

文章编号 1004-924X(2017)06-1645-07

结合投影误差校正的快速 SIFT 图像拼接

赵 岩, 陈 月*, 王世刚

(吉林大学 通信工程学院, 吉林 长春 130012)

摘要:针对现有图像拼接方法实时性受限的问题,提出了一种通过对图像拼接中重叠区域部分图像特征检测和投影误差校正两部分相结合的快速图像拼接方法。首先,该方法特征检测范围仅集中在待拼接图像重叠区域的部分图像块,从中获取尺度不变特征变换(SIFT)的特征点信息。然后,在特征匹配后应用投影误差校正方法,达到充分利用有限匹配点对计算出高精度投影变换矩阵的目的,避免了不必要的特征检测和匹配搜索,继而大大加快了图像拼接速度。最后,结合图像拼接的质量评价方法对图像拼接结果做出质量分析,以反映改进方法的性能。实验结果表明:对比文献所提出的快速图像拼接方法,本文方法在保证图像拼接质量的前提下显著降低了拼接时间;在所给的 3 组实验图像中,拼接速度平均提升了 54%左右,证明了本文方法的可行性和有效性。

关键词:图像拼接;尺度不变特征变换(SIFT);投影误差校正;质量评价

中图分类号:TP391.4 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20172506.1645

Corrected fast SIFT image stitching method by combining projection error

ZHAO Yan, CHEN Yue*, WANG Shi-gang

(College of Communication Engineering, Jilin University, Changchun 130012, China)

* Corresponding author, E-mail: chen Yue14@mails.jlu.edu.cn

Abstract: Aiming at the problems of limited instantaneity in current image stitching methods, a fast image stitching method through combining feature points detection on part of image with correction of projection error in the overlapping area in the process of image stitching was proposed. Firstly, the scope of the feature detection for the method only focused on part of image blocks in the overlapping area of the image which were needed to be stitched for obtaining information of feature points for Scale Invariant Feature Transform (SIFT). Secondly, after the feature matching, the correction method was used for projection error to make full use of limited matching points to figure out high-precision projection transformation matrix, in order to avoid unnecessary feature detections and matching searching for greatly accelerating the speed to stitch images. Finally, combining with quality evaluation method for image stitching, quality analysis was made on image stitching result for reflecting the performance of the improved method. The result of the experiment shows: compared with the fast image stitching method mentioned in references, on the premise of maintaining the stitching quality of

收稿日期:2016-12-05;修订日期:2017-02-01.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61271315)

the image, the method in the thesis significantly reduces the time for the stitching process. Among three experimental images, the average stitching speed is increased approximately by 54%, which shows the feasibility and effectiveness of the proposed method.

Key words: Image stitching; Scale Invariant Feature Transform (SIFT); correction for projection error; quality evaluation

1 引 言

近年来,图像拼接作为计算机视觉领域的研究热点,被广泛应用在虚拟现实技术、遥感图像处理、视频监控、无人机航拍以及车载全景系统等领域^[1-3]。图像拼接是对多幅相互重叠的图像配准、融合,从而生成宽角度、大视场图像的技术。

虽然国内外学者对图像拼接技术存在的很多难以解决的问题进行了一系列的研究^[4,5],如拼接后如何处理鬼影、拼接缝、曝光差异等问题。但是图像拼接速度和拼接质量的提高仍然是应用中不可忽视的问题。2004年,加拿大专家 David G. Lowe 提出了基于尺度不变特征转换 (Scale-Invariant Feature Transform, SIFT) 方法,后来其 SIFT 逐步成为图像拼接的一种常用方法^[6,7]。SIFT 算法对于图像旋转、缩放以及尺度变换具有很强的鲁棒性。但是 SIFT 算法中提取特征点的数量过多,存在着大量匹配对,使得匹配过程中计算机内存消耗过大,降低了图像拼接的速度,影响了算法的运行效率,使其仍然不能满足图像拼接的实时性要求^[8-10]。近年来,不断有专家学者对该算法的性能进行提升。2013年,文献[11]提出的高实时性的 F-SIFT 算法采用基于子图像块的频域相位相关算法,利用 (Fast Fourier Transformation, FFT) 快速运算特点实现了快速图像拼接。2014年,文献[12]提出了适合于无人机影像拼接的局部差分二进制 (Local Difference Binary, LDB) 描述子,它是利用特征邻域灰度和梯度信息来生成二进制特征描述的。2015年,李丹等利用 24 维特征描述符代替 128 维 SIFT 特征描述符降低计算复杂度,并在匹配过程中采用改进的 BBF (Best Bin First) 搜索算法,提高了匹配精度并降低了计算和匹配的复杂度^[13]。文献[14]为了解决 SIFT 描述子误匹配的情况,提出了融合几何特征的压缩感知 SIFT 描述子,匹配性能得到了改善。同时 Flora Dellinger 等也提出了用于

SAR (Synthetic Aperture Radar) 图像的 SAR-SIFT 算法^[15]。2016年,李玉峰等利用图像能量的归一化互相关系数分割匹配图像与待匹配图像间的相似区域,使用 SIFT 算法在重叠区域搜索特征点并快速精准匹配及拼接^[16]。郭汉洲等提出了对于不规则形状区域检测效果更好的局部特征提取方法,由于结合了最稳极值区域检测以及改进的二阶梯度直方图方法,检测效果比较稳定^[17]。文献[18]采用图像局部特征自适应提取方法实现了 SIFT 特征点的快速检测,对整体拼接速度的提升起到重要作用。Yong Chen 等充分考虑了 SIFT 特征的几何位置信息,提出了一种结合特征统计分布和一致性约束匹配的图像配准方法^[19]。

上述改进方法大部分都集中于 SIFT 算法的性能改善,但 SIFT 算法复杂性仍然较高,达不到工程的实际需求。因此本文提出了一种快速 SIFT 图像拼接方法,在保证拼接图像质量的前提下,最大可能地提高程序的运行效率,满足图像拼接系统的实时性要求。

2 改进的快速 SIFT 图像拼接方法

图像拼接的过程主要包括特征点的提取、特征匹配、投影变换矩阵的计算和图像融合四个步骤。通过分析 SIFT 图像拼接的过程可知,只有两幅待拼接图像重叠区域的 SIFT 特征点才是后续匹配过程有用的特征点,而非重叠区域的 SIFT 特征点对于特征匹配以及后续的拼接是没有用的。因此传统方法中对整个图像区域均进行特征点的提取是非常耗时的,同时会加大匹配过程的计算复杂度。另外,投影变换矩阵的计算需要 4 对匹配点,但事实上经过特征匹配得到的匹配点远远多于 4 对。那么如果能够充分利用有限的匹配对计算出高精度的投影变换矩阵,就可以避免一些不必要的特征检测和匹配计算。

所以本文改进方法只对部分图像块进行特征检测,缩小了特征点检测范围和匹配点搜索范围,

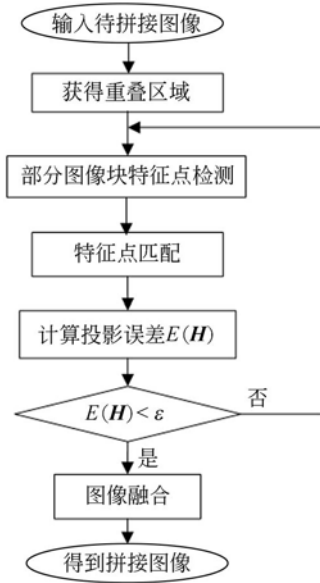


图 1 改进快速拼接方法流程图

Fig. 1 Flowchart of proposed fast stitching method

并且结合投影误差计算,确定投影变换矩阵的有效性,从而保证拼接结果的准确性,提高图像拼接的质量。其具体实现流程如图 1 所示。

2.1 重叠区域部分图像特征点检测

改进方法首先利用频域相位相关算法^[11,20]确定待拼接图像间的重叠区域,然后将重叠区域分成大小为 $N \times N$ 的图像块,计算各图像块的标准差,仅选择标准差较大并且分布在不同位置的两个图像块检测其 SIFT 特征点,这样既可以保证特征点的可区分性,同时减少了特征点的数量,提高了特征点检测及后续特征匹配的速度。另外,图像块大小划分要适中,过大会增大算法的计算量,过小会影响配准精确度,经过多次实验本文最终确定选取的图像块大小为 128×128 ($N = 128$)。图 2 为本文方法特征检测示意图。

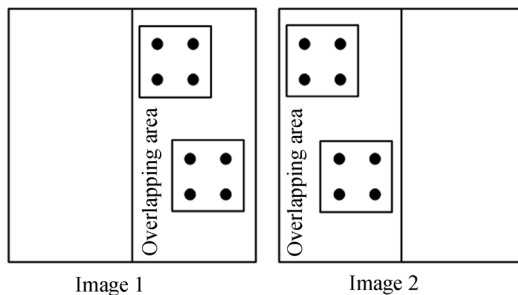


图 2 特征检测示意图

Fig. 2 Schematic diagram of feature detection

2.2 特征匹配及投影误差校验

本文提出的方法对重叠区域中的部分图像特征点检测,虽然特征点数量以及匹配对个数减少了,但仍然能保证现有的匹配对具有一定的准确性。为保证其绝对正确性,根据匹配点对计算图像间的投影变换矩阵 \mathbf{H} ,然后校验 \mathbf{H} 矩阵的投影误差,对投影误差较大的投影矩阵进行修正处理。

投影矩阵指的是把一个图像平面配准到其他图像平面上的矩阵,投影矩阵有 8 个自由度参数,其组成如式(1),其中, h_{13} 表示水平方向位移量, h_{23} 表示垂直方向位移量, h_{11} 、 h_{12} 、 h_{21} 、 h_{22} 表示旋转量和尺度变化, h_{31} 、 h_{32} 表示水平和垂直方向的形变量。

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

给定两幅待拼接图像 $I_1(x, y)$ 和 $I_2(x, y)$,对于正确的 \mathbf{H} 矩阵,两幅图像上的匹配点坐标 (x_i, y_i) 和 (x_i', y_i') 满足式(2):

$$\begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{H} \begin{bmatrix} x_i' \\ y_i' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_i' \\ y_i' \\ 1 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

由公式(2)可得:

$$x_i = \frac{h_{11} x_i' + h_{12} y_i' + h_{13}}{h_{31} x_i' + h_{32} y_i' + 1}, \quad (3)$$

$$y_i = \frac{h_{21} x_i' + h_{22} y_i' + h_{23}}{h_{31} x_i' + h_{32} y_i' + 1}. \quad (4)$$

如果矩阵存在误差,则 (x_i, y_i) 和 (x_i', y_i') 将不满足式(2),定义投影误差 $E(\mathbf{H})$ 为:

$$E(\mathbf{H}) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\left(\frac{h_{11} x_i' + h_{12} y_i' + h_{13}}{h_{31} x_i' + h_{32} y_i' + 1} - x_i \right)^2 + \left(\frac{h_{21} x_i' + h_{22} y_i' + h_{23}}{h_{31} x_i' + h_{32} y_i' + 1} - y_i \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}, \quad (5)$$

其中 N 为匹配对个数。如果 $E(\mathbf{H}) < \epsilon$,则认为投影矩阵计算正确,可以继续拼接,否则,返回特征提取阶段检测三个图像块的特征点,重新进行上述操作(其中 ϵ 为 1 个像素)。经过多次实验证明,通常两个大小为 $N \times N$ ($N = 128$) 的图像块所检测出的特征点足够得到准确的匹配点对,并计算出符合投影误差要求的 \mathbf{H} 矩阵,所以需要提取三个图像块的概率很小。

2.3 拼接图像质量评价

图像拼接质量很大程度上取决于人眼在看到

图像信息时大脑的主观感受,因此大部分的图像拼接质量评估都是以主观评价为主的。通常采用的主观评价准则为国际无线电咨询委员会制定的 CCIR500-1 的主观评价标准^[21],如表 1 所示。

表 1 CCIR500-1 主观评价标准

Tab. 1 Subjective evaluation of CCIR500-1

等级	质量准则	妨碍准则
5	非常好	丝毫看不出图像质量变坏
4	好	能感觉出图像质量变坏,但不妨碍观看
3	一般	清楚看出图像质量变坏,对观看稍有妨碍
2	差	妨碍观看
1	非常差	非常严重妨碍观看

但是由于图像拼接结果比较注重拼接部位的错位以及边界是否平滑过渡等,主观评价对于拼接结果的细微变化无法很好区分,所以对拼接图像质量进行客观评价是很有必要的。为了更好地对本文改进方法的拼接质量做出评价,本文借鉴文献[21]所提出的图像拼接质量评价方法,采用结构相似度 (Structural Similarity Index Measurement, SSIM) 和边缘差分谱 (Difference of Edge Map, DoEM) 两种方法对拼接结果进行客观评价。

SSIM 方法的评分结果是由亮度相似度评价、对比度相似度评价和结构相似度评价三个要素组成,其评分由(6)式计算得出。

$$SSIM(x, y) = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x + \sigma_y + C_2)}, \quad (6)$$

其中 μ_x, μ_y 为两张图像的平均强度,标准差记为 $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_{xy}$ 为两图像之间的互相关系数。

DoEM 评价法主要分为三个步骤,分别为图像边缘检测、图像边缘差分谱构建以及差分谱信息统计并计算得分。其具体评分计算公式如下:

$$DoEM = e^{-\frac{\sigma^2}{c_4}} \left(\frac{\mu_e e^{-\frac{\mu_e}{c_1}} + \mu_a e^{-\frac{\mu_a}{c_1}}}{\mu_e + \mu_a} \right) + (1 - e^{-\frac{\sigma^2}{c_4}}) e^{-\frac{\sigma^2}{c_3}}, \quad (7)$$

其中, μ_e 为边缘差分谱过渡区域边界区均值, μ_a 为过渡区域整体均值, σ^2 为过渡区域整体方差,

C_1, C_2, C_3, C_4 为四个常量。参考文献[21]中的数据,本文中参数设置如下: $C_1 = 80, C_2 = 50, C_3 = 600, C_4 = 256$ 。

3 实验结果与分析

3.1 实验环境

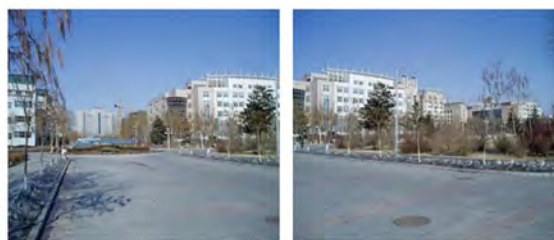
本文采用的实验环境为:CPU 为 Intel(R) Celeron(R), 2.6 GHz,内存为 2.0 GB,操作系统为 Windows XP 操作系统,仿真平台为 VS2010,编程语言为 C++,基础函数使用 OpenCV 库。

通过对多组相互重叠的图像进行实验,来对本文方法的鲁棒性进行分析。基于篇幅限制,以三组图像为例,分别对算法的特征点检测效率、匹配性能、拼接效率以及拼接质量进行分析。三组原始图像大小分别为 600 pixel × 450 pixel, 512 pixel × 384 pixel, 648 pixel × 486 pixel,如图 3 所示。



(a) 草原拍摄图像

(a) Photographs taken of grassland



(b) 校园拍摄图像

(b) Photographs taken of campus



(c) 景色拍摄图像

(c) Photographs taken of scenery

图 3 手持相机拍摄图像

Fig. 3 Photographs taken by hand-held cameras

3.2 算法时间效率统计分析

从算法的效率、匹配准确率两方面对本文改进方法进行分析。用 Accuracy 表示正确匹配率,图像间的正确匹配率计算方法如式(8)所示:

$$\text{Accuracy}(\%) = \frac{M}{N} \times 100, \quad (8)$$

其中: M 为正确匹配点对数, N 为总共获取的匹配点对数。

使用文献[7]、文献[16]以及本文所提出的方法对图 3 中 3 组图像进行拼接,其特征点检测阶段效率比较如表 2 所示。可以看出,由于本文方法在特征检测阶段只对部分图像块检测特征点,因此检测时间较文献[7]和文献[16]方法有很大程度降低。表 3 为拼接过程中特征点匹配阶段性能统计,可以发现,虽然本文方法减少了特征点个数,使得匹配点对数减少,但正确匹配率并未受到影响,可以保证计算得到的 H 矩阵是正确的。最后整体拼接阶段的效率如表 4 所示。通过表 4 可以清晰看出,本文提出的方法较文献[7]方法、文献[4]方法以及文献[16]方法的计算效率提高了很多,大大改善了图像拼接过程的计算复杂度。

表 2 特征点检测阶段比较

Tab. 2 Comparison results of SIFT feature detection (Unit: s)

图像	文献[7]方法	文献[16]方法	本文方法
第一组	3.882	1.762	0.642
第二组	3.781	1.459	0.664
第三组	7.554	3.496	1.039

表 3 特征点匹配性能统计

Tab. 3 Statistics of feature matching

图像	文献[7]方法		文献[16]方法		本文方法	
	正确匹配率(%)	匹配时间(s)	正确匹配率(%)	匹配时间(s)	正确匹配率(%)	匹配时间(s)
第一组	90.14	0.349	92.64	0.206	100	0.021
第二组	88.71	0.378	92.45	0.259	93.10	0.037
第三组	95.96	0.937	96.13	0.469	97.45	0.131

表 4 拼接效率对比

Tab. 4 Comparison of time consumption in image stitching (s)

图像	文献[7]方法	文献[4]方法	文献[16]方法	本文方法
第一组	5.722	4.365	3.854	1.849
第二组	5.143	4.218	3.691	1.609
第三组	9.664	6.159	5.287	2.384

3.3 图像拼接质量分析

下面给出拼接结果的质量评价分析。图 4 为图 3 待拼接图像的拼接结果图。采用 SSIM 和 DoEM 方法分别对文献[16]和本文拼接结果进行客观的质量评价,其结果如表 5 所示。



(a) 草原拼接图像

(a) Stitching image of grassland



(b) 校园拼接图像

(b) Stitching image of campus



(c) 景色拼接图像

(c) Stitching image of scenery

图 4 本文方法拼接结果图

Fig. 4 Stitched images using proposed algorithm

表 5 拼接质量对比

Tab. 5 Comparison of stitching quality

图 4 拼接结果图	文献[16]		本文	
	SSIM	DoEM	SSIM	DoEM
图像(a)	0.964 2	0.960 1	0.968 6	0.966 8
图像(b)	0.915 4	0.918 3	0.919 7	0.929 3
图像(c)	0.884 1	0.902 5	0.885 2	0.907 7

通过两种质量评价方法的对比,改进方法的拼接质量基本与文献[16]方法保持一致,并未产生任何误差以及错位,从而证明了本文方法的有效性。

4 结 论

本文针对图像拼接过程的特点和特殊性,提出了一种通过对重叠区域中部分图像块 SIFT 特

征点检测和投影误差校正相结合的快速图像拼接方法。实验结果表明:本文方法避免了传统拼接方法中过多无用区域的特征检测和搜索,加快了特征点检测和匹配的速度,从而降低了整体图像拼接过程的计算复杂度,达到了快速拼接的目的。在所给三组实验图像中,本文改进方法拼接速度比文献[16]平均提升了 54%左右;并且拼接结果的质量评价证明了改进方法并未引入任何拼接误差,保证了拼接结果的准确性。

参考文献:

- [1] 张宝龙,李洪蕊,李丹,等.一种针对车载全景系统的图像拼接算法的仿真[J].电子与信息学报,2015,37(5):1149-1153.
ZHANG B L, LI H R, LI D, et al.. A simulation of image mosaic algorithm based on vehicle panorama system [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2015, 37(5): 1149-1153. (in Chinese)
- [2] 余淮,杨文.一种无人机航拍影像快速特征提取与匹配算法[J].电子与信息学报,2016,38(3):509-516.
YU H, YANG W. A fast feature extraction and matching algorithm for unmanned aerial vehicle images [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2016, 38(3): 509-516. (in Chinese)
- [3] 杨磊,任龙,刘庆,等.基于FPGA的大视场图像实时拼接技术的研究与实现[J].红外与激光工程,2015,44(6):1929-1935.
YANG L, REN L, LIU Q, et al.. Research and implementation of large field image real-time mosaic technology based on FPGA [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(6): 1929-1935. (in Chinese)
- [4] ANNIS F, KARTHIK R, VAIDEHI V. Image stitching with combined moment invariants and SIFT features [J]. *Procedia Computer Science*, 2013, 19: 420-427.
- [5] 杨磊,曹剑中,唐利舜,等.全景图像自动拼接算法的优化设计[J].红外与激光工程,2015,44(3):985-990.
YANG L, CAO J Z, TANG L N, et al.. Optimized design of automatic panoramic images mosaic [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(3): 985-990. (in Chinese)
- [6] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2):91-110.
- [7] BROWN M, LOWE D G. Automatic panoramic image stitching using invariant features [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2007, 74(1): 59-73.
- [8] 曾峦,王元钦,谭久彬.改进的SIFT特征提取和匹配算法[J].光学精密工程,2011,19(6):1391-1397.
ZENG L, WANG Y Q, TAN J B. Improved algorithm for SIFT feature extraction and matching [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(6): 1391-1397. (in Chinese)
- [9] 刘洋,韩广良,史春蕾.基于SIFT算法的多表情人脸识别[J].液晶与显示,2016,31(12):1156-1160.
LIU Y, HAN G L, SHI C L. Recognition of expression-variant faces based on SIFT method [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(12): 1156-1160. (in Chinese)
- [10] 王睿,朱正丹.融合全局颜色信息的尺度不变特征变换[J].光学精密工程,2015,23(1):295-301.
WANG R, ZHU ZH D. SIFT matching with color invariant characteristics and global context [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2015, 23(1): 295-301. (in Chinese)
- [11] 何宾,陶丹,彭勃.高实时性F-SIFT图像拼接算法[J].红外与激光工程,2013,42(S2):440-444.
HE B, TAO D, PENG B. High real F-SIFT image stitching algorithm [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2013, 42(S2): 440-444. (in Chinese)
- [12] YANG X, CHENG K T. Local difference binary for ultrafast and distinctive feature description [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and*

- Machine Intelligence*, 2014, 36(1): 188-194.
- [13] 李丹,孙海涛,王海莉.一种改进的 SIFT 图像立体匹配算法[J].西南交通大学学报,2015,50(3):490-495.
LI D, SUN H T, WANG H L. An improved SIFT algorithm for image stereo matching [J]. *Journal of Southwest Jiao tong University*, 2015, 50(3):490-495. (in Chinese)
- [14] 赵爱罡,王宏力,杨小冈,等.融合几何特征的压缩感知 SIFT 描述子[J].红外与激光工程,2015,44(3):1085-1091.
ZHAO A G, WANG H L, YANG X G, et al.. Compressed sense SIFT descriptor mixed with geometrical feature [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2015, 44(3): 1085-1091. (in Chinese)
- [15] DELLINGER F, DELON J, GOUSSEAU Y, et al.. SAR-SIFT: a SIFT-like algorithm for SAR image [J]. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 2015, 53(1): 453-466.
- [16] 李玉峰,李广泽,谷绍湖,等.基于区域分块与尺度不变特征变换的图像拼接算法[J].光学精密工程,2016,24(5):1197-1205.
LI Y F, LI G Z, GU S H, et al.. Image mosaic algorithm based on area blocking and SIFT [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2016, 24(5): 1197-1205. (in Chinese)
- [17] 陈月,赵岩,王世刚.图像局部特征自适应的快速 SIFT 图像拼接方法[J].中国光学,2016,9(4):415-422.
CHEN Y, ZHAO Y, WANG S G. Fast image stitching method based on SIFT with adaptive local image feature [J]. *Chinese Optics*, 2016, 9(4): 415-422. (in Chinese)
- [18] 郭汉洲,郭立红,吕游.结合 MSER 与 HSOG 的目标局部特征提取[J].液晶与显示,2016,31(11):1070-1078.
GUO H Z, GUO L H, LV Y. Target local feature extraction combined MSER and HSOG [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2016, 31(11): 1070-1078. (in Chinese)
- [19] CHEN Y, SHANG L. Improved SIFT image registration algorithm on characteristic statistical distributions and consistency constraint [J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2016, 127(2): 900-911.
- [20] PENG G, CAI Y L, HONG W. An Improvement of image registration based on phase correlation [J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2014, 125(22): 6709-6712.
- [21] 万国挺,王俊平,李锦,等.图像拼接质量评价方法[J].通信学报,2013,34(8):76-81.
WAN G T, WANG J P, LI J, et al.. Method for quality assessment of image mosaic [J]. *Journal on Communications*, 2013, 34(8):76-81. (in Chinese)

作者简介:



赵岩(1971—),女,吉林辽源人,教授,博士生导师,1993年于长春邮电学院获得学士学位,1999年,2003年于吉林大学分别获得硕士、博士学位,主要从事图像视频编码和立体视频处理的研究。E-mail: zhao_y@jlu.edu.cn



陈月(1991—),女,吉林长春人,硕士研究生,2014年于吉林大学获得学士学位,主要从事图像拼接方面的研究。E-mail: chen Yue14@mails.jlu.edu.cn