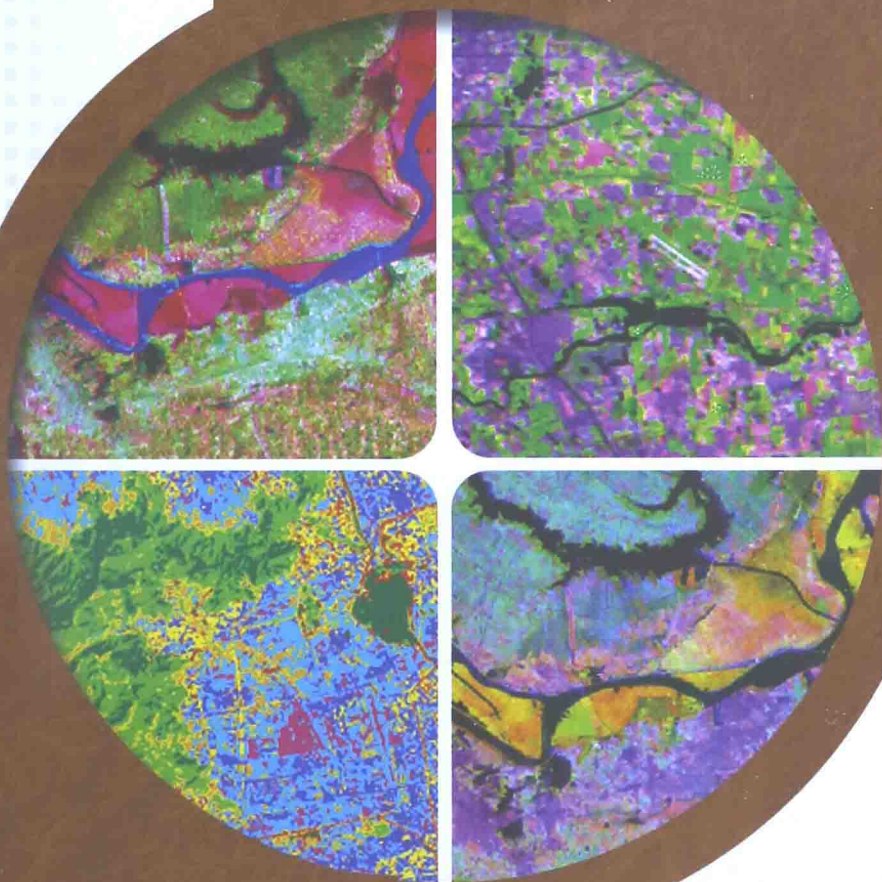


遥感科学与技术教材

遥感图像处理 原理和方法

Principle and Methods of Remote
Sensing Image Processing

胡德勇 邓磊 等 编著



 测绘出版社

遥感科学与技术教材

遥感图像处理原理和方法

Principle and Methods of Remote Sensing Image Processing

胡德勇 邓磊 林文鹏 卓莉 周纪 编著

测绘出版社

· 北京 ·

© 胡德勇 邓磊 林文鹏 卓莉 周纪 2014
所有权利(含信息网络传播权)保留,未经许可,不得以任何方式使用。

内 容 简 介

本书系统地介绍了遥感图像处理的原理和方法,包括遥感图像基础、辐射校正、热红外遥感图像地表温度反演、几何纠正、图像增强、图像融合、计算机分类和变化检测等。本书侧重于对遥感图像处理基本概念的介绍,可为进一步的学习和研究奠定基础。

本书的主要读者对象为遥感和地理信息科学专业的本科生和研究生,也可作为从事遥感和相关专业工作人员的参考书和工作手册。

图书在版编目(CIP)数据

遥感图像处理原理和方法/胡德勇等编著. —北京:测绘出版社, 2014.11

ISBN 978-7-5030-3570-8

I. ①遥… II. ①胡… III. ①遥感图像—图像处理 IV. ①TP751

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 260903 号



责任编辑	吴 芸	封面设计	李 伟	责任校对	董玉珍	责任印制	喻 迅
出版发行	测绘出版社	电 话	010—83543956(发行部)				
地 址	北京市西城区三里河路 50 号		010—68531609(门市部)				
邮政编码	100045		010—68531363(编辑部)				
电子信箱	smp@sinomaps.com	网 址	www.chinasmp.com				
印 刷	三河市世纪兴源印刷有限公司	经 销	新华书店				
成品规格	184mm×260mm						
印 张	12	字 数	297 千字				
版 次	2014 年 11 月第 1 版	印 次	2014 年 11 月第 1 次印刷				
印 数	0001—2000	定 价	28.00 元				

书 号 ISBN 978-7-5030-3570-8/P·754

本书如有印装质量问题,请与我社联系调换。

前 言

目前国内许多高等院校的相关专业开设了遥感课程,遥感图像处理是其核心课程之一。该课程综合性较强,除了需要学习遥感基础理论以外,还需要具备较好的数理及计算机等方面的知识,这样才能真正掌握遥感图像处理的理论原理和技术方法。

近年来,国内外出版了多种有关遥感图像处理方面的教材,但大多将其视为数字图像处理的延续,仅以传统的数字图像处理思维应用于遥感图像处理,导致多数教材的主要内容局限于图像几何纠正、图像增强和图像计算机分类等,缺乏针对遥感成像机制及其图像物理特性等方面的介绍,且在遥感图像的定量分析和定量处理方面涉猎颇少。从顺应遥感学科发展趋势出发,遥感图像处理的教材迫切需要更新其内容体系,尤其是补充完善遥感图像定量化处理的相关知识,这也正是编写本书的初衷和目标。

本书将遥感图像处理的基础理论和技术方法融为一体,着重介绍了遥感图像处理中的辐射处理、几何处理等内容,并介绍了增强处理、信息提取等内容。通过本书的学习,读者能够对遥感图像处理的基本原理有清晰的了解,并能够掌握常见的处理方法和具体的技术流程。

全书共分为8章,内容包括遥感图像基础、遥感图像辐射校正、热红外遥感图像地表温度反演、遥感图像几何纠正、遥感图像增强、遥感图像融合、遥感图像计算机分类、遥感图像变化检测等。

全书由首都师范大学胡德勇拟订大纲,并在总体上负责各章节编写,其他编写人员的具体分工如下:第1章和第4章由首都师范大学邓磊负责;第2章和第3章由成都电子科技大学周纪负责;第5章和第7章由上海师范大学林文鹏负责;第6章和第8章由中山大学卓莉负责。首都师范大学资源环境与旅游学院研究生李吉贺、岑建、李宗光、乔琨和季国华等也参与了资料收集、文稿整理和插图绘制等工作。

感谢首都师范大学地理学教学团队的支持;感谢首都师范大学遥感科学与技术系全体教师付出的辛勤劳动。本书是全体编写成员在该领域教学经验的结晶,汇聚了大家共同的智慧。

该书可以作为遥感科学与技术及其相关专业的本科生、研究生教材。由于作者水平有限,书中难免存在疏漏和不妥,恳请读者批评指正。

2014年8月

目 录

第 1 章 遥感图像基础.....	1
§ 1.1 概 述	1
§ 1.2 遥感图像的计算机存储	5
§ 1.3 遥感图像的计算机显示	8
思考题	12
操作与实践	12
第 2 章 遥感图像辐射校正	13
§ 2.1 概 述	13
§ 2.2 大气层顶光谱辐射亮度与表观反射率转换	17
§ 2.3 大气辐射传输与建模	21
§ 2.4 大气校正	28
§ 2.5 太阳辐射与地形影响引起的辐射误差校正	41
思考题	42
操作与实践	43
第 3 章 热红外遥感图像地表温度反演	44
§ 3.1 概 述	44
§ 3.2 地表长波辐射的大气传输与建模	47
§ 3.3 温度反演的基本原理	49
§ 3.4 温度的遥感反演方法	53
§ 3.5 地表温度反演	57
思考题	62
操作与实践	63
第 4 章 遥感图像几何纠正	64
§ 4.1 概 述	64
§ 4.2 几何纠正处理的一般技术流程	65
§ 4.3 多项式几何纠正	72
§ 4.4 中心投影图像几何纠正	78
§ 4.5 多中心投影图像几何纠正	80
§ 4.6 SAR 图像几何纠正	83
§ 4.7 有理函数模型几何纠正	87
思考题	89
操作与实践	89

第 5 章 遥感图像增强	90
§ 5.1 彩色增强	90
§ 5.2 辐射增强	92
§ 5.3 空间增强	96
§ 5.4 光谱增强	102
§ 5.5 频率域增强	110
思考题	119
操作与实践	119
第 6 章 遥感图像融合	120
§ 6.1 概 述	120
§ 6.2 IHS 图像融合	121
§ 6.3 PCA 图像融合	128
§ 6.4 小波图像融合	129
§ 6.5 融合质量评价	136
思考题	141
操作与实践	142
第 7 章 遥感图像计算机分类	143
§ 7.1 概 述	143
§ 7.2 判别函数	145
§ 7.3 非监督分类	149
§ 7.4 监督分类	152
§ 7.5 分类结果后处理	160
§ 7.6 分类结果精度评价	164
§ 7.7 其他分类方法	169
思考题	173
操作与实践	173
第 8 章 遥感图像变化检测	174
§ 8.1 概 述	174
§ 8.2 变化检测的工作流程	175
§ 8.3 常用的变化检测方法	177
思考题	182
操作与实践	183
参考文献	184

第 1 章 遥感图像基础

本章导读:遥感图像处理既要熟悉遥感图像的特性,又要了解数字图像处理的基础知识。本章从数字图像的定义出发,介绍了遥感图像的计算机存储、计算机显示等基础知识,为后续遥感图像处理基本原理和方法的学习做好准备。

§ 1.1 概 述

1.1.1 数字图像

1.1.1.1 定义

数字图像是用有限的数字量化值(digital number, DN)表示的图像。一幅图像可表示为一个二维函数 $f(x, y)$, 这里 x 和 y 是空间坐标,而在任何一对空间坐标 (x, y) 上的幅值 f , 称为该点的强度或者灰度。数字图像中的空间坐标 x, y 和幅值 f 均为有限的离散数值。

数字图像的优点是能在计算机里存储、运算、显示和输出,其来源既可以由不同的输入设备和技术生成(如数码相机、扫描仪等),也可以从非图像数据合成得到(如数学函数、三维几何模型等)。

1.1.1.2 数字图像的表达

数字图像中的每个元素都可由其位置 (x, y) 和幅值 f 来确定,这些元素被称为图像元素、画面元素或像素(pixel)。像素是计算机处理数字图像的最小单元,如图 1.1 所示。

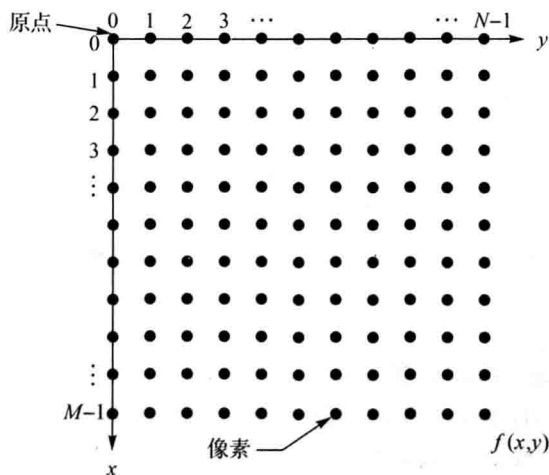


图 1.1 数字图像的表达

图 1.1 是一个具有 M 行 N 列的数字图像,它的矩阵形式可表示为

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(0, 0) & f(0, 1) & \cdots & f(0, N-1) \\ f(1, 0) & f(1, 1) & \cdots & f(1, N-1) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1, 0) & f(M-1, 1) & \cdots & f(M-1, N-1) \end{bmatrix} \quad (1.1)$$

式中, M 和 N 一般都取正整数; 数字图像的幅值 $f(x, y)$ 多数情况下也取整数(也存在取小数、复数等其他类型的情况)。因此, 数字图像就可用一个二维函数 $f(x, y)$ 来表示, 数字图像中的每一个像素对应于矩阵中相应的元素。

把数字图像表示成矩阵的优点在于能应用矩阵理论对图像进行分析和处理。但在某些情况下(如计算数字图像的能量、相关等特性时), 采用图像的矢量(向量)表示比用矩阵表示更加方便。

图像的矢量表示: 按行的顺序排列像素, 使该图像后一行第一个像素紧接前一行最后一个像素, 这样, 一个 M 行 N 列的数字图像就可以被表示成一个 $1 \times MN$ 的列矢量(向量) f , 即

$$f = [f_0 \quad f_1 \quad \cdots \quad f_{M-1}]^T \quad (1.2)$$

式中, $f_i = [f(i, 0) \quad f(i, 1) \quad \cdots \quad f(i, N-1)]^T, i=0, 1, \cdots, M-1$ 。构成矢量(向量)时, 既可以按列的顺序; 也可以按行的顺序。选定一种顺序后, 后面的处理都要与之保持一致。这种表示方法的优点在于: 对图像进行处理时, 可以直接利用矢量(向量)分析的有关理论和方法。

数字图像在其量化的过程中, 幅值 $f(x, y)$ 的取值范围称为图像的动态范围 L 。出于处理、存储和采样等考虑, 量化值的取值一般是 2 的整数次幂, 即

$$L = 2^K \quad (1.3)$$

式中, K 为正整数。当一幅图像有 2^K 灰度级时, 通常称该图像是 K 比特(bit)图像。例如, 一幅具有 256 个可能灰度级的数字图像, 可称为 8 bit 图像。

1.1.1.3 常见的数字图像类型

常见的数字图像可以分为以下几类。

1. 二值图像

二值图像(binary image)中每个像素的亮度值仅可以取 0 或 1, 因此这样的图像也称为 1 bit 图像。

2. 灰度图像

灰度图像(gray image)也称为灰阶图像, 是每个像素只有一个采样颜色的图像。这类图像通常显示为从最暗黑色到最亮白色的灰度。用于显示的灰度图像通常用 8 bit 来保存, 图像中每个像素可以由 0(黑)到 255(白)的亮度值表示, 0~255 之间表示不同的灰度级, 因此它有 256 种灰度。

3. 彩色图像

彩色图像(color image)可以由多个灰度图像按照一定的彩色模型组合而成。常见的彩色图像主要有两种类型: RGB 和 CMYK。其中, RGB 彩色图像是由三种不同颜色成分组合而成, 即红色(red, 简称 R)、绿色(green, 简称 G)和蓝色(blue, 简称 B); 而 CMYK 彩色图像则由四种颜色成分组成, 即青(cyan, 简称 C)、品(magenta, 简称 M)、黄(yellow, 简称 Y)、黑(黑墨印刷版 key plate, 简称 K)。CMYK 彩色图像主要用于印刷行业。通常, 彩色图像的每个图层都量化为 8 bit 存储。

二值图像、灰度图像、彩色图像及其所对应的矩阵如图 1.2 所示。

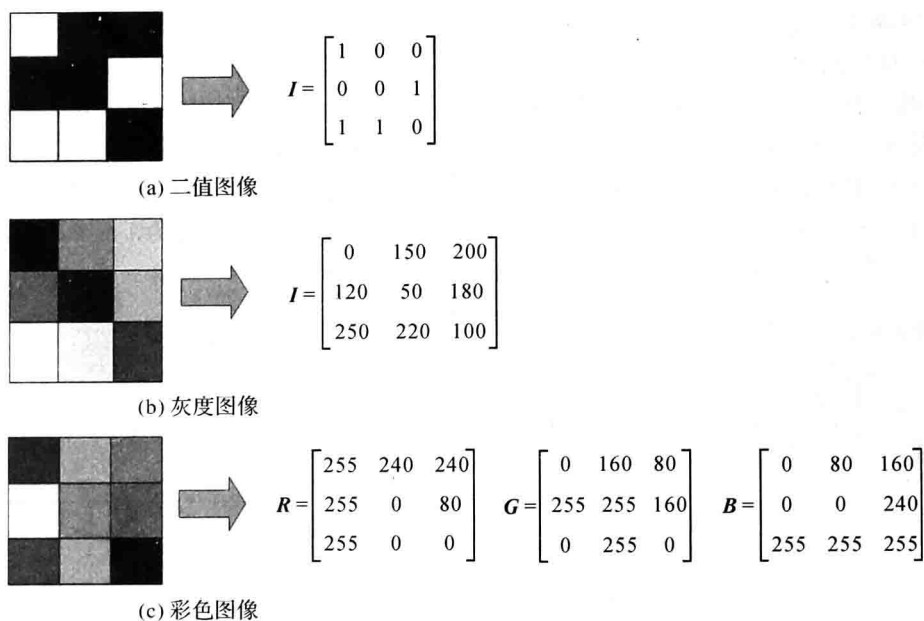


图 1.2 常见的数字图像类型

1.1.2 遥感图像

遥感图像即遥感数字图像,是以数字形式表示的遥感影像。与数字图像类似,遥感图像中最基本的单位也是像素。遥感图像中的像素是成像过程的采样点。下面将从遥感图像的坐标系、空间分辨率、光谱分辨率、辐射分辨率和时间分辨率来介绍像素的空间特征、属性特征和时间特征。

1.1.2.1 像素的空间特征

传感器从空间观测地球表面,因此每个像素具有特定的地理空间位置信息,并能够表征一定的面积。

1. 坐标系

(1) 图像坐标系:一幅图像是由一系列像素点按行和列所组成的矩阵构成的,如图 1.3 所示。在这个系统里,坐标原点位于图像的左上角,与行号和列号共同构成了其空间坐标系。最左边的列为起始列,在图像坐标系里一般用 0 表示,而最上边的行为起始行,也用 0 表示。行列号从左到右、从上到下依次增加。

(2) 地图坐标系:遥感图像也可以表示在笛卡儿地图坐标系中。在这个坐标系里,坐标原点位于图像的左下方。地图坐标系可以用左上角像素位置、右下角像素位置和行列方向上的像素数来描述坐标系统,也可以用左上角像素位置和像素尺寸来描述。

2. 遥感图像的空间分辨率

遥感图像的空间分辨率(spatial resolution)指像素所代表的地面范围的大小或地面物体能分辨的最小单元。

对于摄影成像的图像来说,空间分辨率取决于胶片的分辨率和摄影镜头的分辨率所构成的系统分辨率,以及摄影机焦距和航高。对于扫描成像(如多光谱扫描仪)提供的数字图像来

说,一个像素对应的地表面积是由传感器上的瞬时视场角所决定的。瞬时视场角在地表的投影面积称为像素的空间分辨率(或称地面分辨率)。由于传感器种类不同,其瞬时视场角也不相同,因此其对应的地面分辨率也是不同的。如图 1.4 所示,美国陆地卫星 Landsat 的增强型专题制图仪(Enhanced Thematic Mapper Plus,ETM+)遥感图像的空间分辨率是 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$,SPOT 全色波段遥感图像的空间分辨率为 $10\text{ m} \times 10\text{ m}$,SPOT 多光谱遥感图像的空间分辨率为 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$,美国商业卫星 IKONOS 遥感图像的空间分辨率为 $1\text{ m} \times 1\text{ m}$,印度卫星 IRS 遥感图像的空间分辨率为 $36.5\text{ m} \times 36.5\text{ m}$ 。

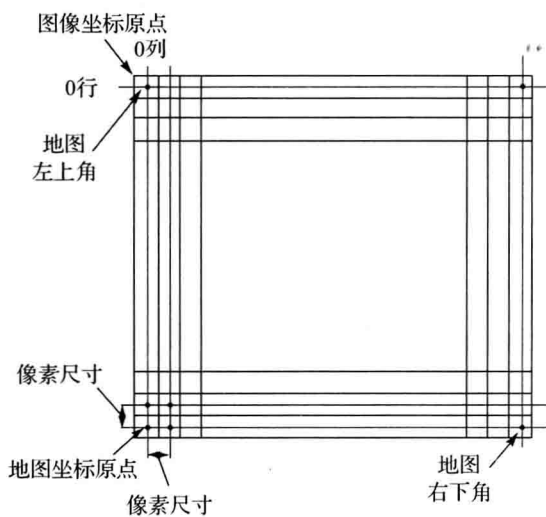


图 1.3 图像坐标系统

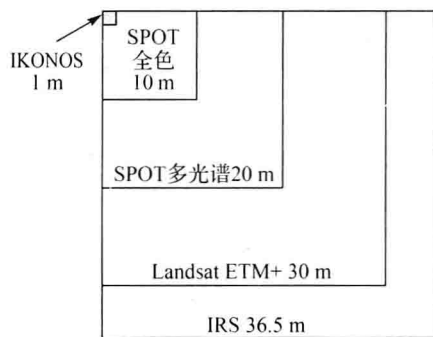


图 1.4 遥感图像空间分辨率

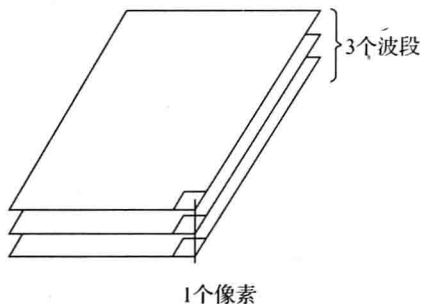


图 1.5 某个像素位置对应的不同波段像素值

1.1.2.2 像素的属性特征

属性特征体现了遥感图像幅值对不同地物的表现能力。遥感图像在数据采集过程中,通常记录了多个光谱范围的地表辐射能量,因而遥感数据包括多个波段,每个像素位置(x, y)对应着多个波段的像素值,如图 1.5 所示。

1. 遥感图像的光谱分辨率

在不同波段上,相同地物的亮度值可能是不同的,这是因为在不同的电磁波段,地物具有不同的电磁波辐射特性。光谱分辨率(spectral resolution)是指

指传感器在接收目标辐射的光谱时能分辨的最小波长间隔。间隔越小,分辨率越高。

图 1.6 显示了两地不同地物的光谱反射率,图的上端示意的是不同遥感传感器覆盖的光谱范围。可以看出,传感器只能记录所覆盖光谱范围的地物光谱反射信息,其详细程度和传感器的波段数、波段宽度和波长范围等相关,它们都是影响遥感图像 DN 值的重要因素。

2. 遥感图像的辐射分辨率

辐射分辨率(radiometric resolution)是指传感器接收光谱信号时,能分辨的最小辐射度差异。在遥感图像上表现为每一像素的辐射量化级。

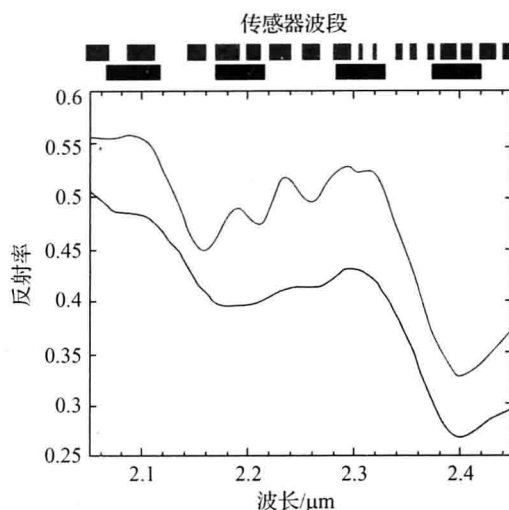


图 1.6 光谱分辨率

计算辐射分辨率的公式为

$$R_L = \frac{R_{\max} - R_{\min}}{D} \quad (1.4)$$

式中, $R_{\max}$ 为最大辐射量值; $R_{\min}$ 为最小辐射量值; D 为量化级。

1.1.2.3 像素的时间特征

遥感图像还具有时间特征, 每个像素反映了某个特定时刻记录的地物电磁辐射能量的高低。

遥感图像的时间分辨率指对同一地点进行多次采样的时间间隔, 即采样的时间频率, 也称为重访周期。不同遥感图像的时间分辨率有很大的差异。以卫星遥感来说, 静止气象卫星(地球同步气象卫星)的时间分辨率为 2 次/小时; 太阳同步气象卫星的时间分辨率为 2 次/天; Landsat 卫星为 16 天 1 次; 中国与巴西合作的中巴地球资源卫星(China-Brazil Earth Resource Satellite, CBERS)为 26 天 1 次。时间分辨率还有更长周期甚至不定周期的。

时间分辨率会根据不同的精度需求, 采用不同的时段为单位。例如, 天气预报、灾害监测等需要非常高的时间分辨率, 所以常用“小时”作为单位; 植物、作物的长势监测、估产等需要以“日”或“旬”为单位; 而城市扩展、河道变迁、土地利用变化等多以“年”为单位。总之, 时间分辨率对动态监测具有很重要的意义, 可根据目的的不同, 采用具有不同时间分辨率的遥感图像。

§ 1.2 遥感图像的计算机存储

1.2.1 多波段遥感图像的存储方式

以前, 由于计算机技术的限制, 多采用磁带或者胶片形式对遥感图像进行储存。随着计算机技术的发展, 目前的遥感图像数据多以数字形式保存。磁带或者胶片数据可以通过数模转换变成数字形式。遥感图像的存储方式按数据的文件内部读写格式划分, 可分为三种, 即波段顺序(band sequential, BSQ)存储格式、像素顺序(band interleaved by pixel, BIP)存储格式、行

顺序(band interleaved by line,BIL)存储格式。下面以 M 行 N 列的三波段遥感图像数据为例进行说明。

1.2.1.1 BSQ 存储格式

BSQ 存储格式是按波段顺序依次排列存储数据的,也就是一个波段的所有像素保存完后接着保存第二个波段。其数据排列遵循以下规律:第一波段第一行第一个像素居第一位,第二波段第一行第一个像素居第 $MN+1$ 位……第 n 波段第一行第一个像素居第 $nMN+1$ 位;在每个波段中,数据依据行号顺序依次排列,每一行内,数据按像素顺序排列,如图 1.7 所示。

波段 1	(1, 1)	(1, 2)	...	(1, N)
	(2, 1)	(2, 2)	...	(2, N)
	⋮	⋮	⋮	⋮
	(M, 1)	(M, 2)	...	(M, N)
波段 2	(1, 1)	(1, 2)	...	(1, N)
	(2, 1)	(2, 2)	...	(2, N)
	⋮	⋮	⋮	⋮
	(M, 1)	(M, 2)	...	(M, N)
波段 3	(1, 1)	(1, 2)	...	(1, N)
	(2, 1)	(2, 2)	...	(2, N)
	⋮	⋮	⋮	⋮
	(M, 1)	(M, 2)	...	(M, N)

图 1.7 BSQ 存储格式

1.2.1.2 BIP 存储格式

BIP 存储格式中,每个像素按波段顺序交叉排序,即先保存第一个波段的第一个像素,之后保存第二波段的第一个像素。数据排序遵循以下规律:第一波段第一行第一个像素居第一位,第二波段第一行第一个像素居第二位……第 n 波段第一行第一个像素居第 n 位;然后,第一波段第一行第二个像素居第 $n+1$ 位,第二波段第一行第二个像素居第 $n+2$ 位……其余数据排列依次类推,如图 1.8 所示。

	波段 1	波段 2	波段 3	...	波段 1	波段 2	波段 3
第 1 行	(1, 1)	(1, 1)	(1, 1)	...	(1, N)	(1, N)	(1, N)
第 2 行	(2, 1)	(2, 1)	(2, 1)	...	(2, N)	(2, N)	(2, N)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
第 M 行	(M, 1)	(M, 1)	(M, 1)	...	(M, N)	(M, N)	(M, N)

图 1.8 BIP 存储格式

1.2.1.3 BIL 存储格式

BIL 存储格式是逐行按波段顺序排列,即保存第一个波段的第一行后,接着保存第二个波段的第一行,依次类推。数据排列遵循以下规律:第一波段第一行第一个像素居第一位,第一波段第一行第二个像素居第二位……第一波段第一行第 N 个像素居第 N 位;然后第二波段第一行第一个像素居第 $N+1$ 位,第二波段第一行第二个像素居第 $N+2$ 位……其余数据排列位置依次类推,如图 1.9 所示。

波段 1	(1, 1)	(1, 2)	...	(1, N)
波段 2	(1, 1)	(1, 2)	...	(1, N)
波段 3	(1, 1)	(1, 2)	...	(1, N)
波段 1	(2, 1)	(2, 2)	...	(2, N)
波段 2	(2, 1)	(2, 2)	...	(2, N)
波段 3	(2, 1)	(2, 2)	...	(2, N)
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
波段 1	(M, 1)	(M, 2)	...	(M, N)
波段 2	(M, 1)	(M, 2)	...	(M, N)
波段 3	(M, 1)	(M, 2)	...	(M, N)

图 1.9 BIL 存储格式

多波段遥感图像存储格式随计算机技术的发展而变化。例如,美国陆地卫星 Landsat 1 至 Landsat 3 的磁带存储曾采用 BIP、BSQ 和 BIL 存储格式,Landsat 4、Landsat 5 只采用 BSQ 存储格式,到 Landsat 7 图像存储格式又有一定变化。

1.2.2 遥感图像的分块和压缩

现代遥感技术在飞速发展的同时,也带来了数据量的急剧增加,给计算机处理带来了极大的挑战。一方面,只有合理地利用计算机资源,提高数据在内存与外存间的交换速度,才能满足不断增长的数据处理的需要;另一方面,要构建合理的数据存储结构,以提升访问速度。图像的分块和压缩技术是常用和有效的图像存储技术手段。

1.2.2.1 遥感图像分块

遥感图像分块就是将一幅大的遥感图像数据划分成若干较小的物理数据块来存放,以便于存储与管理,减少数据读盘时间。

图像分块使得海量遥感图像数据的处理成为可能。无论遥感图像的原始数据多大,计算机每次仅读取其中的一部分进行处理,避免大量占用操作系统地址空间,提高了读取速度;分块之后的数据可以快速进行定位,减少内存占用,加快了处理速度;由于图像文件分块之后,图像数据块会最大可能地集中在相邻扇区,提高了输入或输出(input or output, I/O)效率;分块处理利于对遥感数据进行数据库的管理,尤其是对于关系型数据库,图像的块可以与数据库的记录进行很好的对应。

分块太大或太小都会影响计算机系统的性能。如果分块太大,则可能导致读取过多的不在目标范围内的图像数据;若分块太小,尽管减少了冗余数据,但却增加了硬盘寻址和读写操作的次数,不利于节省总的图像 I/O 访问时间。因此,应该根据遥感图像数据的具体情况,选择合适的数据分块大小。目前,图像分块大小通常采用 2 的幂次方,常采用的数据块大小有 64 像素×64 像素、256 像素×256 像素、512 像素×512 像素等,如图 1.10 所示。

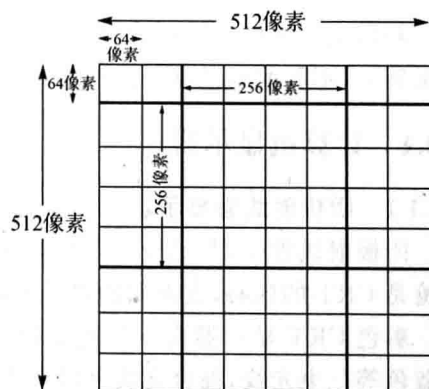


图 1.10 图像分块

1.2.2.2 遥感图像压缩

图像压缩技术也是解决海量遥感数据存储和高效传输的有效途径。常用的遥感图像压缩算法有游程(run length)编码、LZW(Lempel-Ziv-Welch)算法和 JPEG 压缩编码标准等。另外,目前国内外的许多遥感图像处理软件和地理信息系统(geographic information system, GIS)软件还采用基于小波变换的图像压缩算法(有关小波变换的基本原理及其图像压缩应用参见 6.4.1 小节)。

1.2.3 遥感图像的数据组织

为了提高图像的显示速度,快速获取不同分辨率的图像信息,需要根据不同的显示要求调用不同分辨率的图像达到快速显示的目的。对于海量遥感图像而言,多尺度数据组织是通过金字塔结构来实现的。

简单地讲,遥感图像的金字塔结构就是由原始遥感数据开始,建立起一系列低分辨率的图像,然后针对每一层图像进行数据分块,而各幅图像反映不同尺度下遥感图像的详尽程度。通常原始图像数据反映最详细、最真实的遥感图像,由它逐步生成其他较低分辨率的图像,以反映原始图像在不同尺度下的概貌,如图 1.11 所示。

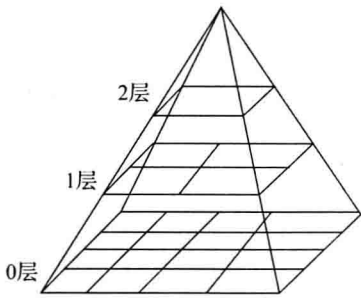


图 1.11 遥感图像金字塔结构

图 1.11 所显示的金字塔结构,每层的分块大小都相同;第 0 层为原始遥感数据,第 1、2 层是为加快显示而建立的低分辨率图像。层数越高,分辨率越低,数据量越小,但是原始遥感图像覆盖的区域并没有改变。

为了计算机处理的方便,一般采用以 2 为因子的金字塔结构。从最底层开始,依次生成其上一层金字塔图像。上一层图像的大小为其下层图像的 $1/4$,同时,按其位置的对应关系,对下层图像进行重采样得到上一层图像的灰度值。依此重复构造,直至最顶层。以金字塔结构组织遥感图像之后,其数据量要比原来增加 $1/3$ 左右。多分辨率遥感图像金字塔生成后,必须对图像块创建索引,以提高图像块检索的速度。

§ 1.3 遥感图像的计算机显示

利用加色法的三原色(红色、绿色和蓝色)组合在一起,可以产生几乎无限数量的色调。在显示器上,不同的颜色都可由红色、绿色和蓝色组合而成。

1.3.1 计算机显示器

1.3.1.1 阴极射线管显示器

阴极射线管(cathode ray tube, CRT)是计算机显示器的主要器件。在该类显示器中,电子枪是 CRT 的核心,它发出的电子束击中光敏材料(荧光屏),刺激荧光粉就能产生图像。

彩色 CRT 显示器有三只电子枪,每支电子枪都有独立的偏转线圈,分别发出红色、绿色和蓝色等三束光线,混合光线可以产生 2^{24} (或 16 777 216)种颜色,即真彩色(true color)。有些 CRT 显示器能用一支电子枪发出三束光线,经过混合生成其他多种色彩。

CRT 显示器的主要缺点是体积庞大和耗电。另外,在刷新频率较低的情况下,其存在比较明显的闪烁现象。

1.3.1.2 发光二极管显示屏

随着技术的不断发展进步,如今发光二极管(light emitting diode,LED)显示屏已成为计算机硬件系统的主流配置。与 CRT 显示器的工作原理不同,在彩色 LED 显示屏中,每一个像素都由三个液晶单元格构成,其中每一个单元格前面都分别有红色、绿色或蓝色的过滤器,这样通过不同单元格的光线就可以在屏幕上显示出不同的颜色。

LED 显示屏克服了 CRT 显示器的许多缺点。对于 CRT 显示器来说,要显示清晰的图像必须聚焦,即经 CRT 显示器电子枪射出的电子流必须精确聚集。但 LED 显示屏不存在聚焦问题,因为每个液晶单元都是单独开关的,这正是图像在 LED 显示屏上显得更加清晰的原因。此外,LED 显示屏也不必担心刷新频率和闪烁的问题,因为液晶单元要么开,要么关,因而其在 40~60 Hz 这样的低刷新频率下显示的图像不会比 75 Hz 下显示的图像更闪烁。

1.3.2 真彩色显示

1.3.2.1 真彩色

真彩色是指在组成一幅彩色图像的每个像素值中,有红(R)、绿(G)、蓝(B)共 3 个基色分量,每个基色分量直接决定显示设备的基色强度,这样产生的彩色称为真彩色。

如果用 RGB 为 8:8:8 的方式表示一幅彩色图像,也就是 R、G、B 都用 8 bit 来表示,每个基色分量占 1 个字节,共 3 个字节,该类图像称为 24 bit 彩色图像,也常称为全彩色(full color)图像。每个像素的颜色就是由这 3 个字节中的数值直接决定的,可生成的颜色数就是 $2^{24} = 16\,777\,216$ 。

用 3 个字节表示的真彩色图像所需要的存储空间很大,而人的眼睛是很难分辨出这么多颜色的,因此在许多场合往往用 RGB 为 5:5:5 来表示,即每个彩色分量占 5 bit,再加 1 bit 显示属性控制,该类图像称为 16 bit 彩色图像,它可以生成颜色的数目为 $2^{15} = 32\,768$ (32K)。

1.3.2.2 24 bit 真彩色显示

图 1.12 显示了 3 个连续的栅格图层(波段)像素的数据文件值,转化为每个波段屏幕值的过程。由于屏幕值 0 为红波段,90 为绿波段,200 为蓝波段,所以 R、G、B 的亮度值分别为 0、90 和 200。

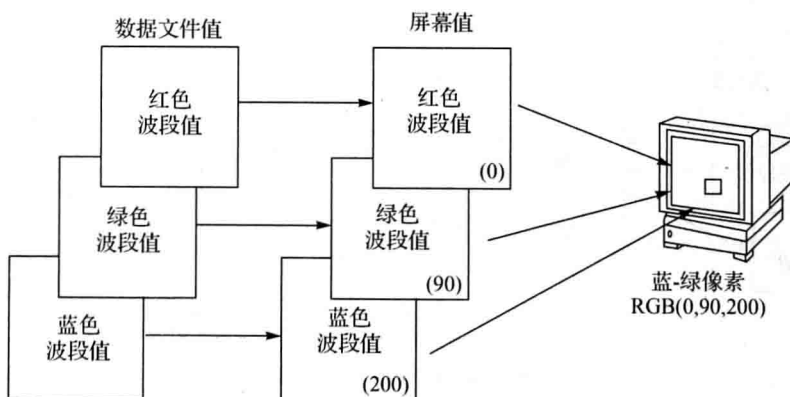


图 1.12 24 bit 真彩色显示原理

在许多场合,真彩色图像通常是指 RGB 为 8 : 8 : 8,即图像的颜色数等于 2^{24} 的情况,但在显示器上不一定能显示真实的颜色,这主要是受显示硬件限制,如有的显示系统仅能显示 2^8 种不同的颜色,因而需要根据颜色映射表(colormap)将真彩色图像转化为对应的颜色才能显示。

1.3.3 颜色映射表与伪彩色显示

1.3.3.1 颜色映射表

颜色映射表通过将存储器里的数据文件值转化为每种颜色的亮度值来显示图像,每个显示硬件都可以有自己的颜色映射表。

颜色核是颜色映射表的构成单元。颜色映射表里的颜色核数量和硬件系统的显示能力高低相对应,是由显示系统的位数决定的(如 8 bit、24 bit)。在 8 bit 显示的颜色映射表中共有 $256(2^8)$ 种颜色核,这意味着 256 种颜色可以同时显示在显示器上;在 24 bit 显示中,每种颜色都有 256 种颜色核,这也就提供了 $16\,777\,216(256 \times 256 \times 256)$ 种不同的颜色。

在表 1.1 的颜色映射表中,如果一个数据文件中的像素对应的颜色核值为 24,它将以颜色映射表中的第 24 个颜色核进行显示,这个像素显示为蓝色(R、G、B 分别为 0、0、255)。

表 1.1 颜色映射表示例

颜色核索引	R	G	B
1	255	0	0
2	0	170	90
3	0	0	255
⋮	⋮	⋮	⋮
24	0	0	255

1.3.3.2 伪彩色显示

伪彩色(pesudo color)的含义是,每个像素的颜色不由其基色分量的数值直接决定,而是把像素值当作颜色查找表(color look-up table, CLUT)的入口地址,去查找一个显示图像时使用的 R、G、B 强度值。用查找出的 R、G、B 强度值产生的伪彩色如图 1.13 所示。

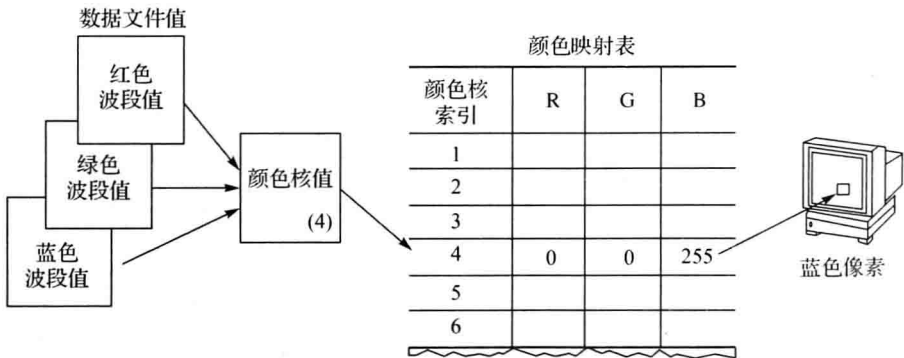


图 1.13 伪彩色显示原理

在图 1.13 中,假定像素数据文件值对应的颜色核值为 4,则该像素以第 4 个颜色核的亮度值(R、G、B 分别为 0、0、255)显示为蓝色。

1.3.4 快速显示与调度

在 Windows 操作系统中,图像的显示一般通过位图来实现。位图分为设备无关位图和设备相关位图。设备无关位图能够方便图像的输入和输出,而设备相关位图的显示速度较快。在图像显示过程中,一般采用离屏位图(多缓存)技术;在数据的调度过程中,采用多级缓冲技术,保证数据高效的访问速度。

1.3.4.1 离屏位图技术

离屏位图技术的主要思想是采用双缓存来优化图像显示。一个缓存用来准备待显示的内容,另一个缓存进行当前显示,这样可将数据准备过程隐藏起来,避免数据更新过程导致屏幕闪烁的现象。

1.3.4.2 数据的调度与更新

相对于内存中数据的传输速度,硬盘传输数据速度较慢,无论是图像显示、漫游还是对图像进行各种处理,都要求能够获取更快的速度。为了减少对硬盘的 I/O 操作,加快系统的处理速度,可以将当前需要处理的数据从硬盘传送到事先分配的高速缓存中,每次只针对其中的数据进行处理,以取得实时或准实时的显示效果。

如图 1.14 所示,在数据显示的数据调度过程中,显示缓冲区对应着高速缓冲区;当显示指令发出后,软件系统迅速查找遥感图像数据的金字塔图层,及时将对应图层数据调入并进行显示。

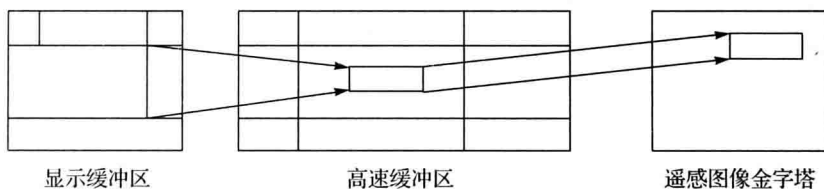


图 1.14 数据的调度

高速缓冲区中内存块调度金字塔图层数据的方法如下。

(1) 根据当前窗口显示范围,计算出当前显示图像的倍数,找到图像金字塔中与倍数最接近的图层数据。为了保证图像显示的质量,在寻找倍数相近的图层时,要遵循“前向”原则。例如,当前显示倍数在 1:1 与 1:2 之间时,取 1:1 图层为显示图层。

(2) 当确定在当前比例尺应调入何种图像之后,再根据需要调用相应的数据块,按照预先建好的位置索引和邻接关系,在图像数据库中找到对应的数据。

为了节省内存空间,在图像放大、缩小、漫游的过程中,需要实时监测调入的数据块情况,根据当前窗口显示范围的变化实时更新调用的数据,将不在显示范围内的数据块从内存中清除,并调入新的数据块。