

文章编号: 1672-2892(2010)04-0388-05

SIFT 算法在雷达图像匹配中的应用

吕文涛, 吕高焕

(上海交通大学 空间信息技术研究中心, 上海 200240)

摘 要: 为了提高合成孔径雷达(SAR)图像匹配的稳定性 and 可靠性, 提出了一种基于 SIFT 特征的雷达图像匹配方法。对不同条件下的同源和非同源的 SAR 图像进行了大量的实验, 给出了初步的匹配结果。实践证明, 对于本文研究的数据源, 该算法稳定可靠, 有很好的有效性和鲁棒性。

关键词: SIFT 特征; 合成孔径雷达图像; 尺度空间; 图像匹配

中图分类号: TN957.52; TP751

文献标志码: A

Application of Scale Invariant Feature Transform to SAR image matching

LV Wen-tao, LV Gao-huan

(Research Center for Spatial Information Technology, Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200240, China)

Abstract: In order to improve the stability and reliability of Synthetic Aperture Radar(SAR) images matching, a new scene matching algorithm for SAR images based on Scale Invariant Feature Transform (SIFT) features was proposed. Numerous experiments were conducted for homologous and non-homologous SAR images under various conditions, and the preliminary matching conclusions were obtained. The experimental results demonstrates that the proposed approach is stable, reliable, efficient and robust for the data used in the paper.

Key words: Scale Invariant Feature Transform features; Synthetic Aperture Radar images; scale space; image match

图像匹配^[1]指的是 2 个不同的传感器对同一场景进行成像, 对 2 幅图像进行对准并确定两者相对位置。其目的是从 2 幅图像中识别同名点(共轭点)。图像匹配是计算机视觉领域^[2]的经典问题, 是近代信息处理领域的基本和极其重要的技术。它的应用范围极为广泛, 包括: 导弹和无人飞行器的末制导, 医疗诊断, 图像检索和场景变化检测等。

目前 SAR 图像的匹配算法大多是基于区域来匹配, 但由于 SAR 图像的相干斑噪声强烈, 并且实时图与参考图多为非同源图像, 其灰度差异较大, 完全采用灰度作为匹配基元很难完成正确匹配, 而图像的特征在不同成像环境下均表现出相似的性质, 因此, 基于特征的匹配方法对 SAR 图像进行匹配是一个较好的选择。

SIFT^[3]特征是图像的局部特征, 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; SIFT 特征具有非常好的独特性以及丰富的信息量, 适用于 SAR 图像的匹配。

本文采用 SIFT 算法对同源和非同源的 SAR 图像进行匹配, 给出了不同分辨力下的匹配实验结果。

1 SIFT 特征匹配算法

SIFT 特征匹配算法^[4]主要包括 2 个阶段: 第 1 阶段是 SIFT 特征的生成, 即从待匹配图像中提取出特征向量; 第 2 阶段是 SIFT 特征向量的匹配。

1.1 尺度空间极值检测, 确定关键点位置及其所在尺度

一幅图像 $I(x, y)$ 的尺度空间定义为 $L(x, y, \sigma)$, 是由不同尺度的高斯函数 $G(x, y, \sigma)$ 与原图像卷积运算生成的。相邻尺度的图像相减就得到一组 DOG(Difference-Of-Gaussian)图像 $D(x, y, \sigma)$, 公式如下:

$$L(x, y, \sigma) = G(x, y, \sigma)I(x, y) \quad (1)$$

其中:

$$G(x, y, \sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \tag{2}$$

$$D(x, y, \sigma) = (G(x, y, k\sigma) - G(x, y, \sigma))I(x, y) = L(x, y, k\sigma) - L(x, y, \sigma) \tag{3}$$

检测尺度空间极值时,所检测像素需要跟包括同一尺度的周围邻域和相邻尺度对应位置的共 26 个像素比较,确保尺度空间和二维图像空间都检测到局部极值。同时,在去除对比度低的关键点和不稳定的边缘响应点,以增强匹配的稳定性。

1.2 关键点方向参数的确定

利用关键点邻域像素的梯度方向的分布特性为每个关键点指定方向参数,使算子具备旋转不变性。像素梯度的模和方向的计算公式为:

$$m(x, y) = \sqrt{[L(x+1,y)-L(x-1,y)]^2 + [L(x,y+1)-L(x,y-1)]^2} \tag{4}$$

$$\theta(x, y) = \arctan \frac{L(x, y+1) - L(x, y-1)}{L(x+1, y) - L(x-1, y)} \tag{5}$$

1.3 生成 SIFT 特征向量

实际计算中,为了增强匹配的稳健性, Lowe 建议对每个关键点使用 4×4 共 16 个种子点来描述,这样每个关键点就可以产生 128 个数据,即形成 128 维的 SIFT 特征向量(见图 1)。

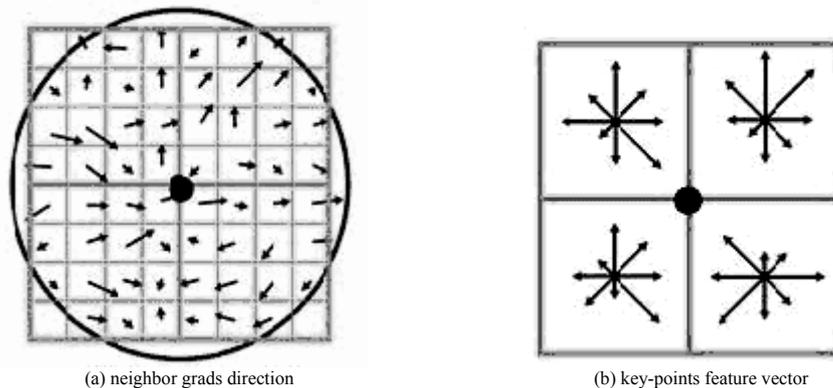


Fig.1 Features vector based on key-points grads information

图1 由关键点邻域梯度信息生成特征向量

1.4 关键点相似性判定

当两幅图像的 SIFT 特征描述符生成以后,采用关键点特征描述符的欧式距离作为两幅图像中关键点的相似性判定度量。取图像 1 中的某个关键点,找出图像 2 中欧式距离最近的前两个关键点,在这两个关键点中,若最近的距离除以次近距离少于某个比例阈值,则可以接受该匹配点,如果降低阈值, SIFT 特征匹配点数会有所减少,但是匹配结果更加稳定。

2 基于 SIFT 特征的 SAR 图像匹配

SAR 实时图像匹配技术是以 SAR 作为传感器^[5]的无人飞行器末制导领域的关键技术之一。由于 SAR 是运动成像,要对成像传感器进行精确定位,匹配结果必须提供多个同名像点。因此, SAR 图像匹配算法应考虑实时性、抗噪性、精确性,并且能提供尽量多的有效同名匹配点。目前,对于同源 SAR 图像多采用中心点匹配方式;对于非同源 SAR 图像,多根据所选数据源针对性地提取图像特征,并对特征进行约简。SIFT 特征算法在图像拼接和图像配准^[6]等邻域得到广泛的应用,取得了很好的效果,但在 SAR 图像匹配方面应用还比较少。

为了与其他 SAR 图像匹配算法进行比较,本文特采用传统的基于多子区区域的匹配算法^[6]和基于 SIFT 特征的匹配算法,来分别对同源 SAR 图像和非同源 SAR 图像进行匹配。

2.1 同源 SAR 图像匹配

对同一地区的 RadarSat-1 5 m 分辨力 SAR 图像, 分别进行无旋转的多子区区域匹配和旋转状态下的 SIFT 特征匹配, 如图 2、图 3 所示。

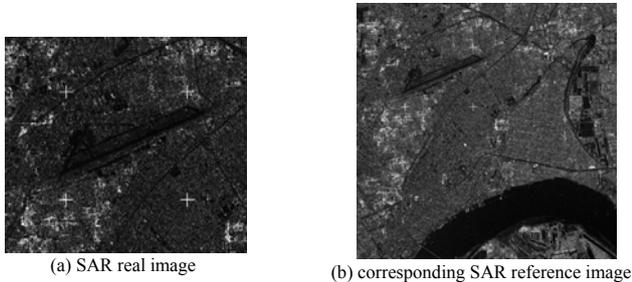


Fig.2 Homogenous SAR image match based on multi-subarea algorithm
图2 无任何旋转的同源 SAR 图像的多子区区域匹配

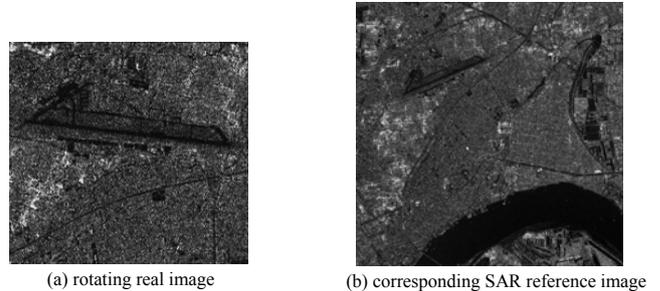


Fig.3 RadarSat-1 homogenous SAR image with 5 m resolution
图3 RadarSat-1 5 m 分辨力同源 SAR 图像

2.2 非同源 SAR 图像匹配

对于非同源图像之间的匹配, 一是因为其成像的传感器类型不同, 所以成像机理不同, 得到的图像具有非常大的差异; 二是因为同类型传感器的参数不同, 所以在雷达波长、成像轨道参数等方面具有巨大的差异, 图像对于地面场景的表达也有较大差别。针对非同源图像, 如果具有不同的分辨力, 则可以采取内插^[7]的方法进行匹配, 而对于相同分辨力的图像, 可以根据所选数据源有针对性地提取图像特征, 并对特征进行定性分析, 同时, 采用图像的特征信息融合^[7]也能提高匹配算法的性能。本文中只列出了具有相同分辨力的异源 SAR 图像的匹配结果(见图 4), 采用了基于 SIFT 特征的匹配算法, 并给出了实验的具体结果。

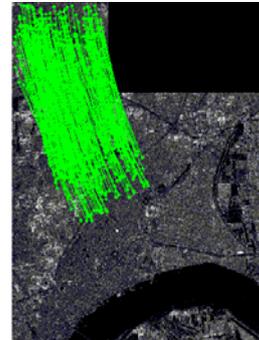


Fig.4 Homogenous SAR images match based on SIFT features
图4 旋转的同源 SAR 图像的 SIFT 特征算法的匹配结果

对同一地区的弹载 SAR 实时图和 RadarSat-1 参考图进行实验。实时图和参考图的分辨力均为 5 m。分别进行多子区区域匹配和基于 SIFT 特征的算法匹配(见图 5、图 6)。

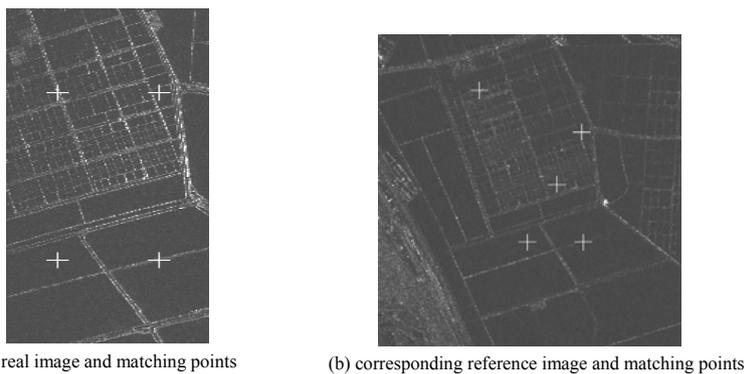


Fig.5 Non-homogeneous SAR image based on multi-subarea image match
图5 非同源 SAR 图像多子区匹配结果

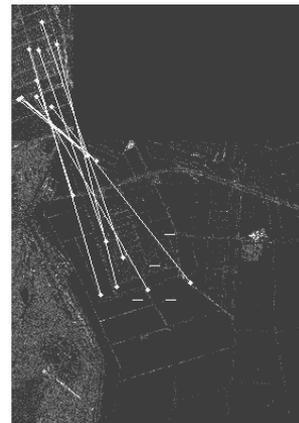


Fig.6 Non-homogeneous SAR image based on SIFT features
图6 非同源 SAR 图像的 SIFT 特征算法匹配结果

2.3 实验结果

本文对同一区域的 40 对同源 SAR 图像和 40 对非同源 SAR 图像, 分别进行多子区区域匹配和基于 SIFT 特征的算法匹配的实验, 结果如表 1 和表 2 所示。s/per pair 指每一对 SAR 图像匹配所需要的时间。

表1 40对同一区域的同源SAR图像匹配结果统计

Table1 Statistical results for forty pairs homogeneous SAR images

homogeneous SAR image	true	false	correct percentage	s/per pair
multi-subarea	37	3	92.5%	5.27
SIFT features	40	0	100%	1.89

表2 40对同一区域的非同源SAR图像匹配结果统计

Table2 Statistical results for forty pairs non-homogeneous SAR images

non-homogeneous SAR image	true	false	correct percentage	s/per pair
multi-subarea	13	27	32.5%	6.12
SIFT features	34	6	85.0%	1.68

设 X 方向的偏差为 Δx , Y 方向的偏差为 Δy , 整体匹配误差^[8]为 $e = \sqrt{(\Delta x)^2 + (\Delta y)^2}$, 3 个误差量的统计情况如表 3、表 4 所示。

表 3 同源 SAR 图像匹配误差统计量

Table3 Statistical errors for homogeneous SAR images

error	SIFT algorithm		multi-subarea algorithm	
	mean	standard deviation	mean	standard deviation
Δx	0.350 7	0.306 8	0.762 8	0.293 1
Δy	0.382 4	0.312 5	0.723 5	0.334 5
e	0.524 1	0.437 9	1.051 3	0.444 7

表 4 非同源 SAR 图像匹配误差统计量

Table4 Statistical errors for non-homogeneous SAR images

error	SIFT algorithm		multi-subarea algorithm	
	mean	standard deviation	mean	standard deviation
Δx	0.970 5	1.520 7	1.736 5	4.356 2
Δy	1.036 5	1.853 9	1.776 0	5.250 1
e	1.419 9	2.397 8	2.483 9	6.822 0

同源 SAR 图像匹配结果误差统计如下: e 的统计曲线如图 7 所示(单位为像素); 非同源 SAR 图像匹配结果误差统计如下: e 的统计曲线如图 8 所示(单位为像素)。

由表3和表4可知, 对同一区域同源SAR的匹配结果, SIFT算法表现出卓越的性能, 算法在方位向、距离向的误差和整体误差均能很好地满足误差方面的要求, 而且可以有效地减小图像的旋转、仿射变形^[6]等不利因素的影响, 达到全部正确的匹配, 这是其他匹配算法所不能达到的; 对于非同源的SAR图像匹配, 经典的区域匹配方法则失去了可靠性, 匹配的成功率很低, 甚至不能接受, 而SIFT算法仍然有不俗的优越性和很好的鲁棒性, 除了部分区域不能正常匹配外, 在大部分区域的正确匹配率都可以满足SAR图像匹配的需要。

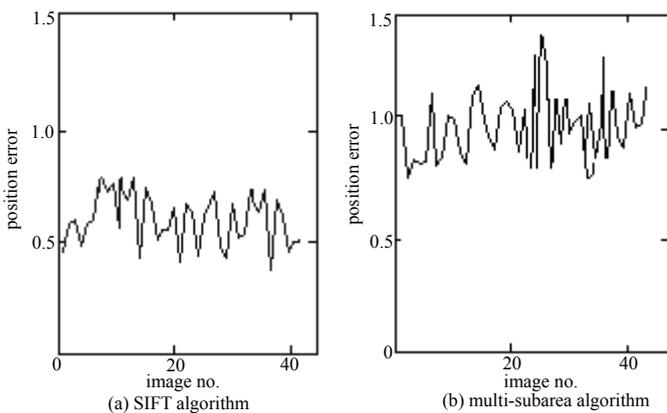


Fig.7 General errors statistic for homogeneous SAR images
图 7 同源 SAR 图像整体匹配误差统计

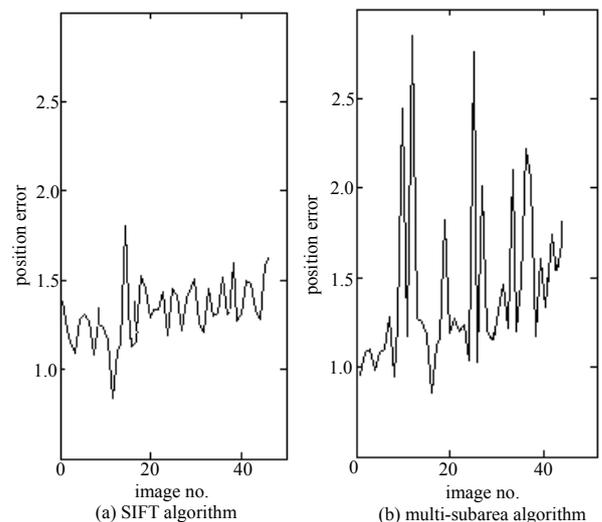


Fig.8 General errors statistic for non-homogeneous SAR images
图 8 非同源 SAR 图像整体匹配误差统计

3 结论

本文采用SIFT特征算法对同源和非同源的SAR图像匹配问题进行了实验研究。实验初步表明, 该方法在同源SAR图像以及非同源的SAR图像的低信噪比条件下, 仍然可以准确地匹配到大量的稳定特征, 并因此完成匹配。由于本文只分别使用了40对同源SAR图像和40对非同源SAR图像进行匹配实验, 并且实时图与参考图的

分辨力较为接近,因此,还需要在大量非同源的低信噪比的图像中进行实验,以验证本方法的有效性。另外,基于SIFT算法本身的耗时特点,研究更效率的SIFT匹配算法应是下一步工作的重点。

参考文献:

- [1] 孙仲康,沈振康. 数字图像处理及其应用[M]. 北京:国防工业出版社, 1985. (Sun Zhong-kang, Shen Zheng-kang. Digital Image Processing and Application[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 1985.)
- [2] 陈鹰. 遥感影像的数字摄影测量[M]. 上海:同济大学出版社, 2003. (Chen Ying. Digital Photogrammetry for Remote Sensing Image[M]. Shanghai: Tongji University Press, 2003.)
- [3] David G Lowe. Distinctive image features from Scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004,60(2):91-110.
- [4] David G Lowe. Object recognition from local scale-invariant features[C]// International Conference on Computer Vision. USA: IEEE Computer Society Washington, 1999:1150.
- [5] 陈鹰,李铁军,熊兴华. 带约束条件的特征与最小二乘影像匹配[J]. 中国图形图像学报, 1998,3(4):299-303. (Chen Ying, Li Tie-jun, Xiong Xing-hua. Research on Multiphoto Collinear Condition Constrained Least Squares Matching[J]. Journal of Image and Graphics, 1998,3(4):299-303.)
- [6] 张绍明,陈映鹰,林怡. 用于末制导的SAR图像多子区实时匹配算法[J]. 测绘学报, 2007,36(4):406-413. (Zhang Shao-ming, Chen-Yingying, Lin Yi. A Robust Matching Algorithm for SAR Image with Multiple Sub-areas[J]. ACTA GEODAETICA ET CARTOGRAPHICA SINICA, 2007,36(4):406-413.)
- [7] 张玲,郭磊民,何伟,等. 一种基于最大类间方差和区域生长的图像分割法[J]. 信息与电子工程, 2005,3(2):91-96. (Zhang Ling, Guo Lei-min, He Wei, et al. An Image Segmentation Algorithm Based on Maximal Variance Between-Class and Region Growing[J]. Information and electronic engineering, 2005,3(2):91-96.)
- [8] Thomas Tsao, Laveen Kanal. A scene registration method based on a dynamical receptive field model of biological vision[J]. Pattern Recognition Letters. 1999,20(11-13):1423-1430.

作者简介:



吕文涛(1982-), 男, 河南省固始县人, 在读博士研究生, 主要研究方向为数字图像处理、模式识别等. email: Lwt93@163.com.