

文章编号 :1001 - 2486(2004)02 - 0035 - 06

一种基于图像分类的遥感图像配准方法*

雷琳, 蒋咏梅, 匡纲要

(国防科技大学电子科学与工程学院, 湖南长沙 410073)

摘要 遥感图像配准是遥感图像融合中最重要的预处理步骤。寻找适应性强、精度高、计算快的配准算法一直是研究的核心问题。在研究现有配准算法的基础上,提出了一种基于图像分类的特征匹配方法。该方法在基于控制点的多项式粗配准的基础上,利用分类图像相关实现了基于仿射变换模型的精配准。实验结果表明,对于同质和异质遥感图像,此方法的配准精度都达到了子像素级,而计算量与传统的基于灰度相关的方法和基于特征匹配的方法相比则大为减少。

关键词 图像分类 粗配准 精配准 相关

中图分类号 :TP75 文献标识码 :A

A Method of the Remote Sensing Image Registration Based on Image Classification

LEI Lin, JIANG Yong-mei, KUANG Gang-yao

(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract The remote sensing image registration is one of the most important issues of image fusion. Researchers always focus on searching adaptive, accurate and fast registration algorithm. A feature matching algorithm based on classification is proposed, which uses the correlation of the classified images to realize a precise registration after a coarse registration. Experiment results show the feasibility and adaptability of the method. To both homogeneous images and heterogeneous images, the registration results reach sub-pixel precision. The cost of computation is far less than that of the conventional methods through gray-based correlation or feature-based matching.

Key words image classification; coarse registration; precise registration; correlation

在遥感图像处理领域中,很多场合都需要将不同传感器或不同时间、不同视角获取的遥感图像进行配准。由于遥感图像面对的是复杂的自然场景,加之成像条件的差异和环境误差的影响,图像之间存在着许多复杂多变的成像畸变,因此图像配准始终是一个非常困难的课题。特别是实现不同性质图像之间的高精度配准和寻找快速有效且适用性广的配准方法是当前配准研究的两个重要方面。

目前提出的用于配准的算法可以分为三大类型:基于灰度相关的匹配算法、基于特征相关的匹配算法和基于解释相似的算法^[1]。基于灰度统计特性的图像配准技术有归一化相关、FFT 相关算法、最小绝对方差、最大似然法等。由于受灰度失真和几何失真的影响较大,基于灰度的配准不能适应情况较复杂的图像畸变。基于特征相关的匹配算法主要是采用各种算法提取基准图像和实时图像的边界、纹理、熵、能量等特征,然后对提取的特征进行描述,从而使其可以按照某种相似性测度进行匹配。但是该种匹配技术存在特征提取的多样性、相似性计算的复杂性问题。而基于解释的图像匹配需要建立在图片自动判读的专家系统之上进行,至今尚未取得突破性的进展。

为了克服上述方法的局限性,解决不同遥感图像之间较大的差异性和特征提取的复杂性等因素给配准工作带来的影响,本文提出了一种基于图像分类的特征匹配方法,采用了一种由粗到精的遥感图像配准流程。该方法的基本思想是:首先利用基于控制点的粗配准纠正图像间难以定性描述的各种畸变,

* 收稿日期:2003-10-20

基金项目:国家部委预研项目(413220202)

作者简介:雷琳(1980—),女,博士生。

得到大致配准的图像,同时缩小后续配准工作的搜索范围,然后在粗配准结果的基础上应用仿射模型进行特征层的配准,即利用图像结构信息进行图像分类所得的结果作为图像特征的描述,并运用相关测度实现图像间的精确配准。

1 图像配准

图像配准指的是把一个图像区域从另一个有相应景象区域图像中确定出来或找到它们之间对应关系的一种重要的图像分析与处理技术。这些图像往往是来自不同传感器或不同时间、不同视角获取的遥感图像。通常,图像配准技术包括四个方面:变换模型、特征空间、相似性测度、搜索空间和搜索策略^[2]。依据这四个特性,图像配准的步骤一般可分为以下五个步骤:

step1 根据实际应用场合选取适当的变换模型;

step2 选取合适的特征空间,或者是基于灰度的或者是基于特征的;

step3 根据变换模型的参数配置以及所选用的特征,确定参数可能变化的范围,并选用最优的搜索策略;

step4 应用相似性测度在搜索空间中按照优化准则进行搜索,寻找最大相关点,从而求解出变换模型中的未知参数;

step5 将待配准图像按照变换模型逐像素一一对应到参考图像中,实现图像间的匹配。

其中,如何选取合适的特征进行匹配是配准的关键所在。

2 基于图像分类的特征提取

现有的配准方法在用于不同性质的遥感图像,如光学遥感图像和红外遥感图像配准时,受灰度差异的影响大,利用图像景物特征来获取的区域或边缘也具有较大的差异性。因此,如何获取一致性强且简单的匹配特征是首先要解决的问题。

根据不同的成像机理和图像特性,遥感图像的分类方法也各有所不同。以光学图像作为参考基准图像,图像清晰且分辨率高,对它采用 Bayes 分类方法^[3,4]就可得到很好的分类结果。待配准图像若为同源或同质图像,则应用相同的分类方法,若为异质图像,如近红外图像等,为了得到一致的分类结果,采用了一种基于边缘检测和 Bayes 分类相结合的分类方法^[5]。首先令原图为基于像素的图像,对原图进行邻域平均(一般取 5×5 至 7×7 的邻域),得到基于邻域的图像,然后用 Bayes 方法分别对基于像素和基于邻域的图像进行分类。由于基于像素的分类未考虑邻域的统计特性,所以对区域的分类效果较差,但能很好地对边缘和细节特征进行分类。而基于邻域的图像对边缘和细节特征模糊化了,但它对区域的划分较好,所以最后再引入原图像的边缘图像进行融合处理,即在利用边缘图像定义图像分类结果可信度的基础上,对两种图像的分类结果进行融合。通过这种方法将分类图像的边缘标注出来,消除了由于分类造成的边缘模糊问题。

3 基于分类特征的图像配准方法

在上一节的讨论中,针对不同遥感图像之间较大的差异性,应用了不同的分类方法进行了有效的一致分类。在提取分类特征后,接下来就是如何应用相似性度量来计算特征之间的匹配程度。为了减少特征匹配计算的复杂性和多样性,简化搜索空间,首先采用基于控制点的粗配准^[2]来纠正图像间难以定性描述的各种畸变和减少后续工作中对平移、缩放以及旋转因子的搜索范围,然后在粗配准的基础上应用仿射模型进行特征层的配准,以图像分类结果作为图像特征的描述,并运用相关测度实现图像间的精确配准。

3.1 几何粗配准

对图像进行粗配准,也就是通常意义上的几何校正^[6],主要是为了纠正图像之间存在的各种畸变。一般是通过选取地面控制点对(GCP),然后利用控制点对来求取几何变换函数(通常为多项式)的方法来校正图像,如图1所示。

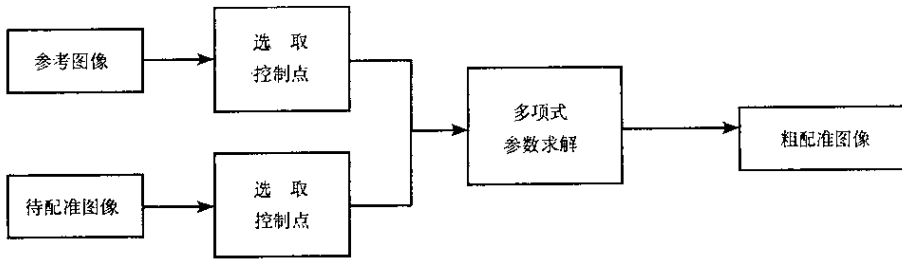


图1 粗配准阶段

Fig.1 Coarse registration step

GCP 获取的方法主要分为人工获取和自动获取两类。采用了简单易行的方法,人工目视选取 GCP。获取 GCP 后,采用多项式拟合法进行校正。多项式变换模型原理比较直观,计算也较简单。该方法的基本思想是回避成像的空间几何过程,而直接对影像变形的本身进行数学模拟,认为遥感图像的总变形可看做是平移、缩放、仿射、偏扭、弯曲以及更高次的基本变形的综合作用结果。因而变换前后图像之间的关系可用一个适当的多项式来表达,典型的就双变量多项式:

$$u = F_u(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} a_{ij} x^i y^j \quad (1)$$

$$v = F_v(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{n-i} b_{ij} x^i y^j \quad (2)$$

其中 (i, j) 是参考图像中控制点的坐标 (u, v) 是待配准图像中对应控制点的坐标, a_{ij}, b_{ij} 是多项式的常系数。多项式的阶数 n 取决于具体问题所需要的准确度和计算速度。本方法对各种类型的传感器得到的遥感图像都是普遍适用的。利用控制点对求解多项式参数的方法主要有最小二乘近似、样条或其它逐段插值,之后对整个图像进行重采样就得到了粗配准的结果。

3.2 精配准

在对参考图像和粗配准图像分别进行分类后,以分类结果为特征,得到了只含有几个灰度值等级的分类结果图。为了在分类结果图上实现图像间的精确配准,采用仿射变换模型^[7]和归一化互相关的相关测度来进行变换模型的参数求解,如图 2 所示。

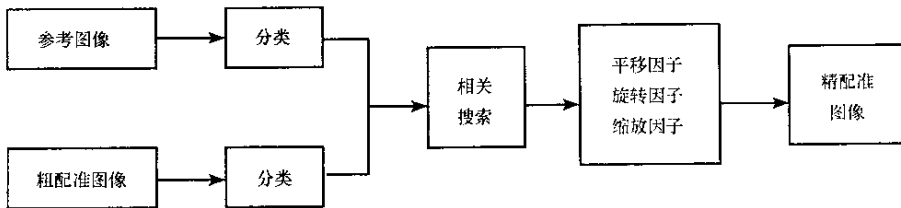


图2 精确配准阶段

Fig.2 Fine registration step

仿射变换函数为:

$$\begin{pmatrix} u \\ v \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} t_x \\ t_y \end{pmatrix} + s * \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (3)$$

其中 (t_x, t_y) 为平移因子, s 为缩放因子, $\begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix}$ 为旋转因子。通过前一阶段的粗配准,在搜索范围缩小的基础上,可将参数进一步细化为 (t_i, t_j) 为平移因子 (s_i, s_j) 为缩放因子,以及 (θ_i, θ_j) 为旋转因子,亦即对待配准图像的矩阵分别进行行和列的平移、缩放、旋转变换。归一化的互相关函数为:

$$\alpha(u, v) = \frac{\sum_x \sum_y \mathcal{K}(x, y) \mathcal{K}(x - u, y - v)}{[\sum_x \sum_y \mathcal{K}(x - u, y - v)]^{1/2}} \quad (4)$$

在一幅图像上选择一个 $N \times N$ 的窗口,而在另一幅图像上相应地选择一个 $M \times M$ 的搜索面积,其中 $M > N$ 。然后,在搜索面积中心 $L \times L$ 的区域中,对窗口和搜索面积之间进行如上的相关运算。要对 $L \times L$ 全部可能的偏移位置进行相关运算,总共需要 $N^2 L^2$ 次。窗口与搜索面积不一定是正方形,但搜索面积一定要大于窗口面积。

如果模板与图像对参数为 (t_i, t_j) 的平移因子、 (s_i, s_j) 的缩放因子、以及 (θ_i, θ_j) 的旋转因子能够正确匹配,除了一个强度比例因子,那么互相关函数将在 $\alpha(i, j)$ 出现峰值。从而可以通过计算所有可能仿射变换(平移、缩放、旋转)的 C 来找到图像中任意大小模板的窗口的相似度。

不难发现,在进行相关搜索时,在时域中整个搜索过程的计算量是非常大的。由于时域的相关(卷积)可转换成频域的相乘,因此在实现过程中可将上述方法转换到频域上进行,从而将每次仿射变换的 $N^2 L^2$ 次搜索变成了一次频域的相乘,大大地减少了计算量。

4 实验结果与性能分析

实验中考虑两种情况:一是 IRS 光学图像和 SPOT 全色光学图像之间的配准;二是 IRS 光学图像和近红外图像(SPOT_{XS3} 波段)之间的配准。其中,图 3 是 IRS 参考图像,图 4 是待配准的 SPOT 全色图像,图 5 是待配准的近红外图像。可以看出,SPOT 全色图像与参考图像分辨率不同,且纵向拉伸,横向收缩,基本代表了同质图像配准的各种情况。近红外图像较参考图像除了以上的各种变化之外,还有较大的灰度差异和旋转,情况更为复杂。

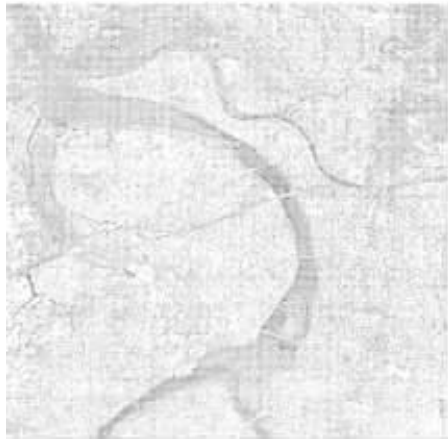


图 3 IRS 参考图像

Fig.3 IRS reference image



图 4 SPOT 全色待配准图像

Fig.4 SPOT pre-registration image



图 5 近红外待配准图像

Fig.5 Near-infrared pre-registration image

应用本文所述的方法进行配准:在参考图像和待配准图像上分别选取 12 对控制点集,以二元一次多项式进行粗配准,采用最小二乘法进行多项式参数估计。得到粗配准的图像后,再将参考图像和粗配准结果分别进行分类,类别数定为 5 类。最后利用分类结果图进行频域相关后得到仿射变换的参数,从而得到了配准后的 SPOT 图像和相应的 IRS 参考图像(如图 6 所示),以及配准后的近红外图像和相应的 IRS 参考图像(如图 7 所示)。

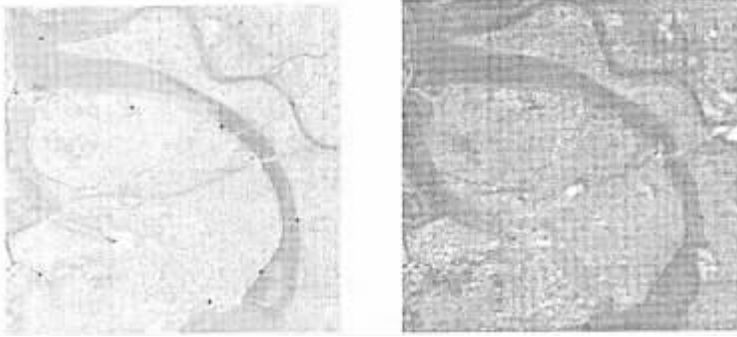


图 6 配准的图像对——IRS 和 SPOT 全色图像
Fig.6 Pair of registered images——IRS and SPOT image

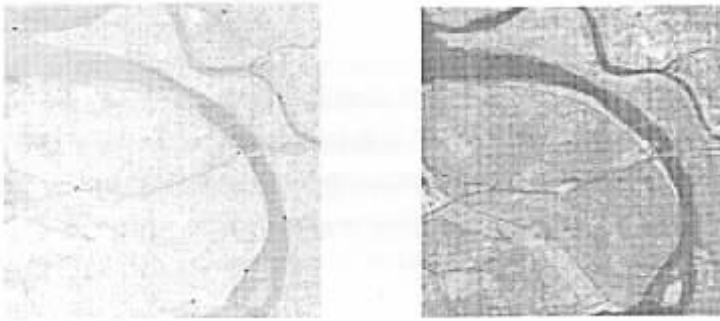


图 7 配准的图像对——IRS 和 SPOT 全色图像
Fig.7 Pair of registered images——IRS and near-infrared image

首先对实验结果进行粗略的分析。在配准后的 SPOT 全色图像上随机地选取 12 个点(如图 8(a)中圆点所示),读取其图像矩阵坐标值,然后在参考图像中相应的坐标值处做出标记(如图 8(b)中圆点所示)。经比较,不难发现,参考图 8(a)中 12 个点与图 8(b)中的 12 个点是一一对应的。在对配准后的近红外图像和参考图像进行类似处理后,可以得到同样的结果。由此可见,此方法无论是对光学图像之间的配准,还是对异质图像之间的配准都能达到满意的配准效果。

其次,采用目前通用的最小均方差原则^[7,8]来估计配准的精度,即在配准后的图像和相应的参考图像上选取 m 对同名点集,计算它们之间的均方误差。设参考图像中选取的同名点的坐标集为 $\{(x_i, y_i)\}$,配准后的图像中对应的同名点的坐标集为 $\{(x'_i, y'_i)\}$,可以得到配准的均方误差为:

$$\xi = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m [(x_i - x'_i)^2 + (y_i - y'_i)^2] \quad (5)$$

根据式(5),在配准后的 SPOT 全色图像和相应的参考图像上随机均匀地选取了 50 对同名集,得到相应的坐标误差。每增加一对同名点时,都计算出配准的均方误差,从而得到均方差的统计变化规律,如图 8 中曲线 1 所示,从图中可以计算出均方误差的均值为 0.7191。同样地,在配准后的近红外图像和相应的参考图像上也随机均匀地选取了 50 对同名点集,也得到了均方差的统计变化规律,如图 8 中曲线 2 所示,且配准均方误差的均值为 0.8430。

实验结果表明:对于同质图像,在达到同等配准精度的前提下,本文采用的配准方法将循环的时域相关卷积运算转换为频域的相乘运算,与传统的相关方法相比计算时间大大减少;对于异质遥感图像,

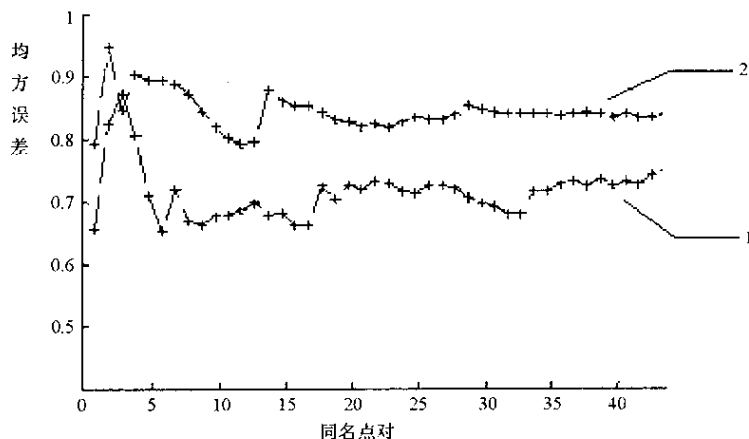


图8 配准均方误差的统计图

Fig.8 Statistic graph of registration error

由于对应景物的灰度相差很大,本文采用了基于分类的特征匹配。与现有的其它各种基于特征的配准算法相比,由于是在粗配准的基础上进行特征提取(分类)和匹配,因而大大减少了图像特征向量间相似度测量的复杂性。同时仍然具有很好的配准精度,保持了基于特征匹配的稳健性。

5 结论

目前基于灰度统计的方法不能适应情况较复杂的图像畸变,而基于特征匹配的方法存在着特征提取的多样性、相似性计算的复杂性等问题。为了克服这些缺陷,针对不同遥感图像之间较大的差异性,在图像粗配准的基础上,提出了图像区域分类特征向量的概念,实现了一种运用归一化频域互相关和仿射模型进行精确匹配的图像配准算法。与现有相关文献提出的方法相比,本文提出的方法适应性更广,并且在计算速度和计算精度两方面都是较优的。

参考文献:

- [1] Dai X, Khorram A. A Feature-based Image Registration Algorithm Using Improve Chain-code Representation Combined with Invariant Moments[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 1999, 37(5): 2351 - 2361.
- [2] Brown L G. A Survey of Image Registration Techniques [D]. Department of Computer Science Columbia University, New York, 1992.
- [3] 贾永红,李德仁. 基于 Bayes 融合法的多源遥感影像分类[J]. 武汉测绘科技大学学报, 1997, 22(3): 248 - 251.
- [4] 孙即祥. 现代模式识别[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2002.
- [5] 程芳,等. 基于边缘检测的 SAR 图像分类融合技术[J]. 现代雷达, 2002, 22(6): 40 - 44.
- [6] 章孝灿,黄智才,赵元洪. 遥感数字图像处理[M]. 杭州: 浙江大学出版社, 1997.
- [7] 李震,范湘涛. 基于分窗口相关的遥感图像配准方法[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6A(2): 129 - 132.
- [8] 曾文锋,李树山. 基于仿射变换模型的图像配准中的平移、旋转和缩放[J]. 红外与激光工程, 2001, 30(1): 18 - 21.

