

基于双目立体视觉的工件识别与定位研究

王纪程,郁汉琪,房家军

(南京工程学院,江苏 南京 211100)

摘 要:为提高机器人在工作过程中的智能性,对基于双目立体视觉工件的识别与定位进行了研究。搭建双目视觉系统模型,进行双目系统标定,获得相机参数、相对位姿以及畸变系数。在 ORB 特征匹配算法的基础上,提出了 ORB+RANSAN 特征匹配算法,剔除误匹配,并进行立体匹配,获得视差图,结合标定结果对工件进行三维重建。实验结果表明,采用改进的 ORB+RANSAN 匹配算法能够准确、有效地对工件进行识别与定位。

关键词:双目立体视觉;立体匹配;视差图;三维重建

中图分类号:TP241.2 **文献标识码:**B **文章编号:**1671-5276(2020)06-0162-04

Research on Workpiece Recognition and Positioning Based on Binocular Stereo Vision

WANG Jicheng, YU Hanqi, FANG Jiajun

(Nanjing Institute of Technology, Nanjing 211100, China)

Abstract: To improve the intelligence of the robot in the working process, the workpiece recognition and positioning based on binocular stereo vision is studied. The binocular vision system model is built and the binocular system is calibrated, which is used to obtain camera parameters, relative poses and distortion coefficients. Based on the existing ORB feature matching algorithm, the ORB+RANSAN feature matching algorithm is proposed, which is used to eliminate the mismatching, and perform the stereo matching, thus obtaining the disparity map, and reconstruct the 3D model of the workpiece in combination with the calibration result. The experimental results show that the improved ORB+RANSAN matching algorithm can be used to accurately and effectively identify and locate the workpiece.

Keywords: binocular stereo vision; stereo matching; disparity map; three-dimensional reconstruction

0 引言

近年来,计算机视觉技术迅猛发展,机器视觉也越来越广泛地应用到各个领域,尤其是结合工业机器人的视觉系统在自动化生产中占据着重要的地位。工业机器人是机械、自动控制、传感器等先进技术融合的产物,是实现智能制造的关键^[1]。机器视觉作为一门新兴的学科,近年来在交通、医疗^[2-3]等众多领域都有着重要的作用。

机器视觉主要分为单目视觉和双目视觉两种。近几年,国内外专家学者对机器视觉技术进行了大量的研究,提出了许多视觉理论与算法并结合工业机器人用于工件识别定位与抓取。在识别与抓取过程中往往需要获取目标的三维信息,单目视觉采集到的只是二维图像,无法恢复场景的深度信息^[4],而基于激光^[5]、结构光^[6]、物理传感器的主动测距方法虽能实现快速、准确、无干预地进行三维测量,但是设备成本较高,无法达到普遍应用。相比之下,双目立体视觉技术,具有结构简单、自动化程度高、算法时空复杂度较低等优势,受到了国内外各界学者的关注与研究。

1 双目视觉系统及其标定

1.1 双目视觉系统模型及透视变换

双目成像模型主要有一般双目成像模型以及标准双目成像模型。一般双目成像模型重建场景的深度信息过程较为复杂,因此在实际中常常采用简化的标准双目视觉系统,即以光轴相互平行的方式布置两个相机。标准的双目视觉系统如图 1 所示。

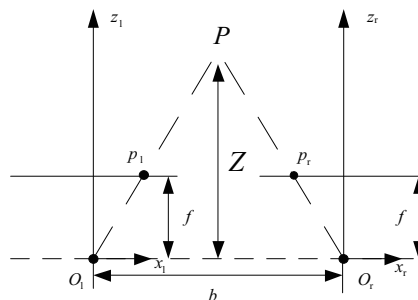


图 1 双目视觉系统原理图

图1中, O_l 与 O_r 分别是左、右两个相机的光心; p_l 与 p_r 为目标 P 分别在左、右相机成像平面上的像点; f 为相机焦距; Z 为场景的深度信息; d 为左右两幅图像的视差值; b 为两个相机放置的水平距离,称作基线。假设目标点 $P(x_w, y_w, z_w)$ 在左图像平面所成的像点 p_l 的坐标为 (x_l, y_l) ,在右图像平面所成 p_r 的坐标为 (x_r, y_r) ,则视差 $d = x_l - x_r$ 。根据相似三角形原理得:

$$\frac{b-d}{Z-f} = \frac{b}{Z} \Rightarrow Z = \frac{fb}{d} \quad (1)$$

空间三维坐标与图像坐标系之间的投影关系如图2所示。

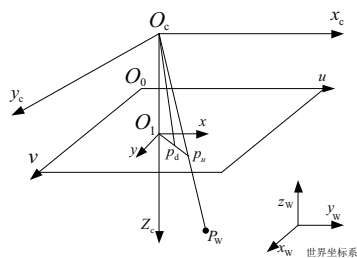


图2 相机投影模型

摄像机的成像过程实际上也就是世界坐标系、相机坐标系到图像坐标系及像素坐标系之间的相互转换的过程,根据相机的透视模型可得到相机的线性模型:

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{f}{dx} & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & \frac{f}{dy} & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} R & t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} = M_1 M_2 \begin{bmatrix} x_w \\ y_w \\ z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中: M_1 为相机的内部参数矩阵; M_2 为相机的外部参数矩阵。

1.2 双目视觉系统标定实验

由于相机镜头在制造与安装过程中受到诸多因素的影响,因此在实际中不存在理想的摄像机线性模型,都会产生一些畸变,而求解相机的内外参数、消除畸变的过程就是相机标定的过程。本文采用张正友标定法对搭建的视觉系统进行标定。

实验采取15组不同姿态下的棋盘标定板图像,提取角点进行标定实验,实验过程如图3所示。

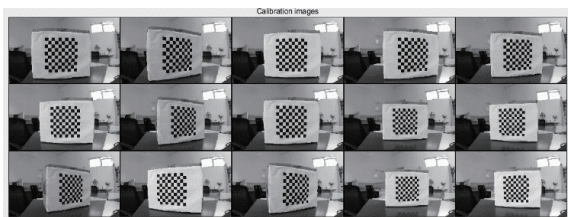


图3 提取角点的标定

先完成单目相机的标定,再进行双目相机的标定,从而获得左、右相机的相对位姿。双目相机标定结果如表1所示,左、右相机的相对位姿如表2所示。

表1 左、右相机的内部参数

参数	左相机	右相机
内参数矩阵	$\begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 \\ 0 & f_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1096.381 & 912.697 & 552.775 \\ 0 & 1101.679 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$
畸变系数	$[k_1 \ k_2]$	$[-0.382 \ 09 \ 0.206 \ 02]$
		$[-0.389 \ 36 \ 0.278 \ 44]$

表2 左、右相机的相对位姿

外部参数	平移向量 T/m	旋转矩阵 $R/(^\circ)$
x 轴	$-6.124 \ 226 \times 10^{-2}$	0.007 1
y 轴	$1.779 \ 360 \times 10^{-3}$	0.006 7
z 轴	$-3.201 \ 090 \times 10^{-3}$	-0.002 4

通过对左、右相机的实际测量,左、右相机布置的实际水平距离为6.2cm,标定结果为6.12cm。通过对比表1、表2实际参数值与标定参数值,发现标定误差很小,可以满足后期三维重建的精度要求。

2 特征描述子模板匹配与目标识别

图像处理是机器视觉中的基础部分,常用的模板匹配方法主要有基于灰度、相关性、形状的模板匹配。但这些方法往往易受到光照的影响,对于灰度变化、图像形变以及遮挡等问题无法进行准确的目标识别,因此本文采用基于特征描述子的模板匹配方法,提高匹配的准确性。

本文采用在ICCV2011上由RUBLEE E等人提出的ORB算法^[7]。由于ORB算法的特征描述子并不具备尺度不变性特征,而且尺度突变会影响特征匹配的精度,因此对ORB算法需进行改进,研究出一种将具有尺度不变性的BRIEF特征描述子与ORB特征检测子结合的特征匹配方法^[8],再用RANSAC算法迭代剔除误匹配。

2.1 ORB 特征点提取

本文采用Oriented FAST关键点检测对目标工件进行特征提取。Oriented FAST对原FAST算法进行了改进,以解决原FAST关键点数量大、不确定的问题。其次,运用Oriented FAST算法,通过图像金字塔和图像质心法解决了旋转和尺度不变性的问题,计算过程如下。

1) 计算图像的矩:

$$m_{pq} = \sum_{x,y \in B} x^p y^q I(x,y), \quad p, q = \{0,1\} \quad (3)$$

2) 确定图像块质心:

$$C = \left(\frac{m_{10}}{m_{00}}, \frac{m_{01}}{m_{00}} \right) \quad (4)$$

3) 定义特征点方向:

$$\theta = \arctan \left(\frac{m_{01}}{m_{10}} \right) \quad (5)$$

通过采用上述方法,解决了Oriented FAST关键点缺乏旋转和尺度不变性的问题,有效地提高了关键点的鲁棒性。

2.2 Rotated BRIEF 描述子

BRIEF 描述子的描述向量是由 1 和 0 组成的,是一种最简单的二进制描述子,可以将其描述向量定义为:

$$\tau(p: x, y) = \begin{cases} 1, & p(x) < p(y) \\ 0, & \text{其余} \end{cases} \quad (6)$$

其中: $p(x)$ 、 $p(y)$ 分别为图像块 p 在像素点 x 、 y 处的灰度值。随机选择 n 对点 (x_i, y_i) 就能够产生 1 个二进制字符串,其中 n 可取 128、256、512。特征相关性越低则越优秀,经过实验最终选取特征相关性较低的 256 对优秀特征对。

2.3 基于特征描述子目标识别实验

本文实验选定的不规则目标工件的模板如图 4 所示。



图 4 实验选定模板

对工件进行旋转、倾斜、遮挡、过暗或过亮以及杂乱背景的情况下的模板匹配实验,记录匹配完成的时间、匹配的关键点数目。目标实验设置的 6 副样本如图 5 所示。

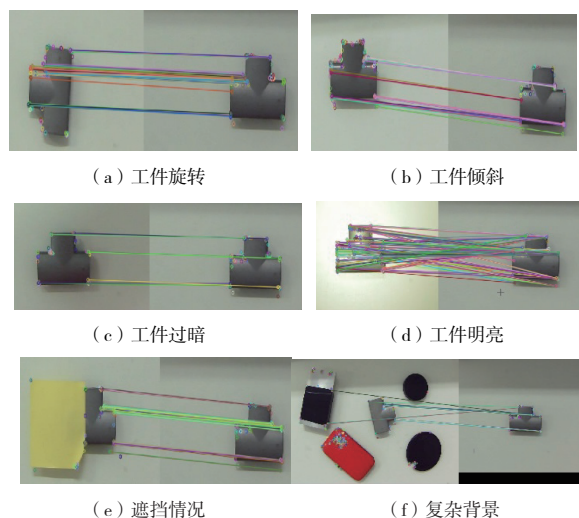


图 5 算法识别效果图

从图 5 中可以看出,采用本文的目标识别算法在不同姿态、不同环境下的目标物体均可被准确识别。

各个样本实验完成匹配的时间、匹配点数如表 3 所示。

表 3 各个样本实验完成匹配时间、匹配点数

样本实验	时间/s	匹配的点数/个	RANSAC 后匹配的点数/个
旋转	0.108 753	132	45
倾斜	0.115 863	206	24
场景过暗	0.104 347	78	12
场景明亮	0.101 270	305	205
遮挡	0.110 345	93	38
杂乱背景	0.149 209	496	25

由实验结果可知,采用本文的目标识别算法,能够快速地将不同姿态、不同环境下的目标物体识别出来,采用 RANSAC 算法剔除误匹配后,大大缩短了匹配时间,降低了匹配错误率。

3 立体匹配与三维重建

3.1 双目视觉系统立体匹配

对物体进行三维重建,关键是求解其深度信息。在双目立体视觉中,通常采用立体匹配的方法对采集到的左、右两幅图像进行匹配,获得对应的视差图,从而恢复图像的的深度信息。立体匹配可分为区域匹配、特征匹配和相位匹配。其中特征匹配具有速度快、精度高、受光照影响小的优点,因此本文选择特征匹配算法。通过该算法得到可能的特征匹配点后,采用相似性测度,找出最优匹配。常用的相似性判断标准有 SAD、SSD 和 NCC。从算法的复杂度和硬件实现的难易程度上来看,SSD 和 NCC 算法耗时间量大,不符合实际作业要求,因此本文选择 SAD 算法^[9]。SAD 算法表达式为:

$$SAD(i, j, d_{isp}) = \sum_{h=\frac{w-1}{2}}^{\frac{w-1}{2}} \sum_{k=\frac{w-1}{2}}^{\frac{w-1}{2}} |P_L(i+h, j+k) - P_R(i+h, j+k+d_{isp})| \quad (7)$$

其中: d_{isp} 为左相机拍摄的图像上窗口在外极线上移动的距离,即视差; $P_L(i, j)$ 、 $P_R(i, j)$ 表示输入的两幅图像的灰度值。

为提高立体匹配的准确性及效率,本文采取了以下措施:1)将模板匹配识别出的目标物所在的区域设置为 ROI 区域,仅将该区域与另一幅图像进行立体匹配;2)采用 Grab Cut 交互式前景背景分割算法,获得需要研究的前景目标,消除背景干扰因素;3)在进行搜索时,给定一个合理的视差搜索范围,约束搜索空间,如式(8)~式(9)所示。

$$\text{Min}D_{\text{isparity}} = N_{\text{col}}^{\text{image2}} - N_{\text{col}}^{\text{image1}} \quad (8)$$

$$\text{Max}D_{\text{isparity}} = F_{\text{col}}^{\text{image2}} - F_{\text{col}}^{\text{image1}} \quad (9)$$

本文选用图 4 为实验模板,进行立体匹配,获得视差图恢复其深度信息。实验结果如图 6 所示。

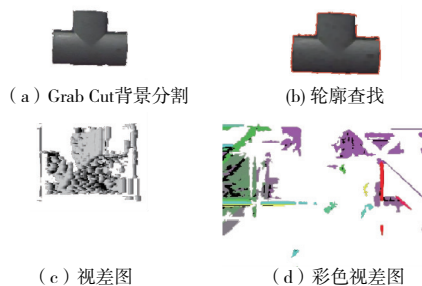


图 6 不同场景下的识别效果图

3.2 三维重建及位姿求解实验

通过上述对两幅图像进行立体匹配并结合双目视觉系统的标定结果,可重建出图像上一点 $p(u, v)$ 对应的世

界坐标 $P_W = (x_W, y_W, z_W)$ 。本文将世界坐标系设立在左摄像机的相机坐标系下,则有 $x_1 = x_W, y_1 = y_W, z_1 = z_W$ 。

为验证重建算法的精确性,从实验模板图中选取 10 个特征点进行三维重建,将其重建结果记录下来并进行误差分析,如表 4 所示。

表 4 目标物体三维信息 单位:mm

序号	x 误差	y 误差	z 误差
1	0.769 150	0.345 117	2.635 986
2	0.160 461	0.575 645	3.529 938
3	0.979 012	0.259 350	1.930 695
4	-0.961 449	-0.088 665	0.528 046
5	0.275 917	0.416 946	3.225 800
6	-0.368 401	0.287 922	2.165 497
7	-0.872 383	0.488 945	3.817 474
8	0.961 449	0.088 665	0.528 046
9	0.536 484	-0.046 196	0.179 047
10	-0.092 613	0.059 103	3.648 956

由实验结果得知,本文所采用的算法精度较高,深度信息误差在 0 mm~4 mm 之间,满足精度要求。其中,在物体倾斜、遮挡的情况下误差较大。

4 结语

本文搭建了标准的双目视觉系统,采用张正友标定法对视觉系统进行标定,消除镜头畸变,获得相机的内部参数以及左、右相机的相对位姿。

采用改进后的 ORB+RANSAC 特征点匹配算法对工件进行识别。实验结果表明,该算法对旋转、遮挡、倾斜以及复杂背景等各种条件下的物体均能快速、准确地进行识别。

本文采用特征匹配算法,对同一场景对应的两幅图像进行了立体匹配,获得视差值,结合标定结果对特征点进行了三维重建。

参考文献:

- [1] 韩博. 基于双目立体视觉的工件识别与定位关键技术研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学,2018.
- [2] 董峰,孙立宁,汝长海. 基于双目视觉的医疗机器人摆位系统测量方法[J]. 光电子·激光,2014(5):1027-1034.
- [3] 吕家国,蒋晓瑜,张鹏伟,等. 医疗机器人双目视觉硬件系统设计与实现[J]. 中国光学,2014,7(2):307-314.
- [4] 蒋萌,王尧尧,陈柏. 基于双目视觉的目标识别与定位研究[J]. 机电工程,2018,35(4):414-419.
- [5] KOCH T, BREIER M, LI W. Heightmap generation for printed circuit boards (PCB) using laser triangulation for pre-processing optimization in industrial recycling applications [C]. Bochum: IEEE International Conference on Industrial Informatics, IEEE, 2013.
- [6] GUEHRING J. Dense 3D surface acquisition by structured light using off-the-shelf components[J]. Proceedings of SPIE, 2000, 43(9):220-231.
- [7] RUBLEE E, RABAU D, KONOLIGE K, et al. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF [C]. Washington: Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision, 2011: 2564-2571.
- [8] 高强,潘俊. 基于 ORB 的图像特征提取与匹配研究[J]. 福建电脑,2019,35(1):21-22.
- [9] 岳陈平,孟丽娅. 基于 SAD 算法的立体匹配的的实现[J]. 微型机与应用,2013,32(6):41-43.

收稿日期:2019-11-07

(上接第 145 页)

- [4] 胡伟,徐勇,张善平. 基于 ADAMS 的六足机器人腿机构优化设计与仿真[J]. 机械制造,2014,52(10):11-14.
- [5] 陈志稳,陈少克. 基于 ADAMS 四自由度抓取机器人运动学分析及仿真[J]. 机电工程技术,2018(12):68-71.
- [6] LIU Yamei, LIU Jing, BIAN Yahui, et al. Kinematics simulation of six degrees freedom robot car skylight detection based on ADAMS [C]. Yin Chuan: Proceedings of 2015 3rd International Conference on Mechanical Engineering and Intelligent Systems(ICMEIS 2015). Computer Science and Electronic Technology International Society, 2015: 326-332.
- [7] 李瑜婷,赵治国,章桐. 基于 ADAMS 的双横臂悬架性能多目标优化研究[J]. 中国制造业信息化,2009(17):30-34.
- [8] 李文胜. 基于 ADAMS 的汽车悬架系统多目标优化设计[J].

长春工业大学学报(自然科学版),2011(2):125-130.

- [9] SONG Jie, HUA Hongliang, LIAO Zhenqiang, et al. Combined size and shape optimization of structures with DOE, RSM and GA [J]. Journal of Beijing Institute of Technology, 2018, 27(2): 267-275.
- [10] 刘城,潘鑫,闫清东,等. 基于 DOE 及 RSM 的液力变矩器叶片数对性能的影响及优化[J]. 北京理工大学学报,2012, 32(7):689-693.
- [11] 王涛,陶薇. 重型载货汽车悬架参数的多目标优化设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2008(11):29-32.
- [12] 刘月云,刘碧俊. 基于 DOE、RSM 及 PSO 的大尺寸板类塑件的翘曲优化[J]. 中料,2018,32(10):99-104.

收稿日期:2019-09-05