

张培佩,王永波,宋伟.基于改进 SIFT 算法的无人机影像匹配[J].湖南科技大学学报(自然科学版),2019,34(2):90-95.  
doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2019.02.012

Zhang P P, Wang Y B, Song W. UAV Image Registration Based on Improved SIFT Algorithm [J]. Journal of Hunan University of Science and Technology ( Natural Science Edition ), 2019,34(2):90-95.doi:10.13582/j.cnki.1672-9102.2019.02.012

# 基于改进 SIFT 算法的无人机影像匹配

张培佩<sup>1</sup>,王永波<sup>2\*</sup>,宋伟<sup>2</sup>

(1. 中国地质大学(武汉)地球物理与空间信息学院,湖北 武汉 430074;

2. 中国矿业大学 环境与测绘学院,江苏 徐州 221116)

**摘要:**针对 SIFT 算法特征描述符计算复杂、时间效率较低的问题,提出了一种改进的 SIFT 算法,并将其应用于无人机倾斜影像匹配.算法首先利用 SIFT 算法进行特征点检测,基于 BRISK 描述符对提取的特征点进行描述生成其特征描述符,并基于 Hamming 距离作为特征匹配的相似性测度,在此基础上,利用比值提纯法(NNDR)进行粗匹配,最后采用 RANSAC 算法并结合均方根误差(RMSE)进行约束,对粗匹配结果进行筛选,剔除错误匹配点对,得到精确匹配结果.为了验证该算法的有效性,利用 4 组无人机影像数据进行实验并与 SIFT 算法和 SURF 算法进行比较,结果表明:算法在保证较高准确率的同时能够得到亚像素级的精度,且能够有效地提升时间效率,具有较好的稳定性.

**关键词:**影像匹配;SIFT 算法;BRISK 描述符;Hamming 距离;RANSAC 算法;RMSE

中图分类号:TP391

文献标志码:A

文章编号:1672-9102(2019)02-0090-06

## UAV Image Registration Based on Improved SIFT Algorithm

Zhang Peipei<sup>1</sup>, Wang Yongbo<sup>2</sup>, Song Wei<sup>2</sup>

(1. Institute of Geophysics & Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China;

2. School of Environment Science and Spatial Informatics, CUMT, Xuzhou 221116, China)

**Abstract:** As for the problem of SIFT algorithm descriptor's complex calculation, and the problem of low time efficiency, an improved SIFT algorithm was proposed and applied to the UAV oblique image matching. The algorithm first used the SIFT algorithm for feature point detection, and then the BRISK descriptor was used to describe the extracted feature points to generate their feature descriptors, and then Hamming distance was applied for the feature matching. Secondly, the coarse registration was performed by using the Nearest Neighbor Distance Ratio(NNDR). Finally, the RANSAC algorithm was combined with the RMSE to restrict the coarse registration results, and the incorrect matching point pairs were eliminated to get accurate registration results. In order to verify the effectiveness of the algorithm, experiments on four groups of UAV image data were made and compared the matching results with SIFT algorithm and SURF algorithm, the results show that the algorithm achieves sub-pixel accuracy while guaranteeing high accuracy, and effectively improves the time efficiency, and the stability is good.

**Keywords:** image registration; SIFT; BRISK descriptor; Hamming distance; RANSAC algorithm; RMSE

收稿日期:2018-09-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(41271444)

\*通信作者,E-mail:2649283160@qq.com

影像匹配是图像处理与计算机视觉研究领域的热点问题,是3D重构、变化检测<sup>[1]</sup>和目标识别<sup>[2-3]</sup>的关键技术,是无人机影像自动化处理的前提和基础.依据匹配利用图像信息的方法不同,可以将现有的影像匹配的算法分为基于灰度的匹配和基于特征的匹配<sup>[4-6]</sup>.对于无人机影像匹配,由于无人机平台的不稳定性以及地物的遮挡,容易使获取的影像数据产生几何变形,采用基于灰度的匹配难以获得令人满意的结果,甚至无法匹配,而基于特征的匹配算法对图像差异具有较高的稳定性,有助于获取稳定的匹配结果,因此一般采用基于特征的匹配<sup>[7-9]</sup>.

基于特征的影像匹配算法提取的主要是图像的局部不变特征,如点特征、线特征等.其中,基于点特征的影像匹配算法由特征点提取、特征点描述以及特征点匹配3个步骤组成,该算法以其稳定高效的优点而受到研究者的青睐.目前,基于点特征的影像匹配算法主要有SIFT(Scale Invariant Feature Transform)算法<sup>[10-13]</sup>、SURF(Speeded Up Robust Features)算法<sup>[14]</sup>、BRISK(Binary Robust Invariant Scalable Keypoints)算法<sup>[15-17]</sup>以及ORB(Oriented FAST and Rotated BRIEF)算法<sup>[18-19]</sup>等.

SIFT算法是由Lowe于1999年首次提出,并于2004年进行完善,该算法对尺度缩放、平移旋转、光照变化都具有很好的不变性,对于图像的仿射变换及噪声也具有一定的稳定性,但其描述算子复杂,计算时间过长<sup>[20-22]</sup>,难以满足实时性要求.SURF算法是对SIFT算法的改进,匹配速度得到了改善,但是算法精度却降低了.

针对SIFT算法时间效率较低以及无人机影像存在几何变形等问题,本文提出均方根误差约束的SIFT-BRISK无人机影像匹配算法,其流程图如图1所示.该算法在提升时间效率的同时保证了较高的准确率,且稳定性较好.

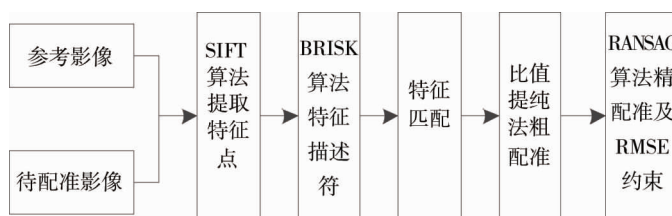


图1 SIFT-BRISK 算法流程

## 1 SIFT 算法原理

SIFT算法通过在高斯差分尺度空间(DOG)寻找极值点作为关键点,提取尺度、旋转、亮度不变量.SIFT算法主要由以下几个步骤组成:

- 1) 尺度空间检测极值点.生成高斯金字塔与高斯差分尺度空间(DOG),对DOG尺度空间的每个点与相邻位置的每个点进行比较,找到最大或最小的极值点作为初始特征点.
- 2) 关键点精确定位.通过三维二次函数的拟合,精确确定关键点所在的位置及其尺度信息,同时剔除低对比度的候选特征点和不稳定的边缘响应点.
- 3) 确定特征点主方向.计算关键点邻域每个像素点的梯度方向,并绘制其梯度直方图,直方图的峰值代表了关键点处邻域梯度的主方向,即为关键点的方向.
- 4) 特征描述符生成.特征描述符是通过对特征点邻域的梯度信息进行统计得到的.

## 2 SIFT-BRISK 算法

针对SIFT算法描述子计算耗时的问题,本文提出SIFT与BRISK相结合的影像匹配算法SIFT-BRISK算法,即采用SIFT算法进行特征点的提取工作,然后利用BRISK描述子对提取到的特征点进行描述,并在特征匹配阶段利用均方根误差进行约束.

### 2.1 特征点提取

对于特征点的提取工作,本文采用传统的SIFT算法进行实验.

### 2.2 BRISK 描述子

BRISK描述子算法是一种具有较好的旋转不变性、尺度不变性且稳定性较好的二进制特征描述子.

BRISK描述符采用自定义的邻域采样模式,即在以特征点为中心的 $40 \times 40$ 的像素块内构造多个同心圆,采样点等间距分布在圆周上,共60个.此外,为了消除混叠效应的影响,需要对每个采样点进行高斯滤

波.采样模式如图2所示.

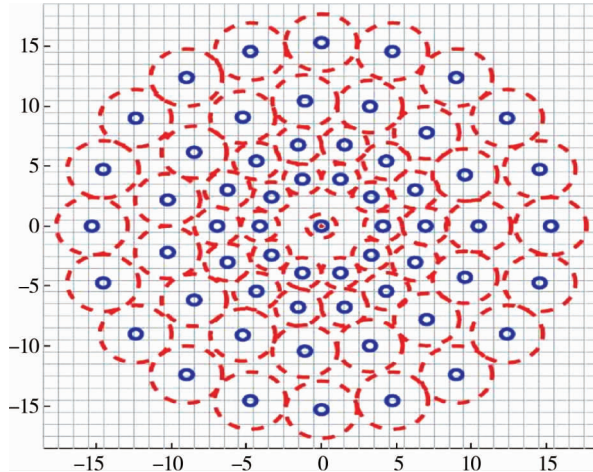


图2 BRISK 采样模型

设  $\Omega$  为采样点对集,采用欧氏距离定义短距采样点对集  $S$  和长距采样点对集  $Q$ :

$$S = \{(p_i, p_j) \in \Omega \mid p_j - p_i < \delta_{\max}\} \subseteq \Omega; \tag{1}$$

$$Q = \{(p_i, p_j) \in \Omega \mid p_j - p_i > \delta_{\min}\} \subseteq \Omega. \tag{2}$$

式中:  $p_i$  和  $p_j$  为 1 对采样点;  $\delta_{\max}$  和  $\delta_{\min}$  为采样点对的最大和最小距离阈值,通常取阈值  $\delta_{\max} = 9.75t$  ( $t$  是特征点所在的尺度),  $\delta_{\min} = 13.67t$ .

令  $N$  表示长距采样点对集  $Q$  的元素个数,  $g(p_i, p_j)$  表示点对  $(p_i, p_j)$  的梯度,利用上述信息计算特征点主方向,如式(3)所示:

$$g = \begin{pmatrix} g_x \\ g_y \end{pmatrix} = \frac{1}{N} \sum_{(p_i, p_j) \in P} g(p_i, p_j). \tag{3}$$

式中:  $g_x$  和  $g_y$  为采样点对在  $x$  和  $y$  方向的梯度值;  $P$  为长距采样点对集;  $N$  为点对集个数.

为了解决旋转不变性,则需要将特征点周围的采样区域旋转到主方向,然后,在短距采样点对集  $S$  中对比采样点对的强度,最终形成 512 bit 的二进制编码,其定义如下:

$$b = \begin{cases} 1, & I(p_j^\alpha, \sigma_j) > I(p_i^\alpha, \sigma_i); \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad \forall (p_i^\alpha, p_j^\alpha) \in S. \tag{4}$$

式中:  $p_j^\alpha$  和  $p_i^\alpha$  为经过旋转  $\alpha$  角度后所得到的新的采样点;  $\sigma_i$  和  $\sigma_j$  分别为采样点对位置  $i$  和  $j$  时的高斯函数标准差.

### 2.3 特征点匹配

传统的 SIFT 算法采用欧氏距离作为关键点之间的相似性测度,本文采用 Hamming 距离进行特征描述符的相似性测量,Hamming 距离计算公式如下:

$$D(a, b) = \sum_{i=1}^{512} m_i \oplus n_i. \tag{5}$$

式中:  $a$  与  $b$  分别为对应特征点描述符;  $m_i, n_i$  分别为描述符  $a, b$  中的一位,  $a = m_1 m_2 \dots m_{512}, b = n_1 n_2 \dots n_{512}$ .

具体匹配步骤如下:

1) 通过  $K$  近邻算法搜索出目标特征点的最近邻与次近邻特征点,并分别计算目标点与这两点之间的 Hamming 距离.

2) 粗匹配采用比值提纯法来剔除错误匹配,以获得粗匹配结果,即计算最近邻距离和次近邻距离的比值,若小于给定的阈值,则为正确匹配点,否则剔除.

3) 采用 RANSAC 算法<sup>[23]</sup>进行精配准,获得最佳匹配结果,并计算出相应的变换参数.

4) 利用均方根误差(RMSE)进行约束,即设置一个阈值,如果 RMSE 大于该阈值则剔除残差最大的匹



配点,反复迭代计算.利用该方法不仅可以提高准确率,且匹配到的特征点可以达到亚像素级精度.

### 3 实验分析

为了验证算法的有效性,本文采用 4 组无人机倾斜影像数据进行实验,并将实验结果与 SIFT 算法和 SURF 算法的结果进行比较.另外,采用准确率和匹配点对的均方根误差 (RMSE) 作为影像匹配效果的评价标准.

#### 3.1 算法匹配效果比较

如图 3 所示为 4 组原始影像数据.图 4 ~ 图 7 分别为相应的匹配结果图.



图 3 原始影像数据



图 4 实验 1 匹配结果

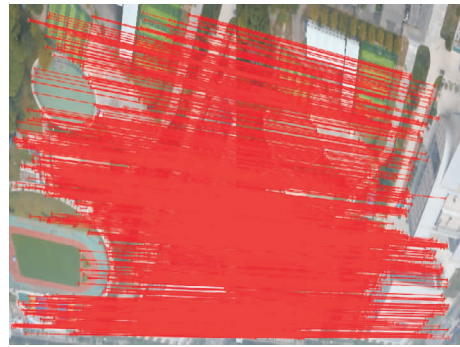


图 5 实验 2 匹配结果



图 6 实验 3 匹配结果

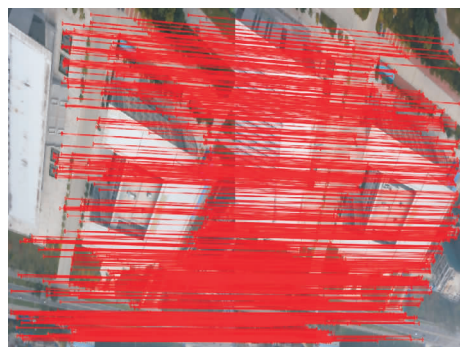


图 7 实验 4 匹配结果

SIFT-BRISK 算法与 SIFT 算法和 SURF 算法的比较结果如表 1 所示.

表 1 SIFT-BRISK 算法与 SIFT 算法和 SURF 算法的比较结果

实验编号	SIFT-BRISK 算法			SIFT 算法			SURF 算法		
	精配准	准确率	RMSE	精配准	准确率	RMSE	精配准	准确率	RMSE
实验 1	965	0.97	0.80	1 039	0.93	0.86	676	0.868	1.23
实验 2	615	0.95	0.90	591	0.93	0.98	331	0.840	1.26
实验 3	1 148	0.96	0.89	1 209	0.94	0.95	744	0.890	1.21
实验 4	586	0.95	0.93	591	0.93	1.01	357	0.860	1.24

在无人机影像匹配过程中,影像视角变换以及噪声会使匹配结果中产生较多的错误匹配,此外由于目前所采用的特征描述符都是局部特征描述符,缺乏对图像整体信息的利用,也会导致错误匹配点的出现.通过图 4~图 7 的匹配结果以及表 1 中的结果可知:SIFT-BRISK 算法对于无人机影像匹配算法能够取得较好的效果,能够获取较多的匹配点对,且准确率能够达到 95% 以上.此外,利用 RANSAC 算法结合均方根误差(RMSE)对匹配结果进行约束可在保证较高准确率的同时获取亚像素级精度的匹配点对.

### 3.2 算法时间复杂度

在实验 1 过程中统计匹配过程中各个阶段的时间效率,其结果如下表 2 所示.

表 2 SIFT-BRISK 算法与 SIFT 算法和 SURF 算法各阶段时间结果

	SIFT-BRISK 算法	SIFT 算法	SURF 算法
特征点提取时间	5.323 1	5.336 7	2.549
特征描述符计算均时间	0.995 9	10.995 5	7.002
特征点匹配时间	2.465 0	4.388 4	1.306

根据表 2 中各阶段的时间比较结果可知:SIFT-BRISK 算法在特征点描述阶段和特征点匹配阶段具有较好的时间效率,尤其是在特征描述子计算阶段,时间效率得到明显地提升,其耗时约是 SIFT 描述子计算用时的 1/11,SURF 描述子计算用时的 1/7.另外,和利用欧氏距离进行匹配相比,利用 Hamming 距离进行特征点的匹配不仅具有更高的准确率,其时间效率也要更好.

通过以上实验分析可知:对于无人机倾斜影像匹配,SIFT-BRISK 算法能够取得较好的效果,该算法具有准确率高、特征点精度能达到亚像素级与较高的时间效率等优点.

## 4 结论

1) 利用 BRISK 描述符与 SIFT 特征点提取算法相结合,在无人机影像匹配中有效地提升了匹配结果的准确率和算法的时间效率.

2) 在特征点匹配阶段采用均方根误差作为约束,可以有效地剔除错误匹配点对,提高匹配结果的精度,得到亚像素级的匹配结果.

3) 利用 SIFT-BRISK 算法对倾斜影像进行匹配仍能够获得较好的匹配结果.

### 参考文献:

- [1] 徐亚明,石娟,安动动,等.利用影像分割和匹配特征进行无人机影像变化检测[J].武汉大学学报(信息科学版),2016,41(10):1286-1291.
- [2] 苑玮琦,林森,吴微,等.基于仿射尺度不变特征变换的掌纹识别[J].仪器仪表学报,2012,33(7):1594-1600.
- [3] 熊英,马惠敏.3 维物体 SIFT 特征的提取与应用[J].中国图象图形学报,2010,15(5):814-819.

- [4] Goshtasby A A. Image registration: Principles, Tools and Methods[M]//London: Springer, 2012:415-434.
- [5] 李强,张钹.一种基于图像灰度的快速匹配算法[J].软件学报,2006,17(2):216-222.
- [6] 张谦,贾永红,胡忠文.多源遥感影像配准中的 SIFT 特征匹配改进[J].武汉大学学报(信息科学版),2013,38(4):455-459.
- [7] 刘玉轩,蓝朝桢,李参海,等.无人机影像匹配中尺度不变特征应用改进[J].测绘科学,2016,41(7):37-40.
- [8] 索效荣,齐苑辰.基于 SIFT 算法的无人机航空遥感影像匹配[J].测绘科学,2012,37(1):92-94.
- [9] 耿娟,何成龙,刘宪鑫.基于 CSIFT 特性的无人机影像匹配[J].国土资源遥感,2016,28(1):93-100.
- [10] Lowe D G. Distinctive image deatures from Scale-Invariant keypoints[J].International Journal of Computer Vision,2004, 60(2):91-110.
- [11] 李岩,安裕伦,关雷,等.基于分块模型改进的 SIFT 算子的无人机影像匹配方法研究[J].测绘与空间地理信息,2016,39(3):34-36.
- [12] 李岩.基于分块模型改进的 SIFT 算法实现无人机影像匹配方法研究[D].贵阳:贵州师范大学,2016.
- [13] 赵启兵,王养柱,胡永浩.基于改进 SIFT 算法的无人机遥感影像匹配[J].电光与控制,2012,19(3):36-39.
- [14] Bay H, Tuytelaars T, Gool L. SURF: Speeded up robust features[C]// European Conference on Computer Vision, Springer, Berlin, Heidelberg, 2006:404-417.
- [15] Leutenegger S, Chli M, Siegwart R Y. BRISK: Binary robustin variant scalable keypoints[C]//International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2011:2548-2555.
- [16] 许允喜,蒋云良,陈方.惯性组合导航系统中基于 BRISK 的快速景象匹配算法[J].光电子·激光,2012(8):1589-1596.
- [17] 何林阳,刘晶红,李刚,等.改进 BRISK 特征的快速图像配准算法[J].红外与激光工程,2014,43(8):2722-2727.
- [18] Rublee E, Rabaud V, Konolige K, et al. ORB: An efficient alternative to SIFT or SURF[C]//IEEE International Conference on Computer Vision, ICCV 2011, Barcelona, Spain, November, 2011.
- [19] 刘威,赵文杰,李德军,等.一种基于 ORB 检测的特征点匹配算法[J].激光与红外,2015,45(11):1380-1384.
- [20] 焦斌亮,樊曼曼.基于改进 SIFT 算法的多源遥感影像配准研究[J].激光与红外,2011,41(12):1383-1386.
- [21] 冯文斌,刘宝华.改进的 SIFT 算法图像匹配研究[J].计算机工程与应用,2018,54(3):200-205.
- [22] 刘佳,傅卫平,王雯,等.基于改进 SIFT 算法的图像匹配[J].仪器仪表学报,2013,34(5):1107-1112.
- [23] 甄艳,刘学军,王美珍.一种改进 RANSAC 的基础矩阵估计方法[J].测绘通报,2014(4):39-43.