

基于快速特征点提取和描述算法与色调、饱和度和明度的图像特征点匹配算法

单雨丝, 陈波*, 程朋飞

华北理工大学电气工程学院, 河北 唐山 063210

摘要 提出了一种基于快速特征点提取和描述(ORB)算法与色调、饱和度和明度(HSV)的图像特征点匹配算法, 并进行了实验研究。首先利用双边滤波和均值滤波结合对图像进行预处理; 然后使用 ORB 算法进行特征点提取; 接着利用 K 维二叉树(K-D Tree)算法与汉明距离进行特征点粗匹配; 再利用图像的 HSV 信息对匹配特征点对进行二次筛选。实验结果表明, 在图像进行预处理阶段, 采用方差、Vollath、信息熵的加权平均作为评价指标, 与原图、直方图均衡化、双边滤波结果相比, 双边滤波和均值滤波结合得到的图像指标值最佳; 在特征点匹配和图像拼接阶段, 利用 HSV 信息筛选后特征点匹配正确率提高了 12.60 个百分点, 由此得到的图像拼接结果质量更好, 其自然图像质量评价(NIQE)指数值更小。

关键词 图像处理; 特征点配准; 快速特征点提取和描述算法; 色调、饱和度和明度

中图分类号 TP391

文献标志码 A

DOI 10.3788/LOP202259.1210012

Image Feature Point Matching Algorithm Based on Oriented Fast and Rotated Brief Algorithm and Hue, Saturation and Value

Shan Yusi, Chen Bo*, Cheng Pengfei

*College of Electrical Engineering, North China University of Science and Technology,
Tangshan 063210, Hebei, China*

Abstract An image feature point matching algorithm based on the oriented fast and rotated brief (ORB) algorithm and hue, saturation and value (HSV) is proposed and the experimental research is carried out. Firstly, the image is preprocessed by the combination of bilateral filtering and mean filtering. Secondly, the ORB algorithm is used to extract feature points. Thirdly, the K-D Tree algorithm and Hamming distance are used for matching of feature points roughly, and then the HSV information of the image are used for the secondary screening of matched feature point pairs. The experimental results show that, in the image preprocessing stage, the weighted average of variance, vollath and information entropy is used as the evaluation index, and compared with the original image, histogram equalization and bilateral filtering results, the evaluation index value obtained by the combination of bilateral filtering and mean filtering is the best. In the stage of feature point matching and image mosaic, the average matching correct rate of feature points is improved by 12.60 percentage points after using HSV information, and the quality of image mosaic result is better, as its natural image quality evaluation (NIQE) index value is smaller.

Key words image processing; feature point matching; oriented fast and rotated brief algorithm; hue, saturation and value

收稿日期: 2021-04-22; 修回日期: 2021-05-23; 录用日期: 2021-06-19

基金项目: 河北省自然科学基金(F2019209443)、河北省教育厅科技计划项目(QN2018039)

通信作者: *chenbo182001@163.com

1 引言

清晰度和视场是衡量图像信息质量的两大重要指标,高清晰度可以更清楚地获取观测目标的微观信息,大视场则可以获取周围环境的整体信息^[1]。图像拼接是实现大视场、高清晰度图像的重要手段,可以获得一幅涵盖子图共同信息的图片。图像拼接主要有 3 个阶段:图像预处理、图像特征点提取、特征点匹配。图像预处理通常需要利用直方图均衡化或各种滤波算法对图像进行增强和降低噪声。在图像特征点提取和描述方面,经典的算法有尺度不变特征变换(SIFT)^[2]、加速稳健性特征(SURF)^[3]和快速特征点提取和描述(ORB)^[4],其中 ORB 在速度方面有明显优势^[5]。在特征点匹配方面,文献[6]基于 SIFT 算法,将 K 维二叉树(K-D Tree)和优先队列(BBF)结合,基于相对最邻近点进行匹配,时间方面得到改善,但错误匹配对较多,后续引入随机采样一致性(RANSAC)消除错配,实时性差。文献[7]基于 SURF 算法和 RANSAC 算法,引入了色调、饱和度和亮度(HIS)约束,匹配精度得到提高,但实时性较差。文献[8]将 ORB 算法与 RANSAC 结合,获得的匹配点对太少,适用于对比度低的红外遥感图像。文献[9]基于 ORB 算法和 RANSAC 算法,引入二值化信息,不需要做预处理,也可以得到较为准确的变换矩阵,但是自适应性较差。

基于以上分析可知,在特征点提取方面 ORB 算法效率较高,在特征点匹配阶段,通过引入一定的约束条件,可以提高匹配效率。为此,本文提出了基于 ORB 算法和色调、饱和度和明度(HSV)的图像特征点匹配算法。首先利用双边滤波和均值滤波结合对图像进行预处理,然后使用 ORB 算法进行特征点提取,接着利用 K-D Tree 算法与汉明距离进行特征点粗匹配,最后利用图像的 HSV 信息对特征点对进行筛选,进一步提高匹配准确度。

2 方法

算法流程如图 1 所示,分为 3 个阶段:图像预处理、图像特征点提取和特征点匹配。

图像预处理主要是图像增强和去噪。图像增强的主要目的是抑制失焦模糊,尽量消除因拍摄角度不同出现的亮度差异,提高图像清晰度与对比度。图像去噪使特征点更容易获取。传统的预处理方法主要是直方图均衡化或均值滤波。直方图

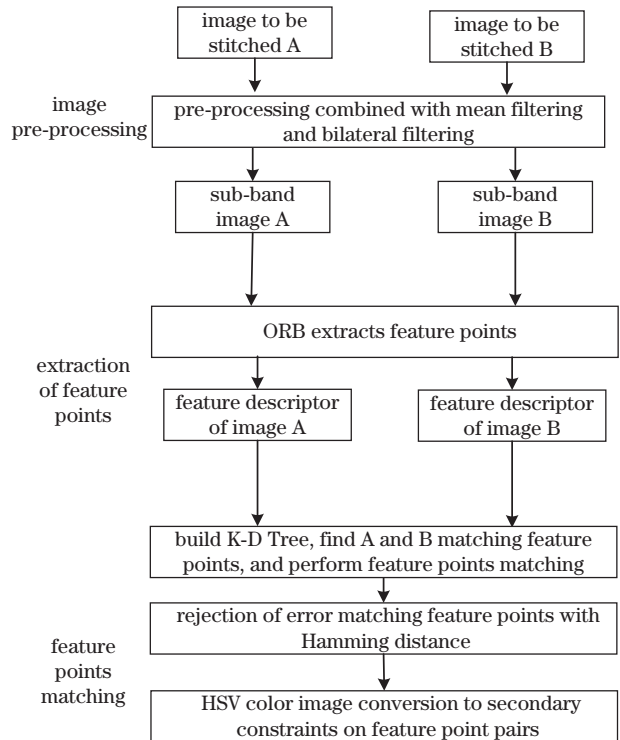


图 1 算法流程

Fig. 1 Algorithm process

均衡化可能会导致图像对比度过度增强;均值滤波可能会导致图像的细节信息丢失。考虑到双边滤波可以对边缘进行增强,但会导致图像噪声加剧,以及均值滤波可有效抑制噪声但会导致图像的细节信息丢失的特性,本文提出:先利用双边滤波保留边缘信息、突出细节,再利用均值滤波去除噪声。

图像预处理后,利用 ORB 算法进行特征点提取和描述。任取图像中一点 p ,以 3 pixel 为半径比较 p 点与周围 16 个像素点的灰度值之差^[10],若连续 i (i 一般取 12) 个点大于所设定的某一阈值 t 则确定此点为所需特征点,如果不满足此条件则不保留。即

$$|I(p) - I(i)| > t, \quad (1)$$

式中, $I(p)$ 和 $I(i)$ 为灰度值, $i \in (0, 16)$ 取整数。ORB 算法的特征点定位对上述方法进行改进,只取 1、5、9、13 这 4 个点的灰度值与阈值进行比较,3 个或以上满足则此点可取。特征点定位后,采用二进制稳健基元独立特征(rBRIEF)算法生成二进制描述子,并通过采用灰度质心法使所得的描述子具有方向不变性,赋予了 ORB 算法方向不变性的特点。

接着,针对参考图像与待拼接图像进行特征点匹配。首先利用 K-D Tree 算法对数据点进行划分,顺着二叉树寻找临近搜索数据并遍历回溯路径,寻找有效特征。根据 K-D Tree 模型计算出邻近样本数

据,对图像特征点进行初步匹配,然后利用特征点描述子的汉明距离来判断图像匹配的正确性,即判断两个等长字符串相对应的字符是否相同。在此基础上,在 HSV 空间中对特征点对进行二次筛选,可以减少错误匹配特征点的数量。HSV 颜色空间是一种基于感知的颜色模型,可以更好地数字化处理^[11]。具体步骤为:将参考图像和待拼接图像转化到 HSV 空间,对粗匹配图像特征点的色调、饱和度、明度 3 个属性进行提取;将 3 对数值分别做差,判断差值是否小于某一阈值。若两对差值及以上符合要求则认为该匹配点对正确,否则舍去;重复上述步骤,遍历所有的待匹配点对,得到筛选后的匹配结果。

在此基础上,基于匹配点对的坐标信息,采用 RANSAC 算法计算出最佳变换矩阵 M ,进而将两幅待拼接图像关联起来,利用矩阵变换实现图像拼接。

RANSAC 算法可以进一步剔除错误点对,但是当错误匹配点对较多时会不停迭代,需要大量时间。本文方法在 K-D Tree 算法和汉明距离匹配的基础上,增加了 HSV 模型筛选,尽管在特征点匹配阶段增加了时间,但可以有效剔除错误匹配点,有效提高了图像拼接阶段 RANSAC 算法的效率,整体效率上获得改善。

3 实验

本文所有实验均在 Intel i5 处理器 Window 10 系统中,基于 PyCharm 2020 和 Visual Studio 2017 环境混合编程完成。

3.1 图像预处理结果对比

选取了 House、Road、Trees 3 组图像,对比了直方图均衡化、双边滤波、提出的双边滤波和均值滤波结合的预处理效果。结果如图 2~4 所示。

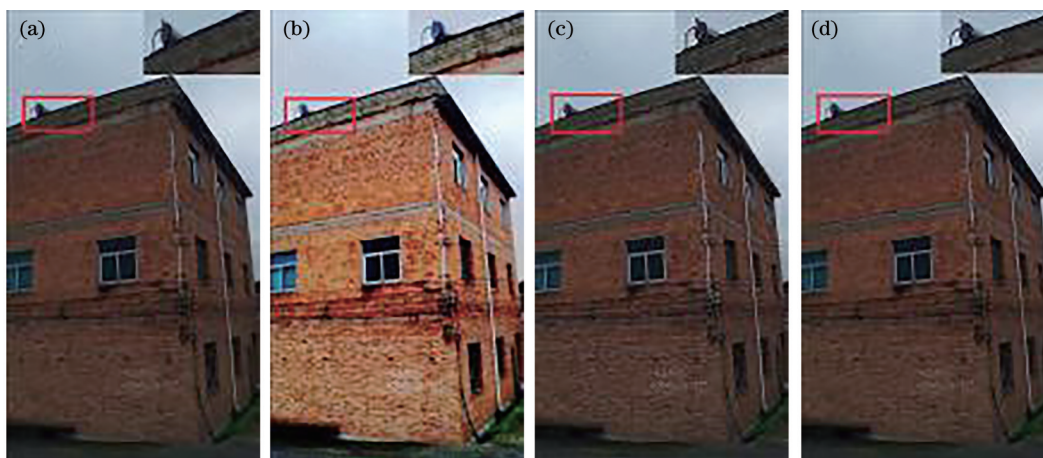


图 2 House。(a)原图;(b)直方图均衡化效果;(c)双边滤波效果;(d)提出算法效果

Fig. 2 House. (a) Original graph; (b) effect of histogram equalization; (c) effect of bilateral filtering; (d) effect of proposed algorithm



图 3 Road。(a)原图;(b)直方图均衡化效果;(c)双边滤波效果;(d)提出算法效果

Fig. 3 Road. (a) Original graph; (b) effect of histogram equalization; (c) effect of bilateral filtering; (d) effect of proposed algorithm

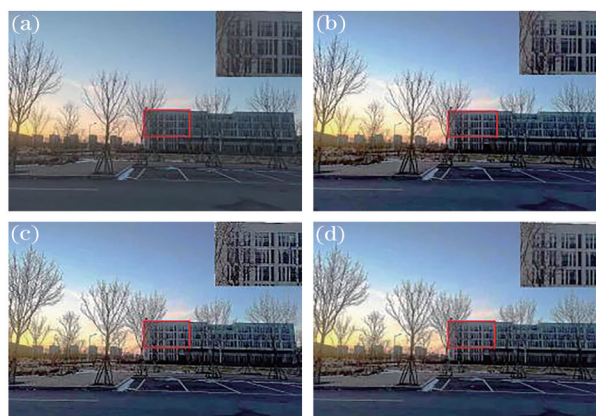


图 4 Trees。(a)原图;(b)直方图均衡化效果;(c)双边滤波效果;(d)提出算法效果

Fig. 4 Trees. (a) Original graph; (b) effect of histogram equalization; (c) effect of bilateral filtering; (d) effect of proposed algorithm

对图 2~4 中的部分细节放大,主观上可以看出:图 2~4 的所有(b)图所示的直方图均衡化效果整体很好,但对于彩色图像可能会导致过度增强;图 2~4 的所有(c)图均为双边滤波效果,可对边缘进行增强,但会导致图像噪声加剧;图 2~4 的所有(d)图是提出算法效果,提高了图像清晰度,而且图像边缘较为明显。

客观上,引用方差、Vollath、信息熵这 3 个常用的无参考图像评价函数的加权平均作为评价指标,对原图与处理后图像进行比较。方差比较图像灰度差距;Vollath 反映图像空间两点的相似性;信息熵越大代表包含信息量越多^[12],可以评价微小细节表达能力上的差异。这 3 个评价函数值越大代表图像质量越好。实验评价分析结果如表 1 所示。

表 1 评价结果
Table 1 Evaluation results %

Experimental image	Evaluation function	Variance	Vollath	Entropic information	Average
House	Original	89.83	92.07	87.07	89.66
	Histogram equalization	98.39	95.70	100.00	98.54
	Bilateral filtering	83.03	82.32	92.85	86.07
	Proposed	100.00	100.00	97.25	98.57
Road	Original	68.48	81.60	93.34	81.51
	Histogram equalization	83.83	100.00	100.00	94.61
	Bilateral filtering	76.79	91.02	99.23	89.01
	Proposed	100.00	89.65	94.53	94.72
Trees	Original	73.66	73.81	96.98	80.94
	Histogram equalization	91.81	89.74	100.00	93.85
	Bilateral filtering	86.32	88.83	99.59	91.58
	Proposed	100.00	100.00	97.61	99.20

可以看出,与原图、直方图均衡化效果、双边滤波效果相比,提出算法处理后的图像评价指标平均值最大,与主观视觉感受一致。

3.2 图像配准结果对比

实际成像通常有几种情况:摄像机之间会存在一定的夹角,所得图像范围会旋转一定角度;不同角度所得图像的方向、光照不同;不同硬件所得图像分辨率也会有些许不同。为验证提出算法的可行性,从亮度、分辨率、角度等几个方面进行了验证。图 5 为 3 组待拼接原图像,House 组两幅图像的亮度不同,Road 组为不同分辨率的图像,Trees 组成像角度差别较大。House 组、Road 组来自于网络,Trees 组拍摄于学校教学楼区。

特征点匹配的正确与否直接影响着拼接图像的好坏。图 6~8 为利用不同匹配方法的结果,其中图 6~8 的所有(a)图为直接基于汉明距离的匹配结果,图 6~8 的所有(b)图为基于 K-D Tree 和汉明距离的匹配结果,图 6~8 的所有(c)图为提出算法的结果,即在 K-D Tree 和汉明距离的匹配结果的基础上,利用 HSV 信息进一步筛选的结果。

在图 6~8 中,基于主观视觉将明显的错误匹配对标出,可以看出:图 6~8 的所有(a)图中产生



图 5 3 组待拼接的原图像
Fig. 5 Three sets of original images to be stitched



图 6 House。(a)基于汉明距离匹配;(b)基于K-D Tree和汉明距离匹配;(c)提出算法匹配

Fig. 6 House. (a) Hamming distance; (b) K-D Tree and Hamming distance; (c) proposed algorithm



图 7 Road。(a)基于汉明距离匹配;(b)基于K-D Tree和汉明距离匹配;(c)提出算法匹配

Fig. 7 Road. (a) Hamming distance; (b) K-D Tree and Hamming distance; (c) proposed algorithm

了大量误匹配;图 6~8 的所有(b)图是先利用K-D Tree算法特征点临近匹配,再结合汉明距离筛选的结果,剔除了大部分错误点对,但还会存在少量较明显误匹配点对;图 6~8 的所有(c)图是提出算法结果,在K-D Tree和汉明距离的匹配结果的基础上引入了HSV筛选模型,主观上没有明显的错误匹配。

进一步引入匹配正确率^[13]对3种算法结果进行客观比较,

$$P = \frac{C}{C + F}, \quad (2)$$

式中: P 为匹配精度; C 为正确匹配数量; F 为错误匹配数量。由式(2)得出3组待匹配图像的匹配正确

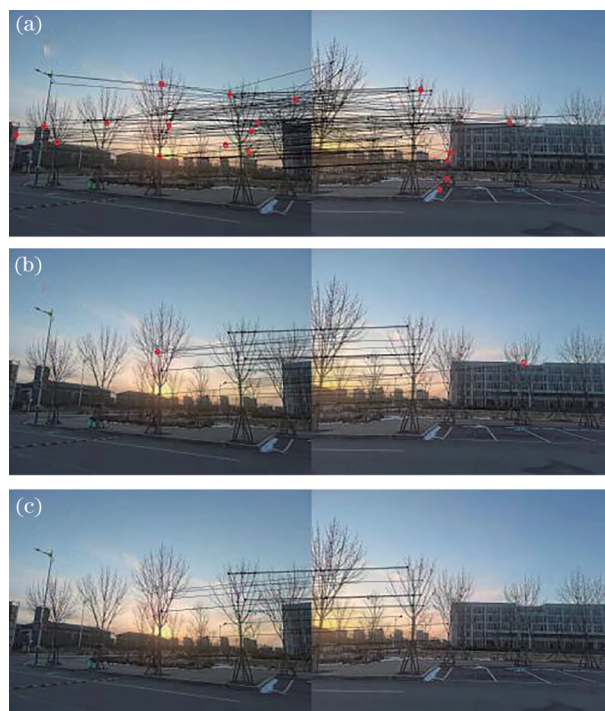


图 8 Trees。(a)基于汉明距离匹配;(b)基于K-D Tree和汉明距离匹配;(c)提出算法匹配

Fig. 8 Trees. (a) Hamming distance; (b) K-D Tree and Hamming distance; (c) proposed algorithm

率,如表 2 所示。可以得出:提出算法在 3 次匹配中均优于其他两种算法,平均匹配正确率比基于K-D Tree和汉明距离的匹配结果要高出 12.60 个百分点。

表 2 匹配正确率

Algorithm	Table 2 Matching correct rate P unit:%		
	Hamming distance	K-D Tree and Hamming distance	Proposed
House	65.23	89.21	98.82
Road	65.52	79.62	97.61
Trees	55.87	87.93	98.15
Average	62.21	85.59	98.19

3.3 图像拼接结果对比

为了进一步验证提出算法的特性,分别利用图 6~8 中所有(b)图和(c)图的匹配结果进行图像拼接,对比了拼接效果,结果如图 9~11 所示。

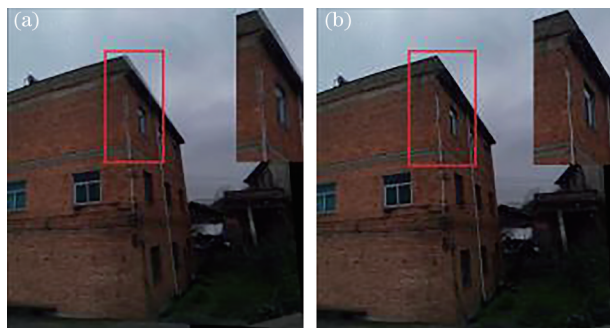


图 9 House。(a)基于 K-D Tree 和汉明距离匹配结果拼接；
(b)基于提出算法结果拼接
Fig. 9 House. (a) Splicing graph based on K-D Tree and Hamming distance; (b) splicing graph based on proposed algorithm



图 10 Road。(a)基于 K-D Tree 和汉明距离匹配结果拼接；
(b)基于提出算法结果拼接
Fig. 10 Road. (a) Splicing graph based on K-D Tree and Hamming distance; (b) splicing graph based on proposed algorithm

主观上可以看出,图 9~11 的所有(a)图所示的拼接图像存在重影、接缝现象;图 9~11 的所有(b)图所示的提出算法拼接图像清晰,质量更好。

为进一步证实提出算法的优势,引入了自然图像质量评价(NIQE)算法^[14]进行客观评价。NIQE 算法充分利用大量高质量自然图像库来提取特征,

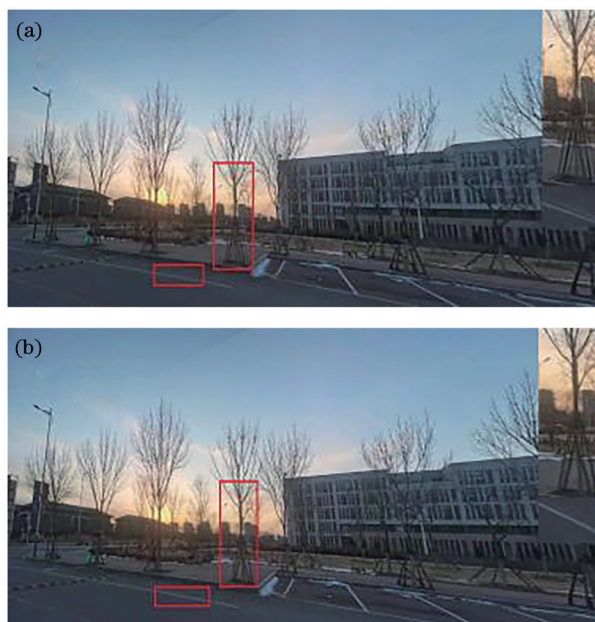


图 11 Trees。(a)基于 K-D Tree 和汉明距离匹配结果拼接；
(b)基于提出算法结果拼接
Fig. 11 Trees. (a) Splicing graph based on K-D Tree and Hamming distance; (b) splicing graph based on proposed algorithm

再基于多元高斯平均值模型,计算高斯归一化标准差。通过计算待测图像与自然图像拟合参数之间的距离来衡量图像质量。首先搜取与待拼接原图像相似场景符合的自然图像数据集,然后利用 NIQE 进行训练得到特征向量。最后将待评价图像的分布数据与预先建立的模型参数相比较,得出评价数值。此算法可以评价无参考图像质量,得到的评价数值越小,图像质量越好。表 3 为两种方法拼接图像的 NIQE 评价数值,可以得出提出算法得到的图像的评价数值分别降低了 0.0475、0.1766、0.0324,表明提出算法的图像拼接效果更好。

表 3 两种方法拼接图像 NIQE 评价数值
Table 3 Splicing graph NIQE scores of two methods

Algorithm	K-D Tree and Hamming distance	Proposed
House	3.4161	3.3686
Road	5.4302	5.2536
Trees	1.5601	1.5277

4 结 论

提出并研究了基于 ORB 算法和 HSV 约束的图像特征点匹配算法。首先利用双边滤波保留边缘信息、突出细节,再利用均值滤波去除噪声,可有效改

善图像质量。然后基于 ORB 算法得到的特征点,在 K-D Tree 和汉明距离双向匹配后,利用图像的 HSV 信息进行二次筛选,可以有效提高特征点匹配精度。实验结果表明,与未引入 HSV 模型相比,平均匹配正确率提高了 12.60 个百分点。图像拼接后引用 NIQE 得分进行评价,与未引入 HSV 模型相比,NIQE 得分降低了 0.0324~0.1766,进一步说明了提出的基于 ORB 和 HSV 的特征点匹配算法的可行性。

参 考 文 献

- [1] 王士铭,程德文,黄一帆,等.大视场高分辨率光学拼接头盔显示器的设计[J].激光与光电子学进展,2018,55(6):062201.
Wang S M, Cheng D W, Huang Y F, et al. Design of wide FOV optical-tiled head-mounted display with high-resolution[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2018, 55(6): 062201.
- [2] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [3] Bay H, Ess A, Tuytelaars T, et al. Speeded-up robust features (SURF) [J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [4] Rublee E, Rabaud V, Konolige K, et al. ORB: an efficient alternative to SIFT or SURF[C]//2011 International Conference on Computer Vision, November 6-13, 2011, Barcelona, Spain. New York: IEEE Press, 2011: 2564-2571.
- [5] 刘天赐,宋延嵩,李金旺,等.基于ORB特征的高分辨率图像拼接改进算法[J].激光与光电子学进展,2021,58(8):0810004.
Liu T C, Song Y S, Li J W, et al. Improved algorithm for high-resolution image stitching based on ORB features[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021, 58(8): 0810004.
- [6] 姜文涛,刘江,贺峻峰,等.一种基于SIFT的全景图像拼接设计[J].兵器装备工程学报,2018,39(11):126-129.
Jiang W T, Liu J, He J F, et al. A panoramic image mosaic design based on SIFT[J]. Journal of Ordnance Equipment Engineering, 2018, 39(11): 126-129.
- [7] 杨宇,赵成星,张晓玲.基于SURF和改进RANSAC的图像拼接方法[J].激光杂志,2021,42(4):105-108.
Yang Y, Zhao C X, Zhang X L. Image stitching method based on SURF and improved RANSAC[J]. Laser Journal, 2021, 42(4): 105-108.
- [8] 彭畅,李广泽,张晓阳,等.基于改进的ORB算法的红外遥感图像拼接研究[J].控制工程,2020,27(8):1332-1336.
Peng C, Li G Z, Zhang X Y, et al. Research on infrared remote sensing image mosaicing based on improved ORB algorithm[J]. Control Engineering of China, 2020, 27(8): 1332-1336.
- [9] 张美玉,王洋洋,侯向辉,等.基于ORB和改进的RANSAC图像拼接算法[J].计算机科学,2019,46(S2):294-298.
Zhang M Y, Wang Y Y, Hou X H, et al. Image stitching algorithm based on ORB and improved RANSAC[J]. Computer Science, 2019, 46(S2): 294-298.
- [10] Rosten E, Porter R, Drummond T. Faster and better: a machine learning approach to corner detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2010, 32(1): 105-119.
- [11] 曹红燕,刘长明,沈小林,等.基于自适应阈值和局部色调映射的低照度图像处理[J].激光与光电子学进展,2021,58(4):0410017.
Cao H Y, Liu C M, Shen X L, et al. Low illumination image processing based on adaptive threshold and local tone mapping[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2021, 58(4): 0410017.
- [12] 赵潇洒,陈西江,班亚,等.融合改进SURF和Cell加速的幂函数加权图像拼接方法[J].激光与光电子学进展,2020,57(24):241018.
Zhao X S, Chen X J, Ban Y, et al. Power function-weighted image stitching method involving improved SURF and cell acceleration[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2020, 57(24): 241018.
- [13] 张晓宇,何文思,段红燕,等.改进的SURF特征提取与匹配算法[J].机械设计与制造工程,2018,47(11):58-62.
Zhang X Y, He W S, Duan H Y, et al. The improved algorithm for SURF feature extraction and matching[J]. Machine Design and Manufacturing Engineering, 2018, 47(11): 58-62.
- [14] Mittal A, Soundararajan R, Bovik A C. Making a "completely blind" image quality analyzer[J]. IEEE Signal Processing Letters, 2013, 20(3): 209-212.