

doi: 10.6046/gtzyyg.2020.03.07

引用格式: 薛白,付钰莹,崔成玲,等.多重约束条件下的不同遥感影像匹配方法[J].国土资源遥感,2020,32(3):49-54.  
(Xue B, Fu Y Y, Cui C L, et al. Different remote sensing image matching methods based on multiple constraints [J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2020, 32(3): 49-54.)

# 多重约束条件下的不同遥感影像匹配方法

薛白<sup>1</sup>, 付钰莹<sup>2</sup>, 崔成玲<sup>3</sup>, 宋艳茹<sup>2</sup>, 赵世湖<sup>1</sup>

(1. 自然资源部国土卫星遥感应用中心, 北京 100048; 2. 中国自然资源航空物探遥感中心, 北京 100083; 3. 北京吉威时代软件股份有限公司, 北京 100043)

**摘要:** 针对不同遥感卫星影像间存在较大的几何变形和灰度差异, 导致难以匹配大量的特征点问题, 提出了一种多重约束条件下的不同遥感影像匹配方法。首先, 利用仿射尺度不变特征变换 (affine scale invariant feature transform, ASIFT) 算法提取高质量的特征点完成初始匹配, 并通过随机采样一致性算法优化匹配结果; 其次, 利用匹配特征点集计算出两幅影像的仿射变换矩阵, 结合仿射变换与灰度相关系数对剩余特征点进行再次匹配; 最后, 通过支持向量回归 (support vector regression, SVR) 对匹配结果进行检核。选取资源三号 01 星 (ZY3-01)、资源三号 02 星 (ZY3-02) 以及高分一号 (GF-1) 卫星影像进行实验, 结果表明, 相较于尺度不变特征变换与 ASIFT 算法, 本方法可以大量增加不同遥感影像间的特征点匹配数目, 提高匹配精度。

**关键词:** 不同遥感影像; 影像匹配; ASIFT; 仿射变换; 支持向量回归

**中图法分类号:** TP 79 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-070X(2020)03-0049-06



## 0 引言

随着遥感技术的迅猛发展, 多传感器、多分辨率、多时相的遥感影像已为农林水利、生态环境、城市规划、防灾减灾等众多领域提供服务与保障<sup>[1-3]</sup>。影像匹配作为摄影测量与遥感领域的关键技术之一, 在影像拼接、三维重建以及目标识别等众多领域扮演着极为重要的角色<sup>[4-6]</sup>。影像匹配是指将不同时间、不同视角、不同传感器的两幅或多幅同一场景下的遥感影像进行配准的过程<sup>[7-8]</sup>。而由于受大气、光照、成像距离、角度等多种外界因素影响, 不同遥感影像间的匹配具有很大的难度<sup>[9-10]</sup>。

针对不同遥感影像几何与灰度特征变化复杂这一情况, 国内外专家学者展开了大量的研究。其中, 基于特征的图像匹配算法因具有较好的鲁棒性, 而被广泛地应用于不同遥感影像匹配。在基于特征的图像匹配算法中, 尺度不变特征变换 (scale invariant feature transform, SIFT) 算子<sup>[11]</sup>是一种对图像旋转、缩放以及尺度具有不变性的特征提取算法。但 SIFT 算子应用于不同遥感影像匹配, 存在着特征点

匹配数量较少以及错误匹配等问题<sup>[12-13]</sup>, 为此专家学者尝试通过改进算法来完善基于特征的图像匹配算法的效果。改进的思路大致可以分为两个方向: ①对特征点自身描述符做相关改进<sup>[14-16]</sup>, 如将传统的 SIFT 描述符做主元分析, 降低其特征描述符的维数, 利用欧式距离确定最终匹配等; ②利用单一条件约束或组合约束来引导特征点匹配<sup>[17-18]</sup>, 这种算法需要精度较高的同名点来解算影像间旋转、平移参数, 用以估计待匹配点在搜索影像上的概略位置来确定候选匹配。其中, ASIFT (affine SIFT) 算子<sup>[19]</sup>为解决 SIFT 算子在影像间有较大倾角变化时, 同名点对提取较少的问题而被提出, 但 ASIFT 算子应用于不同遥感影像匹配时, 因受限于特征描述能力等原因, 致使提取到的大量特征点无法被成功匹配。

## 1 方法与原理

本文针对 ASIFT 算法应用于不同遥感影像时特征点匹配数量较少且存在错误匹配的问题, 提出了一种多重约束条件下的不同遥感影像匹配方法。首先, 通过 ASIFT 算法提取高质量的特征点, 进行

收稿日期: 2019-09-09; 修订日期: 2019-11-26

基金项目: 国家重点研发计划课题项目“典型地形要素自动识别与快速提取技术”(编号: 2016YFB0501403)资助。

第一作者: 薛白(1988-), 女, 硕士, 工程师, 主要从事遥感数字图像处理、土地利用与动态监测等相关工作。Email: 1069460245@qq.com。

初始匹配,并通过随机采样一致性(random sample consensus, RANSAC)算法<sup>[20-21]</sup>对初始匹配结果进行优化,保证后续利用同名点计算仿射变换矩阵的准确性;其次,利用同名点集合求出不同遥感影像间仿射变换模型,对初始未匹配的漏点进行再次匹配;最后,通过支持向量回归<sup>[22]</sup>(support vector regression, SVR)对匹配结果进行检核,剔除误差较大的匹配结果,得到最终的匹配结果,本文技术流程如图 1。

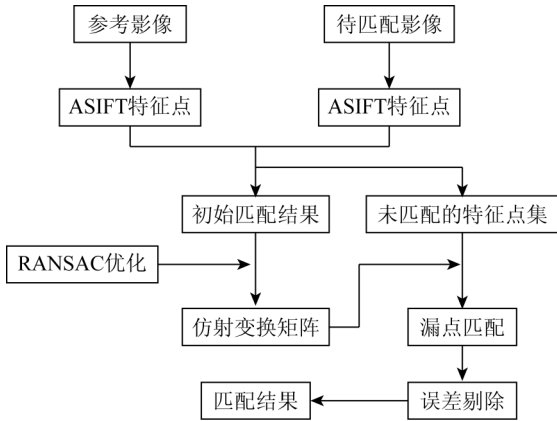


图 1 本文匹配方法流程

Fig. 1 The matching flow of the proposed method

### 1.1 ASIFT 特征提取

ASIFT 算法是在 SIFT 算法基础上被提出的,以解决 SIFT 特征提取算法在成像视角变化较大时,同名点匹配较少的问题。ASIFT 算法主要思想是建立一个半球形空间,通过球形中的经度和纬度唯一确定相机的空间位置,对图像进行模拟所有可能的仿射扭曲,然后对模拟图像进行 SIFT 特征点匹配,进而实现算法的仿射不变性匹配算法,具体步骤如下:

1) 通过模拟所有可能的仿射变形实现图像的变换。仿射变形主要由相机光轴方向变化所引起,包括两个重要参数,即经度  $\varphi$  和纬度  $\theta$ 。若对图像进行  $\varphi$  度旋转,是参数  $t = \left| \frac{1}{\cos\theta} \right|$  的倾斜。

2) 对待匹配的两幅图像按照经度角、纬度角模式进行仿射变换插值重采样。

$$\rho(c,r) = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{i,j} \cdot g'_{i+r,j+c} - \frac{1}{m \cdot n} (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{i,j}) (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g'_{i+r,j+c})}{\sqrt{[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{i,j}^2 - \frac{1}{m \cdot n} (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g_{i,j})^2] [\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g'_{i+r,j+c}^2 - \frac{1}{m \cdot n} (\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n g'_{i+r,j+c})^2]}} \quad (2)$$

式中:  $\rho(c,r)$  为以像素  $(c,r)$  为中心的灰度相关系数;  $m,n$  为匹配窗口大小;  $g$  为目标区域窗口内对应像素坐标的灰度值;  $g'$  为搜索区域内相应点的灰度值,  $i,j$  为搜索区域与目标区域内像素坐标。

3) 利用 SIFT 算法对得到的图像对进行匹配。

### 1.2 特征匹配

本文提出的基于多重约束条件下的不同遥感影像匹配方法包括: ASIFT 精匹配,多重约束特征匹配以及其于 SVR 的匹配结果检核。

1) ASIFT 精匹配。由于不同遥感影像存在几何和灰度变化,ASIFT 初始匹配结果中存在着误匹配点,本文采用 RANSAC 方法剔除误匹配点对。RANSAC 算法采用迭代的方式从一组包含离群的被观测数据中估算出数学模型的参数。RANSAC 算法的核心思想是随机性和假设性,假设数据中包含正确数据和异常数据,通过迭代计算,筛选正确数据并剔除异常数据。

2) 多重约束特征匹配。通过图像对中的同名点对  $p_1(x_1, y_1), p_2(x_2, y_2)$  计算全局仿射变换矩阵  $F$ , 数学描述如下:

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_1 & F_2 & F_3 \\ F_4 & F_5 & F_6 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} = F \begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

式中:  $(x_1, y_1)$  和  $(x_2, y_2)$  分别为同名点  $p_1$  与  $p_2$  的像点坐标;  $F$  为全局仿射变换矩阵;  $F_1 \sim F_6$  为仿射变换参数。

由于 ASIFT 初始匹配的同名点数量只占据特征点提取的一小部分,大量的 ASIFT 特征点并没有被成功匹配,因此,本文为了将 ASIFT 提取并对未匹配的漏点进行重新匹配,通过仿射变换矩阵将参考影像上未成功匹配的特征点映射到待匹配的影像上,计算出在待匹配影像对应特征点的初始位置。例如在参考影像上的一点  $M$ ,计算出右影像上的同名点位置为  $M'$ ,由于仿射变换矩阵  $F$  的精度,待匹配影像上离  $M'$  最近的点不一定是  $M$  的同名点,因此选择保留距离在  $i$  个像素以内的特征点,若待匹配影像上存在这样的特征点,依据灰度相关系数公式计算邻近点的相关系数<sup>[5]</sup>,并选取相关系数最大且大于阈值的特征点作为  $M$  的同名点。计算公式为:

3) 基于 SVR 的匹配结果检核。本文通过 SVR 估计不同遥感影像间的变换模型,从而完成对匹配结果的检核,剔除误差较大的匹配点。设定漏点匹配集合分别为  $P$  与  $Q$ ,其中  $P = \{p_i = (u_i, v_i), i =$

$1, 2, \dots, n\}$ ,  $Q = \{q_i = (u'_i, v'_i), i = 1, 2, \dots, n\}$ 。将初始匹配结果作为训练样本, 建立 SVR 模型, 选取径向基核函数 (radial basis function, RBF) 作为 SVR 的核函数<sup>[22-23]</sup>, 其数学描述如下:

$$f = \sum_{i=1}^n \alpha_i \exp(-\gamma \|x - y\|^2) + b, \quad (3)$$

式中:  $f$  为核函数;  $\exp(-\gamma \|x - y\|^2)$  为高斯核,  $x$  为待匹配点,  $y$  为核函数中心,  $\gamma$  为控制核函数径向作用范围;  $\alpha_i$  为拉格朗日乘子;  $b$  为原始数据计算出的常数项。

将每组匹配基元  $(u_i, v_i, u'_i, v'_i)$  的子集  $(u_i, v_i, u'_i)$  与  $(u_i, v_i, v'_i)$  分别代入映射函数  $F_1$  与  $F_2$ , 映射函数是两个特征点之间满足映射模型, 也就是本文所计算的仿射变换函数。计算样本点误差  $E_i$ , 当误差  $E_i$  大于限定的阈值, 则认为匹配点为误匹配结果并将其剔除。计算公式为:

$$E_i = \sqrt{|u'_i - u_i|^2 + |v'_i - v_i|^2}。 \quad (4)$$

## 2 实验结果分析

为了验证本文所提方法的有效性, 实验选用了 3 组不同遥感数据, 具体影像参数如表 1 所示。实验 1 选取了资源三号 (ZY3) 卫星影像数据, 分别来源于 ZY3-01 星与 ZY3-02 星的全色正视影像, 实验 2 选取了 ZY3-02 星的全色正视和多光谱影像。实验 3 选取了 GF-1 的全色正视影像和 ZY3-01

表 1 实验影像

Tab. 1 Experiment image parameters

序号	传感器	波段	图像大小/像素	空间分辨率/m
实验一	ZY3-01	全色正视	583 × 502	2.1
	ZY3-02	全色正视	583 × 502	2.1
实验二	ZY3-02	全色正视	597 × 534	2.1
	ZY3-02	多光谱	219 × 198	5.8
实验三	GF-1	全色正视	500 × 500	2.0
	ZY3-01	全色正视	500 × 500	2.1

的全色正视影像。其中, 第二组实验是全色灰度影像和多光谱影像匹配, 不仅有不同程度的视角变换和旋转, 还存在尺度变换与色彩变化。不同遥感影像匹配实验在 Matlab R2016b 平台上编程实现, 并分别通过与 SIFT 和 ASIFT 算法进行对比, 表 2 和图 2 分别给出了不同匹配算法的对比实验结果, 图 2 中蓝色、品红和黄色展示的分别是 SIFT 算法、ASIFT 算法和本文方法的匹配结果。

表 2 SIFT, ASIFT 和本文算法实验结果

Tab. 2 Results of SIFT, ASIFT and the proposed method

序号	算法	特征点个数		匹配对数
		参考影像	待匹配影像	
实验一	SIFT	3 670	2 993	259
	ASIFT	35 100	33 954	374
	本文方法	35 100	33 954	1 865
实验二	SIFT	475	3 704	121
	ASIFT	31 973	25 443	355
	本文方法	31 973	25 443	2 838
实验三	SIFT	2 093	3 530	2
	ASIFT	23 426	37 589	21
	本文方法	23 426	37 589	61

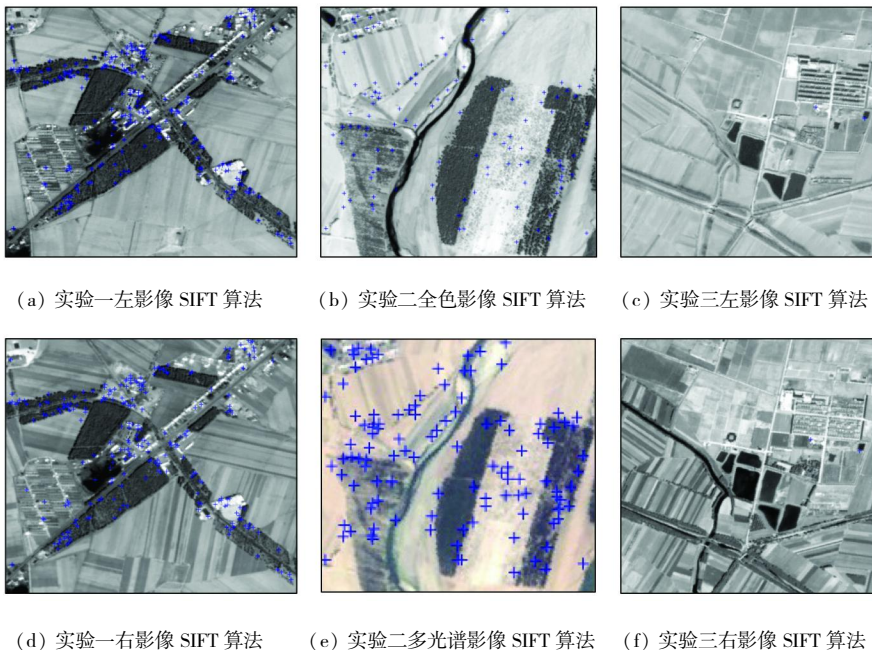


图 2-1 不同遥感影像匹配结果

Fig. 2-1 Different remote sensing image matching results

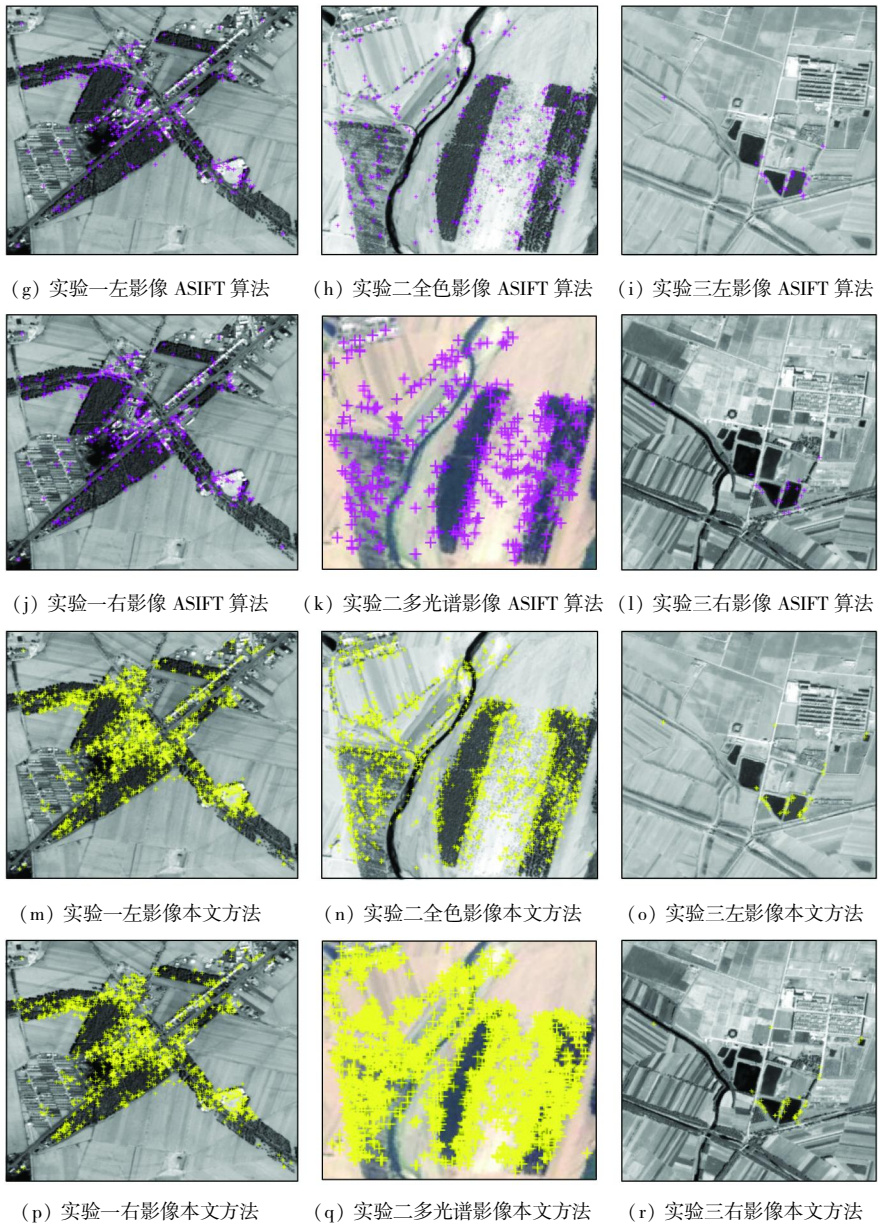


图 2-2 不同遥感影像匹配结果

Fig. 2-2 Different remote sensing image matching results

从对比实验结果可以看出, SIFT 与 ASIFT 算法在实验一、实验二中相较于实验三取得了较好的结果。总体来看, 在不同遥感影像间匹配时 ASIFT 算法要整体优于 SIFT 算法。但本文算法在不同遥感影像间灰度信息变化较大, 依然表现良好, 匹配数目和特征利用率明显优于前 SIFT 与 ASIFT 两种算法。实验二为多光谱和全色影像的匹配, 不同遥感影像间存在着较大尺度的变换及局部变形, 不仅 SIFT 算法自身提取的特征数量就有限, 而且 SIFT 和 ASIFT 算法匹配结果对特征点的利用率也受限, 而本文方法基于初始匹配计算出两幅影像间的仿射变换关系, 进一步利用几何对应关系和归一化的相关系数法对剩余特征点进行再次匹配, 大大提高特征点的利用率, 且精度较高。实验结果表明本文算法可以

较好地应用于 ZY3-01 星和 ZY3-02 星影像的匹配, 从实验三的匹配结果可以看出, SIFT 算法匹配点极少, 而本文算法匹配的特征点数是 SIFT 算法的 10 倍, 在 ASIFT 算法的基础上对不同遥感影像匹配具有更好的表现。

### 3 结论

本文针对不同遥感影像间几何变形和灰度差异大, 提取特征点数量较少, 而且影像间局部纹理复杂多变, 单纯地利用描述特征进行匹配, 匹配效果差强人意的问题进行研究, 解决了不同遥感影像间特征点匹配较少的问题。

1) 本文通过 ASIFT 算子提取特征点, 利用描述

特征进行初始匹配,并对初始匹配结果进行提纯。结合仿射变换与灰度相关系数对初始未匹配的漏点进行匹配,并对匹配结果进行检核,有效地提高了匹配数量。

2)本文算法对于不同遥感影像间特征匹配具有较好的鲁棒性,相较于 SIFT 和 ASIFT 算法,本文方法在特征点匹配数目与精度上均有较大程度的提升。

## 参考文献 (References):

- [1] 王竞雪,张晶.局部仿射变换的自适应窗口立体影像匹配算法[J].测绘科学,2019,9(44):125-131.  
Wang J X, Zhang J. Adaptive window stereo matching algorithm combining local affine transformation [J]. Science of Surveying and Mapping, 2019, 9(44): 125-131.
- [2] 唐新明,王鸿燕,祝小勇.资源三号卫星测绘技术与应用[J].测绘学报,2017,46(10):284-293.  
Tang X M, Wang H Y, Zhu X Y. Technology and application of surveying and mapping for ZY-3 Satellites [J]. Acta Geodaetica et Cartographica Sinica, 2017, 46(10): 284-293.
- [3] 谢萍.基于 Harris 角点与 SIFT 特征的近景影像匹配[D].长沙:中南大学,2011.  
Xie P. Close-range image matching based on harris corners and SIFT features [D]. Changsha: Central South University, 2011.
- [4] 朱红,宋伟东,杨冬,等.近景影像三角网内插点密集匹配方法[J].测绘科学,2016,41(4):1032-1038.  
Zhu H, Song W D, Yang D, et al. Dense matching method of inserting point into the Delaunay triangulation for close-range image [J]. Science of Surveying and Mapping, 2016, 41(4): 1032-1038.
- [5] 王竞雪,张晶,张雪.迭代三角网约束的近景影像密集匹配[J].信号处理,2018,34(3):347-356.  
Wang J X, Zhang J, Zhang X. A dense matching algorithm of close-range images constrained by iterative triangle network [J]. Journal of Signal Processing, 2018, 34(3): 347-356.
- [6] 朱红,宋伟东,谭海,等. Delaunay 三角网优化下的小面元遥感影像配准算法[J].信号处理,2016,32(9):1032-1038.  
Zhu H, Song W D, Tan H, et al. A tiny facet primitive remote sensing image registration algorithm based on optimized delaunay triangulation [J]. Journal of Signal Processing, 2016, 32(9): 1032-1038.
- [7] 王琦,宋伟东,王竞雪.三角网约束的立体影像密集匹配方法[J].测绘与空间地理信息,2019,42(5):247-250.  
Wang Q, Song W D, Wang J X. Stereo image dense matching method with triangle net constraint [J]. Geomatics & Spatial Information Technology, 2019, 42(5): 247-250.
- [8] 叶沅鑫,慎利,陈敏,等.局部相位特征描述的多源遥感影像自动匹配[J].武汉大学学报(信息科学版),2017,42(9):1278-1284.  
Ye Y X, Shen L, Chen M, et al. An automatic matching method based on local phase feature descriptor for multi-source remote sensing images [J]. Geomatics and Information Science of Wuhan University, 2017, 42(9): 1278-1284.
- [9] 卢迪,林雪.一种改进自适应权重稀疏区域立体匹配算法[J].哈尔滨理工大学学报,2016,21(1):83-88.  
Lu Di, Lin X. An improved adaptive support-weight stereo matching algorithm with sparse region [J]. Journal of Harbin University of Science and Technology, 2016, 21(1): 83-88.
- [10] 凌志刚,梁彦,程咏梅,等.一种稳健的多源遥感图像特征配准方法[J].电子学报,2010,38(12):2892-2897.  
Ling Z G, Liang Y, Cheng Y M, et al. A robust multi-source remote-sensing image registration method based on feature matching [J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(12): 2892-2897.
- [11] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [12] 杜春鹏,李景山.一种结合拓扑信息和 SIFT 特征的多源遥感影像自动匹配方法[J].测绘通报,2017(10):125-129.  
Du C P, Li J S. A multi-sensor remote sensing image automatic matching method based on topological information and SIFT features [J]. Bulletin of Surveying and Mapping, 2017(10): 125-129.
- [13] 李建晔.点、线结合下的多源高分辨率遥感影像匹配[D].阜新:辽宁工程技术大学,2011.  
Li J Y. The Matching of multi-source high resolution image based on points and lines [D]. Fuxin: Liaoning Technical University, 2011.
- [14] 秦雪,侯进.一种改进的 SIFT-PCA 算法在图像检索中的应用[J].西南科技大学学报,2011,26(4):65-70.  
Qin X, Hou J. An improved SIFT-PCA algorithm application in image retrieval [J]. Journal of Southwest University of Science and Technology, 2011, 26(4): 65-70.
- [15] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors [J]. IEEE Trans on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615-1630.
- [16] Marr D, Poggio T. A computational theory of human stereo vision [J]. Proceedings of the Royal Society B (Biological Sciences), 1979, 204(1156): 301-328.
- [17] 郭江,申浩,李书晓,等.基于全局仿射变换估计的航拍视频校正[J].计算机应用研究,2011,28(6):2342-2345.  
Guo J, Shen H, Li S X, et al. Global affine motion estimation for aerial video registration [J]. Application Research of Computers, 2011, 28(6): 2342-2345.
- [18] 侯文广,吴梓翠,丁明跃.基于 SURF 和 TPS 的立体影像密集匹配方法[J].华中科技大学学报(自然科学版),2010,38(7):91-94.  
Hou W G, Wu Z C, Ding M Y. Densely stereo image matching using SURF and TPS [J]. Huazhong University of Science & Technology (Natural Science Edition), 2010, 38(7): 91-94.
- [19] Morel J M, Yu G. ASIFT: A new framework for fully affine invariant image comparison [J]. Siam Journal on Imaging Sciences, 2010, 2(2): 438-469.
- [20] Kim T, Im Y J. Automatic satellite image registration by combination of matching and random sample consensus [J]. IEEE Transactions on Geoscience & Remote Sensing, 2003, 41(5): 1111-1117.
- [21] Fischler M A. Readings in computer vision random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analy-

- sis and automated cartography[J]. Readings in Computer Vision, 1987:726-740.
- [22] 王震宇,张可黛,吴毅,等. 基于SVM和AdaBoost的红外目标跟踪[J]. 中国图象图形学报,2007,12(11):2052-2057.  
Wang Z Y, Zhang K D, Wu Y, et al. Target tracking in infrared image sequences by combining SVM and Adaboost[J]. Journal of Image and Graphics, 2007, 12(11):2052-2057.
- [23] 韩杰,谢勇,吴国玺,等. 顾及多相机拼接成像特征的高分一号卫星影像自适应匹配方法[J]. 国土资源遥感,2017,29(4):13-19. doi:10.6046/gtzyyg.2017.04.03.  
Han J, Xie Y, Wu G X, et al. Research on the self-adaptive matching method of GF-1 satellite imagery considering the features of multi-camera mosaic imaging[J]. Remote Sensing for Land and Resources, 2017, 29(4):13-19. doi:10.6046/gtzyyg.2017.04.03.

## Different remote sensing image matching methods based on multiple constraints

XUE Bai<sup>1</sup>, FU Yuying<sup>2</sup>, CUI Chengling<sup>3</sup>, SONG Yanru<sup>2</sup>, ZHAO Shihu<sup>1</sup>

- (1. Land Satellite Remote Sensing Application Center, Ministry of Natural Resources, Beijing 100048, China;  
2. China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Natural Resources, Beijing 100083, China; 3. Beijing GEOWAY Software Co., Ltd., Beijing 100043, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that there are large geometric deformation and gray difference between different remote sensing satellite image and it is difficult to match a large number of feature points, the authors put forward a multi-source remote sensing image matching method under multiple constraints in this paper. First, ASIFT algorithm is used to extract high-quality feature points and complete the initial matching, and the matching results are optimized by RANSAC algorithm. Secondly, affine transformation matrix of the two images is calculated by using the matching feature points set, and the remaining feature points are matched again by combining affine transformation and gray correlation coefficient. Finally, support vector regression (SVR) is used to check the matching results. Satellite images of ZY3-01, ZY3-02 and GF-1 were selected in the experiment. The experimental results show that, compared with SIFT and ASIFT algorithms, the proposed method can greatly increase the number of matching points between multi-source remote sensing images and improve the matching accuracy.

**Keywords:** multi-source remote sensing images; image matching; ASIFT; affine transformation; support vector regression

(责任编辑:李瑜)