

北京 1号小卫星多光谱影像全国镶嵌技术与制图研究

汪爱华¹, 迟耀斌^{1,2}, 王智勇¹, 伍 菲¹, 王晓明¹, 李 丽¹, 严 明¹

1 北京宇视蓝图信息技术有限公司, 北京 100096;

2 中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101

摘 要: 北京 1号小卫星在轨运行一年多成功接收了覆盖中国各个行政区域的多光谱影像数据, 为全国数字镶嵌图的研究提供了丰富的数据资料。针对北京 1号小卫星特点进行关键技术和方法研究, 形成了北京 1号小卫星多光谱影像全国范围数据获取任务测控优化模式, 解决了北京 1号小卫星多光谱数据预处理中去条带、波段自动配准、MTF复原处理等关键技术, 系统地、全面地阐述了全国镶嵌图制作的技术流程和方法。

关键词: 北京 1号, 多光谱, 遥感图像处理, 镶嵌

中图分类号: P237 **文献标识码:** A

1 引 言

随着遥感应用在中国各行各业的不断推广和深入, 对中高分辨率的卫星影像数据需求日益强烈, 尤其是大区域资源调查等重大应用领域。中国卫星遥感技术起步较晚, 一直以来, 全国镶嵌产品主要利用国外卫星数据(如 TM), 制作周期长, 影像时相差异大, 现势性较差, 限制了全国镶嵌产品的应用。

北京 1号小卫星发射成功后, 由于其幅宽大、重访周期短, 一年可覆盖中国至少 2次, 为制作反映中国现势状况的全国镶嵌产品提供了条件。因此, 针对北京 1号小卫星自身特点, 研究其数据辐射、几何特性, 制作全国镶嵌产品具有重要的科学意义和应用价值。基于北京 1号小卫星研究得到的全国镶嵌产品可用于大范围区域内较精细的地表状况研究, 为国内科研和行业应用提供新的遥感影像产品; 为全国 1:25万地形图的及时更新以及基础空间数据库的建设提供稳定的遥感数据来源; 将有助于促进北京 1号小卫星数据的推广应用, 推动中国数字地球科学与技术的发展及中国遥感与地球信息科学的应用与普及。

本文针对北京 1号小卫星特点, 重点讨论了全国镶嵌星地一体化的工作环境、全国镶嵌技术流程

和主要方法以及全国镶嵌图制作等内容。

2 星地一体化工作环境

北京 1号小卫星不仅拥有自主运、管、控的显著优势, 还具有卫星测控、观测任务计划制定与执行、数据接收、预处理、镶嵌处理等工作流程一体化的运行模式(图 1)。北京 1号地面接收站上传测控和任务指令, 安排拍摄任务, 接收数据, 并通过内部网络将原始数据送入预处理系统, 完成辐射校正、系统几何校正等预处理工作, 通常处理时间在 1h以内, 同时处理结果存储在预处理产品库中, 镶嵌工作站通过调用预处理产品库中数据, 选择质量好的数据进行镶嵌产品制作, 并根据数据覆盖情况和任务需求向地面接收站提交任务请求, 地面接收站将根据卫星过轨情况、天气情况以及其他任务编排情况选择合适有效的数据获取模式进行数据拍摄。

这种工作模式减少了工作中许多冗余环节, 如数据申请、审批、输入和输出等, 既保证了数据安全, 也保证了数据质量。同时, 可根据镶嵌工作的数据需求和工作安排, 有针对性地安排拍摄计划和接收数据。所有这些为本研究的快速、高效完成奠定了软硬件环境。

收稿日期: 2007-04-11; 修订日期: 2008-09-27

基金项目: 北京 1号小卫星多光谱影像全国镶嵌图技术与制作(编号: 2005AA1330140)。

第一作者简介: 汪爱华(1977—), 女, 硕士, 毕业于中国科学院东北地理与农业生态研究所地图学与地理信息系统专业, 现主要从事图像处理、遥感和 GIS应用, 已发表论文数篇。E-mail: wahaha@163.com.

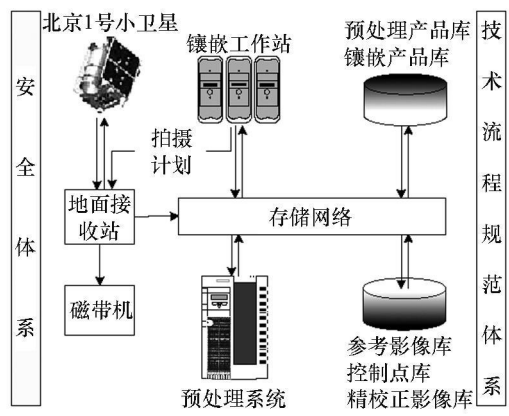


图 1 北京 1号小卫星星地一体化工作示意图

Fig.1 The workflow map of the integrated space-ground system of Beijing-1 Microsatellite

3 主要技术研究

3.1 技术流程

结合北京 1号小卫星的数据特点和实际工作要求,制定全国镶嵌总体技术流程如图 2所示。

实际工作中主要技术方法包括:数据获取、数据预处理、几何精校正、数据分块和色调调整、镶嵌和制图等。

3.2 数据快速获取技术

3.2.1 数据源

本文以北京 1号小卫星多光谱数据为数据源进行全国镶嵌图制作,其主要性能指标见表 1。

表 1 北京 1号小卫星多光谱传感器主要性能指标

Table 1 The characteristic of multispectral instrument of Beijing-1 Microsatellite

光谱范围	绿波段	520—600nm
	红波段	630—690nm
	近红外波段	760—900nm
空间分辨率	32m	
刈幅宽度	600km	
重访周期	3—5d	

由于北京 1号小卫星多光谱遥感器具有幅宽大、重访周期短以及中国自主运管控的特点,因此在数据获取方式、获取周期以及数据质量等方面具有其他同类卫星所无法比拟的优势,为本研究的顺利实施奠定了基础。



图 2 北京 1号小卫星全国镶嵌图制作技术流程图

Fig.2 The workflow map of China's digital mosaic map based on the multispectral images of Beijing-1 Microsatellite

3.2.2 数据获取

本研究充分发挥了北京 1号小卫星自主运、管、控优势,分析了全国镶嵌图数据及观测任务量,研究多光谱成像模式以及数据传输模式,确认以模式 A (MSI成像存硬盘 (HDDR),成像后数据用 X-band 40Mbps或 20Mbps速率下传)为主,模式 B (MSI成像分别存入固态存储器 (SSDR⁰和 SSDR¹),成像后数据用 S-band 8Mbps或 X-band 20Mbps(在卫星特定工作模式下)速率下传)为辅。

具体工作方法如下:

(1)将全国按经度分为 3个区域:东经 80°以西地区、东经 80°—130°地区、东经 130°以东地区。东经 80°—130°地区主要选用模式 A 成像,一轨完成数据采集,用 X-band 4—6次过轨可全部下载。东经 80°以西地区和东经 130°以东地区主要选用模式 B 成像,1—2次过轨可全部下载。

(2)对局部有云地区,将结合其他观测任务来确定成像模式,重新安排拍摄任务。如果有云区周围有其他观测任务,将主要采用模式 A 成像,反之,则采用模式 B 成像。

(3)参考卫星云图和 MODIS 数据,对卫星拍摄任务和下载任务进行灵活调控。

该工作方法实现了北京 1 号小卫星多光谱影像自主观测任务优化,高质量高效率地完成了观测任务(图 3)。截止 2006-11-20,共获取了全国 1000 余轨多光谱遥感影像,覆盖了中国各个行政区域,部分区域重复覆盖近 20 次,为全国镶嵌产品的研制提供了丰富的数据资料。

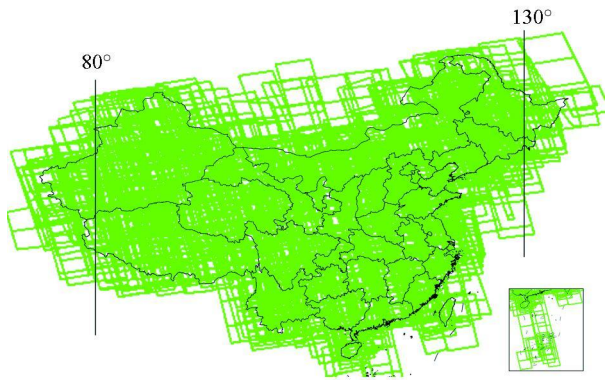


图 3 北京 1 号小卫星多光谱数据覆盖图(截止 2006-11-20)
Fig.3 The covering area of Beijing-1 M icrosatellite
(by 20 th Nov 2006)

对接收到的数据进行云量分析和数据挑选,选择云层覆盖少、图像清晰、地物层次分明的图像;同时,在实际操作过程中,尽量选择最新获取的优质数据替换以前的数据。

3.3 预处理关键技术研究

3.3.1 条带去除

由于 CCD 探元在光谱响应区内的响应函数不一致以及传感器对信号响应的变化等原因造成图像上出现条带噪声。本文主要采用统计法、小波法等方法去除条带噪声(图 4)。

3.3.2 波段配准

针对多光谱影像 3 个波段间的非线性几何畸变,利用自动匹配方法实现波段间自动配准(图 5)。

自动波段配准主要思路为:在图像上以 1000 个像素为间距选点,对每个点以波段 1(近红外波段)为准进行窗口匹配搜索,确定点在待配准图像上对应的位置,并进行最小二乘拟合,利用拟合得到的二元二次多项式进行几何校正。

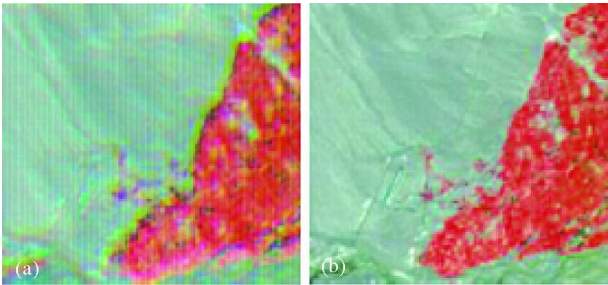


图 4 条带去除前后对比
(a)条带去除前影像;(b)条带去除后影像

Fig.4 The effect of strip processing
(a) the original image (b) the destriped image

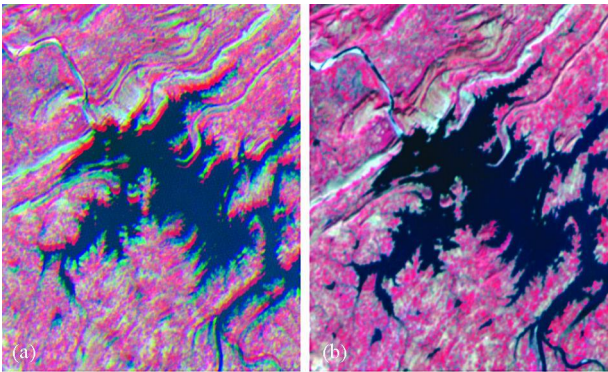


图 5 波段配准前后对比
(a)波段配准前影像;(b)波段配准后影像

Fig.5 The effect of band registration
(a) the original image (b) the image of band registration

3.3.3 MTF复原处理

由于遥感图像的获取是一个复杂的过程,其必然要受到入瞳前数百公里往返大气的衰减和入瞳后星载光学系统、传感器、电子线路以及卫星飞行运动所引起的衰减,从而导致图像本身固有的纹理和几何特性具有显著的衰退现象,该衰退可用 MTF 表达。根据卫星遥感成像的逆过程,采用维纳滤波进行 MTF 补偿与恢复,图像清晰度有较大的改善(图 6)。

3.4 高精度几何精校正方法研究

几何精校正以 1:10 万地形图(扫描数字化)为参考数据;以多项式方法为主,部分原始几何精度较差的影像采用非线性纠正方法 Rubber Sheeting 方法,采用交互和自动匹配方法,快速纠正整条带(从南到北)影像。多项式方法主要选用 3 次多项式方法,纠正精度一般控制在 1—2 个像元以内。其处理流程见图 7。

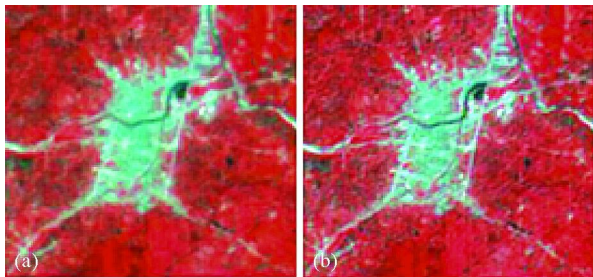


图 6 MTF 复原前后对比
(a)MTF 复原前影像; (b)MTF 复原后影像

Fig.6 The effect ofMTF restoration
(a) the original images (b) the image ofMTF restoration

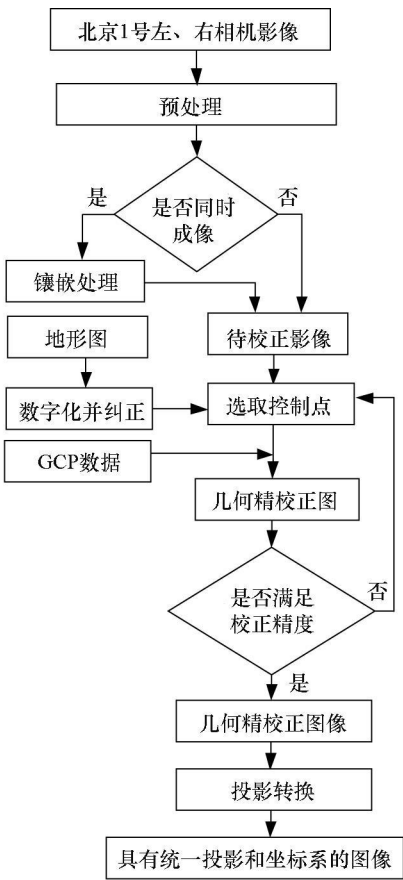


图 7 北京 1 号小卫星数据几何精校正处理流程
Fig.7 The geometric correction workflow formultispectral images of Beijing-1 Microsatellite

由于北京 1 号小卫星多光谱传感器包括两组相机,当两组相机同时成像时,所获取的影像具有相同的成像时间、卫星姿态,影像空间位置之间关系基本呈线性,同时所获取影像的色调基本一致,因此采用了先镶嵌后校正方法。即以其中一景图像为基准,从图像重叠区选择控制点,将相邻的图像进行相对配准,然后进行镶嵌,再利用地形图对

镶嵌好的图像进行几何精校正。
几何校正过程中,首先是把各景影像基于 6°带高斯投影的 1:10 万地形图进行校正,然后,进行二次投影变换——将高斯投影变换为等积圆锥投影(albers conical equal area 投影,双标准纬线为 25°和 47°,中央经线 105°)。镶嵌工作是基于等积圆锥投影开展的。

本研究中对北京 1 号小卫星多光谱数据采用按轨进行几何精校正处理的办法。一次全国镶嵌工作完成校正影像 50 余轨,几何精校正效果见图 8。



图 8 几何纠正效果示意(与 1:10 万地形图套合比较)
Fig.8 The geometric corrected map of test site (overlayed with 1:100, 000 relief map)

3.5 匀色处理技术

已完成几何精纠正的北京 1 号小卫星影像,由于其时相、成像条件不同,单纯镶嵌形成的图像色调不一、条块明显,因此必须进行色调调整,使得全国镶嵌图各处的色调基本一致。为有效解决大数据量处理与软硬件承受能力之间的矛盾,降低软硬件的投入,合理安排和调度人员,提高处理效率,本研究中匀色处理分为分块镶嵌成图、色调调整以及整体镶嵌三个步骤。

3.5.1 分块镶嵌

分块镶嵌即把全国范围按一定长宽分割成数据块阵列,将经过几何精校正处理的北京 1 号小卫星多光谱数据按照划分单元进行裁切,形成数据分块单元。

分块处理应遵循的原则有:

- (1)在充分考虑软硬件承受能力和处理速度情况下,分块个数应尽可能少;
- (2)中国一些相对独立的完整行政单元如台湾岛、海南岛等应在同一个影像块;

(3)充分考虑北京 1号小卫星多光谱数据幅宽大、长轨成像的特点。

在上述原则基础上,北京 1号小卫星多光谱数据全国镶嵌工作确定分块大小为 17125(东西向)×17700(南北向)像素,全国共分 10×8块,块间重叠 1000个像素,每块影像大小约 870MB,实际覆盖全国的影像块约 53块,分块示意图如图 9。

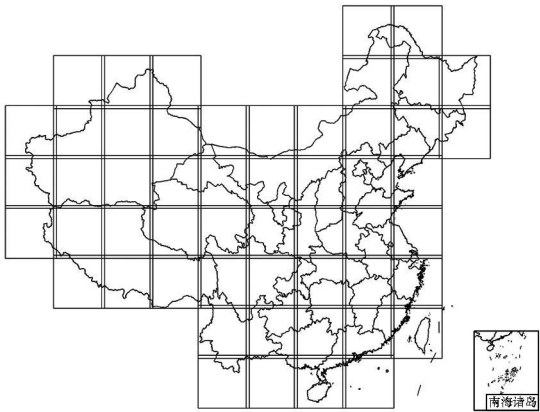


图 9 北京 1号全国数据分块示意图
Fig.9 The grid map of sub-block

3.5.2 色彩调整

全国镶嵌色彩调整工作以分块影像为处理单元,先在 Photoshop中分别对分块影像中所用到的每一部分影像进行色彩调整,保证各部分数据色彩基本一致,对各部分数据重叠部分采用羽化处理,以保证块内数据色彩过渡平缓,没有色彩突变现象(图 10)。块间的色彩调整将利用块间的重叠度,进行块间扩散联调,具体调整步骤如图 11所示,先以基准图像为色调基准,调整与之相邻的 4幅影像块 A、B、C、D,然后再分别以 A、B、C、D为基准调整与之相邻的影像块,依次类推,最终达到所有影像块的色调统一(钱乐祥, 2004)。

(1)基准图像的选择和色彩调整

从地理位置和区位优势角度考虑,本研究以北京所在的影像块数据作为调色基准图像。

中国地域广阔,所需数据量大,数据时相不一,因此基准图像的色彩调整至关重要。基准图像的色相、亮度、对比度直接影响着全国镶嵌图的色彩效果,所以其色相、亮度、对比度应适中,不宜过亮过强或过暗过弱,同时为突出层次效果,应进行局部调整。

(2)整体色调调整

中国幅员广阔,实际覆盖的影像块约 53块,如

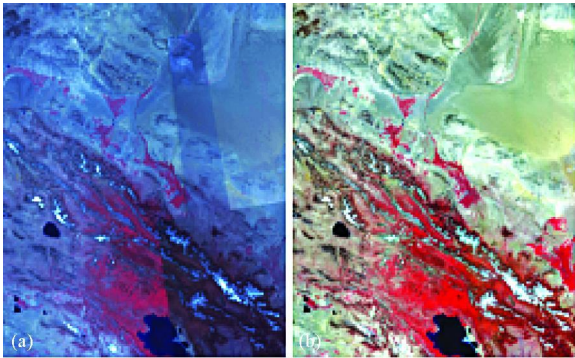


图 10 分块色调调整前后对比影像
(a)色调调整前影像; (b)色调调整后影像
Fig.10 The effect of color adjustment
(a) the original images (b) the color adjusted image

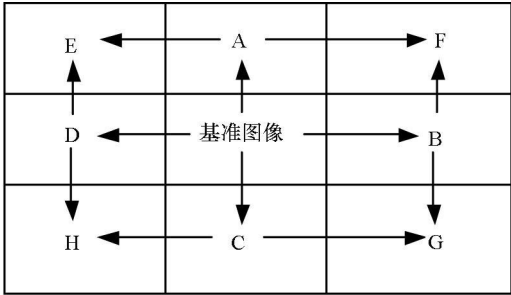


图 11 块间扩散联调示意图
Fig.11 The relationship among sub-blocks for color adjustment

果单纯地以基准图像为中心,利用块间的重叠度,向四周进行块间扩散联调,必将会导致有些区域色彩的偏差和失真现象。为避免这种现象,可采用先分区域色彩联调,再整体联调的方法进行色彩调整,区域划分可根据行政区域划分,如东北、西北、西南等,也可按照时相相近的数据组合进行灵活划分。

(3)仿真彩色调整

北京 1号小卫星多光谱影像是假彩色产品,为满足人眼的视觉习惯,需要对北京 1号小卫星多光谱镶嵌产品进行仿真彩色调整。本研究目前只对 1:300万全国镶嵌图进行了仿真彩色调整,旨在探讨北京 1号小卫星多光谱影像仿真彩色调整方法。

3.5.3 影像镶嵌

对于已经完成调色的分块影像,由于其色彩一致,同时具有地理坐标,因此可以直接在遥感处理专业软件中进行镶嵌处理,从而得到全国镶嵌图。

4 制图

对北京 1 号小卫星数据进行处理的最最终目的,就是要形成各种不同规格的制图产品。一般来讲,决定和影响制图的因素有地图比例尺、编图目的与用途等(张力果等, 1990), 本文在利用北京 1 号小卫星全国镶嵌数据制图时,主要考虑了比例尺设计和内容设计等因素。

4.1 比例尺设计

比例尺包含着对地图精度和详细程度的描述,取决于遥感影像自身的空间分辨率、几何纠正的精度(也就是图像镶嵌的精度)和出图打印设备的分辨率(dpi)(卫征等, 2006)。另外,根据需求的不同,比例尺也有相应的变化。

北京 1 号小卫星全国镶嵌数据的空间分辨率为 32m。当几何纠正精度在 1—2 个像素时,可以制作 1:10 万比例尺专题图(张廷斌等, 2006)。考虑到几何纠正所参考的地形图自身的误差以及有些区域几何纠正精度达不到 1—2 个像素,本研究中北京 1 号小卫星多光谱数据制图所采用的最大比例尺为 1:25 万。在此基础上,可根据不同应用需求制作不同比例尺的省份和全国卫星影像图。

本研究在考虑软硬件支持能力的前提下,为展示真实地表特征,全国采用 1:300 万比例尺,输出精度为 350 dpi(空间分辨率约 218m)。

4.2 图幅设计

要制出完整、适用的图件,还需要对图幅进行必要的整饰,即添加边框、注记、地物名称、行政界线、经纬网、指北针、数学基础(投影方式、参数和比例尺)、图例等必要制图要素。

根据出图比例尺的不同,一些制图要素需要根据国家和行业标准进行适当调整。本研究主要参照 2003 年版的《1:400 万中华人民共和国地形图》和参照国家相关标准进行图幅设计和整饰。

4.3 质量控制

为保证制图质量,本研究中制图精度主要参照了国家相关标准,如《遥感影像平面图制作规范》(GB 15968—1995)。主要质量要求包括:

数据现势性强,所用数据为 2006 年 5 月至 11 月间获取的质量好的数据;

层次丰富、图像清晰、色调一致,无明显拼接缝;

几何精度均匀,平原地区均方根误差不超过 1—2 个像元,山区不超过 2—3 个像元;

遥感影像与行政界线等矢量数据套合基本一致,位置精度一般地区中误差不超过图上 0.50mm,个别困难地区不超过 1.0mm。

4.4 制图

根据设计好的比例尺和图幅整饰要求,在 CoreDraw 和 Photoshop 软件中制作全国 1:300 万镶嵌图,幅面大小 152cm×230cm,输出精度 350dpi 文件大小约 1.8G(图 12)。

5 结论和展望

北京 1 号小卫星影像数字镶嵌图是利用中国自主产权卫星完成的中高分辨率全国卫星数字产品,其层次丰富,整体色调视觉效果好,几何精度较高,且在一年的时间内就完成了两次从数据获取到制作成图过程,充分展示了北京 1 号小卫星数据获取及其运营单位的业务支撑能力。同时,这两次全国镶嵌图的质量表明了本研究所采取技术路线的合理性和科学性。随着北京 1 号小卫星业务化运营的逐步深入,数据积累将日益丰富,全国数字影像图的制作工作将利用新获得的高质量数据进行必要更新,以保证镶嵌图的质量和现势性。有理由相信,全国数字影像图的成功制作将有力地推动各行业对北京 1 号小卫星的广泛和有效的应用。

虽然本次研究取得了较好的效果,但是在实际处理过程中仍有以下几个方面有待进一步加强研究:

(1)在小卫星长轨影像几何精校正方面,如何减少控制点的选择、提高几何校正精度等方面仍需要进一步研究;

(2)匀色处理工作中主要依赖于处理人员的经验,智能化尚嫌不足,今后将在不同时相不同区域地物色彩标准的建立以及匀色自动处理技术方面进行进一步研究;

(3)由于小卫星缺乏蓝波段,仿真彩色自动调整技术有待于进一步研究。



图12 北京1号卫星影像镶嵌图
Fig.12 China's digital mosaic map based on the multispectral images of Beijing-1 Microsatellite

REFERENCES

- Qian L X. 2004. Image processing and geographical feature extraction from remote sensing image. Beijing: Science Press
- Wei Z, Chen Z C, Zhang B, et al. 2006. CBERS-1 digital images mosaic and mapping of China. Journal of Image and Graphics 11(6): 787–791
- Zhang L G, Zhao S M, Zhou Z A. 1990. Cartology. Beijing: Higher Education Press
- Zhang T B, Tang J X, Liu D Z. 2006. Feasibility of satellite remote sensing image about spatial resolution. Journal of Earth Sciences and

附中中文参考文献

- 钱乐祥. 2004. 遥感数字影像处理与地理特征提取. 北京: 科学出版社
- 卫征, 陈正超, 张兵等. 2006. CBERS-1影像全国数字镶嵌与制图. 中国图像图形学报, 11(6): 787–791
- 张力果, 赵淑梅, 周占鳌. 1990. 地图学. 北京: 高等教育出版社
- 张廷斌, 唐菊兴, 刘登忠. 2006. 卫星遥感图像空间分辨率适用性分析. 地球科学与环境学报, 28(1): 79–82

Study on mosaic technology and mapping of China based on the multispectral images of Beijing-1 small satellite

WANG Aihua¹, CHI Yao-bin^{1,2}, WANG Zhiyong¹, WU Fei¹,
WANG Xiaoming¹, LI Li¹, YAN Ming¹

1. Beijing Landview Mapping Information Technology Co., Ltd. Beijing 100096, China;

2. Institute of Remote Sensing Applications Chinese Academy of Sciences Beijing 100101, China

Abstract Beijing-1 small satellite was launched in October 2005. It includes two sensors: 32m three bands multispectral (green, red and near-infrared) and 4m panchromatic. Its revisiting period is very short, which was planned about 3–5 days depending on latitude at 32m resolution. Another important advantage of this satellite is the large area collection capability of 32m multispectral image: 600km width imaging swath and more than 4000km stripe. These allow us to efficiently collect a large amount of imagery data covering every region of the world. Due to the advantages of 32m multispectral image, it is obviously suitable for mapping, especially for large area, such as the whole country of China. So Beijing-1 small satellite will challenge the predominant role of satellite image data, such as TM and SPOT, in Chinese large-area mapping work.

Beijing-1 small satellite ground station is the first one in China that integrates satellite supervising and controlling, task planning, data acquisition, data preprocessing and mosaic, etc. Because of the incorporate working mode, the image data of Beijing-1 small satellite was obtained and processed. By the date of Nov. 20th 2006, the obtained image data has more than 1000 orbits, which covers the whole country of China, and about 20 times for some area. Based on the abundant image data, the study of China's digital mosaic map of Beijing-1 small satellite was promoted.

This paper introduces the methods of image enhancement, geometric correction, image mosaic, and color adjustment, which led to a successful China's digital mosaic map based on multispectral images of Beijing-1 small satellite. As to image preprocessing, destripping, band registration and MTF restoration was applied. Moreover, in order to improve the quality and efficiency, data preprocessing and geometric correction was done on every orbit. During the color adjustment, the image data was divided into many rectangle cells with the same area, with overlapping area between any joined cells. In practice, the data cell was 17125 pixel * 17700 pixel, about 870MB, with 1000 pixel overlapping between any joined cells. There are 53 cells covering the land of China. Due to same small cells, it was obviously to decrease the cost of hardware for data processing, to improve the effect of color adjustment.

According to the above mentioned approach, it will take less than half a year to obtain the Beijing-1 small satellite image data covering the whole country of China, and then only two months are needed to finish the whole mosaic work.

As the result of study, by Dec. 2006, two pieces of digital mosaic image of China has been achieved. The digital mosaic map is being and will be used in many fields, such as forest monitoring, land use and land cover change study, resource research, digital mapping and so on. Moreover, the experience to achieve the 32m mosaic image map is useful for other similar projects.

Key words Beijing-1 small satellite, multispectral images, image process, mosaic