

# 多源遥感影像自动配准技术的研究进展

王瑞瑞<sup>①③</sup>, 马建文<sup>②</sup>, 陈雪<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101; <sup>②</sup> 中国科学院对地观测与数字地球科学中心, 北京 100094;  
<sup>③</sup> 中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 综合利用多种不同遥感卫星获取的数据, 可以较为全面地反映观测对象的几何和物理特性, 有利于后续影像融合、影像分类等操作的进行, 但是不同传感器设计各异, 使多源影像自动配准难度重重。为此本文首先对自动配准的流程进行简要介绍, 进而对国内外多源遥感影像的自动配准技术进行了分析和评述, 最后总结了多源遥感影像自动配准技术面临的主要问题, 并展望了其未来的发展方向。

**关键词:** 多源遥感影像; 自动配准; 特征提取

**doi:** 10.3969/j.issn.1000-3177.2011.03.023

**中图分类号:** TP79    **文献标识码:** A    **文章编号:** 1000-3177(2011)115-0121-07

## The Research State of the Automatic Registration Techniques of Multi-sensor Remote Sensing Imagery

WANG Rui rui<sup>①,③</sup>, MA Jian wen<sup>②</sup>, CHEN Xue<sup>①</sup>

(<sup>①</sup> Institute of Remote Sensing Applications, CAS, Beijing 100101;

<sup>②</sup> Graduate University of CAS, Beijing 100049;

<sup>③</sup> Center for Earth Observation and Digital Earth, CAS, Beijing 100190)

**Abstract:** By integrating the multi-sensor images together, the geometry and physical features of observation object can be depicted roundly, which makes the subsequent processing such as image fusion, image classification and so on more convenient. But the different design between sensors causes a big difficulty in automatic registration between multi-sensor images. In this paper, first the flow of automatic registration is introduced briefly, then the techniques of automatic registration of multi-sensor remote sensing images are reviewed and analyzed. At last the difficulties of automatic registration of multi-sensor images are summarized, and the prospects are presented.

**Key words:** multi-sensor remote sensing imagery; automatic registration; feature extraction

### 1 前言

随着遥感技术的发展, 遥感数据获取的来源更加丰富, 国内外多种类型的传感器研制成功并投入使用。遥感数据向着多角度、多尺度、多波段、多类型的方向发展, 如何自动快速地实现多源遥感影像配准成为运行系统探索的基础研究课题。在实际应

用中, 由于天气状况的多变性、地形的复杂性以及应用的多样性, 单一传感器类型的遥感数据往往不能提供足够的信息以满足应用的需求, 综合利用不同遥感卫星获取的数据, 可以较为全面地刻画观测对象的几何和物理特性, 这就需要将多种传感器获取的多角度、多尺度、或者多时相的遥感影像融合在一起, 得到更加丰富完整的信息, 提取更为精确的信息

收稿日期: 2010-04-08    修订日期: 2010-05-05

基金项目: 863 项目(2007AA12Z157)、国家自然科学基金(40901234)和中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿项目专项项目(08S01100CX)。

作者简介: 王瑞瑞(1983~), 女, 主要研究方向为多源遥感图像的智能处理。

**E mail:** wangruigis@163.com

指数,从而快速地制定出更为合理的决策方案。

多源遥感影像的自动配准能够方便快捷地将多种数据来源的遥感影像配准在一起,为多源遥感信息的优势互补,综合利用提供了一个很好的途径。多源遥感影像的自动配准目前已经成功地应用于影像融合<sup>[1]</sup>、影像分类<sup>[2]</sup>、变化检测<sup>[3]</sup>、环境检测<sup>[4]</sup>、以及地图更新<sup>[5]</sup>等方面,尤其对于突发性事件的应急处理和灾害评估有着极为重要的作用<sup>[6]</sup>。由于多源遥感影像由不同的传感器获取,记录的分别是地物对不同波段的响应值,表征不同的物理特性,像元表现形式差异较大,因此提取光学影像、雷达影像等多源遥感影像中共同的相似性测度或者同名特征就成为一个关键的问题,也是当前研究的热点问题。另外,配准影像之间在时相、拍摄角度、分辨率方面的差异,也给多源遥感影像之间的高精度配准增加了难度。

本文对多源遥感影像自动配准技术的研究进展进行了系统地评述,首先简单介绍了影像配准的基本流程,然后对多源遥感影像的自动配准技术进行了综述,分析了各种方法的适用范围和优缺点;最后总结了多源遥感影像自动配准技术目前所存在的主要问题,并对其未来进行了展望。

## 2 影像配准的基本流程

影像配准是指在两幅(或多幅)在不同的时间、从不同的角度、由不同的传感器获取的影像之间识别同名点,进而将其叠加起来的操作,主要分为以下4个步骤<sup>[7]</sup>:特征提取,特征匹配,配准模型的确定,影像重采样。

(1) 特征提取。影像特征主要包括统计特征和空间特征。统计特征是对影像某个区域中所有像元灰度值进行统计提取得到,主要应用在基于区域的自动配准中。常用的统计特征包括:差平方和,协方差,相关函数,归一化互相关系数,互信息,相位相关等,这些将在第三节中进行详细介绍。空间特征主要包括点、线、面以及由点、线和面组合成的复合特征,主要应用在基于特征的自动配准中。提取的特征应比较明显,具有较好的鲁棒性,对配准影像在角度、尺度、色调等方面的差异具有抗干扰和特征选取的不变性<sup>[8]</sup>。

(2) 特征匹配。统计特征主要是根据对应区域统计特征的相似性来选取最佳匹配值;空间特征首先由一组参数即特征描述符来表达,然后基于特征描述符之间的相似性或者距离来选取同名特征。

(3) 配准模型的确定。首先根据基准影像和待配准影像的类型确定具体采用的配准模型以及参数计算的方法,然后根据同名特征匹配点对计算配准模型的参数。

(4) 影像重采样。根据配准模型对待配准影像进行转换,对位于非整数行列上的影像像素灰度值,选取一种内插方法进行计算得到,最后得到配准后的影像。

影像配准的流程图如图1所示,本文着重讨论近年来国内外多源遥感影像自动配准所采用的技术,对于配准模型和影像重采样方面不做详细介绍。

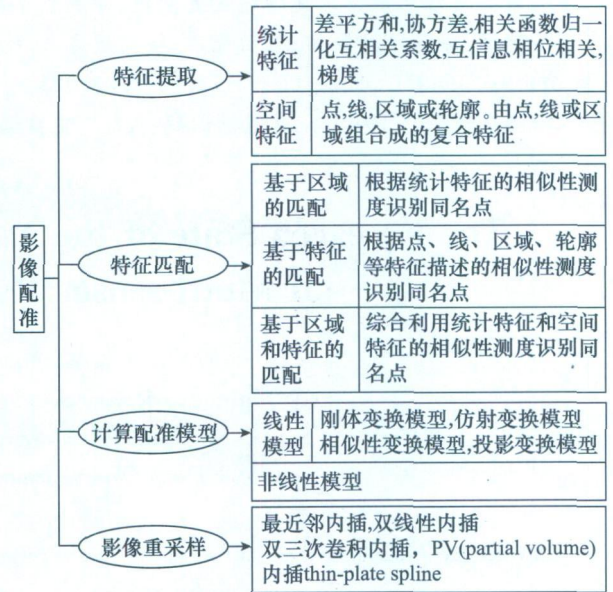


图1 影像配准流程图

## 3 多源遥感影像的自动配准技术

近年来国内外许多学者对多源遥感影像的自动配准进行了深入地研究,提出了各种方法,主要分为3类:基于区域的自动配准法,基于特征的自动配准法<sup>[9]</sup>,结合区域和特征的自动配准法。

### 3.1 基于区域的自动配准法

基于区域的自动配准法主要是利用了一定区域中灰度的统计特征信息来识别同名特征点,通常使用的灰度统计信息包括对应像素的差平方和<sup>[10]</sup>、相关函数<sup>[11]</sup>、归一化互相关系数<sup>[12]</sup>、互信息<sup>[13]</sup>、梯度<sup>[14]</sup>、相位相关<sup>[15]</sup>等。在基于区域的自动配准中,如果配准影像之间存在角度和尺度上的偏差,在待配准影像中同名特征点搜索范围的确定是一个突出的问题。

由于差平方和与相关函数直接针对影像像元灰度值的统计信息进行匹配,没有去除配准影像整体

色调差异的影响,配准结果的精度容易受色调差异、强度变换和噪声的干扰,因此主要适用于同一传感器获取影像之间的配准<sup>[10-11]</sup>。梯度信息将地物的灰度分布和结构信息结合起来,相比于差平方和,对配准影响色调的差异具有一定的鲁棒性。Shams 等<sup>[21]</sup>根据梯度信息确定配准的初始参数,然后根据互信息进行精配准。采用医学影像,和航空影像进行实验,针对角度偏差,和尺度偏差具有一定的鲁棒性。Mei 和 Porikli<sup>[16]</sup>采用联合梯度作为相似性测度,对航空影像之间、航空影像和红外影像之间进行了配准,但是配准之前,预先对同一尺度的红外影像进行了角度旋转和平移。归一化互相关系数首先对配准影像的灰度值进行归一化处理,然后计算基准影像和待配准影像像元灰度值之间的互相关系数,对影像之间色调上的差异具有一定的鲁棒性,目前已经成功应用于同一传感器获取的影像之间<sup>[12,17]</sup>,以及不同传感器获取的遥感影像之间的配准<sup>[18]</sup>。Wong 和 Clausi<sup>[15]</sup>首先根据相位一致性提取控制点,进而确定搜索窗口的尺寸和中心点,采用相关系数的公式进行匹配,文中对同一波段影像组合、同一传感器不同波段影像组合、ETM+ 和 SAR 影像组合,进行了实验。互信息是基于信息论的相似性度量方法,对于配准的影像之间的灰度统计分布没有限制,它通过计算配准影像的熵和联合熵,描述了两个变量之间的相互依赖程度。Chen 等<sup>[20]</sup>采用互信息作为相似性测度对 IRS PAN (Indian Remote Sensing Satellite Panchromatic) 影像和 Radarsat SAR 影像组合、Landsat TM 和 IRS Pan 影像组合进行了实验。Inglada 等<sup>[18]</sup>采用归一化互相关系数和互信息两种相似性测度,对同一分辨率的 SPOT 影像和 ERS-2 SAR 影像进行了实验。

在基于区域的配准法中,还有一些方法利用傅立叶变换将灰度图像转换到频域,根据频域中的信息搜索最佳匹配点,通过对相位相关技术<sup>[15]</sup>的扩展,求解影像配准模型的参数。Castro 和 Morandi<sup>[22]</sup>提出了一种相位相关的改进法,首先求出旋转角度,进行旋转补偿,使问题重新回到只有平移的情况,然后根据相位相关求得平移量。Mone<sup>[23]</sup>根据功率谱的旋转不变性原理提出了角度逐级递增试探法,对多源遥感影像进行了配准实验。

以上研究表明,差平方和与相关函数描述的是影像的灰度统计信息,主要适用于配准同一传感器获取的遥感影像;梯度信息对不同光学遥感影像之间的配准具有一定的鲁棒性,但是雷达影像与光学

影像成像方式不同,梯度信息的表现形式差异较大,因此不适用于光学和雷达影像之间的配准;归一化互相关系数对配准影像进行了归一化处理,对于不同光学遥感影像之间配准,以及光学和雷达影像之间配准具有一定的鲁棒性;同其他灰度统计信息相比,互信息测度对于多源遥感影像之间的自动配准具有较高的鲁棒性<sup>[19]</sup>,并开展了一定的应用。频域相关技术对噪声不敏感,计算复杂度小,但是依赖于傅立叶变换的不变性质,所以只适用于有相应定义形式(如旋转、平移等)的影像转换中,一般应用于仿射变换的影像配准中,对于影像变换形式较复杂的情况无能为力。因此,适用于多源遥感影像自动配准的相似性测度以互信息和归一化互相关系数为主。

针对配准影像之间存在的角度和尺度偏差,基于区域的自动配准法主要是通过地理坐标、传感器初始参数、人工选取控制点、梯度等初始信息进行粗配准,预先消除角度和尺度上的偏差,确定特征点的大致搜索范围,然后选取相似性测度进行配准。基于区域的自动配准技术根据像元灰度的统计信息、熵或相位信息进行匹配,不需要对配准影像提取特征,提高了配准算法的估计精度和鲁棒性。但是,由于最佳特征点的搜索需要遍历搜索窗口,将周围邻域内的像素都参与计算,导致计算量大,时间复杂度高。

### 3.2 基于特征的自动配准法

基于特征的自动配准法,主要分为 3 个步骤:①提取配准影像之间的同名特征;②利用一组参数对同名特征进行描述;③利用参数描述符进行特征配准。提取的特征应具有相似性、唯一性、易检测性和抗干扰性,且空间分布均匀<sup>[7-8]</sup>。常用的图像特征包括点、线、面(或者区域)等。

点特征包括角点、线段交点、水域、油田等区域的中心点、高曲率点、小波变换的局部极大值点等。最有名的点特征提取算法是 Harris 检测算子、Forstner 算子和 Moravec 算子等。小波变换具有良好的局部特性和多尺度分析的特点,对图像进行小波变换,计算小波变换的模值,模的局部极大值即对应图像中的边缘点。Zavorin 和 Moigne<sup>[24]</sup>针对不同光学传感器获取的遥感影像,分析了几种小波变换提取同名特征点的优缺点,并进行了配准实验。SIFT (Scale Invariant Feature Transform) 是 Lowe 于 1999 年提出的,并于 2004 年进行了改进<sup>[25-26]</sup>,改进后的 SIFT 算法提取的特征点对影像之间的尺度、角度差异具有一定的鲁棒性。Zheng 等<sup>[27]</sup>提取了 SIFT 特征点,并对 SIFT 特征点梯度方向的取值

进行改进,将其映射到 $[0, 180^\circ]$ 之间,对可见光和近红外影像进行了配准。

线特征是图像中明显的线段,包括道路、海岸线、线状地物等,线特征一般表征为线的端点或中点。常用的线特征提取算子包括 Roberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、Canny 算子等。Shekhar 等<sup>[28]</sup>提出了一种特征一致性的方法,首先采用 Canny 算子提取轮廓边缘特征,然后根据多边形轮廓的相似性得到线特征,根据多边形轮廓的曲率提取出点特征,针对雷达和可见光影像进行了配准实验,结果表明该方法配准的精度较低,对于需要高精度配准的应用,可以作为粗配准,提供初始配准参数。近年来发展起来的基于新理论的图像边缘提取方法包括小波变换<sup>[24]</sup>、数学形态学等。

区域特征是具有高对比度的闭合区域的投影,如湖泊、阴影、森林等。区域特征一般利用其重心点作为特征点,或者根据形状相似性测度来进行匹配求得同名区域。区域特征一般采用分割的算法提取,常用的分割方法包括阈值法、基于形态学区域增长法等。Goshtasby 等<sup>[29]</sup>采用迭代阈值方法对影像进行分割,提取具有封闭轮廓的区域特征,定义区域的重心点为控制点,首先根据聚类法进行区域特征的粗匹配,然后采用形状矩阵对区域进行描述,进行子像素级的精配准,文中对可见光和近红外影像进行了实验,但是仅适用于包含封闭轮廓特征的影像配准。Li 等<sup>[30]</sup>针对光学影像采用二维阈值法提取轮廓特征;针对 SAR 影像采用基于主动轮廓模型的弹性轮廓匹配法,将光学影像的轮廓特征作为初始值,迭代运算得到 SAR 影像的轮廓特征;然后根据链码和形状参数对 TM 和 SPOT 影像, TM 和 (Seasat) SAR 影像, SPOT 和 (Seasat) SAR 影像进行了配准。

根据实际应用的需要,多数学者将点、线和区域特征结合起来,共同用于多源遥感影像之间的配准。Dare and Dowman<sup>[31]</sup>分三步来实现光学和 SAR 影像之间的配准:首先手工选取特征点,进行初始配准,粗略消除尺度和角度偏差;然后提取区域特征,根据形状参数和空间分布进行匹配,将空间特征和相似性测度结合起来,提高了粗配准的精度;最后采用基于微分算子的边缘提取算法提取边缘特征进行精配准;文中采用 SPOT PAN 和 ERS-1 SAR 影像进行了实验,但是提取的特征多为闭合区域,或者结构信息丰富的区域。Fedorov 等<sup>[32]</sup>提取闭合区域的边缘,对 SPOT 和 TM 影像进行了配准。Zhang 等<sup>[33]</sup>

首先提取区域特征,采用 PCA 和形状矩阵进行描述,根据形状相似性和方向一致性进行粗配准;然后提取点特征,结合非均匀有理 B 样条曲线的理论,实现精配准;文中对光学和 SAR 影像进行了实验。

除了点、线、区域特征之外,还有一种以能量最小化为准则的全局特征提取法,其特征是运用严格的数学方法对问题进行分析,建立一个代价函数,以代价函数最优为依据,提取特征,如遗传算法,神经网络分析法,线性规划法等。Wen 等<sup>[34]</sup>基于轮廓边缘的点构建一种能量测度,进而建立一个全局能量函数,采用遗传算法寻求初始最优值,然后采用线性规划的单纯形法得到最终的最优值,求解得到转换模型的参数,对不同时相的 SPOT 影像, SPOT 和 SAR 影像,进行了实验。DeMarco 等<sup>[35]</sup>提出了一种参数空间采样密度法,进行最佳配准参数的自动选取,整个算法过程包括:平移变换,单向 Hausdorff 距离测量,分级网格搜索, Canny 边缘检测算子,文中对 SAR 和 EO (electrooptical) 影像进行了配准。

从以上研究可以看出,由于点状地物在不同尺度的配准影像上表现形式不同,比如房屋在大尺度影像上能显示出细部结构,而在小尺度影像仅表现为一个点,因此基于 Harris 检测算子、Forstner 算子和 Moravec 算子等提取的点特征对于尺度偏差鲁棒性很低。基于小波变换提取的多尺度边缘点,虽然对于具有尺度偏差的影像之间配准具有一定的鲁棒性,但是尺度偏差不能大于一定的阈值;由于道路、海岸线、线状地物等特征随着配准影像的时相、尺度而变化,因此对配准影像之间在时相、角度上的差异鲁棒性差,配准精度低。轮廓线虽然对于配准影响之间的尺度差异具有较高的鲁棒性,但是从多源遥感影像中提取的轮廓线特征精度偏低,导致配准精度不高;基于轮廓和闭合区域的配准技术对于多源遥感影像具有一定的鲁棒性,然而配准的结果依赖于边缘提取和分割技术,如果配准影像的尺度较大,则对影像进行分割或者边缘提取所耗费的时间也会增加。多数学者倾向于将点、线、区域特征结合起来,优势互补,共同用于提取多源遥感影像之间的配准。与基于区域的配准技术相比,特征受几何变形和辐射差异的影响较小,配准的结果更加精确;但是配准的结果依赖与特征提取的精度,且特征提取的计算量较大,需要预先指定一些参数或者阈值。因此基于特征的配准法适用于特征密集或者分布均匀的影像,而对于特征稀疏以及特征分布不均衡的影像配准结果较差。

### 3.3 基于区域和特征的自动配准法

基于区域的自动配准技术需要进行大量的计算和比较, 过于依赖图像的灰度统计特性, 对于具有角度和尺度偏差影像之间的配准, 对应于目标窗口的匹配窗口无法快速高效地精确定位。与像元的灰度信息相比, 特征对于几何变形、辐射差异等因素的鲁棒性强, 因此基于特征的自动配准结果更加精确, 但是配准的精度和效率依赖于特征提取的精度和计算量, 适用于特征信息丰富的遥感影像。为了克服以上两大类方法的弊端, 近年来一些研究者将两种方法结合起来, 取得了一定的成果。基于区域和特征结合的自动配准技术主要分为两大类: ①首先提取点特征, 然后基于点特征周围的邻域提取相似性测度进行匹配; ②首先提取边缘或者区域特征, 根据形状参数选取一组参数对特征进行描述, 然后拟合一个基于参数的相似性测度进行匹配。

Dare and Dowman<sup>[31]</sup> 提取面特征, 根据形状参数和空间分布对面特征进行描述, 将空间特征和相似性测度结合起来, 进行了粗配准, 然后采用基于微分算子的边缘提取算法提取边缘特征进行精配准; 最后采用 SPOT PAN 影像和 ERS-1 SAR 影像进行了实验。Bentoutou 等<sup>[36]</sup> 首先根据边缘信息提取控制点, 然后根据相似性测度进行模板匹配, 采用不同角度的 SPOT 影像组合和不同角度的 SAR 影像组合进行了实验。Wen 等人<sup>[37]</sup> 将配准后特征点之间的欧式距离作为空间信息与相似性测度结合起来, 通过构建匹配矩阵, 拟合在一个函数式里, 通过求解该函数的最大值来寻找配准的最佳特征点, 对 TM 不同波段之间的影像、TM 和 SPOT 影像进行了配准实验。郭丰俊等<sup>[38]</sup> 通过小波变换提取图像的多尺度特征, 然后基于差平方和进行了匹配。

基于区域和特征的自动配准技术通过提取特征, 然后基于特征提取相似性测度进行区域配准, 不仅将配准影像的结构信息和灰度统计信息结合了起来, 而且方便快捷地定位了相对于目标窗口的匹配范围, 在缩短同名特征搜索时间的同时提高了它的鲁棒性。由于小波变换具有良好的局部特性和多尺度特性, 因此将小波变换与互信息等相似性测度结合起来用于配准多源遥感影像, 精度较高, 并取得了一定的应用。

## 4 总结与展望

### 4.1 多源遥感影像自动配准中存在的问题

近年来, 国内外学者对多源遥感影像自动配准

技术进行了广泛和深入地研究, 针对不同类型的配准影像提出了相应的解决方案, 在影像融合、灾害等应急事件的处理等方面做出了重要的贡献, 同时推动了遥感影像智能处理的发展。但是在理论研究和实际应用中依然存在着以下几个问题。

(1) 亚像素级精度的多源遥感影像配准的实现。多源遥感影像自动配准的精度将直接影响后续操作的结果, 它在达到亚像素级配准精度的过程中困难重重, 这主要由以下几个原因导致: ①由于多源遥感影像由不同的传感器获取, 记录的是地物对不同波段的响应值, 像元强度信息差异较大; 很多研究者对于光学和 SAR 影像的配准提取了一些共同的特征, 但大多是具有封闭轮廓的河流、湖泊等; 另外根据配准影像中的同名特征, 比如统计特征、轮廓特征等, 很难得到高精度的同名匹配点。②多源遥感影像一般都具有不同的像元尺度分辨率, 如果配准影像之间的空间分辨率差值过大, 同一地物的表现形式就会不同, 比如在高分辨率影像上能详细地记录一条河流丰富的纹理特征, 而在低分辨率影像上仅记录为一条与该河流轮廓类似的曲线, 因此无法精确地定位同名特征, 从而导致配准精度过低。③由于天气、地形等原因, 需要配准的多源遥感影像可能存在信息模糊或者缺失的情况, 使同名特征的提取比较困难, 从而影响最终的配准精度。

(2) 自动配准的实现。自动配准是指不需要人工干预, 仅根据既定的程序自动完成配准的技术, 是实时融合系统、应急处理系统等工作的前提条件。目前多源遥感影像的自动配准技术大多是半自动的, 需要少量的人工干预, 根据已知的传感器参数、空间信息等初始信息进行粗配准, 无法实现全自动的配准。

(3) 快速自动配准的实现。在实际应用中, 除了需要自动配准技术以外, 还需要快速的配准技术作为支撑。首先, 基于区域的自动配准技术在匹配窗口中搜索同名特征点时, 需要遍历窗口的大部分区域甚至整个区域, 这是非常耗时的; 基于特征的自动配准技术的时间复杂度随着提取同名特征的数目呈几何级增长, 如果同名特征数目繁多, 配准的复杂度就会增大, 反之, 虽然配准的复杂度降低了, 但配准的精度无法得到保障。其次, 多源遥感影像之间角度和尺度上的偏差对快速配准的实现也有着重要的影响。对基于区域的自动配准技术, 角度和尺度上的偏差使特征点大致搜索范围的确定更加复杂; 对基于特征的自动配准技术, 为了模拟特征的多尺度特性, 角度和尺度上的偏差使同名特征的数目大大

增加,从而增加了整个配准过程的复杂度。另外,遥感影像数据量一般比较大,也给快速自动配准增加了一定的难度。

#### 4.2 多源遥感影像自动配准技术的发展方向

目前国内外学者对多源遥感影像的自动配准技术进行了很多研究,在相关文献中提出了多种算法,但大都是针对某一种特定的应用提出的,这使得自动配准的算法较多但却不成体系,且算法的鲁棒性不够强。因此将来的多源遥感影像自动配准技术不能仅是研究发展新的算法,还应该考虑如何集成现有算法的优点,发展更为通用的多源遥感影像自动配准算法。

不存在变形的多源遥感影像之间配准主要解决角度偏差、尺度偏差、位移偏差3方面的问题。针对尺度偏差的解决方案,以具有多尺度特性的小波变换、金字塔、轮廓滤波等为主;针对角度偏差的解决方案包括:提取特征点周围邻域内的梯度直方图(比如SIFT特征提取算法);方向滤波等;针对位移偏差的解决方案有傅立叶梅林变换等;存在变形的多源遥感影像之间配准主要通过选取B样条、薄板样条等多种插值算法实现。因此将来的多源遥感影像配准技术可以将针对各种问题的解决方案集成起来,综合利用。

为了满足实际应用中实时处理的需求,快速地实现自动配准的过程,这就需要大力借鉴遗传算法、神经网络等先进的智能优化技术实现配准参数的优

化搜索。而影像配准寻找最优配准参数是一个复杂的、计算量很大的优化问题,为了进一步提高配准的精度和速度,不仅需要对智能优化算法的原理进行深入研究,还需要研究并行、串行等技术,实现算法软件的高效率开发。除此之外,我们还可以利用利用基于高速数字信号处理器(DSP)的硬件系统来实现实时的自动配准技术。

为了提高配准的精度,除了改进特征提取和特征匹配的技术之外,还需要对配准模型和重采样算法进行深入研究。尤其是针对大尺度偏差或图像非线性畸变以及严重的几何校正残余误差等情况下的影像配准,如何根据匹配结果实现基准影像和待配准影像之间的高精度配准是一个重要的问题,这就需要根据配准影像的实际情况和应用目的建立对应的配准模型。另外,现有的重采样方法在配准影像存在畸变等情况下不能满足应用的需求,根据配准模型采样后,图像变得模糊,或者呈扭曲状,因此针对特定的应用,还需要研究新的重采样算法。

另外,多源遥感影像自动配准涉及到遥感原理、模式识别、数字图像智能处理、信号处理等多方面的知识,针对多源遥感影像自动配准中关键问题的解决技术,却没有一个系统的理论指导,因此研究并建立新的理论框架,以提高多源遥感影像配准算法的鲁棒性、自动化程度、运算速度和适用性也是将来的一个发展方向。

#### 参考文献

- [1] B. Ma, S. Lakshmanan, A. O. Hero. Simultaneous detection of lane and pavement boundaries using model based multi sensor fusion [J]. IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2000, 1(3): 135- 147.
- [2] F. Melgani, B. A. R. Al Hashemy, S. M. R. Taha. An explicit fuzzy supervised classification method for multispectral remote sensing images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2000, 38(1): 287- 295.
- [3] M. J. Carlotto. Detection and analysis of change in remotely sensed imagery with application to wide area surveillance [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(1): 189- 202.
- [4] P. J. Du, H. P. Zhang, C. Pan, et al. Applications of multi source remote sensing information to urban environment monitoring in mining industrial cities [C]//Urban Remote Sensing Joint Event, 2007: 1- 12.
- [5] F. Wallner, R. Graf, R. Dillmann. Real time map refinement by fusing sonar and active stereo vision [C]//Proceedings International Conference on Robotics and Automation, Computer Graphics. 1995(3): 2968- 2973.
- [6] M. Pesaresi, A. Gerhardinger, F. Haag. Rapid damage assessment of built up structures using VHR satellite data in tsunami affected areas [J]. International Journal of Remote Sensing, 2007, 28(13): 3013- 3036.
- [7] B. Zitová, J. Flusser. Image registration methods: A survey [J]. Image and Vision Computing, 2003(21): 977- 1000.
- [8] W. Förstner. A feature based correspondence algorithm for image matching [J]. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, 1986, 26(3): 150- 166.
- [9] L. G. Brown. A survey of image registration techniques [J]. ACM Computing Survey, 1992, 24(4): 325- 376.
- [10] P. Thévenaz, U. E. Ruttimann, M. Unser. A pyramid approach to subpixel registration based on intensity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1998, 7(1): 27- 41.
- [11] A. Goshtasby, S. H. Gage, J. F. Bartholic. A two stage cross correlation approach to template matching [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1984(PAMI 6): 374- 378.

- [12] T. Kim, Y. Im. Automatic satellite image registration by combination of matching and random sample consensus [J]. IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing, 2003, 41( 5) : 1111- 1117.
- [13] F. Maes, A. Collignon, D. Vandermeulen, et al. Multimodality image registration by maximization of mutual information [J]. IEEE Transactions on Medical Imaging, 1997(16) : 187- 198.
- [14] R. Shams, R. A. Kennedy, P. Sadeghi, R. Hartley. Gradient intensity based registration of multi modal images of the brain [C]//IEEE 11th International Conference on Computer Vision (ICCV 2007), 2007.
- [15] A. Wong, D. A. Clausi. ARRSI: Automatic registration of remote sensing images [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45( 5) : 1483- 1493.
- [16] X. Mei, F. Porikli. Fast image registration via joint gradient maximization: Application to multimodal data [C]//SPIE Conference Elector Optical and Infrared Systems Technology and Applications, 2006.
- [17] D. K. Karna, S. Agarwal, S. Nikam. Normalized cross correlation based fingerprint matching [C]//Proceedings 5th International Conference on Computer Graphics, Imaging and Visualisation, Bangkok, Thailand, 2007: 229- 232.
- [18] Inglada J, Muron V, Pichard D, et al. A analysis of artifacts in subpixel remote sensing image registration [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2007, 45( 1) : 254- 264.
- [19] J. Inglada. Similarity measures for multisensor remote sensing images [C]// International Geoscience and Remote Sensing Symposium 2002(IGARSS 02), Toronto, Canada, 2002: 24- 28.
- [20] H. M. Chen, M. K. Arora, P. K. Varshney. Mutual information based image registration for remote sensing data [J]. International Journal of Remote Sensing, 2003, 24( 18) : 3701- 3706.
- [21] R. Shams, P. Sadeghi, R. A. Kennedy. Gradient intensity a new mutual information based registration method [C]//IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 07), 2007: 17- 22.
- [22] E. D. Castro, C. Morandi. Registration of translated and rotated images using finite Fourier transform[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1987( 9) : 700- 703.
- [23] J. L. Mone. Parallel registration of multisensory remotely sensed imagery using wavelet coefficients[C]//SPIE, 1994: 432- 443.
- [24] I. Zavorin, J. L. Maigne. Use of multiresolution wavelet feature pyramids for automatic registration of multisensor imagery[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2005( 14) : 770- 782.
- [25] D. G. Lowe. Distinctive image features from scale invariant keypoints [J]. International Journal on Computer Vision, 2004, 60(2): 91- 110.
- [26] D. G. Lowe. Object recognition from local scale invariant features [C]//International Conference on Computer Vision, Corfu, Greece, 1999: 1150- 1157.
- [27] Y. Zheng, Z. G. Cao, Y. Xiao. Multi spectral remote image registration based on SIFT [J]. Electronics Letters, 2008, 44( 2) : 107- 108.
- [28] C. Shekhar, V. Govindu, R. Chellappa. Multisensor image registration by feature consensus [J]. Pattern Recognition, 1999, 32( 1) : 39- 52.
- [29] A. Goshtasby, G. C. Stockman, C. V. Page. A region based approach to digital image registration with subpixel accuracy [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1986, 24( 3) : 390- 399.
- [30] H. Li, B. S. Manjunath, S. K. Mitra. A contour based approach to multisensor image registration [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995, 4( 3) : 320- 334.
- [31] P. Dare, I. Dowman. An improved model for automatic feature based registration of SAR and SPOT images [J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2001(56) : 13- 28.
- [32] D. Fedorov, L. M. G. Fonseca, C. Kenney, et al. Automatic registration and mosaicking system for remotely sensed imagery [C]//Conference on Image and Signal Processing for Remote Sensing VIII, Agia Pelagia, Crete, Greece, 2002: 24- 27.
- [33] Z. H. Zhang, C. H. Pan, M. Songde. An automatic procedure for SAR-optical satellite image registration based on multi layer feature matching strategy [C]//Proceedings of the International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (SPACS 2004), 2004: 574- 580.
- [34] G. Wen, D. Li, X. Yuan. A global optimal registration method for satellite remote sensing images [C]//Proceedings International Society for Photogrammetry and Remote Sensing Commission III Symposium, 2002.
- [35] S. P. DelMarco, V. Tom, H. F. Webb. A Theory of automatic parameter selection for feature extraction with application to feature based multisensor image registration [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2007, 16( 11) : 2733- 2742.
- [36] Y. Bentoutou, N. Taleb, K. Kpalma, et al. An automatic image registration for applications in remote sensing [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43( 9) : 2127- 2137.
- [37] G. Wen, J. Lv, W. Yu. A high performance feature matching method for image registration by combining spatial and similarity information [J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2008, 46( 4) : 1266- 1277.
- [38] 郭丰俊, 杨新, 施鹏飞. 基于小波变换的多尺度图像匹配算法 [J]. 红外与激光工程, 1999, 28( 4) : 30- 33.