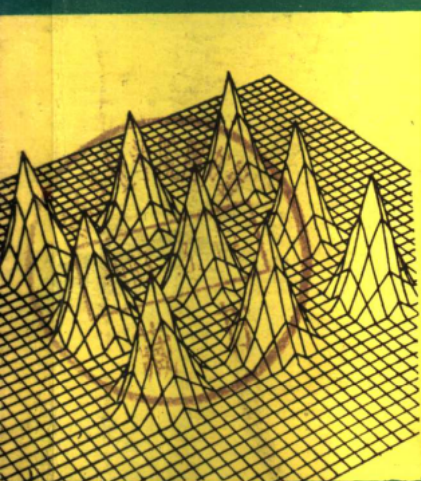




普通高等教育地质矿产类规划教材

遥感图像数字处理

丰茂森 编



地质出版社

ISBN 7-116-00945-0/P·808

定 价： 3.20 元

普通高等教育地质矿产类规划教材

遥感图像数字处理

丰茂森 编

(京)新登字085号

内 容 简 介

本书主要是为地质学有关专业的高年级本科生和遥感技术地学应用专业的研究生提供一本内容比较系统、全面而适用的教科书，在叙述上深入浅出、循序渐进，着重从遥感图像数字处理实际实用的角度出发，详尽地阐明了各种遥感图像数字处理方法的数学和物理基础、具体算法、应用条件和效果。本书对有关专业的高校师生及科研人员亦有重要参考价值。

* * *

本书由朱亮璞、孟庆章主审，经地质矿产部遥感地质学、地貌及第四纪地质学课程教学指导委员会第二次会议（广西，北海，1988年11日）评议推荐，同意作为普通高等教育地质矿产类规划教材出版。

普通高等教育地质矿产类规划教材
遥感图像数字处理
丰茂森 编

责任编辑：刘亚军 张荣昌
地质出版社出版
(北京和平里)
北京地质印刷厂印刷
(北京海淀区学院路29号)
新华书店总店科技发行所发行

开本：787×1092¹/₁₆ 印张：11.25 彩图：4页 字数：260 000

1992年4月北京第一版·1992年4月北京第一次印刷

印数：1—1400册 定价：3.20元

ISBN 7-116-00945-0/P·808

前 言

遥感技术在近年来得到了迅速的发展,在地质矿产及各种自然资源调查等许多领域都发挥了重要作用,并获得了巨大的经济效益。目前地质、地理等许多院校和有关科研单位均在培养遥感地质专业的研究生,遥感图像数字处理是必修课程;而且,许多地质、地理院校有关专业的高年级本科生,也选修这门课程。虽然作为图像数字处理的教材、参考书已有一些,但尚未见到一本针对遥感图像特点及其在地学中应用的系统的教材。因此,编者愿意在这方面贡献自己的一份力量。

本书是在编者多年教学、科研工作的基础上总结完成的。编者从1983年开始在中国地质大学(北京)为遥感地质学和遥感图像处理及地学应用等专业的硕士研究生讲授“遥感图像数字处理”这门课程,并曾多次为有关科研、生产单位举办“遥感图像数字处理”的技术讲座。在多年的讲授过程中不断更新、充实、完善其内容,逐步形成了这本教材。1988年经地质矿产部遥感地质学、地貌及第四纪地质学课程教学指导委员会推荐,同意作为高等学校教材正式出版。

本书主要是为遥感技术地学应用专业的研究生和有关专业的高年级本科生(选修)提供一本系统、全面而适用的教材,着重从遥感图像数字处理的实际应用角度出发,阐明图像处理方法的数学和物理基础、具体算法、应用条件及效果等。同时结合近年来遥感图像处理技术的发展与应用的深化,阐明图像信息提取、多数据复合处理与分析及人工智能系统等新技术,并从近年的学术刊物与论文集中选择了新的纹理信息分析方法、缨子帽变换及模糊集合分类等新内容。

北京大学朱亮璞和北京石油勘探开发科学研究院遥感所孟庆章二位专家对全书进行了认真审阅,并提出了宝贵的修改、补充意见;在本书出版过程中,责任编辑刘亚军、张荣昌二位同志做了大量艰苦细致的工作。在此,编者谨致衷心的感谢!

在本书定稿过程中,中国地质大学(北京)遥感研究室姚国清同志给编者以大力协助,张瑞霞同志清抄了大部分稿件;中国地质大学(北京)绘图室人员和地质出版社教材室贾桂芬同志共同完成了本书插图的清绘、植字工作。在此,编者致以深深的谢意!

遥感图像数字处理是一门新兴学科,涉及面广、内容又在不断发展之中,限于编者水平,难免存在不当之处,恳请读者批评指正。

编 者
1991年7月

目 录

引言	(1)
第一章 遥感图像	(3)
第一节 遥感成像过程	(3)
第二节 遥感图像模式及图像函数	(5)
第三节 图像的数字化和抽样	(7)
第四节 遥感图像的数据结构	(10)
第五节 遥感图像的基本统计分析	(18)
第六节 遥感图像的信息特征	(24)
第二章 图像的形成和恢复	(29)
第一节 成像模式	(29)
一、图像形成的基本数学表示	(29)
二、图像的卷积运算	(30)
三、傅氏变换的应用	(33)
四、图像抽样	(36)
五、空间滤波	(38)
第二节 图像的退化	(43)
一、几何畸变	(44)
二、辐射退化	(45)
第三节 图像恢复及几何处理	(49)
一、辐射校正	(49)
二、消除系统噪声	(51)
三、去条带及坏线	(52)
四、几何校正和几何变换	(55)
五、像元值的内插——再抽样	(61)
六、辐射恢复	(67)
七、图像的自动配准	(72)
八、图像的镶嵌	(74)
第三章 图像增强	(76)
第一节 波谱信息增强	(76)
一、反差扩展或调整	(76)
二、彩色增强	(83)
三、比值法及差值法	(89)
四、主组分分析	(95)
五、典型分析	(99)
六、其它矩阵变换	(101)
七、缨子帽变换	(103)

第二节 空间信息增强	(105)
一、边缘增强	(106)
二、线条增强	(110)
三、傅氏滤波增强	(112)
四、局部特征增强	(114)
五、图像平滑化	(116)
第四章 图像空间信息分析	(119)
第一节 阈值法	(119)
一、全局阈值法	(120)
二、局部阈值法	(123)
三、多阈值法	(123)
第二节 边缘及线条的检测和提取	(124)
一、模块匹配	(125)
二、线性算子及非线性算子	(126)
三、局部算子及全局算子	(127)
四、采样方案	(128)
五、线条的加工处理	(130)
六、子空间拟合法	(133)
七、Hough 变换	(135)
第三节 结构分析	(137)
一、结构分析的方法	(138)
二、局部统计性结构值	(139)
三、空间关系矩阵	(143)
四、MAX-MIN 算法	(145)
五、空间自相关函数	(146)
六、傅氏变换结构分析	(147)
第五章 图像分类	(149)
第一节 特征提取及特征选择	(151)
第二节 判别分析	(152)
一、最大似然比判别	(152)
二、线性判别分析	(153)
三、逐步判别分析	(153)
第三节 几种常用的监督分类程序	(154)
一、平行多面体分类	(154)
二、最小距离分类	(154)
三、最大似然比分类	(156)
第四节 非监督分类——集群分析	(157)
第五节 应用空间信息的分类方法	(160)
一、ECHO 分类法	(160)
二、AMOEBE 分类法	(161)
三、用局部处理改善分类的方法	(163)

第六节 模糊集合分类	(163)
一、波谱空间的模糊分割	(163)
二、图像分类的模糊参数	(164)
三、训练和类籍函数	(165)
四、试验结果和精度	(165)
第七节 分类误差评价	(166)
主要参考文献	(169)
图版说明	(171)
图版	(172)

引 言

数字图像处理是用数字计算机对图像数据进行处理和分析的技术学科。这门学科是近二十多年来随着计算机技术的飞速发展和遥感技术的蓬勃兴起与广泛应用而成长起来的新兴领域，在遥感及其它科学技术工作中得到了日益广泛的应用。

本世纪 20 年代初，新闻照片经过数字化由海底电缆开始在纽约和伦敦之间传送，把图像编码为五个亮度级。到 1929 年提高到十五个等级。但那时图像的处理还不是用计算机进行的。电子计算机的发展，为用数字方法对各种模拟信号和图形进行快速处理奠定了基础。到了 60 年代中，第三代数字计算机提供了进行图像处理运算所需的速度和容量，数字图像处理才开始广泛应用。数字图像处理技术和方法有不少是来源于数字信号处理。数字信号处理是用一系列的数字或符号代表不同的信号（如电讯号、声、光、雷达、地震波、语言信号等等），通过运算处理来估计其特征参数或变换为其它形式，从中提取有用信息。图像处理实质上相当于二维或多维的信号处理，图像信号主要代表的是光或其它电磁辐射的强度。1964 年美国喷气推进实验室开始用计算机处理航天照片（用电视相机拍摄的月球照片等），以消除畸变，提高质量，取得了惊人的效果。从此以后，数字图像处理技术和设备得到了迅猛的发展。

现在，数字图像处理技术的应用范围日趋广泛。遥感图像处理是数量最大、应用最广的领域，处理的技术方法也最为复杂多样。其中包括由航天、航空、以及地面用各种不同波段、不同类型传感器所获取的图像数据，用于地球资源、环境、大气现象等多方面的研究和探测。应用于天文学、行星地质或宇宙地质等方面的紫外光、可见光、红外光等遥感图像的处理和分析也是一个重要方面。在医学方面，X 光及红外光、紫外光等图像的处理和分析得到了日益广泛的应用。在军事侦察及公安工作方面的图像处理，特别是空间图形和模式的识别已成为十分重要的手段。在电子显微镜、高能等离子体实验图像等微观图像的增强处理，考古学及历史学研究中模糊、变质图像的恢复处理等方面，数字处理技术都是迅速有效的。现在，数字图像处理的对象已经远远超越了直观图像的范围，对地震勘测数据、各种地球物理及地球化学资料、地形资料以及各种图件上所反映的信息都可以有效地采用数字图像处理方法进行增强、变换、分类或模式识别、信息提取及综合分析等各种处理。在古生物特别是微体古生物化石的分析、鉴定方面，数字图像处理技术提供了走向智能化和专家系统的重要途径。

现代遥感技术与其它产生庞大数据量的探测技术（如航空物探、地面地震勘探等）广泛采用高密度数字磁带直接记录图像或非图像信号，并用数字方式进行传输，从而使长期运行的卫星传感器或探测器所产生的巨大数据流得到及时、准确的接收、处理和应用。这些源源不断并且与日俱增的数据来源促进了数字图像处理技术的迅速发展和普及。事实上，一切以图像、图形、形态特征、甚至数学图形（如多维向量）所表征的信息都可以通过数字图像处理进行增强、显示以及自动识别和分析。

图像数字处理的内容是不断发展的，其基本任务包括：

1. 图像数字化、图像编码及数据压缩 即把模拟图像或连续图像信号变为离散的(数字的)形式,并进行有效编码,或用逼近方法记录图像,在一定的保真度标准下压缩图像的数据量,以节省存储空间和传输数据量;

2. 图像恢复或图像校正 纠正在成像和记录过程中造成的图像的歪曲和失真,改进退化了的(如低反差、模糊、多噪声等)图像辐射特征,以及消除几何畸变;

3. 图像增强 通过数学运算及显示技术,增强图像中的有用信息,使之更易于目视识别和描绘,同时也有利于进一步的计算机分析和信息提取;

4. 图像分析或叫图像分割(Segmentation) 即从不同的分析角度,把图像数据分解为若干个不同的部分或类型,并进行自动识别以确定每一部分的性质,其中包括所谓模式识别和自动分类、各种空间形态特征的检测和自动提取以及对图像的描述信息等。

遥感图像数字处理有如下一些特点:

1. 遥感图像中的亮度值或灰度值反映的是地物的辐射特征,它是区分不同地物的基本参量。这种波谱信息的保真度和增强处理方法是至关重要的。与之密切联系的是大气、地形等因素对辐射特征的影响,这也构成了遥感图像处理中的重要课题。

2. 遥感图像的几何特征、几何精度和地理坐标系统及地图投影方法是密切相关的。由图像中判释和提取出来的内容,最终要准确标绘在相应的地图上。因而几何校正及地图投影变换成为遥感图像处理的重要内容之一。

3. 由于遥感图像是分幅记录的,同一地区可能有多波段、多时相、多平台以及多种不同类型、不同比例尺的遥感图像及其它数据或图件资料,因而在遥感图像处理中,图像的镶嵌、配准及多层图像的叠合分析也是重要的内容。

第一章 遥感图像

遥感图像是通过远距离探测而记录的地球表面、大气层、以及其它星球表面等物体在不同的电磁波波段所反射或发射的能量（通量或强度）的分布和时空变化的产物。在图像上表现为亮度、灰度、密度，或者为定量的辐射值，其所代表的反射或发射的能量大小是地物本身属性和状态的反映，是识别和研究不同物体及其相互关系和变化规律的依据。也就是说，由图像上的物理量所代表的物体的波谱反射或发射特征，具有定量意义。一幅遥感图像可以是单色的，或者说是单波段的，即由一个波段或波谱区间的能量记录构成的图像，包括通常所谓全色摄影像片；但是现代遥感技术的重要特点是同一地区的多波段、多时相、多种比例尺、以及多种方式成像。这就使遥感图像的处理具有了复杂的多维变量的综合分析和运算的特点。

由X射线、紫外线、可见光、近红外线、热红外线到微波这一电磁波谱中许多波段的应用，航空遥感、航天遥感以及多种传感器和成像系统的互相配合，大大提高了遥感技术的应用效果。然而，不同的波谱段、传感器、传感平台（运载工具）及成像系统在辐射反应特征、成像的几何特征及分辨能力等方面的复杂多样，又对图像处理的技术方法提出了更高的要求。由传感器或摄影机到被探测或拍摄的地物之间并不是真空的，地球外围大气层的存在及其状况的复杂多变，对遥感图像是一个显著的干扰因素，这也构成遥感图像处理中的一个重要课题。

作为以图像形式记录和表现的实际资料和信息，遥感图像及其经过处理的产品总要以某种形式显示出来，例如像片、胶片、电子屏幕显示、图件、打印符号等等；而这些图像显示又要便于充分发挥人眼视觉的感知和分辨能力，这也是图像处理技术需要发挥作用的一个领域。

第一节 遥感成像过程

遥感图像处理的方法、步骤、方案的选择以及程序设计都要由遥感图像的特征和处理目的出发。而遥感图像的特征又在很大程度上取决于成像系统的性能和成像过程。因而，我们首先要概述一下有代表性的卫星遥感系统成像过程的各个环节。

从把运载工具发射到预定轨道后传感器开始工作起，到由专用的处理系统生产出 CCT 磁带和像片等产品的全部过程和有关设备构成一个遥感系统。我们所取得和使用的原始图像数据或像片是地物的辐射信息经过这整个系统的记录、传送、加工及转化后的产品。图 1-1 是这一系统的示意图。决定遥感图像的信息内容和质量的最主要的因素是所用电磁波段及相应的传感器的性能。轨道高度和瞬时视场（或地面分辨率）的大小也直接影响图像内容的详细程度和精度。成像传感器包括常规的摄影机、电视系统（如陆地卫星 1—3 号的 RBV）、光学机械扫描系统（如陆地卫星的 MSS）、完全的电子扫描系统（如 SPOT 卫星的 HRV）以及雷达系统等。在我国已经使用的有数字记录（CCT）的几种卫星图像的

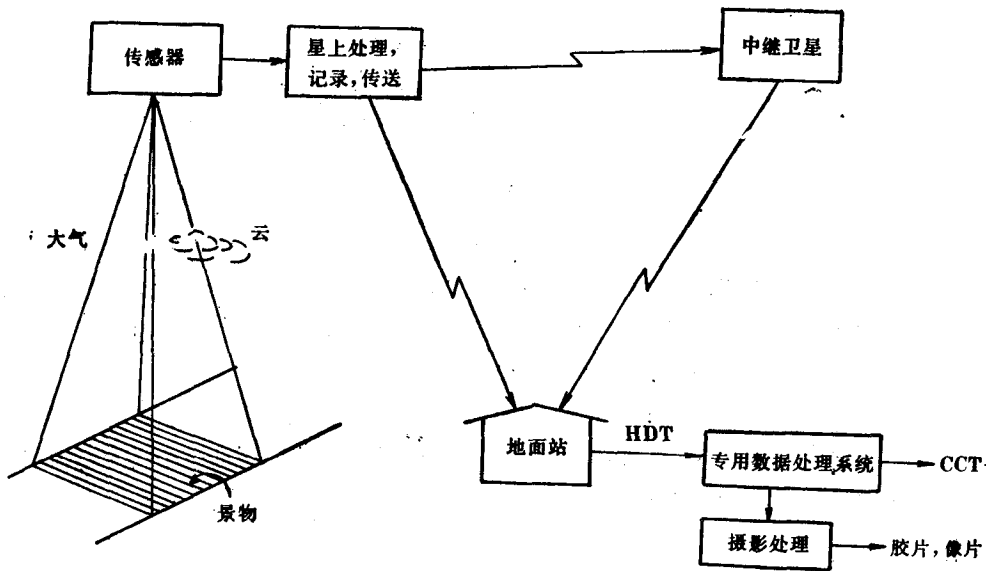


图 1-1 遥感系统示意图

表 1-1 几种卫星图像的主要特征

卫星 (传感器)	Landsat(MSS)	(TM)	SPOT(HRV)	NOAA(AVHRR)
高度(km)	920(1-3号) 705(4-5号)	705	822	870-930
波段(μm)	1. 0.5-0.6 2. 0.6-0.7 3. 0.7-0.8 4. 0.8-1.1 5. 10.4-12.6***	1. 0.45-0.52 2. 0.52-0.60 3. 0.63-0.69 4. 0.76-0.90 5. 1.55-1.75 6. 10.40-12.50 7. 2.08-2.35	1. 0.50-0.59 2. 0.61-0.68 3. 0.79-0.89 P. 0.51-0.73	1. 0.58-0.68 (0.55-0.68)* 2. 0.725-1.1 3. 3.55-3.93 4. 10.3-11.3 (10.5-11.5) 5. 11.5-12.5**
瞬时视场(m)	79×79	30×30 (波段1-5,7) 120×120 (波段6)	20 (多波段) 10 (全色单波段)	1100 (天底) (1.3 mrad)
像元大小(m)	57×79	同上	同上	780 (天底)
每幅像元数 (×10 ⁵)	28	281	27 (多波段) 36 (全色)	每行2048
比特/像元	6	8	8	10
幅宽(km)	185	185	60	2700

注: Landsat 1-3号的 MSS 波段编号为 4、5、6、7, P-全色波段, *NOAA-8, **仅 NOAA-7 有此波段,
*** 仅用于 Landsat 3号, 像元大小为 240×240 m²

主要特征列于表 1-1 中。

由传感器所接收的图像信号在卫星上记录、处理和传输的方式也有不同。例如陆地卫星的 MSS 及 TM 信号在由传感器输出时就进行了数字化，然后以数字形式向地面传送，而 RBV 图像则是以模拟信号传送到地面后再进行数字化。再如原来第 1—3 号陆地卫星在地面站能接收的地区之外摄像时要先把图像数据在卫星上记录下来，等通过地面站时再发送，而第 4—5 号则使用中继卫星进行实时传送。

图像数据传送到地面后，首先在专用的图像数据处理设备中把数据整理为一个幅，如果原来是以压缩方式传送的，还要去压缩，然后进行辐射校准和一定程度的几何校正（见第二章），再记录在高密度数字带（HDT）上。高密度数字带上的数据，一般再经过专用的数据处理系统一方面按不同规格生产出 CCT 带，另一方面则经过常规的增强处理后用胶片扫描记录设备产生第一代的像片负片。记录图像数据的 CCT 带是一般遥感应部门进行各种数字图像处理的主要数据来源，另一个来源是摄影像片或胶片的数字化（详见第三节）。

由地物所发射或反射的辐射量所构成的客观景物，经过成像、感测、记录、数字化以及数据处理等各个环节，直到显示出图像产品，在数学形式上相当于一系列的变换。

如果把图像和景物都作为平面坐标 (x, y) 的函数，在这一系列过程中这些函数的变换关系可以形象地用图 1-2 表示。

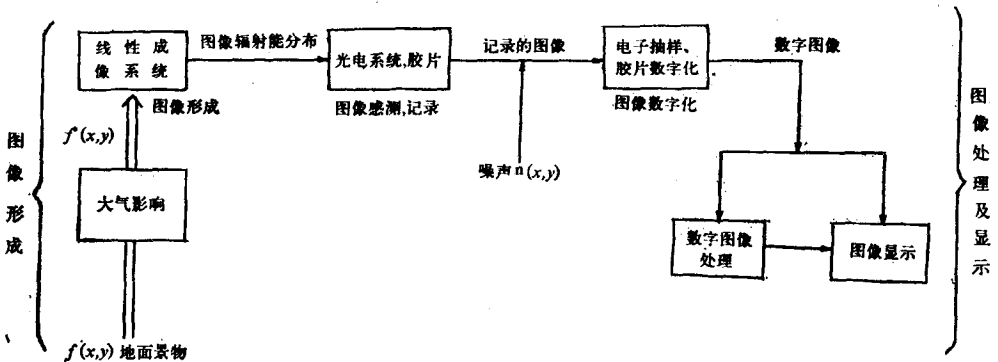


图 1-2 遥感成像及处理过程

第二节 遥感图像模式及图像函数

遥感图像是多种多样的，其所使用的电磁波段可以不同，记录的辐射能、成像的方式以及摄像系统等也会随之有差异或做不同的选择，但作为一个普遍性的理论模式，一幅遥感图像上任一点 (x, y) 所记录的波谱辐射量 L 则可用下式描述：

$$L(x, y, \lambda, t, \rho) = \rho(x, y, \lambda, t, \rho)I(x, y, \lambda, t) + [1 - \rho(x, y, \lambda, t, \rho)]e(\lambda) \quad (1-1)$$

这里，等式的右侧用加号连接的两项分别代表该点所反射的波谱辐射量及发射的波谱辐射量。辐射量 L 除随点的空间位置 (x, y) 变化外，还是波长 (λ) 、摄像时间 (t) 及电磁波的极化性质 (ρ) 的函数。

函数 $\rho(x, y, \lambda, t, \rho)$ 是该点物体的波谱反射率。

$I(x, y, \lambda, t)$ 是该点的波谱辐照度, 即入射的辐射量。

$e(\lambda)$ 是黑体的波谱发射本领。

除以上因素外, L 还随光源 (如太阳) 或辐射源的天顶角、传感器的观测角及它们的方位角之间的关系而变化。

在可见光及近红外波段, 物体自身发射的辐射量可以忽略不计, 只剩下(1-1)式中反射的辐射量一项, 即入射量 I 与反射率 ρ 的乘积。

$$L(x, y, \lambda, t, \phi) = \rho(x, y, \lambda, t, \phi) I(x, y, \lambda, t) \quad (1-2)$$

I 取决于光照条件及传感器的几何特征, 而 ρ 则反映物体的特性。热红外波段, 则反射及发射都要考虑, 摄像时间是一个重要因素, 夜晚摄取的主要是地物的热发射; 白天的反射部分处于不同的波段, 一般是通过不同的探测器分别记录为不同的图像。微波遥感有主动的雷达系统及被动的微波扫描系统, 前者利用的是由人工辐射源产生的脉冲波经地面反射后的回波, 而后者则是接收地物发射的微波热辐射。雷达系统接收的反射信息与一般的反射辐射具有不同的性质和特点。

不同的波谱段及不同类型的成像系统, 又各自具有其特有的图像模式。对遥感成像的一些主要影响因素, 例如大气影响、成像系统的几何要素及地形影响等也需用相应的模式加以描述和分析。这些有关的图像模式将在后面相应章节中提到。

由此可见, 一幅图像相当于一个二维的空间分布, 可以用两个空间变量 (直角坐标) x, y 的实数函数来表示, 即 $f(x, y)$, 它代表在空间坐标位置 (x, y) 处的物理变量。因而, 在一定条件下可以用 $f(x, y)$ 代替函数 L 。

前面讲到的函数 $L(x, y, \lambda, t, \phi)$ 或者 $f(x, y)$, 实际上代表在二维空间内物体所反射或发射的辐射能量的分布, 还不是作为数据或像片的图像本身。因为在实际情况下, 图像总不能完全如实地记录和反映地物的辐射特征及几何特征, 图像和它所代表的地物“真实图像”之间总有不同程度的差别。造成这种差别的原因将在后面的章节中讨论。基于这种考虑, 我们将采用一个不同的符号 $g(x, y)$ 代表二维空间的图像函数, 并规定:

$$g(x, y) = T\{f(x, y)\} \quad (1-3)$$

其中, T 代表某种由地物的实际景像到图像之间的变换。

这样, 图像函数 $g(x, y)$ 就是一个空间函数, 在坐标系中的任一点 (x, y) 上的函数值, 是该点地物的反射或发射的电磁辐射能量的度量, 如亮度、灰度、密度等。原始的遥感图像经过计算机处理, 例如增强、分类、及信息提取等等, 会产生许多种类的中间性或成果性图像。近年来, 随着图像处理设备和技术的发展和普及, 各种非遥感来源的数据, 例如地形、地球物理、地球化学等资料也以图像数据形式来处理和分析。因而, 图像数据或图像函数的物理意义就更为广泛了。图像函数具有两个基本的特点, 一是它在空间上是限定的, 即包含在一个矩形区域内, 而且坐标原点在左上角。另一个特点是函数 $g(x, y)$ 及 $f(x, y)$ 的取值也有一定的范围。如: $0 \leq f(x, y) \leq R_{\max}$, 即 $f(x, y)$ 没有负值, 而且不大于最大的辐射量 R_{\max} 。

这种坐标系是由摄像或数字化过程中的扫描顺序决定的, 即每一行中的像元 (数据点) 由左向右顺序排列 (x 方向), 各行由上而下排列 (y 方向)。因而只需要记录整个图像的行数和一行的列数 (像元数), 不需要记录每个点的 (x, y) 坐标。但在图像处理过程中, 还需要产生经过数学变换的图像, 这些图像的 (x, y) 坐标并不一定代表空间位

置, 例如由傅氏变换产生的频谱图像 (见第二章)。

图像模式 $L(x, y, \lambda, t, p)$ 表明, 除了空间变量 x, y 之外, 地物的辐射量还随波长 (λ)、时间 (t) 和极化性质 (p) 三个变量而变化, 即在同一个空间位置 (地区) 可以有不同波段、不同时间或不同极化的图像。这种在同一 (x, y) 空间的多个图像的组合, 可叫做多元图像或多层图像。多元图像中最常见的是多波段图像, 例如陆地卫星的多波段扫描仪 (MSS) 图像、反束光导管摄像机 (RBV) 图像以及专题制图仪 (TM) 图像等。MSS 有四个波段, 还有热红外波段。有些航空扫描系统分为更多的波段, 或叫通道。多波段图像可以充分显示不同地物的波谱特征, 更有助于识别岩石、土壤、植被、各种水体及其它物体的不同类型和状态, 是遥感图像处理的主要对象。多时相图像或叫多日期图像, 是指同一地区在不同时间摄取的图像, 主要是用来研究和监测地物或环境因素的动态变化的, 某些变化也可以揭示地物的性质。遥感卫星的轨道特征和重复覆盖能力为多日期图像的广泛应用提供了方便。气象和环境监测要求在较短时间内重复摄像, 农业上主要要求不同农时及农作物不同生长阶段的多日期图像, 地质应用方面主要需要不同季节、不同太阳角的代表性图像。热红外遥感常采用白天和晚上 (黎明前) 两次成像。典型的多极化图像是侧视雷达图像, 如果发送的雷达波是水平极化波 (H), 则回波中既有水平极化也有垂直极化的组分 (V), 因而可以分别产生两种极化性质的图像, 即平行极化 (HH) 图像及交叉极化 (HV) 图像。

在多元图像情况下, 图像函数 g 可以表示为

$$g(x, y) = L'(x, y; \Delta\lambda_i, t_j, p_k) \quad (1-4)$$

其中, $i=1, 2, \dots, n_1$ 为波段数;

$j=1, 2, \dots, n_2$ 为不同时间图像的数目;

$k=1, 2, \dots, n_3$ 为不同极化图像的数目。

这时, $g(x, y)$ 相当于一个 $N = \sum n$ 维的向量函数, 即

$$g(x, y) = \begin{cases} g_1(x, y) \\ \dots \\ g_N(x, y) \end{cases} \quad (1-5)$$

其中, 多波段图像及多时相图像是最常见的。当这两个变量 $\Delta\lambda_i$ 及 t_j 同时存在时, 例如同时使用一个地区的两幅或更多陆地卫星图像时, 在数据组织上又往往作为两个独立的维次, 加上二维变量 x, y , 成为一个四维阵列。

图像函数可以是连续的 (模拟的), 如摄影图像和视频图像; 也可以是离散的, 即数字图像, 或叫数字化的图像。对模拟图像进行数字处理之前, 首先要进行数字化。

第三节 图像的数字化和抽样

以上我们把物面函数 $f(x, y)$ 及图像函数 $g(x, y)$ 都作为空间的连续函数。事实上, 不论使用任何摄像手段, 地物及图像平面上的辐射能量本身在空间上一般总是连续变化的。在图像平面上的辐射能量 $g(x, y)$ 由传感器来感测和记录下来。图像的感测、记录及显示可以采用两种不同的系统。一种是摄像技术使用的光化学系统, 它用摄影胶片同时起感测和记录的作用, 胶片以其固有的反应特征把感测到的辐射能量与银粒子的光学密度联

系起来；另一种是电子光学系统，如电视摄像管及光学-机械扫描系统，它对图像的感测和记录是分开两个步骤。检测器感测到的辐射能量强弱变化首先转变为连续变化的电讯号，这种视频信号可以记录在视频带上，也可以显示在电视屏幕上，或者在胶片或相纸上扫描成像。以上这些方式所产生的图像都是由光学密度或亮度的连续变化所构成的模拟图像或叫连续图像或视频图像。

要用数字方法即数字计算机对图像进行处理，就必须把连续图像进行数字化，使之成为数字图像。数字图像就是用一定范围内的数值表示或记录图像上辐射能量 $g(x, y)$ 大小而产生的一组离散数据。把连续的图像函数数字化包含着两个方面：一是按照等间距的点阵或网格对连续变化的图像辐射值进行抽样；一是把抽样点上取得的辐射值进行量化。

一、抽样

由一个连续函数按照一定的方案抽取离散点的数据，叫做抽样。所选取的点叫做样点。显然，一幅连续图像包含着无限多的点，而数字图像只能是由数目有限的数字组成。因此，抽样的目的就是图像函数中选取均匀而规则分布的数目有限的像点的数据。一般是在 XY 直角坐标中采取 $M \times N$ 的点阵，至少在同一方向上样点是等距离的。至于样点的数目和间距的大小，则主要取决于成像、数字化及记录系统的性能。

一个样点（或叫像点）的几何意义是双重的。相对于坐标系统以及在运算过程中，其空间位置 (x, y) 代表一个没有大小的点。但是作为构成图像的一个最小单元来看，它是有面积的，一般代表一个在 (x, y) 点周围的矩形或正方形，其长度和宽度与在 x, y 方向上的间距相同，因而又常称为像元。

像点的函数值，或叫像元值、亮度值、灰度值等，对遥感图像来说，相当于 (x, y) 点周围某个小范围内的平均辐射值。这个小范围一般相当于传感器或数字化仪的瞬时视场，不一定等同于像元所代表的面积和范围。卫星遥感系统，如陆地卫星的 MSS 和 TM 及 SPOT 卫星的 HRV 传感器，都是在摄像过程中进行辐射值的抽样和数字化的，每一个样点相当于一定大小的一个像元或瞬时视场。陆地卫星 MSS 图像的瞬时视场为 $79 \times 79 \text{m}^2$ ，而像元大小为 $57 \times 79 \text{m}^2$ 。TM 和 HRV 图像的瞬时视场与像元大小一致（参见表 1-1）。

数字化或抽样，不可避免地会造成原来图像信息的一些损失，主要是由于在抽样间隔内的平均不仅会产生相邻地物波谱信息的失真，而且会造成高频信息的损失，即会使地物中尺度比较小的特征（如边缘、线条等）变模糊。同时，在抽样过程中也可能引入新的噪声。一般来说，抽样的间隔越小，信息的损失越少。关于抽样的原理和准则在下一章中还要进一步讨论。

二、量化

量化有时也叫做编码。通过抽样由各个样点得到的平均辐射值，从数学意义上说仍然是连续性的数据或实数，即辐射值的大小变化是连续的，其可以划分的等级至少在理论上是无限多的。从计算机数字处理的方便出发，需要把这种数据转换成等级有限的离散化数据。从图像分析的实际考虑，如果每一个不同的辐射值显示为一个灰阶或颜色的话，人眼能识别的等级数目也是有限的。因而，要对抽样以后的辐射值或像元值进行量化，就是把连续性的辐射数据按照一个二进制字码（例如一个字节）所能代表的数量等级来代替。等级的数目 NG 为 2^b ， b 是字长，即字位的数目。 b 一般采用 6、7 或 8。例如陆地卫星 MSS 图像在卫星上数字化时，采用 6 个字位，则 $NG=64$ ，即图像的辐射值或亮度值都转

换为 0,1,2,……63 或 64 个等级的数。每个数值相当于一个亮度或灰度等级。因而,量化相当于把连续变化的图像进行密度分割,一般来说 $NG=2^8$,即把亮度值分为 256 个等级,用数字 0 到 255 记录是比较理想的,这是因为一方面占用的字位不算太多,正好相当一个字节;另一方面也能充分显示出不同地物辐射值的差别。但是如果原来记录的信息中信噪比比较高,则采取较少的字位(如 6 或 7)能起提高信噪比的作用,同时也减少了数据量,提高了数据传输和处理的效率。字位更少,即 $b < 6$,会造成较大的信息损失,使连续变化的图像特征成为阶梯状及色调单调的斑块状。为了使数目不多的字位(如 6 位)充分发挥作用,尽可能把图像中绝大部分的亮度值差异反映出来,可以根据实际情况选用适当的量化函数。把原来的连续数据按等间距分割而进行量化的叫做线性量化;而按某种曲线函数关系把连续数据作不等间距分割而作的量化叫做非线性量化,例如对数量化。

在图像处理中应用的数字图像有多种来源,其数字化的方式和过程也不尽相同,主要有四种情况:(1)在摄像过程中的数字化,即在扫描成像或记录过程中,把传感器感测到的连续信号进行抽样和量化,用数字记录下来(例如陆地卫星 MSS 图像)。(2)像片或摄影胶片的数字化,即把已有的像片或胶片放在专用的扫描数字化设备(如美国 Optronics 公司的 C-4500)上产生数字记录的图像。(3)图件的数字化,就是由图件资料产生数字图像。图件资料可能来源于遥感图像分析和解译(例如线性体、环形体的分布等),也可以是其它资料,如地球物理、地球化学图件等。图件数字化的目的是为了便于在图像处理系统上进行处理,特别是和遥感图像一起作综合分析和处理。(4)在遥感图像处理过程中,有时需要人为地产生和使用某种函数图像(包括常数图像),即由一个给定的二维空间函数,经过抽样和量化来确定该图像的像元值。用人工方法对连续数据进行抽样(或网格化)及量化,成为离散数据,再输入计算机形成图像也是可以的,但这是费工费时的方法。

三、陆地卫星 MSS 的图像数字化

陆地卫星 MSS 系统是以扫描方式成像,在平行扫描线的方向(简称样向)和垂直扫描线的方向(简称行向)上抽样情形是不同的。采用扫描方式本身就是行向上进行抽样。相邻扫描线(即行)间隔 79 m,在这个方向上的抽样间距亦为 79 m。而瞬时视场在这个方向上的长度也是 79 m,说明两行的瞬时视场在设计上是没有重叠的。而在样向上,抽样的间距是 57 m,因而每一个像元所代表的地面面积是 $57 \times 79 \text{ m}^2$ 。然而,在这个方向上的瞬时视场宽度也是 79 m,而不是 57 m,说明相邻两个像元所对应的瞬时视场应有 22 m 的侧向重叠。

实际上,在扫描过程中 $79 \times 79 \text{ m}^2$ 的瞬时视场是连续移动的,因而瞬时视场中地物所反射的辐射量也随着扫描而连续变化,这个连续变化的量为卫星上的探测器所接收并转化为连续变化的电信号(即视频信号)。要把这个模拟变量变为数字记录,首先要对它进行抽样(或叫采样),抽样的时间间隔是 $9.95 \times 10^{-3} \text{ s}$,对应的瞬时视场横向移动距离为 57 m。在抽样的基础上还要对数据进行量化。在 MSS 系统中根据不同波段的特点及数据记录和传输的能力在卫星上采取线性和非线性两种方式,把辐射值量化为 64 个等级(6 个字位)。非线性方式也叫压缩方式,相当于对数变换,用于第 4、5 及 6 波段,其效果是压缩了辐射量较高的部分,相对扩展了辐射量较低的部分,并提高了信噪比。线性方式是直接的 A/D 转换,用于第 7 及第 8(3 号卫星)波段。在量化之前要把模拟信号进行放大,按照不同波段及辐射值分布情况,可采用不同的增益值。要了解每个陆地卫星的 MSS 各波段所