

高分辨率遥感卫星应用

——成像模型、处理算法 及应用技术

张永生 巩丹超 等著



科学出版社
www.sciencep.com

高分辨率遥感卫星应用

——成像模型、处理算法及应用技术

张永生 巩丹超 等 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要介绍高分辨率遥感卫星图像空间信息处理的理论、方法与应用技术,重点围绕高分辨率线阵传感器的成像模型、空间影像三维信息采集、目标定位、立体测图、图像融合的理论 and 算法进行系统论述。全书共分十一章,综合介绍高分辨率遥感卫星及相关技术的进展,全面分析线阵 CCD 传感器的严密成像模型及目标三维定位技术,以有理函数理论为基础扩展通用传感器模型的完整技术与算法,基于投影轨迹法的立体影像广义核线模型及动态核线技术的应用,同轨与异轨卫星影像的立体匹配技术与实现方法,多源遥感影像融合与分类技术,高分辨率影像地物提取技术及卫星影像测图与更新技术,航天飞机干涉雷达全球测图的原理与方法,还介绍了海量遥感影像管理的数据结构与算法,以及建立遥感图像信息系统的相关技术。

本书可供遥感科学与技术、地理信息系统、地球空间信息科学、对地观测、信息资源开发、3S 系统集成、资源与环境、国土资源调查、测绘、卫星应用技术等学科领域的研究开发者、管理者阅读参考,也可作为相关专业大学高年级学生和研究生教材或教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

高分辨率遥感卫星应用:成像模型、处理算法及应用技术/张永生,巩丹超等著.
—北京:科学出版社,2004
ISBN 7-03-012824-9

I. 高… II. ①张…②巩… III. 高分辨率—卫星遥感—遥感图像—图像处理 IV. TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2004)第 005708 号

责任编辑:谢洪源 刘卓澄/责任校对:柏连海

责任印制:钱玉芬/封面设计:王 浩

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencecp.com>

源海印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2004 年 5 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2004 年 5 月第一次印刷 印张:18 1/4 插页:2

印数:1—2 000

字数:415 000

定价:48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换〈环伟〉)

《高分辨率遥感卫星应用——成像模型、处理算法 及应用技术》编写小组名单

张永生	巩丹超	刘 军	王 慧
邓雪清	罗 睿	董广军	戴晨光
吴云东	范永弘	段琳琳	

前 言

随着空间技术的不断发展,空间遥感活动中所使用的遥感器的工作波段已得到充分扩展,遥感成像传感器的空间分辨率也在迅速提高。从 20 世纪 90 年代初以来的十多年,航天遥感已步入一个能快速提供多种高分辨率对地观测海量数据的新阶段,航天遥感已逐步发展成为实用化、产业化的高新技术,在军事和民用领域都得到了广泛的应用。面对和平与发展的历史潮流,各空间技术大国相继制定了将军事航天遥感与民用商业遥感相互结合、互相促进的技术发展政策。各军事大国从自身利益出发,都竞相将其所拥有的部分高技术转为民用,欲以高分辨率的卫星遥感图像来占领利润极高的航天遥感市场。自 1999 年国际上第一颗高分辨率商业遥感卫星发射成功以来,已陆续有多颗性能相近的卫星投入业务运行,因高分辨率卫星图像的高精度、适宜的成本、丰富的产品样式,在地学、资源环境、大型基础建设工程等领域,激发出前所未有的技术热情和深入、广泛的应用。目前民用遥感传感器的空间分辨率已达到米级甚至亚米级。空间分辨率达到米级的立体遥感图像,已有能力替代传统用于 1:2.5 万和 1:1 万比例尺地形图测绘或地理信息更新的航空摄影。

航天测图从 20 世纪 60 年代初期开始研究,到了 70 年代伴随空间技术和测绘仪器的发展而不断进步,航天测图方案日趋成熟,80 年代航天测图逐步趋于实用,90 年代航天测图进入提高的新阶段。我国利用高分辨率遥感卫星图像进行三维定位和测图的起步比较晚,目前虽然在多个领域开展了一些相关项目(利用航天影像测图)的研究,但是大都处于研究、探索阶段,尤其是对高分辨率卫星图像的应用还缺乏系统配套的理论、技术和处理系统。本书正是针对这一现状,结合我们承担的多项国家高技术计划信息领域和航天领域的研究项目,瞄准高分辨率遥感卫星图像空间信息处理的核心技术,探索从遥感卫星传感器成像模型的建立,到地面目标三维定位、立体影像匹配、地图测图、图像融合诸多方面涉及的理论、方法和应用处理方案。特别是在传感器有理函数模型、广义核线模型、立体图像匹配技术等方面具有显著特色,相关的研究成果已得到工程实践的检验和实际生产的应用。

本书既注重基础理论和核心技术,也十分重视实用技术,特别兼顾了多个应用领域的需求和具体应用背景,使得相关技术能够方便地在工程实践中推广应用。

本书是作者近几年在高分辨率卫星遥感应用领域科研和学术工作总结,在写作过程中借鉴、吸收、参考了国内外同行的研究成果与有益经验。限于作者的专业范围、技术视野和学术水平,错漏和不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

作 者

2003 年 11 月

目 录

前言

第一章 高分辨率遥感卫星进展	1
§ 1.1 高分辨率遥感卫星发展现状	1
§ 1.2 几种典型高分辨率商业遥感卫星系统	3
§ 1.2.1 IKONOS 卫星系统	3
§ 1.2.2 QuickBird 卫星系统	6
§ 1.2.3 SPOT-5 卫星系统	9
§ 1.3 对地观测卫星的智能化发展趋势	11
§ 1.3.1 对地观测卫星的发展历史	11
§ 1.3.2 EOS 卫星成像系统的发展趋势	13
§ 1.3.3 未来的“智能型”对地观测卫星	13
第二章 线阵 CCD 传感器严密成像模型	15
§ 2.1 绪论	15
§ 2.2 遥感影像传感器模型	15
§ 2.2.1 经典的传感器几何模型	15
§ 2.2.2 传感器物理模型与通用模型及其分析	16
§ 2.3 基于共线方程的严密传感器模型	17
§ 2.3.1 基于共线方程的传感器模型的建立	17
§ 2.3.2 严密传感器模型的解算及应用	18
§ 2.4 基于仿射变换的传感器模型	23
§ 2.4.1 研究现状	23
§ 2.4.2 平行投影成像几何关系	23
§ 2.4.3 基于平行投影的传感器模型	24
§ 2.4.4 透视投影与平行投影的投影转换	26
§ 2.4.5 基于仿射变换的传感器模型的解算	28
第三章 通用成像模型的理论与方法	30
§ 3.1 引言	30
§ 3.2 传感器通用成像模型	30
§ 3.3 基于有理函数的通用传感器模型	34
§ 3.3.1 通用传感器模型 RFM 的引入	34
§ 3.3.2 有理函数的定义	35
§ 3.3.3 有理函数模型的应用	38
§ 3.4 计算与分析	47
§ 3.4.1 试验数据	47

§ 3.4.2	正解 RFM 的建立及拟合精度分析	47
§ 3.4.3	正解 RFM 三维重建及定位精度分析	49
§ 3.4.4	有理函数模型的综合评价	49
第四章	遥感影像融合与分类	52
§ 4.1	影像融合技术概述	52
§ 4.2	影像融合处理方法	54
§ 4.2.1	基于像元的加权融合处理方法	54
§ 4.2.2	利用 IHS 变换进行融合处理	55
§ 4.2.3	PCA 融合处理方法	56
§ 4.2.4	小波变换融合处理方法	59
§ 4.3	影像分类的原理与过程	64
§ 4.4	影像分类技术与算法	67
§ 4.4.1	监督分类	67
§ 4.4.2	遥感图像非监督分类	72
§ 4.4.3	高分辨率遥感影像分类应用	76
第五章	立体遥感影像核线理论与模型	80
§ 5.1	绪论	80
§ 5.2	经典的遥感影像核线模型	80
§ 5.2.1	中心投影影像的核线模型	81
§ 5.2.2	线阵 CCD 推扫式影像的近似核线模型	82
§ 5.3	基于投影轨迹法的核线理论与模型	82
§ 5.3.1	中心投影影像基于投影轨迹法的核线模型	83
§ 5.3.2	线阵 CCD 推扫式影像基于投影轨迹法的核线模型	84
§ 5.3.3	实验计算与分析	86
§ 5.4	基于简化传感器模型的核线关系分析	89
§ 5.5	核线模型的应用分析	90
§ 5.5.1	立体视觉中的基本矩阵	90
§ 5.5.2	中心投影影像的核线模型	92
§ 5.5.3	线阵 CCD 推扫式影像的核线几何关系	93
§ 5.5.4	实验结果	94
第六章	线阵 CCD 卫星影像立体匹配	96
§ 6.1	引言	96
§ 6.2	遥感影像立体匹配技术概述	97
§ 6.2.1	影像匹配的分类	97
§ 6.2.2	匹配不确定性及约束条件的引入	98
§ 6.2.3	线阵 CCD 推扫式影像匹配	99
§ 6.3	核线关系在线阵 CCD 推扫式影像立体匹配中的应用	100
§ 6.3.1	基于动态核线的近似直线约束	101
§ 6.3.2	基于核线的成像约束	102

§ 6.4 基于特征和加权灰度窗口的影像匹配	103
§ 6.4.1 线阵 CCD 推扫式影像的特点	103
§ 6.4.2 基于不变矩和加权灰度窗口的匹配	104
§ 6.4.3 实验计算与分析	110
§ 6.5 基于遗传算法的影像匹配	115
§ 6.5.1 遗传算法简介	116
§ 6.5.2 简单遗传算法	116
§ 6.5.3 基于遗传算法的影像匹配	118
第七章 高分辨率影像地物提取技术	122
§ 7.1 引言	122
§ 7.2 建筑物提取技术概述	123
§ 7.3 基于高分辨率遥感影像的建筑物提取	128
§ 7.3.1 建筑物模型的建立	128
§ 7.3.2 建筑物识别与检测	130
§ 7.3.3 基于 SUSAN 算子的角点提取	132
§ 7.3.4 基于 Hough 变换的直线段提取	134
§ 7.3.5 自适应多窗口的角点匹配	136
§ 7.3.6 基于立体遥感影像的建筑物提取方案	138
§ 7.3.7 实验结果与分析	140
§ 7.4 基于遥感影像的线状地物提取	141
§ 7.4.1 影像道路的基本特征	141
§ 7.4.2 影像道路特征提取的基本过程	143
§ 7.4.3 影像道路特征提取的研究现状	143
§ 7.4.4 动态规划方法(DP)	146
§ 7.4.5 Snake 模型	149
第八章 卫星遥感影像测图处理系统	152
§ 8.1 卫星影像测图与空间信息更新技术	152
§ 8.1.1 卫星遥感影像用于空间信息更新的意义	152
§ 8.1.2 利用卫星遥感影像测图与更新地图的优缺点	152
§ 8.2 卫星遥感影像测图处理系统	153
§ 8.2.1 概述	153
§ 8.2.2 SpacialView 测图处理系统	153
§ 8.2.3 立体观察设备	155
§ 8.2.4 三维量测控制系统	158
§ 8.3 卫星影像测图软件与使用	164
§ 8.3.1 基于 MicroStation 的测图环境	164
§ 8.3.2 MicroStation 二次开发语言	166
§ 8.3.3 卫星影像测图系统基础设置	167
§ 8.3.4 符号库设置	171

§ 8.3.5 矢量数据采集	173
§ 8.3.6 矢量数据编辑	177
第九章 航天飞机干涉雷达全球测图	182
§ 9.1 引言	182
§ 9.2 SRTM 的技术设计	183
§ 9.2.1 概述	183
§ 9.2.2 SRTM 的硬件构成	183
§ 9.2.3 AODA 的工作原理	187
§ 9.3 SRTM 的数据处理与数据产品	189
§ 9.3.1 SRTM 的数据处理	189
§ 9.3.2 SRTM 的主要产品类型	190
§ 9.3.3 经过 NIMA 处理后的数据产品类型	191
§ 9.3.4 SRTM 产品样例	192
第十章 海量遥感影像管理的数据结构与算法	195
§ 10.1 概述	195
§ 10.2 遥感影像的分块组织策略	195
§ 10.3 遥感影像的瓦片金字塔模型	197
§ 10.3.1 影像金字塔	197
§ 10.3.2 瓦片金字塔模型	197
§ 10.3.3 瓦片请求预测	199
§ 10.3.4 瓦片金字塔模型的数据结构	200
§ 10.4 瓦片金字塔模型的线性四叉树索引	201
§ 10.4.1 四叉树结构	201
§ 10.4.2 线性四叉树索引	201
§ 10.4.3 瓦片拓扑关系	202
§ 10.4.4 目标瓦片快速搜索算法	203
§ 10.4.5 线性四叉树索引的数据结构	204
§ 10.5 异构磁盘系统的瓦片分布方法	205
§ 10.5.1 二维数据分布方法	205
§ 10.5.2 异构磁盘系统的数据分配	211
§ 10.5.3 异构磁盘系统的瓦片分布	214
第十一章 遥感图像信息系统的建立	219
§ 11.1 遥感图像信息系统的软件结构模型	219
§ 11.1.1 图像数据库的系统体系特点分析	219
§ 11.1.2 遥感图像信息系统的领域分析	222
§ 11.1.3 遥感图像信息系统的结构模型设计	223
§ 11.2 遥感图像数据库数据模型与海量存储系统设计	225
§ 11.2.1 图像数据库数据模型分析	226
§ 11.2.2 多层次的遥感数据关系模型	228

§ 11.2.3 遥感图像信息系统中的元数据	233
§ 11.2.4 分布式海量数据存储	242
§ 11.3 遥感图像信息查询及基于内容的查询	248
§ 11.3.1 图像查询的基础理论	248
§ 11.3.2 基于图像内容查询的基本方法	255
§ 11.3.3 遥感图像查询及基于内容查询的设计	259
§ 11.4 遥感图像信息系统 IML 的设计与实现	268
§ 11.4.1 IML 的系统环境与结构	268
§ 11.4.2 系统的功能介绍	270
参考文献	275

第一章 高分辨率遥感卫星进展

§ 1.1 高分辨率遥感卫星发展现状

1957年原苏联将全球首颗人造地球卫星成功送入预定轨道,开创了空间科学研究和技术应用的新局面。虽然人造地球卫星上天迄今仅有短短 40 余年的时间,但它已经在空间探测、资源调查、通讯、导航、气象、测绘和军事侦察等领域获得了广泛的应用。由于卫星遥感获取资料迅速,成本相对较低,并且不受区域限制,可以自由地获取境外军事目标信息,因此从发射之日起,人们就意识到卫星遥感的重要性,开始了对航天遥感应用技术的研究工作。

20 世纪 70 年代初,美国成功发射了世界上第一颗真正的地球观测卫星——陆地卫星 Landsat-1,其多光谱扫描仪的空间分辨率达到 80m。利用陆地卫星影像,美国编制了全国 1:100 万的影像图,不仅显著地降低了生产成本,更大大提高了作业效率。1986 年 2 月法国 SPOT 卫星成功发射,其高分辨率可见光传感器 HRV(High Resolution Visible)的地面分辨率达到 10m,并能通过侧视观测在相邻轨道间构成异轨立体,其良好的基高比很适合立体测图,对卫星影像的测绘应用产生了重大影响。在 1991 年开始的海湾战争中,以美军为首的多国部队采用 SPOT 影像,不仅修测了大量军用地形图,而且还为多国部队空袭目标的定位和空袭效果的评估做出重要贡献,推动了航天影像测图技术走向实用。

虽然航天摄影测量技术从 20 世纪 60 年代初就开始研究,但长期以来,由于受到传感器立体成像能力和影像分辨率的制约,以及“冷战”期间西方国家恪守的所谓“君子协定”的限制,出售可能用于军事目的的遥感影像,地面分辨率不得优于 5m,航天影像测图一直局限在中小比例尺的水平。SPOT 影像虽然在世界范围内得到广泛应用,但其 10m 的地面分辨率仅可用于测绘 1:100 000 的地形图,难以满足 1:50 000 以上大比例尺地形图的测绘精度要求。全球基础地理信息采集与地图测绘方面的应用需求,开拓了卫星遥感图像数据的重要市场。面对资源环境调查、土地整治、城市规划及国防应用对 1:10 000 甚至更大比例尺基础地理信息更新的巨大需求,迫切需要发展高分辨率的遥感卫星,作为大规模采集地球空间信息的有效手段。不同比例尺的地图需要的遥感原始数据的分辨率水平是各不相同的。表 1.1 列出它们的一一对应关系。

表 1.1 不同比例尺地形图对遥感图像地面分辨性能的需求

制图比例尺	1:25 万	1:5 万	1:2.5 万	1:1 万	1:5000
测绘制图需求/m		3~5	2	0.8~1	0.4~0.5
更新图件需求/m	20 ~ 30	5 ~ 10	3 ~ 5	2	约 1

20 世纪 90 年代,随着“冷战”的结束,俄罗斯将原苏联解体前从空间拍摄的高分辨率像片以低廉的价格出售给其他国家,给国际遥感图像市场提供了新的选择。随后,美国克林顿政府于 1994 年取消了对 10~1m 级分辨率卫星遥感影像数据的商业销售禁令,从而揭开了发展高分辨率商业遥感卫星的序幕。在不太长的时间里,美国国内便有四家私营公司提出五套高分辨率卫星遥感系统方案并获得发射许可,其中,地球观测公司(Earth Watch)现改称为数字地球公司(DigitalGlobe)提出“EarlyBird”(晨鸟)和“QuickBird”(快鸟)卫星系统;GDE 公司提出 GDE 卫星系统;轨道成像公司(Orbimage)提出“OrbView”(轨道观测)卫星系统;空间成像公司(Space Imaging)提出 IKONOS 卫星系统。随后,以色列的 EROS-2 和法国的 SPOT-5(HRG)等高分辨率遥感卫星系统也相继面世。这些卫星的传感器多采用线阵列 CCD 探测器,按照推帚式扫描成像,可同时获取地面的高分辨率全色和多光谱影像。为了缩短重访周期,卫星能在穿轨方向上以一定的角度左右侧视,获取相邻轨道的星下点影像;同时,为了获取同轨立体像对,还能在沿轨方向上前视和后视成像,形成无明显时间差的立体覆盖。

表 1.2 列举了几种载有高分辨率光学传感器的遥感卫星系统。

表 1.2 几种典型的高分辨率光学传感器

卫星/运营商	发射日期 年.月.日	传感器	成像波段 和立体能力	空间 分辨率/m	影像覆盖
IKONOS II Space Imaging 公司 (美国)	1999.9.24	全色 多光谱	立体:前/后 B、G、R、NIR	1 4	11km × 11km 11km × 11km
QuickBird II DigitalGlobe 公司 (美国)	2001.10.18	全色 多光谱	立体:前/后 B、G、R、NIR	0.61 2.44	16.5km × 16.5km 16.5km × 16.5km
EROS A1 EROS B1 ImageSat 国际公司 (以色列)	2000.12.5 2002.10.2	全色 全色		1.8 0.8	12.6km/行 16km/行
OrbView 4 轨道科学公司 (美国)	2001.9	全色 多光谱	立体:前/后 B、G、R、NIR 高光谱传感器 (200 波段)	1 4 (8)20	8km × 8km 8km × 8km
SPOTS SPOT Image 公司 (法国)	2002.5.4	全色 多光谱	立体:前/后 B、G、R SWIR	5 2.5 (超级模式) 10 20	60km

除了光学传感器以外,还有一些雷达卫星和航天飞机的微波遥感传感器用于测图,如表 1.3 所示。

当前高分辨率遥感卫星的技术状况可概括为以下几点:

(1) 光学传感器的空间分辨率已经达到 1m 以内,可用于 1:10 000 比例尺的地形图测绘;

表 1.3 适于测图的微波传感器

微波遥感卫星	发射日期	传感器	产 品	空间分辨率/m	影像条带/km
SRTM	2000 年	HSAR C-波段	DEM 影像		
RadarSat 1	1995 年	C-SAR	精确产品 标准产品	8 30	45 100
RadarSat 2	2003 年	C-SAR	高精度产品 标准产品	3 28	20 100
ALOS	2003 年	PALSAR L-波段	精确产品 ScanSAR 偏振产品	7~44 100 24~89	
ENVISAT	2001 年	ASAR C-波段	影像	12.5	100
TerraSAR		X-波段 L-波段	偏振产品	1 9	

(2) 传感器技术已比较成熟、稳定,线阵列推帚式传感器被广泛应用,传感器系统的机械设计日益灵活,具有快速指向能力;

(3) 传感器立体成像能力明显增强,可利用单一传感器获取同轨立体;

(4) 高精度的卫星星历和姿态测量显著地提高了影像的定位精度,减少或省却了对地面控制点的需求;

(5) 合成孔径雷达 SAR 的性能逐步提高,RadarSat 2 将拥有 3m 的地面分辨率;

(6) 卫星发射成功率不高已成为制约高分辨率遥感卫星发展的瓶颈。

在 Landsat-1 成功发射后的几十年里,研制出具有 1m 分辨率的卫星传感器一直是可望而不可及的梦想,而在 1999 年商业遥感市场上出现第一景 IKONOS 卫星影像时,人们的愿望终于变成现实。IKONOS 卫星是高分辨率商业遥感卫星发展史上的一个里程碑,它首次在民用领域将星载传感器的地面分辨率提高到 1m 之内。IKONOS、QuickBird 等高分辨率影像进入世界遥感影像数据市场,大大缩小了卫星影像与航空像片之间分辨能力的差距,打破了较大比例尺地形图测绘只能依赖航空遥感的局面。

§ 1.2 几种典型高分辨率商业遥感卫星系统

§ 1.2.1 IKONOS 卫星系统

1. 基本情况

IKONOS 是空间成像公司(Space Imaging)为满足高解析度和高精度度空间信息获取而设计制造,是全球首颗高分辨率商业遥感卫星。IKONOS-1 于 1999 年 4 月 27 日发射失败,同年 9 月 24 日,IKONOS-2 发射成功,紧接着于 10 月 12 日成功接收到第一幅影像。

IKONOS 卫星由洛克希德-马丁公司(Lockheed Martin)制造,重 1600 lb^①,由 Athena II 火箭于加利福尼亚州的范登堡空军基地发射成功,卫星的设计寿命为 7 年。它采用太阳

① 1lb = 0.453592kg。下同。

同步轨道,轨道倾角 98.1° ,平均飞行高度 681km,轨道周期 98.3min,通过赤道的当地时间为上午 10:30,在地面上空平均飞行速度为 6.79km/s,卫星平台自身高 1.8m,直径 1.6m。

IKONOS 卫星的传感器系统由美国伊斯曼-柯达公司 (Eastman Kodak) 研制,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,其中的全色传感器由 13 816 个 CCD 单元以线阵列排成,CCD 单元的物理尺寸为 $12\mu\text{m} \times 12\mu\text{m}$,多光谱传感器分四个波段,每个波段由 3454 个 CCD 单元组成。传感器光学系统的等效焦距为 10m,视场角 (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。传感器可倾斜至 26° 立体成像,平均地面分辨率为 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 11 位的动态范围,从而使其影像包含更加丰富的信息。

IKONOS 卫星载有高性能的 GPS 接收机、恒星跟踪仪和激光陀螺。GPS 数据通过后处理可以提供较精确的轨道星历信息;恒星跟踪仪用以高精度确定卫星的姿态,其采样频率低,激光陀螺则可高频地测量成像期间卫星的姿态变化,短期内有很高的精度,恒星跟踪数据与激光陀螺数据通过卡尔曼滤波能提供成像期间卫星较精确的姿态信息。GPS 接收机、恒星跟踪仪和激光陀螺提供的较高精度的轨道星历和姿态信息,保证了在没有地面控制的情况下,IKONOS 卫星影像也能达到较高的地理定位精度。

2. 成像原理

与 Landsat 和 SPOT1-4 卫星相比,IKONOS 卫星的成像方式更加灵活,其传感器系统采用独特的机械设计,可以十分灵活地以任意方位角成像,偏离正底点的摆动角甚至可达到 60° 。IKONOS 卫星 360° 的照准能力使其既可侧摆成像以获取异轨立体或缩短重访周期,也可通过沿轨道方向的前后摆动同轨立体成像,具有推扫、横扫成像的能力。

IKONOS 卫星能获取同轨立体影像。当卫星接近目标时,传感器光学系统先沿着轨道向前倾斜,照准目标区域并采集第一幅影像,接着控制系统操纵传感器向后摆动,大约 100s 后再次照准目标区并采集第二幅影像,如图 1.1 所示。由于 IKONOS 卫星利用单线阵 CCD 传感器,通过光学系统的前后摆动实现同轨立体成像。因此,相应的立体覆盖是

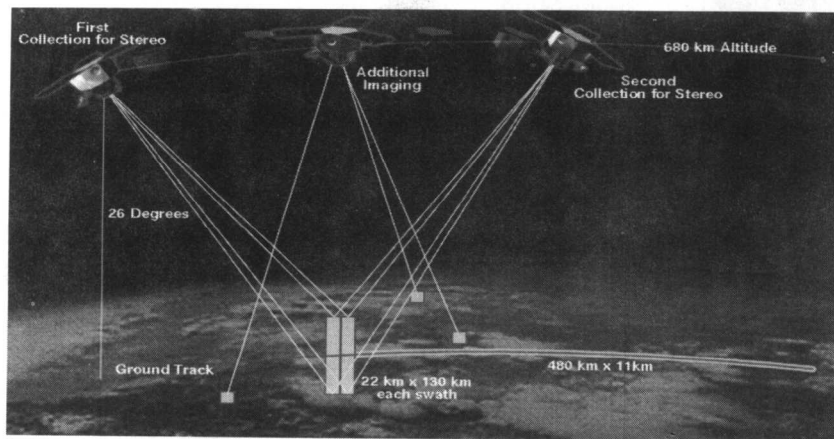


图 1.1 IKONOS 卫星立体成像模式

不连续的。

3. CARTERRA™ 系列产品简介

在 Space Imaging 最新发布的 IKONOS 影像产品白皮书中,根据 CE90(Circular Error at 90% Probability)及 LE90(Linear Error at 90% Probability)的大小将 IKONOS CARTERRA 产品分为五级,分别称为 Geo、Reference、Pro、Precision 和 Precision Plus,如表 1.4 所示。

表 1.4 IKONOS 卫星各级产品的基本信息

产品类型	定位精度			正射 纠正	采集 角度	构成 立体
	CE90	RMS	NMAS			
Geo	≤50m	N/A	N/A	否	60°~90°	否
Reference	≤25.4m	≤11.8m	1:50 000	是	60°~90°	是
Pro	≤10.2m	≤4.8m	1:12 000	是	66°~90°	否
Precision	≤4.1m	≤1.9m	1:4800	是(GCP)	72°~90°	是
Precision Plus	≤2m	≤0.9m	1:2400	是(GCP)	75°~90°	否

(1)简单几何纠正产品。

a) CARTERRA™ Geo 产品:IKONOS 的 Geo 级产品包括 1m 分辨率的全色影像、4m 分辨率的多光谱影像以及融合后的 1m 分辨率的彩色影像,适用于宏观观察和判读。Geo 级产品经过简单几何纠正,消除了影像采集引起的几何误差,并将影像按照统一的地面采样间隔(GSD)和给定的地图投影方式重新采样。Geo 产品没有消除地形起伏造成的影像移位,能达到的定位精度有限。不含地形起伏影响的 Geo 产品标称精度为 50m CE90,不适合测图。

b) CARTERRA™ Geo Ortho Kit 产品:2001 年 6 月,Space Imaging 发布了 Geo Ortho Kit 产品,它是 Geo 产品的一个分支,适用于专业用户。Geo Ortho Kit 产品包括 Geo 级影像及相应的传感器成像几何模型(Image Geometry Model——IGM,即 RPC 模型),依据 IGM 用户可以利用 DTM 和地面控制点自己制作高精度的正射影像。

(2)正射纠正产品。正射纠正是为了消除地形起伏引起的误差。IKONOS 经正射纠正后的影像包括 Reference、Pro、Precision 和 Precision plus。

a) CARTERRA™ Reference 产品:包括 1m 分辨率全色影像、4m 分辨率多光谱影像和融合后的 1m 分辨率彩色影像,适用于大面积测图以及需要 1:5000 比例尺正射影像的工程项目。它经过正射纠正和镶嵌,定位精度可达 25m CE90。

b) CARTERRA™ Pro 产品:包括 1m 分辨率全色影像、4m 分辨率多光谱影像和 1m 分辨率彩色影像,适用于无法获取控制点或地面控制昂贵、困难时,需要高空间分辨率、中等比例尺定位精度正射影像的工程项目。Pro 级产品的定位精度可达 10m CE90,是无地面控制条件下生成的最高精度的正射影像产品,能提供全球 1:12 000(NMAS)比例尺的正射影像。

c) CARTERRA™ Precision 产品:包括 1m 分辨率全色影像、4m 分辨率多光谱影像和 1m 分辨率彩色影像。Precision 级产品的精度相当于比例尺为 1:4800(NMAS)地形图的定位精度,适用于大面积、大比例尺城区规划工程项目。Precision 级影像采集时传感器高度角

一般在 72°以上,要达到其标称的 4mCE90 的定位精度,用户需要向 Space Imaging 提供 1m 精度的地面控制点和 5m 精度的 DTM。

d) CARTERRA™ Precision plus 产品:只包括 1m 分辨率全色影像和 1m 分辨率彩色影像。Precision plus 产品是 Space Imaging 提供的最精确的 IKONOS 影像产品,能提供大多数城市规划项目所需的精度,定位精度最高可达 2mCE90。Precision Plus 产品的生成同样需要向 Space Imaging 提供高精度的地面控制点和高质量的 DTM。

(3)立体影像产品。IKONOS 的立体影像产品仅有 1m 分辨率的 Reference 和 Precision 两种级别。Space Imaging 提供给用户的 IKONOS 立体影像产品还附带传感器模型的有理多项式函数系数文件(RPC),RPC 文件提供地面点空间交会、DEM 提取和正射纠正等摄影测量处理所需的传感器模型参数。IKONOS 立体影像产品一般都经过核线重采样。

a) Reference 级立体产品:该产品生成仅利用了星载 GPS 接收机、恒星跟踪仪和激光陀螺提供的轨道星历、卫星姿态以及焦平面的视场角映射(Field Angle Map——FAM)信息。不需要地面控制点,Reference 级立体产品能达到 25mCE90 的平面精度和 22mLE90 的高程精度,也称为标准立体产品。

b) Precision 级立体产品:利用少量地面控制点消除系统性误差,Precision 级立体产品可达到 4mCE90 的平面精度和 5mLE90 的高程精度,也称为精确立体产品。

(4)产品选项。

影像的位深度(灰度级)——8 位或 11 位。

影像格式——单像采用 GeoTIFF 或未压缩 NITF 2.0 格式;立体影像采用 TIFF 格式(核线投影)或 GeoTIFF 格式(地图投影)。

投影方式——UTM,国家平面投影,亚尔勃斯等面积圆锥投影,兰伯特等角圆锥投影,横墨卡托投影。

基准面或参考椭球——WGS84, NAD83, NAD27。

分发媒介——CD-ROM, DVD, 硬盘, Internet。

§ 1.2.2 QuickBird 卫星系统

QuickBird 卫星(快鸟卫星)由 Ball 航天技术公司(Ball Aerospace & Technologies)、柯达公司(Eastman Kodak)和 Fokker 空间公司(Fokker Space)联合研制,由数字地球公司(Digital Globe)运营,是目前世界上空间分辨率最高的商用卫星。早在 1997 年 12 月 24 日,地球观测公司(EarthWatch, DigitalGlobe 公司的前身)就用俄罗斯 START-1 运载火箭发射了 Early Bird 卫星,但卫星在入轨 4 天后失踪;3 年以后,在 2000 年 11 月 20 日地球观测公司又发射了 QuickBird-1 卫星,仍采用俄罗斯的运载火箭发射,但卫星未入轨而宣告失败;1 年后地球观测公司改名为数字地球公司,并于 2001 年 10 月 18 日改用美国波音公司 Delta II 型运载火箭发射 QuickBird-2 卫星获得成功。现在我们所称的 QuickBird 卫星即是指 QuickBird-2 卫星。

1. QuickBird 的基本参数

QuickBird 卫星是为高效、精确、大范围地获取地面高清晰度影像而设计制造的。在当前运营和即将发射的商业遥感卫星中,QuickBird 卫星能提供最大的条带宽度、最大的在线存储容量和最高的地面分辨率。卫星基本参数如表 1.5 所示。

表 1.5 QuickBird 卫星有关参数

发射日期	2001 年 10 月 18 日
发射装置	波音 Delta II 运载火箭
发射地	加利福尼亚范登堡空军基地
轨道高度	450km
轨道倾角	97.2°
飞行速度	7.1km/s
降交点时刻	上午 10:30
轨道周期	93.5min
条带宽度	垂直成像时为 16.5km × 16.5km
平面精度	23cm(CE90)
动态范围	11 位
空间分辨率	全色:61cm(星下点) 多光谱:2.44m(星下点)
光谱响应范围	全色:450 ~ 900nm B:450 ~ 520nm G:520 ~ 600nm R:630 ~ 690nm NIR:760 ~ 900nm

与 IKONOS 卫星类似,QuickBird 卫星也具有推扫、横扫成像能力,可以获取同轨立体或异轨立体,但一般情况下通过推扫获取同轨立体,立体影像的基高比在 0.6 ~ 2.0 之间,但绝大多数情况下位于 0.9 ~ 1.2 范围内,适合三维信息提取。根据纬度的不同,卫星的重访周期在 1 ~ 3.5d 之间。垂直摄影时,QuickBird 卫星影像的条带宽为 16.5km,比 IKONOS 宽 60%,当传感器摆动 30°时,条带宽约 19km。

与 SpaceImaging 公司销售 IKONOS 卫星影像的策略不同,DigitalGlobe 公司同时提供严密传感器模型和有理多项式系数模型来处理 QuickBird 卫星影像,以满足不同用户的需要。严密传感器模型是依据传感器的成像几何关系,利用成像瞬间地面点、透视中心和相应像点三点共线的几何关系建立的数学模型,是摄影测量学最常采用的成像模型,具有最高的定位精度,但形式较为复杂。严密模型所需的传感器成像参数、姿态参数和轨道星历保存在影像支持数据(Image Support Data——ISD)文件中。RPC 模型是对严密传感器模型的拟合,它直接提供了地面坐标同像点坐标之间的映射关系,理想情况下也能达到跟严密模型相当的定位精度。

2. QuickBird 影像产品

根据处理程度和定位精度的不同,DigitalGlobe 将 QuickBird 卫星影像分为五级,如表 1.6 所示,其中 Ortho 自定义级产品的定位精度依赖于用户提供的地面控制点和 DEM 的精度。

(1) Basic 级影像产品。Basic 级产品只经过辐射校正和传感器扭曲校正,消除了传感器光学畸变、扫描畸变、扫描速率不均匀引起的影像变形,没有进行几何纠正和地图投影,是最原始的影像产品,适合专业的摄影测量处理。利用提供的影像支持数据和 DEM,