

SYNTHETIC APERTURE RADAR INTERFEROMETRY
PRINCIPLE AND APPLICATION

李平湘 杨杰 编著

雷达干涉测量 原理与应用

测绘出版社

ISBN 7-5030-1397-4



9 787503 013973 >

ISBN 7-5030-1397-4

定价:28.00元

雷达干涉测量原理与应用

Synthetic Aperture Radar Interferometry
Principle and Application

李平湘 杨杰 编著

测绘出版社

· 北京 ·

内容提要

该书系统地阐述雷达干涉测量的发展和雷达遥感的基本原理和方法,详细给出 InSAR 处理生成 DEM 的实现流程及其关键算法。全书共分 7 章,包括如下内容:系统分析和总结国内外 InSAR 影像提取 DEM 研究现状;阐述数字高程模型生成技术及质量控制,InSAR 的基本处理原理,并详细给出 InSAR 处理流程;比较和分析现有的干涉相位解缠算法,提出一种基于经典相位解缠算法(支切法)的改进算法;讲述基于遗传算法的相位解缠算法;利用干涉测量处理分析的理论,系统全面地分析利用 InSAR 影像提取 DEM 时产生误差的因素,并给出误差估计的定量化公式;给出一些关键算法的原程序。

该书可作为我国研究 InSAR 处理的人员的参考书,也可作为高年级本科生和相关专业研究生的入门教材。

© 李平湘,杨杰 2006

图书在版编目(CIP)数据

雷达干涉测量原理与应用/李平湘,杨杰编著. —北京:测绘出版社,2006.12
ISBN 7-5030-1397-4

I. 雷... II. ①李... ②杨... III. 雷达—干涉测量法 IV. P225.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2006)第 066518 号

责任编辑:徐建春/责任校对:董玉珍/封面设计:李 伟/绘图:郭 飞

测绘出版社 出版发行

地址:北京市西城区复外三里河路 50 号 邮编:100045
电话:(010)68512386 68531558 网址:www.sinomaps.com
北京通州区次渠印刷厂印刷 新华书店经销
成品尺寸:169mm×239mm 印张:12 彩色印张:0.25 字数:258 千字
2006 年 12 月第 1 版 2006 年 12 月第 1 次印刷
印数:0001—1500 册
ISBN 7-5030-1397-4/P·434
定价:28.00 元

如有印装质量问题,请与我社发行部联系

序

应武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室青年学者李平湘教授、杨杰博士之邀,为其撰写的专著《雷达干涉测量原理与应用》作序。

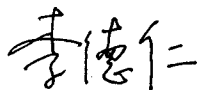
干涉雷达技术发展 30 年来,其应用领域不断发展,主要包括:地形测量和高精度数字地形图的生成,地壳形变与地震位移的测量,火山监测,冰川的流速和运动监测,地面沉降,森林调查,海洋现象和舰船的监测,军事应用,运动目标的发现与监视以及 SAR 图像几何和辐射校正等。

从雷达影像提取高程信息是摄影测量与遥感领域长期关注的课题,也是地形测绘、自然灾害监测、自然资源调查等空间对地观测技术应用领域的先行基础工作,有着巨大的社会和经济效益。雷达干涉测量(InSAR)是获取高精度地面高程信息的一种新手段,差分雷达干涉测量(D-InSAR)技术能应用于地面沉降的监测,可提供精度达到毫米级的地面形变监测精度。

武汉大学测绘遥感信息工程国家重点实验室多年来一直跟踪国际雷达遥感相关的前沿研究,开展了大量的技术攻关工作,同时也取得了可喜的研究成果。近几年来,本书的作者李平湘教授、杨杰博士,两位作者的博士论文都是专门针对 InSAR 技术进行研究,其中杨杰博士的论文是在我的指导下完成。李平湘教授主持了国家“973”课题,同时两位作者都作为骨干成员先后参与了国家“863”雷达课题的研究,其中自主开发的干涉雷达处理软件已经嵌入到国家“通用遥感平台”。利用二位作者研究的方法,对德国地区 InSAR 处理得到的 DEM 精度在 10m 以内、对天津地区地面沉降的监测结果达到厘米级精度。

该书系统地综述了雷达干涉测量的发展和有关雷达遥感的基础知识,注重基本原理和方法的描述,同时注重对关键技术进行重点阐述,做到了深入浅出。整个内容形成了较为完整的体系,是近年来干涉雷达测量用于地形测量从理论到实践较完备的专著,因此,我推荐给不同专业背景的学者阅读或参考。

在目前雷达硬件技术飞速发展,国外 InSAR 理论研究相对成熟,国内数据处理相对滞后的情况下,期望本书的出版能够起到积极的作用,推动我国 InSAR 在地形测绘领域的理论研究和数据处理水平向前发展。我殷切的希望两位青年学者能够百尺竿头更上一层楼,在雷达测绘领域做出更大贡献。



中国科学院、中国工程院院士

二〇〇六年元月

前 言

合成孔径雷达干涉测量 (synthetic aperture radar interferometry, InSAR) 是用来提取地表三维和高程变化信息的一项先进技术,它通过建立传感器、轨道和地球模型之间的几何关系,利用雷达干涉数据导出的相位信息可快速大面积的获取高精度数字地形信息。从 20 世纪 60 年代以来,合成孔径雷达干涉测量技术发展迅速,应用十分广泛,例如,已用于冰川和冰缘的变化以及地表形变的监测,城市沉降、火山喷发、地震、滑坡等地质灾害的监测,监测精度已达到毫米级。合成孔径雷达干涉测量技术现已成为遥感研究领域的新热点。

合成孔径雷达干涉测量 (InSAR) 是通过机载系统发展起来的,其最初的应用领域受到局限。进入 20 世纪 90 年代后,一系列星载系统,如欧洲的 ERS—1/2、JERS—1、RADARSAT—1 相继发射成功,提供了大量的星载 SAR 数据。由此,合成孔径雷达干涉测量技术也从纯理论研究迈向实用阶段,例如,在 2000 年,美国利用航天飞机搭载合成孔径雷达飞行 11 天,获取了覆盖全球 80% 的 DEM 数据,高程精度在 20 米以内。在我国,一批学者也致力于合成孔径雷达干涉测量技术的基础理论与应用研究。但是,相对于国际先进水平,我们在数据获取与处理技术手段方面仍然滞后,例如,InSAR 数据的处理几乎完全依赖于进口软件,还不能满足国家建设的迫切需要。因此,要加强 InSAR 及其数据处理关键技术的研究和创新,积极推动我国自主版权的数据处理软件平台的开发,满足未来雷达对地观测技术发展的需求。

本书从 InSAR 几何模型入手,全面地阐述了从 InSAR 影像提取 DEM 的基本理论、数据处理技术、实用化系统。第一章为概述部分,阐述了 InSAR 的发展及在地形测绘中和其他领域的应用。第二章从 InSAR 的成像几何模型入手,给出了 InSAR 中关键参量的求解方法以及可用于干涉测量的 InSAR 数据。第三章系统地总结了 DEM 数据获取、存储、处理过程以及应用中的一些典型理论与方法,分析了 DEM 数据来源、数据采集、生产流程以及质量控制等因素对 DEM 精度和可靠性的影响,比较了常规 DEM 生产方法与 InSAR 生成 DEM 方法的特点。第四章从 InSAR 提取 DEM 的过程,分析了数据处理的理论和实现步骤,详细推导了从相位到高程转换的模型,对其中的典型方法进行了分析和评述。第五章针对相位解缠这一核心技术进行了分类、比较,并对各自适用的条件进行了总结。在经典相位解缠的基础上,提出了改进支切法相位解缠和基于遗传算法的相位解缠的理论与方法。第六章结合作者多年的研究成果,系统地阐述了 InSAR 的应用。第七章简要地介绍了差分干涉雷达技术 (D-InSAR) 的基本原理和应用。全书内容充实,针对性强,对从事 InSAR 处理的读者具有较高的参考价值。

在本书稿的撰写、修改和出版的过程中,得到了许多知名学者和有关人士的帮

助。李德仁院士作为我们的老师和领导,一直亲自关注本书的撰写,为本书提出了宝贵的意见。测绘遥感信息工程国家重点实验室的张良培教授,首先审阅了书稿,对本书的整体结构和一些具体细节都提出了宝贵的修改意见。本书的部分实验是在中国测绘科学研究院完成的,得到了张继贤院长及相关人员的热情帮助。德国波茨坦地球科学研究中心的夏耶教授为我们的研究工作提供了许多珍贵的资料,同时对我们的研究工作也给予了积极的指导。在此表示感谢。

本书的研究工作得到了国家自然科学基金(40523005)“高分辨率遥感影像三维测图与更新的理论和方法研究”、国家“973”课题(2003CB415205)“流域水沙及环境变化特征信息监测反馈”、测绘遥感信息工程国家重点实验室基金“利用 In-SAR 数据反演地面信息的关键技术研究”、国家测绘局项目“我国西部 1:5 万空存区测图技术”等课题的资助。

由于作者水平所限,书中难免有错误及不当之处,敬请读者不吝指教。

作者

二〇〇六年元月

目 录

第一章 概 述	(1)
§ 1.1 合成孔径雷达(SAR)的发展历史	(1)
§ 1.2 InSAR 的发展及其在地形测量中的应用	(5)
§ 1.3 InSAR 影像提取 DEM 的现状与发展趋势	(8)
§ 1.4 InSAR 在其他领域的应用	(10)
1.4.1 地形坡度测量	(10)
1.4.2 工程变形监测	(10)
1.4.3 地物、地貌分类	(10)
1.4.4 海流测量	(11)
1.4.5 冰川和冰原监测	(11)
1.4.6 滑坡、崩塌和泥石流监测	(12)
1.4.7 地震探测	(12)
1.4.8 火山灾害监测	(13)
参考文献	(13)
第二章 干涉雷达测量的基本原理	(15)
§ 2.1 干涉测量模型	(15)
2.1.1 L. C. Graham 对干涉模型的描述	(15)
2.1.2 A. Currie 对干涉模型的描述	(18)
2.1.3 改进的 InSAR 模型	(20)
§ 2.2 干涉基线估算	(21)
§ 2.3 多普勒距离等式的几何关系	(22)
§ 2.4 干涉相干	(24)
2.4.1 干涉相干的估计	(24)
2.4.2 去相干源	(25)
§ 2.5 干涉测量的 SAR 数据	(26)
§ 2.6 ERS—1/2 的 InSAR	(27)
§ 2.7 干涉质量分析与评价	(28)
参考文献	(30)
第三章 数字高程模型	(31)
§ 3.1 数据获取	(31)
3.1.1 获取方法	(32)

3.1.2 获取方法比较	(34)
§ 3.2 生成技术	(35)
3.2.1 DEM 生成技术流程	(36)
3.2.2 DEM 生成注意事项	(37)
§ 3.3 质量控制	(38)
3.3.1 质量控制手段	(38)
3.3.2 精度分析	(40)
参考文献	(43)
 第四章 InSAR 生成 DEM	(44)
§ 4.1 基本流程	(44)
§ 4.2 复图像配准	(45)
4.2.1 内插算法	(45)
4.2.2 配准算法	(46)
§ 4.3 原始干涉数据滤波	(50)
§ 4.4 干涉图生成	(51)
§ 4.5 相位数据质量评价	(52)
§ 4.6 干涉图滤波	(53)
4.6.1 干涉条纹的特点	(53)
4.6.2 圆周期均值和圆周期中值滤波	(54)
4.6.3 加权圆周期均值滤波	(56)
§ 4.7 平地效应消除	(60)
4.7.1 基于精密轨道参数平地效应的去除	(60)
4.7.2 基于粗精度的 DEM 数据的平地效应消除	(61)
§ 4.8 相位解缠算法	(62)
§ 4.9 目标高程反演	(64)
4.9.1 Schwabisch 方法	(64)
4.9.2 Rodriguez 方法	(64)
4.9.3 模型推导法	(66)
§ 4.10 地理编码	(66)
§ 4.11 从干涉条纹直接生成精确的 DEM	(67)
参考文献	(69)
 第五章 相位解缠	(70)
§ 5.1 解缠问题的由来	(70)
§ 5.2 理想情况下相位解缠的数学描述	(71)

5.2.1	一维数学模型	(71)
5.2.2	二维数学模型	(72)
§ 5.3	噪声情况下的病态模型	(73)
§ 5.4	噪声和不一致性检测	(74)
5.4.1	相位残差检测及处理	(74)
5.4.2	相位失真	(78)
§ 5.5	传统相位解缠算法	(79)
5.5.1	支切法	(79)
5.5.2	路径跟踪法	(79)
5.5.3	基于最小二乘原理的相位解缠方法	(84)
5.5.4	利用离散余弦变换的相位解缠算法	(87)
5.5.5	卡尔曼滤波法	(88)
5.5.6	瞬时频率相位解缠算法	(89)
5.5.7	基于格林公式的相位解缠算法	(90)
5.5.8	改进的最小二乘法	(91)
5.5.9	基于网络规划的算法	(91)
5.5.10	其他方法	(92)
5.5.11	运算中需要考虑的问题	(92)
§ 5.6	改进支切法	(94)
§ 5.7	遗传算法	(97)
5.7.1	遗传算法的基本概念	(98)
5.7.2	遗传算法的基本过程和结构	(98)
5.7.3	遗传算法的基本特征	(99)
5.7.4	InSAR 相位解缠	(101)
5.7.5	相位解缠问题在遗传空间中的描述	(102)
参考文献		(104)

第六章	SAR 数据处理及应用	(107)
§ 6.1	InSAR 处理软件简介	(107)
§ 6.2	InSAR 提取地面 DEM 流程	(108)
§ 6.3	InSAR 处理的应用	(109)
6.3.1	国外某地区数据	(110)
6.3.2	南极地区数据	(111)
6.3.3	三峡地区数据	(112)
参考文献		(114)

第七章 雷达差分干涉技术	(115)
§ 7.1 差分干涉的基本原理	(115)
§ 7.2 D-InSAR 数据应用中的几点问题	(117)
7.2.1 干涉相位量测的灵敏度与形变检测的可行性	(117)
7.2.2 差分干涉测量在实际应用中的局限性	(118)
§ 7.3 InSAR、GPS 和地面气象观测资料集成用于变形测量	(119)
7.3.1 GPS 与 InSAR 特点和互补性	(119)
§ 7.4 D-InSAR 与其他数据集成的问题和展望	(126)
参考文献	(128)
 附录一 基线距	 (130)
 附录二 基本参数及其关系	 (132)
 附录三 部分相位解缠程序	 (134)

Contents

Chapter 1 Introduction	(1)
§ 1.1 Review of SAR	(1)
§ 1.2 Application of InSAR for topographic surveying	(5)
§ 1.3 Extraction of DEM from InSAR	(8)
§ 1.4 Applications of InSAR in other fields	(10)
1.4.1 Terrain slopes measurement	(10)
1.4.2 Excavation deformation monitoring	(10)
1.4.3 Classification of topographical and relief objects	(10)
1.4.4 Sea—current monitoring	(11)
1.4.5 Glacier and firn monitoring	(11)
1.4.6 Landslide, Rock Fall and debris flow monitoring	(12)
1.4.7 Earthquake monitoring	(12)
1.4.8 Volcanic hazards monitoring	(13)
Reference	(13)
 Chapter 2 Principles of SAR Interferometry	 (15)
§ 2.1 Model of InSAR Measurement	(15)
2.1.1 Description of L. C. Graham model	(15)
2.1.2 Description of A. Currie model	(18)
2.1.3 Improved InSAR model	(20)
§ 2.2 Interferometric Baseline approachment	(21)
§ 2.3 Geometry relationship of Doppler range equations	(22)
§ 2.4 Interferometric coherence	(24)
2.4.1 Approximation of interferometric coherence	(24)
2.4.2 Decoherence of coherence source	(25)
§ 2.5 SAR Data of Interferometric measure ment	(26)
§ 2.6 Interferometric SAR of ERS-1/2	(27)
§ 2.7 Analysis and evaluation of interferometric measurement	(28)
Reference	(30)
 Chapter 3 Digital Elevation Model	 (31)
§ 3.1 Acquisition of data	(31)
3.1.1 Methods of data acquisition	(32)

3.1.2	Comparison of data acquisition methods	(34)
§ 3.2	Technique of generating DEM	(35)
3.2.1	Flow of DEM generation technique	(36)
3.2.2	Key points of DEM generation	(37)
§ 3.3	Quality control	(38)
3.3.1	Quality control methods	(38)
3.3.2	Analysis of the precision	(40)
Reference		(43)

Chapter 4 Generation of DEM from SAR Interferometry (44)

§ 4.1	Basic flow	(44)
§ 4.2	Image registration of complex image	(45)
4.2.1	Interpolation arithmetic	(45)
4.2.2	Registration arithmetic	(46)
§ 4.3	Filter of original InSAR data	(50)
§ 4.4	Generation of interference fringes	(51)
§ 4.5	Evaluation of phase Data Quality	(52)
§ 4.6	Filtering of interference fringes	(53)
4.6.1	Characteristics of Interference fringes	(53)
4.6.2	Circle period means filtering	(54)
4.6.3	Weighted Circle period means filtering	(56)
§ 4.7	Flat-earth effect removal	(60)
4.7.1	Remove flat-earth effect based on precision orbit parameter	(60)
4.7.2	Remove flat-earth effect based on coarse DEM data	(61)
§ 4.8	Phase unwrapping algorithms	(62)
§ 4.9	DEM reconstruction	(64)
4.9.1	Schwabisch Method	(64)
4.9.2	Rodriguez Method	(64)
4.9.1	Method of model derivation	(66)
§ 4.10	Geocoding	(66)
§ 4.11	Direct generation of precise DEM from interference fringes	(67)
Reference		(69)

Chapter 5 Phase Unwrapping (70)

§ 5.1	Origination of phase unwrapping	(70)
-------	---------------------------------	------

§ 5.2	Mathematical description of phase unwrapping	(71)
5.2.1	One-dimensional phase unwrapping model	(71)
5.2.2	Two-dimensional phase unwrapping model	(72)
§ 5.3	Ill-conditioned model with existence of noise	(73)
§ 5.4	Noise and inconsistency detection	(74)
5.4.1	Detection and processing of residual error of phase	(74)
5.4.2	Distortion of phase	(78)
§ 5.5	Conventional method of phase unwrapping	(79)
5.5.1	Branch cut algorithm	(79)
5.5.2	Quality-guided path following	(79)
5.5.3	Least-squares phase unwrapping	(84)
5.5.4	Discrete cosine transformation for phase unwrapping	(87)
5.5.5	Phase unwrapping based on Kalman filtering	(88)
5.5.6	Instantaneous frequency Phase unwrapping algorithm	(89)
5.5.7	Phase unwrapping based on Green's formula	(90)
5.5.8	Improved least-squares phase unwrapping	(91)
5.5.9	Network programming algorithm	(91)
5.5.10	Other algorithms	(92)
5.5.11	Some problems to be considered in operation	(92)
§ 5.6	Improved branch cut algorithm	(94)
§ 5.7	Genetic algorithms	(97)
5.7.1	Basic concept of genetic algorithms	(98)
5.7.2	Basic process and structure of genetic algorithms	(98)
5.7.3	Basic characteristics of genetic algorithms	(99)
5.7.4	Phase Unwrapping of InSAR	(101)
5.7.5	Spatial genetic description for phase unwrapping	(102)
Reference		(104)

Chapter 6 InSAR Data Processing and Application	(107)
§ 6.1 Brief introduction to InSAR software	(107)
§ 6.2 Process of extraction DEM from InSAR data	(108)
§ 6.3 InSAR application	(109)
6.3.1 Application of abroad InSAR data	(110)
6.3.2 Application of Antarctic InSAR data	(111)
6.3.3 Application of Sanxia InSAR data	(112)
Reference	(114)

Chapter 7 D-InSAR Technique	(115)
§ 7.1 Base principles of D-InSAR	(115)
§ 7.2 Some problems of D-InSAR data application	(117)
7.2.1 Precision of D-InSAR and feasibility of deformation monitoring ...	
.....	(117)
7.2.2 Localization of D-InSAR application	(118)
§ 7.3 GPS, meteorological measurement and InSAR data integration	
.....	(119)
7.3.1 Characteristics of GPS and InSAR	(119)
§ 7.4 Some problems for integration of D-InSAR and others data ...	(126)
Reference	(128)

Appendices

Appendix 1 Base Line Distance	(130)
Appendix 2 Basic Parameters and Their Relationships	(132)
Appendix 3 Some Phase Unwrapping Algorithms	(134)

第一章 概 述

精确的地形信息在地质、地形、水文、冰山、自然灾害监测、自然资源调查等地球物理领域有着十分重要的作用。相关领域的科研人员一直在进行各种探讨和研究,以求用尽可能短的时间获取覆盖面积广、空间分辨率高、精度好的数字高程模型(Digital Elevation Model,简称 DEM)。合成孔径雷达(Synthetic Aperture Radar,简称 SAR)技术与其他遥感技术相比,由于具有全天候、全天时,以及一定的地面穿透能力等独特优点,因此应用领域更加广泛。目前,SAR 技术已经取得了优于米级的空间分辨率(方位分辨率和距离分辨率)。而干涉合成孔径雷达(Interferometric SAR,简称 InSAR)技术又充分利用了雷达所获取的相位信息,极大地增加了雷达数据所提供的信息量,扩大了 SAR 的应用范围。它为 DEM 的快速精确获取提供了一个全新的信息源,是雷达遥感的最新研究方向,也是遥感和摄影测量学科的前沿。正因为如此,InSAR 影像提取 DEM 的方法研究,已成为各国遥感研究领域的热点研究方向之一^[1,2,3]。

§ 1.1 合成孔径雷达(SAR)的发展历史

SAR 是 20 世纪 50 年代末研制成功的一种微波传感器,也是微波传感器中发展最为迅速和最有成效的一种。作为一种主动式传感器,SAR 技术与其他遥感技术相比,它不受光照和天气条件的限制,可全天时、全天候对地观测,还可以穿透一定的地表和植被获取地表下信息。InSAR 影像提取 DEM 的方法研究,已成为各国遥感领域研究的主要方向之一,它可广泛用于冰川、地震、火山、地表沉降等研究中^[4,5]。

早在二次大战期间,雷达遥感就已在战争中发挥作用。20 世纪 50 年代已出现了能成像的机载侧视雷达(SLAR)。1951 年美国 Goodyear 宇航公司的 Carl Wiley 首先提出:可以利用频率分析方法改善雷达的角分辨率。与此同时,伊利诺依大学控制系统实验室证实频率分析方法的确能改善雷达的角分辨率。但由于当时的这些雷达空间分辨率较差,遥感应用上还有很大的局限性。1952 年第一个实用化的 SAR 系统研制成功,1953 年安装在 DC—3 飞机上的 SAR 系统(频率为 930 MHz)获取了第一幅 SAR 影像,这是合成孔径原理和合成孔径雷达发展的最初阶段。1957 年美国密歇根大学雷达和光学实验室研制的 SAR 系统进行了飞行实验,得到了第一张全聚焦的 SAR 图像。从此,合成孔径原理和合成孔径雷达被人们所认识^[6,7]。

20 世纪 60 年代,美国开展了大量的机载 SAR 实验。进入 70 年代,SAR 系统由机载向星载过渡。1972 年“阿波罗 17”登月宇宙飞船上的 SAR 系统是这种过渡的首次尝试。同年,美国国家航空航天局(NASA)的喷气推进实验室(Jet Propulsion Laboratory,简称 JPL)进行了机载 L 波段 SAR 实验,获得了可喜的成果。1978 年在“先驱者金星 1 号”和“海洋卫星(Seasat)1 号”上 SAR 系统得到了成功的应用,尤其是海洋卫星上的 SAR,它是从航天高度向地球环境和资源进行主动微波遥感的第一次试验,引起了遥感领域科技工作者的广泛注意。海洋卫星为期 98 天的飞行结果取得了大量雷达图像,证明了 SAR 从航天高度获取地面高分辨率图像的能力:它的 25m 空间分辨率已经超过了陆地卫星上 MSS 图像的分辨率(78m),也超过了专题制图仪(TM)图像的分辨率(30m);它不会因地面被云层覆盖而产生无效的空白区,具有全天候、全天时的成像工作能力;这是 MSS、TM 以及 SPOT 卫星上 CCD 推扫式扫描仪等无法做到的。Seasat 的发射标志着合成孔径雷达已成功地进入从太空对地面观测的新时代,标志着星载 SAR 由实验研究向应用研究的关键转变。

进入 80 年代以后,美国航空航天局开始有计划地对 SAR 在航天高度进行试验和应用。1981 年 11 月哥伦比亚号航天飞机上搭载了成像雷达 SIR—A,这是一种 L 波段的 SAR,根据它所获得的图像探测到埃及西北部沙漠地区的地下古河床,这一成果引起了国际科技界的震动。1983 年原苏联利用 COSMOS 雷达卫星进行海洋测绘,同时利用 Verena—15 和 Verena—16 宇宙飞船对金星进行雷达测绘。1984 年挑战者号航天飞机上的成像雷达 SIR—B 又一次成功地进行了航天遥感试验,SIR—B 是 SIR—A 的改进型,为双波段(C、L)的合成孔径雷达。该系统同时实现了 SAR 立体成像以及数字记录和数字处理。1988 年 12 月 2 日,美国航天飞机“亚特兰蒂斯”号将“长曲棍球”(Lacrosse)新型军事侦察卫星送入轨道,该卫星是世界上第一颗高分辨率雷达成像卫星,采用 X、L 两个频段和双极化方式。1989 年 NASA 开展了一项星球雷达任务——Magellan 雷达观测金星计划, Magellan 1989 年 5 月 4 日由“亚特兰蒂斯”号送上太空,1990 年 9 月 15 日开始测绘任务,1991 年 5 月 15 日终止。Magellan 雷达工作于 S 波段,HH 极化,距离向分辨率为 120~360 m,方位向分辨率 120~150 m,入射角大于 30° ^[6,7,8]。

原苏联于 1991 年将 ALMAZ—1 送上太空,ALMAZ—1 为 COSMOS—1870 的改进型,其上搭载了 S 波段 SAR,可对地球上 $78^{\circ}\text{N}\sim 78^{\circ}\text{S}$ 之间的地区进行成像,数据的处理采用光学与数字两种方式。同年欧洲空间局(ESA)发射了其第一颗地球资源卫星 ERS—1,其上搭载的 SAR 工作于 C 波段,采用 VV 极化,入射角为 23° ,观测带宽为 100 km,距离向分辨率 26 m,方位向分辨率 28 m,具有全系统校准能力。ERS—1 可提供全球气候变化情况,并对近海水域和陆地进行观测。这颗卫星与其后继卫星 ERS—2 所获取的大量数据被世界各国广泛使用,是性能较好的 SAR 系统之一。1992 年日本发射的地球资源卫星 JERS—1 携带 L 波段