

基于 BM 算法的视觉匹配验证

袁 娜, 张在权

(唐山学院 智能与信息工程学院, 河北 唐山 063000)

摘要: 双目立体匹配算法在非接触测量方面的优异表现, 使其在机器人的图像识别领域得到了广泛的应用。文章采用局部立体匹配算法中的字符串搜索(BM)算法, 将双目摄像头采集的图像对经过立体匹配、校正后得出深度图, 由此得出被测物体与摄像头之间的距离, 并与实际测量距离进行比较, 以检验算法的准确性。在此基础上改变光照强度和测量距离来检测算法的适用性。实验结果表明, BM 算法适用于距离小于 1.5 m 范围内的物体的测量, 且该算法对光照强度要求不高, 说明 BM 算法可以应用到双目视觉系统, 用于对实际场景的识别。

关键词: 双目视觉系统; BM 算法; 光照强度; 测量距离

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-349X(2019)06-0012-07

DOI: 10.16160/j.cnki.tsxyxb.2019.06.004

Verification of Vision Matching Based on BM Algorithm

YUAN Na, ZHANG Zai-quan

(School of Intelligence and Information Engineering, Tangshan University, Tangshan 063000, China)

Abstract: The excellent performance of Binocular Stereo Matching Algorithm in non-contact measurement brings about its wide use in the robot image recognition. In this paper, the Boyer Moore (BM) algorithm, which belongs to the local stereo matching algorithms, is used to obtain the depth map of the images collected by the binocular camera after stereo matching and correction, and the distance between the measured object and the camera is acquired. After the comparison between the calculated distance and the actual measured distance, the accuracy of this algorithm could be verified. On this basis, the applicability of the algorithm is further checked by changing the light intensity and the measure distance. The results show that the BM algorithm is suitable for measuring objects within a distance less than 1.5 m, and the algorithm is not so sensitive to light intensity, which means that BM algorithm could be applied to Binocular Vision System for actual scenes recognition.

Key Words: Binocular Vision System; BM algorithm; light intensity; measure distance

0 引言

随着全球智能制造业的飞速发展, 智能机器人逐渐代替人工劳动力进行有危险的、重复

度高的工作, 大大提高了工作效率和合格率。早期的机器人应用在工业生产中, 只能做一些简单的工作, 而随着更多智能传感器融合

基金项目: 唐山市科技计划项目(17110221a)

作者简介: 袁娜(1988—), 女, 河北唐山人, 讲师, 硕士, 主要从事智能控制和机器人双目视觉研究。

到工业机器人后,机器人可以做更加复杂的工作,同时加载类似人眼的双目视觉系统后,智能机器人能够实现自主工作。人类的视觉感知不单是指人类眼球对携带信息的光信号能够感应和接收,还囊括了获取信息的过程,包括捕捉、管理、传递、存储与解读等^[1-2]。人们希望机器人也拥有和人一样的眼睛来感知外界的事物,所以科研人员加强了机器人双目视觉系统的研究^[3-4]。在双目视觉系统中,立体校正和立体匹配算法^[5-7]是系统的关键技术,算法的优劣直接影响到最终的深度图效果^[8]。本文拟就BM算法在双目视觉系统非接触测量方面的效果进行实验验证。BM算法是常用的一种局部立体匹配算法。验证的过程是:应用双目视觉相机采集物体图像,对图像对进行立体校正后得到物体的深度图,计算出被测物体与摄像头之间的距离,并和实际测量距离进行比较,以验证算法的精度;而后改变光照强度和测量距离,来考察光照强度对立体匹配精度的影响。

1 坐标系转换

通常用三个坐标系对立体校正和立体匹配成像进行描述:图像坐标系、相机坐标系和世界坐标系^[9]。

图像坐标系由图像像素坐标系以及图像物理坐标系组成(见图1),两个坐标系相互平行。在像素坐标系当中相机采集的数据信息以 $U \times V$ 二维数组进行存储,每个 (u, v) 代表的是像素值。在物理坐标系中,以相机光轴和成像平面的焦点作为原点 O_1 。

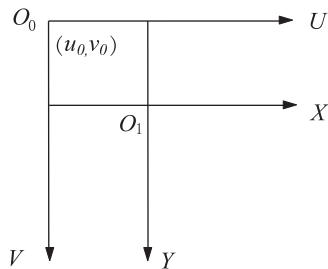


图1 图像坐标系

在相机坐标系中, O_c 为相机的光学中心, X_c 和 Y_c 分别为相机成像的水平轴和纵轴, Z_c 为相机光轴, $O_c X_c Y_c Z_c$ 组成相机坐标系(见图2)。

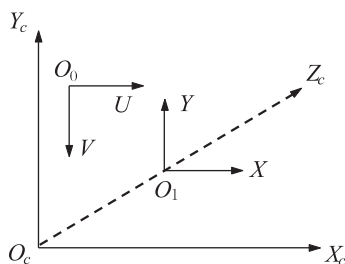


图2 相机坐标系

对于随意摆放的物体和相机,无法定量地表示两者之间的关系,但可以创建世界坐标系 $O_w X_w Y_w Z_w$,然后通过相机的内外参数 R, T 来实现世界坐标系与相机坐标系的转换。坐标系转换关系如图3所示。



图3 坐标系的转化

2 实验过程

2.1 相机的标定

在利用双目立体视觉技术恢复三维立体空间的三维坐标值时,为了得到成像平面像点在三维空间中对对应点的计算关系,必须对成像设备的内外参数进行确定,此过程被称为相机的标定。相机内外参数的准确性直接影响三维重建的效果。张正友标定法^[10]的三维重建流程图如图4所示,因此标定法操作简单,结果准确,在普通的实验室就可以得到所需要的数据,所以在本实验中采用Matlab标定工具箱中的张正友标定法进行标定。

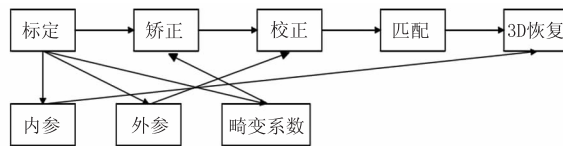


图4 张氏标定三维重建流程图

2.2 图像去噪

在图像的获取过程中相机由于受其自身物理特性及外界环境光线不均的影响,会造成图像的质量下降,影响后续的匹配效果。图像去噪就是为了消除与图像无关的信息,使图像变得清晰,为后续的匹配做铺垫。

在双目视觉系统中常见的噪声有椒盐噪声

和高斯噪声。椒盐噪声是脉冲噪声的一种,传感器在信号传输过程中由于受到外界的干扰而发生传输错误,使得强光和弱光在图像上留下黑白斑点。高斯噪声是概率密度函数服从正态分布的一类噪声,拍摄器件之间的互相影响会产生高斯噪声,图像因此会变得模糊。

去除噪声的方法有多种,其中最常用的是中值滤波。中值滤波的公式为:

$$g(x,y)=\text{med}\{f(x-k,y-l),(k,l)\in W\}。(1)$$

其中, W 为 2×2 或者 3×3 的区域, $f(x)$ 为处理前的图像, $g(x,y)$ 为处理后的图像。中值滤波处理的原理为:取指定区域的像素点,按各像素点数值的大小进行排列,取其中间数值,然后将此数值放入选中的矩阵中心,来代替原来的数值。以 W 为 3×3 的区域为例,其基本滤波过程如图 5 所示,其结果是以中间数值 23 代替了原区域中心的数值 1,得到了中值滤波后的像素矩阵。

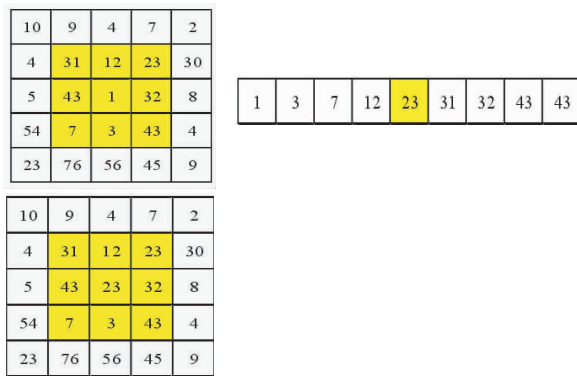


图 5 中值滤波变换图

中值滤波能够减少图像边缘的模糊,有效消除脉冲噪声,而且运算速度快,对于图像的平滑效果好,所以本实验采用中值滤波来进行图像的去噪。

2.3 立体校正

在双目视觉系统中,由于左右两个摄像头不可能存在完全共面或成像平面不可能精确地对准,因此需要对拍摄的两张图像进行立体校正,从而使两张图像中物体的同一像素点对准。这样才可以根据该点在两张图像中的关系得到图像的深度信息,即物体与相机之间的距

离。立体校正的示意图如图 6 所示。

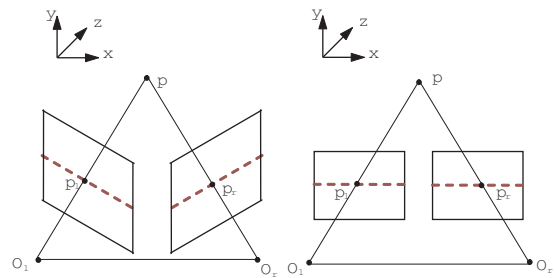


图 6 立体校正示意图

为了使左右两张图像中同一目标点在同一直线,采用 Bouget 算法进行处理,该算法利用已知的立体图像间的 (R, T) (其中 R 为旋转矩阵, T 为平移矩阵) 进行校正,使左右图像重投影造成的畸变最小,左右视图的共同面积最大。

立体校正的经过为:原始图—消除畸变—平行校正—图像裁剪。对原始图消除畸变的过程,即为畸变校准。相机畸变都发生在图像物理坐标系中,包括设备镜头本身形成的径向畸变(即沿着透镜半径方向分布的畸变)和因摄像机制造上的缺陷形成的切向畸变(即矢量端点沿切线方向发生的变化,也就是角度的变化)。消除畸变的流程图见图 7。

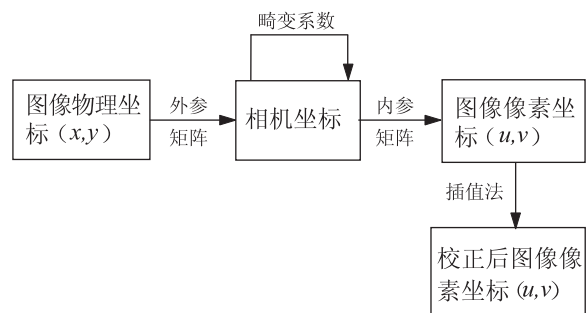


图 7 消除畸变流程图

2.4 立体匹配

立体匹配的基本原理是找出两张图像上对应的像素点,建立能量代价函数,得出像素点的视差,由此求出图像的深度信息。

立体匹配可以看成是两个数据之间的匹配。立体匹配算法有多种分类^[11-14],根据算法运行时约束的作用范围可以分为局部立体匹配算法和全局立体匹配算法。局部立体匹配算法的原理是找出一个图像区域的像素点,在其周

围选择一个小的窗口,在另一个图像上找到与之匹配的小窗口,通过相似性准则来进行匹配。全局立体匹配算法是通过建立能量函数,求其最优解,即找到最优的视差,从而得到最优的匹配效果。

Boyer-Moore(简称 BM)算法^[15]是一种局部立体匹配算法,它采用坏字符和好后缀两项规则。下面以字符串匹配为例说明此算法的基本流程。

设文本串为 Q ,模式串为 P , Q 与 P 在左侧对齐,从 P 的最右边与 Q 进行匹配。

坏字符:当匹配不成功的时候,假如在 Q 里面没有与 P 对应的字符,则移动 P 文本串,移动距离算式为:

$$skip(x) = \begin{cases} m, x \neq P[j] (1 \leq j \leq m), \\ m - \max(x, \{k | P[k] = x, 1 \leq k \leq m\}). \end{cases} \quad (2)$$

其中 $skip(x)$ 为 P 向右移动的距离, m 为模式串 P 的长度, $\max(x)$ 为字符串 x 在 P 中的最右位置。

好后缀:在匹配过程中当其中的字符已经匹配上一部分之后,发现某个字符不匹配,则分为两种情况进行分析。

(1)如果在 P 中位置 q_1 处已匹配部分 P' 在 P 中未匹配部分的某位置 q_2 也出现,且位置 q_2 的前一个字符与位置 q_1 的前一个字符不相同,则将 P 右移,使 q_2 对应 q_1 方才所在的位置。

(2)一部分字符匹配成功之后,在进行下一字符的匹配时,已匹配的部分 P' 没有在 P 内出现两次,找出匹配成功的字符最长的重叠部分(匹配成功的前面部分)进行右移动,用 x 表示与 P' 的后缀 P'' 相同的 P 的最长前缀,向右移动 P 的距离为 s ,使 x 对应 P'' 后缀所在的位置。其算式为:

$$shift(j) = \min \begin{cases} s | (P[j+1 \dots m] = P[j-s+1 \dots m-s]) \& \& \\ (P[j] \neq P[j-s]) (j > s), \\ s | (P[s+1 \dots m] = P[1 \dots m]) \\ (j \leq s). \end{cases} \quad (3)$$

$shift(j)$ 为 P 右移的距离, m 为模式串 P 的长

度, j 为当前匹配的字符位置。

左、右图像去噪后,将其像素值组成的矩阵分别定义为 Q 矩阵和 P 矩阵,进而利用 BM 算法进行立体匹配。

3 实验结果

3.1 相机介绍

利用双目视觉相机进行图像的获取,既要考虑成像的质量,也要考虑物体的拍摄距离。相机的像素越高分辨率越好,拍摄的图像质量会越好,获取的信息也就越多,但在后续图像处理中对算法和处理步骤的要求也会更高。

本实验采用 LenaCV 定基线 USB3.0 双目视觉相机,USB3.0 通信接口,输出图片清晰,反应速度快。该相机实物图如图 8 所示,具体参数如表 1 所示。

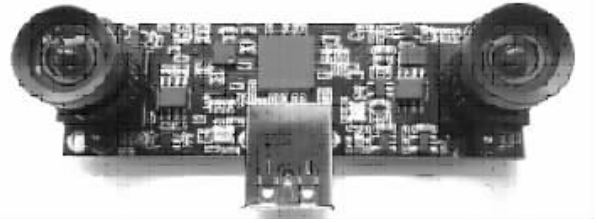


图 8 双目视觉相机实物图

表 1 双目视觉相机的参数

参数	参数值
单个像素尺寸/ μm	3.0×3.0
数据接口	USB3.0
适用平台	Windows, Linux, ROS 等
双目分辨率和帧率	$2560 \times 720 @ 30\text{fps}$
基线(双目中心距)/cm	6
整体尺寸(长 $\times$ 宽)/mm	74×23

3.2 光照强度实验结果

本实验采用 Matlab2014b 中的标定工具箱来进行相机的标定,然后使用 VS2015 调用 OPENCV 视觉库来进行图像的处理,最终得到物体的深度图。双目摄像头测得的左右视图分别为图 9 和图 10。图 11 为实验室光照环境下得到的原图像的深度图。在实验过程中,通过改变光照强度来观测光对于图像深度图以及实验测量距离的影响。改变光照强度的实验结果见图 12 至图 25。



图 9 左视图



图 10 右视图



图 11 原图像的深度图



图 12 10%亮度的深度图



图 13 20%亮度的深度图



图 14 30%亮度的深度图



图 15 40%亮度的深度图

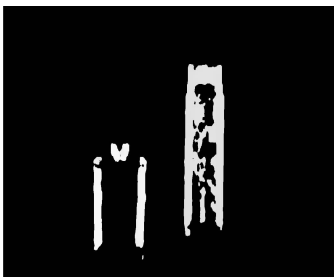


图 16 50%亮度的深度图



图 17 60%亮度的深度图

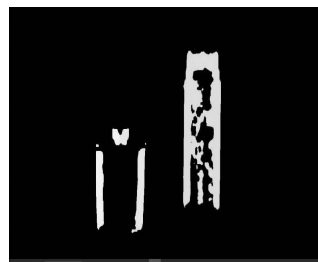


图 18 70%亮度的深度图

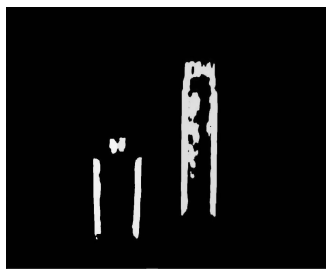


图 19 80%亮度的深度图



图 20 -10%亮度的深度图



图 21 -20%亮度的深度图



图 22 -30%亮度的深度图



图 23 -40%亮度的深度图



图 24 -50%亮度的深度图

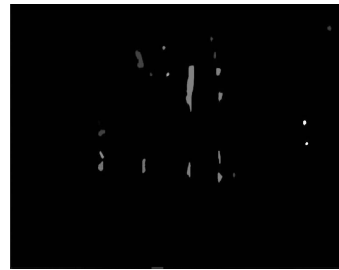


图 25 -60%亮度的深度图

对于光照强度是否对测量距离造成影响,通过选取图像中 4 个采样点(如图 26 所示),然后取 4 个点的测量距离的平均值来进行验证。光照强度变化对测量距离的影响见表 2。



图 26 取采样点

表 2 光照强度变化时测量距离的精度 mm

光照强度	采样点 1	采样点 2	采样点 3	采样点 4	平均值	实际值	误差
原图	651.022	650.028	668.792	669.321	659.807	660	0.139
10%	652.56	651.472	665.145	671.236	660.103	660	0.103
20%	652.197	651.834	664.768	674.101	660.725	660	0.725
30%	651.834	651.834	662.889	673.937	660.124	660	0.124
40%	648.948	651.834	667.036	671.236	659.764	660	0.236
50%	646.444	654.016	668.177	670.086	659.681	660	0.319
60%	646.088	653.278	669.321	673.937	660.656	660	0.656
70%	646.801	649.308	674.712	675.101	661.481	660	1.481
80%	654.016	652.923	667.036	673.55	661.881	660	1.881
-10%	652.923	652.197	664.768	671.412	660.325	660	0.325
-20%	652.57	653.287	664.768	671.05	660.419	660	0.419
-30%	650.928	654.98	665.9	670.086	660.474	660	0.474
-40%	649.668	657.315	664.391	672.006	660.845	660	0.845
-50%	650.388	656.211	662.889	665.522	658.752	660	1.248
-60%	652.168	655.211	665.893	660.574	658.463	660	1.539

3.3 距离实验结果

实验中通过改变相机与同一目标物的距离来验证对距离测量精度的影响。随着实际距离的改变,距离测量精度变化情况见表 3。

表 3 实际距离变化时的距离测量精度 mm

测量距离	实际距离	误差
49.555	50	0.555
99.688	100	0.688
150.765	150	0.765
161.112	160	1.112
201.355	200	1.355
1 006.982	1 000	6.982
1 513.24	1 500	13.24
2 511.021	2 000	511.021

4 结论

4.1 实验结论

双目摄像头采集的图像,经 BM 算法进行立体匹配后得到深度图,可以看出其边缘信息有一定的缺失,物体中间部分由于弧面的出现信息也有一定的缺失,从而没有显示出完整的物体信息。因此利用 BM 算法进行立体匹配适用于不考虑物体表面凹凸情况而只关心物体边缘距离或平面物体距离的情况。

在光照强度为 10% 到 60% 的范围内,深度图与原图几乎无异,测量误差可以控制到 1 mm 以内;当亮度增加到 70% 时,误差则超过了 1 mm;当亮度在 80% 时,深度图中物体的信息缺失明显,而且误差也在增加。

当亮度向负方向不断变化时,深度图中物体的信息不断缺失,显示的效果越来越差,当光照强度在 -60% 时,物体的信息已经显示不完全。而且从测量精度看,随着暗度的增加其误差也在逐渐地增加。

在距离精度方面,在 1.5 m 之内误差会在很小的范围波动,但是超过 1.5 m,其精度就会变差。

4.2 误差分析

(1)硬件:双目视觉照相本身物理特性可能存在一定的缺陷,所以在拍摄的时候产生误差是不可避免的,可以保持相机处于平行状态,以便获取更好的图像。

(2)环境影响:在拍摄过程中光照的强度对图像的影响很大,尤其是在后续的立体匹配时,光照太强和太弱都会影响匹配的效果,进而影响深度图的效果。

(3)人工误差:在拍摄过程中,要求相机是固定的,但是由于实验的条件和相机固定存在不稳定的因素,或者标定板可能不稳,所以存在误差是不可避免的。

(4)匹配算法的误差:算法自身可能存在缺陷,在对复杂图像的处理中,造成图像的深度图存在一定的误差,使得测量的物体距离不可避免地存在误差。

参考文献:

- [1] NITAO J J, CRONQUIST D H. Computer modelling: a structured light vision system for a Mars Rover[J]. Mobile Robots IV, 1990, 119: 168 - 177.
- [2] YANG Y X, CAI J J, ZHA Z J, et al. A Stereo-Vision-Assisted model for depth map super-resolution[C]. Chengdu: IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2014.
- [3] 许威,丁学文,宋兰草,等. 基于 MATLAB 和 OPENCV 的双目测距系统的实现[J]. 天津职业技术师范大学学报, 2017, 27(4): 47 - 52.
- [4] 刘晓晴. 基于双目视觉的图像处理与定位技术研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2017.
- [5] 李瑞峰,李庆喜. 机器人双目视觉系统的标定与定位算法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2007(11): 1719 - 1722.
- [6] 谭健胜. 基于双目立体视觉的三维重建技术研究及实现[D]. 广州: 华南理工大学, 2017.
- [7] 段峰,王耀南,雷晓峰,等. 机器视觉技术及其应用综述[J]. 自动化博览, 2002(3): 62 - 64.
- [8] 余洪山,王耀南. 仿人多自由度立体双目视觉导航系统的研究与开发[J]. 湖南大学学报(自然科学版), 2004(5): 62 - 65. (下转第 38 页)

的正确性。另外,在仿真过程中,使用常规的连续潮流算法求取 $P-V$ 曲线的平均用时为 1.672 s,而使用本改进算法求取 $P-V$ 曲线的平均用时为 0.365 s,可见改进算法的潮流计算速度有明显提高。

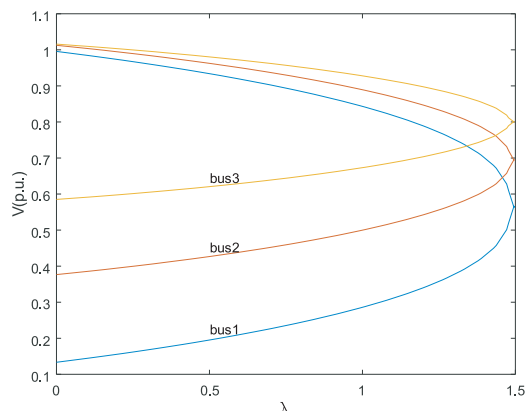


图 6 各负荷节点的 $P-V$ 曲线

4 结论

为提高连续潮流计算求取电力系统中节点 $P-V$ 曲线的正确性和计算效率,本文对连续潮流计算进行了算法改进:在预测算法的改进中,通过对切线预测向量单位化处理和根据相邻两步切线预测向量内积来确定连续潮流解的方向,使得连续潮流计算的算法能满足近似性与方向性原则,从而确保可以绘制出正确的 $P-V$

曲线;在步长控制的算法改进中,通过采用步长随迭代次数变化自动调整的变步长算法,提高了连续潮流计算的运算速度。以 WSCC-9 节点系统为算例,通过 Matlab 仿真对本文提出的改进算法的有效性进行了验证,仿真结果也表明,此改进算法能有效绘制出所求取的 $P-V$ 曲线,同时,计算效率也比常规的连续潮流计算的算法有了明显提高。

参考文献:

- [1] 吴俊勇. 电力系统分析[M]. 北京:清华大学出版社,2014:41-42.
- [2] 范翔,严正,赵文恺,等. 提高电力系统潮流计算收敛性方法的比较分析[J]. 电力系统及其自动化学报,2015,27(11):57-63.
- [3] 许强,李鹏. 一种求取 PV 曲线的快速分解潮流法的改进[J]. 华北水利水电学院学报,2013,34(1):100-102.
- [4] 吴成业,刘光晔,罗经纬. 基于泰勒级数的 PV 曲线求取及参变量选择分析[J]. 电网技术,2017,41(4):1225-1229.
- [5] 杨杉同,向前. 考虑分布式电源限流作用的主动配电网连续潮流计算[J]. 电力自动化设备,2017,45(10):57-62.

(责任编辑:李秀荣)

(上接第 18 页)

- [9] 黄鹏程,江剑宇,杨波. 双目立体视觉的研究现状及进展[J]. 光学仪器,2018,40(4):81-86.
- [10] ZHANG Z. A Flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(11):1330-1334.
- [11] 郭倩,张福杨,孙农亮. 融合多特征表示和超像素优化的双目立体匹配[J/OL]. 计算机工程与应用,2019:1-12(2019-01-25). <http://c. old. wanfangdata. com. cn/Periodical-jsjgcy. asp>.

- [12] 高雅昆,刘涛,李海滨,等. 基于像素类别的 PatchMatch 立体匹配算法[J]. 光学学报,2019,39(7):1-18.
- [13] 郁怀波,胡越黎,徐杰. 基于多特征融合与树形结构代价聚合的立体匹配算法[J]. 上海大学学报(自然科学版),2019,25(1):66-74.
- [14] 马瑞浩,朱枫,吴清潇,等. 基于图像分割的稠密立体匹配算法[J]. 光学学报,2019,39(3):240-248.
- [15] 徐政超. 模式匹配 BM 算法改进探讨[J]. 科技与创新,2017(6):59-61.

(责任编辑:李秀荣)