

Journal of Image  
and Graphics

# 中国图象图形学报



ISSN1006-8961  
CN11-3758/TB

2012 **10**  
Vol.17 No.

中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会主办  
北京应用物理与计算数学研究所

# 中国图象图形学报

Zhongguo Tuxiang Tuxing Xuebao

2012年10月 第17卷 第10期(总第198期)

## 目次

### 综述

张量值图像插值方法综述 ..... 邵宇, 刘莹, 孙富春(1197)

### 图像处理和编码

利用模运算及其周期性特点的安全隐写算法 ..... 廖琪男(1206)

结合快速融合与颜色传递的双波段夜视图像染色 ..... 李郁峰, 冯晓云, 徐铭蔚, 黄文丽(1213)

Weber 定律下尺度空间的自适应构建 ..... 刘立, 张瑞军, 万亚平, 黄欣阳, 彭复员(1222)

改进权值函数的非局部均值去噪算法 ..... 单建华(1227)

### 图像分析和识别

非相相似度保持投影 ..... 陈才扣, 侯钰(1232)

非正交二值子空间模板表示的并行生成 ..... 杨培, 武港山, 杨扬, 任桐炜(1237)

Adaboost 和随机图划分的无监督图像分类 ..... 李巍, 杨素锦, 段晓华(1245)

aiNet 背景抑制的单帧红外弱小目标检测 ..... 陈炳文, 王文伟, 秦前清(1252)

韦伯-中心环绕结构的图像显著性检测模型 ..... 林丽莉, 周文晖(1261)

气象传真图信息提取 ..... 李存东, 肖传毅, 潘海朗, 陈日清, 杨劲松(1268)

### 图像理解和计算机视觉

多要素空间场景相似性匹配模型及应用 ..... 宋腾义, 汪闽(1274)

### 计算机图形学

Delaunay 三角网通用合并算子及分治算法的简化 ..... 刘永和, 冯锦明, 郭维栋, 田根, 金毅(1283)

基于 Laplace 谱嵌入和 Mean Shift 的三角网格一致性分割 ..... 马亚奇, 李忠科, 赵静(1292)  
断裂面匹配的破碎刚体复原 ..... 李群辉, 周明全, 耿国华(1298)

### 虚拟现实与增强现实

核爆炸外观景象实时模拟 ..... 郑涛, 徐晓刚, 邵承永(1305)

### 医学图像处理

全局脑白质纤维群智能跟踪算法 ..... 冯远静, 王哲进, 张贵军, 俞立(1312)

### 遥感图像处理

对偶四元数线阵遥感影像几何定位 ..... 盛庆红, 姬亭, 刘微微, 王惠南(1319)

修正安装矩阵提高 FY-3B/MERSI 的地理定位精度 ..... 吴荣华, 杨忠东, 关敏, 李翔翔(1327)

## 中国图象图形学报

刊名题字: 宋 健

月刊(1996 年创刊)

第 17 卷 第 10 期

2012 年 10 月 16 日出版

主管单位 中国科学院

主 办 中国科学院遥感应用研究所  
中国图象图形学学会  
北京应用物理与计算数学研究所

主 编 李小文

编辑出版 《中国图象图形学报》编辑出版委员会

北京 9718 信箱 邮编 100101  
电子信箱:jig@irsa.ac.cn  
电话:010-64807995 010-82614429  
网 址:www.cjig.cn

印刷装订 北京北林印刷厂

广告经营许可证 京朝工商广字第 0346 号

总 发 行 北京报刊发行局

订 购 全国各地邮局

国外发行 中国国际图书贸易总公司  
(中国国际书店)  
(北京 399 信箱 邮编 100044)

Superintended by Chinese Academy of Sciences

Sponsored by Institute of Remote Sensing Application,  
CAS China Society of Image and Graphics  
Institute of Applied Physics and Computational  
Mathematics

Chief editor LI Xiaowen

Editor, Publisher Editorial and Publishing Board  
of Journal of Image and Graphics  
(P. O. Box 9718, Beijing 100101, China)  
E-mail:jig@irsa.ac.cn

Distributed by Beijing Bureau for Distribution of Newspapers  
and Journals

Domestic All Local Post Offices in China

Foreign China International Book Trading Corporation  
(P. O. Box 399, Beijing 100044, China)

Printed by Beijing Beilin Printing House

ISSN 1006-8961 CN11-3758/TB CODE ZTTFXZ 国内邮发代号: 82-831 国外发行代号: M1406 国内定价: 45.00 元

# Journal of Image and Graphics

(Monthly, Started in 1996)

Vol. 17 No. 10 October 2012

## Contents

### Review

Overview of tensor valued images interpolation technology ..... Shao Yu, Liu Ying, Sun Fuchun (1197)

### Image Processing and Coding

Secure steganography based on modulo and its cyclical characteristic ..... Liao Qinan (1206)

Night vision dual-band images coloration using fast fusion and color transfer  
..... Li Yufeng, Feng Xiaoyun, Xu Mingwei, Huang Wenli (1213)

Adaptive algorithm of scale-space construction method based on Weber's law  
..... Liu Li, Zhang Ruijun, Wan Yaping, Huang Xinyang, Peng Fuyuan (1222)

Non-local means denoising algorithm with enhanced weight function ..... Shan Jianhua (1227)

### Image Analysis and Recognition

Dissimilarity preserving projection ..... Chen Caikou, Hou Yu (1232)

Parallel algorithm for generating template representation based on non-orthogonal binary subspace  
..... Yang Pei, Wu Gangshan, Yang Yang, Ren Tongwei (1237)

Unsupervised image categorization based on Adaboost and stochastic graph partition ..... Li Wei, Yang Sujin, Duan Xiaohua (1245)

Infrared dim target detection in single image based on background suppression by aiNet  
..... Chen Bingwen, Wang Wenwei, Qin Qianqing (1252)

Image saliency detection model with Weber's law based on center-surround structure ..... Lin Lili, Zhou Wenhui (1261)

Information extraction from meteorological facsimile maps  
..... Li Cundong, Xiao Chuanyi, Pan Hailang, Chen Riqing, Yang Jinsong (1268)

### Image Understanding and Computer Vision

Multi-feature based spatial scene matching model and its application ..... Song Tengyi, Wang Min (1274)

### Computer Graphics

Merging planar Delaunay triangulations based on universal operators and the implementation of a divide-conquer algorithm  
..... Liu Yonghe, Feng Jinming, Guo Weidong, Tian Gen, Jin Yi (1283)

Consistence segmentation of triangle mesh using Laplace spectral embedding and Mean Shift  
..... Ma Yaqi, Li Zhongke, Zhao Jing (1292)

Reassembly of broken 3D solids based on fractured surfaces matching ..... Li Qunhui, Zhou Mingquan, Geng Guohua (1298)

### Virtual Reality and Augmented Reality

Real-time simulation of nuclear explosion scene ..... Zheng Tao, Xu Xiaogang, Shao Chengyong (1305)

### Medical Image Processing

Global white matter tractography using swarm optimization ..... Feng Yuanjing, Wang Zhejin, Zhang Guijun, Yu Li (1312)

### Remote Sensing Image Processing

Geo-positioning line-array CCD images with dual quaternion ..... Sheng Qinghong, Ji Ting, Liu Weiwei, Wang Huinan (1319)

Improved FY-3B/MERSI geolocation accuracy using installation matrix  
..... Wu Ronghua, Yang Zhongdong, Guan Min, Li Xiangxiang (1327)

中图法分类号: TP702 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2012)10-1327-06

论文引用格式: 吴荣华, 杨忠东, 关敏, 李翔翔. 修正安装矩阵提高 FY-3B/MERSI 的地理定位精度[J]. 中国图象图形学报, 2012, 17(10): 1327-1332.

## 修正安装矩阵提高 FY-3B/MERSI 的地理定位精度

吴荣华<sup>1</sup>, 杨忠东<sup>1</sup>, 关敏<sup>1</sup>, 李翔翔<sup>2</sup>

1. 国家卫星气象中心, 中国气象局, 北京 100081; 2. 航天恒星科技有限公司, 北京 100086

**摘要:** 遥感数据的地理定位精度是影响其定量化应用的重要因素, 为了提高 FY-3B 中分辨率光谱成像仪 (MERSI) L1 级数据的定位精度, 分析了地理定位算法模型中安装矩阵与实际定位偏差之间的关系, 通过修正风云三号卫星地面应用系统预处理模块中参数——安装矩阵, 提高了地理定位精度。当仪器坐标系分别绕 X 轴、Y 轴和 Z 轴旋转一个小角度后, 遥感图像的定位结果会分别产生左右平移、前后平移和旋转变形。分析并建立旋转角度与变形之间的数量关系, 根据海陆掩码与遥感图像的偏差程度估算安装矩阵的误差。修正安装矩阵后, 计算出的定位结果准确性得到明显提高, 精度达到 1 个像元左右。通过一段时间的业务系统测试, 地理定位结果的质量稳定可靠。

**关键词:** 地理定位; 安装矩阵; FY-3B/MERSI; 预处理

### Improved FY-3B/MERSI geolocation accuracy using installation matrix

Wu Ronghua<sup>1</sup>, Yang Zhongdong<sup>1</sup>, Guan Min<sup>1</sup>, Li Xiangxiang<sup>2</sup>

1. National Satellite Meteorological Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China;

2. Space Star Technology Company, Beijing 100086, China

**Abstract:** Geolocation accuracy is an important factor for remote sensing applications. In order to improve the geolocation accuracy of FY-3B/MERSI (medium resolution spectrum imager) data, we analyze how the installation matrix impacts the accuracy of the geolocation results. When the instrument coordinate system rotates around the X-axis, Y-axis and Z-axis, the remote sensing images will shift left or right, up or down, and they will rotate. According to the relationship of ground control points and land-sea mask to estimate the error of the installation matrix, the accuracy of the image geolocation results can be about one pixel. The geolocation results from the operate system updated the installation matrix are stable and reliable. The new matrix includes not only the relationship between the installation of the instrument and the satellite platform, but also the systematic bias of the internal device due to vibration, environmental changes and measurement errors of the satellite's position, velocity, and attitude.

**Key words:** geolocation; installation matrix; FY-3B/MERSI; preprocess

## 0 引言

中分辨率光谱成像仪 (MERSI) 是中国新一代

极轨气象卫星风云三号 B 星 (FY-3B) 上的重要载荷<sup>[1]</sup>, 具有多光谱成像和高地面分辨率等特点, 用于监测中小尺度强对流云团和地表精细特征, 提高云特性、气溶胶、陆地表面特性、海洋水色、低层水汽

收稿日期: 2011-12-05; 修回日期: 2012-04-17

基金项目: 国家科技支撑计划 (2008BAC40B03)

第一作者简介: 吴荣华 (1982—), 男, 工程师, 2010 年毕业于中国气象科学研究院, 获大气物理学与大气环境硕士学位, 主要研究方向为卫星遥感信息处理技术。E-mail: howardwubj@gmail.com

等地球物理参数的定量计算精度,实现对大气、陆地、海洋的多光谱连续综合观测。作为上述量化应用的前提,MERSI 遥感数据的地理定位精度显得尤为重要。

MERSI 数据的地理定位计算由国家卫星气象中心的风云三号卫星地面应用系统自动完成,其属于预处理子系统的一个模块<sup>[2]</sup>。该地面应用系统已成为亚洲的重要业务卫星运行中心和数据处理与服务中心<sup>[3]</sup>。作为业务运行中心,要求该系统处理遥感数据时应具备高时效性和高稳定性。MERSI 每 5 min 的观测数据组成一个数据文件,要求在 2 min 以内完成对数据文件的地理定位计算。

为了满足时效性和稳定性的要求,MERSI 数据的地理定位采用参数法。所谓参数法就是以仪器扫描几何、仪器空间位置和指向、地球曲率以及地形为基础建立模型,计算遥感数据的地理定位信息<sup>[4]</sup>。在该模型中,遥感仪器与卫星平台之间的空间关系在卫星发射前测量得到,这种空间关系可以通过一个  $3 \times 3$  的矩阵,即安装矩阵定量描述。安装矩阵作为重要参数存放于参数文件中被程序反复调用。经验表明,卫星发射后需要对其重新进行估计和修正<sup>[5,6]</sup>。如果不进行重新估算,定位结果会产生系统性偏差。为了提高一级(L1B)数据产品的地理定位精度为后续高质量的数据应用提供保证,必须估算并修正安装矩阵。

与参数法对应的遥感数据地理定位方法是非参数法<sup>[4]</sup>。非参数法主要是利用地面特征点,建立遥感数据和地基坐标系之间空间位置关系的模型,进行地理定位。非参数法可用于所有类型的几何形变<sup>[7]</sup>。对安装矩阵的估算是利用地面特征点(海岸线和岛屿等),分析定位偏差并对算法参数进行修改,即借鉴非参数法的思路对参数法的重要参数进行修正改进。

利用遥感数据中的地面特征点估算安装矩阵的变化情况,参数修正后的定位计算结果有明显改善,目前已经应用于工程业务系统。通过修正安装矩阵,MERSI 的 L1 级遥感数据产品的地理定位精度得到提高,为后续产品的准确性提供了必要的保障。

## 1 方法与数据

### 1.1 MERSI 地理定位算法

中分辨率光谱成像仪安装在卫星的对地面,开口朝向地球。采用  $45^\circ$  扫描镜旋转扫描,扫描镜的

转轴与卫星的飞行方向一致。当扫描镜转动时,扫描镜以固定的瞬时视场进行穿越飞行轨迹的扫描,接收与轨道垂直平面内的目标辐射,借助于卫星的绕地球运行,获取地球的 2 维景象。

仪器采用了 10 元、40 元探测器并扫的方案,即扫描镜每旋转一圈,在卫星飞行方向同时扫过 10 条、40 条扫描线,对应地面星下点分辨率为 1 000 m 和 250 m。图 1 为中分辨率光谱成像仪观测地球景象的原理图。

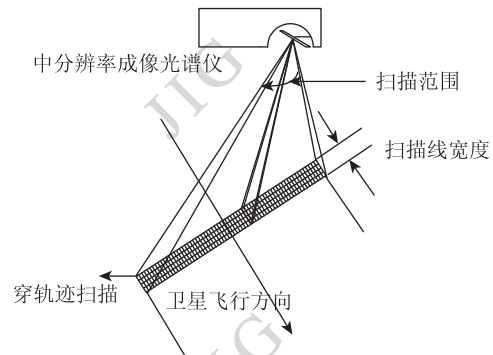


图 1 MERSI 扫描几何

Fig. 1 Scanning geometry of MERSI

目前,风云三号卫星地面应用系统预处理模块中的 MERSI 遥感数据地理定位模型共涉及 9 个基本坐标系,坐标系间通过转换矩阵  $T$  相联系<sup>[7]</sup>,如图 2 所示。图 2 中  $\mathbf{u}_{\text{foc}}$  为焦平面坐标系下的视矢量,转换矩阵  $T$  的下标为坐标系之间的转换关系。其中  $T_{\text{inst/sc}}$  为仪器相对卫星平台的安装矩阵,在仪器坐标系到卫星坐标系的转换中产生作用。安装矩阵的偏差往往会导致百米到千米级的定位偏差。视矢量  $\mathbf{u}_{\text{foc}}$  在依次经过各坐标系转换后,得到其在大地坐标系中的对应点,即得到了遥感器探测元件在地球表面所“见”区域的地理经纬度。

### 1.2 安装矩阵对定位结果的影响效果

#### 1.2.1 绕 X 轴旋转

卫星本体坐标系的 X 轴为卫星瞬时速度方向, Y 轴与卫星滚动轴方向(遥感器扫描方向)相同, Z 轴由 X 轴与 Y 轴叉乘得到。仪器与卫星平台位置之间的关系可以通过类似姿态角的 3 个角度进行描述和分析。

图 3 为绕 X 轴(滚动方向)转动示意图。图 3 (a) 实线为理想的仪器坐标系,虚线为仪器坐标系绕 X 轴转动一定角度后的新坐标系。当坐标系绕 X 轴转动一小角度  $\phi$  后,光轴(与 Z 轴同向)指向在扫

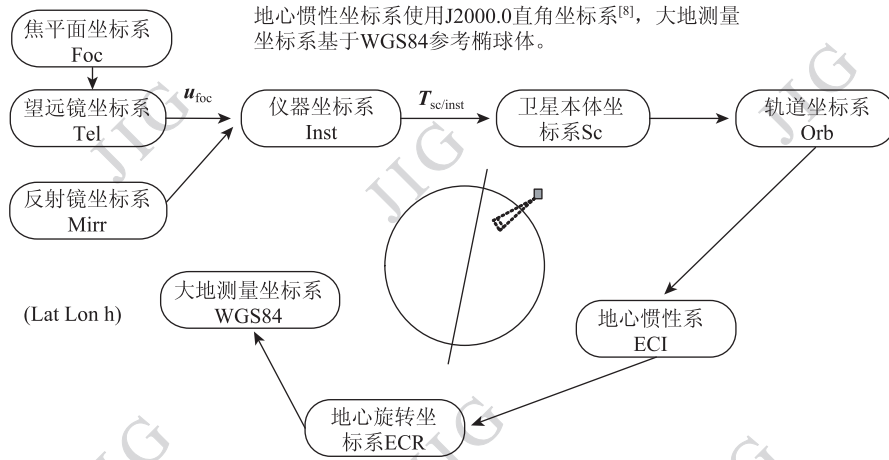


图 2 MERSI 遥感数据地理定位模型示意图

Fig. 2 Diagram of MERSI geolocation model

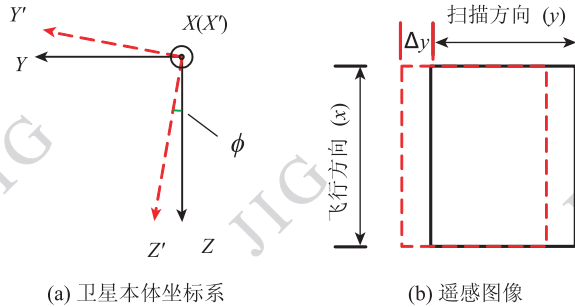


图 3 绕 X 轴转动示意图

Fig. 3 Diagram for rotating around the X-axis

描平面(OYZ)内偏离星下点,导致扫描采样点沿垂轨方向整体偏移,从而使扫描图像产生左右方向的偏移,如图 3(b)所示。

图 3(b)实线方框表示正常情况下的整幅遥感数据轮廓,虚线框表示绕 X 轴旋转  $\phi$  角后的轮廓,明显地产生了左右平移。地面像元偏移距离与  $\phi$  角之间的关系为

$$\phi = \Delta y/h = \Delta n_y \cdot R_{pix}/h = \Delta n_y \cdot \omega_{IPOV} \quad (1)$$

式中,  $\Delta y$  为地面像元偏移距离,  $h$  为轨道高度,  $\Delta n_y$  为地面像元偏移平移量,  $R_{pix}$  为地面像元的分辨率,  $\omega_{IPOV}$  为 MERSI 单个像元的瞬时视场角。风云三号卫星的标称轨道高度是 830 km, MERSI 的 1 km 分辨率视场角  $\omega_{IPOV}$  为  $0.069^\circ$ , 通过估算 L1B 图像的偏移量即可得到坐标系绕 X 轴旋转的角度  $\phi$ 。绕 X 轴旋转前后坐标系间的旋转矩阵为

$$T_x = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\phi) & -\sin(\phi) \\ 0 & \sin(\phi) & \cos(\phi) \end{pmatrix} \quad (2)$$

### 1.2.2 绕 Y 轴旋转

与绕 X 轴转动原理相似,当坐标系绕 Y 轴(俯仰方向)转动  $\theta$  角时(图 4(a)),扫描面会产生沿卫星前进(沿轨)方向的移动,扫描点相对于理想情况有前后方向的偏移。若地理定位计算过程中仍使用原始值,则定位结果(虚线)较实际情况(实线)有上下的平移。

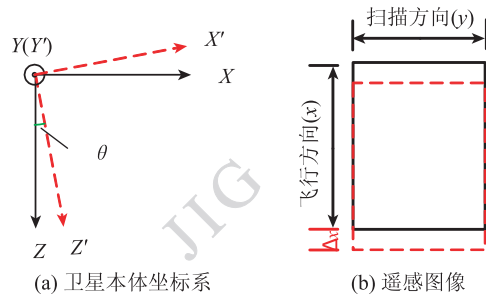


图 4 绕 Y 轴转动示意图

Fig. 4 Diagram for rotating around the Y-axis

绕 Y 轴旋转的  $\theta$  角与地面像元偏移距离之间的关系为

$$\theta = \Delta x/h = \Delta n_x \cdot R_{pix}/h = \Delta n_x \cdot \omega_{IPOV} \quad (3)$$

式中,  $\Delta x$  为地面像元偏移距离,  $\Delta n_x$  为地面像元偏移平移量。

单独绕 Y 轴旋转  $\theta$  角,坐标系间的旋转矩阵为

$$T_y = \begin{pmatrix} \cos(\theta) & 0 & \sin(\theta) \\ 0 & 1 & 0 \\ -\sin(\theta) & 0 & \cos(\theta) \end{pmatrix} \quad (4)$$

### 1.2.3 绕 Z 轴旋转

当坐标系绕 Z 轴(偏航方向)转动  $\psi$  角(图 5

(a), 扫描平面与  $OYZ$  平面产生一个夹角, 对应地面的扫描线与卫星前进方向不垂直, 使定位后的遥感图像产生一定角度的旋转变形(图 5(b))。旋转变形在遥感图像中需要通过整体偏差来估计。对于这种变形, 像元越接近旋转轴偏移越小, 越到图像的边缘偏移越大, 即这种变形与像元位置有关。为了减小判断误差, 取靠近图像左右两端的像元对  $\psi$  进行估计

$$\psi = \Delta n_z / L \quad (5)$$

式中,  $\Delta n_z$  为遥感图像两侧边缘相对上下偏移的像元数(图 5(b)),  $L$  为每扫描行的采样点数, 为 2 048 个。

单独绕  $Z$  轴旋转  $\psi$  角, 旋转矩阵为

$$T_z = \begin{pmatrix} \cos(\psi) & -\sin(\psi) & 0 \\ \sin(\psi) & \cos(\psi) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

$$T_{zxy} = \begin{pmatrix} \cos(\psi)\cos(\theta) - \sin(\psi)\sin(\phi)\sin(\theta) & -\sin(\psi)\cos(\phi) & \cos(\psi)\sin(\theta) - \sin(\psi)\sin(\phi)\cos(\theta) \\ \cos(\psi)\cos(\theta) - \sin(\psi)\sin(\phi)\sin(\theta) & \cos(\psi)\cos(\phi) & \sin(\psi)\sin(\theta) - \cos(\psi)\sin(\phi)\cos(\theta) \\ -\cos(\psi)\sin(\theta) & \sin(\phi) & \cos(\psi)\cos(\theta) \end{pmatrix} \quad (7)$$

### 1.3 数据处理

MERSI 的 L1B 数据中有海陆模板, 该模板是利用计算出的像元经纬度, 在高精度的地形数据库中查找该位置的海陆类型, 写入对应像元所在位置。其反映了对应像元的地理经纬度信息。将海陆掩码中的海岸线信息叠加在遥感图像上, 通过对比海岸线与遥感图像实际的海岸线, 可以判断出定位结果的偏移程度。根据式(1)~(7), 估算出 MERSI 的仪器坐标系与卫星本体坐标系之间的空间位置关系, 从而得到安装矩阵。

FY-3B 于 2010-11-5 发射升空, 之后进行了 90 d 的在轨测试。在轨测试期间需要对 FY-3B/

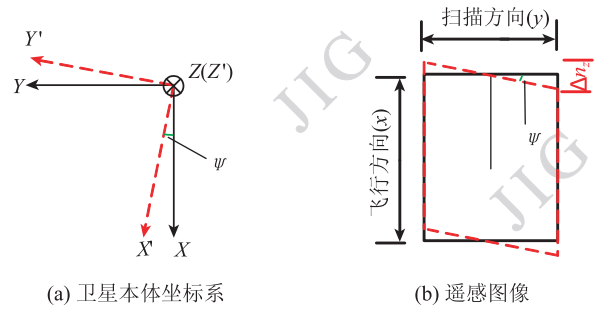


图 5 绕  $Z$  轴转动示意图

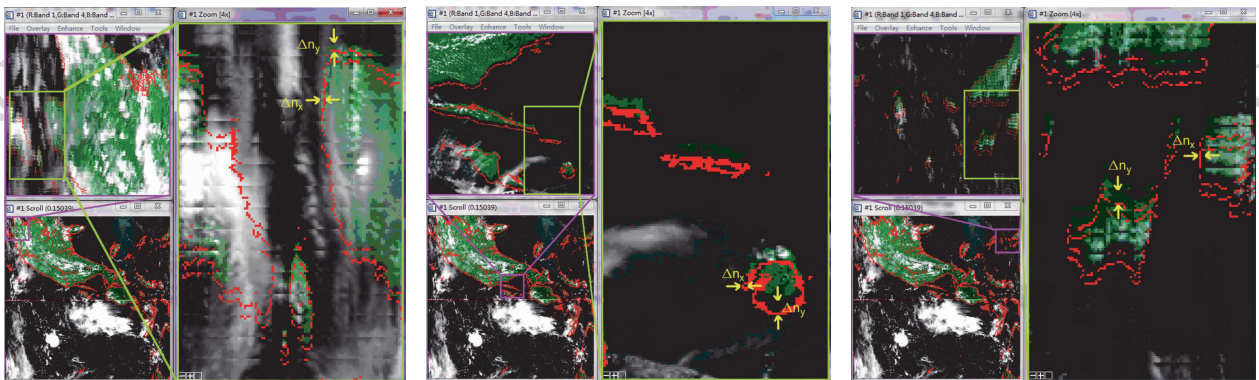
Fig. 5 Diagram for rotating around the  $Z$ -axis

### 1.2.4 安装矩阵的合成

一般使用  $ZXY$  的顺序计算转换矩阵, 则将式(2)(4)(6)按照式(6)(2)(4)的顺序相乘<sup>[9]</sup>, 得到最终的转换矩阵

MERSI 的安装矩阵进行估算和修正, 保证正式业务运行期间数据处理正确有效。以 2010-11-18T04:35 遥感数据图像为例进行估算, 如图 6 所示。图 6 中红色线为仪器坐标系与卫星本体坐标系严格平行时, 即安装矩阵为单位矩阵时计算出的海岸线。

图 6 很明显地显示了地理定位结果的系统偏差。遥感图像的左中右区域都存在左右方向约 1 个像元的平移, 星下点附近上下方向约 6 个像元的平移。根据 1.2.3 节的分析, 在星下点附近, 遥感图像的旋转变形最小, 因此通过这个区域的估计可以得到遥感图像的水平偏移情况, 水平偏移的确定方法见



(a) 遥感图像左侧区域 (b) 遥感图像中间部位 (c) 遥感图像右侧区域

图 6 安装矩阵为单位阵定位结果

Fig. 6 Geolocation results as the install matrix is element matrix

1.2.1 节和 1.2.2 节。遥感图像最左侧向下偏 1 个像元,最右侧向下偏移 7 个像元,利用图 5 所示的原理——旋转变形为遥感图像扫描线两端像元上下偏移的相对差,可以估计出此遥感图像产生了 6 个像元的旋转变形。

图 6 只是显示了 1 个数据文件中遥感图像的变形情况,对安装矩阵的估算需要对一定数量的数据文件进行统计分析得出。本文采用人机交互的方式,对 18 个 5 min 块数据共计 54 处具有明显地标特征的小区域进行了判别和统计。采用简单平均法估算各处海岸线与遥感图像的偏差像元数。由于每次判别的误差为 1 个像元,所以平均值的标准差为  $1/\sqrt{54 \times (54 - 1)} \approx 0.0187$  个像元。

具体统计结果为:星下点左右方向平均偏移约 0.26 个像元,上下方向平均偏移约 6.43 个像元,整幅图像两侧边缘平均有 5.38 个像元的转动。即

$\Delta n_y = -0.26, \Delta n_x = 6.43, \Delta n_z = 5.38$ ,将这 3 个值分别代入式(1)(3)(5),可得  $\phi = -0.0179^\circ, \theta = 0.4433^\circ, \psi = 0.1547^\circ$ 。

将上面得到的 3 个角度代入式(7)中,可计算出安装矩阵

$$T = \begin{pmatrix} 0.9999666 & 0.0026269 & 0.0077367 \\ -0.0026244 & 0.9999965 & -0.0003332 \\ -0.0077376 & 0.0003129 & 0.9999700 \end{pmatrix} \quad (8)$$

## 2 结果与讨论

### 2.1 安装矩阵修改后结果

将估算出的安装矩阵更新到地理定位程序中,通过 FY-3B/MERSI 地面应用系统预处理模块重新计算出的结果如图 7 所示。

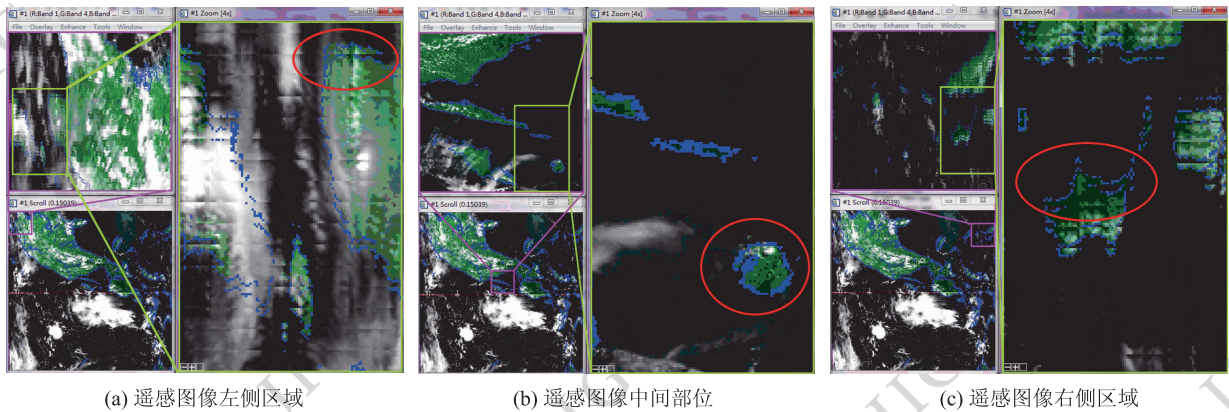


图 7 安装矩阵调整后定位结果

Fig. 7 Geolocation results after the install matrix adjusted

图 7(b)中为星下点附近区域,相对于图 6 相应区域,海岸线平移到了海岛的边缘,海岸线与实际遥感图像相差在 1 个像元以内,吻合程度较好。图 7(a)(c)为遥感图像两侧边缘区域。MERSI 为多元并扫,在保证星下点附近观测的连续性同时,在大扫描角附近的像元会有一定程度的重复扫描,表现在 L1B 数据中,扫描边缘的图像会有图中红圈内的双眼皮效果。在此区域海岸线与遥感图像相差依然小于 1 个像元,且定位精度基本一致,没有出现一侧吻合而另一侧有偏移或两侧向相反方向偏移的现象,即定位结果几乎没有旋转变形。

通过对比图 6 和图 7 中标记出的位置,定位结果明显改善,计算出的海岸线与实际遥感图像吻合

的较好,图像中原有的上下及左右平移得到了消除,同时图像的旋转扭曲也基本被修正。结果显示地理定位结果中的系统性偏差基本被消除,说明修改后的安装矩阵更好地符合了实际情况。

为检验修正后的结果,更新该参数后,对 FY-3B/MERSI 地理定位进行了一周的跟踪检验。此段时间内的地理定位结果稳定,海陆掩码与实际遥感图像海陆分布很好地吻合。目前风云三号卫星地面应用系统使用的安装矩阵即为本文提供的结果。

### 2.2 讨论

MERSI 安装在卫星平台头部,虽然在卫星发射前对仪器的指向精度进行了测量,但由于安装误差

以及卫星在发射过程中的剧烈震动和太空真空低温环境的影响,遥感器与卫星平台之间的位置关系往往发生了变化。即使使用发射前测量的安装矩阵参数,定位结果依然不佳。作为定位模型中安装矩阵的参考依据和测试指标,发射前对仪器与卫星平台间的相对位置测量是十分重要的。

安装矩阵的偏差只是遥感图像地理定位产生上下左右平移的可能原因之一,扫描行起始时刻的误差也可能导致这种定位误差。但是一方面 FY-3B 星上时钟精度在毫秒量级,与定位偏差量级相差较大,另一方面单纯对时间码进行修正只能对结果产生上下左右的平移,对图像的旋转变形不产生影响。所以基本排除了计时系统误差导致定位结果出现偏差的可能性。

卫星的瞬时位置由星上全球定位系统(GPS)提供或者通过轨道根数计算外推获得,瞬时位置的误差主要体现在定位结果的平移中,且误差量级基本在几十米以内,所以其误差基本在一个像元以内,通过本方法无法进行评估。卫星的瞬时姿态的误差可以产生遥感图像的旋转变形,但是这种误差应为正态随机分布,在遥感图像边缘区域中未发现随机的对称上下偏移,并且这种误差的量级也是在遥感图像的一个像元以内,所以对定位结果的影响有限。

因此,在上述条件下,遥感图像地理定位结果中出现的平移与旋转变形(图 6)主要体现了仪器与平台之间的相对位置关系的变化,当修正后的安装矩阵与客观物理状态相一致时,定位结果的偏差和变形即可得到有效地消除(图 7)。

在定位模型中,安装矩阵是静态不变的,所以当其得到修正之后,不仅使地理定位结果消除系统性偏差,同时能保证定位精度的长期稳定性。目前已经在业务运行系统中修改了安装矩阵参数,利用上述方法对业务产品进行了一段时间的随机测试,结果显示 FY-3B/MERSI 的 L1B 产品定位精度比较稳定。至投稿时止,FY-3B 地理定位精度依然稳定,地面应用系统没有再次对安装矩阵进行修改。

由于人眼的判识存在误差,在每次的估计中这种误差在 0.5 个像元左右,对安装矩阵的估算精度也只能达到 0.5 个像元左右,综合其他计算及测量误差,最终的定位误差在 1 个像元左右。

目前对安装矩阵的修正需要人机交互进行。下一步的工作可以利用自动地标导航的方法获取遥感

器指向精度信息,减少人工劳动量。

### 3 结 论

1)分析了安装矩阵对地理定位结果的影响,通过遥感图像海岸线与海陆掩码的对比估算出了实际的安装矩阵。

2)在对安装矩阵修正后,地理定位精度得到了明显的提高。通过误差分析可知,修改后的安装矩阵能很好地提高地理定位的结果,使定位精度达到 1 个像元左右。

3)经业务运行系统的测试,遥感图像地理定位结果中的系统性偏差得到了很好地消除,修改后的安装矩阵能稳定可靠地运用于 FY-3B/MERSI 的地理定位。

### 参考文献(References)

- [ 1 ] Yang J, Dong C H, Lu N M, et al. Products and Applications of the New Generation of FY Polar orbit Meteorological Satellite [ M ]. Beijing: Science Press, 2011, 55-59. [ 杨军,董超华,卢乃锰,等.新一代风云极轨气象卫星业务产品及应用[ M ].北京:科学出版社,2011:55-59. ]
- [ 2 ] Xu J M, Niu Y S, Dong C H, et al. Ground segments for FY meteorological satellites [ J ]. Engineering Science, 2006, 8(11):13-18. [ 许健民,钮寅生,董超华,等.风云气象卫星的地面应用系统[ J ].中国工程科学,2006,8(11):13-18. ]
- [ 3 ] Dong C, Yang J, Zhang W, et al. An overview of a new Chinese weather satellite FY-3A [ J ]. Bull. Amer Meteor Soc., 2009, 90:1531-1544.
- [ 4 ] Guan M, Yang Z D. Geolocation method for FY-3 MWRI's remote sensing image [ J ]. Journal of Remote Sensing, 2009, 13(3):463-474. [ 关敏,杨忠东.FY-3 微波成像仪遥感图像地理定位方法研究[ J ].遥感学报,2009,13(3):463-474. ]
- [ 5 ] Mash N, Robert W, David S, et al. MODIS Level 1A earth location: algorithm theoretical basis document version 3.0 [ R ]. Maryland: NASA/Goddard Spaceflight Center, 1997.
- [ 6 ] Guan M. Report of FY-3A/VIRR remote sensing data geolocation results [ R ]. Beijing: National Satellite Meteorological Center, 2009. [ 关敏.FY-3A 扫描辐射计遥感数据地理定位结果分析[ R ].北京:国家卫星气象中心,2009. ]
- [ 7 ] Wolfe R E, Fleig A J, Kuyper J A, et al. Achieving sub-pixel geolocation accuracy in support of MODIS land science [ J ]. Remote Sensing of Environment, 2002, 83:31-49.
- [ 8 ] Liu L. Spacecraft Orbital Theory [ M ]. Beijing: National Defence Industry Press, 2000:19. [ 刘林.航天器轨道理论[ M ].北京:国防工业出版社,2000:19. ]
- [ 9 ] Zhang R W. Satellite Attitude and Orbit Dynamics and Control [ M ]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 1998, 141. [ 章仁为.卫星轨道姿态动力学与控制[ M ].北京:北京航空航天大学出版社,1998:141. ]