



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 109141226 A

(43)申请公布日 2019.01.04

(21)申请号 201810585147.X

(22)申请日 2018.06.06

(71)申请人 华南农业大学

地址 510642 广东省广州市天河区五山路
483号

(72)发明人 赵祚喜 冯荣 谈婷 宋俊文
黎源鸿 杨贻勇 马昆鹏 蒙劭洋

(74)专利代理机构 广州市华学知识产权代理有
限公司 44245

代理人 李君

(51)Int.Cl.

G01B 11/00(2006.01)

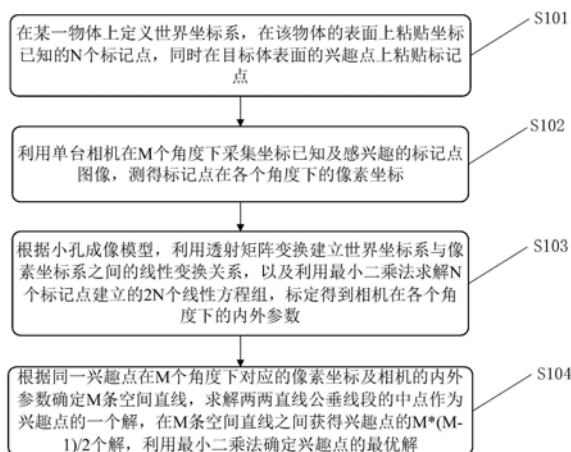
权利要求书2页 说明书9页 附图3页

(54)发明名称

单相机多角度的空间点坐标测量方法

(57)摘要

本发明公开了一种单相机多角度的空间点坐标测量方法,该方法包括:在某一物体上定义世界坐标系,在该物体表面上粘贴坐标已知的N个标记点,同时在目标体表面的兴趣点上粘贴标记点;在M个角度下采集坐标已知及感兴趣的标记点图像,测得标记点在各个角度下的像素坐标;建立世界坐标系与像素坐标系之间的线性变换关系,以及求解N个标记点建立的2N个线性方程组,标定得到相机在各个角度下的内外参数;根据同一兴趣点在M个角度下对应的像素坐标及相机的内外参数确定M条空间直线,求解两两直线公垂线段的中点作为兴趣点的一个解,在M条空间直线之间获得兴趣点的M*(M-1)/2个解,确定兴趣点的最优解。本发明为多体机械系统的3D建模、仿真、验证提供了基础。



1. 一种单相机多角度的空间点坐标测量方法,其特征在於:所述方法包括:

在某一物体上定义世界坐标系,在该物体的表面上粘贴坐标已知的N个标记点,同时在目标体表面的兴趣点上粘贴标记点;其中, $N \geq 6$;

利用单台相机在M个角度下采集坐标已知及感兴趣的标记点图像,测得标记点在各个角度下的像素坐标;其中, $M \geq 2$;

根据小孔成像模型,利用透射矩阵变换建立世界坐标系与像素坐标系之间的线性变换关系,以及利用最小二乘法求解N个标记点建立的 $2N$ 个线性方程组,标定得到相机在各个角度下的内外参数;

根据同一兴趣点在M个角度下对应的像素坐标及相机的内外参数确定M条空间直线,求解两两直线公垂线段的中点作为兴趣点的一个解,在M条空间直线之间获得兴趣点的 $M*(M-1)/2$ 个解,利用最小二乘法确定兴趣点的最优解。

2. 根据权利要求1所述的一种单相机多角度的空间点坐标测量方法,其特征在於:所述N个标记点中,至少四点不在同一平面上。

3. 根据权利要求1所述的一种单相机多角度的空间点坐标测量方法,其特征在於:所述世界坐标系与像素坐标系之间的线性变换关系,如下:

$$u = \frac{L_1 x + L_2 y + L_3 z + L_4}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1}$$

$$v = \frac{L_5 x + L_6 y + L_7 z + L_8}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1}$$

其中, u 和 v 为投影点在像素坐标系中的坐标; x 、 y 、 z 为兴趣点在世界坐标系下的坐标; L_i ($i=1,2,\dots,11$)为表含有相机内外参数的值。

4. 根据权利要求3所述的一种单相机多角度的空间点坐标测量方法,其特征在於:如果将 $b_u = b/f_u$, $b_v = b/f_v$, 以及 $D = -(x_0 r_{31} + y_0 r_{32} + z_0 r_{33})$, 则参数 L_i ($i=1,2,\dots,11$)表示如下:

$$L_1 = \frac{u_0 r_{31} - b_u r_{11}}{D}$$

$$L_2 = \frac{u_0 r_{32} - b_u r_{12}}{D}$$

$$L_3 = \frac{u_0 r_{33} - b_u r_{13}}{D}$$

$$L_4 = \frac{(b_u r_{11} - u_0 r_{31})x_0 + (b_u r_{12} - u_0 r_{32})y_0 + (b_u r_{13} - u_0 r_{33})z_0}{D}$$

$$L_5 = \frac{v_0 r_{31} - b_v r_{21}}{D}$$

$$L_6 = \frac{v_0 r_{32} - b_v r_{22}}{D}$$

$$L_7 = \frac{v_0 r_{33} - b_v r_{23}}{D}$$

$$L_8 = \frac{(b_v r_{21} - v_0 r_{31})x_0 + (b_v r_{22} - v_0 r_{32})y_0 + (b_v r_{23} - v_0 r_{33})z_0}{D}$$

$$L_9 = \frac{r_{31}}{D}$$

$$L_{10} = \frac{r_{32}}{D}$$

$$L_{11} = \frac{r_{33}}{D}$$

其中, u_0 、 v_0 为相机光轴与像平面的交点的像素坐标; f_u 、 f_v 为单个像素在u和v方向的实际尺寸; b 为相机的焦距; r_{ij} ($i, j=1, 2, 3$)为外参数中旋转矩阵R的元素; x_0 、 y_0 、 z_0 为相机坐标系原点在世界坐标系下的坐标。

5. 根据权利要求1所述的一种单相机多角度的空间点坐标测量方法, 其特征在于: 所述相机在各个角度下的内外参数包括四个内参数 u_0 、 v_0 、 f_u 和 f_v , 以及两个外参数 $R_{3 \times 3}$ 和 $T_{3 \times 1}$; 其中, u_0 、 v_0 为相机光轴与像平面的交点的像素坐标, f_u 、 f_v 为单个像素在u和v方向的实际尺寸; R 为相机坐标系与世界坐标系的旋转矩阵, T 为相机坐标系与世界坐标系之间的平移向量。

6. 根据权利要求1所述的一种单相机多角度的空间点坐标测量方法, 其特征在于: 所述空间直线由相机的光心、兴趣点以及像平面的投影点的三点连线确定。

7. 根据权利要求1所述的一种单相机多角度的空间点坐标测量方法, 其特征在于: 所述两两直线公垂线段由两条直线各自与公垂线段确定的两个平面的交线确定。

8. 根据权利要求1所述的一种单相机多角度的空间点坐标测量方法, 其特征在于: 所述利用最小二乘法确定兴趣点的最优解是指求得点与 $M^*(M-1)/2$ 个点中各点的距离的平方和为最小。

单相机多角度的空间点坐标测量方法

技术领域

[0001] 本发明涉及一种视觉测量方法,尤其是一种单相机多角度的空间点坐标测量方法,属于视觉测量领域。

背景技术

[0002] 目前,坐标测量常用的有三坐标测量法及视觉坐标测量法,工业上用的三坐标测量机可以完成复杂零件的精确测量,但接触式的测量不仅费时,而且容易将被测零件划伤,测量范围也有限,测量设备体积庞大,对工作环境要求较高;视觉测量由于非接触、环境适应性好而在各个领域快速的发展,现有的空间点坐标视觉测量技术分为单目视觉测量技术和多目视觉测量技术。

[0003] 单目视觉测量技术使用一台摄像机作为视觉传感器,利用空间点之间的几何约束知识,建立空间点与对应像点的求解关系,完成空间点坐标的测量,该方法虽然设计简单,测量灵活,但受限于每个空间点有且仅有一条透视投影直线与之对应,缺乏空间点深度信息。

[0004] 多目视觉测量技术使用两台或多台摄像机作为视觉传感器,虽然可以完成视场内任意空间点坐标的测量,测量精度高,但由于采用多台摄像机,其公共视场小,且价格昂贵。

发明内容

[0005] 本发明的目的是为了解决上述现有技术的缺陷,提供了一种单相机多角度的空间点坐标测量方法,该方法利用单台相机实现了空间物体表面感兴趣点的三维坐标测量,为多体机械系统的尺寸测量、3D建模、仿真、验证提供了基础。

[0006] 本发明的目的可以通过采取如下技术方案达到:

[0007] 一种单相机多角度的空间点坐标测量方法,所述方法包括:

[0008] 在某一物体上定义世界坐标系,在该物体的表面上粘贴坐标已知的N个标记点,同时在目标体表面的兴趣点上粘贴标记点;其中, $N \geq 6$;

[0009] 利用单台相机在M个角度下采集坐标已知及感兴趣的标记点图像,测得标记点在各个角度下的像素坐标;其中, $M \geq 2$;

[0010] 根据小孔成像模型,利用透射矩阵变换建立世界坐标系与像素坐标系之间的线性变换关系,以及利用最小二乘法求解N个标记点建立的2N个线性方程组,标定得到相机在各个角度下的内外参数;

[0011] 根据同一兴趣点在M个角度下对应的像素坐标及相机的内外参数确定M条空间直线,求解两两直线公垂线段的中点作为兴趣点的一个解,在M条空间直线之间获得兴趣点的 $M * (M-1) / 2$ 个解,利用最小二乘法确定兴趣点的最优解。

[0012] 进一步的,所述N个标记点中,至少四点不在同一平面上。

[0013] 进一步的,所述世界坐标系与像素坐标系之间的线性变换关系,如下:

$$[0014] \quad u = \frac{L_1 x + L_2 y + L_3 z + L_4}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1}$$

$$[0015] \quad v = \frac{L_5 x + L_6 y + L_7 z + L_8}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1}$$

[0016] 其中, u 和 v 为投影点在像素坐标系中的坐标; x 、 y 、 z 为兴趣点在世界坐标系下的坐标; L_i ($i=1, 2, \dots, 11$) 为表含有相机内外参数的值。

[0017] 进一步的, 如果将 $b_u = b/f_u$, $b_v = b/f_v$, 以及 $D = -(x_0 r_{31} + y_0 r_{32} + z_0 r_{33})$, 则参数 L_i ($i=1, 2, \dots, 11$) 表示如下:

$$[0018] \quad L_1 = \frac{u_0 r_{31} - b_u r_{11}}{D}$$

$$[0019] \quad L_2 = \frac{u_0 r_{32} - b_u r_{12}}{D}$$

$$[0020] \quad L_3 = \frac{u_0 r_{33} - b_u r_{13}}{D}$$

$$[0021] \quad L_4 = \frac{(b_u r_{11} - u_0 r_{31})x_0 + (b_u r_{12} - u_0 r_{32})y_0 + (b_u r_{13} - u_0 r_{33})z_0}{D}$$

$$[0022] \quad L_5 = \frac{v_0 r_{31} - b_v r_{21}}{D}$$

$$[0023] \quad L_6 = \frac{v_0 r_{32} - b_v r_{22}}{D}$$

$$[0024] \quad L_7 = \frac{v_0 r_{33} - b_v r_{23}}{D}$$

$$[0025] \quad L_8 = \frac{(b_v r_{21} - v_0 r_{31})x_0 + (b_v r_{22} - v_0 r_{32})y_0 + (b_v r_{23} - v_0 r_{33})z_0}{D}$$

$$[0026] \quad L_9 = \frac{r_{31}}{D}$$

$$[0027] \quad L_{10} = \frac{r_{32}}{D}$$

$$[0028] \quad L_{11} = \frac{r_{33}}{D}$$

[0029] 其中, u_0 、 v_0 为相机光轴与像平面的交点的像素坐标; f_u 、 f_v 为单个像素在 u 和 v 方向的实际尺寸; b 为相机的焦距; r_{ij} ($i, j=1, 2, 3$) 为外参数中旋转矩阵 R 的元素; x_0 、 y_0 、 z_0 为相机坐标系原点在世界坐标系下的坐标。

[0030] 进一步的,所述相机在各个角度下的内外参数包括四个内参数 u_0 、 v_0 、 f_u 和 f_v ,以及两个外参数 $R_{3 \times 3}$ 和 $T_{3 \times 1}$;其中, u_0 、 v_0 相机光轴与像平面的交点的像素坐标, f_u 、 f_v 为单个像素在 u 和 v 方向的实际尺寸; R 为相机坐标系与世界坐标系的旋转矩阵, T 为相机坐标系与世界坐标系之间的平移向量。

[0031] 进一步的,所述空间直线由相机的光心、兴趣点以及像平面的投影点的三点连线确定。

[0032] 进一步的,所述两两直线公垂线段由两条直线各自与公垂线段确定的两个平面的交线确定。

[0033] 进一步的,所述利用最小二乘法确定兴趣点的最优解是指求得的点与 $M * (M-1) / 2$ 个点中各点的距离的平方和为最小。

[0034] 本发明相对于现有技术具有如下的有益效果:

[0035] 1、本发明通过空间中坐标已知的 N 个标记点与其在各角度下测得的像素坐标的一一对应关系,利用最小二乘法求解 $2N$ 个线性方程组,实现了各个角度下的相机标定,然后利用空间几何法,求解兴趣点对应的 M 条空间直线方程及两两直线的公垂线段方程,利用最小二乘法确定公垂线段中点的最优解即为兴趣点的测量值。该方法测量精度达到,与双目坐标测量相比,大大节约了成本。

[0036] 2、本发明可实现物体表面兴趣点的静态坐标测量,利用这些点可以求解任意体的质心位置及姿态角,为尺寸测量、3D建模、仿真验证及系统优化设计提供了必要的手段。

[0037] 3、本发明避免了科研人员在绘制三维模型用于仿真时,用尺子逐一量取零件尺寸费时费力的问题,极大的方便了科研人员。

附图说明

[0038] 图1为本发明实施例1的单相机多角度的空间点坐标测量方法流程图。

[0039] 图2为本发明实施例1的小孔成像模型示意图。

[0040] 图3为本发明实施例2的空间点坐标测量现场布置图。

[0041] 图4为本发明实施例2的空间立体几何求解坐标最优解的示意图。

[0042] 其中,1-铁皮箱,2-第一标定纸,3-第二标定纸,4-第一拍摄角度,5-第二拍摄角度,6-第三拍摄角度,7-相机坐标系原点(光心),8-试验地面。

具体实施方式

[0043] 下面结合实施例及附图对本发明作进一步详细的描述,但本发明的实施方式不限于此。

[0044] 实施例1:

[0045] 如图1所示,本实施例提供了一种单相机多角度的空间点坐标测量方法,该方法包括以下步骤:

[0046] S101、在某一物体上定义世界坐标系,在该物体的表面上粘贴坐标已知的 N 个标记点,同时在目标体表面的兴趣点上粘贴标记点;其中, $N \geq 6$ 。

[0047] 本步骤中, N 个标记点是宝马标记点,用于实现在图像处理中像平面投影点的精确提取,且 N 个标记点中,至少四点不在同一平面上。

[0048] S102、利用单台相机在M个角度下采集坐标已知及感兴趣的标记点图像,测得标记点在各个角度下的像素坐标;其中, $M \geq 2$ 。

[0049] 本步骤中,利用TEMA软件测得标记点在各个角度下的像素坐标。

[0050] S103、根据小孔成像模型,利用透射矩阵变换建立世界坐标系与像素坐标系之间的线性变换关系,以及利用最小二乘法求解N个标记点建立的2N个线性方程组,标定得到相机在各个角度下的内外参数。

[0051] 图2为小孔成像模型的示意图,本步骤根据此模型,可以表示出世界坐标系与像素坐标系的线性变换关系,具体推导关系如下:

[0052] 1) 相机坐标系与世界坐标系的关系可表示为:

$$[0053] \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{bmatrix}$$

[0054] 其中, (X_c, Y_c, Z_c) 为空间点在相机坐标系下的坐标; R 为 3×3 的旋转矩阵; (x, y, z) 为空间点的世界坐标; (x_0, y_0, z_0) 为相机坐标系原点在世界坐标系下的坐标。

[0055] 2) 图像坐标系与相机坐标系的关系可表示为:

$$[0056] \begin{bmatrix} \hat{u} \\ \hat{v} \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_c} \begin{bmatrix} b & 0 & 0 \\ 0 & b & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \end{bmatrix}$$

[0057] 其中, b 为相机焦距, $(\hat{u} \ \hat{v} \ 1)^T$ 为像平面投影点在图像坐标系下的坐标。

[0058] 3) 像素坐标系与图像坐标系的关系可表示为:

$$[0059] \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/k_u & 0 & u_0 \\ 0 & 1/k_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{u} \\ \hat{v} \\ 1 \end{bmatrix}$$

[0060] 其中, k_u, k_v 分别为单个像素在 u 和 v 方向上的真实尺寸; u_0, v_0 为焦点的像素坐标。

[0061] 4) 像素坐标系与世界坐标系的关系可表示为:

$$[0062] \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_c} \begin{bmatrix} b/k_u & 0 & u_0 \\ 0 & b/k_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} R_{3 \times 3} \begin{bmatrix} x - x_0 \\ y - y_0 \\ z - z_0 \end{bmatrix}$$

$$[0063] \quad u - u_0 = -\frac{b}{k_u} \frac{r_{11}(x - x_0) + r_{12}(y - y_0) + r_{13}(z - z_0)}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)}$$

$$[0064] \quad v - v_0 = -\frac{b}{k_v} \frac{r_{21}(x - x_0) + r_{22}(y - y_0) + r_{23}(z - z_0)}{r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)}$$

[0065] 其中, $Z_c = r_{31}(x - x_0) + r_{32}(y - y_0) + r_{33}(z - z_0)$; r_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) 为旋转矩阵 R 中的元素。

[0066] 进一步展开得到:

$$[0067] \quad u = \frac{L_1 x + L_2 y + L_3 z + L_4}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1}$$

$$[0068] \quad v = \frac{L_5 x + L_6 y + L_7 z + L_8}{L_9 x + L_{10} y + L_{11} z + 1} \quad (1)$$

[0069] 其中, u 和 v 为投影点在像素坐标系中的坐标; x, y, z 为兴趣点在世界坐标系下的坐标; L_i ($i = 1, 2, \dots, 11$) 为表含有相机内外参数的值。

[0070] 如果将 $b_u = b/f_u, b_v = b/f_v$, 以及 $D = -(x_0 r_{31} + y_0 r_{32} + z_0 r_{33})$, 则参数 L_i ($i = 1, 2, \dots, 11$) 表示如下:

$$[0071] \quad L_1 = \frac{u_0 r_{31} - b_u r_{11}}{D}$$

$$[0072] \quad L_2 = \frac{u_0 r_{32} - b_u r_{12}}{D}$$

$$[0073] \quad L_3 = \frac{u_0 r_{33} - b_u r_{13}}{D}$$

$$[0074] \quad L_4 = \frac{(b_u r_{11} - u_0 r_{31})x_0 + (b_u r_{12} - u_0 r_{32})y_0 + (b_u r_{13} - u_0 r_{33})z_0}{D}$$

$$[0075] \quad L_5 = \frac{v_0 r_{31} - b_v r_{21}}{D}$$

$$[0076] \quad L_6 = \frac{v_0 r_{32} - b_v r_{22}}{D}$$

$$[0077] \quad L_7 = \frac{v_0 r_{33} - b_v r_{23}}{D}$$

$$[0078] \quad L_8 = \frac{(b_v r_{21} - v_0 r_{31})x_0 + (b_v r_{22} - v_0 r_{32})y_0 + (b_v r_{23} - v_0 r_{33})z_0}{D}$$

$$[0079] \quad L_9 = \frac{r_{31}}{D}$$

$$[0080] \quad L_{10} = \frac{r_{32}}{D}$$

$$[0081] \quad L_{11} = \frac{r_{33}}{D}$$

[0082] 其中, u_0 、 v_0 为相机光轴与像平面的交点(焦点)的像素坐标; f_u 、 f_v 为单个像素在u和v方向的实际尺寸; b 为相机的焦距; r_{ij} ($i, j=1, 2, 3$)为外参数中旋转矩阵R的元素; x_0 、 y_0 、 z_0 为相机坐标系原点在世界坐标系下的坐标。

[0083] 本步骤中, 相机在各个角度下的内外参数包括四个内参数 u_0 、 v_0 、 f_u 和 f_v , 以及两个外参数 $R_{3 \times 3}$ 和 $T_{3 \times 1}$; 其中, u_0 、 v_0 如上所述, 为相机光轴与像平面的交点的像素坐标, f_u 、 f_v 如上所述, 为单个像素在u和v方向的实际尺寸; R为相机坐标系与世界坐标系的旋转矩阵, T为相机坐标系与世界坐标系之间的平移向量。

[0084] S104、根据同一兴趣点在M个角度下对应的像素坐标及相机的内外参数确定M条空间直线, 求解两两直线公垂线段的中点作为兴趣点的一个解, 在M条空间直线之间获得兴趣点的 $M * (M-1) / 2$ 个解, 利用最小二乘法确定兴趣点的最优解。

[0085] 本步骤中, 所述空间直线由相机的光心、兴趣点以及像平面的投影点的三点连线确定, M条空间直线由于各个角度下标定误差的存在而不会相交于同一个兴趣点; 两两直线公垂线段由两条直线各自与公垂线段确定的两个平面的交线确定; 利用最小二乘法确定兴趣点的最优解是指求得的点与 $M * (M-1) / 2$ 个点中各点的距离的平方和为最小。

[0086] 实施例2:

[0087] 如图3所示, 为本实施例的空间点坐标测量的现场布置图, 试验地面8铺满了边长为50cm×50cm的地板砖, 首先移动形状为长方体的铁皮箱1, 使其底端的两条直角边与地板砖的两直角边重合; 然后在铁皮箱1的两竖直平面上粘贴两张黑白相间的标定纸, 两张标定纸分别第一标定纸2和第二标定纸3, 保证两张标定纸的一条边与铁皮箱的一棱边重合, 两张标定纸的上直角边相交于一点; 其中, 第一标定纸2的网格边长为30mm×30mm, 第二标定纸3的网格边长为25mm×25mm, 建立如图所示的世界坐标系, 则两张标定纸上任意角点(标定点)在世界坐标系下的坐标可方便读出; 试验用的相机为美国Vision Research公司产的Phantom M310高速相机, 移动相机的位置, 并对其进行调平, 尽量使相机坐标系原点(光心)7投射到地板砖的角点上, 这样依靠地板砖的边长及直尺可方便得到光心7在世界坐标系下的坐标, 此坐标可验证相机标定结果的准确性, 第一拍摄角度4下的光心坐标为(-1, -0.5, 0.23)m, 调整相机的焦距, 使采集的图片比较清晰, 完成第一拍摄角度4下的图片采集, 该图片的分辨率1280×800像素, 依此相同的步骤, 完成第二拍摄角度5和第三拍摄角度6下的拍摄, 其中第二拍摄角度5下的光心坐标为(-1.5, -1, 0.158)m, 图片分辨率为1280×720像素, 第三拍摄角度6下的光心坐标为(-1, -1.5, 0.164)m, 图片分辨率为1280×800像素。

[0088] 在两张标定纸中各选五个角点(标定点), 得出他们在世界坐标系下的坐标, 然后用瑞典Image Systems公司的TEMA运动分析软件获得三个拍摄角度下各标定点对应的像素坐标, 具体数值如下表1所示:

[0089]

	世界坐标 (x,y,z)	第一拍摄角度对应的像素坐标		第二拍摄角度对应的像素坐标		第三拍摄角度对应的像素坐标	
		u	v	u'	v'	u''	v''
点 1	(0.09, 0, 0.06)	488.57	657.04	524.33	474.77	593.50	518.25
点 2	(0.36, 0, 0.15)	343.11	498.63	393	380.5	380	419
点 3	(0.18, 0, 0.3)	433.77	295.39	477.5	237	518.46	266.50
点 4	(0.30, 0, 0.36)	372.50	224.25	421	188	425	211
点 5	(0.06, 0, 0.36)	511.50	189.75	542.75	170.5	621.07	197.76
点 6	(0, 0.075, 0.05)	654.75	685.50	636.50	488.50	715.72	530.51
点 7	(0, 0.2, 0.15)	819.33	521.54	736.25	387	783.25	424.25
点 8	(0, 0.05, 0.25)	624.25	363.25	618.50	282.50	703.75	317.25
点 9	(0, 0.175, 0.35)	792.43	216.69	720.50	188.88	772.50	222.75
点 10	(0, 0.125, 0.4)	728.25	133	681.75	134.75	746.60	165.88

[0090] 表1三个拍摄角度下各标定点对应的像素坐标

[0091] 将上述十个标定点的世界坐标及像素坐标代入上述实施例1的式(1)中,且整理为矩阵形式如下:

[0092]

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & z_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_1x_1 & -u_1y_1 & -u_1z_1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & z_1 & 1 & -v_1x_1 & -v_1y_1 & -v_1z_1 \\ M & M & M & M & M & M & M & M & M & M & M \\ x_{10} & y_{10} & z_{10} & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -u_{10}x_{10} & -u_{10}y_{10} & -u_{10}z_{10} \\ 0 & 0 & 0 & 0 & x_{10} & y_{10} & z_{10} & 1 & -v_{10}x_{10} & -v_{10}y_{10} & -v_{10}z_{10} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ M \\ L_{10} \\ L_{11} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ M \\ u_{10} \\ v_{10} \end{bmatrix}$$

[0093] 对于方程个数多于未知量的个数,即 $A_{n \times m} x_{m \times 1} = b_{n \times 1} (n > m)$,若 $A^T A$ 可逆,则方程组存在最小二乘解, $x = (A^T A)^{-1} A^T b$ 。

[0094] 因此,本实施例可以求解出三个角度下对应的 $[L_1 \ L_2 \ K \ L_{11}]^T$:

[0095] 第一拍摄角度对应的解:

[0096] $[-289.9, 1729.4, 4.2, 549.2, 337.6, 222.6, -1658.5, 775.0, 0.8, 0.5, 0]$

[0097] 第二拍摄角度对应的解:

[0098] $[-321.1, 1057.9, -3.1, 573.7, 162.6, 140.2, -1052, 542.3, 0.5, 0.3, 0]$

[0099] 第三拍摄角度对应的解:

[0100] $[-681.4, 935.4, -3.7, 672.3, 129.5, 210.2, -1099.2, 588.4, 0.3, 0.5, 0]$

[0101] 将求解得到的十一个参数代入上面整理的矩阵形式中,并结合旋转矩阵R为正交矩阵,即矩阵R的各行或各列是单位向量且两两正交,可以求解出三个拍摄角度下对应的相机内外参数,如下表2所示:

[0102]

	(u_0, v_0)	b_u	b_v	R	(x_0, y_0, z_0)
第一拍摄 角度	(639.25,427)	1735.69	1755.36	$\begin{bmatrix} 0.3916 & -0.9203 & -0.0026 \\ 0.0028 & -0.0055 & 0.9996 \\ 0.848 & 0.529 & 0 \end{bmatrix}$	(-0.9499, -0.4773,0.2099)
第二拍摄 角度	(642.53,362.76)	1845.72	1809.20	$\begin{bmatrix} 0.5968 & 0.8029 & 0.0029 \\ 0.0178 & -0.0298 & 0.9971 \\ 0.8574 & 0.5145 & 0 \end{bmatrix}$	(-1.4168, -0.9719,0.1670)
第三拍摄 角度	(645.23,423.39)	1814.25	1884	$\begin{bmatrix} 0.8271 & -0.5737 & 0.0035 \\ -0.0023 & 0.0014 & 0.999 \\ 0.5145 & 0.8575 & 0 \end{bmatrix}$	(-0.9649, -1.4210, 0.1499)

[0103] 表2三个拍摄角度下对应的相机内外参数

[0104] 本实施例使用的相机的传感器尺寸为 $25.6\text{mm} \times 16.0\text{mm}$,分辨率为 1280×800 对应的像素大小 $k_u = k_v = 20\mu\text{m}$,理想的焦点坐标 $(u_0, v_0) = (640, 400)$,分辨率为 1280×720 对应的像素大小为 $k_u = 20\mu\text{m}, k_v = 22.22\mu\text{m}$,理想的焦点坐标 $(u_0, v_0) = (640, 360)$,对三个角度下标定得到的焦点坐标与理想值进行对比,发现 u 方向的最大偏差为5个像素, v 方向的最大偏差为27个像素,对三个角度下得到的光心坐标与事先测量得到的光心坐标进行比较,发现 x 方向最大偏差为 8.32cm , y 方向最大偏差为 8cm , z 方向最大偏差为 2cm , x 和 y 方向的偏差之所以大,是因为在调整相机的时候,很难保证光心投射到地板砖的角点上,但 z 坐标测量比较方便,综上对比结果,可见用此方法得到的标定结果比较可靠。

[0105] 如图4所示,为本实施例利用单相机三角度实现空间点的坐标测量空间几何示意图,空间点 P 在三个角度的像素平面上的投影点为 P_1, P_2, P_3 ,理论上相机的光心、像点、空间点在一条直线上,但由于标定误差的存在,光心与像点的连线不会通过空间点,那三个角度产生的三条空间直线两两异面,将异面直线的公垂线段的中点作为空间点坐标解,具体求解步骤如下:

[0106] 1) 先在粘贴于铁皮箱1的标定纸上选取一个角点 P ,它在世界坐标系下的坐标为 $(0, 0.125, 0.175)$, P 点在三个角度下的像点像素坐标为: $P_1(725, 484.50)$ 、 $P_2(679.25, 361.75)$ 、 $P_3(746, 399)$ 的通过光心与像点在世界坐标系下的坐标确定直线 L_1, L_2, L_3 方程:

$$[0107] \quad L_1: \frac{x+0.9499}{333} = \frac{y+0.4773}{123} = \frac{z-0.2099}{11}$$

$$[0108] \quad L_2: \frac{x+1.4168}{-9} = \frac{y+0.9719}{16} = \frac{z-0.1670}{0}$$

$$[0109] \quad L_3: \frac{x+0.9649}{224} = \frac{y+1.4210}{288} = \frac{z-0.1499}{-5}$$

[0110] 2) 异面直线间公垂线段的向量可由两异面直线的向量积确定,两条异面直线分别与公垂线可确定两个平面,平面的法向量由异面直线之一与它们公垂线段的向量积确定,则两异面直线的公垂线段就为这两个平面的交线,三条空间直线两两可确定三条公垂线段,公垂线段方程为:

$$[0111] \quad L_{12} (L_1, L_2) \frac{x+1.3189}{-0.0274} = \frac{y+1.1353}{-0.0154} = \frac{z}{1}$$

$$[0112] \quad L_{13} (L_1, L_3) \frac{x-0.0558}{-0.0553} = \frac{y+0.1255}{0.0604} = \frac{z}{1}$$

$$[0113] \quad L_{23} (L_2, L_3) \frac{x+1.0827}{0.013} = \frac{y+1.5710}{0.0073} = \frac{z}{1}$$

[0114] 3) 求解公垂线的中点坐标,分别求异面直线与公垂线的交点坐标,则公垂线段的中点坐标为这两个交点对应坐标相加的一半,公垂线中点用 M_{12} 、 N_{13} 、 F_{23} 表示如下:

$$[0115] \quad M_{12} (-0.0005, 0.1298, 0.1818)$$

$$[0116] \quad N_{13} (-0.0032, 0.1143, 0.1558)$$

$$[0117] \quad F_{23} (0.0001, 0.1250, 0.1659)$$

[0118] 4) 利用最小二乘法,可以确定空间点最优解满足到三点距离的平方和最小,该点坐标为三点构成三角形的中心坐标为 $(M_{12}+N_{13}+F_{23})/3$,即 $(-0.0012, 0.1230, 0.1678)$,所求得坐标与该点的真实坐标 $(0, 0.125, 0.175)$ 对比,x方向坐标偏差为1.2mm,y方向坐标偏差为2mm,z方向坐标偏差为1cm,标定点像素坐标误差和标定点位置误差都会对标定结果产生影响,所以本实施例的坐标测量方法会存在一定的误差,但能够满足一定精度的测量要求。

[0119] 综上所述,本发明实现了空间点坐标的测量,且测量精度为1cm,为多体机械系统的尺寸测量、3D建模、仿真、验证提供了基础。

[0120] 以上所述,仅为本发明专利较佳的实施例,但本发明专利的保护范围并不局限于此,任何熟悉本技术领域的技术人员在本发明专利所公开的范围内,根据本发明专利的技术方案及其发明构思加以等同替换或改变,都属于本发明专利的保护范围。

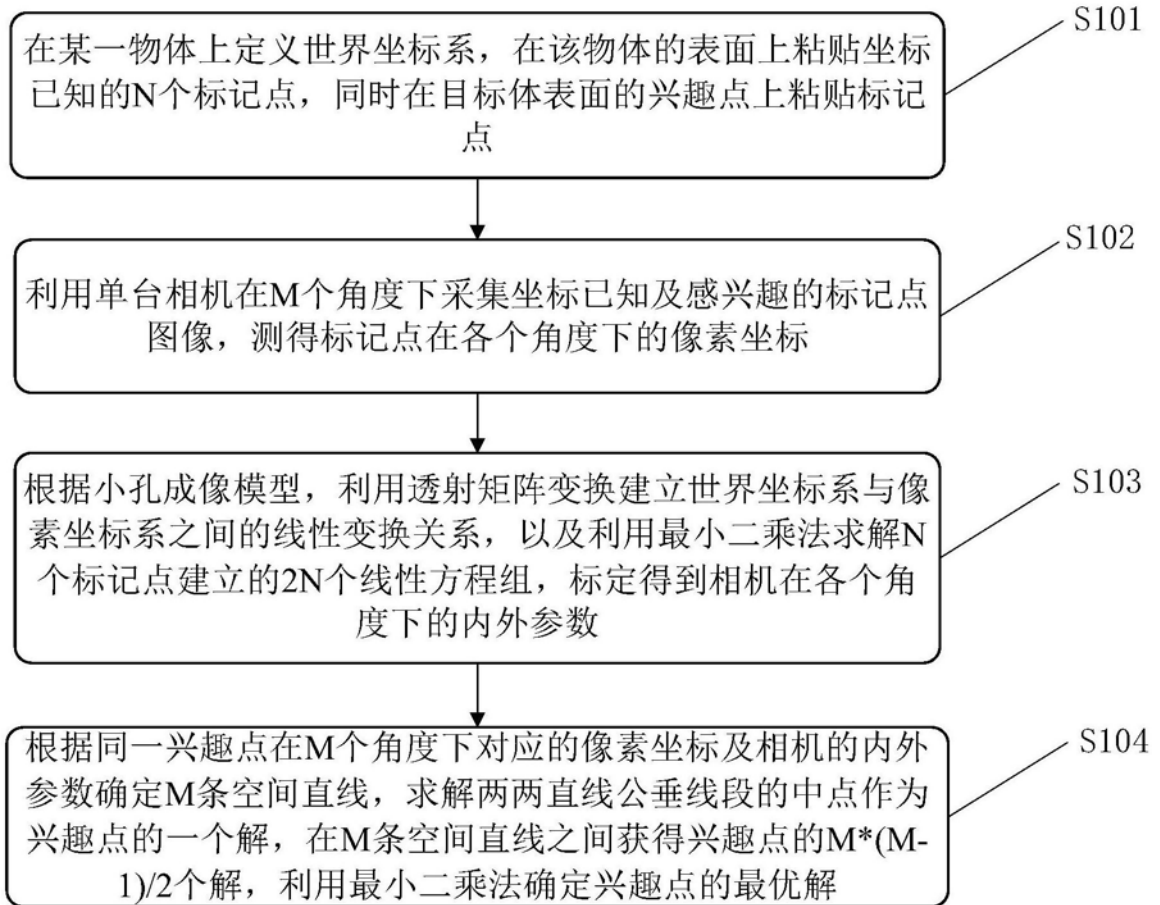


图1

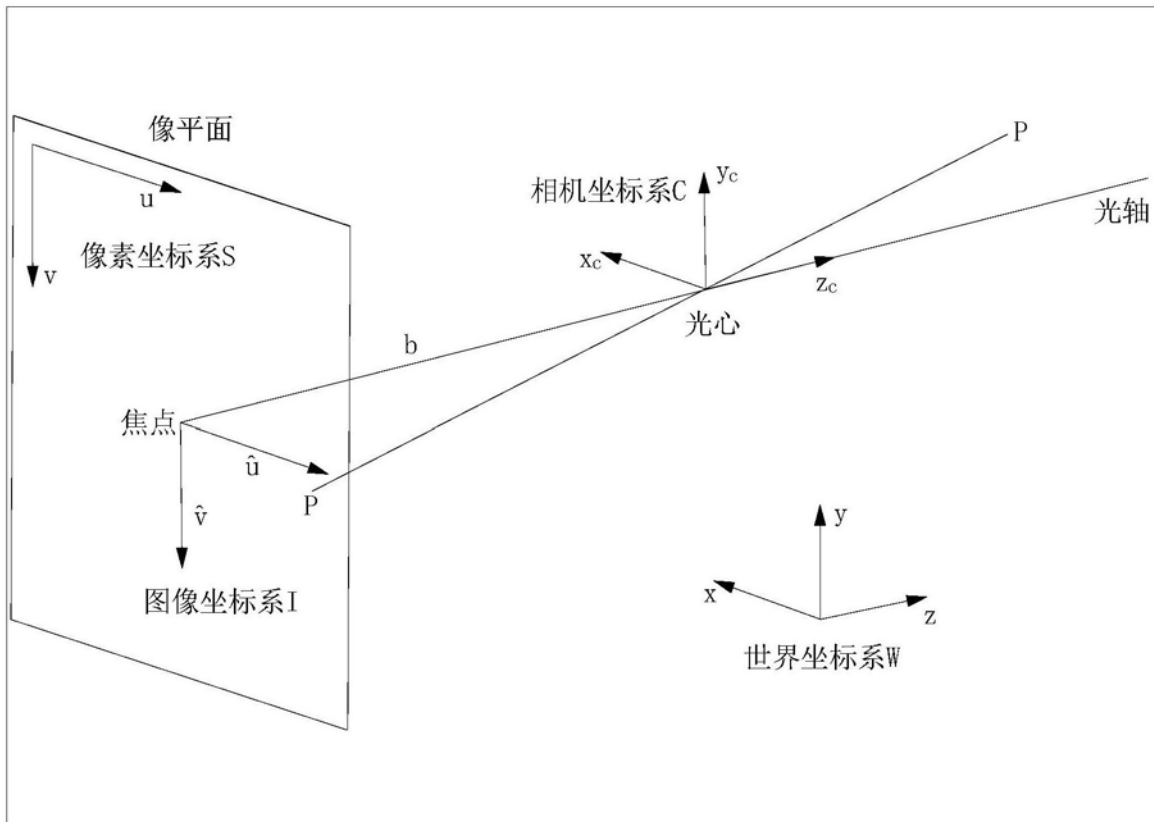


图2

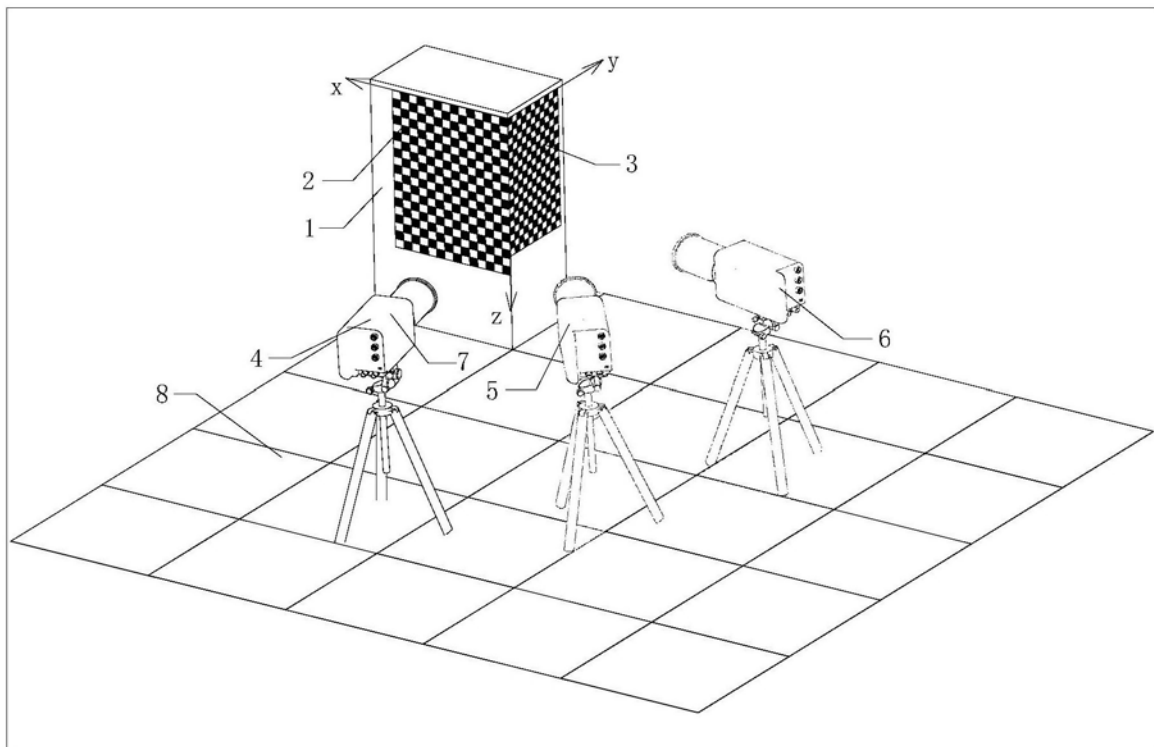


图3

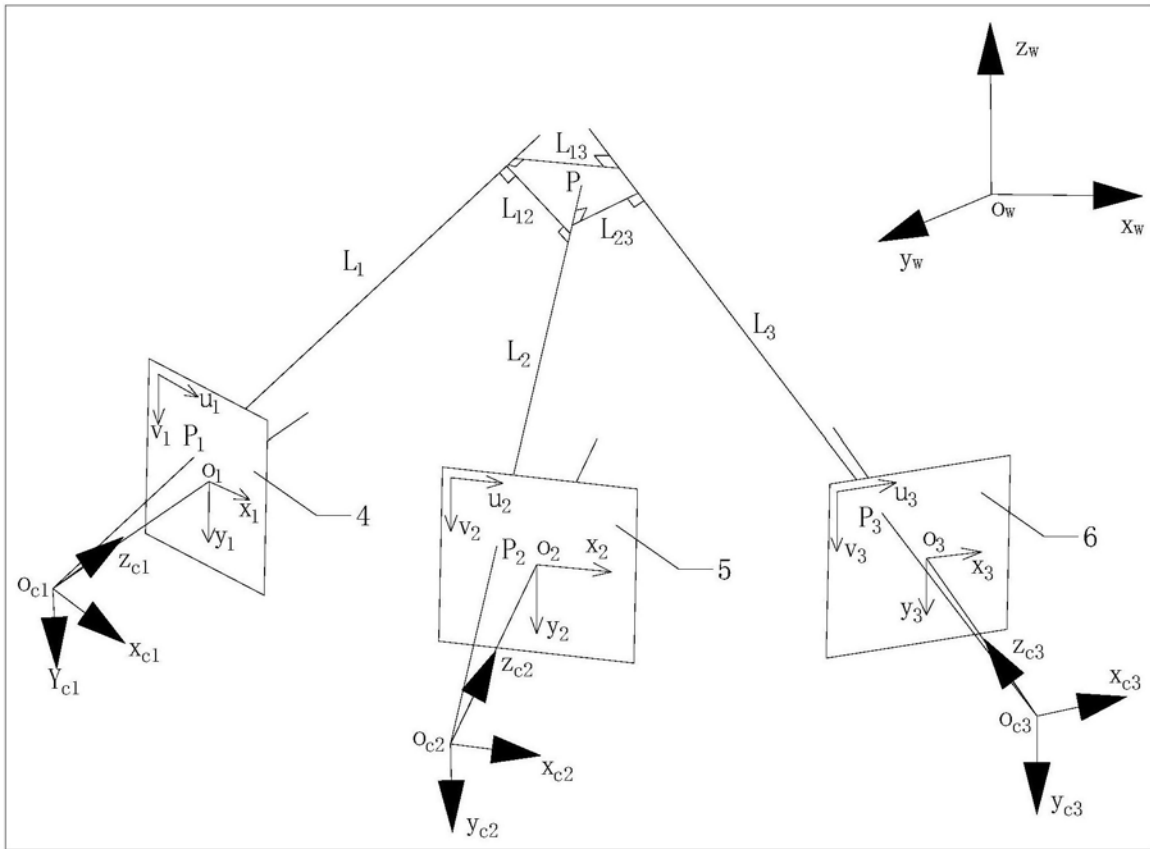


图4