

# 基于图像对准式V棱镜折射仪低对比度图像的识别算法研究

李延凤 安志勇 王劲松 呼丹

长春理工大学光电工程学院, 吉林 长春 130022

**摘要** 高精度光学玻璃折射率是保证光学设计和成像质量的重要条件,主要由V棱镜折射仪进行检测。在图像对准式V棱镜折射仪中,用于对准的平行光管所成狭缝中的单线图像质量,直接影响折射率测量中的对准精度,尤其当单线与背景对比度不高时,会大大影响仪器的测量精度。提出一种自适应灰度拉伸和垂直投影相结合的图像增强算法,该方法能快速提取低对比度的单线图像。通过对比实验证明了本算法的有效性,将测角精度提高到了 $\pm 1''$ ,算法稳定测量重复性优于 $1 \times 10^{-6}$ ,对提高测量光学玻璃折射率的精度有实际意义。

**关键词** 图像处理;垂直投影;机器视觉;低对比度;图像增强

中图分类号 TP317.4 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.061002

## Algorithm Research on Image Recognition of Low Contrast Single Line in V-Prism Refractometer in Using Image Alignment

Li Yanfeng An Zhiyong Wang Jinsong Hu Dan

College of Optoelectronic Engineering, Changchun University of Science and Technology,  
Changchun, Jilin 130022, China

**Abstract** High precision refractivity of optical glass is an important condition to ensure the image quality, mainly by the V-prism refractometer detection. In V-prism refractometer in using image alignment, the image quality of single line in the collimator directly affects the alignment accuracy in measurement, especially as the contrast between single line and background is low, affects the accuracy in measurement. A combination of self-adaptive gray equilibrium and vertical projection is proposed. This method can extract the low contrast single line, prove the effectiveness of the algorithm through the comparative experiments, and improve the angle measurement accuracy to  $\pm 1''$ , repeatability superior to  $1 \times 10^{-6}$ , and algorithm stability is good. It has important practical significance to achieve high precision measurement of optical glass refractive index.

**Key words** image processing; vertical projection; machine vision; low contrast; image enhancement

**OCIS codes** 100.2000; 100.2980; 100.3008

## 1 引言

伴随高质量光学材料的生产,研制高精度折射率测量仪器显得非常重要。使用传统的V棱镜折射仪测量玻璃折射率时,测量人员通过光学度盘和目镜读数,不仅会因视觉疲劳给读数带来很大人为误差,降低测量精度,而且读数过程复杂、不直观、检测效率低。图像对准式V棱镜折射仪采用CCD成像技术、光栅角位移测量技术及数字图像处理技术,摒弃了先前繁琐且精度不高的双线夹单线人眼对准方式和读值过程,采用图像识别技术,实现了机器视觉自动对准、显示结果及报警等功能。图像识别精度是提高检测精度的关键因素,但低对比度图像会影响识别精度,因此,需要对其进行图像增强处理。文献[1]针对含有低亮度低对比度区域的图像,提出基于局部自适应拉升窗的复合图像增强算法,获得了较好的增强效果。文献[2-3]提

收稿日期: 2013-10-08; 收到修改稿日期: 2013-11-20; 网络出版日期: 2014-05-16

基金项目: 吉林省科技发展计划重大专项(20126014)

作者简介: 李延凤(1985—),女,博士研究生,主要从事精密仪器检测及图像处理方面的研究。

E-mail: yannianyishou@126.com

导师简介: 安志勇(1943—),男,教授,主要从事精密仪器检测方面的研究。E-mail: an\_zhiyong@126.com

出一种光电跟踪仪对低对比度目标捕获能力检验方法,采用可调对比度、无穷远目标源装置和可调速转台,验证了光电跟踪设备的捕获能力。文献[4]针对灰度随机分布的低对比度图像,提出采用空间区域方差和灰度区域方差进行图像增强和灰度分区,能有效实现低对比度图像的分割。本文采用自适应灰度拉伸与垂直投影相结合的图像增强算法,有效提高了光学玻璃折射率的测量精度。

## 2 测量系统组成及工作原理

V棱镜折射率测量系统主要由图像对准式V棱镜折射仪、单色光光源和计算机三部分组成,系统组成如图1所示。仪器的工作原理如图2所示。



图1 系统组成实物图

Fig.1 Diagram of system composition

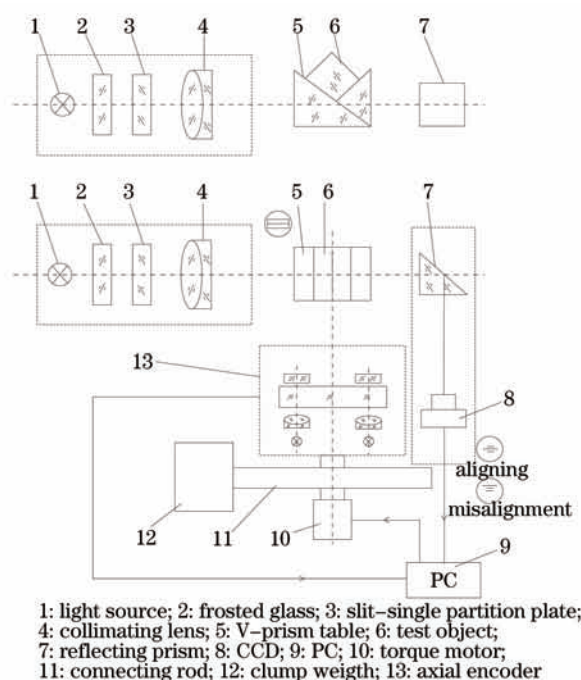


图2 工作原理框图

Fig.2 Principle block diagram

单色光光源1、毛玻璃2、狭缝-单线分划板3和准直物镜4构成一个平行光管,用来模拟无穷远狭缝-单线目标,该目标经V棱镜座5、被测样块6和直角反射棱镜7反射进入CCD相机,成像在CCD阵列平面上,产生一个狭缝-单线图像。当测量标准样块时,其折射率与V棱镜座的折射率相同,狭缝-单线图像经V棱镜标准样块后不发生偏折,CCD阵列平面上的狭缝-单线图像与软件设定的双线相对准,此时的偏折角记为零位;当测量被测样块时,其折射率与V棱镜座的折射率不同,狭缝-单线目标经V棱镜座和被测样块后光线发生偏折,CCD阵列上的目标图像与软件设定的双线对准,此时,软件控制力矩电机驱动连杆带动反射棱镜和CCD同步转动角度 $\theta$ ,使单线图像再次对准到双线中心,与此同时,与力矩电机同轴的轴角编码器在电机的

驱动下亦转动角度  $\theta$ , 将其代入(1)式即可求得被测玻璃样块的折射率  $n$ 。

$$n = \sqrt{n_0^2 \pm \sin \theta \sqrt{n_0^2 - \sin^2 \theta}}, \quad (1)$$

式中  $n$  为被测玻璃样块的折射率,  $n_0$  为 V 棱镜的折射率。

### 3 单线识别算法研究

由前述原理可知, 图像对准是实现高精度折射率测量的关键所在, 为了实现高精度图像对准, 必须提高图像的认识精度。

#### 3.1 垂直投影提取单线图像

采用垂直投影的方法识别狭缝中的单线。将图像 I 表示为  $f(x_i, y_j)$ , 其中  $x_i$  表示横坐标,  $y_j$  表示纵坐标, 由上而下对图像进行诸行扫描并累加, 得到一维垂直投影  $v(j)$ , 即

$$v(j) = \sum_{i=1}^N f(x_i, y_j). \quad (2)$$

由此可以判断单线所在的行  $r$  满足

$$r = \{r | v(r) = \min_{j \in [1, M]} \{v(j)\}\}. \quad (3)$$

垂直投影结果如图 3 所示。

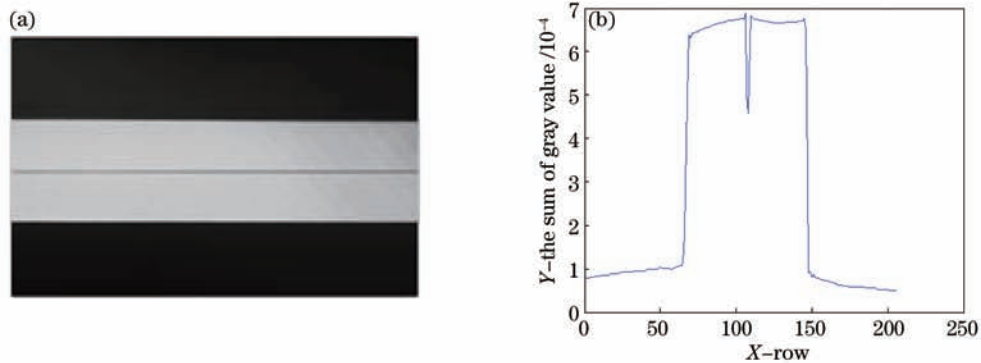


图 3 对比度高的图像垂直投影识别。(a)狭缝-单线图像;(b)垂直投影仿真结果

Fig.3 Vertical projection processing of high contrast graph. (a) Slit-single line graph; (b) vertical projection simulation result

由于 V 棱镜座和标准样块磨损、或被测样块与 V 棱镜座契合度不好, 使得成像质量下降, 易出现低对比度图像, 导致狭缝中的单线识别精度降低, 亦对测量精度产生影响。低对比度的狭缝单线图像识别结果如图 4 所示。

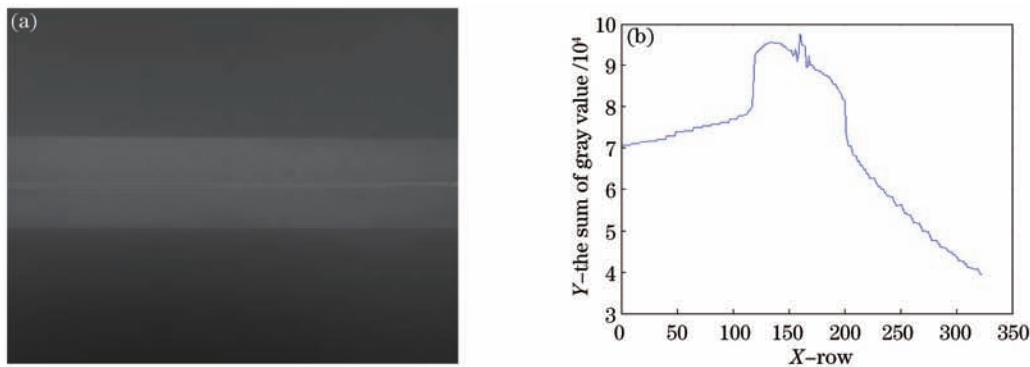


图 4 对比度低的图像垂直投影识别。(a)狭缝-单线图像;(b)垂直投影仿真结果

Fig.4 Vertical projection processing of low contrast graph. (a) slit-single line graph; (b) vertical projection simulation result

由此可知, 垂直投影算法对于图 3 所示的单线与背景对比度强烈的图像, 识别效果很好, 而对于图 4 所示的低对比度单线图像, 很难判断出其边缘, 即使判断出其边缘, 精度也不高。因此, 在识别之前需对图像进行图像增强处理。

### 3.2 自适应灰度拉伸

采用自适应灰度拉伸的方法提高图像的对比度,假设图像I具有  $n$  级灰度,第  $i(i=1, \dots, n)$  级灰度出现的概率为  $p_i$ ,图像的熵为

$$H = \sum_{i=0}^{n-1} p_i \log \frac{1}{p_i} = - \sum_{i=0}^{n-1} p_i \log p_i. \quad (4)$$

显然,当  $p_0 = p_1 = \dots = p_{n-1} = 1/n$  时,(4)式具有最大值,即图像的直方图均匀分布时,熵最大,动态范围也最大,从而可以增强图像,但由于灰度直方图只是一个离散的灰度等级分布统计表,很难得到均匀分布的结果<sup>[5-6]</sup>,即使达到了这个结果,也会丢失图像的部分细节。

为达到最佳增强效果的同时还能保留有用信息,提出自适应灰度拉伸法。即根据图像像素的局部特征不同采用不同的增强方法,首先在窗口  $W$  内,逐行扫描,计算出最小灰度值  $G_1$  和最大灰度值  $G_2$ ,根据(5)式重新分配  $W$  内各灰度值。

$$g'_{ij} = \begin{cases} \frac{a * g_{ij}}{G_1}, & g_{ij} < G_1, \\ a + (b - a) * \frac{g_{ij} - G_1}{G_2 - G_1}, & G_1 < g_{ij} < G_2, \\ b + (255 - b) * \frac{g_{ij} - G_2}{255 - G_2}, & G_2 < g_{ij} < 255, \end{cases} \quad (5)$$

式中  $g_{ij}$  和  $g'_{ij}$  分别为变换前后窗口内各像素值,  $a$  和  $b$  分别为最小阈值和最大阈值<sup>[7-8]</sup>。

当图像清晰时,计算出窗口  $W$  中最小灰度值  $G_3$  和最大灰度值  $G_4$ ,则将

$$a = G_3, \quad (6)$$

$$b = G_4. \quad (7)$$

当图像模糊时,即可按照(5)~(7)式得到增强后的图像。传统的灰度拉伸是一种全局性处理算法,虽能快速提高图像对比度,但易忽略图像的局部特征,丢失有用信息,给边缘检测带来损失,而自适应拉伸方法不仅能增强局部窗口内的对比度,还能很好地保留图像细节。

定位算法流程图如图5所示。

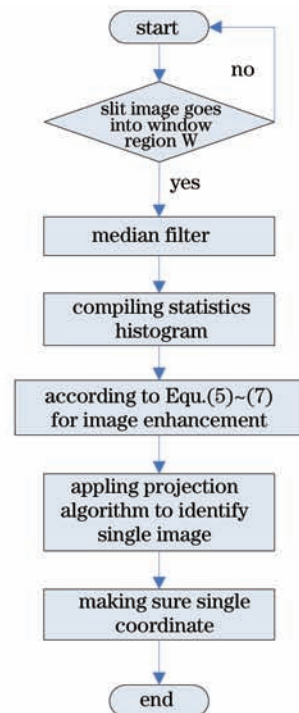


图5 定位算法流程图

Fig.5 Localization algorithm flow chart

## 4 实验与结果分析

### 4.1 实验结果

图6(a)为低对比度的狭缝-单线图像,图6(b)为应用定位算法进行图像增强后的仿真结果。

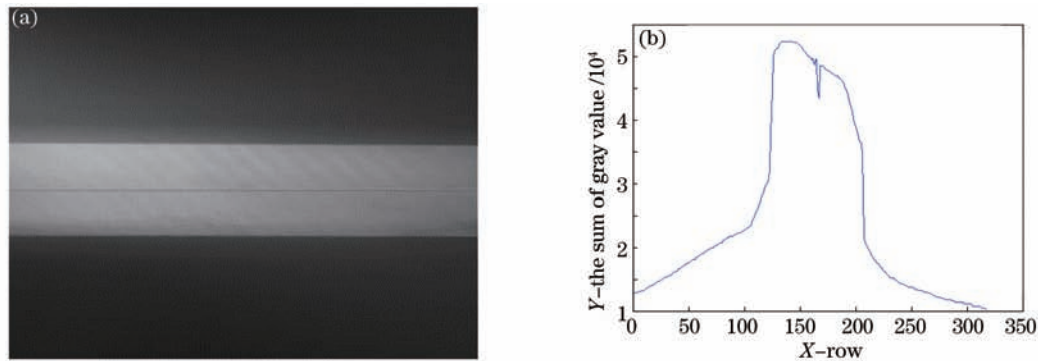


图6 低对比度单线识别效果图。(a)处理前的狭缝-单线图像;(b)处理后的垂直投影仿真结果

Fig.6 Identification effect graph of low contrast single line. (a) Slit-single line graph before processing; (b) vertical projection simulation result after processing

上述仿真结果表明,所设计的自适应灰度拉伸与垂直投影相结合的算法能够有效增强低对比度图像,在图像质量较差时仍能正确有效地识别出单线,避免将误差引入到单线坐标的计算中。

### 4.2 结果分析

为验证定位算法的有效性,利用图像对准式V棱镜折射仪,在同一单色光源作用下,分别采用未经图像增强处理和应用定位算法对同一被测样块,实行6次重复性测量,并根据贝塞尔公式,求得测量的重复性 $\sigma$ 为

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^6 (x_i - \bar{x})^2}{6-1}}, \quad (8)$$

式中 $x_i$ 为第 $i$ 次测量值, $\bar{x}$ 为6次测量平均值。

测量结果如表1所示。由表1可知,图像增强处理前的测量值标准差 $\sigma = 5.26 \times 10^{-5}$ ,处理后的标准差为 $4.56 \times 10^{-7}$ ,测量稳定性明显优于前者。

表1 结果比对表

Table 1 Results comparison

	Measurement 1	Measurement 2	Measurement 3	Measurement 4	Measurement 5	Measurement 6	Standard deviation $\sigma$
Before	1.5163821	1.5162890	1.5163946	1.5163705	1.5164524	1.5163822	$5.26 \times 10^{-5}$
After	1.5163837	1.5163836	1.5163833	1.5163828	1.5163827	1.5163832	$4.56 \times 10^{-7}$

## 5 结 论

采用自适应灰度拉伸与垂直投影相结合的图像增强算法,识别图像与背景对比度极低的单线图像具有显著效果,将测角精度提高到了 $\pm 1''$ 。实验结果表明,算法稳定,测量重复性优于 $1 \times 10^{-6}$ ,对提高测量光学玻璃折射率的精度有实际意义<sup>[9-10]</sup>。

### 参 考 文 献

- 1 Li Cheng, Ju Ming, Bi Duyan, *et al.*. Composite image contrast enhancement algorithm based on local adaptive stretching window [J]. *Acta Optica Sinica*, 2009, 29(10): 2756-2761.  
李 成, 鞠 明, 毕 笃 彦, 等. 基于局部自适应拉升窗的复合图像增强算法[J]. *光学学报*, 2009, 29(10): 2756-2761.
- 2 Ye Lu. Testing of low-contrast target acquisition for photoelectric tracker [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(11): 1115001.  
叶 露. 光电跟踪仪低对比度目标捕获能力检验方法研究[J]. *光学学报*, 2012, 32(11): 1115001.
- 3 Huo Jinming, Shen Xiangheng, Ye Lu, *et al.*. Testing of low-contrast dynamic target acquisition ability for photoelectric

- tracker [J]. *Acta Optica Sinica*, 2013, 33(5): 0512004.  
霍金明, 沈湘衡, 叶 露, 等. 光电跟踪设备低对比度动态目标捕获能力的检验[J]. *光学学报*, 2013, 33(5): 0512004.
- 4 Guo Yulan, Lu Min, Tan Zhiguo, *et al.*. Fast target recognition in Ladar using projection contour features [J]. *Chinese J Lasers*, 2012, 39(2): 0209003.  
郭裕兰, 鲁 敏, 谭志国, 等. 采用投影轮廓特征的激光雷达快速目标识别[J]. *中国激光*, 2012, 39(2): 0209003.
- 5 Nie Shouping, Wang Ming, Liu Feng. Image segmentation algorithm study for low contrast image [J]. *Chinese J Lasers*, 2004, 31(1): 89-91.  
聂守平, 王 鸣, 刘 峰. 低对比度图像分割算法研究[J]. *中国激光*, 2004, 31(1): 89-91.
- 6 Liu J W, Liao W Q, Gui H, *et al.*. Exploration of the construction of online courses in engineering training education [C]. *Proceeding of the 9th International Conference on Modern Industrial Training*, 2009, 10: 202-205.
- 7 Wang Dong, Zhu Ming. Improved 2D entropy thresholding method in low contrast image [J]. *Chinese J Scientific Instrument*, 2004, 25(z3): 355-358.  
王 栋, 朱 明. 低对比度图像中改进的二维熵阈值分割法[J]. *仪器仪表学报*, 2004, 25(4): 355-358.
- 8 T Wei, Y Han, Y Li, *et al.*. Temperature-insensitive miniaturized fiber inline Fabry-Perot interferometer for highly sensitive refractive index measurement [J]. *Opt Express*, 2008, 16(8): 5764-5769.
- 9 Li Xishan, Sun Baoding, Sun Jingfan, *et al.*. Automatic refractometer V prism [J]. *Chinese J Scientific Instrument*, 1992, 13(2): 113-120.  
李锡善, 孙保定, 孙晶矾, 等. 自动V棱镜折射仪[J]. *仪器仪表学报*, 1992, 13(2): 113-120.
- 10 General Administration of Quality Supervision, Inspection and Quarantine of the P.R.C.. JJG863-2005, Verification Regulation for V Prism Refractometer [S]. Beijing: China Metrology Publishing House, 2005.  
国家质量监督检验检疫总局. JJG863-2005, V棱镜折射仪检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 2005.