普通高等教育“十一五”国家级规划教材

遥感数字图像处理教程

韦玉春　汤国安　杨　昕 等　编著

科 学 出 版 社

北　京

内 容 简 介

本书为普通高等教育“十一五”国家级规划教材。本书是作者在总结遥感教学经验、科研成果及国内外遥感数字图像处理技术最新进展的基础上编著而成的。全书共10章，主要内容包括：概论；遥感数字图像的获取和存储；遥感数字图像的表示和统计描述；图像显示和拉伸；图像校正；图像变换；图像滤波；图像分割；遥感图像分类；地物成分分析和信息提取。

本书既可作为遥感、地理信息系统等专业本科生教材，也可供相关专业教师和科研工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

遥感数字图像处理教程/韦玉春等编著．—北京：科学出版社，2007

普通高等教育“十一五”国家级规划教材

ISBN 978-7-03-020130-0

Ⅰ．遥… Ⅱ．韦… Ⅲ．遥感图像-数字图像处理-高等学校-教材

Ⅳ．TP751.1

中国版本图书馆CIP数据核字(2007)第161610号

责任编辑：杨 红 李久进/责任校对：李奕萱

责任印制：张克忠/封面设计：耕者设计工作室

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码：100717

http：//www．sciencep．com

印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2007年12月第 一 版 开本：B5(720×1000)

2007年12月第一次印刷 印张：19 1/4

印数：1—4 000 字数：365 000

定价：30.00元(含光盘)

(如有印装质量问题，我社负责调换〈文林〉)

前　言

随着对地观测技术的迅速发展，遥感图像在社会生活和经济建设中发挥着越来越重要的作用。遥感图像已不仅仅是科学研究和工程设施建设的基础数据，同时，伴随着 Google Earth 的使用，各种类型的遥感图像已经成为普通人生活的一部分。遥感图像正不断扩展人类对世界的认知广度和深度。

遥感数字图像的处理，是对遥感数字图像的计算机处理。与工业和医学数字图像不同，遥感数字图像类型更为多样，内容更为复杂。因此，遥感数字图像的处理，不仅需要掌握已有的数字图像处理方法，而且需要具有相当的地学知识，是科学和艺术的有机结合。

本书面向大学本科学生，共包括 10 章，按照“基础知识—图像处理应用”来组织相关内容。主要内容为：

第 1 章绪论，主要介绍了图像、遥感数字图像和遥感数字图像处理的基本概念和软硬件要求。

第 2 章遥感数字图像的获取和存储，重点介绍了图像获取的传感器特征和存储的数据格式。

在遥感数字图像处理中，数据源不同，图像的特征不同。遥感图像包括了多个波长的电磁波信息，因此，需要我们首先掌握遥感主要传感器的基本特征，以便对图像进行合理的解释。通过传感器获取的数字图像以数字文件的方式存储。数据图像处理是对图像中的像素进行系列操作，图像的处理过程就是文件的存取过程和数据处理过程。传感器的分辨率不同，产生的文件格式不同，文件大小不同，图像处理的复杂程度也不同。

第 3 章遥感数字图像的表示和统计描述，介绍了遥感图像模型、图像表示方法、基本的统计特征和图像处理的基本概念。遥感图像模型是理解遥感图像的根本；不同类型的图像，其表示方式不同，描述方法也不同。统计描述是数字图像最基本的定量描述手段。掌握了基本的图像描述手段，才有可能对图像进行有效的定量分析。

第 4 章图像的显示和拉伸。图像的合成显示和拉伸是最基本的，也是使用最多的处理方法。图像的显示是为了理解数字图像中的内容，或对处理结果进行对比。图像的拉伸是为了提高图像的对比度，改善图像的显示效果。

第 5 章图像校正，这是图像的预处理工作，其目的是校正成像过程中各种因素影响导致的图像失真。校正包括辐射校正和几何精纠正两部分内容，前者通过辐

射定标和大气校正等处理将像素值由灰度级改变为辐照度或反射率，后者利用已有的空间参照体系纠正像素的坐标，使得图像能够与地图匹配或多景图像可以相互匹配。从工作顺序上看，获取图像后就应进行图像校正，但是考虑到校正过程中需要进行图像的合成显示和拉伸等处理，所以将图像校正放在了图像显示和拉伸一章的后面。

第 6 章图像变换和第 7 章图像滤波是基本的图像增强方法。处理的图像可以是原始图像，也可以是校正后的图像。由于图像校正后会占用更多的存储空间，所以实际工作中往往先处理原始图像，通过多次的实验寻找合适的处理方法，然后再处理校正后的图像。这两章介绍了主要的增强方法，包括：傅里叶变换、主成分变换、缨帽变换、彩色变换、代数运算、图像噪声、图像平滑和锐化的主要方法等，给出了比较丰富的图像处理实例。

第 8 章图像分割用于从背景中分割出感兴趣的地物目标，在高分辨率图像处理中应用更广。这章包括了常用的图像分割方法，内容与图像的拉伸和图像变换、滤波关系密切，是这些方法的深入综合应用。

第 9 章遥感图像分类，介绍了分类的基本原理、基本概念和常用的方法，对分类中存在的问题进行了比较深入的阐述。图像分类按照特定的分类系统对图像中像素的归属类别进行划分。图像分割的结果可作为图像监督分类中的训练区。

第 10 章地物成分分析和信息提取是考虑到高光谱数据应用和高空间分辨率图像的应用而增加的。当前，高光谱图像和高分辨率图像的使用越来越多，高光谱图像使得定量分析地物成分成为可能；高空间分辨率图像则使得提取地物信息、制作大比例尺地图成为可能。该章对这两种图像的处理思路和方法进行了介绍，以便为使用更复杂的处理方法提供必要的基础知识。

需要说明的是，本书中包括的方法适用于多光谱、高光谱和高分辨率图像，主要的内容也可用于微波图像的处理。但是，考虑到微波图像成像原理和预处理的复杂性，本书中没有包括微波图像处理的相关内容。

本书主要由韦玉春、汤国安和杨昕进行编写。此外，汪闽负责编写了第 10 章中的高空间分辨率图像处理部分。研究生徐彬、彭礼红、杨大伟、单静、徐建军和徐谨等帮助进行了基础材料和文字的整理工作，特此致谢。

遥感数字图像处理与其他学科相比显得非常年轻。如何将图像处理原理和处理方法有效地结合起来，以便更快地掌握和应用，还需要做更多的工作。本书虽然在编写中参考了多种材料，但由于个人水平和篇幅的限制以及遥感图像处理的复杂性，难免会有不当之处，还请读者能够不吝指教，以便修改。

韦玉春

2007 年 8 月

目　录

前言
第 1 章　概论 …… 1
1.1　图像和遥感数字图像 …… 1
1.2　遥感数字图像处理 …… 2
1.3　数字图像处理的发展和两个观点 …… 6
1.4　基础理论和基本知识要求 …… 7
1.5　本教程的组织结构 …… 8
思考题 …… 10
第 2 章　遥感数字图像的获取和存储 …… 11
2.1　遥感图像的获取和数字化 …… 11
2.2　常用遥感平台及其传感器特征 …… 24
2.3　遥感图像的类型 …… 28
2.4　遥感数字图像的级别和数据格式 …… 29
2.5　数字图像分辨率 …… 35
思考题 …… 37
第 3 章　遥感数字图像的表示和统计描述 …… 38
3.1　遥感图像模型 …… 38
3.2　遥感图像的数字表示 …… 40
3.3　单波段图像的统计特征 …… 42
3.4　多波段图像的统计特征 …… 47
3.5　窗口、邻域和卷积 …… 49
3.6　纹理 …… 52
思考题 …… 57
第 4 章　图像显示和拉伸 …… 58
4.1　数字图像的显示 …… 58
4.2　图像的彩色合成 …… 67
4.3　图像拉伸 …… 75
思考题 …… 86
第 5 章　图像校正 …… 87
5.1　辐射传输 …… 87

5.2 辐射误差…… 94
5.3 系统辐射误差校正…… 96
5.4 传感器端的辐射校正…… 99
5.5 大气校正 …… 102
5.6 地面辐射校正 …… 107
5.7 图像几何误差的主要来源 …… 109
5.8 几何精纠正 …… 109
思考题…… 122
第 6 章 图像变换…… 123
6.1 傅里叶变换 …… 124
6.2 主成分变换 …… 131
6.3 缨帽变换 …… 135
6.4 代数运算 …… 140
6.5 彩色变换 …… 144
思考题…… 149
第 7 章 图像滤波…… 150
7.1 空间域滤波和频率域滤波 …… 150
7.2 图像平滑 …… 152
7.3 图像锐化 …… 161
7.4 频率域滤波 …… 171
7.5 同态滤波 …… 175
思考题…… 177
第 8 章 图像分割…… 179
8.1 概述 …… 179
8.2 灰度阈值法 …… 181
8.3 梯度方法 …… 185
8.4 区域生长方法 …… 190
8.5 区域分割方法 …… 192
8.6 数学形态学方法 …… 194
思考题…… 207
第 9 章 遥感图像分类…… 208
9.1 概述 …… 208
9.2 相似性度量 …… 210
9.3 工作流程 …… 212
9.4 非监督分类 …… 216

9.5　监督分类 …… 225
9.6　其他分类方法 …… 233
9.7　专家系统分类方法 …… 239
9.8　分类后处理 …… 242
9.9　分类精度分析 …… 244
9.10　遥感专题制图 …… 248
9.11　提高分类精度的基本对策 …… 251
思考题 …… 257
第 10 章　地物成分分析和信息提取 …… 258
10.1　高光谱图像的特征 …… 258
10.2　地物的反射光谱 …… 260
10.3　地物成分分析 …… 265
10.4　高空间分辨率图像 …… 269
10.5　高空间分辨率图像处理与信息提取技术 …… 272
10.6　面向对象的信息提取 …… 288
思考题 …… 294
主要参考文献 …… 295

第1章 概 论

1.1 图像和遥感数字图像

1.1.1 图像和数字图像

依据2003年R C冈萨雷斯的定义,图像是对客观对象一种相似性的描述或写真,它包含了被描述或写真对象的信息,是人们最主要的信息源。在英语词典中,主要有3个词与图像有关,即picture 、image和pattern。本书图像所对应的英文词为image,指通过镜头等设备得到的视觉形象,或“以某一技术手段再现于二维画面上的视觉信息”,通俗地说就是指那些用技术手段把目标进行再现而产生的图像,“是二维数据阵列的光学模拟”。

根据人眼的视觉可视性可将图像分为可见图像和不可见图像。可见图像有图片、照片、素描和油画等,以及用透镜、光栅和全息技术产生的各种可见光图像。不可见图像包括不可见光成像(如紫外线、红外线、微波成像)和不可见测量值(如温度、压力、人口密度)的分布图。

按图像的明暗程度和空间坐标的连续性,可将图像分为数字图像和模拟图像。数字图像指用计算机存储和处理的图像,是一种空间坐标和灰度均不连续、以离散数学原理表达的图像。在计算机内部,数字图像表现为二维阵列(网格),属于不可见图像。模拟图像(又称光学图像)指空间坐标和明暗程度连续变化的、计算机无法直接处理的图像,属于可见图像。

利用计算机技术,模拟图像与数字图像之间可以相互转换。把模拟图像转变成数字图像称为模/数转换,记作A/D转换;把数字图像转变成模拟图像称为数/模转换,记作D/A转换。

数字图像最基本的单位是像素。像素是A/D转换中的取样点,是计算机图像处理的最小单元;每个像素具有特定的空间位置和属性特征。

1.1.2 遥感数字图像

遥感数字图像(digital image)是数字形式的遥感图像。不同的地物能够反射或辐射不同波长的电磁波,利用这种特性,遥感系统可以产生不同的遥感数字图像。

遥感数字图像中的像素值称为亮度值(或灰度值、DN值)。亮度值的高低由遥感传感器所探测到的地物电磁波的辐射强度决定。由于地物反射或辐射电磁波

的性质不同且受大气的影响不同，相同地点不同图像（不同波段、不同时期、不同种类的图像）的亮度值可能不同。

图像的每个像素对应三维世界中的一个实体、实体的一部分或多个实体。在太阳的照射下，一些电磁波被这个实体反射，一些被吸收。反射部分的电磁波（地物反射和天空中大气散射）到达传感器被记录下来，成为特定像素点的值。

像素的亮度值具有相对的意义，仅在图像内才能相互比较。不同图像中的相同位置上的像素值无法直接比较。只有当两景图像由同一物理过程获取，或者对两景图像的亮度值进行标准化处理以去除不同物理过程的影响后，才可以比较不同图像的像素值。

遥感数字图像与照片的差异如表 1.1 所示。

表 1.1 遥感数字图像与照片的差异

照 片	遥感数字图像
来自于模拟方式	来自于数字方式
通过摄影系统产生	通过扫描和数码照相机产生
没有像素	基本构成单位是像素
没有行列结构	具有行和列
没有扫描行	可能会观察到扫描行
0 表示没有数据	0 是数值，不表示没有数据
任何点都没有编号	每个点都有确定的数字编号
摄影受电磁光谱的成像范围限制	可以是电磁光谱的任意范围
一旦获取了照片，颜色就是确定的	颜色没有特定的规则，在处理过程中可以根据需要通过合成产生
具有红、绿、蓝 3 个通道	多个波段（3～8 000）

1.2 遥感数字图像处理

1.2.1 遥感数字图像处理概述

遥感数字图像处理是利用计算机图像处理系统对遥感图像中的像素进行系列操作的过程。

遥感图像中包含了很多信息。传统的模拟图像受媒介大小的限制无法完全表述这些信息，也很难进行信息的进一步处理，只有经数字化后才能有效地进行信息分析和处理。同时，数字图像处理极大地提高了图像处理的精度和信息提取的效率。

遥感数字图像处理的主要内容包括以下 3 个方面：

（1）图像增强：使用多种方法，例如，灰度拉伸、平滑、锐化、彩色合成、主成分（K-L）变换、K-T 变换、代数运算、图像融合等压抑、去除噪声，增强整体图像或突出图像中的特定地物的信息，使图像更容易理解、解释和判读。

图像增强着重强调特定的图像特征,在特征提取、图像分析和视觉信息的显示中很有用。增强过程本身不会增加数据中原有的信息内容,仅仅是突出了特定的图像特征,使得图像更易于可视化的解释和理解。图像增强通常以人机交互的方式来进行,所使用的算法取决于具体应用方向。

(2) 图像校正:图像校正也称图像恢复、图像复原,主要是对传感器或环境造成的退化图像进行模糊消除、噪声滤除、几何失真或非线性校正。校正的方法除了图像增强中的一些方法外,主要包括辐射校正和几何纠正。在进行信息提取前,必须对遥感图像进行校正处理,以使图像信息能够正确地反映实际地物信息或物理过程。

(3) 信息提取:根据地物光谱特征和几何特征,确定不同地物信息的提取规则。在此基础上,利用该规则从校正后的遥感数据中提取各种有用的地物信息。主要包括图像分割、分类等方法,处理结果为分类专题图。

遥感数字图像处理,是整个遥感对地观测过程的一个基本组成部分(图 1.1)。处理的结果可以直接为资源管理、规划等提供服务,也可以为发展新的对地观测技术提供基本依据。

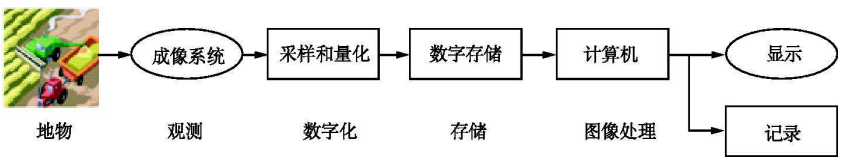

图 1.1 遥感与图像处理

1.2.2 遥感数字图像处理系统

数字图像处理需要借助于数字图像处理系统来完成。一个完整的遥感数字图像处理系统包括硬件系统和软件系统两大部分。硬件系统是进行图像处理所必须具备的设备,包括输入、储存、处理、显示、输出等设备。软件系统指用于图像处理的各种程序。

1. 硬件系统

遥感数字图像处理的硬件系统主要由 5 部分组成:计算机、数字化设备、大容量存储器、显示器和输出设备以及操作台(图 1.2)。

1) 计算机

计算机是图像处理的核心,大的内存和高的 CPU 速度有助于加快处理的进度。常用的计算机有个人微机、图形工作站和小型机。苹果计算机由于具有严格的色彩管理体系,是图像处理的首选。

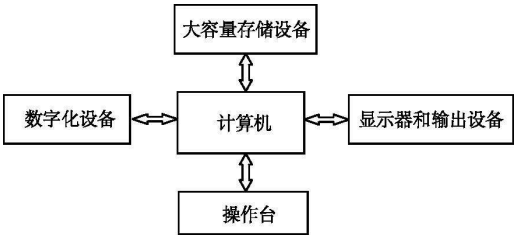

图 1.2 遥感数字图像处理系统的硬件构成

2) 数字化设备

为了采集数字图像,需要两种装置:一种是传感器,它能够将所接收到的电磁辐射能量转变成与能量成正比的(模拟)电信号;另一种是数字化设备,能将上述(模拟)电信号或模拟图像转换成数字(离散)的形式。这两种设备安装在遥感系统的遥感平台上,用户得到的是数字图像。

目前数字化设备有电荷耦合器件照相机(数码照相机)、带有显像管的视频摄像机(数码摄像机)和扫描仪等。如果用户得到的图像是打印输出后的图像,则需要自己使用数字化设备将其转换为数字图像。

3) 大容量存储设备

遥感数字图像的数据量很大,需要大容量存储设备来保存这些数据。在计算机中,基本的度量单位是比特(位)。存储一幅 1024 字节的 8 位图像需要 1MB 的存储空间。一景正常的包括 7 个波段的 LANDSAT5 的 TM 图像文件,至少占用 200MB 的存储空间,高光谱图像则可能需要超过 1GB 的存储空间。

内存和外存是常用的两类存储器。

(1) 内存提供了快速的数据存取能力,但是,断电后内存中的数据消失。目前计算机的内存大小一般为 1024MB,作为服务器的计算机,其内存可达 3GB 以上。内存容量越大,图像处理的效率越高。

(2) 外存包括磁盘、光盘、光盘塔、磁带等。常用的磁盘可存储数百吉比特的数据;光盘也可存储数吉比特的数据;一个光盘塔可放几十到几百张光盘。长期保存的数据则多用磁带。

4) 显示器和输出设备

显示器是基本的图像显示设备。专业的大尺寸显示器和多屏显示器有助于提高图像的处理效率。为了保证显示结果的可比性,显示器需要进行专业的色彩校正。

显示的图像可以通过硬拷贝转换到幻灯片、照片或透明胶片上。

打印设备用于输出图像。设备不同,输出图像的分辨率和色彩不同,在打印前

需要进行校正。随着各种新型打印技术(热敏、激光、喷墨等)的成熟,彩色高分辨率图像的打印输出成为主要趋势。

5) 操作台

操作台是安置数字化设备、输出设备和图像处理设备的辅助平台。良好的图像处理环境有助于保证图像处理的质量。

2. 软件系统

遥感数字图像处理系统由图像处理控制程序、管理程序和图像处理程序组成。除了专业的遥感图像处理系统(如 ERDAS、PCI、ENVI)外,还有面向专业应用领域的图像处理包和其他高级语言的程序库等。

遥感数字图像处理系统的典型功能包括:①由不同传感器获得的不同图像数据的存取和转换;②几何校正;③辐射校正;④图像增强处理;⑤统计分析;⑥特征提取;⑦图像分类和分类后处理;⑧专题制图;⑨专业工具,如高光谱图像处理、地形分析和雷达图像处理等工具。

与常用的办公软件相比,图像处理系统的各个功能显得比较分散,各个菜单之间的联系不紧密。从某种意义上看,图像处理系统更像一个综合的图像处理工具箱。图像处理往往涉及多个功能菜单的调用,只有熟练掌握了图像处理的基本原理,才有可能用好图像处理系统。

1) ERDAS IMAGINE 遥感图像处理系统

ERDAS IMAGINE 是美国 LEICA (莱卡)公司的遥感图像处理系统,包括面向多种应用领域的产品模块,以及面向不同层次用户的模型开发工具。2007 年该软件的最高版本号为 9.1。

ERDAS IMAGINE 可在 UNIX 或 Windows 操作系统运行,其产品按照模块组成和用户类型进行划分。用户可根据自己的要求选择不同功能模块进行组合,以充分利用软硬件资源。ERDAS IMAGINE 最突出的特色是专家模型系统、可视化建模工具以及与 ArcGIS 软件的高度集成。

ERDAS IMAGINE 系统是基于文件的图像处理,每次图像处理的结果都要保存到磁盘文件中。因此,系统的运行需要预留较大的硬盘空间。

网址:http://www.esrichina-bj.cn 或 http://www.esri.com

2) ENVI 遥感图像处理系统

ENVI(the environment for visualizing images)是美国 ITT 公司的一套功能齐全的遥感图像处理系统,是处理、分析并显示多光谱数据、高光谱数据和雷达数据的高级工具。2007 年该软件的最高版本号为 4.3。

ENVI 包含齐全的遥感图像处理功能,如几何校正、定标、多光谱图像分析、高光谱分析、雷达分析、地形地貌分析、GPS 连接、正射图像制图、三维景观生成、制图、数据输入及输出等。ENVI 支持多种操作系统如 Windows、UNIX、Linux、

Macintosh 及 Open VMS 等,其最突出的特色是具有丰富的高光谱数据处理工具和内嵌的 IDL 开发语言。

ENVI 的处理结果可以存入硬盘也可以临时存入内存,因而增加了处理的便捷性。大内存可以有效地提高 ENVI 的图像处理效率。

网址:http://www.ittvis.com/envi

3) PCI Geomatica 遥感图像处理系统

PCI Geomatica 是加拿大 PCI 公司开发的用于图像处理、制图、GIS、雷达数据分析以及资源管理和环境监测的多功能软件系统,包括 400 余个模块,组成了一个非常全面的遥感图像处理系统。2007 年该软件的最高版本号为 10。

PCI 最突出的特色是功能丰富的工具箱和建模系统。

网址:http://www.pcigeomatics.com

4) ER Mapper 遥感图像处理系统

ER Mapper 是澳大利亚 EARTH RESOURCE MAPPING 公司开发的遥感图像处理系统,注重于图像压缩和图像的网络服务。

ER Mapper 的最大特点是基于算法的图像处理,该系统可以仅仅保存处理的算法而不保存处理后的图像,从而极大地节省了硬盘的空间。再次使用处理过的图像时,系统会根据保存的算法自动产生相应的图像。同时,ER Mapper 具有无缝镶嵌、均衡色彩和压缩图像等功能。独有的 ECW 压缩格式,数据处理能力达到 TB 级,使得 ER Mapper 成为遥感图像网络发布的实际标准。

网址:http://www.ermapper.com

1.3 数字图像处理的发展和两个观点

数字图像最早的应用领域是报纸业。早在 20 世纪 20 年代,图片传输系统就可以跨越大西洋传送并打印图片。当时的图像效果比较差,仅仅能够满足新闻的时效性要求。

数字图像处理的发展历史与数字计算机的发展密切相关。计算机为数字图像处理提供了存储、显示和传输等技术支持。

第一台可以执行有意义的遥感图像处理任务的大型计算机出现在 20 世纪 60 年代早期。1964 年,美国加利福尼亚的喷气推进实验室利用计算机技术改善了空间探测器发回的图像效果。当时,“旅行者 7 号”卫星传送的月球图像由计算机进行了处理,以校正航天器载电视摄像机产生的各种类型的图像畸变。

20 世纪 60 年代末、70 年代初,图像处理技术开始应用于医学影像、地球遥感监测和天文学等领域。20 世纪 70 年代发明的计算机轴向断层术(CT)是图像处理技术在医学领域最重要的应用之一。断层技术的发明人英国工程师 Godfrey N Hounsfield先生和美国物理学家 Allan M Cormack 教授共同获取了 1979 年的诺贝

尔医学奖。

20世纪90年代后,随着计算机技术的迅速发展、图像处理系统的成熟以及对地观测技术的不断进步,遥感数字图像处理得到了迅速普及和发展。

当前,对于数字图像的处理存在两种观点:离散方法的观点和连续方法的观点。

1. 离散方法

该观点认为,一幅图像的存储和表示均为数字形式,数字是离散的,因此,使用离散方法进行图像处理才是合理的。与该方法相关的概念是空间域。空间域图像处理以图像平面本身为参考,直接对图像中的像素进行处理。

2. 连续方法

该观点认为,我们感兴趣的图像通常源自物理世界,它们服从可用连续数学描述的规律,因此具有连续性,应该使用连续数学方法进行图像处理(详细内容可参考 Henri Maître 等,2006)。

与该方法相关的主要概念是频率域。频率域基于傅里叶变换,频率域的图像处理是对傅里叶变换后产生的反映频率信息的图像进行处理。完成频率域图像处理后,往往要变换至空间域进行图像的显示和对比。

从本质上看,我们所处理的数字图像等价于它所表示的连续图像。通过适当的图像显示或打印过程,可以将数字图像恢复成原有的连续图像,同样,可以采用数字的方法实现由原来的物理过程才能产生的效果。

1.4 基础理论和基本知识要求

随着科技的进步以及人类需求的多样化发展,多个学科不断交叉融合成为现代科学发展的突出特色。遥感数字图像处理是地学、物理学、数学、心理学相互渗透的产物,是社会生产乃至人类生活中不可缺少的强有力的工具,它与国计民生紧密相连,给人类带来了巨大的经济和社会效益。

为了更好地学习遥感数字图像处理技术,更好地利用图像处理方法提取空间信息、认识客观世界,需要具备以下几个方面的基础理论与基本知识。

1. 物理学

遥感建立在电磁辐射与地物相互作用的基础上,而遥感数字图像则是地物电磁辐射特性的反映。另外,遥感传感器是按照光学和电子技术原理设计和制造的,不同的传感器获得的图像在几何特征和物理特征方面都会存在着差异。同时,图像转换和图像处理的很多方法也是以光学、电子光学原理为基础的。因此,电磁辐射、光学和电子光学等方面的基本知识是不可缺少的。

2. 地学

遥感数字图像处理的目的是为了更好地提取地理信息,以便正确地认识客观

世界。现代遥感技术除了应用在军事领域外，主要以地球资源探测和环境监测为目的。只有具备了有关地球资源特征、分布及其与周围环境相互关系的知识，以及地球资源发生、发展的规律等方面的知识，才能利用适当的遥感图像处理方法，把各种资源与周围环境区别开来，从而确定被探测目标的数量、质量和形状。只有掌握了地理环境各因素的相互关系及其发生、发展规律，才能有效地利用适当的遥感图像处理方法，监测地理环境的动态变化，预测其发展方向。所以，掌握地理学知识是有效地利用遥感图像处理技术、认识地球客观世界的基本条件。

3. 数学

在遥感图像处理过程中，无论是遥感平台的运行特征、传感器的性能参数和地物的电磁辐射特性，还是遥感资料的传输和遥感图像的信息提取，都以一定的数学模型为依据，并运用现代计算技术进行定量计算。所以，要深入掌握遥感数字图像处理技术，必须具备扎实的数学基础。

4. 信息理论

遥感作为一项信息工程，包括遥感信息的获取、记录、传输、处理、预报和决策等信息论的全部功能。遥感信息与信息论是个别与一般的关系，遥感数字图像处理，是信息处理的主要组成部分。只有掌握了信息论的基础和方法，才能保证遥感数字图像处理在正确的理论指导下进行。

5. 计算机技术和地理信息系统

在现代社会，计算机的应用已经涉及生产领域、交换领域、管理领域乃至家庭生活，遥感数字图像处理更离不开计算机。计算机是图像处理的关键设备，并直接影响到图像处理能力和处理速度。不仅要掌握计算机的一般操作技能和计算机语言，更要掌握数据结构和数据库原理等知识。地理信息系统(geographic information system，GIS)是在计算机硬件和软件支持下，通过综合分析各种地理数据进行模拟、决策、规划、预测和预报的各种地理信息技术。遥感数字图像与 GIS 数据库中大量背景数据的叠合分析，可大大提高遥感图像的识别能力。因此，掌握地理信息系统的理论和应用是必不可少的。

1.5 本教程的组织结构

本书按照“基础知识－图像处理应用”来组织相关内容。本书中，第 2、3 章为基础知识；第 4～10 章是图像处理的主要内容，其中，第 4、5、6、7 章为常用的图像处理方法；第 8 章图像分割是各种处理方法的综合应用；第 9 章图像分类是图像处理的主要目的，也是图像处理的最终结果；第 10 章是高光谱图像和高空间分辨率图像特有的处理方法及其应用介绍(图 1.3)。

在遥感数字图像处理中，数据源不同，则图像的特征不同。由于图像包括了多个波长的电磁波信息，因此，需要我们首先掌握遥感传感器的基本特征，以便对图

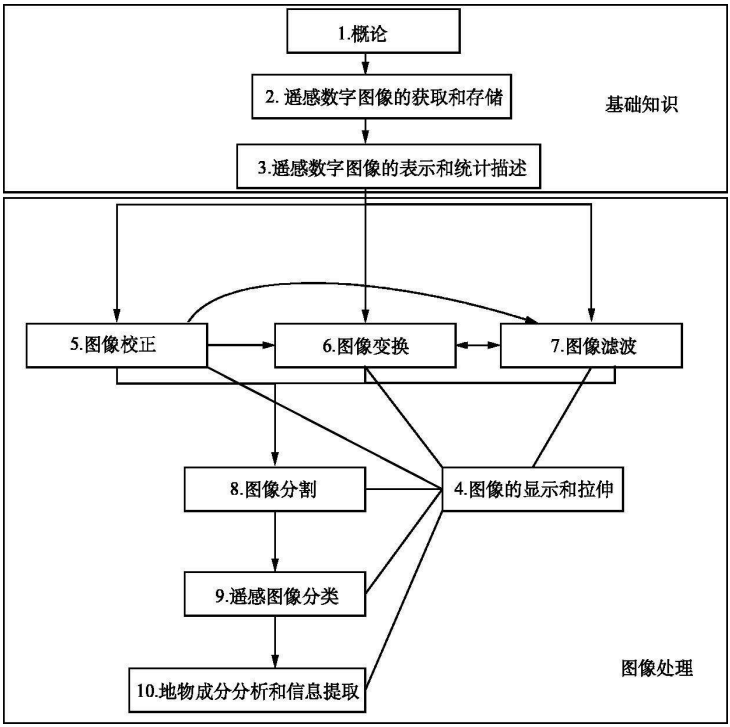

图 1.3 《遥感数字图像处理教程》章节组织结构

图中编号为章

像进行合理的解释。通过传感器获取的数字图像以数字文件的方式存储。传感器的分辨率不同,产生的文件格式和大小不同,文件的字节数可以从数百兆到数吉兆。数字图像处理是对图像中的像素进行的系列操作,图像的处理过程就是文件的存取过程和数据处理过程。

统计描述是数字图像最基本的定量描述手段。不同类型的图像,其表示方式不同,描述方法也不同。掌握了基本的图像描述方法,才有可能对图像进行有效的定量分析。

图像的合成、显示和拉伸是最基本的,也是使用最多的处理方法,所以放在第4章。图像的显示是为了理解数字图像中的内容,或对处理结果进行对比。图像的拉伸是为了提高图像的对比度,改善图像的显示效果。

图像校正属于图像的预处理,其目的是去除和压抑成像过程中由各种因素影响而导致的图像失真。校正包括辐射校正和几何纠正,前者通过辐射定标和大气校正等处理将像素值由灰度级改变为辐照度或反射率,后者利用已有的参照体系

修改像素的坐标，使得图像能够与地图匹配或多景图像可以相互匹配。从工作顺序上看，获取图像后就应进行图像校正，但是考虑到校正过程需要进行图像的合成、显示和拉伸等处理，所以将图像校正放在了第 5 章。

图像变换和图像滤波是基本的图像增强方法。所处理的图像可以是原始图像，也可以是校正后的图像。由于图像校正后会占用更多的存储空间，所以实际工作中往往先处理原始图像，通过多次实验寻找合适的处理方法，然后处理校正后的图像。

图像分割用于从背景中分割出感兴趣的地物目标，在高分辨率图像处理中应用更广。图像分类是按照特定的分类系统对图像中像素的归属类别进行划分。图像分割的结果可作为图像监督分类的训练区。

高光谱图像和高空间分辨率图像的使用越来越多，高光谱图像使得定量分析地物成分成为可能，高分辨率图像则使得提取地物信息、制作大比例尺地图成为可能。本书的最后一章对这两种图像的处理思路和方法作了简要的介绍，以便为使用更复杂的处理方法提供必要的基础知识。

需要说明的是，本书中包括的方法适用于多光谱图像、高光谱图像和高分辨率图像，主要内容也可用于微波图像的处理。但是，考虑到微波图像成像原理的复杂性和预处理的复杂性，本书没有包括微波图像处理的相关内容。

思 考 题

1. 什么是图像？什么是数字图像？
2. 什么是遥感数字图像？照片与遥感数字图像有什么区别？
3. 什么是遥感数字图像处理？常用的处理系统有哪些？各有什么特点？
4. 遥感数字图像处理系统的主要构成有哪些？
5. 什么是空间域图像处理？什么是频率域图像处理？
6. 图像增强的主要目的是什么？主要方法有哪些？
7. 怎么理解图像处理的两个观点？
8. 遥感数字图像处理需要掌握哪些基本知识？

第 2 章　遥感数字图像的获取和存储

遥感图像通过遥感平台上的传感器获取。不同传感器具有不同的辐射、光谱、时间、空间分辨率，且成像原理不同，因而产生的遥感图像不同。地面辐射通过传感器的采样和量化后转换为遥感图像的量化级别值，并以不同格式的数字文件的方式进行存储。

2.1　遥感图像的获取和数字化

2.1.1　遥 感 系 统

遥感(remote sensing，RS)是遥感信息的获取、传输、处理以及分析判读和应用的过程。遥感的实施依赖于遥感系统。

遥感系统是一个从地面到空中乃至整个空间，从信息收集、存储、传输、处理到分析、判读、应用的技术体系，主要包括遥感试验、信息获取(传感器、遥感平台)、信息传输、信息处理、信息应用等 5 个部分(图 2.1)。

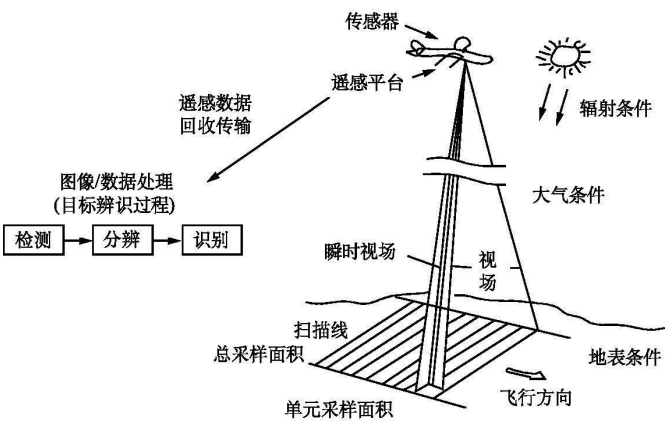

图 2.1　遥感系统

在信息获取部分，传感器是核心，遥感平台则是传感器的载体。按照距离地表从低到高，遥感平台有近地面、吊车、飞艇、飞机、卫星等，高度最低为数厘米，最高可达数千公里。地球运动、平台姿态的变化等影响着遥感平台，进而影响着所获取的图像质量。

2.1.2 传 感 器

传感器又称为遥感器(remote sensor),是收集和记录电磁辐射能量信息的装置,是信息获取的核心部件,如航空摄影机、多光谱扫描仪、成像仪等。传感器搭载在遥感平台上,通过传感器获取遥感数字图像数据。

按工作方式是否具有人工辐射源,传感器可分为被动方式和主动方式两类,相应的遥感有被动遥感和主动遥感两种。被动遥感以太阳辐射和地物自然辐射为辐射源,不需人工辐射源,如各种摄像机、扫描仪、辐射计等,其工作波段集中在可见光和红外区。主动遥感则相反,具有人工辐射源,主动向目标发射强大的电磁波,然后传感器接收目标反射的回波,如各种形式的雷达,其工作波段集中在微波区。

按数据的记录方式,传感器可分为成像方式和非成像方式两大类。非成像传感器记录的是一些物理参数,不能产生图像,如可见光-近红外辐射计、热红外辐射计、微波辐射计、微波高度计、微波散射计等。成像传感器将接收的目标电磁辐射信号转换成数字或模拟图像,是目前最常见的传感器类型。按成像原理又可分为摄影成像和扫描成像两类。

1. 摄影成像

摄影方式的传感器主要是摄影机,如框幅摄影机、缝隙摄影机、全景摄影机、多光谱摄影机等。基本特点是在快门打开后的一瞬间几乎同时收集目标上所有的反射光,聚焦到胶片上成为一幅影像,并记录下来。摄影机是历史最悠久的传感器,从 1839 年发明摄影机起直到今天,它一直是最常用的传感器。摄影机的工作波段(最大波段)是 290～1400nm,即近紫外、可见光、近红外短波段,所得像片信息量大,分辨力高。但是,航空摄影和航天摄影只能在晴朗的白天工作,它们不是全天时、全天候遥感。

最初的摄影成像方式与传统照相机的成像方式相同。根据卤化银物质在光照下发生分解的原理,将卤化银物质均匀地涂布在片基上制成感光胶片。摄影时通过镜头将物质反射或发射的电磁波聚焦成像在感光胶片上(该过程称曝光)形成潜像,经处理(显影、定影)后产生图像。以黑白摄影为例,其黑白程度是由胶片上金属银聚集密度的大小决定的:密度越大,图像越黑;密度越小,图像越白。黑和白的强度与地物反射或辐射电磁波的强弱有密切关系,而且其变化是逐渐过渡的。通过这种方式所形成的图像是遥感模拟图像,经扫描数字化后才能产生遥感数字图像。

如果用数码照相机进行摄影,那么可以直接产生数字图像。

2. 扫描成像

扫描方式的传感器逐点逐行地收集信息。各点的信息按一定顺序先后进入传

感器，经一段时间后才能收集完一幅图像的全部信息。按照扫描方式又可分为两种：目标面扫描传感器和影像面扫描传感器。

1）目标面扫描的方式

目标面扫描的方式包括光学-机械扫描仪、成像雷达等，其收集系统直接对目标面（一般是地面）扫描，一点一行顺序收集目标面上各单元（可看成一点）的信息，然后拼成一幅图像。

光学-机械扫描仪和多光谱扫描仪靠一个平面反射镜的旋转或摆动对地面作舷向扫描（在垂直于飞行方向的直线上扫描），获得地面舷向一条细带的信息，然后沿飞行器行进方向产生航向扫描（在飞行方向上扫描），由这两个方向的扫描便可得到沿航向延伸的、在舷向上有一定宽度的地面条带信息，经过扫描仪的内部处理，在终端可形成一幅反映这个地面条带的影像。美国陆地卫星 LANDSAT 上的多光谱扫描仪（multi-spectral scanner，MSS）和专题制图仪（thematic mapper，TM）就属于这一类。

成像雷达是一种主动方式的扫描仪，可分为全景雷达和侧视雷达两种。全景雷达的主天线周而复始地旋转，圆形荧光屏上相应地显示出一幅圆形的图像。侧视雷达的天线不转，固定后，在矩形荧光屏或感光胶片上形成一个纵（航）向条带的图像。

成像雷达中的侧视雷达由发射机向侧面发射一束窄脉冲，地物反射的微波脉冲（又称回波）被接收机接收。由于地面各点到发射机/接收机的距离不同，接收机收到的信号具有先后不同的次序，而信号的强度与窄脉冲带内各种地物的特性、形状和坡向等有关。接收到的信号经电子处理器的处理在阴极射线管上形成一条相应的表示各种地物反射特征的图像线，并记录在胶片上。遥感平台向前飞行时，不断地向侧面发射窄脉冲，在阴极射线管上便形成一条条的图像线，胶片与遥感平台速度同步，就得到了由强弱不同的回波信号表示的图像。记录在胶片上的雷达图像属于遥感模拟图像。雷达图像必须经过一系列的预处理后才能与地物相关联。

2）影像面扫描的方式

影像面扫描的方式包括电视摄像机和固体扫描仪等。这类传感器的收集系统不直接对地面扫描，而是先用光学系统将目标的辐射信息在靶面上聚焦形成一幅影像，然后利用摄像管中的电子束对靶面扫描来收集其数据，或依靠电荷耦合器件（charge coupled device，CCD）组成的阵列进行电子扫描来获得数据。

固体扫描仪（CCD 扫描仪）的成像是推扫式扫描成像，即线性阵列的顺序取样提供舷向扫描，而平台的前进提供航向扫描，这样可以得到整个航带的二维图像。它省去了复杂的光学机械，有超小型、速度快、功率损耗低、寿命长、简单可靠、动态范围宽的特点。法国的地球观测实验卫星 SPOT 上装载的高分辨率可见光扫描

仪(high resolution visible range instrument, HRV)就是一种线阵列推扫式 CCD 扫描仪。

总体上看,扫描成像是扫描类遥感传感器逐点逐行地以时序方式获取二维图像的方式,当胶片曝光时数据被记录下来形成遥感模拟图像。如果要求记录的信号为数字形式,则必须通过模/数变换将视频信号数字化,然后对连续的模拟信号进行采样、量化和编码,变成离散的数字信号,形成记录在磁带(或光盘)上的遥感数字图像。

成像光谱仪是目前国际上正在迅速发展的一种新型传感器,它以多路、连续的高光谱分辨率来获取图像信息。通过将传统的空间成像技术与地物光谱技术有机地结合在一起,可以实现在同一地区同时获取数十个到数百个波段的地物反射光谱图像。成像光谱仪基本上属于多光谱扫描仪,其构造与 CCD 线阵列推扫式扫描仪和多光谱扫描仪相同,区别仅在于通道数多、各通道的波段宽度很窄(数纳米或数十纳米)。

2.1.3 电磁波与传感器

按电磁波在真空中波长或频率的变化顺序可划分为若干波段,每个波段为一个波长范围。传感器按照波段采集数据。

按使用的工作波段,可将传感器分为紫外、可见光、红外、微波、多波段等类型。紫外传感器的探测波段为 50～380nm;可见光传感器的探测波段为 380～760nm;红外传感器的探测波段为 760～1.0×10^6nm;微波传感器的探测波段为 1.0×10^6～1.0×10^9nm;多波段传感器使用的波段在可见光波段和红外波段范围内,由若干个窄波段组成(图 2.2,表 2.1)。

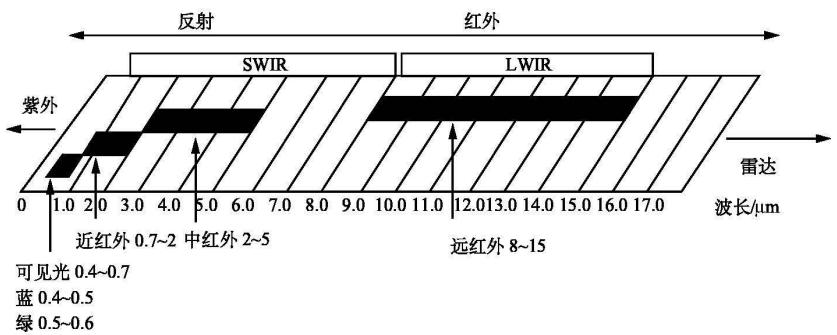

图 2.2 遥感常用的电磁光谱

表 2.1　不同传感器的主要波长范围

传感器	特　点	传感器实例	波长范围/nm
紫外	对紫外光感测	紫外摄影机	50～380
可见光	用感光胶片或光电探测器作为感测元件，地面分辨率高，但只能在晴朗的白天使用	可见光摄影仪、TV 摄像机等	380～760
红外	近红外常使用感光胶片，中、远红外常使用光学机械扫描仪；具有昼夜工作能力	红外光学扫描仪	760～1.0×10^6
微波	具有昼夜工作能力，能提供高分辨率图像，并与日照、云层遮挡无关，有一定穿透能力	合成孔径雷达	1.0×10^6～1.0×10^9

几乎所有的电磁光谱(图 2.3)区域都已用于遥感。遥感数据是在预定的光谱波段(波长)上获得的。可见光和近红外光谱波段(可以用彩色显示)常常用来增强或者分离特定的地物，例如植被和水域。图 2.4 是普通的地物目标在光谱可见光和近红外部分的相关响应(反射率)。遥感工作中重要的是要通过选择波段将一个特定地物与其他的地物分离开来。例如，水对 1.1×10^3 nm 波长的光波反射率小于 10%，而植被反射率约为 50%，显然水的反射率比植被的反射率低得多。

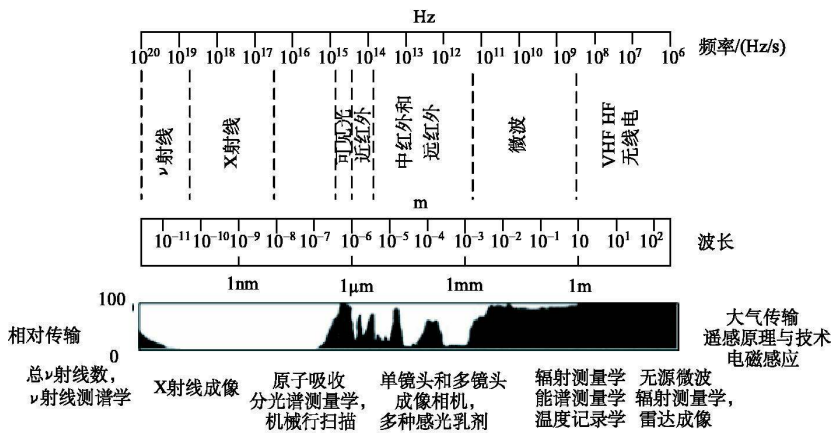

图 2.3　电磁光谱示意图(Gert A Schultz et al., 2006)
用来说明光谱的波长和频率，以及光谱各区域的相对大气传输

在很多情况下，人们会对热红外波段的数据感兴趣，因为热红外能够用来测量表面温度，而且能在夜间获取数据。微波数据(有源和无源)与某些水文变量，例如，土壤含水量和降水量有很高的相关性。表 2.2 列出了现有卫星不同光谱波段的一些典型应用。

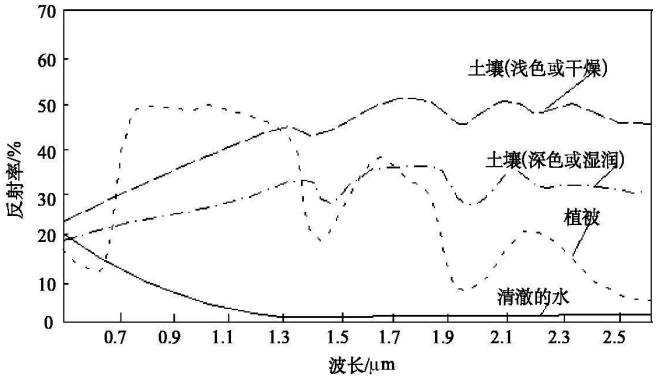

图 2.4 部分地物的反射率曲线(Gert A Schultz et al., 2006)

表 2.2 不同光谱波段的遥感应用

光谱波段/nm	应 用
蓝色(450～500)	水,土地利用,植被特性,泥沙
绿色(500～600)	健康植被
红色(600～700)	红色,叶绿素吸收的植被判别
全色(500～750)	制图,土地利用,立体像片
反射红外(750～900)	生物量,作物判别,土壤-作物,陆地-水域的边界
中红外(1.5×10^3～1.75×10^3)	植物,干旱,云,雪-冰的判别
远红外(2.0×10^3～2.35×10^3)	地质学应用,岩石
热红外(1.0×10^4～1.25×10^4)	相对温度,热流量,植被分类,含水量研究,热惯量
微波-短波 (1.0×10^6～5.0×10^7)	积雪,雪深,植物含水量
微波-长波 (5.0×10^7～2.4×10^8)	融雪,土壤含水量,水域-陆地的边界;穿透植被

2.1.4 传感器的分辨率

在遥感应用中,传感器的分辨率指标是选择遥感图像数据的重要依据。

传感器的分辨率指传感器区分自然特征相似或光谱特征相似的相邻地物的能力。高分辨率意味着区分能力强,能够区分小的相邻地物。低分辨率意味着能够获取大范围的平均辐照度,此时,地物对象及其边界较难辨认。

传感器分辨率指标主要有 4 个:辐射分辨率、光谱分辨率、空间分辨率和时间分辨率。

1. 辐射分辨率

辐射分辨率是传感器区分反射或发射的电磁波辐射强度差异的能力。高辐射分辨率意味着可以区分信号强度的微小差异。辐射分辨率在可见、近红外波段用噪声等效反射率表示,在热红外波段用噪声等效温差、最小可探测温差和最小可分辨温差表示。

在遥感图像中,图像的量化位数可以看做是辐射分辨率的近似表述。

2. 光谱分辨率

光谱分辨率是传感器记录的电磁光谱中特定波长的范围和数量。波长范围越窄,光谱分辨率越高;波段数越多,光谱分辨率越高。

通常使用数字或字母来表示波段。例如,在 LANDSAT7 的 ETM 数据中,B1 波段为 450～520nm。在微波波长范围内,1.5×10^8～3.0×10^8 nm 定义为 L 波段。不同的遥感图像,相同的波段编号并不意味着具有相同的波长范围。例如,SPOT 的 B1 波段与 LANDSAT7 的 B1 波段其波长范围是不同的。

波段数与传感器编号的含意不同。例如,LANDSAT4 表示的是遥感平台上的第四个传感器,不代表 B4 波段,也不代表有 4 个波段。即使是同一空间计划的不同卫星,同一波段名称的波长范围也可能不同。因此,了解卫星的传感器特征是非常重要的(表 2.3)。

表 2.3　LANDSAT 的传感器波段和波长范围

卫　星	传感器	波　段	波　长/nm	像素大小/m
LANDSAT 1～2	RBV	B1	450～570	80
		B2	580～680	80
		B3	700～830	80
	MSS	B4	500～600	79
		B5	600～700	79
		B6	700～800	79
		B7	800～1100	79
LANDSAT 3	RBV	B1	450～520	40
	MSS	B4	500～600	79
		B5	600～700	79
		B6	700～800	79
		B7	800～1100	79
		B8	1.04×10^4～1.26×10^4	240

续表

卫　星	传感器	波　段	波　长/nm	像素大小/m
LANDSAT 4～5	MSS	B4	500～600	82
		B5	600～700	82
		B6	700～800	82
		B7	800～1100	82
	TM	B1	450～520	30
		B2	520～600	30
		B3	630～690	30
		B4	760～900	30
		B5	1.55×10^3～1.75×10^3	30
		B6	1.04×10^4～1.25×10^4	120
		B7	2.08×10^3～2.53×10^3	30
LANDSAT 7	ETM	B1	0.45×10^3～0.52×10^3	30
		B2	0.52×10^3～0.60×10^3	30
		B3	0.63×10^3～0.69×10^3	30
		B4	0.76×10^3～0.90×10^3	30
		B5	1.55×10^3～1.75×10^3	30
		B6	1.04×10^4～1.25×10^4	30
		B7	2.08×10^3～2.35×10^3	150
	PAN	B4	0.50×10^3～0.90×10^3	15

MSS 多光谱扫描仪的波段数为 5，波段宽度约为 100～200nm；而成像光谱仪的波段数可达到数十甚至数百个波段，波段宽度则为 5～10nm 。一般来说，传感器的波段数越多，波段宽度越窄，地物越容易被区分和识别。

成像光谱仪所得到的图像在对地表植被和岩石的化学成分分析中具有重要意义，因为高光谱遥感能提供丰富的光谱信息，较高的光谱分辨率有助于区分出那些具有诊断性光谱特征的地表物质。然而，对于特定的目标，并非传感器波段越多、光谱分辨率越高，效果就越好。要根据目标的光谱特性和必需的地面分辨率综合考虑。在某些情况下，波段太多，分辨率太高，接收到的信息量太大，反而会“掩盖”地物的辐射特性，不利于快速探测和识别地物，所以要根据工作的要求恰当地选择光谱分辨率。

3. 空间分辨率

空间分辨率是指遥感图像上能够详细区分的最小单元的尺寸或大小，即传感器能把两个目标物作为清晰的实体记录下来的两个目标物之间最小的距离。它是

表征图像分辨地面目标细节能力的指标。

空间分辨率通常用像素大小、解像力或视场角来表示。

像素是将地面信息离散化而形成的格网单元,在遥感图像中,单位为米。像素为正方形,其大小与遥感图像空间分辨率高低密切相关。空间分辨率越高,像素越小。

解像力又称解像率,用单位距离内能分辨的线宽或间隔相等的平行线的条数来表示,单位为线/毫米或线对/毫米。

瞬时视场角(IFOV)是传感器的瞬时视场,又称为传感器的角分辨率,它和遥感平台高度 H 共同决定了地面的分辨单元,即像素大小 P:

$$P = 2H\tan(\mathrm{IFOV}/2)$$

空间分辨率也可用地面分辨率来表示。地面分辨率定义为像素所代表的地面实际尺寸的大小。对于特定的传感器,地面分辨率是不变的值。

按照 0.1mm 映射打印计算,不同空间分辨率的传感器图像对应的比例尺如表 2.4 所示。

表 2.4　像素大小与比例尺

比例尺	像素大小/m	传感器
1∶10 000	1	IKONOS 全色
1∶50 000	5	Aircraft MSS, IKONOS XS
1∶100 000	10	Spot HRG
1∶250 000	25	Spot HRVIR, LandSat TM
1∶500 000	50	LandSat TM, MSS
1∶5 000 000	500	OCTS, OCM
1∶10 000 000	1 000	NOAA AVHRR, MODIS
1∶50 000 000	5 000	GMS, IR 波段

根据传感器的空间分辨率不同,遥感图像分为高空间分辨率图像、中空间分辨率图像、低空间分辨率图像(图 2.5)。

高空间分辨率图像:空间分辨率小于 10m。常用的传感器有 SPOT、QuickBird 和 IKONOS 等。这些传感器往往具有较长的重访周期(数天),能够反映地物明确的几何信息,适用于对特定地区进行定点监测,当前主要应用于数字城市和工程制图。

中空间分辨率图像:空间分辨率 10～100m。例如 ASTER、TM 等。重访周期为数周。具有较多的光谱信息,便于进行土地利用和土地覆盖、资源、地表景观等方面的研究。

低空间分辨率图像:空间分辨率大于 100m。例如 NOAA、MODIS 等。这些

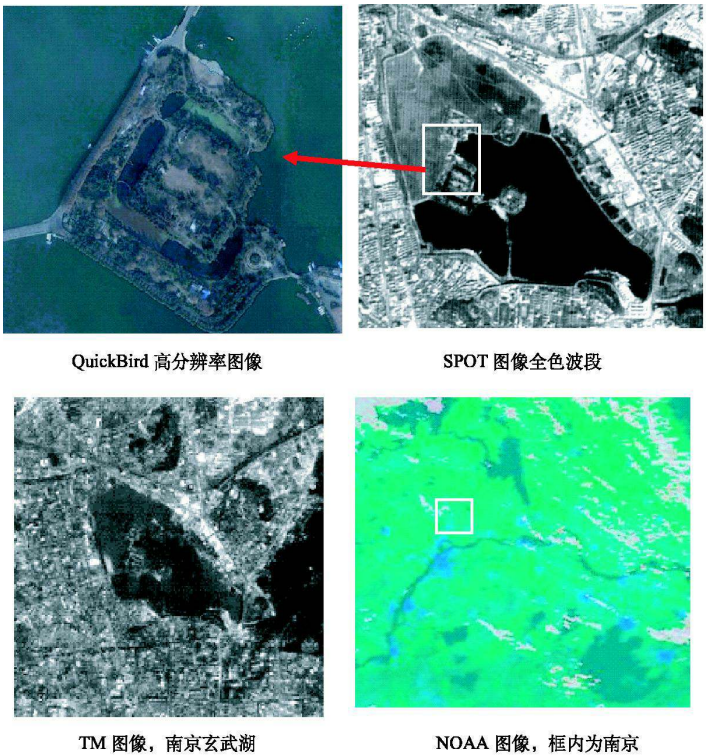

图 2.5　不同空间分辨率的遥感图像实例

传感器往往具有较短的重访周期(数小时),适用于进行大范围的环境遥感监测,例如,洪水、火灾、云和沙尘暴等。

环境监测的空间尺度不同,需要采用空间分辨率不同的遥感图像。例如,全球性的酸雨、二氧化碳温室效应、海面升降等,主要利用静止气象卫星图像;大河流域范围的水土流失、沙化和绿化、洪水灾情、林火等,可兼用气象卫星和陆地卫星图像;局部地区的,诸如熊猫保护区、血吸虫寄主钉螺孳生地、工厂污染、海湾赤潮、地震灾情等,可兼用卫星与航空遥感图像(表 2.5)。

4. 时间分辨率

对同一目标进行重复探测时,相邻两次探测的时间间隔称为时间分辨率。

不同时间的遥感图像能提供地物动态变化的信息,可用来对地物变化进行监测,也可以为某些专题要素的精确分类提供附加信息。

表 2.5　不同环境特征的图像空间分辨率要求

环境特征	地面分辨率要求	环境特征	地面分辨率要求
Ⅰ.巨型环境特征		水土保持	50m
地壳	10km	植物群落	50m
成矿带	2km	土种识别	20m
大陆架	2km	洪水灾害	50m
洋流	5km	径流模式	50m
自然地带	2km	水库水面监测	50m
生长季节	2km	城市、工业用水	20m
		地热开发	50m
Ⅱ.大型环境特征		地球化学性质、过程	50m
区域地理	400m	森林火灾预报	50m
矿产资源	100m	森林病害探测	50m
海洋地质	100m	港湾悬浮质运动	50m
石油普查	1km	污染监测	50m
地热资源	1km	城区地质研究	50m
环境质量评价	100m	交通道路规划	50m
土壤识别	75m		
土壤水分	140m	Ⅳ.小型环境特征	
土壤保护	75m	污染源识别	10m
灌溉计划	100m	海洋化学	10m
森林清查	400m	水污染控制	10～20m
山区植被	200m	港湾动态	10m
山区土地类型	200m	水库建设	10～50m
海岸带变化	100m	航行设计	5m
渔业资源管理与保护	100m	港口工程	10m
		渔群分布与迁移	10m
Ⅲ.中型环境特征		城市工业发展规划	10m
作物估产	50m	城市居住密度分析	10m
作物长势	25m	城市交通密度分析	5m
天气状况	20m		

时间分辨率包括两种,一种是传感器本身设计的时间分辨率,受卫星运行规律影响,不能改变;另一种是根据应用要求,人为设计的时间分辨率,它一定等于或小于卫星传感器本身的时间分辨率。

根据周期的长短,时间分辨率可分为 3 种:

(1) 超短(短)周期时间分辨率,可以观测到一天之内的变化,以小时为单位。

(2) 中周期时间分辨率,可以观测到一年内的变化,以天为单位。

(3) 长周期时间分辨率,一般以年为单位。

气象预报所需资料以小时为单位，所以气象卫星的回归周期为超短(短)周期。对大气、海洋物理变化进行监测的卫星，以及人为设计的对自然灾害进行监测的卫星，一般也是短周期或超短周期卫星。在观测植被动态变化规律时，卫星的观测周期是根据生物变化节律制定的，一般是中周期的，若周期变短则投入过多，使投入与产出不成比例。有些航空像片、卫星图像用来研究自然现象的演化，数据资料以年为单位就可以满足需要，故为长周期。陆地资源卫星以天为单位，重访周期为16天，主要满足人类对资源环境遥感信息的需要。

时间分辨率在遥感图像应用中意义重大。利用时间分辨率可以进行动态监测和预报，如植被动态监测、土地利用动态监测等，还可以进行自然历史变迁和驱动力分析(如河口三角洲、城市变迁的趋势)，并进一步研究为什么这样变化以及有什么驱动机制等问题。此外，利用时间分辨率信息还可以提高成像率和解像力，通过对历次获取的遥感图像进行叠加分析，可以提高地物的识别精度。

2.1.5 采样和量化

通过成像方式获取的图像是连续的，无法直接进行计算机处理。此外，有些遥感图像是通过摄影方式获取的，保存在胶片上。只有对这些图像(或模拟图像)进行数字化，才能产生数字图像。数字化包括两个过程：采样和量化。

1. 采样

将空间上连续的图像变换成离散点(即像素)的操作称为采样。采样时，连续的图像空间被划分为网格，并对各个网格内的辐射值进行测量。通过采样，才能将连续的图像转换为离散的图像，供计算机进行数字图像处理。

采样间隔和采样孔径的大小是两个很重要的参数。采样间隔影响着图像表示地物的真实性。间隔越小，图像越接近于真实，但采样成本及后处理的成本也越高，图像存储所需的空间也越大。

由于图像是二维分布的信息，所以采样在 X 轴和 Y 轴两个方向进行。一般情况下，两个方向的采样间隔相同。

2. 量化

采样后图像被分割成空间上离散的像素，但其灰度值没有改变。量化是将像素灰度值转换成整数灰度级的过程。一般数字图像灰度级取2的整数幂，例如 2^8。设图像数据为 N 列，M 行，量化位数为 g，则图像所需的存储空间为 $M \cdot N \cdot g/8$ 字节。量化级数越大，量化后的图像越接近于“真实”，但图像占用的存储空间也越大。

若一幅数字图像为8位量化，则意味着量化灰度级为 $256=2^8$，量化后的像素灰度级取值范围是0～255的整数。大于或等于8位量化的灰度图像可以满足一般的视觉效果要求。

量化后，图像像素的原有灰度值转换为灰度级。通常我们得到的都是量化后

的遥感图像，图像中的像素值在没有经过处理之前往往被称为数字值（DN 值）、灰度级或亮度值（图 2.6，表 2.6）。

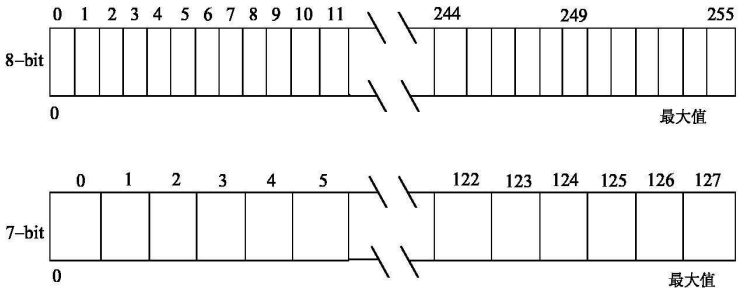

图 2.6　7 位量化和 8 位量化的像素值

表 2.6　量化前后图像数值的变化（按照 8 位进行量化）

量化前的像素值	1.2	10	20	22.2	25
量化后的灰度级	0	94	201	225	255

常用的遥感图像，随传感器不同具有不同的量化位数。例如，ASTER 图像中，VNIR 和 SWIR 传感器为 8 位量化，TIR 为 12 位量化。陆地卫星和 SPOT 的传感器为 8 位量化，IKONOS 为 11 位量化，MODIS 为 12 位量化。

采样影响着图像细节的再现程度，间隔越大，细节损失越多，图像的棋盘化效果越明显（图 2.7）。量化影响着图像细节的可分辨程度，量化位数越高，细节的可分辨程度越高；保持图像大小不变，降低量化位数减少了灰度级会导致假的轮廓（图 2.8）。

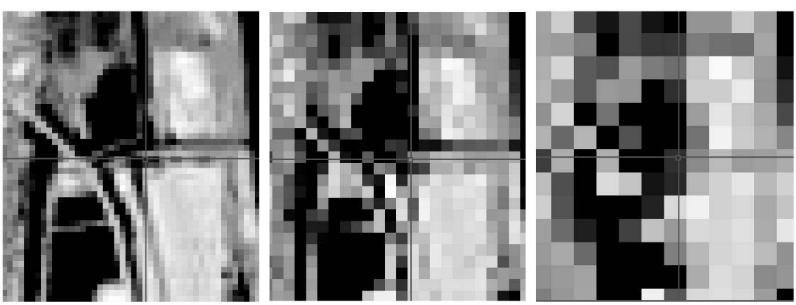

图 2.7　不同采样间隔对 TM 图像的影响