



# (12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 115235379 A

(43) 申请公布日 2022.10.25

(21) 申请号 202210880291.2

(22) 申请日 2022.07.25

(71) 申请人 江苏梓墨智能科技有限公司

地址 212002 江苏省镇江市润州区南徐大道62号商务A区D座1楼

(72) 发明人 吴卓琦

(74) 专利代理机构 南京鑫之航知识产权代理事

务所(特殊普通合伙) 32410

专利代理师 汪庆朋

(51) Int. Cl.

G01B 11/25 (2006.01)

G06F 17/16 (2006.01)

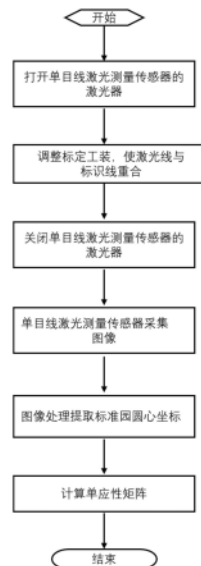
权利要求书3页 说明书7页 附图2页

## (54) 发明名称

一种单目线激光三维视觉传感器参数在位标定装置及方法

## (57) 摘要

本发明公开了一种单目线激光三维视觉传感器参数在位标定装置及方法,方法通过控制单目线激光测量传感器输出打开线激光器投射激光,调整在位标定装置的位置使得线激光与标识线重合,保持单目线激光测量传感器与在位标定装置的相对位置固定不动,关闭线激光打开相机拍摄图像,通过图像处理计算标准圆圆心在图像坐标系下的坐标值;用单应性矩阵建立图像坐标系与世界坐标系之间的函数映射关系,通过至少4组世界坐标系和图像坐标系对应点,求解8自由度的单应性矩阵,即可完成基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定。本发明实现方法操作简单、环境适应性更强,特别适合工业现场基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定。



1. 一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定装置,其特征在于,包括:所述在位标定装置采用对称阶梯面结构,每个阶梯面上加工两个标准圆,所述标准圆的圆心共面;所述每个标准圆两侧加工标记线,所述标记线为过所有圆心的面与阶梯面的交线,所述对称阶梯面结构中间的顶面加工一个标记点用来标识在位标定工装坐标系的+X轴方向。

2. 根据权利要求1所述的一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定装置,其特征在于,所述对称阶梯面结构的阶梯面的尺寸精度控制在0.01mm以内,标准圆的圆度控制在0.005以内,标准圆的圆心所在的平面度控制在0.005以内。

3. 一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定实现方法,其特征在于,包括以下步骤:

步骤S1:利用三坐标测量各圆心在高精度标定专用工装坐标系下的位置,其中标定工装坐标系的原点为顶面两个标准圆圆心的中点,X轴与顶面标记线平行,+X轴指向标记点,按照圆心坐标的X分量进行排序,第i个标准圆的圆心坐标记为 $W_i$ ,Y轴为顶面的法向向量,方向为垂直顶面向外;

步骤S2:打开单目线激光测量传感器中的激光器,调整高精度标定专用工装与单目线激光测量传感器的相对位置,使得激光器形成的光平面与标记线重合;

步骤S3:保持单目线激光测量传感器与高精度标定专用工装的相对位置不变,关闭激光器,打开单目线激光测量传感器中的工业相机并拍摄照片;

步骤S4:提取拍摄照片中标准圆的圆心在图像坐标系下的坐标值,并与标定工装坐标下圆心的排序相对应,记第i个标准圆的圆心在图像坐标系下的坐标值为 $C_i$ ;

步骤S5:利用标准圆在世界坐标系下的坐标值 $W_i$ 与对应的图像坐标系下的坐标值 $C_i$ ,求解单应性矩阵H,单应性矩阵H中包括单目线激光测量传感器所有需要标定的参数。

4. 根据权利要求3所述的一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定实现方法,其特征在于,所述步骤S1中,标准圆圆心均在一个平面上,如步骤S1所述,建立世界坐标系,此时标准圆圆心位于世界坐标系的OXY平面上,标准圆圆心坐标的Z值均为0。

5. 根据权利要求3所述的一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定实现方法,其特征在于,所述步骤S5中,根据世界坐标系下的坐标值 $W_i$ 与对应的图像坐标系下的坐标值 $C_i$ 求解单应性矩阵H,具体实现如下:

步骤S5.1:使用单应性矩阵对两个坐标系之间的坐标变换进行描述,具体为:

$$W \propto H * C$$

其中W表示世界坐标系下的坐标值,C表示图像坐标系下的坐标值,H表示待求的单应性矩阵, $\propto$ 表示存在固定的比例关系;

由于标准圆圆心坐标位于OXY平面上,世界坐标系属于平面坐标系,n个圆心点组成的W矩阵表示如下:

$$W = \begin{bmatrix} W_{x1} & \dots & W_{xn} \\ W_{y1} & \dots & W_{yn} \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

对应的图像坐标下的坐标值组成的矩阵C,表示为:

$$C = \begin{bmatrix} c_{x1} & \dots & c_{xn} \\ c_{y1} & \dots & c_{yn} \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

单应性矩阵H表示为:

$$H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix}$$

步骤S5.2:世界坐标系下的坐标点 $w_i$ 与对应的图像坐标系下的坐标点 $c_i$ ,两者之间的变换关系用单应性矩阵表示为:

$$w_i \propto H * c_i$$

其中H表示为单应性矩阵;

展开得

$$\begin{pmatrix} w_{ix} \\ w_{iy} \\ 1 \end{pmatrix} \propto \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} c_{ix} \\ c_{iy} \\ 1 \end{pmatrix}$$

因为 $w_i$ 和 $c_i$ 为齐次坐标,所以单应性矩阵H与尺度无关,因此单应性矩阵的自由度为8,使用 $h_9=1$ 对单应性矩阵进行归一化处理;

$$\begin{pmatrix} w_{ix} \\ w_{iy} \\ 1 \end{pmatrix} \propto \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} c_{ix} \\ c_{iy} \\ 1 \end{pmatrix}$$

故H共有8个未知数,需要8个方程来求解;

世界坐标系和图像坐标系中一对点提供2个约束方程,将上式展开如下所示:

$$w_{ix} = \frac{h_1 * c_{ix} + h_2 * c_{iy} + h_3}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$$

$$w_{iy} = \frac{h_4 * c_{ix} + h_5 * c_{iy} + h_6}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$$

将上式写成线性方程组的表达形式,则1组对应点的提供的约束方程表示为:

$$\begin{bmatrix} c_{ix} & c_{iy} & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_{ix}w_{ix} & -c_{iy}w_{ix} \\ 0 & 0 & 0 & c_{ix} & c_{iy} & 1 & -c_{ix}w_{iy} & -c_{iy}w_{iy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{ix} \\ w_{iy} \end{pmatrix}$$

步骤S5.3:理论上4对点对提供8个约束方程,通过求解线性方程组即可得到单应性矩阵H:

$$\begin{bmatrix} c_x^1 & c_y^1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^1 w_x^1 & -c_y^1 w_x^1 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^1 & c_y^1 & 1 & -c_x^1 w_y^1 & -c_y^1 w_y^1 \\ c_x^2 & c_y^2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^2 w_x^2 & -c_y^2 w_x^2 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^2 & c_y^2 & 1 & -c_x^2 w_y^2 & -c_y^2 w_y^2 \\ c_x^3 & c_y^3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^3 w_x^3 & -c_y^3 w_x^3 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^3 & c_y^3 & 1 & -c_x^3 w_y^3 & -c_y^3 w_y^3 \\ c_x^4 & c_y^4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^4 w_x^4 & -c_y^4 w_x^4 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^4 & c_y^4 & 1 & -c_x^4 w_y^4 & -c_y^4 w_y^4 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_x^1 \\ w_y^1 \\ w_x^2 \\ w_y^2 \\ w_x^3 \\ w_y^3 \\ w_x^4 \\ w_y^4 \end{pmatrix}$$

高精度专用标定工装提供10对对应点对,通过最小二乘优化计算单应性矩阵H;

步骤S5.4:利用计算的单应性矩阵H进行三维测量,其三维测量表示为:

$$w_i \propto H * c_i$$

其中世界坐标系下的坐标值 $w_i$ 表示为:

$$w_{ix} = \frac{h_1 * c_{ix} + h_2 * c_{iy} + h_3}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$$

$$w_{iy} = \frac{h_4 * c_{ix} + h_5 * c_{iy} + h_6}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$$

## 一种单目线激光三维视觉传感器参数在位标定装置及方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及一种单目线激光三维视觉传感器参数在位标定装置及方法,属于光学测量和机械工程技术领域。

### 背景技术

[0002] 单目线激光三维视觉传感器主要由线激光投射器和单个工业相机组成,由于其结构简单、成本低、测量时间短、鲁棒性强等显著优点,使其在工业领域中有着极其广泛的应用如:焊缝视觉跟踪系统、焊接质量检测系统、白车身质量检测系统、白车身间隙面差测量、逆向工程等。

[0003] 单目线激光三维视觉传感器的参数标定精度直接影响其测量精度,传统单目线激光三维视觉传感器标定参数主要包括相机内参数标定和光平面参数标定两部分。已有技术中,F.Zhou,G.Zhang在论文Complete calibration of a structured light stripe vision sensor through planar target of unknown orientations(Image and Vision Computing,2005,23(1):59-67)中提出了一种基于自由移动平面靶标的单目线激光视觉传感器参数标定方法,该方法需要通过相机拍摄标定板对焦清晰的平面标定板图片,工业现场恶劣的环境难以满足上述要求,同时由于基于沙姆定理的单目线激光测量传感器为了扩大其景深范围,将镜头与CCD靶面按照一定的角度关系倾斜设计,更难以获取对焦清晰的图片。上海交通大学的CN102980528号专利公开了“无位姿约束线激光单目视觉三维测量传感器”,采用交比不变性原理解决棋盘格靶标存在的行和列辨识的二义性问题,该方法同样存在工业现场相机标定过程中难以获取对焦清晰图片的问题。Cong Sun在综述论文Review of Calibration Methods for Scheimpflug Camera(Journal of Sensors,2018,-3-27:1-15)中对各种基于沙姆定理的相机标定模型进行了综述,未见适用于工业现场恶劣环境的标定装置及方法。

[0004] 因此,有必要研制一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定装置,并研究其实现方法,保证工业现场恶劣环境下基于沙姆定理的单目线激光测量传感器在位标定的效率、稳定性和精度。

### 发明内容

[0005] 针对现有系统和方法中的缺陷,本发明的目的是提供基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定装置及实现方法。

[0006] 根据本发明提供的一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定装置,包括:所述在位标定装置采用对称阶梯面结构,每个阶梯面上加工两个标准圆,所述标准圆的圆心共面;所述每个标准圆两侧加工标记线,所述标记线为过所有圆心的面与阶梯面的交线,所述对称阶梯面结构中间的顶面加工一个标记点用来标识在位标定工装坐标系的+X轴方向。

[0007] 优选的,所述对称阶梯面结构的阶梯面的尺寸精度控制在0.01mm以内,标准圆的

圆度控制在0.005以内,标准圆的圆心所在的平面度控制在0.005以内。

[0008] 根据本发明介绍的一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定实现方法,包括以下步骤:

[0009] 步骤S1:利用三坐标测量各圆心在高精度标定专用工装坐标系下的位置,其中标定工装坐标系(以下记为世界坐标系)的原点为顶面两个标准圆圆心的中点,X轴与顶面标记线平行,+X轴指向标记点,按照圆心坐标的X分量进行排序,第i个标准圆的圆心坐标记为 $W_i$ ,Y轴为顶面的法向向量,方向为垂直顶面向外;

[0010] 步骤S2:打开单目线激光测量传感器中的激光器,调整高精度标定专用工装与单目线激光测量传感器的相对位置,使得激光器形成的光平面过所有的标记线;

[0011] 步骤S3:保持单目线激光测量传感器与高精度标定专用工装的相对位置不变,关闭激光器,打开单目线激光测量传感器中的工业相机并拍摄照片;

[0012] 步骤S4:提取拍摄照片中标准圆的圆心在图像坐标系下的坐标值,并与标定工装坐标下圆心的排序相对应,记第i个标准圆的圆心在图像坐标系下的坐标值为 $C_i$ ;

[0013] 步骤S5:利用标准圆在世界坐标系下的坐标值 $W_i$ 与对应的图像坐标系下的坐标值 $C_i$ ,求解单应性矩阵H,单应性矩阵H中包括单目线激光测量传感器所有需要标定的参数。

[0014] 优选的,所述步骤S1中,标准圆圆心均在一个平面上,如步骤S1所述,建立世界坐标系,此时标准圆圆心位于世界坐标系的OXY平面上,标准圆圆心坐标的Z值均为0;

[0015] 优选的,所述步骤S5中,根据世界坐标系下的坐标值 $W_i$ 与对应的图像坐标系下的坐标值 $C_i$ 求解单应性矩阵H,具体实现如下:

[0016] 步骤S5.1:由于世界坐标系与对应的图像坐标系均属于平面坐标系,可使用单应性矩阵对两个坐标系之间的坐标变换进行描述,具体为:

$$[0017] \quad W \propto H * C$$

[0018] 其中W表示世界坐标系下的坐标值,C表示图像坐标系下的坐标值,H表示待求的单应性矩阵, $\propto$ 表示存在固定的比例关系。

[0019] 由于标准圆圆心坐标位于OXY平面上,世界坐标系属于平面坐标系,n个圆心点组成的W矩阵表示如下:

$$[0020] \quad W = \begin{bmatrix} W_{x1} & \dots & W_{xn} \\ W_{y1} & \dots & W_{yn} \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

[0021] 对应的图像坐标下的坐标值组成的矩阵C,表示为:

$$[0022] \quad C = \begin{bmatrix} C_{x1} & \dots & C_{xn} \\ C_{y1} & \dots & C_{yn} \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

[0023] 单应性矩阵H表示为:

$$[0024] \quad H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix}$$

[0025] 步骤S5.2:世界坐标系下的坐标点 $w_i$ 与对应的图像坐标系下的坐标点 $c_i$ ,两者之间的变换关系用单应性矩阵表示为:

$$[0026] \quad w_i \propto H * c_i$$

[0027] 其中H表示为单应性矩阵。

[0028] 展开得

$$[0029] \begin{pmatrix} w_{ix} \\ w_{iy} \\ 1 \end{pmatrix} \propto \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} c_{ix} \\ c_{iy} \\ 1 \end{pmatrix}$$

[0030] 因为 $w_i$ 和 $c_i$ 为齐次坐标,所以单应性矩阵H与尺度无关,因此单应性矩阵的自由度为8,使用 $h_9=1$ 对单应性矩阵进行归一化处理。

$$[0031] \begin{pmatrix} w_{ix} \\ w_{iy} \\ 1 \end{pmatrix} \propto \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} c_{ix} \\ c_{iy} \\ 1 \end{pmatrix}$$

[0032] 故H共有8个未知数,需要8个方程来求解。

[0033] 世界坐标系和图像坐标系中一对点提供2个约束方程,将上式展开如下所示:

$$[0034] w_{ix} = \frac{h_1 * c_{ix} + h_2 * c_{iy} + h_3}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$$

$$[0035] w_{iy} = \frac{h_4 * c_{ix} + h_5 * c_{iy} + h_6}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$$

[0036] 将上式写成线性方程组的表达形式,则1组对应点的提供的约束方程表示为:

$$[0037] \begin{bmatrix} c_{ix} & c_{iy} & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_{ix}w_{ix} & -c_{iy}w_{ix} \\ 0 & 0 & 0 & c_{ix} & c_{iy} & 1 & -c_{ix}w_{iy} & -c_{iy}w_{iy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{ix} \\ w_{iy} \end{pmatrix}$$

[0038] 步骤S5.3:理论上4对点对提供8个约束方程,通过求解线性方程组即可得到单应性矩阵H:

$$[0039] \begin{bmatrix} c_x^1 & c_y^1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^1 w_x^1 & -c_y^1 w_x^1 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^1 & c_y^1 & 1 & -c_x^1 w_y^1 & -c_y^1 w_y^1 \\ c_x^2 & c_y^2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^2 w_x^2 & -c_y^2 w_x^2 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^2 & c_y^2 & 1 & -c_x^2 w_y^2 & -c_y^2 w_y^2 \\ c_x^3 & c_y^3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^3 w_x^3 & -c_y^3 w_x^3 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^3 & c_y^3 & 1 & -c_x^3 w_y^3 & -c_y^3 w_y^3 \\ c_x^4 & c_y^4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^4 w_x^4 & -c_y^4 w_x^4 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^4 & c_y^4 & 1 & -c_x^4 w_y^4 & -c_y^4 w_y^4 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_x^1 \\ w_y^1 \\ w_x^2 \\ w_y^2 \\ w_x^3 \\ w_y^3 \\ w_x^4 \\ w_y^4 \end{pmatrix}$$

[0040] 本发明设计的高精度专用标定工装,可以提供10对对应点对,通过最小二乘优化计算单应性矩阵H。

[0041] 步骤S5.4:利用计算的单应性矩阵H进行三维测量,其三维测量表示为:

[0042]  $w_i \propto H * c_i$

[0043] 其中世界坐标系下的坐标值 $w_i$ 表示为:

$$[0044] \quad w_{ix} = \frac{h_1 * c_{ix} + h_2 * c_{iy} + h_3}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$$

$$[0045] \quad w_{iy} = \frac{h_4 * c_{ix} + h_5 * c_{iy} + h_6}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$$

[0046] 与现有技术相比,本发明具有如下的有益效果:

[0047] 1、本发明设计一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定装置及实现方法,该发明不需要拍摄标定板图像进行相机标定再进行激光器标定,只需拍摄一幅图像,能适应现场恶劣环境下单目线激光测量传感器参数在位、快速、方便、高精度标定;

[0048] 2、该标定方法采用单应性矩阵对单目线激光测量传感器进行参数建模,简化标定操作流程,减少操作时间;

[0049] 3、与传统相机相比,基于沙姆定理的相机更难以获取多组对焦清晰的图像,本发明设计的基于三维标定工装的方法在基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定的优势更显著,同时该发明也能用于传统的单目线激光测量传感器参数在位标定。

[0050] 以下将结合附图对本发明的构思、具体结构及产生的技术效果作进一步说明,以充分地了解本发明的目的、特征和效果。

## 附图说明

[0051] 通过阅读参照以下附图对非限制性实施例所作的详细描述,本发明的其它特征、目的和优点将会变得更明显:

[0052] 图1为本发明中一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器在位标定装置结构示意图;

[0053] 图2为本发明中一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定实施示意图;

[0054] 图3为本发明中一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定实现方法流程图;

[0055] 附图标记说明:

[0056] 标准圆1	标识点2
[0057] 标记线3	在位标定装置4
[0058] 光平面5	激光器6
[0059] 工业相机7	

## 具体实施方式

[0060] 下面结合具体实施例对本发明进行详细说明。以下实施例将有助于本领域的技术人员进一步理解本发明,但不以任何形式限制本发明。应当指出的是,对本领域的普通技术人员来说,在不脱离本发明构思的前提下,还可以做出若干变化和改进。这些都属于本发明的保护范围。



[0061] 根据本发明提供的一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定装置,包括:

[0062] 在位标定装置4如图1所示,采用对称阶梯面结构,每个阶梯面上加工两个标准圆1,保证所有标准圆1的圆心共面;在每个标准圆1两侧加工标记线3,标记线3为过所有圆心的面与阶梯面的交线,顶面加工一个标记点2用来标识在位标定工装坐标系的+X轴方向。

[0063] 优选的,在位标定工装的加工精度直接影响单目线激光测量传感器参数在位标定精度,阶梯面的尺寸精度控制在0.01mm以内,标准圆的圆度控制在0.005以内,圆心所在的平面度控制在0.005以内,在位标定工装各圆心的实际位置均需用三坐标测量并记录。

[0064] 如图2所示,根据本发明介绍的一种基于沙姆定理的单目线激光测量传感器参数在位标定实现方法,包括以下步骤:

[0065] 步骤S1:利用三坐标测量各圆心在高精度标定专用工装坐标系下的位置,其中标定工装坐标系(以下记为世界坐标系)的原点为顶面两个标准圆圆心的中点,X轴与顶面标记线平行,+X轴指向标记点,按照圆心坐标的X分量进行排序,第i个标准圆的圆心坐标记为 $W_i$ ,Y轴为顶面的法向向量,方向为垂直顶面向外;

[0066] 步骤S2:打开单目线激光测量传感器中的激光器6,调整高精度标定专用工装与单目线激光测量传感器的相对位置,使得激光器6形成的光平面5过所有的标记线3;

[0067] 步骤S3:保持单目线激光测量传感器与高精度标定专用工装的相对位置不变,关闭激光器6,打开单目线激光测量传感器中的工业相机7并拍摄照片;

[0068] 步骤S4:提取拍摄照片中标准圆的圆心在图像坐标系下的坐标值,并与标定工装坐标下圆心的排序相对应,记第i个标准圆的圆心在图像坐标系下的坐标值为 $C_i$ ;

[0069] 步骤S5:利用标准圆在世界坐标系下的坐标值 $W_i$ 与对应的图像坐标系下的坐标值 $C_i$ ,求解单应性矩阵H,单应性矩阵H中包括单目线激光测量传感器所有需要标定的参数;

[0070] 本实施例中,所述步骤S1中,标准圆圆心均在一个平面上,如步骤S1所述,建立世界坐标系,此时标准圆圆心位于世界坐标系的OXY平面上,标准圆圆心坐标的Z值均为0;

[0071] 本实施例中,所述步骤S5中,根据世界坐标系下的坐标值 $W_i$ 与对应的图像坐标系下的坐标值 $C_i$ 求解单应性矩阵H,具体实现如下:

[0072] 步骤S5.1:由于世界坐标系与对应的图像坐标系均属于平面坐标系,可使用单应性矩阵对两个坐标系之间的坐标变换进行描述,具体为:

[0073]  $W \propto H * C$

[0074] 其中W表示世界坐标系下的坐标值,C表示图像坐标系下的坐标值,H表示待求的单应性矩阵, $\propto$ 表示存在固定的比例关系。

[0075] 由于标准圆圆心坐标位于OXY平面上,世界坐标系属于平面坐标系,n个圆心点组成的W矩阵表示如下:

$$[0076] \quad W = \begin{bmatrix} W_{x1} & \dots & W_{xn} \\ W_{y1} & \dots & W_{yn} \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

[0077] 对应的图像坐标下的坐标值组成的矩阵C,表示为:

$$[0078] \quad C = \begin{bmatrix} C_{x1} & \dots & C_{xn} \\ C_{y1} & \dots & C_{yn} \\ 1 & \dots & 1 \end{bmatrix}$$

[0079] 单应性矩阵H表示为:

$$[0080] \quad H = \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix}$$

[0081] 步骤S5.2:世界坐标系下的坐标点 $w_i$ 与对应的图像坐标系下的坐标点 $c_i$ ,两者之间的变换关系用单应性矩阵表示为:

$$[0082] \quad w_i \propto H * c_i$$

[0083] 其中H表示为单应性矩阵。

[0084] 展开得

$$[0085] \quad \begin{pmatrix} w_{ix} \\ w_{iy} \\ 1 \end{pmatrix} \propto \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & h_9 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} c_{ix} \\ c_{iy} \\ 1 \end{pmatrix}$$

[0086] 因为 $w_i$ 和 $c_i$ 为齐次坐标,所以单应性矩阵H与尺度无关,因此单应性矩阵的自由度为8,使用 $h_9=1$ 对单应性矩阵进行归一化处理。

$$[0087] \quad \begin{pmatrix} w_{ix} \\ w_{iy} \\ 1 \end{pmatrix} \propto \begin{bmatrix} h_1 & h_2 & h_3 \\ h_4 & h_5 & h_6 \\ h_7 & h_8 & 1 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} c_{ix} \\ c_{iy} \\ 1 \end{pmatrix}$$

[0088] 故H共有8个未知数,需要8个方程来求解。

[0089] 世界坐标系和图像坐标系中一对点提供2个约束方程,将上式展开如下所示:

$$[0090] \quad w_{ix} = \frac{h_1 * c_{ix} + h_2 * c_{iy} + h_3}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$$

$$[0091] \quad w_{iy} = \frac{h_4 * c_{ix} + h_5 * c_{iy} + h_6}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$$

[0092] 将上式写成线性方程组的表达形式,则1组对应点的提供的约束方程表示为:

$$[0093] \quad \begin{bmatrix} c_{ix} & c_{iy} & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_{ix}w_{ix} & -c_{iy}w_{ix} \\ 0 & 0 & 0 & c_{ix} & c_{iy} & 1 & -c_{ix}w_{iy} & -c_{iy}w_{iy} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_{ix} \\ w_{iy} \end{pmatrix}$$

[0094] 步骤S5.3:理论上4对点对提供8个约束方程,通过求解线性方程组即可得到单应性矩阵H:

$$[0095] \quad \begin{bmatrix} c_x^1 & c_y^1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^1 w_x^1 & -c_y^1 w_x^1 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^1 & c_y^1 & 1 & -c_x^1 w_y^1 & -c_y^1 w_y^1 \\ c_x^2 & c_y^2 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^2 w_x^2 & -c_y^2 w_x^2 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^2 & c_y^2 & 1 & -c_x^2 w_y^2 & -c_y^2 w_y^2 \\ c_x^3 & c_y^3 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^3 w_x^3 & -c_y^3 w_x^3 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^3 & c_y^3 & 1 & -c_x^3 w_y^3 & -c_y^3 w_y^3 \\ c_x^4 & c_y^4 & 1 & 0 & 0 & 0 & -c_x^4 w_x^4 & -c_y^4 w_x^4 \\ 0 & 0 & 0 & c_x^4 & c_y^4 & 1 & -c_x^4 w_y^4 & -c_y^4 w_y^4 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} h_1 \\ h_2 \\ h_3 \\ h_4 \\ h_5 \\ h_6 \\ h_7 \\ h_8 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} w_x^1 \\ w_y^1 \\ w_x^2 \\ w_y^2 \\ w_x^3 \\ w_y^3 \\ w_x^4 \\ w_y^4 \end{pmatrix}$$

[0096] 本发明设计的高精度专用标定工装,可以提供10对对应点对,通过最小二乘优化计算单应性矩阵H。

[0097] 步骤S5.4:利用计算的单应性矩阵H进行三维测量,其三维测量表示为:

[0098]  $w_i \propto H * c_i$

[0099] 其中世界坐标系下的坐标值 $w_i$ 表示为:

[0100]  $w_{ix} = \frac{h_1 * c_{ix} + h_2 * c_{iy} + h_3}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$

[0101]  $w_{iy} = \frac{h_4 * c_{ix} + h_5 * c_{iy} + h_6}{h_7 * c_{ix} + h_8 * c_{iy} + 1}$

[0102] 以上详细描述了本发明的较佳具体实施例。应当理解,本领域的普通技术人员无需创造性劳动就可以根据本发明的构思做出诸多修改和变化。因此,凡本技术领域中技术人员依本发明的构思在现有技术的基础上通过逻辑分析、推理或者有限的实验可以得到的技术方案,皆应在由权利要求书所确定的保护范围内。

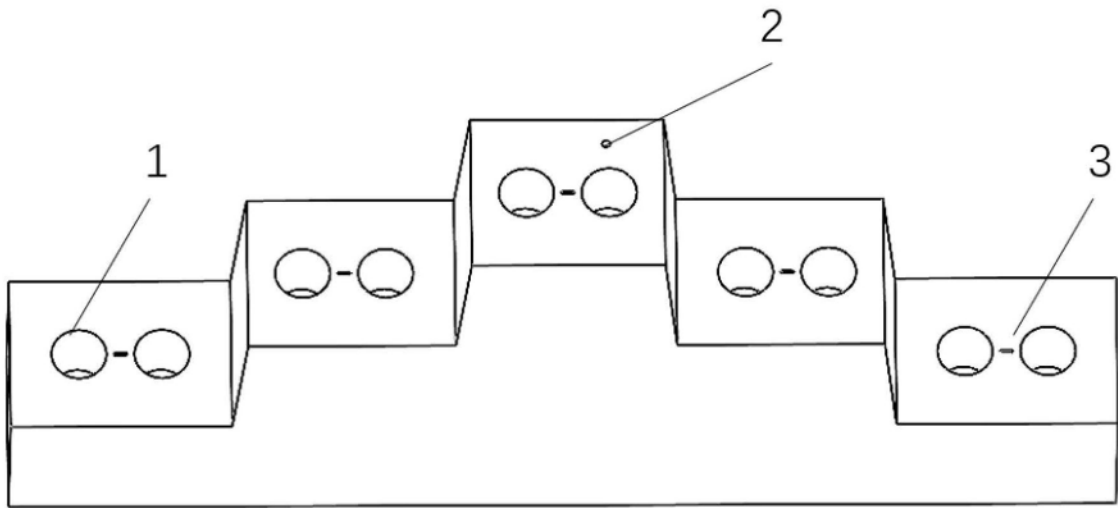


图1

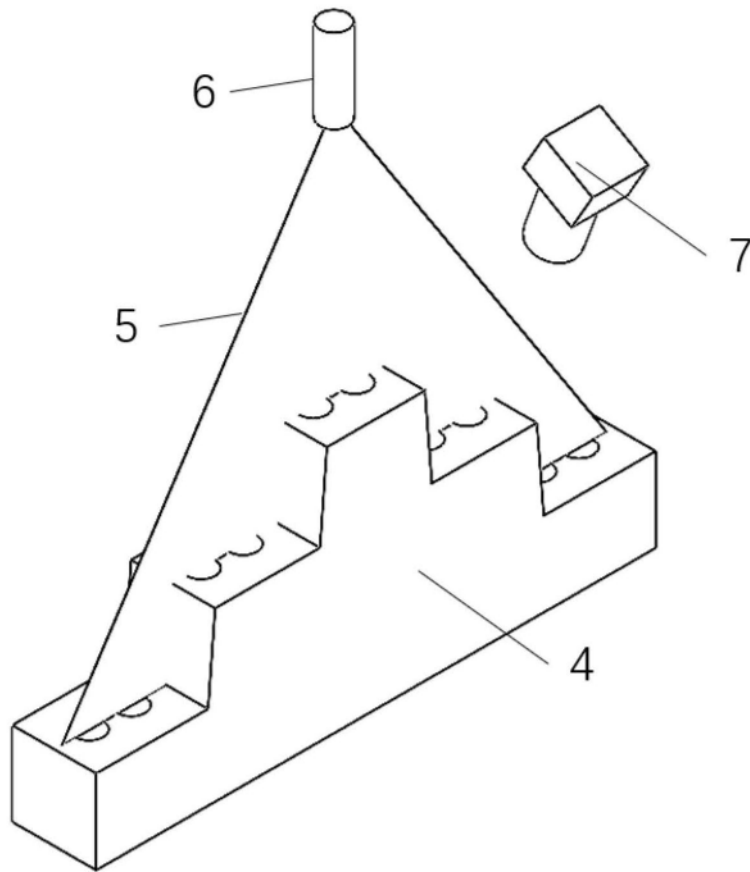


图2

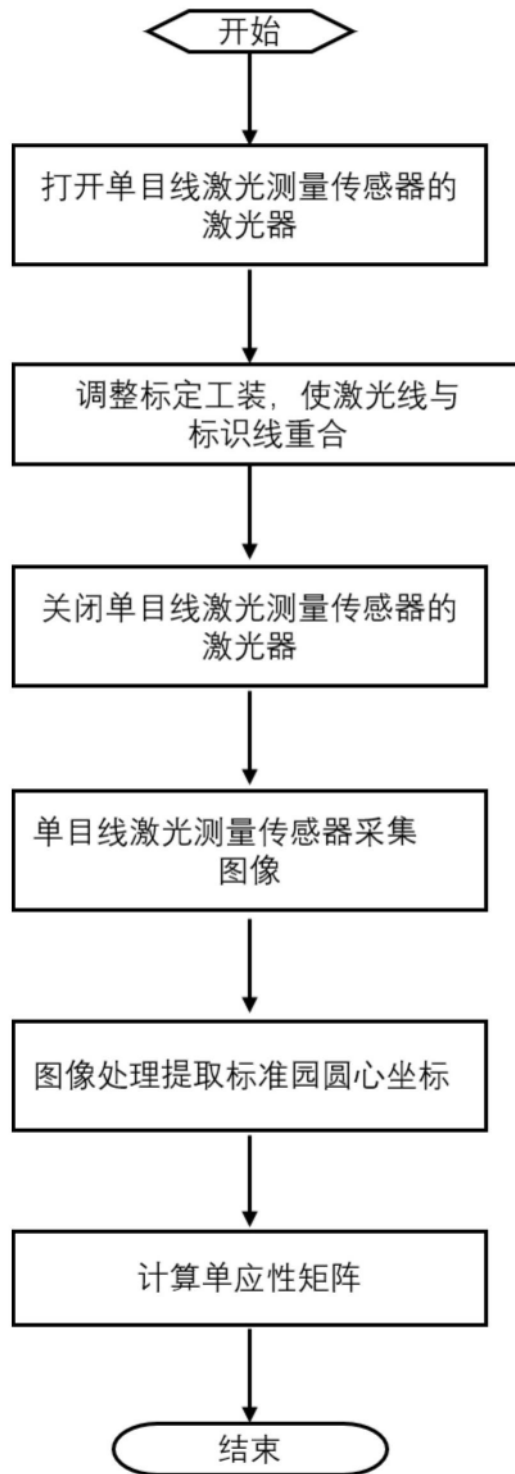


图3