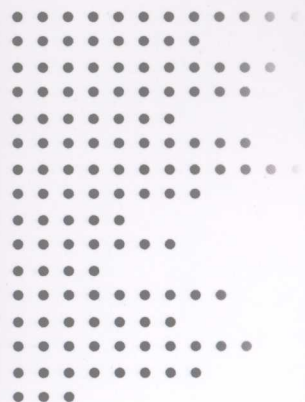




◎ 关元秀 程晓阳 编著



高分辨率卫星影像 处理指南



 科学出版社
www.sciencep.com

高分辨率卫星影像处理指南

关元秀 程晓阳 编著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍高分辨率商业遥感卫星、影像产品、影像处理和行业应用,以高分辨率商业卫星遥感发展的历史、高分辨率卫星的特点、影像产品、影像增强、几何校正、信息提取和行业应用为主线,理论与实践相结合,面向生产技术人员,进行系统讲述。

本书的原型是高分辨率卫星影像处理培训班的教材,它的实用性是经过实践和时间检验的。本书可供测绘、国土、规划、农业、林业、资源环境、遥感、地理信息系统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

高分辨率卫星影像处理指南 / 关元秀,程晓阳编著. —北京:科学出版社, 2008

ISBN 978-7-03-021828-5

I. 高… II. ①关…②程… III. 高分辨率-卫星图像-图像处理-指南 IV. TP751-62

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2008) 第 062064 号

责任编辑:韩 鹏 卜 新 / 责任校对:陈玉凤

责任印制:钱玉芬 / 封面设计:王 浩

版权所有,违者必究。未经本社许可,数字图书馆不得使用

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

天时彩色印刷有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2008 年 9 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2008 年 9 月第一次印刷 印张:17 1/2

印数:1—3 000 字数:399 000

定价:58.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈双青〉)

前 言

1999 年以来, IKONOS 2、QuickBird 2、OrbView 3、WorldView I 等高分辨率商业遥感卫星相继成功发射,特别是推帚式扫描传感器的广泛使用,对测绘制图和遥感应用行业产生了革命性的冲击,几十年来横亘在测绘和遥感之间的行业界限被彻底粉碎了。不论是测绘人员,还是遥感专家,都需要学习新的知识,以适应新的空间技术条件下的卫星影像处理和应用。

高分辨率卫星影像作为 21 世纪空间地理信息的主要数据来源,广泛应用于测绘、规划、国土、农业、林业、政府管理等方面。随着社会进步和需求的进一步增加,还会开发许多新的应用领域。遥感应用领域的扩大使得遥感数据用户群体由专业遥感用户扩展到一般普通用户,其中很多用户不具有遥感知识和遥感影像处理能力。应广大高分辨率卫星影像用户的要求,从 2004 年起,我们举办高分辨率卫星影像处理培训班。在浙江省测绘局徐韬老师的提议下,基于培训班教材,进一步丰富其内容,形成了本书的主体部分。

高分辨率遥感卫星由于其成像方式、传感器光谱和辐射性能设计等与中、低分辨率遥感卫星及传统的航空摄影有非常大的不同,一些用户往往借鉴过去处理中、低分辨率遥感卫星影像和航片的经验来处理和应用高分辨率遥感卫星影像,导致影像处理的精度和色彩达不到预期的效果。本书以高分辨率商业卫星遥感发展的历史为开端,针对高分辨率商业遥感卫星的特点,介绍了主要的高分辨率卫星及其影像产品、影像处理分析方法、行业应用现状等。

全书共 5 章:

第 1 章,简述高分辨率商业卫星遥感发展的历史、商业化的背景条件、高分辨率卫星遥感的特点、目前的发展现状和发展趋势。

第 2 章,从卫星性能、影像产品及其质量指标、产品使用许可等方面详细介绍了目前中国用户常用的 IKONOS 和 QuickBird 卫星,并对这两种卫星及其影像产品做了比较。

第 3 章,从遥感卫星影像产品的适用性判定方法入手,突出高分辨率商业遥感卫星与中、低分辨率卫星处理方面的不同之处,介绍了动态范围调整、影像融合和缨帽变换三种影像增强方法,以“误差来源—几何校正模型—正射校正方法—不同软件平台正射校正”步骤为主线,详细介绍了高分辨率卫星影像单片正射校正,简单介绍了立体影像及其摄影测量原理和 DEM 自动提取步骤。

第 4 章,以易康(eCognition)为例,详细介绍了面向对象影像分析方法产生的背景条件,对多尺度分割技术和模糊分类方法、面向对象影像分析过程做了详细介绍。

第 5 章,介绍了高分辨率商业遥感卫星影像国内外应用现状、新兴的应用行业及目前

应用中存在的主要技术问题。与前言呼应，说明了写作本书的初衷。

本书写作断断续续，历时两年。鼓励我坚持下来的是我的家人、朋友和培训班学员。我由衷地感谢我的父母、丈夫、女儿和浙江省测绘局徐韬老师以及高分辨率卫星影像处理培训班的全体学员。

作 者

2007 年国庆节于家中

目 录

前言

第 1 章 高分辨率商业卫星遥感进展	1
1.1 高分辨率商业卫星遥感发展历史	1
1.2 高分辨率卫星遥感的商业化	2
1.3 主要商业高分辨率卫星简介	3
1.4 高分辨率卫星遥感特点	3
1.5 高分辨率卫星遥感现状和发展趋势	6
1.5.1 自动化影像生产处理	6
1.5.2 综合影像服务网络	6
1.5.3 影像获取数量和质量提高	6
第 2 章 主要高分辨率商业遥感卫星	10
2.1 IKONOS 卫星	10
2.1.1 IKONOS 卫星介绍	10
2.1.2 IKONOS 影像产品	11
2.1.3 IKONOS 影像产品指标	14
2.1.4 IKONOS 影像产品选项	16
2.1.5 IKONOS 影像产品订购	17
2.1.6 IKONOS 影像产品许可	18
2.2 QuickBird 卫星	20
2.2.1 QuickBird 卫星介绍	21
2.2.2 QuickBird 影像产品	23
2.2.3 QuickBird 产品订购	33
2.2.4 QuickBird 影像产品选项	36
2.2.5 QuickBird 影像产品命名	42
2.2.6 QuickBird 产品许可	42
2.2.7 QuickBird 影像辅助数据	43
2.2.8 坐标转换	79
2.3 IKONOS 和 QuickBird 之比较	83
第 3 章 高分辨率卫星影像处理	85
3.1 遥感卫星影像产品适用性判定	85
3.1.1 遥感	85
3.1.2 高分辨率卫星影像产品适用性评价	86
3.2 影像增强	88
3.2.1 动态范围调整 DRA	88

3.2.2	影像融合	90
3.2.3	缨帽变换	96
3.3	单片影像几何校正	99
3.3.1	遥感影像的误差来源	99
3.3.2	遥感影像几何校正模型	99
3.3.3	遥感影像正射校正	105
3.4	立体像对 DEM 自动提取	133
3.4.1	立体影像	133
3.4.2	立体影像摄影测量原理	134
3.4.3	PCI OrthoEngine 下 DEM 自动提取	135
第 4 章	面向对象影像分析	141
4.1	面向对象影像分析方法产生的背景	141
4.1.1	高分辨率影像分析需求	141
4.1.2	空间地理信息数据库更新需求	142
4.2	影像解译基本概念	143
4.2.1	地理单元和遥感信息单元	143
4.2.2	遥感影像分析尺度	146
4.2.3	影像语义和影像对象间的相互关系	147
4.2.4	遥感信息提取中的不确定性和模糊性	148
4.2.5	影像分割	149
4.2.6	分类方法	151
4.2.7	模糊分类系统	152
4.3	易康面向对象的影像分析方法	155
4.3.1	易康模拟人类大脑认知过程	156
4.3.2	遥感分类知识的获取及表示	158
4.4	易康面向对象的影像分析过程	186
4.4.1	多源数据融合	188
4.4.2	创建影像对象和影像对象层次	190
4.4.3	模糊分类	203
4.4.4	分类过程	208
4.4.5	影像对象修正	210
4.4.6	处理矢量信息	212
4.4.7	分类精度评价	216
第 5 章	高分辨率卫星影像应用	222
5.1	国外应用现状	222
5.1.1	国防安全	222
5.1.2	政府管理	230
5.1.3	环境管理	231
5.1.4	林业	234

5.1.5 农业	235
5.1.6 油气行业	236
5.1.7 可视化和仿真	243
5.2 国内应用现状	244
5.2.1 测绘制图	244
5.2.2 城市管理	245
5.2.3 国土管理	246
5.3 新兴行业应用	249
5.3.1 门户网站	249
5.3.2 基于位置的服务	250
5.3.3 房地产	251
5.4 应用中存在的主要问题	252
5.4.1 影像融合方法研究	252
5.4.2 几何校正方法研究	253
5.4.3 信息提取方法研究	254
5.4.4 卫星影像应用中的其他社会问题	255
主要参考文献	256
其他参考资料	263
附录 A 词汇表和缩写词表	265
图版	

第1章 高分辨率商业卫星遥感进展

本章的主要内容是介绍高分辨率商业遥感卫星发展的历史；高分辨率遥感卫星商业化的过程；主要高分辨率卫星简介及高分辨率卫星遥感的特点；高分辨率卫星遥感的现状和未来发展趋势。

1.1 高分辨率商业卫星遥感发展历史

高分辨率是一个特定的、历史的、相对的概念，不同的历史时期对高分辨率的定义不同。众所周知，1972年，美国首次发射地球资源卫星（ERTS-1），商业卫星遥感从此开始。1975年，地球资源卫星系统被正式命名为陆地卫星（Landsat，以便与海洋卫星区分），其多光谱扫描仪（multi-spectral scanner, MSS）的空间分辨率为80m左右。1986年，法国SPOT 1卫星成功发射，其高分辨率可见光传感器（high resolution visible, HRV）的地面分辨率提高到10m，多光谱分辨率为20m。1987年，苏联公开销售分辨率2m的影像。1999年，美国空间成像公司（Space Imaging）发射了分辨率为1m的IKONOS卫星。2001年，数字地球公司（DigitalGlobe）发射了分辨率为60cm的QuickBird卫星。因此，高分辨率是随着历史的发展不断发展的概念。21世纪以来，高分辨率特指空间分辨率大于1m的商业卫星影像。高分辨率是一个相对的概念，对于商业卫星影像是高分辨率，对于航空摄影则为小比例尺、低分辨率。

高分辨率商业遥感卫星是空间技术和军事需求共同推动的产物。过去，高分辨率卫星影像分别被两个超级大国（美国和原苏联）控制，这些影像主要用在军事和情报领域。1950年，冷战开始，苏联和美国先后于1960年前后发射自己的侦察卫星。美国的“科罗纳”（CORONA）计划从1958年开始至1972年结束，先后发射了一系列照相侦察卫星，均用代码KH（锁眼）编号，如从KH-1到高级型KH-12等。其中，KH-1~KH-4为“科罗纳”卫星，KH-5为“阿庚”卫星，KH-6为“系索”卫星，KH-9为“大鸟”卫星，KH-11和高级型KH-11分别为第五代和第六代卫星。1988年12月，美国又开始发射“长曲棍球”雷达成像卫星。目前的高级型KH-12“水晶”卫星分辨率在15cm左右。

原苏联的解体和遥感卫星技术的进步，为高分辨率卫星影像的商业化利用创造了条件。冷战结束后，为充分利用照相侦察卫星的技术成果，获取经济效益，美国和俄罗斯于20世纪末逐渐将早期的照相侦察卫星或其他侦察航天器拍摄的影像解密提供民用，甚至将其技术投放世界商业遥感市场，批准公开销售米级分辨率的影像。

1995年2月24日，克林顿总统发布了第12951号总统令，解密美国第一代照相侦察卫星拍摄的照片，包括科罗纳、阿庚和系索卫星于1960~1972年拍摄的约86万余景卫星照片，主要为黑白胶片和极少量的彩红外胶片。其分布范围遍及全球，集中分布在东欧和亚洲。

早期的KH-1、KH-2、KH-3和KH-6携带单一全色相机，KH-5装有单一框幅相机，而

晚些的 KH-4、KH-4A 和 KH-4B 则装有前视和后视两个相机。KH-6 卫星具有拍摄同轨立体像对的能力。

历史卫星影像的空间和时间特征见表 1-1，最高空间分辨率 1.8m，最低分辨率 138m。

表 1-1 科罗纳卫星影像特征比较表

	KH-1	KH-2	KH-3	KH-4	KH-4A	KH-4B
运行时段	1959 年 6 月 27 日至 1960 年 9 月 13 日	1960 年 10 月 26 日至 1961 年 10 月 23 日	1961 年 8 月 30 日至 1962 年 1 月 13 日	1962 年 2 月 27 日至 1964 年 3 月 24 日	1963 年 8 月 24 日至 1969 年 9 月 22 日	1967 年 9 月 15 日至 1972 年 5 月 25 日
帧数	1 432	7 246	9 918	101 743	517 688	188 526
任务期/d	1	2 ~ 3	1 ~ 4	6 ~ 7	4 ~ 15	19
低轨（估计）高度/km	192	252	217	211	180	150
高轨（估计）高度/km	817	704	232	415		
成功任务	1	3	5	20	49	16
合成孔径宽度	5.265°	5.265°	5.265°	5.265°	5.265°	5.265°
全色角度	71.16°	71.16°	71.16°	71.16°	71.16°	71.16°
立体角度				30°	30°	30°
镜头	F/5.0Tessar	F/5.0Tessar	F/3.5Petzval	F/3.5Petzval	F/3.5Petzval	F/3.5Petzval
焦距/cm	61	61	61	61	61	61
地面分辨率/m	12.20	7.60	3.70 ~ 7.60	3.00 ~ 7.60	2.70 ~ 7.60	1.80 ~ 7.60
胶片分辨率/（线对/mm）	50 ~ 100	50 ~ 100	50 ~ 100	50 ~ 100	120	160
每帧地面覆盖/km ²	15.3 × 209 ~ 42 × 5 791	15.3 × 209 ~ 42 × 5 791	15.3 × 209 ~ 42 × 5 791	15.3 × 209 ~ 42 × 5 791	17 × 232	13.8 × 188

2002 年解密的卫星（包括 KH-7 侦察卫星和 KH-9 制图卫星）于 1963 ~ 1980 年拍摄 5 万景影像，影像比例尺和质量变化不定，云量覆盖较大。

1.2 高分辨率卫星遥感的商业化

1987 年秋，苏联已从 KFA 1000 系统获取商用影像，它的全色（黑白）和彩色影像的空间分辨率为 5 ~ 10m。1992 年初，俄罗斯允许商业销售从 KVR 1000 相机获取的高分辨率卫星影像，KVR1000 全色相机是为原苏联情报部门设计的，目前仍被俄罗斯情报部门使用，它的影像分辨率为 2m，由此，俄罗斯一举成为高分辨率卫星影像的唯一供应商。然而，由于情报和商业的冲突，鱼和熊掌不可兼得，其销售政策使得俄罗斯的高分辨率卫星影像对国际市场的影响非常有限。

美国政府以前限制空间分辨率在 10m 以上传感器的商业应用。在俄罗斯的 KFA1000 影像商业化后，为了保持国际间的商业竞争优势，1988 年，美国政府取消了这项限制。

1994年,美国政府颁布PDD第23号令,允许私营企业经营影像分辨率不高于1m的高分辨率遥感卫星系统,并有条件地允许向国外提供卫星系统和销售影像,从而在美国掀起了一个经营高分辨率商业遥感卫星的浪潮。1994年以来,美国商务部已经向12家公司发放了经营高分辨率遥感卫星的许可证。

2000年12月,美国商务部批准了前空间成像公司和DigitalGlobe公司经营0.5m分辨率商业成像卫星的许可证申请,开展了第二代高分辨率卫星的研制。新一代卫星能够提供0.5m分辨率全色影像和2m分辨率多光谱影像。这种影像更适合于城市公用设施网和电信网的精确绘制、道路设计、设施管理、国家安全以及需要内容详尽、精确位置信息的其他应用。

在高分辨率遥感卫星商业化的早期,由于对其市场预期过高,各卫星运营商经历了漫长的严冬。为了帮助卫星运营商,2003年4月,布什总统针对商业卫星遥感颁布了新的国家政策,鼓励政府最大化地依赖商业卫星,建立政府与商业卫星公司之间的长期关系,出台及时的许可和出口控制政策。可见,在确保美国国家安全的条件下,美国政府积极地帮助商业卫星公司在纯商业市场方面的健康发展,这对全人类共享技术进步,发展经济有非常积极的意义。

1.3 主要商业高分辨率卫星简介

1999年9月24日,前空间成像公司(Space Imaging)发射了世界上第一颗分辨率仅1m的商用遥感卫星系统艾科诺斯(IKONOS);数字地球公司(DigitalGlobe)于2001年10月发射了空间分辨率0.6m的商业卫星快鸟(QuickBird);轨道成像公司(OrbImage)于2003年6月发射了轨道观测卫星OrbView 3。2007年9月18日DigitalGlobe公司成功发射了其第二代卫星系统中的WorldView I,空间分辨率0.5m。

高分辨率卫星影像IKONOS和QuickBird是除航空影像以外的一个重要的数据源,IKONOS和QuickBird卫星全色影像的分辨率分别为0.82m和0.61m,为军用和民用提供了高品质的卫星影像。IKONOS和QuickBird卫星的多光谱波段分辨率分别为3.28m和2.44m,可以为土地利用制图、环境监测和资源管理提供多光谱信息。这两颗卫星的成功发射极大地缩小了卫星影像和航空像片之间的差距,但是由于空间分辨率的限制,卫星影像仍然不能完全取代航空摄影。在不久的将来,根据一些应用对分辨率和精度要求的不同,卫星影像有望替代航空像片。

由于OrbView3卫星不能同时获取1m全色和4m多光谱影像,因此,无法得到高分辨率彩色影像,再加之其幅宽只有8km,其高分辨率应用受到很大的限制。2007年年初由于传感器故障,该卫星已停止使用。

刚刚发射不久的WorldView I卫星,目前一切正常,正在测试中,估计到2008年年初可以提供商业卫星数据。

1.4 高分辨率卫星遥感特点

与中低分辨率卫星相比较,高分辨率卫星轨道低,体积小。例如,IKONOS轨道高度

681km, 卫星高 1.8m, 直径 1.6m, QuickBird 卫星轨道高度 450km, 卫星高 3m, 直径 2m。

高分辨率卫星机械设计更灵活, 指向性好, 可以向前、后、左、右侧视成像, 获取同轨和异轨立体像对, 而中低分辨率卫星一般不具有侧视能力。图 1-1 为 IKONOS 卫星成像模式。

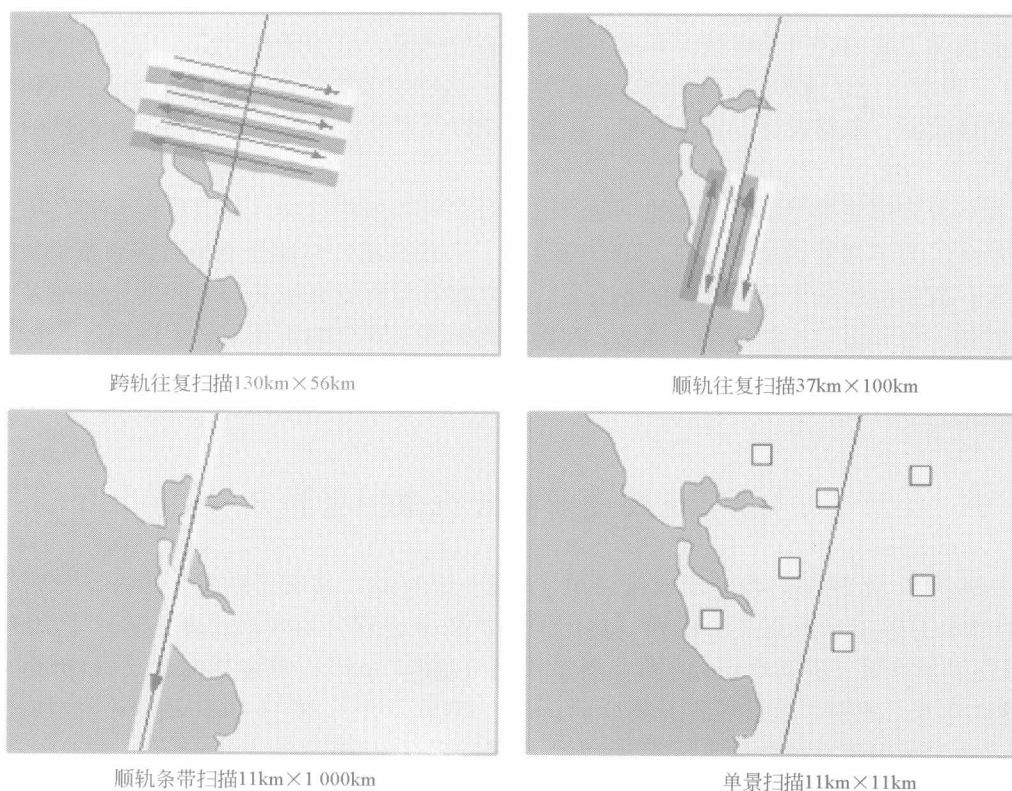


图 1-1 IKONOS 卫星成像模式

高分辨率卫星最突出的优势是空间分辨率高, 以往只有航空遥感才可获取的高分辨率影像, 现在通过卫星也可取得与航片相媲美的空间数据。以往卫星遥感数据成图最大比例尺大约为 1:25 000 (如 SPOT 数据), 而 IKONOS 卫星数据最大成图比例尺可达 1:2 500, QuickBird 卫星数据将更高, 能达 1:1 500 ~ 1:2 000。这种大比例尺的影像不仅能满足传统遥感用户的需求, 也将满足如城市规划建设、地籍管理、地震和洪水应急救灾等要求大比例尺地图行业的需求。在传统遥感应用中, 也将增加应用的深度, 如用 Landsat 或 SPOT 数据只能监测大面积作物生长趋势, 很难细分小块作物的种类和长势, 而 QuickBird 卫星等数据则容易做到这一点, 高分辨率数据将使目视解译工作变得简单。

高分辨率卫星一般采用近极轨太阳同步轨道, 保证频繁地重访周期, 而中低分辨率卫星重访周期相对较长, 如 IKONOS 和 QuickBird 的重访周期平均 3 天左右, 而 Landsat 的重访周期为 16 天, SPOT 的重访周期为 26 天。

高分辨率卫星于当地太阳时上午 10:30 通过降交点获取地面影像, 保证了较好的光照条件和阴影水平; 多采用线阵列 CCD 探测器, 按照推帚式扫描成像, 可以同时获取地面高分辨率全色和多光谱影像, 辐射分辨率为 11bit, 存储为 16bit, 而中低分辨率一般为

8bit。11bit 信息量丰富,能更好地区分较亮和较暗的地物(图1-2)。

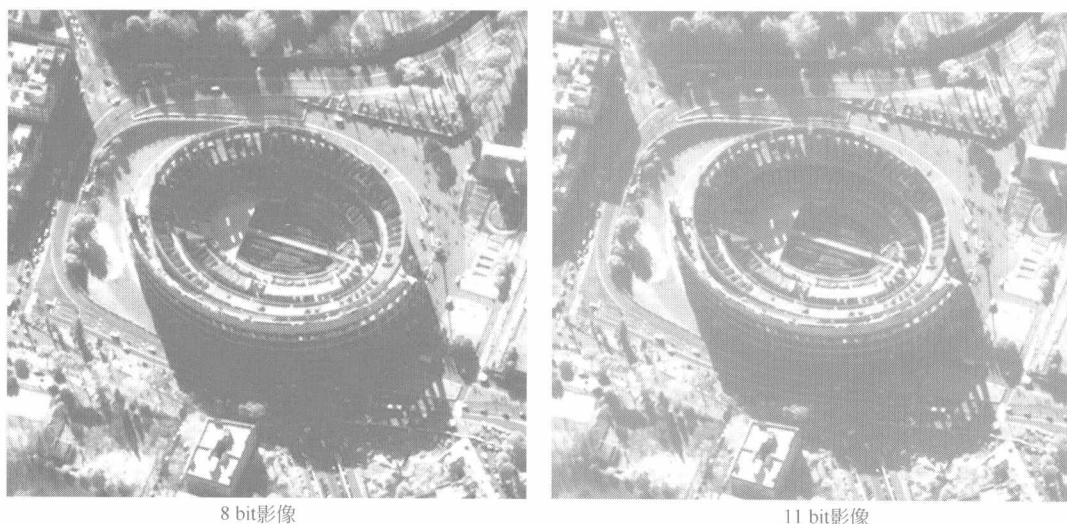


图1-2 不同辐射分辨率比较

高分辨率卫星遥感属于可见光和反射红外遥感,高分辨率卫星主要是指其全色波段空间分辨率高,而光谱分辨率一般有蓝、绿、红、近红外4个多光谱波段,且全色波段的波段范围覆盖全部的多光谱波段,可以同时提供黑白、真彩色和彩红外影像。

高分辨率卫星影像在应用方面的优势表现在:高分辨率卫星数据是数字产品,可用来进一步做光谱分析,如光谱分类、作物估产建模等;高分辨率卫星数据可用来进行辐射校正数据的多时相比较分析;经过辐射校正后,高分辨率卫星数据大面积的镶嵌色彩一致性好。

高精度的卫星星历和姿态测量显著提高了定位精度,减少或省却了对地面控制点的需求。在相对平坦的地区,如城区,高精度的地面控制点容易获取,经过正射校正,高分辨率正射影像可以达到传统航片的制图精度。

在数据获取方面,高分辨率数据不受地形条件限制。对航空飞机难以到达的偏远山区(如我国西南部地区)、条件恶劣地区以及南极等遥远地区同样可获取数据。另外,因空域管制严,航飞手续繁琐等原因,对于小面积区域,如一个小镇、一个工业园区等,相对航拍数据而言,它更容易获取,数据更新周期更有保障。

与传统航片相比,高分辨率卫星遥感影像应用方面存在的主要问题有:

对高分辨率遥感卫星影像进行正射校正,获得与传统航片一样的制图精度比较困难。因为高分辨率遥感卫星影像正射校正需要的条件比较苛刻,必须有亚米级定位精度,水平和垂直分布良好,数量满足数学模型要求的地面控制点(GCP),精度优于5m分辨率的数字地面高程模型(DEM),才能获得期望的高精度。

云量和雪量是一大问题,目前所有高分辨率卫星影像供应商对云量标准的规定是小于20%,很有可能云分布在研究区的关键部位,除了交货周期外,这是高分辨率卫星编程数据最主要的应用风险。

1.5 高分辨率卫星遥感现状和发展趋势

到目前为止, IKONOS 和 QuickBird 高分辨率商业卫星运行正常, 向全球提供高分辨率遥感数据。OrbView3 卫星由于故障已停止使用。刚刚发射成功的 WorldView I 还在运行测试中, 2008 年初有望提供数据。近几年内, 各家卫星公司的新一代卫星发射计划将为用户提供可持续的数据选择, 大的网络搜索引擎如 Google Earth 对高分辨率商业卫星的关注将会对高分辨率卫星影像应用的普及化起到推波助澜的作用。

虽然应用需求与日俱增, 但用于购买卫星数据的经费却很难与需求同步增长, 解决需求与经费之间的突出矛盾需要努力降低单位面积产品的成本。制图市场有效的应对措施包括: 提高自动化影像处理和生产水平, 降低人工成本; 提高综合分销的效率, 不仅提供原始影像, 而且根据用户的需求提供各种增值产品, 来满足市场对综合信息和产品的需求, 形成综合影像服务网络; 发射新的高分辨率卫星, 不断提高卫星性能, 增强影像市场的供应能力和生产能力。

1.5.1 自动化影像生产处理

卫星原始影像由于存在这样和那样的误差, 不能直接用于地理信息系统和决策分析。因此, 多源空间数据集成和综合应用需要几何和辐射校正。卫星影像的误差主要来源于辐射传递误差、传感器内部几何畸变、光学畸变和传感器感应失灵以及视角和地形起伏。另外, 地图投影方式的选择也会引入一定的误差。自动化处理包括: 自动消除云, 为用户提供无云影像; 自动化的正射校正, 降低对地面控制点的依赖; 自动信息提取和识别等。

1.5.2 综合影像服务网络

综合遥感、地理信息系统和测绘行业的发展证明, 地理空间信息市场需要综合信息产品。为了适应市场的需求, 卫星运营商发展了综合分销网络。卫星运营商将通过直销、网络服务、应用合作伙伴和分销合作伙伴的多种方式向最终用户提供快捷、方便的服务, 满足用户多样化的、不同层次的需求。

1.5.3 影像获取数量和质量提高

由于航天事业的高风险性, 在未来的几十年内, 发射高分辨率商业卫星的数目不会大规模增多, 但卫星获取影像的能力会大幅度提高。首先, 卫星群的出现会缩短重访周期, 在保证 1m 地面采样间隔的情况下, 平均重访周期会缩短到 1 天或更短, 最长也不超过 2 天 (表 1-2 为 DigitalGlobe 公司卫星群)。

表 1-2 DigitalGlobe 公司卫星性能比较

卫 星	QuickBird	WorldView I	WorldView II
轨道高度/km	450	496	770
重量/kg	1 100	2 500	2 800
光谱特征	全色 + 4 个多光谱	全色	全色 + 8 个多光谱
全色分辨率 (星下点)/m	0.61	0.45 (0.5)	0.46 (0.5)
多光谱分辨率 (星下点)/m	2.4	无	1.8 (2)
幅宽/km	16.5	17.6	16.4
平均重访周期 (N 40°)	1m 地面采样间隔 2.4 天, 20°侧摆角 5.9 天	1m 地面采样间隔 1.7 天, 20°侧摆角 5.9 天	1m 地面采样间隔 1.1 天, 20°侧摆角 3.7 天
单景覆盖面积/倍	1	4.5	
单条带立体覆盖面积	单景 (侧摆角 < 10°)	2 × 2 景 (侧摆角 < 30°) 1 × 10 景 (侧摆角 < 30°)	
姿态控制	反作用齿轮	陀螺姿态控制	
星上存储空间/GB	137	2 199	
数据下载速度/(m/s)	最快 320 有效 280	最快 800 有效 697	
快速交货选项	虚拟地面终端	直接下载; 虚拟地面终端	

卫星群意味着更大的采集能力。例如, 目前 QuickBird 卫星一个条带最多采集 10 景影像, 可以同时获取全色和多光谱, 单片或立体像对, 可以是编程数据也可以选择存档数据, 完成 $1^\circ \times 1^\circ$ 的影像采集任务需要大约 25 天; WorldView I 卫星发射后, QuickBird 1 个条带可以采集 20 景影像, 以单片为主, 可以同时采集全色和多光谱影像, 以存档数据为主, 与此同时, WorldView I 一个条带可以采集 40 景影像, 可以获取单片或立体像对, 只提供全色数据, 可以提供编程和存档数据, 完成 $1^\circ \times 1^\circ$ 的影像采集任务需要大约 6 天; 预计到 2008 年, WorldView II 发射以后, 将同时有 3 颗卫星在 DigitalGlobe 公司的掌控之下, WorldView II 一个条带可以采集 40 景影像, 可以获取单片或立体像对, 可以同时提供全色和多光谱数据, 提供编程和存档两种获取模式, 完成 $1^\circ \times 1^\circ$ 的影像采集任务需要大约 2 天。

下一代卫星能力的提高, 不仅表现在采集获取能力上, 而且灵活性、精度和空间分辨率都有大幅度的提高 (表 1-3)。目前 IKONOS 卫星在灵活性方面是非常强的, 它要比现在的 QuickBird 灵活 20 倍, 但下一代的 WorldView 卫星比 IKONOS 卫星还要灵活两三倍。例如, 从相距 300km 的目标 1 移动到目标 2, IKONOS 需要 25s 的时间, 而 WorldView 仅需要 10s。

影像获取能力的提高, 能够从一个方面来降低影像获取成本。另外, 下一代卫星通过精度的显著提高, 降低对外业工作特别是控制点的依赖, 能够从另一个方面来降低生产成本。WorldView 需要非常少量的地面控制点就可以达到非常高的精度。

表 1-3 WorldView 卫星精度

WV 交叉条带	精度传递服务 (ATS)	控制点 (GCP) 数目	CE90/m
单片	否	1	1.8
立体	是	0	2.7
立体	否	0	6.2
单片	是	0	7.0
单片	否	0	8.4

不仅如此, WorldView 可以用来提高 QuickBird 影像的精度 (图 1-3)。一个 WorldView 交叉条带可以将每景影像 90% 置信度的圆误差降低一半左右, 由目前的 16.5m 降低到 8.4m。

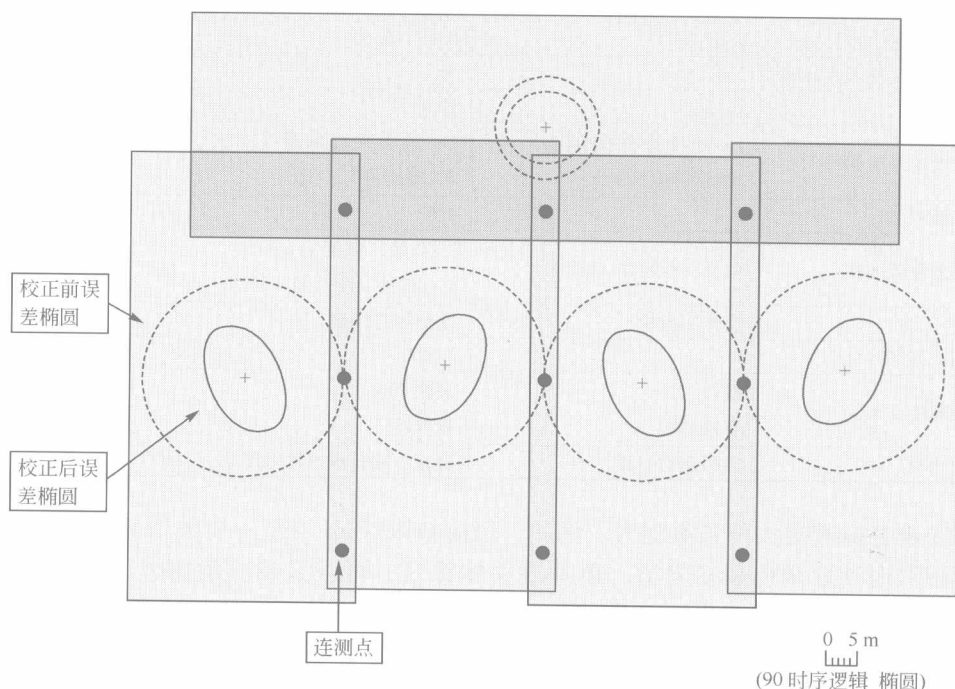


图 1-3 WorldView 提高 QuickBird 精度

一个 WorldView 交叉条带和 1 个地面控制点, 将每景影像贝叶斯估计得到的 90% 置信度的圆误差降低到 1.8m。

WorldView 卫星的灵活性使它具备同轨和异轨立体成像能力, 立体影像的设计精度满足美国 DEFE-3 精度标准 (表 1-4)。

表 1-4 WorldView 立体像对设计精度 (LE 90) (单位: m)

项 目	QuickBird		WorldView		WorldView + 位置传递服务	
	绝对	相对	绝对	相对	绝对	相对
无控制点	<30	<15	4~6	2	3~4	2
有控制点	<3	<3	2	2	2	2

2005 年, IKONOS 卫星运营商空间成像公司被 OrbView3 卫星的运营商并购, 更名为 GeoEye。目前, GeoEye 和 DigitalGlobe 这两大高分辨率巨头正在加紧研制第二代卫星, 2007 年陆续发射 (表 1-5)。用户可以选择的卫星越来越多, 分辨率越来越高, 卫星的灵活性和采集能力、产品精度不断提高, 对地面控制点的依赖性越来越低。

表 1-5 高分辨率卫星发射计划比较

时 间	2006/2007 年		2008/2009 年	
公司	GeoEye	DigitalGlobe	GeoEye	DigitalGlobe
卫星	OrbView3, IKONOS	QuickBird, WorldView I	OrbView3 IKONOS GeoEye I	QuickBird, WorldView I, WorldView II
星下点分辨率/m	1.0/0.82	0.61/0.5	1.0/0.82/0.5	0.61/0.5/0.5
灵活性: 300km 调整 时间/s	31/25	62/10	31/25/42	62/10/9
采集率: 300km 条 带/(km ² /s)	1 483/2 365	2 666/4 512	1 483/2 365/2 842	2 666/4 512/4 686
产品精度/m	15	6/7	10	16/7/10
地面控制点/个	2	2	2	2
精度传递服务	无	无/3	无	无/3/5
1m 分辨率重访周期/d	3	1	0.8	0.5
像对采集能力/(km ² /d)	230 000	595 000	694 000	1 232 000

但是, 高分辨率遥感卫星的高技术风险性、高市场风险性和高政策风险性决定了在未来十多年内, 卫星数目不会剧增。20 世纪 90 年代初, 预计到 2001 年会有 8~10 颗高分辨率卫星运行, 但到目前为止, 只有为数不多的几颗高分辨率商业卫星运行。最大的技术风险是昂贵的卫星发射失败, 三大卫星公司都曾有过发射失败的历史, DigitalGlobe 公司曾两度发射失败; 市场风险在于商业卫星与航空摄影及政府投资卫星之间的市场竞争的不确定性; 另外, 9 000 万到 5 亿美元入门投资也是高分辨率卫星遥感快速发展的一大障碍, 再加上美国政府为确保国家安全出台的各种限制政策, 高分辨率卫星遥感的发展将是缓慢有序的。