

一种多源多光谱遥感图像特征点匹配技术

刘志文^{1,2,3}, 刘定生¹, 刘鹏¹

1. 中国科学院遥感与数字地球研究所, 北京 100094
2. 中国科学院电子学研究所, 北京 100190
3. 中国科学院大学, 北京 100049

摘要 在多源多光谱遥感图像中, 针对匹配图像的像素之间非线性变化而导致正确匹配点对下降的情况, 提出了一种基于主成分分析的多源多光谱遥感图像特征点提取算法。利用尺度不变特征变换(SIFT)算法的基本原理, 首先对两幅多源的多光谱遥感图像进行主成分变换, 再用变换后各自的第一主分量图像作为待匹配图像; 其次, 在构建尺度空间时提高尺度参数并且在进行特征匹配时, 利用尺度限制条件进行匹配, 这样既能提高匹配精度又能提高运算速度; 最后, 采用随机抽样一致性算法剔除误匹配点。这种算法能减少多源多光谱遥感图像之间像素灰度值的非线性变化对特征点匹配的影响, 提取到一定数量的正确匹配点对。通过实验对比分析, 所提算法比通用算法有更高的精度和更好的适用性。

关键词 图像处理; 特征提取; SIFT 特征; 多源遥感图像

中图分类号 TP391.4

文献标志码 A

doi 10.3981/j.issn.1000-7857.2013.15.012

A Multi-source Remote Image Feature Extraction and Matching Technology

LIU Zhiwen^{1,2,3}, LIU Dingsheng¹, LIU Peng¹

1. Institute of Remote Sensing and Digital Earth, Chinese Academy Science, Beijing 100094, China
2. Institute of Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China
3. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

Abstract It is difficult to extract the characteristics of matching points because the image intensity in multi-source images is non-linear with respect to pixels. A multi-source remote sensing image feature point extraction algorithm based on the principal oriented component analysis is proposed. In the proposed algorithm, a principal analysis is first made for the multi-source remote sensing images, Secondly, a scale space is built with the first principal components of the multi-source remote sensing images; and the scale parameter is increased to improve the matching accuracy as well as the operation speed of the matching of feature points. This algorithm can extract a certain number of the correct matching point pairs. Comparative analysis of experiments shows that the proposed algorithm enjoys higher precision and better stability than the general algorithms.

Keywords image processing; feature extraction; SIFT feature; multi-spectral remote image

0 引言

尺度不变特征变换 (Scale Invariant Feature Transform, SIFT) 是一种基于特征点的特征检测描述方法^[1]。SIFT 算法具有放缩、旋转和部分仿射不变性, 能够抗拒一定光照变化和

视点变换, 这种特征有较高的辨别能力。基于 SIFT 的各种改进算法也相继提出, Ke 等^[2]对梯度图像采用主成分分析法 (PCA) 提取出 36 维描述算子, 计算速度虽然比 SIFT 要快, 但对特征点描述没有 SIFT 准确。Mikolajczyk 等^[3]提出了 GLOH

收稿日期: 2012-12-14; 修回日期: 2013-03-19

基金项目: 国家自然科学基金项目 (41001265)

作者简介: 刘志文, 博士研究生, 研究方向为遥感图像处理, 电子信箱: zwliu@ceode.ac.cn

算法,虽然准确度比 SIFT 好,但增加了计算量。Bay 等^[4]提出了 SURF 算法,用积分图像来计算柱状直方图,由于除去了梯度的权值,所有的梯度都平等地影响柱状直方图,这样带来伪影而降低了匹配效果。Tola 等^[9]提出了 DAISY 算法,该算法从精度和速度两方面有改进。SIFT 算法虽然计算量大、偏慢,但是是一种比较稳定、适用于大多数情况下的特征点提取算法^[6,7]。SIFT 算法广泛地应用于各种图像匹配技术中,尤其在计算机视觉和模型识别方面有很多成功的应用^[8-13]。

在遥感领域中,由于波段或传感器的不同,导致遥感成像的灰度值呈非线性变化,而 SIFT 算法只能抗拒光照条件下的灰度值线性变化或近似线性变化,因此无法解决多源遥感图像特征点匹配问题。但是在遥感图像融合,几何纠正,镶嵌,变化检测中经常要面对大量图像匹配问题。目前常用基于像素统计的方法来解决这个问题,这种方法简单直观,但是计算量很大,而且在图像有较大旋转,较大光照、色彩差异等情况下往往会失败。因此多源遥感图像特征点提取及匹配技术亟待提高。

自从提出 SIFT 算法以后,国内外学者对多源图像特征点提取算法做了一些研究与探讨。目前主要有以下解决办法。对于那些由于灰度值的变化导致主方向与原来图像的主方向成 180° 的情况,Chen 等^[14]用“对称 SIFT”来解决这个问题。主要是把 SIFT 算法中梯度分为 $[0, \pi)$ 和 $[\pi, 2\pi)$ 两部分,用两部分的和作为描述算子的第 1 部分,两部分的差的绝对值作为描述算子的第 2 部分,这样组成 128 维的描述算子。然而对称 SIFT 算法只是解决了由于灰度变化导致主方向之间为 180° 的一种特例,其他情况就不适用了。Vural 等^[15]也作了一些类似研究。Le 等^[16]先对多源遥感图像进行初步 SIFT 特征提取,由特征点求得尺度比例,再把两幅遥感图像缩放到同一尺度并用 harris 角点匹配。这种算法存在一个问题是当多源遥感图像灰度非线性变化比较大时,可能无法提取到特征点了。Kelman 等^[17]初步讨论了把 SIFT 算法梯度限制在 $[0, \pi]$ 内,并结合图像边缘信息进行匹配。这种描述算子只有 64 维,虽然匹配速度加快了,但也失去了许多信息,降低了匹配质量。Lin 等^[18]做了更进一步探讨,主要是先提取出多源医学图像的边缘图像,并进行对比度增强,再对增强边缘图像提取 SIFT 特征点。其算法主要考虑的是边缘信息在多源图像中保持不变。但将该算法用在多源遥感图像上,匹配效果不好。Yi 等^[19]提出 SR-SIFT 算法,用尺度限制来提高匹配精度,但是如果两幅遥感图像灰度非线性变化比较大,用 SR-SIFT 算法根本无法提取合适的特征点对,Teke 等^[20]对 SURF 算法进行了类似的处理。Tang 等^[21,22]提出了一种新的 SIFT 描述算子 OSID (Ordinal Spatial Intensity Distribution),此描述算子对灰度值单调变化情况下有不变性。他们认为灰度呈单调增长的变化情况具有普遍性。实际上在遥感领域中,多源影像的灰度值之间变化更复杂,而不仅仅是单调增长一种情况。

本文针对多源遥感图像中像素非线性变化导致难以提取正确的特征匹配点对的情况,提出了一种基于主成分分析

的多源遥感图像特征点提取算法。先对多波段遥感图像进行主成分分析,再用第一主成分作为最终图像进行特征点提取;对特征点进行匹配时,利用尺度限制条件,既能提高匹配精度又能提高计算速度。

1 多源遥感图像特征点提取算法

SIFT 算法是针对灰度像素统计的,故要使特征点邻域的像素值尽量相近才能提高特征点正确匹配率。因此先对多源遥感图像进行 PCA 变换,可以提取两幅遥感图像的共同的光谱信息,再用改进的 SIFT 算法提取特征点。由于多源遥感图像之间主要是由灰度的非线性变化引起的差异,本文在匹配时,最近的距离与次近的距离的比例阈值为 2.5,实验效果分析可以得到相对好的效果。算法详细过程如图 1 所示。

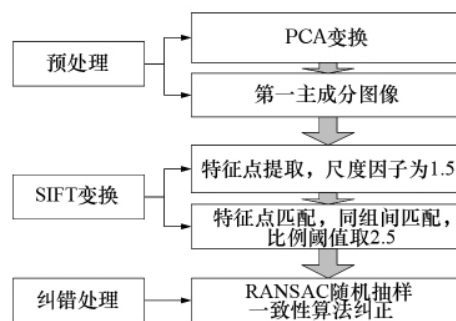


图 1 多源遥感影像特征点匹配流程

Fig. 1 Flow chart of feature matching algorithm

1.1 图像预处理

主成分分析法是在统计特征基础上进行的一种多维(多波段)正交线性变换,也称为 KL 变换。主成分分析法先将具有多波段的多光谱图像变换后,分解成多个独立的主分量,通常第一主分量包含了变换前的图像空间的绝大多数信息,其余主分量基本上为噪声,因此第一主分量具有较高的信噪比。通过主成分变换后,选择第一主分量图像作为多光谱图像的待匹配图像。

1.2 特征点提取

多源遥感图像进行了主成分分析预处理后,两幅遥感图像的主成分部分仍然存在一定差异,但在大尺度下两者之间是相似的,所以在创造尺度空间时,提高尺度因子 σ 等于 1.5。

1.3 特征点匹配

在匹配点对中主要存在两种匹配错误情况:(1) 尺度相差较大的匹配点对错误^[9];(2) 是在不对应的位置确实存在距离很“近”的点。第一种错误,相同分辨率的两幅遥感图像,在理想状态下它们相同位置特征点应该在尺度空间相同组中检测到。所以在匹配特征点中只在相同组中进行匹配,这样可以避免第一种错误,也可以提高匹配速度。第二种错误用提高比例阈值来减少,本实验中比例阈值取 2.5。

1.4 消除错误匹配点对

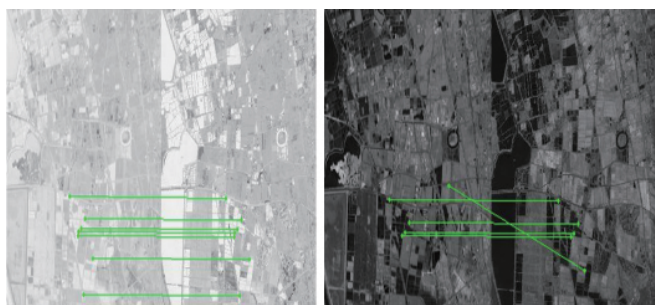
虽然在上一步中采取提高比例阈值来减少第二种错误,但仍存在错匹配对。本文采用的去外点方法是采用 RANSAC 随机抽样一致性算法^[2]除去候选匹配点中的错配。

2 测试实验

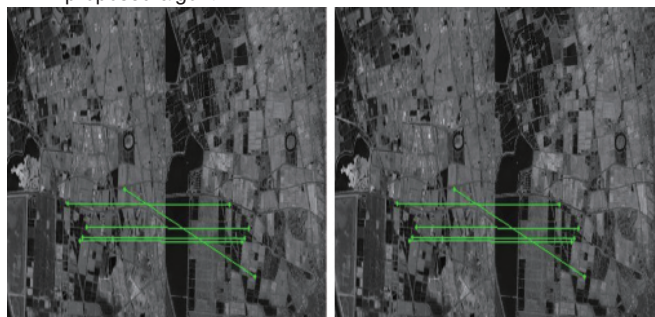
在测试实验中,采用本文所提特征点算法分别对两对多源多光谱遥感影像进行匹配,并且与 SIFT、GOM-SIFT、SR-SIFT 算法的检测效果比较,验证本文算法的有效性。

实验 1:实验数据采用 CBERS-02B 和 ETM+ 的多光谱影像数据(CBERS-02B 有 5 个波段,ETM+ 有 4 个波段)进行测试。本文算法在经过主成分变换后的第一主分量图像之间进行特征点匹配;在 SIFT、GOM-SIFT、SR-SIFT 检测算法中,分别随机选取 CBERS-02B 多光谱影像和 ETM+ 多光谱影像中任一波段(本实验 CBERS-02B 影像采用波段 1,ETM+ 影像采用波段 2)进行特征点匹配实验。并且尺度因子取 1.5,比例阈值取 2.5。

匹配效果如图 2 所示,图 2(a)为本文算法的特征点检测效果图,本文所提算法总匹配点对为 8 对,正确匹配率为 100%。图 2(b)、(c)、(d)分别采用 SIFT、GOM-SIFT、SR-SIFT 检测算法进行特征点检测实验,在 SIFT 检测算法中,总匹配点对为 5 对,正确匹配率为 80%,GOM-SIFT、SR-SIFT 算法与 SIFT 类似。可以看出,本文提出的算法明显的好于其他算法。



(a) 本文算法
(a) Results of the proposed algorithm
(b) SIFT 特征点检测
(b) Results of the SIFT algorithm



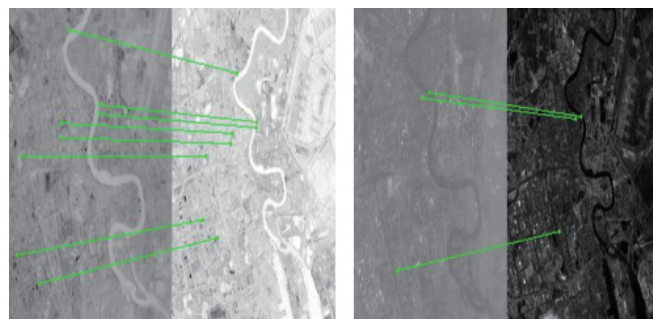
(c) GOM-SIFT 算法检测
(c) Results of the GOM-SIFT algorithm
(d) SR-SIFT 特征点检测
(d) Results of the SR-SIFT algorithm

图 2 CBERS-02B 和 ETM+ 特征点匹配

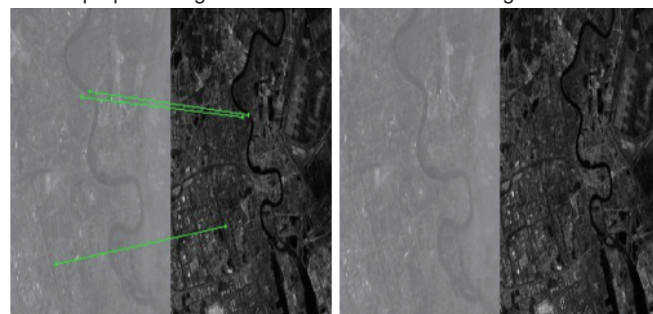
Fig. 2 Feature Matching of CBERS-02B and ETM+

实验 2:第 2 组采用 CBERS-02B 和 HJ-1B(CBERS-02B 有 5 个波段,HJ-1B 有 4 个波段)进行测试。本文算法在经过主成分变换后的第一主分量图像之间进行特征点匹配;在 SIFT、GOM-SIFT、SR-SIFT 检测算法中,分别随机选取 CBERS-02B 多光谱影像和 HJ-1B 多光谱影像中任一波段(本实验 CBERS-02B 影像采用波段 1,HJ-1B 影像采用波段 3)进行特征点匹配实验。并且尺度因子取 1.5,比例阈值取 2.5。

匹配效果如图 3 所示,图 3(a)为本文算法的特征点检测效果图,本文所提算法总匹配点对为 8 对,正确匹配率为 100%。图 3(b)、(c)、(d)分别采用 SIFT、GOM-SIFT、SR-SIFT 检测算法进行特征点检测实验。在 SIFT 检测算法中,总匹配点对为 3 对,正确匹配率为 100%,在 GOM-SIFT 检测算法中,总匹配点对为 3 对,SR-SIFT 算法中根本无匹配点对。因此,本文所提算法明显好于其他算法。



(a) 本文算法
(a) Results of the proposed algorithm
(b) SIFT 特征点检测
(b) Results of the SIFT algorithm



(c) GOM-SIFT 算法检测
(c) Results of the GOM-SIFT algorithm
(d) SR-SIFT 特征点检测
(d) Results of the SR-SIFT algorithm

图 3 CBERS-02B 和 HJ-1B 特征点提取图

Fig. 3 Feature Matching of CBERS-02B and HJ-1B

总的匹配情况如表 1 所示。

表 1 算法比较结果

Table 1 Comparison between different algorithms

算法	CBERS-02B 和 ETM+		CBERS-02B 和 HJ-1B	
	匹配数	正确匹配数	匹配数	正确匹配数
SIFT	5	4	3	3
GOM-SIFT	5	4	3	3
SR-SIFT	5	4	0	0
本文算法	8	8	8	8

由测试实验可以看出,虽然 SIFT、GOM-SIFT 和 SR-SIFT 特征点检测算法对同源图像有较好的特征点匹配效果。但是对多源多光谱遥感图像,由于对应像素之间的灰度变换比较大,这些常用算法都无法取得较好效果。本文算法先对多源多光谱遥感图像采取 PCA 变换,并且选择了包含变换前的图像空间的绝大多数信息的第一主分量图像作为待匹配图像,因此待匹配的两幅图像灰度值比较接近,这样能提高正确匹配对数;并且根据测试实验可知,本文所提算法对 CBERS-02B 和 ETM+影像之间、CBERS-02B 和 HJ-1B 影像之间均能取得较好的匹配效果,显示了一定的适用性。

3 结论

针对多源多光谱遥感图像之间像素灰度值变化比较大的特点,提出了一种基于主成分变换的多源多光谱遥感图像特征点匹配算法。利用多波段遥感图像进行主成分变换并且用第一主分量图像作为待匹配图像,从而减少灰度值之间的变化大对特征点匹配的影响;对特征点进行匹配时,利用尺度限制条件匹配,既能提高匹配精度又能提高运算速度。这种算法能减少多源遥感图像之间像素灰度值的非线性变化对特征点匹配的影响,最后本文提出的算法与其他算法(SIFT、GOM-SIFT、SR-SIFT)进行了实验比较,结果表明本文提出的算法能够提高正确匹配点对并且具备一定的适用性,是一种新的研究思路,具有一定的参考价值。

参考文献 (References)

- [1] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.
- [2] Ke Y R, Suktharankar R. PCA-SIFT: A more distinctive representation for local image descriptors [C]//Proceedings of 2004 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Washington DC, USA, June 27-July 2, 2004.
- [3] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615-1630.
- [4] Bay H, Ess A, Tuytelaars T, et al. SURF: Speeded up robust features[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
- [5] Tola E, Lepetit V, Fua P. A Fast Local Descriptor for Dense Matching[C] //Proceedings of 2008 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Anchorage, AK, June 23-28, 2008.
- [6] Juan L, Gwon O. A comparison of sift, pca-sift and surf [J]. International Journal of Image Processing, 2009, 3(4): 143-152.
- [7] Mikolajczyk K, Tuytelaars T. Local invariant feature detectors: A survey [J]. Foundations and Trends[®] in Computer Graphics and Vision, 2007, 3 (3): 177-280.
- [8] 纪华, 吴元昊, 孙宏海, 等. 结合全局信息的 SIFT 特征匹配算法[J]. 光学精密工程, 2009, 17(2): 439-444.
Ji Hua, Wu Yuanhao, Sun Honghai, et al. Optics and Precision Engineering, 2009, 17(2): 439-444.
- [9] Zhao Z S, Tian Q J, Wang J Z, et al. Image Match Using Distribution of Colorful SIFT [C]//Proceedings of 2010 International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR), Qingdao, China, July 11-14, 2010.
- [10] Zhou H, Yuan Y, Shi C. Object tracking using sift features and mean shift[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2009, 113(3): 345-352.
- [11] Li H, Flierl M. Sift-Based Multi-View Cooperative Tracking for Soccer Video [C]//Proceedings of 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), Kyoto, Japan, March 25-30, 2012.
- [12] Guo J, Gurrin C, Lao S, et al. Localization and recognition of the scoreboard in sports video based on sift point matching[C]//Advances in Multimedia Modeling-Proceeding of 17th International Multimedia Modeling Conference, Taipei, China, January 5-7, 2011.
- [13] Kumar N A M, Sathidevi P. Image Match Using Wavelet-Colour SIFT Features[C]// Proceeding of the 2012 7th IEEE International Conference on Industrial and Information Systems (ICIIS), Chennai, India, August 6-9, 2012.
- [14] Chen J, Tian J. Real-time multi-modal rigid registration based on a novel symmetric-sift descriptor[J]. Progress in Natural Science, 2009, 19 (5): 643-651.
- [15] Vural M F, Yardimci Y, Temizel A. Registration of Multispectral Satellite Images with Orientation-Restricted SIFT [C]//Proceeding of Geoscience and Remote Sensing Symposium, 2009 IEEE International, IGARSS 2009, Cape Town, South Africa, July 12-17, 2009.
- [16] Yu L, Zhang D, Holden E J. A fast and fully automatic registration approach based on point features for multi-source remote-sensing images [J]. Computers & Geosciences, 2008, 34(7): 838-848.
- [17] Kelman A, Sofka M, Stewart C V. Keypoint Descriptors for Matching across Multiple Image Modalities and Non-Linear Intensity Variations [C]//Proceeding of 2007 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2007), Minneapolis, Minnesota, USA, June 18-23, 2007.
- [18] Lin Y, Medioni G. Retinal Image Registration from 2D to 3D [C]// Proceeding of 2008 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Anchorage, AK, June 23-28, 2008 .
- [19] Yi Z, Zhiguo C, Yang X. Multi-spectral remote image registration based on sift[J]. Electronics Letters, 2008, 44(2): 107-108.
- [20] Teke M, Temizel A. Multi-Spectral Satellite Image Registration Using Scale-Restricted SURF[C]//Proceedings of 2010 20th International Conference on Pattern Recognition, Istanbul, Turkey, August 23-26, 2010.
- [21] Tang F, Lim S H, Chang N L. An Improved Local Feature Descriptor Via Soft Binning[C]//Proceedings of 2010 17th IEEE International Conference on Image Processing, Hongkong, China, September 26-29, 2010.
- [22] Tang F, Lim S H, Chang N L, et al. A novel feature descriptor invariant to complex brightness changes [C]//Proceedings of 2009 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, Miami, FL, USA, June 20-25, 2009.
- [23] Fischler M A, Bolles R C. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6): 381-395.

(责任编辑 吴晓丽)