

DOI:10.11918/j.issn.0367-6234.2017.01.008

正交双目视觉长轴类零件装配端位姿检测方法

任秉银, 柴立仁, 魏 坤, 李芝炳

(哈尔滨工业大学 机电工程学院, 哈尔滨 150001)

摘 要:为解决非正交双目立体视觉在长轴类零件三维位姿检测中需要多个特征点进行匹配, 计算量大以及视野中难以获取整个零件的图像等问题, 提出一种基于正交双目立体视觉检测长轴类零件装配端三维位姿方法. 采用光轴正交的两个相机同时采集长轴类零件装配端的图像, 分别采用亚像素法对所采得的图像进行处理, 可以得到被检测长轴类零件装配端在两个相机图像坐标系内的位置和姿态, 再依据正交双目立体视觉模型对两组位置信息进行融合得到其三维位姿. 实验结果表明: 利用两个 CMOS 相机构成的正交双目立体视觉能够快速、精确检测长轴类零件装配端的三维位姿. 该方法只需要一个特征点进行匹配, 计算量小、简单易行, 适用于通过机器视觉引导工业机器人进行精密长轴类零件的快速装配.

关键词: 位姿检测; 立体视觉; 特征点; 正交双目; 长轴类零件

中图分类号: TP391

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2017)01-0060-06

A method for measuring 3D pose of assembly end of long shaft part using orthogonal binocular stereovision

REN Bingyin, CHAI Liren, WEI Kun, LI Zhibing

(School of Mechatronics Engineering, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract: To avoid the time-consuming match of multiple feature points and the difficulty in getting the full pictures of Long Shaft Part (LSP) in the process of measuring its 3D pose using non-orthogonal binocular stereovision, a method for measuring 3D pose of assembly end of LSP based on orthogonal binocular stereovision is presented. The pictures of assembly end of LSP are taken individually at the same time by two cameras whose optical axes are perpendicular to each other and processed by method of sub-pixel respectively, and then the position and posture of assembly end of LSP in the image coordinate systems of two cameras can be obtained. The 3D pose of assembly end of LSP can be acquired from the information fusion of position and posture of LSP in two image coordinate systems according to the model of orthogonal binocular stereovision. Experimental result shows that the 3D pose of assembly end of LSP can be measured rapidly and precisely by orthogonal binocular stereovision consisting of two CMOS cameras. Since only one feature point needs to be matched in this method with simplicity and low calculation cost, it can be applied to the rapid assembly of precise LSP with robots guided by machine vision.

Keywords: pose measurement; stereovision; feature point; orthogonal binocular; long shaft part (LSP)

在装备制造领域中,长轴类零件的应用比较广泛. 要想实现精密长轴类零件的机械化装配,需要解决长轴类零件三维位姿的快速、精确检测问题. 由于长轴类零件端部易发生挠曲变形且轴类零件一般由一端进行装配,因此,研究长轴类零件装配端位姿的检测方法对提升制造业的自动化水平具有重要的意义.

在零件位姿的自动化检测方法中,基于机器视觉的位姿检测方法近年来受到相关学者的广泛重视^[1-2],并在基于机器视觉引导工业机器人进行抓取、搬运、装配等相关领域得到应用^[3-5]. 迄今为止,虽然基于单目相机的机器视觉也可以通过检测零件

的位姿引导机器人进行作业^[6],但由于单目相机属于平面视觉,不能检测出零件在相机拍摄方向的深度信息,因此,单目相机引导机器人的操作只能局限于某一固定平面内. 为了实现三维位姿的检测,采用基于视差原理构建的双目相机立体视觉检测系统得到应用^[7-8].

采用平行双目或斜交双目的非正交双目立体视觉在检测零件的三维位姿时必须进行多个特征点的匹配^[2,4,7-9],而轴类零件的圆柱表面一般没有明显的特征点,难以直接利用轴类零件自身的特征点通过三维重构来获得轴类零件的三维位姿信息. 因此,有学者分别采用通过激光射线照射的方法在圆柱表面人为创造特征点进而检测圆柱^[10]、圆筒型锻件^[11]、圆截面飞机导管^[12]的三维尺寸或位姿. 虽然该方法可以检测圆柱形零件的位姿信息,但是其检

收稿日期: 2016-04-27

作者简介: 任秉银(1966—),男,教授,博士生导师

通信作者: 任秉银, renby@hit.edu.cn

测精度依赖于发射激光的准确性和稳定性,并且增加了检测系统的成本.因此,该方法在依据双目机器视觉检测轴类零件的位姿信息来引导机器人进行快速、精密装配方面存在不足.郭玉波等^[13]通过仿真实验对双目视觉结构参数进行优化,得出了采用两个相机的光轴互相垂直的正交双目视觉的检测误差值最小的结论,为双目立体视觉的应用提供了新的思路.

本文针对非正交双目立体视觉在引导机器人进行长轴类零件位姿检测方面的不足,提出了一种通过正交双目立体视觉来快速检测长轴类零件装配端三维位姿的方法:首先,建立正交双目立体视觉模型;其次,给出长轴类零件装配端位姿检测的方法;最后,通过实验验证了该方法在长轴类零件装配端三维位姿检测方面的可行性,为通过机器视觉引导机器人进行精密轴类零件的快速装配奠定了基础.

1 正交双目立体视觉模型

正交双目立体视觉系统是由两个光轴正交的相机构成的,检测任意空间线段 PQ 三维信息的模型如图1所示,其中 $O_w - X_w Y_w Z_w$ 为世界坐标系, $O_a - X_a Y_a Z_a$ 和 $o_1 - x_1 y_1$ 分别为相机 A 的相机坐标系和图像坐标系, $O_b - X_b Y_b Z_b$ 和 $o_2 - x_2 y_2$ 分别为相机 B 的相机坐标系和图像坐标系,且相机 B 的光轴 Z_b 和 A 相机的光轴 Z_a 正交, $p_1 q_1$ 和 $p_2 q_2$ 分别为被检测线段 PQ 在 $o_1 - x_1 y_1$ 和 $o_2 - x_2 y_2$ 上的投影.

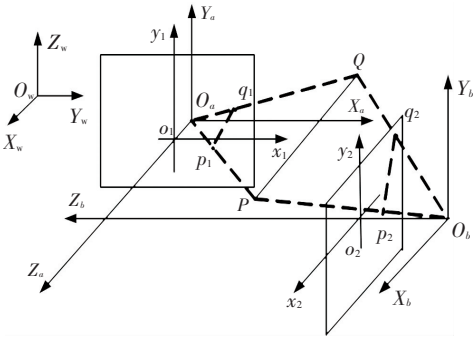


图1 正交双目立体视觉模型

Fig.1 Model of orthogonal binocular stereovision

1.1 空间点在相机坐标系中的位置

根据相机成像原理可知:空间点 P 在相机 A 坐标系下的坐标值 (X_a, Y_a, Z_a) 与其在相机 A 的图像坐标系中成像平面上的投影点 p_1 的像素坐标值 (u_a, v_a) 之间的关系为

$$\begin{cases} u_a = f_{xa} X_a / Z_a + u_{0a}, \\ v_a = f_{ya} Y_a / Z_a + v_{0a}. \end{cases} \quad (1)$$

式中: $f_{xa} = f_a / dx_a$, $f_{ya} = f_a / dy_a$, f_a 为相机 A 的焦距, dx_a 、 dy_a 分别为相机 A 的像元宽和像元高, u_{0a} 、 v_{0a} 分

别为相机 A 的像素坐标原点.以上参数均为相机 A 的内参数,可以通过对相机 A 的标定而确定^[14-15],具体标定方法本文不再赘述.

由式(1)可知,当已知点 P 在相机 A 坐标系下的坐标值为 (X_a, Y_a, Z_a) 时,通过标定相机 A 的内部参数便可求出该点在相机图像坐标系中的坐标 (u_a, v_a) ;但是,当已知点 P 在相机 A 的图像坐标系中的坐标值 (u_a, v_a) 时,无法确定点 P 在相机 A 坐标系下的坐标值 (X_a, Y_a, Z_a) ,仅仅可以确定点 P 在一条过相机光心 O_a 和点 p_1 的直线上,表明使用单目相机无法检测到空间点 P 的深度信息.

对于相机 B ,同理可得出空间点 P 在相机 B 坐标系下的坐标值 (X_b, Y_b, Z_b) 与其在相机 B 的图像坐标系中成像平面上的投影点 p_2 的像素坐标值 (u_b, v_b) 之间的关系为

$$\begin{cases} u_b = f_{xb} \frac{X_b}{Z_b} + u_{0b}, \\ v_b = f_{yb} \frac{Y_b}{Z_b} + v_{0b}. \end{cases} \quad (2)$$

式中: $f_{xb} = f_b / dx_b$, $f_{yb} = f_b / dy_b$, f_b 为相机 B 的焦距, dx_b 、 dy_b 分别为相机 B 的像元宽和像元高, u_{0b} 、 v_{0b} 分别为相机 B 的像素坐标原点.以上参数均为相机 B 的内参数,同理可以通过对相机 B 的标定而确定.

由于相机 B 的光轴 Z_b 和相机 A 的光轴 Z_a 正交,因此相机 B 的坐标系 $O_b - X_b Y_b Z_b$ 可以看作由相机 A 的坐标系 $O_a - X_a Y_a Z_a$ 绕 Y_a 轴旋转 -90° 后再将坐标原点平移到 O_b 得到.于是可知空间点 P 在相机 B 坐标系下的坐标值 (X_b, Y_b, Z_b) 与其在相机 A 的坐标系下的坐标值 (X_a, Y_a, Z_a) 存在如下关系:

$$\begin{bmatrix} X_b \\ Y_b \\ Z_b \end{bmatrix} = R_{ba}^{-1} \begin{bmatrix} X_a \\ Y_a \\ Z_a \end{bmatrix} - T_{ba}, \quad (3)$$

$$R_{ba} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

$$T_{ba} = \begin{bmatrix} T_{bax} \\ T_{bay} \\ T_{baz} \end{bmatrix}.$$

式中: R_{ba} 和 T_{ba} 分别为坐标系 $O_b - X_b Y_b Z_b$ 相对于坐标系 $O_a - X_a Y_a Z_a$ 的旋转矩阵和平移矩阵.

将式(3)代入式(2)并与式(1)联立,便可根据空间点 P 分别在相机 A 和相机 B 中的投影点 p_1 和 p_2 在各自图像坐标系中的像素坐标值 (u_a, v_a) 和 (u_b, v_b) 计算出点 P 在相机 A 坐标系 $O_a - X_a Y_a Z_a$ 中的坐标值 (X_a, Y_a, Z_a) :

$$\begin{bmatrix} X_a \\ Y_a \\ Z_a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{(u_a - u_{0a})(f_{xb}T_{baz} + (u_b - u_{0b})T_{bax})}{f_{xa}f_{xb} + (u_a - u_{0a})(u_b - u_{0b})} \\ \frac{(v_a - v_{0a})f_{xa}(f_{xb}T_{baz} + (u_b - u_{0b})T_{bax})}{f_{ya}(f_{xa}f_{xb} + (u_a - u_{0a})(u_b - u_{0b}))} \\ \frac{f_{xa}(f_{xb}T_{baz} + (u_b - u_{0b})T_{bax})}{f_{xa}f_{xb} + (u_a - u_{0a})(u_b - u_{0b})} \end{bmatrix}. \quad (5)$$

1.2 空间线段在相机坐标系中的姿态

任意空间线段 PQ 在相机 A 坐标系中的姿态可以按上述方法在得到点 Q 在 $O_a - X_a Y_a Z_a$ 中的坐标值后确定,也可以根据 PQ 在 $O_a - X_a Y_a$ 和 $O_a - Y_a Z_a$ 上投影的方向角确定. 考虑到该模型在长轴类零件位姿检测中的应用特点以及图 1 中正交布置的两相机的成像平面 $o_1 - x_1 y_1$ 和 $o_2 - x_2 y_2$ 分别与 $O_a - X_a Y_a$ 和 $O_a - Y_a Z_a$ 平行的特性,下面给出由线段 PQ 分别在 $o_1 - x_1 y_1$ 和 $o_2 - x_2 y_2$ 上的投影 $p_1 q_1$ 和 $p_2 q_2$ 的方向角确定线段 PQ 姿态的方法.

为了分析方便,建立以点 P 为原点,与坐标系 $O_a - X_a Y_a Z_a$ 平行的坐标系 $O'_a - X'_a Y'_a Z'_a$ (如图 2 所示). 于是 PQ 位于坐标系 $O'_a - X'_a Y'_a Z'_a$ 中的姿态矩阵 R'_a 即为其位于坐标系 $O_a - X_a Y_a Z_a$ 中的姿态矩阵 R_a . 表示 PQ 姿态的偏航角 β 和俯仰角 γ 可以由 PQ 在 $O'_a - X'_a Y'_a$ 平面上的投影与 $O'_a - X'_a$ 轴的夹角 θ 和 PQ 在 $O'_a - Y'_a Z'_a$ 平面上的投影与 $O'_a - Z'_a$ 轴的夹角 φ 确定.

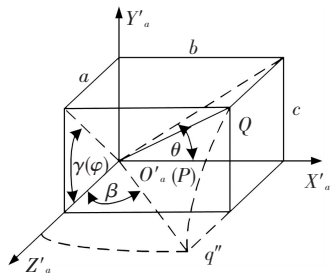


图 2 计算线段 PQ 的姿态角原理

Fig.2 Principle of calculating attitude angle of line PQ

根据如图 1 所示的正交双目立体视觉模型, PQ 在相机 A 和相机 B 图像平面内的投影 $p_1 q_1$ 和 $p_2 q_2$ 分别平行于 PQ 在 $O'_a - X'_a Y'_a$ 和 $O'_a - Y'_a Z'_a$ 上的投影,因此可以通过图像分析求得 $p_1 q_1$ 与 $o_1 - x_1$ 轴的夹角 θ 和 $p_2 q_2$ 与 $o_2 - x_2$ 轴的夹角 φ ,且 $\gamma = \varphi$.

同时 θ, φ 与偏航角 β 存在如下关系:

$$\sin \beta = \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} = \frac{\cos \theta}{\sqrt{a^2/(b^2 + c^2) + 1}},$$

$$\tan \varphi = \frac{c}{a} = \frac{\sin \theta}{\sqrt{a^2/(b^2 + c^2)}}.$$

消去 a, b 和 c , 可得

$$\beta = \arcsin(\cos \theta \tan \varphi / \sqrt{\sin^2 \theta + \tan^2 \varphi}). \quad (6)$$

于是依据式(6)可以由 θ 和 φ 求得 β ,从而可以确定 PQ 在 $O_a - X_a Y_a Z_a$ 中的姿态矩阵

$$R_a = R'_a = \text{Rot}_y(\beta) \text{Rot}_x(\gamma). \quad (7)$$

1.3 空间线段在世界坐标系中的位姿

通过对相机外参数标定得到相机 A 坐标系相对于世界坐标系的位姿变换矩阵 R_{aw} 和 T_{aw} [14-15],便可利用式(5)和式(7)分别求出 PQ 在世界坐标系中的位置矩阵 T_w 和姿态矩阵 R_w :

$$T_w = R_{aw} [X_a \ Y_a \ Z_a]^{-1} + T_{aw}, \quad (8)$$

$$R_w = R_{aw} R_a. \quad (9)$$

2 长轴类零件装配端位姿检测方法

轴类零件三维位姿的检测一般可以由以下两种方法实现:1)检测轴类零件的两个端面中心的三维坐标(两个特征点的位置);2)检测轴类零件其中一个端面中心的三维坐标和其轴线的两个方位角(一个特征点的位置和轴线的姿态).

对于细长型轴类零件,采用第 1 种方法时,双目相机必须获取包括整个轴两端面的完整图像,对相机的分辨率要求很高. 因此,本文采取第 2 种方法,即只需双目相机获取轴类零件的一个装配端的部分图像,并且能找到轴线上除端面中心外的另外一点,即可按照前述方法确定其位姿.

2.1 长轴类零件的空间位置检测方法

利用正交双目视觉系统检测轴类零件的原理如图 3 所示,其中 MN 为轴类零件的轴线的一部分(M 为装配端中心点, N 为轴线上不与 M 重合的任意一点), MN 在相机 A 和相机 B 的成像平面上的投影分别为 $m_1 n_1$ 和 $m_2 n_2$. 以 M 点作为特征点,对两个相机同时拍摄的端部图像进行阈值分割、特征点提取,便可分别求取特征点 M 在相机 A 与相机 B 的图像坐标系中的位置 (u_a, v_a) 和 (u_b, v_b) ,进而利用式(5)和(8)求出点 M 在世界坐标系 $O_w - X_w Y_w Z_w$ 中的空间位置矩阵 T_w .

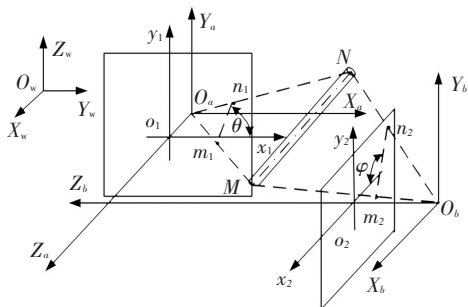


图 3 正交双目相机检测轴类零件位姿模型

Fig.3 Model of orthogonal binocular camera for detecting the pose of shaft parts

2.2 长轴类零件的空间姿态检测方法

对两个相机同时拍摄的长轴类零件装配端的图像进行阈值分割、边缘检测, 在相机 A 和相机 B 的成像平面内分别求出线段 m_1n_1 的方向角 θ 和 m_2n_2 的方向角 φ , MN 的俯仰角 $\gamma = \varphi$, 利用式 (6) 可求出 MN 的偏航角 β , 进而利用式 (7) 和式 (9) 即可求出长轴类零件装配端的姿态矩阵 R_w .

3 实验与结果

3.1 实验系统构建与相机参数标定

构建如图 4 所示的实验系统, 将两个分辨率均为 $2\,592 \times 1\,944$ 的 CMOS 相机 A 和相机 B 安装在相机支架上, 调整其位置和角度尽量使两光轴正交 (保证角度误差 $< 0.1^\circ$). 然后将直径为 5 mm 的短轴 (模拟长轴类零件的装配端) 通过零件支架安装在精密微动平台上, 通过调整微动平台的位置保证特征点 M 在两相机采集的图像中 (各自图像坐标系) 的中心区域, 并尽量靠近图像的中心. 对两个相机的内参数进行标定, 得到两个相机的内参数如表 1 所示.

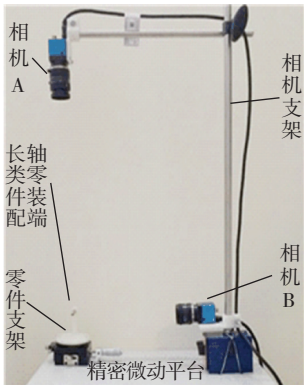


图 4 正交双目相机实验系统

Fig.4 Experimental system of orthogonal binocular camera

表 1 相机 A 和相机 B 的内参数

Tab.1 Internal parameters of camera A and camera B						
参数类型	f/mm	$d_x/\mu\text{m}$	$d_y/\mu\text{m}$	$u_0/\text{像素}$	$v_0/\text{像素}$	
相机 A	34.028	2.168	2.200	1 306.86	972.55	
相机 B	12.401	2.244	2.200	1 278.73	963.74	

通过两个相机拍摄同一块标定板各获得一张图片, 可以标定出两个相机的外参数 R_{aw} 、 T_{aw} 和 R_{bw} 、 T_{bw} 分别为

$$R_{aw} = \begin{bmatrix} -0.365\,2 & 0.867\,0 & -0.339\,0 \\ -0.646\,8 & -0.498\,2 & -0.577\,4 \\ -0.669\,5 & 0.008\,3 & 0.742\,7 \end{bmatrix}, \tag{10}$$

$$T_{aw} = \begin{bmatrix} 129.6 \\ 229.4 \\ -284.2 \end{bmatrix}, \tag{11}$$

$$R_{bw} = \begin{bmatrix} -0.339\,6 & 0.866\,6 & 0.365\,5 \\ -0.577\,3 & -0.498\,9 & 0.646\,4 \\ 0.742\,5 & 0.008\,5 & 0.669\,8 \end{bmatrix}, \tag{12}$$

$$T_{bw} = \begin{bmatrix} -71.5 \\ -112.9 \\ -143.7 \end{bmatrix}. \tag{13}$$

相机 B 的相机坐标系相对于相机 A 的相机坐标系的旋转矩阵 R_{ba} 和平移矩阵 T_{ba} 的计算公式为

$$\begin{bmatrix} R_{ba} & T_{ba} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{aw} & T_{aw} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \cdot \begin{bmatrix} R_{bw} & T_{bw} \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \tag{14}$$

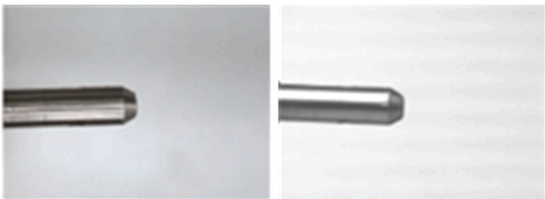
把式 (10) ~ (13) 带入式 (14) 可得

$$R_{ba} = \begin{bmatrix} 0.000\,3 & 0.000\,5 & -1.000\,0 \\ -0.000\,6 & 1.000\,0 & 0.000\,5 \\ 1.000\,0 & -0.000\,7 & 0.000\,4 \end{bmatrix}, \tag{15}$$

$$T_{ba} = \begin{bmatrix} T_{bax} \\ T_{bay} \\ T_{baz} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 200.8 \\ -2.6 \\ 370.2 \end{bmatrix}.$$

3.2 装配端位姿检测方法的可行性验证

为了验证上述正交双目相机检测长轴类零件装配端三维位姿方法的可行性, 调整微动平台使被检测轴类零件的装配端进入到两个相机的视野中心区域, 获得如图 5 所示两个相机拍摄的装配端的图像. 对两幅图像分别进行处理, 利用前述的方法可以得到其装配端端面中心的一组位置 (X_w, Y_w, Z_w) 和偏航角 β 与俯仰角 γ . 调整微动平台改变轴类零件的位姿, 然后再反向调整微动平台使轴类零件回到调整前的位姿, 反复进行 5 次实验, 得到的检测数据如表 2 所示.



(a) 相机 A 拍摄的图像 (b) 相机 B 拍摄的图像

图 5 两个相机检测到的装配端图像

Fig.5 Assembly end images in two cameras

对表 2 中的检测结果进行统计分析, 得到如表 3 所示的 5 次检测的平均值、标准差和最大误差. 检测结果相对稳定, 含微动平台的误差在内, 最大综

合位置误差为 0.018 mm,最大综合姿态角误差为 0.07°。而文献[12]给出的姿态检测偏差为±1°,位置偏差为±0.2 mm。实验结果表明,本文给出的正交双目视觉检测轴类零件装配端位姿方法不仅是可行性的,而且位姿检测精度较高。

表 2 装配端位姿检测结果

Tab.2 Measuring data of assembly end pose

检测序号	X_w/mm	Y_w/mm	Z_w/mm	$\beta/({}^\circ)$	$\gamma/({}^\circ)$
1	-2.858	-2.481	160.206	4.495	1.728
2	-2.862	-2.458	160.204	4.592	1.818
3	-2.862	-2.479	160.204	4.607	1.806
4	-2.860	-2.481	160.204	4.516	1.817
5	-2.860	-2.482	160.205	4.586	1.821

表 3 装配端位姿检测结果统计分析

Tab.3 Analysis of measuring data

参数	X_w/mm	Y_w/mm	Z_w/mm	$\beta/({}^\circ)$	$\gamma/({}^\circ)$
平均值	-2.860	-2.476	160.205	4.559	1.798
标准差	0.001	0.009	0.001	0.045	0.035
最大误差	±0.002	0.018	±0.001	0.048	-0.070

3.3 装配端位姿检测方法的检测精度分析

本文实例中两个相机的分辨率均为 2 592×1 944,而通过调整微动平台的位置可以保证特征点 M 在两个图像坐标系中的像素坐标 (u_a, v_a) 和 (u_b, v_b) 均位于 $(\pm 260, \pm 195)$ 的中心区域内,如图 6 所示。

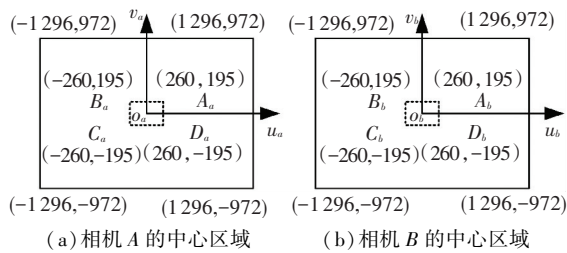


图 6 相机图像坐标平面的中心区域

通过 (u_a, v_a) 和 (u_b, v_b) 分别在图 6 所示的中心区域内取不同坐标值,按照本文前述的方法分别计算两相机光轴夹角为 -90° 和 $-90^\circ \pm 0.1^\circ$ 时特征点 M 在相机 A 坐标系中的位置误差,其中误差较大(沿 Z 轴方向位置)的 18 组数据如表 4 所示。

由表 4 可知,由相机正交误差为 0.1° 时引起的特征点 M 的最大测量误差仅为 0.021 5 mm(而每个像素在相机坐标空间内代表的实际尺寸为 0.023 mm),因此,该误差仅为亚像素级别,可以忽略不计。

另外,比较式(15)和式(4)可知,本实例中经过标定得到的式(15)中 R_{ba} 的部分元素与由理想正交

模型导出的式(4)中 R_{ba} 的相应元素有微小的偏差,这是由于相机的实际安装位置与理想的正交布置存在 -0.012° 的正交误差,实例检测时检测到特征点 M 在相机 A 和相机 B 的图像坐标系中的坐标 (u_a, v_a) 和 (u_b, v_b) 分别为 $(-23, -5)$ 和 $(-32, -8)$ 。利用式(4)和式(15)计算出点 M 在相机 A 坐标系中的坐标值分别为 $(-0.549\ 9, -0.119\ 5, 369.795\ 0)$ 和 $(-0.549\ 9, -0.119\ 5, 369.794\ 9)$ 。此实例中由于相机安装误差为 0.012° 时引起的测量误差为 0.000 1 mm,该误差完全可以忽略不计。

表 4 由相机光轴正交误差所引起的位置误差

Tab.4 Position errors by the error of camera axis angle

序号	(u_a, v_a)	(u_b, v_b)	位置误差值
1	$(-260, -195)$	$(260, -195)$	-0.020 7
2	$(-260, -195)$	$(260, 0)$	-0.020 7
3	$(-260, -195)$	$(260, 195)$	-0.020 7
4	$(-260, 0)$	$(260, -195)$	-0.020 7
5	$(-260, 0)$	$(260, 0)$	-0.020 7
6	$(-260, 0)$	$(260, 195)$	-0.020 7
7	$(-260, 195)$	$(260, -195)$	-0.020 7
8	$(-260, 195)$	$(260, 0)$	-0.020 7
9	$(-260, 195)$	$(260, 195)$	-0.020 7
10	$(260, -195)$	$(-260, -195)$	0.021 5
11	$(260, -195)$	$(-260, 0)$	0.021 5
12	$(260, -195)$	$(-260, 195)$	0.021 5
13	$(260, 0)$	$(-260, -195)$	0.021 5
14	$(260, 0)$	$(-260, 0)$	0.021 5
15	$(260, 0)$	$(-260, 195)$	0.021 5
16	$(-260, 195)$	$(-260, -195)$	0.021 5
17	$(-260, 195)$	$(-260, 0)$	0.021 5
18	$(-260, 195)$	$(-260, 195)$	0.021 5

由于本文的方法在检测长轴类零件装配端位姿时只需要进行一个特征点的匹配,每次检测计算的时间大约为 300 ms,检测速度较快,完全可以应用于基于视觉测量信息实时引导机器人完成精密轴类零件的快速装配中。

4 结 论

1)本文提出的基于正交双目视觉系统检测长轴类零件装配端三维位姿的方法,通过分别检测长轴类零件装配端在两个相机平面内的位置和姿态,然后融合二者信息得到了其三维位姿信息。

2)该方法有效地克服了非正交双目立体视觉在检测轴类零件位置时需要多个特征点匹配以及难以获取长轴类零件高精度完整图像的弊端,提高了

长轴类零件三维位姿的检测速度.

3)实验结果表明,该方法位置检测精度和姿态检测精度高,检测速度快,能为通过机器视觉引导机器人进行精密轴类零件快速装配及其相关应用提供有力的支持.

参考文献

[1] ZHAO Peng, WANG Nihong. Precise perimeter measurement for 3D object with a binocular stereovision measurement system[J]. Optik-International Journal for Light and Electron Optics, 2009, 121(10): 953-957. DOI: 10.1016/j.ijleo.2008.12.008.

[2] 侯宏录,王敏. 硅棒特征点三维坐标视觉检测技术研究[J]. 光学仪器, 2013, 35(2): 1-6. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5630.2013.02.001.

HOU Honglu, WANG min. Study on 3D coordinate detecting technology for characteristic points of silicon rod[J]. Optical Instruments, 2013, 35(2): 1-6. DOI: 10.3969/j.issn.1005-5630.2013.02.001.

[3] HUANG Guoshing. 3D coordinate identification of object using binocular vision system for mobile robot[C] //2013 CACS International Automatic Control Conference. Taiwan: IEEE, 2013: 91-96. DOI: 10.1109/CACS.2013.6734113.

[4] 夏群峰,彭勇刚. 基于视觉的机器人抓取系统应用研究综述[J]. 机电工程, 2014, 31(6): 697-701, 710. DOI: 10.3969/j.issn .1001-4551.2014.06.004.

XIA Qunfeng, PENG Yonggang. Review on application research of robots scraping system based on visual[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2014, 31(6): 697-701, 710. DOI: 10.3969/j.issn .1001-4551.2014. 06.004.

[5] 李宇飞,高朝辉,申麟. 基于视觉的机械臂空间目标抓取策略研究[J]. 中国科学 技术科学, 2015, 45(1): 31-35. DOI: 10.1360/N092014-00320.

LI Yufei, GAO Chaohui, SHEN Lin. Study of vision-based space target capturing strategy for manipulators[J]. Sci Sin Tech, 2015, 45(1): 31-35. DOI: 10.1360/N092014- 00320.

[6] XU De, LI Fudong, ZHANG Zhengtao. Characteristic of monocular microscope vision and its application on assembly of micro-pipe and micro-sphere[C]// Proceedings of the 32nd Chinese Control Conference. Xi'an:[s. n.], 2013: 5758-5763.

[7] 全燕鸣,黎淑梅,麦青群. 基于双目视觉的工件尺寸在机三维测量[J]. 光学精密工程, 2013, 21(4): 1054-1060. DOI: 10.3788/OPE.20132104.1054.

QUAN Yanming, LI Shumei, MAI Qingqun. On-machine 3D measurement of workpiece dimensions based on binocular vision[J]. Optics and Precision Engineering, 2013, 21(4): 1054-1060. DOI: 10.3788/OPE.20132104.1054.

[8] 张梁,徐锦法,夏青元. 双目立体视觉的无人机位姿估计算法及验证[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2014, 46(5): 66-72.

ZHANG Liang, XU Jinfa, XIA Qingyuan. Pose estimation algorithm and verification based on binocular stereovision for unmanned aerial vehicle[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2014, 46(5): 66-72.

[9] FAN Xinjin, WANG Xuelin, XIAO Yongfei. A shape-based stereo matching algorithm for binocular vision[C]// 2014 IEEE International Conference on Security, Pattern Analysis, and Cybernetics (SPAC). Wuhan: IEEE, 2014: 70-74. DOI: 10.1109/SPAC.2014.6982659.

[10] 朱兴龙. 基于立体视觉和激光标记的空间物体位姿的快速定位算法[J]. 机械工程学报, 2004, 40(7): 161-165.

ZHU Xinglong. Fast localization algorithm for spatial object based on stereo vision and laser marking[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2004, 40(7): 161-165.

[11] 李亮,赵转萍. 圆筒型热态锻件尺寸的立体视觉测量方法研究[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(4): 49-54. DOI: 10.13783/j.1000-9787.2010.04.019.

LI Liang, ZHAO Zhuanping. Study on dimensional measurement of heavy forging at high temperature based on binocular stereovision [J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2010, 29(4): 49-54. DOI: 10.13783/j.1000-9787.2010.04.019.

[12] 李钦杰. 基于激光视觉传感的飞机导管自动装配[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2014.

LI Qinjie. Automatic assembly of aircraft pipe based on laser vision sense[D]. Harbin: Harbin Institute of Technology, 2014.

[13] 郭玉波,姚郁. 双目视觉测量系统结构参数优化问题研究[J]. 红外与激光工程, 2006, 35(z1): 506-510.

GUO Yubo, YAO Yu. Structural parameter optimization of binocular vision measuring system[J]. Infrared and laser engineering, 2006, 35(z1): 506-510.

[14] SONG Weidong, MIAO Zhenjiang, WU Hao. Automatic calibration method based on improved camera calibration template[C]//Wireless, Mobile and Multi-media Networks (ICWMMN 2013). Beijing: ITE, 2013: 301-305.

[15] LI Jia, DUAN Ping. Binocular stereo vision calibration experiment based on essential matrix[C]//Computer and Communication (IC-CC). Chengdu: IEEE, 2015: 250-254. DOI: 10.1109/Comp-Comm. 2015. 7387576.

(编辑 杨 波)