

国外电子与通信教材系列

合成孔径雷达 图像处理

Traitement des Images de
Radar à Synthèse d'Ouverture

[法] Henri Maître 编

孙 洪 等译



电子工业出版社

Publishing House of Electronics Industry
<http://www.phei.com.cn>

国外电子与通信教材系列

合成孔径雷达图像处理

Traitement des Images
de Radar à Synthèse d'Ouverture

[法] Henri Maître 编

孙 洪 等译

电子工业出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京·BEIJING

内 容 简 介

合成孔径雷达图像处理是近几年发展起来的新兴学科,是当今发展国民经济和国防建设的一个重要学科。它涉及雷达成像的物理机理及其数据的数学特征、图像处理的各种先进技术以及它的应用领域(如测绘、海态等)的特殊性质。本书系统地论述了合成孔径雷达图像处理必不可少的基本原理和技术。首先解释在辐射作用下传播现象和物质相互作用的物理基本知识,以及有关雷达运行及其支持平台的基本知识;然后讨论在统计意义上描述具有非常特殊的性质的雷达信号的数学模型,以及一些有用的性质;最后论述在应用中需要的一些专门的图像处理方法,包括检测、识别、分类和解译等。

本书既是一部前沿学科的专著,同时也是近几年法国相关领域的研究生使用的教材。本书可以作为高等院校信号与图像处理、雷达信号处理、遥感信息处理等领域的研究生的教材或参考书,也可以作为在这些领域从事相关工作的科技人员的入门书。

© Lavoisier, 2001

11 rue Lavoisier - F-75008 PARIS

All rights reserved. No part of this book may be reproduced in any form by any electronic or mechanical means (including photocopying, recording, or information storage and retrieval) without permission in writing from the publisher.

Chinese Simplified language edition published by Publishing House of Electronics Industry, Copyright © 2005

本书中文简体版专有出版权由Lavoisier授予电子工业出版社,未经许可,不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

版权贸易合同登记号 图字: 01-2003-2159

图书在版编目(CIP)数据

合成孔径雷达图像处理/(法)麦特尔(Maître H.)编;孙洪等译.-北京:电子工业出版社,2005.2
(国外电子与通信教材系列)

书名原文: Traitement des Images de Radar à Synthèse d'Ouverture

ISBN 7-121-00908-0

I. 合... II. ①麦... ②孙... III. 合成孔径雷达-图像处理-教材 IV. TN958

中国版本图书馆CIP数据核字(2005)第007232号

责任编辑:马 岚 特约编辑:马爱文

印 刷:北京顺义兴华印刷厂

出版发行:电子工业出版社

北京市海淀区万寿路173信箱 邮编:100036

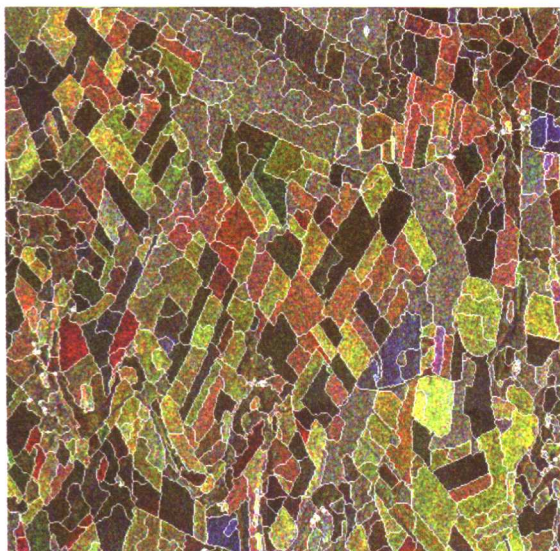
经 销:各地新华书店

开 本:787×980 1/16 印张:19.25 字数:363千字 彩插:2

印 次:2005年2月第1次印刷

定 价:45.00元

凡购买电子工业出版社的图书,如有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系电话:(010)68279077。质量投诉请发邮件至zltz@phei.com.cn,盗版侵权举报请发邮件至dbqq@phei.com.cn。



(a) 初始图像 (彩图) 及其分割



(b) 滤波后的图像

图 7.2 由 3 个时序图像构成的彩色结构，通过矢量线性 MMSE 估计 (b)，其中统计参数的计算是在由辐射分割 (a) 的整个区域上进行的

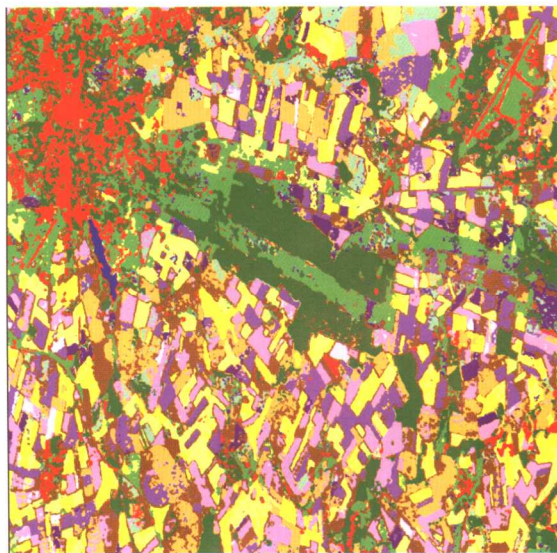
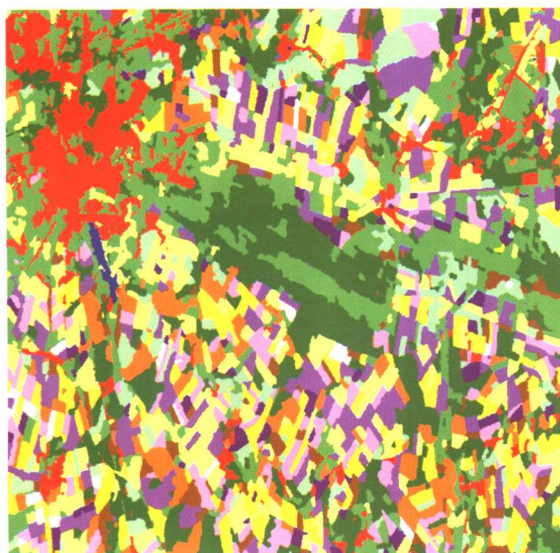


图 7.3 在辐射分割的区域上进行 Gauss-Wisart ML 多极化分类 (左图) 和在矢量线性 MMSE 估计数据上基于上下文 (5×5 像素) 进行 Gauss-Wisart ML 分类 (右图)

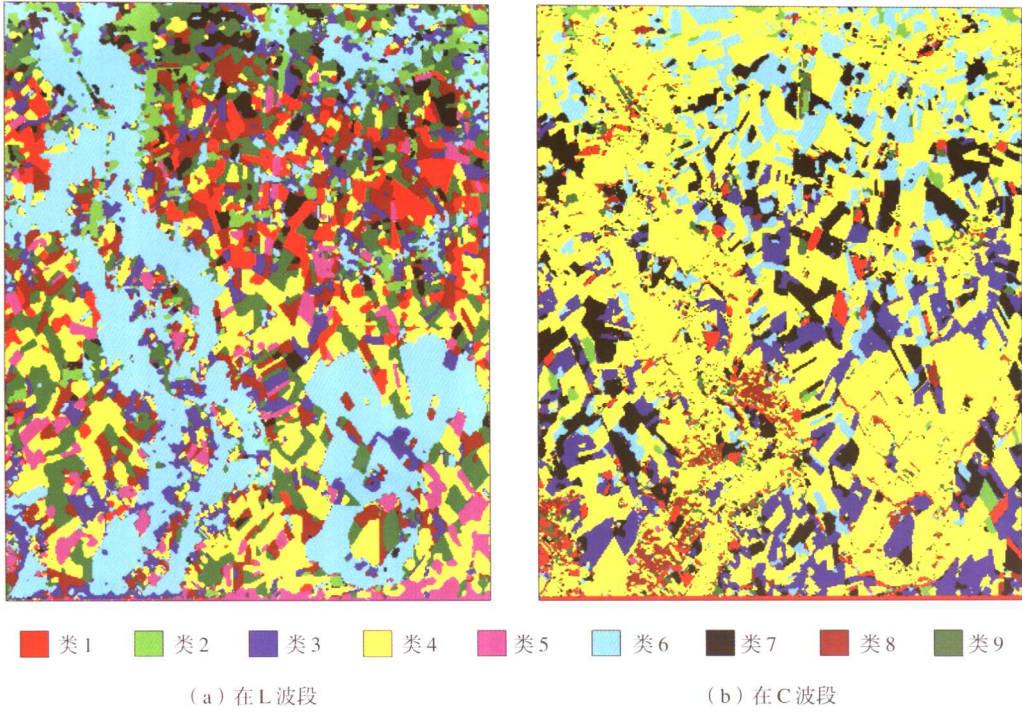


图 7.7 Rignot 的分类，显示的是 Orgeval 地区的 AirSAR MAC-Europe'91 数据

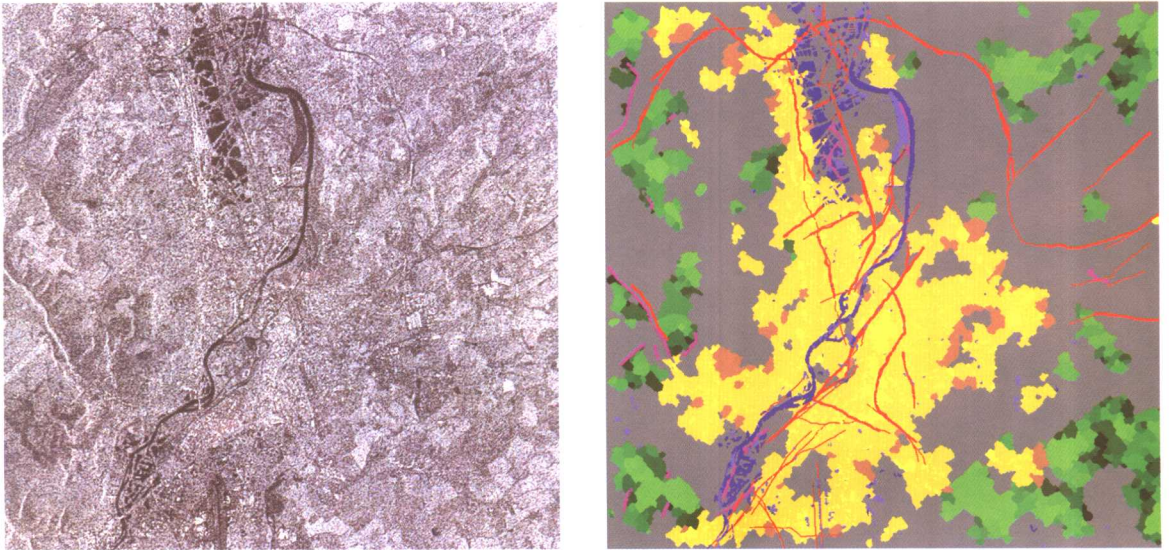


图 8.11 网络检测的实例，在 Metz 中心地区的 ERS-1 图像 ©ESA；整幅图所对应的符号如下：蓝色对应水流和水平面；红色对应公路网；黄色、桔色和棕色分别对应人口密度下降的城市区域；绿色对应森林；玫瑰色对应山脊和起伏的地势

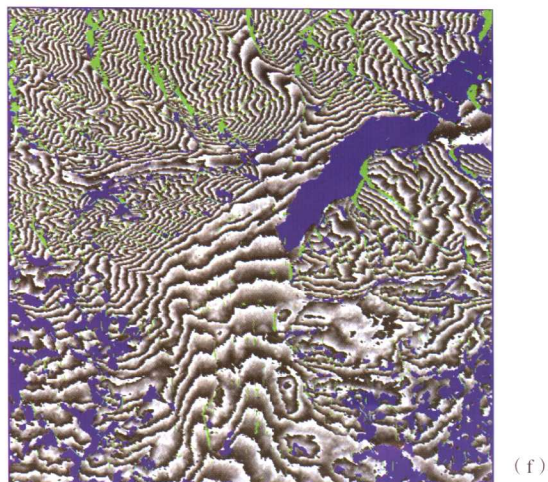


图 13.6 作为条纹展开预处理的干涉图处理。所有可展开的条纹被滤出,而不能展开的区域被掩盖。蓝色表示不相关的区域,绿色表示相位间断区域

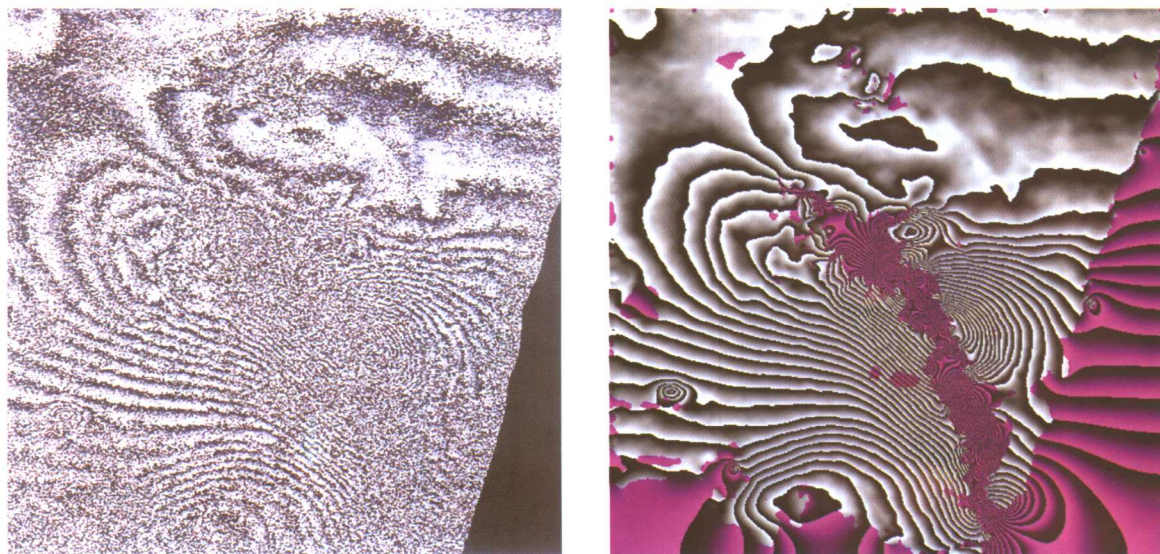


图 13.9 (a) 2048 × 2048 像素差分干涉图,在加利福尼亚州的 Landers 地区的断层 ©CNES;
(b) 用最小加权二乘法展开的相位,为了区别于相位的折叠,用紫色区域表示不可展开的条纹

序

近年来,我国对机载合成孔径雷达进行了广泛的试验,研制了多种波段的雷达,并在不同的平台上录取了大量数据,同时在雷达成像方法方面进行了研究,取得了可喜的进展。可以预期,星载合成孔径雷达的试验也会在近期取得成果。

合成孔径雷达可以全天候、全天时工作,作为遥感设备,其图像分辨率基本上与光学图像相当,可以及时了解地面场景的情况,受到许多应用部门的重视。其实,合成孔径雷达的作用远不止于此,从它的图像里可以获取丰富的信息,当前对光学图像分析所取得的成果就充分说明了这一点。

应当指出,光学图像在遥感领域方面的巨大成就,对合成孔径雷达很有借鉴作用,但又不可能完全套用。为了能从图像中充分提取场景的信息,对合成孔径雷达来说,由于它是基于相干电波进行检测和成像的,必须对电波与被测物体的相互作用有充分理解,特别是物体的不同几何特征和物理特性对电波散射的作用。电波在大气层中,特别是在电离层中的传播特性也是不可忽略的。由于物体的复杂性和随机性,不同散射回波特性常以不同的数学特征表现在图像里,而成像方法与图像表现是紧密相连的。此外,雷达波长和极化方式的不同都会使物体的某些特征在图像里反映出来。

由此可见,为了充分发挥合成孔径雷达作为遥感设备的作用,必须从更基础的层面出发,对它进行深入的研究。

本书正是符合上述要求的一本专著,由多名有关领域的专家共同撰写完成,主编为 Henri Maître 教授,他是国际知名的图像处理领域的专家,对合成孔径雷达图像处理有多年的深入研究,而他的研究更多集中于合成孔径雷达图像处理的基础层面。

我国合成孔径雷达的发展方兴未艾,在大力推广应用的同时,对合成孔径雷达图像的后处理和解释进行了深入研究,从合成孔径雷达图像获取了更多有价值的信息,对发展国民经济和国防来说都具有重大意义。

应当说,与光学图像的研究和分析相比,合成孔径雷达图像处理的水平还有很大的差距,在国外也是如此。所以本书在内容安排上更侧重于基础,对这一发展中的学科进行了较全面的描述,并介绍了有关方面的许多阶段性成果,这对我们开展这方面的工作是非常有价值的。

翻译一本新兴学科的高水平学术专著不是一件容易的事,要对专著的内容和思想有充分的了解。本书的译者孙洪教授曾在 Maître 教授领导的实验室做访问学者,后来又与他有多年的合作研究,对 Maître 教授的学术思想和风格十分熟悉。由她翻译的这本专著很好地反映了原书的风貌。

愿本译著的出版能对促进我国合成孔径雷达图像处理的深入发展起到重要作用。

保铮 谨识
2005年1月27日
西安电子科技大学

序

2001年7月间,电子工业出版社的领导同志邀请各高校十几位通信领域方面的老师,商量引进国外教材问题。与会同志对出版社提出的计划十分赞同,大家认为,这对我国通信事业、特别是对高等院校通信学科的教学工作会很有好处。

教材建设是高校教学建设的主要内容之一。编写、出版一本好的教材,意味着开设了一门好的课程,甚至可能预示着一个崭新学科的诞生。20世纪40年代MIT林肯实验室出版的一套28本雷达丛书,对近代电子学科、特别是对雷达技术的推动作用,就是一个很好的例子。

我国领导部门对教材建设一直非常重视。20世纪80年代,在原教委教材编审委员会的领导下,汇集了高等院校几百位富有教学经验的专家,编写、出版了一大批教材;很多院校还根据学校的特点和需要,陆续编写了大量的讲义和参考书。这些教材对高校的教学工作发挥了极好的作用。近年来,随着教学改革不断深入和科学技术的飞速进步,有的教材内容已比较陈旧、落后,难以适应教学的要求,特别是在电子学和通信技术发展神速、可以讲是日新月异的今天,如何适应这种情况,更是一个必须认真考虑的问题。解决这个问题,除了依靠高校的老师 and 专家撰写新的符合要求的教科书外,引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,是会有好处的。

一年多来,电子工业出版社为此做了很多工作。他们成立了一个“国外电子与通信教材系列”项目组,选派了富有经验的业务骨干负责有关工作,收集了230余种通信教材和参考书的详细资料,调来了100余种原版教材样书,依靠由20余位专家组成的出版委员会,从中精选了40多种,内容丰富,覆盖了电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等方面,既可作为通信专业本科生和研究生的教学用书,也可作为有关专业人员的参考材料。此外,这批教材,有的翻译为中文,还有部分教材直接影印出版,以供教师用英语直接授课。希望这些教材的引进和出版对高校通信教学和教材改革能起一定作用。

在这里,我还要感谢参加工作的各位教授、专家、老师与参加翻译、编辑和出版的同志们。各位专家认真负责、严谨细致、不辞辛劳、不怕琐碎和精益求精的态度,充分体现了中国教育工作者和出版工作者的良好美德。

随着我国经济建设的发展和科学技术的不断进步,对高校教学工作会不断提出新的要求和希望。我想,无论如何,要做好引进国外教材的工作,一定要联系我国的实际。教材和学术专著不同,既要注意科学性、学术性,也要重视可读性,要深入浅出,便于读者自学;引进的教材要适应高校教学改革的需要,针对目前一些教材内容较为陈旧的问题,有目的地引进一些先进的和正在发展中的交叉学科的参考书;要与国内出版的教材相配套,安排好出版英文原版教材和翻译教材的比例。我们努力使这套教材能尽量满足上述要求,希望它们能放在学生们的课桌上,发挥一定的作用。

最后,预祝“国外电子与通信教材系列”项目取得成功,为我国电子与通信教学和通信产业的发展培土施肥。也恳切希望读者能对这些书籍的不足之处、特别是翻译中存在的问题,提出意见和建议,以便再版时更正。



中国工程院院士、清华大学教授
“国外电子与通信教材系列”出版委员会主任

出版说明

进入21世纪以来,我国信息产业在生产和科研方面都大大加快了发展速度,并已成为国民经济发展的支柱产业之一。但是,与世界上其他信息产业发达的国家相比,我国在技术开发、教育培训等方面都还存在着较大的差距。特别是在加入WTO后的今天,我国信息产业面临着国外竞争对手的严峻挑战。

作为我国信息产业的专业科技出版社,我们始终关注着全球电子信息技术的发展方向,始终把引进国外优秀电子与通信信息技术教材和专业书籍放在我们工作的重要位置上。在2000年至2001年间,我社先后从世界著名出版公司引进出版了40余种教材,形成了一套“国外计算机科学教材系列”,在全国高校以及科研部门中受到了欢迎和好评,得到了计算机领域的广大教师与科研工作者的充分肯定。

引进和出版一些国外优秀电子与通信教材,尤其是有选择地引进一批英文原版教材,将有助于我国信息产业培养具有国际竞争能力的技术人才,也将有助于我国国内在电子与通信教学工作中掌握和跟踪国际发展水平。根据国内信息产业的现状、教育部《关于“十五”期间普通高等教育教材建设与改革的意见》的指示精神以及高等院校老师们反映的各种意见,我们决定引进“国外电子与通信教材系列”,并随后开展了大量准备工作。此次引进的国外电子与通信教材均来自国际著名出版商,其中影印教材约占一半。教材内容涉及的学科方向包括电路理论与应用、信号与系统、数字信号处理、微电子、通信系统、电磁场与微波等,其中既有本科专业课程教材,也有研究生课程教材,以适应不同院系、不同专业、不同层次的师生对教材的需求,广大师生可自由选择 and 自由组合使用。我们还将与国外出版商一起,陆续推出一些教材的教学支持资料,为授课教师提供帮助。

此外,“国外电子与通信教材系列”的引进和出版工作得到了教育部高等教育司的大力支持和帮助,其中的部分引进教材已通过“教育部高等学校电子信息科学与工程类专业教学指导委员会”的审核,并得到教育部高等教育司的批准,纳入了“教育部高等教育司推荐——国外优秀信息科学与技术系列教学用书”。

为做好该系列教材的翻译工作,我们聘请了清华大学、北京大学、北京邮电大学、东南大学、西安交通大学、天津大学、西安电子科技大学、电子科技大学等著名高校的教授和骨干教师参与教材的翻译和审校工作。许多教授在国内电子与通信专业领域享有较高的声望,具有丰富的教学经验,他们的渊博学识从根本上保证了教材的翻译质量和专业学术方面的严格与准确。我们在此对他们的辛勤工作与贡献表示衷心的感谢。此外,对于编辑的选择,我们达到了专业对口;对于从英文原书中发现的错误,我们通过作者联络、从网上下载勘误表等方式,逐一进行了修订;同时,我们对审校、排版、印制质量进行了严格把关。

今后,我们将进一步加强同各高校教师的密切关系,努力引进更多的国外优秀教材和教学参考书,为我国电子与通信教材达到世界先进水平而努力。由于我们对国内外电子与通信教育的发展仍存在一些认识上的不足,在选题、翻译、出版等方面的工作中还有许多需要改进的地方,恳请广大师生和读者提出批评及建议。

电子工业出版社

教材出版委员会

- | | | |
|-----|-----|--|
| 主任 | 吴佑寿 | 中国工程院院士、清华大学教授 |
| 副主任 | 林金桐 | 北京邮电大学校长、教授、博士生导师 |
| | 杨千里 | 总参通信部副部长, 中国电子学会会士、副理事长
中国通信学会常务理事 |
| 委员 | 林孝康 | 清华大学教授、博士生导师、电子工程系副主任、通信与微波研究所所长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 徐安士 | 北京大学教授、博士生导师、电子学系主任
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 樊昌信 | 西安电子科技大学教授、博士生导师
中国通信学会理事、IEEE 会士 |
| | 程时昕 | 东南大学教授、博士生导师、移动通信国家重点实验室主任 |
| | 郁道银 | 天津大学副校长、教授、博士生导师
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 阮秋琦 | 北京交通大学教授、博士生导师
计算机与信息技术学院院长、信息科学研究所所长 |
| | 张晓林 | 北京航空航天大学教授、博士生导师、电子信息工程学院院长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员 |
| | 郑宝玉 | 南京邮电学院副院长、教授、博士生导师
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 朱世华 | 西安交通大学副校长、教授、博士生导师、电子与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与工程类专业教学指导分委员会委员 |
| | 彭启琮 | 电子科技大学教授、博士生导师、通信与信息工程学院院长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会委员 |
| | 毛军发 | 上海交通大学教授、博士生导师、电子信息与电气工程学院副院长
教育部电子信息与电气学科教学指导委员会委员 |
| | 赵尔沅 | 北京邮电大学教授、《中国邮电高校学报(英文版)》编委会主任 |
| | 钟允若 | 原邮电科学研究院副院长、总工程师 |
| | 刘彩 | 中国通信学会副理事长、秘书长 |
| | 杜振民 | 电子工业出版社原副社长 |
| | 王志功 | 东南大学教授、博士生导师、射频与光电集成电路研究所所长
教育部电子信息科学与电气信息类基础课程教学指导分委员会主任委员 |
| | 张中兆 | 哈尔滨工业大学教授、博士生导师、电子与信息技术研究学院院长 |
| | 范平志 | 西南交通大学教授、博士生导师、计算机与通信工程学院院长 |

译者序

本书是法国 Lavoisier 出版公司出版的 *Traitement du signal et de l'image* (《信号与图像处理》) 系列丛书之一。该著作由法国国立高等电信学院 (ENST) 信号与图像处理系的 Henri Maître 教授主编, 由从事该领域的研究和教学的法国大学教授和法国国家科研中心的专家们共同撰写。该著作既是一部前沿学科的专著, 同时也是近几年法国研究生使用的教材。

本书的主编 Maître 教授是图像处理领域的国际知名专家, 一直致力于图像处理的理论与应用的研究, 编著了 *Le traitement des images* (电子工业出版社将出版其中译本《数字图像处理》) 等专著, 担任了 *IEEE Trans. Image Processing* 等几份重要学术刊物的副主编。他长期领导的 ENST 图像解译实验室中有半数以上来自世界各国的学者以及一些国际著名专家, 他们活跃在科学研究的前沿。他培养的博士生中, 有不少已经成为卓有建树的知名专家。

合成孔径雷达图像处理是近几年发展起来的新兴学科, 是当今发展国民经济和国防建设的一个重要学科。近 10 年来, 我国对合成孔径雷达 (SAR) 的研制给予了大量的投资, 在获取 SAR 数据方面有了很大的发展。然而, 在 SAR 图像处理方面的研究进展相对缓慢, 阻碍了 SAR 数据的应用。相反, 在法国, 各位专家充分利用世界共享的 SAR 数据资源, 大力发展 SAR 图像处理技术和自己的解译系统, 从而在 SAR 图像应用方面处于世界前列。本书给我们带来了他们在该领域长期研究的成果。

合成孔径雷达图像处理是一个综合学科, 涉及图像处理的各种先进技术, 要求对 SAR 成像的物理机理及其数据的数学特征有深入的研究, 还要求对 SAR 图像的应用领域 (如测绘、海态等) 的特点有充分的了解。本书基本涵盖了这三个方面的内容。

多年来, 该书在 ENST 一直作为研究生教材使用。在授课过程中, 他们在严格的数学推导和物理解释的同时, 注重运用丰富的演示材料和试验平台。这些生动的材料还在每年举办一周的“科学节”向全民展示, 吸引了众多热爱科学的男女老少。

Maître 教授非常喜爱中国的文化, 非常重视与中国学术界的交流。早在 20 世纪 80 年代初, 他就访问了我国的一些高等院校和科研院所, 与我国资深专家吴佑寿院士、

万发贯教授等有着长期广泛的学术交流，另外他所在的实验室还接纳了不少中国学生和访问学者。以后，他又多次来中国参加学术会议和各种学术活动。特别是在 2003 年应邀参加了中国首届合成孔径雷达会议，并发表了学术演讲。那时就有很多中国的同行学者期待着本书的中文译本。

译者于 1997 年~1998 年在 ENST 图像解译实验室做访问学者。之后，应 Maître 教授的邀请，又于 1999 年~2001 年期间到 ENST 进行 SAR 图像处理方面的合作研究。Maître 教授领导的图像解译实验室，其学术氛围和研究水平都处于世界前列，各位专家的严谨的科学态度和奋进、合作的作风给译者留下了深刻的印象。本书会让大家体会到他们的风格：用严格的数学表达式描述技术，使先进的技术与实践应用紧密结合。

本书是我们第一次进行法文科技著作的翻译。全书先由武汉大学电子信息学院的罗斌组织法语系 2003 级研究生共同做了尝试性的翻译。他们的法语非常好，认真做了许多工作，但是由于他们对书中涉及的技术内容不了解，使得最初的译文读起来有时像是“天书”。我们深深地体会到，即使是世界上最严谨的语言，在不懂其中内涵时也可能有各种不同的理解。之后，本书由孙洪统一整理、再译，然后做了几次修订。在修订工作中，Maître 教授的耐心解释给译者以很大帮助。我们体会到了法文科技著作翻译的特殊困难：科技专有名词比常用的英文更加丰富；对于大量的法文缩写符号，我们力求换成人们熟悉的英文缩写（如合成孔径雷达缩写为 RSO，而常用的英文缩写方式则为 SAR）；甚至数学表达式在法文中也自成体系（如用“,”表示小数点，而不用我们常见的“.”）。另一方面，我们也体会到法文的美妙。她的词汇更加丰富而细腻，代词在“数”、“性”和“格”的限制下，其指代对象非常明确。正因为如此，在译成没有“数”、“性”和“格”的中文时，不得不增加一些附加说明语。在这些方面，电子工业出版社的编辑们面对法文在词汇、缩写表达和数学公式上的差异，做了大量细致的工作。

我们还要特别感谢支持和关心作者和译者关于本书工作的资深专家，他们是西安电子科技大学的保铮院士和吴顺君教授，38 所的吴曼青所长和张长耀研究员。另外，武汉大学的杨文和徐新老师对书中专有名词给予了有益的讨论。在此，对所有为本书出版提供了帮助的人们表示诚挚的感谢！

孙 洪

2005 年 1 月

武汉大学 电子信息学院

绪 论

合成孔径雷达图像产业的诞生是一个长期而曲折的过程。半个多世纪以来，它伴随着物理学、电子学、信号处理技术、图像处理技术的共同发展而发展。最初的雷达，零星地出现在第二次世界大战以前，从作为一种监视的手段发展到作为一种探测的手段，并被逐步赋予了侦察的能力：通过空间扫描可得到一个分辨率较低的图像，而且持续的显示使得分辨各种反射体产生的反射波成为可能。为了形成一幅真实的图像，仅仅依靠加快扫描速度和使用惯用的方式收集两个方向排列的反射波是不够的，而是要着重提高两个关键的参数：一个参数是分辨率，所使用的波长要短于我们关心的距离精度；另一个参数是识别能力，也就是接收器对于强反射点的灵敏度。这些参数已经得以改进，这是由于多种技术进步而实现的，同时也与一些决定性的选择有关：侧视，能够消除正交反射的主回波及相关定位的模糊性；合成孔径，打开了无限分辨能力的道路。而这些仅仅是提出了一个思路，没有强大的技术支持是无法做到的。当今雷达图像能够与光学图像一样成为遥测的工具，是由于两方面的交替进步，一方面是方法和概念上的进步，另一方面是发射器、接收器、电子元件以及处理算法上的进步。

从 20 世纪 60 年代开始，充满魅力的现代雷达图像学中的有关核心概念得到了探索性的研究和系统的归纳：从不同材料的分辨能力，到穿透覆盖物和浅植被的程度；从几何学效应，到去极化性能；从立体测量、干涉测量以及斜坡测量的能力，到波长的微分特性。雷达图像学的所有基础已经具备。尽管如此，我们必须承认，这些进步依然还是很机密的：诞生于紧急空间防御的雷达图像学依然在较窄范围内限于军事用途，那些最显著的进展常常被认为具有战略意义，向其他工业和研究领域的传播极其缓慢。雷达图像学的复杂性，特别是对技术的高要求，将许多工业应用排除在外，教育界人士进行研究也仅仅依靠极少数实力强大的制造业的支持。甚至合成孔径雷达图像的获取也是一个困难的入口，由于所有权的各项条款以及获得所有权的难度，使得这个入口显得十分有限。这些图像常常来源于不同的接收设备，使用起来有很大的困难。获取的基本参数（我们将会在今后的章节中详细讲述）在不断地调整，中间的处理过程也在不断演化，而这些过渡性的变化并不是都已经被掌握了。民用卫星接收系统 SEASAT, SIR-A 和 SIR-B,

后来尤其是 ERS 系列的诞生，对 SAR 图像应用研究来说，是一个重大的进步。这些系统为所有的试验室建立了参照资料，并且极大地扩展了应用领域。一些领域现在已经完全向雷达图像学敞开了：从对自然灾害的预防到地质和矿藏的勘察，从制图到极地监控，以及从森林开发的规划到海洋的勘测。

雷达图像在很多方面优于光学图像，特别值得重视的是它在任何气候下的视觉能力，尤其是它对如赤道地带那样的多云气候国家的图像获取的能力。而它的相干成像的特性（即以幅度和相位的形式收集信号的能力）可以用来进行孔径的合成，从而可以获得非常高的分辨率，也可以用于干涉测量，进行非常精确的高度测量，还可以用于更为精细的位移控制（精度为所用波长的几分之一）。雷达波的穿透能力还与微波频率有关，它能穿透稀松的树叶以及识别埋藏在干燥地区下的微弱结构。最后，雷达波通常会被极化，介质产生的后向散射波携带着去极化程度这种精细的信息，它在农业、地质学、土地规划等方面得到了很好的应用。

除了上述与光学图像相比的优势以外，雷达图像所具有的互补性也是很吸引人的。雷达图像的形成遵循“飞行时间”的规则，而并非我们所熟知的“投影”图像的规律。雷达图像学对目标的几何属性，无论是微观的（粗糙度和表面效应）还是宏观的（朝向和多次反射），都极其敏感，然而光学图像对目标的物理和化学属性（发射率、反照率、颜色）则更为敏感。在雷达所敏感的属性中，材料的“自然属性”（如金属目标）或者其状态（土壤的温度和植被的干燥度）是非常重要的参数，然而在光学图像中这些参数常常是不可感知的。最后一点区别是，光学图像依赖于发光源（通常是太阳），而雷达图像则完全是主动提取，这就使雷达图像有更好的昼夜和季节的稳定性，但同时对接收器拍摄位置也就产生了更大的依赖性。

基于以上原因，许多卫星都配备了雷达成像设备，其中有一些仅仅用来做些试验，但也有不少卫星，如 Lacrosse 系列（美国军用卫星）或者 ERS 系列（欧洲民用卫星）等，已经可以让后代永久地使用。这些卫星是获取我们这个星球的信息的永久来源。通过图像的解译，这些信息的处理特别可靠，但是要处理的图像数量不断增加，对测度的可靠性和质量的要求也越来越高，从而推动了自动处理技术的应用。正是为了发展这些自动处理技术，我们编写了这本书。

本书介绍了合成孔径雷达数字图像处理所必不可少的一些基本原理，这些原理分为三个部分：

- 解释在辐射作用下，传播现象和物质相互作用的物理基本知识，以及有关雷达运行及其支持平台的基本知识。

- 在统计意义上描述具有非常特殊的性质的雷达信号的数学模型，以及一些有用的性质。
- 研究在应用中需要的一些专门的图像处理方法，包括检测、识别、分类和解译。

正是由于在这三个方面进行了深入的、并行的研究，已经诞生了一些从雷达图像中自动提取信息的有效方法。很多年来，使用者曾满足于采用光学领域遥感图像算法，并将它用于雷达图像。市场上有一些软件以光学图像的解译著称，并且在 Landsat, SPOT 或 Meteosat 等光学图像上得到了验证，这些软件应用于雷达图像却很糟糕，从而使人们一度相信这种图像最终不能自动处理，而只能定性地解译。本书将反驳这一观念，并论述那些在丰富的雷达图像及其有成效的应用中出现的基本原理和基本论题。

合著者清单

Frédéric ADRAGNA
CNES, Toulouse

Danielle DUCROT
CNES, Toulouse

René GARELLO
ENST de Bretagne, Brest

Henri MAÎTRE
ENST, Paris

Jean-Marie NICOLAS
ENST, Paris

Jean-Marc LE CAILLEC
ENST de Bretagne, Brest

Sylvie LE HÉGARAT-MASCLE
CEETP, Vélizy

Armand LOPÈS
CNES, Toulouse

Florence TUPIN
ENST, Paris

Emmanuel TROUVÉ
ESIA-LAMII
Université de Savoie (Annecy)