

基于分窗口相关的遥感图象配准方法

李震 范湘涛

(中国科学院遥感应用研究所遥感信息科学开放研究实验室, 北京 100101)

施建成

(美国加利福尼亚大学计算机地球系统科学研究所, 圣巴巴拉, CA 93106, USA)

摘要 多源遥感数据的融合和综合应用必须实行严格的配准, 若将通过选取控制点的传统方法, 用于成象特性差异较大的图象间配准就存在较大的误差, 为解决该问题, 研究发展了一种基于分窗口相关的图象配准方法, 即采用移动窗灰度相关的方法对图象上的每一点进行搜索, 来寻找最大相关位置, 以达到精确配准的目的. 通过将该方法应用于不同时相的 TM 图象、SAR 图象、不同成象方式和不同分辨率的 AVIRIS 图象和航片间配准的实验表明, 该方法能够有效地实现复杂图象间的精确配准, 配准误差已达到子像素级水平.

关键词 图象配准 分窗口 相关函数 循环比较算法

中图法分类号: TP751.1 文献标识码: A 文章编号: 1006-896(2001)02-0129-04

Registration Between Remote Sensing Images Base on Multi-Window Cross-Correlation

LI Zhen, FAN Xiang-tao

(Laboratory of Remote Sensing Information Sciences, Institute of Remote Sensing Application, CAS, Beijing 100101)

SHI Jian-cheng

(Institute for Computational Earth System Science, University of California, Santa Barbara, CA 93106, USA)

Abstract In remote sensing applications, accurate registration is important for data fusion and detection of object changes. When registering images with substantially different characteristics, the traditional method of tie-points give inaccurate results. In this study, a registration method using a multi-window cross-correlation technique is developed. A moving window with different scales in the target image is cross-correlation with a chosen fixed window in the reference image, and the best match is obtained to provide a satisfactory registration by comparing loop algorithm. Using cross-correlation technique for separated windows from reference image, all the match-location and the ratio between two images can be determined. Three registration tests employed this method were done between TM images at different time, SAR at different time, AVIRIS and aerial photo. Experimental results on separately acquired TM images, SAR, AVIRIS images and aerial photos show that the described method can produce subpixel accuracy for registration between complex images, and it is more convenience than the tie-points methods.

Keywords Registration, Multi-window, Correlation function, Comparing loop algorithm

0 引言

随着遥感技术的发展, 由于不同物理特性的传感器所产生的遥感图象不断增多, 因此综合利用多种图象进行数据提取和分析已成为遥感领域的一个重要手段, 但各种传感器之间, 由于物理特性和成象

方式不同, 因此在数据应用和数据融合时, 不同几何特性和不同分辨率的图象间必须进行严格的配准.

传统的遥感图象配准是通过选控制点的方法来完成的, 一般, 该方法在相同传感器的遥感图象应用中能够达到很好的效果, 但如果用于成象特性差异较大的图象, 或雷达图象间的配准就存在较大的误差. 这是由于图象的成象方式不同, 很难用一个单一的

纠正公式来对整幅图象进行相关纠正,并且由于雷达图象上噪声较大,加之不同图象间因飞行参数的变化所导致的地形差异,均使得选同名控制点比较困难;另一方面,选控制点的方法需要大量的人工干预,因此费时费力。由此可见,如何使得图象间的各部分都得到准确匹配是图象配准的关键。如今基于影象灰度统计特性的图象匹配技术(如归一化相关、最小方根、加权最小方根、最大似然法、最小绝对方差等等^[1,2]),已广泛应用于不同特性图象间的配准^[3,4]。

本文提出的基于分窗口相关的图象配准方法,用于不同时相、不同分辨率和不同成像方式图象间的配准都取得了较好的结果。

1 分窗口相关算法

将数字图象看作是一个二维灰度分布函数,而灰度相关匹配则是在参考图象上选择一临时窗口,在另一图象(目标图象)上寻找与其对应的最相似的窗口(移动窗口),这种临时窗口和移动窗口的匹配包括不同图象间的几何变换和灰度变换。根据不同遥感图象空间分辨率和灰度的差异,建立包括5个参数的相关模型算法,其参数分别为:

- (1)象元位移在 x 和 y 方向上的变化(x 和 y);
- (2)图象大小比值在 x 和 y 方向上的变化(r_x 和 r_y);
- (3)灰度变换中的重采样方法。

其中,前4个参数的变化是几何变换,它决定了图象几何配准时的位置和图象大小的变化;第5个参数是生成配准图象时所采用的采样方法。这样通过几何变换和灰度变换,即将移动窗变换成为新窗口。

一般在图象进行相关处理时,应首先定义窗口的大小,并将参考图象划分成若干个分离的临时窗口,同时给出目标图象的起始坐标值,然后通过改变目标图象上移动窗口的位置和大小,来计算它与参考图象窗口的相关值,再采用循环比较的计算方法来搜寻一定范围内有最大相关值的位置,其所在位置的坐标和比例尺因子的大小即作为配准公式参数。其移动循环配准算法的步骤可归纳如下:

(1)确定分离窗的大小 $W \times W$,选取第一个分离窗起点在对应图象(目标图象)上的起始坐标值

(x_0, y_0) 初始比例尺因子(r_{x_0}, r_{y_0})和坐标移动范围 $\pm m$ 、比例尺因子变化范围 $\pm n$;

(2)通过变化对应图象上移动分离窗和该图象上对应窗口的比例尺因子,在坐标移动范围 $\pm m$ 、比例尺因子变化范围 $\pm n$ 内,通过移动比较,计算相关值最大时的坐标值和比例尺因子;

(3)将前一个窗口的计算结果作为下一个窗口的初始值,再移动计算下一个窗口对应相关值最大时的坐标值和比例尺因子,直至完成所有的分离窗匹配,并产生包括所有窗口的对应坐标和比例尺因子的配准文件。

计算相关值采用以下公式^[5]:

$$C = \frac{\max_{1 \leq i, j \leq (x+\Delta x, y+\Delta y)}^{r_{i,j}} \left(\frac{E[(s - \bar{s})(p - \bar{p})]}{\sqrt{E[(s - \bar{s})^2]E[(p - \bar{p})^2]}} \right)}{\max_{1 \leq i, j \leq (x+\Delta x, y+\Delta y)}^{r_{i,j}} \left(\frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \right)} \quad (1)$$

其中,

$$\sigma_{xy}^2 = \left(\sum_{k=1}^W \sum_{l=1}^W s_{k,l} p_{i+k, j+l} \right) - W^2 \bar{s} \bar{p}$$

$$\sigma_x^2 = \left[\sum_{k=1}^W \sum_{l=1}^W (s_{k,l})^2 \right] - (W \bar{s})^2$$

$$\sigma_y^2 = \left[\sum_{k=1}^W \sum_{l=1}^W (p_{i+k, j+l})^2 \right] - (W \bar{p})^2$$

这里, $r_{i,j}$ 是目标图象位于位置(i, j)处的相关系数; $s_{k,l}, p_{i+k, j+l}$ 分别为参考窗和移动窗的灰度值; \bar{s}, \bar{p} 分别为参考窗和移动窗的灰度均值。

2 实验

2.1 不同时相的 TM 图象间的配准

一些地物动态变化的遥感探测需要比较不同时期图象间的变化,而精确配准是其比较的基础。本实验中,取烟台地区1997年4月25日成象的TM图象(512×512)为参考图象,首先将其分成20×20 pixels的窗口,然后以1990年10月15日成象的TM图象(621×639)为目标图象与参考图象进行配准。配准过程是选定初始位置后,将水平和垂直移动变化范围设置为-5~5,初始比例尺因子设为1.0,比例尺因子变化范围设0.95~1.05,步长为0.01。通过循环比较探测,产生配准公式参数文件。

然后再用配准公式参数文件对变化后的TM图象进行重采样,以产生配准的图象(图1)。为检验

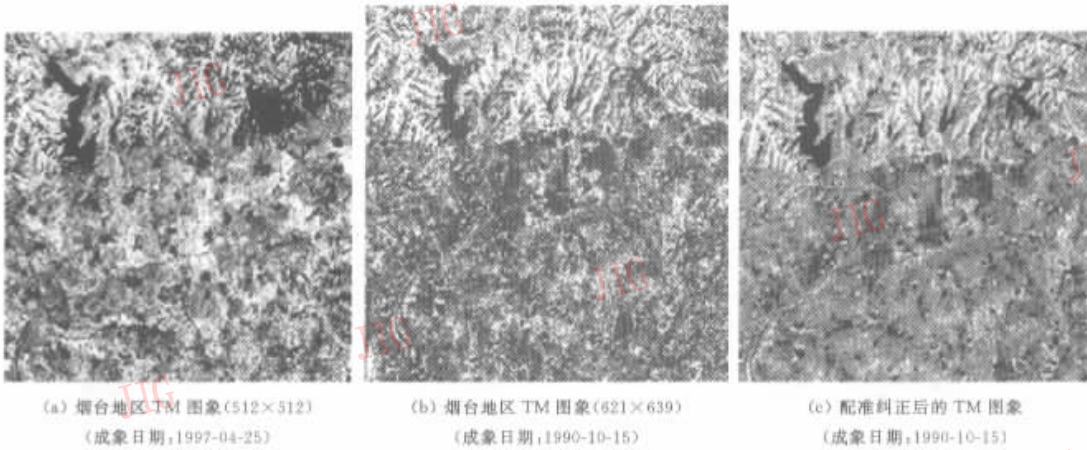


图 1 不同时期 TM 图象的配准纠正结果

图象的配准精度,在纠正后的 1990 年 TM 图象上选取 20 个均匀分布的独立验证点,分别与 1997 年影像同名点进行比较,结果 x 方向误差范围为 $-0.160.03\text{pixel}$, y 方向误差范围为 $-0.320.03\text{pixel}$, 均方根误差 RMS 为 0.18 和 0.27pixel.

2.2 不同时相的 SAR 图象间的配准

由于本算法采用的是对移动窗的整体灰度统计特征进行匹配,因此它尤其适合于雷达图象间的配准.在内蒙古地区 SIR-C/XSAR 图象的配准实验中,是

以 1994 年 10 月 1 日成象的图象(670×480)为参考图象,以 1994 年 4 月 10 日的图象(850×590)为目标图象来与参考图象进行配准(图 2).配准是首先选定初始位置,并将水平和垂直移动变化范围设置为 $-10 \sim 10$;初始比例尺因子设为 1.0;比例尺因子变化范围设为 $0.90 \sim 1.10$,步长为 0.01.通过循环比较探测,来产生配准公式参数文件,再进行重采样,以产生配准的图象,其配准验证点的均方根误差 RMS 为 0.27pixel 和 0.47pixel.

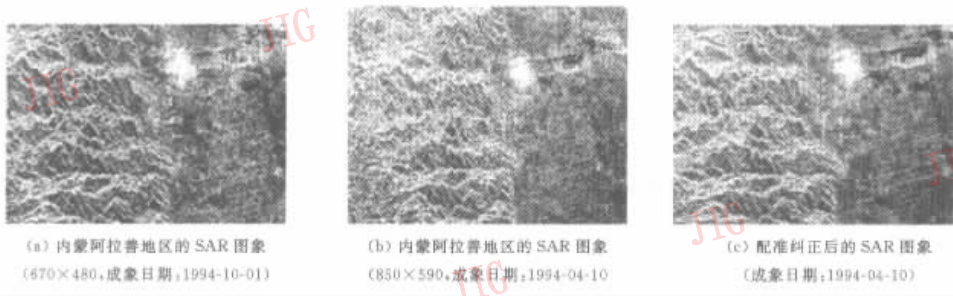


图 2 不同时期 SAR 图象的配准纠正结果

2.3 成象光谱仪(AVIRIS)图象与航片的配准

AVIRIS 是广泛应用于大气科学、大气校正、海洋、生态和地质遥感的传感器^[6].它提供 $0.4 \sim 2.5\mu\text{m}$ 光谱范围内丰富的光谱信息,其地面分辨率为 20m ^[7].对应的航片为数字化彩红外航片,每幅航片覆盖 $15\text{km} \times 15\text{km}$,地面分辨率为 $1.5 \sim 4\text{m}$. AVIRIS 数据与航片成象方式明显不同,其中 AVIRIS 是推扫式成象,其沿飞行方向星下点具有最高分辨率(一条线),而向图边缘方向则分辨率降低,航片的分辨率从中心向各方向发散降低.如果在平坦地区,虽然可通过模型来改正不同分辨率的差异,但对于山区地

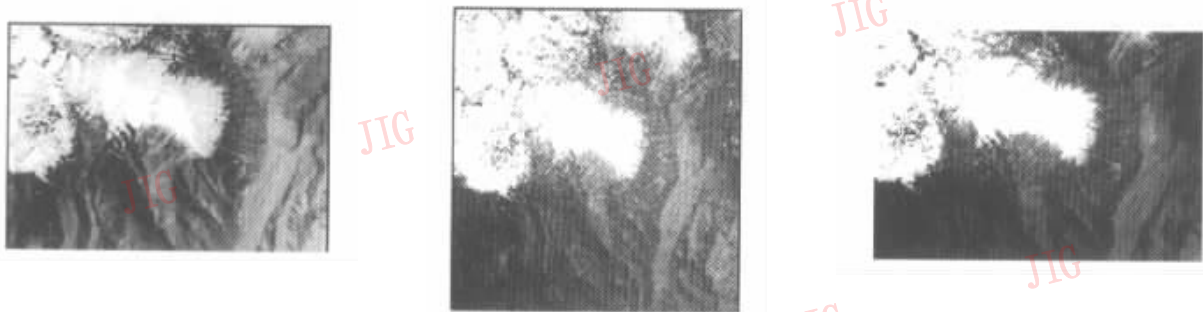
形,由于缺乏高精度的数字地形模型,故很难用模型进行改正.另外,因航片扫描产生的不规则形变,致使使用传统的选控制点的配准方法很难进行精确的配准.

本实验中,首先将参考图象(AVIRIS)分成 20×20 pixels 的窗口,然后根据第一个窗口初始位置 (x_0, y_0) 和初始比例尺因子 (r_{x_0}, r_{y_0}) ,采用式(1)来调整测试图象(航片)窗口,使之与参考图象匹配. AVIRIS 图象与航片的匹配,其水平和垂直移动变化范围从 $-10 \sim 10$,根据 AVIRIS 图象和航片的分辨率比,将初始比例尺因子 r_{x_0} 和 r_{y_0} 设置为 4.64 和 4.73;

将比例尺因子变换范围 r_x 设为 4.61 ~ 4.68, r_y 设为 4.70 ~ 4.77, 步长为 0.01.

接着,用配准公式参数文件对航片进行重采样,以产生与 AVIRIS 图象配准的亮度图象,其亮度值采用取平均值的方法.配准结果为: x 方向误差范围

-0.280.12pixel, y 方向误差范围 -0.320.10pixel,均方根误差(RMS)为 0.31pixel 和 0.41pixel.图 3 是位于 South Cascades 地区 1994 年 7 月 19 日 AVIRIS 图象和近红外航片的配准图象.



(a) 第 50 波段 AVIRIS 图象
(成像日期:1994-07-14)

(b) 同一地区近红外航片

(c) 与 AVIRIS 配准后的近红外航片

图 3 South Cascades 地区 AVIRIS 图象和近红外航片的配准结果

3 结 论

本文提出了一种基于分离窗自动相关技术的遥感图象配准方法,该方法是建立在图象每一子区灰度高度相关基础上的,它具有以下特点(1)通过对每一子区的自动相关来达到对整幅图象的精确配准(2)采用的自动相关算法,由于人工干预少,每幅图只需给定一个初始值,其余则自动完成,因此较传统选控制点的方法省时省力(3)该方法用于不同时相、不同成像特征的图象、噪声较大的雷达图象间的配准都能达到较高的配准精度.

实验结果表明,此算法具有准确、有效的特征,且能够解决成像差异较大的图象间的配准问题,因此具有较高的实用价值.

参 考 文 献

- Ramapriyan H K, Strong J P, Hung Y *et al.* Automated matching of pairs of SIR-B images for elevation mapping. *IEEE Trans Geoscience Remote Sens*, 1985, GE-24(4):462472.
- Leberl F W, Maurice K, Thomas J K *et al.* Automated radar image matching experiments. *J Photogramm Remote Sens*, 1994, 49(3):1933.

- Herbin M, Venot A, Devaux J Y *et al.* Automated registration of dissimilar images: Application to medical imagery. *Comput Vision Graph Image Process*, 1989, 47(1):7788.
- Calitz M F, Ruther H. Least absolute deviation(LAD) image matching. *J Photogramm Remote Sens*, 1996, 51:223229.
- Gruen A. Adaptive least-squares correlation—a powerful matching technique. *J Photogramm Remote Sens*, 1985, 53(2):167187.
- Vane G, Green R O, Chrien T G. The airborne visible and infrared imaging spectrometer. *Remote Sens Environ*, 1993, 44(2-3):127143.
- Vane G, Goetz A F H. Terrestrial imaging spectrometry: Current status, future trends. *Remote Sens Environ*, 1993, 44(2-3):117126.

李 震 1966 年生,副研究员.1998 年获理学博士学位,1998~1999 年在加州大学从事博士后研究.目前主要研究领域为遥感图象处理、微波遥感及其应用研究.已发表论文 30 余篇.

范相涛 1968 年生,博士,助研.现研究领域为雷达遥感农业应用研究.已发表论文 10 余篇.

施建成 1954 年生,博士,加州大学研究员.主要研究领域包括遥感图象处理、微波遥感模型及反演、雪水文研究.已发表论文 40 余篇.