

● 研 究 生 用 书 ●

DIGITAL PROCESSING
OF REMOTELY
SENSED IMAGES

华中理工大学出版社



万发贯 柳 健 文 灏

遥感图像数字处理

442

1572098-102

5

73.455

33-C39

73.455

33-C39

阅览8清

遥感图像数字处理

万发贯 柳健文 灏



10370045

华中理工大学出版社



· 研究生用书 ·

遥感图像数字处理

万发贯 柳 健 文 灏

责任编辑 李凤英

责任校对 严志勇

*

华中理工大学出版社出版发行

(武昌喻家山)

新华书店湖北发行所经销

华中理工大学出版社印刷厂印刷

*

开本: 850×1168 1/32 印张: 6.625 插页: 2 字数: 157 000

1991年7月第1版 1991年7月第1次印刷

印数: 1-1 000

ISBN 7-5609-0508-4/TP·51

定价: 2.04元

内 容 简 介

本书共分七章，内容包括：遥感数字图像的恢复、增强、压缩和分类等。针对遥感图像的特点，着重讨论了噪声抑制、辐射校正、大气校正、几何校正、多图像处理办法、分类办法以及提高分类精度的措施，还扼要介绍了本学科有关的基本概念，并在附录中提供了遥感图像的数据格式和地理信息系统的基础知识。

本书可作为信息工程、电子工程、摄影测量、地质、地理、水利、农林等专业的研究生或高年级大学生有关遥感技术课程的教科书或参考书，也可供有关科技人员参考。

ABSTRACT

This book is divided into seven chapters, including restoration, enhancement, compression and classification of digital remotely sensed images. Focusing on digital image processing of remotely sensed data, the emphasis is on noise suppression, radiometric restoration, atmospheric correction, geometric correction, multiple image operation, classification and approaches to improve its accuracy. Some basic concepts concerning this course are briefly introduced. There are two appendixes containing image data formats and fundamental knowledge of geographic information system.

This book can be used as a text of one-semester course in remote sensing for postgraduate or senior students in the fields of information science, electronic engineering, photogrammetry, geology, geography, hydrology, agriculture and forestry. It can be also used as reference for engineers and scientists as mentioned above fields.

“研究生用书”总序

研究生教材建设是提高研究生教学质量的重要环节，是具有战略性的基本建设。各门课程必须有高质量的教材，才能使学生学习掌握各门学科的坚实的基础理论和系统的专门知识，为从事科学研究工作或独立担负专门技术工作打下良好的基础。

我校各专业自1978年招收研究生以来，组织了一批学术水平较高、教学经验丰富的教师，先后编写了公共课、学位课所需的多种教材和教学用书。有的教材和教学用书已正式出版发行，更多的则采用讲义的形式逐年印发。这些讲义经过任课教师多年教学实践，不断修改、补充、完善，已达到出书的要求。因此，我校决定出版“研究生用书”，以满足本校各专业研究生教学需要，并与校外单位交流，征求有关专家学者和读者的意见，以促进我校研究生教材建设工作，提高教学质量。

“研究生用书”以公共课和若干门学位课教材为主，还有教学参考书和学术专著，涉及的面较广，数量较多，准备在今后数年内分批出版。编写“研究生用书”总的要求是从研究生的教学需要出发，根据各门课程在教学过程中的地位和作用，在内容上求新、求深、求精，每本教材均应包括本门课程的基本内容，使学生能掌握必需的基础理论和专门知识；学位课教材还应接触该学科的发展前沿，反映国内外的最新研究成果，以适应目前科学技术知识更新很快的形势；学术专著则

应充分反映作者的科研硕果和学术水平，阐述自己的学术见解。在结构和阐述方法上，应条理清楚，论证严谨，文字简练，符合人们的认识规律。总之，要力求使“研究生用书”具备科学性、系统性和先进性。

我们的主观愿望虽然希望“研究生用书”的质量尽可能高一些，但由于研究生的培养工作为时尚短，水平和经验都不够，其中缺点、错误在所难免，尚望校内外专家学者及读者不吝指教，我们将非常感谢。

华中理工大学研究生院院长

陈 璇

前 言

遥感技术是一门由光学、电子学、信息科学、计算机科学、空间科学和地学等结合而成的边缘科学技术。它是高科技领域的一个方面，是现代信息革命的产物。自20世纪70年代以来，全世界有130多个国家约有1400多个组织在国防和国民经济领域中，从事遥感科研工作，并取得了很大的经济效益。我国各有关部门应用遥感资料，也取得可喜成绩。我国现在从事遥感的技术人员越来越多，并有很多高等院校设置了遥感和有关遥感的课程。现虽有不少数字图像处理的书籍，但遥感图像处理还有它的特点。

(i) 遥感图像一般是多光谱的灰度图像，如专题绘图仪(TM)有7个波段、256个灰度级，这与文字判读、工业产品检查、交通控制等应用领域的图像处理技术有较大差异，因此产生了多维图像处理等特殊问题。

(ii) 遥感图像处理结果，仅仅做出是或否的简单结论是不够的，要对是什么、怎样做、达到何种程度等问题有详细的回答。这与图像处理在其他方面的应用不同。

(iii) 传感器收集的遥感数据应用广泛，不同于一般的图像。例如，从同一组遥感图像数据中，根据用户的需要，可以抽取土地利用的信息，或者是抽取地质勘察的信息，或者是抽取土壤类型分布的信息等等。而一般的图像数据收集都是事先确定对象，有目的地进行，例如，医用图像处理，要么是对肺部，要么是对脑部进行图像数据的收集。

(iv) 遥感图像处理的数据量庞大。这是由于要求高精度和多光谱图像而引起的。例如多光谱扫描仪(MSS)四个波段约有

30MB(兆字节),TM 七个波段约有230MB。而一般的图像处理,目标图像是单波段,一幅图像的像元为 512×512 (约0.3MB)。所以考虑处理时间和存储容量时,对一般领域的图像处理不成问题,但对遥感图像处理就非常艰难。

本书是根据近几年来作者从事教学的讲稿和科研的体会整理编写而成。按30~40教学时数安排内容,选材适当、完整、新颖,注意阐明物理概念,叙述力求深入浅出,易于学习。本书的读者要具有微积分、概率论、线性代数和数字计算机操作等知识。全书共分七章。第一章介绍遥感的一些基本知识。第二章是为学习以后各章简要提供一些基本的数学工具。第三章阐述遥感图像的各种校正方法。第四章是针对遥感多图像的特点介绍几种多图像运算方法。第五章只扼要介绍图像数据压缩的基本内容,这是因为遥感图像数据与其他图像数据压缩方法是类似的,而图像压缩在很多数字图像处理书籍中都有详细介绍。第六章介绍各种遥感图像增强方法。第七章讨论各种遥感图像分类方法和提高分类精度的措施。为了方便读者,每章末附有参考文献,书后有两个附录,供读者参考。本书可作为有关专业研究生和高年级本科生的教科书,也可作为有关科技人员知识更新的参考书。

本书第一至五章由万发贯和柳健合写,第六和七章由文灏和柳健合写,附录由万发贯编写。全书由万发贯统编。武汉测绘科技大学林宗坚、舒宁两位副教授仔细地审阅了书稿并提出了许多宝贵意见。本书在编写过程中,得到华中理工大学图像处理与识别教研室周曼丽、彭复员两位副教授及李斌、王典洪两位硕士的热忱帮助。作者在此一并表示衷心的感谢。限于水平,书中难免还存在一些缺点和错误,希望广大读者批评指正。

编者

1990年4月



作者简介

万发贯，1938年毕业于清华大学，曾在清华、中正、南昌等大学任教，曾任华中工学院无线电系主任和图像识别与人工智能研究所所长，现为华中理工大学电子与信息工程系教授、名誉系主任、博士生导师。

万教授长期从事科学研究和教学工作，他领导并参加的国内首先实现的时频编码技术科研获全国科学大会奖，在其他方面也取得了一批重要科研成果，在信息与信号处理方面造诣较深，先后发表论文70多篇。

目 录

第一章 遥感的基本原理	(1)
一、引 言.....	(1)
1. 遥感的意义.....	(1)
2. 遥感的主要特点.....	(1)
3. 遥感的应用.....	(2)
4. 遥感的发展动向.....	(3)
二、地物波谱特性.....	(6)
1. 波谱特性.....	(6)
2. 遥感所用波段.....	(8)
三、地球资源卫星遥感系统.....	(9)
1. 美国陆地卫星系统.....	(9)
2. 法国SPOT卫星系统 ^[2]	(15)
3. 苏联航天遥感系统 ^[7, 8]	(17)
4. 其他遥感系统.....	(18)
四、遥感图像模型与数字化 ^[9, 10, 12]	(20)
1. 图像模型.....	(20)
2. 图像数字化.....	(21)
五、遥感图像处理方法与设备.....	(23)
1. 遥感图像处理方法.....	(23)
2. 遥感图像处理设备.....	(24)
参考文献.....	(25)
第二章 图像处理的数学基础	(27)
一、引言.....	(27)
二、图像形成.....	(27)
三、奇异算子.....	(30)
四、图像的傅里叶变换.....	(32)
1. 连续函数的傅里叶变换.....	(32)
2. 离散傅里叶变换.....	(34)

3. 二维离散傅里叶变换的若干性质.....	(36)
五、图像的统计特性.....	(40)
1. 二维随机场.....	(40)
2. 平均值、相关函数、协方差函数.....	(42)
3. 均匀随机场与谱密度.....	(43)
4. 各态历经性.....	(44)
参考文献.....	(45)
第三章 遥感图像恢复.....	(46)
一、引言.....	(46)
二、噪声抑制.....	(47)
1. 随机噪声的抑制.....	(48)
2. 孤立噪声的抑制.....	(48)
3. 消除条带干扰的空域算法.....	(49)
三、辐射校正.....	(52)
1. 频域校正.....	(54)
2. 统计方法校正.....	(54)
四、大气校正.....	(55)
1. 公式计算法.....	(56)
2. 野外测试法.....	(56)
3. 室内分析法.....	(57)
五、几何校正.....	(59)
1. 几何失真原因.....	(59)
2. 几何校正方法概述.....	(61)
3. 几何校正坐标空间变换的几种方法.....	(62)
4. 像元灰度值变换.....	(72)
5. 关于地面控制点的讨论.....	(74)
参考文献.....	(76)
第四章 多图像运算.....	(77)
一、引言.....	(77)
二、代数运算.....	(77)
1. 相加和相减运算.....	(77)
2. 相乘运算.....	(78)
3. 比值运算.....	(78)

三、空间配准.....	(80)
1. 自动数字配准.....	(80)
2. 手工配准.....	(83)
四、图像镶嵌.....	(84)
五、图像重叠.....	(85)
六、多源图像复合.....	(88)
1. 数字复合方法.....	(89)
2. 图像插值放大和缩小.....	(91)
参考文献.....	(94)
第五章 图像数据压缩.....	(96)
一、引言.....	(96)
二、图像数据压缩的理论基础.....	(97)
1. 信息的度量.....	(97)
2. 信源的熵.....	(98)
3. 信源编码的基本概念.....	(99)
4. 无失真编码的方法.....	(102)
参考文献.....	(105)
第六章 遥感图像增强.....	(108)
一、引言.....	(108)
二、对比度增强.....	(109)
1. 线性变换.....	(109)
2. 分段线性变换.....	(110)
3. 灰度切片.....	(112)
4. 直方图调整法.....	(113)
三、空间滤波.....	(116)
1. 图像平滑.....	(117)
2. 图像锐化.....	(118)
3. 迭代算法.....	(119)
四、多图像增强.....	(121)
1. 伪彩色处理.....	(121)
2. 假彩色处理.....	(122)
3. 多图像变换.....	(123)
参考文献.....	(128)

第七章 遥感图像分类	(130)
一、引言.....	(130)
二、图像分类的数学基础.....	(132)
1. 最小距离分类.....	(132)
2. 贝叶斯决策理论.....	(134)
3. 线性判别函数.....	(140)
三、特征处理.....	(144)
1. 特征选择.....	(145)
2. 特征变换.....	(150)
四、分类方法.....	(157)
1. 非监督分类.....	(157)
2. 监督分类.....	(164)
五、分类后处理.....	(172)
1. 分类图像的平滑.....	(173)
2. 分类误差及精度评价.....	(175)
3. 分类结果的输出.....	(179)
六、空间信息及其他辅助信息在分类中的应用.....	(180)
1. 空间信息的应用.....	(181)
2. 多时相信息的应用.....	(186)
3. 地理信息的应用.....	(188)
参考文献.....	(189)
附录1 遥感图像的数据格式	(192)
一、比特和像元.....	(192)
二、记录和文件.....	(192)
三、SPOT 卫星图像的级别和注记.....	(195)
附录2 地理信息系统	(196)
一、基本概念.....	(196)
二、遥感与地理信息系统.....	(197)
参考文献.....	(198)

第一章 遥感的基本原理

一、引言

1. 遥感的意义

“遥感”这个术语于1962年首次提出，但遥感概念可以追溯到1858年，那时法国用气球拍摄了巴黎的航空照片。20世纪初开始用飞机进行航空摄影，称为航空遥感。1972年美国发射陆地卫星1号后，地球的90%以上地区都被卫星拍摄或扫描成图像，称为航天遥感。所以“遥感”可以定义为，“从外部观察而不与被观察的物体进行直接接触的方式来探测物体的性质，从而获取被观察物体的信息。”其优点是：被观察物体通常不受扰动；可以考察不可靠近区域内的物体；可以获取在任一空域内的信息。

2. 遥感的主要特点

(1) 高瞻远瞩，视野辽阔

人们在地面观测周围环境，受身高和视力以及障碍物的阻挡等限制，视野范围不大。而卫星飞行高度在几百公里，在空中观察地球，视野辽阔，不受地理条件和国界的限制，能够看到地球广大地区的特征，甚至能看到地球的1/4到1/3地区的概貌。

(2) 延伸人类的感觉功能，信息丰富

遥感利用现代化的仪器，不仅在可见光波段可获得信息，还可在紫外、红外、微波等不可见光波段获取信息，能发现许多人眼看不见的内容，信息很丰富。

(3) 工作周期短，资料积累快

过去测绘一个地区的地图，往往要几年，甚至几十年。而地球资源卫星每18天（陆地卫星）或26天（SPOT卫星）就可覆盖全球一遍。陆地卫星每周可积累地面图像近1万张。经过电子计算机处理，可以及时预测或预报自然现象的变化。如我国大兴安岭发生森林火灾时，在卫星遥感图像上监察其演变，为救灾工作提供了可靠依据。

(4) 经济效益高

美国曾对陆地卫星进行经济分析，结论是发射一颗卫星，根据其类型、规模、复杂程度不同，包括地面设备在内，每年费用在0.2亿到0.5亿美元范围内，而经济效益每年可达14亿美元。据报道，整个西半球利用航空像片制图要花费3亿美元，而用卫星图像只需花费3000美元。

3. 遥感的应用

遥感技术具有以上特点，在国际上已成为人类认识自然、探索自然的现代工具，其应用范围极为广泛。在国防方面可用于军事侦察；在农林方面可用于作物估产、土壤调查、土地利用调查、预报植物病虫害、森林资源调查等；在地质方面可用于石油和矿藏的勘探、火山或地震的预测等；其他方面如用于环境监测、水文学、地理学、海洋学等以及探测月球、火星、金星、土星以至太阳系以外的宇宙星球^[1, 2]。

20世纪70年代以来，我国引进了一些图像处理系统，如I²S公司的以PDP-11为主机的570型图像处理系统，以VAX-11为主机的S600型图像处理系统等等。许多部门的研究单位和高等院校都积极开展遥感技术的研究，取得很多成果^[1]。现在我国卫星地面站已能接收并供应MSS和TM遥感资料。1988年9月7日我国发射了云雨1号气象卫星，预料不久我国还将发射资源卫星。用户获取遥感资料是越来越方便和及时了。我国幅员辽

阔，自然环境复杂，西部地区人烟稀少，交通困难。为了开展国土资源的详查、分级评价、环境监测，我们应面向应用，面向经济建设，将遥感技术的研究工作加速推向前进，并不断开发新的应用领域。

4. 遥感的发展动向

航天遥感技术在20世纪70年代发展迅速，到80年代又有新的发展。遥感技术的发展主要有以下几个方面，其共同的目的是为了₁提高精度或效率。

(1) 遥感传感器性能的提高

陆地卫星3号上的多光谱扫描仪(MSS)空间分辨率为80m，有4个波段，128个灰度级；而1982,1983年分别发射的陆地卫星4,5号上的专题绘图仪(TM)有7个波段，空间分辨率为30m(第6波段为120m)，256个灰度级，所提供信息量几乎是MSS的两倍。TM是第二代地球资源传感器。美国计划于1991年和1994年分别发射陆地卫星6和7号，并计划研制第三代传感器——多波段线阵传感器，空间分辨率为10~20m，其他性能比TM将有明显提高。1984年美国发射的航天飞机上装有大像幅摄影机(LFC)，其分辨率为15m。军用卫星的空间分辨率更高，如1988年12月美国发射的第六代侦察卫星KH-12，其分辨率为0.1m，可区别地面上行驶车辆的型号。

1986年法国发射的SPOT-1卫星，采用电荷耦合元件(CCD)构成线性阵列扫描器，空间分辨率对全光谱图像为10m，对多光谱图像为20m，并可进行立体观察。SPOT计划陆续发射2,3,4,5号，但2号和3号上所载传感器仍与1号相同，借以保证提供今后10年的数据。SPOT-4上的传感器将作较大改进，并将增加一台监测植被的传感器，空间分辨率为1.2km，扫描带宽为2200km，可进行全球性和热带地区的森林监测。

1987年1月日本发射了海洋观测卫星MOS-1号，主要用于

获取海洋信息，装有三种传感器，其空间分辨率分别为50,900,2700m。

苏联的遥感传感器有多种，详见本章第三节。

以上介绍的传感器都是被动式的，其共同缺点是易受天气影响。主动式传感器具有全天候和穿透力强的优点，有潜在的应用前景，受到各国的重视。美、苏、法、日等国都在研制适用于资源调查的雷达装置，计划发射雷达卫星。目前雷达的分辨率可达3~6m，穿透力可达地下8m^[9]。此外，主动式红外传感器也有所发展，如美国麻省理工学院林肯实验室的红外激光雷达。

(2) 人工智能技术用于遥感图像处理

近年来，人工智能技术已逐渐应用到遥感图像处理。例如，美国军事工程地形实验室正在进行一项计算机辅助相片解释研究计划，其内容有地形分析、专家系统与图像理解、三维坐标系统等。加拿大遥感中心已研制成两种启发性专家系统，一种叫分析顾问，一种叫地图/图像叠合评估(MICE)顾问。分析顾问专家系统可建议用户怎样去利用该中心的“陆地卫星数字图像分析系统”已有的硬件和软件，以得到所需要的资源信息。MICE是以知识为基础的系统，用来研究地图与图像在空域中的差别，解决遥感数据与地理信息系统数据结合问题。日本已研究用于航空图像数据的专家系统，该系统可对土地利用状况进行自动分类。近来还有星载智能图像处理系统的设想，主要内容是自动选择取景位置，云量检测和地面状况动态检测等。日本 Shimoda 教授在土地利用动态检测中，应用智能判断综合信息的方式提高分类精度等等。

(3) 遥感图像处理系统的发展

遥感图像数据量很大，如一幅 MSS 图像的数据有 $2340 \times 3240 \times 8 \times 4 \text{ B} = 242.611 \text{ MB}$ 。用一般计算机处理，即使是大型计算机，处理速度也较慢。70年代用阵列处理机处理，可以缩短处理时间。80年代初采用并行处理技术，大大加快了处理速度，并行