

**Broadview**  
www.broadview.com.cn

 Springer

# 遥感数字 图像分析 (第4版)

Remote Sensing Digital Image Analysis (4th Edition)

[澳] John A. Richards Xiuping Jia 著  
张晔 张钧萍 谷延锋 陈浩 译



电子工业出版社  
PUBLISHING HOUSE OF ELECTRONICS INDUSTRY  
<http://www.phei.com.cn>

# 遥感数字 图像分析 (第4版)

Remote Sensing Digital Image Analysis (4th Edition)

[澳] John A. Richards, Xiuping Jia 著  
张晔 张钧萍 谷延锋 陈浩 译



電子工業出版社

Publishing House of Electronics Industry

北京•BEIJING

## 内 容 简 介

本书是 John A. Richards 教授和 Xiuping Jia 博士经典著作 *Remote Sensing Digital Image Analysis* (第 4 版) 中译本。全书除第 1 章介绍遥感图像数据源及特性外, 基本包含两大方面内容: 第一方面包括第 2~7 章, 主要涉及遥感图像处理的基本技术和方法, 如校正和配准、解译、增强、变换等; 第二方面包括第 8~13 章, 主要涉及遥感图像处理的应用技术和方法, 如监督/非监督分类、特征减少、多源/多传感器处理、高光谱处理等。该书的特点是以易于读者理解和应用为宗旨, 在侧重不同处理技术和方法的同时, 充分结合了当前的新理论、新技术和新方法。

本书是从事遥感领域研究的高年级本科生、研究生的一本全面、完整、详细的教材, 也是广大科技工作者自学和应用遥感技术的经典参考之作。

Translation from the English language edition:

*Remote Sensing Digital Image Analysis*, by John A. Richards and Xiuping Jia

Copyright © 2006 Springer-Verlag Berlin Heidelberg

Springer is a part of Springer Science+Business Media

All right reserved

本书中文简体版专有出版权由 Springer-Verlag GmbH Berlin Heidelberg 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: 01-2007-1360

## 图书在版编目 (CIP) 数据

遥感数字图像分析: 第 4 版 / (澳) 理查德 (Richards, J.A.), (澳) 贾秀萍著; 张晔等译. —北京: 电子工业出版社, 2009.6

书名原文: *Remote Sensing Digital Image Analysis* (4th Edition)

ISBN 978-7-121-08716-5

I. 遥… II. ①理… ②贾… ③张… III. 遥感图像—数字图像处理 IV. TP751.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2009) 第 063552 号

责任编辑: 顾慧芳

印 刷: 北京智力达印刷有限公司

装 订: 北京中新伟业印刷有限公司

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: 787×980 1/16 印张: 22.25 字数: 403 千字

印 次: 2009 年 6 月第 1 次印刷

定 价: 55.00 元

凡所购买电子工业出版社图书有缺损问题, 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 [zlts@phei.com.cn](mailto:zlts@phei.com.cn), 盗版侵权举报请发邮件至 [dbqq@phei.com.cn](mailto:dbqq@phei.com.cn)。

服务热线: (010) 88258888。

# 序

从本质上讲，遥感是一种基于应用的学科，它包含了一系列的技术和方法，在处理地球科学和相关领域的问题中具有重大的价值。大多数从事水文地理、农业、工程、林业、地质、环境以及城市规划领域的实践者基本上都是很专业的，使他们具有遥感知识可以在很大程度上提高他们的专业技能和实际能力。

本书主要针对这类读者群，给他们提供一些分析数字图像数据需要的技术和方法。在数学上以面向处理的角度，相关的方法经常可以在工程、统计和计算机科学文献中遇到；但是，对于那些重点在遥感、但又没有较深数学素养的人群而言，这些经常会超出他们所能达到的范围。因此，本书采用的途径是，最小化使用高深的数学，并且通过一些工作范例和详细说明的素材来指导读者。

还有一批并不是主要集中在应用上的遥感专家，他们是一些擅长于研发和进行具体分析技术、特别是致力于技术趋势的专家。在过去十年里，高光谱图像对技术研发者提出新的挑战，在未来十年里也将要解译由卫星传感器网络提供的数据。尽管本书的处理是从个人的观点整理的，仅包含有限的数学知识，但它对于那些从事下一代分析技术研究的人们也是很有价值的，因为它为确定提高和解译遥感图像最有价值的方法提供了基本的素材。因此本书可以用作工程和相关领域的高年级本科生和研究生的课程教材，以便学习图像分析与理解的研究方法。

我非常高兴哈尔滨工业大学张晔教授承担了把这本书译成中文的任务。本书是1986年首次引入到讲英语的世界里的，自此随着技术的发展和出现新方法的出现，经历了四次再版。该翻译版本使得它更加有利于我们的中国同行，对我而言这是特别重要的。在此我对张晔教授的远见和艰苦工作表示衷心的感谢。翻译其他人的技术著作不是一件易事，必须具有较苛求的训练。我真诚希望中国的学者和遥感从业者感谢张晔教授如此好地进行了该项工作。

John Richards

2008年5月于澳大利亚堪培拉

# Preface

Remote sensing is fundamentally an application based discipline. It is a set of technologies and methodologies that can add enormous value in handling the problems of the earth sciences and related fields. Most practitioners are, primarily, professionals in fields such as hydrology, agriculture, engineering, forestry, geology, ecology and urban studies; giving them remote sensing skills considerably enhances their expertise and capabilities.

This book is aimed principally at those people. It is designed to provide them with the techniques and methodologies needed for analysing digital image data. The relevant methods are very often found in mathematically oriented treatments in the engineering, statistics and computer science literature. They are therefore often out of reach of those for whom remote sensing is important but who have not had deep mathematical training. The approach adopted here is to minimise the use of advanced mathematics, and to guide the reader through the material with worked examples and detailed explanations.

There is a group of remote sensing specialists who are not primarily applications focussed. They are the experts who develop the actual analytical techniques, particularly in response to trends in technology. In the past decade hyperspectral imagery has challenged the techniques developer as will interpreting the data to be provided by satellite sensor networks in the decade ahead. Even though the treatment here is written from the perspective of the person with limited mathematical expertise, it is of value as well to those who pursue the next generation of analytical technique since it provides the foundation material for the procedures that find most value in enhancing and interpreting remote sensing imagery. It can therefore be used for senior undergraduate, and graduate courses in engineering and related fields, and by those researching methods for image analysis and understanding.

I am delighted that Professor Zhang Ye of the Harbin Institute of Technology has undertaken the task of translating this book into Chinese. It was first introduced in the English speaking world in 1986 and has since gone to four editions as techniques have evolved and new method for analysis have emerged. Making it more readily available to our Chinese colleagues is particularly important to me and I would like to express my appreciation to Professor Zhang for his foresight and his commitment to the task. Translating someone else's technical writing cannot be easy and must be a very demanding exercise. I do hope that many Chinese scholars and remote sensing practitioners are grateful to Professor Zhang for having carried out this job so well.



Canberra Australia

May 2008

# 译者前言

早在美国做访问学者期间,我有幸拜读了 Xiuping Jia (贾秀萍)博士和 John A. Richards 教授发表于 IEEE Trans. on Geoscience and Remote Sensing 的论文“Segmented Principal Components Transformation for Efficient Hyperspectral Remote Sensing Image Display and Classification”,当时感觉与自己在 IEEE International Conference of Image Processing(ICIP 99)上的论文“Adaptive Subspace Decomposition for Hyperspectral Data Dimensionality Reduction”的初衷是一致的,无形中促使我对论文作者的研究进行了跟踪。也就在那时,我第一次拜读了 John A. Richards 教授的经典著作《Remote Sensing Digital Image Analysis》(第1版)一书。该书由浅入深、图文并茂的写作风格深深吸引了我,以至于当时就萌生过如果有机会一定要把这本书翻译成中文的想法,介绍给更多的中国学者,使他们能够与我一起分享本书的精华。

2005 年我们很荣幸邀请到了 John A. Richards 教授和 Xiuping Jia 博士来哈尔滨工业大学进行学术交流,并聘请 John A. Richards 教授担任哈尔滨工业大学客座教授,同时达成翻译该书的协议。原作者 John A. Richards 教授是 Fellow of IEEE 和 Fellow of the Australian Academy of Technological Sciences and Engineering,曾任澳大利亚 University of New South Wales 校长、Australian National University 副校长,是国际遥感图像处理领域的著名专家。该书经过 4 版的不断完善和丰富,在内容选取上充分反映了当前遥感图像处理领域的新理论和新技术,在结构安排上体现了理论和应用的有效结合,在编排形式上图、文、表并茂更易于读者阅读理解,可以说该书是目前国际上遥感图像处理领域高年级本科生、研究生及相关技术人员阅读的经典教材和参考书。

全书由哈尔滨工业大学张晔教授对译稿进行统稿,张钧萍教授、谷延锋副教授、陈浩讲师负责了部分章节的翻译工作。在整个翻译过程中,硕士研究生刘颖、王纯业、路岩、孙佳琛、张腊梅等做了许多有价值工作。此外,硕士研究生付延生对书中图表进行了编排,王爱丽博士对全书进行了辅助校对,在此一并表示感谢。

需特别感谢的是,原书作者 John A. Richards 教授为本书的中译版作序,另一位作者 Xiuping Jia 博士对全书进行了精细的校对,我也借此机会对他们的辛勤工作表示诚挚的谢意。

由于该书原著涉及遥感图像处理的基本理论、基本概念和基本方法较多,涉及的交叉学科也较广,在全书翻译过程中,特别是在部分专用术语上难免有不恰当或不足之处,敬请有关专家和学者批评指正。

张晔

2008 年 7 月于哈尔滨工业大学

## 第 4 版前言

第 4 版工作主要反映在过去五年里遥感领域中数字图像数据分析技术所发生的变化,重点集中在那些现在已经成为常用的专题制图方法上。与以前的修订版一样,书中的基本内容因为其指导价值而保持了原有的格式;但是,如果从第 3 版问世以后出现的新内容,则其风格和内容被修订补充;不过,本书面向高年级学生和专业人士需求的宗旨没有改变。

早期的版本在第 1 章包含了广泛的关于卫星计划和传感器特性的内容。虽然那些内容对理解图像分析方法是重要的,但在过去十年里各种运行计划的快速发展意味着,扩展第 1 章所需的大量内容会削弱该章向读者介绍遥感领域数字图像的种类和性质的作用。因此,所有关于卫星运行阐述和传感器指标的内容都放到新的附录 A 中。第 1 章已经完全重写为独立的一般性传感器介绍以及图像分析中重要的数据特性。

全书已做了许多变化来满足高光谱数据及其分析的不断增长的重要性需求。虽然其中大部分内容包括在第 13 章中,但高光谱数据处理所需要的许多技术在前面各章节中已经涉及,特别,是在高光谱数据上工作效果较好的特征提取的新内容已包括在第 10 章中。

第 10 章已经重新命名,因为它主要涉及用多数据源和多传感器进行专题制图的内容,用原来的数据融合作为题目有太多的混淆之处。

第 8 章涉及监督分类方法,现已经做了大量的补充,具体体现在  $k$  最近邻分类、Markov 随机场和支持矢量分类器 (Support Vector Machines) 等章节中。

其他的修改涉及噪声调节主成分变换、纹理的定义、对比度修正部分,以及增加了一些新的图式和习题。

作者继续享有来自家庭强有力的支持和理解,对该书的完成,他们的理解和支持是如此重要,对此作者在这里表达和记录下对他们诚挚的感激之情。

John A. Richards

Xiuping Jia (贾秀萍)

2005 年 1 月于澳大利亚 (Australia), 堪培拉 (Canberra)

## 第 3 版前言

自从本教材第 2 版出版以来,出现了两个有意义的趋势。一是随着大部分的学生和专业人士现在拥有了不昂贵的工作站和强有力的软件来分析和处理图像数据,对图像处理技术的介入继续不断地增强。

二是卫星、航天飞机以及传感器数目的惊人增长。可能最有意义的是广泛可得的高光谱数据以及这种数据为信息提取所带来的特定挑战。

因此,第 3 版立足于反映这种趋势。与此同时,保留了在遥感应用中有意义的图像处理和分析算法的重要精华。

本版和前版的主要变化是更新了第 1 章,并引进了新的第 13 章来涉及分析高光谱数据的方法。

第 12 章也进行了大量的修改,重点是在混合数据集的解译方面,其中包含不同类型的图像,以及 GIS 里的其他空间数据类型。以前基于知识分类的内容继续保留,但原本在第 8 章涉及的多源数据分析的内容,现在和基于知识的方法合并,建立了本章的数据融合。

作者希望借此对他们的同事在准备本版工作中给予的帮助表示感谢。特别是普渡(Purdue)大学的 David Landgrebe 一贯给予的极大支持,两位作者都得益于与 Dave 多年合作,包括在 Purdue 度过的日子。

作者也极其感激来自家庭的理解和支持,使得完成第 3 版成为可能。

John A. Richards

Xiuping Jia (贾秀萍)

1998 年 3 月于澳大利亚 (Australia), 堪培拉 (Canberra)

## 第 2 版前言

自从 1986 年本教材第 1 版发行以来，遥感的专业人士和学生经历的最大变化可能是对图像处理技术介入的巨大提高。硬件和软件成本的降低，伴随着各种各样的用户接口的发展在计算功能上的增加，意味着即使在处理上对技术不熟练的用户，现在也能直接和轻松地应用有力和灵活的数字图像分析与增强的处理方法。在算法层上，对图像处理各种方法的理解在过去几年由此变得更加重要，以保证数字图像处理的能力能够充分利用。

这个时期也是数字数据源发展繁忙的时期，许多国家已经成为了卫星数据的收集者和提供者，这些数据可能是用光学技术、也可能是用微波技术得到的。因此，从业者和研究者现在所面临的要求是能够处理来自多种传感器的图像、以及包括其他形式的空间数据。在某种程度上，这是受地理信息系统（GIS）发展驱动的，反过来，GIS 也导致了辅助比较传统方法的新的图像处理方法的出现。

在本版中增加的内容是针对这些变化的。首先，第 1 章已经做了重大修订来反映卫星和传感器的发展。较早系统中的信息没有删除，因为它们的数据已成为重要档案，仍然具有其价值，特别是对于那些与数据采集有关的应用。

涉及有监督分类方法的第 8 章，大量增加了能够进行基于上下文分类，以及一些如证据处理和神经网络等技术，它们作为可行的图像解译工具表现出了重要作用。尽管增加这些专题使得这章与其他章比起来变得较长，但我们觉得不把这些内容与较传统的方法分开是非常重要的。现在，该章给出了两个部分：第一部分包括标准的有监督分类方法，而第二部分是新的专题。另外，在过去的五年里，从经典数字图像处理到遥感应用的发展体现在基于知识的方法的采用。在这里，定性的而不是定量的推理被用来进行解译，这就是此新一章的主题，其目的是引进基于知识的推理来作为单幅图像解译的手段，以及作为混合处理 GIS 中多种空间数据类型的一种成功方法。

除了这些变化，借此机会把第 1 版中的印刷和相关错误进行了校对，并对其他内容进行了更新。

像第 1 版一样，作者希望记录对其他人支持和帮助的感激。作为一名非常有天赋的研究生 Ashwin Srinivasan，现在在 Glasgow 的 Turing 学院，贡献了许多第 12 章所依据的内容，在他作为学生期间，帮助作者理解了基于知识处理的机理，他也非常友好地对该章进行了阅读和给出了评注。作者的同事 Don Fraser 对神经网络的内

容进行了同样的阅读并给出了评述。Purdue 大学的 Philip Swain 和 David Landgrebe 以这样一些方式继续支持作者：通过他们对第 1 版的反馈，在图像处理方面的交流，以及 David 提供 MultiSpec—Macintosh 计算机版本的 LARSYS 软件包。最后，作者再次感谢来自家庭的恒久不变的支持，没有这种支持，可能就不会有完成这版所需要的精力和热情。

John A. Richards

1993 年 3 月于澳大利亚 (Australia)，堪培拉 (Canberra)

# 第 1 版前言

随着卫星和航天飞机遥感数字图像可得性的广泛化,以及大多数遥感从业者对图像解译计算系统的方便可得,一种需求就是把该领域普遍采用的数字图像处理程序和方法进行统一处理。本书的宗旨就是满足这种需求,在对非专业数字图像分析者能够理解的水平上,介绍算法的应用范围、可选择的方法以及当前的趋势等细节。通常,希望利用数字处理方法的遥感应用专家必须依赖于或者是电子工程和计算机科学文献中涉及的图像处理需要的过多数学细节、或者是一般遥感课本中给出的表面化的介绍,本书寻求接触这种状况。

本书既包括了图像增强技术,也包括了分类技术,使得本书的内容对基于照片判读的信息提取方法和基于分类的信息提取方法均有帮助。本书源于从 1980 年以来在新南威尔士大学每年开的关于遥感数据数字图像处理和分析技术的研究生课程。如果用作研究生课本,除第 7 章外,其大部分内容可以在一个学期完成。作为教材,它的功能还体现在每章后面都给出了习题,大多数不需要用计算机来求解而能够手工处理,并且包含了许多重要的概念。在许多时候,一些新的内容是通过这些习题给予介绍的。

本书每章都用一个短的、但至关重要的参考文献来结束,给出了特定专题的更详细的介绍,需要的时候,还给出了与本书主题有关的外围技术的恰当评述。

第 1 章的基本内容是对遥感中通常涉及的数字形式的数据源的一个概述。它作为下面各章的辅助资料,给出了每种重要数据源的独特特性。第 2 章涉及图像数据中的辐射和几何误差以及校正方式,该章也包括图像与地图以及图像之间配准的内容。这里,正像在所有技术章节一样,给出了一些真实的和模型化的图像数据例子。第 3 章确立了计算机处理的地位,既可用于人工的照片判读,又可用于机器分析。该内容对遥感专业人员可以跳过,但如果该书用于教学,则是一个非常重要的章节。

第 4 章和第 5 章分别包括在实际中普遍采用的辐射和几何增强技术的内容,而第 6 章则介绍多光谱数据变换,其中包括主成分变换和图像算法。第 7 章主要是傅里叶变换,该方面的内容由于在遥感中随着硬件成本降低和外围阵列处理机的使用而变得更加重要。这里给出了离散傅里叶分析的性质及在图像数据上可以用的快速傅里叶变换算法。

第 8 章、第 9 章和第 10 章给出了在图像分类中所用的处理工具,从有监督分类方法开始,到无监督分类通常所用的聚类算法,最后用可分性分析来结束。所有这

些在第 11 章被集中成为一套完整的分类法，其中也提供了一组范例研究。

尽管提供处理方法的本意是针对非专业图像分析者，但涉及一些矢量和矩阵算法还是极其必要的，否则是很难实现的。因此，附录提供了一些矢量和矩阵的必要知识，其中所有重要的概念都以简单的例子来解释，这些例子演示了矢量运算是如何进行的。除该内容外，读者被认为具备了基本概率和统计的知识，包括多元正态分布。

本书也提供了一些其他的附录作为辅助内容。其一涉及图像处理硬件的发展，特别是交互式图像显示子系统的结构（以框图方式）。该内容强调了有硬件实现图像处理的趋向，从中可以看出本书中涉及的许多算法能够近实时地执行。

考虑到习惯用法，采用的一些定义可能有别于对文字较真的人。例如，术语“像素”严格来说是代表数字图像数据的一个单元，而不是地面上的一个面积，后者称为有效的地面分辨单元更为恰当。但是，由于把一米为单位的的地面分辨单元称为像素已经非常广泛，故这里并非追求咬文嚼字，而是为简单起见遵循习惯用法。在对陆地卫星多光谱扫描仪的编号上，也遇到困难。原来在陆地卫星 1~3 里已经被编号为波段 4~7，从陆地卫星 4 以后它们已经被重新编号为波段 1~4。本书这两种编号都采用了，当讨论一个特定的卫星时，采用各自的编号系统，这对波段的讨论是明确的；在其他情况下，尽可能多地采用了陆地卫星 4 的协定。

最后，非常高兴地感谢其他人对本书所做出的贡献。Moo Song 女士和 Alisa Moen 女士承担了打字任务，两位不知疲倦、以极大的热情和耐力完成了任务；辅助计算是由 Leanne Bischof 完成的，她始终愉快地和精确地工作；作者的同事和学生也起到了他们各自的作用，既包括通过直接的讨论、也包括多少年来合作中逐渐学习的过程。作者还要对两个人特别感谢，一是普渡（Purdue）大学 Philip Swain 教授，作者认为自己非常荣幸地能够成为他的朋友和同事，他以自己的方式，对作者关于数字数据分析、特别是在遥感方面的思考，有着相当的影响；二是作者也感到相当荣幸，能与具有洞察力和才能的研究生 Tong Lee 一起工作，他通过许多次与作者的讨论，在数字图像处理的基础理论方面贡献了许多素材。

作者在本书的准备过程中得到来自家庭的支持和鼓励是无法估量的，以表达对 Glenda、Matthew 和 Jennifer 的理解和热情的感恩之情，作为结束语是最恰当不过的。

John A. Richards

1986 年 5 月于澳大利亚（Australia），Kensington

# 目 录

|                               |    |                               |    |
|-------------------------------|----|-------------------------------|----|
| 第 1 章 遥感图像数据源及特性 .....        | 1  | 2.2.2 大气影响的粗校正 .....          | 27 |
| 1.1 数据源介绍 .....               | 1  | 2.2.3 仪器误差校正 .....            | 27 |
| 1.1.1 数字图像数据特性 .....          | 1  | 2.3 几何失真源 .....               | 29 |
| 1.1.2 遥感中通常所用的光谱<br>范围 .....  | 3  | 2.3.1 地球转动影响 .....            | 30 |
| 1.1.3 结束语 .....               | 6  | 2.3.2 全景失真 .....              | 31 |
| 1.2 遥感平台 .....                | 7  | 2.3.3 地球曲率 .....              | 33 |
| 1.3 微波范围的图像数据源 .....          | 10 | 2.3.4 扫描时间扭曲 .....            | 34 |
| 1.3.1 侧视机载雷达和合成<br>孔径雷达 ..... | 10 | 2.3.5 平台高度、速度和姿态<br>的变化 ..... | 34 |
| 1.4 一般的空间数据源 .....            | 12 | 2.3.6 纵横比失真 .....             | 35 |
| 1.4.1 空间数据类型 .....            | 12 | 2.3.7 传感器扫描的非线性度 .....        | 35 |
| 1.4.2 数据格式 .....              | 13 | 2.4 几何失真校正 .....              | 36 |
| 1.4.3 地理信息系统 (GIS) .....      | 14 | 2.4.1 利用映射多项式进行<br>图像校正 ..... | 36 |
| 1.4.4 对图像处理与分析<br>的挑战 .....   | 16 | 2.4.1.1 映射多项式和地面<br>控制点 ..... | 37 |
| 1.5 数字图像数据中尺度的比较 .....        | 17 | 2.4.1.2 重采样 .....             | 37 |
| 第 1 章参考文献 .....               | 17 | 2.4.1.3 插值 .....              | 38 |
| 习题 .....                      | 19 | 2.4.1.4 控制点的选择 .....          | 40 |
| 第 2 章 图像数据的误差校正<br>和配准 .....  | 21 | 2.4.1.5 地图网格配准举例 .....        | 40 |
| 2.1 辐射失真源 .....               | 21 | 2.4.2 数学模型 .....              | 41 |
| 2.1.1 大气对辐射的影响 .....          | 21 | 2.4.2.1 纵横比较正 .....           | 42 |
| 2.1.2 大气对遥感图像的影响 .....        | 24 | 2.4.2.2 地球旋转扭曲校正 .....        | 43 |
| 2.1.3 仪器误差 .....              | 24 | 2.4.2.3 图像北-南指向 .....         | 43 |
| 2.2 辐射失真校正 .....              | 25 | 2.4.2.4 全景效应校正 .....          | 44 |
| 2.2.1 大气影响的精确校正 .....         | 25 | 2.4.2.5 组合校正 .....            | 44 |
|                               |    | 2.5 图像配准 .....                | 44 |
|                               |    | 2.5.1 地理参考和地理编码 .....         | 44 |

|                           |    |                               |    |
|---------------------------|----|-------------------------------|----|
| 2.5.2 图像到图像间配准·····       | 44 | 4.3.5 对数和指数对比度增强·····         | 69 |
| 2.5.3 通过相关对控制点定位·····     | 45 | 4.3.6 分段线性对比度修正·····          | 70 |
| 2.5.4 图像到图像间配准举例·····     | 45 | 4.4 直方图均衡化·····               | 70 |
| 2.6 混合图像几何操作·····         | 48 | 4.4.1 累积直方图的使用·····           | 70 |
| 2.6.1 图像旋转·····           | 48 | 4.4.2 直方图均衡化中的<br>奇异性·····    | 75 |
| 2.6.2 尺度变换和变焦·····        | 48 | 4.5 直方图匹配·····                | 76 |
| 第2章参考文献·····              | 48 | 4.5.1 直方图匹配的原则·····           | 76 |
| 习题·····                   | 49 | 4.5.2 图像到图像的对比度匹配·····        | 77 |
| 第3章 数字图像数据的解译·····        | 53 | 4.5.3 匹配到数学参考模型·····          | 79 |
| 3.1 解译方法·····             | 53 | 4.6 密度分割·····                 | 79 |
| 3.2 图片解译中图像的形式·····       | 54 | 4.6.1 黑白密度分割·····             | 79 |
| 3.3 用于图片解译的计算机<br>处理····· | 56 | 4.6.2 彩色密度分割和伪彩色·····         | 81 |
| 3.4 定量分析导论——分类·····       | 58 | 第4章参考文献·····                  | 82 |
| 3.5 多光谱空间和光谱类·····        | 59 | 习题·····                       | 82 |
| 3.6 用模式识别进行定量分析·····      | 60 | 第5章 基于图像域技术的<br>几何增强·····     | 85 |
| 3.6.1 像素矢量和标号·····        | 60 | 5.1 邻域操作·····                 | 85 |
| 3.6.2 非监督分类·····          | 61 | 5.2 模板运算·····                 | 85 |
| 3.6.3 监督分类·····           | 61 | 5.3 卷积操作的几何增强·····            | 86 |
| 第3章参考文献·····              | 63 | 5.4 图像域方法和傅里叶变换<br>方法的比较····· | 88 |
| 习题·····                   | 63 | 5.5 图像平滑(低通滤波器)·····          | 89 |
| 第4章 辐射增强技术·····           | 65 | 5.5.1 均值平滑·····               | 89 |
| 4.1 引言·····               | 65 | 5.5.2 中值滤波·····               | 91 |
| 4.1.1 点操作和查找表·····        | 65 | 5.6 边缘检测和增强·····              | 92 |
| 4.1.2 标量和矢量图像·····        | 65 | 5.6.1 线性边缘检测模板·····           | 93 |
| 4.2 图像直方图·····            | 66 | 5.6.2 空间微分技术·····             | 94 |
| 4.3 图像数据的对比度修正·····       | 66 | 5.6.2.1 Roberts 算子·····       | 94 |
| 4.3.1 直方图修正原则·····        | 66 | 5.6.2.2 Sobel 算子·····         | 95 |
| 4.3.2 线性对比度增强·····        | 67 | 5.6.2.3 Prewitt 算子·····       | 95 |
| 4.3.3 饱和和线性对比度增强·····     | 69 | 5.6.3 细化、连接和边界响应·····         | 95 |
| 4.3.4 自动对比度增强·····        | 69 |                               |    |

|                              |     |                                 |     |
|------------------------------|-----|---------------------------------|-----|
| 5.6.4 相减平滑(锐化)的边缘增强 .....    | 96  | 第7章 图像数据的傅里叶变换 .....            | 125 |
| 5.7 线条检测 .....               | 97  | 7.1 引言 .....                    | 125 |
| 5.7.1 线性线条检测模板 .....         | 97  | 7.2 特殊函数 .....                  | 125 |
| 5.7.2 非线性和半线性线条检测模板 .....    | 98  | 7.2.1 复指数函数 .....               | 126 |
| 5.8 一般卷积滤波器 .....            | 98  | 7.2.2 Dirac Delta 函数(δ函数) ..... | 126 |
| 5.9 检测几何特性 .....             | 99  | 7.2.2.1 δ函数的性质 .....            | 127 |
| 5.9.1 纹理 .....               | 99  | 7.2.3 Heaviside 阶跃函数 .....      | 127 |
| 5.9.2 空间相关性——半方差图 .....      | 100 | 7.3 傅里叶级数 .....                 | 127 |
| 5.9.3 形状检测 .....             | 101 | 7.4 傅里叶变换 .....                 | 128 |
| 第5章参考文献 .....                | 102 | 7.5 卷积 .....                    | 129 |
| 习题 .....                     | 103 | 7.5.1 卷积积分 .....                | 129 |
| 第6章 图像数据的多光谱变换 .....         | 105 | 7.5.2 与脉冲的卷积 .....              | 130 |
| 6.1 主成分变换 .....              | 105 | 7.5.3 卷积定理 .....                | 131 |
| 6.1.1 均值矢量和协方差矩阵 .....       | 105 | 7.6 采样定理 .....                  | 131 |
| 6.1.2 零相关、旋转变换 .....         | 108 | 7.7 离散傅里叶变换 .....               | 133 |
| 6.1.3 实例——一些实际的考虑 .....      | 111 | 7.7.1 离散频谱 .....                | 133 |
| 6.1.4 原点移动的作用 .....          | 114 | 7.7.2 离散傅里叶变换公式 .....           | 134 |
| 6.1.5 主成分在图像增强和显示中的应用 .....  | 115 | 7.7.3 离散傅里叶变换性质 .....           | 135 |
| 6.1.6 对比度增强的 Taylor 方法 ..... | 115 | 7.7.4 离散傅里叶变换的计算 .....          | 135 |
| 6.1.7 主成分分析的其他应用 .....       | 117 | 7.7.5 快速傅里叶变换算法的发展 .....        | 136 |
| 6.2 噪声调整的主成分变换 .....         | 118 | 7.7.6 快速傅里叶变换的计算代价 .....        | 139 |
| 6.3 Kauth-Thomas 缨帽变换 .....  | 120 | 7.7.7 比特重组和存储的考虑 .....          | 139 |
| 6.4 图像算术、波段比和植被指数 .....      | 122 | 7.8 图像的离散傅里叶变换 .....            | 140 |
| 第6章参考文献 .....                | 123 | 7.8.1 定义 .....                  | 140 |
| 习题 .....                     | 123 | 7.8.2 二维离散傅里叶变换的计算 .....        | 140 |
|                              |     | 7.8.3 空间频率的概念 .....             | 141 |
|                              |     | 7.8.4 几何增强的图像滤波 .....           | 142 |
|                              |     | 7.8.5 二维卷积 .....                | 143 |

|                          |     |                             |     |
|--------------------------|-----|-----------------------------|-----|
| 7.9 结论                   | 143 | 8.8.4 概率标记松弛法               | 161 |
| 第7章参考文献                  | 145 | 8.8.4.1 基本算法                | 161 |
| 习题                       | 145 | 8.8.4.2 邻域函数                | 162 |
| 第8章 监督分类技术               | 146 | 8.8.4.3 确定兼容性系数             | 163 |
| 8.1 监督分类的步骤              | 146 | 8.8.4.4 最后步骤——终止<br>过程      | 163 |
| 8.2 最大似然分类               | 147 | 8.8.4.5 示例                  | 164 |
| 8.2.1 贝叶斯分类器             | 147 | 8.8.5 采用马尔可夫随机场<br>处理空间上下文  | 165 |
| 8.2.2 最大似然决策规则           | 147 | 8.9 非参数分类——几何方法             | 167 |
| 8.2.3 多变量正态类模型           | 148 | 8.9.1 线性判别                  | 167 |
| 8.2.4 决策平面               | 149 | 8.9.1.1 权矢量的概念              | 167 |
| 8.2.5 阈值                 | 149 | 8.9.1.2 测试类别成员              | 168 |
| 8.2.6 每类所需训练像素数目         | 151 | 8.9.1.3 训练                  | 169 |
| 8.2.7 一个简单的示例说明          | 151 | 8.9.1.4 修正增量的确定             | 170 |
| 8.3 最小距离分类               | 153 | 8.9.1.5 分类——阈值逻辑<br>单元      | 171 |
| 8.3.1 有限的训练数据情况          | 153 | 8.9.1.6 多类分类                | 172 |
| 8.3.2 判别函数               | 153 | 8.9.2 支持矢量分类器               | 172 |
| 8.3.3 最大似然到最小距离<br>分类的退化 | 154 | 8.9.2.1 线性可分数据              | 172 |
| 8.3.4 决策平面               | 155 | 8.9.2.2 线性不可分情况——<br>核函数的应用 | 176 |
| 8.3.5 阈值                 | 155 | 8.9.2.3 多类分类                | 176 |
| 8.4 平行六面体分类              | 155 | 8.9.3 分类器网络——解决<br>非线性分类问题  | 177 |
| 8.5 分类器分类时间的比较           | 156 | 8.9.4 神经网络方法                | 177 |
| 8.6 其他监督分类方法             | 157 | 8.9.4.1 处理单元                | 177 |
| 8.6.1 马氏距离分类器            | 157 | 8.9.4.2 神经网络的训练——<br>后向传播   | 179 |
| 8.6.2 查表分类               | 157 | 8.9.4.3 网络参数的选择             | 182 |
| 8.6.3 $k$ 近邻分类器          | 158 | 8.9.4.4 示例                  | 182 |
| 8.7 高斯混合模型               | 159 | 第8章参考文献                     | 186 |
| 8.8 基于上下文的分类             | 159 | 习题                          | 189 |
| 8.8.1 空间上下文的概念           | 159 |                             |     |
| 8.8.2 基于图像预处理的<br>上下文分类  | 160 |                             |     |
| 8.8.3 分类后滤波              | 160 |                             |     |

|                             |     |  |  |
|-----------------------------|-----|--|--|
| <b>第 9 章 聚类与非监督分类</b> ..... | 191 |  |  |
| 9.1 光谱类别的描述 .....           | 191 |  |  |
| 9.2 相似性度量与聚类准则 .....        | 191 |  |  |
| 9.3 迭代优化 (均值平移)             |     |  |  |
| 聚类算法 .....                  | 193 |  |  |
| 9.3.1 基本算法 .....            | 193 |  |  |
| 9.3.2 合并和删除 .....           | 194 |  |  |
| 9.3.3 分裂增长聚类 .....          | 194 |  |  |
| 9.3.4 初始聚类中心的选择 .....       | 195 |  |  |
| 9.3.5 聚类代价 .....            | 195 |  |  |
| 9.4 非监督分类与聚类图 .....         | 195 |  |  |
| 9.5 一个聚类的例子 .....           | 196 |  |  |
| 9.6 单通聚类技术 .....            | 197 |  |  |
| 9.6.1 单通算法 .....            | 197 |  |  |
| 9.6.2 优点和限制 .....           | 198 |  |  |
| 9.6.3 条带生成参数 .....          | 198 |  |  |
| 9.6.4 单通算法的变形 .....         | 199 |  |  |
| 9.6.5 例子 .....              | 199 |  |  |
| 9.7 可凝聚的分层聚类 .....          | 200 |  |  |
| 9.8 直方图峰值选择聚类 .....         | 201 |  |  |
| 第 9 章参考文献 .....             | 203 |  |  |
| 习题 .....                    | 203 |  |  |
| <b>第 10 章 特征减少</b> .....    | 205 |  |  |
| 10.1 特征减少与可分性 .....         | 205 |  |  |
| 10.2 用于多变量正态光谱类             |     |  |  |
| 模型的可分性度量 .....              | 205 |  |  |
| 10.2.1 分布重叠 .....           | 206 |  |  |
| 10.2.2 离散度 .....            | 206 |  |  |
| 10.2.2.1 一般表达式 .....        | 206 |  |  |
| 10.2.2.2 一对正态分布的            |     |  |  |
| 离散度 .....                   | 208 |  |  |
| 10.2.2.3 离散度用于特征            |     |  |  |
| 选择 .....                    | 208 |  |  |
| 10.2.2.4 离散度的一个问题 .....     | 209 |  |  |
| 10.2.3 JM 距离 .....          | 209 |  |  |
| 10.2.3.1 定义 .....           | 209 |  |  |
| 10.2.3.2 离散度和 JM 距离         |     |  |  |
| 的比较 .....                   | 210 |  |  |
| 10.2.4 变换离散度 .....          | 211 |  |  |
| 10.2.4.1 定义 .....           | 211 |  |  |
| 10.2.4.2 变换离散度与正确           |     |  |  |
| 分类概率的关系 .....               | 211 |  |  |
| 10.2.4.3 变换离散度用于            |     |  |  |
| 聚类 .....                    | 212 |  |  |
| 10.3 用于最小距离分类的              |     |  |  |
| 可分性度量 .....                 | 212 |  |  |
| 10.4 通过数据变换进行特征             |     |  |  |
| 减小 .....                    | 213 |  |  |
| 10.4.1 利用主成分变换进行            |     |  |  |
| 特征减小 .....                  | 213 |  |  |
| 10.4.2 作为特征选择方法的            |     |  |  |
| 正则分析 .....                  | 214 |  |  |
| 10.4.2.1 类内和类间协方差           |     |  |  |
| 矩阵 .....                    | 215 |  |  |
| 10.4.2.2 可分性度量 .....        | 216 |  |  |
| 10.4.2.3 广义的特征值方程 .....     | 217 |  |  |
| 10.4.2.4 例子 .....           | 218 |  |  |
| 10.4.3 判别式分析特征              |     |  |  |
| 提取 (DAFE) .....             | 219 |  |  |
| 10.4.4 无参数判别分析与判决边          |     |  |  |
| 界特征提取 (DBFE) .....          | 220 |  |  |
| 10.4.5 无参数加权的特征             |     |  |  |
| 提取 (NWFE) .....             | 224 |  |  |
| 10.4.6 算术变换 .....           | 225 |  |  |
| 第 10 章参考文献 .....            | 226 |  |  |