(19)中华人民共和国国家知识产权局

(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 103868472 A
(43)申请公布日 2014.06.18

(21)申请号 201310717211.2

(22)申请日 2013.12.23

(71)申请人 黑龙江科技大学
地址 150027 黑龙江省哈尔滨市松北区浦源路2468号

(72)发明人 何万涛 郭延艳 车向前 马鹤瑶 孟祥林 刘丹丹 赵灿 程俊廷

(51)Int.Cl.
G01B 11/25(2006.01)

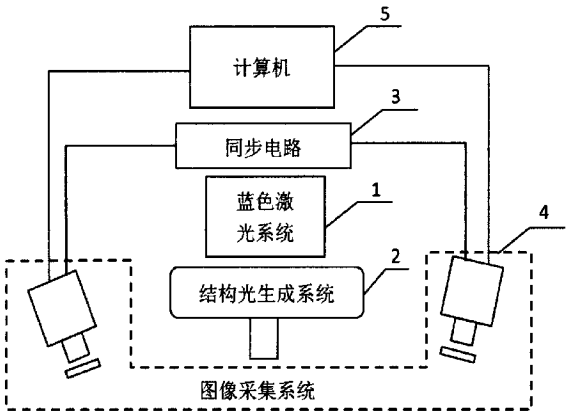
权利要求书2页 说明书7页 附图3页

(54)发明名称

一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置与方法

(57)摘要

一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置与方法，涉及三维光学测量领域，是为了解决现有装置的结构复杂导致体积大、测量速度慢的问题。本发明装置包括蓝色激光光源系统、结构光图案生成系统、同步控制电路、图像采集系统和计算机。该装置具有体积小、重量轻、投射速度快等优点。本发明方法通过投射随机或伪随机编码图案，正和反两组呈周期变化的黑白条纹图案，有效抑制零件表面的局部镜面反射、互反射和方向反射等现象，快速实现左右相机拍摄的两幅图像亚像素点匹配，完成高反射率零件的高效测量。本发明适用于高反射率零件的面结构光三维测量。



CN 103868472 A

1. 一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置，其特征是：它包括蓝色激光系统(1)、结构光生成系统(2)、同步电路(3)、图像采集系统(4)和计算机(5)；

蓝色激光系统(1)包括激光二极管驱动电路(21)、一号蓝色激光模组(22)、二号蓝色激光模组(23)、反光镜(24)、汇聚透镜(25)和扩散片组(26)；

结构光生成系统(2)包括伺服马达(27)、带有图案的圆形光栅片(28)和聚焦镜头(29)；

一号蓝色激光模组(22)竖直设置，二号蓝色激光模组(23)水平设置；

蓝色激光系统(1)经一号蓝色激光模组(22)发出的水平方向的光直接投射至汇聚透镜(25)；

蓝色激光系统(1)经二号蓝色激光模组(23)发出的竖直方向的光投射至反射至反光镜组(24)，反射纸汇聚透镜(25)，经所述汇聚透镜将一号蓝色激光模组(22)和二号蓝色激光模组(23)发出的光线会聚至扩散片组(26)；经所述扩散片组(26)经两次扩散至带有图案的圆形光栅片(28)，经带有图案的圆形光栅片(28)透射至聚焦镜头(29)，并经聚焦镜头(29)聚焦至待测零件上；

伺服马达(27)带动带有图案的圆形光栅片(28)转动；

图像采集系统(4)包括两个CCD相机和两块蓝光滤光片，所述两块蓝光滤光片分别设置在两个CCD相机的镜头上；所述两个CCD相机均用于采集待测零件的图像；

同步电路(3)用于控制两个CCD相机作同步采集；

所述两个CCD相机的图像信号输出端与计算机(5)的两个图像信号输入端连接。

2. 根据权利要求1所述的一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置，其特征在于带有图案的圆形光栅片(28)上带有三幅图案，第一幅图案为二维随机编码图案或二维伪随机编码图案；第二幅图案为周期性黑白条纹组成的条纹图案；第三幅图案为与第二幅图案的镜像图案。

3. 根据权利要求2所述的一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置，其特征在于带有图案的圆形光栅片(28)上的三幅图案均布在圆形光栅片的圆周上。

4. 根据权利要求2所述的一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置，其特征在于一号蓝色激光模组(22)和二号蓝色激光模组(23)均包括M个蓝色激光二级管，M个蓝色激光二级管之间并联。

5. 基于权利要求2所述的一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置的测量方法，其特征是：它由以下步骤实现：

步骤一、采用伺服马达(27)带动带有图案的圆形光栅片(28)旋转，将第一幅图案投射到待测零件上，通过图像采集系统中的两个CCD相机采集待测零件上的图案，并分别将该图案输入至计算机；

步骤二、采用计算机对两个CCD相机采集的图案进行处理，通过左、右图像的编码一致性确定左右两幅图像的对应区域；

步骤三、采用伺服马达(27)带动带有图案的圆形光栅片(28)旋转，将第二幅图案和第三幅图像先后投射到待测零件上，通过图像采集系统中的两个CCD相机采集待测零件上的图案，并分别将该图案输入至计算机；

步骤四、采用计算机对两个CCD相机采集的图案进行处理，获得左、右CCD相机条纹的

位置，并通过步骤二获得的对应区域确定步骤三获得的条纹的位置的对应区域；

步骤五、对两个 CCD 相机采集的第二幅图案和第三幅图案进行处理，对两幅图像分别进行边缘检测，通过求解边缘交点及极线约束来对左、右相机的对应点进行亚像素匹配；

步骤六、利用步骤五中的亚像素匹配点，通过三角测量原理和已经标定好的 CCD 相机内外参数计算待测零件的三维坐标，完成高反射率零件的面结构光三维测量。

一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置与方法

技术领域

[0001] 本发明涉及三维光学测量领域，具体涉及一种应用面结构光对表面存在镜面反射、方向反射的金属和非金属零件实现无涂覆光学三维测量装置与方法。

背景技术

[0002] 随着计算机和电子信息技术的飞速发展，面结构光三维测量技术日趋成熟。由于面结构光测量技术具有非接触、测量速度快、精度高等特点。目前在产品质量检测、逆向工程等领域得到了广泛的应用。但是在对精加工的金属原色表面零件进行测量时，当面结构光投射到零件表面时，在其表面产生的局部镜面反射、互反射会造成图像传感器过饱和，而方向反射会造成所拍摄图像特征过暗，噪声过大等问题，使得测量精度下降，甚至无法进行测量。

[0003] 针对这一问题，国内外提出了不同的解决方法。传统的方法是在被测零件的表面喷涂一层可以减小零件反光的化学物质，如白色的显像剂、钛白粉等物质。其目的是通过涂层改变零件表面的反射特性，使零件变成均匀的漫反射，以便对零件进行光学测量，大大提高测量效率。但是这样做的不利之处是：1)、增加了测量的工序：测量前需要很长的准备时间，测量后要将涂层除去；2)、影响测量精度（涂层的厚度约为0.01-0.04mm）；3)、最重要的是某些具有高性能表面的零件，例如航空发动机叶片，不允许在其表面喷涂任化学物质。

[0004] 针对于结构光在测量有光泽的金属零件时，专利US7092094B2中公开了一种基于偏振光的线结构光三角测量方法，在一定程度上解决了互反射造成的测量问题。但是这种方法在测量过程中需要不断的调整偏振片的角度，测量过程繁琐，效率低很难实现现场测量。Hu等提出了一种基于颜色分离和掩膜分割的方法解决该问题，用彩色光源照射被测零件，通过在不同的相机前加装滤光片，只允许特定颜色的光被相机接收来测量叶片的不同的区域，再将所有的测量结果融合到一起。该方法既需要多颜色的光源，还需要多个测量相机，不利于系统的集成。Zhang等提出了一种多曝光序列图像融合的方法对具有不同反射率零件进行测量。专利CN101694375B公开了一种强反射表面三维形貌测量的立体视觉检测方法，但是上述两种方法需要额外的投射大量的图像，降低了测量速度。Nayar等提出了一种散射结构光的方法，通过在投射光源与被测量零件间放置线性散射镜消除局部反光和阴影给测量带来的问题，获得了较好的测量结果，但是这种方法不适合现场测量。专利US20110279656A1中公开了一种基于颜色不变量的线结构光对高反射率表面的测量方法，该方法需要额外的控制系统、测量效率低。

[0005] 总结现有的结构光三维测量装置和方法，存在以下不足：

[0006] 一、结构光投射装置：现有的结构光投射装置多采用DLP、LCD和LCOS等投影技术的成品投影机或是经改造的投影机，其不足为：1)、投影技术为了投射层次感强的图像加入了伽马系数，造成面结构光三维测量过程中存在伽马非线性，导致相位误差，影响测量精度；2)、不能更换镜头，只能测量固定幅面；3)、多为偏轴投射，不利于系统集成；4)、采用卤素灯的设备体积庞大，采用LED等的设备亮度不高，易受环境光影响；5)、投射图像频率低，

一般为 60 帧。

[0007] 二、现有的反光零件测量方法的不足为 :1)、需要投射多幅不同曝光时间的图像，图像数量多，融合算法复杂 ;2)、传统的正弦光栅条纹方法需要投射多幅不同频率图像，应用多步相移进行相位解包裹，这就要求被测量物体在测量过程中要保持静止 ;3)、偏振光和颜色不变量的方法需要偏振片和控制系统等额外的硬件设备。

[0008] 因此，国内外在应用面结构光对高反射率表面测量的问题上还没有一个完备的解决方案。

发明内容

[0009] 本发明是为了解决现有装置的结构复杂导致体积大、测量速度慢的问题，从而提供一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置与方法。

[0010] 一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置，它包括蓝色激光系统 (1)、结构光生成系统 (2)、同步电路 (3)、图像采集系统 (4) 和计算机 (5) ;

[0011] 蓝色激光系统 (1) 包括激光二极管驱动电路 (21)、一号蓝色激光模组 (22)、二号蓝色激光模组 (23)、反光镜 (24)、汇聚透镜镜 (25) 和扩散片组 (26) ;

[0012] 结构光生成系统 (2) 包括伺服马达 (27)、带有图案的圆形光栅片 (28) 和聚焦镜头 (29) ;

[0013] 一号蓝色激光模组 (22) 竖直设置，二号蓝色激光模组 (23) 水平设置 ;

[0014] 蓝色激光系统 (1) 经一号蓝色激光模组 (22) 发出的水平方向的光入射至汇聚透镜 (24) ;

[0015] 蓝色激光系统 (1) 经二号蓝色激光模组 (23) 发出的竖直方向的光入射至反光镜组 (24)，经所述反光镜 (24) 反射至汇聚透镜 (25) ;汇聚镜 (25) 将一号蓝色激光模组 (22) 和二号蓝色激光模组 (23) 投射的光会聚至扩散片组 (26) ;经所述扩散片组 (26) 两次扩散至带有图案的圆形光栅片 (28)，经带有图案的圆形光栅片 (28) 透射至聚焦镜头 (29)，并经聚焦镜头 (29) 聚焦至待测零件上 ;

[0016] 伺服马达 (27) 带动带有图案的圆形光栅片 (28) 转动 ;

[0017] 图像采集系统 (4) 包括两个 CCD 相机和两块蓝光滤光片，所述两块蓝光滤光片分别设置在两个 CCD 相机的镜头上 ;所述两个 CCD 相机均用于采集待测零件的图像 ;

[0018] 同步电路 (3) 用于控制两个 CCD 相机作同步采集 ;

[0019] 所述两个 CCD 相机的图像信号输出端与计算机 (5) 的两个图像信号输入端连接。

[0020] 带有图案的圆形光栅片 (28) 上带有三幅图案，第一幅图案为二维随机编码图案或二维伪随机编码图案 ;第二幅图案为周期性黑白条纹组成的条纹图案 ;第三幅图案为与第二幅图案的镜像图案。

[0021] 带有图案的圆形光栅片 (28) 上的三幅图案均布在圆形光栅片的圆周上。

[0022] 一号蓝色激光模组 (22) 和二号蓝色激光模组 (23) 均包括 M 个蓝色激光二级管，M 个蓝色激光二级管之间并联。

[0023] 基于上述的一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置的测量方法，它由以下步骤实现 :

[0024] 步骤一、采用伺服马达 (27) 带动带有图案的圆形光栅片 (28) 旋转，将第一幅图案

投射到待测零件上，通过图像采集系统中的两个 CCD 相机采集待测零件上的图案，并分别将该图案输入至计算机；

[0025] 步骤二、采用计算机对两个 CCD 相机采集的图案进行处理，通过左、右图像的编码一致性确定左右两幅图像的对应区域；

[0026] 步骤三、采用伺服马达 (27) 带动带有图案的圆形光栅片 (28) 旋转，将第二幅图案和第三幅图像先后投射到待测零件上，通过图像采集系统中的两个 CCD 相机采集待测零件上的图案，并分别将该图案输入至计算机；

[0027] 步骤四、采用计算机对两个 CCD 相机采集的图案进行处理，获得左、右 CCD 相机条纹的位置，并通过步骤二获得的对应区域确定步骤三获得的条纹的位置的对应区域；

[0028] 步骤五、对两个 CCD 相机采集的第二幅图案和第三幅图案进行处理，对两幅图像分别进行边缘检测，通过求解边缘交点及极线约束来对左、右相机的对应点进行亚像素匹配；

[0029] 步骤六、利用步骤五中的亚像素匹配点，通过三角测量原理和已经标定好的 CCD 相机内外参数计算待测零件的三维坐标，完成高反射率零件的面结构光三维测量。

[0030] 本发明的有益效果：

[0031] 一、本发明采用蓝色激光做为光源发明了面结构光投射装置，该装置与现有的应用 LCD、LCOS、DLP 等技术的成品投影机作为投射装置具的有优势为：1)、不存在伽马非线性；2)、可以根据需要更换镜头，实现不同幅面的测量；3)、体积小、重量轻，利于设备集成，实现在线或在机测量；4)、亮度高、抗环境光能力强，亮度可以随意调节，适应各种反光零件表面的测量；5)、投射频率高，每秒投射频率 200 帧以上，是多数投影机投射频率的 4 倍，可以实现动态测量。

[0032] 二、本发明的测量方法与现有方法比较具有的优势为：1)、本发明方法可以仅通过投射三幅图像实现测量，测量速度快；2)、本发明方法在测量过程中不要求测头与被测物体保持相对静止，对振动等影响不敏感，可以实现生产车间等复杂环境下的测量任务。3)、本发明方法测量效率高，不需要额外的硬件。

附图说明

[0033] 图 1 是本发明面结构光三维测量装置的结构示意图；

[0034] 图 2 是本本发明激光光源扩散及结构光产生装置原理图；

[0035] 图 3 是本发明圆光栅示意图；

[0036] 图 4 是本发明的测量方法流程图；

[0037] 图 5 是具体实施方式一中第一幅图案 31 由唯一的或呈周期变化的黑白像素随机分布或伪随机分布的二维阵列示意图；

[0038] 图 6 是图 5 组成的图案；

[0039] 图 7 是第二幅图案 32 为周期性黑白条纹组成的条纹图案；

[0040] 图 8 是图 7 的反图案；

[0041] 图 9 是本发明的 CCD 摄像机采集投射到被测物体的条纹图像一部分示意图。

具体实施方式

[0042] 具体实施方式一、结合图 1 说明本具体实施方式，一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置，它包括蓝色激光系统 (1)、结构光生成系统 (2)、同步电路 (3)、图像采集系统 (4) 和计算机 (5)；

[0043] 蓝色激光系统 (1) 包括激光二极管驱动电路 (21)、一号蓝色激光模组 (22)、二号蓝色激光模组 (23)、反光镜 (24)、汇聚透镜 (25) 和扩散片组 (26)；

[0044] 结构光生成系统 (2) 包括伺服马达 (27)、带有图案的圆形光栅片 (28) 和聚焦镜头 (29)；

[0045] 一号蓝色激光模组 (22) 竖直设置，二号蓝色激光模组 (23) 水平设置；

[0046] 蓝色激光系统 (1) 经一号蓝色激光模组 (22) 发出的水平方向的光入射至汇聚透镜 (25)；

[0047] 蓝色激光系统 (1) 经二号蓝色激光模组 (23) 发出的竖直方向的光入射至反光镜组 (24)，经所述反光镜 (24) 反射至汇聚透镜 (25)；汇聚透镜 (25) 将一号蓝色激光模组 (22) 和二号蓝色激光模组 (23) 发出的光会聚至扩散片组 (26)；经所述扩散片组 (26) 两次扩散至带有图案的圆形光栅片 (28)，经带有图案的圆形光栅片 (28) 投射至聚焦镜头 (29)，并经聚焦镜头 (29) 聚焦至待测零件上；

[0048] 伺服马达 (27) 带动带有图案的圆形光栅片 (28) 转动；

[0049] 图像采集系统 (4) 包括两个 CCD 相机和两块蓝光滤光片，所述两块蓝光滤光片分别设置在两个 CCD 相机的镜头上；所述两个 CCD 相机均用于采集待测零件的图像；

[0050] 同步电路 (3) 用于控制两个 CCD 相机作同步采集；

[0051] 所述两个 CCD 相机的图像信号输出端与计算机 (5) 的两个图像信号输入端连接。

[0052] 具体实施方式二、本具体实施方式与具体实施方式一所述的一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置的区别在于，带有图案的圆形光栅片 (28) 上带有三幅图案，第一幅图案为二维随机编码图案或二维伪随机编码图案；第二幅图案为周期性黑白条纹组成的条纹图案；第三幅图案为与第二幅图案的镜相图案。

[0053] 具体实施方式三、本具体实施方式与具体实施方式二所述的一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置的区别在于，带有图案的圆形光栅片 (28) 上的三幅图案均布在圆形光栅片的圆周上。

[0054] 具体实施方式四、本具体实施方式与具体实施方式二所述的一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置的区别在于，一号蓝色激光模组 (22) 和二号蓝色激光模组 (23) 均包括 M 个蓝色激光二级管，M 个蓝色激光二级管之间并联。

[0055] 工作原理：

[0056] 本发明中的蓝色激光光源系统发出蓝色面光照射到结构光图案生成系统上，将特定的图案经镜头汇聚后投射于被测量物体上，经图像采集系统将投射在被测物体上的图案采集回计算机，应用相应的算法计算被测物体的三维坐标，完成三维测量任务。

[0057] 蓝色激光光源系统包括激光二极管驱动电路、汇聚透镜、反光镜、扩散片和两块蓝色激光模组，两块模组呈 90 度垂直布置。两模组上的蓝色激光二级管呈水平与竖直矩阵状排列，通过一组反光镜对一块激光模组发出的光线进行反射，照射到汇聚透镜上；另一块模组发出的光直接照射到汇聚透镜上，汇聚成一束光。再将汇聚光束投射到扩散片上，经过两次扩散后将点激光转化为面激光。将特定图案的光栅片放置在光源前方，通过镜头聚焦

将面结构光图案投射在被测量物体上。该装置可以随时控制激光二极管点亮的数量，进而调整光源亮度，为反光零件三维测量过程提供亮度可调的光源。该方案制造成本低廉、亮度高、投射速度快、能灵活实现不同幅面测量。

[0058] 结构光图案生成系统包括伺服马达、带有特定图案的圆形光栅片，聚焦镜头。通过马达带动圆形光栅片转动，将图案投射在被测量物体上。该图案其由公知的光栅蚀刻方法制成，图案由三幅图组成，第一幅图案为一随机或伪随机编码图案，第二幅图案为黑白条纹组成的条纹图案。第三幅图案为第二幅图案的反图案，就是说第一幅图案为黑色不透明的地方在第二幅图案上为白色透明。三幅图案呈 120 度均匀布置在光栅圆盘上。

[0059] 同步控制电路中，伺服马达每转动一次，发出一个脉冲信号，被控制电路接收，将其转换成图像采集系统能够接受的信号，触发两个 CCD 相机同时采集被测量物体上的图像。

[0060] 图像采集系统包括两台 CCD 相机、两个镜头和两块蓝色滤光片。两个相机光轴与基线的夹角为不同大小的角，但是保证两个相机光轴的夹角成 30 度。例如 :一个相机与基线的夹角为 10 度，另一个相机与基线的夹角为 20 度。将滤光片安装在相机镜头的前方，滤除掉环境光，只有系统投射出去的蓝色光线经反射照射到 CCD 芯片上，将不受环境光干扰的被测物体图像采集送到计算机。

[0061] 具体实施方式五、如图 1 所示，蓝色激光光源系统 1 发出蓝色面光照射到结构光图案生成系统 2 上，将特定的图案经镜头汇聚后投射于被测量物体上，每投射一幅图像将通过同步控制电路 3 发出脉冲信号触发图像采集系统 4 的两个 CCD 相机进行同步拍摄将投射在被测物体上的图案采集送回到数据处理计算机 5，对图像进行处理计算被测物体的三维坐标，完成三维测量任务。

[0062] 如图 2 所示，蓝色激光光源系统中 :两模组上的蓝色激光二级管呈水平与竖直矩阵状排列，通过一组反光镜对一块激光模组发出的光线进行反射，照射到汇聚透镜上 ;另一块模组发出的光直接照射到汇聚透镜上，汇聚成一束光。再将汇聚光束投射到扩散片 26 上，经过两次扩散后将点激光转化为面激光。将面激光照射到结构光图案生成系统上，通过镜头聚焦将面结构光图案投射在被测量物体上。该装置可以随时控制激光二极管点亮的数量，进而调整光源亮度，为反光零件三维测量过程提供亮度可调的光源。该方案制造成本低廉、亮度高、投射速度快、能灵活实现不同幅面测量。

[0063] 如图 2 所示，结构光图案生成系统中，通过伺服马达 27 带动圆形光栅片 28 转动，将图案投射在待测零件上。该图案其由公知的光栅蚀刻方法制成，如图 3 所示，圆形光栅片 28 上的图案由三幅图组成，第一幅图案 31 为二维的随机或伪随机编码图案，例如 :31 由唯一的或呈周期变化的黑白像素随机分布或伪随机分布的二维阵列（如图 5 所示）组成的图案（如图 6 所示）。第二幅图案 32 为周期性黑白条纹组成的条纹图案（如图 7 所示）。第三幅图案（如图 8 所示）33 为 32 的反图案，就是说 32 上为黑色不透明的地方在 33 上为白色透明。31、32 和 33 三幅图案呈 120 度均匀布置在光栅圆盘上。

[0064] 如图 1 所示，同步控制电路 3，在伺服马达每转动一次，发出一个脉冲信号，被控制电路接收，将其转换成图像采集系统能够接受的信号，触发两个 CCD 相机同时采集被测量物体上的图像。

[0065] 如图 1 的虚线框所示，图像采集系统 4 包括两台 CCD 相机、两个镜头和两块蓝光

滤光片。两个相机光轴与基线的夹角为不同大小的角，但是保证两个相机光轴的夹角成 30 度。例如：一个相机与基线的夹角为 10 度，另一个相机与基线的夹角为 20 度。将滤光片安装在相机镜头的前方，滤除掉环境光，只有系统投射出去的蓝色光线经反射照射到 CCD 芯片上，将不受环境光干扰的被测物体图像采集送到计算机。

[0066] 具体实施方式六、基于具体实施方式二所述的一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置的测量方法，它由以下步骤实现：

[0067] 步骤一、采用伺服马达 (27) 带动带有图案的圆形光栅片 (28) 旋转，将第一幅图案投射到待测零件上，通过图像采集系统中的两个 CCD 相机采集待测零件上的图案，并分别将该图案输入至计算机；

[0068] 步骤二、采用计算机对两个 CCD 相机采集的图案进行处理，通过左、右图像的编码一致性确定左右两幅图像的对应区域；

[0069] 步骤三、采用伺服马达 (27) 带动带有图案的圆形光栅片 (28) 旋转，将第一幅图案和第三幅图像先后投射到待测零件上，通过图像采集系统中的两个 CCD 相机采集待测零件上的图案，并分别将该图案输入至计算机；

[0070] 步骤四、采用计算机对两个 CCD 相机采集的图案进行处理，获得左、右 CCD 相机条纹的位置，并通过步骤二获得的对应区域确定步骤三获得的条纹的位置的对应区域；

[0071] 步骤五、对两个 CCD 相机采集的第二幅图案和第三幅图案进行处理，对两幅图像分别进行边缘检测，通过求解边缘交点及极线约束来对左、右相机的对应点进行亚像素匹配；

[0072] 步骤六、利用步骤五中的亚像素匹配点，通过三角测量原理和已经标定好的 CCD 相机内外参数计算待测零件的三维坐标，完成高反射率零件的面结构光三维测量。

[0073] 具体实施方式七、基于具体实施方式二所述的一种用于高反射率零件的面结构光三维测量装置的测量方法，它由以下步骤实现：

[0074] 如图 4 所示，本实施例对高反射率零件的三维测量方法包括如下步骤：

[0075] 步骤 (1)、应用图 2 所示的面结构光投射装置将图 6 所示的图案投射到被测量零件上，通过图 1 中的 4- 图像采集系统的两个 CCD 相机把经过被测量零件调制的变形图案采集送回到计算机。

[0076] 步骤 (2)、对两个相机采集的第一幅图案进行处理，通过左右图像的编码一致性确定左右两幅图像的对应区域。

[0077] 步骤 (3)、应用图 2 所示的面结构光投射装置将图 7 所示的图案投射到被测量零件，通过图像采集系统的两个 CCD 相机把经过被测量零件调制的变形图案采集送回到计算机。

[0078] 步骤 (4)、通过步骤 (2) 中的对应区域确定步骤 (3) 中的左右相机条纹位置，对条纹进行标号，并对条纹进行边缘检测。

[0079] 步骤 (5)、应用图 2 所示的面结构光投射装置将图 8 所示的图案投射到被测量零件，通过图像采集系统的两个 CCD 相机把经过被测量零件调制的变形图案采集送回到计算机。

[0080] 步骤 (6)、通过步骤 (2) 中的对应区域确定步骤 (5) 中的左右相机条纹位置，对条纹进行标号，并对条纹进行边缘检测。

[0081] 步骤 (7)、对步骤 (4) 和 (6) 的边缘进行差分计算，获得亚像素边缘。具体过程为：如图 9 所示，为采集回计算机的正条纹 I_P 和反条纹 I_H 图像的一部分，由于零件表面各种反射现象的存在，采集到的条纹图像边缘会变得模糊，这里用 I_D 表示图像 I_P 和 I_H 的差分，所以有 $I_D = I_P - I_N$，这里我们把 I_D 分成 I_{D+} 和 I_{D-} 两部分，分别代表 $I_D > 0$ 和 $I_D < 0$。I_{D+} 和 I_{D-} 的零交叉边缘位置可以分别表示为 $x\{\nabla^2 I_{D+} = 0\}$ 和 $x\{\nabla^2 I_{D-} = 0\}$，所以组合条纹的亚像素边缘位置 x_e 可以由下式得到：

[0082] $$x_e = \left(x\{\nabla^2 I_{D+} = 0\} + x\{\nabla^2 I_{D-} = 0\}\right)/2$$

[0083] 步骤 (8)、利用步骤 (7) 中的亚像素边缘位置，通过极线约束获得左右图像的亚像素匹配点，利用公知的三角测量原理和已经标定好的摄像机内外参数计算被测量零件的三维坐标。

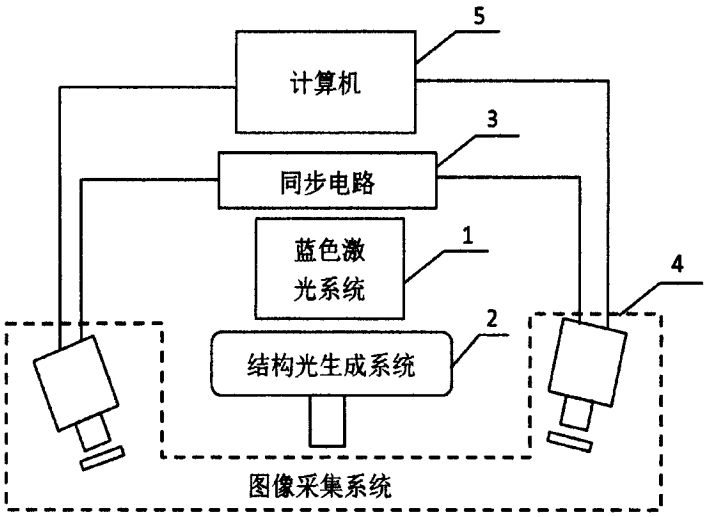


图 1

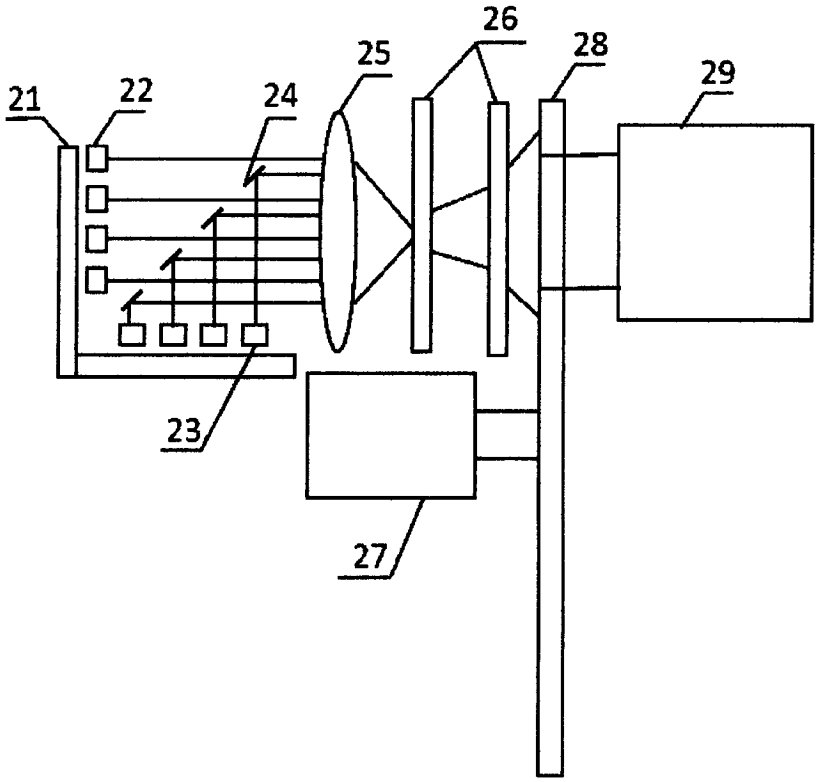


图 2

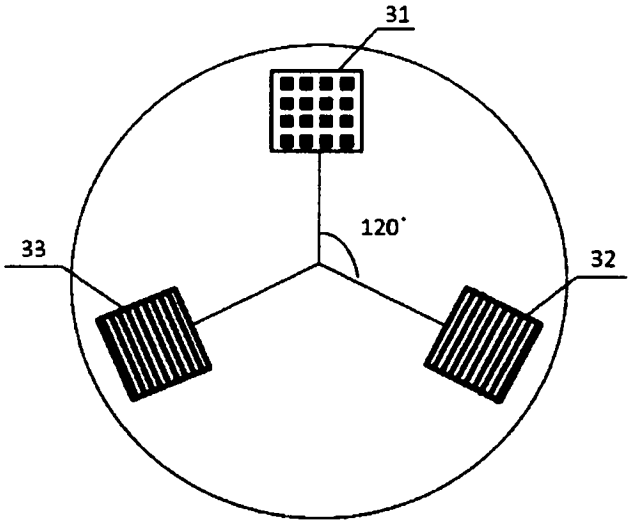


图 3

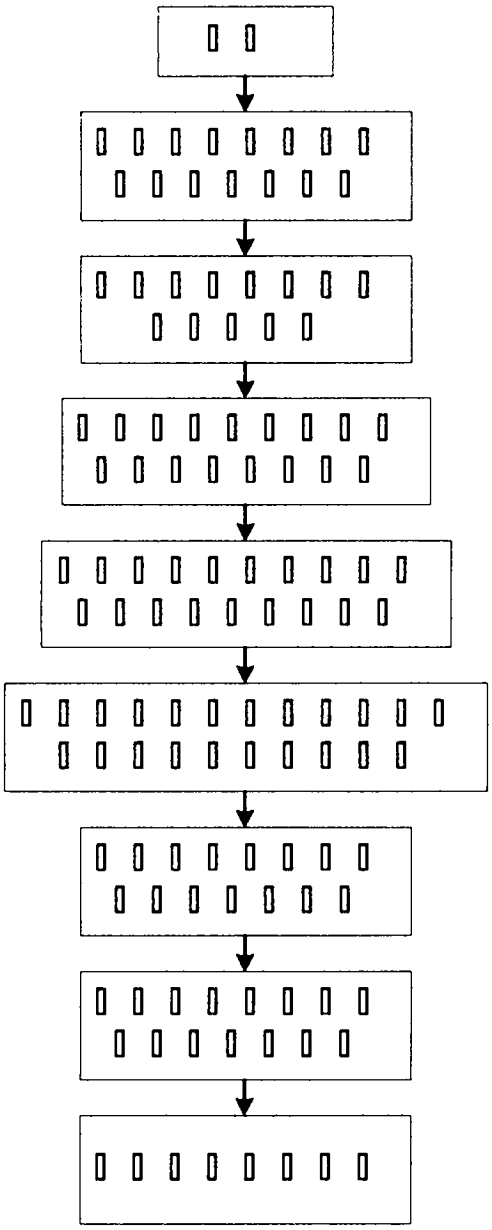


图 4

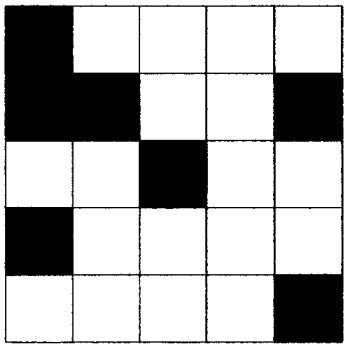


图 5

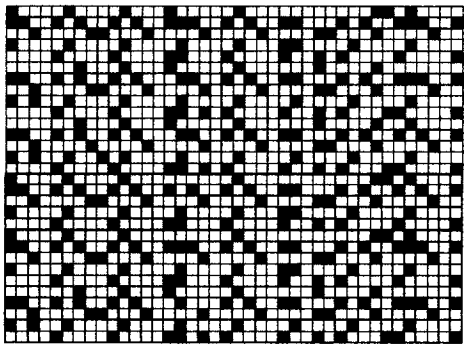


图 6

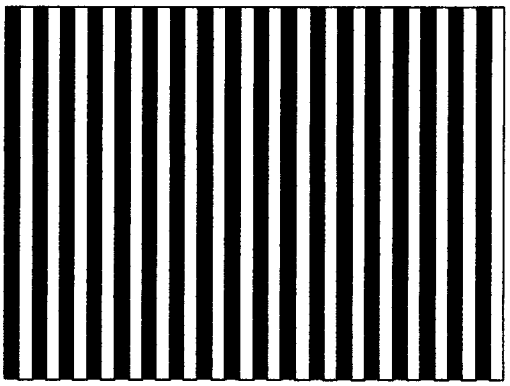


图 7

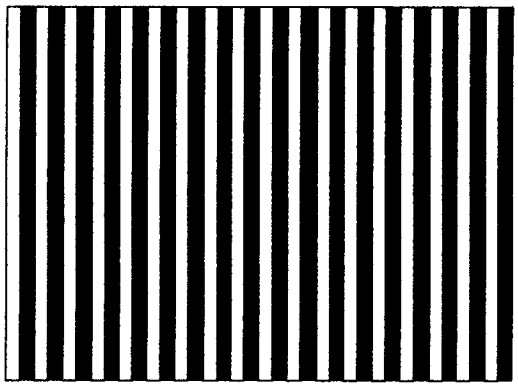


图 8

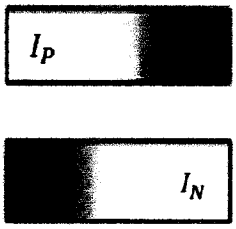


图 9