

文章编号:1674-2869(2012)1-0069-05

双目标定系统精度提高的方法

杨明¹, 王海晖^{1,2}, 陈君¹, 万妮¹

(1. 武汉工程大学计算机科学与工程学院, 湖北 武汉 430205;

2. 武汉工程大学智能机器人湖北省重点实验室, 湖北 武汉 430205)

摘要:针对双目标定系统精度提高的问题,介绍了摄像机标定方法、原理及双目标定系统的标定流程.通过用张正友平面模板两步法实验分析总结出影响双目标定系统精度的因素,并提出了提高精度的方法.在各种影响因素达到最小时的实验表明重投影误差不超过0.2像素,可以满足双目标定系统的实用性.

关键词:摄像机标定;双目标定;标定精度

中图分类号:TP242.6

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2012.1.015

0 引言

随着机器视觉的不断发展,双目标定已经成为机器视觉关键技术之一,主要用于工业检测,三维重建,航空航天等领域.在先进制造业自动化生产技术和产品质量控制体系的不断完善下,人们对于加工对象的几何尺寸和形状位置的检测精度也越来越高,故提高标定精度也成为人们研究的一个重要方面.摄像机标定方法发展到现在共分为三类^[1-3],分别是自标定方法、基于主动视觉的标定法和传统标定法.自标定法^[1-3]主要是不依赖于任何的标定参照物,在获得多帧图像信息以后通过分析来求得摄像机的内外参数.这种方法过程比较复杂,对于实时性要求比较高的场合不是很适宜且鲁棒性不高.主动视觉标定方法^[1-3]主要是根据自主地控制摄像机来获取图像线性求解摄像机的模型参数.这种方法需要使用高精度的主动视觉平台进行摄像机标定,且系统的成本较高,故使用不是很广泛.传统标定方法^[1-3]必须是在一定的摄像机模型下的,在一定的实验条件下,运用形状和尺寸已知的标定物,经过采集图像后,通过对其图像进行处理,并利用数学变换和计算方法来求得摄像机的内外参数.这种方法算法比较的复杂,但精度高.在传统的标定方法中,由张正友提出的平面模板两步法就是利用已知坐标点的平面标靶,在摄像机中多方位成像,进行最小二乘求解摄像机的内外参数及畸变

系数.该方法过程简单、且精度较高,被广泛使用.故本文主要是对采用张正友两步法的摄像机标定系统进行精度提高研究.

1 摄像机标定原理

简单来说,由图像坐标和世界坐标求解内外参数的过程就是摄像机标定.双目摄像机标定系统中包含四个坐标系如图1所示.

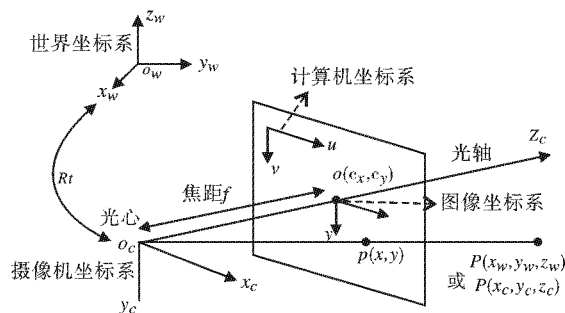


图1 双目标定坐标系

Fig. 1 Binocular calibration coordinate system

分别为:世界坐标系: $o_w x_w y_w z_w$ 、摄像机坐标系: $o_c x_c y_c z_c$ 、图像坐标系: oxy 和计算机图像坐标系: uw ,根据针孔成像原理,可得到从摄像机坐标到图像坐标系得变换:

$$\begin{cases} x = f \frac{x_c}{z_c} \\ y = f \frac{y_c}{z_c} \end{cases} \Rightarrow z_c \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

从图像坐标系到计算机坐标系得变换:

收稿日期:2011-11-09

基金项目:湖北省教育厅科学研究项目计划重点项目(D20111509)

作者简介:杨明(1983-),女,湖北襄阳人,硕士研究生.研究方向:数字图像处理、机器视觉.

指导老师:王海晖,男,教授,博士,硕士研究生导师.研究方向:数字图像处理、模式识别.

$$\begin{cases} u = \frac{x}{dx} + c_x \\ v = \frac{y}{dy} + c_y \end{cases} \Rightarrow \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{dx} & 0 & c_x \\ 0 & \frac{1}{dy} & c_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中, dx 是每个像素在 x 方向上的物理尺寸, dy 是每个像素在 y 方向上的物理尺寸, (c_x, c_y) 是图像得中心坐标。

从世界坐标系到摄像机坐标系的变换:

$$\begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \end{bmatrix} = t \Rightarrow \begin{bmatrix} x_c \\ y_c \\ z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

由(1)、(2)、(3)可得到空间世界坐标系 P 点坐标与其投影点 p 的计算机图像坐标 (u, v) 变换关系:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ z_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & c_x & 0 \\ 0 & f_y & c_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R & t \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_1 \mathbf{M}_2 \mathbf{x}_w = \mathbf{M} \mathbf{x}_w \quad (4)$$

其中 \mathbf{M}_1 为内参数矩阵, f_x, f_y 分别是 u 轴和 v 轴的有效焦距, u_0, v_0 是光学中心; \mathbf{M}_2 为外参数矩阵, R 和 t 是旋转矩阵和平移向量; 对于非线性模型的内部参数, 还包括径向畸变参数 k_1, k_2 和切向畸变参数 p_1, p_2 。

2 双目摄像机标定系统流程

2.1 标定模板

本系统是在 VC(可视化 C++) 编程环境中实现, 采用标定板如图 2 所示。

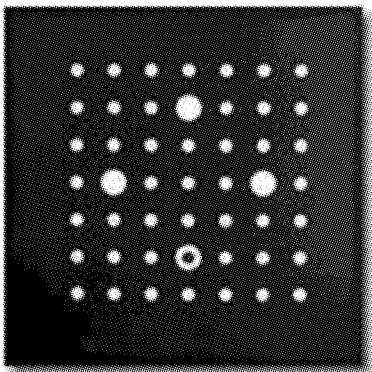


图 2 标定板

Fig. 2 Calibration board

该标定板为铝合金材料, 特征圆成阵列分布, 间距 30 mm, 板子的尺寸为 300 × 300 mm, 用特征圆的圆心坐标进行标定。对于特征圆的圆心坐标

提取, 主要是在获得 4 个标志圆坐标, 利用仿射变换将特征圆的坐标调正, 然后对其进行排序, 确定相应特征圆图像坐标。

2.2 标定系统流程

首先对左右相机参数进行设置, 根据现场的环境调节曝光时间和增益使图像达到较好的对比度和亮度。对图像进行采集, 让标靶放在视场范围内, 使标定板与相机的距离适中, 并尽可能的平行于相机平面, 然后对采集的图像进行预处理^[4-7], 使标定板上的特征圆清晰可见, 提取特征点对图像进行标定, 获得标定的内外参数, 并多次测量求平均值。流程图如图 3 所示。

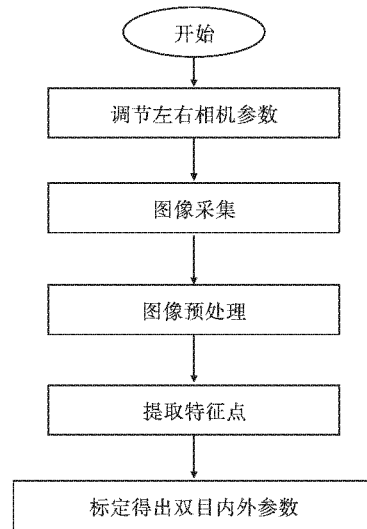


图 3 双目标定系统流程图

Fig. 3 Binocular calibration system flow chart

3 精度实验

摄像机标定精度可用重投影误差来表示, 假设两幅图像中的对应点满足:

$$x'_i = Hx_i$$

其中, H 是平面单应矩阵, x 和 x' 是图像中的对应点, 则重投影误差的形式如下:

$$\varepsilon = d^2(x_i, \hat{x}_i) + d^2(x'_i, \hat{x}'_i)$$

$$\hat{x}'_i = \hat{H}\hat{x}_i$$

其中, d 为图像中对应点的误差, \hat{x} 是 x 的估计值, \hat{H} 是 H 的估计。最小化重投影误差就是优化 \hat{H} 和 \hat{x} 。从重投影误差公式可以看出, 根据标定结果计算世界坐标点的成像点坐标, 与真实的图像点坐标来进行对比可以获得重投影误差。即根据重投影误差图来表示标定精度误差范围。

通过对标定方法, 标定原理, 以及标定系统的介绍可知, 标定主要是通过获取的图像来完成的, 从不同的角度出发, 用张正友两步法, 进行实验:

由双目标定原理可知, 外界环境的干扰、标靶

精度以及相机镜头、采集次数会对标定结果造成直接的影响,实验主要针对于图像预处理算法与标定过程中操作方法来来进行(在光照条件、标定板、相机相同,采集次数相同的情况下)。

a) 对图像预处理算法中调节参数大小,即调节二值化阈值、除噪阈值等参数的大小,使预处理算法达到最佳效果,用相同的操作方法得到标定结果,并用重投影误差^[6-7]图表示所能达到的精度如图4所示,图5是一般情况下所得到的结果。

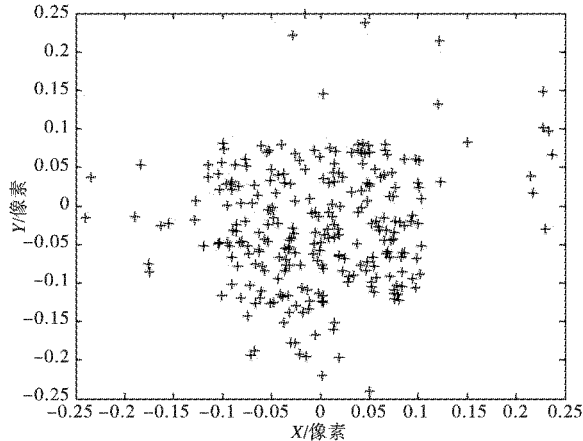


图4 重投影误差 a_1

Fig. 4 Re - projection error a_1

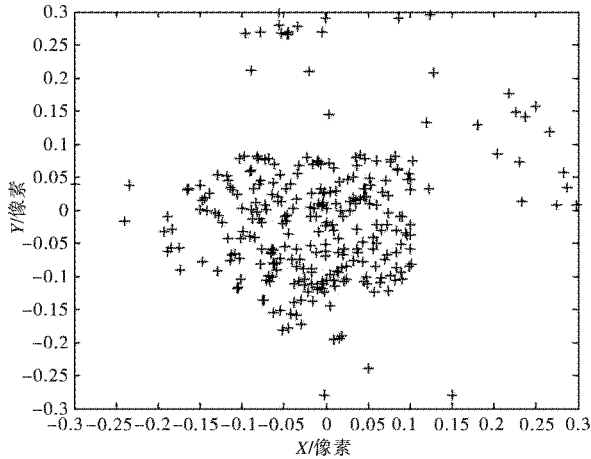


图5 重投影误差 a_2

Fig. 5 Re - projection error a_2

从结果可以得出,前者在 X 、 Y 轴方向上的误差不超过 0.25 像素,后者在 X 、 Y 轴方向上的误差不超过 0.3 像素。图像预处理算法对双目标定结果精度是有一定影响的。

b) 在其他影响条件相同的情况下,采用不同的操作方法来进行标定,首先将标靶放在视场范围内,调节好焦距和光圈,尽量减少晃动幅度,在相同位置进行标定,得到标定结果,得出重投影误差如图6所示,再在相同的条件下,把标靶放在视场范围内不同位置进行标定,并在测量范围的深

度方向上(Z 方向)有一定的平移,或绕 X 轴和 Y 轴有一定的旋转,得到标定结果,得出重投影误差如图7所示。

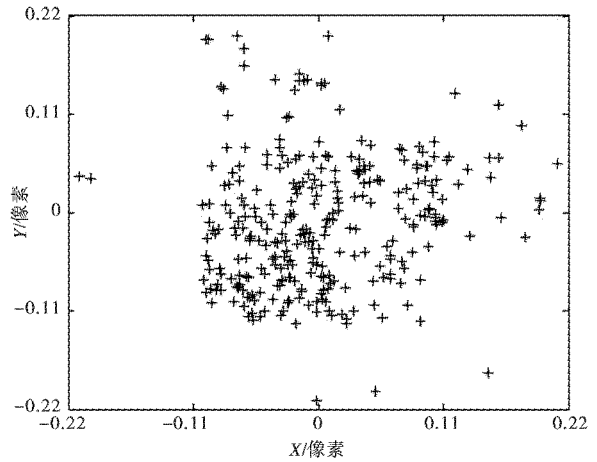


图6 重投影误差 b_1

Fig. 6 Re - projection error b_1

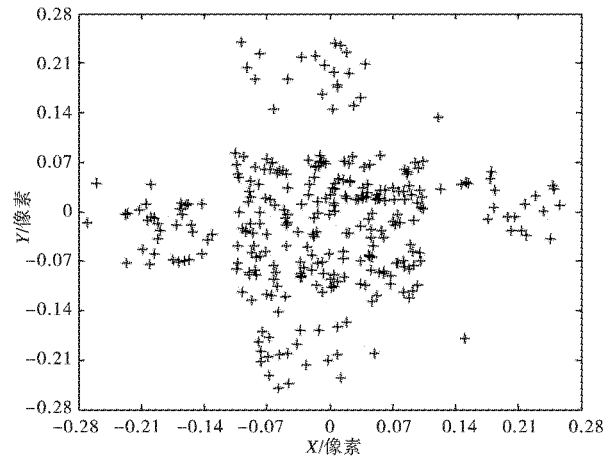


图7 重投影误差 b_2

Fig. 7 Re - projection error b_2

前者在 X 、 Y 轴方向上的误差不超过 0.28 像素,后者在 X 、 Y 轴方向上的误差不超过 0.22 像素。可以得出适当的操作方法可提高标定精度。

4 影响双目标定系统的因素及提高精度的方法

根据双目标定原理,通过实验,进行实验数据的对比与总结,最后经过分析可知,影响双目标定系统的主要因素有:

4.1 外界环境的干扰

光线过亮或过暗,标靶特征圆与背景对比度低,使所采集的图像质量较低,产生噪声,从而引起后面检测不到标靶,或检测精度低,造成标定精度低。

光照不均匀,使得标靶过分过亮或过暗同样会造成所采集的图像质量降低,产生噪声,从而也

会引起检测不到标靶,或检测精度低,造成标定精度降低。

所以在采集图像时,一定要尽可能在光照条件较好的环境下进行,从而提高检测的精度。

4.2 图像预处理算法

采集图像后,选择合适的算法对图像进行预处理,减少噪声,畸变等不利情况,从而使标定板特征圆清晰可见,应该根据实际情况来选择适当的图像处理算法,使在标定图像特征点检测和提取的时候更方便分析和计算,从而提高系统标定进度。本实验采用的是子像素检测技术。

4.3 标靶精度

由摄像机标定原理可知,标定过程中图像坐标和世界坐标的精度是直接影响摄像机标定精度的因素,所以在图像坐标当中标靶特征点的检测精度也是很重要的。

其次就是标靶上特征点的加工精度,在标定过程中,会运用到很多参数来进行计算,在这个过程中需使用到标定板的一些物理参数,比如角点距离等等。所以标靶的加工精度和质量会直接影响到图像处理算法的效果。本系统标靶加工精度误差小于 0.1 mm,并可以进行二次测量获取更高精度的特征点坐标值。

4.4 相机镜头

同样的视场范围内相机的分辨率越大,标定精度也就越高。

镜头决定了视场的范围,标靶大小小于视场的 $\frac{1}{5}$ 时会减小摄像机的标定精度。

4.5 操作的方法

在标定过程中,根据不同的操作方法,得到的精度也会不同,所以正确合适的操作方法也能提高标定的精度。

要将标靶放在视场范围内,调节好镜头焦距和光圈,使标靶能够清晰的成像。

标定的时候要将标靶处于静止状态或是小幅度的晃动,以减少由于相机的曝光时间所引起的运动模糊造成的误差;

让标靶尽可能得放置在视场范围内不同位置进行标定,在测量范围的深度方向上(Z 方向)有一定的平移,或绕 X 轴和 Y 轴有一定的旋转。

4.6 采集次数

在标定过程中,所拍摄的标定板图片越多,计算后所产生的误差会越小,但是同时也会给系统带来计算量大的问题,同时,当图像的采集次数越多,达到一定的数量后,误差会保持稳定,无法再降低。

在实际情况下,需要根据具体的情况选定图像采集次数,对标定结果求均值可得到较高的精度。

通过以上总结,运用提高精度方法,将一切影响因素都调节到最低时,进行标定,所得重投影误差如图 8 所示。

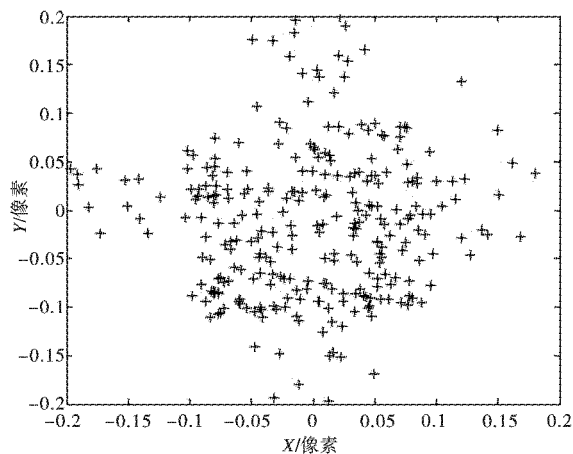


图 8 重投影误差

Fig. 8 Re-projection error

由图中可以看出其在 X 、 Y 轴方向上的误差基本不超过 0.2 像素,可以认定标定结果的准确性。

5 结 语

影响双目标定精度的因素众多,在具体的情况下要进行具体分析。本文通过实验,由得到的数据分析得出普遍性影响双目标定系统精度的六大因素,并通过调节,在各个因素影响系数最小时进行标定,实验结果表明得到了较高的精度,满足双目标定系统的实用要求。

参考文献:

- [1] 马颂德,张正友. 计算机视觉——计算机理论与算法基础[M]. 北京:北京科学出版社,1998.
- [2] 李洪海. 双目立体摄像机标定方法研究[J]. 软件天地,2010,26(4):224-226.
- [3] 李洪海,王敬东. 摄像机标定技术研究[J]. 光学仪器,2007,29(4):7-12.
- [4] 陈 念,李 进,王海晖. 双目立体视觉测量系统的研究与实现[J]. 武汉工程大学学报,2011,33(5):101-105.
- [5] 李洪海. 一种简便的双目摄像机标定方法[J]. 淮阴工学院学报,2009,18(3):56-61.
- [6] 庄光明,崔建伟,彭作祥. 基于双目定位原理的系统标定算法[J]. 计算机工程与应用,2010,46(8):45-47.
- [7] 于勇,张晖,林茂松. 基于双目视觉三维重建系统的研究与设计[J]. 计算机技术与发展,2009,19(6):127-130.

Methods of accuracy improvement based on binocular calibration system

YANG Ming¹, WANG Hai-hui^{1,2}, CHEN Jun¹, WAN Ni¹

- (1. School of Computer Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;
2. Hubei Province key Laboratory of Intelligent Robot, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: For the improvement of accuracy of binocular calibration system, several methods and the theory of camera calibration, and the process of binocular calibration system were introduced. By experiment using 2-step binocular calibration method of Zhang Zheng-you, several factors which influence the accuracy of calibration system were summarized and methods were proposed to improve the accuracy. By experiment within minimizing the influence of the factors, the result showed that the re-projection error was less than 0.2 pixel and the methods could satisfy the practicality of binocular calibration system.

Key words: camera calibration; binocular calibration; calibration accuracy

本文编辑:陈小平



(上接第6页)

Advance in thermoacoustic theory

WU Feng¹, LI Qing², GUO Fang-zhong³, SHU An-qing¹

- (1. School of Science, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;
2. Technical Institute of Physics and Chemistry, Chinese Academy of Science, Beijing 100190, China;
3. The Institute of Energy & Power, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

Abstract: The basic principle and features of thermoacoustic self-excited oscillation are briefly introduced in this paper. In a thermoacoustic stack with longitudinal temperature gradient, which is an important part of thermoacoustic engine, the interactions between the entropy wave and the oscillating flow produce a rich variety of thermoacoustic phenomena such as self-excited gas oscillation and thermoacoustic heat pump. Thermoacoustic effect is of the great application potential in thermoacoustic engine and refrigerator, thermoacoustic air-condition, thermoacoustic mixture separation, thermoacoustic condensation, natural gas liquefier, utilization of solar energy and so on. The important milestones in the research of the thermoacoustic theory in the recent decades are summarized, mainly including the new achievements in thermoacoustic network model, mechanism of parameter exciting, investigation on characteristic time of system, thermodynamic optimization, simulation using lattice gas model, nonlinear thermoacoustic theory and so on. Among the important advancements, the Symplectic symmetry feature of thermoacoustic network is highlighted. The transferring matrix of working gas in isothermal fluid pipe of thermoacoustic system is symplectic matrix. The transferring matrix of working gas in regenerator of thermoacoustic system could be transferred to symplectic matrix by variable transformation. With variable transformation, the whole transferring matrix of thermoacoustic system could be denoted by symplectic matrix. The development trends of thermoacoustics in the future are forecasted, and some issues in thermoacoustics and research ideas on them are also proposed.

Key words: thermoacoustic effect; self-excited oscillation; thermoacoustic theory; research advance

本文编辑:龚晓宁