

基于矩形象限法的光斑质心定位算法研究

许泽帅^{1,2} 羊毅¹ 兰卫华¹

(¹ 洛阳电光设备研究所, 河南 洛阳 471009
² 光电控制技术重点实验室, 河南 洛阳 471009)

摘要 激光大气传输会发生波前畸变,为了探测波前,采用哈特曼-夏克(H-S)传感器来获取波前信息,采用算法对成像光斑进行质心定位,进而可以达到波前检测的目的。通过质心法对哈特曼-夏克波前传感器得到的光斑图像进行处理,进而确定出其质心的位置和算法所需的时间。采用改进的象限法,通过检测光斑的边缘位置,进而确定出一个能将光斑圈住的矩形的大小和位置。根据几何学关系,针对不同位置的光斑采用不同的方法确定质心,进而可以得到质心的位置。通过与质心法对比仿真,结果显示两种算法的质心位置坐标很接近,算法的速度也很接近。

关键词 成像系统;质心探测;质心法;象限法

中图分类号 TN249 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/LOP50.121103

Localization of Facular Centroid Based on the Rectangular Quadrant Algorithm

Xu Zeshuai^{1,2} Yang Yi¹ Lan Weihua¹

(¹ Luoyang Institute of Electro-Optic Equipment, Luoyang, Henan 471009, China
² Science and Technology on Electro-Optic Control Laboratory, Luoyang, Henan 471009, China)

Abstract Laser suffers wavefront distortion in atmospheric transmission. In order to detect the wavefront, we use the Hartmann-Shack (H-S) wavefront sensor to obtain the information of wavefront and locate the centroid of facula by the centroid algorithm. In this way, we can achieve wavefront detection. We put forward the algorithm of rectangular quadrant and obtain the location of centroid by experiment, thereby using the rectangle to enclose the facula. The rectangle can be divided into four parts by axes. The sum of gray values in each part can be determined. According to the geometrical relationship, different formulas are used to determine the centroid for rectangles at different positions. By comparison with the centroid algorithm, it is found that the positions of centroid derived from two algorithms are nearly the same and the speeds of two algorithms are also nearly equal.

Key words imaging systems; centroid detection; centroid algorithm; rectangular quadrant algorithm

OCIS codes 110.2970; 110.1080; 010.1080; 100.2000

1 引言

激光通过湍流大气之后就会产生光强起伏、光束漂移、光束扩展和到达角起伏等现象,这将会使目标上的激光功率密度下降。为了达到校正波前的目的,我们首先使用波前探测器对畸变波前进行探测。哈特曼-夏克(H-S)传感器具有光能利用率高、测量环境要求低、使用方便和可同时测量光场的波前相位分布和强度分布的时间特性与空间特性^[1]等优点,它包括一个子孔径阵列和阵列探测器,通常采用精度高、量子效率高和可靠性高的 CCD 相机作为探测器件^[2],来探测光斑阵列各子孔径的质心位置。波像差的探测精度依赖于子孔径光斑的质心探测和计算精度^[3]。可用小透镜阵列将光学系统的孔径划分为多个子孔径,用阵列探测器测量每个子透镜后像点的中心偏移,通过中心偏移来得到各个子孔径的波前斜率。预先用标准平面波光束标定子孔径远场光斑质心,通过子孔径焦面信标焦斑中心与标定质心的偏移量得到子孔径光束的斜率^[4]。

收稿日期: 2013-08-08; **收到修改稿日期**: 2013-09-09; **网络出版日期**: 2013-11-07

作者简介: 许泽帅(1989—),男,硕士研究生,主要从事光学系统设计方面的研究。E-mail: xuzeshuai2007@126.com

导师简介: 羊毅(1965—),女,博士,研究员,主要从事机载光电技术方面的研究。E-mail: eoei@vip.sina.com

成像光斑是个散斑,而在自适应光学领域^[5-6],需要的是成像的质心坐标,从而可以得到 x, y 方向的平均斜率。H-S 传感器把探测波前分成许多子波前,将波前探测转换为对每个子波前质心探测的问题,因此质心探测的精度对整个自适应光学系统的波前恢复和校正能力有着非常重要的影响^[7]。常用的提高质心探测精度的方法包括抑噪滤波和阈值法^[8]。本文中光斑是经过去噪处理后的图像,首先通过质心法^[9-10]对 H-S 波前传感器得到的光斑进行质心定位,其次采用改进的象限法,根据几何学关系,针对不同位置的光斑采用不同的方法确定质心,进而可以得到质心的位置。通过与质心法对比仿真,结果显示两种算法的质心位置很接近,算法的速度也很接近。

2 质心法

成像光斑的质心位置由算法进行计算,畸变波前和理想波前的成像光斑之间的偏移量包含了受干扰的入射波前的信息,可以用来计算各子孔径上两个正交方向上的平均波前斜率。H-S 波前传感器的原理^[11]如图 1 所示。传感器得到的光斑图如图 2 所示。

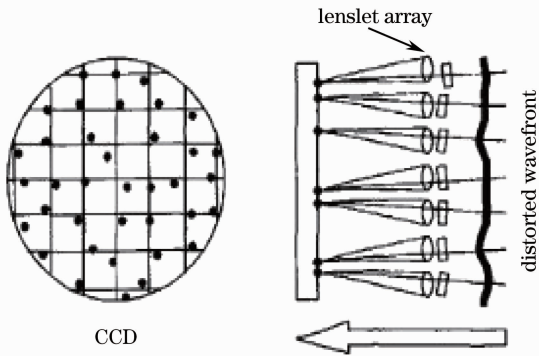


图 1 H-S 传感器原理图

Fig. 1 Principle of H-S wavefront sensor

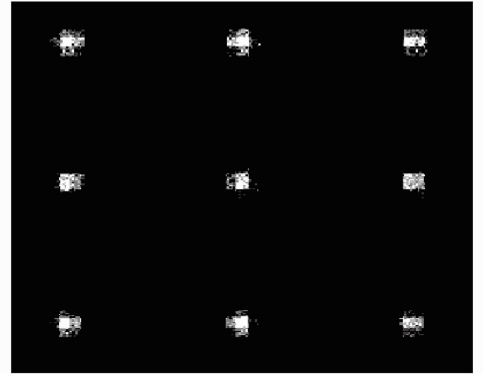


图 2 H-S 传感器得到的光斑图

Fig. 2 Facula by H-S wavefront sensor

质心法是质心定位最常用的算法。质心算法能够确定通过各个微透镜阵列后的畸变波前在探测器上成像的中心坐标 (\bar{x}_n, \bar{y}_n) :

$$\bar{x}_n = \frac{\sum_i \sum_j I(i, j) \cdot i}{\sum_i \sum_j I(i, j)}, \quad (1)$$

$$\bar{y}_n = \frac{\sum_i \sum_j I(i, j) \cdot j}{\sum_i \sum_j I(i, j)}, \quad (2)$$

式中 n 的取值从 1 到微透镜的总数 N , i 和 j 分别是在 x, y 方向上的坐标, $I(i, j)$ 是在 (i, j) 位置上像素的光强值。

3 象限法

象限法把每一个子区域划分为四个象限,通过比较象限间的能量差确定质心的位置。

圆形象限法只对于光斑形状近似于圆形时的效果比较好,对于光斑形状不规则的图像,如图 3 所示,用矩形框的边界要比用圆形好,在后面的算法处理中会更精确,而且采用圆形需要估计光斑的直径。使用不同算法将会导致相差很远的结果。

由图 3 可知,成像的偏移坐标为

$$x' = \frac{(I_1 + I_4) - (I_2 + I_3)}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \cdot \frac{d_1}{2}, \quad (3)$$

$$y' = \frac{(I_1 + I_2) - (I_4 + I_3)}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4} \cdot \frac{d_2}{2}, \quad (4)$$

式中 I_1, I_2, I_3 和 I_4 分别为第一、二、三、四象限的灰度值之和, d_1 和 d_2 表示矩形的长度和宽度方向所占有的

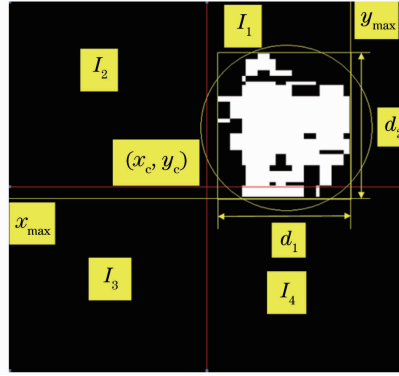


图3 用圆形和矩形框住光斑的对比

Fig. 3 Comparison between enclosing the facula with rectangle and circle

像素数。

令

$$p = \frac{(I_1 + I_4) - (I_2 + I_3)}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4},$$

$$q = \frac{(I_1 + I_2) - (I_4 + I_3)}{I_1 + I_2 + I_3 + I_4},$$

质心的坐标可以由下面的公式确定：

$$\bar{x}_n = \begin{cases} x_{\max} + y', & q = -1 \\ x_{\max} - y', & q = 1 \\ x_c - y', & -1 < q < 1 \end{cases}, \quad (5)$$

$$\bar{y}_n = \begin{cases} y_{\max} + x', & p = -1 \\ y_{\max} - x', & p = 1 \\ y_c + x', & -1 < p < 1 \end{cases}, \quad (6)$$

式中 n 的取值从 1 到微透镜的总数 N , x_{\max} 和 y_{\max} 为子光斑的两个边界, (x_c, y_c) 为每个光斑的原点坐标。

4 仿真对比

通过两种算法对图 2 的光斑图进行处理,处理后光斑质心如图 4 所示,其中,圆圈里的光点为两种算法得到的光斑质心图。

通过仿真,可以得出两种算法得到的质心坐标如图 5 所示。在图 5 中,质心法得到的质心位置信息显示在光点的下面;矩形象限法得到的位置信息显示在光点的上面。由图可知,两种算法得到的质心相当吻合,

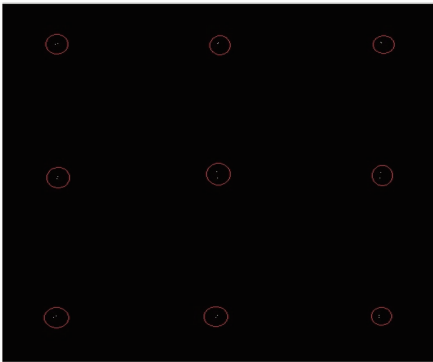


图4 两种算法得到的光斑质心图

Fig. 4 Centroids of spots determined by two algorithms

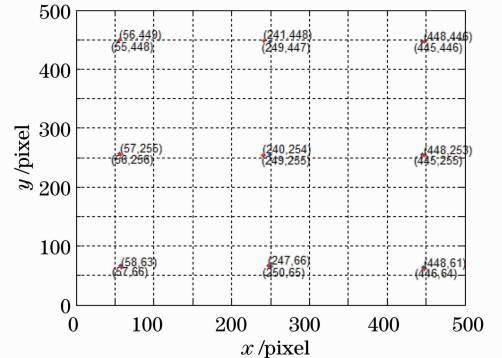


图5 两种算法得到的质心位置对比

Fig. 5 Comparison of centroid coordinates by two algorithms

说明矩形象限法确定质心的精确性。

两种算法所用的时间如表 1 所示。由表 1 可知,两种算法所用的时间基本是相当的。

表 1 两种算法所用的时间

Table 1 Elapsed time of two algorithms

Algorithm	Elapsed time /s
Centroid	0.1
Rectangular quadrant	0.12

5 结 论

采用矩形象限法,可以比较容易地得出框的边界,进而可以比较容易地确定出质心。通过与质心法定位质心的坐标位置比较,说明矩形象限法定位的质心位置与质心法得到的质心位置基本重合。通过算法所用的时间对比可知,两种算法的速度也是相当的。总之,矩形象限法的定位效果可以很好地定位质心且算法实现速度快。

参 考 文 献

- Duan Haifeng, Yang Zeping, Wang Shuqing, *et al.*. Model wavefront reconstruction of Shack-Hartmann sensor on arbitrary area and wavefront expression by Zernike polynomials[J]. Chinese J Lasers, 2002, 29(6): 517–520.
段海峰, 杨泽平, 王淑青, 等. 夏克-哈特曼传感器任意形状孔径波前的模式重构及 Zernike 多项式描述[J]. 中国激光, 2002, 29(6): 517–520.
- Seifert L, Liesener J, Tiziani H J. The adaptive Shack-Hartmann sensor [J]. Opt Commun, 2003, 216(4): 313–319.
- Shen Feng, Jiang Wenhan. The measurement error of wavefront phase with Shack-Hartmann wavefront sensor [J]. Acta Optica Sinica, 2000, 20(5): 666–671.
沈 锋, 姜文汉. 夏克-哈特曼波前传感器的波前相位探测误差[J]. 光学学报, 2000, 20(5): 666–671.
- Su Yi, Wan Min. High Energy Laser Systems [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 2004. 220–221.
苏 毅, 万 敏. 高能激光系统 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004. 220–221.
- G Vdovin, P M Sarro, S Middelhoeck. Technology and applications of micromachined silicon adaptive mirrors [J]. Opt Eng, 1997, 36(5): 5509–5513.
- K Creath. Phase-Measurement Interferometry Techniques In E Wolf (ed.). Progress in Optics [M]. Amsterdam: Elsevier, 1998. 379–393.
- T J Kane, B Welsh, C S Gardner. Wavefront detector optimization for laserguided adaptive telescope [C]. SPIE, 1998, 1114: 160–171.
- Liang Chun, Liao Wenhe, Shen Jianxin, *et al.*. An adaptive detecting centroid method for Hartmann-Shack wavefront sensor [J]. Chinese J Lasers, 2009, 36(2): 430–434.
梁 春, 廖文和, 沈建新, 等. Hartmann-Shack 波前传感器的自适应质心探测方法[J]. 中国激光, 2009, 36(2): 430–434.
- Li Jun. Study of the Adaptive Optic System in Transmission Type, High-Resolution Reconnaissance Camera [D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2006. 46–47.
李 俊. 传输型详查相机微小自适应光学系统研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2006. 46–47.
- Zhou Wenchao, Peng Yong, You Anqing. An improved centroid detecting calculation method of Hartmann wavefront sensor [J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2012, 49(6): 061203.
周文超, 彭 勇, 游安清. 提高哈特曼波前传感器质心探测精度的一种计算方法[J]. 激光与光电子学进展, 2012, 49(6): 061203.
- Lü Baida. Propagation and Control of High-Power Lasers [M]. Beijing: National Defence Industry Press, 1999. 261–262.
吕百达. 强激光的传输与控制[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999. 261–262.