



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 101055223 B

(45) 授权公告日 2010. 12. 08

(21) 申请号 200710098754. 5

(22) 申请日 2007. 04. 26

(73) 专利权人 中国科学院光电技术研究所
地址 610209 四川省双流 350 信箱

(72) 发明人 黄俊 许冰 李华强

(74) 专利代理机构 北京科迪生专利代理有限公司 11251
代理人 贾玉忠 卢纪

(51) Int. Cl.

G01M 11/02(2006. 01)

G01J 9/00(2006. 01)

(56) 对比文件

DE 10333813 A1, 2005. 02. 17, 全文 .

US 5083015 A, 1992. 01. 21, 全文 .

沈锋等. 夏克 - 哈特曼波前传感器的波前相位探测误差. 光学学报第 20 卷 第 5 期 .2000, 第 20 卷 (第 5 期), 第 666-671 页 .

Sung-Hoon Baik, etc. A center

detection algorithm for Shack-

Hartmannwavefrontsensor. Optics & Laser
Technology39 2. 2007, 39(2), 262-267.

任剑峰等. 一种 Hartmann-Shack 波前传感器图像的自适应阈值选取方法. 光电工程第 29 卷 第 1 期 .2002, 第 29 卷 (第 1 期), 第 1-5 页 .

陈笠等. 哈特曼 - 夏克波前传感器子孔径合并的理论研究. 光学学报第 20 卷 第 12 期 .2000, 第 20 卷 (第 12 期), 第 1585-1590 页 .

Robert J. Zielinski, etc. Hartmann
Sensors for Optical Testing.
SPIE, Optical Manufacturing and Testing
II3134. 1997, 3134398-406.

审查员 彭志萍

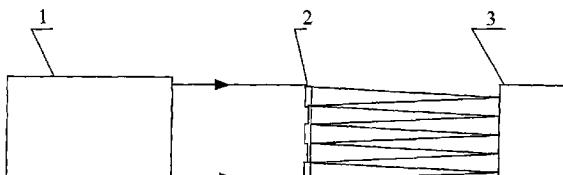
权利要求书 1 页 说明书 3 页 附图 1 页

(54) 发明名称

哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法

(57) 摘要

哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法，步骤为：对光电探测装置输出的象素数据进行阈值处理；利用上述阈值处理后的象素数据计算各子孔径光斑的阶矩质心，其中 $= 1, 2, 3, \dots, L$ ；重复计算各子孔径光斑的阶矩质心；计算各子孔径光斑的阶矩质心标准差的平均值；找出对应最小的阶数，即完成了哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法。多次重复计算各子孔径光斑的 α 阶矩质心并得到对应的质心标准差，以全部子孔径质心标准差均值小者所对应的阶数为优，所筛选出的高阶矩质心算法，相对于其它各阶矩质心算法，能更有效地抑制噪声对质心计算精度的影响，其质心测量的重复精度最优，从而提高了波前重构精度。



1. 哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法,其特征在于步骤如下:

- (1) 对光电探测装置输出的象素数据进行阈值处理;
- (2) 利用上述阈值处理后的象素数据 I_{nm} 计算各子孔径光斑的 α 阶矩质心,其中 $\alpha = 1, 2, 3 \dots L$;

(3) 重复计算各子孔径光斑的 α 阶矩质心;

(4) 利用下述公式计算各子孔径光斑的 α 阶矩质心标准差的平均值 S_α ,

$$S_\alpha = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^{N_A} \left(\frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (x_{i,\alpha,k} - \bar{x}_{i,\alpha})^2 \right)^{\frac{1}{2}}, \text{ 其中 } N_A \text{ 为子孔径总数, } k \text{ 为重复次数, } k = 1, 2, 3 \dots K;$$

$$\bar{x}_{i,\alpha} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{i,\alpha,k};$$

(5) 通过求出 α 阶质心所对应的 S_α 后,找出对应 S_α 最小的阶数,即完成了哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法。

2. 根据权利要求 1 所述的哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法,其特征在于:所述步骤 (1) 中阈值处理方法为:将有入射光输入时每一象素采集到的光电信号值减掉该象素对应的阈值构成数据,此时,若某一象素数据小于零,则强制该某一象素数据等于零。

3. 根据权利要求 1 所述的哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法,其特征在于:所述步骤 (2) 中计算 α 阶矩质心即为计算第 i 个子孔径的光斑的位置 $(x_{i,\alpha}, y_{i,\alpha})$:

$$x_{i,\alpha} = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N x_{nm} I_{nm}^\alpha}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I_{nm}^\alpha}, \quad y_{i,\alpha} = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N y_{nm} I_{nm}^\alpha}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I_{nm}^\alpha}$$

其中, I_{nm}^α 为 I_{nm} 的 α 次幂, x_{nm} , y_{nm} 分别为第 (n, m) 个象素的 x 坐标和 y 坐标, I_{nm} 为光电探测装置光敏靶面上第 (n, m) 个象素所接收的并经过阈值处理后的数据。

4. 根据权利要求 1 所述的哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法,其特征在于:所述的重复次数 k 为 10 次以上。

哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法,特别是各阶矩质心算法的阶数择优。

背景技术

[0002] 哈特曼波前传感器由于具有构造简单,测量精度高,对测量环境要求低等优点,在大气光学、光学检测等领域有着广泛的应用。现有的哈特曼波前传感器,采用微透镜阵列分割光束孔径,将入射光聚焦到光电探测器(通常为CCD)的光敏靶面,或者通过一转像系统将微透镜的焦面光斑图象成像于光电探测器光敏靶面,获得按设计要求的光斑阵列图,通过对各子光斑图像数据进行一阶矩质心算法求出子孔径光斑的质心位置,从而可以获得所需的测量数据,提高质心测量精度是哈特曼波前传感器的核心技术之一。上述哈特曼波前传感器及一阶矩质心算法可以参见以下两篇文章:“Adaptive Optics for Astronomy”D. M. Alloin and J. M. Mariotti. Kluwer Academic Publishers, 1994. 和“Hartmann Sensors for Optical Testing” Robert J. Zielinski, B. Martin Levine, Brain Moneil. SPIE Vol. 3134, Optical Manufacturing and Testing II, P398, 1997。上述此类哈特曼波前传感器及一阶矩质心算法的不足在于质心计算的重复精度低,限制了哈特曼波前传感器在高精度测量中的应用。

[0003] Sung-Hoon Baik提出了对各子孔径光斑光强采用高阶矩的质心计算方法,参见“A center detection algorithm for Shack-Hartmann wavefront sensor.” Sung-Hoon Baik, Seung-Kyu Park, Cheol-Jung Kim, Byungheon Cha. Optics&Laser Technology, vol. 39, P262, 2007, 并对一处于特定实验条件下的哈特曼波前传感器运用1、1.5、2、3阶质心算法,通过图形的直观比较得出三阶最优的结论。但它并未比较更高阶矩的质心算法,结论的证据不充分;更为重要的是,此结论是通过一特定哈特曼波前传感器所测数据构成图形而直观得出的,无确定指标,限制了它的推广与应用。

发明内容

[0004] 本发明的技术解决问题是:克服现有技术的不足,提供一种哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法,这种方法提高了质心的测量精度,且使质心测量精度达到最优,从而提高了波前重构精度。

[0005] 本发明的技术解决方案是:哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法,其特点在于步骤如下:

[0006] (1) 对光电探测装置输出的象素数据进行阈值处理;

[0007] (2) 利用上述阈值处理后的象素数据计算各子孔径光斑的 α 阶矩质心,其中 $\alpha = 1, 2, 3, \dots, L$;

[0008] (3) 重复计算各子孔径光斑的 α 阶矩质心;

[0009] (4) 利用下述公式计算各子孔径光斑的 α 阶矩质心标准差的平均值 S_α ,

$S_\alpha = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^{N_A} \left(\frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (x_{i,\alpha,k} - \bar{x}_{i,\alpha})^2 \right)^{\frac{1}{2}}$, 其中 N_A 为子孔径总数, k 为重复次数, $k = 1, 2, 3 \dots K$;

$$[0010] \quad \bar{x}_{i,\alpha} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{i,\alpha,k};$$

[0011] (5) 通过求出 α 阶质心所对应的 S_α 后, 找出对应 S_α 最小的阶数, 即完成了哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法。

[0012] 所述步骤 (1) 中阈值处理方法为: 将有入射光输入时每一象素采集到的光电信号值减掉该象素对应的阈值构成数据, 此时, 若某一象素数据小于零, 则强制该某一象素数据等于零。

[0013] 本发明与现有技术相比有如下优点: 针对哈特曼波前传感器各子孔径下

[0014] 的光斑, 越靠近质心, 探测器对应象素测得的光强越大。从理论上考虑, 这部分象素探测的数据在质心运算时的权重越大, 质心计算精度越高。本发明的高阶矩质心算法就满足这一条件; 同时, 随着阶数的升高, 光斑质心位于的象素数据相对于其它象素数据趋于无穷大, 所算质心就会等于质心所处象素的中心。所以, 在各阶矩质心算法中, 必存在一优化阶数; 而本发明正是利用这一原理, 多次重复计算各子孔径光斑的 α 阶矩质心并得到对应的质心标准差, 以全部子孔径质心标准差均值小者所对应的阶数为优, 所筛选出的高阶矩质心算法, 相对于其它各阶矩质心算法, 能更有效地抑制噪声对质心计算精度的影响, 其质心测量的重复精度最优, 从而提高了波前重构精度。

附图说明

[0015] 图 1 为本发明的方法实现系统示意图;

[0016] 图 2 为本发明中哈特曼波前传感器质心探测的工作原理示意图。

具体实施方式

[0017] 搭建的系统平台满足以下条件: 标准平行光光源 1 出射的激光束垂直入射进哈特曼波前传感器, 这样可保证子孔径光斑处于近轴区, 避免串扰误差的影响。

[0018] 由于随机噪声的影响, 光电探测器阵列各象素得到的光电信号并不完全等于实际的光斑光强, 通常采用阈值法抑制噪声, 阈值的具体得出方法如下: 无入射光输入, 即标准平行光光源 1 不工作, 多次采集各象素输出的信号, 取第 (n, m) 个象素信号的平均就得到光电探测器阵列 3 第 (n, m) 个象素对应的阈值 I'_{nm} , 其中 $m = 1 \dots M$, $n = 1 \dots N$ 为子孔径映射到 CCD3 光敏靶面上对应的象素区域。

[0019] 标准平行光光源 1 工作时, 如图 1 所示, 出射的激光束经过微透镜阵列 2, 成像在光电探测器阵列 3 光敏靶面上形成光斑阵列并获得光电信号, 如图 2 所示; 此时采集的第 (n, m) 个象素输出的光电信号为 I''_{nm} , 则阈值处理后第 (n, m) 个象素的信号数据为:

$$[0020] I_{nm} = I''_{nm} - I'_{nm} \quad (1)$$

[0021] 采用 α 阶矩质心计算方法计算第 i 个子孔径的光斑的位置 $(x_{i,\alpha}, y_{i,\alpha})$:

$$[0022] \quad x_{i,\alpha} = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N x_{nm} I_{nm}^\alpha}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I_{nm}^\alpha}, \quad y_{i,\alpha} = \frac{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N y_{nm} I_{nm}^\alpha}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N I_{nm}^\alpha} \quad (2)$$

[0023] 其中, I_{nm}^α 为 I_{nm} 的 α 次幂, x_{nm} , y_{nm} 分别为第 (n, m) 个象素的 x 坐标和 y 坐标。

[0024] 实际操作过程中, 入射光不变, 由于噪声的影响, 多次测量将得到一组不同的 $(x_{i,\alpha,k}, y_{i,\alpha,k})$, 其中 $k = 1 \dots K$ 表示第 k 次测量。取各阶矩所算质心的标准差; 同时, 为避免单一子孔径可能出现的缺陷, 取全部孔径所算质心标准差的平均, 即建立的评价标准为

$$[0025] \quad S_\alpha = \frac{1}{N_A} \sum_{i=1}^{N_A} \left(\frac{1}{K-1} \sum_{k=1}^K (x_{i,\alpha,k} - \bar{x}_{i,\alpha})^2 \right)^{1/2} \quad (2)$$

[0026] 其中, N_A 为子孔径总数,

$$[0027] \quad \bar{x}_{i,\alpha} = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K x_{i,\alpha,k} \quad (3)$$

[0028] 不难看出, S_α 越小, 表示质心重复性越好, 精度越高。

[0029] 最后, 通过求出各阶质心算法所对应的 S_α , 找出对应 S_α 最小的阶数, 就完成了哈特曼波前传感器质心测量精度优化方法。

[0030] 实验验证: 求阈值时光电探测器阵列采集 30 次数据, 求取质心时计算次数 $K = 30$; 并且计算出了前 6 阶的 S_α , 其中, 传统一阶矩方法对应的 $S_1 = 0.018$, 经过优化方法得出优化阶数为三, 其对应的 $S_3 = 0.011$, 质心测量精度提高了接近一倍。

[0031] N_α 选取的依据: 实际操作时, 从 $\alpha = 1$ 开始逐次算出各阶 S_α , 优化阶数 α 的确定标准是 $S_{\alpha'+1}, S_{\alpha'+2}, \dots, S_{N_\alpha}$ 均大于 $S_{\alpha'}$ 。实验中选取前 6 阶, 就是因为在 S_3 为前 3 阶最小时, 验证了 S_4, S_5, S_6 均大于 S_3 。

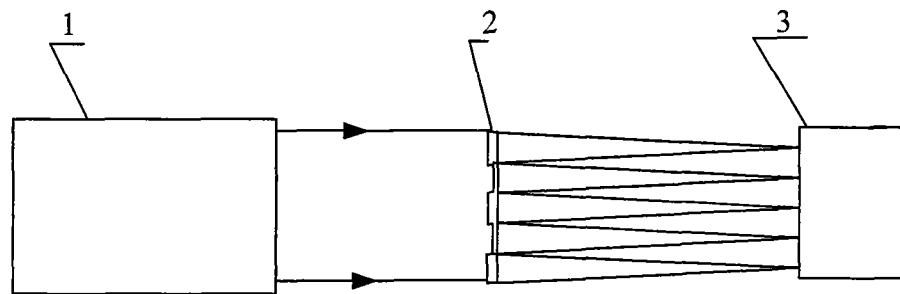


图 1

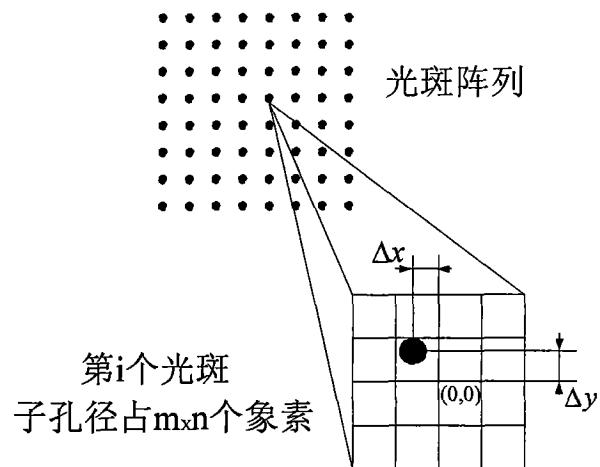


图 2