

航天高分辨率数据几何处理丛书

Research on High-resolution Optical Satellite
Standard Product Classification System

高分辨率光学卫星 标准产品分级体系研究

张过
秦绪文
潘红播
王兴玲
著



测绘出版社

航天高分辨率数据几何处理丛书

高分辨率光学卫星标准产品 分级体系研究

Research on High-resolution Optical Satellite Standard
Product Classification System

张过 秦绪文 潘红播 王兴玲 著



测绘出版社

· 北京 ·

© 张过 秦绪文 潘红播 王兴玲 2013
所有权利（含信息网络传播权）保留，未经许可，不得以任何方式使用。

内 容 简 介

本书主要介绍了国外高分辨率商业光学遥感卫星的发展现状及其相应产品的标准化现状。针对线阵列推扫式光学卫星传感器的特点，结合国内外标准产品分级的优缺点，提出了一套适用于高分辨率光学卫星的标准产品分级体系，包括原始数据（RAW）产品、传感器校正（SC）产品、系统几何纠正（GEC）产品、精纠正（eGEC）产品、正射纠正（GTC）产品以及核线（DOM）产品，并在此基础上详细叙述了各级产品的制作流程。针对这套方案，本书利用ALOS 三线阵、SPOT 5的HRG异轨立体、CBERS-02C异轨立体、IKONOS同轨立体以及GeoEye同轨立体数据进行了验证。为便于科研和生产人员实现本书的方案，书中还介绍了线阵列推扫式光学卫星传感器的严密成像几何模型和有理多项式系数（RPC）模型以及相应的正反变换和纠正方案等。

本书可供测绘、国土、航天、规划、农业、林业、资源环境、遥感、地理信息等空间地理信息相关行业的生产技术人员和科研工作者参考。

图书在版编目（CIP）数据

高分辨率光学卫星标准产品分级体系研究/张过等著. —北京：测绘出版社，2013. 3
ISBN 978-7-5030-2572-3

I. ①高… II. ①张… III. ①高分辨率—遥感卫星—分级—产品标准—研究 IV. ①V474. 2

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第069006号

责任编辑	万茜婷	执行编辑	李 莹	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍
出版发行	测绘出版社			电 话	010—83060872（发行部）		
地 址	北京市西城区三里河路50号				010—68531609（门市部）		
邮政编码	100045				010—68531160（编辑部）		
电子邮箱	smp@sinomaps.com			网 址	www.chinasmp.com		
印 刷	中煤地西安地图印制有限公司			经 销	新华书店		
成品规格	184mm×260mm						
印 张	5. 25			字 数	100千字		
版 次	2013 年 3 月第 1 版			印 次	2013 年 3 月第 1 次印刷		
印 数	0001—1000			定 价	29. 00元		

书 号 ISBN 978-7-5030-2572-3/P • 578

本书如有印装质量问题，请与我社门市部联系调换。

前言

自1999年第一个高分辨率商业卫星IKONOS上天以来,在这短短的十年时间里,国际高分辨率卫星市场呈现一片欣欣向荣的景象,陆续发射了QuickBird、SPOT 5、IRS-P5、ALOS、GeoEye、WorldView等一系列高分辨率遥感卫星。为了适应不同用户遥感影像处理能力的不同以及对定位精度要求的差异等,影像供应商会制作不同处理级别的影像以供用户选择。由于卫星设计的差异以及处理方案的不同,各卫星公司的影像产品分级方式差异巨大,处理精度各不相同。

本书从线阵列传感器特点出发,分析了各种高分辨率光学影像产品分级方案的优缺点,基于高分辨率光学卫星影像和RPC模型的特点,针对不同的几何处理级别,提出了一套影像产品的分级方案。为了提供较宽视场角的单CCD影像,在生成传感器校正产品时将多个CCD无缝地拼接起来,以便于用户使用。但是传感器校正产品还存在姿态跳变等问题,使得RPC拟合精度较低,而利用系统几何纠正产品可以较好地解决这一问题。当用户不具备遥感影像高级处理能力时,在提供控制点和DEM的情况下,可以为用户提供精纠正产品或正射纠正产品。利用卫星影像进行摄影测量处理时,核线约束可以提高匹配速度和匹配准确性,故核线产品也将作为高分辨率光学卫星的一种产品提供给用户。本书中提出的高分辨率光学影像产品分级方案,可为我国自己发射的高分辨率光学卫星的分级方案提供借鉴。

本书总共分为6章。第1章介绍了国内外高分辨率光学卫星的发展现状,给出了常见的国内外高分辨率卫星的传感器及其特点;第2章介绍了高分辨率光学卫星影像产品标准化现状及其相应的优缺点;第3章提出了高分辨率光学卫星标准产品分级体系,并给出了各个产品的定义;第4章给出了各个产品的制作流程,并从理论上分析得出各项产品的制作流程不会损失几何精度;第5章介绍了线阵列传感器严密成像几何模型的建立及其正反算方法,并给出了作为产品的RPC参数的求解方式及其正反算方式,以及相应的几何纠正方法,用于进一步补充第4章中所用到的技术;第6章利用ALOS三线阵、SPOT 5的HRG异轨立体、CBERS-02C异轨立体、IKONOS同轨立体以及GeoEye同轨立体数据对本书提出的分级方案进行了验证,最终结果表明本书的方法是一种可行、通用的方式。

本书的研究得到国家科技支撑计划项目“资源三号卫星立体测图标准与规范研究”(2011BAB01B01)、“地理国情监测应用服务”(2012BAH28B04)和国家自

然科学基金重点项目“多源高分辨卫星影像的几何精处理、特征提取与智能化分类”(40930532)等课题的资助。同时,感谢刘斌、祝小勇为本书所做的文字编辑工作,感谢张浩、田蓉和高贤君同学为本书的实验部分所做出的努力。

书中不足之处在所难免,欢迎广大读者批评指正。

目 录

第 1 章 高分辨率光学卫星发展现状.....	1
§ 1.1 国外高分辨率光学卫星发展现状	1
§ 1.2 国内高分辨率光学卫星发展现状	10
第 2 章 高分辨率光学卫星产品标准化现状.....	14
§ 2.1 SPOT卫星产品分级体系	14
§ 2.2 ALOS卫星的PRISM产品分级体系	17
§ 2.3 IRS-P5卫星产品分级体系	18
§ 2.4 QuickBird卫星、WorldView卫星产品分级体系.....	18
§ 2.5 IKONOS卫星、GeoEye卫星产品分级体系	20
§ 2.6 RapidEye卫星产品分级体系	21
§ 2.7 中国资源卫星应用中心光学卫星产品分级体系	22
第 3 章 高分辨率光学卫星标准产品分级体系.....	23
§ 3.1 高分辨率光学卫星标准分级产品	23
§ 3.2 高分辨率光学卫星标准产品分级体系与其他光学卫星产品分级体系的 对应关系	24
第 4 章 高分辨率光学卫星标准分级产品的制作流程.....	26
§ 4.1 传感器校正产品的制作流程	26
§ 4.2 系统几何纠正产品的制作流程	30
§ 4.3 精纠正产品的制作流程	32
§ 4.4 正射纠正产品的制作流程	34
§ 4.5 核线产品的制作流程	35
第 5 章 高分辨率光学卫星标准分级产品制作的基本算法.....	40
§ 5.1 传感器校正产品的严密成像几何模型	40
§ 5.2 严密成像几何模型的正反变换	47
§ 5.3 高分辨率光学卫星RPC模型	52
§ 5.4 RPC模型参数求解	54

§ 5.5 几何纠正	57
§ 5.6 基于严密成像几何模型和RPC模型的定向	58
第 6 章 高分辨率光学卫星标准产品分级体系验证	60
§ 6.1 ALOS 数据验证实验	60
§ 6.2 SPOT 5 的 HRG 异轨立体数据验证实验	63
§ 6.3 CBERS-02C 异轨立体数据验证实验	68
§ 6.4 IKONOS 同轨立体数据验证实验	70
§ 6.5 GeoEye 同轨立体数据验证实验	72
参考文献	75

第1章 高分辨率光学卫星发展现状

1972年，美国发射首颗地球资源卫星（原ERTS-1卫星，后更名为陆地卫星Landsat）以后，人们认识到利用地球资源卫星寻找、开发、利用和管理地球资源是一种非常有效的手段，于是各国开始争先研制自己的地球资源卫星。1994年3月，美国发布法令，准许私营企业经营高分辨率遥感卫星系统，从而开创了商业遥感的新时代。自1999年美国空间成像（Space Imaging）公司发射世界首颗商业高分辨率光学卫星IKONOS以来，高分辨率卫星影像日益为普通百姓所熟悉，特别是谷歌（Google）公司推出的Google Earth软件，可以让人们免费地使用高分辨率遥感卫星影像，使高分辨率遥感卫星影像融入人们的日常生活。高分辨率遥感卫星影像为人们认识地球、自己的家园以及生活的环境提供了一个新的窗口。高分辨率遥感卫星所带来的巨大的经济与军事效益，引起全球民用与军事应用领域的高度重视，从而引发了各国竞相研究开发高分辨率遥感卫星及其应用技术的热潮。高分辨率遥感卫星技术的日益成熟与影像数据资源的日益丰富极大地促进了其应用领域的扩展，在民用与军事领域具有十分广阔的应用潜力。

§ 1.1 国外高分辨率光学卫星发展现状

目前在轨运行的第一颗商业高分辨率光学卫星是美国空间成像公司的IKONOS。该卫星能获取远高于当时在轨卫星分辨率的影像，其中全色影像分辨率为1m，多光谱影像分辨率为4m。无控制点时，IKONOS可达1:10 000的制图精度；当有控制点时，其精度可达1:2 400（Dial et al, 2003）。美国数字地球（Digital Globe）公司的QuickBird卫星在2001年10月18日成功发射。它运行在450km的太阳同步轨道上，能提供分辨率高达0.61m的全色黑白影像和2.44m的多光谱影像。2002年5月4日，法国SPOT系列卫星的SPOT 5发射成功。SPOT 5的突出优点是成像带宽非常宽，高达60km×60km。此外，它还配备一种新式的高分辨率立体成像仪HRS（High Resolution Stereoscopic），在180s内能实时获取120km宽，600km长的立体像对；沿轨道前进方向的分辨率为10m，垂直于轨道前进方向的分辨率为5m，获取的像对基线高度比（简称基高比）为0.84，生成的数字高程模型（digital elevation model, DEM）的精度优于10m。2007年9月18日，数字地球公司成功发射了其第二代卫星系统中的WorldView-1，星下点空间分辨率为0.5m。除此之外，以色列、印度、德国、韩国等都发射了自己的高分辨率光学卫星。表1-1列出了近年来国外部分高分辨光学卫星。

表1-1 国外部分高分辨率光学卫星

名称	所属国家	发射时间	全色分辨率 单位/m	多光谱分辨率 单位/m
IKONOS	美国	1999年9月24日	1	4
QuickBird-2	美国	2001年10月18日	0.61	2.44
SPOT 5	法国	2002年5月4日	2.5	10
IRS-P5	印度	2005年5月5日	2.5	-
ALOS	日本	2006年1月24日	2.5	10
Kompsat-2	韩国	2006年7月28日	1	4
WorldView-1	美国	2007年9月18日	0.5	2
WorldView-2	美国	2009年10月6日	0.41	1.84
GeoEye-1	美国	2008年6月9日	0.41	1.65
RapidEye	德国	2008年8月29日	5	5

1.1.1 IKONOS

1999年9月24日，美国空间成像公司率先将IKONOS卫星送入预定轨道并成功接收卫星影像，这是高分辨率卫星遥感影像商业化的一个里程碑，它首次在民用领域将星载传感器的地面分辨率提高到1m以上，大大缩短了卫星影像与航空影像在分辨率上的差距，为较大比例尺测图提供了一种新的选择。

IKONOS卫星由洛克西德-马丁公司（Lockheed Martin）公司制造，由Athena-2火箭，于加利福尼亚的范登堡空军基地发射成功。其传感器系统由美国伊斯曼-柯达（Eastman Kodak）公司研制，采用线阵列电荷耦合元件（charged coupled device，CCD）探测器，最高能获取空间分辨率为0.82m的全色影像。IKONOS卫星的传感器系统包括一个1m分辨率的全色传感器和一个4m分辨率的多光谱传感器。其中，全色传感器由13 816个CCD单元以线阵列排列，CCD单元的物理尺寸为 $12\mu\text{m} \times 12\mu\text{m}$ ；多光谱传感器分4个波段，每个波段由3 454个CCD单元组成。传感器光学系统的等效焦距为10m，视场角（field of view，FOV）为 0.931° 。因此，当卫星在681km的高度飞行时，其星下点的地面分辨率在全色波段最高可达0.82m，多光谱可达3.28m，扫描宽度约为11km；当传感器倾斜 26° 时，平均地面分辨率降为1m左右，此时扫描宽度约为13km。IKONOS的多光谱波段与Landsat TM的1~4波段大体相同，并且全部波段都具有11bit的动态范围，从而使其影像包含更丰富的信息。此外，IKONOS卫星传感器还采用了灵活的机械设计，可以获取无明显时间差的同轨立体影像。IKONOS卫星参数具体见表1-2。

表1-2 IKONOS卫星参数

成像波段	全色波段	0.45~0.90 μm
	多光谱波段	波段1（蓝色）：0.45~0.53 μm
		波段2（绿色）：0.52~0.61 μm
		波段3（红色）：0.64~0.72 μm
		波段4（近红外）：0.77~0.88 μm
制图精度	无地面控制点	12 m（水平精度）；10 m（垂直精度）
	有地面控制点	2 m（水平精度）；3 m（垂直精度）
重量		817 kg
轨道类型		太阳同步轨道
轨道高度		681 km
轨道倾角		98.1°
轨道周期		98 min
速度		6.5~11.2 km/s
影像采集时间		每天上午10:30
重访周期		2.9天（1 m分辨率）；15天（5 m分辨率）

1.1.2 QuickBird

QuickBird卫星是由波尔航天技术公司（Ball Aerospace & Technologies Corp.）、柯达（Kodak）公司和福克尔空间（Fokker Space）公司联合研制，由数字地球公司运营，于2001年10月18日从美国范登堡空军基地发射成功。QuickBird卫星平台的稳定主要源于其三轴稳定系统，且高精度的恒星跟踪系统和星上全球定位系统（Global Positioning System, GPS）等保证了很高的地理定位精度。QuickBird与IKONOS一样，采用推扫式CCD扫描仪；传感器有5个波段，分别为1个全色波段和4个多光谱波段，每个波段由6块探元芯片阵列组成；卫星视差角为2°，垂直摄影时幅宽为16.5km，当传感器摆动30°时，条带宽度约19km；星下点全色波段分辨率为0.61m，彩色多光谱分辨率为2.44m。QuickBird卫星参数具体见表1-3。

表1-3 QuickBird卫星参数

成像方式		推扫式成像
成像波段	全色波段	450~900 nm
	多光谱波段	蓝波段：450~520 nm
		绿波段：520~600 nm
		红波段：630~690 nm
		近红外波段：760~900 nm

续表

成像方式		推扫式成像
分辨率（星下点）	全色波段	0.61 m
	多光谱波段	2.44 m
视角		分为航向和旁向两个方向，均为±25°
轨道类型		太阳同步轨道
轨道高度		450 km
轨道倾角		98°
重访周期		最短为3天
辐照宽度		以星下点轨迹为中心，左右各272 km
每景幅宽		16.5 km×16.5 km

1.1.3 SPOT 5

SPOT 5卫星在2002年5月4日，由Ariane-4火箭从圭亚那航天发射中心发射升空。它有着SPOT系列前几颗卫星所不可比拟的优势：①分辨率几乎提高了一个数量级，最高可达2.5m；②以前后模式实时获取立体像对；③大大提高了运营性能；④在数据压缩、存储和传输等一系列方面都有了显著的增强。

SPOT 5相比于SPOT 1~4卫星，对星上主载进行了重大改进，除了前面几颗卫星上的高分辨率几何装置HRG（High Resolution Geometric）和植被探测器（Vegetation）外，SPOT 5更有一个高分辨率立体成像装置HRS（High Resolution Stereoscopic），HRS能获取120km×120km的全色影像。它使用2个相机沿轨道方向（一个向前，一个向后）实时获取立体影像，较异轨立体成像模式（轨道间立体成像）而言，SPOT 5几乎能在同一时间和同一辐射条件下获取立体像对。SPOT 5卫星各个探测器的参数见表1-4。

表1-4 SPOT 5卫星的探测器参数

探测器			HRG	Vegetation	HRS
成像波段及其分辨率	全色波段（PA）	0.49~0.69 μm	2.5 m或5 m	-	-
	波段0（B0）	0.43~0.47 μm	-	1 km	-
	波段1（B1）	0.49~0.61 μm	10 m	-	-
	波段2（B2）	0.61~0.68 μm	10 m	1 km	-
	波段3（B3）	0.78~0.89 μm	10 m	1 km	-
	短波红外波段（SWIR）	1.58~1.75 μm	20 m	1 km	-
视场宽度			60 km	2 250 km	120 km

1.1.4 IRS-P5

IRS-P5又名Cartosat-1卫星，是印度政府于2005年5月5日发射的遥感制图卫星。这个卫星由于搭载有前后成像的全色高分辨率传感器（后视情况下星下点几何分辨率为2.2m），可以快速获取大范围内的立体像对，满足一定比例尺的直接测图要求。IRS-P5的工作模式如下。

（1）立体模式：卫星搭载的两个全色传感器可以按照前后模式推扫成像从而产生立体像对。

（2）单片模式：卫星平台可以被调整为让两个相机获取的数据沿相邻轨道分布，该模式下同时获取的数据幅宽可达到55km。

IRS-P5卫星数据具备真正2.5m分辨率，应用尺度能够达到1:1万；在制图方面，像对产生DEM及测图的精度优于1:2.5万比例尺地形图的精度；卫星平台也可以东西方向调整从而将重访周期提高到5天左右，能够满足紧急的应用需求；其基线高度比为0.62，可以获得理想的高程精度。IRS-P5卫星可广泛应用于地形图制图、高程建模和地籍制图等领域。

1.1.5 ALOS

先进陆地观测卫星ALOS（Adcanced Land Observing Satellite）原计划在2003年发射，后因经费等问题屡次推迟，最终在2006年1月24日由H-2A火箭成功发射。这是日本继JERS-1卫星和ADEOS卫星之后的又一颗陆地观测卫星，采用了更加先进的陆地观测技术，旨在获得更加灵活、更高分辨率的对地观测数据。

ALOS卫星长4.5m，宽3.5m，高6.5m，重达4吨，是目前世界最大的陆地观测卫星。卫星的设计寿命为3~5年，总投资额达约4.8亿美元，运行在高约700km、轨道倾角为98.16°的太阳同步轨道，每99min绕地球一周，通常46天飞行671周可以观测全球地表。为了将观测数据及时传回地球，该卫星还采用了高速大容量的数据处理技术。ALOS卫星具体参数见表1-5。

表1-5 ALOS卫星参数

轨道参数	类型	太阳同步轨道
	高度	691.65 km
	倾角	98.16°
	回归周期	46天
	重访周期	2天
重量		约4 000 kg
生产电量		约7 000 W（生命末期）
设计寿命		3~5年
姿态控制精度		0.000 2（配合地面控制点）
数据速率		240 Mb/s（通过数据中继卫星）；120 Mb/s（直接下传）

ALOS卫星还是一颗高分辨率地球观测卫星，其上装载了高精度星敏感器和精确的惯性参照部件，以达到高精度姿态控制要求，并利用双频载波测位GPS接收机精确定轨；在数据压缩和多重化数据管理方面也采用了一些先进技术，可以在星上完成飞行任务数据的压缩和多重化处理，然后再传送到地面。

ALOS卫星上载有全色立体测绘可见光遥感器PRISM（Panchromatic Remote-sensing Instrument for Stereo Mapping）、高性能可见光近红外辐射计Ⅱ型（Advanced Visible and Near Infrared Radiometer-2，AVINIR-2）和不受天气和昼夜变化影响的相控阵型L波段合成孔径雷达PALSAR（Phased Array Type L-band Synthetic Aperture Radar）。其中，PRISM的分辨率可达2.5m（星下点），PALSAR的分辨率为10m。PRISM具有独立的3个观测相机，分别用于星下点、前视和后视观测，沿轨道方向获取立体影像，其数据主要用于建立高精度DEM。PRISM影像参数见表1-6。

表1-6 PRISM影像参数

波段数		1（全色）	指向角	-1.5° ~1.5°
波长范围		0.52~0.77 μm	量化深度	8 bit
观测镜数		3（星下点、前视、后视）	观测模式	模式1 星下点、前视、后视（35 km）
基高比		1.0（在前视成像与后视成像之间）		模式2 星下点（70 km）+后视（35 km）
空间分辨率		2.5 m（星下点）		模式3 星下点（70 km）
幅宽	星下点成像模式	70 km		模式4 星下点（35 km）+前视（35 km）
	联合成像模式	35 km		模式5 星下点（35 km）+后视（35 km）
探测器数量	70km幅宽	28 000/波段		模式6 前视（35 km）+后视（35 km）
	35km幅宽	14 000/波段		模式7 星下点（35 km）
信噪比		大于70 dB		模式8 前视（35 km）
MTF		大于0.2		模式9 后视（35 km）

新型的AVNIR-2传感器比ADEOS卫星所携带的AVNIR具有更高的空间分辨率，主要用于陆地和沿海地区的观测，为区域环境监测提供土地覆盖图和土地利用分类图。为了灾害监测的需要，AVNIR-2提高了交轨方向的能力，侧摆角度为±44°，能及时观测受灾地区，其数据主要用于精确地面观测。AVNIR-2光谱模式具体见表1-7。

表1-7 AVNIR-2光谱模式

波段数	4
成像波段	波段1：0.42 ~ 0.50 μm
	波段2：0.52 ~ 0.60 μm
	波段3：0.61 ~ 0.69 μm
	波段4：0.76 ~ 0.89 μm

续表

空间分辨率	10 m（星下点）
幅宽	70 km（星下点）
信噪比	大于200 dB
MTF	大于0.25（波段1~3）；大于0.20（波段4）
每波段探测器数量	7 000
侧摆角	$\pm 44^{\circ}$
量化深度	8 bit

1.1.6 Kompsat-2

Kompsat-2卫星是一颗对地观测卫星，是在韩国政府的支持下由韩国宇宙航空研究院开发研制的，于2006年7月28日在俄罗斯联邦普列谢茨克发射。该卫星可提供1m分辨率的全色影像和4m分辨率的多光谱影像。Kompsat-2卫星的轨道为太阳同步轨道，轨道高度685km，轨道倾角98.13°。Kompsat-2卫星具体参数见表1-8。

表1-8 Kompsat-2卫星参数

成像波段	全色波段	500 ~ 900 nm
	多光谱波段	MS1（蓝色）：450 ~ 520 nm
		MS2（绿色）：520 ~ 600 nm
		MS3（红色）：630 ~ 690 nm
		MS4（近红外）：760 ~ 900 nm
分辨率		1 m（全色波段）；4 m（多光谱波段）
视场		15 km×15 km
轨道参数	回归周期	28天
	重访周期	3天
	侧摆角	30°
动态范围		10 bit

1.1.7 WorldView

2008年9月18日，波音公司利用Delta-2火箭成功发射数字地球公司的WorldView-1卫星。作为新一代地球图像卫星，WorldView-1的拍摄效果能精确到45cm左右，该卫星预计工作时间为7年。继WorldView-1之后，数字地球公司于2009年秋季又发射了WorldView-2卫星。WorldView-2卫星设计使用寿命为7.25年，飞行高度770km，可以为全球带来更快捷、更精确、更大容量、更多波段扫描能力的商业卫星服务。

WorldView-2卫星具有以下特点。

1. 更灵活的运转

WorldView-1和WorldView-2卫星是全球第一批使用了控制力矩陀螺CMGs的商业卫星。这项高性能技术可以提供多达10倍以上加速度的姿态控制操作，从而可以更精确地瞄准和扫描目标。WorldView卫星的旋转速度可从60s减少至9s，覆盖面积达300km²。所以，WorldView-2卫星能够更快速、更准确地从一个目标转向另一个目标，同时也能进行多个目标地点的拍摄。

2. 更高容量、更快回访

WorldView-2卫星运转非常灵活，它在太空中的角色就像一支神奇的画笔，能灵活地前后扫描、拍摄大面积的区域，还可以在单次操作中完成多频谱影像的扫描。WorldView-2卫星独有的大容量系统，能达到每日1×10⁶ km²的数据采集量，而卫星集群则可以保证每日近2×10⁶ km²的数据采集量。WorldView-2卫星无与伦比的灵活性能在1.1天内两次访问同一地点。如果算上卫星集群，甚至能实现在一天之内两次访问同一地点，由此可以为用户提供同一地点同一天内的高清晰商业卫星集群影像。

3. 更精确的拍摄

WorldView-2卫星先进的地理位置技术，使其在扫描精确度上有了非常大的进步。在没有经过处理，没有地面控制，也没有高程模型的情况下，WorldView-2卫星的数据精确度已经达到了6.5m（CE90^①）。目前，就WorldView-1和WorldView-2卫星而言，精确度可以达到超乎想象的4.1m（CE90）。

4. 多波段、高清晰影像

WorldView-2卫星能提供独有的8波段高清晰商业卫星影像。除了4个常见的波段外（蓝色波段：450~510 nm；绿色波段：510~580 nm；红色波段：630~690 nm；近红外波段NIR 1:770~895 nm），WorldView-2卫星还能提供以下新彩色波段的分析。

（1）海岸波段（400~450 nm）：该波段支持植物鉴定和分析，也支持基于叶绿素和渗水的规格参数表的深海探测研究；由于该波段经常受到大气散射的影响，已经应用于大气纠正领域。

（2）黄色波段（585~625 nm）：该波段过去经常被认为是“yellow-ness”的特征指标，是重要的植物应用波段；该波段用于辅助纠正真色度，以符合人类视觉的欣赏习惯。

（3）红色边缘波段（705~745 nm）：该波段可以直接反映出植物健康状况的有关信息，主要用于辅助分析有关植物生长的情况。

（4）近红外波段NIR 2（860~1040 nm）：该波段部分重叠在NIR 1上，但较少受到大气层的影响；该波段支持植物分析和单位面积内生物数量的研究。

① 即circular error of 90%，表示一定置信水平下的定位误差。

1.1.8 GeoEye-1

世界上规模最大的商业卫星遥感公司，美国地球之眼（GeoEye）公司于2008年9月6日成功发射了GeoEye-1卫星。该卫星具有以下特点。

（1）真正的半米卫星：全色影像分辨率为0.41m，多光谱影像分辨率为1.65m，定位精度达到3m。

（2）大规模测图能力：每天采集近 $7\times10^5\text{km}^2$ 的全色影像数据或近 $3.5\times10^5\text{km}^2$ 的全色融合影像数据。

（3）重访周期短：3天（或更短时间）内重访地球任一点进行观测。

GeoEye-1卫星具体参数见表1-9。

表1-9 GeoEye-1卫星参数

成像波段	全色波段	450 ~ 800 nm
	多光谱波段	蓝波段：450 ~ 510 nm
		绿波段：510 ~ 580 nm
		红波段：655 ~ 690 nm
		近红外波段：780 ~ 920 nm
分辨率	全色波段	0.41 m（星下点）；0.5 m（侧视28°）
	多光谱波段	1.65 m（星下点）
幅宽	星下点幅宽为15.2 km，单景覆盖面积为225 km ² （15 km×15 km）	
成像角度	可任意角度成像	
轨道类型	太阳同步轨道	
轨道高度	684 km	
轨道速度	约7.5 km/s	
轨道倾角	98°	
轨道周期	98 min	
重访周期	2~3天	
过境时间	10:30 am	

1.1.9 RapidEye

RapidEye是德国、英国、加拿大三国技术合作所制造的卫星，用于为农业公司等拥护提供服务。RapidEye卫星星座于2008年8月29日发射成功并投入运营，是由5颗等距离分布在同一轨道平面、构造相同的卫星组成的，每颗卫星大小不到1m³，总重150kg，卫星设计寿命至少7年。

RapidEye卫星的传感器影像在400~850nm内有5个波段，每颗卫星都携带6台分辨率达6.5m的照相机，通过五星座能达到快速数据传输、连续成像、重访周期短等目标。该系统一天内可访问地球任何一个地方，5天内可覆盖北美和欧洲的整个农业区。RapidEye卫星星座具体参数见表1-10。

表1-10 RapidEye卫星星座参数

卫星数量	5
设计寿命	至少7年
轨道类型	太阳同步轨道
轨道高度	630 km
赤道过境时间	大约11:00 am
传感器类型	多光谱推帚式成像仪
成像波段	蓝波段： 440 ~ 510 nm
	绿波段： 520 ~ 590 nm
	红波段： 630 ~ 685 nm
	红边波段： 690 ~ 730 nm
	近红外波段： 760 ~ 850 nm
地面采样间隔	6.5 m（星下点）
像素大小	5 m（正射）
幅宽	77 km
星上存储量	每条轨道可存储1 500 km的影像数据
重访周期	1天（侧摆）； 5.5天（星下点）
影像获取能力	4×10 ⁶ km ² /天
动态范围	12 bit

§ 1.2 国内高分辨率光学卫星发展现状

我国也发展了自己的高分辨率光学卫星—中巴地球资源卫星（China-Brazil Earth Resource Satellite，CBERS）。下面就中巴地球资源系列卫星进行介绍。

1.2.1 CBERS-01

中巴地球资源卫星由中国与巴西于1999年10月14日合作发射，CBERS-01是我国第一颗数字传输型资源卫星。CBERS-01采用太阳同步极轨道，轨道高度778 km,轨道倾角98.5°，每天绕地球飞行14圈；卫星穿越赤道时的当地时间总是上午10:30，这样可