



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 109238084 B

(45)授权公告日 2020.04.14

(21)申请号 201810988563.4

G01B 11/14(2006.01)

(22)申请日 2018.08.28

G06T 7/13(2017.01)

(65)同一申请的已公布的文献号

G06T 7/62(2017.01)

申请公布号 CN 109238084 A

G06T 7/70(2017.01)

(43)申请公布日 2019.01.18

审查员 许李铭

(73)专利权人 合肥工业大学

地址 230009 安徽省合肥市包河区屯溪路
193号

(72)发明人 李瑞君 李琪 陶盼 范光照

(74)专利代理机构 安徽省合肥新安专利代理有
限责任公司 34101

代理人 何梅生

(51)Int.Cl.

G01B 5/008(2006.01)

G01B 21/04(2006.01)

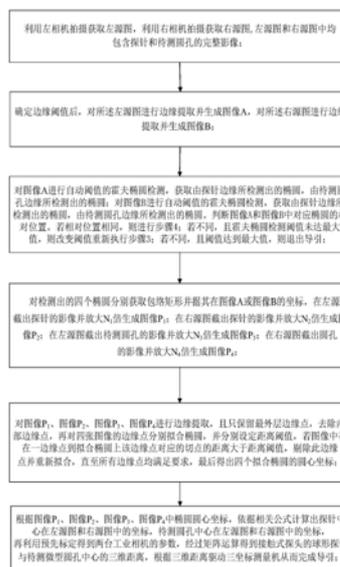
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

(54)发明名称

一种微型圆孔测量的自动导引方法

(57)摘要

本发明公开了一种微型圆孔测量的自动导引方法,利用左相机和右相机针对探针和待测圆孔进行拍摄获取左源图和右源图,通过边缘提取生成图像A和图像B;分别对图像A及图像B进行椭圆检测,获取每张图像中探针及圆孔的椭圆轮廓。依据四个椭圆获取四个包络矩形,再依据四个包络矩形截取左源图及右源图中探针和圆孔的影像放大生成四张图像进行边缘提取,保留最外层边缘点得到四个椭圆心坐标,依此获得探针及待测圆孔中心在左源图和右源图中的坐标,最后利用标定的相机参数,获取探针与待测微型圆孔中心的三维距离,驱动三坐标测量机完成导引。本发明实现了探针向微型圆孔中心的自动导引,能极大地提高微型圆孔测量的测量效率。



1. 一种微型圆孔测量的自动导引方法,所述微型圆孔测量是指采用三坐标测量机,并利用接触式测量探头(1)前端的探针(2)探入待测圆孔(3)中进行测量;其特征是,在所述三坐标测量机的一侧基座上固定设置型号相同、且光轴平行的左相机(4)和右相机(5),所述探针(2)和待测圆孔(3)均处在左相机(4)和右相机(5)的视场中,其中相机所拍摄图像均以像素为单位,以图像左上角顶点为原点建立坐标系,像素的横坐标与纵坐标分别是在其图像数组中所在的列数与所在行数;所述微型圆孔测量的自动导引方法是按如下步骤进行:

步骤1、利用左相机(4)拍摄获取左源图,所述左源图中包含有探针(2)和待测圆孔(3)的完整影像;利用右相机(5)拍摄获取右源图,所述右源图中包含有探针(2)和待测圆孔(3)的完整影像;

步骤2、根据设定的边缘阈值对所述左源图进行边缘提取并生成图像A,对所述右源图进行边缘提取并生成图像B;

步骤3、对所述图像A和图像B分别进行自动阈值的霍夫椭圆检测,针对所述图像A分别获得由所述探针(2)的边缘轮廓生成的椭圆 C_1 ,以及由待测圆孔(3)的边缘轮廓生成的椭圆 C_3 ;针对所述图像B分别获得由所述探针(2)的边缘轮廓生成的椭圆 C_2 ,以及由待测圆孔(3)的边缘轮廓生成的椭圆 C_4 ;且椭圆 C_1 的离心率小于椭圆 C_3 的离心率,椭圆 C_2 的离心率小于椭圆 C_4 的离心率;

针对自动阈值的霍夫椭圆检测,若不满足条件一,则调整霍夫椭圆检测阈值直到从所述图像A和图像B检测出的椭圆满足条件一时继续执行步骤4;若是调整霍夫椭圆检测阈值达到最大值时仍不满足条件一,则退出导引;

条件一:椭圆 C_1 和椭圆 C_3 之间的相对位置与椭圆 C_2 和椭圆 C_4 之间的相对位置为相同;

步骤4、获取探针(2)和待测圆孔(3)的影像生成图像:

获取椭圆 C_1 在所述图像A中的包络矩形 R_1 ,根据所述包络矩形 R_1 各顶点在所述图像A中的坐标,在所述左源图中截取图像并按倍数 N_1 进行图像放大,获得探针(2)的影像生成图像 P_1 ;

获取椭圆 C_2 在所述图像B中的包络矩形 R_2 ,根据所述包络矩形 R_2 各顶点在所述图像B中的坐标,在所述右源图中截取图像并按倍数 N_2 进行图像放大,获得探针(2)的影像生成图像 P_2 ;

获取椭圆 C_3 在所述图像A中的包络矩形 R_3 ,根据所述包络矩形 R_3 各顶点在所述图像A中的坐标,在所述左源图中截取图像并按倍数 N_3 进行图像放大,获得待测圆孔(3)的影像生成图像 P_3 ;

获取椭圆 C_4 在所述图像B中的包络矩形 R_4 ,根据所述包络矩形 R_4 各顶点在所述图像B中的坐标,在所述右源图中截取图像并按倍数 N_4 进行图像放大,获得待测圆孔(3)的影像生成图像 P_4 ;

所述图像放大是以不产生影像形变的方式进行图像放大;

步骤5、针对所述图像 P_1 、图像 P_2 、图像 P_3 和图像 P_4 分别进行边缘提取,去除内部边缘点,只保留最外层的边缘点并拟合椭圆;针对图像 P_1 、图像 P_2 、图像 P_3 和图像 P_4 预设距离阈值,若图像 P_i 中存在一边缘点M到所述拟合椭圆上与所述边缘点M对应的切点的距离 d_{ij} 大于拟合椭圆相应的距离阈值 D_i ,则剔除过于离散的边缘点M并重新拟合椭圆,直至所有边缘点均满足要求;由此对应获得图像 P_i 中拟合椭圆的椭圆心 E_i 的坐标, $i=1,2,3,4$, $j=1,2,3,\dots,n$

表示所述图像 P_i 中的边缘点个数；

所述距离 d_{ij} 由式(1)计算得出：

$$d_{ij} = \sqrt{(x_{ij} - f_{ij})^2 + (y_{ij} - g_{ij})^2} \quad (1),$$

其中， x_{ij} 表示图像 P_i 中边缘点M在图像 P_i 中的横坐标， y_{ij} 表示图像 P_i 中边缘点M在图像 P_i 中的纵坐标， f_{ij} 表示边缘点M在图像 P_i 的拟合椭圆上的相应切点在图像 P_i 中的横坐标， g_{ij} 表示边缘点M在图像 P_i 的拟合椭圆上的相应切点在图像 P_i 中的纵坐标；

步骤6.按如下方式分别获得各源图中探针(2)和待测圆孔(3)的中心点坐标：

根据所述图像 P_1 中椭圆心 E_1 、包络矩形 R_1 、图像A及倍数 N_1 ，获得左源图中探针(2)的中心点坐标；根据所述图像 P_2 中椭圆心 E_2 、包络矩形 R_2 、图像B及倍数 N_2 ，获得右源图中探针(2)的中心点坐标；根据所述图像 P_3 中椭圆心 E_3 、包络矩形 R_3 、图像A及倍数 N_3 ，获得左源图中待测圆孔(3)的中心点坐标；根据所述图像 P_4 中椭圆心 E_4 、包络矩形 R_4 、图像B及倍数 N_4 ，获得右源图中待测圆孔(3)的中心点坐标；

利用通过标定得到的左相机(4)和右相机(5)的内部参数、外部参数和畸变参数，经过矩阵运算获得所述探针(2)的中心点与待测圆孔(3)的中心点的三维距离，依据所述三维距离驱动三坐标测量机完成导引。

2.根据权利要求1所述的微型圆孔测量的自动导引方法，其特征是，在所述步骤5中针对图像 P_1 、图像 P_2 、图像 P_3 和图像 P_4 分别进行边缘提取，并按如下方式获得最外层的边缘点：针对边缘提取后的图像 P_1 、图像 P_2 、图像 P_3 和图像 P_4 ，分别以图像上边界向图像下边界、图像下边界向图像上边界、图像左边界到图像右边界以及图像右边界到图像左边界四个方向分别遍历图像边缘点，且仅保留每个方向第一个遍历到的边缘点作为所述最外层的边缘点。

3.根据权利要求1所述的微型圆孔测量的自动导引方法，其特征是，所述步骤3中自动阈值的霍夫椭圆检测是按如下方法进行：首先预设最小圆心距离以防止在图像A与图像B中针对探针(2)的轮廓及待测圆孔(3)的轮廓检测出过多的椭圆；再以低霍夫椭圆检测阈值检测图像A，然后加大霍夫椭圆检测阈值直到图像A中只存在两个椭圆；以低霍夫椭圆检测阈值检测图像B，然后加大霍夫椭圆检测阈值直到图像B中只存在两个椭圆。

4.根据权利要求1所述的微型圆孔测量的自动导引方法，其特征是，在所述步骤3中，针对所述条件一是按如下方式进行判断：若是：在图像A中，椭圆 C_1 的圆心位于椭圆 C_3 的圆心的下方；且在图像B中，椭圆 C_2 的圆心位于椭圆 C_4 的圆心的下方；或是：在图像A中，椭圆 C_1 的圆心位于椭圆 C_3 的圆心的上方，且在图像B中，椭圆 C_2 的圆心位于椭圆 C_4 的圆心的上方，均为满足条件一。

5.根据权利要求1所述的微型圆孔测量的自动导引方法，其特征是，所述步骤4中所述图像放大倍数 N_i 由式(2)计算得出：

$$N_i = \begin{cases} \frac{H}{h_i}, & (\frac{H}{h_i} < \frac{W}{w_i}) \\ \frac{W}{w_i}, & (\frac{W}{w_i} < \frac{H}{h_i}) \end{cases} \quad (2),$$

其中， N_i 为图像 P_i 的放大倍数， w_i 为包络矩形 R_i 的宽度， h_i 为包络矩形 R_i 的高度， W 为对应源图的宽度， H 为对应源图的高度。

6. 根据权利要求5所述的微型圆孔测量的自动导引方法,其特征是,按式(3)分别获得探针(2)和待测圆孔(3)在各源图中的中心点坐标:

$$U_i = X_{1i} + \frac{X_{2i}}{N_i}, V_i = Y_{1i} + \frac{Y_{2i}}{N_i} \quad (3),$$

U_i 表示探针(2)的中心点或待测圆孔(3)的中心点在对应源图中的横坐标;

V_i 表示探针(2)的中心点或待测圆孔(3)的中心点在对应源图中的纵坐标;

X_{1i} 表示包络矩形 R_i 的左上角顶点在所述对应源图中的横坐标, Y_{1i} 表示包络矩形 R_i 的左上角顶点在对应源图中的纵坐标, X_{2i} 表示椭圆心 E_i 在所述图像 P_i 中的横坐标, Y_{2i} 表示椭圆心 E_i 在所述图像 P_i 中的纵坐标。

一种微型圆孔测量的自动导引方法

技术领域

[0001] 本发明涉及图像处理领域,具体涉及一种适用于用三坐标测量机测量的情况下,利用接触式探头测量微型圆孔场合的自动导引方法。

背景技术

[0002] 随着微纳米技术的发展,科学仪器朝向精密化发展,零部件向着微型化发展,其中圆孔在零部件中的应用十分广泛。但是微型圆孔的加工,尤其是孔径1mm以下的圆孔加工是十分困难的,例如油泵,油嘴及磨具等。因此,如何准确地检测微型圆孔的加工质量及相关参数是重要的技术问题。

[0003] 近年来,科研工作者利用结构光、激光干涉及激光三角法等方式测量微型圆孔的相关参数,但对于高深宽比的圆孔的加工质量及参数,这些测量方法难以测量。所以,其中有一些测量方式会剖开圆孔,再对圆孔进行相关测量,但这些测量方式会对待测工件产生破坏性影响。

[0004] 利用接触式测量探头对微型圆孔进行测量,不仅测量精度满足要求且可以测量不同深度的圆孔加工质量及相关参数。但是,利用接触式探头进行测量时,需要将探头顶部的探针置入圆孔之内,由于圆孔的孔径小,其孔径仅仅比探针直径稍大,肉眼难以完成导引操作。虽然工业上有利用相机对孔位及探针进行拍摄,人们通过拍摄的影像进行判断,导引探针进入圆孔的实例,但是此方法的测量效率低下、自动化程度不高。

发明内容

[0005] 本发明是为避免上述现有技术的不足,提供一种适用于接触式探头测量微型圆孔的自动导引方法,以期在利用接触式探头测量高深宽比的圆孔时,能够快速、准确地到达待测圆孔的中心以开始自动测量。

[0006] 本发明为解决技术问题采用如下技术方案:

[0007] 本发明微型圆孔测量的自动导引方法,所述微型圆孔测量是指采用三坐标测量机,并利用接触式测量探头前端的探针探入待测圆孔中进行微孔测量;其特点是:在所述三坐标测量机的一侧基座上固定设置型号相同、且光轴平行的左相机和右相机,所述探针和待测圆孔均处在左相机和右相机的视场中,其中相机所拍摄图像均以像素为单位,以图像左上角顶点为原点建立坐标系,像素的横坐标与纵坐标分别是在其图像数组中所在的列数与所在行数;所述微型圆孔测量的自动导引方法是按如下步骤进行:

[0008] 步骤1、利用左相机拍摄获取左源图,所述左源图中包含有探针和待测圆孔的完整影像;利用右相机拍摄获取右源图,所述右源图中包含有探针和待测圆孔的完整影像;

[0009] 步骤2、根据设定的边缘阈值对所述左源图进行边缘提取并生成图像A,对所述右源图进行边缘提取并生成图像B;

[0010] 步骤3、对所述图像A和图像B分别进行自动阈值的霍夫椭圆检测,针对所述图像A分别获得由所述探针的边缘轮廓生成的椭圆 C_1 ,以及由待测圆孔的边缘轮廓生成的椭圆 C_3 ;

针对所述图像B分别获得由所述探针的边缘轮廓生成的椭圆C₂,以及由待测圆孔的边缘轮廓生成的椭圆C₄;且椭圆C₁的离心率小于椭圆C₃的离心率,椭圆C₂的离心率小于椭圆C₄的离心率;针对自动阈值的霍夫椭圆检测,若不满足条件一,则调整霍夫椭圆检测阈值直到从所述图像A和图像B检测出的椭圆满足条件一时继续执行步骤4;若是调整霍夫椭圆检测阈值达到最大值时仍不满足条件一,则退出导引;

[0011] 条件一:椭圆C₁和椭圆C₃之间的相对位置与椭圆C₂和椭圆C₄之间的相对位置为相同;

[0012] 步骤4、获取探针和待测圆孔的影像生成图像:

[0013] 获取椭圆C₁在所述图像A中的包络矩形R₁,根据所述包络矩形R₁各顶点在所述图像A中的坐标,在所述左源图中截取图像并按倍数N₁进行图像放大,获得探针的影像生成图像P₁;获取椭圆C₂在所述图像B中的包络矩形R₂,根据所述包络矩形R₂各顶点在所述图像B中的坐标,在所述右源图中截取图像并按倍数N₂进行图像放大,获得探针的影像生成图像P₂;获取椭圆C₃在所述图像A中的包络矩形R₃,根据所述包络矩形R₃各顶点在所述图像A中的坐标,在所述左源图中截取图像并按倍数N₃进行图像放大,获得待测圆孔的影像生成图像P₃;获取椭圆C₄在所述图像B中的包络矩形R₄,根据所述包络矩形R₄各顶点在所述图像B中的坐标,在所述右源图中截取图像并按倍数N₄进行图像放大,获得待测圆孔的影像生成图像P₄;所述图像放大是以不产生影像形变的方式进行图像放大;

[0014] 步骤5、针对所述图像P₁、图像P₂、图像P₃和图像P₄分别进行边缘提取,去除内部边缘点,只保留最外层的边缘点并拟合椭圆;针对图像P₁、图像P₂、图像P₃和图像P₄预设距离阈值,若图像P_i中存在一边缘点M到所述拟合椭圆上与所述边缘点M对应的切点的距离d_{ij}大于拟合椭圆相应的距离阈值D_i,则剔除过于离散的边缘点M并重新拟合椭圆,直至所有边缘点均满足要求;由此对应获得图像P_i中拟合椭圆的椭圆心E_i的坐标,i=1,2,3,4,j=1,2,3……n,n表示所述图像P_i中的边缘点个数;

[0015] 步骤6、按如下方式分别获得各源图中探针和待测圆孔的中心点坐标:

[0016] 根据所述图像P₁中椭圆心E₁、包络矩形R₁、图像A及倍数N₁,获得左源图中探针的中心点坐标;根据所述图像P₂中椭圆心E₂、包络矩形R₂、图像B及倍数N₂,获得右源图中探针的中心点坐标;根据所述图像P₃中椭圆心E₃、包络矩形R₃、图像A及倍数N₃,获得左源图中待测圆孔的中心点坐标;根据所述图像P₄中椭圆心E₄、包络矩形R₄、图像B及倍数N₄,获得右源图中待测圆孔的中心点坐标;

[0017] 利用通过标定得到的左相机和右相机的内部参数、外部参数和畸变参数,经过矩阵运算获得所述探针的中心点与待测圆孔的中心点的三维距离,依据所述三维距离驱动三坐标测量机完成导引。

[0018] 本发明微型圆孔测量的自动导引方法的特点也在于,在所述步骤5中针对图像P₁、图像P₂、图像P₃和图像P₄分别进行边缘提取,按如下方式获得最外层的边缘点:针对边缘提取后的图像P₁、图像P₂、图像P₃和图像P₄,分别以图像上边界向图像下边界、图像下边界向图像上边界、图像左边界到图像右边界以及图像右边界到图像左边界四个方向分别遍历图像边缘点,且仅保留每个方向第一个遍历到的边缘点作为所述最外层的边缘点。

[0019] 本发明微型圆孔测量的自动导引方法的特点也在于,所述步骤3中自动阈值的霍夫椭圆检测是按如下方法进行:首先预设最小圆心距离以防止在图像A与图像B中针对探针

的轮廓及待测圆孔的轮廓检测出过多的椭圆；再以低霍夫椭圆检测阈值检测图像A，然后加大霍夫椭圆检测阈值直到图像A中只存在两个椭圆；以低霍夫椭圆检测阈值检测图像B，然后加大霍夫椭圆检测阈值直到图像B中只存在两个椭圆。

[0020] 本发明微型圆孔测量的自动导引方法的特点也在于，在所述步骤3中，针对所述条件一是按如下方式进行判断：

[0021] 若是：在图像A中，椭圆C₁的圆心位于椭圆C₃的圆心的下方；且在图像B中，椭圆C₂的圆心位于椭圆C₄的圆心的下方；或是：在图像A中，椭圆C₁的圆心位于椭圆C₃的圆心的上方，且在图像B中，椭圆C₂的圆心位于椭圆C₄的圆心的上方，均为满足条件一。

[0022] 本发明微型圆孔测量的自动导引方法的特点也在于，在所述步骤5中，所述距离d_{ij}由式(1)计算得出：

$$[0023] \quad d_{ij} = \sqrt{(x_{ij} - f_{ij})^2 + (y_{ij} - g_{ij})^2} \quad (1),$$

[0024] 其中，x_{ij}表示图像P_i中边缘点M在图像P_i中的横坐标，y_{ij}表示图像P_i中边缘点M在图像P_i中的纵坐标，f_{ij}表示边缘点M在图像P_i的拟合椭圆上的相应切点在图像P_i中的横坐标，g_{ij}表示边缘点M在图像P_i的拟合椭圆上的相应切点在图像P_i中的纵坐标。

[0025] 本发明微型圆孔测量的自动导引方法的特点也在于，所述步骤4中所述图像放大倍数N_i由式(2)计算得出：

$$[0026] \quad N_i = \begin{cases} \frac{H}{h_i}, & (\frac{H}{h_i} < \frac{W}{w_i}) \\ \frac{W}{w_i}, & (\frac{W}{w_i} < \frac{H}{h_i}) \end{cases} \quad (2),$$

[0027] 其中，N_i为图像P_i的放大倍数，w_i为包络矩形R_i的宽度，h_i为包络矩形R_i的高度，W为对应源图的宽度，H为对应源图的高度。

[0028] 本发明微型圆孔测量的自动导引方法的特点也在于，按式(3)分别获得探针和待测圆孔在各源图中的中心点坐标：

$$[0029] \quad U_i = X_{li} + \frac{X_{2i}}{N_i}, V_i = Y_{li} + \frac{Y_{2i}}{N_i} \quad (3),$$

[0030] U_i表示探针的中心点或待测圆孔的中心点在对应源图中的横坐标；

[0031] V_i表示探针的中心点或待测圆孔的中心点在对应源图中的纵坐标；

[0032] X_{1i}表示包络矩形R_i的左上角顶点在所述对应源图中的横坐标，Y_{1i}表示包络矩形R_i的左上角顶点在对应源图中的纵坐标，X_{2i}表示椭圆心E_i在所述图像P_i中的横坐标，Y_{2i}表示椭圆心E_i在所述图像P_i中的纵坐标。

[0033] 本发明微型圆孔测量的自动导引方法的特点也在于，所述包络矩形的方向与所述左源图或右源图的方向保持一致，即所述包络矩形与对应的左源图或右源图的水平轴的夹角为0°。

[0034] 与已有技术相比，本发明有益效果体现在：

[0035] 1、本发明针对三坐标测量机、利用接触式探头测量圆孔的应用场合，自动导引探头进入待测圆孔从而实现自动化测量，将定位及导引整合为一体，极大地提高了圆孔测量实用性和测量效率；

[0036] 2、本发明方法针对接触式探头的球形探针及待测圆孔区域分别进行提取,利用提取结果的相对位置关系进行提取准确与否的判断,能有效减少误导引;在物像不发生形变的情况下进行放大,能减小定位误差,有效提高了自动导引的准确性;

[0037] 3、本发明方法在拟合接触式探头的球形探针及待测圆孔边界的椭圆心时,预先根据边缘点的位置对外部边缘点进行保留,对内部边缘点进行去除,再根据距离阈值剔除过于离散的坏点,提高了拟合椭圆心的准确性。

附图说明

[0038] 图1为本发明方法流程图;

[0039] 图2为应用在本发明方法中的测量系统示意图;

具体实施方式

[0040] 参见图2,本实施例中微型圆孔测量是指采用三坐标测量机,并利用接触式测量探头前端的探针2探入待测圆孔3中进行微孔测量;三坐标测量机由基座、X轴6、Y轴7及Z轴8组成,在三坐标测量机的一侧基座上固定设置型号相同、且光轴平行的左相机4和右相机5,接触式测量探头1悬挂于三坐标测量机的Z轴8上,在接触式测量探头1的顶端安装有球形探针2,探针2和待测圆孔3均处在左相机4和右相机5的视场中,其中相机所拍摄图像均以像素为单位,以图像左上角顶点为原点建立坐标系,像素的横坐标与纵坐标分别是在其图像数组中所在的列数与所在行数。

[0041] 参见图1,本实施例中微型圆孔测量的自动导引方法是按如下步骤进行:

[0042] 步骤1、利用左相机4拍摄获取左源图,左源图中包含有探针2和待测圆孔3的完整影像;利用右相机5拍摄获取右源图,右源图中包含有探针2和待测圆孔3的完整影像。

[0043] 步骤2、根据设定的边缘阈值对左源图进行边缘提取并生成图像A,对右源图进行边缘提取并生成图像B;边缘阈值满足以该阈值提取后的边缘不损失探针及待测微型圆孔的边缘信息,同时没有太多的噪声干扰。

[0044] 步骤3、对图像A和图像B分别进行自动阈值的霍夫椭圆检测,针对图像A分别获得由探针2的边缘轮廓生成的椭圆 C_1 ,以及由待测圆孔3的边缘轮廓生成的椭圆 C_3 ;针对图像B分别获得由探针2的边缘轮廓生成的椭圆 C_2 ,以及由待测圆孔3的边缘轮廓生成的椭圆 C_4 ;且椭圆 C_1 的离心率小于椭圆 C_3 的离心率,椭圆 C_2 的离心率小于椭圆 C_4 的离心率。由于相机与待测圆孔3所在平面成一定角度,所以待测圆孔3在图像中呈现出椭圆形轮廓。而由于光照及图像插值的影响,所以探针2呈现出椭圆形轮廓而非圆形。但是探针2本身是球形,所以探针2的椭圆形轮廓的离心率比待测圆孔3的椭圆形轮廓的离心率小。

[0045] 为了降低椭圆误检测的几率,针对自动阈值的霍夫椭圆检测,若不满足条件一,则调整霍夫椭圆检测阈值直到从图像A和图像B检测出的椭圆满足条件一时继续执行步骤4;若是调整霍夫椭圆检测阈值达到最大值时仍不满足条件一,则退出导引。

[0046] 条件一:椭圆 C_1 和椭圆 C_3 之间的相对位置与椭圆 C_2 和椭圆 C_4 之间的相对位置为相同。

[0047] 步骤4、获取探针2和待测圆孔3的影像生成图像:

[0048] 获取椭圆 C_1 在图像A中的包络矩形 R_1 ,根据包络矩形 R_1 各顶点在图像A中的坐标,在

左源图中截取图像并按倍数 N_1 进行图像放大,获得探针2的影像生成图像 P_1 ;获取椭圆 C_2 在图像B中的包络矩形 R_2 ,根据包络矩形 R_2 各顶点在图像B中的坐标,在右源图中截取图像并按倍数 N_2 进行图像放大,获得探针2的影像生成图像 P_2 ;获取椭圆 C_3 在图像A中的包络矩形 R_3 ,根据包络矩形 R_3 各顶点在图像A中的坐标,在左源图中截取图像并按倍数 N_3 进行图像放大,获得待测圆孔3的影像生成图像 P_3 ;获取椭圆 C_4 在图像B中的包络矩形 R_4 ,根据包络矩形 R_4 各顶点在图像B中的坐标,在右源图中截取图像并按倍数 N_4 进行图像放大,获得待测圆孔3的影像生成图像 P_4 ;包络矩形在包含探针2或待测圆孔3完整影像的基础上,其宽度与高度应尽可能的小;图像放大是以不产生影像形变的方式进行图像放大;包络矩形的方向与左源图或右源图的方向保持一致,即包络矩形与对应的左源图或右源图的水平轴的夹角为 0° 。

[0049] 步骤5、针对图像 P_1 、图像 P_2 、图像 P_3 和图像 P_4 分别进行边缘提取,去除内部边缘点,只保留最外层的边缘点并拟合椭圆;针对图像 P_1 、图像 P_2 、图像 P_3 和图像 P_4 预设距离阈值,若图像 P_i 中存在一边缘点M到拟合椭圆上与边缘点M对应的切点的距离 d_{ij} 大于拟合椭圆相应的距离阈值 D_i ,则剔除过于离散的边缘点M并重新拟合椭圆,直至所有边缘点均满足要求;由此对应获得图像 P_i 中拟合椭圆的椭圆心 E_i 的坐标, $i=1,2,3,4$, $j=1,2,3,\dots,n$, n 表示图像 P_i 中的边缘点个数。由于三坐标测量机的检测台、待测工件除待测圆孔之外的表面边缘等影响,对图像的边缘检测会产生过于离散的边缘点,这些边缘点会降低拟合椭圆的准确度,剔除后有助于提升椭圆心坐标的精度。

[0050] 步骤6、按如下方式分别获得各源图中探针2和待测圆孔3的中心点坐标:

[0051] 根据图像 P_1 中椭圆心 E_1 、包络矩形 R_1 、图像A及倍数 N_1 ,获得左源图中探针2的中心点坐标;根据图像 P_2 中椭圆心 E_2 、包络矩形 R_2 、图像B及倍数 N_2 ,获得右源图中探针2的中心点坐标;根据图像 P_3 中椭圆心 E_3 、包络矩形 R_3 、图像A及倍数 N_3 ,获得左源图中待测圆孔3的中心点坐标;根据图像 P_4 中椭圆心 E_4 、包络矩形 R_4 、图像B及倍数 N_4 ,获得右源图中待测圆孔3的中心点坐标;

[0052] 利用通过标定得到的左相机4和右相机5的内部参数、外部参数和畸变参数,经过矩阵运算获得探针2的中心点与待测圆孔3的中心点的三维距离,依据三维距离驱动三坐标测量机完成导引。

[0053] 具体实施中,相应措施也包括:

[0054] 在步骤5中针对图像 P_1 、图像 P_2 、图像 P_3 和图像 P_4 分别进行边缘提取,按如下方式获得最外层的边缘点:针对边缘提取后的图像 P_1 、图像 P_2 、图像 P_3 和图像 P_4 ,分别以图像上边界向图像下边界、图像下边界向图像上边界、图像左边界到图像右边界以及图像右边界到图像左边界四个方向分别遍历图像边缘点,且仅保留每个方向第一个遍历到的边缘点作为最外层的边缘点。

[0055] 在步骤3中自动阈值的霍夫椭圆检测是按如下方法进行:首先预设最小圆心距离以防止在图像A与图像B中针对探针2的轮廓及待测圆孔3的轮廓检测出过多的椭圆;再以低霍夫椭圆检测阈值检测图像A,然后加大霍夫椭圆检测阈值直到图像A中只存在两个椭圆;以低霍夫椭圆检测阈值检测图像B,然后加大霍夫椭圆检测阈值直到图像B中只存在两个椭圆。

[0056] 在步骤3中,针对条件一是按如下方式进行判断:

[0057] 若是:在图像A中,椭圆 C_1 的圆心位于椭圆 C_3 的圆心的下方;且在图像B中,椭圆 C_2 的

圆心位于椭圆C₄的圆心的下方;或是:在图像A中,椭圆C₁的圆心位于椭圆C₃的圆心的上方,且在图像B中,椭圆C₂的圆心位于椭圆C₄的圆心的上方,均为满足条件一。

[0058] 在步骤5中,距离 d_{ij} 由式(1)计算得出:

$$[0059] \quad d_{ij} = \sqrt{(x_{ij} - f_{ij})^2 + (y_{ij} - g_{ij})^2} \quad (1),$$

[0060] 其中, x_{ij} 表示图像P_i中边缘点M在图像P_i中的横坐标, y_{ij} 表示图像P_i中边缘点M在图像P_i中的纵坐标, f_{ij} 表示边缘点M在图像P_i的拟合椭圆上的相应切点在图像P_i中的横坐标, g_{ij} 表示边缘点M在图像P_i的拟合椭圆上的相应切点在图像P_i中的纵坐标。

[0061] 在步骤4中图像放大倍数 N_i 由式(2)计算得出:

$$[0062] \quad N_i = \begin{cases} \frac{H}{h_i}, & (\frac{H}{h_i} < \frac{W}{w_i}) \\ \frac{W}{w_i}, & (\frac{W}{w_i} < \frac{H}{h_i}) \end{cases} \quad (2),$$

[0063] 其中, N_i 为图像P_i的放大倍数, w_i 为包络矩形R_i的宽度, h_i 为包络矩形R_i的高度;W为对应源图的宽度,H为对应源图的高度。此方式能够以不产生物像形变且最大程度地放大探针及待测圆孔的物像,提高获取的探针中心坐标及待测圆孔中心坐标的准确度。

[0064] 按式(3)分别获得探针2和待测圆孔3在各源图中的中心点坐标:

$$[0065] \quad U_i = X_{li} + \frac{X_{2i}}{N_i}, V_i = Y_{li} + \frac{Y_{2i}}{N_i} \quad (3),$$

[0066] U_i 表示探针2的中心点或待测圆孔3的中心点在对应源图中的横坐标;

[0067] V_i 表示探针2的中心点或待测圆孔3的中心点在对应源图中的纵坐标,

[0068] X_{li} 表示包络矩形R_i的左上角顶点在对应源图中的横坐标, Y_{li} 表示包络矩形R_i的左上角顶点在对应源图中的纵坐标, X_{2i} 表示椭圆心E_i在图像P_i中的横坐标, Y_{2i} 表示椭圆心E_i在图像P_i中的纵坐标。

[0069] 实验验证:

[0070] S1、利用两台型号相同且分辨率为2048×1536的工业相机同时拍摄,分别获取左源图和右源图;

[0071] S2、对左源图进行边缘提取生成图像A,对右源图进行边缘提取生成图像B;

[0072] S3、对图像A、图像B进行自动阈值的霍夫椭圆检测,一共获取四个椭圆,对应椭圆的相对位置满足条件一,继续执行;

[0073] S4、根据四个椭圆圆心的图像坐标,获取对应包络矩形,依据包络矩形坐标截取并放大左源图和右源图中的探针及圆孔影像,图像A中探针的包络矩形的左上角顶点坐标为(1456,816),包络矩形宽度52像素,高度为50像素,则图像放大倍数为30;图像A中待测圆孔的包络矩形的左上角顶点坐标为(1050,788),包络矩形宽度60像素,高度为54像素,则放大倍数为28;图像B中探针的包络矩形的左上角顶点坐标为(892,822),包络矩形宽度为40像素,高度为38像素,则放大倍数为40;图像B中待测圆孔的包络矩形的左上角顶点坐标为(536,790),包络矩形宽度为48像素,高度为32像素,则放大倍数为42;

[0074] S5、对图像P₁、图像P₂、图像P₃、图像P₄进行边缘提取,之后保留外部边缘点,去除内部边缘点,对探针图像P₁、图像P₂剔除坏点后拟合椭圆,对待测圆孔图像P₃、图像P₄剔除坏点

后拟合椭圆。图像 P_1 中椭圆心坐标为(614, 750), 则探针中心在左源图的坐标为(1476.5, 841); 图像 P_2 中椭圆心坐标为(556, 610), 则探针中心在右源图的坐标为(1069.9, 809.8); 图像 P_3 中椭圆心坐标为(742, 718), 则待测圆孔中心在左源图的坐标为(910.6, 840.0); 图像 P_4 中椭圆心坐标为(906, 806), 则待测圆孔中心在右源图的坐标为(557.6, 809.2);

[0075] S6、根据预先标定得到的两台工业相机内部参数、外部参数及畸变参数, 探针中心的世界坐标为(24.0458, 3.97679, 192.132), 待测微型圆孔中心的世界坐标为(2.12379, 2.44826, 209.639), 其中探针直径为1.00mm, 圆孔直径为1.30mm, 根据相机坐标系及三坐标测量机运动轴之间的平移矩阵及旋转矩阵, X轴行进距离为13.5172mm, Y轴行进距离为-21.7002mm, Z轴行进距离为-11.6518mm, 将接触式探头的探针导引进入圆孔从而完成自动测量。

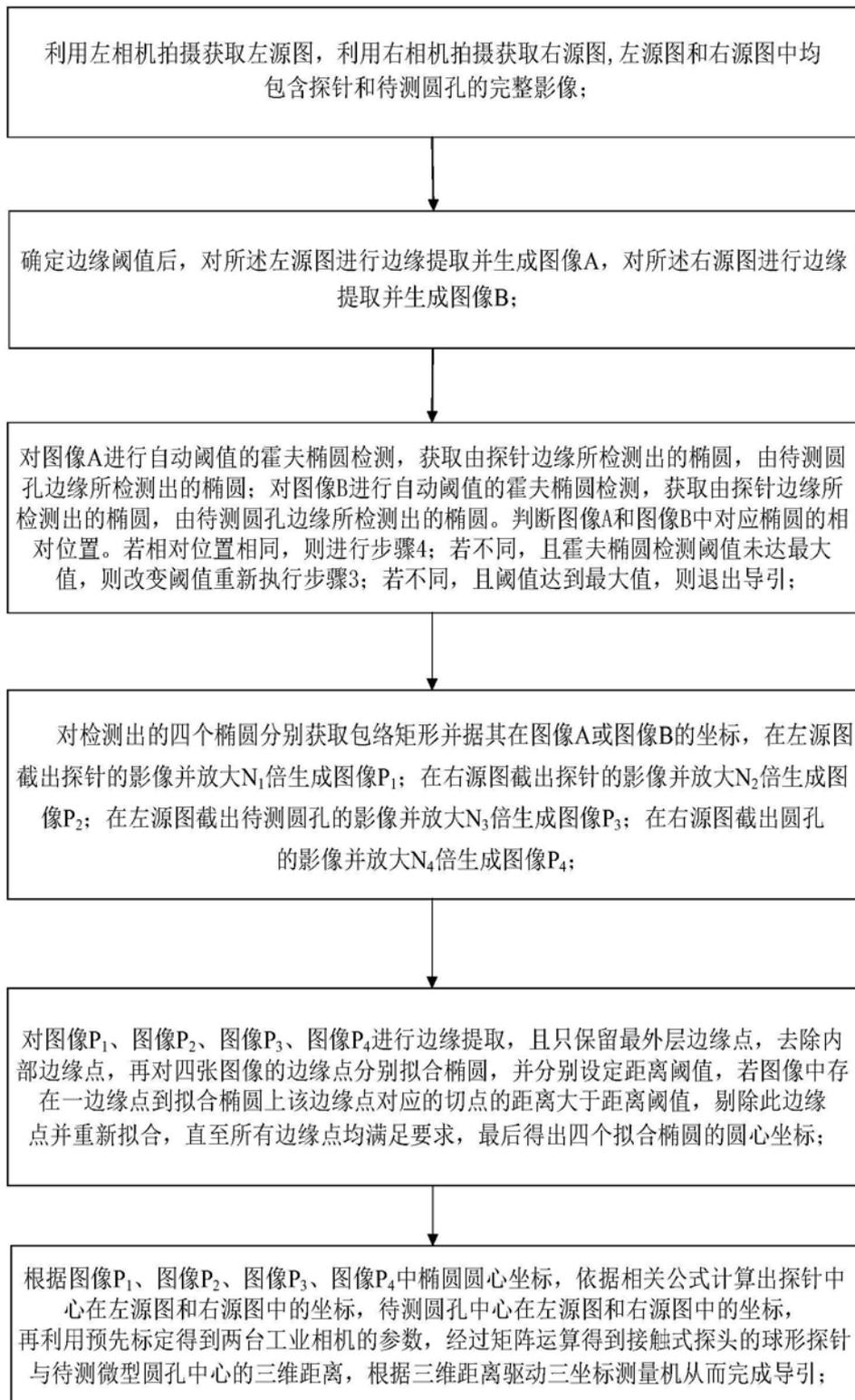


图1

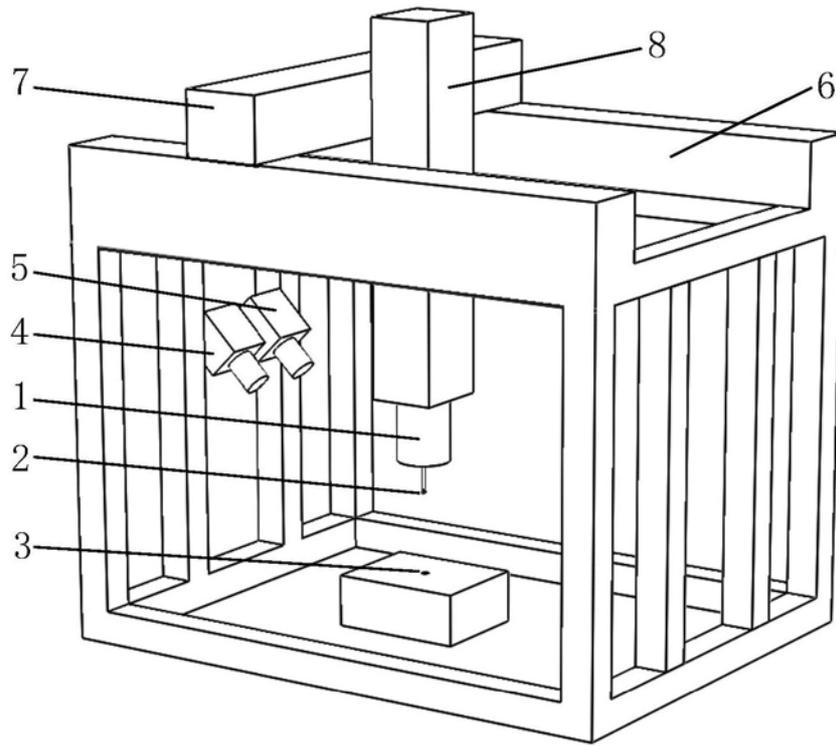


图2