

激光光斑整形算法

王 锋^{1,2}, 罗建军¹, 李 明², 邓 玥²

(1. 西北工业大学 航天学院, 陕西 西安 710072 2. 中国科学院西安光学精密机械研究所, 陕西 西安 710119)

摘 要: 为了消除红外激光光斑图像中的后向散射现象或使光斑的灰度分布更加均匀以便于观测, 提出了一种基于光斑重心的后向散射抑制算法和一种激光光斑灰度值补偿的算法。基于光斑重心的后向散射抑制算法是在提取光斑重心位置的基础上, 确定光斑的半径, 最后通过设定的阈值决定图像的灰度值。光斑灰度值补偿算法要在确定光斑边缘点的基础上, 计算出光斑中心, 再通过光斑的区域能量来修正中心位置并确定光斑半径, 最后以光斑中心和半径来矫正光斑区域图像的灰度值。给出两种算法的实验结果及分析, 研究证明算法可以基本全部去除光斑图像中的后向散射现象, 较好的修正光斑区域的灰度值分布情况, 经算法处理后的图像适合应用于进一步的工程实验分析中或是进行实时图像观测。

关键词: 激光光斑; 整形算法; 灰度补偿; 后向散射

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2276(2014)12-3937-04

Shaping algorithm for laser spot

Wang Feng^{1,2}, Luo Jianjun¹, Li Ming², Deng Yue²

(1. School of Astronautics, Northwestern Polytechnical University, Xi'an 710072, China; 2. Xi'an Institute of Optics and Precision Mechanics of Chinese Academy of Sciences, Xi'an 710119, China)

Abstract: In order to eliminate the backscattering phenomenon of the infrared laser spot images, or make the distribution of laser spot's gray levels reasonable, a backscattering suppression algorithm based on the spot center of gravity and an algorithm for compensating the gray levels of a laser spot were proposed. The backscattering suppression algorithm was based on extracting the laser spot's center of gravity. Then, the radius of the laser spot can be determined. Finally, the gray levels of the image should be decided by the set threshold. The algorithm for compensating the gray levels of the laser spot was based on determining the laser spot's edge points. Then, the center of the laser spot can be calculated. After that, the center should be corrected through the intensity of regional energy, and the radius of the laser spot would be confirmed. Finally, the gray levels of the laser spot were adjusted through the laser spot's center and radius. The experiment results of these two algorithms and their analyses were shown. Research proves that the backscattering suppression algorithm can substantially eliminate the backscattering phenomenon in the laser spot image, and the distribution of laser spot's gray levels is improved. The images which are processed by the algorithms are suitable for further analysis in engineering experiments

收稿日期: 2014-04-12; 修订日期: 2014-05-11

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项(2011YQ120075)

作者简介: 王锋(1975-), 男, 副研究员, 博士, 主要从事飞行器设计方面的研究。Email: wangf@opt.ac.cn

or real-time observation.

Keywords: laser spot; shaping algorithm; compensation of gray levels; backscattering

0 引言

近年来,许多项目的研究以及实验过程都是基于红外和可见光传感器所成图像进行的。其中一些项目的红外传感器主要用于捕捉激光光斑图像,并且需要将可见光传感器所成图像与激光光斑图像融合,以得到适合项目需求的图像数据。

目前针对于激光光斑的研究主要集中于激光光斑的质心提取算法^[1],而关于激光光斑图像整形算法的研究很少。然而,由于激光在大气中传播时,除了直接被大气吸收衰减外,大气散射会使激光光束向各个方向散开而受到损失,所以在红外传感器采集图像时,激光经大气的散射光和光斑目标反射光会一同进入相机视场并在像面上成像,即激光的后向散射现象^[2]。另外,在采集近红外图像时,其中的光斑形状可能会由于背景中阴影的存在而使得光斑的灰度值分布变形,从而影响精确定位光斑这项工作的准确度。所以,在进行融合图像之前,对激光光斑图像进行去除后向散射的处理或是进行光斑灰度值的补偿都对图像的后期应用具有重要意义。文中提出了一种基于目标重心的消除激光光斑后向散射的算法,以及一种激光光斑灰度值补偿算法。

1 光斑的后向散射抑制算法

算法主要步骤如下。

(1) 计算光斑的重心。重心的计算方法如下所示:

$$g(i,j) = \begin{cases} 0 & f(i,j) < T \\ 1 & \text{else} \end{cases} \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g(i,j) i}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g(i,j)} \quad (2)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g(i,j) j}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g(i,j)} \quad (3)$$

式中: $g(i,j)$ 为原红外图像 $f(i,j)$ 的二值化图像,其二值化的阈值即为 T ; m 、 n 分别为 $g(i,j)$ 的行数和列数; \bar{x} 为求得重心所在的行值; \bar{y} 为重心所在的列值。研究中,由于光斑亮度极高,中心部位基本呈饱和状态,所以阈值 T 的选择相对较高。经试验比较后决定取 $T=200$ 。

(2) 以光斑的重心为中心点,找出光斑的半径 r 。 r 的计算如下所示:

$$r = (r_1 + r_2 + r_3 + r_4) / 4 \quad (4)$$

式中: r_1 为由中心向上至第一个灰度值降至 25 以下的点到中心的距离。 r_2 、 r_3 、 r_4 则以此类推,分别为由中心向下、左、右三个方向所取得的距离。正常情况下的光斑能量较为集中,且分布情况十分均匀。在背景亮度都不超过 5 的情况下,取 25 作为光斑边缘的判定值是比较合适的。

(3) 在以光斑中心为圆心,以上一步得到的光斑的半径 r 为圆的半径,确定一个圆,其内部即认为是光斑的绝大部分。对原红外图像中,距离圆的边缘还有一定距离的所有点,按行求均值 A 。由均值判断该行是否存在后向散射的影响。若均值大于设定阈值 T_2 ,则对该行中所有大于阈值 T_3 的像素点置零;否则不对该行进行操作。其过程如下式:

$$d = \sqrt{(\bar{i} - x)^2 + (\bar{i} - y)^2} \quad (5)$$

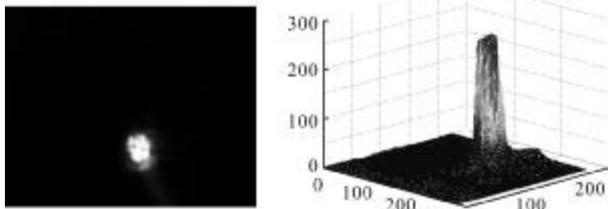
$$g(i,j) = \begin{cases} f(i,j) & d < r + 7 \\ h'(i,j) & \text{else} \end{cases} \quad (6)$$

$$h(i,j) = \begin{cases} f(i,j) & A < T_2 \\ h'(i,j) & \text{else} \end{cases} \quad (7)$$

$$h'(i,j) = \begin{cases} f(i,j) & f(i,j) < T_3 \\ 0 & \text{else} \end{cases} \quad (8)$$

式中: d 是坐标为 (i,j) 的点到光斑中心的距离; $g(i,j)$ 为得到去除后向散射的图像; $f(i,j)$ 为原红外图像; A 为每行除去光斑部分像素的灰度值后的行平均灰度值; $h'(i,j)$ 和 $h(i,j)$ 都是过渡函数。从图 1(b)中可以看出,整幅图像的背景噪声都不超过 5,而由前期实验知道,没有光斑的行平均值均应在 1 以下。所以 T_2 和 T_3 的取值为 1 和 5。在公式(6)中,保留了原红外

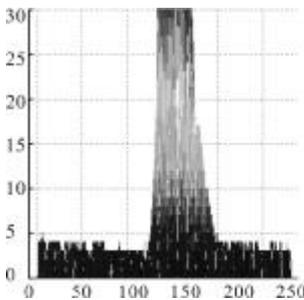
图像中距离光斑中心点不超过 $r+7$ 的所有点,这是因为光斑边缘的外围仍旧还存在一些光晕,其并非后向散射的影响,而是激光光斑的正常形态,所以不能只取距离在 r 内的点, 7 这个距离参数可以视实际光斑的大小确定。整个过程如图 1 所示。



(a) 原像图

(b) 图 1(a)的能量分布

(a) Original laser spot image (b) Energy distribution of Fig.1(a)



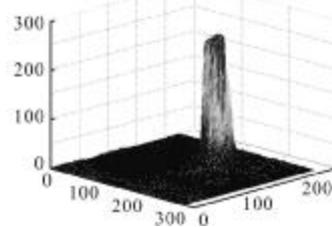
(c) 图 1(a)的局部能量分布
(c) Local energy distribution of Fig.1(a)



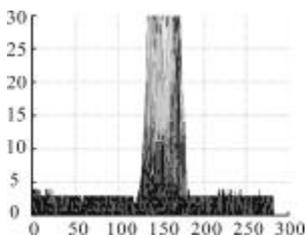
(d) 激光点的重心位置
(d) Barycenter position of laser spot



(e) 补偿后的图像
(e) Processed image after compensation



(f) 图 1(e)的能量分布
(f) Energy distribution of Fig.1(e)



(g) 图 1(e)的局部能量分布
(g) Local energy distribution of Fig.1(e)

图 1 光斑去除后向散射算法图

Fig.1 Process of backscattering suppression algorithm

2 光斑的灰度值补偿算法

由于在采集红外激光光斑图像时,其中的光斑信号可能会由于背景中阴影的存在使得光斑的灰度值分布变形,进而影响图像的精确定位光斑等后续应用的准确度。所以在图像进一步应用之前,要进行光斑灰度值的补偿算法的研究。文中提出的光斑灰度值补偿算法具体步骤如下:

(1) 确定光斑边缘点。文中采取的方法是若任一点满足以下三个条件,就判定其为边缘点^[4]。

条件 1): 作为中点,与其左右相邻(或上下相邻)的 11 个连续点的亮度值均大于设定值 A , A 为该行(或列)的最大值与最小值的均值。

$$\bar{X}(i,j) \geq A \tag{9}$$

条件 2): 这 11 点的亮度值单调递增(或递减)。

$$X(i+1,j) > X(i,j) \tag{10}$$

条件 3): 若一行(或一列)的边缘点间距小于 50 个像素点,则放弃该行。

分别得到了行边缘和列边缘之后,由每行两个边缘点的中点和每列两个边缘点的中点拟合出两条直线,将这两条线的交点粗略定位为光斑的中心。以上条件中取 11 个连续点的方法来自于参考文献[4],但原文献中取得是 9 个连续点。针对于文中的光斑图像,经过实验后对 9 个点的算法进行了改善,这是由于在取 9 个连续点时,光斑轮廓点不如取 11 点时的误差小。

(2) 在步骤(1)中取出的光斑中心附近,以其为中点的一定区域内(3×3 或 5×5 大小,视光斑的大小而定,光斑更大时可再扩大范围,此处使用的是 5×5 大小),分别以区域内的每一点为中心,按以下公式计算光斑的半径 r 和光斑区域强度 E :

$$r = (r_1 + r_2 + r_3 + r_4) / 4 \tag{11}$$

$$E = \sum_{\sqrt{(i-a)^2 + (j-b)^2} \leq r} D(i,j) \tag{12}$$

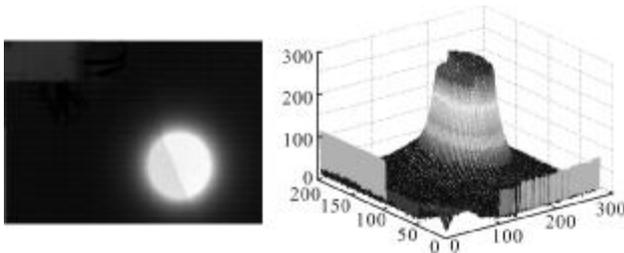
式中: r_1 为由中心向上至第一个灰度值降至中心值的 $1 - \sqrt{2}/2$ 以下的点,到中心的距离; r_2, r_3, r_4 则以此类推,分别为由中心向下、左、右三个方向所取得

的距离。则由公式(11)得到的 r 暂时设为光斑半径。公式(12)中 (a, b) 为中心所在点的坐标; $D(i, j)$ 为点 (i, j) 处的像素灰度值。

通过以上计算,比较各点的 E 值大小,取出 E 值最大的点作为精确的像素中心点。

(3) 以步骤(2)中确定的光斑中心所在的行作为 x 轴,所在的列为 y 轴。先以 y 轴为对称线,取左、右部分相对应点的较大值代替原来较小的值;再以 x 轴为对称线,取上、下部分相对应点的较大值代替原来较小的值。

这样,光斑的阴影部分就会由没有被阴影所影响的部分来代替。从而得到灰度值比较均匀、连续的光斑图像。其实现过程如图 2 所示。

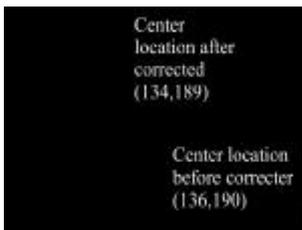


(a) 原像图

(b) 图 2(a)灰度值分布图

(a) Original laser spot image

(b) Gray levels distribution of Fig.2(a)

(c) 光斑行边缘和其中点
(c) Edge points on rows and their center points(d) 光斑列边缘和其中点
and their center points

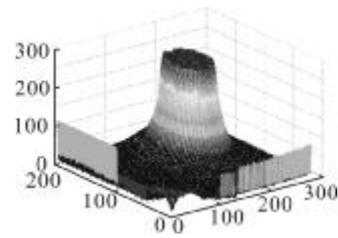
(e) 激光光斑中点位置

(e) Center location of laser spot



(f) 补偿后的光斑图像

(f) Processed image after compensation



(g) 图 2(f)的灰度值分布图

(g) Gray levels distribution of Fig.2(f)

图 2 光斑灰度值补偿算法图

Fig.2 Process of the algorithm for compensating the gray levels of laser spot

3 结论

与原激光光斑图像相比,经过文中算法处理后,图像中光斑更加清晰,光斑灰度值分布也十分均匀,更加适合于后期的图像处理应用,并且可以为一些基于激光光斑图像的操作提供更精准、更清晰的辅助信息。另外该方法较为简便,图像处理的速度较快,可以有效的去除图像中的后向散射现象和修正激光光斑的灰度差异情况。

参考文献:

- [1] Wan Deyin. An effective algorithm of segmentation for spot image[J]. Software Guide, 2012, 11(1): 60-61. (in Chinese)
- [2] Zhang Shaodi. The study on accurate measurement of distance diffuse reflection laser spot position[D]. Changchun: Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences, 2012. (in Chinese)
- [3] Wei Zhenzhong, Gao Ming, Zhang Guangjun, et al. Sub-pixel extraction method for the center of light-spot image [J]. Opto-Electronic Engineering, 2009, 36(4): 7-12.(in Chinese)
- [4] Zhang Xiufeng, Du Haiying. Study on the center fitting method for non-diffraction laser circular images [J]. Optoelectronic Technology, 2011, 31(3): 149-152. (in Chinese)
- [5] Yu Xun, Wang Hui, Nie Liang, et al. Energy loss compensation of backscattering of the high-energy laser energy meter [J]. Acta Photonica Sinica, 2009, 38(5): 1052-1057. (in Chinese)
- [6] Jiang Jie, Jiao Binliang. Underwater laser image processing with matlab [J]. Science & Technology Review, 2010, 28 (10): 87-89. (in Chinese)