遥感图像的快速配准方法

田 越 张永梅 李 波

(北京航空航天大学 计算机学院, 北京 100191)

摘 要: 针对多传感器遥感图像的配准,提出了一种快速有效的图像配准方法. 该基于分级候选点集匹配的配准算法充分利用了分级匹配和候选点集匹配方法的优点,减少了特征提取空间和搜索空间. 并在同名控制点对的确定中引入距离计算,能更有效地确定同名控制点对,减少了误匹配率,增加的距离计算时间代价很小,而且不随图像大小发生变换,只与最终匹配点对数目有关. 采用主观与客观判断相结合的方法进行配准评价,实验结果表明,该算法在图像存在一定背景噪声,同时具有平移、旋转的情况下,可以准确地进行配准,提高了配准速度和精度.

关 键 词: 相似性度量; 距离计算; 特征点提取; 图像配准

中图分类号: TP 391

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2008)11-1356-04

Fast remote sensing image registration algorithm

Tian Yue Zhang Yongmei Li Bo

(School of Computer Science and Technology, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: Aiming at the registration of multi-sensor remote sensing images, a fast and effective image registration method was presented. Based on hierarchical candidate point set matching, the registration algorithm makes full use of the advantages of hierarchical matching and candidate point set matching approach, reduces feature extraction and searching space, and introduces distance calculation into the determination of homologous control point pairs, it can availably decide homologous control point pairs and decrease mismatching rate. The increased distance calculation has much lower time cost, and it does not change with the size of images. It is concerned with the number of final matched points in images. The effect of image registration algorithm was evaluated by subjective and objective method. Experiment results show the proposed algorithm can accurately register multi-spectral images and panchromatic images with some shift, rotation angles and background noises, and it can increase the speed and precision of registration.

Key words: similarity measure; distance calculation; feature point extraction; image registration

图像配准是多传感器图像融合、遥感图像镶嵌、目标变化检测、三维重建等领域中提高精度和有效性的瓶颈,是必需的前期工作. 图像配准方法分为基于图像灰度的配准和基于图像特征的配准. 基于图像灰度的配准方法实现简单,但配准速度比较慢. 基于图像特征的配准方法有效地消除了由于背景或局部环境、光照等造成的局部辐射失真引起的误配准,对图像的旋转、缩放和光照强度变化等不敏感,对含有一定噪声和轻微扭曲的图像可进行配准,配准的速度较快. 缺点是算法复杂,而且往往由于特征提取的不完全,导致配准率较低[1]. 针对遥感图像数据量巨大导致融合预处理中配准时间开销过大的问题,本文结合分级匹配和候选点集匹配方法的优点,在同名控制点对的确定中引入距离计算,提出了基于分级候选点集匹配的快速配准算法,提高了配准速度和精度.

收稿日期: 2008-03-20

基金项目: 国家 863计划资助项目 (2007AA0879)

作者简介: 田 越 (1965 -),女,陕西西安人,博士生, tianyuew2004@sohu.com.

1　特征点的选取、确定和匹配策略

多光谱和全色图像进行配准时,涉及到特征点的选取与匹配以及同名控制点对的确定方法.

1.1　基于二级网格划分的特征点选取

在基于特征点的图像配准中,首先需要考虑特征点的提取问题.本文研究了基于二级均匀网格划分的特征点选取方式,首先将原始图像进行一级网格划分,将图像均匀划分为 $N \times N$ 的较大网格.在所有一级网格中都提取一个特征点,使特征点的分布比较均匀.对所有网格进行进一步划分,将每个大的网格细分为 2×2 (或者 3×3)个小网格,计算所有小网格的平均局部梯度 (或者局部方差,或者其他的差分算子),可以判断该块区域内是否有显著特征,即判断是否需要在这些小网格中进一步提取特征点.这样最终将保证在每个大块区域内都选取了特征点,而且在灰度变化剧烈的地方,选取了多个特征点,从而保证了特征点的分布均匀和显著性.

目前有多种选取算子可以提取特征点,包括 Moravec 算子、Hannah 算子、Dreschler 算子与 Forstner算子等. Forstner算子是通过计算各像素的 Roberts梯度和像素为中心的一个窗口 (如 7×7)的灰度协方差矩阵,在图像中寻找具有尽可能小而接近圆的误差椭圆的点作为特征点. Hannah 算子的原理与 Forstner算子实质上一致,但其计算较为复杂. Moravec算子是以灰度变换程度作为依据. Dreschler算子是以灰度面的曲率作为依据.实验结果表明,就精度和时间复杂度的整体性能来看, Forstner算子具有较好的效果,所以,本文采用 Forstner算子.结合上面的网格划分,在所有需要提取特征点的小网格中选择梯度值较高的前 K个点来计算 Forstner兴趣值,最后根据 Forstner 兴趣值来提取特征点.

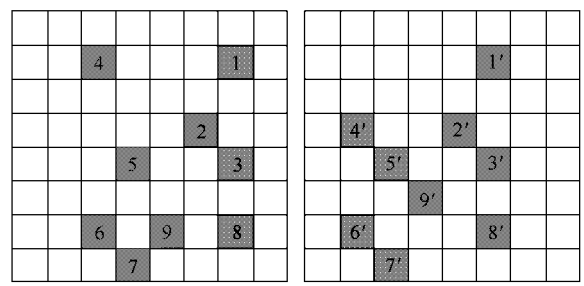
1.2　分级和候选点集结合的匹配策略

本文结合分级匹配和候选点集匹配两种方法提出了分级候选点集匹配算法,步骤如下: ①对匹配模板和参考图像都建立图像金字塔,在匹配模板和参考图像的粗尺度图像上分别提取特征点集 K_1和 K_2; ②对特征点集计算相似性度量; ③在相似性度量后的特征点集中选择 K对相似性较好的匹配点对,在细尺度图像上进一步搜索配准.

执行步骤 ①的运算时间为: $O(K_1) + O(K_2)$,执行步骤 ②的运算时间为: $O(K_1 \times K_2)$,执行步骤 ③的运算时间为: $O(K \times 8^2)$.该算法的时间复杂度为: $O(K_1) + O(K_2) + O(K_1 \times K_2) + O(K \times 8^2)$,时间复杂度只与 $K_1 \times K_2$和 K的大小有关.如果选择合适的 K, K_1, K_2值,算法的时间复杂度将低于候选点集匹配方法.由于该算法在细尺度上使用搜索方式,算法的适用性较候选点集匹配方法有明显提高,第 3.2节将验证这一点.

1.3　相似性度量和距离相结合确定同名控制点对

采用相似性度量来匹配特征点,即计算以每一个点对为中心的窗口之间的相似性程度,然后选择相似性最高的点作为同名控制点.在这种方式中,相似性度量策略将决定配准方法的误匹配率和算法的适用性.无论选择何种方式作为相似性度量的策略,通常确定同名控制点对都非常直接,即直接选择相似性度量值较高的一些匹配特征点对.但无论采用何种相似性度量方式,都容易出现误匹配,如图 1所示.其中灰色小格表示提取出的特征点,假定计算出来的相似性度量值从点 1到点 9按从高到低给出,如果这时最终确定 3对控制点,根据相似性度量值由高到低为 {(1, 1′), (2, 2′), (3, 3′)},没有出现误匹配.但如果选择 4对控制点,这时就将包含误匹配点对 (4, 4′).



a　参考图　　b　配准模板

图 1　同名控制点对的误匹配示意图

在基于特征的图像配准算法中,可以直接利用特征点之间的位置关系来确定同名控制点对,该方式增加了位置匹配的计算量,但减少了相似性度量的计算量,一般情况下,时间效率较高.然而,这类方法也容易出现误匹配.如图 1所示,假设最终确定 3对同名控制点,采用欧几里德距离计算 3对点之间的距离.真正的同名控制点对为 {(1, 1′), (2, 2′), (3, 3′)},其距离值为 $\{\sqrt{5}, \sqrt{2}, 3\}$,但具有同样位置关系的特征点对还有 {(1, 4′), (2, 5′), (3, 6′)},其距离值也为 $\{\sqrt{5}, \sqrt{2}, 3\}$,这时如果仅利用位置关系就容易产生误匹配.

本文在基于相似性度量的基础上,引入欧几里德距离来确定同名控制点,以减少误匹配率:

1) 假设最后需要确定 L对同名控制点,首先根据第 2节利用相关性度量值确定 K对匹配特征点对 (其中包含误匹配点对,而且 $K > L$),并按

相似性度量值由高到低排序;

2) 分别计算参考图像和配准模板中所有特征点 i与 j之间的距离值平方 $d_i(j)=(x_i-x_j)^2+(y_i-y_j)^2$和 $d_i'(j)=(x_i'-x_j')^2+(y_i'-y_j')^2$,然后计算每对匹配特征点对 i和 i与 $j(j')$之间距离值平方的绝对差值 $\Delta d_i(j)=|d_i(j)-d_i'(j)|$;

3) 对每对特征点对,统计其所有 $\Delta d_i(j)$为零或者小于一定阈值的数目 $C_i(i\neq j)$,选择 C_i值最大的前 L对特征点对作为同名控制点. 如果有相同的 C值,则按相关性度量值由高到低的顺序进行选择.

如图 1所示,假设条件与上述一致,相似性度量值由 1～9递减排序,对该算法进行分析. 计算参考图像中所有点之间的距离矩阵 $d_i(j)$、配准图像中所有点之间的距离矩阵 $d_i'(j)$,以及所有匹配点对之间的距离绝对差值矩阵 $\Delta d_i(j)$,统计所有匹配点对的 $C_i=\{6,6,6,0,6,6,6,6,0\}$. 本文采用相似性度量和欧几里德距离方法相结合确定图 1中的同名控制点对,没有出现误匹配.

1) 确定 $L=3$对同名控制点时,选择 $C_i=6$的特征点对 $(1,1')$, $(2,2')$, $(3,3')$(C_i相同时,选择相似性度量值高的),没有误匹配点;

2) 确定 $L=4$对同名控制点时,同样,所有点对的 C_i为 $\{6,6,6,0,6,6,6,6,0\}$,选择 $C_i=6$的特征点对 $(1,1')$, $(2,2')$, $(3,3')$,第 4对点 $(4,4')$, $C_4=0$,不在前 4位,未入选;第 5对点 $(5,5')$, $C_5=6$,入选;至此,4对同名控制点选择完成,即为 $\{(1,1')$, $(2,2')$, $(3,3')$, $(5,5')\}$,没有误匹配点.

分析只采用相似性度量或仅通过欧几里德距离确定图 1中同名控制点对的两种方法,利用距离度量在选 3对同名控制点时有误匹配点,利用相似性度量在选 4对同名控制点时有误匹配点,而本文所给出的算法则可以同时适用于这两种情况.

2 基于分级候选点集的配准算法

本文提出了基于分级候选点集匹配的配准算法,具体步骤如下:

1) 将不同分辨率的多光谱和全色图像插值到同样大小;对多光谱和全色图像做多尺度变换,获得图像金字塔(直接间隔采样、高斯金字塔、小波金字塔都可以). 采用基于二级网格划分的特征点选取,既可以保证特征点的显著性和分布均匀而且数量不能太少,又减少了一定的计算量;

2) 在多光谱和全色图像的粗尺度图像上,采用 Forstner算子提取特征点,然后计算不同图像特征点集的相似性,将相似性计算取得极大值的点对作为候选同名控制点对;

3) 利用粗尺度上的同名控制点对指导细尺度上的进一步搜索匹配和相关计算,获得更准确的控制点对;

4) 利用距离计算选取控制点集中最合适的同名控制点对,去除误匹配点对;

5) 利用同名控制点对,采用最小二乘法或高斯法求解多光谱和全色图像之间的变换(仿射变换或多项式变换),获得变换参数,最后计算配准图像的位置关系.

3 配准效果评价与实验结果

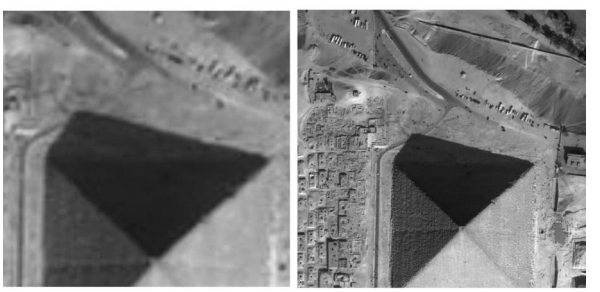
3.1 配准效果评价

本文采用主观与客观判断相结合的方法进行配准评价. 主观上,通过观察多光谱和全色图像配准后边界是否连贯,是否有错位或重影来判断配准结果的好坏,并通过卷帘显示查看多光谱与全色图像的配准程度. 客观上,通过计算配准精度是否达到亚像素级来评价配准图像的效果,并利用人工刺点检查方法评价图像配准精度.

3.2 实验结果及分析

本文对提出的配准算法进行了相关实验,选取不同地形的多幅图像进行了配准测试. 下面以一组 QuickBird图像为例进行说明,图 2是其中一组 QuickBird多光谱图像(100×100)和全色图像(640×640),其中多光谱图像作为匹配模板,其空间分辨率为 2.44 m,全色图像的空间分辨率为 0.61 m,其分辨率比例为 4∶1. 将多光谱图像插值成 4∶1大小,这样使多光谱和全色图像的空间分辨率一致.

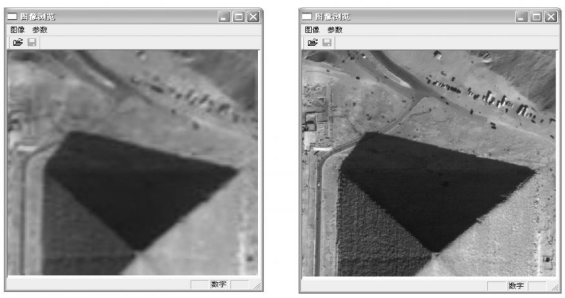
实验对比分析了采用分级匹配、候选点集匹配和本文提出的分级候选点集匹配 3种方法在时间效率、配准精度和算法适用性等方面的性能.



a 插值后的 QuickBird多光谱图像(400×400) b QuickBird全色图像(640×640)

图 2 实验所用的一组多光谱和全色图像

实验条件如下:采用 AMD XP2500 + (频率 1.83 G)计算机,所有算法中特征提取的计算窗口为 10 ×10,相关系数的计算窗口为 60 ×60.分级匹配方法在配准模板中提取的特征点数为 20,然后在参考图像上分 3级搜索;候选点集匹配方法分别在配准模板和参考图像上提取 20个和 500个特征点.本文给出的分级候选点集匹配方法将图像分为 3级,然后分别在配准模板和参考图像的粗尺度图像上提取 20个和 150个特征点,最终组成 20对特征点对,并用于精配准,配准图像的显示结果见图 3.



a　QuickBird多光谱图像　　b　QuickBird全色图像

图 3　配准后多光谱图像和全色图像的重叠区域

实验统计结果如表 1所示,表中除图 2的 1组图像外,列出了 3组其他图像.从表 1可以看出,分级匹配方法搜索参考图像中所有点,时间效率最低.但该方法的误匹配率很小,适用性最好,配准精度也较高.采用候选点集匹配的方法,由于其只计算配准模板和参考图像中提取的特征点对之间的相似性,因此时间效率较高.但该方法的适用性非常差,如果所提取的特征点对之间的误差太大,则误匹配的点太多,无法有效确定用于空间变换的同名控制点,这时配准将失败.本文提出的基于分级候选点集匹配的配准算法由于减少了特征提取空间和搜索空间,虽然增加了细尺度上的搜索计算,但时间效率仍比另外两种算法高,仅为分级匹配方法的 1/100～1/40,为候选点集匹配方法的 1/3左右;增加的距离计算可以更有效地去除误匹配点对,减少匹配误差,从而提高了算法的配准精度.该算法的配准精度小于 1个像素,达到了亚像素级配准.

本文中特征点主要用于加速配准,而文献[2]提出的 SIFT (Scale Invariant Feature Transform)算法在全图中提取特征点,存在特征点过多,容易引入噪声信息,提取速度慢,阈值过多且难以确定,特征描述向量维数过高导致计算过于复杂等问题.因此 SIFT不适合遥感图像的快速配准.

表 1　遥感图像配准算法的性能比较

算法	匹配时间 /ms	配准精度 /像素	算法适用性
分级匹配	54 938/59 453/33 750/34 735	1	4组配准成功
候选点集匹配	5 437/失败/失败/失败	通常为 1～3	1组配准成功
分级候选点集匹配	1 594/1 766/1 437/1 417	<1	4组配准成功

该分级候选点集匹配算法在图像存在一定背景噪声,同时具有平移、旋转的情况下,仍然可以准确地进行配准.文献[3]提出的主轴质心法利用一系列刚性变换最终配准图像,算法简单快速,鲁棒性较高,然而,主轴质心法最大的不足是对噪声干扰较敏感.特别是当所配准对象的形状接近圆球时,噪声干扰就可能导致完全不同的主轴方向,因而主轴法在这种情况下常常出现误配准.与目前其他配准算法相比,一般的配准算法只保证局部配准,没有考虑图像整体特点[4-5].本文提出的配准算法通过局部配准对图像全局的配准情况进行了检测和评价,这是其它图像配准算法所不具有的.

4　结 束 语

针对高分辨率遥感图像的配准,本文提出了基于分级候选点集匹配的配准算法.该算法充分利用了分级匹配和候选点集匹配方法的优点,在同名控制点对的确定中引入距离计算,能更有效地确定同名控制点对,减少了误匹配率.实验结果表明,该算法在时间效率上有了较大提高,达到了亚像素级配准.

参考文献 (References)

[1] Van Wyk B J, Van Wyk M A. A POCS-based graph matching algorithm[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2004, 26(11): 1526 - 1530

[2] Lowe D. Distinctive image features from scale-invariant keypoints[J]. International Journal on Computer Vision, 2004, 60(2): 91 - 110

[3] Rosenfeld A. Digital picture processing[M]. Orlando: Academic Press, 1982: 67 - 90

[4] Woods N A, Galatsanos N P, Katsaggelos K K. Stochastic methods for joint registration, restoration, and interpolation of multiple undersampled images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2006, 15(1): 201 - 213

[5] Wang Zhijun, Ziou D, Armenakis C, et al. A comparative analysis of image fusion methods[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2005, 43(6): 1391 - 1402

(责任编辑:文丽芳)