

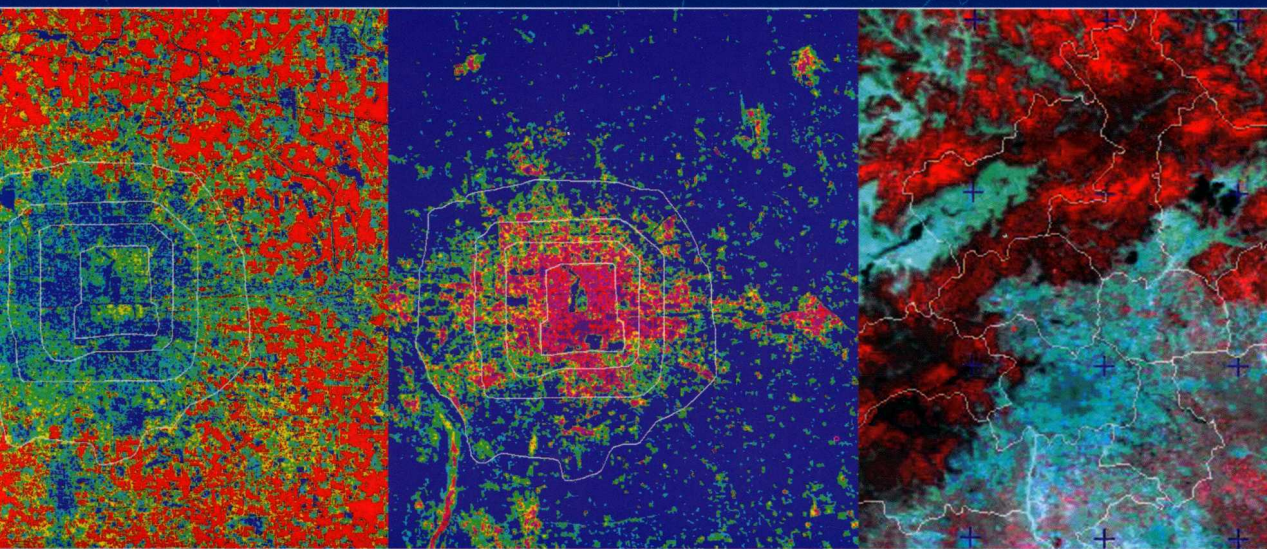
GEO-SPATIAL INFORMATION SCIENCE

● 高等学校摄影测量与遥感系列教材

遥感技术基础双语讲义

Bilingual Textbook for Introduction to Remote Sensing

蔡国印 杜明义 编译



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

高等学校摄影测量与遥感系列教材

遥感技术基础双语讲义

Bilingual Textbook for Introduction to Remote Sensing

蔡国印 杜明义 编译



WUHAN UNIVERSITY PRESS

武汉大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

遥感技术基础双语讲义. 汉、英/蔡国印, 杜明义编译. —武汉: 武汉大学出版社, 2016. 5

高等学校摄影测量与遥感系列教材

ISBN 978-7-307-17649-2

I. 遥… II. ①蔡… ②杜… III. 遥感技术—双语教学—高等学校—教材—汉、英 IV. TP7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 040171 号

责任编辑: 王金龙

责任校对: 李孟潇

版式设计: 马 佳

出版发行: 武汉大学出版社 (430072 武昌 珞珈山)

(电子邮件: cbs22@whu.edu.cn 网址: www.wdp.com.cn)

印刷: 武汉科源印刷设计有限公司

开本: 787 × 1092 1/16 印张: 14.25 字数: 333 千字

版次: 2016 年 5 月第 1 版 2016 年 5 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-307-17649-2 定价: 29.00 元

版权所有, 不得翻印; 凡购买我社的图书, 如有质量问题, 请与当地图书销售部门联系调换。

前言

目前,许多领域都将环境遥感作为一个重要工具来进行测图、监测以及评估自然和人造景观。遥感数据可以从全球、国家、区域和地方等不同层次提供多尺度的信息。同时,遥感数据也包含了重要的时相和土地利用变化信息。经过处理后的遥感数据可以提供独特的信息,并能够与其他形式的数据(比如地理信息系统(GIS)所支持的格式)进行整合。因此,从事测绘、地理信息系统等专业的学生应该理解遥感数据的来源、分析工具、潜在的应用以及影像解译和影像产品等方面的知识。

遥感技术基础是遥感科学入门水平的课程,主要包括遥感的基本原理及其物理基础。本课程对遥感的基本概念进行了详细的介绍以便于学生能够将其应用于其他学科。

本课程以基于卫星的被动遥感系统为例对遥感技术进行了详细的讲解,同时基于现有的遥感软件,对遥感影像在地球资源应用方面的处理和分析进行了阐述。

本课程的主要目标为介绍遥感的理论、概念,使得学生能够掌握遥感的基本内容,能够处理一些常用的遥感数据并能够对处理结果进行理解和分析。本课程的学习可以培养学生将环境遥感技术应用于相关领域的意识。

本书的编辑出版得到了北京建筑大学测绘学院在经费上的大力支持,得到了讲授本课程同仁的中肯意见,武汉大学出版社王金龙分社长、王宵君编辑为本书的出版付出了辛勤的劳动,在此一并表示衷心的感谢。

Preface

Remote sensing of the environment is a major tool used by a range of disciplines to map, monitor and evaluate natural and built landscapes. Remotely sensed data can provide large and small scale information at the global, national, regional and local levels. It can also provide important temporal and land change information. Processed remotely sensed data can provide stand alone information and can be integrated with other forms of data, for example, within geographical information systems. Therefore, an understanding of the genesis of the information, analysis techniques, potential applications and interpretation of images and image-based products will be required in many situations for a range of disciplines.

This unit is an introductory level remote sensing unit; it covers the basic principles and includes discussions on the physical basis of remote sensing. This unit also covers the fundamental concepts underpinning remote sensing applications to a range of disciplines.

A typical satellite-based passive remote sensing system is explored in detail. Processing and analysis of remotely sensed satellite images is carried out from an earth resource perspective using geospatial image processing software.

Theoretical concepts that provide a basis for remote sensing, provide practical experience and understanding of a range of computer-based digital image processing techniques and assist students to develop an appreciation of the range of applications of remote sensing of environment.

This publication was funded by School of Geomatics and Urban Spatial Information in Beijing University of Civil Engineering and Architecture. The authors gratefully acknowledge on colleagues for their critical suggestions. Mostly, my thanks are also due to editors Wang Jinlong and Wang Xiaojun in Wuhan University Press for their efforts in revising and editing this textbook.

目 录

第 1 章 遥感概述	1
1.1 定义	1
1.2 遥感发展的里程碑	2
1.3 遥感过程	3
1.4 遥感的关键概念	5
1.5 遥感的应用	10
第 2 章 电磁波谱	12
2.1 电磁波	12
2.2 适合遥感的波谱范围	15
2.3 典型地物的光谱曲线	17
2.4 大气对传感信号的影响	22
2.5 大气辐射与地表的相互作用	27
第 3 章 遥感平台和传感器	30
3.1 简介	30
3.2 遥感平台	30
3.3 常用遥感数据源	32
3.4 航天器简介	38
第 4 章 影像数据获取	41
4.1 光机扫描仪	42
4.2 电荷耦合设备 (CCD)	43
4.3 扫描系统	43
4.4 遥感数据	46
第 5 章 影像校正和预处理	49
5.1 预处理	49
5.2 几何校正	49
5.3 辐射校正	54
5.4 特征提取	57

5.5 图像裁剪.....	60
第6章 影像解译	62
6.1 简介.....	62
6.2 影像解译元素.....	63
6.3 影像解译策略.....	67
第7章 影像分类	69
7.1 引言.....	69
7.2 信息类和光谱类.....	71
7.3 非监督分类.....	72
7.4 监督分类.....	77
7.5 纹理分类.....	86
7.6 模糊分类.....	87
7.7 神经网络分类.....	89
7.8 数字影像分类的后处理.....	90
第8章 精度评定	93
8.1 参考数据.....	93
8.2 精度评定方法.....	94

Contents

Chapter 1 Overview of Remote Sensing	99
1.1 Definitions	99
1.2 Milestones in the History of Remote Sensing	100
1.3 Remote Sensing Process	102
1.4 Key Concepts of Remote Sensing	104
1.5 Applications of RS	110
Chapter 2 Electromagnetic Spectrum	113
2.1 Electromagnetic Waves	113
2.2 The Spectral Region Used in RS	117
2.3 Typical EMR Spectral	120
2.4 Interactions with the Atmosphere	125
2.5 Interactions with Surfaces	131
Chapter 3 Platforms and Sensors	134
3.1 Introduction	134
3.2 Platforms	134
3.3 Remote Sensing Data Sources	136
3.4 Mission types	143
Chapter 4 Acquiring Remote Sensing Data	147
4.1 Optical-mechanical scanners	148
4.2 Charge-coupled Device (CCD)	148
4.3 Scanner Systems	150
4.4 Remotely Sensed Data	153
Chapter 5 Image corrections and preprocessing	156
5.1 Preprocessing	156
5.2 Geometric Corrections	156
5.3 Radiometric Correction	162
5.4 Feature Extraction	165

5.5	Subsets	169
Chapter 6	Image Interpretation	171
6.1	Introduction	171
6.2	Elements of Image Interpretation	173
6.3	Image Interpretation Strategies	176
Chapter 7	Classification of Remotely Sensed Data	178
7.1	Introduction	178
7.2	Information Classes and Spectral Classes	181
7.3	Unsupervised Classification	182
7.4	Supervised Classification	188
7.5	Textural Classifiers	200
7.6	Fuzzy Clustering	202
7.7	Artificial Neural Networks	204
7.8	Post Processing of Digital Classified Imagery	205
Chapter 8	Accuracy Assessment	208
8.1	Reference Data	208
8.2	Accuracy Assessment Method	210
Reference		215

第1章 遥感概述

1.1 定义

前人从不同的角度对遥感的定义进行了阐述：

“遥感的定义很多，但是最基本的一点是通过非接触式探测地物的艺术或科学。”
(Fischer et al. , 1976, p. 34)

“遥感是通过非接触或联系地物的方式来实现地物物理数据的获取。”(Lintz & Simonett, 1976, p. 1)

“影像的获取是通过传感器而非传统的相机拍摄，比如，光扫描即利用相机或胶卷之外的辐射，如微波、雷达、热红外、紫外，并利用多光谱，特殊技术等来处理和解译遥感影像以用于生产传统的地图、专题图、资源调查等，在农业、考古、森林、地理、地质等方面广泛应用。”(美国摄影测量学会)

“遥感是利用设备在一定距离之外探测目标。”(Barrett & Curtis, 1976, p. 3)

“遥感一词广义上来说即为一定距离之外的侦查。”(Colwell, 1966, p. 71)

“遥感，虽然不能精确定义，但是其包括以一定距离获取地表图片或地磁记录的各种方法，以及图片数据的处理。因此，从广义上来说，遥感即为利用传感设备来记录和探测目标区域电磁辐射。这种辐射可能由目标物直接发出，也可能是反射的太阳辐射，或者是接收由传感器发出经目标物反射回的能量。”(White, 1977, p. 1-2)

“遥感目前被很多科学家用以研究遥远的目标，比如地球、月球以及其他星球表面和大气以及冰川现象等。广义来说，遥感将现代传感器、数据处理、设备、信息理论和处理方法、通信理论和设备、航空和航天飞机以及巨系统理论和时间等充分利用以实现地表空间的探测目标”。(国家科学院, 1970, p. 1)

“遥感是在一定距离之外非接触式获取地物信息的科学。目前的遥感系统探测地物用的最多的就是地物辐射的电磁能量。尽管有其他形式如地震波、声呐波和重力强度等，但是我们所关注的是电磁波。”(D. A. Landgrebe, In Swain and Davis, 1978)

对这些定义中共性问题的挖掘可以帮助我们发现遥感中最重要的特征。粗略地看一下这些定义，很容易得出：遥感即为一定距离之外的信息获取。这是一个关于遥感的广义定义，如果要针对某一个课程的学习，那么需要对其进行进一步的精练，以便于更好地掌握该课程的知识。

我们这里主要讨论由反射或发射的电磁波来探测陆地和水体的表面。因此，其他形式的遥感，比如对地磁、大气或者人体温度等的感知，在此不做讨论。此外，我们主要讨论

成像的传感器，那些不成像的传感器，比如某类激光，在此不做讨论。他们虽然从属于遥感领域，但是简便起见，本课程不做讨论。

针对于我们要讨论的内容，遥感可以定义为：遥感即通过非接触式方式获取地表信息的科学(在一定程度上，也是艺术)。遥感是通过感应和记录反射或发射的能量来获取信息，同时对所获取的信息进行处理、分析和应用。

1.2 遥感发展的里程碑

遥感领域所涉及的范围可以通过追踪其核心概念的发展历史来进行阐述。下面几项关键事件的发展可以用来追述该领域的演变(表 1.1)。

表 1.1 遥感发展历史上的里程碑事件

1800	William Herschel 发现了红外射线
1839	尝试进行照片的拍摄
1847	A. H. L. Fizeau & J. B. L. Foucault 展示了红外波谱，其与可见光有共同特性
1850—1860	利用气球进行拍摄
1973	James Clerk Maxwell 提出了电磁波理论
1909	尝试航拍
1914—1918	第一次世界大战中使用航空侦察
1920—1930	航拍和摄影测量的发展及其初步应用
1929—1939	经济衰退引起环境危机促使政府开始使用航空摄影测量
1930—1940	雷达开始在德国、美国 and 英国发展起来
1939—1945	第二次世界大战：电磁波谱不可见部分可以投入使用，同时开始进行航片数据获取和解译的培训
1950—1960	军事方面的研究和开发
1956	Colwell 开始研究利用红外照片进行植被病害的探测
1960—1970	首次使用“遥感”这一术语；TIROS 气象卫星发射；Skylab 从太空进行遥感对地观测
1972	Landsat 1 发射
1970—1980	数字影像处理技术得到迅速发展
1980—1990	Landsat 4：新一代陆地卫星探测传感器
1986	SPOT 法国地球观测卫星
1980s	高光谱传感器的发展
1990s	全球遥感系统

Evelyn Pruitt，一位在海军海事研究办公室的科学家，当她发现利用“航空摄影”一词

已经不能用来精确描述利用可见光之外的波谱进行拍摄得到的许多形式的影像时，提出了“遥感”一词。早在 20 世纪 60 年代，美国国家宇航局(NASA)设立了一项遥感方面的研究项目，主要用于在下一个十年里，支持美国的研究机构在美国国家范围内从事遥感的研究。在此期间，美国国家科学院(NAS)的一个委员会研究了将遥感用于农业和森林领域的可能性。在 1970 年，NAS 提交了其研究成果报告，指出遥感这一新出现的探测领域可以用于很多方面。

1972 年，Landsat 1 的升空是遥感发展的又一次里程碑事件。Landsat 1 是众多探测地表的地球轨道卫星之一，它首次实现了对地系统地重复观测。每景 Landat 1 影像在几个电磁波谱区间对地成像，为其在诸多领域的应用提供中分辨率的数据。Landsat 对遥感的重要意义至少可以概括为如下三点：首先，能够持续、稳定的提供区域地表的多光谱数据，这促进了大量的科研人员从事多光谱数据的分析工作。其次，Landsat 促进了人们对遥感数据进行数字分析的迅速和全面扩展。再次，Landsat 项目为世界上其他地球观测卫星的设计和运营树立了典范。

1.3 遥感过程

1.3.1 遥感过程概述

因为遥感是由许多个相互关联的过程组成的，如果仅关注任何单一的组成部分，对其理解都将是支离破碎的。因此，我们需要从更宽泛的角度来理解遥感过程以便于发现遥感技术所需要的知识(图 1.1)。

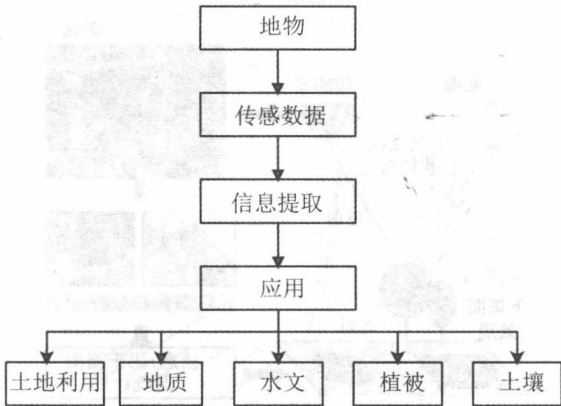


图 1.1 遥感过程示意图

物理实体主要包括建筑物、植被、土壤以及水体等类似地物。当然也包含遥感应用人员所关注的其他地物。对地物的认知要视不同学科而定，比如地质学、森林学、土壤科学、地理学以及城市规划等。

传感数据是传感器如相机或雷达记录观测目标的反射或发射信号得到。因为传感器探

测的视角是俯视的、且其分辨率与人眼所见存在差异，同时传感器的探测波段很多位于可见光之外，因此对于多数人来说，传感数据比较抽象和陌生。因此，要使用传感数据，首先需要将传感数据解译为信息(即信息提取)，方能用于解决实际问题，比如填埋场选址、寻找矿产资源等。这些解译结果即为从影像数据中提取的信息，提取过程主要为将传感数据转换为某一特定信息的数据。实际上，同样的传感数据，如果从不同的视角出发可产生不同的解译结果。因此，同一景影像既可以提供土壤的信息，同时也可以用于土地利用、地质等方面，这要视特定的影像及不同的分析目的而定。一般而言，遥感所能获取的信息主要包括：

- (1)平面位置和空间展布。
- (2)地貌(高程)位置。
- (3)颜色(光谱反射)。
- (4)地表温度。
- (5)纹理。
- (6)表面粗糙度。
- (7)湿度信息。
- (8)植被生物量。

最后，我们来看一下应用。应用遥感数据时可以与其他形式的数据融合在一起来分析特定的实际问题，比如土地利用规划、矿产勘探以及水质测图等。

1.3.2 遥感过程的实例探讨

下面来看一下遥感影像生成的过程(图 1.2)。

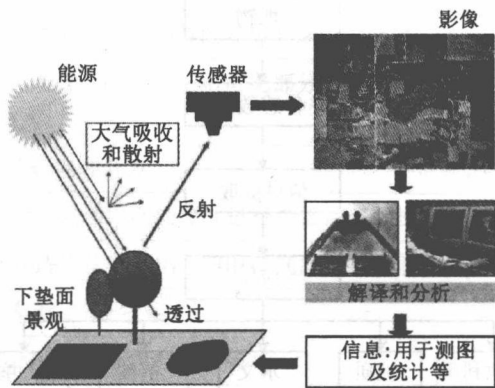


图 1.2 遥感过程实例

- (1)入射的太阳辐射部分地被大气所散射和吸收。
- (2)剩余的辐射到达地表，与地物(本例中为一棵树)相互作用。
- (3)大部分树冠的能量反射受控于单个叶片与辐射的相互作用，主要包括选择性吸收、透过和反射能量等，这些作用是与波段相关的。

- (4) 反射能量在达到传感器之前再次遭到大气的衰减。
- (5) 这种作用强度最终以类似图片的影像或者是由定量数据组成的矩阵呈现出来。
- (6) 影像经过解译和分析后，就可以获取地表相关的信息。

1.4 遥感的关键概念

遥感这一学科还很年轻，很多基本的事实和方法还没有完全地被人们所理解。科学家仍然在努力研究许多与遥感相关的基本方法和核心概念。尽管如此，对于我们学习遥感来说，还需要基于一系列的基本原理来理解遥感及其应用的本质问题。

1.4.1 空间分辨率

对于很多传感器而言，传感平台与遥感目标之间的距离对于获取目标区域的影像及目标的详细信息至关重要。传感平台上的传感器距离目标很远，一般视域很大，但目标物不够详细。将宇航员在航天器上所看到的与坐在飞机上的人所看到的进行对比，宇航员一眼就可能看到一个省份或者国家，但是却分辨不出单个的房屋。而当你乘坐飞机飞过一个城市或城镇时，你可以分辨出单个的建筑或者车辆，但是你所看到的区域却远远小于宇航员所观察到的区域。

影像的详尽程度依赖于传感器的空间分辨率。空间分辨率指的是可以分辨出的最小特征的尺寸。被动传感器的空间分辨率主要取决于他们的瞬时视场角 (IFOV) (图 1.3)。IFOV 指的是传感器视域的立体角，它决定了传感器某一时刻在某一高度处所能探测到的地表的区域。地表的这一区域即为分辨单元，它决定了传感器的最大空间分辨率。

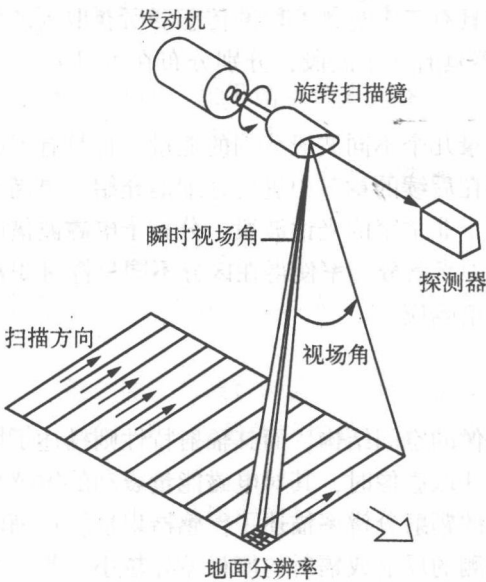


图 1.3 垂直扫描仪示意图

粗(或低)分辨率的遥感影像只能分辨出大的目标物,而高分辨率的影像则可以分辨出小的目标物。以军用传感器为例,它需要探查的地物越详细越好,因此需要非常高的空间分辨率。而商用的卫星可以提供从几米到几公里空间分辨率范围内的影像。一般而言,分辨率越高,地面可视区域越小。

尺度指的是影像或地图上的距离与地面上所对应的实际距离的比值。如果一幅地图,其比例尺为 $1:100000$,那么一个在地图上长 1 cm 的地物,其在地面上的实际长度为 100000 cm (1 km)。地图与地面上长度的比值,其数值较小的影像或地图称为小尺度(比如 $1:100000$)地图或影像,而具有大比值的(比如 $1:5000$)则称为大尺度地图或影像。

空间分辨率也可以描述为卫星影像一个像元所代表的地面范围的大小。比如,Landsat 卫星所搭载的专题制图仪(TM)的空间分辨率为 30 m 。一般而言,气象卫星传感器的地面分辨率通常大于 1 km^2 。

目前也有卫星的空间分辨率高于 1 m ,但是它们多为军用卫星,或者是价格昂贵的商业卫星系统。

1.4.2 光谱分辨率

影像上不同的地物类别或者其详细程度通常可以通过比较它们特定的波段响应范围来区分。大的类别,比如水体或者植被,一般可以通过比较宽的波段范围即可见光和近红外就可以区分开来。而其他更详细的类别,比如,不同的岩石类型,通过上述宽波段一般很难区分,需要更详细的波段范围才可以区分它们,因此我们需要高光谱分辨率的传感器。

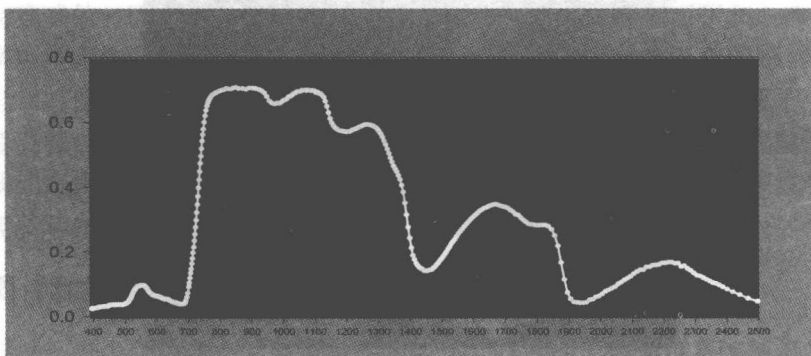
光谱分辨率描述了传感器所能分辨的波段间隔的能力。光谱分辨率越细,某个通道或波段的波长范围越窄。

最简单的光谱分辨率的传感器仅有一个可见光波段。其影像与从飞机上所拍摄的黑白照片类似。在可见光波段具有三个光谱波段的传感器所获取到的信息与人眼视觉系统所获取的信息类似。TM 传感器具有 7 个波段,分别分布在可见光、近红外、中红外和热红外光谱范围。

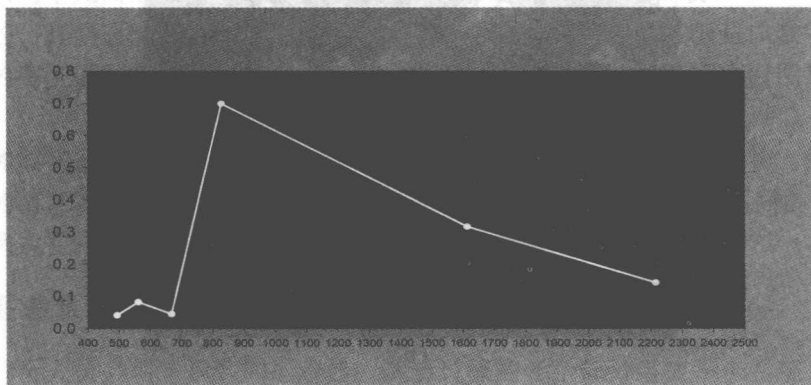
很多遥感系统可以记录几个不同波段范围的能量,且具有不同的光谱分辨率。这些传感器为多光谱传感器,将在后续的章节中进行详细地介绍。更高级的多光谱传感器为高光谱传感器,可以探测上百个非常窄的光谱波段,分布于电磁波谱的可见光、近红外和中红外部分(图 1.4)。这样高的光谱分辨率使得在区分不同目标时非常有利,因为其可以探测目标物在每个窄波段的光谱响应。

1.4.3 辐射分辨率

像元的排列描述了影像的空间结构,而其辐射特性则描述了影像所包含的地物辐射信息。胶卷或者传感器每次获取影像时,其对电磁能量震动的敏感程度决定了传感器的辐射分辨率的大小。成像系统的辐射分辨率描述了传感器识别能量细微差异的能力。传感器的辐射分辨率越高,它所探测的反射或辐射的能量差异越小。影像数据通常使用正整数来表征,其变化一般从 0 到 2 的几次幂,影像的这一数据范围与二进制编码的位数相对应。每一位记录 2 的一次幂(比如 $1\text{ bit} = 2^1 = 2$)。因此,如果一个传感器用 8 位来记录数据,则



(a)



(b)

图 1.4 高光谱分辨率(a)和低光谱分辨率(b)

为 $2^8 = 256$, 数字范围从 0 到 255。然而, 如果用 4 位来记录, 则 $2^4 = 16$, 数值从 0 到 15。因此, 相对于 8 位影像, 其辐射分辨率就小得多。

通过对比一个 2 位和 6 位的影像, 可以看出二者在分辨地物的细微程度上存在显著差异, 这与影像的辐射分辨率密切相关(图 1.5)。

辐射分辨率表征了卫星能够分辨其所接收到的辐射的精细程度。通常采用位数来存储最大的辐射量, 比如 8 bits 代表 256 个数值(通常为 0~255)。

- 1 bit (0~1)

- 8 bits (0~255): 每个像元都被拉伸到 0~255, 0 表示没有光谱或者低于最小阈值, 255 表示最大光谱响应或者高于 8 位数据的阈值。在 8 位影像上, 通常表现不出地物的细微差别

- 16 bits (0 ~ 65535): 具有更大范围的选择, 但是其存储空间却是 8 位影像的 2 倍

- 32 bits (0~ 4294967295) 及更多

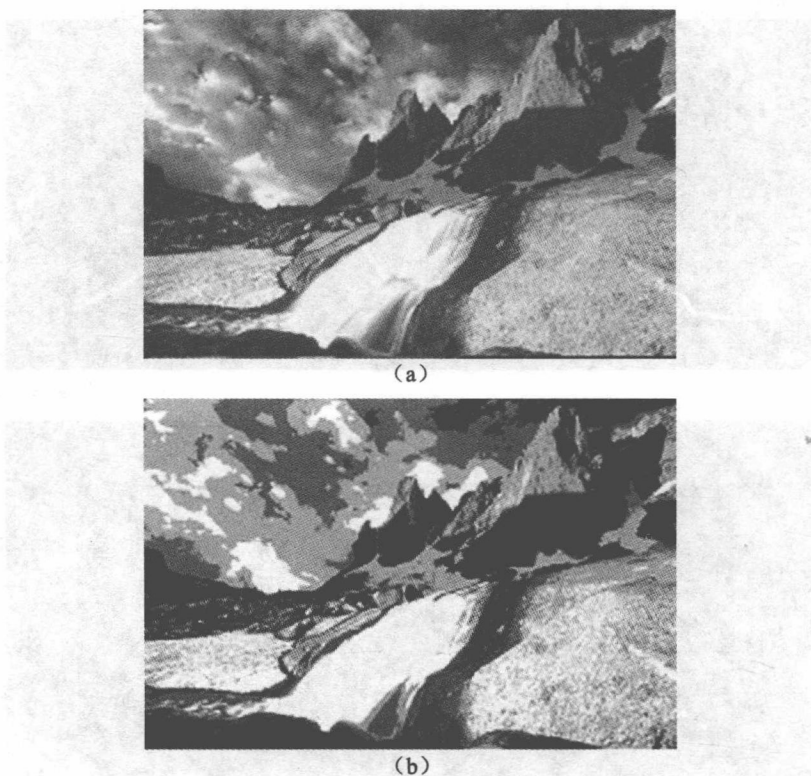


图 1.5 64 级 (6 位, (a)), 4 级 (2 位, (b))

1.4.4 时间分辨率

除了空间、光谱和辐射分辨率,时间分辨率的概念也很重要。卫星传感器的重访周期(即时间分辨率)通常为几天。

时间分辨率指的是连续两次在同一地区进行数据获取的时间间隔。比如,在 1971 年、1981 年、1991 年和 2001 年分别进行一次航拍,则其时间分辨率即为 10 年。

时间分辨率表征的是一颗卫星访问同一地方的频率。其取决于:

- (1) 轨道特性。
- (2) 扫描带宽度。
- (3) 定位扫描设备的能力。

对于气象卫星而言,时间分辨率一般为一天几次,对于中等分辨率的卫星来说,时间分辨率一般为一年 8~20 次,如 Landsat 卫星。时间分辨率主要取决于卫星传感器的设计及其轨道运行模式。

1.4.5 几何畸变

每个遥感影像表征了一个特定几何关系下的景观,这一几何关系是由遥感传感器的结