

基于 SIFT 点特征和 Canny 边缘特征匹配的 多源遥感影像配准研究

王万同^{1,2} 韩志刚¹ 刘鹏飞¹

(河南大学环境与规划学院 开封 475001)¹ (中国科学院地理科学与资源研究所 北京 100101)²

摘要 针对多源遥感影像的配准,提出了一种结合 SIFT 点特征和 Canny 边缘特征匹配的配准算法。该算法首先采用 SIFT 算法提取点特征并进行影像粗配准,在获得初始仿射变换参数后,采用 Canny 算法提取边缘特征,并采用成本函数法进行边缘点匹配,经粗差滤除后得到有效的匹配特征点对,随之进行影像精配准。该算法结合了 SIFT 算法和 Canny 算法的优点,解决了多源遥感影像因辐射差异和几何差异造成的难以正确配准的问题。实验结果表明,算法具有较强的鲁棒性,并取得了较好的配准精度。

关键词 多源遥感影像,影像配准,特征匹配,SIFT 算法,Canny 边缘检测

中图分类号 TP751

文献标识码 A

Multi-sensor Image Registration Algorithm Based on SIFT Points and Canny Edge Features Matching

WANG Wan-tong^{1,2} HAN Zhi-gang¹ LIU Peng-fei¹

(College of Environment and Planning, Henan University, Kaifeng 475001, China)¹

(State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographical Sciences and

Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)²

Abstract To resolve multi-sensor remote sensing image registration, an algorithm combining scale invariant feature transform(SIFT) point features and Canny edge feature matching was proposed. First, this algorithm uses SIFT to extract point feature and conduct image coarse registration. Then after getting the initial affine transformation parameters, this algorithm uses Canny algorithm to extract edge feature and then uses the cost function for edge matching. Last, after getting the effective matching feature points by filtering outliers, this algorithm conducts image accurate registration. This algorithm combines the advantages of SIFT and Canny, and solves the problem that the multi-sensor remote images are difficult for correct registration because of geometric differences and radiometric differences. Experimental results show that this algorithm has strong robustness, and achieves high registration accuracy.

Keywords Multi-sensor image, Image registration, Feature matching, SIFT, Canny edge detection

1 引言

遥感影像配准是进行影像融合和变化检测等应用中关键的预处理步骤。目前对于同一传感器、不同时相的遥感影像匹配技术已经比较成熟,提出了一些经典的特征提取算法,如 SUSAN 算法^[1]、Harris^[2]算法等。而对于不同尺度、多源遥感影像之间的配准,则是目前研究的热点和难点,长期以来一直未能很好解决^[3]。国内外学者对此进行了大量深入研究,到目前为止也仍然没有一个完美的方法,能使多源影像在辐射分布、尺度、旋转、平移量等差异的情况下正确地配准。

SIFT 算法由 Lowe 于 1999 年首先提出^[4],并于 2004 年完善^[5]。SIFT 算法基于不变量技术进行特征点检测,对影像的缩放、旋转、仿射变换能够保持不变性,对由光照、几何变形等带来的差异都能成功克服并完成后续的匹配。Mikolajczyk 与 Schmid 选择了多种具有代表性的算法,在不同场景中对于光照变化、几何变形、尺度、旋转、模糊和压缩等 6 种情况,通

过大量实验进行性能比较,结果显示 SIFT 算法取得了最好的效果^[6]。国内李晓明等最早将 SIFT 算法应用于遥感影像的自动配准研究^[7]。

Canny 算法^[8]从 1986 年提出到现在,因其在边缘特征检测方面优异的性能,已经成为评价其他边缘检测方法的标准。Canny 算法包含了误判率低、误差小、没有重复回应,并且在影像中包含噪声时也能够成功检测边缘的特性^[9]。

已有很多学者将 SIFT 算法和 Canny 算法应用于遥感影像的配准研究^[10-12],但将二者结合并应用于多源遥感影像配准研究的则不多见。两种算法应用于多源影像配准上各有优点和缺点:SIFT 算法可以在影像进行几何校正前就能提取到匹配特征点对,但由于其特征向量建立在梯度方向与幅值上,而梯度幅值由灰度值得到,因此若两幅遥感影像的辐射分布差异过大,SIFT 算法就会大幅降低性能,甚至无法匹配成功。李芳芳等通过实验发现,对于辐射特性和几何特性相差较大的多源遥感影像,SIFT 算法能得到的匹配点对非常少,有些

到稿日期:2010-08-18 返修日期:2010-12-14 本文受国家自然科学基金项目(40771146,40801180)资助。

王万同(1974—),男,博士生,讲师,主要研究方向为遥感影像处理,E-mail:kfwwt@yahoo.com.cn;韩志刚(1981—),男,博士生,主要研究方向为遥感影像处理、GIS 应用与开发;刘鹏飞(1982—),男,博士生,主要研究方向为资源遥感应用。

情况下甚至没有^[13]。刘秀芳等研究发现,当影像分辨率之比为1:4甚至更大时,几乎不能正确进行特征点的匹配^[14]。Canny算法基于边缘特征匹配,不受辐射差异的影响,但需要两幅影像完成基本的几何校正后,才能进行边缘特征点的匹配。

本文结合 SIFT 算法和 Canny 算法提出了一种适合于多源遥感影像的配准算法。基本步骤为:(1)采用 SIFT 算法提取特征点,再通过计算两幅影像特征点间的欧式距离进行特征点匹配,得到匹配点对后进行影像粗配准,进而获得初始仿射变换参数;(2)采用 Canny 算法提取边缘特征,依据获得的初始仿射变换参数,采用成本函数法进行边缘特征点匹配,经粗差滤除后得到最终的匹配点对,并构建仿射变换模型进行影像的精确配准。算法流程图如图 1 所示。

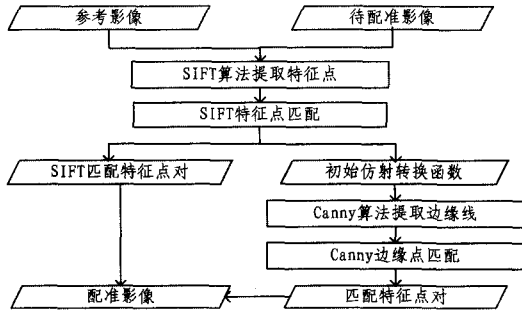


图 1 基于 SIFT 和 Canny 的影像配准

2 SIFT 点特征提取与粗配准

2.1 SIFT 提取特征点

SIFT 算法提取特征点主要分 4 个步骤^[5]:首先利用高斯差分以及影像金字塔找出尺度空间中的极值点;接着找出精度在次像素级的极值点,并将低对比度和位于边缘的极值点删除;将剩余的极值点定义为特征点后,开启一窗口,利用窗口内的影像梯度和幅值定义出特征点的方向;最后,以此方向进行旋转,并生成 SIFT 特征向量。

2.2 SIFT 特征点匹配

SIFT 算法提取特征点并建立特征向量后,可利用特征向量进行特征匹配的处理。具体匹配时,采用特征向量的距离作为两幅影像中特征点的相似性判定度量。有多种距离可以衡量两个特征之间的差别,最常用的是采用欧氏距离进行计算,如下式。

$$D = \sqrt{\sum_{k=0}^n (X_i - X_j)^2} \quad (1)$$

式中, X_i 表示参考影像中的第 i 个特征点的特征向量, X_j 表示待配准影像中的第 j 个特征点的特征向量, D 为欧氏距离。

通过计算两幅影像特征点间的欧式距离,从中找出最小距离 $D_{\min}$ 与次小距离 D_{scn} ,并计算其比值 $R = D_{\min} / D_{\text{scn}}$ 。当 R 小于某个预定义阈值时,对应的特征点为匹配点,否则去除。预定义阈值表示特征点的显著性,不同的应用可以取不同的值,其取值范围为 $[0, 1]$ 。阈值越小,则得到的匹配点对会减少,但更加稳定。Lowe 在经过大量实验后发现,当 R 大于 0.8 时,匹配错误的比率会大幅提高^[5]。一般情况下,预定义阈值取值为 0.75。

2.3 仿射变换进行影像粗配准

基于遥感影像的成像特性,研究表明,采用仿射变换模型可取得令人满意的效果^[15]。仿射变换模型如下式^[16]。

$$\begin{bmatrix} x_s \\ y_s \end{bmatrix} = s \cdot \begin{bmatrix} \cos\alpha & -\sin\alpha \\ \sin\alpha & \cos\alpha \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_m \\ y_m \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \end{bmatrix} \quad (2)$$

式中, s 表示影像的缩放比例; t_x 和 t_y 分别表示影像在 x 和 y 方向上的平移量; α 表示影像的旋转角度。 (x_s, y_s) , (x_m, y_m) 为待配准影像和参考影像上的一组匹配特征点对。

影像粗配准可利用 4 组 SIFT 匹配点对,选用一阶仿射变换模型达到相互配准的影像间相似即可。

3 Canny 边缘特征提取与精配准

3.1 Canny 边缘线提取与滤除

边缘线提取步骤^[8]:首先将影像进行高斯滤波,目的是去除影像中的噪声,以免在提取边缘时受到太多的干扰;接着计算影像中各像元的梯度方向和幅值,并将梯度方向合并为 4 个方向,利用非最大值抑制(NMS)找到的边缘位置;然后制定双阈值来滤除非边缘像元。如果像元的梯度幅值大于高阈值,则此像元为边缘像元,相对地,如果小于低阈值,则此像元是非边缘像元。对于处于两个阈值之间的像元,若其邻接像元中有边缘像元,则认为其也是边缘像元,否则是非边缘像元。

在提取边缘线后,为了提高后续的特征匹配效率,还须去除较破碎的边缘线。Hong 等认为,边缘线长度太短或者边缘线包围的面积过小,均视为破碎的边缘线,并采用边界盒方法去除破碎边缘线^[17]。

3.2 边缘特征点匹配

Canny 算法分别提取两幅影像的边缘后,利用特征匹配的方式找出两幅影像边缘点的对应关系。本文采用成本函数匹配两幅影像间的边缘特征点^[17],如图 2 所示。

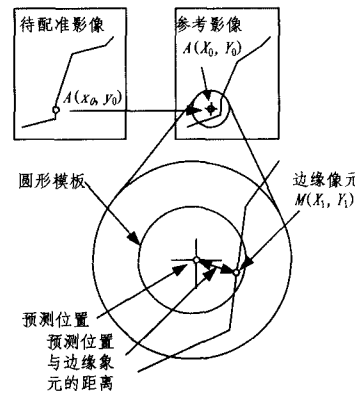


图 2 边缘特征点匹配

首先将待配准影像的边缘特征像元 $a(x_0, y_0)$ 代入式(2),可得到该像元在参考影像的预测位置 $A(X_0, Y_0)$,接着以预测位置为圆心,设定一个半径为 5pixel 的圆形模板,将参考影像中通过模板内线段的所有像元与预测位置代入成本函数中:

$$C = \alpha \times D + \beta \times |\theta_1 - \theta_2 - \theta_0| \quad (3)$$

式中, α , β 分别为距离权重和方向权重, α 取值为最大距离差的倒数, β 取值为最大方向差的倒数, D 为预测位置与边缘像元的欧式距离, θ_1 为参考影像边缘像元 $M(X_1, Y_1)$ 的梯度方向, θ_2 为待配准影像边缘像元 $a(x_0, y_0)$ 的梯度方向, θ_0 为利用仿射变换函数求出的旋转角度。

利用成本函数求出最小值与次小值后,计算其比值 $R_c = C_{\min} / C_{\text{scn}}$ 。当 R_c 小于某个预定义阈值时,对应的特征点为匹配点。在找出参考影像中匹配点之后,再找出此匹配点在待

配准影像中 C 值最小的像元,并确认这两个特征点是否唯一对应。如果是,则视为匹配点对,反之则去除。

3.3 粗差滤除及影像精配准

经 RANSAC^[18] 粗差滤除得到最终的匹配特征点对之后,利用匹配点对构建影像的变换模型,将待配准影像校正到参考影像坐标系统中。一般地,当两幅影像几何变形不大时,都采用仿射变换或者多项式变换;当几何变形较大时,就需要采用小面元校正方法,通过建立不规则三角网 TIN 求解仿射变换函数来配准影像。

4 实验研究

为了验证所提出的配准算法的有效性,本文采用 Landsat7 ETM+ 全色影像和 CBERS-02B 星 CCD 多光谱影像进行配准实验,影像大小为 400×400 pixel,实验采用的平台为 MATLAB。

首先采用 SIFT 算法在参考影像中提取 3831 个特征点,在待配准影像中提取 3570 个特征点;在特征点匹配过程中,因为目的是为得到少量较为精确的匹配点对来构建初始仿射变换函数以进行影像粗配准,并不需要大量的匹配点对,所以,选择了一个较小的阈值 0.6,共得到匹配点对 9 组。此处阈值的设定在两幅影像辐射差异较大时能体现出较高的效率。

接着采用 Canny 算法提取参考影像与待配准影像中的边缘线,并依据初始仿射变换参数,采用成本函数法匹配边缘特征点。其中,边界盒设定为 10×10 pixel,成本函数最大距离设定为 5 pixel,最大方向设定为 1 度,双阈值设定为 [50, 100],共得到 215 组匹配点对,经过 RANSAC 粗差滤除 17 组后,最后得到匹配点对 198 组,分布如图 3 所示。

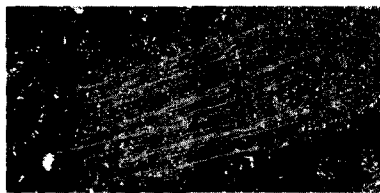


图 3 最终得到的匹配特征点对

最后,采用仿射变换来进行影像配准,重采样采用了双线性内插法,最终的配准结果如图 4 所示,拼接结果如图 5 所示。从图中可以看出,两幅影像能很好地叠合在一起,表明了配准的正确性。配准精度检验采用了随机抽取 50 组匹配点对计算 RMSE 值,并重复 30 次求取均值。最终计算得到的 RMSE 均值为 0.72 像元,表明影像配准精度较高。

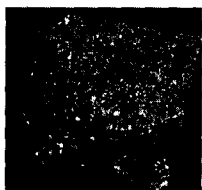


图 4 配准后的影像



图 5 拼接后的影像

结束语 多源遥感影像由于不同传感器的成像特性造成辐射特性和几何特性上的差异,使得多源影像正确高效地配准成为一个研究难题。SIFT 特征对尺度和旋转的不变性以及对于噪声干扰、亮度变化等良好的鲁棒性,为特征点的提取和正确匹配提供了很好的基础。同时,Canny 边缘检测算法避免了辐射差异带来的影响。两种算法的结合利用较好地解

决了多源遥感影像的配准问题。实验结果表明,本文算法具有较强的鲁棒性,并取得了较好的配准精度。需要指出的是,如果两幅影像的辐射差异很大,则 SIFT 算法可能完全得不到较精确的匹配特征点对,而使得配准无法进行,此时需要以人工的方式指定 4 组匹配点对,并求出仿射变换参数,再进行后续的匹配和影像配准。本文算法中有多处涉及阈值的设定,使得算法配准自动化程度不高。如何能自适应设定阈值,是下一步需要努力研究的方向。

参考文献

- [1] Smith S M, Brady J M. SUSAN-A New Approach to Low Level Image Processing [J]. International Journal of Computer Vision, 1997, 23(1): 45-78
- [2] Harris C, Stephens M. A Combined Corner and Edge Detector [C]//Fourth Alvey Vision Conference. Manchester, UK, 1988: 147-151
- [3] Dufournaud Y. Matching Images with Different Resolutions. Theory in Computer Vision [M]. Kluwer Academic Publishers, 2004
- [4] Lowe D G. Object Recognition from Local Scale-invariant Features [C]//Proceedings of International Conference on Computer Vision. 1999: 1150-1157
- [5] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-invariant Key-points [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110
- [6] Mikolajczyk K, Schmid C. A Performance Evaluation of Local Descriptors [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2005, 27(10): 1615-1630
- [7] 李晓明, 郑链, 胡占义. 基于 SIFT 特征的遥感影像自动配准 [J]. 遥感学报, 2006, 10(6): 885-892
- [8] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1986, 8(6): 679-698
- [9] 杨芳宇, 王向阳. 一种基于边缘综合特征的彩色图像检索算法 [J]. 计算机科学, 2010, 37(2): 256-260
- [10] 程炎, 周焰, 林洪涛, 等. 基于 SIFT 特征遥感影像自动配准与拼接 [J]. 遥感技术与应用, 2008, 23(6): 721-727
- [11] 邓传斌, 郭雷, 李维. 基于 SIFT 的遥感图像配准方法 [J]. 传感技术学报, 2009, 22(12): 1743-1746
- [12] 袁修孝, 宋妍. 基于边缘特征匹配的遥感影像变化检测预处理方法 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2007, 32(5): 381-385
- [13] 李芳芳, 贾永红, 肖本林, 等. 利用线特征和 SIFT 点特征进行多源遥感影像配准 [J]. 武汉大学学报: 信息科学版, 2010, 35(2): 233-236
- [14] 刘秀芳, 尤红建. 基于 SIFT 的多时相星载 SAR 图像特征点自动匹配 [J]. 测绘科学, 2009, 34(1): 43-45
- [15] Habib A, Al-Ruzouq R. Semi-automatic Registration of Multi-source Satellite Imagery with Varying Geometric Resolution [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2005, 71(3): 325-332
- [16] Tian Wei-gang, Guo Lei. A Point-based Algorithm for Multi-spectral Image Registration Using Mutual Information of Regions [J]. Journal of Optoelectronics, Laser, 2008, 19(6): 799-803
- [17] Hong T D, Schowengerdt R A. A Robust Technique for Precise Registration of Radar and Optical Satellite Images [J]. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, 2005, 71(5): 585-593
- [18] Kim T, Im Y J. Automatic Satellite Image Registration by Combination of Matching and Random Sample Consensus [J]. IEEE Trans of Geoscience and Remote Sensing, 2005, 41(5): 1111-1117