

多光谱遥感卫星图像的精确配准方法研究

龚志成 裴继红 谢维信

(深圳大学 ATR 国防科技重点实验室, 广东 深圳 518060)

摘 要: 针对一组多光谱遥感图像中, 各谱段图像之间配准不一致的问题, 本文提出了一种基于特征点的快速自动配准方法。在图像信息熵的基础上, 利用环形移动窗口, 自动快速寻找感兴趣区域, 并利用尺度不变特征转换 (SIFT) 算法提取特征。为提高精度, 文中对特征初匹配方法作了改进, 并用余弦定理和空间距离约束条件剔除误匹配点, 之后提取最稳定的特征点对计算变换参数, 完成配准。最后根据配准前后图像的互信息和特征点的均方根误差 (RMSE) 来衡量配准的程度。通过对大量中巴地球资源卫星拍摄的多光谱图像进行实验, 该方法能达到亚像素级配准精度, 并能快速对各谱段图像进行配准。

关键词: 遥感图像; 环形移动窗口; 特征提取; 图像配准

中图分类号: TP751.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0530(2013)10-1398-09

Research of Accurate Registration Method for Multispectral Remote Sensing Images

GONG Zhi-cheng PEI Ji-hong XIE Wei-xin

(ATR Key Laboratory of National Defense Technology, Shenzhen University, Shenzhen, Guangdong 518060, China)

Abstract: Aiming at the inconsistent registration between different spectral image within a group of multi-spectral remote sensing images, a fast and automatic registration method based on feature points was proposed in this paper. On the base of image entropy, an annular moving window is used to find the region of interest automatically and quickly, and the Scale Invariant Feature Transform (SIFT) algorithm is used to extract features. To increase the accuracy, we improve the primary feature matching step, and use cosine theorem and space distance constraint condition to eliminate false matching points, then extract the most stable feature points to calculate transform parameters to complete registration. At last, the mutual information of before and after the registration and the root mean square error (RMSE) of feature points are used to measure the extent of the registration. By many experiments on a large number of multi-spectral images acquired by the CBERS-02B satellite, the result indicates the method can achieve sub-pixel registration accuracy for each spectral image, and can decrease the runtime of process.

Key words: Remote Sensing Images; the Annular Moving Window; Feature extraction; Image registration

1 引言

中巴地球资源卫星是我国第一代传输型地球资源卫星, 它获取的多光谱图像在可见、近红外光谱范围内有 4 个波段和 1 个全色波段, 其空间分辨率为 19.5 米。由于后续的研究往往需要将同一组

多光谱图像的几个波段进行图像融合, 而各波段图像之间又存在着旋转、平移和缩放等方面的差异。如果靠人工借助专业图像处理软件进行校准处理, 不仅浪费时间和人力, 而且受人主观因素的影响, 不能有效保证配准的精度。因此, 近年来大幅面遥感图像的快速精准配准得到了学者们的关注和

研究。

图像配准^[1]就是对于不同时间,不同传感器或不同视角的同一场景的两幅或者多幅图像,找到它们像素间的对应关系,使之在空间上能够保持一致。目前,图像配准算法^[1]主要分为基于灰度、变换域和特征三大类。基于灰度的配准算法^[2,3]不需要对图像进行复杂的预处理,而是直接利用图像本身的灰度信息,然后基于一定优化准则找到相似程度最大的匹配参数,完成配准。文献[2]中利用互信息的同时,结合图像的空间信息进一步提高了配准的精度,但由于此类方法需要计算图像全部像素点,运算量大,时间效率较低,不能满足大幅面多光谱遥感图像的快速配准需求。基于变换域的配准方法^[4],对噪声敏感性小,计算上有快速算法(如快速傅里叶算法)提高速度,但它只局限于较简单的图像变换形式(如缩放、平移),对于稍微复杂一点的仿射变换或投影变换,则效果不佳。基于特征的配准算法^[5-8],第一步需在基准图像与待匹配图像中提取出一定数量的稳定特征集,包括点、边缘、直线等,然后对特征进行相似性描述,通过相似性度量实现点与点之间的配对,并从中选取一定数量的匹配点计算出空间对应关系,完成图像的配准。此类方法只计算了少量图像的显著特征,计算量小,效率较高,满足实时配准的要求,因此广泛应用于遥感图像配准领域。文献[5]中提出了一种分层次的配准思想,先用 SIFT 特征点进行粗配准,缩小范围后,再利用 Harris 特征点建立不规则三角网进行精配准。文献[6]把点特征和边缘性相结合,利用 Harris 角点和 Canny 边缘特征进行匹配,计算出变换参数后完成配准。文献[7]提出了基于三角区域的 K 近邻(KNN-TAR)计算的特征点描述,具有较高的稳定性和精度。但上述方法没有考虑到特征点空间分布均匀性和特征点匹配准度的问题。文献[8]通过自动选取特征网格的方法,来确保特征点空间分布均匀,由于提取太多的特征点对,位置比较随机,通过最小二乘法计算变换矩阵时,存在一定的误差,若不采用并行计算,时间效率并不高。

本文为实现大幅面多光谱遥感图像快速自动配准,在权衡运行时间和配准精度的基础上,提出了一种利用图像分块的最大熵自动选取感兴趣区域(ROI)的方法,保证特征区域空间均匀性的同时,

减少了计算量。由于 SIFT 特征^[9-10]对图像的平移、尺度缩放、旋转、光照强度和视角的改变有很强的鲁棒性,因此,本文对特征区域采用 SIFT 算法提取特征点,改进初匹配方法,然后依据相似性原理和空间距离约束去除误匹配点,最后从中选出三对最稳定的匹配点计算仿射变换矩阵,实现配准,并用互信息和均方根误差来衡量配准的程度。

2 特征提取

通过大量实验分析,各谱段图像间存在仿射变换,仿射变换模型的变换关系如下:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & t_x \\ a_{21} & a_{22} & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中,(X,Y)和(x,y)分别表示基准图像与待匹配图像中相对应的匹配点,而 $a_{11}, a_{12}, a_{21}, a_{22}, t_x, t_y$ 是该变换模型的6个参数,可以由任何不在同一直线上的三对点确定。

为保证图像配准的精度,用来计算仿射变换参数的特征点不能共线,且在空间上必须尽可能分布均匀。为此,本文从特征区域着手,利用图像区域的信息熵自动选取感兴趣特征区域,再从中提取最稳定的特征点。

2.1 选取感兴趣区域

图像的信息熵^[8],可度量图像本身所具有的信息量,熵值越大,表示图像信息越丰富,特征存在的可能性越高。

$$E = - \sum_{i=0}^N p_i \log p_i \quad (2)$$

式中, $N=255, p_i$ 表示灰度值为*i*的像素在图像中出现的概率。

为了保证所选区域信息丰富,且特征点空间分布均匀,本文提出了一种环状窗口移动的方法。以长宽等大的图像为例,具体步骤如下:

Step1: 在大图中间设置一定大小 $m1 \times m1$ 的方形区域,使其与图像边界构成一个环形,并将环形分成四个条形区域(如图 1 中 4 个不同颜色部分)

Step2: 选择四个条形区域的同一端作为起点,构建移动窗口 A、B、C、D,然后以步长 S,同时对四个窗口进行移动。

Step3: 在窗口每一步移动的过程中,将每个窗

口按一定大小分块(图1以 3×3 个小块为例),计算每个小块的信息熵,并计算出其中的最大值。设第 r 步时,A窗口中熵值的最大值 EA_r ,公式表示如下:

$$EA_r = \max \{E_1, \dots, E_9\} \quad (3)$$

同理可求得另外3个窗口中熵值的最大值 EB_r, EC_r, ED_r 。构造一个度量 S_{min_r} ,表示第 r 步时4个窗口最大值中的最小值:

$$S_{min_r} = \min \{EA_r, EB_r, EC_r, ED_r\} \quad (4)$$

Step4: 完成窗口的移动后,找出所有度量 S_{min} 中的最大值 S_{max_k} :

$$S_{max_k} = \max \{S_{min_1}, \dots, S_{min_n}\}, k \in [1, n] \quad (5)$$

Step5: 分别求出第 k 步时四个窗口中熵值最大的小块,将这4个小块作为ROI的候选区域。并最终选择其中熵值最大的3个作为特征区域。

关于环形窗口大小的选择,既要保证区域内信息量足够丰富,能够提取足够多的特征点,则区域不能太小;又要考虑计算时间,保证配准效率,则区域不能太大;同时还要兼顾空间分布均匀性。所以,经实验分析,对于本文中的实验图像,环形带的宽度一般为整个图像宽度的 $1/6$ 左右较为合适,同时将一个窗口分成 4×4 小块,所选特征区域就从这小块中产生。

经过上述方法确定的ROI,不仅信息量丰富,而且空间分布均匀,这就保证了仿射变换参数的准确性,具体如图2所示。由于本文实验中用到的数据,经过了旋转几何校正,所以对上述方法需要进行一定调整。考虑到中巴卫星图像大小和旋转校正角度比较固定,我们先在大图上建立合适大小的网络,然后以网格为基准,确定移动窗口的大小和起始位置,在环行上同步移动窗口,并按上文中步骤确定感兴趣区域,如图3所示。

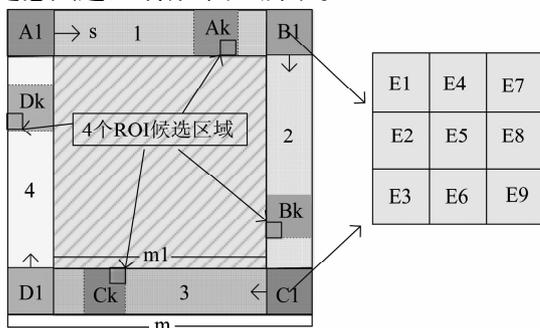


图1 环状移动窗口示意图

Fig. 1 The annular moving window

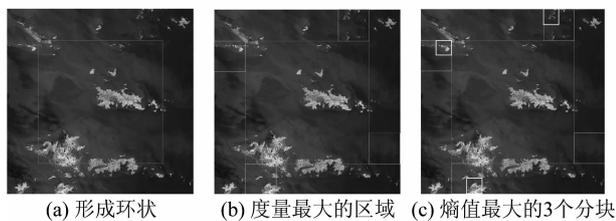


图2 矩形图像中ROI选取的过程

Fig. 2 The process of selecting ROI in rectangle image

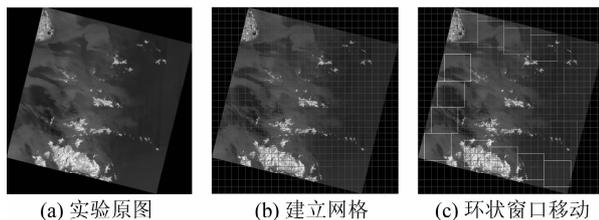


图3 旋转图像中ROI选取过程

Fig. 3 The process of selecting ROI in rotated image

2.2 SIFT 算法

SIFT算法由加拿大学者Lowe提出,它是基于尺度空间的不变特征提取算法和基于该特征的描述符^[9-10]。通过SIFT算法提取的不变性特征,具有较强的鲁棒性,对平移、缩放、旋转、甚至仿射变换基本保持稳定。算法主要步骤如下:

1) 检测空间极值点^[11]。空间是指由图像尺度高斯金字塔每阶相邻2层作差所得到的的高斯差分金字塔后的尺度空间。极值检测时,需在该点的局部邻域(包括同尺度的8个相邻点和上下相邻尺度对应的 9×2 个点,一共26个点)中求得,然后将得到的全部极值点作为特征点的候选对象。

2) 确定极值点的精确位置^[11]。用一个三维二次函数对极值点进行拟合,通过求导能够确定极值点的精确位置和所在尺度,其精度可以达到亚像素级;之后去除对比度较低的极值点和不稳定的边缘响应点,增强特征点的鲁棒性。

3) 分配关键点的方向^[11]。对于较稳定的关键点,在其邻域窗口进行采样,统计邻域内所有像素的梯度方向(每10度一个方向,共36个方向),统计出梯度方向的直方图,该关键点的方向可用直方图中的峰值表示。

4) 生成特征点描述子^[11]。对每一个关键点,用位置、尺度和方向三个信息建立描述符。增加其鲁棒性,使其在光照、视角等变化下保持稳定。

3 特征匹配

特征点匹配,就是确定基准图像与待配准图像中每个特征点的唯一对应关系。

Lowe 给出的特征点匹配方法^[8],是通过遍历基准图像的所有特征点,从而找到待配准图像中每个特征点的对应特征点,计算出特征向量的欧式距离,根据其最近邻和次近邻的比值确定对应关系,从而对两幅图像的特征点进行匹配。但针对本文所处理的多光谱图像,因为经过几何校正,各谱段图像间绝大部分区域的像差在较小的范围内。根据这个特点,本文对特征点的初匹配算法进行了改进,对于待匹配图像中的特征点,只计算它与位于基准图像相应邻域内各点的欧式距离,再根据最近邻与次近邻的比值判定是否匹配,邻域的大小,经过多次实验分析,取 19×19 像素较为合适。由于限制了匹配区域,无需遍历图像中所有特征点,减少了计算量,提高了匹配效率。

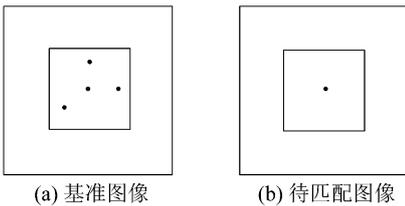


图 4 特征点初匹配的改进

Fig. 4 The improving of primary feature matching

但该方法依然存在着误匹配的情况,其中包括“一对多”、“多对一”和完全错误的匹配,本文依据相似性原理排除“一对多”、“多对一”的情况,保证特征点之间一对一的匹配关系;通过对特征点的空间距离进行约束判断,去除错误的匹配对,提高了后续配准的准确度。

1)判断两个向量的相似性,本文采用余弦定。对于一个三角形的三条边为 a,b,c,其对应的三个角为 A,B,C。如果将三角形的两边 b 和 c 看成是两个以 A 为起点的向量,那么余弦公式等价于:

$$\cos(A) = \frac{\langle b, c \rangle}{|b| \cdot |c|} \quad (6)$$

上式中分母表示两个向量 b 和 c 的长度,分子表示两个向量的内积。

由于 SIFT 算法的特征描述符都是 128 维的向量,且向量中每一个值都为正数,因此余弦的取值在 0 和 1 之间,余弦值越大,夹角越小,说明两个向量相似程度越大,即特征点匹配程度越高。

对特征点进行初匹配后,特征点之间形成了一一映射关系,如图 5-a 所示,假设存在 4 对映射关系,具体为 {A-D, A-E, B-F, C-F},用 SIFT 算法对特征点进行描述时包含了坐标信息,只需要遍历映射关系中某一图像内特征点的坐标(如 A, A, B, C 或 D, E, F, F),如果出现重复,则把重复的映射关系找出来,以其中一组 {A-D, A-E} 为例,分别利用公式 6 计算特征点 A、D 和 A、E 的相似性,排除相似性较小的映射关系。如果映射关系中重复次数大于 2,则只保留其中相似性最大的一对匹配点即可,通过排除从而保证了特征点一对一的匹配关系。

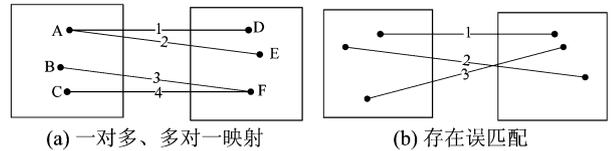


图 5 匹配对举例

Fig. 5 A matching example

2)确定一对一的匹配关系后,并不能确保匹配对为正确的匹配(见图 5-b)。在一组多光谱图像中,各谱段图像经过几何校正后,彼此之间形变极小,因此在上文的基础上,我们可以通过判断特征点的空间距离进一步将存在误配的特征点对去除。

对于某一对匹配点,假设在基准图像中的坐标为 (x_i, y_i) ,在待配准图像中的坐标为 (x'_i, y'_i) ,如果 $|x_i - x'_i|$ 或 $|y_i - y'_i|$ 大于某个值 T,那么我们认为这对匹配点是完全错误的匹配,应该剔除。但由于各谱段图像间形变不一致,T 值若太小,将对形变差别大的图像的结果产生影响;T 值若太大,则不能保证利用空间距离约束的准确度。因此,本文采取动态的 T 值,取所有匹配点对坐标差的平均值。

假设基准图像 A 与待匹配图像 B 的特征点对,经本节步骤 1 提纯后,还保留有 n 对匹配点 $\{(x_1, y_1), (x'_1, y'_1)\}; \dots; \{(x_n, y_n), (x'_n, y'_n)\}$,则其所有匹配点对 x 方向坐标差的平均值 \bar{x} 为:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |x_i - x'_i| \quad (7)$$

y 方向坐标差的平均值 \bar{y} 为:

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - y'_i| \quad (8)$$

得到 \bar{x} 和 \bar{y} 后,再对每一匹配点进行判断,符合条件则为正确的匹配:

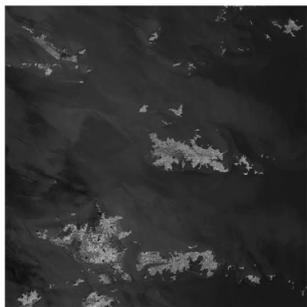
$$Match_k = \begin{cases} 1, & |x_k - x'_k| \leq \bar{x} \text{ 且 } |y_k - y'_k| \leq \bar{y} \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad k \in [1, n] \quad (9)$$

其中, $Match_k$ 表示第 k 对匹配点正确匹配的标志。

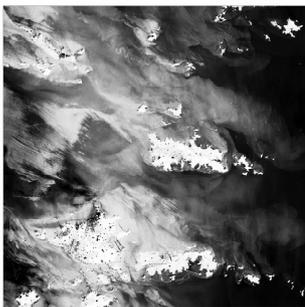
经过此步骤后,特征点匹配的准确性进一步得到提高。最后,在3个特征区域中,对余下的特征点对,根据公式6各挑选出相似性最大的一对特征点,计算仿射变换的参数。

4 配准程度的衡量指标

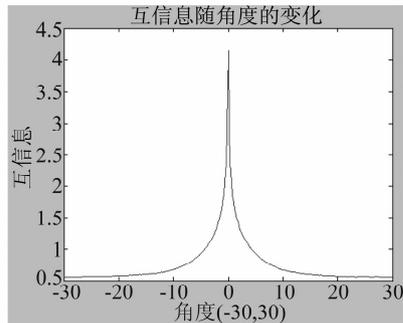
图像配准程度的好坏目前并没有确定一个统一的标准,本文通过比较配准前后图像的互信息和特征点的均方根误差来衡量配准的程度。互信息



(a) 遥感图像



(b) 直方图均衡后



(c) 互信息

图6 互信息衡量配准程度

Fig. 6 Mutual information to measure the degree of registration

4.2 均方根误差^[5](RMSE)

假设图像A和B共有N对正确匹配点, $\{(x_1, y_1), (x'_1, y'_1)\}; \dots; \{(x_N, y_N), (x'_N, y'_N)\}$, 通过计算出的仿射变换的参数,利用公式1,对待匹配图像B中的所有特征点 (x'_k, y'_k) 计算出仿射变换后的坐标值 (X'_k, Y'_k) , $k \in [1, N]$ 。然后用均方根误差来衡量配准精度, RMSE 定义如下:

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N ((x_k - X'_k)^2 + (y_k - Y'_k)^2)}{N}} \quad (11)$$

RMSE 代表了特征点的配准程度,计算的 RMSE 值越小,表明配准精度越高。

从整体上衡量配准的程度,而均方根误差从局部度量配准的精度。

4.1 互信息

互信息^[11]可以描述任意两个随机变量之间的相互关系,即任意变量包含另一个变量的信息多少,互信息在形式上为边缘熵与联合熵之差,可表示为:

$$I(A, B) = H(A) + H(B) - H(A, B) \quad (10)$$

其中, $H(A, B) = H(A) + H(B/A) = H(B) + H(A/B)$

当图像A和B完全配准时, $H(B/A)$ 、 $H(A/B)$ 取得最小值,从而 $H(A, B)$ 最小,则 $I(A, B)$ 最大。因此,可以用互信息来评价两幅图像的配准程度。

如下图所示,先对一幅遥感图进行直方图均衡化处理,然后以 0.2° 为步长,从 -30° 到 30° 进行旋转,计算其与原图的互信息。结果图6-c所示,当角度为0时,互信息最大,二者完全配准。

5 算法流程

遥感图像通常尺寸较大,CBERS-02B 卫星拍摄的多光谱图像大小一般在 7000×7000 像素左右,如果对整体图像提取特征点,不仅相当耗时,而且图像中的海洋区域,背景相对单一,纹理信息简单,不能提取有效的特征点。因此本文利用环形窗口移动法,通过信息熵自动获取特征丰富的区域,并在选定区域中提取特征点,文中对初匹配方法进行了改进,并利用余弦定理和空间约束条件剔除误匹配点,这样不仅可减少运算时间,还提高了匹配准度。最后从中选取最稳定的三对匹配点计算出仿射变换参数,进行配准和插值运算。

算法步骤见图 7:

- 1) 利用环形移动窗口法,自动获取 3 个空间分布均匀的感兴趣区域。
- 2) 利用 SIFT 算法对所选区域提取特征点进行初匹配(图 8-a)
- 3) 利用特征相似性原理和空间距离约束条件去除误匹配(图 8-b)
- 4) 从 3 个区域各自找出 1 对相似程度最高的匹配点,获取其坐标(图 8-c、8-d)
- 5) 根据 3 对坐标点计算变换矩阵参数,进行仿射变化并进行插值运算

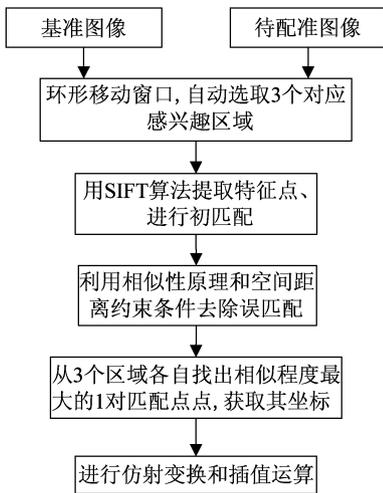


图 7 流程图

Fig. 7 The flow chart

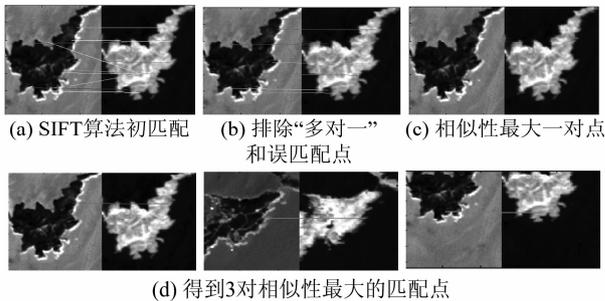


图 8 图像特征点匹配过程

Fig. 8 The matching process of image feature points

6 实验结果及分析

用 Matlab R2011b 在 PC 机 (Pentium (R) 4 2.66GHz、2.0G 内存) 上实现了全部算法并进行了测试。测试图像全部从中国资源卫星应用中心下载,为 CBERS-02B 拍摄的分辨率为 19.5 米的多光

谱图像,图像大小约为 7000×7000 像素。

6.1 实验一

从某一组多光谱图像的 3 谱段与 5 谱段的对应位置截取 256×256 像素大小的图像,先用 SIFT 算法提取特征,再对比文献[10]中算法与本文初匹配方法。基准图像为 3 谱段图像,从中提取了 658 个特征点;待配准图像为 5 谱段图像,从中提取了 637 个特征点。用文献[10]方法进行匹配,得到 179 对匹配点,本文方法得到 136 对匹配点。

上文分析过各谱段间像差差别不大,整体变化相近,因而匹配点边线应该方向一致成水平线,但从图 9-b 中可以看出,存在斜线情况,出现了明显的误匹配。表 1 给出了两种方法时间和准确率的对比。经验证,图 9-a 与图 9-b 完全正确的匹配对为 135 对,文献[10]的方法耗时 0.48s,出现了 44 对错误匹配,主要原因为海水背景单一,特征不明显;本文方法耗时 0.13s,错匹配 1 对,出现在局部小区域海水部分。通过表 1 可以看出,本文结合图像具体情况出发,改进了特征初匹配,不仅提高了匹配的准确率,而且缩短了匹配的时间。

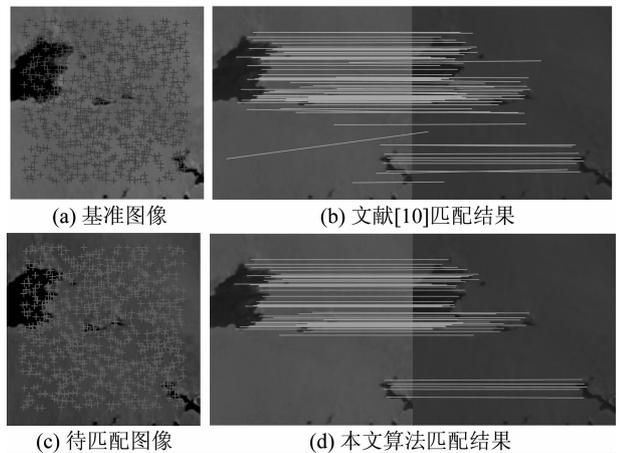


图 9 特征点初匹配结果

Fig. 9 The result of primary feature matching

表 1 本文方法与文献[10]初匹配结果对比

Tab. 1 The results contrast in this article with paper[10]

	匹配点对	准确率	运行时间(s)
文献[10]方法	179	75.4%	0.48
本文方法	136	99.2%	0.13

6.2 实验二

对同一组多光谱图像,以第 3 谱段图像为基准

图像,对4、5谱段图像进行配准,进行4组实验对比,并用互信息和RMSE进行衡量。

(a)直接合成

分别将3、4、5谱段作为R、G、B分量合成一张彩色图像,结果如图10-d所示,为了便于观察合成效果,选取局部图像图进行分析,如图12-a所示。因为是直接合成,可以看出图像中存在着明显的错位痕迹,岛屿边缘的颜色差异较大。本实验结果作为后续实验对比。

(b)手动选取ROI

通过人工选取3个控制点,得到其256×256邻域(图11-a),作为特征提取区域,后续计算按照本文算法流程2-5步进行,对4、5谱段完成配准后,按(a)中方法合成,并取相同位置的局部图进行观察分析。通过观察,对比(a),发现并没有明显的效果改善,依然存在着错位,且岛屿边缘能感觉到颜色差异。

(c)文献[8]方法

文献[8]为了特征在空间分布均匀,采用了特

征网格的方法,按照其论文思想,提取了68个特征网格,网格大小为500×500像素(图11-b),并对每个网格进行特征点提取,然后进行匹配,对所有匹配正确的点用最小二乘法计算仿射变换参数,分别配准后合成。观察其合成后的局部图像(图12-c),没有明显的错位现象,但在岛屿的边缘略能看到颜色差异,说明此方法有较好的配准效果。

(d)本文算法

本文通过环形移动窗口方法(移动窗口大小为1000×1000像素,网格大小为250×250像素),在考虑运算时间尽可能小的前提下,既保证了特征区域的绝对空间均匀,又保证了所选区域信息量丰富。确定特征区域后,从中提取特征点,按本文初匹配方法进行特征点匹配,在对应区域各选择一对相似性最大的匹配点,计算仿射变换参数,配准后合成。观察其合成后的局部图像(图12-d),对比图12-c,岛屿边缘原本存在的颜色差异也基本不见,说明配准效果更好。

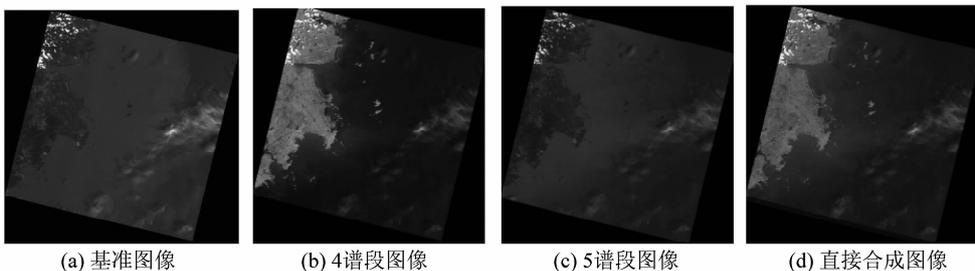


图10 图像配准过程

Fig. 10 The process of image registration

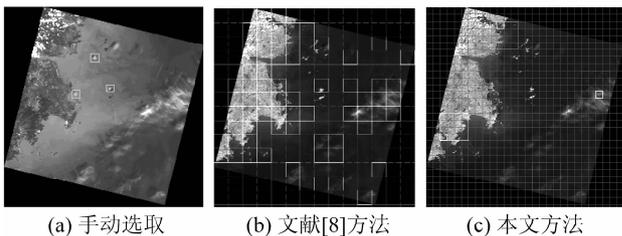


图11 ROI选取结果

Fig. 11 The results of ROI selecting

上文只是通过人眼观察,从视觉效果评价了配准的好坏,为了定量和定性的分析与对比,本文计算了(b)、(c)、(d)中配准前后图像的互信息和正确匹配特征点的RMSE;算法效率上比较了(c)、(d)的运行时间。具体数据见表2:

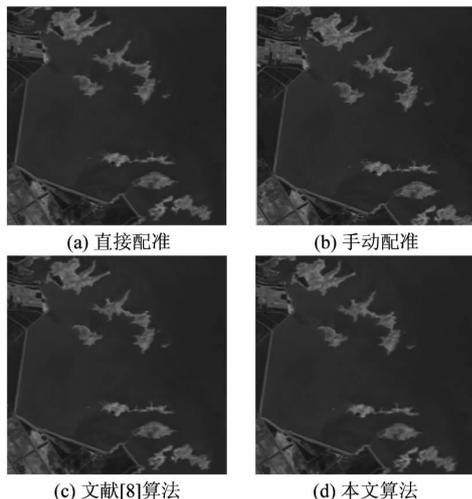


图12 配准结果局部图对比

Fig. 12 The partial image comparison of registration result

表 2 互信息与时间的对比
Tab.2 The comparison of mutual information and time

方法 \ 评价项	互信息		RMSE		时间 (均值 s)
	3 谱段/4 谱段	3 谱段/4 谱段	3 谱段/4 谱段	3 谱段/4 谱段	
配准前	0.671	0.293	1.134	12.371	
(b)	0.676	0.565	1.119	11.135	
(c)	0.688	0.975	0.873	1.032	58.3
(d)	0.701	1.051	0.497	0.683	23.5

对于手动配准,正如引言中所说,大幅面遥感图像的配准,人工的方法依靠经验往往费力,且不能确保得到好的结果。因此,在保证配准精度的前提下,应该用自动快速的方法代替手动操作。文献[8]方法不管是从视觉效果,还是互信息和 RMSE 的比较上,都有了很大的提高,配准效果较好。但它并没有对特征点的位置进行空间判断,对于仿射变换而言,处于同一直线上的点计算出的参数误差往往较大,虽然使用最小二乘法去寻找使整体误差最小的参数,但处于近似直线上的点却影响了配准的精度。本文方法为了避免共线的影响,采用的环形窗法保证了空间分布的绝对均匀,误差更小,且通过改进初匹配和剔除误匹配点,提高了配准的精度,从 RMSE 中数值可以看出,达到了亚像素的精度。对比运行时间,文献[8]中需计算几十个区域的特征点,而本文则只需计算 3 个区域的特征点,且不需所有特征点参与计算,只需 3 对稳定性最大的匹配点对,时间上大大缩短。

7 结束语

本文针对大幅面多光谱图像,提出了一种自动快速的配准方法,无需进行全局特征匹配,根据环形移动窗口,自动寻找到 3 个空间均匀分布的感兴趣区域,并从中提取特征点,通过改进初匹配方法,利用余弦定理和空间约束条件剔除误匹配点,找到匹配程度最大的 3 对点进行配准,在保证精度的前提下,大大节省了运算时间。配准前后的图像通过互信息和均方根误差两个指标来衡量配准的程度。通过大量实验证明,对于大幅面的多光谱遥感图

像,本文的思想和算法不仅提高了配准效率,同时也能保证亚像素级的配准精度。

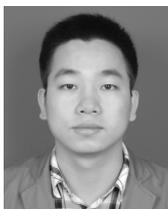
参考文献

- [1] 王永明,王贵锦. 图像局部不变性特征与描述[M]. 北京:国防工业出版社,2010. 79-87.
WANG Yong-ming, WANG Gui-jin. Image Local Invariant Features and Descriptors[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010. 79-87. (in Chinese)
- [2] Anthony A, Lofffeld O. Image Registration Using a Combination of Mutual Information and Spatial Information[C]. IEEE International Conference on Geoscience and Remote Sensing Symposium. Colorado, U. S. A, 2006: 4012-4016.
- [3] Kern J P, Pattichis M S. Robust Multispectral Image Registration Using Mutual-Information Models[J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing. 2007, 45(5): 1494-1505.
- [4] Padfield D. Masked Object Registration in the Fourier Domain[J]. IEEE Transaction on Image Processing. 2012, 21(5): 2706-2718.
- [5] YU Le, ZHANG Deng-rong, 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): 834-848.
- [6] LIN Hui, DU Pei-jun, ZHAO Wei-chang, et al. SUN Hua-sheng. Image Registration Based on Corner Detection And Affine Transformation[C]. 3rd International Congress on Image and Signal Processing(CISP). 2010, 5:2184-2188.
- [7] ZHANG Kai, LI Xu-zhi, ZHANG Jiu-xing. A Robust

Point-Matching Algorithm for Remote Sensing Image Registration[J]. IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters. 2013, pp (99): 1-5.

- [8] 徐丽燕,张洁玉,孙巍巍,等. 大幅面多光谱遥感图像快速自动配准[J]. 计算机科学. 2012, 39(2):61-65.
XU Li-yan, ZHANG Jie-yu, SUN Wei-wei, et al. Fast and Automatic Registration Method for Multi-spectral Remote Sensing Images [J]. Computer Science. 2012, 39(2): 61-65. (in Chinese)
- [9] Lowe D G. Object recognition from local scale-invariant features[C]. International Conference on Computer Vision. Corfu, Greece, 1999: 1150-1157.
- [10] Lowe D G. Distinctive image features from scale2invariant key-points[J]. International Journal of Computer Vision. 2004, 60(2): 91-110.
- [11] PLUIM J P W. Mutual information based registration of medical images: a survey [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging. 2003, 22(8): 986-1004.

作者简介



龚志成 男,1988年生,湖南常德人,硕士研究生。主要研究方向为模式识别、遥感图像处理等。

E-mail:rik_y_cheng@qq.com



裴继红 男,1966年生,甘肃武威人,教授、博士生导师。主要从事智能信息处理、模式识别、视频图像分析、THz-TDS信号和图像分析等方面的研究工作。

E-mail:jhpei@szu.edu.cn



谢维信 男,1941年生,广东花都人,教授、博士生导师,国家级有突出贡献专家。主要研究方向为智能信息处理、模糊信息处理、雷达目标识别、图像处理与模式识别等。E-mail:wxxie@szu.edu.cn