

遥感图像配准中的块效应模拟

王钰淅^{1,2}, 顾行发^{1*}, Jean Sequeira², 余涛¹, 叶泽田³, 孟庆岩¹, 李丽¹

(1. 中国科学院遥感应用研究所 遥感科学国家重点实验室,北京 100101;

2. Project SimGraph-LSIS UMR CNRS, Marseille 13288;

3. 中国测绘科学研究院,北京 100039)

摘要:提出和实现了一种随机遥感图像模拟新方法,该方法集成了PROSAIL模型、随机地物类别生成和尺度扩展机制,实现了随机点图像模拟和随机块图像模拟.实验中定量模拟了HJ-1 CCD传感器近红外成像光谱波段图像及具有不同平移、旋转、尺度变化影响的实验图像.利用模拟图像研究了平移、旋转、尺度变化等多种因素对近红外图像配准的影响,通过模拟地物随机分布及尺度变化的随机块图像分析了块效应在图像配准中的作用,并试验将随机模拟图像用于对图像配准算法进行适宜性分析.模拟实验结果表明图像块效应对图像配准处理具有重要影响.

关键词:块效应模拟;图像配准;随机图像模拟;遥感信号模拟

中图分类号:TP75 **文献标识码:**A

Block effect simulation for image registration in remote sensing

WANG Yu-Xi^{1,2}, GU Xing-Fa^{1*}, JEAN Sequeira², YU Tao¹, YE Ze-Tian³, MENG Qing-Yan¹, LI Li¹

(1. State Key Laboratory of Remote Sensing Science, Institute of Remote Sensing Applications

of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China;

2. Project SimGraph-LSIS UMR CNRS, Marseille 13288, France;

3. Chinese Academy of Surveying and Mapping, Beijing 100039, China)

Abstract: A novel method for random RS image simulation was proposed and realized. By integrating PROSAIL model, random classes of ground object and scale extension, random point image and random block image were simulated, respectively. In the experiment, several images, including HJ-1 CCD near infrared red spectral band image and the images with different translation, rotation and scale parameters, were quantitatively simulated. With the help of these simulated images, the effect to NIR image registration from the differences of translation, rotation and scale parameters was discussed. The action of block effect in the NIR image registration was analyzed through simulated random block images with scale diversifications and random distribution of ground object. Simulating random remote sensing images were used to analyze NIR image registration. The experimental results show that the block effect in image takes an important role to image registration.

Key words: block effect simulation; image registration; random image simulation; RS signal simulation

PACS: 07.07.Df

引言

图像配准是关于建立图像间映射关系的理论方法及过程^[1]. 由于采用的成像传感器、成像条件等不同,会导致相同的目标在不同的图像上的信息分

布产生差异. 这些差异给图像的配准带来了很大的困难. 使配准图像产生差异的因素主要包括不同成像机理、不同成像光谱波段、辐射变形、几何变形的影响等. 大气影响、光照变化等也会引起图像上记录的像素点强度的变化,传感器的几何姿态不同、地形

收稿日期:2011-12-07,修回日期:2012-07-16

Received date: 2011-12-07, revised date: 2012-07-16

基金项目:国家自然科学基金(40971227);国家重点基础研究发展计划(2010CB950803)

Foundation items: Supported by National Natural Science Foundation of China (40971227), and National Basic Research Program (2010CB950803)

作者简介(Biography): 王钰淅(1984-),女,山东寿光人,博士研究生,研究方向为信号与信息处理. E-mail: wang.meredith.yuxi@gmail.com

* 通讯作者(Corresponding author); E-mail: guxingfa@irsa.ac.cn

起伏等会引起像点位移,产生图像几何变形.对具有变形差异的图像进行配准是一个复杂的过程.

图像配准方法通常可分为基于灰度的配准和基于特征的配准.不同的配准算法可能使用不同的信息类型、强调不同的信息分布特点、采用不同的相似性测度.当待配准图像具有不同的差异时,不同的配准算法可能表现出不同的适应性.主要的图像配准算法有 CC 法、NMI 法及 SIFT 法等^[2-7].

如何定量分析图像的差异特性及评估配准算法的适宜性是一个很重要的问题.在 PROSAIL 信号模拟的基础上,本文通过 PROSAIL 模型来模拟指定遥感传感器波段对不同地物的遥感信号响应,通过引入随机地物类别生成机制模拟遥感信号在空间上的随机分布特性,同时利用尺度扩展机制模拟遥感信号的尺度变化特性,进行随机点图像模拟和随机块图像模拟.利用近红外波段的随机点模拟图像和随机块模拟图像,讨论了平移、旋转、尺度变化等因素对图像配准算法的影响,对由于尺度变化引起的块效应在图像配准中的作用进行了定量分析.

1 数据与方法

图像模拟技术可根据数据分析的需要生成条件可控的各种待分析图像.本文为了分析图像像素尺度变化对图像特性及图像配准的影响,通过模拟待分析传感器指定波段的随机图像,将模拟图像作为数据源对遥感图像的块效应和块效应在图像配准中的作用进行讨论和分析.

1.1 基于 PROSAIL 模型和尺度扩展的随机遥感图像模拟

基于 PROSAIL 模型和尺度扩展的随机遥感图像模拟方法的主要思想是在遥感信号模拟的基础上,引入随机类信息来模拟地物类的随机分布,并采用尺度扩展来模拟地物类分布的尺度变化,达到将一维遥感模拟信号扩展为二维遥感模拟图像的目的,为进一步的图像分析提供满足特定要求的数据源.

(1) 遥感信号模拟

遥感信号模拟可以生成指定成像条件下的像素灰度值.利用 PROSAIL 模型可进行遥感信号模拟^[8].利用遥感信号模拟方法可生成指定地物类、大气条件和传感器响应的遥感成像信号^[9].从本质上来讲,该遥感模拟信号可看作是遥感图像上的像素所对应的信息.它反映了指定地物类、大气条件和传感器响应对图像像素的影响.

(2) 随机点图像模拟

遥感图像上不仅包含单个像素所记录的地物类信息,而且在像素的几何分布中也同样包含了大量的地物信息.因此在遥感图像模拟中,除了考虑单独像素的模拟之外,还需要研究地物几何分布的图像模拟及其对图像分析的影响.

从统计的意义上来看,自然地表地物的分布不仅具有确定性,也具有随机性.遥感成像时,图像某像素点的类别属性具有一定的随机性.可以用地物类别属性在遥感图像中的随机分布来模拟自然地表地物分布的随机性.

设地物类别集合为 C , N 为地物类别个数, $C = \{C_i, i = [1, N]\}$, 地面分辨率单元的地物类别属于 C_i 的概率为 P_i , 则认为在遥感模拟图像上,对应像素的类别 X 为 C_i 的概率也为 P_i , 即

$$\text{Probability}\{X \in C_i\} = P_i, i = [1, N] \quad (1)$$

当给定地物类别集合 C 及对应的概率集合 P 时,可以模拟出遥感图像,使得该遥感图像在统计意义上其像素满足相同的概率分布.

如果根据某种已知的概率分布方式确定了地面分辨率单元(或像素)的地物类别时,结合遥感信号模拟的结果,可生成在统计意义上满足指定的几何分布特性条件的遥感模拟图像.该模拟图像为随机点模拟图像,其图像特点主要体现为点分布特征,而缺少图像线分布及面分布特征.

(3) 尺度扩展与随机块遥感图像模拟

在实际遥感图像中,图像线分布特征和面分布特征是很重要的图像特征.图像线分布特征和面分布特征可看作是像素类别分布在空间尺度方向上变化的一种体现.本文利用尺度扩展来模拟图像的线特征和面特征.

尺度扩展包括像素对应的地面采样单元的缩放,即扩大像素的地面采样单元或缩小像素的地面采样单元.尺度扩展的实质是像素灰度内插.灰度内插的方法包括最邻近点法、双线性内插法及高斯距离加权法等.

设源图像为 I_s , 尺度扩展后图像为 I_d , 则尺度扩展处理(Scale Process)可表示为:

$$I_d = \text{ScaleProcess}\{I_s\} \quad (2)$$

对随机点模拟图像进行尺度扩展处理,可以得到随机块模拟图像,该图像可具有线特征或面块特征.

1.2 图像块效应及其在图像配准中的作用

(1) 尺度变化对影像分布特性的影响

图像信息不仅包含每个单独像素记录的地物属性信息,而且包含邻近像素的几何展布而体现的地物几何信息及地物属性差异信息^[10]. 图像可以记录地物类的光谱特性,也可以记录地物类的差异特性. 同源影像配准可重点分析图像记录的地物光谱特性;而多源影像配准则可重点分析图像记录地物类的差异特性.

地表地物是由各种大小不一的地块所组成的. 像素块是由相同或相近的物理属性像素聚类形成的. 不同的像素块反映了不同地类间的差异,其边缘是图像地物类公共信息的表征. 点信息是像素所包含的信息;块信息则包含了像素及邻域像素所携带的信息. 由于块信息比点信息的信息量更为丰富,因此块信息分析方法通常比点信息分析方法更为可靠.

遥感成像尺度的变化可引起图像几何分布特征的变化. 利用上述随机遥感图像模拟方法模拟了 HJ-1 CCD 传感器 NIR 波段的随机点图像和随机块图像,随机块图像为对随机点图像进行尺度扩展(尺度缩放因子为 2)后得到. 尺度扩展对点特征的影响如图 1 所示;尺度扩展对边缘特征的影响见图 2. 图 1、图 2 显示了两图像及其点特征、边缘特征的变化情况,其中随机块图像的显示范围对应于随机点图像右下角四分之一区域.

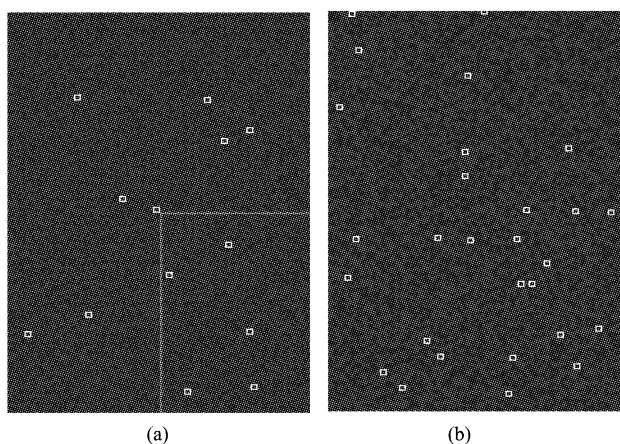


图 1 尺度扩展对点特征的影响 (a) 随机点图像的 Harris 角点, (b) 随机块图像的 Harris 角点

Fig. 1 Impact of scale extension on point feature (a) Harris corner points of random point image, and (b) Harris corner points of random block image

图 1 显示了尺度扩展对 Harris 角点特征的影响,其中图 1(a)、图 1(b)分别为从模拟的随机点图像和随机块图像提取的 Harris 角点特征;图 2 显示

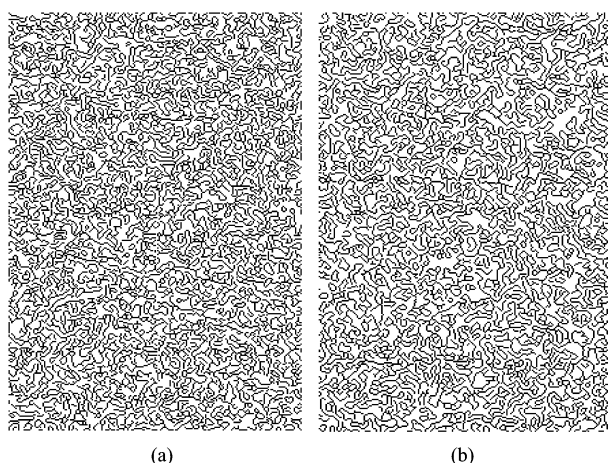


图 2 尺度扩展对边缘特征的影响 (a) 随机点图像的 Canny 边缘, (b) 随机块图像的 Canny 边缘

Fig. 2 Impact of scale extension on edge feature (a) Canny edge of random point image, and (b) Canny edge of random block image

了尺度扩展对 Canny 边缘特征的影响,其中图 2(a)、图 2(b)分别为从模拟的随机点图像和随机块图像提取的 Canny 边缘特征. 由图 1、图 2 的得出,尺度的变化引起了图像点特征和边缘特征分布的明显变化,且块图像相比于点图像,其特征点和边缘的数量显著增多,说明尺度变化引起了图像几何分布特性的变化.

(2) 块效应在图像配准中作用的模拟分析

将由于尺度变化而产生的图像信息几何分布特性变化的现象称之为“块效应”. 由于尺度的变化会引起图像信息包括灰度和特征几何分布特性的变化,因此块效应也会对配准算法产生一定的影响.

从光谱分析的角度来看,遥感图像的块效应与“同物同谱”现象有关. 反映在遥感成像上,相同的物体趋向于在图像上产生相同的灰度,随着像素所表征的地面单元越来越精细,图像上趋向于出现更多的相同或相近的灰度区块. 随着成像尺度的变化,灰度区块的大小和数量也可随之发生变化. 反映在不同的传感器图像或同一传感器的不同波段图像上,对应同一地物的灰度区块尽管其灰度的绝对数值不同,但在一定程度上可表现出区块对应的特性.

2 模拟实验与分析

遥感图像配准涉及到不同时相、相同成像波段的图像间的配准及不同成像波段图像间的配准. 此外,待配准图像间还存在平移、旋转或尺度等条件变化产生的相对差异. 不同的配准算法对这些差异的

敏感性或适应性是不同的. 为此本文定量模拟了 HJ-1 CCD 传感器近红外成像光谱波段图像及具有不同平移、旋转、尺度变化影响的实验图像. 通过这些随机模拟图像对几种图像配准算法进行了适宜性的初步分析.

2.1 平移差异对图像配准的影响

一般来说,待配准的图像间存在着平移、旋转或尺度等条件变化引起的图像差异. 这种差异的存在有时会带来图像配准的复杂性. 仅存在平移差异的图像间的配准是较易处理的情形. 大部分配准算法对平移差异均具有较好的适应性. 本文采用 HJ-1 CCD 的 NIR 波段的随机点模拟图像和随机块模拟图像对 CC 法、NMI 法、SIFT 法的平移差异适应性进行了模拟实验,随机块模拟图像由设置尺度缩放因子为 5 进行尺度扩展得到. CC 法中平移差异的影响见图 3, NMI 中平移差异的影响如图 4 所示, SIFT 法的实验结果见表 1.

图 3(a)为随机点模拟图像的 CC 法实验结果,图 3(b)为经过尺度扩展后的随机块模拟图像的 CC 法实验结果. 横轴表示相对于正确配准点的像素偏移值,纵轴表示相应的相关系数值. 很显然,随机点模拟图像的相关系数随像素偏移值的分布呈现出脉冲形态,而随机块模拟图像的相关系数随像素偏移值的分布则呈现抛物线形态. 说明尺度扩展后的块图像具有更大的平移宽容性.

图 4 是 NMI 法的实验结果,其中纵轴表示不同像素偏移量图像配准计算的 NMI 值. 随机块模拟图像的 NMI 值随像素偏移值的分布(见图 4(b))相对随机点模拟图像的 NMI 值分布(见图 4(a))发生了较小的变化. 说明 NMI 法的平移宽容性对尺度扩展不很敏感.

表 1 的模拟实验结果表明,相对于随机点图像而言,随机块图像具有更多的 SIFT 特征,也能够配准更多的同名特征点.

表 1 SIFT 法中平移差异的影响

Table 1 Impact of translation difference in scale invariant feature transform (SIFT)

	随机点图像	随机块图像
目标特征	67	3972
搜索特征	225	16063
配准特征	67	3842

2.2 旋转差异对图像配准的影响

待配准图像间通常存在旋转差异. 旋转差异对配准算法具有较大的影响,甚至可能导致配准失败.

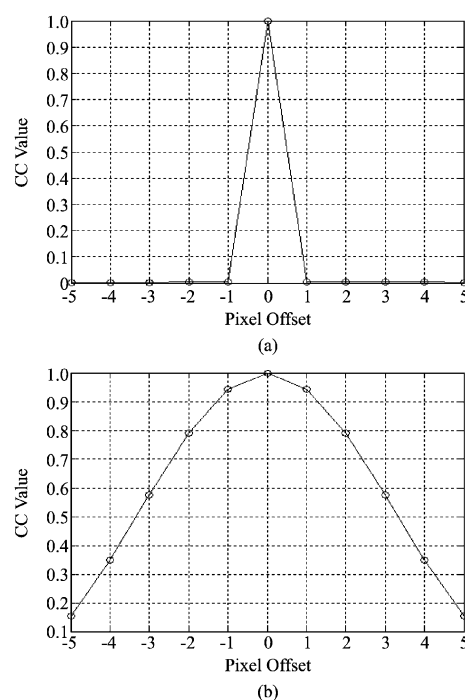


图 3 CC 法中平移差异的影响 (a) 随机点图像配准, (b) 随机块图像配准

Fig. 3 Impact of translation difference in Cross Correlation (a) random point image registration, and (b) random block image registration

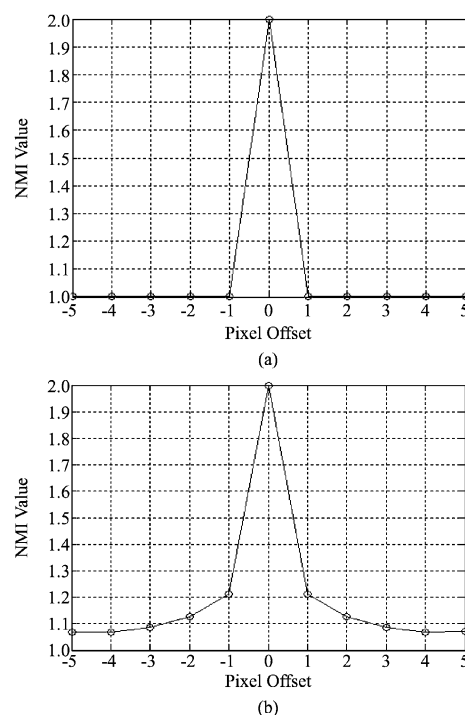


图 4 NMI 法中平移差异的影响 (a) 随机点图像配准, (b) 随机块图像配准

Fig. 4 Impact of translation difference in Normalized Mutual Information (a) random point image registration, and (b) random block image registration

因此抗旋转特性是配准算法的重要特性之一. 本文基于模拟图像对几种配准算法进行了抗旋转分析, 实验分析结果见表 2、表 3 及图 5.

表 2 CC 法中旋转差异的影响 (CC Value)

Table 2 Impact of rotation difference in Cross Correlation (CC Value)

-12.5°	-10.0°	-7.5°	-5.0°	-2.5°	0.0°	2.5°	5.0°	7.5°	10.0°	12.5°
点 0.000540	0.000720	0.002320	0.002260	0.001301	0.000000	0.002540	0.003750	0.002290	0.01040	0.00211
块 0.000590	0.000980	0.003150	0.002200	0.002031	0.000000	0.003510	0.004060	0.002260	0.01450	0.00250

表 3 NMI 法中旋转差异的影响 (NMI Value)

Table 3 Impact of rotation difference in Normalized Mutual Information (NMI Value)

-12.5°	-10.0°	-7.5°	-5.0°	-2.5°	0.0°	2.5°	5.0°	7.5°	10.0°	12.5°
点 1.002431	0.06051	0.03951	0.03871	0.04102	0.000001	0.002871	0.04101	0.04911	0.05761	0.0317
块 1.023811	0.23721	0.23041	0.23311	0.23412	0.000001	0.22921	0.23961	0.23101	0.23631	0.2302

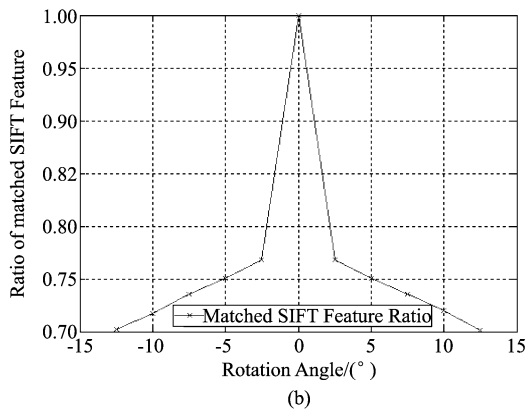
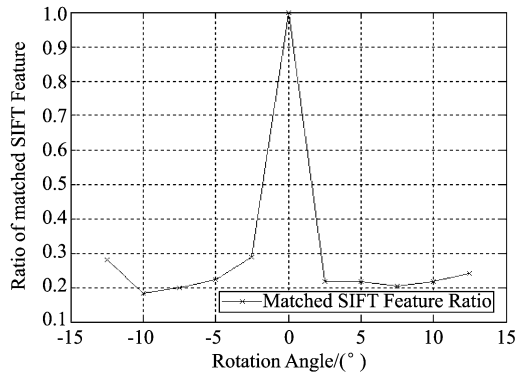


图 5 SIFT 法中旋转差异的影响 (a) 随机点图像配准, (b) 随机块图像配准

Fig. 5 Impact of rotation difference in SIFT (a) random point image registration, (b) random block image registration

从表 2、表 3 可以看出, 无论是采用 CC 法还是 NMI 法, 旋转角度对随机块图像的影响比对随机点图像的影响要小些. 说明块尺度的变化对图像配准方法的抗旋转特性是有影响的. 从结果来看, CC 法、

NMI 法不适宜用于进行具有较大旋转变化的 NIR 影像间的配准. 图 5 的实验结果说明, 当图像块尺度变大时, 可提高特征点的配准比率. 可以认为, 这对提高配准结果的可靠性是有利的.

2.3 尺度差异对图像配准的影响

在遥感图像的配准中, 抗尺度变化是配准算法需要解决的重要问题之一. 利用随机模拟遥感图像对 CC 法、NMI 法、SIFT 法的抗尺度变化特性进行了模拟分析, 结果见表 4、表 5 及图 6. 表 4、表 5 的不同像素偏移时的相似测度实验数据说明, 尺度的变化 (两幅实验图像的尺度因子之比为 1.05) 对 CC 法和 NMI 法配准结果具有很大的影响. 利用随机点图像数据的实验结果表明, 尺度的相对微小变化 (尺度因子之比为 1.05) 就将导致相似度判断的失效.

表 4 CC 法中尺度差异的影响 (CC Value)

Table 4 Impact of scale difference in Cross Correlation (CC Value)

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
点 0.003640	0.002580	0.007530	0.000780	0.010120	0.003180	0.000770	0.007980	0.013490	0.003470	0.00932
块 0.009750	0.008220	0.006360	0.004600	0.003340	0.002820	0.003050	0.003880	0.005030	0.006260	0.00743

表 5 NMI 法中尺度差异的影响 (NMI Value)

Table 5 Impact of scale difference in Normalized Mutual Information (NMI Value)

-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5
点 1.000411	0.000401	0.000411	0.000421	0.000411	0.000401	0.000391	0.000411	0.000421	0.000381	0.00040
块 1.022351	0.222661	0.222691	0.21951	0.222311	0.222421	0.222421	0.222791	0.222261	0.222491	0.22227

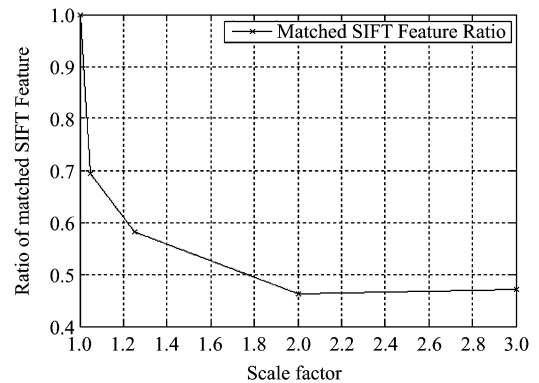


图 6 SIFT 法中尺度差异的影响
Fig. 6 Impact of scale difference in SIFT

图 6 显示了随机点模拟图像与不同尺度随机块模拟图像间的 SIFT 配准实验结果. 从图 6 可以看出, 随着相对尺度差异的变化, SIFT 法获得的配准比率仍然能够达到一定的数值, 并趋于稳定. 说明 SIFT 方法中图像相对尺度差异的变化对配准结果影响不大. 换言之, SIFT 法具有较好的抗尺度变化

特性.

3 结论

通过对以 NIR 随机模拟图像为数据源进行图像配准实验分析,可以看出:(1)块效应能够增加图像的特征有利于进行图像的配准;(2)块效应可增强配准算法对平移差异的适应性;(3)旋转差异和尺度差异则对基于灰度的配准算法具有较大的影响;(4)基于特征的配准算法对旋转差异和尺度差异具有较好的适应性.

我们认为,随机遥感模拟图像可作为一种模拟数据源用来进行图像配准处理研究,以比较不同遥感图像配准算法对不同条件下获取的遥感图像的适应性进行模拟分析.模拟实验结果表明,图像中的块效应对图像配准处理具有重要的意义.目前只是针对 NIR 波段模拟影像数据间的配准进行实验分析,对于 NIR 与其他波段图像(包括实际遥感图像)间的配准还有待进一步的实验研究.

REFERENCES

- [1] Zitova B, Flusser J. Image registration methods: a survey [J]. *Image and Vision Computing*, 2003, **21**(11):977-1000.
- [2] LI Zhuang, LEI Zhi-Hui, YU Qi-Feng. Matching multi-sensor images based on gradient radius angle pyramid histogram [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2011 (李壮, 雷志辉, 于起峰. 基于梯度径向夹角直方图的异源图像匹配). *测绘学报*, 2011, **40**(3):318-325.
- [3] Lowe D G. Distinctive image features from scale-invariant key points [J]. *International Journal of Computer Vision*, 2004, **60**(2):91-110.
- [4] LIU Xiao-Jun, YANG Jie, SUN Jian-Wei, et al. Image registration approach based on SIFT [J]. *Infrared and Laser Engineering* (刘小军, 杨杰, 孙坚伟, 等. 基于 SIFT 的图像配准方法. *红外与激光工程*), 2008, **37**(1):156-160.
- [5] ZANG Li, WANG Jing-Dong. Infrared and visible light image fast registration based on mutual information [J]. *Infrared and Laser Engineering*, (臧丽, 王敬东. 基于互信息的红外与可见光图像快速配准. *红外与激光工程*), 2008, **37**(1):164-168.
- [6] Mikolajczyk K, Schmid C. A performance evaluation of local descriptors [C]. In *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR03)*. Madison: IEEE Computer Society, 2003: 257-263.
- [7] LI Ran, ZHANG Yun-Sheng. Auto-matching between multi-source remote sensing images base on SIFT features [J]. *Science of Surveying and Mapping* (李然, 张云生. 基于 SIFT 特征的多源遥感影像自动匹配方法. *测绘科学*), 2011, **36**(3):8-10.
- [8] Andrieu B, Baret F, Jacquemoud S, et al. Evaluation of an improved version of SAIL model for simulating bidirectional reflectance of sugar beet canopies [J]. *Remote Sensing of Environment*, 1997, **60**(3):247-257.
- [9] LI Li, QIAO Yan-Li, GU Xing-Fa, et al. Methods for best LAI-detecting band design in remote sensing based on signal simulation [J]. *J. Infrared Millim. Waves* (李丽, 乔延利, 顾行发, 等. 基于信号模拟的 LAI 最佳遥感探测波段设计方法. *红外与毫米波学报*, 2011, **30**(4):339-342.
- [10] YE Ze-Tian, ZHAO Wen-Ji. *Theory, methods and application for digital simulation of earth surface space* [M]. Surveying and Mapping Press (叶泽田, 赵文吉. *地表空间数字模拟理论方法及应用*. 测绘出版社), 2010.