

文章编号: 1001-3806(2010)05-0624-04

## 大功率半导体线激光图像处理方法研究

冯煦, 张瑞瑛, 周萍, 李松\*

(武汉大学 电子信息学院, 武汉 430079)

**摘要:** 为了研究适于大功率半导体线激光断面检测系统的图像分割方法, 采用几种阈值分割算法对所采集的激光光刀图像进行了处理及分析。通过在室外晴天天气下搭建平台, 模拟出线激光投射大视场物体的情形, 并用 CMOS 相机采集一系列图片。针对采集图片用 3 种不同算法对光刀进行阈值分割, 用灰度重心法提取光刀中心位置, 并对各算法的优劣进行了比较分析。结果表明, 局部最大类间方差法为最佳算法, 且在综合考虑信噪比、待测物体特性和线激光自身特性等因素之后, 提出该算法在大功率半导体线激光系统下具有一定适用条件。

**关键词:** 图像处理; 最大类间方差法; 阈值分割; 大功率半导体线激光

**中图分类号:** TP391; TN247

**文献标识码:** A

**doi:** 10.3969/j.issn.1001-3806.2010.05.013

## Study on image analysis of high power semiconductor line-laser

FENG Xu, ZHANG Rui-ying, ZHOU Ping, LI Song

(School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** In order to study the image analysis method suitable for the sectional detection system based on high power semiconductor line-laser, several threshold algorithms were proposed to process and analyze the light-stripe images. An outdoor platform was built to simulate large-visual-angle laser projection, then images were collected by CMOS camera. Three threshold algorithms were introduced to analyze the images, and the center position of the light stripe was extracted by barycenter method, then advantages and disadvantages of the algorithms were compared. Results showed that the improved Otsu method could obtain a good performance. Besides, after considering signal-to-noise ratio, the character of objects and line-laser itself, the common applicable conditions of the algorithm were proposed under the line-laser system.

**Key words:** image processing; Otsu method; thresholding segmentation; high power semiconductor line-laser

### 引言

线激光断面检测系统通过利用光平面照射物体表面, 可以形成具有一定宽度的光刀, 从而获取物体的几何信息。通过平移或旋转物体对其进行扫描, 并配合相应的图像处理方法及程序算法, 可以实现物体的 3 维重建<sup>[1-3]</sup>。但是激光光刀在被测物体表面上具有一定宽度, 并且宽度并不均匀, 光刀的亮度在不同的位置也可能不同。因此, 准确地提取光刀中心是提高测量精度, 获取物体准确 3 维信息的重要环节<sup>[4-6]</sup>。

实验测量系统由激光器、图像采集系统两大部分组成: 激光器系统主要由驱动电源和激光器组成; 图像采集系统由宽带滤光片、镜头、CMOS 相机和计算机组成。线激光的产生基于以下思想<sup>[7]</sup>: 首先在快轴方向对激光束进行准直, 再根据互补填平思想<sup>[8]</sup>将准直后

的激光在慢轴方向投射到双柱透镜上。通过将激光两边的能量聚集到中间、中间的较高能量分散到两边, 从而获得输出均匀的线激光。

实验室采用的线激光系统有如下优点: (1) 高功率密度。线激光出瞳功率高达 2W, 发出中心波段为 808nm 的红外激光, 而此波段的太阳光辐射照度仅为可见光波段的一半, 因而能提高图像的信噪比, 适合在室外阳光下进行检测; 此外, 在投射目标为黑色、漫反射强的物体时, 采集到的光刀图像仍有较好的效果; (2) 在长为 2m 的视场范围内都有较好的均匀性。激光线在出瞳 2m 处的线长超过 2m, 因而能够获取大视场的物体信息。

### 1 实验部分

#### 1.1 线激光光束质量检测

对光功率和线宽进行测量, 以检验激光器发射的线激光性能。实验在室内无背景光的条件下进行, 以确保所测数据完全来自系统本身。

光功率检测实验所用光功率计为 COHERENT

作者简介: 冯煦(1989-), 女, 大学本科, 现主要从事激光技术与图像处理方面的研究。

\* 通讯联系人。E-mail: yflisong@public.wh.hb.cn

收稿日期: 2009-10-12; 收到修改稿日期: 2009-11-09

PowerMax,型号 PS19Q。测量方法如图1所示。将光

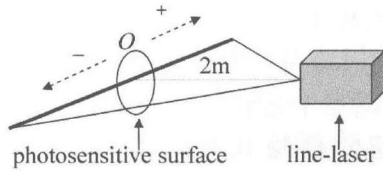


Fig. 1 Sketch map of testing laser power

功率计的探头光敏面放置在激光器出瞳2m处,并调整探头位置,使光敏面最大程度上接受线激光。记该点为原点O,探头左移为‘-’,右移为‘+’。每隔25mm测量一次功率,并记录数据。

利用激光光束质量分析仪、CCD相机及配套软件测量激光线宽,测量间隔25mm。测量结果表明,在2m范围内线宽平均值为3mm,上下波动小于1mm。

## 1.2 室外图像采集

选取天气晴好,阳光均匀的气候条件采集线激光图片。通过理论分析搭建简易平台:激光器距地面高1mm,光轴与竖直方向夹角60°,激光出瞳距为2m;CMOS相机与激光器处于同一高度,以保证拍摄视场大于2m。分别将激光线投射到不同反射特性的目标(纸板、黑色泡沫、煤层)上,拍摄激光线在上述目标表面形成的投影像。

## 2 图像处理和分析

图像拍摄时背景阳光强烈,直接处理原灰度图像无法提取出激光光刀,因此需要进行图像分割。阈值分割<sup>[9-10]</sup>是一种常用的图像分割方法,该方法通过选取一个合适的阈值,将图像像素划分为两类,通过将灰度图像二值化,从而保留目标激光光刀,滤除背景噪声。算法的关键在于阈值选取的准确性。

### 2.1 最大类间方差法

最大类间方差法也称Otsu法。通过使两类的类间方差最大来确定其最佳阈值。

算法(1)

用MATLAB自带函数graythresh(基本思想为Otsu法)求解阈值。具体方法如下:

读入灰度图像 $I$ , $t = \text{graythresh}(I)$ , $t$ 为归一化后的阈值, $T = t \cdot 255$ 。设原始图像为 $f(x, y)$ ,则令:

$$g(x, y) = \begin{cases} 255, & (f(x, y) > T) \\ 0, & (f(x, y) \leq T) \end{cases}, \text{作分割后的图像。}$$

算法(2)

设图像灰度级为 $L$ ,各灰度级像素数为 $n_i$ ,总像素数为 $N$ ,待求阈值为 $t$ ,则各灰度出现概率为 $p_i = \frac{n_i}{N}$ ,把

图像像素分为 $\omega_0 = \sum_{i=0}^t p_i$ 和 $\omega_1 = 1 - \omega_0$ 两类,则各区

域平均灰度值为:

$$\begin{cases} \mu_0 = \sum_{i=0}^t ip_i / \omega_0 \\ \mu_1 = (\mu_t - \sum_{i=0}^t ip_i) / \omega_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中, $\mu_t = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i$ 为全图平均灰度值。类间方差为 $\sigma^2 = \omega_0 \omega_1 (\mu_1 - \mu_0)^2$ ,用MATLAB的max函数求出 $\sigma^2$ 最大时对应的阈值 $t_0$ 。

### 2.2 改进算法

算法(1)和算法(2)是全局阈值,所求阈值只与该点灰度值有关,而与局部区域特性无关。因此,在背景噪声较大的情况下不能很好地提取信号。

算法(3)

局部最大类间方差法将局部区域特性考虑在内<sup>[11]</sup>,其做法为首先对图像的每一列求出灰度最大值的点,对这些点的纵坐标求平均值。再以该值为中心,上下各取20行,对这41行运用算法(2)。这种方法在背景噪声较大时效果较好,且由于处理的行数变少,处理速度也大大提高。

### 2.3 图像处理及算法比较

用CMOS相机采集图像见图2,背景噪声较大。图3所表示的是截取其中含黑色泡沫一段,并用3种算法对截图进行阈值分割,并比较效果。



Fig. 2 Image acquisition by CMOS camera

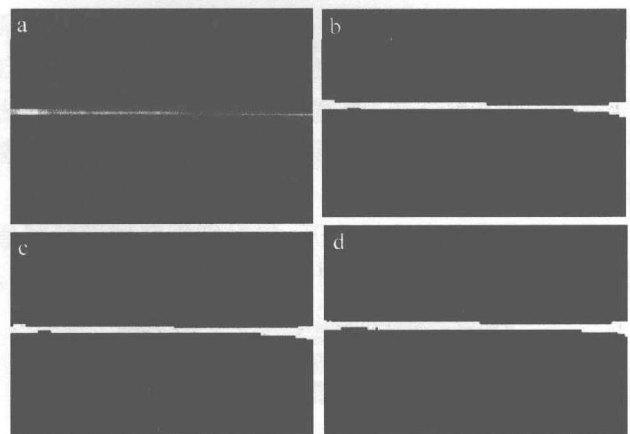


Fig. 3 Results of three threshold algorithms for part images

a—original image b—algorithm (1) (threshold = 96) c—algorithm (2) (threshold = 96) d—algorithm (3) (threshold = 100)

由图3可见,3种方法算得的阈值接近,激光线位置与原图相符。说明在不考虑背景噪声的情况下,3种方法处理效果都尚可。

用3种算法对图2全图进行阈值分割,并用灰度重心法<sup>[12]</sup>细化,即求取每一列的灰度重心并取整,见图4。

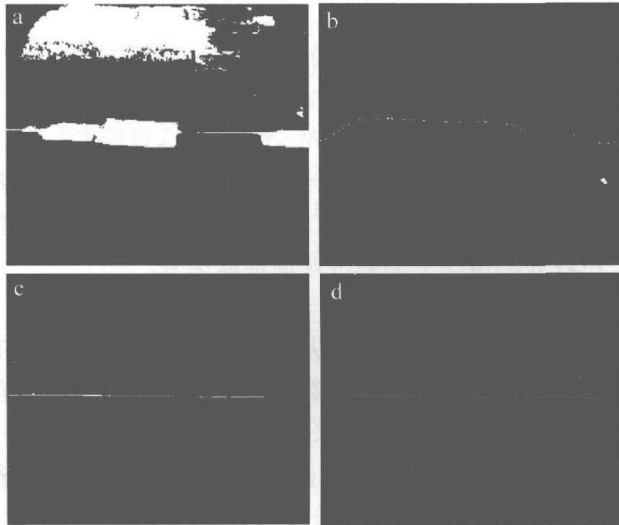


Fig. 4 Results of three threshold algorithms for part images  
a—algorithm (1), (2) b—result of thinning in Fig. 4a c—algorithm (3) d—result of thinning in Fig. 4c

由算法(1)和算法(2)算得的阈值均为83,由算法(3)算得的阈值为144。算法(1)和算法(2)的阈值相同但都离最优值很远。光刀中心提取后激光线向上凸,与原图不符,这是由于阈值分割时把部分背景噪声归为目标信号造成的。因此,用算法(1)和算法(2)处理会受到背景噪声的极大干扰。而算法(3)处理效果最好,它基本上去除了背景噪声,保留了激光线。综合考虑后可知,改进后的算法(3)(局部最大类间方差法)应该是最佳算法。

#### 2.4 基于算法(3)的图像处理效果分析

图4c中处理后的图像出现了断线,这意味着该段断面的信息未采集到。出现这种情况可能与背景噪声、线激光与阳光信噪比、待测物特性、激光线自身特性(如功率分布、线宽)等因素有关。鉴于算法(3)对本实验背景噪声滤除效果较好,这里不再考虑其影响。

将图2中黑色泡沫拿开,仅对纸板区域进行阈值分割和细化,见图5(激光出射位置位移为0,单位m)。

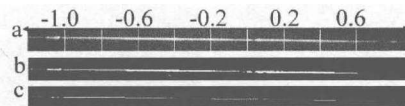


Fig. 5 Image analysis of 2m line-laser light stripe  
a—original light stripe b—image after threshold c—image after thinning  
由图可见, -1.0m ~ 0.5m 激光线亮度较大;0点附近

亮度较其两边稍有变弱;0.6m后激光线亮度进一步变弱,处理图出现断线。

2.4.1 信噪比分析 考虑到探头接收的阳光均匀分布在光功率计整个光敏面,而激光仅分布在其直径附近,故这里的信噪比实为信噪功率密度之比  $\frac{(P_1 - P_0)/(2rd)}{P_0/(\pi r^2)}$ ,式中, $P_0$ 为纯噪声功率, $P_1$ 为信号与噪声功率之和; $d$ 为已测各点线宽;光敏面半径  $r = 1\text{mm}$ 。同时考虑 CMOS 相机前滤波片的作用后,得信噪比分布图,见图6。

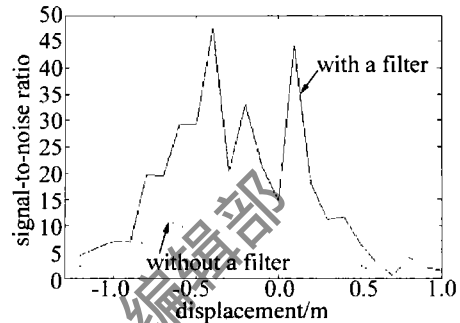


Fig. 6 Distribution graph of signal-to-noise ratio

在 -1.0m ~ 0.5m 范围内,信噪比在 6.54 ~ 47.51 之间;在 0.6m 后,信噪比降至 3.02;0点处信噪比约为 14.80,比其周围空间信噪比要小。由此可见,信噪比的大小会影响图像处理效果,当信噪比大于 3.02 时,图像处理效果较好。此外,加上滤波片后信噪比有显著增加,更有利于图像处理,从而验证了大功率线激光系统在强烈阳光下工作的优越性。

2.4.2 待测物体特性的影响 将图2中的黑色泡沫依次换为纸板和煤层,并用算法(3)对截图进行阈值分割,见图7。

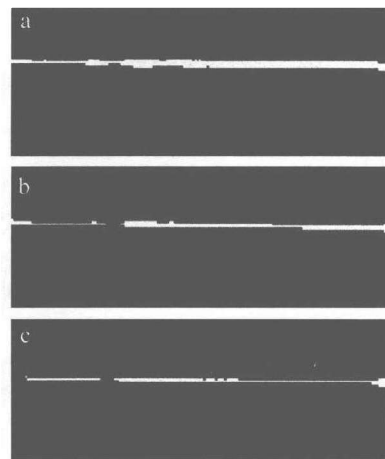


Fig. 7 Comparison of the effect of different objects  
a—paperboard b—black foam c—coal

处理效果由好到差依次为:纸板、黑色泡沫、煤层。可见待测物不同,图像处理效果也不同。一般来说,吸光能力越大,漫反射越大,图像处理难度越大。

2.4.3 激光线自身特性的影响 第1.1节中光功率检测数据显示,峰值功率在出射位置稍偏左。由图5a可知, -0.7m处亮度较大,而0.7m处激光亮度较弱且出现断线,大于0.7m时,亮度进一步减小。经测量,0.7m处功率为6mW,因此,激光线出瞳2m远的功率应至少大于6mW。

此外,由图7可知,原图所反映的线宽对阈值分割后的图的线宽会有影响,但光功率密度较集中时,用灰度重心法就可以较好地提取光刀中心。

### 3 结 论

实验结果表明,局部最大类间方差法(算法(3))在处理大功率半导体线激光图像上优于普通意义上的全局最大类间方差法。它考虑了图像的局部特征,因而处理背景噪声较大的图像效果更佳,且处理用时更短。为了得到最佳的处理效果,在本文中的测量系统下,此方法有一定的适用条件,即应保证信号与背景阳光的信噪之比大于3.02,线激光出瞳2m处功率大于6mW,且对不同的待测目标要做适当调整。在进一步改进算法的同时,也应该提高激光线自身的光束质量,并针对不同的待测物给出具体的功率密度范围。

#### 参 考 文 献

- [1] CHEN H D, ZHOU G, WANG C J, *et al.* An algorithm for laser stripe matching based on the epipolar constraint[J]. *Laser Technology*, 2003, 27(6): 584-587 (in Chinese).
- [2] HUANG Zh H, SUN D Zh, CAI H Y, *et al.* Research on a 3-D measuring method for buildings based on fixed scanning points[J]. *Opto-electronic Engineering*, 2003, 30(1): 50-52 (in Chinese).
- [3] SUBBARAO M, CHOI T. Accurate recovery of three-dimensional shape from image focus[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1995, 17(3): 266-274.
- [4] HU B, LI D H, JIN G, *et al.* New method for obtaining the center of structured light stripe by direction template[J]. *Computer Engineering and Applications*, 2002, 38(11): 59-60 (in Chinese).
- [5] CUI X J, YANG Ch, LIU B H, *et al.* Self-adaptive iterative method of extracting center of linear-structured light e[J]. *Journal of Xi'an Jiaotong University*, 2007, 41(1): 73-76 (in Chinese).
- [6] WU G J, WU L L, CANG Y P, *et al.* A method for calculating the center position of collimated light[J]. *Optoelectronics Letters*, 2008, 4(2): 155-158.
- [7] HUANG K, HE P A, FAN R, *et al.* Uniformization shaping method of line laser beam[J]. *Journal of Applied Optics*, 2009, 30(3): 523-526 (in Chinese).
- [8] ZHOU Y, HE P A, JIANG Q N, *et al.* Research of laser beam shaping system[J]. *Optics & Optoelectronic Technology*, 2006, 4(2): 26-28 (in Chinese).
- [9] LIU Y H. Three thresholding algorithms implemented in MATLAB6.5 [J]. *Journal of Xiangnan University*, 2007, 28(5): 81-84 (in Chinese).
- [10] HUANG Y R, WANG Sh. Multilevel thresholding methods for image segmentation with Otsu based on QPSO [C]//*Proceedings of the 2008 Congress on Image and Signal Processing*. Washington D C: IEEE Computer Society, 2008: 701-705.
- [11] YANG H. Research on thresholding methods for image segmentation [J]. *Journal of Liaoning University (Natural Sciences Edition)*, 2006, 33(2): 135-137 (in Chinese).
- [12] WU Q Y, SU X Y, LI J Zh, *et al.* A new method for extracting the centre-line of line structure light-stripe[J]. *Journal of Sichuan University (Engineering Science Edition)*, 2007, 39(4): 151-155 (in Chinese).
- [7] ZHANG Y G, SHENG Y J, AI M L, *et al.* Wide band and wide angle polarizing beam splitter[J]. *Optical Instruments*, 2001, 23(5/6): 198-201 (in Chinese).
- [8] MOUCHART J, BEGEL J, DUDA E. Modified MacNeille cube polarizer for a wide angular field[J]. *Appl Opt*, 1989, 28(14): 2847-2853.
- [9] DOBROWOLSKI J A, WALDORF A. High-performance thin film polarizer for the UV and visible[J]. *Appl Opt*, 1981, 20(1): 111-116.
- [10] BLANCKENHAGEN B. Practical layer designs for polarizing beam-splitter cubes[J]. *Appl Opt*, 2006, 45(7): 1539-1543.
- [11] LI L, DOBROWOLSKI J A. Visible broadband, wide-angle, thin-film multilayer polarizing beam splitter[J]. *Appl Opt*, 1996, 35(13): 2221-2225.
- [12] OHMER M C. Design of three-layer equivalent films[J]. *J O S A*, 1978, 68(1): 137-139.
- [13] THELEN A. Equivalent layers in multilayer filters[J]. *J O S A*, 1966, 56(11): 1533-1538.
- [14] TANG J F, GU P F, LIU X, *et al.* Modern optical thin film technology[M]. Hangzhou: Zhejiang University Press, 2007: 111-121 (in Chinese).

(上接第613页)