

# 严密定位模型辅助的国产卫星影像匹配

张永军<sup>1</sup> 熊金鑫<sup>1</sup> 余磊<sup>1</sup> 凌霄<sup>1</sup>

<sup>1</sup> 武汉大学遥感信息工程学院,湖北 武汉,430079

**摘要:**针对不同传感器下的国产卫星影像特点,提出了一种基于严密定位模型的影像匹配方法。在现有方法的基础上,改进扫描行迭代搜索法,实现同名点的快速预测。在全球 SRTM 数据的辅助下,建立了近似核线方程。通过局部畸变改正,消除了匹配窗口的几何与辐射变形。引入多片最小二乘匹配(MPGC)算法,对匹配结果进行精化,并剔除误匹配点。综合运用了小面元几何纠正法与基于控制网的匹配生长算法,提高了匹配点的匹配精度与分布均匀性。利用天绘一号、资源一号 02C、资源三号卫星影像进行试验,结果表明所提出的方法能够较好地结合国产卫星影像特点,实现多传感器下多轨道影像的全自动联合匹配,获得高精度的同名点观测值。

**关键词:**严密定位模型;同名点预测;SRTM;影像匹配;国产卫星;天绘一号;资源一号 02C;资源三号  
**中图分类号:**P231 **文献标志码:**A

影像匹配是摄影测量自动化的关键技术,是从影像提取空间信息、建立 DTM 的基础<sup>[1]</sup>。文献<sup>[2]</sup>提出带匹配支持度的多源遥感影像 SIFT 匹配方法,该方法可用于不同源遥感影像的匹配,但 SIFT 算法计算量大、效率低,很难应用于大数据量的遥感影像匹配中。文献<sup>[3]</sup>提出了基于有理多项式模型的高分辨率卫星遥感影像匹配方法,但匹配正确率不够理想,匹配精度有待提高。文献<sup>[4-5]</sup>提出了几何约束互相关的匹配思想,在多基线情况下实现高分辨率遥感影像高精度 DEM 的生成,但依赖较为精确的姿态轨道参数来获得大致准确的同名预测点。文献<sup>[6]</sup>提出了结合特征匹配与灰度匹配的自动匹配算法,该方法适用于平坦地形下的匹配,但对于复杂地形如居民地、山地、丘陵等,效果较差。

总体说来,现有匹配方法主要针对基于有理多项式模型(RFM)的国外卫星影像,而针对国内卫星特点,利用严密模型进行影像匹配的研究仍较少。基于此,本文提出了一种基于严密定位模型的国产卫星影像匹配方法。

## 1 基于严密定位模型的卫星影像匹配

### 1.1 基于严密模型的同名点快速预测

目前国产卫星如天绘一号、资源三号等,均采用共线方程作为其严密模型。同名点的预测等同于在已知高程面上的像地正反投影。在像地反算中,虽然已知地面坐标,但无法确定该地面点对应待匹配影像的 EOP,因此无法直接计算出其像方坐标。文献<sup>[7]</sup>提出了扫描行迭代搜索法,具体原理如图 1 所示。该方法的不足主要是迭代速度较慢,迭代次数较多,一旦出现跳帧现象,可能导致迭代无法收敛。本文在此基础上,加入初始扫描行预测,如图 1(a)所示,该方法初值的确定准确可靠,能有效避免迭代不收敛的情况。

对于卫星线阵影像,可将推扫方向看作中心投影,而平行于飞行方向的影像纵坐标可看作常数:

$$x = -f \cdot \frac{m_{t11}(X - X_t) + m_{t12}(Y - Y_t) + m_{t13}(Z - Z_t)}{m_{t31}(X - X_t) + m_{t32}(Y - Y_t) + m_{t33}(Z - Z_t)}$$
$$y = -f \cdot$$

收稿日期:2013-03-25

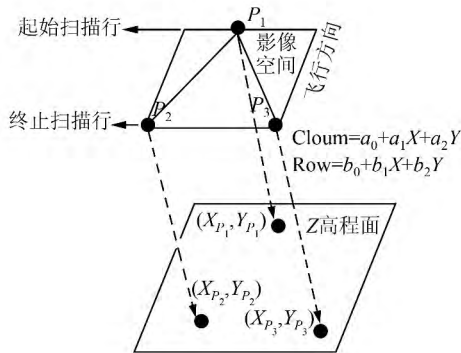
项目来源:国家自然科学基金资助项目(41071233,41322010);国家 863 计划资助项目(2013AA12A401,2012AA12A301);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(201121302020004);教育部博士研究生学术新人奖资助项目(5052011213018)。

第一作者:张永军,教授,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

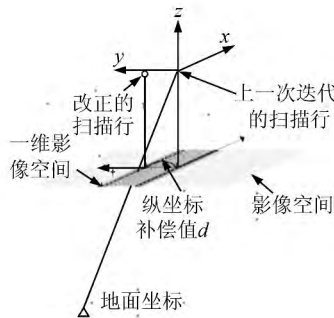
$$\frac{m_{t21}(X - X_t) + m_{t22}(Y - Y_t) + m_{t23}(Z - Z_t)}{m_{t31}(X - X_t) + m_{t32}(Y - Y_t) + m_{t33}(Z - Z_t)} = d = f \cdot \tan\alpha \quad (1)$$

式中,  $(x, y)$  为像点的像空间坐标;  $(X, Y, Z)$  为该像点对应的物方空间坐标;  $d$  为平行于飞行方向的像点纵坐标补偿值;  $f$  为相机的等效焦距;  $\alpha$  为相机安置方向与铅垂方向的交会角;  $(X_t, Y_t, Z_t)$  为摄影中心的三维物方坐标;  $m_{ti}$  为像点对应的摄影时刻的外方位元素。

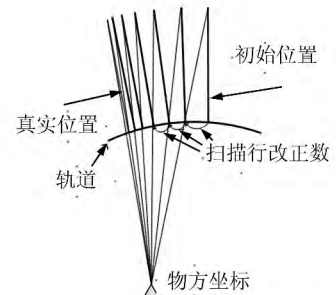
如图 1(a) 所示, 首先将影像起始扫描行的  $P_1$  点以及终止扫描行的  $P_2, P_3$  点, 投影到高程面  $Z$  上, 此处使用仿射变换模型描述像空间坐标与物



(a) 初始像方方位计算示意图



(b) 每次迭代的纠正过程<sup>[7]</sup>



(c) 真实扫描的迭代搜索过程<sup>[7]</sup>

图 1 快速迭代搜索法示意图

Fig. 1 Sketch of the Rapid Iterative Search Method

### 1.2 SRTM 数据辅助的影像匹配策略

文献[8]分析了高程误差对于影像匹配结果的影响, 指出当高程初值和实际值相差越小时, 匹

配结果越好。基于上述认识, 针对国产卫星影像特点, 本文设计了 SRTM 数据辅助的近似核线约束匹配<sup>[9-10]</sup>, 如图 2 所示。

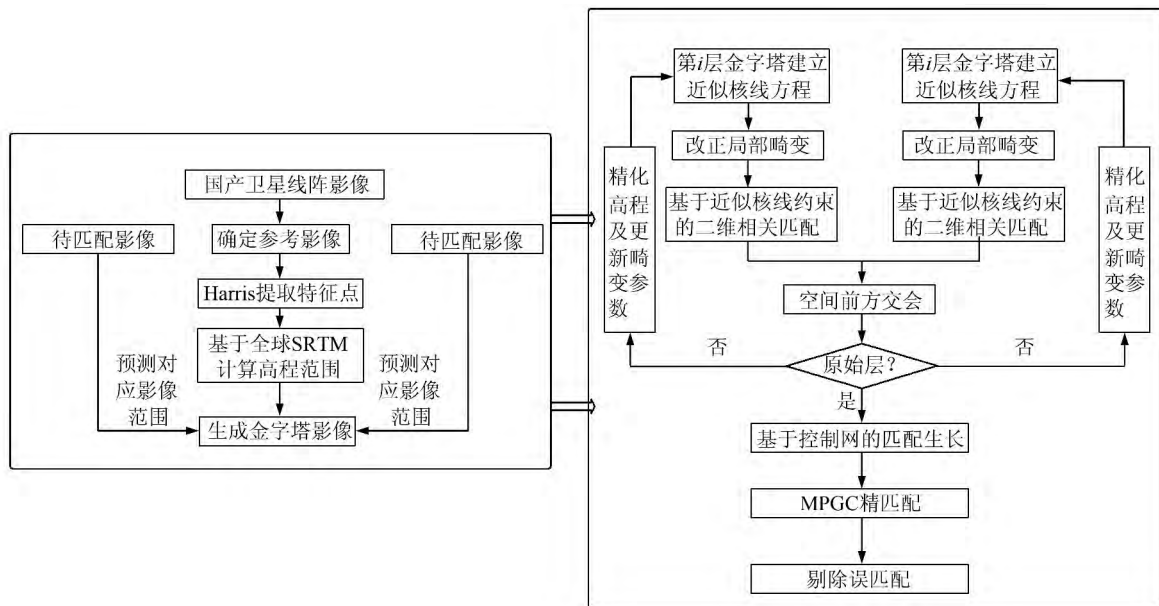


图 2 基于 SRTM 的近似核线约束匹配方案

Fig. 2 Matching Method Constrained by Approximate Epipolar Based on SRTM

## 2 试验及其结果分析

### 2.1 试验设计

为验证算法的可行性与适用性,选取两组不同传感器的国产卫星影像进行匹配试验。试验 1

采用拍摄于苏州地区的资源一号 02C 全色影像与资源三号三线阵影像作为试验数据,轨道间重叠度可达到 40%。试验 2 则采用拍摄于哈尔滨地区的天绘一号三线阵影像与邻轨的资源三号三线阵影像作为试验数据,轨道间重叠度为 20%左右。具体试验数据参数见表 1。

表 1 试验数据参数描述

Tab. 1 Parameters Description for Test Data

参数信息	试验 1				试验 2			
重叠度/%	40				20			
传感器	资源一号 02C		资源三号		天绘一号			
相机	全色	前视	正视	后视	前视	正视	后视	
影像宽/像素	12 000	16 300	24 530	16 300	12 000	12 000	12 000	
影像高/像素	939 136	1 125 376	1 904 633	1 120 256	142 862	238 100	142 862	
数据量/GB	11.0	35.82	91.25	35.66	4.46	7.31	4.46	
摄影时间	2011-12-30		试验 1:2012-01-29 试验 2:2012-01-16		2010-10-17			

### 2.2 影像匹配算法对比

为评价本文方法的性能,采用两种现有的主流遥感卫星影像匹配算法进行对比试验:① 基于 SIFT 的最小二乘匹配<sup>[6]</sup>;② 基于 RFM 的高分辨率卫星影像匹配方法<sup>[3]</sup>。上述匹配方法皆采用 C++ 语言编写。为定量分析算法的匹配精度,利

用区域网平差后的精密定位参数将所有匹配点进行前方交会,获得其物方坐标,之后通过反投影到对应影像上,计算出各匹配点的像方残差,最终得到匹配的像方中误差。以上两种方法与本文方法的匹配结果一并列于表 2。

表 2 不同方法下影像匹配结果对比

Tab. 2 Comparison of the Matching Results with Different Methods

试验	匹配方法	特征点数	总匹配点数	异轨匹配点数	剔除后匹配点数	像方中误差/像素
试验 1	本文方法	101 235	74 286	14 856	66 623	0.58
	文献[6]方法	97 286	58 927	1 342	40 423	1.32
	文献[3]方法	101 235	63 821	8 733	37 845	1.41
试验 2	本文方法	187 631	120 052	8 592	107 962	0.64
	文献[6]方法	110 324	54 641	1 021	38 303	1.33
	文献[3]方法	187 631	126 042	4 826	69 701	1.64

### 2.3 结果分析

总体而言,采用文献[6]的匹配方法,平均误匹配率在 30%左右,大多集中于不同源的异轨影像间,这表明该方法在异源影像间的匹配经前方交会无法交会到一点,交会误差较大,间接说明了该方法的匹配精度有限。另外,在剔除误匹配后该方法的像方中误差在 1.33 个像素左右。究其原因,主要由于影像间几何变形大且不均匀,通过在顶层进行 SIFT 初始匹配计算得到的基本矩阵约束性有限,无法正确描述局部的几何畸变。采用文献[3]的方法,异轨影像间的匹配点数明显增多,但误匹配率也明显上升,甚至达到 40%以上。该方法虽然引入了近似核线约束,但对于核线精度过于依赖,匹配窗口的确定只考虑了垂直于核线方向的影响,对核线方向的搜索区间则设置过小。另外,该方法根据核线斜率决定局部匹配窗

口的重采样,局部几何畸变无法完全消除,降低了匹配的可靠性,其像方中误差在 1.4~1.7 个像素之间,匹配结果无法令人满意。而采用本文方法,误匹配率可保持在 10%左右,较之前有明显降低,且不同源异轨影像间的匹配点数明显增多,匹配的像方中误差也保持在 0.5~0.7 之间,匹配结果优于以上两种方法。

为定量评价本文方法的计算效率,表 3 给出了 3 种匹配方法的耗时对比。由于试验 1 与试验 2 所采用的数据为长条带影像,数据量过大,无法直观地分析匹配的耗时程度。因此在两组试验数据中,各选取经过分景后的一个立体像对。本文所有试验是在 Intel (R) Core (TM) 2 Quad CPU/2.4 GHz,内存 2 GB 的台式计算机上完成。从统计的 CPU 耗时上看,文献[3]方法用时最少。但对于像对 1,本文方法的匹配点数要比文献[3]方法多出

2 051个点,比像对 2 则多出 952 个点。若按单个像点匹配所耗的平均 CPU 时间来看,本文方法耗

时要比文献[3]方法平均减少了 22.4%。总体来看,本文方法有相对更高的匹配效率。

表 3 不同方法下影像匹配效率对比

Tab. 3 Comparison of the Matching Efficiency with Different Methods

立体像对	数据源	分景影像	影像尺寸	匹配方法	匹配点数	CPU 耗时
像对 1	试验 1 资源三号	前视影像	16 300×16 383	本文方法	6 633	2'12"
		后视影像	16 300×16 383	文献[6]方法	3 684	2'43"
				文献[3]方法	4 582	2'04"
像对 2	试验 2 天绘一号	前视影像	12 000×12 252	本文方法	4 346	1'32"
		后视影像	12 000×12 252	文献[6]方法	2 412	2'18"
				文献[3]方法	3 394	1'28"

### 3 结 语

本文在现有匹配算法的基础上,将匹配流程及匹配策略进行了整合与改进,针对不同传感器下国产卫星影像特点,提出了一种基于严密定位模型的影像匹配方法。利用天绘一号、资源一号 02C、资源三号实际影像作为试验数据,并与两种现有主流的卫星影像匹配算法进行对比。结果表明,本文方法匹配精度较高,匹配点分布均匀,匹配可靠性较好,可取得令人满意的匹配效果。值得一提的是,该方法已成功应用于资源系列卫星地面系统的建设中,在实际应用中无需人工干预,匹配结果稳定可靠。

### 参 考 文 献

- [1] Yuan Xiuxiao, Liu Xin. A Novel Matching Method for High Resolution Satellite Imagery Based on Rational Function Model[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2009, 34(6): 671-674(袁修孝,刘欣.基于有理函数模型的高分辨率卫星遥感影像匹配[J].武汉大学学报·信息科学版,2009,34(6):671-674)
- [2] Yuan Xiuxiao, Li Ran. A SIFT Image Match Method with Match-support Measure for Multi-source Remotely Sensed Images[J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2012, 37(12):1 438-1 442(袁修孝,李然.带匹配支持度的多源遥感影像 SIFT 匹配方法[J].武汉大学学报·信息科学版,2012,37(12):1 438-1 442)
- [3] Ji Shunping, Yuan Xiuxiao. Automatic Matching of High Resolution Satellite Images Based on RFM [J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2010, 39(6): 592-598(季顺平,袁修孝.基于 RFM

的高分辨率卫星遥感影像自动匹配研究[J].测绘学报,2010,39(6):592-598)

- [4] Zhang Li. Auto Digital Surface Model (DSM) Generation from Linear Array Images [D]. Zurich: ETH, 2005
- [5] Zhang Li, Gruen A. Multi-image Matching for DSM Generation from IKONOS Imagery[J]. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 2006, 60: 195-211
- [6] Silveira M, Feitosa R, Jacobsen K, et al. A Hybrid Method for Stereo Image Matching[C]. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science*, Beijing, 2008
- [7] Ki-In B, Habib A F, Changjae K, et al. Comprehensive Analysis of Alternative Methodologies for True Orthophoto Generation from High Resolution Satellite and Aerial Imagery[C]. *ASPRS Annual Conference*, Florida, UAS, 2007
- [8] Zhang Guo, Chen Tan, Pan Hongbo, et al. Patch-based Least Squares Image Matching Based on Rational Polynomial Coefficients Model[J]. *Acta Geodaetica et Cartographica Sinica*, 2011, 40(5): 592-597(张过,陈钊,潘红播,等.基于有理多项式系数模型的物方面元最小二乘匹配[J].测绘学报,2011,40(5):592-597)
- [9] Xiong Z, Zhang Y. A Novel Interest Point Matching Algorithm for High Resolution Satellite Images [J]. *IEEE Transaction on Geoscience and Remote Sensing*, 2009, 47(12): 4 189-4 200
- [10] Gruen A, Baltsavias E P. Geometrically Constrained Multiphoto Matching[J]. *Photogrammetry Engineering and Remote Sensing*, 1988, 54(5): 633-641

(下转第 929 页)

ly, a comparison is made between IGRF11 and the observed value. The precision and reliability of IGRF was evaluated. Then, the difference between WMM2010 and IGRF11 was analyzed. Indexes, such as absolute errors, mean square root errors, relative errors and weigh coefficients, are introduced to compare the two models. The results suggest that the WMM2010 model has more reference value for the normal field correction in the geomagnetic abnormality field research, thus filling a gap to improve the boundary effect.

**Key words:** satellite geomagnetic survey; WMM2010; IGRF11; observatories; model

**First author:** CHANG Yifeng, PhD candidate, specializes in data processing of geodesy and geomagnetic model. E-mail: changyifeng1986@163.com

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, No. 41274045.

(上接第 900 页)

## Automatic Matching for Optical Imagery Acquired from Domestic Satellites Based on Rigorous Orientation Model

ZHANG Yongjun<sup>1</sup> XIONG Jinxin<sup>1</sup> YU Lei<sup>1</sup> LING Xiao<sup>1</sup>

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

**Abstract:** An image matching method based on a rigorous orientation model is presented that exploits the characteristics of optical imagery acquired from domestic satellites from different sensors. Firstly, this paper improves the method for scan line iterative search on the basis of the existing methods, and proposes the rapid correspondence prediction method. Next, with the help of the global SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) data, the approximate epipolar line is constructed by projection tracking. The geometric and radiometric deformation in the matching window is eliminated by the correction of local distortion. At last, in original level, the MPGC algorithm is adopted to refine the matching results. This paper proposes a matching algorithm based on the geometric correction of the facet and the matching growth algorithm of a control network, which improves matching accuracy and the distribution of the matching points. A test with imagery data from the TH1, ZY02C and ZY3 satellites showed that the proposed method can combine the characteristics of the optical imagery acquired from domestic satellites, and yield multi-source image matching from multi-source sensors. A well distributed set of matching points can be obtained.

**Key words:** rigorous orientation model; correspondence prediction; SRTM; image matching; domestic satellite; TH1 satellite; ZY1-02C satellite; ZY3 satellite

**First author:** ZHANG Yongjun, professor. He is now interested in digital photogrammetry, remote sensing and computer vision. E-mail: changyifeng1986@163.com

**Foundation support:** The National Natural Science Foundation of China, No. 41322010; the National High Technology Research and Development Program of China (863 Program), No. 2013AA12A401; the Academic Award for Excellent PhD Candidates Funded by Ministry of Education of China, No. 5052011213018.