

# 多源遥感影像多项式配准精度影响因素分析

邬建伟, 秦艳平

WU Jian-wei, QIN Yan-ping

武汉大学 遥感信息工程学院, 武汉 430079

School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China

E-mail: jianwei\_wu@163.com

WU Jian-wei, QIN Yan-ping. Analysis on accuracy factors of multi-source remote sensing image registration by polynomial model. *Computer Engineering and Applications*, 2009, 45(32): 153-155.

**Abstract:** There are many factors affecting the registration accuracy. According to the application of polynomial registration model in remote sensing image registration, this paper analyzes the following factors such as the terrain relief, the distribution of the control points, the degree of the polynomial, the image heterogeneity and so on. Finally, the multi-source images such as TM, SPOT and SAR images are used to conduct the registration experiment, and the influence rules of the above factors on multi-source image registration is concluded, which is helpful for the practical multi-source remote sensing image registration based on polynomial model.

**Key words:** image registration; polynomial model; multi-source remote sensing image; registration accuracy; ground control point

**摘要:** 影响遥感影像配准精度的因素众多, 基于多项式配准模型在遥感影像配准中的应用, 针对地形起伏、控制点分布、多项式配准模型次数、配准影像的多源异质性等影响多源遥感影像配准精度的因素, 采用 TM、SPOT 和 SAR 等多源遥感影像进行了广泛的多项式配准实验分析, 总结得出了上述各因素对多源遥感影像多项式配准精度的影响规律, 为多源遥感影像的多项式配准实践提供一定的指导。

**关键词:** 影像配准; 多项式模型; 多源遥感影像; 配准精度; 地面控制点

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2009.32.048 文章编号: 1002-8331(2009)32-0153-03 文献标识码: A 中图分类号: TP75

## 1 引言

随着航空、航天、计算机、通信以及对地观测技术的发展, 遥感技术已能够实现对地表多角度、多时相、多分辨率的观测, 获取到的遥感数据呈指数级的增长。由于不同传感器有不同的性能, 通过综合应用不同传感器的数据能弥补单一传感器数据的不足, 更能充分发挥遥感对地观测技术的优势, 这就需要首先通过影像配准技术将不同时刻、不同传感器或者不同视角采集的数据转换到统一的坐标系下。影像配准广泛应用于医学影像处理、遥感影像处理、计算机视觉以及军事应用中<sup>[1]</sup>, 根据应用领域的不同产生了不同的影像配准技术。影像配准技术在遥感影像处理中的应用产生了遥感影像配准技术。遥感影像配准是实现多种遥感影像处理任务的关键技术, 是遥感影像融合、变化检测、遥感影像拼接、多光谱遥感影像分类、基于遥感影像的地形图修测、环境监测等后续遥感数据处理与应用的基础<sup>[2]</sup>。从本质上讲, 影像配准是将不同参考坐标系下的影像变换到统一的坐标系下, 使得配准后的影像能够两两或者多幅影像间套合在一起, 配准后相同目标的影像像素能够一一对应。遥感影像配准就是要将不同时刻、不同传感器或者不同角度获取的遥感数据变换采样到统一的参考坐标系下, 实现同名地物影像像素的一一对应。

遥感影像配准的步骤主要包括特征提取、特征匹配、变换模型选择及其模型参数解算、影像变换和重采样等四个部分<sup>[1,3]</sup>。根据配准步骤里面的四个不同步骤, 研究产生了大量的影像配准算法: 从变换的基元上分为基于像素的方法和基于物理原理的配准方法; 从采用的特征来分有基于区域的配准方法和基于特征的配准方法, 采用的特征包括点、线、面特征; 从采用的变换模型分有多项式模型、弹性变换模型、全局变换模型、局部变换模型等; 此外, 遥感影像的配准从特征提取和匹配的自动化程度分有手工配准、半自动配准以及自动配准方法; 从影像的多源异质性方面还可以分为同源同质影像配准、多源同质影像配准以及多源异质影像的配准。

多项式配准是实践中常用的配准方法, 该文通过对多项式配准模型在多源影像配准中的精度影响因素进行分析, 如控制点的分布、控制点的数目、地形的起伏、多项式的阶数、影像的异质性等, 总结其影响规律, 为探究多项式配准模型应用于多源影像配准的实践中提供一定的指导, 如针对具体的配准任务应如何选择控制点及其分布, 需要的控制点的数目, 选用合适的多项式次数等, 进而可以有效保证配准质量, 为配准后续处理提供高精度的数据。

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)(the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2009AA12Z107)。

作者简介: 邬建伟(1981-), 男, 博士, 讲师, 主要研究方向: 机载 LiDAR 数据处理, 遥感影像处理。

收稿日期: 2009-05-20 修回日期: 2009-06-26

## 2 多源遥感影像多项式配准及精度影响因素分析

### 2.1 多项式配准模型

基于多项式模型配准多源影像是实践中经常使用的一种方法,因其具有原理简单直观,计算方法较为简单的优势。该模型回避了影像成像的空间几何过程,直接对影像变形本身进行数学模拟。由于遥感影像几何变形是由很多种因素引起的,其变化规律极其复杂,难以用一个严格的数学表达式来描述,而是用一个适当的多项式来描述配准前后影像相应点之间的基本坐标关系<sup>[4]</sup>。

一般多项式配准模型为:

$$\begin{cases} u=a_0+(a_1x+a_2y)+(a_3x^2+a_4xy+a_5y^2)+ \\ (a_6x^3+a_7xy^2+a_8x^2y+a_9y^3)+\dots \\ v=b_0+(b_1x+b_2y)+(b_3x^2+b_4xy+b_5y^2)+ \\ (b_6x^3+b_7xy^2+b_8x^2y+b_9y^3)+\dots \end{cases}$$

式中:( $x,y$ )为待配准影像空间像素坐标;( $u,v$ )为参考影像上相应像素坐标; $a_i,b_j(i,j=0,1,2,\dots,(N-1))$ 为多项式系数,其项数(即系数的个数) $N$ 与其阶数 $n$ 有着固定的关系: $N=(n+1)(n+2)/2$ 。通过在参考影像和待配准影像上选取一定数量可地面控制点,按照最小二乘的原理即可求解多项式的系数 $a_i,b_j$ ,建立其待配准影像的像素坐标与参考影像像素坐标之间的一一对应关系。

### 2.2 多源遥感影像多项式配准实验

由于不同源影像成像条件的不同,特征提取和特征匹配的方法在有些情况下存在精度和可靠性的问题,而当前遥感影像自动匹配方法对于多源遥感影像,尤其是对于 SAR 和光学影像这类成像机理不同、灰度特征差异明显的影像匹配,精度很难保证<sup>[9]</sup>,在实际应用当中手工选点还是常用的方法。为实现高精度的配准,实践当中是先把待配准的大影像进行粗配准,然后分小块进行精配准。该文实验针对精配准,所以采用的影像都是从整景的大卫星影像中裁剪出小块后用于配准实验。实验采用了三组实验数据,分别是同源光学影像-TM 与 TM,多源同质影像-TM 与 SPOT5 影像,多源异质影像-SPOT 与 SAR 影像。影像大小具体如表 1 所示,参考影像和待配准影像及其控制点和检查点分布如图 1~图 3 所示。

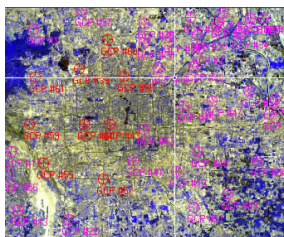


图 1(a) TM 参考影像 GCP 及检查点分布

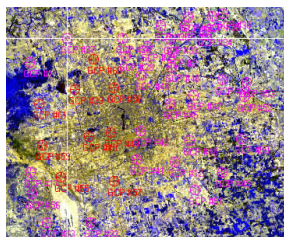


图 1(b) TM 待配准影像 GCP 及检查点分布

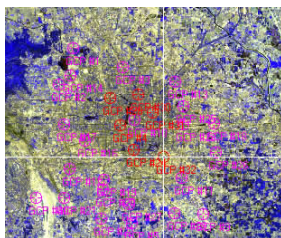


图 2(a) TM 参考影像上 GCP 及检查点分布

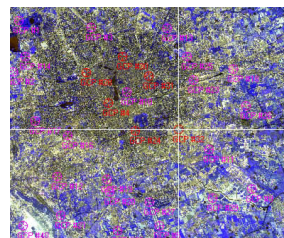


图 2(b) SPOT 待配准影像上 GCP 及检查点分布

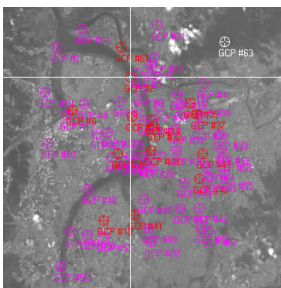


图 3(a) SPOT 参考影像 GCP 及检查点分布

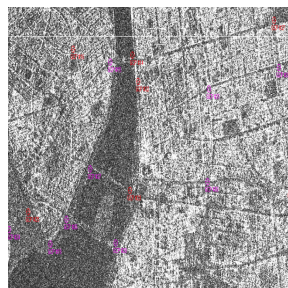


图 3(b) 雷达影像上部分 GCP 及检查点分布

对这三组实验数据分别在起伏较大区和较平坦地区选点,选择不同控制点的分布、控制点的个数、多项式的次数,采用遥感影像处理软件 ERDAS 进行配准实验(因为实验用的雷达影像基本上都是较为平坦的地区,地形起伏大的选点极为困难,所以没有对地形起伏大的地区选点并考察其配准精度;因为实践当中主要采用二次多项式和三次多项式,所以这里主要对二次多项式和三次多项式进行实验)。实验结果如表 1 所示(配准精度用检查点的最小二乘残差评价,单位为像素)。

### 2.3 实验分析

通过实验和表 1 结果可以分析得出:

- (1)地形的起伏对多项式模型配准多源影像的精度影响:从表 1 可以看出:在 TM 与 TM 的配准中,地形较平坦的地区用二次多项式和三次多项式模型配准,精度可以达到接近 0.1 个像素,但是在地形起伏较大的地区,相应的精度只有 0.4 个像素左右,尤其是在山区,配准的精度更差。对于 SPOT 与 TM 影像的配准,地形起伏大的地区的精度更差,误差有 1.5~2 个像素,是平坦地区的 3~4 倍。可见,地形起伏对多项式模型配准精度的影响是显著的:在地形较为平坦的地区,其配准精度是较高的;但随着地形起伏的加大,多项式的配准精度就会相应降低。
- (2)控制点的个数对多项式模型配准多源影像的精度影响

从表 1 可以看出,对于多项式模型配准多源影像,需要选取足够的控制点才能保证达到一定的精度。对于 TM 与 TM,二次多项式和三次多项式模型一般选取 12~14 GCPs 就可以达到

表 1 多项式模型配准多源影像精度分析综合表

		地形因素		控制点分布	控制点个数					影像大小
		起伏大地区	较平坦地区		不均匀	n=8	n=12	n=14	n=20	
TM 与 TM	二次多项式配准精度	0.433	0.128	0.529	0.324	0.309	0.221	0.210	0.211	待配准:1 430x1 175
	三次多项式配准精度	0.439	0.108	0.530	-	0.208	0.192	0.150	0.204	参考 TM:1 242x1 032
SPOT 与 TM	二次多项式配准精度	1.539	0.583	0.897	0.52	0.499	0.483	0.470	0.433	SPOT:3 166x2 697
	三次多项式配准精度	2.102	0.517	0.818	-	0.399	0.371	0.352	0.370	参考影像:1 430x1 175
SAR 与 SPOT	二次多项式配准精度	-	0.709	1.230	1.052	0.873	0.877	0.785	0.690	SAR 待配准:2 005x1 840
	三次多项式配准精度	-	0.539	0.763	-	0.671	0.638	0.581	0.564	SPOT 光学参考:2 327x3 040

较高的精度;对于 SPOT 与 TM 的配准,二次多项式模型和三次多项式模型一般选取 14~20 个 GCPs 精度可以达到 0.4 个像素;对于雷达与光学影像,由于成像方式的不同,需要较多 GCP 才能达到较好的精度。

(3)控制点分布对多项式模型配准多源影像精度的影响

从表 1 可以看出,控制点的分布是否均匀影响配准的精度。控制点分布不均匀,如在待配准影像和参考影像的 GCPs 四周分布较少但中间较多或者相反;或者是影像一边 GCPs 分布较多而另一边较少,其配准精度都差于 GCP 分布均匀时的精度,该文的实验结果是分布不均匀的配准误差是 GCP 分布均匀时的 1.2~2 倍左右。同时,控制点的密度也影响多项式配准精度,如 TM 与 TM 的配准较 SPOT 待配准上的控制点密度大,配准精度也更高。

(4)多项式的次数对多项式模型配准多源影像的精度影响

从表 1 可以看出,高次数的多项式模型的配准精度较低次数的多项式模型的配准精度要好。TM 与 TM 配准,选取 12 个 GCPs,三次多项式模型的配准精度已经可以达到 0.2 个像素,但是此时二次多项式模型的配准误差还在 0.3 个像素以上。依次选取 12 个、14 个、20 个、30 个 GCPs,三次多项式模型的配准精度都比二次多项式模型的配准精度高。SPOT 与 TM 配准,雷达与光学影像配准,多项式模型的次数对配准精度的影响都满足这一结论。

(5)影像的多源异质性对多项式模型配准多源影像的精度影响

从表 1 和图 4 可以看出:TM 与 TM 的配准精度高于 SPOT5 与 TM 的配准精度,SPOT 与 SAR 的配准精度最差。因此,影像的多源异质性会降低多项式配准模型的精度,尤其是异质性影响更大。以三次多项式的配准为例,在选取 12 个 GCPs 时,TM 与 TM 的配准精度可以达到 0.2 个像素,SPOT5 与 TM 的配准精度也可以达到 0.4 个像素左右,但 SPOT 与 SAR 影像间的配准,其相应的配准精度在 0.7 个像素左右,相差比较大;选取 20

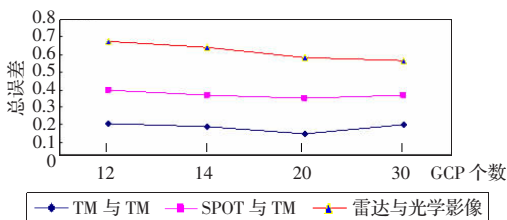


图 4 三次多项式模型配准多源影像的精度比较图

(上接 152 页)

实验发现基于像素法进行特征提取的缺陷:只对特定人有较高识别率,对非特定人识别率则显著下降。接下来的工作在于如何结合形状法和像素法的特点,提取更加鲁棒的视觉语言特征矢量。

参考文献:

[1] Potamianos G,Neti C,Gravier G,et al.Recent advances in the automatic recognition of audio-visual speech[C]//Proc IEEE,2003.  
 [2] Chan M T,Zhang Y,Huang T S.Real-time lip tracking and bi-modal continuous speech recognition[C]//Proc Workshop Multimedia

个 GCPs, TM 与 TM 的配准精度可以达到 0.15 个像素, SPOT 与 TM 的配准精度也上升到 0.35 个像素, 但 SPOT 与 SAR 影像间的配准精度还只有 0.6 个像素左右。这主要是由 SPOT 光学影像与 SAR 影像不同的成像方式和影像本身特点的不同造成的。

3 结论

多源遥感影像配准是多源遥感影像处理的基础,通过对三组数据的广泛实验,重点分析了影响多项式模型配准多源遥感影像精度的因素,包括地形起伏、控制点个数、控制点的分布及其密度、多项式模型的次数以及配准影像的多源异质性等。上述因素会直接或间接地对多项式模型的配准精度产生不同程度的影响:(1)地形起伏是影响多项式模型配准精度的重要因素,对于高精度的配准要求,多项式配准模型比较适合于地形起伏变化不大的地区。(2)控制点个数的增加可以提高多项式模型的配准精度。(3)控制点的分布一定要较为均匀,控制点分布不均匀会导致配准精度的降低。(4)在控制点分布合理的情况下,三次多项式模型的配准精度一般要优于二次多项式模型的配准精度。(5)配准影像的多源异质性会降低配准的精度,尤其是异质影像间的配准精度与同源同质影像配准精度相比会显著降低。多源遥感影像配准精度直接影响后续的处理,如在变化检测应用中,根据 Xiao long Dai<sup>⑥</sup>等人研究结论,高精度的变化检测需要至少 0.2 个像素的配准精度,通过实验发现采用多项式模型配准平坦地区的 TM 影像,是完全可以达到这个精度要求的;但是采用多项式模型配准不同源或者异质影像,则一般较难以达到 0.2 个像素的精度,这就需要选取更为密集的控制点或者选用其他更合适的配准模型。

参考文献:

[1] Zitova B,Flusser J.Image registration methods:A survey [J].Image and Vision Computing,2003,21(11):977-1000.  
 [2] 文贡坚,吕金建,王继阳.基于特征的高精度自动图像配准方法[J].软件学报,2008(9):2293-2301.  
 [3] 倪国强,刘琼.多源图像配准技术分析与发展[J].光电工程,2004(9):1-6.  
 [4] 孙家柄.遥感原理与应用[M].武汉:武汉大学出版社,2004.  
 [5] 张登荣,俞乐,蔡志刚.基于面特征的光学与 SAR 影像自动匹配方法[J].中国矿业大学学报,2007(11):843-847.  
 [6] Dai Xiao-long, Khorram S.The effects misregistration on the accuracy of remotely sensed change detection[J].IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1998,36(5):1566-1577.

Signal Processing,1998:65-70.

[3] Gurbuz S,Tufekci Z,Patterson E,et al.Application of affine-invariant Fourier descriptors to lipreading for audio-visual speech recognition[C]//Proc Int Conf Acoustics,Speech, and Signal Processing,2001:177-180.  
 [4] Potamianos G,Neti C.Improved ROI and within frame discriminant features for lipreading[C]//Proc Int Conf Image Processing,2001,3:250-253.  
 [5] 何俊,张华.一种唇读嘴唇的实时检测方法[C]//第 26 届中国控制会议论文集(第四册),张家界,2007:516-520.  
 [6] 边肇祺,张学工.模式识别[M].北京:清华大学出版社,2000.