

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)
院士特邀	
“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)
综述	
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)
相机技术	
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)
卫星技术	
“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)
地面处理技术	
“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)

“天绘一号”卫星星敏感器精度分析

王兴涛, 李迎春, 李晓燕

西安测绘研究所, 陕西 西安 710054

摘要: 基于双星敏感器光轴夹角在惯性空间保持不变的特性, 探讨了利用在轨测量数据, 分析星敏感器测量误差、安装参数误差及卫星结构变形的的方法, 给出了相应的数学模型。通过实际计算, 验证了方法的可行性。

关键词: 卫星姿态, 星敏感器, 光轴夹角, 测量噪声

中图分类号: P236, P237 **文献标志码:** A

引用格式: 王兴涛, 李迎春, 李晓燕. 2012. “天绘一号”卫星星敏感器精度分析. 遥感学报, 16(增刊): 90-93
Wang X T, Li Y C and Li X Y. 2012. Mapping Satellite-1 star sensor accuracy analysis. Journal of Remote Sensing, 16(增刊): 90-93

1 引言

“天绘一号”卫星主要目标是满足地面无控制点绝对定位精度优于50 m和测图比例尺达到1:50000的任务要求。研究表明, 卫星的姿态确定精度是影响地面控制定位精度的关键因素之一, 直接关系到任务目标的实现。对于三轴稳定的卫星, 最常用的高精度姿态敏感器就是星敏感器(刘一武和陈义庆, 2003; 屠善澄, 1999)。“天绘一号”卫星上装有3个星敏感器, 可以实现相对于惯性坐标系姿态的直接测量。卫星姿态的确定采用多星敏感器联合定姿方案, 其定姿结果的精度除主要受星敏感器的测量噪声和低频漂移误差影响外, 还与有效载荷的安装参数测定误差、卫星结构变形等因素有关([2012-06-30]http://wenku.baidu.com/view/3835de86ec3a87c24028c439.html)。由于缺少外部基准, 如何分析评估星敏感器的测量误差、有效载荷的安装参数误差、卫星结构变形等, 还没有成熟的方法。本文提出了两种星敏感器测量精度的分析方法, 即双星敏感器光轴夹角法和单星敏感器姿态差分法, 利用“天绘一号”卫星上多个星敏感器的高精度实测数据, 通过对不同弧段测量数据的拟合、滤波、差分等综合分析处理, 从一个侧面对星敏感器的测量噪声和低频漂移误差进行分析评估。

2 基本数学模型

2.1 双星敏感器光轴夹角法

对于安装3个星敏感器的卫星, 利用星敏感器的地面安装矩阵可以计算任意两个星敏感器主光轴的夹角, 分别用 $\theta_{1,2}^0$ 、 $\theta_{1,3}^0$ 和 $\theta_{2,3}^0$ 表示。恒星敏感器在轨工作时, 通过拍摄恒星影像可获得其在惯性坐标系中姿态, 即得到3个星敏感器各自主光轴的单位矢量, 进一步能计算出各个时刻3个星敏感器两两光轴(即星敏坐标系Z轴)之间的夹角, 以 $\theta_{1,2}^s$ 、 $\theta_{1,3}^s$ 和 $\theta_{2,3}^s$ 表示。

由星敏感器原始姿态四元数, 计算在惯性坐标系中星敏感器主光轴单位矢量的公式为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_i = \begin{bmatrix} 2(q_0^2 + q_1^2) - 1 & 2(q_1q_2 + q_0q_3) & 2(q_1q_3 - q_0q_2) \\ 2(q_1q_2 - q_0q_3) & 2(q_0^2 + q_2^2) - 1 & 2(q_2q_3 + q_0q_1) \\ 2(q_1q_3 + q_0q_2) & 2(q_2q_3 - q_0q_1) & 2(q_0^2 + q_3^2) - 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_s \quad (1)$$

式中, $[x \ y \ z]_s$ 为星敏Z轴在星敏测量坐标系的单位矢量, $[x \ y \ z]_i$ 为星敏Z轴在惯性坐标系的单位矢量(刘一武和陈义庆, 2003)。

两个矢量夹角的计算公式为

$$\cos\theta = \frac{x_1x_2 + y_1y_2 + z_1z_2}{r_1r_2} \quad (2)$$

收稿日期: 2012-08-07; 修订日期: 2012-11-21

基金项目: 国家自然科学基金项目(编号: 41174017)

第一作者简介: 王兴涛(1959—), 男, 研究员, 主要从事地球物理场和大地测量学的研究。E-mail: xingtaow@163.com。

式中, r_1, r_2 分别表示两个矢量的模。

理论上, 如果卫星结构没有变形, 两个星敏传感器光轴的夹角客观上在空间应保持不变, 且与地面标定值一致。但由于地面安装矩阵标定误差、卫星结构形变、星敏传感器测量误差等原因, 由星敏传感器测量数据所计算的光轴夹角并不是常数。将 $\theta_{1_2}^s$ 、 $\theta_{1_3}^s$ 、 $\theta_{2_3}^s$ 分别与 $\theta_{1_2}^0$ 、 $\theta_{1_3}^0$ 、 $\theta_{2_3}^0$ 求差, 生成两两光轴夹角样本集。通过对该样本集的统计分析, 可以评估恒星敏感器的测量噪声、安装矩阵标定误差及卫星结构变形所引起的星敏主光轴的指向变化。其中系统性误差主要包括星敏传感器的安装标定误差、星敏传感器低频误差及星敏传感器基座在轨受热不均匀引起的主光轴变化, 卫星入轨后这些系统性误差无法分离; 偶然性误差主要是由星敏传感器测量噪声引起的误差。

2.2 单星敏传感器姿态差分法

对星敏传感器输出的原始姿态四元数进行差分, 得到相邻2个样本点的相对姿态变化量,

$$\Delta \mathbf{q} = \mathbf{q}_n \otimes \mathbf{q}_{n-1}^{-1} \quad (3)$$

$\Delta \mathbf{q}$ 主要包含两部分, 一是卫星飞行运动的姿态变化, 另一部分为星敏测量误差。采用曲线拟合的方法, 去除卫星运动导致的姿态变化量, 即绕星敏传感器3坐标轴的转角量, 即可得到星敏传感器的测量误差样本集。由于采用相邻样本点取差, 其长周期误差以及星敏传感器的低频误差得以有效消除, 可以认为 $\Delta \mathbf{q}$ 中主要为星敏传感器的测量噪声。

3 试验结果及分析

双星敏传感器光轴的夹角变化是由多种误差引起的, 这些误差的特性和对光轴夹角的影响规律不尽相同。例如, 地面安装标定误差属系统性误差, 对光轴夹角的影响可视为常数; 卫星在轨受热不均匀结构变形所引起的主光轴夹角变化应该具有周期性, 且与太阳的位置有关, 在短时间(10–20 min以内)也可认为是不变的; 恒星敏传感器测量误差包括测量噪声和低频误差两部分, 测量噪声属偶然性误差, 而星敏传感器的低频误差比较复杂, 可能包括不同波长的误差分量。

基于上述分析, 对“天绘一号”卫星的星敏传感器在轨测量数据进行了两组试验: 一是短弧段试验, 主

要分析评估恒星敏感器的测量噪声; 二是全轨道长弧段试验, 主要分析卫星结构变形所引起的光轴夹角变化, 以及地面安装标定误差对光轴夹角的影响。

3.1 短弧段星敏传感器主光轴的夹角试验分析

利用2010年8月28日至2010年11月10日11个摄影条带的星敏传感器在轨测量数据, 计算了3个星敏传感器主光轴的夹角, 并与地面标定出的相应夹角进行了比较, 其部分结果的统计见表1。

表1 星敏传感器主光轴夹角与其标定值的比较

摄影条带日期	样本数	星敏传感器夹角差	Min./(")	Max./(")	Mean./(")	Std./(")
		$\theta_{1_2}^s$	70.3	95	80.8	4.0
2010-09-15	458	$\theta_{1_3}^s$	-134.9	-81	-103.4	8.1
		$\theta_{2_3}^s$	78.5	103.1	90.4	5.2
		$\theta_{1_2}^s$	75.6	100.2	86.7	4.1
2010-09-23	662	$\theta_{1_3}^s$	-122.4	-77.2	-102.0	8.7
		$\theta_{2_3}^s$	70.8	105.6	83.0	5.8
		$\theta_{1_2}^s$	71.1	101.3	85.3	5.4
2010-11-09	648	$\theta_{1_3}^s$	-115.2	-71.7	-94.6	7.8
		$\theta_{2_3}^s$	69.7	92.9	82.3	4.5
		$\theta_{1_2}^s$	75.0	118.4	89.0	4.5
2010-11-10	646	$\theta_{1_3}^s$	-111.9	-66.8	-90.8	7.3
		$\theta_{2_3}^s$	79.9	115.7	89.4	4.2

从表1可看出, 由星敏传感器在轨测量数据计算的星敏传感器夹角与地面标定的星敏传感器夹角存在明显系统差, 其量级在90"左右。

除去系统误差后, 由在轨测量数据计算的星敏传感器1与星敏传感器2、星敏传感器2与星敏传感器3光轴夹角测量误差的标准差在4"—5"(1 σ); 星敏传感器1与星敏传感器3光轴夹角测量误差的标准差约为8"(1 σ)。需要指出的是, 两两光轴夹角测量误差, 包含参与测量的2个星敏传感器误差的联合贡献。若按误差传播定律换算成星敏传感器主光轴的指向误差, 则分别为2.8"—3.5"和5.6"(1 σ), 基本上反映了星敏传感器的测量噪声水平。

3.2 短弧段单星敏传感器姿态差分试验分析

所用数据与星敏传感器光轴夹角法相同, 经一阶差

分, 并去除卫星运动导致的姿态变化, 再转换为绕星敏感器3个坐标轴的姿态, 其部分结果的统计见表2。

表2 单星敏感器姿态一阶差分的标准差统计

日期	样本数	星敏感器 1 /(") (绕X、Y、Z轴)			星敏感器 2 /(") (绕X、Y、Z轴)			星敏感器 3 /(") (绕X、Y、Z轴)		
2010-09-15	458	5.1	2.2	37.4	2.6	4.8	25.3	6.1	2.4	40.9
2010-09-23	662	5.7	2.7	36.5	2.4	6.2	22.4	5.4	2.3	49.0
2010-11-09	648	5.5	2.5	28.2	2.2	5.7	25.9	6.8	3.2	39.4
2010-11-09	648	4.8	2.3	31.7	1.9	4.9	25.4	5.6	2.8	45.2

根据11个摄影条带的分析结果, 3个星敏感器的随机测量误差是基本稳定的。星敏感器1绕X轴的测量噪声为4.5"—6.0", 绕Y轴的为2.0"—2.8"; 星敏感器2绕X轴的测量噪声为1.8"—2.7", 绕Y轴的为4.6"—6.3"; 星敏感器3绕X轴的测量噪声为5.2"—7.0", 绕Y轴的为2.3"—3.3"。星敏感器3的随机测量误差比星敏感器1、星敏感器2要略大一些。

3.3 全轨道长弧段试验

所用数据为2010年11月20日4个完整周期的全轨道数据, 时间长度为6 h 8 min 45 s。为了便于分析星敏感器主光轴夹角变化与太阳位置的关系, 除了计算每个观测历元的星敏感器光轴夹角外, 还按照JPL行星历表计算了太阳与每个星敏感器主光轴的夹角。图1—图3分别给出了为星敏感器光轴夹角变化以及星敏感器光轴与太阳夹角的叠加图。星敏感器夹角采用60点平滑, 以滤去高频测量噪声的影响(单位为秒), 主光轴与太阳夹角的单位为度。

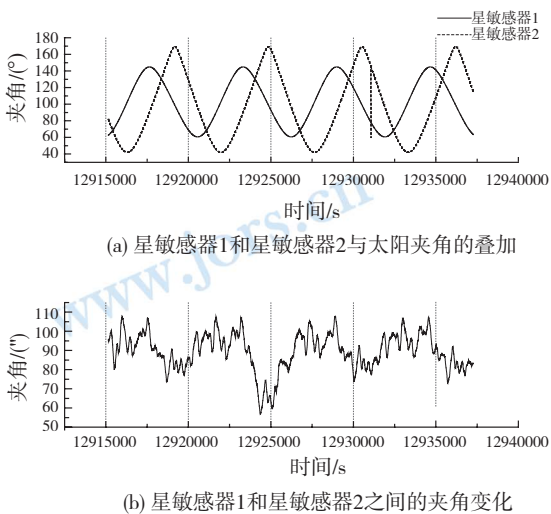


图1 星敏感器1、星敏感器2之间夹角变化、它们与太阳夹角叠加图

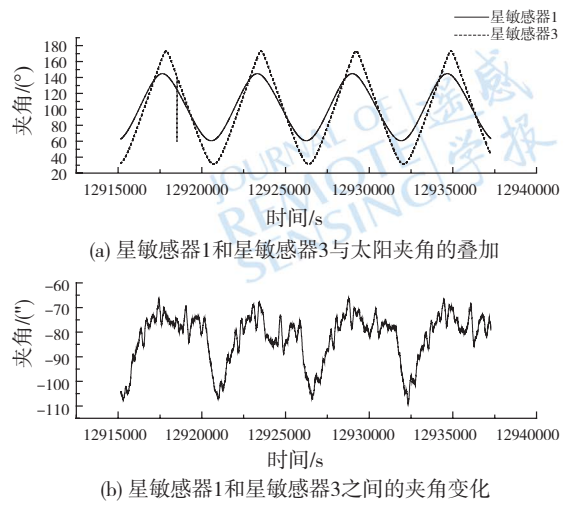


图2 星敏感器1、星敏感器3之间夹角变化、它们与太阳夹角叠加图

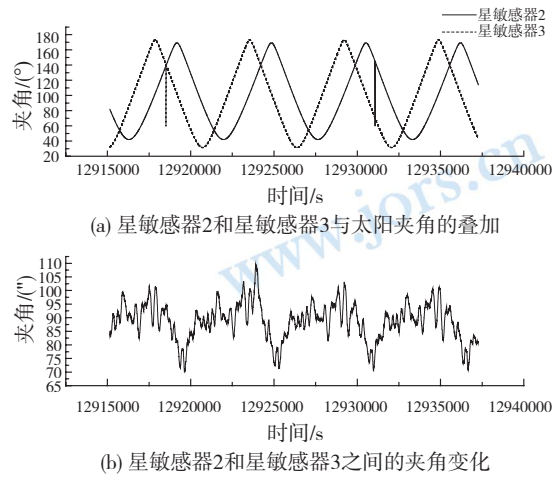


图3 星敏感器2、星敏感器3之间夹角变化、它们与太阳夹角叠加图

由图可见, 对于长弧段的数据, 星敏感器主光轴夹角的变化具有明显的周期性, 变化的振幅在60"量级, 周期约为1.5 h(一个轨道周期), 而且与太阳的位置有密切的关系。图1中, 星敏感器1—2夹角和星敏感器2与太阳夹角呈现负相关; 图2中, 星敏感器1—3之间夹角和它们与太阳的夹角最为相关, 且星敏感器1—3与太阳的夹角基本同时接近最小值, 其夹角变化明显; 图3中, 星敏感器2—3夹角和星敏感器2与日夹角也呈现负相关。

除了周期性变化, 星敏感器主光轴的夹角与其地面标定值存在明显的系统差。星敏感器1—2之间夹角的系统差值约为90", 星敏感器1—3之间夹角的系统差值约为-85", 星敏感器2—3之间夹角的系统差值约为95"。

4 结 论

(1)星敏传感器光轴夹角的计算直接利用了星敏传感器输出的原始姿态四元数,不涉及组合定姿运算和扣除卫星运动问题。由于其星敏传感器主光轴夹角理论上不随卫星的运动而改变,用其作为分析星敏传感器测量误差、低频漂移误差、安装参数误差、卫星结构变形等的参考基准是可行的。这种分析方法给出的星敏传感器主光轴在惯性空间的指向的随机测量噪声是比较客观可靠的,但不能给出星敏传感器绕每个坐标轴的测量噪声。单星敏传感器姿态差分法需要扣除卫星运动引起的姿态变化,其结果可能受到卫星高频振动的影响。两种方法所得到的星敏传感器随机测量噪声相差不大,属相同的量级。

(2)星敏传感器光轴夹角与地面标定值存在明显系统差,其量级在90"左右,说明星敏传感器安装参数可能存在较大的系统误差。

(3)星敏传感器光轴夹角具有明显的周期变化,其变化周期与轨道周期完全吻合,也与太阳的位置有密切相关,表明卫星结构可能存在一定的变形。但这一周期变化是星敏传感器低频测量误差(两个星敏传感器的联合贡献)与卫星结构变形的共同影响,难以将其分离。哪个是主要的影响,还需进一步分析。

参考文献(References)

- 刘一武,陈义庆. 2003. 星敏传感器测量模型及其在卫星姿态确定系统中的应用. 宇航学报, 24(2): 162-167
- 屠善澄. 卫星姿态动力学与控制. 1999. 北京: 宇航出版社

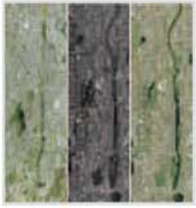
Mapping Satellite-1 star sensor accuracy analysis

WANG Xingtao, LI Yingchun, LI Xiaoyan

Xi'an Research Institute of Surveying and Mapping, Xi'an 710054, China

Abstract: Based on the unchangeable characteristic of the star sensor axis angle in the inertial space, the method of star sensor measurement error, error of satellite structure installation parameters and structural deformation is discussed using the on-orbit measurement data, then the corresponding mathematical models are given out. Also the feasibility of the method is verified by practical calculation.

Key words: satellite attitude, star sensor, axis angle, measurement noise



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

