

文章编号: 0258-7025(2006)08-1109-04

光学元件损伤暗场成像检测的算法

张 际, 李大海

(四川大学电子信息学院光电研究所, 四川 成都 610064)

摘要 基于强激光系统光学元件损伤的在线暗场成像检测, 提出了一种无损、自动、快速检测的新算法。该算法根据模式识别中的聚类理论, 对光学元件损伤的暗场图像实现了损伤斑块位置的自动检测分析。同时, 根据损伤的暗场图像特点, 用双向扫描方式得到了无遗漏点的损伤连续斑块, 实现了损伤斑块尺度的自动检测。理论分析和实验均显示, 损伤暗场自动检测图像的快速聚类算法能够实现光学元件损伤位置和损伤尺度的准确、自动分析。

关键词 光学器件; 模式识别; 聚类; 暗场成像; 在线检测

中图分类号 TN 247 文献标识码 A

Algorithm of Optics Damage Inspection from Its Dark-Field Image

ZHANG Ji, LI Da-hai

(*Institute of Opto-Electronics, The School of Electronics and Information,
Sichuan University, Chengdu, Sichuan 610064, China*)

Abstract A new algorithm of nondestructive, automatic and high-speed inspection is proposed for dark-field image to be used to inspect online optic component damage on high power laser system. This algorithm is based on the theory of clustering in pattern recognition. The position of the damage can be automatically analyzed according to this algorithm from its dark-field image. Then, according to the characteristics of damage image, the two-directional (2D) scanning way can be used to obtain a continuous damage block without leaving out any damage pixel. Theories analysis and experiment show that the algorithm can determine the position of optical component damage and analyze the damage dimensions accurately and automatically.

Key words optical devices; pattern recognition; clustering; dark-field image; online inspection

1 引 言

在大型强激光系统装置中, 强激光的非线性自聚焦效应产生的超强光束, 会对装置中的光学元件造成损伤, 如光学元件表面膜层被破坏、内部形成丝状裂纹等^[1~3]。从而产生危害, 表现在: 1) 使光束质量下降; 2) 在损伤点产生的热效应造成光学元件的破裂; 3) 由于光束在损伤点的衍射造成其他光学元件的损伤等^[3]。

光学元件损伤检测主要有在线检测和非在线检测两种方式。直接用人眼进行观测和取下元件用显微镜来进行损伤观测是两种常用的非在线检测方

法。但有时必须采用在线检测方式, 如神光 III 原型装置由于不可能进行离线检测, 而只能利用在线检测装置来对整个光学系统的主要光学元件的损伤进行行程控检测, 并对损伤点进行识别和性质分析。

暗场成像^[3,4~7]是一种较为理想的在线检测手段。它利用主动式光源照明被检的光学元件, 若光学元件存在损伤, 则损伤点会产生散射光, 利用成像光学系统接收散射光, 则可在暗背景下观察到明亮的损伤图像, 从而使检测的灵敏度得到提高。

为了实现对光学元件损伤暗场检测得到的暗场图像进行自动识别和分析, 本文提出采用模式识别中的聚类分析方法, 先用最大最小距离算法对暗场

收稿日期: 2005-12-19; 收到修改稿日期: 2006-03-06

作者简介: 张 际(1981—), 男, 四川成都人, 四川大学硕士研究生, 主要从事光学数字图像处理方面的研究。E-mail: jinxeros@sohu.com

导师简介: 李大海(1968—), 男, 苗族, 贵州松桃人, 博士, 四川大学电子信息学院副教授, 主要从事光学检测、波前传感和波前控制方面的研究工作。E-mail: dahai_li@sohu.com

图像中的损伤斑块进行分割,并确定出每个损伤斑块的位置,然后对每个斑块进行双向扫描,从而得到整个损伤连续斑块,于是可计算出损伤位置、尺度等损伤信息。该方法灵敏度高、识别准确无遗漏,能实现光学元件损伤位置、尺度的自动分析。

2 原理

光学元件损伤暗场检测的暗场图像经二值化后,如图 1 所示,它表现为暗背景上分布的无规则亮点或亮斑。为了自动确定图 1 中亮点或亮斑的位置,模式识别聚类分析中的最大最小距离算法^[7]即可用于这类图像的处理。

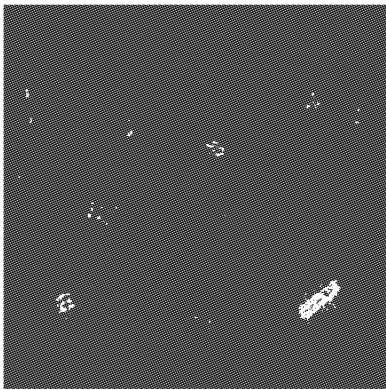


图 1 光学元件损伤的暗场图像

Fig. 1 Optic component damage image in dark-field image

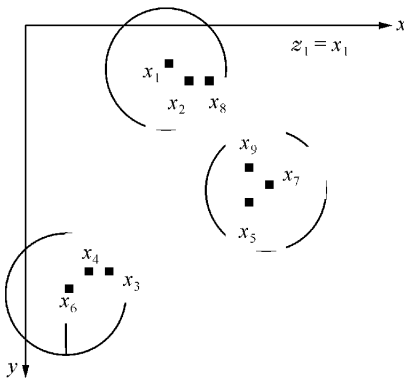


图 2 最大最小距离算法举例

Fig. 2 Example of maximum and minimum distance algorithm

根据最大最小距离算法,设光学元件的损伤点集为 $\{x_1, x_2, x_3, \dots, x_N\}$, 损伤的最小分块为以半径为 r 的圆,如图 2 所示。因此,对损伤点集可以最大距离原则选取标记点(即聚类中心),以最小距离原则进行损伤点归类。

在图 2 中,1) 选任一点 x_1 作为第一个标记点 z_1 (即第一个聚类中心)。然后,从损伤点中选出距离 z_1 最远的点作为第二个标记点 z_2 ,如图 2 中的 x_6 。

2) 计算未被作为标记点的各点 $\{x_i\}$ 与 z_1, z_2 之间的欧拉距离(即两点之间的最小距离,平方加权距离) d_{ij} 为

$$d_{ij} = \|x_i - z_j\|, \quad j = 1, 2 \quad (1)$$

$\| \cdot \|$ 代表取两点的欧拉距离,并求出它们之中的最小值 d_i

$$d_i = \min\{d_{i1}, d_{i2}\}, \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (2)$$

其中 \min 代表取其中的最小值。

3) 若某一损伤点 x_l 满足 $d_l = \max_i\{\min\{d_{i1}, d_{i2}\}\} > r$, \max 代表取其中的最大值。则该点被作为第三个标记点,即 $z_3 = x_l$ (此例中 $z_3 = x_7$),然后转至 4); 否则,转至 5)。

4) 设损伤图中存在 k 个标记点,计算未被作为标记点的损伤点到各标记点的距离 d_{ij} ,并算出 $d_l = \max_i\{\min\{d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{ik}\}\}$,如果 $d_l > r$,则 $z_{k+1} = x_l$ 然后重复该步骤;否则,转至后一步 5)。

5) 经判断不再有新的标记点之后,将各点 $x_1, x_2, x_3, \dots, x_N$ 按最小距离原则分到各类中去,即计算

$$d_{ij} = \|x_i - x_j\|, \quad (j = 1, 2, \dots; i = 1, 2, \dots, N), \quad (3)$$

当 $d_z = \min_j\{d_{ij}\}$, 则判 x_i 属于以该块标记点为标记的类。

以上按最大最小距离算法,得到了以各标记点为中心、最小分块半径为 r 的所有分块内包含的所有损伤点。因为若有一损伤点不在任一所求得的以标记点为中心、半径为 r 的分块内,则该点到其最近的分块标记点的距离将大于 r ,于是根据步骤 4), 该点到所有分块标记点的距离都将大于 r ,因此该点将成为新的标记点,这与假设相矛盾,因此,所有损伤点必将在标记点为中心、最小分块半径为 r 的分块内。于是当 r 足够小时,所有损伤斑块中都有标记点。

6) 针对分块半径为 r 的每一标记区域,为了准确确定其中损伤面积的大小,以各标记点为起始点,沿水平垂直两个方向进行逐个扫描搜索,直到将所有相互连接的亮点均找到为止,所有亮点就组成了一个损伤斑,从而完成了一个连续损伤斑块的搜索。若所有连续损伤斑块的尺度均不超出半径为 r 的标记区域,它们将包含在以各个标记点为中心、损伤半

径为 r 的范围内；若连续损伤斑块大于以标记点为中心、半径为 r 的范围，该连续损伤斑块将多于一个标记点，本文就以每个标记点为起始点进行水平垂直扫描得到整个亮斑。由于标记点在同一斑块内，所有扫描得出的亮斑都含有相同点，对相同点进行合并，于是就得出多标记点的完整斑块。

7) 找出二值斑块图像后，就可以计算出损伤总的像素点数，再根据损伤图的原始灰度分布，计算出每块损伤的质心位置坐标，表示为

$$x = \frac{\sum_i h(x_i, y_i) x_i}{\sum_i h(x_i, y_i)}, \quad y = \frac{\sum_i h(x_i, y_i) y_i}{\sum_i h(x_i, y_i)}, \quad (4)$$

x, y 为斑块中心坐标， i 为斑块中的像素点代号， x_i, y_i 为对应于 i 点的坐标， $h(x_i, y_i)$ 为对应于 i 点的灰度值。

需要强调的是，损伤最小分块半径 r 的设置将直接关系到检测结果的准确性。对以上算法的研究表明，损伤产生的亮斑尺度即使小到一个像素，依然可以被本算法准确检测出来。而实际中损伤半径的设置可视具体情况而定。如针对大型激光系统光学元件损伤线度大于 1.5 mm 的应该被选出^[1]这一要求，根据暗场检测中使用的光学系统及 CCD 的分辨率参数，在本算法中就可设定一最小损伤半径 r 。换言之，本算法要求捡出的最小损伤的暗场亮斑在 CCD 上至少应大于一个像素。

3 实验研究

为了对上述算法进行实验验证，采用了如图 3 所示的暗场成像检测光路系统对采集到的光学元件损伤暗场成像图像进行研究。

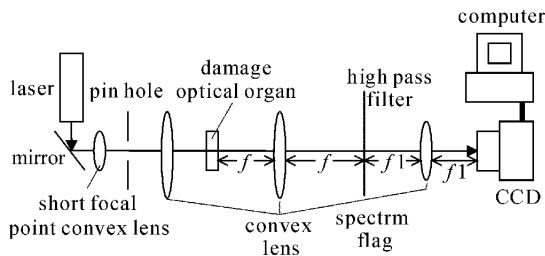


图 3 损伤暗场检测模拟成像系统

Fig. 3 Analogue imaging system of damage inspection in dark-field

图 3 中，从激光器发出的光束，经过平面镜反射后，被一个光束扩束准直系统形成平行光，然后照射在含损伤的所测平面平晶上，损伤产生的散射光场

分布经过 $4f$ 系统后，被其频谱面上放置的一高通滤波器滤除图像的低频成分，再用 CCD 调焦采集图像得到平面平晶某一面的暗场图像。该图像经过计算机软件进行阈值处理，得到处理图像的暗场二值图，如图 4 所示，其中的亮点或亮斑即为所求的损伤斑块。

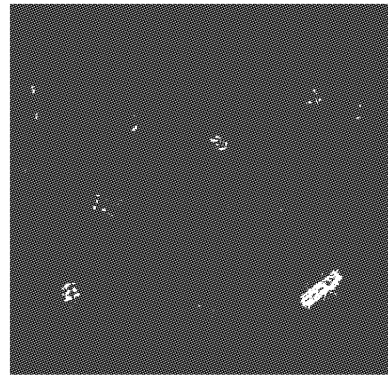


图 4 初始阈值处理图像

Fig. 4 Beginning processed image

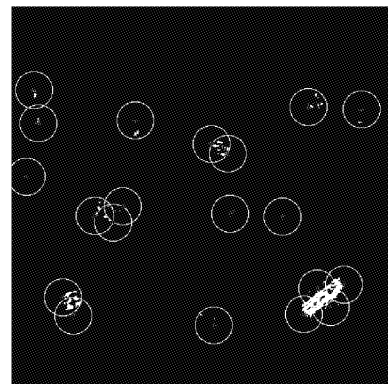


图 5 找到标记点的图像

Fig. 5 Label point image

在利用前述的算法进行处理之前，根据实际的检测要求，先设定损伤的最小损伤半径为 r ，因此，1) 用最大最小距离算法，以最小损伤半径 r 找出损伤图中所有的损伤斑块并依次作出标记点(如图 5 中的星号点，它处于每个圆的圆心上)。因此，以标记点为中心，在损伤半径 r 的圆内将包含图像所有的损伤点。

2) 以图 5 中任一圆圈内的标记点为初始位置，在水平、竖直两个方向上扫描，然后叠加求出含该标记点的连续图像斑块，于是求出无遗漏的连续斑块，如图 6 所示(搜索结果只显示一块，同理，其他标记点处的损伤同样可以求出)。

3) 得出每个损伤斑块参量，即斑块大小和中心。



图 6 无遗漏连续斑块图

Fig. 6 Contiguous block without omit

例如图 6 中的损伤斑块,大小为 988 个像素,其质心坐标为(430,386);总图像大小为 512×512 像素。

4 结 论

模式识别的特征提取与分割算法,是损伤斑块检测算法的基础,在此基础上,利用暗场图像的固有特点,提出了一种新的更为精确、快速检测损伤的算法。还通过人工直接对图像进行手动搜索的方法与本文算法进行对比,结果表明,算法具有很高的准确率。而且对采集到的大量数据图像进行处理,也有此结论。因此提出的暗场损伤自动检测算法具有很高的可靠性,能在实际应用中发挥作用。对于该算法,在实际应用中还可以把损伤半径设为一个较大的值,然后进行再次分块处理,继而用分块图循环多

次分块,就可以得到所有斑块的标记点,然后通过水平垂直扫描得到无遗漏连续斑块,此法相当于把大循环分成若干个小循环,从而使其运算速度大大提高。

参 考 文 献

- 1 C. E. Jhompson, C. F. Knopp, D. E. Decker. Optics Damage Inspection for the NIF [R]. UCRL-JC-130034. Solid State Lasers for Application to Inertial Confinement Fusion, Monterey, USA, 1998
- 2 F. Rainer. Mapping and Inspection of Damage and Artifacts in Large-Scale Optics [R]. UCRL-JC-127902, 29th Annual Boulder Damage Symposium, Boulder, USA, 1997
- 3 Ren Bingqiang, Huang Huijie, Zhang Weixin *et al.* Online inspection apparatus and experiments on optics damage [J]. *High Power Laser and Particle Beams*, 2004, **16**(4):465~468
任冰强,黄惠杰,张维新等. 光学元件损伤在线检测装置及实验研究[J]. *强激光与粒子束*, 2004, **16**(4):465~468
- 4 Liu Qiang, Lin Libin, Zu Xiaotao *et al.* Studies on the methods to determine the damage irradiated by high-laser [J]. *Laser Journal*, 2002, **23**(4):3~5
刘 强,林理彬,祖小涛等. 强激光辐照损伤判别方法[J]. *激光杂志*, 2002, **23**(4):3~5
- 5 F. Rainer, R. K. Dickson, R. T. Jemirgs *et al.* Development of Practical Damage-Mapping and Inspection Systems [R]. The Third Annual International Conference on SSLA to ICF, Monterey, USA, 1998
- 6 J. K. Lawson, L. G. Seppala, I. C. Smith *et al.* Beamlet Schlieren Diagnostic and Experiments [R]. UCRL-JC-124516, University of California, Lawrence Livermore National Laboratory, USA, August 1996
- 7 E. Bliss, T. Salmon, D. Davis *et al.* Laser Control Systems [R]. UCRL-LR-105821-97-3, University of California, Lawrence Livermore National Laboratory, USA, March 1997
- 8 Sun Jixiang. Modern Pattern Recognition [M]. Changsha: National University of Defense Technology Press, 2002. 27~34
孙即祥. 现代模式识别[M]. 长沙:国防科技大学出版社, 2002. 27~34