

文章编号: 1001-3806(2013)04-0460-04

远场激光光斑图像处理方法研究

张海庄¹, 姚梅², 雷萍³, 李鹏¹, 曾庆平¹

(1. 中国人民解放军 63889 部队, 孟州 454750; 2. 中国人民解放军 63892 部队, 洛阳 471003; 3. 中国人民解放军 63891 部队, 洛阳 471003)

摘要: 常用的基于高斯光束特性的激光光斑图像处理算法, 处理远场光斑图像会丢失部分能量较低的光斑数据, 致使处理出的光斑能量密度低端精度不能达到 $0.01\mu\text{J}/\text{cm}^2$ 的需求。为了得到更精确的远场激光光斑数据信息, 提出了基于噪声特性的激光光斑图像自动阈值处理算法。该算法在分析系统噪声特性的基础上, 依据 3σ 原则确定图像提取阈值进行光斑图像处理。通过试验验证了该算法既能够有效抑制系统噪声, 又能够改善光斑图像的处理质量, 恢复光斑图像丢失的数据信息, 使光斑能量密度低端达到探测需求。结果表明, 基于噪声特性的光斑图像处理算法能够有效提高远场激光光斑的处理精度, 更适用于远场激光光斑图像的处理。

关键词: 图像处理; 阈值提取; 激光光斑; CCD 摄像法

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A **doi:** 10.7510/jgjs.issn.1001-3806.2013.04.010

Research of image processing method of far-field laser spots

ZHANG Hai-zhuang¹, YAO Mei², LEI Ping³, LI Peng¹, ZENG Qing-ping¹

(1. 63889 Unit, Chinese People's Liberation Army, Mengzhou 454750, China; 2. 63892 Unit, Chinese People's Liberation Army, Luoyang 471003, China; 3. 63891 Unit, Chinese People's Liberation Army, Luoyang 471003, China)

Abstract: When processing far-field spot images with the commonly used laser spot image processing algorithm based on Gaussian beam characteristics, the data about lower energy is lost so that the processing accuracy of spot energy density at lower-end can not reach $0.01\mu\text{J}/\text{cm}^2$ in demand. In order to get more accurate far-field laser spot data, an automatic threshold processing algorithm was proposed based on noise characteristics of the laser spot image. After analyzing the noise characteristics, the image extraction threshold was determined based on the 3σ principles and the light spot image was processed. Experiments show that the algorithm can effectively restrain system noise, improve the light spot image processing quality, restore missing data information of the spot image, and make spot energy density low enough meet detection requirements. The results show that, the processing algorithm of light spot images based on the noise characteristics can effectively improve the processing accuracy of the far field laser facula, and is more suitable for the far field laser spot image processing.

Key words: image processing; threshold extraction; laser spot; CCD camera method

引 言

随着激光在军事、航天等领域的广泛应用, 不仅对光束质量提出了各种不同的需求, 而且对光束质量的检测方法也提出了不同的要求^[1-3]。激光武器装备的作战效能直接取决于发射激光到达目标处光斑的能量密度及分布^[4-5], 而光斑图像提取处理的精确程度直接决定了光斑能量密度等参量的处理精

度^[6-7]。如果光斑图像提取质量较差, 进一步处理出的光斑能量密度就很难达到需求。目前, 远场激光光斑的测量主要有两种方法: 一种是探测器阵列直接测量法^[8], 即用探测器阵列靶直接接收激光光斑, 靶面按照一定的密度均匀安装激光探测器, 通过处理电路, 同时对激光探测器的响应信号进行处理得到激光光斑绝对能量密度分布; 另一种是非接触式的摄像法^[9], 即用漫反射屏接收远场激光照射, 用 CCD 摄像机或热像仪接收记录漫反射屏上激光光斑的漫反射图像, 测量激光光斑的相对能量分布, 该测量方法测得的光斑图像比较直观, 精度也较高。本文中重点研究 CCD 摄像法采集的远场激光光斑

作者简介: 张海庄(1979-), 男, 工程师, 研究方向为光电对抗。

E-mail: ayongzhz@sohu.com

收稿日期: 2012-08-24; 收到修改稿日期: 2012-10-17

图像的处理算法。CCD 摄像法采集到的远场激光光斑图像,由于受到大气强湍流的影响,往往背景复杂,目标光斑区域不易从背景噪声区域中分离出来^[10]。图像阈值的划分存在不确定性,一旦阈值选择不当,就有可能丢失大量光斑信息,或者读入大量无用信息,这都干扰了对激光光斑的准确检测。常用的基于高斯光束特性的光斑图像处理算法处理远场激光光斑图像往往质量较差、图像模糊、亮度不均匀,给分析和识别带来很大困难。为了提取出高质量的远场激光光斑图像,提出了一种基于噪声特性的自动阈值处理算法。

1 基于高斯光束特性的光斑图像算法处理远场光斑局限性分析

现有光斑图像处理算法多采用基于高斯光束特性的处理算法。该算法是根据光束有效截面半径(即按照基模强度的 $1/e^2$)确定光斑图像提取阈值^[11],即以 CCD 拍摄的光斑灰度图像最大灰度值的 $1/e^2$ 作为图像提取阈值。算法将图像灰度值大于 $1/e^2$ 的像素点作为是光斑图像保留下来,而将灰度值小于 $1/e^2$ 的像素点作为是噪声剔除。算法流程图如图 1 所示。

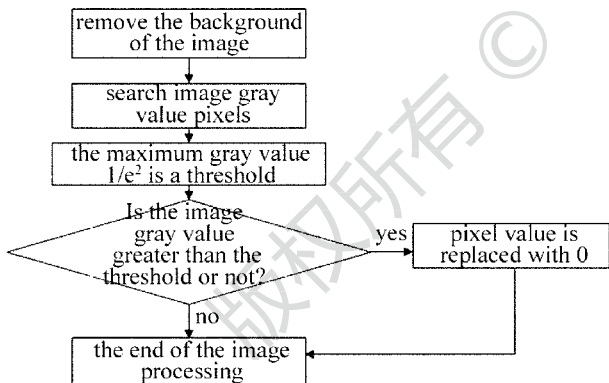


Fig. 1 Flowchart of image processing algorithms based on the Gaussian laser beam spot

采用基于高斯光束特性的光斑图像处理算法处理得到的激光光斑图像如图 2 所示。通过对原始数据分析,得知 CCD 摄像机能够将光斑图像完整采集下来,但由于处理算法中 $1/e^2$ 确定的光斑图像提取阈值为 74,图像中像素点灰度值低于 74 的部分在处理图像时被认为噪声剔除(灰度值置为 0),致使光斑图像内部出现一个灰度值非常低的漏洞区域,如图 2 中方框区域(约 7×7 个像素大小)所示。

该算法对基模高斯光束的近场光斑图像处理比较适用,而对远场激光光斑的处理误差较大,尤其是

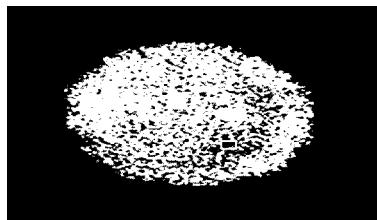


Fig. 2 Spot image processed based on the Gaussian beam characteristics 对非高斯光束的远场激光光斑处理误差更大。非高斯光束光强分布不均匀,再加上激光经远距离传输受大气湍流等因素影响较大,光斑图像最大灰度值的像素点往往特别孤立,有很多像素的灰度值都小于最大灰度值的 $1/e^2$ 。在光斑提取时,这些像素点都被剔除,光斑图像内部出现漏洞区域,致使一部分能量较低光斑数据信息被滤除,导致处理的平均光斑能量密度精度降低。由于较低能量部分数据丢失,致使需要探测的光斑能量密度低端精度无法达到 $0.01 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 的需求,最终影响了激光光斑参量的准确测量。

采用 3 维立体模式分析激光光斑图像,在光斑图像的 3-D 分布图上可以明显地看到图像的漏洞,如图 3 所示。

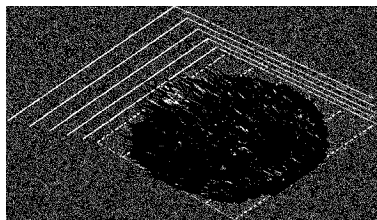


Fig. 3 3-D spot image processed based on the Gaussian beam characteristics

2 基于噪声特性的自动阈值处理算法

2.1 光斑图像漏洞区域分析

将图 2 原始光斑图像去背景,选取漏洞区域进行分析,该区域像素点灰度分布如图 4 所示。从图中可以看出,漏洞区域像素点的灰度值都在 20 到 80 之间,绝大部分像素点的灰度值低于基于高斯光束特性算法确定的提取阈值 74。光斑图像中距激光光斑边缘较远的区域受激光辐射影响很小,在去除背景之后,可以认为这些区域主要为系统噪声。图 5 是噪声区域的灰度分布图,图中噪声区域的大小为 400×130 像素。从图中可以看出,噪声幅度主要分布在 -20 到 20 之间,统计得到噪声区域像素的幅度均值为 0.1055,标准差为 5.2427,服从零均值的正态分布。比较图 4 和图 5 中的像素灰度分布

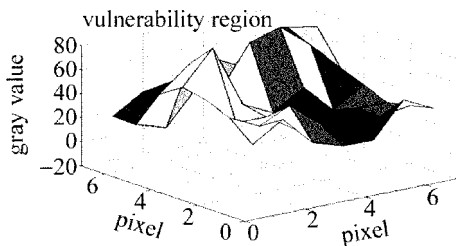


Fig. 4 Original spot gray value distribution in vulnerability region

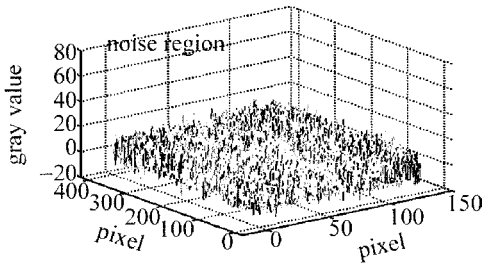


Fig. 5 Gray value distribution in noise region

可知,漏洞区域绝大部分像素的灰度值明显大于系统噪声的灰度值。所以,该漏洞区域含有大量的激光光斑信息。

由此可见,阈值的选取成为正确识别、分析光斑图像的关键,若阈值选取过高,则过多的目标区域将被划分为背景,相反,阈值选取过低,过多的背景噪声将被划分到目标区。应该选择一个合适的阈值,判断图像中的每一个像素点的特征属性是否满足阈值要求,来确定光斑图像中该像素点属于目标区域还是背景区域。

2.2 算法设计实现

图像处理就是用一系列特点操作来改变图像质量,以达到所需要的目标。由于环境干扰或成像质量等原因,致使基于高斯光束特性的光斑图像处理算法处理的光斑图像结果不太理想,不利于控制分析图像,为此,提出了基于噪声特性的自动阈值处理算法。根据系统噪声特性选取一个合适的提取阈值,使得光斑处理既能有效滤除系统噪声,又尽可能地保留激光光斑图像信息。

由上面噪声特性分析可知,采用去背景处理后系统残余的随机噪声近似服从零均值的正态分布 $(0, \sigma^2)$ 。根据 3σ 原则,噪声幅值位于 -3σ 到 3σ 之间的概率大于 0.99。将光斑图像的提取阈值设为噪声标准差的 3 倍,可以将光斑图像中 99% 以上的随机噪声有效滤除。

基于噪声特性的自动阈值处理算法的流程图如图 6 所示。考虑到极个别光斑图像的处理需求,将基于高斯光束特性的处理算法保留,在处理光斑图

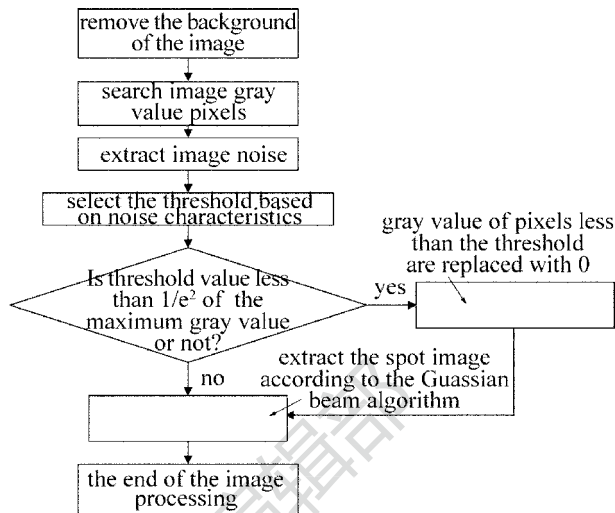


Fig. 6 Flowchart of the automatic thresholding algorithm based on the noise characteristics

像时,首先计算光斑灰度图像最大灰度值的 $1/e^2$ 作为图像提取阈值 A ,然后统计系统噪声的标准差,并确定光斑图像的提取阈值 B ,如果阈值 B 小于阈值 A ,则使用阈值 B 作为光斑图像的提取阈值进行处理,否则使用阈值 A (个别光斑适用) 作为光斑图像的提取阈值进行处理。

3 基于噪声特性的自动阈值处理算法试验结果分析

将图 2 的光斑原始图像利用基于噪声特性的自动阈值处理算法进行处理,将光斑图像的提取阈值设为标准差的 3 倍,并取整数得到提取阈值为 16,将原光斑图像中所有灰度值小于该阈值的像素置为 0,最后得到的光斑图像如图 7 所示。图 8 中给出了基于噪声特性的自动阈值处理后光斑图像的 3-D 分布图。

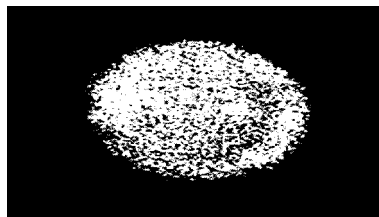


Fig. 7 Spot image processed with automatic threshold algorithm based on the noise characteristics

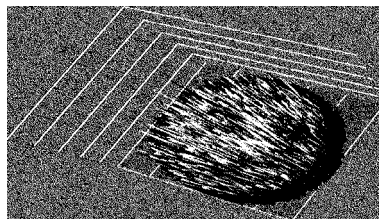


Fig. 8 3-D spot image processed with automatic threshold algorithm based on the noise characteristics

在图 7 和图 8 的光斑 2 维和 3 维图像中,光斑没有漏洞,原来图像内部漏洞处(图 2 中方框区域)所对应的像素强度信息得以恢复,即丢失的能量较低的光斑数据得以恢复,避免了真实光斑图像数据的丢失。通过计算,激光光斑的平均能量密度处理精度得到了提高,而且能量密度的低端精度也达到了 $0.01 \mu\text{J}/\text{cm}^2$ 的需求。通过多次试验验证,基于噪声特性的自动阈值处理算法根据光斑图像的噪声特性来确定提取阈值,有效地提升了光斑图像质量,同时也提高了光斑参量的处理精度。

4 结 论

现有的光斑图像处理算法都是针对近场光斑图像的算法,在处理远场激光光斑时存在很多不足。本文中提出的基于噪声特性的自动阈值处理算法,根据噪声的灰度分布特性选取合适的提取阈值处理激光光斑图像,可以在滤除系统噪声的同时获得高质量的光斑图像,能够适用于各种远场激光光斑的提取,该算法已经在某型激光光斑测量系统中得到成功应用。

参 考 文 献

- [1] XIONG C G, ZHANG H Z, MENG Z Y, *et al.* Measuring algorithms of laser far field flare energy density based on detector array method[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2012, 10(3): 22-24(in Chinese).
- [2] LI G. Research on optical waveguide point technique of shipborne weapon [J]. Laser Technology, 2009, 33(5): 515-517 (in Chinese).
- [3] ZHANG H Z, KONG Y N, MENG Z Y, *et al.* 1.06 μm laser atmosphere to the scattering intensity after simulation research[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2012, 10(4): 21-23 (in Chinese).
- [4] ZHANG H Z, LI Z M, CHU Z F, *et al.* Distant field laser facula center survey based on circle localization algorithm[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(1): 71-74 (in Chinese).
- [5] ZHAI Z S. Study on property of central spot of non-diffracting beams [J]. Laser Technology, 2008, 32(5): 480-483 (in Chinese).
- [6] LI Z M, ZHANG H Z, ZHAO G, *et al.* Research of gamma correction and energy revision algorithm in CCD photograph law survey laser distant field facula[J]. Optics & Optoelectronic Technology, 2011, 9(2): 22-24 (in Chinese).
- [7] CHEN H, ZHAO B. Study on direct mapping calibration method of an electric target based on non-diffracting beam[J]. Laser Technology, 2011, 35(3): 407-411 (in Chinese).
- [8] JIA Y Y, REN M, LV H P, *et al.* Laser measurement system of far-field spot based on detector array[J]. Laser & Infrared, 2009, 39(12): 1324-1327 (in Chinese).
- [9] ZHANG H Z, LIU Z L, XUE F, *et al.* Circuit design and realization of laser spot measurement system[J]. Laser & Infrared, 2011, 41(1): 71-74 (in Chinese).
- [10] ZHOU Z L, WANG B. The method research for pinpoint laser spot location in the imaging laser detecting system [J]. Laser Technology, 2008, 32(3): 248-251 (in Chinese).
- [11] YU Y H, WANG W S. Design of diffractive refractive hybrid ultraviolet warning system [J]. Laser Technology, 2012, 36(3): 421-423 (in Chinese).