

文章编号:1671-8860(2013)10-1135-04

文献标志码:A

# 一种针对大倾角影像匹配粗差剔除的算法

张永军<sup>1</sup> 王博<sup>1</sup> 段延松<sup>1</sup>

(1 武汉大学遥感信息工程学院,武汉市珞喻路129号,430079)

**摘要:**提出了一种基于影像像元曲面元变换的影像匹配粗差剔除算法。结合影像匹配算法实践,在由粗到精的匹配过程中嵌入该方法,可以有效控制匹配误差和修正匹配参数。以低空影像与近景影像等大倾角影像为例,证明该方法可以极大地降低匹配结果中的粗差,保证影像匹配的质量和效率。

**关键词:**影像匹配;粗差剔除;曲面元模型

中图法分类号:P231.5

影像匹配过程中的误匹配是一个不可忽视的问题<sup>[1]</sup>。在数字摄影测量与遥感领域,影像匹配的误差一般是通过测量平差解决的。李德仁等<sup>[2]</sup>从验后方差估计的角度提出的选权迭代法成为平差处理的经典算法,但其权函数的选择仍是技术处理的难题;岑敏仪等<sup>[3]</sup>避开最小二乘残差统计相关的难题,从验前角度提出的粗差判断方程可以提高平差解算的可靠性,但判断矩阵的结构严格依赖于描述观测值的数学模型,使得适用范围较为受限;郭建锋等<sup>[4]</sup>针对粗差探测与识别统计检验量的对比分析,详细介绍了平差技术中粗差统计检验量的优缺点。

在大倾角的影像匹配中,由于影像自身特点与匹配技术要求的矛盾,造成误匹配率较高<sup>[5]</sup>,匹配误差并不一定符合正态分布的规律,且大规模平差模型中涉及参数较多,残差统计与模型解算结果相关,平差解算都无法消除不确定性影响甚至无法解算。除此之外,在成像平台越来越多样、影像分辨率越来越高的大背景下,数码相机或摄像机的畸变对于影像匹配的影响越来越大,使得匹配粗差与系统误差无法区分,粗差处理十分困难<sup>[6-7]</sup>。

本文从影像重叠区域局部解算的角度,利用描述影像间关系的数学模型,结合由粗到精的匹配策略,针对影像匹配粗差剔除设计了实用有效的算法。

## 1 粗差剔除算法的数学基础

影像匹配实质上是在两张或多张具有重叠区域的影像之间识别同名点。在小范围的影像平面,右像与左像之间的关系一般可以利用简单的数学模型进行描述,例如旋转平移模型(式(1))、投影变换模型(式(2))、二维直接线性变换模型(式(3))<sup>[8]</sup>:

$$\begin{cases} x = a_0 + a_1 x' - a_2 y' \\ y = b_0 + a_2 x' + a_1 y' \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} x = a_0 + a_1 x' + a_2 y' + a_3 x'^2 + b_3 x' y' \\ y = b_0 + b_1 x' + b_2 y' + a_3 x' y' + b_3 y'^2 \end{cases} \quad (2)$$

$$\begin{cases} x = \frac{l_1 x' + l_2 y' + l_3}{l_7 x' + l_8 y' + 1} \\ y = \frac{l_4 x' + l_5 y' + l_6}{l_7 x' + l_8 y' + 1} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $(x, y)$  为计算所得的同名点左像平面坐标;  $(x', y')$  为匹配所得的同名点右像平面坐标, 其余字母均为模型参数。

理想情况下, 匹配所得到的同名点对应该在一定程度上满足描述影像关系的数学模型, 影像匹配的粗差剔除可以利用这些模型。然而, 在摄影成像的瞬间, 由于摄影平台、仪器及成像条件的限制, 影像之间的关系在整体上大致符合上述数学模型, 但在局部仍会出现程度不一的点位偏差。这为影像匹配的粗差剔除带来模型解算误差偏

收稿日期:2013-06-27。

项目来源:国家自然科学基金资助项目(41171292, 41071233, 41322010);国家科技支撑计划资助项目(2011BAH12B05)。

大、剔除测度无法预估的难题。

解决问题的关键有两点:一是如何组织有效的模型解算,即如何组织匹配同名点位参与模型参数的解算;二是如何进行粗差探测与判定,即如何利用模型参数进行剔除测度的自适应选择与点位误差估计。

如图1所示,将某点  $P$  及其附近一些点构建三角网,  $P$  点所在的曲面上,周围点位为关系点,中心点位为待定点。此时,假定图1(a)中  $P_0$  点与图1(b)中  $P_1$  点为正确匹配点,利用其对应的周围点位可计算(a)到(b)的局部模型;当出现图1(c)中的错误匹配点  $P_2$  时,则通过判断  $P_2$  是否满足局部模型确定该粗差。

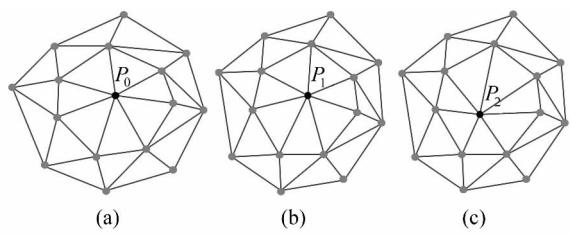


图1 粗差剔除曲面元模型示意图

Fig. 1 Gross Error Elimination in Curved Surface

根据影像匹配粗差的特点,在影像同名区域的局部小范围内,充分顾及匹配点位之间的相互联系及成像瞬间的系统误差,能够得到最大化满足同名像点数学模型的解算曲面元。在解算曲面元上按照式(4)统计关系点位的中误差,按照式(5)估计待定点位的误差,按照式(6)进行粗差判定,可以解决粗差探测与判定问题:

$$m_x = \frac{\sum_{i=1}^n (x - f(x'))_i}{n}, m_y = \frac{\sum_{i=1}^n (y - f(y'))_i}{n}$$

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x - f(x') - m_x)^2}{n}}$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y - f(y') - m_y)^2}{n}} \quad (4)$$

$$\begin{cases} V_x = |x - f(x') - m_x| \\ V_y = |y - f(y') - m_y| \end{cases} \quad (5)$$

其中,  $(x, y)$ 、 $(x', y')$  为对应匹配点位的左右像点坐标;  $f(x)$  为曲面元间模型变换函数;  $m_x$ 、 $m_y$  为误差均值,在公式中代表匹配点位的系统性偏差部分;  $\sigma_x$ 、 $\sigma_y$  为曲面元模型中误差。若满足:

$$\begin{cases} V_x > k_1 \sigma_x \\ V_y > k_2 \sigma_y \end{cases} \quad k_1, k_2 \subset R^+ \quad (6)$$

则  $(x, y)$ 、 $(x', y')$  所对应的点对为影像匹配粗差。

## 2 粗差剔除算法的技术路线

影像匹配过程中,结合金字塔影像相关的策略,设计影像匹配的粗差剔除算法,分层设级地控制匹配同名点的保留与剔除,从而使得影像匹配结果尽可能达到最优。具体可分为以下几个步骤:① 从影像金字塔的顶层开始,在每层影像匹配结束时,以匹配结果构建三角网结构,以同名点在左影像上的像方坐标为网顶点位置坐标。② 逐点遍历三角网中的每一网顶点,利用其周围匹配成功点位的位置坐标,解算曲面元局部数学模型参数的最小二乘解,统计曲面元上关系点位的中误差。③ 按照设定的阈值体系,判定网顶点是否为粗差,若为粗差,则剔除;若不为粗差,根据其残差统计,调整下一层该点位的匹配算法参数,如搜索范围、相关系数窗口大小和特征向量阈值等<sup>[9-14]</sup>。④ 在影像金字塔的底层,匹配结束时,针对保留的所有匹配点位确定其误差级别,便于匹配结果的后续应用。

## 3 实验及分析

本文选用两组大倾角影像进行实验,其中第一组是利用低空平台的无人机所拍摄的九寨地区数据,第二组是利用近景交向摄影的方法所获得的三峡坝区数据。两组数据均进行影像匹配,分别针对旋转平移模型、投影变换模型、二维直接线性变换模型设计粗差剔除算法,对比粗差剔除前、后的匹配结果,以及不同模型下的剔除效果,分析算法的适用范围、处理速度及处理效果。

影像匹配方法采用基于核线约束的全自动匹配算法,匹配格网大小为 200 像素  $\times$  200 像素。抽取其中像对进行实验分析,未经粗差剔除的匹配点位图如图2、3所示,匹配结果统计如图4、5所示,误匹配点位如图6、7所示。加入粗差剔除算法后,匹配结果统计如图8、9所示。

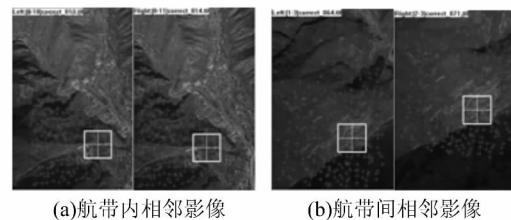


图2 四川九寨地区影像匹配结果示意图

Fig. 2 Image Matching Results in Jiuzhai, Sichuan

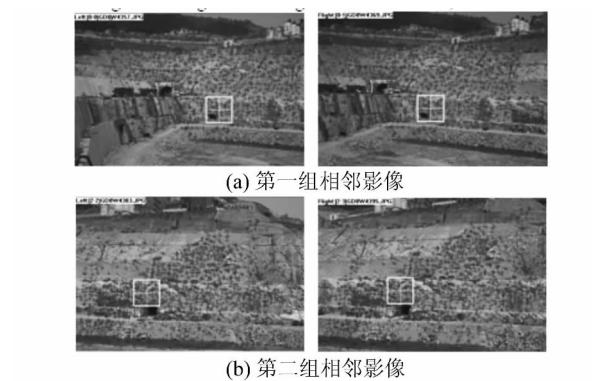


图3 三峡坝区影像匹配结果示意图

Fig. 3 Image Matching Results in Sanxia

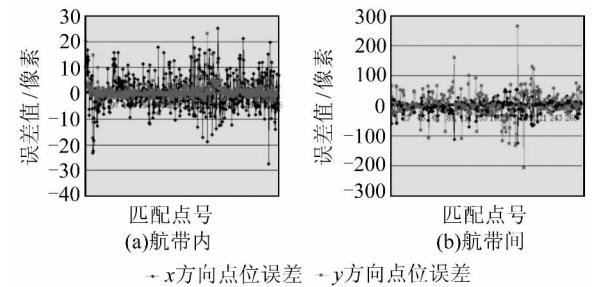


图4 低空影像匹配结果中的点位误差统计图表

Fig. 4 Noise Points Statistics of Low-altitude Image Matching

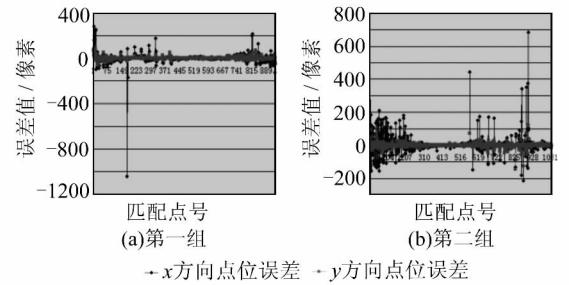


图5 近景影像匹配结果中的点位误差统计图表

Fig. 5 Noise Points Statistics of Close-range Image Matching

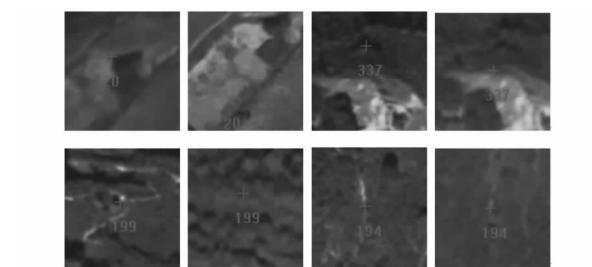


图6 低空影像匹配结果中粗差点位的局部放大图

Fig. 6 Gross Error Points of Low-altitude Images

由上述几幅图表可以看出:

一是匹配结果中确实存在粗差。从图5、6可以看出,误匹配点在数值上可能大小不等、方向不

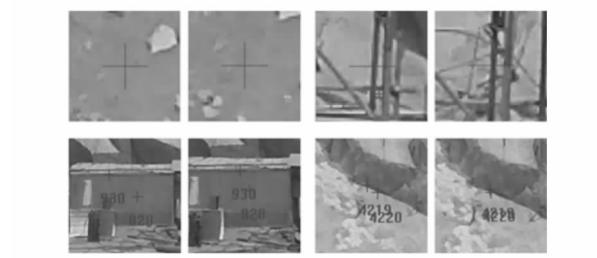


图7 近景影像匹配结果中粗差点位的局部放大图

Fig. 7 Gross Error Points of Close-range Images

同,尤其是交向摄影条件下,匹配点位的偏差方向和大小更为无序。根据影像匹配的像方观测数据,式(5)、(6)的统计模型在一定程度上能相对反映匹配点位在  $x$ 、 $y$  两个方向上的偏差程度。

二是点位误差的整体表现因摄影方向、交向角度的不同而不同,局部表现更为复杂。根据局部曲面元分割的思想,逐匹配点地进行曲面遍历,在像方  $x$ 、 $y$  方向上分别设置合理的粗差判定测度,从而保证剔除的可靠性与准确性。

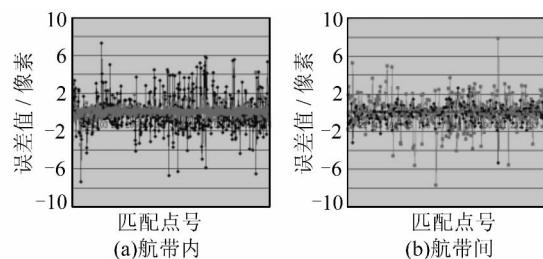


图8 处理后低空影像的点位误差统计图表

Fig. 8 Noise Points Statistics of Low-altitude Image Matching After Processing

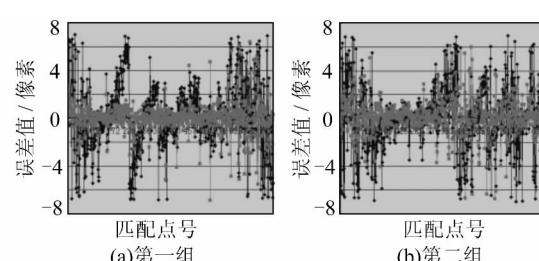


图9 处理后近景影像的点位误差统计图表

Fig. 9 Noise Points Statistics of Close-range Image Matching After Processing

在影像匹配算法中加入粗差剔除算法后,匹配结果明显得到改善。从上述的点位统计结果可以看出,低空影像匹配结果个别点位的视差比较大,其原因是摄影平台与实际地形起伏综合作用,即像地投影偏差,但多半呈现系统性,处理结果中已基本不含粗差;近景交向影像的处理结果中仍存在一些较大的点位偏差,其原因是交向角造成

的点位偏差在一定的地面分解力下与匹配粗差的数值无法区分。

人工检查实验数据中的匹配结果,如表1、2所示。可以得出以下结论:①在低空大倾角、非常规摄影测量中,影像的误匹配率较高,航带间的匹配较之航带内的匹配更加困难。采用旋转平移模型进行粗差探测与剔除,剔除的可靠性较高,剔除效果明显,处理速度较快;采用投影变换模型与二维直接线性变换模型进行粗差探测与剔除,剔除的可靠性较低,但仍能剔除结果中的粗差。根据实验

结果,认为旋转平移模型更适合于低空影像匹配粗差的处理。②在近景交向摄影测量中,影像之间的交向角度较大,影像匹配与匹配结果中的粗差剔除均更加困难。采用旋转平移模型与投影变换模型进行粗差探测与剔除,由于数学模型不太适用于大角度的交向摄影,因此剔除效果十分不理想;采用二维直接线性变换模型进行粗差探测与剔除,剔除的可靠性较高,剔除效果明显,处理速度较快。根据实验结果,认为二维直接线性变换模型更适合于近景交向摄影影像的匹配粗差处理。

表1 低空影像匹配剔除结果统计表

Tab. 1 Gross Error Removal Statistics of Low-altitude Image Matching

		应用模型	匹配总点数	剔除点数	误剔除点数	处理时间	残余粗差
航带内	旋转平移	632	58	9	3.2 s	15	
	投影变换	(粗差:64)	142	87	3.8 s	9	
	二维直接线性变换		153	106	4.3 s	17	
航带间	旋转平移	279	57	7	2.8 s	11	
	投影变换	(粗差:61)	92	43	3.6 s	12	
	二维直接线性变换		109	55	3.9 s	7	

表2 近景影像匹配剔除结果统计表

Tab. 2 Gross Error Removal Statistics of Close-range Image Matching

		应用模型	匹配总点数	剔除点数	误剔除点数	处理时间	残余粗差
第一组	旋转平移	936	103	33	3.7 s	73	
	投影变换	(粗差:143)	115	29	3.9 s	57	
	二维直接线性变换		169	28	3.9 s	2	
第二组	旋转平移	1 036	127	34	3.7 s	99	
	投影变换	(粗差:192)	139	41	3.8 s	94	
	二维直接线性变换		286	97	3.9 s	3	

## 参 考 文 献

- [1] Schreier H W, Braasch J R, Sutton M A. Systematic Errors in Digital Image Correlation Caused by Intensity Interpolation [J]. Optical Engineering, 2000, 39(11): 2 915-2 921
- [2] 李德仁,袁修孝. 误差处理与可靠性理论[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002
- [3] 岚敏仪,卓健成,李志林,等. 判断观测值粗差能否发现和定位的一种验前方法[J]. 测绘学报,2003, 32(2):134-138
- [4] 郭建锋,赵俊. 粗差探测与识别统计检验量的比较分析[J]. 测绘学报,2012,41(1):14-18
- [5] 张永军. 无人驾驶飞艇低空遥感影像的几何处理[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2009,34(3): 284-288
- [6] 张祖勋. 从数字摄影测量工作站(DPW)到数字摄影测量网格(DPGGrid)[J]. 武汉大学学报·信息科学版,2007,32(7):565-570
- [7] 程效军,胡敏捷. 数字相机畸变差的检测[J]. 测绘学报,2002,31:113-117

- [8] 冯文灏. 近景摄影测量——物体外形与运动状态的摄影法测定[M]. 武汉:武汉大学出版社,2002
- [9] Förstner W, Gölch E. A Fast Operator for Detection and Precise Location of Distinct Points, Corners and Centers of Circular Features[C]. ISPRS Conference on Fast Processing of Photogrammetric Data, Interlaken, Switzerland, 1987
- [10] Chris H, Mike S. A Combined Corner and Edge Detector[C]. The Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, UK, 1988
- [11] Lowe D G. Object Recognition from Local Scale-invariant Features[C]. International Conference on Computer Vision, 1999;1 150-1 157
- [12] Lowe D G. Distinctive Image Features from Scale-invariant Keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2):91-110
- [13] Bellavia F, Tegolo D, Valenti C. A Non-parametric Scale-based Corner Detector[C]. The 19th International Conference on Pattern Recognition, Tampa, USA, 2008

(下转第 1147 页)

## A Robust and Efficient Feature Extract Transform

CHEN Min<sup>1</sup> SHAO Zhenfeng<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Information Engineering in Surveying, Mapping and Remote Sensing,  
Wuhan University, 129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** The efficient feature detection is a crucial step for various tasks in computer vision. However, the corner location is not very accurate and some edge pixels have high responses for the kind of corner detector based on the accelerated segment test. Furthermore, this kind of method is sensitive to the change of illumination. This paper presents a robust and efficient feature extraction transform (REFET). The method includes three steps: firstly, the input image is enhanced based on the color constancy of the human vision system. Then, a coarse edge pixel detection method is used to eliminate edge points in the image. Finally, an adaptive mask is proposed to extract corners accurately and efficiently. The experiments demonstrate that the proposed method improves the corner localization accuracy and the robustness for illumination, and the edge points are suppressed in the results.

**Key words:** feature detection; FAST; REFET; adaptive mask

**About the first author:** CHEN Min, Ph. D candidate, majors in multi-source remote sensing images feature detection and matching.

E-mail: chenminzs@163.com

(上接第 1138 页)

[14] Gruen A, Akca D. Least Squares 3D Surface and Curve Matching[J]. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2005, 59(3): 151-174

**第一作者简介:** 张永军,教授,博士生导师,主要研究方向为数字摄影测量与遥感、计算机视觉等。

E-mail: zhangyj@whu.edu.cn

## An Algorithm of Gross Error Elimination in Image Matching for Large Rotation Angle Images

ZHANG Yongjun<sup>1</sup> WANG Bo<sup>1</sup> DUAN Yansong<sup>1</sup>

(1 School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University,  
129 Luoyu Road, Wuhan 430079, China)

**Abstract:** This paper has proposed an gross error elimination algorithm for image matching based on the imaging surface transformation. Image matching practice which embedded this algorithm in the coarse to fine the matching strategy showes that this algorithm can effectively control matching error and correct matching parameters. Experiments with large rotation angle images, such as low-altitude images and close-range images prove that the method can greatly reduce the gross errors in the matching results and ensure the quality and efficiency of image matching.

**Key words:** image matching; gross error elimination; surface element model

**About the first author:** ZHANG Yongjun, professor, Ph.D supervisor, majors in photogrammetry, remote sensing and computer vision.

E-mail: zhangyj@whu.edu.cn