



雷达遥感机理

童 玲 陈 彦 贾明权 著



科学出版社

国家科学技术学术著作出版基金资助出版

雷达遥感机理

童玲 陈彦 贾明权 著

浙江工业大学
图书馆藏书



浙江工业大学图书馆



72014301

科学出版社

北京

内 容 简 介

本书以地物微波散射特性研究为重点,将理论、实验和工程应用实例相结合,介绍了地物介电特性和微波散射特性测量方法、测量系统定标方法、地物散射机理、地物散射模型与反演模型,以及模型和算法的应用,较系统地涵盖了雷达遥感机理和应用的核心内容。本书提供了大量的实验案例、实验结果和分析,可为相关研究提供实验依据,用于模拟结果和反演结果验证。

本书可作为从事雷达遥感机理研究与应用的技术人员和科研院所相关研究人员的参考书,也可以作为高等院校遥感科学与技术、遥感应应用、遥感图像信息提取和遥感图像处理等相关专业的教师、高年级本科生和研究生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

雷达遥感机理 / 童玲, 陈彦, 贾明权著. —北京: 科学出版社, 2014

ISBN 978-7-03-039058-5

I. ①雷… II. ①童…②陈…③贾… III. ①雷达-遥感技术 IV. ①TN953

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 260744 号

责任编辑: 张海娜 / 责任校对: 张怡君

责任印制: 张 倩 / 封面设计: 蓝正设计

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>

中国科学院印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014 年 1 月第 一 版 开本: B5(720×1000)

2014 年 1 月第一次印刷 印张: 17 1/4

字数: 345 000

定价: 85.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

合成孔径雷达具有全天时、全天候、穿透性、多波段和多极化等特点,能够获取目标的多种特征,使其在军事领域和民用领域具有极为广泛的应用前景。随着卫星和雷达技术的高速发展、雷达遥感的能力不断提高,提升雷达遥感的应用能力势在必行。然而,由于雷达遥感图像直观性较差,需要专业解译才能进入工程应用,充分发挥其应有作用。雷达图像不仅具有光学图像一般的几何特性和代数特性,还具有复杂的电磁特性。对于地表这样的巨复杂系统,通过理论分析探索解译途径有很大难度,需要充分理解和研究目标的微波散射机理。截至目前,对各种目标散射机理的研究尚不够充分和系统,这严重制约了雷达图像解译的准确性和适用性,影响了雷达遥感信息的应用。

为此,作者及其研究团队在理解地物的微波散射机理、建立散射模型和反演模型方面开展了大量的理论和实验研究,先后承担了三个国家自然科学基金项目和两个民用航天预先研究项目,在雷达遥感机理方面取得了一些研究成果。本书是作者所在团队的研究工作和成果的系统总结。

本书以地物微波散射特性研究为重点,将理论、实验和工程应用实例相结合,介绍了相应的实验系统和地物介电特性和微波散射特性测量方法、测量系统定标方法、地物散射机理、地物散射模型与反演模型,以及模型和算法的应用,较系统地涵盖了雷达遥感机理和应用的核心内容;本书提供了大量的实验案例、实验结果和分析,可为相关研究工作提供实验依据,用于模拟结果和反演结果验证。

雷达遥感机理是遥感信息处理的基础。虽然作者已积累了大量研究成果,但是仍然有未解决和不完善之处,特别缺乏系统性、全面性和长时间的跟踪研究。

本书是在童玲教授带领的研究团队取得的成果基础上完成的。童玲教授、陈彦教授和贾明权博士负责了本书的撰写和校对。

作者研究团队的部分研究生参与了本书的校对和绘图工作,在此表示感谢。此外,本书还参考了大量的相关资料,对这些文献的作者表示感谢。

本书的研究工作得到了民用航天“十一五”、“十二五”预先研究项目和国家自然科学基金项目的支持，在此深表感谢。

限于作者的水平，书中不足之处在所难免，恳请读者批评指正。

童 玲

2013年10月于成都

目 录

前言

第1章 绪论	1
1.1 雷达遥感技术	1
1.1.1 雷达遥感介绍	1
1.1.2 雷达遥感应用	2
1.1.3 雷达遥感主要应用领域	4
1.2 雷达遥感系统及发展趋势	6
1.2.1 雷达遥感历史	6
1.2.2 合成孔径雷达发展纪事	9
1.3 地物电磁散射机理研究现状	12
参考文献	14
第2章 电磁波散射理论及雷达成像原理	18
2.1 电磁波散射	18
2.1.1 电磁波面散射	18
2.1.2 电磁波体散射	19
2.2 雷达成像原理	19
2.2.1 雷达探测原理	19
2.2.2 合成孔径雷达成像原理	20
2.3 雷达定标技术	23
2.3.1 传统雷达定标技术	23
2.3.2 极化雷达定标技术	24
2.3.3 常用定标体	37
参考文献	46
第3章 陆基散射实验技术及系统	48
3.1 陆基散射计及定标	48
3.1.1 陆基散射实验系统	48
3.1.2 陆基散射系统定标技术	55
3.1.3 独立样本散射测量	59
3.1.4 散射计性能参数检验	62

3.2 散射系数室内实验	66
3.2.1 室内散射测量系统	66
3.2.2 测量方法及定标	70
3.2.3 金属板散射系数测量	76
3.3 介电常数测量系统	77
3.3.1 波导法介电常数测量系统	78
3.3.2 同轴探针法介电常数测量系统	84
3.3.3 自由空间法介电常数测量系统	86
参考文献	91
第4章 典型地物介电模型	93
4.1 土壤介电模型	93
4.1.1 土壤介电模型理论	94
4.1.2 土壤介电常数实验研究	98
4.1.3 自由空间法测量土壤介电常数	102
4.1.4 自由空间法相位修正及粗糙土壤测量	108
4.2 植被介电模型	115
4.2.1 植被介电模型理论	115
4.2.2 植被介电常数实验研究	117
4.3 水介电模型	120
4.3.1 淡水及海水介电模型理论	120
4.3.2 纯水及海水介电常数实验研究	124
4.4 冰雪介电模型	127
4.4.1 冰雪介电模型理论	127
4.4.2 冰雪介电常数实验研究	128
参考文献	130
第5章 典型地物电磁散射机理实验研究	131
5.1 土壤电磁散射实验	131
5.1.1 土壤粗糙度与含水量	131
5.1.2 土壤散射特性室内实验研究	140
5.1.3 土壤散射特性室外实验研究	142
5.2 水稻与小麦散射特性实验研究	149
5.2.1 水稻散射特性实验研究	149
5.2.2 小麦散射特性实验研究	153
5.3 水面及溢油水面散射特性实验研究	162

5.3.1 水面散射特性	162
5.3.2 溢油水面散射特性	171
5.4 冰雪散射特性实验研究	175
5.4.1 冰散射特性	175
5.4.2 积雪散射特性	178
参考文献	179
第 6 章 典型地物电磁散射模型	181
6.1 土壤电磁散射模型	181
6.1.1 土壤电磁散射理论模型	181
6.1.2 土壤电磁散射经验与半经验模型	186
6.1.3 裸土后向散射特性分析	190
6.1.4 模拟计算与实验测量结果	198
6.1.5 土壤参数反演	199
6.2 水稻及小麦电磁散射模型	214
6.2.1 水稻电磁散射模型	214
6.2.2 小麦电磁散射模型	243
6.3 水面及溢油水面电磁散射模型	252
6.3.1 水面散射模型	252
6.3.2 溢油水面散射模型	255
6.4 冰雪电磁散射模型	256
6.5 SAR 图像土壤体积含水量反演	259
6.5.1 基于神经网络的 SAR 图像土壤体积含水量反演	259
6.5.2 基于半经验模型的 ASAR 图像土壤体积含水量反演	260
参考文献	264

第1章 绪 论

1.1 雷达遥感技术

1.1.1 雷达遥感介绍

遥感信息是电磁波与大气、地物组成的复杂系统相互作用的结果。雷达遥感是利用雷达向地面发射电磁波,并接收地面各种地物辐射或反射的电磁波信号,借以识别和分析地物、提取所需的地物信息。微波与目标的相互作用,同时存在散射、透射、发射等物理过程。通过测量目标在不同频率、不同极化和不同入射角下的后向散射特性和多普勒效应等,反演目标的物理特性,如介电常数、湿度和温度等,以及几何特性——目标大小、形状、结构和粗糙度等信息。

在遥感技术体系中,可见光遥感是人们最为熟悉的。无论是航空摄影、航天摄影,还是利用某种扫描仪获取的目标影像,为人们认识和发现各类目标及其相互关系起到了重要作用,在地球及太空认知研究中起着越来越重要的作用。微波(含毫米波)是指波长 1mm~1m(即频率 300MHz~300GHz)的电磁波,它比可见光和红外光(0.38~15μm)波长要长得多。表 1.1 给出了电磁波和微波常用波段参数。地面物质的微波反射、发射与它们对可见光或热红外的反射、发射无直接关系,而通过目标对微波的响应,可以使人们从一个完全不同于光和热的视角去观察世界。

表 1.1 电磁波和微波常用波段参数

频带	波长/cm	频率/GHz
Ka	0.8~1.1	40~26.5
K	1.1~1.7	26.5~18
Ku	1.7~2.4	18~12.5
X	2.4~3.8	12.5~8
C	3.8~7.5	8~4
S	7.5~15	4~2
L	15~30	2~1
P	30~100	1~0.3

微波遥感与可见光、红外遥感在技术上也有很大的差别。微波遥感是利用电磁场理论与微波技术,通过解调目标对空间电磁波的调制提取目标信息;可见光、红外遥感是利用光学技术,通过摄影或扫描获取信息。微波遥感系统有主动和被

动之分。“主动”微波系统,指遥感器自身发射电磁波,“雷达”属于主动微波遥感仪器。雷达是用无线电波探测物体并测定物体距离(位置),需要主动发射已知的微波信号,接收经目标作用后的回波信号,并对这两个信号的频率、极化和位移等进行比较,生成目标的数字图像或模拟图像。“微波辐射计”是一种“被动”微波遥感器,它记录的是在自然状况下,地面反射或发射的微弱的微波能量。

微波遥感自 20 世纪 60 年代始为各先进国家竞相发展,在 90 年代形成高潮,而今成为继可见光和红外遥感之后的又一重要遥感手段。

1.1.2 雷达遥感应用

微波遥感最大优势是其具有全天时、全天候的特点,即它们有穿透云层和在某种程度上穿透雨区的能力,以及不依赖于其他照射源的特点。图 1.1 和图 1.2 分别说明了微波对大气的穿透性,以及云层和雨水对微波传播的影响。当波长大于 4cm 时,雨水的影响可以忽略;当波长为 2cm 左右且雨极大时,影响才变严重。

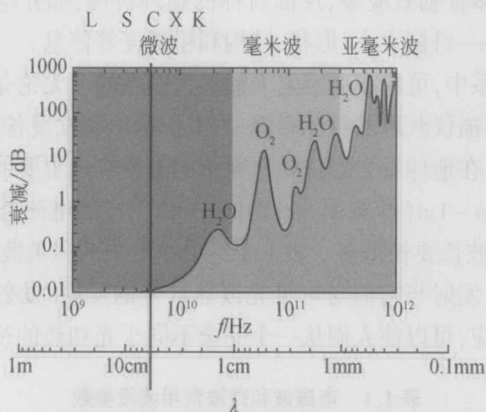
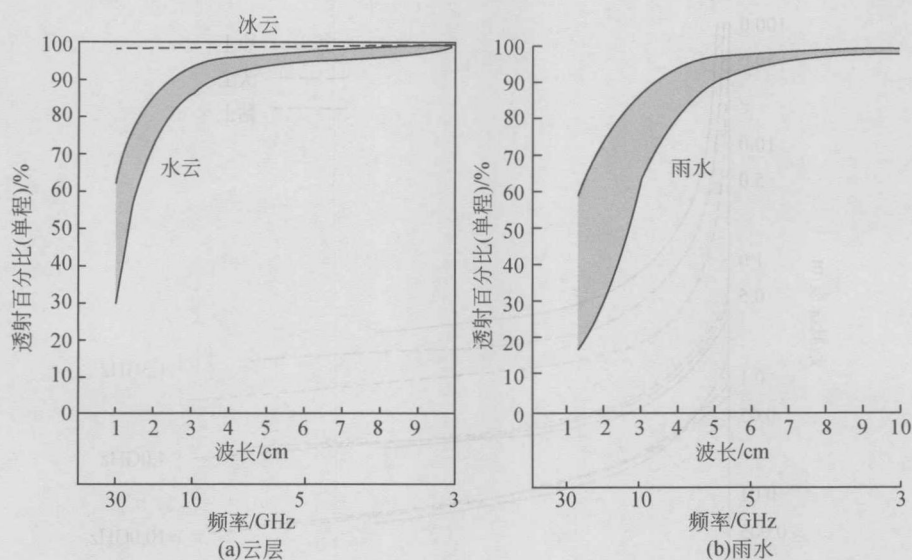


图 1.1 微波对大气的穿透性

因此,在 1~300GHz 的频带内,随着波长变短,微波与大气的相互作用有两个重要变化:其一,大气对微波能量传输的衰减作用由很弱到很强;其二,云层微粒和雨微粒对微波的吸收和散射作用从极轻微到十分显著。此现象使微波具有三方面的重要价值:对于地面与空间的通信以及从空间对地面的观测,云雨的影响可减至最小;对云层的观测,可得到云层含水量和分布范围的信息;在有云层的情况下,可以进行排除云层影响以外的大气性质的测量。

微波对地物尤其是植被和含水量较小的土壤具有一定的穿透性。一般情况下,微波对各种地物的穿透深度因波长和物质不同有很大差异,波长越长,穿透能力越强。图 1.3 和图 1.4 分别表示了不同波长的微波对植被和不同土壤的穿透能

图 1.2 云层和雨水对微波的影响^[1]

力。同一种土壤体积含水量越小,穿透越深。微波对于干沙穿透深度可达几十米,对冰层为 100m 左右,但对潮湿的土壤只能穿透几厘米到几米。

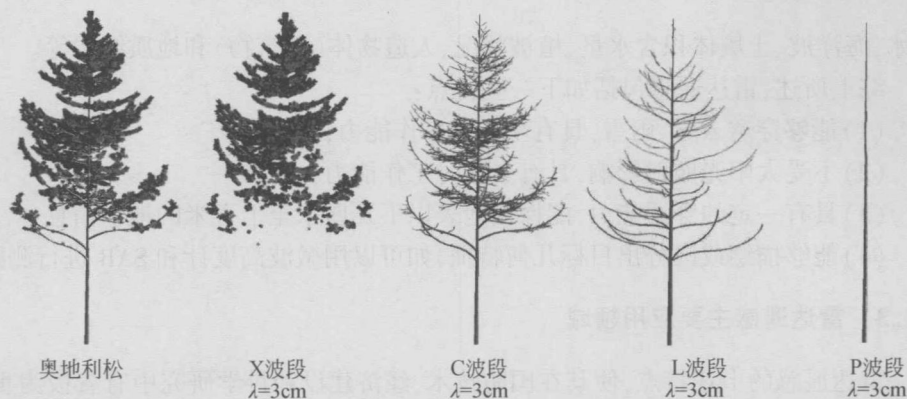


图 1.3 不同波段在植被中的穿透效果

微波遥感,尤其是以合成孔径雷达(synthetic aperture radar, SAR)为代表的主动微波遥感,不仅可以获得高分辨率图像,而且由于可控照射源,可以采用不同的系统参数,如频率、极化方式、入射角以及干涉相位等,满足不同应用需求,较为全面地描绘或区分不同的目标特征。

与可见光、红外波段遥感不同的是,微波遥感可以更好地观测某些地面特征,

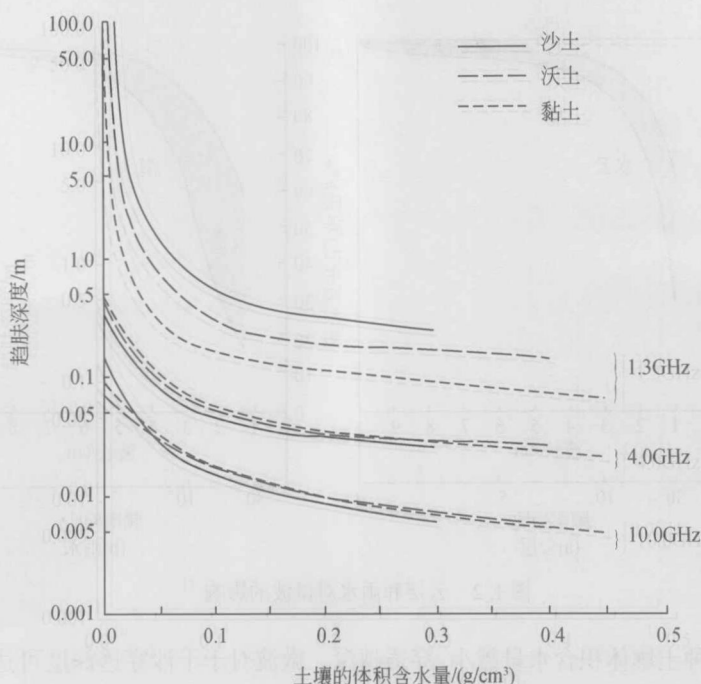


图 1.4 趋肤深度与土壤的体积含水量、频率和土壤类型之间的关系^[2]

如冰、海洋波、土壤体积含水量、植被状况、人造物体(建筑物)和地质结构等。

综上所述,雷达遥感包括如下一些特点:

- (1)能够穿透云雾、雨雪,具有全天候工作能力;
- (2)不受太阳光照射影响,具有全天时工作能力;
- (3)具有一定的穿透能力,能探测地表以下几厘米至上百米的地物信息;
- (4)能够描绘或区分出目标几何特征,如可以用微波高度计和 SAR 进行测距。

1.1.3 雷达遥感主要应用领域

雷达遥感的上述特点,使其在国防技术、经济建设和科学研究中有着极为重要的作用。在军事上不仅可以直接装置在侦察、预警和测地等卫星上,还可以用来改进尖端武器的制导,提高导弹命中精度。目前雷达遥感的应用领域已遍及陆地、海洋与大气的许多方面。1978年6月“海洋卫星1号”98天试验获取的资料,在地质、土壤、农作物、土地利用和海洋测量等方面得到了很好的应用,显示了其潜在的经济价值。从地形测量到大范围的陆地信息开集、海洋信息采集、全球范围的环境监测,从城市土地开发、绿地植被沙漠化的检测到江河湖海水位、浑浊状态测定、地质结构提取等,特别在热带雨林气候地区及常年多云雾多雨的地区,可见光与红外

遥感技术的应用受到了很大的限制,而具有全天时全天候成像能力的 SAR 遥感技术则具有独到的优势。对于地球科学,雷达遥感在地形测量、地质矿产勘探、植被研究、农业应用、海洋研究(海洋冰探测、海洋环境监测)、水文资源和大气研究等民用方面获得了广泛应用,包括如下方面:

(1) 地形测量。利用 SAR 和侧视工作的几何关系,尤其是干涉 SAR,可以定量地测量目标位置和地形参数,用于测量和绘制地形图,并可对特定目标区定位。

(2) 地质勘探。SAR 侧视工作使许多地质构造在图像上得到明显增强,因而在 SAR 图像上能清楚地显示这些特征。可勘测地质构造和显示表面岩类分布特征,用于探矿、采矿、测绘海岸线、探测海岸地形、寻找地下水和区域性地质稳定评价,甚至有可能作为地震和火山危害的监测。

(3) 植被研究。植被茂密状况、植被类型、覆盖、湿度、排列方向和其他参数对 SAR 回波强度影响很大,尤其是植被类型,可将此用于植被识别。如采用监督分类、小波变换方和基于像素的最大似然分类器等方法容易实现 SAR 图像上的农作物、植被覆盖类型等进行分类。

(4) 农业应用。微波遥感在农业方面的应用前景十分广阔,包括农、林、牧、副各个方面。不仅可用于农田测绘、土壤类型分类,还可用于作物分类和普查、产量预报,有助于制订种植计划和收割计划。

(5) 海洋研究。海洋卫星上的微波遥感器测定了海洋温度、海水盐分、海上风速、风向、波浪谱、海冰、洋流边界乃至浅滩的水下地貌,如海洋冰状况、海洋污染等。通过对 SAR 图像中海洋背景下的亮点和脱尾的分析,可以知道舰船的精确位置、航向和航速。加拿大和原苏联通过对海冰的测量,保护海上石油工作台或选择通往北极的航线。美国和加拿大通过对潮水的测绘,延长大湖区的水陆通航时间。不少国家还用侧视机载雷达进行海上油漏监测。

(6) 水文资源研究。雪原成像,水体成像,冰川研究,探测土壤湿度、冰雪冻融线、土壤侵蚀和地表运流,以及流域测绘,盆地结构分析等,并已成功地用于预测水量、水利控制和洪水预报。

(7) 大气研究。雷达遥感在大气探测和气象特征监视方面的应用主要有:测定大气温度分布和水汽含量,绘制大气层温度剖面图,测绘雨云中冰冻等温线高度、降雨强度和暴风雨的规模,实现和改善全球气象预报。在大气科学应用方面,无源微波遥感已有较长历史,并已证明无源微波遥感器优于有源微波遥感器。

尽管如此,与可见光-红外遥感相比,雷达遥感的起步较晚,数据获取较难,实际应用也不如可见光-红外遥感普遍。但是,雷达遥感具有全天时、全天候、穿透性以及地对地表粗糙度、介电特性的敏感性、多波段多极化的散射特征等独特优势,是可见光-红外遥感所难以比拟的。因而,目前雷达遥感发展迅速,已成为遥感技术

研究的热点,成为对地观测中十分重要的前沿研究与应用领域。它在地质构造,找矿,海洋、海冰调查,土壤水分动态监测,洪涝灾害调查和干旱区找水,农、林、土地资源调查研究以及军事等方面越来越显示出其十分广阔的应用前景。

1.2 雷达遥感系统及发展趋势

1.2.1 雷达遥感历史

近年来,微波遥感已发展成为一种用以监测地球表面和大气特征的重要手段。按照传感器工作模式的不同,微波遥感可分为两类:主动微波遥感和被动微波遥感。主动微波遥感以 SAR 为代表。SAR 是一种高分辨率成像雷达,利用它可以在能见度极差的气象条件下得到类似光学照相的高分辨率雷达图像。

SAR 的概念产生于 20 世纪 50 年代。1951 年 6 月,美国 Goodyear 航空公司的 Wiley 首先指出用多普勒频率分析的方法可以改善雷达的角分辨率,他称之为多普勒波束锐化(DBS),并于 1952 年做成了一台简单的演示装置,证明了其想法的可行性,为此 Wiley 被 IEEE AES 委员会授予 1985 年的 Pioneer 奖。与此同时,美国 Illinois 大学的一个小组也在实验中发现机载测绘雷达回波频谱中,有明显的强谱线。该小组于 1952 年 3 月的一个报告中指出,这是由天线波束内的强目标引起的,此现象可用来改善雷达系统的角分辨率。该小组于 1953 年用 X 波段雷达得到一张雷达测绘地形图,用频谱分析方法达到了很高的横向分辨率,这部雷达采用的是非聚焦处理方式。

1953 年,在 Michigan 大学,美国军方召集了 Wolverizne 计划夏季研讨会,要求推荐更加先进的战场监视技术。在这次会议上,来自 Illinois 大学、Michigan 大学、Goodyear 航空公司、General Electric 公司和 Virain 公司的代表详细讨论了多普勒频率分析技术。会后,在军方的倡导下,提出了发展基于距离-多普勒原理的雷达计划。这个计划的一部分就是要研制一部能处理宽带信号并且在每个距离单元能进行多普勒频率分析的数据处理机。

1957 年 8 月,Michigan 大学雷达和光学实验室的研究人员采用光学胶片记录和光学信号处理的方法,成功地实现了采用光学处理机处理 X 波段 SAR 数据,并进行了飞行实验。实验时,光学胶片记录装置装在飞机上,记录装置可以补偿多普勒中心漂移和载机相对于地面的速度变化。这套设备得到了第一张聚焦合成孔径的图像,并成为 20 多年来 SAR 信号处理机的标准模式。随后 Michigan 大学雷达和光学实验室和德州仪器公司合作研制出了 AN/UPD-1 系统。从此合成孔径原理和 SAR 得到了广泛的承认。

20 世纪 60 年代初期,SAR 系统主要采用非实时光学和模拟电子处理技术,分

分辨率在十米量级。随着数字信号处理技术的发展,60年代后期,实现了非实时数字成像处理,SAR系统分辨率达到了米量级。

20世纪70年代初期,由于SAR系统中引入了声表面波延迟线,高分辨率脉冲压缩技术得到了提高,脉冲宽度压缩到毫微秒级,高分辨率SAR开始从军事转向民用。到了70年代中期,Kirk等对美国空军研制了第一台真正的数字SAR处理系统,并获得了高质量的图像。该处理机具有正侧视、斜视和聚束照射(spotlight)三种模式。

20世纪80年代以来,随着数字技术的迅速发展,在数字存储器体积不断缩小、价格不断降低的情况下,存储容量提高了上千倍,数字信号处理(DSP)芯片的速度也提高了几十倍。这就为数字SAR技术的发展提供了巨大的潜力。

在1991年的海湾战争中,美国的两架载有X波段SAR的J-STARS(E-8A)预警飞机和一颗“长曲棍球”SAR卫星充分显示了SAR技术在现代高技术战争中所表现出来的卓越的战场监视和侦察能力,被认为是赢得这场现代高技术战争的关键因素之一。在此期间,其他一些国家也纷纷开始研制先进的机载SAR系统。

从20世纪80年代后期到90年代初,对能够提供三维信息的干涉式SAR的研究、实验和应用引起了人们的格外关注,成为SAR技术发展的新热点。2000年2月,美国“奋进号”航天飞机载着一台相距60m的双天线干涉式SAR系统,顺利地实现了全球范围内的高精度三维成像,在全世界引起了不小的震动。目前,SAR发展水平的高低已经成为衡量一个国家军事力量与综合国力水平的标志之一,其发展受到各国越来越多的重视。

由于SAR成像有其他成像方法无法比拟的诸多优点,自从发明以来,就受到各国遥感界的极大关注。20世纪60年代末70年代初,机载SAR在南美地区的实验研究第一次获得成功,至此,机载SAR遥感应用开始得到蓬勃发展。1978年,美国成功发射海洋雷达卫星Seasat,标志着SAR技术完成了从机载到星载的伟大跨越。1981年,航天飞机搭载SIR-A顺利升空,雷达影像上成功观测到撒哈拉沙漠的地下古河道,显示了SAR具有穿透地表的能力,引起国际科技界的震动。其中,1978年Seasat海洋卫星以及随后发射的航天飞机成像雷达(shuttle imaging radar, SIR)计划、苏联发射的COSMOS-1870,标志着航天雷达遥感的开始。1988年,美国军事卫星“长曲棍球”达到1m分辨率,并成功应用于海湾战争中。20世纪90年代,掀起了雷达遥感发展的高潮,苏联的S波段ALMAZ-1卫星于1991年发射;欧洲空间局(ESA)的C波段卫星ERS-1和ERS-2分别于1991年和1995年发射,获得了大量的观测数据,而且还利用ERS-1和ERS-2首次实现了双星干涉测量。日本宇宙开发事业集团(NASDA)的L波段JERS-1卫星于1992年发射;1994年,航天飞机第一次成功使用了全极化多波段(L/C/X)同时成像系统SAR-C;1995年,

加拿大太空局(CSA)成功发射载有多模式成像、多种分辨率的C波段雷达卫星1号(RADARSAT-1),它是第一个具有商业运行能力的星载雷达系统。进入21世纪以来,雷达遥感得到了更加广泛的应用和发展:2000年,航天飞机利用干涉合成孔径雷达(INSAR)在11天内获得了全球80%的三维图形信息;2002年,ESA成功发射了多极化、多入射角和大幅宽的极轨对地观测卫星ENVISAT-ASAR,在自然灾害监测、资源环境调查等领域得到了非常广泛的应用;2006年1月,日本宇宙航空研究开发机构(JAXA)相控阵L波段全极化先进陆地观测卫星ALOS-PALSAR卫星成功发射,是目前在轨运行的唯一的单星干涉成像SAR卫星;2007年,德国宇航中心(DLR)成功发射了1m分辨率的X波段卫星TerraSAR-X,可以实现1天内重复轨道干涉成像;同年,CSA又成功发射了3m分辨率的全极化相控阵C波段卫星RADARSAT-2,并与RADARSAT-1一起,双星并行实现高分辨率干涉测量数据。表1.2给出了国外主要商业SAR卫星遥感平台及相关参数介绍。

表 1.2 国外主要雷达遥感卫星平台

卫星	在轨时间	所属机构	频率和极化	分辨率和幅宽	特点
ERS-1	1991年~2000年	ESA	C-VV	25m 100km	与ERS-2干涉
JERS-1	1992年~1998年	NASDA	L-HH	25m 100km	—
ERS-2	1995年~现在	ESA	C-VV	25m 100km	与ERS-1干涉
RADARSAT-1	1995年~现在	CSA	C-HH	10~100m 45~500km	多角度
ENVISAT-ASAR	2002年~现在	ESA	C-HH/VV/HV	25~1000m 50~500km	多角度
ALOS-PALSAR	2006年~现在	JAXA	L-全极化	10~100m 100~350km	干涉和多角度
TerraSAR-X	2007年~现在	DLR	X-全极化	1m	1天内干涉
RADARSAT-2	2007年~现在	CSA	C-全极化	<10m	多角度

在国外积极开展各种SAR技术和应用研究的同时,我国也密切关注并不断开展对SAR的研究和发展。我国SAR的研究开始于20世纪70年代:1976年,中国科学院电子学研究所(简称电子所)率先开始机载SAR的研究工作;1979年,电子所成功研制我国第一台机载SAR原理样机,获得国内第一幅SAR图像;1983年和1987年,电子所分别研制成功了X波段的单极化和多极化机载SAR系统;从1988

年起,电子所开始进行有关星载 SAR 的总体方案设计和论证工作,1998 年成功完成星载样机的研制和机载校飞;2003 年,电子所成功研制了 1m 分辨率的 SAR 系统,并成功地完成了淮河洪水检测任务,得到了国内首幅连续大面积 1m 分辨率的雷达图像,目前,我国机载 SAR 系统最高分辨率已经优于 0.3m,甚至 0.15m;2006 年 4 月 27 日,我国第一颗自主研发的高分辨率、大幅宽 SAR 卫星“遥感卫星一号”在太原卫星发射中心成功发射,获得的数据首次成功应用于黄河防汛工作;随后,分别于 2007 年 11 月、2008 年 12 月和 2009 年 4 月成功发射了具有 SAR 成像功能的“遥感卫星三号”、“遥感卫星五号”和“遥感卫星六号”,主要用于国土资源勘查、环境监测与保护、城市规划、农作物估产、防灾减灾和空间科学试验等领域的数据采集和传输任务。

总之,雷达成像经历了如下几个发展过程:从真实孔径到合成孔径、从机载到星载、从单极化到多极化、从单波段到多波段、从数据的光学处理到数字处理、从 SAR 到 INSAR 等技术发展过程。随着各种机载星载成像雷达技术的飞速发展和数据质量的不断提高,SAR 遥感获取的目标信息越来越多,如何从数据中提取出有效的各种地物信息,成为微波遥感应用研究的重要工作内容。与目前数据的获取能力和 SAR 数据源快速增长的现状相比,以 SAR 图像信息提取为核心的 SAR 图像处理技术和相关信息提取模型算法发展相对滞后,特别是 SAR 卫星载荷基础信息产品生产系统的集成设计和开发,还远不能满足海量数据的自动化处理和应急,以及国土、农业、林业、灾害、国安、生态等领域遥感应用所需各种信息提取的要求。因此,如何集成 SAR 图像处理技术,发展各类信息提取模型算法,建立系统的 SAR 标准信息产品技术平台,实现 SAR 图像的信息提取和解译,是实现高分辨率 SAR 卫星遥感数据信息产品开发和在各领域成功应用的关键所在。

1.2.2 合成孔径雷达发展纪事

1951 年 6 月,美国 Goodyear 航空公司的 Wiley 首次提出了 SAR 的概念,当时称之为多普勒波束锐化。

1952 年,第一个简单的 SAR 演示装置研制成功,证明了想法的可行性。

1953 年,美国 Illinois 大学用机载 X 波段相干脉冲雷达获得了第一幅实验性的非聚焦条带 SAR 图像,标志着第一个 SAR 的演示实验系统的诞生。

1957 年,美国 Michigan 大学雷达和光学实验室研制的 X 波段雷达和光学处理器,获得世界上第一张全聚焦的条带式正侧视 SAR 图像,标志着第一台 SAR 正式诞生。

20 世纪 70 年代,美国 Michigan 大学环境研究所(ERMI)和喷气推进实验室(JPL)研制出 1.25GHz 和 9GHz 多极化 SAR。