

文章编号: 1001-3806(2008)03-0248-04

成像型激光探测系统中光斑精确定位方法研究

周中亮¹, 周冰¹, 何永强¹, 王斌²

(1. 军械工程学院 光学与电子工程系, 石家庄 050003; 2 驻港部队深圳基地 光电所, 深圳 518040)

摘要: 为了在探测图像中实现对激光光斑的精确定位, 进而达到系统对激光光源精确定向的目的, 引入了亚像素检测的算法, 并针对不同大小的光斑分别采用了重心法和基于空间矩的综合检测方法, 进行了理论分析和实验验证, 取得了不同光强下光斑坐标均值和均方差数据。结果表明, 这种方法在扩展检测动态范围的基础上可以使激光光斑定位精度达到在 0.2 个像素以内。这一结果对保证系统对激光光源的精确定向是有帮助的。

关键词: 图像处理; 激光光斑定位; 亚像素; 重心法; 空间矩

中图分类号: TN247 **文献标识码:** A

Laser spot location in imaging laser detecting systems

ZHOU Zhong-liang¹, ZHOU Bing¹, HE Yong-qiang¹, WANG Bin²

(1. Department of Optics & Electrical Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003, China; 2. Photoelectrical Station, Shenzhen-base of Forces' Stationed in Hongkong, Shenzhen 518040, China)

Abstract: Laser spot detection is the key technique in the imaging laser detecting system. In order to find the pinpoint direction of the laser source and locate the accurate laser spot position, the arithmetic of sub pixel measurement was put forward. For different laser spots, it was studied with the method of gravity method and the method based on spatial moments both in the theory and experiment. The statistic data of the mean value and root-mean-square of the spots' coordinates at different laser intensity approved that this idea can increase the detecting precision to less than 0.2 pixels while extending the detecting dynamic extension, which is helpful to assure the laser location precisely.

Key words: image processing; laser spot location; sub pixel; gravity method; special moments

引 言

成像型激光告警器^[1]与其它类型的告警器相比, 具有视场大、探测灵敏度高、定向精度高、能探测到脉冲激光、直观性强的优点, 并且探测器制作工艺成熟、图像处理算法多样、适应性强, 因而具有很好的发展前景。它主要由广角远心鱼眼透镜和 CCD 摄像器件等构成。鱼眼透镜视场宽, 可覆盖整个半球; CCD 像元尺寸很小, 为微米量级, 因而可以实现激光光源的精确定位。在系统中, 光斑精确定位是一项关键技术。由于激光源距离和强度的未知性, 使得到的光斑图像强弱变化很大, 这就要求算法适应性强, 可检测的动态范围大。

当前, 常用的光斑中心定位算法有重心法、Hough 变换法、最小二乘法和空间矩算法等^[2-7]。其中 Hough 变换变换需要对参数空间离散化, 限制了检测精度, 另

外参数空间得票最多的点未必唯一, 选择不同的点得到的图像空间曲线差异比较大; 最小二乘法虽然可以达到亚像素精度, 但它抗干扰性能差, 易受干扰点噪声的影响, 并且动态范围有限^[5-6, 8]。为实现激光光斑的精确定位, 作者采用了亚像素检测算法, 并根据试验总结探测系统中光斑定位的特点, 提出了针对不同大小的光斑分别使用重心法和基于空间矩的综合检测方法。这种方法在扩展检测动态范围的基础上提高了光斑定位精度, 使得激光光斑定位精度达到 0.2 个像素。

1 系统构成

Nd:YAG 激光器 (波长 1.064 μm) 是使用最普遍的军用激光器。在试验中, 激光发射源性能参数为: 激光波长 1.064 μm ; 激光能量 3mJ ~ 12mJ; 脉冲宽度约 7ns; 发散角约 1mrad。其发出的激光束经过衰减、扩束准直等一系列处理形成模拟的远场激光束进入后面的探测系统。该过程如图 1 所示。

激光源发出的激光峰值能量密度太大, 会造成探测器的永久性损伤。故试验中发射的激光束必须经过衰减才能进入探测系统。实验中使用了两个衰减片和

作者简介: 周中亮 (1983-), 男, 硕士研究生, 研究方向为光电对抗和图像处理。

E-mail: liang19830815@126.com

收稿日期: 2007-03-07; 收到修改稿日期: 2007-04-12

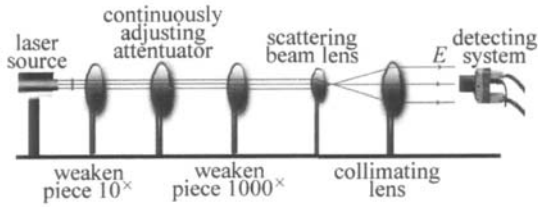


Fig 1 Constitution of the imaging laser detecting system in the laboratory
 一台连续可调衰减器,通过增减衰减片和调节可调衰减器的衰减倍率,可以实现对激光束的大范围连续调节。扩束准直系统使光束变宽,从而覆照探测系统,并使光强进一步衰减。

探测系统中使用的 SENVIEW^R TN0242C 2.4mm F2.0 型鱼镜头和 MC1310 CMOS 型阵列探测器对场景信号成像,然后图像经采集卡传送至计算机进行处理。通过对采集图像的识别处理,最终判读激光的有无和方位。

2 算法介绍

亚像素级精度的算法是在经典算法的基础上发展起来的,这些算法需先用经典算法找出边缘像素的位置,然后使用周围像素的灰度值作为判断的补充信息,使边缘定位于更加精确的位置。最早应用的亚像素算法是重心法,后来又发展了应用不同原理的其它亚像素提取算法,如概率论法、解调测量法、多项式插值法、滤波重建法以及矩法等。这些算法的精确度和抗噪声能力都不相同,其中以重心法的计算最简单,滤波重建法的精确度最高,矩法对输入数据中的加性噪声和乘性噪声不敏感^[5,9]。

2.1 灰度重心法

传统的重心法是将图像二值化,故又叫形心法。形心法将丢失光斑分布的细节,这里采用灰度重心法,它可以看成是以灰度为权值的加权形心法。灰度图像 $I(i, j)$ 中目标 S 的灰度重心 (x_0, y_0) 为:

$$x_0 = \frac{\sum_{(i,j) \in S} W(i,j)}{\sum_{(i,j) \in S} W(i,j)}, y_0 = \frac{\sum_{(i,j) \in S} jW(i,j)}{\sum_{(i,j) \in S} W(i,j)} \quad (1)$$

式中, $W(i, j)$ 为权值,灰度重心取 $W(i, j) = I(i, j)$ 。

下面给出一种改进的权值选取方法,即阈值灰度重心法。采用的权值 $W(i, j)$ 为:

$$W(i, j) = \begin{cases} I(i, j), & (I(i, j) > T) \\ 0, & (I(i, j) \leq T) \end{cases} \quad (2)$$

式中, T 为区分目标和背景的阈值。

2.2 基于空间矩的亚像素检测原理

在单位圆上建立理想的阶跃边缘模型如图 2 所示,图中, h 是单位圆内的背景灰度; k 是阶跃高度; l 是

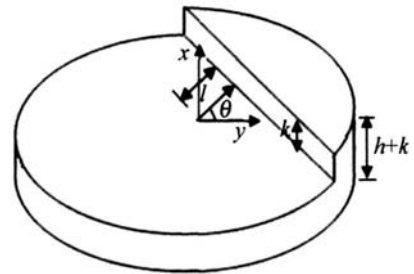


Fig 2 Two-dimensional idea edge model

圆盘中心到边缘的垂直距离, $l \in [-1, 1]$; θ 是边缘与 y 轴所成的角度, $\theta \in [-\pi/2, \pi/2]$ 。

连续函数 $f(x, y)$ 的 $(p+q)$ 阶空间矩定义为:

$$m_{pq} = \iint_D f(x, y) dx dy \quad (3)$$

为了降低问题的维数,可以将窗口旋转 $-\theta$,使边缘沿着 x 轴方向,旋转后的空间矩为:

$$M'_{pq} = \sum_{r=0}^p \sum_{s=0}^q \binom{p}{r} \binom{q}{s} (-1)^{q-s} (\cos\theta)^{p-r-s} (\sin\theta)^{q+r-s} M_{p+q-r-s, r+s} \quad (4)$$

根据文献[10],最终可以解出参数 k, h, l 分别为:

$$l = \frac{4M'_{20} - M'_{00}}{3M'_{10}} \quad (5)$$

$$k = \frac{3M'_{10}}{2\sqrt{(1-l^2)^3}} \quad (6)$$

$$h = \frac{1}{2\pi} [2M'_{00} - k(\pi - 2\sin^{-1}l - 2l\sqrt{1-l^2})] \quad (7)$$

对于数字图像的空间矩运算可以简化为模板运算,采样窗口如图 3 所示。

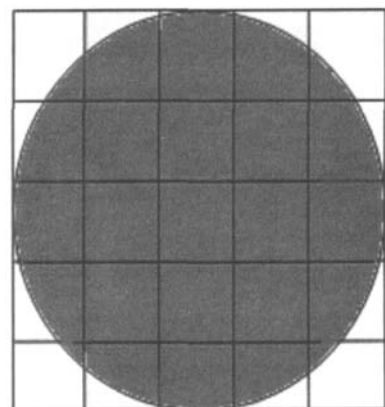


Fig 3 Circular window (5x5 pixel matrix)

表 1 中列出了和 5×5 采样窗口所对应的模板, $H_{00}, H_{11}, H_{10}, H_{20}, H_{01}, H_{02}$ 分别对应着空间矩 $M'_{00}, M'_{11}, M'_{10}, M'_{20}, M'_{01}, M'_{02}$ 。通过 6 个模板与原图像的卷积运算,得到图像中每一个像素的边缘参数对 k 值进行阈值处理,就可以获得亚像素级精度的光斑边缘位置,再经拟合计算得到光斑圆以及光斑中心的亚像素位置坐标^[14]。

Table 1 The set of six masks used for moment operator with 5×5 pixel matrix

0.0219	0.1231	0.1573	0.1231	0.0219	-0.0098	-0.0352	0	0.0352	0.0098
0.1231	0.16	0.16	0.16	0.1231	-0.0352	-0.0256	0	0.0256	0.0352
0.1573	0.16	0.16	0.16	0.1573	0	0	0	0	0
0.1231	0.16	0.16	0.16	0.1231	0.0352	0.0256	0	-0.0256	-0.0352
0.0219	0.1231	0.1573	0.1231	0.0219	0.0098	0.0352	0	-0.0352	-0.0098
H_{00}					H_{11}				
-0.0147	-0.0469	0	0.0469	0.0147	0.0099	0.0194	0.0021	0.0194	0.0099
-0.0933	-0.064	0	0.064	0.0933	0.0719	0.0277	0.0021	0.0277	0.0719
-0.1253	-0.064	0	0.064	0.1253	0.1019	0.0277	0.0021	0.0277	0.1019
-0.0933	-0.064	0	0.064	0.0933	0.0719	0.0277	0.0021	0.0277	0.0719
-0.0147	-0.0469	0	0.0469	0.0147	0.0099	0.0194	0.0021	0.0194	0.0099
H_{10}					H_{20}				
0.0147	0.0933	0.1253	0.0933	0.0147	0.0099	0.0719	0.1019	0.0719	0.0099
0.0469	0.064	0.064	0.064	0.0469	0.0194	0.0277	0.0277	0.0277	0.0194
0	0	0	0	0	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021
-0.0469	-0.064	-0.064	-0.064	-0.0469	0.0194	0.0277	0.0277	0.0277	0.0194
-0.0147	-0.0933	-0.1253	-0.0933	-0.0147	0.0099	0.0719	0.1019	0.0719	0.0099
H_{01}					H_{02}				

3 试验及分析

试验中拍摄了不同激光强度 ($0.01 \mu\text{J}/\text{cm}^2 \sim 5.16 \mu\text{J}/\text{cm}^2$) 的光斑图像,为表示方便,光强依次标记为 $LI_1 \sim LI_6$ 。针对这 6 种大小的激光强度,各拍摄了

50 幅图像。见图 4。

然后分别用重心法、空间矩法 (5×5 模板) 检测光斑中心,图 5 是检测结果组图。

具体定位精度统计见表 2。从表 2 中可以看出,激光光斑具有一定大小时,通过空间矩算法确定的光



Fig. 4 Laser spot images under variant intensity illuminating ($0.01 \mu\text{J}/\text{cm}^2 \sim 5.16 \mu\text{J}/\text{cm}^2$)

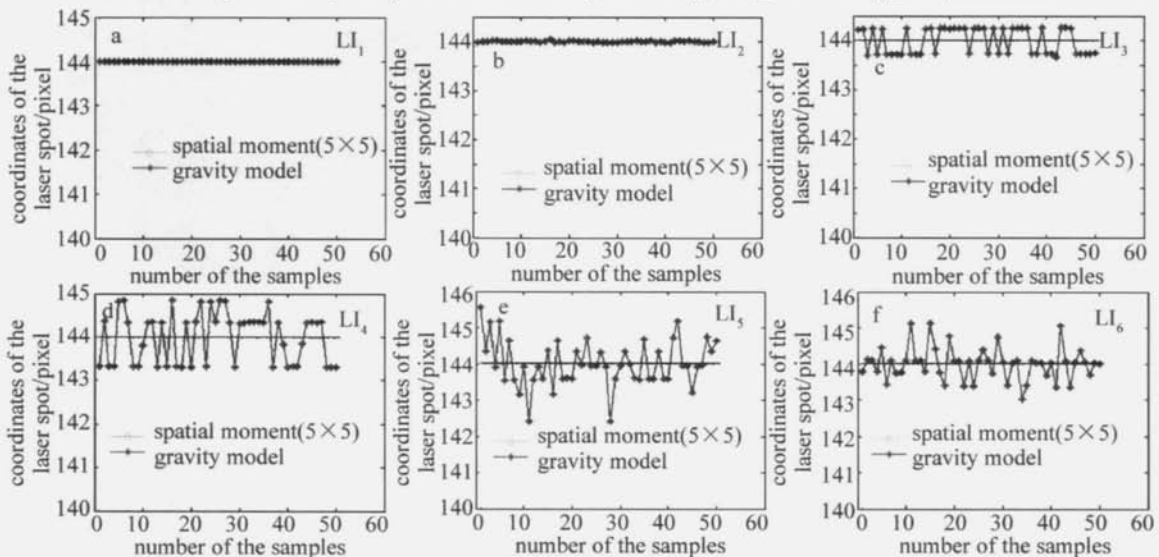


Fig. 5 The coordinates register under the six light intensities

斑中心位置标准差很小(在 0.2 个像素以下),而此时重心法由于选择用于计算重心的阈值和区域的波动,使测试值相对不稳定;当光斑小到一定程度后,由于空间矩算法采用的模板具有一定大小(如 5×5),空间矩算法失效,而恰此时重心法具有了极高的定位精度。

并且两种算法的均值差别极小(0.01 pixels),故可以综合两种算法,即设定适当的光斑半径($R = 5$ pixels)为阈值,以此为判据来选择不同的检测算法,就可以大大地提高探测精度。

表 2 中只列出了水平方向,垂直方向雷同。

Table 2 Mean and RMS statistics of the laser spots' center coordinates

sequence number		L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	
method	gravity method	mean/pixel	144.00	144.00	144.00	144.01	144.04	144.05
		RMS/pixel	0.00	0.01	0.27	0.59	0.65	0.46
	special moments	mean/pixel	NaN	144.00	144.00	144.01	144.04	144.04
		RMS/pixel	NaN	0.12	0.13	0.13	0.07	0.13

通过比较两种亚像素检测算法,最终归纳检测流程如图 6 所示,首先对读入的光斑图像进行直方图统

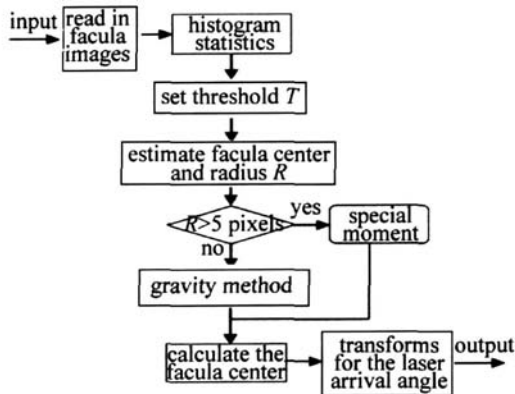


Fig 6 The flow chart for detecting the laser angle of arrival

计,从而得到图像的灰度值分布,由此设置阈值 T ,估算图像处理的光斑半径和中心。由光斑半径判断所采用的亚像素检测算法,进而对光斑进行精确定位。最后将由图像信息转化成的激光到达角输出。

4 结论

光斑精确定位是成像型激光探测系统中的一项关键技术。作者根据试验总结了探测系统中光斑定位的特点,提出针对不同大小的光斑分别使用重心法和基于空间矩的综合检测方法。这种方法在在激光动态变化 50dB 时仍能使光斑定位精度在 0.2 个像素以内,大

大提高了系统的激光定向精度和动态范围。

参考文献

- [1] COLEMAN C I Laser warning system: USA, 2187355 [P]. 1987-09-03.
- [2] SUN A X, WANG J, HE H X, *et al* Testing precision analysis of centrobaric of laser facula [J]. Laser Technology, 2004, 28 (6): 667-672 (in Chinese).
- [3] ZHANG X H, YANG K T An improved 2-D hough transform method for extracting laser spot parameter [J]. Laser & Infrared, 2006, 36 (10): 995-997 (in Chinese).
- [4] KONG B, WANG Zh, TAN Y Sh Gaussian fitting technique of laser spot [J]. Laser Technology, 2002, 26 (4): 277-278 (in Chinese).
- [5] HE Zh H, WANG B G, LIAO Y B, *et al* Subpixel algorithm using a curve fitting method [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2003, 24 (2): 195-197 (in Chinese).
- [6] KONG B, WANG Zh, TAN Y Sh Algorithm of laser spot detection based on circle fitting [J]. Infrared and Laser Engineering, 2002, 31 (3): 275-279 (in Chinese).
- [7] LYVERS E P, MITCHELL O R, AKEYM L, *et al* Subpixel measurements using a moment-based edge operator [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11 (12): 1293-1309.
- [8] ZHENG Y. Camber measurement based on zemike moments at high accuracy [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2006, 27 (5): 523-526 (in Chinese).
- [9] DING X H, DENG Sh X, YANG Y Y, *et al* Sub-pixel edge detection based on spatial moment and zemike moment [J]. Journal of Applied Sciences, 2004, 22 (2): 191-194 (in Chinese).
- [10] LYVERS E P, OWEN R M. Subpixel measurements using a moment-based edge operator [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1989, 11 (12): 1293-1309.

(上接第 233 页)

- [11] L MA M S F, FOLD F, MISCHLER S Microstructure and surface properties of laser-remelted titanium nitride coatings on titanium [J]. Surface and Coatings Technology, 2005, 199 (1): 83-91.
- [12] ZHANG J H, TIAN Z J, ZHAO J F, *et al* Study on laser cladding of nano- Al_2O_3 composite coating [J]. Laser Journal, 2004, 25 (3): 67-69 (in Chinese).
- [13] LIU X B, WANG H M. The influence of processing parameters on laser cladding composite coatings on TiAl intermetallic alloy [J]. Laser Technology, 2006, 30 (1): 67-69 (in Chinese).
- [14] ZHANG J H, TIAN Z J, ZHAO J F, *et al* Analysis on micro-structure

of nano-sic laser coating [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2004, 15 (6): 702-705 (in Chinese).

- [15] CELIK E, OZDEMIR I, AVCI E, *et al* Effect of some parameters on corrosion behaviour of plasma sprayed coatings [J]. Surface and Coatings Technology, 2005, 97 (1/3): 355-360.
- [16] GAO Y L, WANG C Sh, YAO M, *et al* The resistance to wear and corrosion of laser-cladding Al_2O_3 ceramic coating on Mg alloy [J]. Applied Surface Science, 2007, 235 (12): 5306-5311.
- [17] GRUM J, SLABELI J M. Effect of laser-remelting of surface on microstructure and residual stresses in 12Ni maraging steel [J]. Applied Surface Science, 2006, 252 (13): 4486-4492.