

文章编号 1004-924X(2010)07-1520-09

拼接镜主动光学共相实验

林旭东^{1,2}, 王建立¹, 刘欣悦¹, 杨 飞¹, 陈 涛¹

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033;

2. 中国科学院 研究生院, 北京 100039)

摘要:考虑拼接望远镜子镜之间保持共相位可使拼接镜达到衍射极限, 本文建立了一套主动光学实验系统来测量和调整拼接镜子镜之间的相位差和精度以实现子镜之间的共相位。拼接镜由 3 块正六边形球面子镜组成, 子镜对边长为 300 mm, 曲率半径为 2 000 mm。首先, 使用 Shack-Hartmann 传感器和高精度微位移平台使子镜之间精确共焦, 使用球径仪调整子镜之间的高度差到微米量级; 然后, 运用白光斐索干涉原理对子镜高度差进行调整; 最后, 运用子孔径衍射原理测量子镜之间的高度差, 并调整使其共相位。为了验证标定效果, 对光纤光束进行了成像实验, 受光纤直径的限制, 拼接镜上用于成像的口径为 100 mm。实验结果显示, 白光斐索干涉的测量精度优于 100 nm, 子孔径衍射的测量精度优于 16 nm, 共相位标定后, 系统能够实现衍射极限成像, 表明提出的方法适用于拼接望远镜的共相位标定。

关键词:望远镜; 拼接镜; 共相位; 白光斐索干涉; 子孔径衍射

中图分类号: TH751; TH703 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20101807.1520

Co-phase experiment of active optics for segmented-mirrors

LIN Xu-dong^{1,2}, WANG Jian-li¹, LIU Xin-yue¹, YANG Fei¹, CHEN Tao¹

(1. *Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics,*
Chinese Academy of Sciences, Changchun 130033, China;

2. *Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China*)

Abstract: The segmented telescope can realize the diffraction-limited imaging when segmented-mirrors are in co-phase. Therefore, an active optical experiment system was built to measure and adjust the phase difference between the two segmented mirrors. The segmented telescope is consists of three hexagonal segments with the side lengths of 300 mm and the radius of curvature of 2 000 mm. Firstly, a Shack-Hartmann sensor and high accuracy micro-positioning stages were used to make the segments co-focused in a high accuracy. Then, a spherometer was used to piston the phase difference between the two segments to a few micrometer level and the principle of white light Fizeau interferometry was utilized to adjust the phase difference. Finally, the sub-aperture diffraction method was taken to measure the phase difference and to piston the mirror to reduce the phase difference to near zero. To verify the calibration effects, an imaging experiment was carried out for an optical bundle, the experimental results show that the measurement accuracy of white light Fizeau interferometry is better than

收稿日期: 2009-11-19; 修订日期: 2010-01-16.

基金项目: 中国科学院三期创新工程资助项目

100 nm, and that of sub-aperture diffraction method is better than 16 nm, which demonstrates that the methods introduced are suitable for the co-phase calibration of segmented telescopes.

Key words: telescope; segmented mirror; cophase; white light Fizeau interferometry; sub-aperture diffraction

1 引言

拼接望远镜的子镜之间完全共相时的系统分辨率比完全不共相时的高 \sqrt{n} 倍(n 为拼接子镜的个数),但受大气视宁度的影响,实际地基望远镜在可见光波段却由于大气相干长度很短(小于子镜的尺寸),子镜之间的共相位基本上不能提高望远镜的分辨率;而在红外波段,由于大气相干长度较长(与整个拼接镜尺寸相当),这时子镜之间共相位的好坏直接决定了望远镜的性能。对于没有大气扰动的天基望远镜,或者是采用自适应光学消除掉大气影响的系统,在 $1\ \mu\text{m}$ 波段,即使是25 nm的相位误差也会对望远镜的调制传递函数产生很大的影响^[1],所以将子镜之间的相位差控制到一定小的范围对获得高性能的望远镜系统是很关键的。

望远镜工作过程中受温度和重力等因素的影响,子镜之间的共焦和共相位关系会发生改变,目前多采用主动光学系统来维持共焦和共相位的稳定。首先,通过高精度的位置传感器来获得子镜之间的位置改变信息,然后由高精度的微位移调整机构调整子镜的位置,使传感器的读数维持在子镜共焦、共相位标定好时的值。本实验主要研究共焦、共相位的标定技术,其中共焦标定已经在前期完成^[2](下文中所述的共焦调整方法可以使子镜的 tip/tilt 调整精度达到 $0.016''$,可以认为子镜相互之间的 tip/tilt 对共相影响很小。),本文主要讨论共相位标定技术。

目前测量子镜之间相位的光学方法有多种,如衍射技术^[3-4]、曲率传感技术^[5]、干涉测量技术^[6-7]、相位差异技术^[8-9]和 Pyramid 传感器技术^[10]等。衍射技术通过分析子镜相邻边缘某一区域的衍射图案来确定子镜之间的相位差。曲率传感技术通过对望远镜子镜所成的一对相同离焦量的焦前和焦后图像的强度差进行重构得到波

前,Cuevas(2000)已证明曲率信号确实包含了相对相位信息。干涉测量技术通过分析子镜共轭的平面内,或是子镜相邻区域内的干涉图来测量相位误差。相位差异技术是对从焦点和稍微离焦(要求离焦量很小且精确)图像的测量数据使用迭代算法来找到与该数据最匹配的光瞳面像差。Pyramid 波前传感技术是从底面为方形的棱锥所产生的图像信号中提取出相位信息,2001年 Espositoa 提出在拼接镜中应用 Pyramid 作波前传感器,数值仿真表明该传感器可以同时传感并控制各子镜的差分 piston, tip 和 tilt。

目前,两个正在运行的拼接望远镜(Keck I II 和 GTC 望远镜)都是采用衍射技术来获取子镜之间相位信息的,上述的其它方法都由于各自存在的一些难题,如干涉方法存在条纹抖动和 2π 的相位模糊问题,实际应用较少。

共相位标定初始时,拼接子镜之间的相位误差会很大,受到方法捕获范围的限制,上述各方法均不能直接应用,需要预先采取其它的方法使子镜之间的相位差减小。本文是先采用球径仪对子镜进行粗调整,之后利用白光斐索干涉原理调整子镜之间的相位差到较小的范围,最后再应用子孔径衍射的方法进行相位调整的。该方法可以使子镜的相位差由几十微米量级调整到十几纳米量级,达到较好的共相效果。

2 实验系统的组成

本系统的实验对象是3块对边长300 mm,曲率半径为2 000 mm的正六边形球面镜。其中1块子镜作为参考镜,只做手动调整;另外2块子镜下方分别安有3套大行程、高精度微位移平台,用于对子镜的共焦、共相位(本文所涉及的相位统一指相邻子镜表面之间的高度差,以区别于波前相位,波前相位是本文所述相位的2倍)做粗调和精调。图1所示为实验系统的照片,图2所示为光学系统排列图。图2中A、B部分交替使

用, A 部分用于共焦和子孔径衍射共相调整: 激光光源经针孔 P 滤波后作为系统的光源, 光线经过拼接镜 I 反射后, 一部分经透镜 IV 准直后进入 Shack-Hartmann 传感器, 用于对子镜之间的离焦量进行测量, 另一部分经透镜 VIII 准直后进入共相用的微透镜 (microlens) 阵列, 在 CCD 上面成衍射像, 用于对子镜之间的相位差进行测量。B 部分用于白光斐索干涉共相位调整, 由于现有的是 1 个光纤束, 所以本文用 1 个针孔来限制光束的大小, 白光光线经拼接镜反射后进入 CCD 干涉成像, 以此进行相位调整。



图 1 实验系统的相片

Fig. 1 Photograph of experiment system

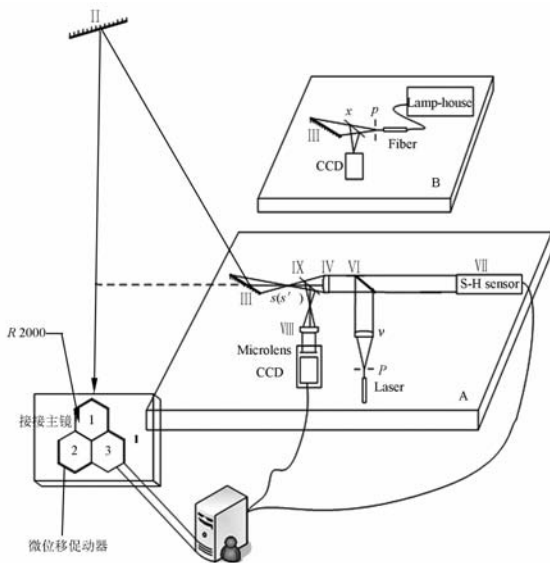


图 2 实验系统的光学排列图

Fig. 2 Optical layout of experiment system

实验中共焦用的 Shack-Hartmann 传感器性能参数已在参考文献 2 中有所描述。共相位用的子孔径阵列位于拼接镜的出瞳面上, 子孔径大小为 $1\ 000\ \mu\text{m}$, 焦距为 $36.7\ \text{mm}$, 子孔径带有平面

内的旋转和平移机构, 便于微透镜和拼接镜的对准。共相用的 CCD 像元尺寸为 $3.45\ \mu\text{m}$ 。

采用两级机构设计的大行程、高精度微位移平台可以对镜子实现 $25\ \text{mm}$ 行程、 $1\ \text{nm}$ 精度的调整。

3 共相位调整过程及原理

相位调整过程是根据测量范围和精度的不同依次进行的, 而且, 操作都是在 3 块子镜之间已经很好地共焦前提下进行的。

3.1 机械式调整

如果子镜之间的曲率半径相差在几个微米量级, 这个调节过程就可以略过。但是受到加工的限制, 子镜之间的曲率半径偏差一般很难做到这个量级, 为了方便下一步的操作, 有必要使用 1 个类似球径仪的机构对子镜之间的相位差做调整。

如图 3 所示, 球径仪的测量机构为电感式测微头, 测微头与 3 个支点确定 1 个球面。开始时, 如图 3(上图)所示, 将整个球径仪置于 1 块子镜上, 记录这时测微头的读数; 然后, 如图 3(下图)所示, 将测微头移到另 1 块子镜上, 而 3 个支点仍在原来的子镜上面, 记录这时测微头的读数, 2 次读数之差即为 2 块子镜之间的相位差。实验中, 以参考子镜为基准, 测量另外 2 块子镜与参考子镜之间的相位差, 并调整子镜下面的微位移平台, 使子镜之间的相位差为零。在共焦很好的情况下, 这个步骤一般进行的是微米级的调整, 调整精度可以达到 $1\sim 2\ \mu\text{m}$ 。

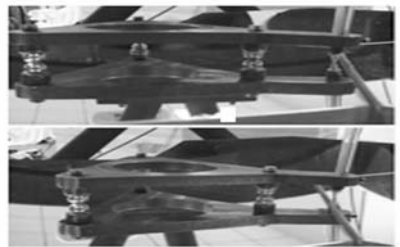


图 3 球径仪共相位标定

Fig. 3 Co-phase calibration by a spherometer

上述调整方法是接触式测量相位差, 如果不小心的话对镜子有损害。因此可以在镜子镀膜之前先测量子镜之间的相对曲率半径偏差^[11], 镀膜之后只要调整子镜使它们之间很好地倾斜和轴向

共焦,就可以按之前的测量值直接调整子镜的相位差,从而避免对镜子的损害。

如果这一过程的调整量比较大的话,那么有必要在进行下一步工作之前,再执行一下共焦操作。

下面介绍光学非接触式测量。子孔径的单色光衍射能够实现比较高精度的相位调整,但是它有半波长模糊问题^[3],为了解决该问题,参考文献^[3]介绍了在2个不同波长处分别测量相位差,再进行数据处理得到子镜之间精确相位差的方法。但是文献中也指出由于在2次测量之间子镜的相位差随时间漂移,会导致计算产生误差,影响精度。参考文献^[12]是先采用高精度($0.2\ \mu\text{m}$)球径仪使子镜之间的相位差落在子孔径单色光衍射方法的最小捕获范围之内($\pm\lambda/4$),之后再采用单缝(或子孔径)衍射的方法使子镜共相位。

本文利用了白光相干长度较短的特点,研究了白光斐索干涉在子镜共相位调整应用中的可行性,发现其可实现精度优于 $100\ \text{nm}$ 的相位调整,即可以把子镜之间的相位差调整到 $\pm\lambda/4$ 以内,从而解决了上述的半波长模糊问题。

3.2 白光斐索干涉调整

白光斐索干涉基于来自多个子光瞳的光线在像平面内能够直接干涉成像^[13]的原理,如图4所示。要使来自不同拼接子镜上面光瞳的光线能够干涉成像,子镜之间的相位差应该位于白光相干长度的一半以内。而白光的相干长度相对较短,在 $1\ \mu\text{m}$ 量级,所以为了便于观察到干涉条纹,先进行上一步的机械式调整还是有必要的。实验时拼接镜面用不透明的薄膜盖住,只留下2个直径为 D 的子光瞳,2个光瞳的圆心距为 B ,实验中, D 为 $18\ \text{mm}$, B 为 $30\ \text{mm}$ 。

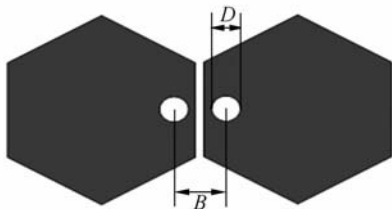


图4 白光斐索干涉的孔径掩模

Fig. 4 Aperture mask of white light Fizeau interferometry

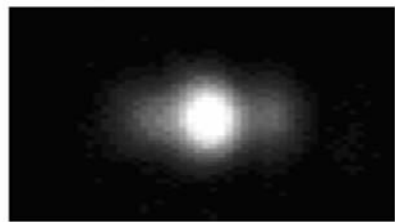
当2个子光瞳共相位时,像面上沿2个光瞳的连线方向就会产生白光干涉条纹,且观察到的

干涉条纹与2个子光瞳在同1块子镜上面时相同,零级条纹位于干涉图形的中间,如图5(a)所示(为了便于察看,本文给出的图形都是放大之后的效果)。当2个子光瞳之间有不大于相干长度一半的相位差时,仍然会产生干涉,但是一级干涉条纹的可见度就发生了变化,如图5(b)所示。当2个光瞳的相位差再变大时,2束光线就变得不相干,像面上就不能观察到干涉条纹,而仅仅是2个像斑的直接非相干叠加,如图5(c)所示。



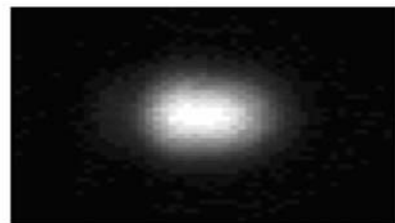
(a)两孔径共相时的干涉图

(a) Interferogram of two apertures in co-phase



(b)两孔径存在一定相位差时的干涉图

(b) Interferogram of two apertures with a small phase difference between them



(c)两孔径完全不共相时的干涉图

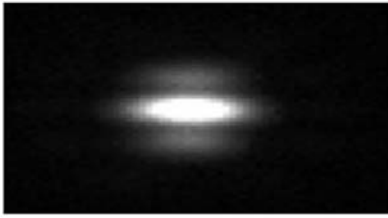
(c) Interferogram of two apertures in non-co-phase

图5 两孔径的干涉成像图

Fig. 5 Interferometric images of two apertures

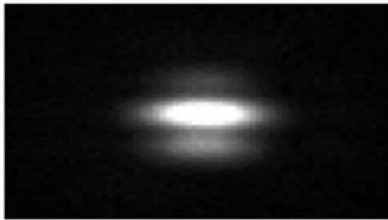
在机械式调整比较到位的情况下,是比较容易能够观测到干涉条纹的。实验开始时,试着调整1块子镜的piston,同时检查零级条纹和2个一级条纹的可见度,直到观察到比较清晰的零级条纹和2个一级条纹,且2个一级条纹的可见度

基本相同为止,这时 2 块子镜基本共相位,如图 6(a)所示;之后,分别向正负 2 个方向调整其中 1 块子镜的 piston 100 nm,可以看到一级条纹的可见度发生改变,分别如图 6(b)(c)所示。图 7 为对应 3 种情况的沿干涉方向中心线的光强的归一化曲线,其中 * 线为 2 块子镜基本共相位时的强度曲线;+ 线为 1 块子镜相对向下移动 100 nm (负方向)时的强度曲线;• 线为子镜相对向上移动 100 nm (正方向)时的强度曲线。强度图中顶端平的部分是由于饱和曝光。



(a) 子镜之间共相位时的干涉图

(a) Interferogram of two sub-mirrors in co-phase



(b) 子镜之间 +100 nm 相位差时的干涉图

(b) Interferogram of sub-mirrors with +100 nm phase difference



(c) 子镜之间 -100 nm 相位差时的干涉图

(c) Interferogram of sub-mirrors with -100 nm phase difference

图 6 子镜之间不同相位关系时的干涉图

Fig. 6 Interferometric images of sub-mirrors with different phase relations

从上面的调整过程可知,对于白光斐索干涉,只要根据干涉条纹的可见度进行判断,调整子镜

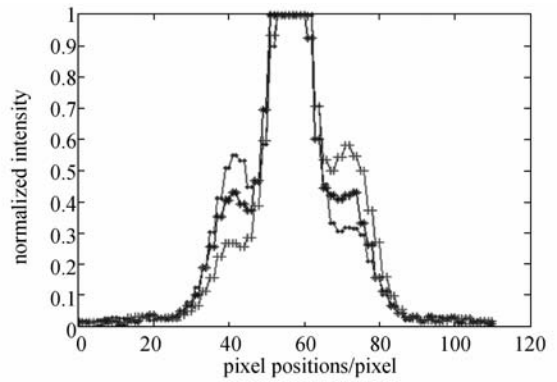


图 7 光强的归一化曲线

Fig. 7 Normalized curves of light intensity

之间的相位差到 ± 100 nm 是比较容易的。

在可见光波段内 100 nm 的调整精度远不能满足共相指标要求,而子孔径单色光衍射的衍射斑形状随相位差变化敏感^[14],可以达到较高的测量精度,所以本文采用子孔径衍射的方法进行共相位的精调整。

3.3 子孔径单色光衍射调整

这种方法基于子孔径衍射^[14]理论,本文对两种方法进行了实验验证。一种是在拼接子镜(即入瞳)的相邻边缘处留 1 个圆形的通光孔径,利用该圆形孔径的衍射来获取子镜的共相位信息;另一种是在拼接镜的出瞳处对应子镜的相邻边缘放置 1 个微透镜,利用该微透镜的衍射获取子镜的共相位信息。实验中的激光波长为 635 nm。

3.3.1 圆形孔径在入瞳

如图 8 所示,子镜用不透明的薄膜盖住,只留 1 个直径为 D (实验中 D 为 40 mm) 的圆形通光孔径。由于镜缝没有反射光线,所以实际的衍射斑是由类似于中间带挡光条的子孔径衍射形成的,它的衍射斑除了中心亮斑之外,还会有次级衍射斑。当子镜之间相位差为零(共相位),或为半个

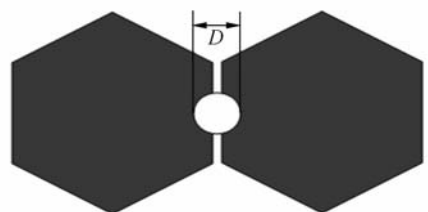
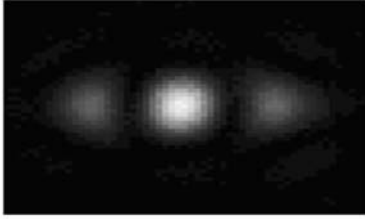


图 8 衍射共相的孔径掩模

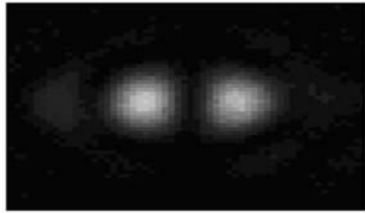
Fig. 8 Aperture mask of diffraction in co-phase

激光波长的整数倍时,沿垂直镜缝方向形成的衍射斑与圆孔位于 1 块子镜上面时相同,如图 9(a) 所示;当子镜有 $\lambda/4$ 的相位差时,形成的衍射斑如图 9(b) 所示。



(a) 两子镜共相位时的子孔径衍射

(a) Aperture diffraction of two sub-mirrors in co-phase



(b) 两子镜有 $\lambda/4$ 相位差时的子孔径衍射

(b) Aperture diffraction of two sub-mirrors with phase difference of $\lambda/4$

图 9 不同相位关系时的子孔径衍射

Fig. 9 Aperture diffraction in different phase relations

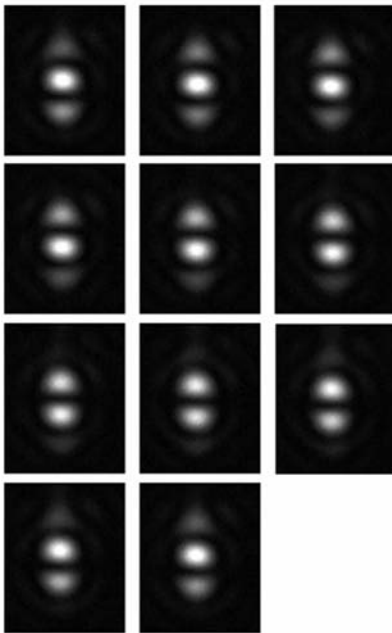


图 10 每次步进 $\lambda/20$ 时的子孔径衍射图案

Fig. 10 Diffraction images of split aperture with piston in $\lambda/20$ per step

图 10 是以两相邻子镜接近共相时为初始点,对其中的 1 块子镜向 1 个方向依次调整 piston 31 nm(调整 10 次,即约为半个波长)时得到的衍射斑图像,可见次级衍射斑的强度随 piston 的变化而改变。当继续沿该方向调整 piston,实验时可以观察到衍射斑重复出现,这也正是半波长模糊的结果。

3.3.2 圆形孔径在出瞳

为了验证微透镜的相位提取问题,如图 2 所示,实验在拼接镜的出瞳上面放置 1 个正六边形

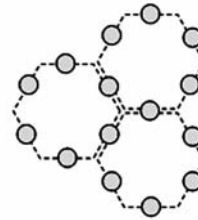


图 11 主镜像上的微透镜排列

Fig. 11 Geometry of microlens on images of primary mirrors

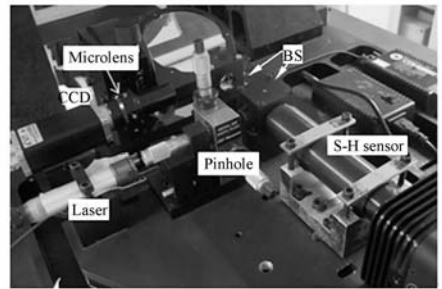


图 12 微透镜共相的光学排列图

Fig. 12 Optical layout of co-phase experiment by using microlens

的微透镜阵列,调整微透镜阵列的位置,使有微透镜与拼接镜的镜缝中心相对应,如图 11 所示。图 12 为对应图 2 A 部分的实物图。1 000 μm 的微透镜对应拼接镜上面直径 50 mm 的圆孔,这就省去了对镜子做遮掩的麻烦。同时,为了便于相位信息的提取,选用了大 f 数的微透镜,实验中,衍射斑在 CCD 上面约占 17 pixel \times 17 pixel 个像素。

实验结果表明,在微透镜与两镜缝的中心完好对准的情况下,其相位提取与入瞳上面的子孔径衍射是相同的。所以,在微透镜上面设置了平移和旋转调整机构,方便了上述的对准。

3.3.3 相位信息的提取

在用白光干涉成像方法把子镜之间的相位差调整到共相位的 $\pm 100\text{ nm}$ 之后,子镜之间相位差的提取就没有半波长模糊问题了。本文以半个波长内相位依次改变 $\lambda/20$ 得到的 11 幅衍射图案(如图 10)作为模板,把在白光干涉成像调整之后得到的子孔径衍射图案与模板分别做如下的相关运算:

$$r = \frac{\sum_i (x_i - \bar{x})(Y_i - \bar{y})}{\left[\sum_i (x_i - \bar{x})^2 \right]^{1/2} \left[\sum_i (y_i - \bar{y})^2 \right]^{1/2}}, \quad (1)$$

其中, r 表示相关系数, x_i 表示采集到的图案第 i 个像素的亮度值, y_i 表示模板图案的第 i 个像素的亮度值,上划线表示取平均。

相关系数最大的模板所对应的相位差可视为当前子镜之间的实际相位差,如图 13 所示,横坐标表示的是 11 幅模板所对应的相位差,单位为波长,纵坐标表示的是实验中一次实际测量的衍射斑与模板做相关运算得到的相关系数(用 $*$ 表示)。从图中可以看出,这种最大相关模板的方法存在量化误差,即实际子镜之间相位差在该模板表示的相位差的 $\pm \lambda/40$ (约 16 nm)之内进行相关运算,仍然会是该模板表现出最大的相关系数。这时采用对相关系数进行多项式插值拟合的方法(如图中的曲线所示)得到 1 个最大相关系数值(如图中的 \bullet 所示),将该相关系数对应的相位差视为实际的相位差,可以减小上述量化误差的影响。

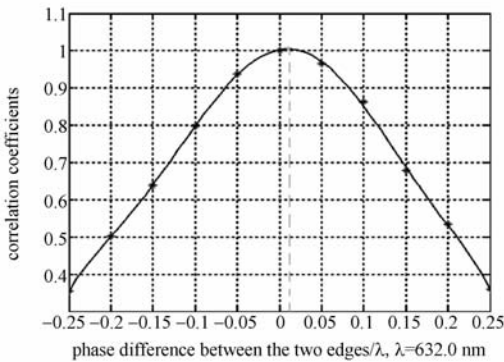


图 13 相关运算

Fig. 13 Correlation calculation

在提取出相位信息之后,就可以使用高精度微位移促动器调整子镜,使其之间达到共相位。

4 共相位成像验证

经过上述的调整过程之后,本文做了共相成像实验。由于现有光纤束中单根光纤直径的限制,因此在拼接镜上面取 1 个刚好能分辨每 1 根光纤的圆形孔径(直径约为 100 mm),其位于 3 块拼接镜的中心,该圆形孔径里面的每 1 块子镜的口径都不足以分辨单根光纤。理论上,只有在 3 块子镜共相位的情况下,才能成清晰光纤像,否则只会是 3 块子镜各自形成的模糊像的简单叠加。实际调整前后的图像分别如图 14、15 所示,其中图 14 的曝光时间是图 15 的 3 倍。

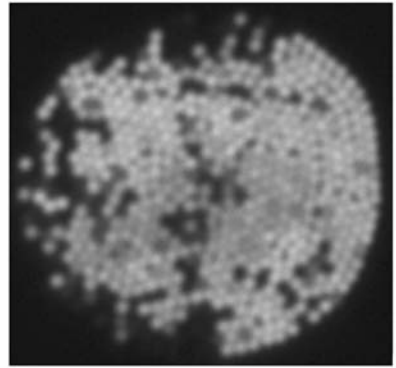


图 14 共相位调整之前的光纤束成像

Fig. 4 Fiber bundle imaging before co-phasing calibration

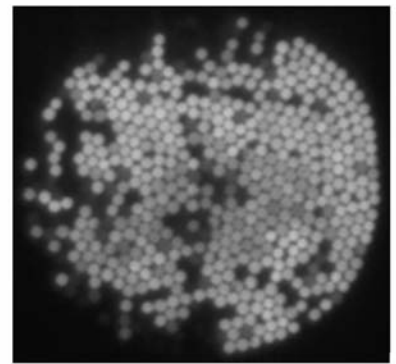


图 15 共相位调整之后的光纤束成像

Fig. 15 Fiber bundle imaging after co-phasing calibration

从共相位调整前后的成像对比可以看出,3 块子镜之间较好地实现了共相位,成像分辨率比不共相时明显提高。

5 结 论

本文从解决拼接子镜共相位测量、调整的实际问题出发,建立了1套主动光学实验系统,在子镜之间完好共焦的基础上,深入研究了子镜之间的共相问题。采用测量精度由粗到精,精一级的

测量范围大于粗一级的精度测量思想,依次利用球径仪、白光斐索干涉成像和子孔径衍射的方法,实现了把子镜之间的相位差从几十微米最终调整到优于16 nm误差范围,较好地实现了共相高分辨率成像。实验表明,该方法适合于拼接望远镜的共相位标定过程。

参考文献:

- [1] GARRY A C, MITCHELL T. Strehl ratio and modulation transfer function for segmented mirror telescopes as functions of segment phase error[J]. *Appl. Opt.*, 1999, 38:6642-6647.
- [2] 林旭东,陈涛,王建立,等. 拼接镜主动光学共焦试验[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(3):563-569.
LIN X D, CHEN T, WANG J L, *et al.*. Co-Focus experiment of segmented-mirror active optics [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(3): 563-569. (in Chinese)
- [3] GARRY A C, MITCHELL T, FRANK D, *et al.*. Phasing the mirror segments of the W. M. Keck Telescope: the broadband phasing algorithm [J]. *Appl. Opt.*, 1998, 37(1):140-155.
- [4] GARRY A C, OHARA G, TROY M. Phasing the mirror segments of the Keck telescopes II: the narrow-band phasing algorithm [J]. *App. Opt.*, 2000, 39:4706-4714.
- [5] ORLOV V G, CUEVAS S, GARFIAS F, *et al.*. Co-phasing of segmented mirror telescopes with curvature sensing [J]. *SPIE*, 2000, 4004:540-551.
- [6] HORTON R F, HUBBER E E, BERNOTAS L A, *et al.*. Absolute piston phasing of segmented-mirror optical systems using depth-modulated white-light interferometry [J]. *SPIE*, 1990, 1236:974-984.
- [7] DOHLEN K, DECORTIAT F, FRESNEAU F, *et al.*. Dual wavelength random-phase-shift interferometer for phasing large segmented primaries [J]. *SPIE*, 1998, 3352:551-559.
- [8] PAXMAN R G, FIENUP J R. Optical misalignment sensing and image reconstruction using phase diversity [J]. *Opt. Soc. Am.*, 1988, A5:914 - 922.
- [9] LOFDAHL M G, KENDRICK R L, HARWIT A, A phase diversity experiment to measure piston misalignment on the segmented primary mirror of the Keck II telescope [J]. *SPIE*, 1998, 3356: 1190-1201.
- [10] ESPOSITO S, PINNA E, TOZZI A, *et al.*. Co-phasing of segmented mirrors using the pyramid sensor [J]. *SPIE*, 2003, 5169:72-78.
- [11] 林旭东,陈涛,王建立,等. 球面拼接镜相对曲率半径测量[J]. *光学精密工程*, 2010, (4):191-197.
LIN X D, CHEN T, WANG J L, *et al.*. Relative radius of curvature metrology for spherical segmented mirrors [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, (4):191-197. (in Chinese)
- [12] ZOU W Y, New phasing algorithm for large segmented telescope mirrors [J]. *Opt. Eng.*, 2002, 41(9): 2338-2344.
- [13] WANG S Q, RAO CH H, JIANG W H, *et al.*. High-resolution imaging techniques based on Optical Synthetic Aperture [J]. *SPIE*, 2007, 6721:03-1-03-8.
- [14] GARRY A C, TERRY S M, JERRY E N, Phasing the mirror segments of the W. M. Keck Telescope [J]. *SPIE*, 1994, 2199: 622-637.

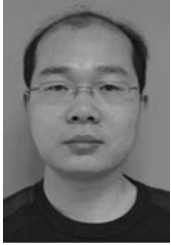
作者简介:



林旭东(1982—),男,福建莆田人,博士研究生,2005年于长春理工大学获得学士学位,主要从事主动光学技术的研究。E-mail:linxudong_82@126.com



刘欣悦(1973—),男,辽宁大连人,工学博士,副研究员,2006年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事图像处理与分析方面的研究。E-mail:sirliuxy@sina.com



杨飞(1982—),男,湖北天门人,助理研究员,硕士,2003年于哈尔滨工业大学获得学士学位,2009年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得硕士学位,主要从事大型光学仪器机构的设计。E-mail:yangflying@163.com

导师简介:



陈涛(1965—),男,内蒙古赤峰人,工学博士,研究员,博士生导师,2007年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事光电精密跟踪测量技术的研究。E-mail:chent@ciomp.ac.cn



王建立(1971—),男,山东曲阜人,工学博士,研究员,博士生导师,2002年于中科院长春光学精密机械与物理研究所获得博士学位,主要从事空间目标探测技术和地基高分辨率成像光电望远镜总体技术的研究。E-mail:wangjianli@ciomp.ac.cn

●下期预告

大视场云层分布定位的光电测量系统

王昊京^{1,2},王建立¹,王鸣浩^{1,2},阴玉梅¹,张艳辉¹

- (1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所,吉林 长春 130033;
2. 中国科学院 研究生院,北京 100039)

为获得空间目标监视设备上空适合观测的天区以提高使用效率和观测效率,并降低虚警率和系统遭受灾害天气而损害的可能性,需要实时监视观测站上空云层的位置分布。该系统采用以扁椭球折反射透镜组为核心的大视场光学设计,结合非制冷红外焦平面列阵探测器可以全天时采集天空云层图像;通过装有图像采集卡的计算机对采集的天空背景图像进行伪彩处理、图像修复等操作后,获得无云、薄云、厚云以及可清晰区分它们之间过渡区域的伪彩云层图像,并根据实验标定建立的空间角位置和像素的函数关系,给出云的分布位置信息。实验结果表明,该测量系统可以每5s输出一次高度角在 20° 以上的彩色云图,并计算出天空中云层的方位分布,定位精度约为 1° 。此系统可以实现云层分布的大视场定位测量,可以提高空间目标监视设备的效率。