



北京一号小卫星 数据处理技术及应用

王晋年 张 霞 等编著



Wuhan University Press
武汉大学出版社

北京一号小卫星 数据处理技术及应用

王晋年 张 霞 等编著



Wuhan University Press
武汉大学出版社

内 容 简 介

与大卫星相比,小卫星具有先进、快速、低廉、可靠、重量轻、功能单一等特点。通过小卫星组网,也可以实现大卫星的复杂功能,而且投资小、见效快,小卫星技术近年来逐渐成为研究热点。

本书共分八章,首先介绍了小卫星技术的发展及北京一号小卫星的数据获取、数据处理、几何纠正等的现状,然后针对多源遥感数据交叉辐射定标技术、多源遥感数据尺度转换与自动配准技术、多源遥感数据融合及归一化技术进行了算法和模型集中阐述,最后概括了北京一号小卫星数据的多领域应用。

本书可供地球科学、遥感与地理信息系统相关专业的高等院校师生,以及遥感技术与应用专业研究人员的参考。

图书在版编目(CIP)数据

北京一号小卫星数据处理技术及应用/王晋年等编著.
— 武汉:武汉大学出版社,2010. 10
ISBN 978-7-307-08202-1

I. 北…
II. 王…
III. 小型卫星—数据处理—研究
IV. V474. 1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 179218 号

责任编辑:代君明

责任印制:人 弋

出 版:武汉大学出版社

发 行:武汉大学出版社北京图书策划中心

(电话:010-63937419 传真:010-63974946)

印 刷:北京华宝装订有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:14.875 彩插:4

字 数:400 千字

版 次:2010 年 10 月第 1 版

印 次:2010 年 10 月第 1 次印刷

定 价:48.00 元

版权所有,盗版必究(举报电话:010-63978987)

(如图书出现印装质量问题,请与本社北京图书策划中心联系调换)

《北京一号小卫星数据处理技术及应用》

作者名单

王晋年 张 霞 王智勇 张立福 陈正超 丁 琳
文 强 纪中奎 宋鹏飞 倪希亮 黄长平 刘海霞
胡顺石 陈小平 张旭凯 严 明 汪爱华 李 儒
孙 韬 陈 岩 陈占涛 吴 松 朱文君 房从卉

序

卫星对地观测已成为各国竞相发展的重要空间基础设施。随着科学技术的进步和人们创新思维的发展,小型卫星不仅成为常规大型卫星的补充,而且在一定程度上发挥了后者难以发挥的作用,它的研制周期短、成本低是它的最大优势,也是它倍受青睐的主要原因。20世纪90年代以来,许多国家相继制定了发展微小卫星的计划,一系列新型现代小型,甚至微型卫星逐渐进入了人们的视线。它们在拓宽对地观测范围、开展新型技术试验等方面起到了先锋的作用。可以认为,自20世纪90年代末期,特别是进入本世纪以来相继发射升空的一系列高分辨率卫星,包括高空间分辨率、高光谱分辨率甚至全天候的雷达卫星不少也属小卫星的范畴。一些小卫星的空间分辨率已可优于1m,光谱波段数可超过200个,合成孔径雷达的分辨率也接近1m或更高。特别是在这些小卫星组成星座和编队运行的情况下其能力将得到很大的增强,占有明显的优势。

一般来说,卫星数据的空间、光谱和时间分辨率越高,它的产业应用或商业价值就越大。卫星研制周期的缩短以及成本和发射费用的降低使得卫星数据的运营商有了较大的利润空间。这就是为什么国外商业卫星运营企业近十年来得以迅速发展,而提供卫星商业数据的多为小卫星的主要原因。从而现代的微小对地观测卫星在将卫星对地观测数据推向市场、促进空间数据和信息的产业化和商业化等方面也同样功不可没。

北京一号小卫星顺应了卫星技术发展的历史潮流,在研制过程中很好地将高空间分辨率全色影像与宽覆盖的中分辨率多光谱影像结合起来,取得了很好的效果。在它发射之初的一段时期内曾雄居国内前列,其4m分辨率全色数据在运行的头两年中一直是国内民用卫星分辨率之最;600km的超宽覆盖多光谱数据也一度在国内领先了两年,开创了对我国960多万平方公里陆地和近300万平方公里海疆每半年一次无云数据覆盖的先例,即使在国外除了它的DMC姊妹星外也属于佼佼者并鲜有出其右者。北京一号的成功之处还在于它推动了我国在空间技术领域的一场体制和机制的改革与创新。将卫星的测控、运行、管理以及对数据的接收、处理、产品、应用、服务一体化和高度集成于一家企业在国内当属创举,它将催生一个微小卫星对地观测新阶段的到来。

北京一号在数据传输能力明显不如大卫星的情况下,通过技术和策略创新,创造了高于其他一般卫星一倍的无云数据接收成功率,不仅保证了国内的需求而且开创了我国自主卫星数据出口40多个国家的先河。北京一号卫星数据与信息的服务模式使得它不仅是北京市科技奥运的一个组成部分,而且成为了北京市多个行业,如农业、土地、林业、水利、环保、统计、城建、执法等部门须臾不可或缺的手段之一。

★北京一号小卫星数据处理技术及应用

作为一颗仅 166 公斤的小卫星，它也不可避免的有着许多不足。星上能源的匮乏就成为星上定标和数据传输的一大制约因素，此外，姿态稳定性也与常规的大型卫星有着显著的差距。因此对数据的量化和定标，数据处理，无论是预处理还是后处理或精处理，数据的校正，数据的融合，特别是北京一号宽覆盖多光谱与全色数据的融合以及小卫星归一化数据产品的生成等研究、发展和提高就成为了北京一号小卫星成功应用和发挥应有作用的关键。本书正是由一批年青科技人员领衔，经过与北京一号小卫星运行同步的深入研究，认真探索所取得的成果，我很高兴看到他们的成果在北京一号小卫星数据质量的改善、定量化水平的提高，应用能力的加强以及在惠及信息服务方面所发挥的作用。我也衷心祝贺他们的优秀成果以及凝聚这些成果的专著的问世。我也对科技部在科技攻关和 863 计划对北京一号小卫星研制和发射运行给予的支持，特别是卫星发射运行以来通过国家科技支撑项目又对小卫星数据的处理、定标、融合、同化以及综合监测与应用方面给予了持续的支持，这充分体现了国家在高度重视这一新兴技术发展中所表现的坚定性和前瞻性。作为一个微小卫星发展的积极促进者、推崇者和参与者，我理所当然地倍感欣慰，对此我更有理由相信我国对地观测微小卫星的黄金时期的到来也一定为时不远。



2010 年 7 月 10 日

前 言

国际航天界一般将发射重量在 1000 公斤以下的卫星称为小卫星,但一般情况下,小卫星通常重量在几十到几百公斤。1957 年,前苏联发射了人类第一颗人造卫星,重量为 83.6 kg,一年后美国发射的人造卫星,只有 8.2 kg,中国于 1970 年发射的我国首颗“东方红”号人造卫星,重量为 173 kg。因此,仅从重量上来看,这些卫星都属于小卫星的范畴。与现代小卫星技术相比,人类早期发射的卫星一般功能简单,寿命很短,主要是用于实验目的,检验卫星功能及发射技术。

随着空间技术的不断发展,人造地球卫星的应用领域越来越广泛,先后形成了通信、气象、导航、资源环境、军事侦察、科学研究等系列,并向高性能、高集成方向发展。卫星功能的不断增加,必然使卫星质量也不断增加;火箭运载能力的不断提高,又为大卫星的发展提供了技术基础。因此,卫星功能越来越复杂,重量也越来越大。大卫星研制周期长、费用高,一旦发射失败损失巨大。随着卫星技术与应用的不断发展,人们越来越意识到降低卫星成本、减小风险、缩短卫星开发研制周期的必要性。与大卫星相比,小卫星具有先进、快速、低廉、可靠、重量轻、功能单一等特点。通过小卫星组网,也可以实现大卫星的复杂功能,而且投资小、见效快,小卫星技术近年来逐渐成为研究热点。

北京一号小卫星(BJ-1)是由北京市科委主持完成的国家“十五”科技攻关和国家高技术研究发展计划(863)联合支持的重大科技成果,于 2005 年 10 月 27 日在俄罗斯普列谢斯克(Plesetsk)卫星发射场成功发射。自成功发射以来,为北京市的资源调查、生态环境、土地利用等应用获取了大量观测数据;在科技部的支持下,开展了北京一号小卫星数据在土地利用、地质调查、流域水资源调查、洪涝灾害、冬小麦播种面积监测、森林类型识别、城市规划监测和考古等方面的应用研究,取得了重要应用成果。本书内容是国家科技支撑计划“环北京区域多源空间数据处理技术研究”项目研究成果的凝练和总结,为了保证该书的完整性和系统性,除介绍科技支撑项目的研究成果外,还增加了一些与北京一号数据处理和分析相关的基本知识和通用数据处理方法,以及北京一号卫星数据在其他领域的应用实例。

本书分八章:第一章,概述,介绍了小卫星技术及发展趋势,小卫星技术发展面临的机遇;第二章,北京一号小卫星数据获取,介绍北京一号小卫星的平台和传感器(全色和多光谱相机)指标、传感器工作原理、地面接收、处理与分发系统、目前可提供的数据产品级别及应用潜力分析;第三章,北京一号小卫星辐射定标,针对北京一号小卫星无星上定标系统及传感器缺乏完整的光谱响应函数的特点,从相对辐射定标、综合辐射定标和交叉辐射定标三个层面上对辐射定标技术进行系统分析和方法改进;第四章,北京一号小卫星图像几何校正,重点分析并实现了局部自适应的 SIFT 自动配准算法的原理和算法流程,以及基于控制点库的遥感影像校正

★北京一号小卫星数据处理技术及应用

系统的原理和基本框架,并结合 BJ-1 等多源影像数据进行了配准实验,利用常用的精度评价方法对实验结果进行了评价和分析;第五章,北京一号小卫星数据融合,重点介绍基于多分辨率分析的融合方法原理,提出 IHS-Xlet 融合算法和融合模型,并将该方法体系应用于 BJ-1 卫星星内数据融合(全色与多光谱的空间分辨率之比为 1:8)、BJ-1 与其他卫星间的数据融合,对融合影像进行评价分析;第六章,北京一号小卫星数据辐射归一化,辐射归一化旨在减小不同时相的遥感图像之间由太阳照度、大气、物候和传感器标度等差异造成的影响,是提高动态监测精度的前提条件。重点介绍并改进了基于伪不变特征 PIFs 的辐射归一化算法,建立了评价指标体系,并用不同时相的北京一号卫星数据、北京一号与其他卫星数据进行辐射归一化实验;第七章,植被指数产品一致性研究,包括不同传感器植被指数一致性研究与同一传感器时间序列一致性研究。前者选用同一地区时间相近北京一号小卫星和 TM、SPOT 影像对其植被指数 NDVI 间的线性关系进行研究。后者针对植被指数时间序列仍存在噪声影响,提出一种傅立叶谐波改进的时间序列重建算法,并用北京一号小卫星和 MODIS 植被指数时间序列验证之;第八章,北京一号小卫星数据的多领域应用,介绍了北京一号小卫星数据在国土资源调查、城市建设、环境监测等领域的应用实例。

本书的出版得到了国家科技支撑项目“环北京区域多源空间数据处理技术研究”(课题编号:2007BAH15B01),以及国家高技术研究发展计划 863 课题“无星上定标系统小卫星辐射定标关键技术研究”(课题编号:2007AA12Z138)的资助。

书中不妥之处,敬请各位同行专家和读者批评指正。

作者

2010 年 6 月

目 录

第一章 概述	1
1. 1 小卫星技术及其星座计划	1
1. 2 小卫星技术发展趋势	4
1. 3 小卫星技术面临的机遇和挑战	5
参考文献	9
第二章 北京一号小卫星数据获取	11
2. 1 概述	11
2. 2 北京一号小卫星平台	11
2. 3 北京一号小卫星载荷	14
2. 3. 1 多光谱遥感器	16
2. 3. 2 全色遥感器	17
2. 4 北京一号小卫星数据产品	20
2. 4. 1 小卫星数据产品类型	20
2. 4. 2 小卫星数据产品应用潜力分析	20
2. 5 北京一号小卫星数据的地面接收、处理与分发系统	23
2. 5. 1 地面接收系统	23
2. 5. 2 产品生成系统	24
2. 5. 3 应用处理系统	24
2. 5. 4 用户服务与产品分发系统	24
参考文献	25
第三章 北京一号小卫星数据辐射定标	26
3. 1 概述	26
3. 2 卫星数据辐射定标	26
3. 2. 1 发射前的实验室定标	26
3. 2. 2 星上定标	27
3. 2. 3 场地定标	27
3. 3 小卫星数据辐射定标	29
3. 3. 1 小卫星数据辐射定标的特殊性	29
3. 3. 2 相对辐射定标	30

3. 3. 3	场地绝对辐射定标	36
3. 3. 4	交叉辐射定标	45
3. 4	小卫星数据辐射定标精度评价	50
3. 4. 1	场地定标误差来源与精度评价	50
3. 4. 2	交叉辐射定标误差来源与精度评价	52
3. 5	小卫星辐射定标软件	55
3. 6	本章小结	57
	参考文献	58
 第四章 北京一号小卫星图像几何纠正		60
4. 1	概述	60
4. 2	图像配准	61
4. 2. 1	图像配准的研究现状	61
4. 2. 2	图像配准的原理	62
4. 2. 3	图像配准的常用算法	63
4. 3	几何纠正	64
4. 3. 1	空间变换模型	64
4. 3. 2	重采样理论	66
4. 4	局部自适应的 SIFT 自动配准算法	68
4. 4. 1	算法的提出	68
4. 4. 2	算法流程	69
4. 4. 3	算法原理及实现	69
4. 4. 4	算法的优点	73
4. 4. 5	实验结果	74
4. 4. 6	本节小结	76
4. 5	基于特征控制点库的遥感影像校正系统	76
4. 5. 1	基本思想	76
4. 5. 2	系统工作流程	77
4. 5. 3	系统概述	77
4. 5. 4	实例操作	81
4. 5. 5	本节小结	83
4. 6	精度评价	83
4. 6. 1	局部自适应的 SIFT 配准算法精度评价	84
4. 6. 2	基于特征控制点库的遥感影像校正系统精度评价	87
4. 7	本章小结	87
	参考文献	89

第五章 北京一号小卫星数据融合	91
5.1 卫星数据融合概述	91
5.1.1 卫星数据融合层次	91
5.1.2 卫星数据融合的发展现状和研究热点	92
5.1.3 本章内容概要	93
5.2 多分辨率分析的卫星数据融合	93
5.2.1 小波数据融合	93
5.2.2 后小波算法提出的原因	95
5.2.3 曲波数据融合	96
5.2.4 轮廓波数据融合	97
5.2.5 融合模型总结	103
5.3 BJ-1 数据融合技术	105
5.3.1 ARSIS 概念下的融合流程	105
5.3.2 IHS 算法改进	106
5.3.3 IHS-Xlet 融合算法	107
5.3.4 融合模型建立	107
5.4 BJ-1 小卫星融合实验与效果评价	110
5.4.1 融合软件模块设计	110
5.4.2 融合评价体系建立	111
5.4.3 BJ-1 星内数据融合实验	113
5.4.4 BJ-1 星内数据 IHS-Xlet 融合实验	115
5.4.5 BJ-1 与其他卫星数据融合实验	116
5.5 本章小结	119
参考文献	120
 第六章 北京一号小卫星数据辐射归一化	 125
6.1 概述	125
6.2 遥感图像辐射归一化的基本原理与方法	125
6.2.1 遥感图像辐射归一化的基本原理	125
6.2.2 辐射归一化的主要方法及其特点	126
6.2.3 辐射归一化的性能评估指标选取	130
6.3 基于 PIF 的辐射归一化改进算法	131
6.3.1 辐射归一化算法的改进设计	132
6.3.2 算法实现及不同时相遥感数据辐射归一化实验分析	136
6.4 多时相北京一号影像的土地利用变化检测	147
6.4.1 变化检测的理论与方法	148
6.4.2 数据预处理	150
6.4.3 变化检测	152

6. 4. 4 本章小结	158
参考文献	160
第七章 植被指数产品一致性研究	163
7. 1 概述	163
7. 2 不同传感器植被指数一致性研究	164
7. 2. 1 实验数据及流程	164
7. 2. 2 数据处理	165
7. 2. 3 数据比较与分析	169
7. 3 植被指数时间序列一致性研究	172
7. 3. 1 遥感植被指数时间序列滤波重建算法归纳	172
7. 3. 2 三类主要滤波重建算法介绍及评述	174
7. 3. 3 一种傅立叶谐波改进的植被指数时间序列重建算法	177
7. 3. 4 算法验证与应用分析	180
7. 4 本章小结	194
参考文献	195
第八章 北京一号小卫星数据的多领域应用	200
8. 1 基础地理信息建设	200
8. 2 国土资源调查监测	201
8. 3 城市管理建设	205
8. 4 环境监测	210
8. 5 重大灾害动态监测	212
8. 6 其他应用	217
参考文献	220

第一章 概 述

1. 1 小卫星技术及其星座计划

2008 年对地观测组织提出了构建全球对地观测系统的具体设想, 该组织目前已经包括 74 个国家、欧洲委员会和 51 个参与机构。同年欧盟的航天委员会继续推动了欧洲航天政策制定, 并进一步确认了全球环境与安全监测计划的快速实施需求。从星载遥感技术来看, 唯一满足信息需求的途径是开展成本效率高的地球观测任务, 特别是小卫星任务。

小卫星是相对于所谓的大型卫星而言的, 国际宇航学会 (IAA) 提出了一种简明定义 (如图 1-1), 从卫星重量、成本和响应时间上对小卫星进行了界定 (Sandau, 2006)。由图 1-1 可看出, 重量小于 1 000 kg 的卫星都可以称作小卫星, 卫星重量越轻, 则成本越低, 响应时间越短, 这是发展小卫星计划的强大驱动力。小卫星任务的实现途径有多种。一种途径是聚焦单一任务, 利用现有的技术构建专用于遥感的小卫星系统 (卫星总线和载荷)。另外一种可能的方式是充分利用新技术实现工程元器件的小型化, 利用传感器和设备的微型技术实现对地观测小卫星的高性能。

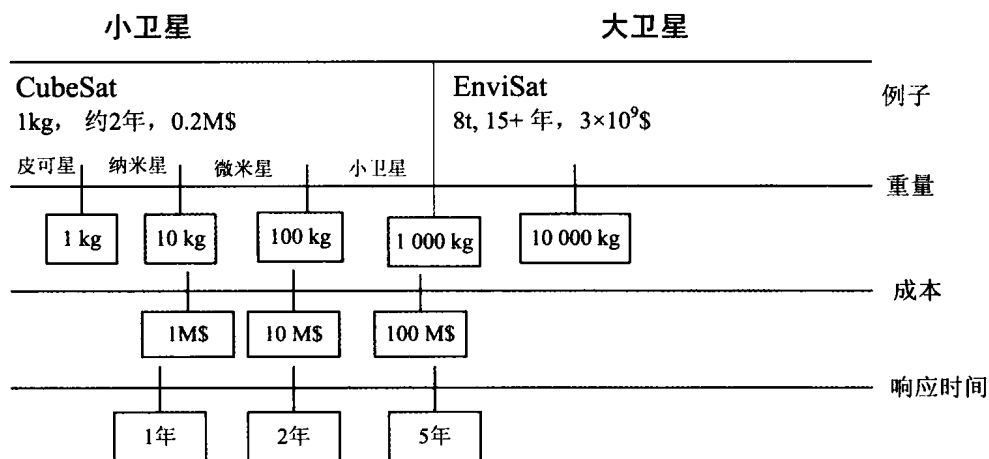


图 1-1 小卫星特点示意图 (Sandau, 2006)

基于现成技术的小卫星为中等研究预算且无航天技术经验的国家提供了一个涉足星载对地观测领域和应用的机会。每个国家都可以在力所能及的范围内运作小卫星对地观测任务, 低成本地有效使用数据, 以及开展应用驱动的任务。这使得许多国家可以通过小而经济的卫星、相关的发射器、地面站、数据分发策略和航天系统管理方法实施或参与对地观测任务。20 世纪 80 年代, 数字通信技术、大规模集成电路技术和计算机技术迅猛发展, 为卫星的小型化、集成化奠定了基础, 从 80 年代

中期开始,世界航天界兴起了发展小卫星的热潮(王晓海,2002)。经过几十年的快速发展,小卫星技术已经从探索研究阶段发展到科学应用阶段,小卫星已经是卫星家族不可缺少的重要一员,是大卫星的必要补充,目前已在对地观测、通信、科学实验和星际探测等应用领域广泛应用(谢文君,韦玉春等,2000)。尤其重要的是,小卫星星群或星座的发展将取代部分现代大型应用卫星的功能,已经引起卫星应用和空间技术发展的重大变革。

在过去四年里,约有100颗小卫星发射到太空中,其中美国占了15颗。德国微小卫星BIRD作为旨在解决遥感问题的典范(Brie,2003),于2001年10月发射,飞行在距地572 km的太阳同步轨道上。它主要携带有两个载荷:红外热点识别遥感器系统(HSRS),具有中红外和热红外通道各一个,探测器为两个碲镉汞线性光电二极管阵列,像元分辨率370 m;广角光电子立体扫描仪(WAOSS-B),是一个推扫式三线阵立体扫描仪,三个探测器阵列位于一个单独的广角镜头的焦平面上,前视和后视线阵分别有可见光和(VIS)和近红外(NIR)滤光片,而垂视线阵为一个NIR滤光片,像元分辨率185m。可见、近红外、中红外和热红外通道的结合能够探测并区分云和烟雾,准确检测火迹,大大降低林火虚警率。另外,由于其空间分辨率高于AVHRR和MODIS,提供的火灾制图相对精细,更有利于火灾监测和防治。

但是,单一的一颗小卫星无法满足快速覆盖全球或在特定时间对特定地区集中监测的需求。对地观测小卫星通常也是采用太阳同步极轨轨道。大致地说,当这种轨道高度为约600 km左右时,倾角90°左右,绕地球一周大约100分钟。根据遥感器对地面覆盖刈幅宽度,确定遥感飞行覆盖地球表面的周期,因此也确定了具体的轨道覆盖构型。有许多地球环境监视的卫星观测任务,需要反复地观测同一地面,以便掌握环境快速变化的状态(例如洪水泛滥)。目前大多数极轨平台单颗卫星无法满足这一要求。应当说明,气象卫星每天两次覆盖地球,从时相上似乎满足这一要求,但是,它的图像空间分辨率(1 km~1.5 km)较粗,无法对具体地区实施精确监测。

1992年,我国著名航天专家陈芳允先生提出了地球环境观测小卫星星座系统的技术方案,这是首次提出对地观测小卫星星座。其基本思想是,在监测地球环境及其变化方面,目前的气象和陆地卫星其地面分辨率和重复观测时间间隔都不能同时满足用户的使用要求。如果采用中等分辨率(几十米或几百米)的光学图像和每天两次(重访时间为12小时)的测量频度,就可以观测到地球表面70%以上的资源、灾害和环境变化。环境监测对地观测小卫星星座的思想已为全世界所接受。意大利、英国等航天专家又提议一批小卫星星座的具体方案,并已开始实施。

小卫星技术为星座计划的实现提供了独特的优势,通过星座计划可以高时间分辨率覆盖全球。在这方面,大卫星是无能为力的。小卫星星座具有许多优点,主要表现在:

- (1) 增加星座中卫星的数目,可提高时间分辨率;
- (2) 得益于小卫星的低成本,可以很容易地替换星座中的单颗卫星;
- (3) 单颗卫星的故障不会导致星座系统性能的陡降。

1998 年意大利空间研究院 F. Caltagirone 等人提出“地中海盆地观测小卫星星座”方案。目标是观测地中海地区的环境,内容包括灾害险情的管理,地质、农林、水、冰、土地利用,景观生态等。重点强调灾害管理、海岸监视和海洋污染等应用。整个星座由 7 颗卫星组成,又分光学星座和雷达星座。光学星座由处于同一轨道平面上的 3 颗卫星组成。卫星高度 619.5 km,倾角度 97.86° ,近中午太阳同步轨道。当卫星一次可覆盖赤道地面幅宽 890 km 时,最大再访率可达 24 小时。雷达卫星星座由 4 颗卫星组成,高度和倾角与光学卫星相同,采用黄昏-清晨近太阳同步轨道。当卫星一次可覆盖赤道地面幅宽 520 km 时,最大再访率可达到 12 小时。为实现上述功能,对光学和雷达有效载荷技术进行了精心的设计。

快眼(RapidEye)是德国的一个商业多光谱对地观测计划,是由 5 颗小卫星组成的星座。快眼的五颗卫星于 2008 年 8 月在哈萨克斯坦由俄罗斯的一枚火箭发射成功,五颗卫星均匀分布于 630 km 高的太阳同步轨道上,以确保一致的成像条件和较短的回访周期。利用体指向技术(body pointing technique)可以实现在纬度 $\pm 70^{\circ}$ 范围内重访周期为 1 天,在中纬度地区平均天底重复覆盖周期为 5.5 天。快眼的传感器在 400 ~ 850 nm 波长范围内对 5 个光学波段成像,天底点的像元大小为 6.5 米。幅宽 80 km,每轨最长为 1 500 km。快眼主要用于农作物长势监测与估产、20 m $\times$ 20 m DEM 生成以及灾害评价、三维可视化等。

“灾难监测星座(Disaster Monitoring Constellation, DMC)”是英国萨里(Surrey)大学空间中心在 1999 年以公告形式提出的一个灾害监视微卫星星座系统的建议,目的是用小卫星星座来改善当前所有卫星系统在覆盖能力和再访时间上存在的不足,为世界范围的自然灾害提供每天的重复监视。到目前为止,共有来自英国、阿尔及利亚、土耳其、尼日利亚、中国、越南、泰国 7 个国家参与 DMC 计划。DMC 星座所有的卫星都由英国萨里大学空间中心统一研制。每颗小卫星都至少携带 32 m 空间分辨率的宽视场成像仪,该成像仪有三个波段,分别是和 Landsat TM 的 2、3、4 波段对应的蓝光波段(520 ~ 620 nm)红光波段(630 ~ 690 nm)和近红外波段(760 ~ 900 nm)。每个波段由两个相机成像,成像方式是线阵 CCD 推扫式,两个相机拼接形成对地 600 km 的宽视场扫描。由于宽视场和星座协同观测,地球上任意一点,每 12 小时便有一颗卫星飞过其上空成像。我国的 DMC 小卫星(现称北京一号小卫星)于 2005 年 10 月 27 日发射成功,除了 32 米宽视场成像仪,还携带有 4 米全色传感器。

DMC 星座的实施和组织是开放式的,任何组织和国家都可以根据协议要求自由参加。参加方除了对自己的数据和卫星享有完全自主的权利外,在发生灾难的时候,所有的卫星将对灾难地区协同观测,保证灾难地区能够获得该星座的最高时间分辨率的图像;在日程运行期间,成员之间可以根据协议和其他成员交换和共享数据。

中国在小卫星的研制和应用方面紧跟世界步伐,除了北京一号小卫星,通过国际合作和自主研制已经形成了多种小卫星系列(张祥根, 2000):科学实验小型卫星“实践 5 号”、清华大学与英国萨里大学联合研制的“清华一号”、哈尔滨工业大学研制的“探索一号”、中国空间技术研究院研制的“海洋一号”。目前我国另外一个引人注目的小卫星星座计划是国家减灾中心和国家环保局组织有关单位研制的我

国“环境与灾害监测小卫星星座系统”。为了实现全天候、全天时、动态的灾害实时、动态监测，逐步建立国家防灾、抗灾、救灾技术支撑体系，不断提高我国综合减灾的能力，根据国家计划，“环境与灾害监测小卫星星座系统”拟采用分步实施战略：“十五”期间，采用“2+1”方案，即发射两颗光学小卫星和一颗合成孔径雷达小卫星；“十一五”期间，实施“4+4”方案，即发射4颗光学小卫星和4颗合成孔径雷达小卫星组成的星座。

2008年9月6日11点25分，环境与灾害监测小卫星星座A、B星由CZ-2C/SMA火箭在太原卫星发射中心采用一箭双星方式成功发射并顺利进入预定轨道，随即工作转入在轨测试阶段。“2+1”阶段星座组成共三颗卫星，包括两颗光学小卫星和一颗合成孔径雷达小卫星。星上有效载荷有宽覆盖多光谱可见光相机（星下点地面像元分辨率：30 m；谱段：0.43~0.52 μm ，0.52~0.60 μm ，0.63~0.69 μm ，0.76~0.90 μm ；图像幅宽： ≥ 700 km；重访周期：48小时）；红外相机（星下点地面像元分辨率：150 m（近、中红外），300 m（热红外）谱段：0.75~1.10 μm ，1.55~1.75 μm ，3.50~3.90 μm ，10.5~12.5 μm ；幅宽：720 km；重访周期：96小时）；超光谱成像仪（地面像元分辨率：100 m；工作谱段：0.45~0.95 μm ；平均光谱分辨率：5 nm；幅宽：50 km；谱段数：115；侧向可视视场角： $\pm 30^\circ$ ；重访周期：96小时）；合成孔径雷达（重访周期：96小时）。

1.2 小卫星技术发展趋势

随着多领域技术的不断完善与发展，小卫星技术的发展趋势主要表现在以下几方面（Rainer, 2010）：

- 1) 电子小型化和相关性能的提高，以及光学器件、机械和材料的改进，模式识别、信号处理、计算机技术、通信和导航技术的发展，正不断地服务于小卫星技术的完善；
- 2) 近年来涌现出新的小型发射器，如利用改进的军事导弹发射小卫星；
- 3) 争取太空独立性的可能，许多国家可以支付得起小卫星的发射与运行，以获得对地观测与防御能力，而不需要依赖太空大国的输入；
- 4) 从配备有协同工作的多个仪器载荷的大型科学任务向服务于特定目标的运行任务的转化；
- 5) 任务复杂性以及任务中与管理及安全规程等有关的成本的降低；
- 6) 具有快速且成本效率高的数据分发能力的小型地面接收站网络的发展；
- 7) 业务化响应的太空：太空飞行任务中一个新的范式将使得对现实事件（如灾害）的快速响应成为可能。

另外，小型化和新的高性能技术（如纳米技术）的置入使得基于合作卫星的航天任务成为可能，这就是卫星编队飞行。该技术能增强卫星自主控制能力，在没有地面的干预下卫星能自主地制定、执行和校正飞行计划，以维持卫星的位置和飞行方向。协调平台系统不仅能够替换一个较大型的卫星，还能够实现整体方式所达不到的性能。卫星编队能够协同使用搭载在不同卫星上的载荷，而不是像星座计划那

样增加载荷的数量。卫星编队从系统设计（集中或分散方式）、载荷设计（同步性、数据处理等）、编队飞行引导和控制等方面对技术提出了挑战。

GRACE 是美国宇航局（NASA）和德国 DLR 公司之间的合作项目，是卫星编队的一个例子。该项目自 1996 年由德克萨斯大学航天研究中心（UTCSR）、喷气动力实验室（JPL）、劳拉航天系统（SSL）和德国 DLR 公司联合提出，1997 年入选为 NASA 地球系统科学探路者项目的第二个任务。

GRACE 任务于 2002 年发射，对地球重力场进行精确制图。GRACE 由两颗相同的航天器组成，二者相距 220 km，飞行在 500 km 极地轨道上（<http://www.csr.utexas.edu/grace/mission>）。GRACE 在 5 年的运行期里每 30 天获取一次全球重力场数据，科学数据包括卫星间的距离变化测量、每颗卫星的加速计、GPS 和姿态测量数据。

1.3 小卫星技术面临的机遇和挑战

小卫星采用的技术一方面具有设计标准化和产品模块化、技术集成化、快速吸纳新技术等特点。另一方面，由于受质量和体积的限制，无法采用在大卫星上惯用的姿态控制参数，不能保证应有的姿态稳定性和相应的指向精度；小卫星的光学遥感器往往没有设计一个定标装置。在这种情况下获取的小卫星数据，必须采用不同于大卫星的特殊处理方法，使得处理后数据满足实际应用中的人工目视解译、计算机自动分类和几何量算等方面的要求（韩栋 & 纪凯，2007）。

常规小卫星遥感数据产品以 1B 数据等初级数据产品为主额，即使提供一部分高级数据产品，但也是没有经过系统验证的，且产品种类不够丰富、标准化程度也比较差，难以直接在科学研究和资源环境监测中使用。所以，必须将这些数据进行深入开发和进一步处理，形成相应的标准产品，才能方便地在科学研究中使用。

遥感技术的发展使小卫星传感器的种类日益丰富，所获取对地观测数据的空间分辨率、波谱分辨率和辐射分辨率不断提高，数据的种类与容量都达到了前所未有的规模，极大地促进了遥感技术在城市管理、环境监测、农业估产、灾害评估等各个领域的应用，取得了一定应用成效。但是，遥感数据的处理技术还远远滞后于遥感数据的应用需求。而小卫星的应用目前还是以定性遥感应应用为主，定量化遥感信息产品的加工与服务尚未开展，未能发挥新型对地观测数据遥感应应用的潜在的巨大价值。下面就遥感图像处理中的关键技术——定标、图像配准、图像融合、图像归一化等方面的研究现状简要概述如下：

传感器的精准辐射定标是决定遥感定量化应用成果好坏的关键和前提。传感器的辐射定标是指建立传感器输出的数字量化值与其对应视场的人射辐亮度之间的定量关系，在遥感定量化研究中具有重要意义（田国良，2005）。交叉定标是用具有较高辐射定标精度的遥感器对一个待定标遥感器进行辐射定标的方法。该方法不需要精确的大气参数测量，可以在投入相对少的人力和物力的情况下得到相对高的定标精度，是目前常用的辐射定标方法之一。LANDSAT、SPOT 和 MODIS 等进行了交叉辐射定标（Teillet, 2006; Thome, 1998; David, 2006），达到了比较理想的定标效