

文章编号: 1672-8785(2018)07-0014-05

异分辨率高光谱图像的空间配准

汪雪洁^{1,2,3} 王跃明^{2,3} 王 磊¹

(1. 安徽大学物理与材料科学学院, 安徽 合肥 230601;

2. 上海技术物理研究所, 上海 200083;

3. 主动光电实验室, 上海 200083)

摘 要: 近年来, 高光谱成像仪迅速发展, 可应用于越来越多更复杂的应用场景。人们对遥感图像处理精度等方面提出了更高的要求。图像配准作为遥感图像处理的重要步骤, 对遥感图像的后续处理至关重要。遥感图像的配准方式很多, 目前比较成熟的配准方式大多集中在不同传感器、相同分辨率下的配准; 对于不同传感器、不同分辨率的遥感图像配准成果很少, 所以本文对此进行了研究。提出了基于边缘特征寻找同名点的遥感图像配准算法, 得到了图像配准结果, 并对其进行验证。相对于现有的配准算法, 本文算法使得不同传感器、不同分辨率的遥感图像的配准精度大大提高。

关键词: 图像配准; 边缘检测; 连通域; 仿射变换

中图分类号: TP751 **文献标志码:** A **DOI:** 10.3969/j.issn.1672-8785.2018.07.003

Registration of Hyperspectral Images with Different Resolution

WANG Xue-jie^{1,2,3}, WANG Yue-ming^{2,3}, WANG Lei¹

(School of Physics and Materials Science, Anhui University, Hefei 230601, China;

2. Shanghai Institute of Technical Physics, Chinese Academy of Sciences, Shanghai 200083, China;

3. Active Photoelectric Laboratory, Shanghai 200083, China)

Abstract: In recent years, hyperspectral imagers have developed rapidly. With their use in more and more complicated applications, higher requirements are put forward for the processing precision of remote sensing images. As an important step in the processing of remote sensing images, image registration is crucial to the subsequent processing of remote sensing images. There are many registration methods for remote sensing images. At present, most mature registration methods are those methods which conduct registration in the case of different sensors and same resolution. There are few registration methods for the remote sensing images in the case of different sensors and different resolution. A new registration algorithm for extracting point features on the basis of image edge features is proposed. Image registration results are obtained and validated. Compared with the existing registration algorithms, the registration precision of the algorithm is improved greatly.

Key words: image registration; edge detection; connected domain; affine transformation

收稿日期: 2018-04-02

基金项目: 国家自然科学基金项目(51371007); 南京“321”计划项目(2013B01008)

作者简介: 汪雪洁(1992-), 女, 安徽亳州人, 硕士生, 主要从事图像处理研究。

E-mail: ahuwxj@163.com

0 引言

随着高光谱成像仪的发展, 其应用领域越来越广, 应用环境更加复杂, 对高光谱图像处理的要求也在不断提高。图像配准是将不同时间、不同传感器或者不同视角的同一场景的两幅或者多幅图像进行匹配和对应的过程^[1], 是图像融合、多光谱分类、环境监测和图像镶嵌等的重要步骤^[2]。

遥感图像的配准方法有基于灰度信息的图像配准和基于特征的图像配准方法。前者有互相关法^[3]、最大互信息法^[4]和傅里叶变换法^[5]等。这种方法依赖于图像的灰度信息, 成像条件差异会引起灰度信息的变化, 使得算法性能下降, 且计算量大, 对鲁棒性不强, 适用范围太窄。后者将对整个图像的分析转化为对图像某种特征的分析, 提高了稳定性, 降低了计算量, 在灰度变化时仍能保持较好的不变性^[2], 基于尺度空间对图像缩放、平移、旋转、放射变换和光照变换等保持不变。这些优良特性使其被广泛应用于图像配准。其典型特征有角点^[6]、边缘^[7]、尺度不变特征转换 (Scale Invariant Feature Transform, SIFT)^[8-9]等。

目前, 国内外各科研机构成果主要集中在那些使用不同传感器、但分辨率相同的遥感图像的配准, 对于不同分辨率高光谱图像的配准, 目前相关成果不多。所以, 本文在结合已有图形线性变换模型、边缘检测、连通域提取等理论知识的基础上, 提出了自己的算法, 对不同分辨率的可见近红外、短波红外图像进行配准。

1 算法描述

1.1 算法流程

I_1 表示参考图像, I_2 表示待配准图像。本文图像配准的算法具体实现过程是: (1) 分别灰度化两幅图像, 对 I_1 和 I_2 进行 Canny 边缘检测, 筛选连通区域。(2) 对 I_1 和 I_2 的连通域进行直线、曲线、圆等几何图形拟合, 存储这些特征和其描述符, 根据其特征描述符进行

匹配, 选取匹配的几何图形的同名点。同名点为直线与定义坐标轴的交点、中点等、圆的质心等。(3) 得到 I_1 和 I_2 的同名点 $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$ 和 $n_1, n_2, n_3, \dots, n_n$, 并对求得同名点进行验证。依次用不重复且对应的任意三点拟合三角形, 比较两个三角形之间的角度, 若相等则保留对应的点。(4) 用上面保留的同名点求仿射变换矩阵 T 。(5) 对 I_2 做仿射变换, 将其与 I_1 自动对准、比较, 得到 I_1 和 I_2 变换后的对比结果。

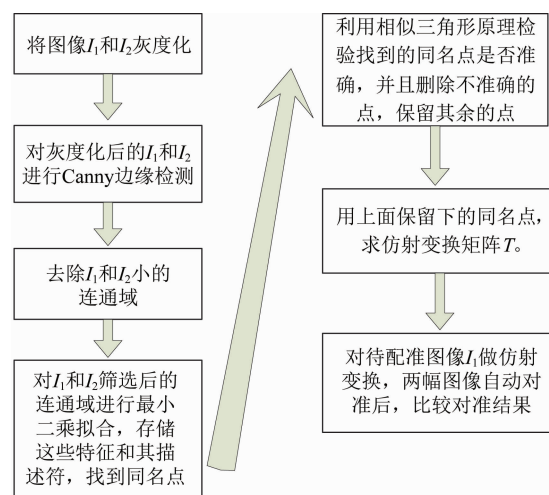


图 1 本文算法的流程图

1.2 仿射变换

用 $I_1(u, v)$ 和 $I_2(u, v)$ 表明参考图像 I_1 和待配准图像 I_2 的灰度空间分布情况, 则两图之间的数学表达式^[10]为

$$I_2(u, v) = g(I_1(T(x, y))) \quad (1)$$

式中, T 表示样本空间变换, g 为灰度转变。由式(1)可知, 图像配准就是找到最佳的空间变换参数。几种常见的线性变换模型是仿射变换、投影变换、刚体变换和非线性变换^[11]。本文采用仿射变换作为配准模型。

已知参考图像中的一点 $P(x_1, y_1)$, 通过仿射变换至点 $Q(x_2, y_2)$ 的过程可表示为

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ y_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{01} & a_{11} & a_{12} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ 1 \end{pmatrix} \quad (2)$$

$$T = \begin{pmatrix} a_{00} & a_{01} & a_{02} \\ a_{01} & a_{11} & a_{12} \end{pmatrix} \quad (3)$$

可以看出,仿射变换有 6 个自由度,为仿射变换矩阵。原来相互平行的直线、三边形经仿射变换后关系不变。

1.3 边缘检测

高光谱图像的信息丰富,图像边缘特征明显,所以本文首先对图像进行边缘特征提取,选择目前最受欢迎的 Canny 边缘检测。Canny 边缘检测在最后一步滞后阈值处理时需要进行连通域查找,连通域标记算法在本文后续图像处理中也起到了重要作用。

1.3.1 连通域

在各样本连通区设置标志,是将样本图形中符合特定连通条件^[12](一般为四邻域或八邻域,如图 2 所示)的点用标志标记好。连通域标记算法一直是研究热门,目前连通域标记算法有很多,如区域生长法、像素标记法等。不同的连通域标记算法适用于不同的要求和不同的图像,本文要提取八连通域,选择像素标记法,从四个方向对样本中的点进行扫描;扫描到该点时,若该点并没有被设置标志位,则从八个方向分布递归扫描,寻得与该点值相等的邻居点。在此过程中,如果寻得的点并未被设置过标志,则对本次操作寻得的点设置掩码标志,并且修改扫描查找到的点的标识,直到再也扫描不到满足条件的点,最后得到样本的连通区和其连通区域的总数^[13]。

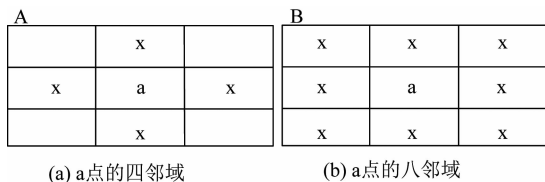


图 2 a 点的四/八邻域

1.3.2 Canny 边缘检测

边缘检测是找到梯度幅值大于一定阈值的像素点集的过程。边缘检测是提取图像基本特征的一种方式。因为边缘检测的分析不易受整体光照强度变化的影响,所以是很多高层次特征提取的基础。边缘检测强调图像对比度和边界。目前得以广泛运用的方法为 Canny 边缘检

测算子。

Canny 边缘检测算子^[15]的主要步骤是,(1)首先进行无附加响应的最优检测,一般通过最优平滑处理实现。(2)检测边缘,正确的边缘应是与实际边缘距离最小的位置;要正确定位这个边缘,可以用非极大抑制法。(3)采取减少单边缘的多重响应而得到单响应的方法。

由上述内容可知,Canny 算子的计算步骤是,首先平滑图像,高斯平均算子被认为是图像平滑处理时最优的算子;高斯算子模板通过高斯关系式设置,点 (x,y) 的高斯函数 g 利用方差 σ^2 控制的根据^[16]为

$$g(x,y,\sigma) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} \exp \left[-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2} \right] \quad (4)$$

式(4)是一种计算高斯模板系数的方法。接下来与图像进行卷积。选择模板大小的不同,图像处理后的结果不同。然后计算梯度幅值和方向,图像的边缘指向不同的方向,通常只计算水平和垂直方向的差分:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (5)$$

$$\theta = \text{atan2}(G_x, G_y) \quad (6)$$

本文采用 Sobel 算子计算梯度。相对于其他边缘算子,Sobel 算子得出的边缘粗大明亮,因为梯度边缘不止一个像素宽,而是多个像素宽,因此会有些模糊。所以接下来要对它进行非最大值抑制处理。非最大值抑制实质上是找到边缘强度数据中的最高点,即细化边缘,所以要论证所有点是否是峰值。假设一个区域中有一个点,其两侧的梯度小于该点上的梯度,则这个点就是极大值。设一个点 $M(x,y)$,相邻两点的梯度值分别为 M_1 和 M_2 ,如果点 $M(x,y)$ 的梯度值大于 M_1 和 M_2 ,则点 $M(x,y)$ 为极大值。对 M_1 和 M_2 进行插值^[14],可得:

$$M_1 = \frac{M_y}{M_x} M(x+1,y-1) + \frac{M_x - M_y}{M_x} M(x,y-1) \quad (7)$$

和

$$M_2 = \frac{M_y}{M_x} M(x-1, y+1) + \frac{M_x - M_y}{M_x} M(x, y+1) \quad (8)$$

如果点 $M(x, y)$ 处的梯度值大于 M_1 和 M_2 , 则其为极大值; 若不是, 则置 0。接下来进行滞后阈值处理。经非最大值抑制处理后, 边缘宽度已经大大减小了, 但因为没有引进阈值, 存在大量小梯度模值点。为了连接边缘等, 添加上限阈值和下限阈值。以大于上限阈值的点为缘点, 利用连通域原理, 查找此点的相邻点是否大于下限阈值。若大于, 则继续检测此相邻点的额相邻点, 以此类推, 直至检查完所有的点。

得到理想边缘检测图像后, 因为信息很多, 不能直接用作图像配准, 要对找对的边缘信息进行基于连通域数目大小的筛选, 对筛选后的连通区域进行最小二乘拟合。最小二乘法不仅可用于拟合直线, 还可用于拟合曲线、拟合椭圆等。实验证明, 最小二乘法对本文图像的处理效果很好。

2 实验结果与分析

用全谱段多模态成像光谱仪采集短波红外和可见近红外图。短波探测器的分辨率为 0.5 mrad, 可见近红外探测器分辨率为 0.125 mrad。

分别截取短波红外与可见光波段中有相同地

物目标、信噪比较大的部分图像。短波红外图像(Short-wave Infrared, SWIR)的大小为 8 bit, 可见近红外图像(Visible and Near-infrared, VNIR)的大小为 8 bit。图 3 是灰度化和边缘检测后的可见近红外图像和短波红外图像。其中, (a)是可见近红外图像, (b)是短波红外图像。

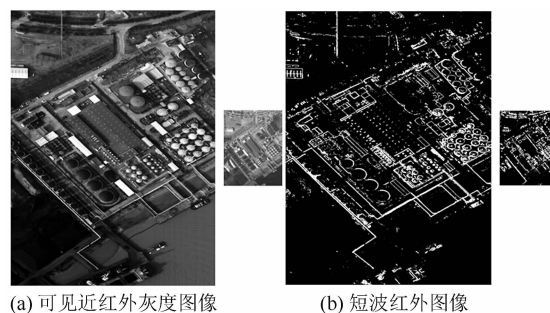


图 3 边缘检测后的图像

图 5 是用本文算法将待配准的短波红外图像变换后得到的结果图与作为参考图像的可见近红外图像合成的 RGB 图像。由图 5 可以看出, 配准效果良好。

本文中, 可见近红外与短波红外图像的分辨率接近于 4:1。实验证明, 除了本文所选取的图像外, 本文算法对于不同的可见、短波红外波段、不同区域的遥感图像都可以实现配准。所以利用本文算法可以实现多元传感器、不同分辨率的遥感图像的配准, 而且与其他算法相比优势明显, 对高光谱成像仪的未来图像

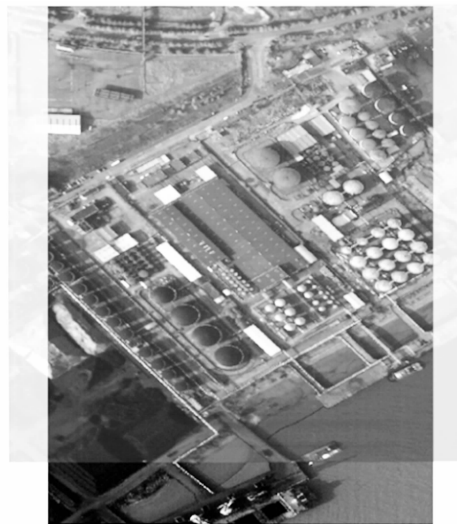
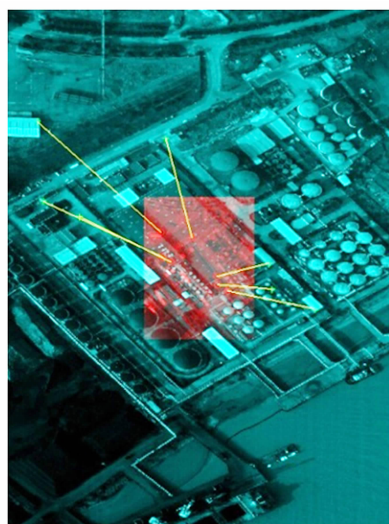


图 4 可见近红外与短波红外图像利用特征点对寻找仿射变换矩阵和配准后的对比图

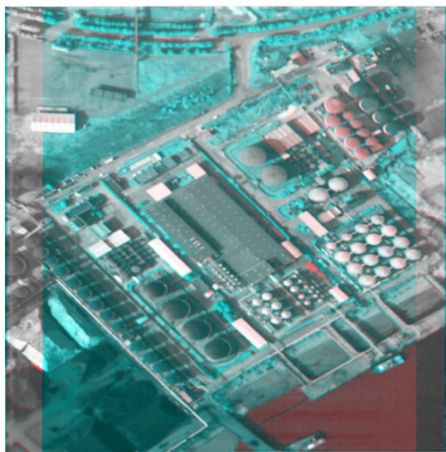


图 5 用配准后的短波红外与可见近红外图像合成的 RGB 图像

处理具有重要的意义。

3 总结

针对目前多元探测器、多分辨率的遥感图像配准,提出了一种基于图像边缘特征的图像配准算法。首先,对初步得到的 Canny 边缘特征进行连通域的筛选,然后对筛选后的连通域进行图形拟合,匹配这些图形信息,得到同名点并验证,删除不准确的点,用保留的点求得对应的仿射变换系数。本文算法可以实现多元探测器下不同分辨率遥感图像的配准,而且对多源遥感图像的配准也具有重要意义。为了进一步提高图像配准的精度,未来将在本文配准算法中引入非线性配准算法,因为在图像配准中常常因为遥感图像部分区域形变而降低配准精度,而非线性配准算法可以解决遥感图像常出现的局部形变问题。非线性配准算法在医学图像配准中研究较多,而且被证明效果良好,在遥感图像配准领域还处于起步阶段,是进一步提高配准算法精度的方向。

参考文献

- [1] Zitova B, Flusser J. Image Registration Methods: A Survey [J]. *Image and Vision Computing*, 2003, **21**(11):977-1000.
- [2] 余先川,吕中,胡丹. 遥感图像配准技术综述[J]. *光学精密工程*, 2013, **21**(11):2960-2972.
- [3] Viola P A, Wells W M. Alignment by Maximization of Mutual Information [J]. *International Journal of computer Vision*, 1997, **4**(2):16-23.
- [4] Johnson K, Cole-rhodes A, Zavorin I, et al. Mutual Information as A similarity Measure For remote Sensing Image Registration [J]. *SPIE Proceedings*, 2002, **4383**: 51-61.
- [5] 李锐,王卷乐,郭复胜,等. Fourier-Mellin 变换不同同时相遥感影像自动配准研究 [J]. *计算机工程与应用*, 2010, **46**(16):178-181.
- [6] Moravec H P. Towards Automatic Visual Obstacle Avoidance [C]. *Proceedings of Artificial Intelligence*, 1977, **2**:584-584.
- [7] Ziou D, Tabbone S. Edge Detection Techniques-an Overview [J]. *International Journal of Pattern Recognition and Image Analysis*, 1998, **8**: 537-559.
- [8] Lowe D G. Object Recognition from Local Scale Invariant Features [C]. *Proceedings of the 7th International Conference on Computer Vision*, 1999, **2**: 1150-1157.
- [9] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, **60**(2):91-110.
- [10] Castleman K R. 朱志刚译. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,1998.
- [11] 吕金健. 基于特征的多源遥感图像配准技术研究 [D]. 长沙:国防科技大学,2008.
- [12] Rafael C G, Richard E W. Digital Image Processing(2nd Edition) [M]. 北京:清华大学出版社,1997, 468-469.
- [13] 徐正光,鲍东来,张利欣. 基于递归的二值图像连通域像素标记算法 [J]. *计算机工程*, 2006, **32**(24):186-188.
- [14] Nixon M S, Aguado A S. 杨高波,李实英译. 计算机视觉特征提取与图像处理(第三版) [M]. 北京:电子工业出版社,2014.
- [15] Canny J. A Computational Approach to Edge Detection [J]. *IEEE Trans. PAMI*, 1986, **8**(6): 679-698.
- [16] Marr D G, Hildreth E. Theory of Edge Detection [J]. *Proc. R. Soc. Lond. Series B. Biological Sciences*, 1980, **207**(1167):187-217.