



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 108020179 B

(45)授权公告日 2019.11.05

(21)申请号 201711452067.9

审查员 庞尔江

(22)申请日 2017.12.28

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 108020179 A

(43)申请公布日 2018.05.11

(73)专利权人 西安应用光学研究所

地址 710065 陕西省西安市雁塔区电子三路  
路西段九号

(72)发明人 于东钰 黎高平 吴磊 桑鹏

阴万宏 李四维 吕春莉

(74)专利代理机构 西北工业大学专利中心

61204

代理人 陈星

(51)Int.Cl.

G01B 11/26(2006.01)

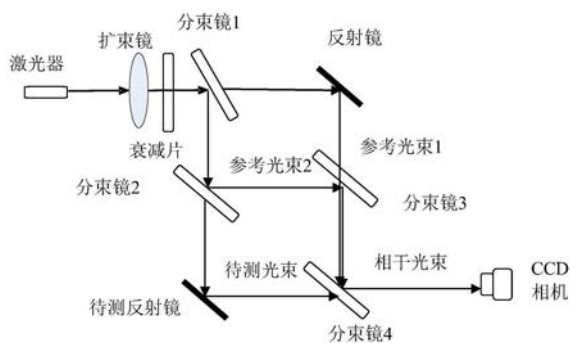
权利要求书1页 说明书3页 附图1页

(54)发明名称

一种高精度角度测量装置及方法

(57)摘要

本发明提出一种高精度角度测量装置及方法,激光光源经扩束镜和衰减片后成为扩束平行激光;扩束平行激光经过第一分束镜、反射镜、第三分束镜、第四分束镜,形成第一参考光束;扩束平行激光经过第一分束镜、第二分束镜、第三分束镜、第四分束镜,形成第二参考光束;扩束平行激光经过第一分束镜、第二分束镜、待测反射镜、第四分束镜,形成待测光束;第一参考光束、第二参考光束、待测光束在CCD相机像面上相干叠加产生干涉图,并输入图像处理系统。本发明通过测量激光干涉光斑的位置信息,并将位置信息进行线性拟合,通过计算直线距离的变化量,计算出入射激光的角度变化。在相同测量精度下,该方法避免了对距离的苛刻要求,为高精度角度测量设备小型化提供一种方法。



CN 108020179 B

1. 一种高精度角度测量装置,其特征在于:包括激光光源、扩束镜、衰减片、分束镜、反射镜、待测反射镜、CCD相机与图像处理系统;

激光光源经扩束镜和衰减片后成为扩束平行激光;

扩束平行激光经过第一分束镜、反射镜、第三分束镜、第四分束镜,形成第一参考光束;

扩束平行激光经过第一分束镜、第二分束镜、第三分束镜、第四分束镜,形成第二参考光束;

扩束平行激光经过第一分束镜、第二分束镜、待测反射镜、第四分束镜,形成待测光束;

在测量过程的一个阶段,第一参考光束、第二参考光束、待测光束在CCD相机像面上相干叠加产生干涉图,并输入图像处理系统;在测量过程的另一阶段,第一参考光束或第二参考光束与待测光束在CCD相机像面上相干叠加产生干涉图,并输入图像处理系统。

2. 根据权利要求1所述一种高精度角度测量装置,其特征在于:各个分束镜与入射光束成 $45^\circ$ 夹角,反射镜与入射光束所成夹角不等于 $45^\circ$ ,待测反射镜与入射光束所成夹角不等于 $45^\circ$ 。

3. 根据权利要求2所述一种高精度角度测量装置,其特征在于:反射镜与入射光束所成夹角在 $45^\circ \pm 10'$ 范围内,且不等于 $45^\circ$ ;待测反射镜与入射光束所成夹角在 $45^\circ \pm 10'$ 范围内,且不等于 $45^\circ$ 。

4. 利用权利要求1所述测量装置,进行高精度角度测量的方法,其特征在于:包括以下步骤:

步骤1:点亮激光光源,打开CCD相机与图像处理系统;固定待测反射镜,通过调节第一分束镜、第二分束镜、第三分束镜、第四分束镜、反射镜使第一参考光束、第二参考光束、待测光束在CCD上产生干涉形成第一斑状干涉图;

步骤2:待测反射镜发生小角度偏移,其它元件不动,得到第一参考光束、第二参考光束、待测光束在CCD上产生干涉形成第二斑状干涉图;

步骤3:遮住一路参考光束,另一路参考光束与待测光束在CCD上形成的条纹干涉图;

步骤4:利用质心法找出步骤1产生的第一斑状干涉图中所有光斑的质心坐标 $(x_{1i}, y_{1i})$ ,以及步骤2产生的第二斑状干涉图中所有光斑的质心坐标 $(x_{2i}, y_{2i})$ ;

步骤5:按照步骤3产生的条纹干涉图的条纹方向,对第一斑状干涉图中对应于同一条纹的质心坐标进行线性拟合,得到若干直线,并计算相邻两条直线之间距离的平均值 $D_a$ ;对第二斑状干涉图中对应于同一条纹的质心坐标进行线性拟合,得到若干直线,并计算相邻两条直线之间距离的平均值 $D_b$ ;

步骤6:按如下方法计算步骤2中待测反射镜的角度变化:

步骤6.1:计算空间频率变化值: $\Delta f = \frac{1}{\gamma \cdot D_a} - \frac{1}{\gamma \cdot D_b}$ ,其中 $\gamma$ 为像元尺寸;

步骤6.2:计算角度变化值: $\Delta \beta = \Delta f \cdot \lambda$ ,其中 $\lambda$ 为所用激光波长。

## 一种高精度角度测量装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于光学计量领域,主要涉及小角度变化的高精度角度测量装置及方法。

### 背景技术

[0002] 随着技术的发展,亚微弧度角度测量,已经成为许多高精尖技术迫切需要解决的重要问题。现多采用平行光管法或四象限法,使用平行光管法测量精度高,但是设备笨重,环境要求高,调节困难。例如测量亚微弧度角度物镜焦距须到达2m,需要占用大量空间。四象限法位置的灵敏度高,假设从反射镜到达四象限探测器距离为2.5m,该方法的灵敏度达到 $1\mu\text{rad}$ 。但是由于激光光斑不是均匀分布的矩形光斑,因此四象限差动放大输出值和激光光斑位置呈非线性,而且由于非高斯杂散光存在,因此四象限法不适合高精度定量测量,而且激光反射到四象限探测器表面的初始位置非常难调,使用不方便。

[0003] 国外在2012年optical&Laser Technology发表了《Application of the Fourier analysis methods to the three beam interferometry》提出利用傅利叶分析三光干涉方法对小角度量进行测量,由激光器偏振片分束镜相机组成。对形成的相干图像进行傅利叶分析并对分析的结果进行进一步计算得到角度变化。现阶段相机像元最小为 $10\mu\text{m}$ 左右,由于相机像元无法做到无限小,所以图像的空间采样率比较低导致傅利叶变换得到的空间频率精度较低,从而计算出来的角度误差大。

### 发明内容

[0004] 为解决现有技术存在的问题,本发明提出一种高精度角度测量装置及方法,在实现小型化测量装置的同时满足亚微弧度角度的测量精度,适合于现场测试。

[0005] 本发明的技术方案为:

[0006] 所述一种高精度角度测量装置,其特征在于:包括激光光源、扩束镜、衰减片、分束镜、反射镜、待测反射镜、CCD相机与图像处理系统;

[0007] 激光光源经扩束镜和衰减片后成为扩束平行激光;

[0008] 扩束平行激光经过第一分束镜1、反射镜、第三分束镜3、第四分束镜4,在相机上形成第一参考光束1;

[0009] 扩束平行激光经过第一分束镜1、第二分束镜2、第三分束镜3、第四分束镜4,在相机上形成第二参考光束2;

[0010] 扩束平行激光经过第一分束镜1、第二分束镜2、待测反射镜、第四分束镜4,在相机上形成待测光束;

[0011] 第一参考光束1、第二参考光束2、待测光束在CCD相机像面上相干叠加产生干涉图,并输入图像处理系统。

[0012] 进一步的优选方案,所述一种高精度角度测量装置,其特征在于:各个分束镜与入射光束成 $45^\circ$ 夹角,反射镜与入射光束所成夹角不等于 $45^\circ$ ,待测反射镜与入射光束所成夹角不等于 $45^\circ$ 。

[0013] 进一步的优选方案,所述一种高精度角度测量装置,其特征在于:反射镜与入射光束所成夹角在 $45^{\circ} \pm 10'$ 范围内,且不等于 $45^{\circ}$ ;待测反射镜与入射光束所成夹角在 $45^{\circ} \pm 10'$ 范围内,且不等于 $45^{\circ}$ 。

[0014] 第一参考光束1、第二参考光束2、待测光束在CCD相机像面上相干叠加产生干涉图2所示,第二参考光束2与待测光束,或第一参考光束1与待测光束,在CCD上形成的干涉图如图3所示。利用质心法找出干涉图2中所有光斑的质心坐标,按干涉图3的条纹方向进行线性拟合,计算相邻两条直线之间的垂直距离,进而可准确的计算出待测平面镜的角度变化。

[0015] 基于上述原理,利用上述测量装置,进行高精度角度测量的方法,其特征在于:包括以下步骤:

[0016] 步骤1:点亮激光光源,打开CCD相机与图像处理系统;固定待测反射镜,通过调节第一分束镜1、第二分束镜2、第三分束镜3、第四分束镜4、反射镜使第一参考光束1、第二参考光束2、待测光束在CCD上产生干涉形成第一斑状干涉图1;

[0017] 步骤2:待测反射镜发生小角度偏移,其它元件不动,得到第一参考光束1、第二参考光束2、待测光束在CCD上产生干涉形成第二斑状干涉图2;

[0018] 步骤3:遮住一路参考光束,另一路参考光束与待测光束在CCD上形成的条纹干涉图3;

[0019] 步骤4:利用质心法找出步骤1产生的第一斑状干涉图1中所有光斑的质心坐标 $(x_{1i}, y_{1i})$ ,以及步骤2产生的第二斑状干涉图2中所有光斑的质心坐标 $(x_{2i}, y_{2i})$ ;

[0020] 步骤5:按照步骤3产生的条纹干涉图3的条纹方向,对第一斑状干涉图1中对应于同一条纹的质心坐标进行线性拟合,得到若干直线,并计算相邻两条直线之间距离的平均值 $D_a$ ;对第二斑状干涉图2中对应于同一条纹的质心坐标进行线性拟合,得到若干直线,并计算相邻两条直线之间距离的平均值 $D_b$ ;

[0021] 步骤6:按如下方法计算步骤2中待测反射镜的角度变化:

[0022] 步骤6.1:计算空间频率变化值: $\Delta f = \frac{1}{\gamma \cdot D_a} - \frac{1}{\gamma \cdot D_b}$ ,其中 $\gamma$ 为像元尺寸;

[0023] 步骤6.2:计算角度变化值: $\Delta \beta = \Delta f \cdot \lambda$ ,其中 $\lambda$ 为所用激光波长。

[0024] 有益效果

[0025] 本发明通过测量激光干涉光斑的位置信息,并将位置信息进行线性拟合,通过计算直线距离的变化量,巧妙的计算出入射激光的角度变化。在相同测量精度下,相比于使用光管法测量角度,该方法避免了对距离的苛刻要求,为高精度角度测量设备小型化提供一种方法。

## 附图说明

[0026] 图1一种高精度角度测量的测量方法示意图。

[0027] 图2高精度角度测量的三束激光干涉图。

[0028] 图3高精度角度测量中的两束激光干涉图。

## 具体实施方式

[0029] 为了进一步揭示本发明,下面结合附图及优选实施例对本发明作进一步的描述。

[0030] 如图1所示,本实施例中的高精度角度测量的测量方法包括激光光源、扩束镜、衰减片、分束镜、反射镜、待测反射镜、CCD和图像记录与处理系统;待测反射镜安装于有角度变化的设备上;经过各个分束镜和反射镜形成的三个激光束近乎平行,最终入射到CCD相机上。

[0031] 如图1所示,将632.8nm激光光源放置于扩束镜前方,调节扩束镜与激光器的位置使其输出近似的平面光。在光源后面10mm处放置衰减器,各个分束镜及反射镜安放位置如图1所示,各个镜子近乎平行且相互间隔50cm。调整激光器、扩束镜、分束镜、反射镜CCD摄像机之间的相对高度使三者共光轴。CCD摄像机与图像记录与处理系统相连。

[0032] 利用上述装置进行高精度角度测量步骤为:

[0033] 步骤1:点亮激光光源,打开CCD相机与图像处理系统;固定待测反射镜,通过调节第一分束镜1、第二分束镜2、第三分束镜3、第四分束镜4、反射镜使第一参考光束1、第二参考光束2、待测光束在CCD上产生干涉形成第一斑状干涉图1;

[0034] 步骤2:待测反射镜发生小角度偏移,其它元件不动,得到第一参考光束1、第二参考光束2、待测光束在CCD上产生干涉形成第二斑状干涉图2;

[0035] 步骤3:遮住一路参考光束,另一路参考光束与待测光束在CCD上形成的条纹干涉图3;

[0036] 步骤4:利用质心法找出步骤1产生的第一斑状干涉图1中所有光斑的质心坐标 $(x_{1i}, y_{1i})$ ,以及步骤2产生的第二斑状干涉图2中所有光斑的质心坐标 $(x_{2i}, y_{2i})$ ;

[0037] 步骤5:按照步骤3产生的条纹干涉图3的条纹方向,对第一斑状干涉图1中对应于同一条纹的质心坐标进行线性拟合,得到直线 $l_{a1}: y_{a1} = kx_{a1} + c_{a1}$ 、 $l_{a2}: y_{a2} = kx_{a2} + c_{a2}$ 、 $l_{a3}: y_{a3} = kx_{a3} + c_{a3} \dots$ ,并计算相邻两条直线之间距离的平均值 $D_a$ ;对第二斑状干涉图2中对应于同一条纹的质心坐标进行线性拟合,得到直线 $L_{b1}: y_{b1} = Kx_{b1} + C_{b1}$ 、 $L_{b2}: y_{b2} = Kx_{b2} + C_{b2}$ 、 $L_{b3}: y_{b3} = Kx_{b3} + C_{b3} \dots$ ,并计算相邻两条直线之间距离的平均值 $D_b$ ;

[0038] 步骤6:按如下方法计算步骤2中待测反射镜的角度变化:

[0039] 步骤6.1:计算空间频率变化值: $\Delta f = \frac{1}{\gamma \cdot D_a} - \frac{1}{\gamma \cdot D_b}$ ,其中 $\gamma$ 为像元尺寸;

[0040] 步骤6.2:计算角度变化值: $\Delta \beta = \Delta f \cdot \lambda$ ,其中 $\lambda$ 为所用激光波长632.8nm。

[0041] 本发明利用三束激光干涉的方法对小角度得变化量进行测量,通过计算找出干涉光斑质心,按照特定方向进行线性拟合,最后通过相邻两直线之间的距离变化计算出待测反射镜的角度变化。该方法具有占用空间小、方法简单、测量精度高、应用前景广的特点。

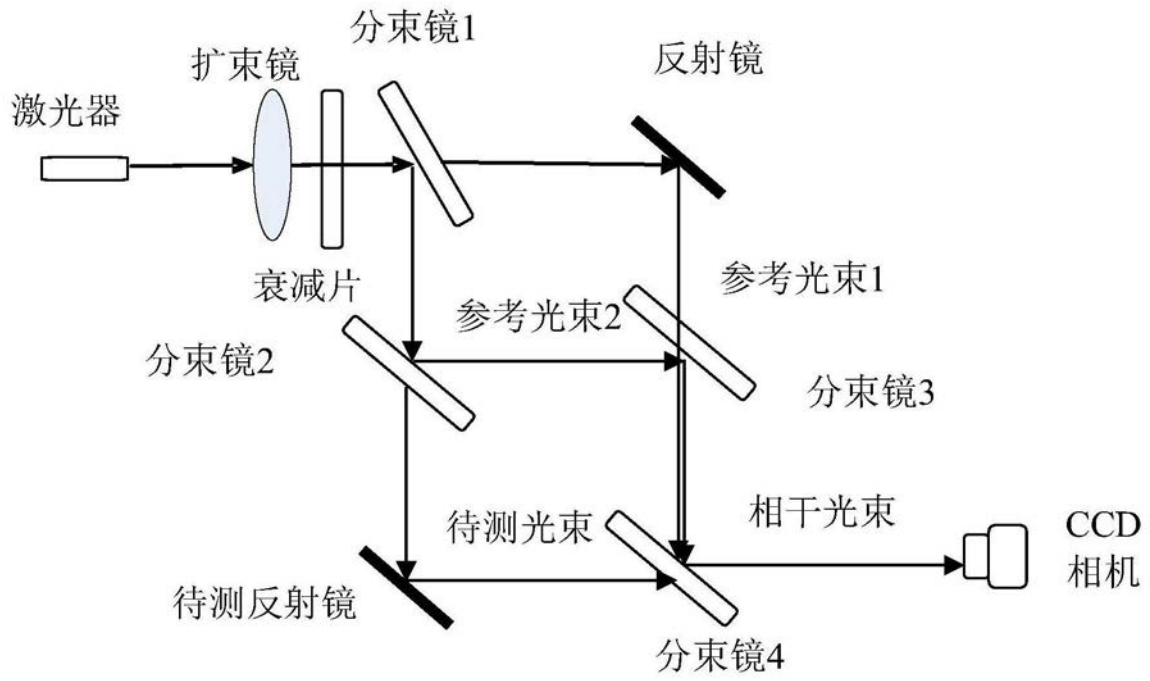


图1

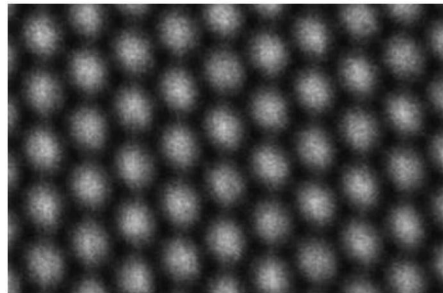


图2



图3