

文章编号:1007-2780(2016)03-0324-07

一种用于图像拼接的改进 BRISK 算法

陈思聪^{1,2}, 刘晶红^{1*}, 何林阳^{1,2}, 周前飞^{1,2}

(1. 中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所 航空光学成像与测量重点实验室,
吉林 长春 130033; 2. 中国科学院大学, 北京 100049)

摘要:为了获得精准的航空拼接图像,本文提出了一种结合 BRISK 算法与互相关模块匹配算法的新算法。传统的 BRISK 算法在拼接平移方向上存在较大的误差。针对该问题,首先使用 BRISK 算法实现尺度和旋转的校正,再引入模块匹配方法完成平移校正,同时在 BRISK 算法中加入 RANSAC 算法实现精准拼接。实验结果表明,本文算法是一种运算时间短、精确度高、拼接效果良好的图像拼接方法。

关键词:图像拼接;BRISK 特征;RANSAC 算法;模板匹配

中图分类号:TP722 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/YJYXS20163103.0324

Improved BRISK algorithm used in image mosaic

CHEN Si-cong^{1,2}, LIU Jing-hong^{1*}, HE Lin-yang^{1,2}, ZHOU Qian-fei^{1,2}

(1. *Key Laboratory of Airborne Optical Imaging and Measurement ,
Changchun Institute of Optics , Fine Mechanics and Physics ,
Chinese Academy of Sciences , Changchun 130033 , China ;*
2. *University of Chinese Academy of Sciences , Beijing 10049 , China*)

Abstract: In order to obtain accurate aerial stitching images, a new algorithm combined with Binary Robust Invariant Scalable Keypoints (BRISK) and cross-correlation template matching algorithm is proposed in this thesis. There are some errors in the splicing translational direction on using traditional BRISK algorithm in image mosaic. Aiming at the problem, the BRISK algorithm is firstly used for the scale and rotation correction of the matching images. Then the template matching method is used for the translation correction. Meanwhile, the random sample consensus (RANSAC) algorithm is added to the BRISK algorithm to achieve precise mosaic. The experiment results show that the proposed algorithm has short operation time, high precision, and can achieve good image mosaic results.

Key words: image mosaic; BRISK feature; Ransac algorithm; template matching

收稿日期:2015-02-17; **修订日期:**2015-06-22.

基金项目:吉林省重大科技攻关项目(No. 11ZDGG001);装备预研项目(No. 402040203);国家林业公益性行业科研专项(No. 201204515)

Supported by Key Programs for Science and Technology Development of Jilin Province, China (No. 11ZDGG001); Weapon Equipment Preliminary R&D Projects (No. 402040203); Special Fund for Forest Scientific Research in the Public Welfare (No. 201204515)

* 通信联系人, E-mail: liu1577@126.com

1 引言

图像拼接是将在同一大场景下,具有互相重叠部分的几幅小图像组合成一大幅与拼接前图像接近、失真小、融合好的高分辨率图像。图像拼接是数字图像处理中一个非常重要的环节,在计算机视觉、遥感图像处理、全景拼接、医疗等多项领域有着非常广泛的应用^[1-3]。

图像的配准和融合是图像拼接的两个重要组成,其中融合又需要配准做基础。图像配准主要分为基于灰度的配准方法和基于特征的配准方法。基于特征的配准方法因特征点易提取,且具有良好的鲁棒性而被广泛应用。

尺度不变特征变换 SIFT (Scale Invariant Feature Transform) 是一种电脑视觉的算法用来侦测与描述影像中的局部性特征,它在空间尺度中寻找极值点,并提取出其位置、尺度、旋转不变量。该算法具有对旋转、尺度缩放、亮度变化保持不变性,对视角变化、仿射变换、噪声也保持一定程度的稳定性的优点,但实时性不高。

二值鲁棒独立基础特征 BRIEF(Binary Robust Independent Elementary Features)是在关键点邻域随机选取点对,用点对间的灰度关系得到该点的二值特征描述子。在此基础上我们通过手动设计就可以得到二值鲁棒尺度不变关键点 BRISK(Binary Robust Invariant Scalable Keypoints)。该方法克服了 SIFT 算法实时性不高的缺点,具有匹配速度快,对内存要求低的优点,但对比于 SIFT 算法,BRISK 算法的鲁棒性有所降低^[4-7]。

为了克服 BRISK 算法的不足,我们可以在图像拼接中引入模板匹配方法,该方法直接在重叠区域中对模板进行穷尽搜索,具有直接、易实现的优点。

根据以上分析,本文的主要内容是提出一种应用于图像拼接的改进 BRISK 算法。

2 本文算法

本文主要采用 BRISK 算法进行基于特征的图像匹配,在寻找到匹配点对后用 RANSAC 算法对匹配对进行筛选,实现旋转和尺度的校正。再运用基于模板匹配的图像拼接技术完成平移的

校正。最后对拼接得到的图像进行后续处理得到实验结果。

2.1 图像的初始化处理

图像在拍摄时间和条件上会存在不同,这往往会造成图像的抖动和几何畸变等差异。为了获得更精确的匹配结果,我们需要对输入图像进行边缘提取、亮度调节及去噪等预处理。

2.2 基于 BRISK 算法的图像匹配

(1) 阈值设定

阈值的选取是提取特征点的一个重要步骤,当阈值设定过小时,会有很多点被判定为特征角点,这会大大增加计算时间;当阈值设定过大时,虽然计算时间减少了,但是特征点数量过少会造成匹配结果精度的下降。

(2) 角点提取

BRISK 是在 2011 年由瑞士苏黎世联邦理工学院的 Leutenegger 等人提出。该算法运用自适应泛用加速分割实验(Adaptive Generic Accelerated Segment Test)算法提取角点特征,而 AGAST 算法是对加速分割实验特征(Features from Accelerated Segment Test)算法的改进。所以我们首先来分析 FAST 算法的角点特征提取。

FAST 提取特征角点是检测候选特征点为圆心的离散化 Breanham 圆周上的像素灰度值,并与候选特征点灰度做比较。如果有足够多的点的灰度值于候选点差别够大(亮或暗),则认为该候选点为一个特征点,表达式如下:

$$N = \sum_{x \in (B-Cicle(p))} |I(x) - I(p)| > \epsilon_d, \quad (1)$$

其中: x 为候选点离散化 Breanham 圆周上的像素点, p 为候选角点, $I(x)$ 为像素点灰度值, $I(p)$ 为候选角点灰度值, d 为自己定义的阈值。通过上式计算每个候选角点的 N 值,当其满足条件时立刻判断该候选点为角点。该算法运算简单实时性好,但是对噪声敏感且不具备旋转不变性和尺度不变性

(3) 尺度空间 FAST/AGAST 角点

Leutenegger 提出了尺度空间 FAST/AGAST 角点检测。建立包含 n 层(octave) c_i 和 $n-1$ 个中间层(inter-octave) d_i ($i=1,2,\cdots,n-1$) 的尺度空间金字塔, c_0 为原始图像, c_i 由上一层图像进行 2 系数降采样得到,每个 d_i 位于 c_i 与 c_{i+1} 之间,每个中间层也是由上一层图像进行 2 系

数降采样得到,其中 d_0 为对 c_0 进行 1.5 倍下采样得到的图像。

首先识别每一层及中间层的潜在兴趣区域,然后对区域中的点进行尺度空间上的非极大值抑制,保证该角点在同层和邻层的 $3 \times 3 \times 3$ 区域内 FAST 分值为最大。由于图像本身及其尺度空间都是连续的,我们对每个角点进行亚像素连续尺度精确化并进行最小二乘拟合及平面抛物函数拟合以求得角点的精确尺度^[8]。

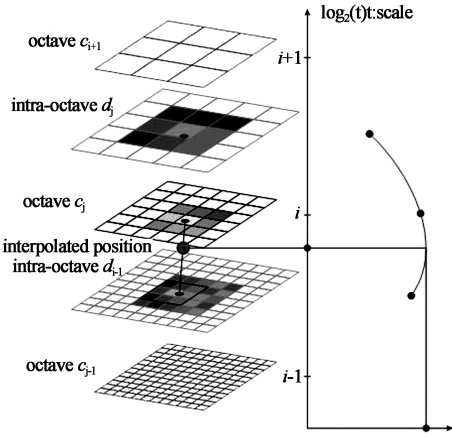


图 1 尺度空间 FAST/AGAST 角点插值

Fig. 1 Scale space FAST/AGAST angular point interpolation

(4)BRISK 描述子

BRISK 描述采用邻域采样模式,以关键点为中心在离散化 Breanham 同心圆上均匀取 N 个点,对每个点进行高斯滤波且该点的高斯函数标准差 σ_i 与采样点到关键点的距离成正比。具体如图 2 所示。

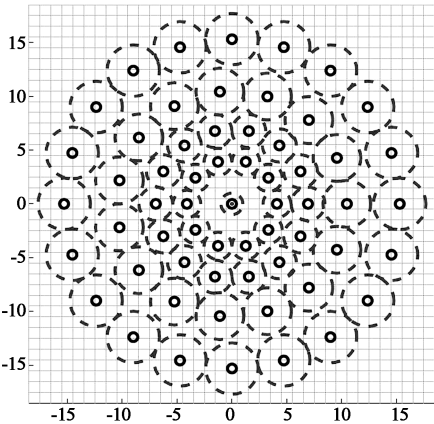


图 2 BRISK 描绘器采样模式 ($N=60$)

Fig. 2 BRISK tracer sampling mode ($N = 60$)

由此,我们可以得到采样点集 Ω ,及短距离点对子集 Ω_s 和长距离点对子集 Ω_L ,

$$\Omega = \{(p_i, p_j) \in R^2 \times R^2 \mid j < i < N \wedge i, j \in N\}, \tag{2}$$

$$\Omega_s = \{(p_i, p_j) \in \Omega \mid \|p_j - p_i\| < \delta_{\max}\} \subset \Omega, \tag{3}$$

$$\Omega_L = \{(p_i, p_j) \in \Omega \mid \|p_j - p_i\| > \delta_{\min}\} \subset \Omega, \tag{4}$$

$\delta_{\max}, \delta_{\min}$ 为设定的距离阈值,分别为 $9.75t$ 和 $13.67t$ 。对于每个点对我们用其高斯滤波后的灰度值可得到这一点对的局部梯度,

$$g(p_i, p_j) = (p_j - p_i) \cdot \frac{I(p_j, \sigma_j) - I(p_i, \sigma_i)}{\|p_j - p_i\|^2}, \tag{5}$$

利用长距离点对子集的点可以计算关键点方向

$$g = \begin{pmatrix} g_x \\ g_y \end{pmatrix} = \frac{1}{L} \cdot \sum_{(p_i, p_j) \in \Omega_L} g(p_i, p_j), \tag{6}$$

再以关键点为中心将采样旋转 $\alpha = \arctan2(g_y, g_x)$ 角度,每一个短距离采样点对的灰度为 $I(p_i^a, \sigma_i^a), I(p_j^a, \sigma_j^a)$,形成 512b 特征描述,每一比特定义如下:

$$b = \begin{cases} 1, & I(p_j^a, \sigma_j^a) > I(p_i^a, \sigma_i^a) \\ 0, & \text{否则} \end{cases}, \quad \forall (p_i^a, p_j^a) \in S \tag{7}$$

最终用汉明距离计算匹配程度,实现特征匹配。

2.3 RANSANC 算法

在匹配后我们往往会得到很多的特征点对,所以需要运用改进的 RANSANC(Random Sample Consensus)算法来筛选这些匹配以求得图像间的转换矩阵。

RANSANC 算法是将所有匹配点对区分为内点和外点,内点的数据更加准确,所以利用内点数据进行参数估计,RANSANC 算法的随机采样次数公式如式(8)所示:

$$N = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - (1 - \omega)^S)}, \tag{8}$$

其中, S 为模型估计需要的匹配点对数,在本文中设定为 4; P 为采样的 S 个点都是内点的概率,一般取经验值为 0.99; ω 为点为外点的概率。由此可见,当外点数量过多时,我们的采样次数也会增多,这会导致计算时间的增加以及变换精度的下降。

本文对 RANSANC 算法进行改进,再去除掉误匹配点后再进行 RANSANC 算法。为了去除误匹配点,我们设定一个兴趣函数如下:

$$W(i) = \sum_j \frac{r(i,j)}{1 + D(i,j)}, \tag{9}$$

其中 $D(i,j) = [d(P_i, P_j) + d(Q_i, Q_j)]/2$, 是 P_i 和 Q_i 匹配点间的平均距离;

$$r(i,j) = \exp(-u_{ij}), \tag{10}$$

$$u_{ij} = |d(P_i, P_j) - d(Q_i, Q_j)| / D(i,j), \tag{11}$$

是 P_i 和 Q_i 与没对特征点距离的相对差异。

改进后我们首先计算 $W(i)$ 的所有值,然后计算出均值 W ,再对 $W(i)$ 进行判断,若 $W(i) > 0.8W$,则保留这对匹配点,不满足条件的则删除,最后将筛选后剩余的特征点运用 RANSANC 算法计算,得出变换矩阵,实现图像的初步拼接^[9]。实验结果如图 3 所示。



图 3 部分经过 BRISK 算法拼接的图像
Fig. 3 Image Mosaic after BRISK algorithm

我们发现,利用 BRISK 算法进行图像拼接,当满足旋转与尺度变化时,在平移方向上往往会出现不匹配的情况,为此,我们引入基于模板的图

像匹配算法来解决这一问题。

2.4 互相关模板匹配

基于模板匹配就是在两幅图像的重叠区域中通过已经找到的匹配特征点,裁剪出一个合适大小的方形区域作为模板,再在另一幅图中对该模板进行对比寻找最佳的匹配位置。

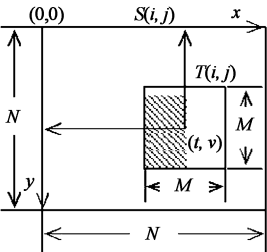


图 4 模板 T 及被搜索图 S
Fig. 4 Template T and figure S

首先,我们要在一幅图像中划定模板图,然后在待匹配图中进行搜索找出与模板最相似的位置,最后调入包含模板的原图实现拼接。

模板的选取会对最后的实验结果造成很大的影响,在这里我们可以根据前文 BRISK 算法提取出的特征点来进行模板的选取。首先在一幅图像中选取 3 个不在一条直线上的特征点以确定一个模板,该模板大小为 $M \times N$,其中这 3 个点要保证每两点之间的距离大于一个设定值 p 且小于另一个设定值 q ,这样可以防止模板过大或过小,既保证计算时间又满足计算精度。记录下模板中心的位置 (i,j) 和模板内特征点个数 T 。

然后再第二幅图像的重叠区域里以每个特征点为中心,建立于模板同样大小的区域,计算该区域内特征点个数 T_i 。当 $|T - T_i| \geq \omega$ 时(ω 为预先设定好的个数),则两模板区别过大,不进行相关运算;当 $|T - T_i| \leq \omega$ 时,进行相关运算寻找最佳匹配位置。

这里我们利用互相关系数确定最佳匹配位置:

$$C = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [f(x_i, y_i) - \bar{f}][g(x_i^*, y_j^*) - \bar{g}]}{\sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [f(x_i, y_i) - \bar{f}]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [g(x_i^*, y_j^*) - \bar{g}]^2}}, \tag{12}$$

其中, $f(x_i, y_i)$ 为模板图想上点的灰度值, $g(x_i^*, y_j^*)$ 为待匹配模板图像上点的灰度值,

$$\bar{f} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i,j} f(x_i, y_j), \tag{13}$$

$$\bar{g} = \frac{1}{m \times n} \sum_{i,j} g(x_i^*, y_j^*), \tag{14}$$

C 为互相关系数。当两幅匹配模板不相关时, $C=0$; 当完全相关时, $C=1$ 。我们在进行相关运算时, 可以得到最大相关系数的地方就是两幅图像的最佳匹配位置^[10-11]。

图 5 即为飞机跑道图经基于模板的图像匹配算法进行平移校正后的图像。



图 5 经模板匹配算法处理后的拼接图像
Fig. 5 Stitching images by template matching algorithm

2.5 图像的融合及后续处理

在完成图像配准叠加后, 一般在新得到的拼接图像上会存在模糊和明显的缝合线, 不利于视觉观察, 我们可以采用加权平滑算法来实现两幅图像间的融合过渡。融合方法如式(15)所示。

$$f(x,y) = \begin{cases} f_1(x,y), & (x,y) \in R_1 \\ d_1 f_1(x,y) + d_2 f_2(x,y), & (x,y) \in R_2, \\ f_2(x,y), & (x,y) \in R_3 \end{cases} \tag{15}$$

其中 R_1 为只在图像 1 的部分取值, R_3 为只在图

像 2 的部分取值, R_2 为在两幅图像的重叠区域取值, d_1 和 d_2 分别为加权值, 与重叠区域有关, 并且:

$$d_1 + d_2 = 1, 0 < d_1 < 1, 0 < d_2 < 1, \tag{16}$$

在重叠区域, d_1 由 1 平滑变到 0, d_2 由 0 平滑变到 1, 这样就实现了两幅图像的融合。

在经过 BRISK 算法与互相关模板算法的校正后, 我们可以得到如图 6 的输出结果。



图 6 经图像融合处理后的试验结果
Fig. 6 Test result after image fusion processing

3 实验结果及分析

3.1 实验算法流程

首先给出本文的算法流程图, 如图 7 所示。将输入图像首先进行预处理, 然后利用 BRISK 算法分别提取两幅图像中的特征点并对这些特征点加以描述并进行匹配, 再利用 RSNSANC 算法对匹配进行提纯, 得到能良好反应变换关系的匹配点对, 利用这些点对实现旋转和尺度的校正, 然后再运用基于模板的匹配方法, 实现平移的校正, 这样得到两幅图像的转换矩阵。然后实现原图像与经过转换矩阵变化的图像的拼接, 再运用融合加权算法实现图像的融合最终得到输出图像。

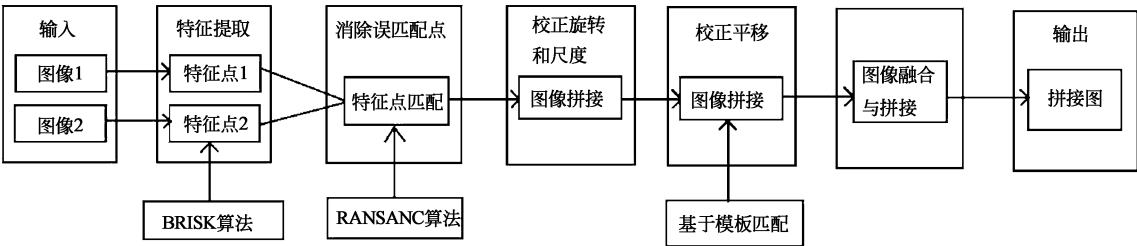


图 7 图像拼接流程图
Fig. 7 Image mosaic flow chart

3.2 图像拼接精度及时间分析

本文的实验环境为 G2020 2.9 GHz CPU, 3.46G 内存,实验软件为 Matlab2012b。实验图片来源于航空相机对某沙漠地区的俯视拍摄,图片大小为 950 pixels×712 pixels。

我们在两幅图像的重叠区域人为作上十字的监测点,如图 8 及图 9 所示。



图 8 加入 17×3 个十字监测点(绿色)
Fig. 8 Join 17×3 cross monitoring points (green)



图 9 插入 17×3 个十字监测点(红色)
Fig. 9 Join 17×3 cross monitoring points (red)

然后,将两幅图像用本文提出的算法进行图像拼接实验。得到图 10 的输出图形。将其中一组十字监测点放大并标记每个点的序号,如图 11 所示。



图 10 带监测点的沙漠地区拼接图像
Fig. 10 Stitching images with monitoring points

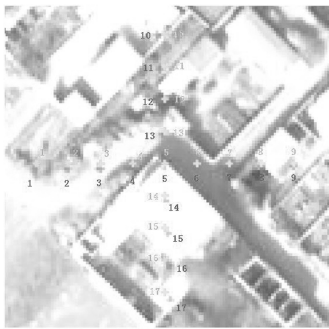


图 11 监测点区域放大图像
Fig. 11 Magnified image with monitoring points

记录下每一个监测点的坐标,并求出每组监测点之间的距离,然后对另外两组十字监测点进行相同操作。

对同样的图像利用 SIFT 算法进行拼接实验,记录每组监测点之间的距离。将两组数据对比,可得如下图表。其中,本文提出的算法的平均 rmse=1.838 1 像素,SIFT 算法的平均 rmse=2.134 4 像素。

计算时间方面,本文提出的算法对上述两幅图像的拼接时间为 0.990 9 s,SIFT 算法的计算时间为 8.909 943 s。

由以上实验数据对比可知,本文提出的算法在匹配精度及运算时间上对比传统 SIFT 算法都有一定的提高。

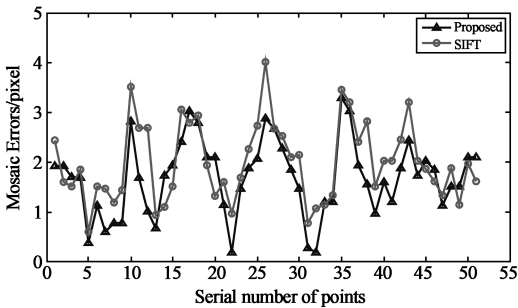


图 12 监测点距离比较图
Fig. 12 Monitoring points distance comparison table

3.3 拼接实验结果

采用本文算法对多幅图像进行拼接,得到实验结果如图 13 所示,从图中可以看出拼接图像重叠区域边界过渡自然,衔接良好,基本无错位,说明本文算法能准确地估计出相邻匹配图像之间的尺度、旋转和平移关系,实现航空遥感图像的精准拼接。在实现待拼接图像的精确配准后,本文采

用融合加权算法对拼接重叠区域进行图像融合,使之过渡平滑,输出图像无明显拼接缝隙和空洞、鬼影等现象,保真度较高。



图 13 实验结果

Fig. 13 Experimental results

4 结 论

基于 BRISK 算法与模板匹配算法各自的优点,本文提出了一种结合两种算法的图像拼接方法,该方法有效的弥补了 BRISK 算法在平移方向上精度不足的问题。同时还利用 RAN-SANC 算法对特征点进行精确匹配,以及利用加权融合算法实现图像的融合拼接。实验结果表明,对比 SIFT 算法,该算法在保证拼接精度的情况下,计算时间大大缩短。所以,本文提出了一种运算时间短、精确度高、拼接效果良好的图像拼接方法。

参 考 文 献:

- [1] 郭晓冉,崔少辉. 基于局部特征点配准的图像拼接算法[J]. 半导体光电, 2014, 35(1): 89-94.
GUO X R, CUI S H. Image mosaic approach using local feature points registration [J]. *Semiconductor Optoelectronics*, 2014, 35(1): 89-94. (in Chinese)
- [2] 张琳,褚龙现. 基于全局拼接的航拍图像拼接算法研究[J]. 计算机仿真, 2012, 29(4): 282-285, 300.
ZHANG L, CHU L X. Aerial image mosaic algorithms research based on global mosaic [J]. *Computer Simulation*, 2012, 29(4): 282-285, 300. (in Chinese)
- [3] 余先川,吕中华,胡丹. 遥感图像配准技术综述[J]. 光学精密工程, 2013, 21(11): 2960-2968.
YU X C, LV Z H, HU D. Review of remote sensing image registration techniques [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2013, 21(11): 2960-2968. (in Chinese)
- [4] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, 60(2): 91-110.
- [5] CALONDER M, LEPETIT V, STRECHA C, *et al.* BRIEF: Binary robust independent elementary features[C]. *Proceedings of the European Conference on Computer Vision*, Berlin Heidelberg: Springer, 2010: 778-792.
- [6] LEUTENEGGER S, CHLI M, SIEGWART R Y. BRISK: Binary robust invariant scalable keypoints[C]. *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, Washington, DC, USA: IEEE, 2011: 2548-2555.
- [7] TAKACS G, CHANDRASEKHAR V, TSAI S, *et al.* Rotation-invariant fast features for large-scale recognition and real-time tracking [J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2013, 28(4): 334-344.
- [8] 王灿进,孙涛,陈娟. 局部不变特征匹配的并行加速技术研究[J]. 液晶与显示, 2014, 29(2): 266-274.
WANG C J, SUN T, CHEN J. Speeding up local invariant feature matching using parallel technology [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2014, 29(2): 266-274. (in Chinese)
- [9] 张志纯,况立群,韩燮,等. 一种改进的 RANSAC 图像拼接算法[J]. 计算机测量与控制, 2014, 22(6): 1856-1858.
ZHANG Z C, KUANG L Q, HAN X, *et al.* An improved RANSAC algorithm for image mosaic [J]. *Computer Measurement & Control*, 2014, 22(6): 1856-1858. (in Chinese)
- [10] 刘忠红,储婧. 特征提取与模板匹配结合的图像拼接方法[J]. 微计算机信息, 2010, 26(1-1): 117-118, 156.
LIU Z H, CHU J. A method for image mosaic based on combining feature extraction with template matching [J]. *Microcomputer Information*, 2010, 26(1-1): 117-118, 156. (in Chinese)
- [11] SAHANI S K, ADHIKARI G, DAS B K. A fast template matching algorithm for aerial object tracking[C]. 2011 International Conference on Image Information Processing, Himachal Pradesh: IEEE, 2011: 1-6.