

国防电子信息技术丛书



Remote Sensing:
Models and Methods for Image Processing, Third Edition

遥感图像处理 模型与方法 (第三版)

微波成像技术国家重点实验室 译

国防电子信息技术丛书

遥感图像处理模型与方法

(第三版)

Remote Sensing
Models and Methods for Image Processing
Third Edition

[美] Robert A. Schowengerdt 著

電子工業出版社
Publishing House of Electronics Industry
北京 · BEIJING

内 容 简 介

本书是作者在长期讲授遥感课程的基础上编写而成的遥感经典教材。它从遥感本质出发,对遥感图像的物理模型、几何模型、数据模型等数学和物理模型进行了由浅入深的阐述,在图像处理方法上则对光谱变换、空间变换、几何校正和辐射校正、图像配准、图像融合和图像分类等重要方面进行了详细论述和讨论。书中给出了大量遥感实例图像和处理例子,尤其介绍了近年来发射的一些遥感器。本书还对新出现的高光谱遥感进行了阐述,给出了高光谱 MODIS 图像和处理的例子。

本书适合遥感相关专业学生以及相关技术人员参考。

Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing, Third Edition

Robert A. Schowengerdt

ISBN: 978-0-12-369407-2

Copyright © 2007 by Elsevier. All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.

ISBN: 978-981-272-003-0

Copyright © 2010 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.

Printed in China by Publishing House of Electronics Industry under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd.

This edition is authorized for sale in Mainland of China. Unauthorized export of this edition is a violation of Copyright Act.

Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书中文简体字版专有出版权由Elsevier (Singapore) Pte Ltd授予电子工业出版社,仅限在中国大陆出版发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 公司防伪标签,无标签者不得销售。

版权贸易合同登记号 图字:01-2007-4102

图书在版编目(CIP)数据

遥感图像处理模型与方法:第3版/(美)肖温格特(Schowengerdt, R. A.),微波成像技术国家重点实验室译.
北京:电子工业出版社,2010.1

书名原文:Remote Sensing: Models and Methods for Image Processing, Third Edition

(国防电子技术丛书)

ISBN 978-7-121-10102-1

I. 遥… II. ①肖… ②微… III. 遥感图像-图像处理 IV. TP751

中国版本图书馆CIP数据核字(2009)第233650号

责任编辑:马 岚 特约编辑:马爱文

印 刷:北京市天竺颖华印刷厂

装 订:三河市鑫金马印装有限公司

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

开 本:787×1092 1/16 印张:22.25 字数:570千字 彩插:8

印 次:2010年1月第1次印刷

定 价:55.00元

凡所购买电子工业出版社的图书有缺损问题,请向购买书店调换;若书店售缺,请与本社发行部联系。联系及邮购电话:(010)88254888。

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。

服务热线:(010)88258888。

译者序

作为一种主动的航天、航空遥感手段,微波成像技术具有全天时、全天候工作的特点,在环境保护、灾害监测、海洋观测、资源勘查、精细农业、地质测绘、政府公共决策等方面有着广泛的应用,目前已成为高分辨率对地观测和全球资源管理的最重要手段之一。以其中的典型代表合成孔径雷达(SAR)技术为例,经过 30 余年的研究和发展,我国在系统研制、数据获取、信息处理及其遥感应用等方面取得了一系列重大的技术突破和丰硕的科研成果。

微波成像技术国家重点实验室主要从事以合成孔径雷达技术为代表的微波成像新概念、新体制和新方法研究。实验室为持续跟踪国际最先进微波成像技术的发展动态而组织开展了外文著作系列翻译工作,涉及 SAR 先进系统、成像算法、图像理解和应用等内容。随着对地观测技术的发展,无论是光学遥感还是微波遥感都有各自的特点,发挥着越来越重要的作用,而且在许多场合可以互为补充,互相印证,这也是实验室将本书列入丛书的重要出发点。

从本质上而言,SAR 是一种主动遥感技术手段,为了更好地理解遥感原理、数据处理模型及图像解译,实验室专门挑选了本书作为理解遥感的入门教材。与其他遥感书籍偏重遥感原理、遥感图像获取、图像处理和应用等有所不同,本书以遥感的模型和处理方法为阐述的主线,帮助读者在较高的层次上对遥感进行理解;从介绍遥感的本质出发,对遥感图像的物理模型、几何模型、数据模型等模型进行了由浅入深的介绍,在图像处理方法上则对光谱变换、空间变换、几何校正和辐射校正、图像配准、图像融合和图像分类等重要方面进行了详细的阐述。与此同时,书中给出了大量的遥感实例图像和处理例子,尤其是近年的新型遥感器,如在第二版的基础上增加了高光谱遥感简介及其高光谱 MODIS 图像和处理的例子。此外,本书是作者在多年教学和科学研究基础上总结编写的,且经过了多次反复讲解、筛选和修订,按章总结并配有相应的习题,便于读者研读思考,是一本优秀的教科书。

微波成像技术国家重点实验室负责实验室译著系列国外前沿著作遴选和翻译组织工作。本书的翻译工作由微波成像技术国家重点实验室联合中国科学院空间信息处理与应用系统技术重点实验室共同开展。其中,尤红建负责翻译第 1 章、第 4 章和第 6 章,龙辉负责翻译第 3 章、第 7 章和第 8 章,王思远和傅兴玉负责翻译第 2 章、第 5 章、第 9 章和附录,贺经纬参加了彩色插图文字的翻译。最后,由尤红建研究员进行了全书的校对,并由吴一戎进行了终稿审定。此外,本书的翻译还得到了中国科学院电子学研究所多位专家学者的指导和帮助。鉴于译者的经验和时间约束,翻译过程中难免存在未尽和疏漏之处,敬请广大同行读者批评指正。

第三版前言

本书第二版出版到现在已接近 10 年了,第三版在此基础上进行了一些必要且全面的更新。这些变化主要包括:

- 传感器的更新。第三版新增的传感器包括 NASA 的星载 Terra, Aqua 和 EO-1,以及商用遥感卫星 IKONOS, OrbView 和 Quickbird,并给出了许多新的图像实例
- 更新了各个主题的研究文献
- 在下列章节扩充和增加了新的内容
 - 传感器空间响应模型和测量
 - MTF 校正
 - 大气校正
 - 多光谱融合
 - 噪声抑制技术
- 新增了彩色插图、习题及许多图片
- 为了提高教学和增进理解,对内容也进行了许多修改。

本书第三版仍然保留了第二版的风格,但是组织形式更加多样,对许多插图也进行了整理,以便能更好地表述相关的概念。

在完成第三版的过程中,有两件事一直在困扰着我。首先,许多国家在不断发射甚至加快发射新的传感器。在这样的实际情况下,要想在图 1.1 中体现所有最新信息相当困难,表示可用的地球和环境遥感系统的插图仍不完善。一些将来预计会发射的遥感系统,例如 National Polar-orbiting Operational Environmental Satellite System(国家极轨运行环境卫星系统, NPOESS),被我故意去除了,因为其计划书在发射前仍在不断修改。

另外一件事是,互联网上获取的信息量异常巨大,从详细的传感器技术文档到数据本身,都非常丰富。坐在计算机旁并访问几乎全部网站,几乎就能写成这样一本书。例如,为了寻找一幅包含陆地、雪和云的多波段 MODIS 遥感图像,我就采用了美国地质调查局(<http://modisdb.usgs.gov>)维护的一个 MODIS 实时广播(Direct Broadcast)网站来浏览寻找合适的图像,并下载了图 1.22 所示的最新图像。另一个例子是图 2.20 所示的 Landsat-7 ETM+ 图像,这是从马里兰大学的 Global Land Cover Facility(全球陆地覆盖设施)找到的一幅安娜湖地区的 ETM+ 图像。本书第三版的“自由”研究几乎都是采用期刊会议论文数据库以及政府和商业卫星网站而在线完成的。它几乎使你惊奇:图书这种媒体形式是否太陈旧了?

与本书的第二版一样,我要感谢我的很多同事,他们为第三版的出版提供了很多帮助,其中包括 Raytheon 公司的 Ken Ando 和 John Vampola 及 Goodrich 光电系统公司的 Bill Rappoport,他们提供了传感器的实际焦平面图解和信息;美国地质调查局的 George Lemeshewsky 提供了多光谱图像融合和恢复方面的实例图像及技术建议;USGS EROS/SAIC 的 Jim Storey 为本书贡献了很多主题讨论和技术建议;新西兰 Manaaki Whenua Landcare 研究所的 James Shepherd 和德国 DLR/DFD 的 Rudolf Richter,很友好地提供了工作中发表的数字图像。我还要感谢给本书提出

很好建议的评阅人,他们对本书的结构和包含的主题等方面给出了很多有益的评论。感谢为本书第二版提出修改意见的各位同事,在新版中我已经采纳了这些建议。最后,我还是要对第三版中使用的各种材料和可能出现的错误负全责。

我要感谢 Elsevier 的编辑和出版人员以及 Multiscience 出版社的 Alan Rose 和 Tim Donar,他们为第三版的出版贡献了自己的耐心和协作精神。除了借助强大的计算机工具并与作者沟通之外,一本好书是需要众多能干而尽责的专业人士经过共同努力才能完成的。

在本书第三版完成之际,对我而言至关重要,感谢我人生和事业中的各位导师,包括教导我走上了正确人生道路的我的父母,让我始终处于正确方向并在许多情况下为我铺平道路的硕士导师 Phil Slater 教授。感谢亚利桑那大学的各位同事、老师和学生们,感谢 NASA, USGS 和许多其他组织,它们使我的研究有趣而令人愉快。我更加忘不了我的两位朋友和合作者 Steve Park 和 Jim Fahnestock 教授,他们两年前已经去世。最后还要真心地感谢我的家庭,他们在第三版修订过程中给予莫大的支持。谢谢你们所有的人!

第二版前言

本书是我先前所著 *Techniques for Image Processing and Classification in Remote Sensing* 的修订版,并且修订时所做的工作远比计划的工作量大。当认识到简单修订满足不了实际需要时,我仔细考虑了一种表达遥感领域中图像处理主题的方法。经过深入细致的思考,我发现遥感领域中使用的很多图像处理方法存在一个共同的主题,即它们直接或者间接地以物理模型为基础。在有些情况下,这种依赖关系是直接的,例如描述轨道几何或者辐射反射率的物理模型;在其他情况下,依赖关系是间接的。例如,通常假定的数据相似性暗指在空间域和光谱域的邻近像元具有相似值。这种相似性来源于获取数据的物理过程和获取过程本身。在几乎所有情况下,遥感图像处理算法的动机和基本原理都可以追溯到一个或多个物理模型的假设。因此,书中使用了这样的角度进行阐述。

显然,本书是个完全数字化的产品,当前可用于桌面出版的计算机工具很早就能支持数字化产品了,它能给出主题内容,能几乎看到全部素材。因此,本书使用了大量计算机生成的图表和图像处理结果。几乎所有插图都是专门为本书制作的全新插图。书中使用了三维绘图程序,将多维数据可视化,同时使用了图像处理软件来处理这些图像,这些软件和程序主要包括 IPT 和 MultiSpec,前者是本人所在实验室开发的图像处理软件 MacSADIE 的一个开发版本,后者是普度大学 David Landgrebe 实验室开发的多光谱分类程序。

为使本书能更好地适用于课堂上讲授,每章的后面都附有习题。这些习题从概念、思维实验到数学推导都有所涉及。这些习题都旨在提高学生对章节内容的理解程度。为了方便读者进一步研究,本书还提供了大量与主题相关的参考文献,书中采用表格形式将其列出,主要是考虑表格形式比较紧凑,能节省空间。在参考文献中重点强调了那些已经归档的期刊论文,因为对于读者来说它们较容易获得。

第 1 章给出了截至 1996 年遥感科学与技术的总体概述,描述了光学遥感器的基本参数和扫描遥感器的基本类型。第 2 章从数学的角度介绍了遥感领域中最重要光学辐射过程,主要包括太阳辐射、大气散射、吸收和传输以及地表反射等,分析了从波长 400 nm 到热红外的光谱区域。第 3 章介绍了辐射响应和空间响应的遥感器模型,同时还介绍了卫星的成像几何结构,该成像几何结构对图像校正、地理编码以及基于立体影像提取高程信息都有重要的作用。

第 4 章介绍了遥感数据模型,是第 2 章和第 3 章介绍的物理模型和后续章节要阐述的图像处理方法的一个过渡,同时也介绍了遥感数据的光谱模型和空间统计模型,包括了用来阐明和解释遥感器特性对遥感系统所获取数据的影响的一系列成像仿真。

从第 5 章开始讨论遥感图像处理方法。介绍了光谱变换,包括各种植被指数、主成分分析和对比度增强等。第 6 章介绍了卷积和傅里叶滤波、多分辨率的图像金字塔模型、尺度空间技术(例如小波变换)。各种遥感图像处理分析方法很有可能成为一种快速有效的空间信息提取技术。这里还介绍了将图像分解成两个或多个分量的空间分解方法,作为多种不同空间变换的连接。第 7 章给出了一些用来进行图像辐射校正和几何校正的图像处理例子,同时讨论了对高光谱分辨率影像进行定标的重要性。第 8 章参考第 6 章介绍的空间降维概念详细讨论了

多幅遥感影像的融合,这里主要使用了 Landsat TM 多光谱影像和 SPOT 全色影像的融合,对各种不同的方法进行解释和分析。本章还详细介绍了基于数字影像金字塔从立体图像对中提取数字高程模型的内容。第 9 章介绍了遥感图像的专题分类,包括基于统计的传统方法、最近发展起来的基于神经网络的方法及模糊分类算法。另外还介绍了专门针对高光谱影像的分类技术。

对于有些内容,读者经常可在其他遥感书籍中看到,例如分类图的误差分析,但是在本书中并没有涉及。这样做不仅是为了节省篇幅,更重要的原因是我认为这些内容与基于遥感物理模型的遥感图像处理方法没有太大的关系。同样,一些图像分类算法,例如建立在对数据的高级提取上的基于规则的分类方法,虽然这种方法在很多领域比较有效,也很有发展前景,但是本书没有介绍。此外,本人认为地理信息系统也不属于本书的研究范围。

非常感谢我的同事和朋友们给予我的建议和帮助。在某些方面,他们的贡献是主要的。在第 2 章和第 3 章的编写过程中,亚利桑那大学光科学中心的 Phil Slater 和 Kurt Thome 所提供的知识帮助和指导我按照正确思路进行写作。在第 4 章的编写过程中,NASA/Ames 研究中心的 Jennifer Dungan 给予本人相似的帮助。其他人为某部分内容提供了有价值的评论,包括亚利桑那大学干旱陆地研究办公室的 Chuck Hutchinson 和 Stuart Marsh,以及 NASA/Ames 研究中心的 Chris Hlavka。我同样衷心感谢密歇根环境研究院的 Eric Crist 在缨帽变换上所提供的思路。我以前和现在的学生为我提供了大量宝贵的数据和实例,包括科学应用国际公司的 Dan Filiberti,亚利桑那大学的 Steve Goisman 和 Per Lysne,Oasis 研究中心的 Justin Paola 及亚利桑那大学的 Ho-Yuen Pang。Photogrammetrie GMBH 的 Gerhard Mehidau 给我提供了最新版本的 IPT 程序。美国地质调查局的同事,包括 William Acevedo, Susan Benjamin, Brian Bennett, Rick Champion, Len Gaydos, George Lee 及 NASA/Ames 研究中心的 Jeff Meyers,非常友好地提供了本书中使用的大量宝贵图像和数字高程数据。我同时非常感谢我的一位老朋友和同事, Peter B. Keenan, 在一个非常美丽的日子里,他帮助我骑自行车采集了旧金山海湾地区的地面实际数据。

我同样非常感谢 Academic Press 出版社的几位编辑和专业人员,他们在技术和管理方面给了我很多贡献,他们是圣迭戈办公室的 Lori Asbury, Sandra Lee 和 Bruce Washburn 及切斯特希尔办公室的 Diane Grossman, Abby Heim 和 Zvi Ruder。

最后,我必须感谢我的家人 Amy, Andrea 和 Jennifer,感谢他们在本书编写过程中给予的付出和支持。

目 录

第 1 章 遥感的本质	1
1.1 引言	1
1.2 遥感	1
1.2.1 从遥感图像提取信息	5
1.2.2 遥感的光谱因子	6
1.3 光谱信号	9
1.4 遥感系统	12
1.4.1 空间和辐射特性	12
1.4.2 光谱特性	21
1.4.3 时相特性	22
1.4.4 多遥感器编队飞行	23
1.5 图像显示系统	23
1.6 数据系统	26
1.7 小结	28
1.8 习题	29
第 2 章 光学辐射模型	30
2.1 概述	30
2.2 可见光到短波红外光谱区	30
2.2.1 太阳辐射	30
2.2.2 辐射组成	32
2.2.3 太阳辐射区域的图像实例	38
2.3 中波段到热红外波段	41
2.3.1 热辐射	42
2.3.2 热辐射组成	42
2.3.3 总的向上传播的太阳辐射和热辐射	45
2.3.4 热辐射区的图像实例	46
2.4 小结	48
2.5 习题	48
第 3 章 遥感器模型	50
3.1 概述	50
3.2 遥感器模型简介	50
3.3 分辨率	50
3.3.1 仪器响应	50
3.3.2 空间分辨率	51

3.3.3	光谱分辨率	54
3.4	空间响应	56
3.4.1	光学 PSF	57
3.4.2	探测器 PSF	58
3.4.3	图像运动 PSF	58
3.4.4	电子 PSF	58
3.4.5	总 PSF	59
3.4.6	遥感器各个 PSF 之间的比较	60
3.4.7	成像系统模拟	60
3.4.8	测量 PSF	64
3.5	光谱响应	69
3.6	信号放大	71
3.7	采样与量化	72
3.8	简化的遥感器模型	73
3.9	几何变形	73
3.9.1	遥感器定位模型	74
3.9.2	遥感器姿态模型	74
3.9.3	扫描仪模型	75
3.9.4	地球模型	76
3.9.5	摆扫几何模型	79
3.9.6	推扫几何模型	79
3.9.7	地形扭曲	81
3.10	小结	83
3.11	习题	83
第 4 章	数据模型	84
4.1	引言	84
4.2	符号中的世界	84
4.3	单变量的图像统计	85
4.3.1	直方图	85
4.3.2	累积直方图	86
4.3.3	统计参数	87
4.4	多变量图像统计	87
4.4.1	约简为单变量统计	93
4.5	噪声模型	93
4.5.1	图像质量的统计测量	96
4.5.2	噪声等价信号	100
4.6	空间统计	100
4.6.1	空间协方差的可视化	101
4.6.2	协方差和半变量图	101
4.6.3	功率谱密度	106

4.6.4	共现矩阵	108
4.6.5	分形几何	110
4.7	地形和遥感器效应	112
4.7.1	地形和光谱散布图	112
4.7.2	遥感器特性和空间统计	114
4.7.3	遥感器特性和光谱散布图	116
4.8	小结	120
4.9	习题	120
第 5 章	光谱变换	121
5.1	概述	121
5.2	特征空间	121
5.3	波段比率法	122
5.3.1	植被指数	124
5.3.2	图像示例	126
5.4	主成分分析法	127
5.4.1	标准化的主成分	132
5.4.2	最大噪声分量	134
5.5	缨帽主成分变换	135
5.6	对比度增强	137
5.6.1	全局变换	138
5.6.2	局部变换	144
5.6.3	彩色图像	146
5.7	小结	151
5.8	习题	151
第 6 章	空间变换	153
6.1	引言	153
6.2	空间滤波的图像模型	153
6.3	卷积滤波	153
6.3.1	线性滤波器	154
6.3.2	统计滤波器	161
6.3.3	梯度滤波器	163
6.4	傅里叶变换	165
6.4.1	傅里叶分析和合成	165
6.4.2	二维离散傅里叶变换	165
6.4.3	傅里叶分量	169
6.4.4	基于傅里叶变换的滤波	169
6.4.5	采用傅里叶变换的系统模型	173
6.4.6	功率谱	176
6.5	尺度空间变换	177

6.5.1	图像分辨率金字塔	177
6.5.2	过零点滤波器	180
6.5.3	小波变换	186
6.6	小结	188
6.7	习题	188
第 7 章	校正与定标	190
7.1	概述	190
7.2	几何校正	190
7.2.1	多项式校正模型	192
7.2.2	坐标转换	198
7.2.3	重采样	200
7.3	遥感器 MTF 补偿	205
7.3.1	MTF 补偿举例	207
7.4	噪声去除	209
7.4.1	全局噪声	210
7.4.2	局部噪声	211
7.4.3	周期噪声	214
7.4.4	探测器条纹	215
7.5	辐射定标	221
7.5.1	多光谱遥感器与图像	222
7.5.2	高光谱遥感器与图像	226
7.6	小结	234
7.7	习题	234
第 8 章	配准与融合	235
8.1	概述	235
8.2	什么是配准	235
8.3	自动 GCP 定位	236
8.3.1	区域相关	236
8.3.2	其他空间特征方法	239
8.4	正射校正	239
8.4.1	低分辨率 DEM	240
8.4.2	高分辨率 DEM	241
8.5	多图像融合	245
8.5.1	特征域融合	247
8.5.2	空间域融合	247
8.5.3	尺度 - 空间融合	250
8.5.4	图像融合举例	250
8.6	小结	253
8.7	习题	253

第 9 章 专题分类	254
9.1 概述	254
9.2 分类流程	254
9.2.1 图像尺度和分辨率的重要性	255
9.2.2 相似度概念	257
9.2.3 硬分类和软分类的比较	258
9.3 特征提取	259
9.4 分类器训练	259
9.4.1 监督分类	260
9.4.2 非监督分类	262
9.4.3 监督分类和非监督分类的混合训练	265
9.5 非参数化分类器	266
9.5.1 分级分片算法	266
9.5.2 直方图估计分类器	267
9.5.3 最近邻算法	267
9.5.4 人工神经网络算法	267
9.5.5 非参数化分类器实例	271
9.6 参数化分类器	274
9.6.1 模型参数的估计	274
9.6.2 辨析函数	274
9.6.3 正态分布模型	275
9.6.4 最近均值分类器	277
9.6.5 参数化分类实例	278
9.7 光谱空间分割	282
9.7.1 区域生长	282
9.8 混合像元分类算法	284
9.8.1 线性混合模型	286
9.8.2 模糊分类	291
9.9 高光谱图像分析	293
9.9.1 图像立方体的可视化	293
9.9.2 分类训练	294
9.9.3 从高光谱数据中提取特征	294
9.9.4 高光谱数据的分类算法	296
9.10 小结	300
9.11 习题	300
附录 A 遥感器缩写词	302
附录 B 一维函数和二维函数	303
参考文献	306

第 1 章 遥感的本质

1.1 引言

1972 年发射了第一颗陆地多光谱扫描仪(Landsat Multispectral Scanner System, MSS),它有 4 个波段,波谱宽度大约 100 nm,像元大小为 80 m,从而开创了从太空遥感地球的新纪元。遥感系统展现的多样性和广泛性表明 MSS 指标是真正适用的。现在已经有了能够采集几乎全部电磁波谱的卫星运行系统,波段达到了几十个,而像元大小从 1 m 到 1000 m 不等。大量的航空高光谱系统可以作为卫星平台的补充,它们一般具有几百个波段,波谱间隔达到了 10 nm 量级,本章将重点阐述这些遥感光电成像设备的基本特征及其获取的图像。

1.2 遥感

我们将遥感定义为从飞机或卫星上获取数据以测量地球表面各种物体的特性,因此它是从远距离测量某个物体的,而非现场测量。由于不能直接接触感兴趣的物体,就必须依靠某种信号的传播,比如光、声或微波。本书将局限于讨论采用光信号来遥感地球表面。尽管遥感数据由离散的点测量值或沿飞行路径的剖面测量值组成,但在此我们主要研究二维空间网格分布的测量数据,即图像。遥感系统,尤其是放置在卫星平台上的系统,提供了一种重复、连续观测地球的视角,它监视短期和长期变化及人类活动影响的价值是无法衡量的。遥感技术的一些重要应用有:

- 环境评价和监测(城市扩张和污染物排放)
- 全球变化检测和监测(大气层臭氧的损耗、森林砍伐和全球变暖)
- 农业(农作物长势、产量预测和土壤侵蚀)
- 非再生资源调查(煤炭、石油和天然气)
- 可再生自然资源(湿地、土壤、森林和海洋)
- 气象(大气动力学和天气预报)
- 制图(地形图、土地利用和土木工程)
- 军事侦察和监视(战略侦察和打击评估)
- 新闻媒体(图解和分析)

为了满足不同数据用户的要求,人们已经开发了许多遥感系统以满足各种不同空间的、光谱的和时间的参数应用要求。一些用户或许会要求频繁地重复覆盖,而空间分辨率要求相对较低(气象)^①,另一些用户则要求尽可能高的空间分辨率,而很少要求重复覆盖(制图)。还有一些用户则既要求高空间分辨率和频繁覆盖,又要求快速的图像分发(军事侦察)。正确定标的遥感数据可以用来初始化和验证大型计算模型,例如全球气候模型(Global Climate Model,

① 分辨率一词会引起许多混淆。本章使用其通用意义,即地面像元采样之间的距离(见图 1.11)。该主题会在第 3 章中详细讨论。

GCM),它试图模拟和预测整个地球的环境。在这种情况下,高空间分辨率是不符合计算要求的,但是要求在时间和空间上都精确一致的遥感器定标是最基本的要求。

从卫星上遥感地表的新纪元开始于陆地多光谱扫描仪(MSS),1972年它首次为世界科学研究组织提供了一致性强的全球高分辨率图像。这个新遥感器的特点是多个光谱波段(能测量4个谱段的电磁波谱,每个谱段大约100 nm宽^①,属于比较粗的光谱仪)、在当时具有较为合理的高空间分辨率(80 m)、较大的覆盖区域(185 km × 185 km)和重复覆盖能力(每隔18天)。更重要的是,MSS直接以数字方式为一般用户提供了卫星图像数据。20世纪70年代初,一些研究组织相继开发了不少多光谱数据基础处理方法,如美国航空航天局(National Aeronautics and Space Administration, NASA)、喷气推进实验室(Jet Propulsion Laboratory, JPL)、美国地质调查局(U.S. Geological Survey, USGS)、密歇根环境研究所(Environmental Research Institute of Michigan, ERIM)和普度大学的遥感应应用实验室(Laboratory for Applications of Remote Sensing, LARS)。Landgrebe and David(1997)给出了关于 Landsat 计划的目的是和数据处理的历史及相关讨论。

自1972年以来,Landsat系列卫星包括4个MSS系统、两个专题制图仪(Thematic Mapper, TM)系统和增强的专题制图仪(Enhanced Thematic Mapper Plus, ETM+)。此外,还发射了5个更高分辨率的法国SPOT系统,几个更低分辨率的AVHRR和GOES系统,以及搭载在地球观测系统(Earth Observing System, EOS) Terra和Aqua卫星上的NASA遥感器,同时还有大量的机载和星载多光谱遥感器。许多国家和地区,包括加拿大、印度、以色列、日本、韩国、中国台湾地区以及多国机构,如欧空局(European Space Agency, ESA),都运行着一些遥感系统。关于这些光学遥感系统的性能,有两个最为关键的遥感器参数需要描述:光谱波段数和地面投影采样间隔(Ground-projected Sample Interval, GSI)^②,如图1.1所示。一些科学期刊的专刊上详细描述了不同遥感系统(见表1.1)。附录A中给出了遥感器术语的详细说明。

图1.1中的符号对应着遥感器的不同光谱区域:V代表可见光,NIR代表近红外,LWIR代表长波红外,MWIR代表中波红外,SWIR代表短波红外,P代表全色。本章后面会解释这些术语。除了AVIRIS和HyMap外,这些系统都是卫星系统,还有许多卫星系统的航空模拟系统没有列出来,例如MODIS航空模拟系统(MODIS Airborne Simulator, MAS)、航空MISR(Airborne MISR, AirMISR)和专题制图仪模拟系统(Thematic Mapper Simulator, TMS),附录A中列出了这些遥感及其他遥感器的缩写词,若想全面了解各种遥感系统,可以查阅Kramer的书(Kramer, 2002)。

图1.1的上半部分是所谓的高光谱遥感器。先进的可见光/红外图像光谱仪(Advanced Visible/InfraRed Imaging Spectrometer, AVIRIS)和HyMap是航空遥感器,它们能在400~2400 nm的太阳反射光谱谱段内获取地面同一地区的数百幅图像,而光谱宽度大约为10 nm。Hyperion作为第一颗民用高光谱卫星系统,是NASA的Earth Observing-1(EO-1)卫星。尽管欧空局的中等分辨率图像光谱仪(Medium Resolution Imaging Spectrometer, MERIS)只有较少的光谱波段,但它也是一种成像光谱仪。这些系统的光谱波段是通过连续分光器如光栅或棱镜来分隔的。中等图像光谱仪(MODerate Imaging Spectroradiometer, MODIS)是一种以离散滤光器为基础的系统,它装在Terra和Aqua平台上,能获取0.4~14 μm光谱范围内36个波段的图像。这些遥感器在信息的质量和数量上都已经有了很大改进,可以采集关于地球表面和近空环境(见表1.2)的信息。彩图1.1和彩图1.2分别给出了AVIRIS和Hyperion的示例图像,图1.22为MODIS图像。

① 敏感的光谱范围是指带宽,可以有很多方法进行定义(见第3章),它确定了遥感器的光谱分辨率。

② GSI和这里采用的空间分辨率是相同的概念。

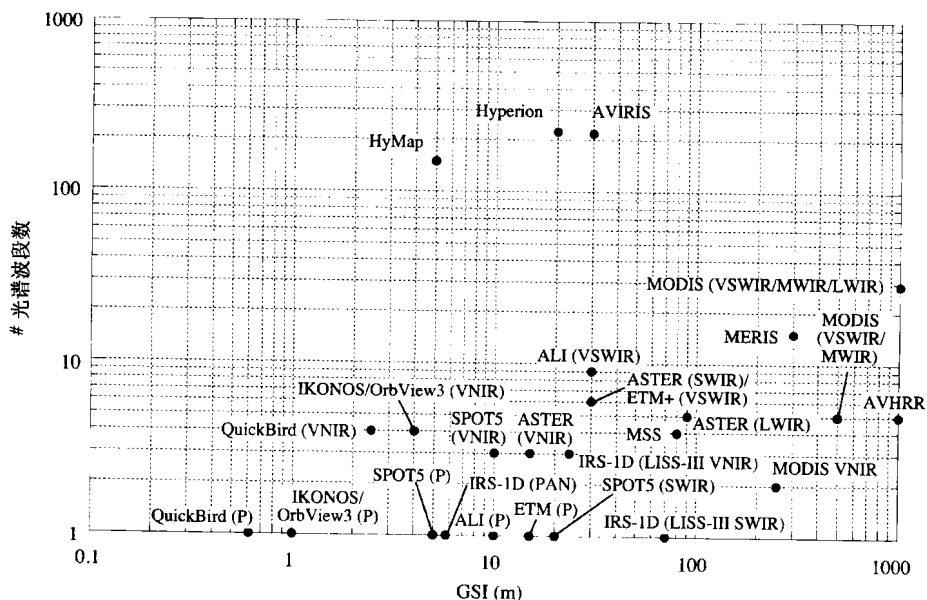


图 1.1 在二维参数空间中描绘的一些遥感系统

表 1.1 登载各种传感器设计、性能、定标和应用等相关论文的科技期刊专刊

传感器平台	期 刊
Aqua	IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, Vol 41, No 2, February 2003
ASTER(科学结果)	Remote Sensing of Environment, Vol 99, Nos 1-2, November 15, 2005
ASTER(定标和性能)	IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, Vol 43, No 12, December 2005
EO-1	IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, Vol 41, No 6, June 2003
IKONOS	Remote Sensing of Environment, Vol 88, Nos 1-2, November 30, 2003
Landsat-4	IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, Vol GE-22, No 3, May 1984
	Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, Vol LI, No 9, September 1985
Landsat-5 和 Landsat-7(性能特点)	IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, Vol 42, No 12, December 2004
MERIS	International Journal of Remote Sensing, Volume 20, Number 9, June 15, 1999
MODIS(土地科学)	Remote Sensing of Environment, Vol 83, Nos 1-2, November, 2002
MTI	IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, Vol 43, No 9, September 2005
Terra	IEEE Transaction on Geosciences and Remote Sensing, Vol 36, No 4, July 1998

遥感系统数量的增加和分辨率的提高对现代数据存储和计算机系统提出了巨大挑战。例如,美国 USGS 地球资源观测和科学中心(Earth Resources Observation and Science, EROS)下属的陆地处理分发文档中心(Land Processes Distributed Active Archive Center, LPDAAC),在 2003 年 11 月数据量就超过了拍字节^①。近年来,一些大学或其他非营利组织维护的互联网站也会免费以电子形式分发一些遥感数据,但一般只是少量的非商业数据。将来这种形式的数据共享可能会持续和增加。

尽管目前光电图像传感器和数字图像是进行地球遥感的主流,但早期的技术仍然是可行的。例如,航空照片虽然是最早的遥感技术,但由于它的高空间分辨率和灵活覆盖,至今仍是一种十分重要的数据源。在太空遥感中,照片图像也扮演着重要角色。例如 SOVINFORMSPUTNIK, SPOT Image 和 GAF AG 等公司利用前苏联的 KVR-1000 全色胶片相机扫描照片,能够获得 2 m 的地面分

① 1 拍字节 = 1 125 899 906 842 624 字节。

分辨率,而TK-350相机则能够提供10 m分辨率的立体覆盖。美国政府已经解禁了早期国家侦察卫星系统CORONA, ARGON和LANYARD的照片(McDonald, 1995a; McDonald, 1995b),共有800 000多张照片(一些是扫描数字化的),其中绝大多数是黑白的,也有一些彩色和立体的,它们覆盖了地球的大部分地区,分辨率为2~8 m。图像覆盖的时间为1959年至1972年。虽然它不能像Landsat数据那样系统地获取全球数据,但提供了早期很难得的12年历史记录数据,这对环境研究而言简直是无价之宝。目前可以从USGS的EROS获取这些数据。

表 1.2 EOS MODIS 系统的各波段能够测量的主要地球物理参数(Salomonson *et al.*, 1995)。

注意,表中1~19波段的光谱范围单位是纳米,20~36波段的光谱范围单位是微米

地理变量		波 段	光谱范围	GSI (m)
一般变量	专用变量			
土地/云边界	植被叶绿素	1	620 ~ 670	250
	云和植被	2	841 ~ 876	
土地/云特性	土壤、植被差异	3	459 ~ 479	500
	绿色植被	4	545 ~ 565	
	叶/冠特性	5	1230 ~ 1250	
	雪/云差异	6	1628 ~ 1652	
	陆地和云特性	7	2105 ~ 2155	
海色	叶绿素观测	8	405 ~ 420	1000
	叶绿素观测	9	438 ~ 448	
	叶绿素观测	10	483 ~ 493	
	叶绿素观测	11	526 ~ 536	
	沉淀物	12	546 ~ 556	
	沉淀物、大气	13	662 ~ 672	
	叶绿素	14	673 ~ 683	
	悬浮特性	15	743 ~ 753	
	悬浮/大气特性	16	862 ~ 877	
大气/云	云/大气特性	17	890 ~ 920	1000
	云/大气特性	18	931 ~ 941	
	云/大气特性	19	915 ~ 965	
热特性	海洋表面温度	20	3.66 ~ 3.84	1000
	林火/火山	21	3.929 ~ 3.989	
	云/表面温度	22	3.929 ~ 3.989	
	云/表面温度	23	4.02 ~ 4.08	
	对流层温度/云分形	24	4.433 ~ 4.498	
对流层温度/云分形	25	4.482 ~ 4.549		
大气/云	卷云	26	1.36 ~ 1.39	1000
热特性	中对流层温度	27	6.535 ~ 6.895	1000
	中对流层温度	28	7.175 ~ 7.475	
	表面温度	29	8.4 ~ 8.7	
	总臭氧	30	9.58 ~ 9.88	
	云/表面温度	31	10.78 ~ 11.28	
	云/表面温度	32	11.77 ~ 12.27	
	云高和分形	33	13.185 ~ 13.485	
	云高和分形	34	13.485 ~ 13.785	
	云高和分形	35	13.785 ~ 14.085	
	云高和分形	36	14.085 ~ 14.385	

从20世纪90年代末期开始,进入了0.5~1 m全色分辨率和2.5~4 m多光谱分辨率模式的高性能卫星传感器之商业开发阶段(Fritz, 1996),这为卫星图像打开了新的商业市场和公共服务机会,例如房地产市场、移动电话基站设计和无线个人通信系统(Wireless Personal Communications