

文章编号 1004-924X(2015)增-0000-06

光谱仪分光扫描机构光零位置误差检测

陈琛, 许伦豹, 千承辉, 王智宏*

(吉林大学 仪器科学与电气工程学院, 吉林 长春 130026)

摘要: 为了检测光栅扫描型近红外光谱仪分光系统扫描机构的光零位置误差, 提高光谱仪的波长准确度, 提出了基于图像处理测量该系统在光零位置时扫描机构中摆杆与丝杠垂直度误差的方法。该方法通过图像采集获取光零图像, 利用像素标定获得相关要素的空间坐标, 采用边缘提取、最小二乘曲线拟合等算法提取丝杠与摆杆中心线, 利用拟合中心线的方程参数计算丝杠与摆杆的夹角, 从而完成光栅扫描型光谱仪光零位置误差的检测。实验结果表明, 光谱仪扫描机构的光零位置误差值为 1.544° , 测量精度为 0.083° , 满足光零误差角的检测要求。该检测方法具有操作简单、非接触、测量精度高等优点, 为光栅扫描型近红外光谱仪波长误差的补偿奠定了理论基础。

关键词: 红外光谱仪; 光栅分光扫描系统; 光零位置误差; 图像处理; 测量精度

中图分类号: TH744.1 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20152313.0000

Detection of optical zero position error for scanning mechanism in spectrometer

CHEN Chen, XU Lun-bao, QIAN Chen-hui, WANG Zhi-hong*

(College of Instrument Science & Electrical Engineering,
Jilin University, Changchun 130026, China)

* Corresponding author, E-mail: zhwang@jlu.edu.cn

Abstract: To detect the error of optical zero position in scanning mechanism of a grating scanning near-infrared spectrometer and to increase the wavelength accuracy of the spectrometer, an image processing method was proposed for measurement of the vertical errors of pendulum and screw in the scanning mechanism when the grating scanning system was in the optical zero position. Firstly, the image of optical zero position was acquired by the image acquisition system. Then, spatial coordinates of relevant elements were calibrated by pixels, and centerlines of screw and pendulum were extracted by using the edge extracting method and least-square curve fitting algorithm. Finally, the angle between screw and pendulum was calculated by equation parameters of fitting centerline, and thus the error detection on optical zero position was realized. The experimental results indicate that the error of the zero position is 1.544° and the measuring precision is 0.083° . The proposed method satisfies the testing requirements for simpleness, non-contact and higher precision. Moreover, it provides theoretical data for compensation of wavelength errors for grating near-infrared spectrometers.

Key words: infrared spectrometer; grating scanning mechanism; error of optical zero position; image process-

收稿日期: 2015-06-16; 修订日期: 2015-07-10.

基金项目: 吉林省科技发展计划重大科技专项 (No. 20116014)

ing; measurement accuracy

1 引言

光栅扫描型近红外光谱仪采用平面衍射光栅分光原理,非常适合用于测量含氢有机物质如农产品、石化产品等的物化参数^[1]。目前,近红外光谱分析已广泛应用于农业和石化等领域^[2]。光栅扫描型光谱仪分光系统的扫描传动机构多采用精密丝杠螺母、摆杆传动的正弦机构,在步进电机的驱动下,带动分光系统的光栅连续扫描,为系统提供线性变化的波长^[3]。

在光谱仪光栅分光扫描机构中,光零是指平面衍射光栅法线与分光系统入射光线和衍射光线的夹角平分线重合的位置,即光栅连动的摆杆中心线垂直于丝杠轴线。光零位置的准确是光谱仪波长准确性与重现性的保障。为此,在实际设计时常采取取消回差、精定位、误差校准等措施来提高光零位置的准确度。

光零位置的误差测量可以为光谱仪器波长误差的补偿提供理论数据,以便于提高光栅扫描型光谱仪的波长精度。现有的设备或仪器无法实现光零位置的误差测量,若采用纯粹的接触式直尺测量则存在较大的主观误差,且与被测件的接触不易操作。本文提出了采用图像处理技术提取被测要素进行光零位置误差检测的方法,利用 MATLAB 图像处理工具箱提供的函数实现了图像的处理、中心线的拟合以及角度的计算。

MATLAB 图像处理工具箱提供的函数能够获得图像有用部分的客观信息,有效地建立对图像的描述,从而实现智能检测和智能测量^[4]。三峡大学的肖露等人将 MATLAB 图像处理工具箱用于测量刀具角度^[5],南京理工大学的牛立聪等人利用 MATLAB 图像处理工具箱来计算砂石颗粒的圆形度^[6],这些研究均验证了利用 MATLAB 图像处理功能实现光零误差角度测量的可行性。

本文通过控制工业相机直接采集光零位置图像,利用图像处理技术进行像素标定,提取与光零位置角度相关的轮廓要素,即摆杆上螺栓区域轮廓和丝杠上高亮区域轮廓。最后对两轮廓的中心线进行拟合,利用两者的直线方程参数计算其夹角,得到相应的光零误差值。为了验证测量方法

的准确性及精确度,利用上述检测方法对刻度尺的 90° 刻度线进行了多次测量,并获得了相应的误差值。实验结果证明,该检测方法具有操作简单、非接触、测量精度高等优点。

2 检测方法

在进行光栅扫描型光谱仪分光系统扫描机构的光零误差检测时,需要先测量光谱仪处于光零位置时摆杆中心线与丝杠中心线的夹角,再进一步计算其垂直度误差。

2.1 角度测量原理

xoy 平面内的两条直线如图 1 所示,两直线 1,2 与 x 轴的夹角分别为 θ_1 和 θ_2 ,范围为 $\pm 90^\circ$ 。则二者的夹角 θ 为:

$$\begin{cases} \theta = \theta_1 - \theta_2, \theta_1 > 0 \\ \theta = 180^\circ + \theta_1 - \theta_2, \theta_1 < 0 \end{cases} \quad (1)$$

因此如果获得摆杆和丝杠的中心线在某一坐标系的方程,即可通过计算夹角的关系获得二者的角度,进一步获得光零位置的垂直度误差。

利用图像采集系统获得光谱仪扫描机构的数字图像,再通过图像处理便可得到摆杆和丝杠及其中心线图像所在空间平面内的坐标^[7]。

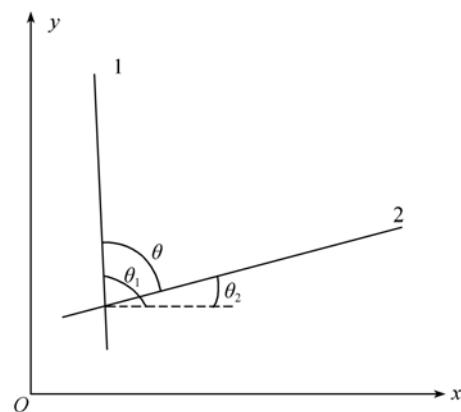


图 1 直线角度关系

Fig. 1 Relationship between straight line and angle

2.2 图像处理方法

首先采集光谱仪扫描机构的图像进行灰度处理,并对图像进行标定,获得所研究对象的空间坐标。然后对图像分别进行边缘提取和最小二乘曲线拟合;提取丝杠与摆杆的中心线,并在同一坐标

系中求得两直线的倾斜角。最后计算两直线间的夹角,从而完成光谱仪扫描机构中光零误差的检测。

3 测量实验与结果

3.1 实验系统

实验系统由摄像头(型号:EX-500,焦距:6~12 mm)、PC机、光栅光谱仪、260 mm×185 mm黑白棋盘标定板(16k纸打印)组成,如图2所示。采用MATLAB图像处理工具箱提供的函数实现图像采集、处理以及最小二乘拟合;并编程实现角度及误差的计算。

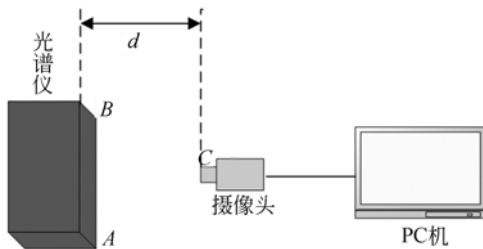


图2 实验系统示意图

Fig.2 Diagram of experimental system

3.2 光零误差测量实验

3.2.1 图像采集及像素标定

利用 `videoinput`, `preview`, `getsnapshot` 函数实现摄像头图像对象的创建,预览窗口的打开,图像采集的操作。利用 `rgb2gray` 函数将彩色图像转化成灰度图像,如图3所示。其中, a, b 为上、下螺母; c, d, e 为丝杠的3个区域。

采用定点标定与内点插值相结合的方法进行图像校正^[8]。在保持摄像头与光谱仪空间位置关系不变的情况下,先后对扫描机构和标定板进行采样,再对标定板图像进行角点检测^[9-10],利用 `detectCheckerboardPoints` 函数得到每一角点的坐标值,而每一角点在棋盘图中的坐标已知,故采取对角点间进行线性插值的方法建立扫描机构像素坐标与实际坐标间的转换关系,完成像素标定^[11]。图4为棋盘标定板,标定后的图像如图5所示。

3.2.2 选取相关要素处理区

用函数 `imcrop` 在采样图像上截取摆杆上的两个螺母区域 a, b 和丝杠上的3个区域 c, d, e , 其

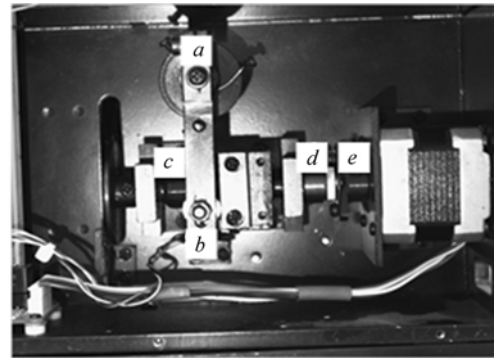


图3 灰度图像

Fig.3 Grayscale image

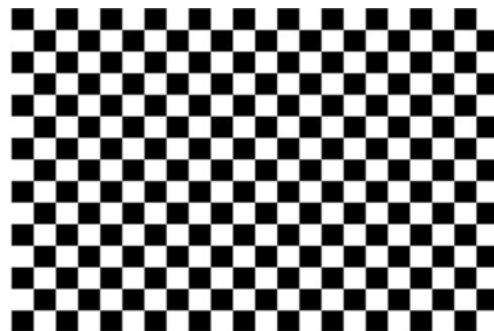


图4 棋盘标定板

Fig.4 Checkerboard calibration board

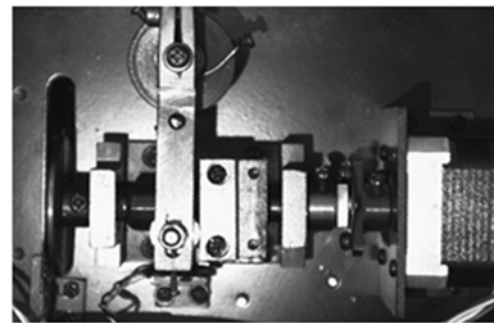


图5 标定后的图像

Fig.5 Calibrated image

中 c, d, e 3 个区域由于局部曝光过度,形成了横贯图像表面的一条高亮区域图^[12]。

3.2.3 边缘检测与中心要素的提取

获得 a, b, c, d, e 的像素后,利用 `edge` 函数提取其边缘,边缘算子采用 `canny` 算子^[13]。边缘检测后得到一个二值图像^[14],如图6所示,需要在诸多连通域进行人工选取以获得理想的轮廓。利用函数 `bwlabel` 和 `ginput` 获得所选连通域的像素点。

3.2.4 中心线拟合

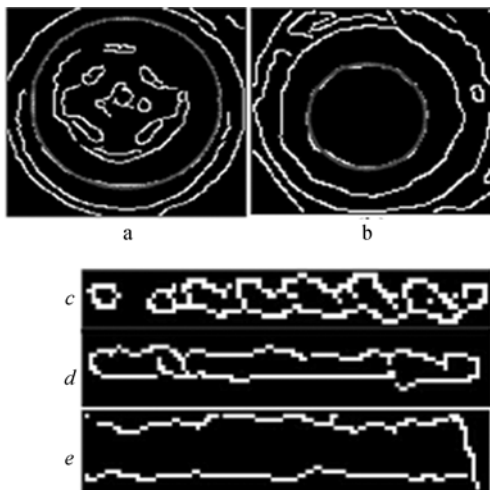


图6 选取区域的边缘提取图

Fig. 6 Boundary extraction images of selected regions

获得连通域像素坐标值 (x_i, y_i) 后,利用函数polyfit 分别对 a, b 进行圆的最小二乘拟合,拟合的圆如图6(a)、(b)中的灰色连线所示,对应的圆心坐标分别为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) ^[15]。通过二圆心的直线即为摆杆中心线,其斜率为:

$$k_1 = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \quad (2)$$

则摆杆中心线与 x 轴正方向夹角 θ_1 为 $\arctan k_1$, 取值范围为 $\pm 90^\circ$ 。

同样对丝杠获得连通域的坐标点进行直线最小二乘拟合,得到的直线方程为 $y = k_2x + b$ ^[16]。则丝杠中心线与 x 轴正方向夹角 θ_2 为 $\arctan k_2$ 。拟合的丝杠与摆杆中心线如图7所示。

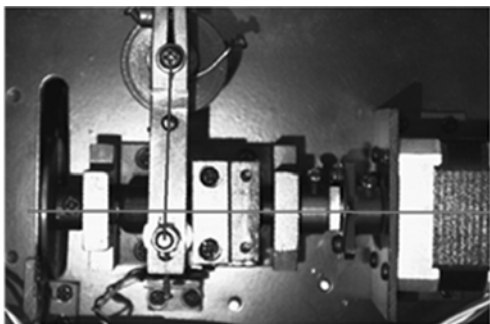


图7 丝杠和摆杆中心线

Fig. 7 Centerlines of screw and pendulum

3.2.5 角度及误差的计算

如图1所示,设摆杆中心线为直线1,它与 x 轴的夹角为 θ_1 ;丝杠中心线为直线2,它与 x 轴的

夹角为 θ_2 ,则由式(1)可计算出光零位置丝杠与摆杆的夹角。

重复测量15次可获得光零位置丝杠与摆杆的夹角平均值为 88.456° ,光零误差角为 1.544° 。

4 精度测量实验

为了验证本检测方法的准确性及精确度。用该检测方法对刻度尺 90° 刻度线的角度进行多次重复试验,具体测量位置如图8所示。实际测量数据如图9所示,均值为 89.896° ,方差为 0.0277° ,极限偏差为 0.083° 。可见光零误差检测系统测量 90° 角的精度为 0.083° 。

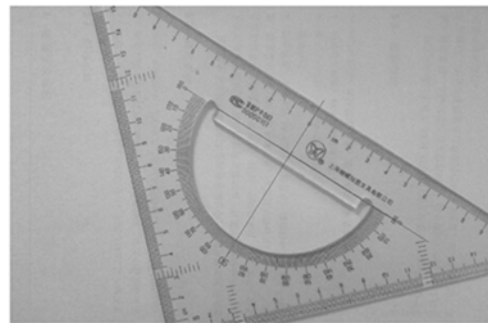


图8 精度标定的测量图像

Fig. 8 Measuring image of precision standardization

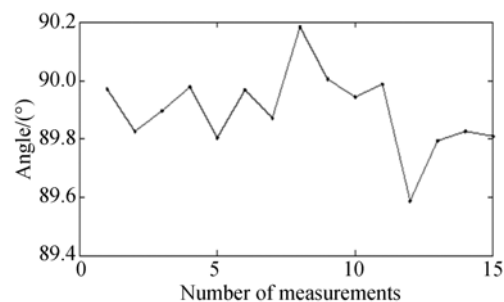


图9 角度测量数据

Fig. 9 Data of angle measurement

5 结论

本文提出了基于图像处理对光栅扫描型光谱仪光零误差检测的方法。通过采集光零位置图像和像素标定获得光零位置相关要素的空间坐标,采用边缘提取、曲线拟合等算法实现丝杠与摆杆中心线的提取,利用拟合中心线的方程参数确定

丝杠与摆杆的夹角,从而实现了光栅扫描型光谱仪光零误差的检测。实验结果表明,光谱仪扫描机构的光零误差值为 1.544° 。该检测方法操作

简单、非接触,测量精度为 0.083° ,满足光零误差角的检测要求,可为光栅扫描型光谱仪波长误差的补偿提供理论数据。

参考文献:

- [1] 储小立. 化学计量学方法与分子光谱分析技术 [M]. 北京:北京化学工业出版社, 2011.
CHU X L. *Molecular Spectroscopy Analytical Technology Combined with Chemometrics and its Applications* [M]. Beijing: Chemical Industry press, 2011. (in Chinese)
- [2] 王智宏,张福东,刘杰,等. 基于近红外波长组合快速检测油页岩含油率[J]. 光学精密工程, 2015, 23(2):371-377.
WANG ZH H, ZHANG F D, LIU J, et al. . Rapid detection of oil yield of oil shale by combination of wavelengths in near infrared spectroscopy [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(2):371-377. (in Chinese)
- [3] 高明辉,林洁琼,廉凤慧,等. 基于 AOTF 的便携式近红外光谱测量仪的研制[J]. 长春工业大学学报:自然科学版, 2008, 29(3):314-318.
GAO M H, LIN J Q, LIAN F H, et al. . Portable NIR spectrometer based on AOTF [J]. *Journal of Changchun University of Technology: Natural Science Edition*, 2008, 29(3):314-318. (in Chinese)
- [4] 章毓晋. 图像工程 [M]. 北京:清华大学出版社, 2007.
ZHANG Y J. *Image Engineering* [M]. Beijing: Qinghua University Press, 2007. (in Chinese)
- [5] 肖露,崔晋龙. 基于 matlab 的刀具角度测量[J]. 制造技术与机床, 2014(10):127-129.
XIAO L, CUI J L. Cutting tool angle measurement based on MATLAB [J]. *Manufacturing Technology & Machine Tool*, 2014(10): 127-129. (in Chinese)
- [6] 牛立聪,孙香花,左晓宝. 基于 Matlab 图像处理的砂石颗粒圆形度计算方法[J]. 混凝土, 2012, 1:10-12.
NIU L C, SUN X H, ZUO X B. Circularity calculation of sand and stone particles based on Matlab image processing [J]. *Concrete*, 2012, 1:10-12. (in Chinese)
- [7] 范勇,张佳成,陈念年,等. 图像几何畸变校正方法 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45(29):194-197.
FAN Y, ZHANG J CH, CHEN N N, et al. . New method for image geometric distortion correction [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(29): 194-197. (in Chinese)
- [8] 史明强,张海翔,鲁正,等. 感知二步插值标定方法研究 [J]. 机电工程, 2011, 28(8):960-982.
SHI M Q, ZHANG H X, LU ZH, et al. . Research on two-step susceptible and interpolated calibration algorithm [J]. *Mechanical & Electrical Engineering*, 2011, 28(8):960-982. (in Chinese)
- [9] 赵文彬,张艳宁. 角点检测技术综述 [J]. 计算机应用研究, 2006, 23(10):17-20.
ZHAO W B, ZHANG Y N. Survey on corner detection [J]. *Application Research of Computers*, 2006, 23(10):17-20. (in Chinese)
- [10] 赵斌,周军. 基于改进棋盘的角点自动检测与排序 [J]. 光学精密工程, 2015, 23(1):237-244.
ZHAO B, ZHOU J. Automatic detection and sorting of corners by improved chessboard pattern [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(1):237-244. (in Chinese)
- [11] 谭晓波. 摄像机标定及相关技术研究 [D]. 长沙:国防科学技术大学, 2004.
TAN X B. *Study on Camera Calibration and Its Correlation Technique* [D]. Changsha: National University of Defense Technology, 2004. (in Chinese)
- [12] 米曾真,谢志江,陈涛,等. 重轨图像增强与边缘提取的关键技术 [J]. 光学精密工程, 2012, 20(7):1645-1652.
MI Z ZH, XIE ZH J, CHEN T, et al. . Key technology of image enhancement and edge extraction for heavy rail [J]. *Opt Precision Eng.*, 2012, 2(7): 1645-1652. (in Chinese)
- [13] 赵小川. MATLAB 数字图像处理实践 [M]. 北京:机械工业出版社, 2013.
ZHAO X CH. *Digital Image Processing MATLAB practice* [M]. Beijing: Machinery Industry Press, 2013. (in Chinese)
- [14] 贾昔玲. 一种新的基于二值图像的边缘检测算法 [J]. 科技情报开发与经济, 2009, 19(4):122-123.
JIA X L. A new algorithm of edge detection based on two-value image [J]. *Sci-Tech Information Development & Economy*, 2009, 19(4): 122-123. (in Chinese)

- [15] 朱嘉,李醒飞,谭文斌,等. 基于圆心约束最小二乘圆拟合的短圆弧测量[J]. 光学精密工程, 2009, 17(10):2486-2492.
ZHU J, LI X F, TAN W B, *et al.*. Measurement of short arc based on centre constraint least-square circle fitting[J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(10): 2486-2492. (in Chinese)
- [16] 李伟林,王磊,朱罗平,等. 最小二乘拟合法在大

型水电机组安装中的应用[J]. 排灌机械工程学报, 2014, 32(1):45-50.

LI W L, WANG L, ZHU L P, *et al.*. Application of least square fitting method in installation of large hydro generating sets[J]. *Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering*, 2014, 32(1): 45-50. (in Chinese)

作者简介:



陈琛(1990-),男,山东菏泽人,硕士研究生,2010年于河南理工大学获得学士学位,主要从事近红外光谱仪器硬件方面的研究。Email:568398386@qq.com

通讯作者:



王智宏(1969-),女,吉林长春人,教授,博士生导师,1995年于吉林工业大学(现吉林大学)获得硕士学位,2005年于吉林大学获得博士学位,主要从事近红外光谱及应用技术的研究。Email:zhwang@jlu.edu.cn