

[19] 中华人民共和国国家知识产权局

[51] Int. Cl.

G01J 9/00 (2006.01)

G01M 11/02 (2006.01)



[12] 发明专利申请公布说明书

[21] 申请号 200910067352.8

[43] 公开日 2010年2月10日

[11] 公开号 CN 101644606A

[22] 申请日 2009.7.28

[21] 申请号 200910067352.8

[71] 申请人 中国科学院长春光学精密机械与物理研究所

地址 130033 吉林省长春市东南湖大路 3888 号

[72] 发明人 马冬梅 陈土泉 刘志祥 聂真威

[74] 专利代理机构 长春菁华专利商标代理事务所
代理人 赵炳仁

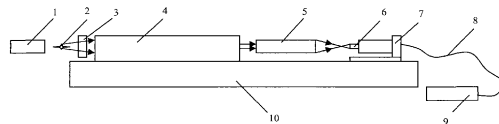
权利要求书 1 页 说明书 5 页 附图 2 页

[54] 发明名称

光学成像系统波相差的测试方法

[57] 摘要

本发明涉及对光学成像系统的成像质量进行精确测评的检测方法，特别是一种光学成像系统波相差的测试方法。被照明光源照亮的星点目标板发出的光经平行光管后成为平行光，被测试光学系统接收此平行光后在其光学系统的像面上形成星点目标板的图像，由所述的设有显微物镜摄像头的 CCD 像相机接收此图像后，经所述带有图像采集卡的计算机对图像进行采集，通过傅里叶变换计算和迭代算法实现由光学系统的星点图像获得波相差的数学分析与计算，使得光学系统的波相差复原，从而获得被测测试系统的波相差图。其测试结果准确性高、所需测试技术条件易于实现、测试成本低。



1. 一种光学成像系统波相差的测试方法，其特征在于，是通过在被测试光学系统 5 的两端、沿该被测试光学系统光轴设置的平行光管 4 和设有显微物镜摄像头 6 的 CCD 像机 7，设置在平行光管 4 的焦面上的星点目标板 2 及与 CCD 像机 7 相连接的带有图像采集卡的计算机 9 按以下方式测得被测试光学系统 5 的波相差：

被照明光源 1 照亮的星点目标板 2 发出的光经平行光管 4 后成为平行光；被测试光学系统 5 接收此平行光后在其光学系统的像面上形成星点目标板的图像；由所述的设有显微物镜摄像头 6 的 CCD 像机 7 接收此图像后，经所述带有图像采集卡的计算机 9 对图像进行采集；通过傅里叶变换计算和迭代算法实现由光学系统的星点图像获得波相差的数学分析与计算，使得光学系统的波相差复原，从而获得被测试系统的波相差图。

光学成像系统波相差的测试方法

技术领域

本发明涉及对光学成像系统的成像质量进行精确测评的一种测试光学系统波相差的方法。

背景技术

所谓光学系统的波相差是指光学成像系统的光学波面与理想波面的位相误差。光学系统的波相差可以真实与直观地表述光学成像系统的质量状态。通常情况下，通过对光学成像系统波相差的测试可对光学成像系统的成像质量进行精确测评，掌握光学成像系统内部部件所处状态，用于指导光学系统的加工与安装、调试。

对无穷远距离点目标成像的光学系统，在其焦平面（像面上）上所成的像表述了光学系统成像质量，这个点目标像在光学上称为点扩散函数（PSF）。在光学成像质量测评领域中，可以通过对 PSF 的采集与测试而获得光学系统的传递函数（OTF），进而实现对光学成像系统分辨能力的测评。

光学系统的波相差与点扩散函数、光学传递函数之间存在着数学变换关系，可通过傅立叶变换或自相关计算实现从光学系统波相差到点扩散函数和光学传递函数的变换。本发明就是通过测试获得的点扩散函数图像，经过数学计算分析而得到被测试光学系统的波相差，从而掌握光学系统调试状态，判断光学系统是否装调到位。

目前测试光学系统的波相差是通过采用干涉方法，由干涉仪、基准平面镜和被测试光学成像系统构成测试光路，通过自准方式实现对光学系统波相差的测试。

参见图 6，干涉仪测试光学成像系统的波相差测试过程，是由干涉仪 12

发出球面光波，球面光波的球心调试到被测试光学成像系统 5 像面上，球面光波通过被测试光学成像系统后转为平面波（平行光），此光束经平面反射镜 11 反射后，按原路返回，进入被测试光学成像系统 5，在被测试光学成像系统 5 后形成球面波，在其像面上会聚后进入干涉仪 12，与干涉仪 12 的基准光学波面干涉，产生干涉条纹，经过其内部图像采集、测试与计算系统处理后，给出被测试光学成像系统光学波像差。

这种方法的使用条件有一定的局限性。除了需要干涉仪外还要有相应口径面形良好的平面反射镜作为测试基准，因此，平面镜的面形质量将直接影响测试结果的准确性。对于口径 1 米~2 米、面形误差均方值小于 $\lambda/40$ ($\lambda=632.8\text{nm}$) 的平面基准镜在研制方面需要高成本，而且加工风险与检测难度极大，不易实现。

发明内容

本发明的目的是为克服目前惯用的干涉方法测试光学系统波相差存在的上述缺点，提出一种新型的光学成像系统波相差的测试方法，其测试结果准确性高、所需测试技术条件易于实现、测试成本低。

本发明光学成像系统波相差的测试方法，是通过在被测试光学系统的两端、沿该被测试光学系统光轴设置的平行光管和设有显微物镜摄像头的 CCD 像机，设置在平行光管的焦面上的星点目标板及与 CCD 像机相连接的带有图像采集卡的计算机按以下方式测得被测试光学系统的波相差：

被照明光源照亮的星点目标板发出的光经平行光管后成为平行光（模拟无穷远距离目标）；被测试光学系统接收此平行光后在其光学系统的像面上形成星点目标板的图像；由所述的设有显微物镜摄像头的 CCD 像机接收此图像后，经所述带有图像采集卡的计算机对图像进行采集；通过傅里叶变换计算和迭代算法实现由光学系统的星点图像获得波相差的数学分析与计算，使得光学系统的波相差复原，从而获得被测试系统的波相差图。

本发明是通过采集被测试光学成像系统对点目标所成图像，基于信息光学理论和位相复原方法经计算分析而获得光学系统的波相差。本测试方法的具有以下优点：

1. 测试成本低。在测试大口径光学成像系统波相差时，不需要相应口径的平面基准镜，所用设备为相应口径的平行光管。关键部件为口径与被测试光学系统口径匹配的主镜，其加工与检测与大口径的平面镜相比，在造价和难度上都大大降低，易于实现；同时一台相移干涉仪的产品价格（约 100 万元）远远高于星点图象采集分析系统的价格（约 30 万元）。

2. 测试效率高。采用本发明方法测试系统，在测试光学系统波相差的同时，还可以实现光学系统分辨率、焦距和传递函数等光学系统主要技术指标的测试。当把平行光管焦面上的点目标板更换为分辨率目标板时可测试光学系统的分辨率；当把平行光管焦面上的点目标板更换为分划板时可测试光学系统的焦距；而用星点目标或狭缝目标时可以测试光学系统的传递函数，因此，大幅度提高检测效率。

3. 测试波段广。由于干涉仪所采用的测量原理限制所使用的测试光源波段只能为某一单波段，以便产生干涉图；而本发明测试波段可通过在平行光管目标板附近加用不同波段的滤光片而实现多波段的选择，这种功能更能满足测评光学成像系统实际使用情况的需要。

附图说明

图 1 是本发明测试方法的原理示意图；

图 2 是 CCD 像机采集到的星点（PSF）原始图片；

图 3 是经平滑、去噪声处理后的星点图片；

图 4 是由星点图经过位相复原方法获得的光学系统波相差图片；

图 5 是由光学系统波相差图获得的干涉图片；

图 6 是目前干涉法测试光学系统波相差的原理示意图。

具体实施方式

以下结合附图给出的实施例对本发明方法作进一步详细说明。

对一种光学成像系统波相差的测试方法。

参照图 1，将被测试光学成像系统 5 放置在一光学稳定平台 10 上，通过在被测试光学系统 5 的两端、沿该被测试光学系统光轴设置的平行光管 4 和设有显微物镜摄像头 6 的 CCD 像机 7，在平行光管 4 的焦面上设置一由照明光源 1 照亮的星点目标板 2，在星点目标板 2 和平行光管 4 之间设置一与欲测试波段相应的滤光片 3，通过数据信号传输线 8 与 CCD 像机 7 相连接的带有图像采集卡的计算机 9 构成的测试系统，按以下方式测得被测试光学系统 5 的波相差：

被照明光源 1 照亮的星点目标板 2 发出的光经滤光片 3、平行光管 4 后成为平行光（模拟无穷远距离目标）射出；被测试光学系统 5 接收此平行光后在其光学系统的像面上形成星点目标板的图像；所述的设有显微物镜摄像头 6 的 CCD 像机 7 接收此图像后把光信号转变为电信号，经由数据信号传输线 8 把电信号传输给带有图像采集卡的计算机 9，计算机 9 对原始图像（如图 2 所示）通过相应的图像处理得到星点图像（如图 3 所示）；然后经过位相复原计算软件对该星点图像的信息进行分析计算，最终给出被测试光学系统的波相差图象和数据信息（如图 4、图 5 所示）。

所述位相复原计算软件采用公式：

光学系统的光瞳函数与振幅点扩散函数是傅立叶变换关系，一般用如下公式表示：

$$ASF(x, y) = \iint P(x', y') \exp[-2\pi i(xx' + yy')] dx' dy' \dots\dots\dots(1)$$

其中 $ASF(x, y)$ 为振幅点扩散函数， $P(x', y')$ 为光瞳函数。

$$\text{而 } P(x', y') = A(x', y') \exp[ikW(x', y')] \dots\dots\dots(2)$$

$A(x, y)$ 为光瞳函数的振幅部分，是光瞳形状函数，在通光孔径内取 1，通

光孔径外为零； $k = 2\pi / \lambda$, $W(x', y')$ 为光学系统的波相差。

$$\text{而 } PSF(x, y) = ASF(x, y) \times ASF^*(x, y) = |ASF(x, y)|^2 \dots\dots\dots(3)$$

因此，可以根据已知的 $PSF(x, y)$ 即星点图和 (1)、(2)、(3) 式采用傅里叶变换方法和迭代方法实现由 $PSF(x, y) \rightarrow ASF(x, y) \rightarrow P(x', y') \rightarrow W(x', y')$ 的数学分析与计算，使得光学系统的波相差 $W(x', y')$ 复原。

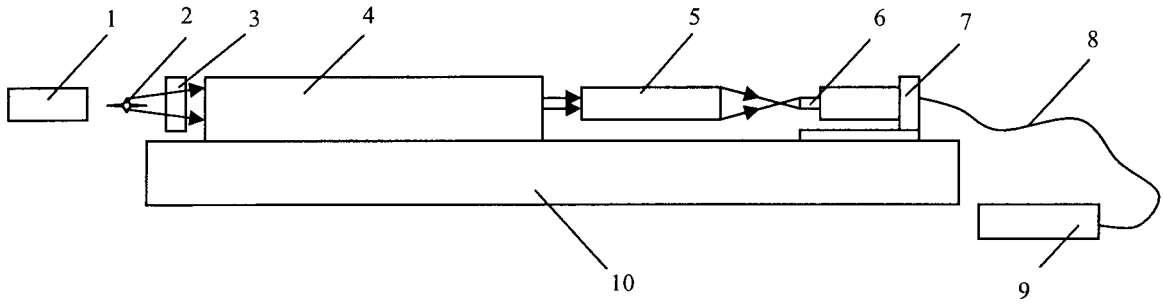


图 1

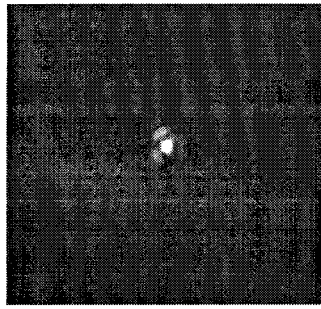


图 2

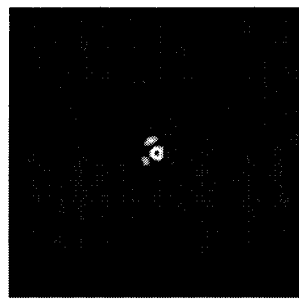


图 3

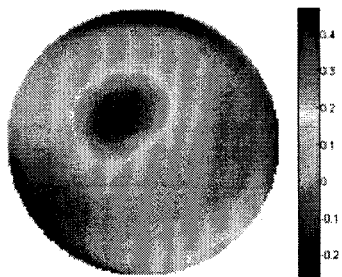


图 4

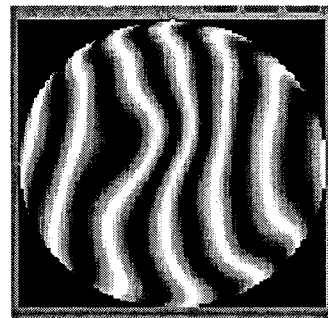


图 5

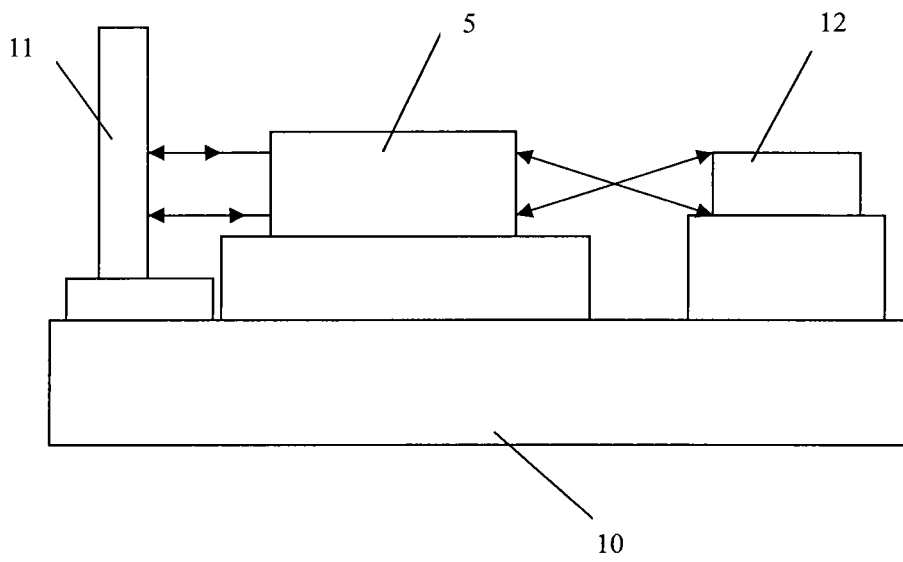


图 6