

国产遥感卫星数据高级产品业务化生产技术与系统

张永军¹, 王博¹, 于晋², 陈琦², 段延松¹, 张勇¹, 孙明伟¹, 季顺平¹

1. 武汉大学 遥感信息工程学院 武汉 430079

2 中国资源卫星应用中心 100094

E-mail: zhangyj@whu.edu.cn

摘要: 卫星遥感是一项应用广泛、社会效益巨大的尖端技术。本文将资源 02C 卫星和资源三号卫星数据业务化处理为例, 阐述自动化产品生产的关键技术及流程, 最后针对条带影像对地定位、高分辨率融合影像、数字高程模型、数字正射影像等高级产品进行精度评价。

关键词: 卫星数据处理, 基础地理信息, 业务化生产, 地理信息服务

The Technologies and System for Commercial Operation of Advanced Products with Domestic Satellite Imagery

ZHANG Yongjun¹, WANG Bo¹, YU Jin, CHEN Qi, DUAN Yansong¹, ZHANG Yong¹, SUN Mingwei¹, JI Shunping¹

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

2 China Centre for Resources Satellite Data and Application, Beijing 100094, China

E-mail: zhangyj@whu.edu.cn

Abstract: Satellite remote sensing is an advanced technology with abundant applications and great social benefits. This paper illustrated the key technologies and workflow of the fully automatic data processing system to process the ZY-02C and ZY-3 satellite imagery. Finally, the accuracies of geo-referencing and fully automatically generated advanced products, such as high-resolution color-fused image, digital elevation model (DEM), and digital orthophoto map (DOM), were discussed.

Key words: satellite data processing, basic geographical information, commercial operation, geographic information service

1、国产卫星数据处理概况

我国从上世纪七十年代开始实施对地观测卫星体系计划, 初步建成了气象、海洋、资源及环境减灾四类卫星体系。由于各种技术条件限制, 目前卫星遥感技术的发展存在着一定的问题, 主要包括: 缺乏有效的业务处理规划, 无法形成规模化、可持续运行、业务化的遥感卫星数据处理系统; 国内已有的遥感数据源较为分散, 数据利用度不高, 集成处理技术薄弱等等。卫星数据处理的自动化、业务服务的网络化、信息分析的智能化, 已成为国产卫星数据处理系统的设计重点^[2]。

国外先进的卫星数据处理系统从最早的 TM 系列到商业化的 SPOT 系列, 均在不同程度上实现了卫星数据的半自动或全自动化处理, 不仅在数据处理技术上取得了显著的成绩, 而且在民用应用领域的业务化探索获得成功。这些优秀的处理模式对于国产卫星数据处理具有重要的借鉴意义。

十一五期间, 以环境 1A/1B 卫星地面系统为基础的卫星数据业务化处理探索取得骄人的成绩, 但在数据产品上种类单一、数据深加工处理仍有较大提升空间; 十二五期间, 以资源 02C 卫星、资源三号卫星为主体研发的卫星数据地面处理系统采用最新的相关理论与算法, 首次实现了高分辨率彩色融合影像、数字高程模型、数字正射影像、国家 1:50000 标准分幅正射影像等测绘产品的准实时、全自动化、业务化生产, 极大地

提高了国产卫星系统的业务服务能力，为我国未来的对地观测计划奠定了坚实的基础。

2、国产卫星数据业务化处理

国产卫星数据业务化处理一般经过以下四个环节，即星上直传数据解压缩及录入、辐射校正处理、几何校正处理、产品归档及分发，武汉大学与中国资源卫星应用中心合作，成功研制了资源 02C 卫星和资源三号卫星高级产品全自动业务化生产系统，其主要功能及与其他相关分系统的关系如图 1 所示。高级产品生产以几何处理为核心，包括几何精校正、核线立体像对制作（多视传感器）、高分辨率彩色融合影像、数字高程模型（多视传感器）、数字正射影像、国家 1:50000 标准分幅正射影像等。

该系统无需任何人工干预，采用数据驱动模式，可全自动运行，处理流程可分为两个部分：首先，在实时传输的姿态和轨道数据的基础之上，进行几何模型精确定向；其次，利用定向结果进行相应产品生产，如彩色融合影像、数字高程模型，数字正射影像等。

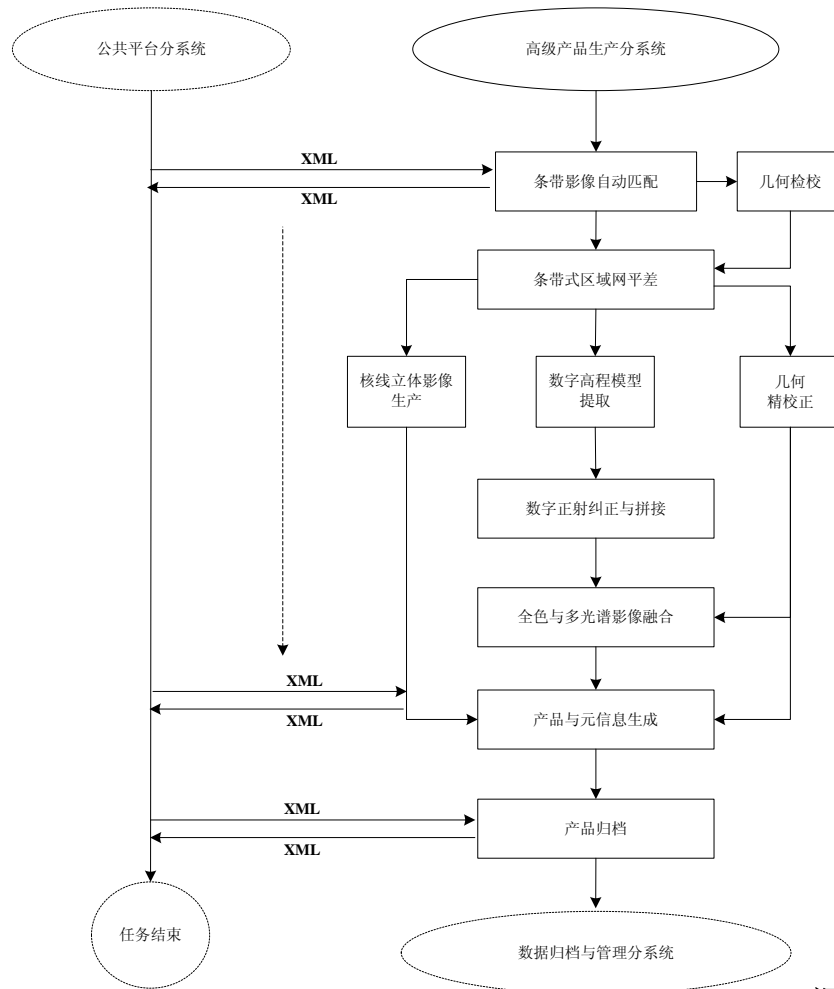


图 1 国产遥感卫星影像全自动处理技术路线

调用模块，方式

反馈结果，方式

几何模型精确定向，主要完成自动化空中三角测量工作。主要技术流程为像方同名点匹配、控制信息自动提取、条带式区域网平差等处理，最终得到精确的定向模型参数，建立像方与物方的严密几何投影关系。其中，像方同名点匹配基于近似核线几何条件，进行物方高程步距搜索、像方灰度特征相关，在影像局部进行多点匹配^{[2][3]}；控制信息自动提取是利用图图相关的思想，在开放式基础地理信息数据库的基础上，进行多源影像数据匹配与控制点提取，得到符合精度要求的控制信息^[4]；在区域网平差中，以条带影像为处理单元，利用像点之间的关系、像点与对应地面点的关系、地面点之间的关系以及原始的直传姿轨参数，逆向精化成像时刻的外方位元素，并在平差过程中加入自检校参数，对相机系统成像误差进行检校与补偿，得到严密、精确的像方到

物方的投影模型^[5]。

产品生产主要是利用影像配准融合、影像拼接、密集匹配、摄影测量点云处理及高性能正射纠正等关键技术，进行国产卫星数据的深加工处理。其中，影像配准融合技术利用同一地理范围的全色影像与多光谱影像进行自动化配准融合，得到高分辨率彩色正射影像，如图 2 所示；影像拼接技术是解决国产高分辨率组合式 CCD（如资源 02C 卫星的高分辨率全色传感器）成像的拼接问题及区域性产品拼接问题的关键技术，如图 3 所示；密集匹配时首先将严格成像模型转换为有理函数模型，以简化像地转换过程的计算复杂度^[6]，然后利用影像提取特征点、特征线等信息，进行密集点云匹配，得到地表面的离散点云模型；摄影测量点云处理技术在地表面的离散点云模型基础上，进行滤波处理，提取地形信息，生成数字高程模型，如图 4 所示；高性能正射纠正技术利用优化后的小面元纠正技术，快速、精确的处理原始影像，生成数字正射影像^[7]，如图 5 所示。

资源 02C 卫星及资源三号卫星地面系统的成功研发，奠定了国产遥感卫星数据从数据简单加工到数据深加工、从单景式作业到条带式批量式作业的处理基础，为地理信息服务系统的业务化运行提供了强有力的技术支持。

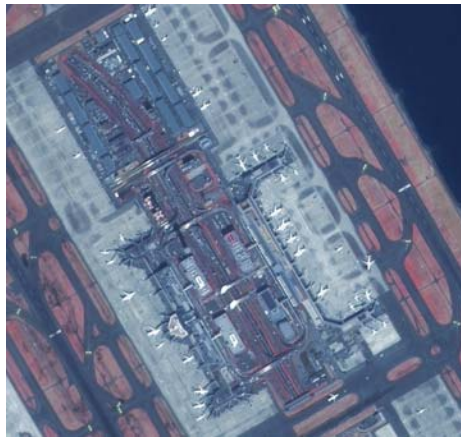


图 2 日本东京国际机场的 ZY02C 高分辨率彩色融合正射影像

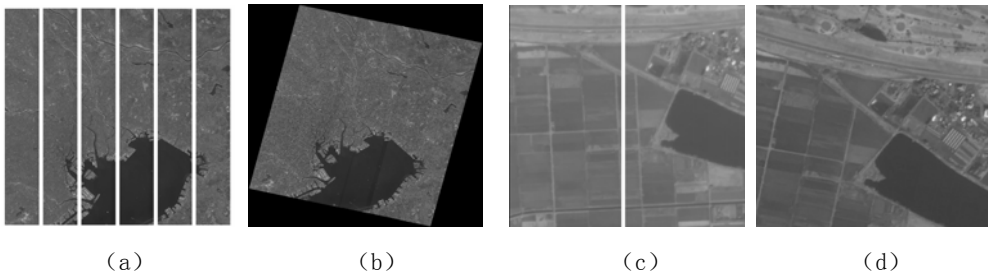


图 3 资源 02C 卫星高分辨率全色影像拼接结果

(a 为六条子条带缩略图，b 为拼接后结果，c 为拼接前局部放大图，d 为拼接后局部放大图)

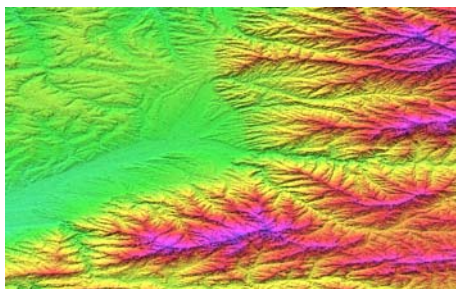


图 4 中国浙江地区数字高程模型渲染图



图 5 美国马里兰州地区正射影像图

3、地理信息产品闭合生产模式

目前，国产遥感卫星缺乏无需地面控制的精确定位技术，星地直接定位精度不理想，数据处理效率不高，数据应用严重滞后。例如 CBERS-02B 卫星在一般情况下的直接定位精度约 1 公里，在极端情况下达到数公里；资源 02C 卫星一般情况下直接定位精度约 200 米，极端情况下达到 1 公里以上；而国产遥感卫星目前的成像能力为每天 4~6 轨，单轨影像可以覆盖约 20 万平方公里，对数据处理技术实时性的要求非常高。

传统的卫星数据处理中，极大地依赖于地面控制，而地面控制的成本较高、耗时费力，无法实现高效、快速、自动化地生产高质量的地理信息产品，造成数据应用滞后。然而，庞大的地理信息数据库在卫星数据处理中是能发挥重要作用的，例如国家基础地理信息库、全球地理信息数据库等，能最大限度上节约外业地面控制的工作量，并为卫星数据日常业务化处理提供可能。因此，改变传统的“数据—>产品”的单向生产模式，形成地理信息产品闭合生产模式，如图 6 所示，是卫星数据处理的重大突破。

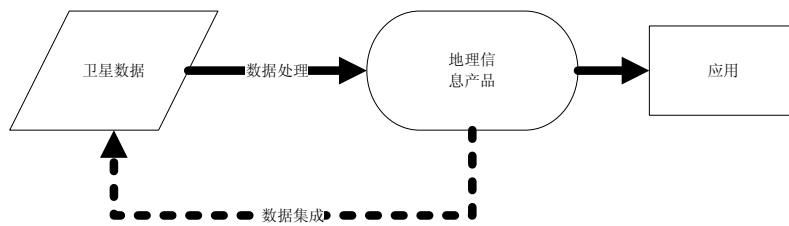


图 6 卫星数据处理的闭合生产模式

地理信息产品闭合生产模式中的关键是开放式基础地理信息数据库的建设，国内较为成熟的包括以 CBERS-02B 数据为基础完成的全国基础地理信息数据和以高质量卫星影像、航空影像为基础完成的天地图数据；国外较为成功的是 Google Earth (GE) 全球公开基础地理信息数据。在资源 02C 卫星与资源三号卫星处理中，首次利用开放式基础地理信息数据，形成地理信息产品的闭合生产链，不仅实现了无外业控制下的卫星轨道与姿态精确计算，而且为高质量的地理信息产品全自动化批量生产提供了质量与精度保证。

4、业务化处理精度评价

以资源 02C 卫星和资源三号卫星为例，国产卫星数据在业务化处理时，原始数据的平均吞吐量约为 80G/小时，地理信息产品包括高分辨率彩色融合影像、数字高程模型 (DEM)、数字正射影像 (DOM)、1:50000 标准分幅正射影像等。数据处理以实时传输的星上直传数据为驱动，从分景编目、辐射校正到高级产品生产的整个流程均为全自动化处理，并提供网络条件下的数据分发服务。

表 1 为资源三号卫星直传姿轨定向与利用开放式基础地理信息库进行自动化条带式定向结果对比，表明业务化处理时条带定向能够明显改善国产卫星直传姿轨的几何定位精度。

表 1 资源三号卫星全球公开数据定向精度统计表

定位方式	像方中误差		像方最大残差		检查点中误差		检查点最大残差	
	x (pixel)	y (pixel)	x (pixel)	y (pixel)	平面 (m)	高程 (m)	平面 (m)	高程 (m)
星地直传	0.547	0.617	1.971	1.954	10.479	29.472	17.689	43.561
条带定向	0.703	0.688	3.365	2.849	4.788	8.597	9.049	15.785

表 2 中针对资源三号卫星数据业务化处理的 DEM 与 DOM 产品进行了精度检查。结果表明，采用全球公开地理信息对资源三号卫星数据进行区域网平差和系统误差自检校等一系列技术处理后，自动提取的 DEM 基本可以达到 1:50000 比例尺 DEM 规范的精度要求，但受限于公开数据的精度水平，DEM 高程存在较为明显的系统误差。根据 DEM 纠正的 DOM 的精度则远远优于 1:50000 比例尺正射影像的生产指标。

表 2 资源三号卫星全球公开数据定向后 DEM/DOM 产品精度统计

地形类别	物方中误差		物方平均残差		物方最大残差	
	平面 (m)	高程 (m)	平面 (m)	高程 (m)	平面 (m)	高程 (m)
平地	5.07	5.77	2.76	-5.44	11.22	-10.38
山区	6.78	14.52	3.60	-14.11	15.42	-22.50

当使用 1:10000 基础地理信息数据进行定向后，定向精度可提高到 3m 左右的水平，自动生产的 DEM 产品精度也有很大提高，使用不同图幅的已知 DEM 对自动生产的 DEM 进行精度抽查的精度统计如表 3 所示。可以看出高程残差的系统性得到明显改善，能够满足 1:50000 比例尺 DEM 规范的精度要求。

表 3 资源三号卫星 1:10000 基础地理信息数据定向后 DEM 产品精度统计

地貌类型	图幅名	高程中误差 (m)	高程误差均值 (m)
城区 中误差 4.5 米	H51G059011	5.450	3.747
	H51G060012	3.735	1.759
	H51G059012	4.095	1.411
	H51G059013	4.843	3.053
	H51G058015	4.241	0.329
平地 中误差 3.5 米	H51G049017	2.852	-0.665
	H51G067015	4.277	-0.241
	H51G067016	4.284	0.454
	H51G068015	2.536	-0.511
山区 中误差 5.5 米	H51G063014	5.692	1.621
	H51G064014	5.397	1.639
	H51G064015	5.987	2.552
	H51G065014	4.482	2.644
	H51G065015	5.946	3.546

表 4 中针对资源 02C 卫星的全色和多光谱正射影像的自动融合影像进行了精度检查。其中，北京地区和杭州地区是全色传感器（PAN，分辨率为 5 米）和多光谱传感器（MUX，分辨率为 10 米）成像的融合结果，东京地区是高分辨率传感器（HRC，分辨率为 2.36 米）与多光谱传感器成像的融合结果。统计结果表明，自动融合影像的质量和精度可以满足相应比例尺下的成图精度要求。

表 4 资源 02C 卫星全色和多光谱正射影像配准融合精度统计

成果地区	像方中误差		像方最大残差		物方中误差		物方最大残差	
	x (pixel)	y (pixel)	x (pixel)	y (pixel)	X (m)	Y (m)	X (m)	Y (m)
中国北京	0.706	1.029	4.578	5.127	3.530	5.145	22.891	25.634
中国杭州	1.154	0.927	4.695	3.113	5.770	4.635	23.476	15.567
日本东京	1.743	1.865	6.476	7.459	4.113	4.401	15.283	17.603

5、结束语

国产卫星数据处理经过三十多年的不断探索，初步形成了以数字摄影测量关键技术为主体的地理信息服务模式，在数据深加工和数据应用层面取得了巨大的成就。在天地一体化的战略背景下，国产卫星数据的处理需

求越来越大，处理水平需要不断革新。

利用先进的软、硬件技术，已有的地理信息基础数据等加快国产卫星数据的业务化服务进程，是我国对地观测计划的重点。全自动化高级产品处理技术的研究不仅推动了卫星数据服务的业务化，而且为国产卫星数据的推广应用提供了强有力的支持。

参考文献：

- [1] 唐新明, 丛楠. 我国测绘卫星现状与发展思考. 地理信息世界, 2011, 9(2): 40-44.
- [2] Bellavia, F., Tegolo, D., Valenti, C.. A Non-Parametric Scale-based Corner Detector//In: ICPR 2008, 19th International Conference on Pattern Recognition, 2008 December 08-11, USA
- [3] Gruen, A., Akca, D.. Least Squares 3D Surface and Curve Matching. ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing, 2005, 59 (3), 151-174.
- [4] 陶鹏杰, 鲁路平, 张勇, 等 .CBERS-02B 影像基于已有地理信息数据的自动定位//第一届全国高分辨率遥感数据处理与应用研讨会论文集, 西安: 2011.
- [5] Yongjun Zhang, Maoteng Zheng, Tao Ke. Triangulation of spaceborne three-line array imagery with different sensor models//Proceedings of ASPRS 2011 Annual Conference, 2011 May 01-05, USA.
- [6] Yongjun Zhang, Yihui Lu, Lei Wang, Xu Huang. A New Approach on Optimization of the Rational Function Model of High Resolution Satellite Imagery. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 50(7): 2758-2764, 2012.
- [7] 孙明伟. 正射影像全自动快速制作关键技术研究[D].武汉: 武汉大学, 2009.

第一作者: 张永军

联系电话: 13871107522

电子邮箱: zhangyj@whu.edu.cn