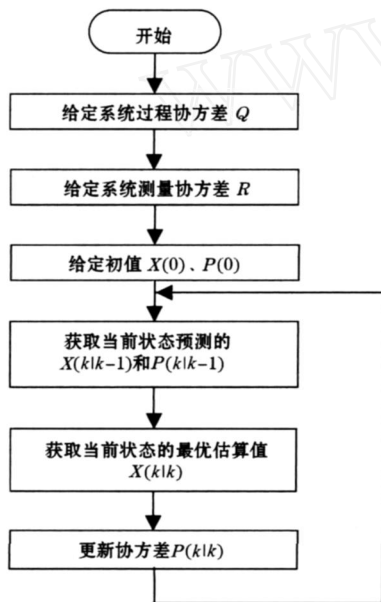


图 5 卡尔曼滤波算法流程图

(上接第 94 页)和先验信息,对有效地实现定位是很有用的,加快了检测速度并提高了定位精度。

参考文献:

[1] 李雪梅. 基于机器视觉的直读式抄表系统的研究. 微计算机信息, 2008, 24 (8): 56 - 58.  
 [2] 吴梦麟. 图像式水表读数识别方法研究: [学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2006.  
 [3] 苏义鑫, 罗佳佳. 基于边缘检测和 Hough 变换的车牌定位技术. 仪表技术, 2008 (04): 40 - 41; 44.  
 [4] 徐志刚, 朱红蕾. 基于角点检测和边缘提取的车牌定位方法. 科学技术与工程, 2008, 8 (14): 1671 - 1819.  
 [5] JEAN SERRA. Introduction to Mathematical Morphology. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1985, 35: 283 - 305.  
 [6] 杨述斌, 张阳. 复杂车辆图像中的车牌快速形态定位算法. 计算

### 3 实验效果与总结

图 6 是一段卡尔曼滤波前后时栅误差的实测曲线,可以看出滤波前后随机误差成分被明显地滤除掉,且效果比较明显。经过滤波之后的误差峰峰值的波动量减小,从  $\pm 0.7$  减少到  $\pm 0.3$ ,提高了标定精度。

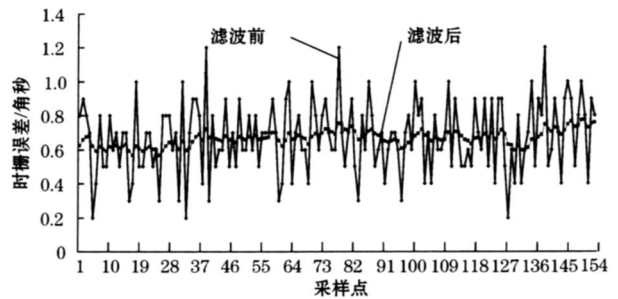


图 6 卡尔曼滤波前后时栅误差曲线对比

### 4 结束语

时栅传感器动态自动测试与标定系统实现了动态的自动测试与标定工作,而且可以取代时栅静态标定,提高了标定效率,在高精度动态标定中解决了滑动滤波问题。实践证明,这套测试系统是完全可行的,动态自动测试效率得到了大幅度提高,测试效果良好。

参考文献:

[1] 彭东林, 刘成康, 谭为民, 等. 时空坐标转换理论与时栅位移传感器研究. 仪器仪表学报, 2000, 21 (4): 338 - 342.  
 [2] 张兴红. 时空坐标转换理论及场式时栅位移传感器其实验研究. 重庆: 重庆大学, 2003.  
 [3] 彭东林, 张兴红, 刘小康, 等. 场式时栅位移传感器研究. 仪器仪表学报, 2003, 24 (3): 329 - 331.  
 [4] 高忠华, 彭东林, 王全全, 等. 用于高精度数显时栅转台的全自动测控系统设计. 工具技术, 2008, 42 (9): 95 - 97.  
 [5] 沈炜, 杨世锡. Visual Basic 编程从基础到实践. 北京: 电子工业出版社, 2005.  
 [6] GREG WELCH, GARY Bishop. An introduction to the Kalman filter. ACM SIGGRAPH, Los Angeles, 2001: 20 - 34.

作者简介: 高忠华 (1972—), 硕士, 工程师, 主要研究方向为计算机辅助测试技术和智能传感器技术。Email: gzh@cqut.edu.cn

机技术与发展, 2008, 18 (6): 50 - 53.

[7] 张亮. 号码技术在若干领域应用的研究: [学位论文]. 沈阳: 沈阳工业大学, 2006.  
 [8] 苑玮琦, 伞晓钟. 一种汽车牌照多层次分割定位方法. 中国电视学与图像分析, 2004, 19 (14): 239 - 243.  
 [9] 郭亚, 王水波. 基于灰度图像的车牌定位算法研究与实现. 现代电子技术, 2008 (2): 137 - 139.  
 [10] 付炜, 赵正则, 王大江. 基于水平灰度跳边和垂直投影的车牌定位方法. 电子测量技术, 2008, 31 (03): 61 - 65.  
 [11] COMELLI P. Optical recognition of Motor Vehicle License Plates. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 1995, 44 (4): 790 - 799.

作者简介: 张志佳 (1974—), 副教授, 博士, 从事图像处理、机器视觉、模式识别和虚拟仪器技术的研究。Email: zjzsut@126.com