

科学出版社  
出版  
中国地理学会环境遥感分会  
中国科学院遥感应用研究所  
主办

JOURNAL OF  
REMOTE  
SENSING

遥感学报

2012年 Vol.16 第16卷 增刊

ISSN 1007-4619 CN11-3841/TP CODEN YXAUAB

## “天绘一号” 卫星专刊



多光谱影像



高分辨率影像



融合后的影像

序言 .....	(1)
<b>院士特邀</b>	
“天绘一号”卫星工程建设与应用..... 王任享, 胡莘, 王新义, 杨俊峰	(2)
<b>综述</b>	
无地面控制点条件下卫星摄影测量的发展与现状..... 尹明, 李晓燕	(6)
“天绘一号”传输型摄影测量与遥感卫星..... 李松明, 李岩, 李劲东	(10)
<b>相机技术</b>	
测绘用离轴三反光学系统技术..... 郭疆, 刘金国, 王国良, 朱磊, 龚大鹏, 齐洪宇	(17)
“天绘一号”卫星在轨辐射定标方法..... 黄红莲, 易维宁, 乔延利, 杜丽丽	(22)
多光谱相机基于灰阶靶标的在轨绝对辐射定标..... ..... 陈洪耀, 李胜利, 司孝龙, 李晶, 徐伟伟, 王戟翔, 杨俊峰, 张黎明, 沈政国	(28)
“天绘一号”卫星测绘相机在轨几何定标..... 李晶, 王蓉, 朱雷鸣, 黄海乐	(35)
<b>卫星技术</b>	
“天绘一号”卫星在轨性能评估..... 李岩, 陶志刚, 李松明, 郭志胜, 史简, 高翠东	(40)
测绘卫星的姿态控制技术..... 王新民, 刘洁, 李洽, 张屹峰, 董筠	(48)
GPS高精度校时在卫星控制系统中的应用..... 李洽, 程砾瑜, 曹海宁, 李鹤, 董筠, 李松明	(52)
星传感器在轨测量误差分析..... 霍德聪, 黄琳, 李岩, 陶志刚, 李松明	(57)
“天绘一号”卫星热控设计及飞行验证..... 刘伟, 杨沪宁	(61)
数传通道遥测数据处理方法研究..... 李敬博, 马楠, 任光杰	(66)
“天绘一号”卫星镉镍蓄电池组及其在轨性能介绍..... 李焱, 谢守楹, 乔学荣, 郑智勇, 杨德智	(70)
“天绘一号”卫星星务分系统研究与实现..... 史简, 宋智, 李国军	(74)
<b>地面处理技术</b>	
“天绘一号”卫星地面应用系统设计与实现..... 胡莘, 王新义, 杨俊峰	(78)
“天绘一号”卫星三线阵影像条带式区域网平差..... 张永军, 郑茂腾, 王新义, 黄心蕙	(84)
“天绘一号”卫星星传感器精度分析..... 王兴涛, 李迎春, 李晓燕	(90)
“天绘一号”01星立体影像定位精度检测..... 付勇, 邹松柏, 刘会安	(94)
特征与错位拟合的CCD图像无缝拼接..... 王昱, 胡国军, 龙辉, 张廷涛	(98)
基于GeoSOT网络的“天绘一号”卫星影像数据组织..... 李世忠, 宋树华, 程承旗, 耿忠	(102)
“天绘一号”卫星基于摄影任务的轨道维持策略..... 冯宁, 元朝鹏, 官轶松, 黄显安, 邢坤	(108)
“天绘一号”卫星无地面控制点EFP多功能光束法平差..... 王建荣, 王任享	(112)



# JOURNAL OF REMOTE SENSING

(Vol.16 Sup 2012)

## CONTENTS

### Academician's note

The construction and application of Mapping Satellite-1 engineering .....  
..... *WANG Renxiang, HU Xin, WANG Xinyi, YANG Junfeng* (5)

### Review

Development and present situation of satellite photogrammetry without control points ..... *YIN Ming, LI Xiaoyan* (9)

Mapping Satellite-1 transmission type photogrammetric and remote sensing satellite ..... *LI Songming, LI Yan, LI Jindong* (16)

### Technology of camera

Technology of off-axis TMA aerospace mapping camera .....  
..... *GUO Jiang, LIU Jinguo, WANG Guoliang, ZHU Lei, GONG Dapeng, QI Hongyu* (21)

On orbit radiometric calibration for Mapping Satellite-1 sensor .....  
..... *HUANG Honglian, YI Weining, QIAO Yanli, DU Lili* (27)

Multispectral imager vicarious radiometric calibration based on gray-scale tarps ..... *CHEN Hongyao,  
LI Shengli, SI Xiaolong, LI Jing, XU Weiwei, WANG Jixiang, YANG Junfeng, ZHANG Liming, SHEN Zhengguo* (34)

In-flight geometric calibration for Mapping Satellite-1 surveying and mapping camera .....  
..... *LI Jing, WANG Rong, ZHU Leiming, HUANG Haile* (39)

### Technology of satellite

Mapping Satellite-1 in-orbit performance evaluation .....  
..... *LI Yan, TAO Zhigang, LI Songming, GUO Zhisheng, SHI Jian, GAO Cuidong* (47)

Attitude control technology of mapping satellite .....  
..... *WANG Xinmin, LIU Jie, LI Han, ZHANG Yifeng, DONG Jun* (51)

Usage of high accuracy GPS time calibration in satellite onboard control system .....  
..... *LI Han, CHENG Liyu, CAO Haining, LI He, DONG Jun, LI Songming* (56)

An analytical method of star tracker measurement errors .....  
..... *HUO Decong, HUANG Lin, LI Yan, TAO Zhigang, LI Songming* (60)

Mapping Satellite-1 thermal design and flight validation ..... *LIU Wei, YANG Huning* (65)

Processing on telemetry data of data transmission channel ..... *LI Jingbo, MA Nan, REN Guangjie* (69)

The introduction of Ni-Cd battery of Mapping Satellite-1 and its on-orbit performance .....  
..... *LI Yao, XIE Shouyun, QIAO Xuerong, ZHENG Zhiyong, YANG Dezhi* (73)

Implementation of Mapping Satellite-1's house keeping system ..... *SHI Jian, SONG Zhi, LI Guojun* (77)

### Ground processing technology

Design and implementation of ground application system for Mapping Satellite-1 .....  
..... *HU Xin, WANG Xinyi, Yang Junfeng* (83)

Strip-based bundle adjustment of Mapping Satellite-1 three-line array imagery .....  
..... *ZHANG Yongjun, ZHENG Maoteng, WANG Xinyi, HUANG Xinhui* (89)

Mapping Satellite-1 star sensor accuracy analysis ..... *WANG Xingtao, LI Yingchun, LI Xiaoyan* (93)

Evaluation of the location accuracy of the Mapping Satellite-1 stereo image ..... *FU Yong, ZOU Songbai, LIU Hui'an* (97)

CCD image seamless mosaic on characteristic and dislocation fitting .....  
..... *WANG Yu, HU Guojun, LONG Hui, ZHANG Tingtao* (101)

Mapping Satellite-1 remote sensing data organization based on GeoSOT .....  
..... *LI Shizhong, SONG Shuhua, CHENG Chengqi, GENG Zhong* (107)

Strategy of Mapping Satellite-1 orbit maintenance based on photographic mission .....  
..... *FENG Ning, YUAN Zhaopeng, GONG Yisong, HUANG Xian'an, XING Kun* (111)

EFP multi-functional bundle adjustment of Mapping Satellite-1 without ground control points .....  
..... *WANG Jianrong, WANG Renxiang* (115)

# 特征与错位拟合的CCD图像无缝拼接

王昱<sup>1,2</sup>, 胡国军<sup>2</sup>, 龙辉<sup>3</sup>, 张廷涛<sup>3</sup>

1. 武汉大学 遥感信息工程学院, 湖北 武汉 430079;
2. 西安测绘研究所, 陕西 西安 710054;
3. 中国科学院空间信息处理与应用系统技术重点实验室, 北京 100190

**摘要:** 针对“天绘一号”01、02星高分辨率相机品字形CCD机械结构的特点, 分析了引起高分辨率片间CCD图像错位的影响因素, 利用实验数据定量描述了片间CCD图像错位现象。提出了基于特征的图像重叠区域同名点自动提取和优化方法, 针对错位帧数据建立了错位拟合函数修正模型。预处理试验表明本文所述方法有效解决了高分辨率相机的图像错位问题, 实现了CCD图像的无缝拼接。

**关键词:** CCD, 预处理, 特征, 错位, 拼接

**中图分类号:** TP751      **文献标志码:** A

引用格式: 王昱, 胡国军, 龙辉, 张廷涛. 2012. 特征与错位拟合的CCD图像无缝拼接. 遥感学报, 16(增刊): 98-101

Wang Y, Hu G J, Long H and Zhang T T. 2012. CCD image seamless mosaic on characteristic and dislocation fitting. Journal of Remote Sensing, 16(增刊): 98-101

## 1 引言

“天绘一号”卫星是中国第一颗传输型摄影测量卫星, 卫星搭载了多个相机, 包括高分辨全色相机、三线阵立体相机、小面阵相机和多光谱相机, 其中高分辨率相机分辨率为2 m, 观测幅宽为60 km。受CCD工艺的约束, 单条高分辨率线阵CCD探元阵列不够长, 为了获得足够的观测带宽, 并保证探元获得足够的光学能量, 采用了全透射的品字形CCD机械安装方式, 其中相邻CCD之间在垂轨方向理论上会有96个像元重叠, 在沿轨方向有大约2000像元前后间距。这种设计一方面能够使光能的利用率较高, 保障图像有较好的辐射响应。但另一方面由于重叠CCD非同时成像, 会造成重叠区域出现不规则的像元错位, 给地面预处理系统带来较大的困难。

## 2 图像错位现象分析

如果将“天绘一号”多片CCD图像进行简单的平移拼接处理, 则会存在一定的错位现象, 突出表现在边缘地物, 一景图像内部错误通过累积最大达到5个像

元左右, 而上下景之间的错位也比较明显, 现有的处理方法一般是通过景内分段匹配获得X、Y方向的偏移量, 然后按照偏移量进行分段平移后进行拼接, 没有考虑影像成像几何的因素, 通常造成上齐下不齐、左齐右不齐的现象, 地物内部畸变误差也较大。

基于多CCD拼接相机的测量精度和成像质量, 不仅取决于光学系统, CCD图像传感器等硬件, 还取决于CCD的拼接方式和工艺(何昕等, 2005)。经过分析, 影响CCD片间错位的因素主要有:

(1)品字形上下CCD安装误差, 造成不同CCD成像前后时刻的错位。

(2)CCD的微倾斜安装误差, 导致重叠区内部的系统性错位(张星祥和任建岳, 2006; 史磊等, 2009; 任建岳等, 2008)。

(3)偏流角随时间变化, 导致不同CCD重叠区对同一地物成像的姿态变化(樊超等, 2008)。

(4)载荷本体的高频抖动, 主要是姿态相对稳定后的太阳帆板、动力机械结构的振动导致姿态的变化。

(5)剧烈高程起伏, 增加了重叠区错位的程度。

载荷成像时, 一般是在调姿调轨后, 需要进行平台稳定处理再进行成像, 因此成像时刻的载荷抖动主

要是由于大器件微动造成的周期性姿态不稳,这种不稳定性在CCD片间重叠区的错位会有相应的表现。图1、图2是利用匹配方法得到的“天绘一号”高分辨率相机某摄影时刻沿轨和垂轨方向的错位像元数。

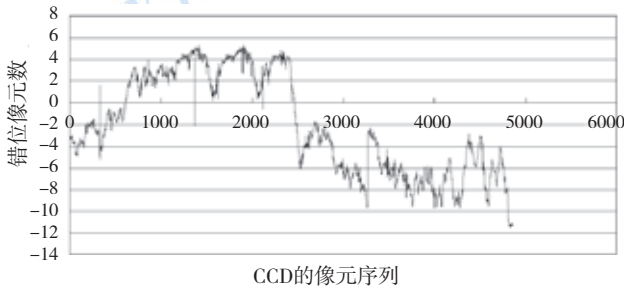


图1 利用匹配方法计算得到的CCD片间沿轨方向错位

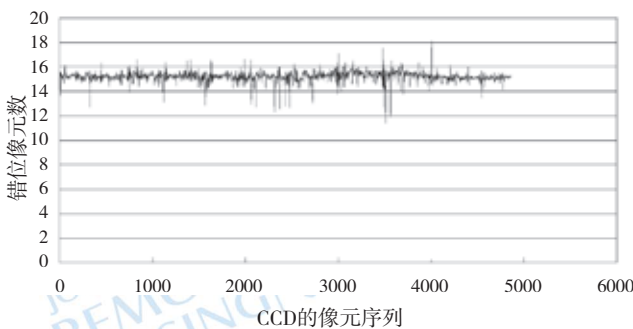


图2 利用匹配方法计算得到的CCD片间垂轨方向错位

### 3 基本思路

解决问题时,从影响CCD片间错位的成像机理出发,确定了多CCD片间精确拼接技术的基本思路,主要包括以下步骤:

(1)首先利用匹配方法初步消除品字形上下CCD安装造成的系统性错位;

(2)采用特征点提取及匹配方法获得重叠区域的同名点,通过随机几何点集匹配结合二次多项式残差排序的方法剔除错误点;

(3)通过重叠区密集同名点拟合载荷高频抖动造成的错位修正函数,利用错位修正函数对每一条扫描线进行改正,这一方法能够消除高频抖动、偏流角及其他未知因素造成的错位误差。

## 4 图像匹配及错位修正

### 4.1 图像匹配

为了实现控制点对的自动提取,尽量减少人工干预过程,必须要保证图像的匹配成功率和准确率。

#### (1)多维特征提取方法

多尺度图像的构建:基于旋转尺度不变的多维特征匹配方法,首先需要对待匹配图像进行多尺度图像的构建,再在多尺度图像上找到稳定的特征点。

特征点检测:为了稳定提取特征点,采用Hessian矩阵方法进行兴趣点检测,结合3维二次函数的拟和,达到亚像元的定位精度,此外还需要去除对比度比较低的特征点以及不稳定边缘响应点,以实现匹配稳定、抗噪声的要求。

特征点主方向的提取:为了实现图像旋转不变性,每个特征点都需要指定一个方向。采用Haar小波响应的圆周8等分方向的累积向量值,最大的向量就为该兴趣点的主方向。

#### (2)特征点描述符生成

通过以上处理,可以得到图像特征点有3个信息:所在的位置、尺度和主方向。将图像的坐标轴旋转至特征点的主方向,然后再以特征点为中心取一定大小的窗口图像(描述符窗口)。将描述符窗口按 $4 \times 4$ 等分为16个小窗口计算Haar小波,与以上位置、尺度和主方向合成为特征点描述符。

#### (3)同名特征点的匹配

对待拼接的左右卫星图像分别提取特征点和其特征描述符向量后,就可以根据特征匹配进行同名点的自动匹配。具体匹配时可以采用特征描述符向量的距离(欧氏距离)作为两幅图像中特征点的相似性判定标准,进行正逆向匹配得到同名点对。

### 4.2 同名点评价与优化

通过匹配算法获得的同名点,其中仍有少量的错误点,这种错误点对后文中涉及的错位拟合函数会造成较大的影响,导致错误同名点附近的行拼接依然会出现的错误现象。为了避免这种情况发生,必须对初始匹配的同名点进行优化,有效去除错误点。本文采用随机几何点集匹配方法去除冗余点,结合二次多项式对同名点的残差进行排序,剔除残差较大的点,通过以上多种方法的结合能够有效地去除错误同名点,其处理流程如图3所示。

#### (1)错误点去除方法

随机几何点集匹配,就是在2维几何空间上,对两组控制点进行计算,去除位置显著错位的点对。在控制点对之间,采用二次多项式变换模型。首先在点集中选择一个子集,利用最小中值二乘方法计算二次多项式模型的参数,如果模型的残差在某一限度范围



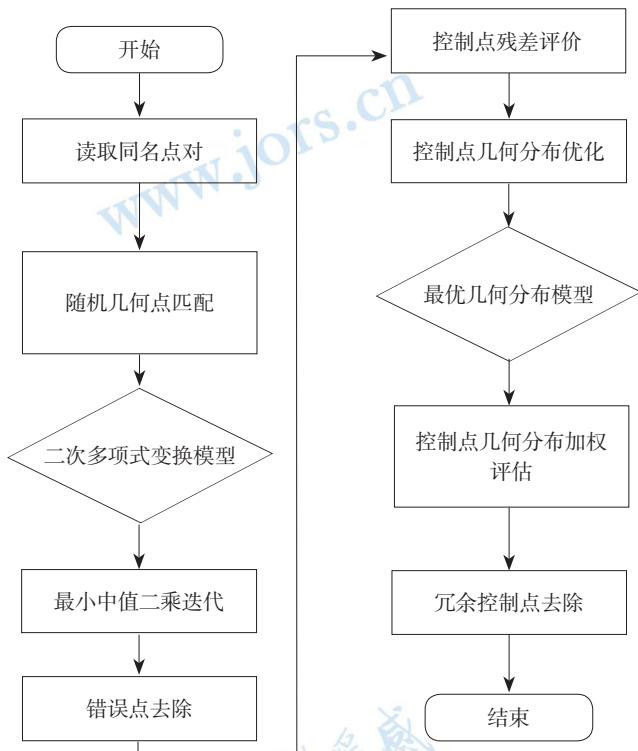


图3 控制点对评价与优化模块的处理流程

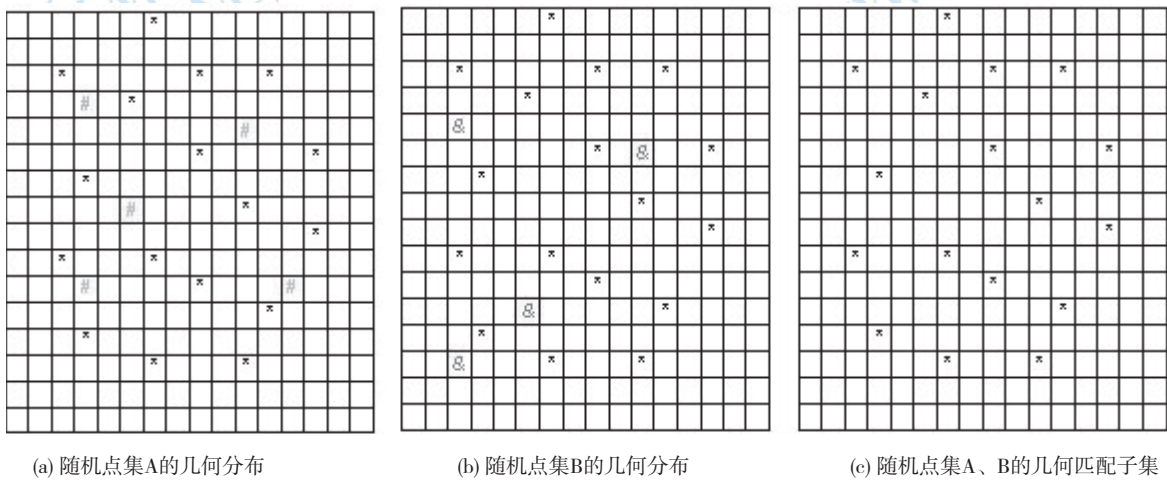
内, 则这些被计算出来的模型参数用来估计其余点, 并能够检验其余点与模型的匹配度。如果模型的残差在某限度范围外, 则重复上述过程。对初匹配后的随机点集进行随机点集几何匹配过程, 可以找到两个集合中几何位置及其拓扑关系一致的子集, 通过随机点集几何匹配能够准确找到几何位置及其拓扑关系一致的特征点集。图4是整个控制点对生成过程的示意。

(2)控制点残差计算

根据上述方法, 得到优化的同名控制点后, 随机选取其中一定数量的控制点对, 利用二次多项式模型, 计算控制点的残差, 并对残差进行排序, 去除残差较大的同名点, 再进行多次迭代, 直到控制点的均方根误差都小于1个像元, 此时的残差值作为评价控制点质量的依据。

4.3 错位拟合函数

按照控制图像的行方向, 对同名点排序, 选取相邻的两个控制点(如图5所示), 拟合出B样条函数作为错位拟合函数, 根据该拟合函数计算控制点之间的误



(a) 随机点集A的几何分布

(b) 随机点集B的几何分布

(c) 随机点集A、B的几何匹配子集

x:正确同名点 #: 左影像上的错误匹配点 &: 右影像上的错误匹配点

图4 随机点集几何匹配示意图

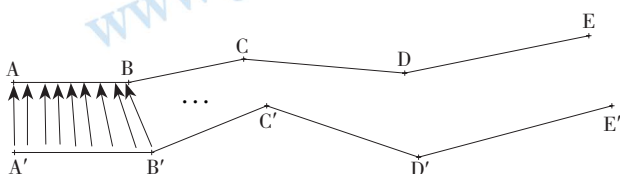


图5 错位拟合函数示意图

差值, 将某一点像元位置距离控制点的距离作为加权值, 计算其错位偏移量, 得到新的X、Y位置。图5

中(A、B、C、D、E), (A'、B'、C'、D'、E')分别代表同名点组, 带箭头的直线代表在控制点之间的影像行, 其偏移量利用样条函数拟合获得。

5 结论

从地面预处理系统运行的效果来看, 本文的算法能够适应绝大多数的图像错位现象, 有效地将CCD

片间错位修正, 达到无缝拼接的效果。通过图6和图7的对比可以证明新算法的有效性。

其中, 图6是通过传统的匹配方法的拼接效果,

图像上仍然存在较为明显的拼接缝, 道路接边错位明显; 图7是利用本文的算法处理后的效果, 道路接边平滑、无毛刺, 说明本文所述方法处理效果良好。

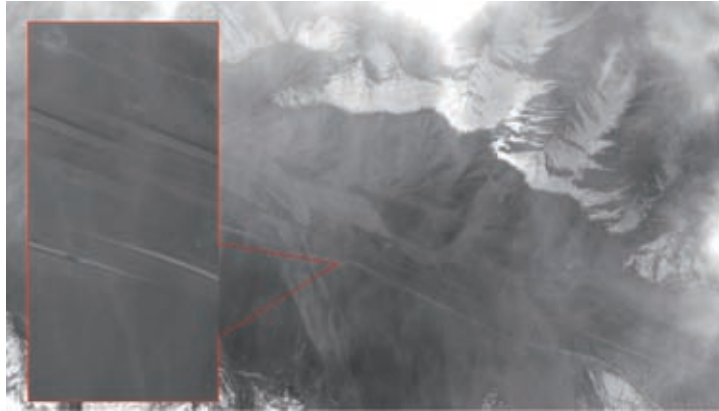


图6 错位拟合函数示意图

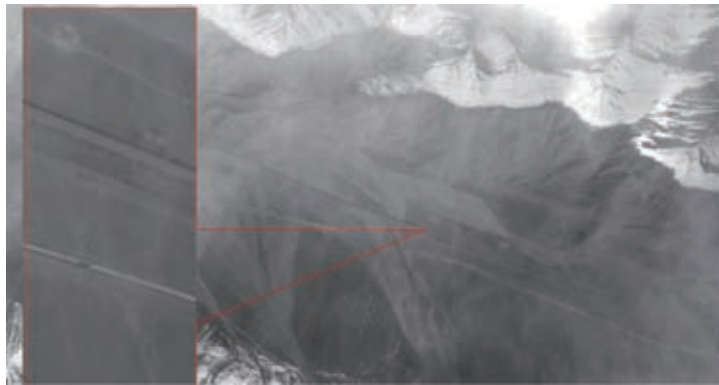


图7 错位拟合函数示意图

## 参考文献 (References)

- 樊超, 梁义涛, 李伟, 王峰. 2008. 偏流角对空间相机影响研究. 电光与控制, 15(11): 76-79
- 何昕, 王军, 杨会玲, 鲍海明, 郝志航. 2005. 多CCD拼接相机系统中畸变误差研究. 半导体光电, 26(02): 161-163
- 任建岳, 孙斌, 张星祥, 陈长征. 2008. TDICCD交错拼接的精度检测. 光学精密工程, 16(10): 1852-1857
- 史磊, 金光, 安源, 田海英. 2009. 一种遥感相机的CCD交错拼接方法研究. 红外, 30(01): 12-15
- 张星祥, 任建岳. 2006. TDICCD焦平面的机械交错拼接, 光学学报 26(05): 740-745

## CCD image seamless mosaic on characteristic and dislocation fitting

WANG Yu<sup>1,2</sup>, HU Guojun<sup>2</sup>, LONG Hui<sup>3</sup>, ZHANG Tingtao<sup>3</sup>

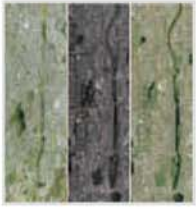
1. School of Remote Sensing and Information Engineering, Wuhan University, Wuhan 430079, China;

2. Xi'an Surveying & Mapping Institute, Xi'an 710054, China;

3. Key Laboratory of Technology in Geo-spatial Information Processing and Application System, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

**Abstract:** Aim to the mechanical structure of Mapping Satellite-1 high resolution camera, the impact of factors caused the dislocation of the CCD image in high resolution slice is systematic analyzed, experimental data is used to quantitatively describe the chip CCD image dislocation phenomenon. Automatic extraction and optimization method is proposed for same name point in the image overlap region based on the characteristics, the dislocation fitting function correction model is established for the dislocation frame data. The preprocessing production tests show that the method is an effective solution to the high-resolution camera image dislocation problem and CCD image seamless mosaic.

**Key words:** CCD, image preprocessing, characteristic, dislocation, mosaic



## 封面说明

About the Cover

“天绘一号”卫星获取的吉林省长春市影像数据

The image acquired by Mapping Satellite-1 for the city of Changchun, Jilin

“天绘一号”卫星是中国第一颗传输型立体测绘卫星。封面图片为“天绘一号”卫星获取的吉林省长春市影像数据，左图为红、绿、蓝、近红外4个波段的10 m分辨率多光谱影像，中间为2 m分辨率全色影像，右图为生成的融合影像。“天绘一号”卫星既能进行高精度地形地貌立体测绘，又能进行地物判绘、资源调查和遥感定量分析，可广泛应用于国土测绘、城市规划、农林普查、土地利用详查、水利电力、交通运输、灾害监测和矿产资源分析等领域。

The Mapping Satellite-1 is the first stereo mapping satellite of China. The cover shows the data captured by this Satellite for the city of Changchun, Jilin province, northern China. The left side is a multispectral image that consists of red, green, blue, and near infrared bands at 10 m resolution. The middle is panchromatic image with 2 m resolution, and the right shows the fusion image. These data are important for three dimensional topography and landform surveying and high precision mapping, object interpretation and editing, resources investigation and remote sensing quantitative analysis. They are also expected to play a significant role in national land surveying and mapping, city planning, agriculture and forests survey, land usage investigation, water reservation and electric power, transportation, disaster forecast and mineral resources analysis.

# 遥感学报

## JOURNAL OF REMOTE SENSING

YAOGAN XUEBAO (双月刊 1997年创刊)

第16卷 增刊 2012年12月26日

(Bimonthly, Started in 1997)

Vol.16 Sup December 26, 2012

主 管 中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办 中国科学院遥感应用研究所 中国地理学会环境遥感分会	Sponsored	by	Institute of Remote Sensing Applications, CAS. The Associate on Environment Remote Sensing of China
主 编 顾行发	Editor-in-Chief		GU Xing-fa
编 辑 《遥感学报》编委会 北京市安外大屯路中国科学院遥感应用研究所 邮编：100101 电话：86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail:jrs@irsa.ac.cn	Edited	by	Editorial Board of Journal of Remote Sensing Add: P.O.Box 9718, Beijing 100101, China Tel: 86-10-64806643 http://www.jors.cn E-mail: jrs@irsa.ac.cn
出 版 科 学 出 版 社	Published	by	Science Press
印刷装订 北京科信印刷有限公司	Printed	by	Beijing Kexin Printing Co. Ltd.
总 发 行 科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码：100717 电话：86-10-64017032 E-mail:sales_journal@mail.sciencep.com	Distributed	by	Science Press Add: 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel: 86-10-64017032 E-mail: sales_journal@mail.sciencep.com
国外发行 中国国际图书贸易总公司 北京 399 信箱 邮政编码：100044	Overseas distributed	by	China International Book Trading Corporation Add: P.O.Box 399, Beijing 100044, China

中国标准连续出版物号：ISSN 1007-4619  
CN 11-3841/TP  
CODEN YXAUAB

国内邮发代号：82-324

国外发行代号：BM 1002

定价：70.00元

ISSN 1007-4619

国内外公开发行

