

目 录

序.....	(I)
前言.....	(I)
第一章 数字制图的原理和意义.....	(1)
第一节 数字制图的含义和原理.....	(1)
第二节 数字制图的意义.....	(2)
一、遥感图像处理和机助制图的会合.....	(2)
二、机助编图的核心.....	(4)
三、建立地理信息系统的可靠保证.....	(5)
第二章 数字制图系统设备.....	(7)
第一节 大型图像处理系统.....	(8)
第二节 中小型专用图像处理系统.....	(12)
第三节 通用计算机和微机数字制图系统.....	(16)
一、指导思想.....	(16)
二、通用机数字制图系统.....	(16)
三、微机数字制图系统.....	(19)
第三章 数字准备.....	(21)
第一节 数字采集和储存的两种格式.....	(21)
一、矢量格式.....	(21)
二、栅网格式.....	(22)
三、两种格式的互换.....	(23)
第二节 卫星磁带记录方式.....	(24)
第三节 标准文件的建立.....	(26)

一、标准文件.....	(26)
二、提取、缩小和组合.....	(26)
第四节 直方图.....	(30)
一、直方图的制作.....	(30)
二、二维直方图.....	(32)
第五节 黑白图像的输出生.....	(34)
一、黑白图像显示过程.....	(34)
二、黑白图像输出的意义.....	(36)
第四章 纠正和匹配.....	(39)
第一节 数字图像误差的根源.....	(39)
第二节 噪音纠正和辐射纠正.....	(40)
第三节 几何纠正.....	(41)
一、几何纠正的原理.....	(41)
二、几何纠正方法和匹配.....	(41)
三、应用实例.....	(45)
第五章 假彩色合成.....	(47)
第一节 假彩色合成的意义.....	(47)
第二节 黄、品、青假彩色合成.....	(47)
第三节 HLS 假彩色合成.....	(48)
一、原理.....	(49)
二、具体做法.....	(50)
第四节 两种假彩色合成的比较.....	(51)
一、HLS 图像具有分类特点.....	(51)
二、HLS 图像具有分级特点.....	(52)
三、几点讨论.....	(52)
第六章 新通道的建立和应用.....	(54)
第一节 新通道建立的意义.....	(54)

一、新通道的定义和意义·····	(54)
二、新通道的种类·····	(55)
第二节 新通道的建立·····	(56)
一、借助于线性组合程序建立辐射 新通道·····	(56)
二、借助于局部算子程序建立轮廓 新通道·····	(61)
三、借助于活动方差程序建立轮廓 新通道·····	(65)
四、借助于反差计数程序建立图斑 新通道·····	(67)
五、借助于粒状程序建立图斑新通道·····	(69)
第七章 主成分分析与制图 ·····	(71)
第一节 原理和意义·····	(71)
第二节 过程和步骤·····	(73)
一、求均值·····	(73)
二、求相关矩阵·····	(73)
三、求特征值·····	(73)
四、求权系数·····	(74)
五、用方差最大准则旋转初始因子矩阵·····	(75)
六、计算旋转后的因子系数矩阵·····	(76)
第三节 应用实例与分析·····	(77)
一、采用主成分分析的目的·····	(77)
二、相关矩阵·····	(79)
三、特征值及其累计百分比分析·····	(79)
四、各通道在各主成分中的权系数分析·····	(80)
第八章 多维数字分析与动态制图 ·····	(89)

第一节	单时相多通道判别分析·····	(89)
一、	判别分析原理·····	(89)
二、	判别分析流程框图·····	(93)
三、	应用实例与分析·····	(105)
第二节	多时相多通道判别分析·····	(110)
一、	多时相和单时相的异同·····	(110)
二、	应用实例与分析·····	(111)
三、	多时相的优点·····	(112)
第九章	数字相关掩膜与制图·····	(116)
第一节	原理·····	(116)
第二节	应用实例·····	(117)
一、	掩膜前的准备工作·····	(117)
二、	计算机掩膜过程·····	(119)
三、	实质和应用·····	(124)
第十章	数字同质化·····	(127)
第一节	数字同质化的含义·····	(127)
第二节	数字同质化的做法·····	(127)
第三节	讨论·····	(130)
第十一章	图形彩色输出·····	(133)
第一节	彩色输出的意义·····	(133)
第二节	色彩的基本知识·····	(134)
一、	色彩的来源·····	(134)
二、	色彩的标准·····	(135)
三、	色彩的配合·····	(136)
四、	色彩的感觉·····	(136)
第三节	彩色打印的原理和实现·····	(137)
一、	彩色打印原理·····	(137)

二、彩色打印的实现.....	(141)
结语.....	(146)
主要参考文献.....	(148)

第一章 数字制图的原理和意义

第一节 数字制图的含义和原理

数字制图，顾名思义，是利用数字的形式来进行制图的一种方法。

从信息论的观点来看，地图是信息的载体。地图信息由直接信息（第一信息）和间接信息（第二信息）两部分组成。直接信息是地图上图形符号直接表示的信息，间接信息是经过分析解译而获得的信息。地图也是传输信息的工具，图上的直接信息和间接信息都可以转变为数字形式，即数字化，然后将这些数字储存起来，借助于电子计算机处理，能提供查询、检索、分析与评价，编制成新的地图，传输给用户。这个过程就是数字制图的过程。

起初，数字制图大多应用统计数据来进行。不久以后，利用了数字化器，数字制图也可用来从地图编地图，即将原始地图数字化，经数字编图，制成新的地图。新的地图，内容或比例尺都可以不同于原始地图。

遥感信息的出现，大大地丰富了数字制图的内容和方法。首先，遥感信息本身就是以数字形式储存的。其次，遥感数据必须借助于一系列处理程序，才能达到识别和分类的目的。最后，还必须进行制图概括、彩色图形输出等工序。可以认为遥感图像处理的过程就是数字制图的过程。

然而，数字制图过程又有别于图像处理。因为，数字制图还包含有地图编制的基本要求，如严格的数学基础（投影、比例尺），科学的地理内容和清晰易读的直观效果，等等。

总之，数字制图就是以数字方式进行地图编制的全过程，数字制图原理即常规制图原理。所不同的是数字制图是通过电子计算机，进行人机交互式的对话，使常规的传统制图逻辑得以实现。

第二节 数字制图的意义

数字制图具有不可忽视的理论意义和实用意义：首先，它是遥感图像处理的共同问题，并由此引导出遥感专题解译和专题系列制图；其次，它又是计算机辅助编制地图的关键所在，由此引导出机助制图的理论问题；再其次，它是遥感图像处理和机助制图的会合点；最后，数字制图贯穿着地理信息系统建立和应用的全过程，是近年来新兴起来的地理信息系统建造的可靠保证手段。

一、遥感图像处理和机助制图的会合

遥感技术是一种综合性的技术，它关系到：物理，特别是其中的电磁波原理；数学，特别是数理统计、代数和模糊数学；电子计算机科学，特别是图像处理、图像识别和地球科学。它用这些科学原理与方法组成了自己的现代化技术。

遥感技术，从运载器、探测器、接收技术、处理技术到应用，是缺一不可的。但是对我们地图工作者或地学应用者而言，尤其以图像处理和识别进而编制成专题地图及基本比例尺地形图这一环节最为重要。

图像处理与识别，当今乃至今后仍然存在两种技术路线：一种是光学路线，另一种是计算机路线(图 1-1)。

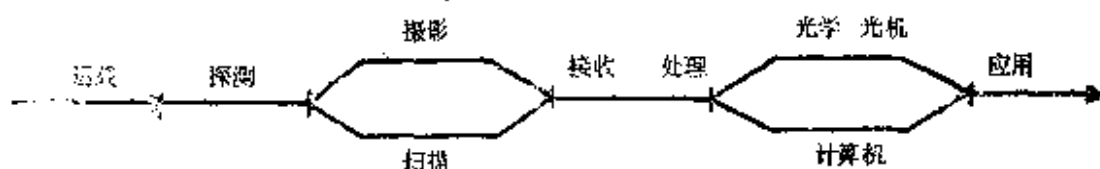


图 1-1 图像处理技术路线

光学路线在探测阶段使用光学摄影法，得到的结果是软片。其精度取决于底片上感光乳剂的颗粒大小。其处理设备系统也是靠光学原理，处理精度是依光学镜头和光学线路的良莠而决定的。目前流行的光学假彩色合成仪器制作的由三个通道（分别赋予黄、品、青三色）合成的假彩色像片，以及借助密度切割仪器制作的单一通道彩色密度像片，都属于光学处理方法。

计算机路线在探测阶段使用电子扫描法。得到的结果是磁带，其精度取决于每一像元的地面分辨率。其处理设备系统是靠电子计算机，以及外围设备。这个处理过程即人们常常提到的图像数字处理的过程。

机助制图是借助于电子计算机及其外围设备实现制图的一种方法。机助制图的信息来源，不限于遥感磁带或软片，它还可以是地形图、专题地图和统计数字等。

然而，在“数字方式的信息源泉，数字的采集、加工、处理，乃至数字识别与分类，进行地图的编制”这一点上，遥感图像计算机处理和计算机辅助制图这两种技术与方法是殊途同归的。

二、机助编图的核心

机助制图目前国内外都有比较成熟的经验。我们知道，地图图形是按一定的数学法则和特有的符号系统通过制图综合的措施，将地球表面的地物和现象表示于平面上的图形。显然，机助制图过程需要包括三个主要的过程：第一是地图图形怎样变成计算机所能接受的数字形式，以便读取、识别它的内容；第二是对变成数字形式的图形信息如何处理，并按地图编制法则的要求进行综合概括；第三是经过加工后的数字信息必须恢复为地图图形，输出符合地图编绘精度要求的图形符号。按其实质而言，机助制图就是由图形到数字，再由数字变为图形的变换过程。

目前国内外对第一步和第三步研究得比较透彻，积累的方法也比较多，仪器设备和软件也比较完善。但是，对第二步研究的程度比较浅而显得不足。然而，这第二步恰恰是计算机辅助制图的核心。假如我们概括地对机助制图三个环节简单地理解如下，即数据准备→编图→绘图，那么前后两个环节，即怎样准备数字和怎样绘图，计算机带动的绘图设备绘各种不同的线条、符号和彩色，目前都已有比较成熟的软件可供采用。唯独编图这一重要环节，即对已经变成数字形式的图形信息如何处理，怎样按照编制地图的原理和逻辑进行，是人们迫切要求解决的问题。

遥感数字制图就是要回答和解决上述编图中的这个关键性问题。遥感的数字制图在数据预处理之后以直方图形式输出，它能分析数字本身的特点，揭示数字内在的规律。数字制图中的黑白图像和假彩色图像的制作和显示，能把编图的中间过程和最终成果实时地表达出来。数字制图中的几何纠

正、配准和复合方法是数字制图的数学基础建立的保证。数字制图中的多维分类和识别方法则是专题地图编制的核心问题。数字制图中的制图综合方法以及其它方法，显而易见都是解决编图问题的。

因此，人们可以认定：遥感的数字制图是机助制图的关键所在，它是机助制图研究中最活跃、最有发展前途的部分。

三、建立地理信息系统的可靠保证

地理信息系统是把世界的、国家的、区域的、专业的资源与环境特性及其分布位置的数据信息，按一定的数据结构储存到电子计算机中，在计算机软、硬件的支持下，实现资源与环境信息的查询、检索、更新、综合分析评价及辅助决策应用的一整套完整的系统(图 1-2)。

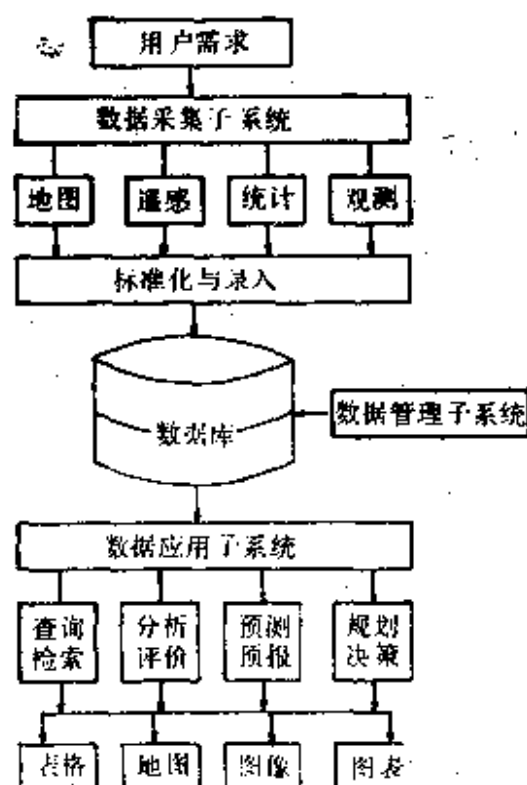


图 1-2 地理信息系统框图

从图 1-2 可以看出地理信息系统从建立到应用的各个环节，而每个环节都需要数字制图方法作为技术保证。

在数据收集阶段：在各种各样的信息源泉中，它们有些已是数字形式，更多的则是图形和文字。因此首先遇到的问题，就是要将这些图形、文字等非数字形式的信息转变成数字。数字制图探讨数字化原则，制定数字编码和格式，选取数字化仪器，以保证数字化完成。

接着，便是数据库的建造。数据库并非数据简单的堆砌。数据要编码，既表达数量又表达特征。数据编码后对某一专题要素可以建成数据记录，也称数据文件。由文件再排列成数据库。从编码到文件到建库必须遵循一定的数据结构，数与数之间要形成一种关系。数据储存时还要尽量减少其冗余（即重复出现的数据）。因此，这里面很有数字制图学问。

数据库建立后，要有一套数据管理系统和数据更新系统。怎么管？怎样更新？又必须借助数字制图原理。经验表明，遥感遥测是最好的更新系统和手段之一，也是遥感数字制图要解决的重要技术问题之一。

应用系统是地理信息系统的生命线。应用有不同的水平和等级，最初级的应用是查询检索，进一步是综合评价，高级的是辅助决策和专家系统。无论是哪一种水平的应用，都需要数字制图方法，才能得到空间分布概念。

总之，数字制图方法是建立地理信息系统的可靠保证。

第二章 数字制图系统设备

数字制图必须依赖一套系统设备。这个系统设备一般包括数字采集和输入部分，数字分析与处理部分，以及数字成图输出部分。

数字采集和输入部分可配备磁带机、数字化器和光电扫描仪，它们都必须联接到磁盘机或主机上去。

数字分析与处理部分是整个系统的核心，它由容量大、运算速度快的计算机组成，称中央处理机，还需要高分辨率的彩色显示屏幕，一般带有球形跟踪器，能够进行人机对话，形成交互系统。

数字成图输出部分可配置彩色硬拷贝、彩色打印机、绘图仪和黑白静电绘图仪等设备。

整个系统功能齐全，主要三件为磁带机、中央处理计算机和彩色硬拷贝。

系统设备可大可小，大至专用的图像处理系统，小至通用计算机和微型计算机。只要具有数据输入、处理和输出基本功能，都能进行数字制图。

在我国，从大城市、大机关到中小城镇和高等学校，都拥有各种可供数字制图的仪器。大型的例如从美国引进的 I²S 公司出产的专用图像处理系统，从法国引进的 101 系统，从加拿大引进的代培斯系统。中型的例如法国科梅夫公司出产的 PERICOLOR 2000 仪器，天津无线电五厂推出的 TJ 82 图像计算机。通用计算机则遍布全国各地，有 VAX 系

列、IBM 系列、PDP 系列的大大小的各种计算机、微型机，以 IBM PC 系列、IBP PS 系列最多，这些都可供给遥感数字制图选用。

可以认为，目前在我国数字制图的系统设备已经颇具规模，我们的任务是怎样去充分地利用这些设备，发挥其应有的作用。

图 2-1 表示了数字制图的各种硬件和它们之间的关系。

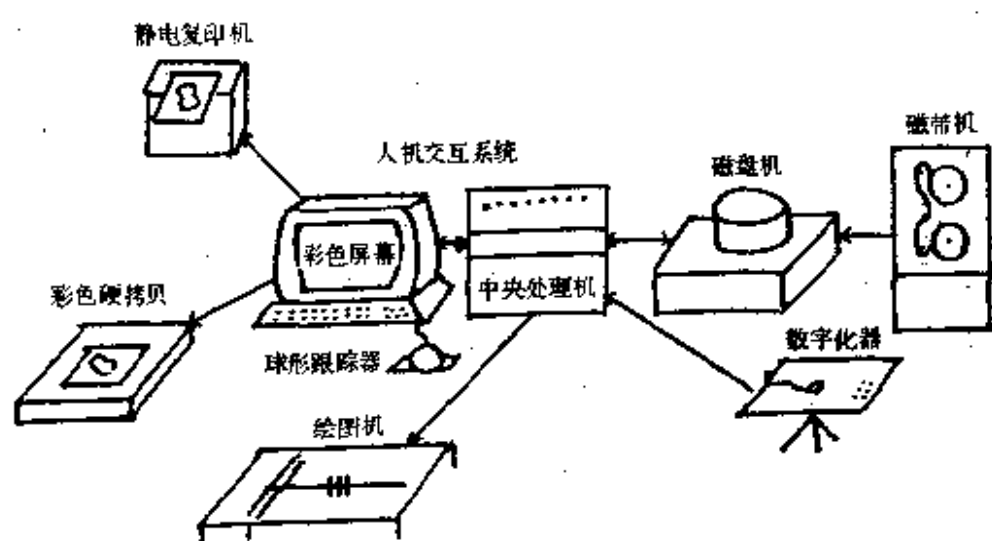


图 2-1 数字制图硬件

第一节 大型图像处理系统

大型图像处理系统拥有图像处理全部功能，其硬件设备齐全，主计算机的内存大、运算速度快、软件配置完整，具有人机对话交互功能。

目前，世界上较发达国家都能设计、生产和装备这类系统。较著名的是美国的 I²S 公司系统，法国的 TRIAS 系统，加拿大的 dipix 系统。这些系统在我国也已广泛使用。

这里介绍一下法国 TRIAS II 系统。

法国国家地理院于 1977 年建立了图像处理交互系统(即人机对话系统),它随着仪器的完善和围绕着 SOLAR 中央处理机软件的发展而不断改进。

该系统目前包括:

- 128 K 储存单位的 16-65 型 SOLAR 电子计算机,或是 VAX 11/780 机。
- 可以放到很远的三台 M 70 型显像控制操作台。
- 三台磁带机。
- 经典的外围设备(打印机、对话控制台、地图阅读器等等)。

中央处理机是和 VAX 带有 AP 120 过程数组的中型机相联接。显像控制台是一个独立的单元,计算机仅仅是依次接受它和保证它的逻辑运行。显像控制台能显示假彩合成图像,在图像上实现简单的计算,如直方图计算和某些图像操作。

它能由卫星兼容磁带进行完整的图像处理工作,也就是说能完成下面几章所述的数字制图过程。并且通过 SEMIO 系统直接由网目形式输出菲林片,以供印刷和出版。

该系统从读原始磁带到最终成图的输出完全自动化,并且能得到高质量的成果。

对用户,应该熟悉该系统的软件,这个软件大约由几十个函数以及函数括号内的参数构成。在人机对话系统的控制台上用户由操作键输入函数,同时屏幕上会呈现出文字数字信号。用户还要熟悉约十多个纠错信号,以便修正错误。当用户使用函数和参数操作时,紧接着屏幕上会显示出菜单供你从中选择。

《TRIAS II 系统应用手册》(1983 年的版本)大致包括四大部分内容。

① 概论

- A. 结构
- B. 命令的一般句法
- C. 特殊符号

② 软件应用

- A. 加工链的组织
- B. 读磁带
- C. 图像的纠正和改进
- D. 投影和镶嵌
- E. 掩膜函数
- F. 图像分析函数
- G. 图像输出函数
- H. 其它应用

③ 出错信号

- A. 命令差错
- B. 读写差错
- C. 图像或文件的差错
- D. M 70 差错
- E. 图像描述符差错
- F. 起动停止
- G. 执行差错
- H. 系统差错

④ 依字母顺序排列的程序一览表

自 1983 年以来, TRIAS I (即 101 系统)和 TRIAS II 两者平行地与统一的 ETHERNET/DECNET 网络连接。

TRIAS I 主要用于空间制图生产, TRIAS II 主要用于研究开发。

TRIAS 系统的文件组织为:

影像目录文件。

功能目录文件。

影像文件, 包括数据: $\times \times \times$ DAT 磁盘影像文件和说明, $\times \times \times$ DES 顺序索引文件。

其它文件, 包括控制点、分类中心、DEM 数据、轮廓线, 超过 256 个等级的掩膜、纠正格网文件等, 均分别组织。这种组织不但便于操作使用, 而且便于查询现存文件的参数和特性。

TRIAS 系统的应用软件功能包括:

① 影像管理: 显示或打印出影像的特性参数; 将磁盘或磁带文件拷贝在磁带上; 根据终端键输入的命令建立影像文件; 将某一窗口的图像加入整个图像; 将现有显示在屏幕上的图像记录起来; 删去某一波段的图像; 记录新输入的影像等。

② 目视影像: 将影像显示在交互系统上; 开窗口; 处理屏幕上分离的窗口影像并分别处理; 交替显示两个需比较的影像; 量算像元坐标或其制图参考坐标; 调配颜色; 使用跟踪球确定掩膜区等。

③ 动态特征计算: 绘直方图、最大值和最小值、断面辐射值; 影像均方差修改; 线性拉伸或分区拉伸。

④ 运算: 加减乘除和对数运算; 线性组合; 植物指数计算; KL 变换; 一维及二维傅氏变换; 卷积运算等。

⑤ 几何纠正: 选控制点; 多项式计算; 列表输出控制点参数; 格网输出和重新采样等; 自动相关找对应的格网

点。

⑥ 分类：监督或非监督分类；多时相分类；分类结果的整理和输出；密度切割；纹理试验等。

大型系统都是以人机交互方式进行的，由于其储存量大和速度快，很适合于数字制图操作使用。然而，它的价格十分昂贵，环境和运行的维护也需十分精心。因此，就国家和地区而言，大型的图像处理设备不宜购买得很多。大致一个大区域拥有一套为宜。

第二节 中小型专用图像处理设备

为了克服大型图像处理设备价格昂贵、维护困难的缺点，世界各主要遥感应用国家先后研制了中小型专用图像处理设备。例如法国科梅夫公司出产的 PERICOLOR 图像处理系统。它只有一台办公桌大小（立式，象一台电冰箱）便能完成数字制图任务。其它国家出产的同类产品，如日本 KIMOTO 公司出产的图像分析系统 M 301B 和 PHOSDAC 2000，以及美国泰克公司（Tektronix）出产的图像分析系统，都具有体积小、功能全，维护方便的优点。

以 PERICOLOR 2000 型为例说明这类仪器的情况如下：

1. 技术性能

彩色显示

显示点数 262144

内存尺寸 最小 512 × 512

(8bits/点) 最大 2 × 1024 × 1024

即 512 × 512 × 4 bits

(*bit 比特, 二进制信息单元)

镶嵌

放大倍数 从 1 至 16 倍

xy 轴方向 能移动

真彩色 可变换

假彩色 可进行

灰阶 256 级

图像色彩数 最多 256 种

彩色色调 $>16\,000\,000(2^{24})$

有彩色参数变换表

图像叠合 最多叠合 8 个图像

字母表和图表 有 7 种

传动方式 标准型

2. 图像处理功能

(1) 可以开窗。

(2) 512×512 像元图像提取。

(3) 可以进行图像变换。

(4) 加法与减法运算。

(5) 光滑。

(6) 变换、修改、加、减、乘、除。

(7) 与或非逻辑运算。

(8) 确定阈值, 补充内插, 复原, 放大, 光滑, 镶嵌平面的变换和修改。

(9) 8 个子图像参数(其大小和情形)。

(10) 使用参数进行线性运算。

(11) 3×3 矩阵的卷积运算。

(12) 对图像或对选择的一个带进行直方图、剖面(或

断面) 计算和表示。

(13) 对一幅图像或一个参数带进行积分、均值、最大值、最小值计算。

3. 这类仪器大都以菜单形式, 实现人机交互式对话来进行。

例如 主菜单

键	操作功能
I	图像
V	真彩色
F	假彩色
M	内存
T	处理
C	游标
H	直方图
N	在屏幕运行
W	显示 512×512 像元
A	动
#	试验区或训练区
◇	彩色、色调
1	光滑
5	变换程序
6	磁盘

用户只要依自己操作次序选择按某个键, 即实现某种操作, 例如按 I 键, 显示屏上出现二级菜单 IMAGE, 用户继续选择 A B J K 就确定了图像范围。再按 H 键, 便做 A B J K 图像的直方图。若按 Z 键, 便做放大, 如此等等。

全部二级菜单共有 11 个:

- ① 图像 IMAGE;
 图像提取 A =, B =, J =, K =;
 像元
 Z 放大
 H 高
 L 宽
 Q 方块

- ② 假彩色:
 屏幕显示彩色 R(红) V(绿) B(蓝)
 F 函数
 A 附记
 C 彩色表
- ③ 函数之一;
- ④ 函数之二;
- ⑤ DAC 选择彩色;
- ⑥ 内存;
- ⑦ 处理;
- ⑧ 游标;
- ⑨ 直方图;
- ⑩ 512 × 512 像元构成的图像;
- ⑪ 排列。

第三节 通用计算机和微机数字制图系统

一、指导思想

无论大型还是中小型的图像处理数字制图系统，都是一种专用的设备。在法国，一般配置在大的遥感应用单位，如空间中心、国家地理院、海外科技局、法兰西石油学院、地矿局等。而广大的机关、学校和省里、县里的遥感单位，只拥有通用计算机（包括微机）。怎样利用通用计算机，编制一套数字制图软件，配备一些彩色输出设备（如彩色硬拷贝），从而能完成大型或专用的中小型图像处理数字制图系统所能完成的任务，成为人们十分重视的问题。经过 80 年代中期 1 至 2 年的努力，在法国斯特拉斯堡、雷恩、蒙彼利埃等地先后建起了以通用计算机为中心的遥感数字制图系统。接着，在鲁昂地理学院又用微机 IBM PC 系列建成了微机遥感数字制图系统。

我国在推广遥感技术的进程中，前几年已购进和制造了为数不少的大中型图像处理系统，有的正发挥着它先进的功能，有的使用率还不高，应该继续充分发掘其特长。现在应注意推广通用机包括微机的数字制图系统，依靠这种系统的设备简单、通用性强的优点，使遥感数字制图迅速地从大机关、大单位走向基层，直接而更广泛地为基层所用，及时地为国民经济建设服务。

二、通用机数字制图系统

试以法国科学院斯特拉斯堡专题制图实验室的

CARTEL 系统为例。

1. 系统硬件

本数字制图系统利用法国科学院斯特拉斯堡计算中心的通用计算机 UNIVAC 1110、普通行式打印机，外加本松静电输出设备 Benson 9215、泰克公司 Tektronix 4691 图形彩色硬拷贝具和本松绘图仪 Benson 1220

2. 系统软件

系统软件是本系统的生命，依靠它能在上述通用的计算机及外围设备上实现数字制图各种功能。

系统软件是用 FORTRAN 语言编写的。

在计算机内是由美国标准代码 ASCII 码实现的。

CARTEL 软件包括：

① 管理文件软件：标准文件的建立文件；标准文件的管理（提取、缩小、组合）。

② 纠正软件：辐射纠正，几何纠正。

③ 分析软件：直方图制作，二维直方图，样品选择，样品处理。

④ 图像表示软件：单通道图像的表示，多通道图像的表示，Tektronix 彩色硬拷贝的表示。

⑤ 数据处理软件：局部算子，同质化，线性关系和组合。

⑥ 多变量分析软件：主因子分析，判别分析。

⑦ 图斑分析软件：粒状分析（围绕一个点的反差波动分析），背景分析（点块的反差数目的分析）。

3. 实际操作

利用上述系统软件便可在通用计算机上实现数字制图。

作者曾应用 CARTEL 软件完成了南京地区城市土地利用动态图像分析，获得理想的效果。其流程框图如下（图2-2）。

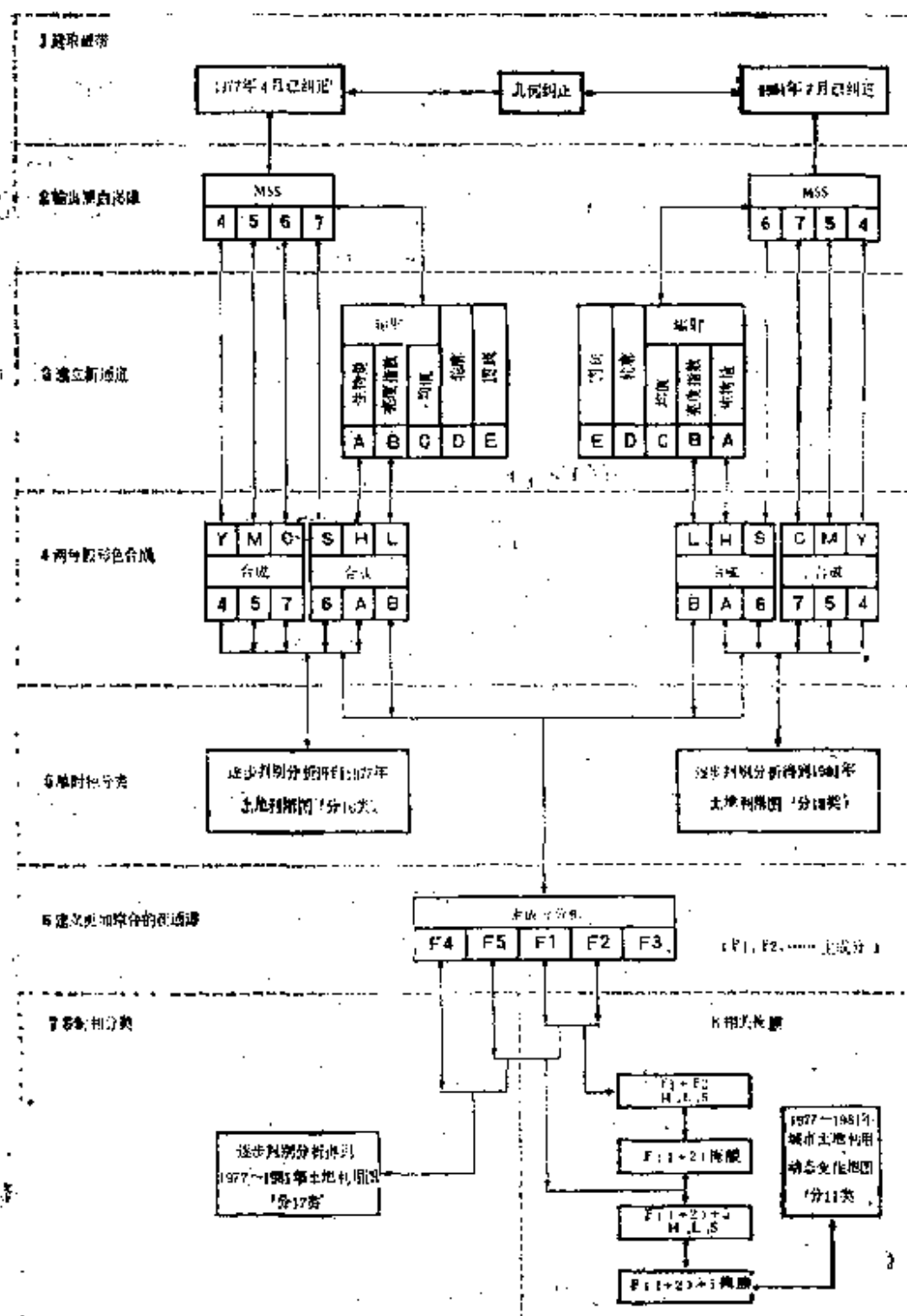


图 2-2

三、微机数字制图系统

使用微机进行空间信息的研究、显示和数字制图的愿望正在实现。这是由于三个因素的发展促成的：第一，微机有高分辨率的图像显示(如 1024×786)；其次，微机能有较大容量的信息存储器(如80兆)；此外，IBM PC系列微机及其它微机的计算能力普遍提高，以及价格的下降，致使广大用户很容易拥有微机，逐步地用它来进行数字制图工作。

目前，国内外有不少专家正在研制各种微机数字制图软件。较成熟的首推法国鲁昂大学微信息图型实验室研制成功并已经使用的 μ SAT微机遥感图像交互式处理软件。

μ SAT软件为地图使用者提供了微机(IBM AT或兼容机)遥感图像处理的可能性。它能提取、显示和进行交互式处理，彩色打印输出 512×512 像元的遥感图像。

基本的软件是交互式的(人机对话式的)。操作是用汇编语言写的最优化方式，形成系统并组合成操作菜单(图2-3)。主菜单中的LUT为“读表”。

应用程序可以不断地增加进去，用户能逐渐使它更加丰富。 μ SAT对日常用的操作只需很少的费用。 μ SAT的设计者还经常向所有卫星图像的用户询问需要包含和引进些什么程序。

利用 μ SAT软件同样可以实现遥感数字制图任务，只是其最大幅面仅包括 512×512 个像元，但本质上并不影响制图精度。

为此，大、中、小型通用机和微机，只要有软件，都可完成数字制图任务。

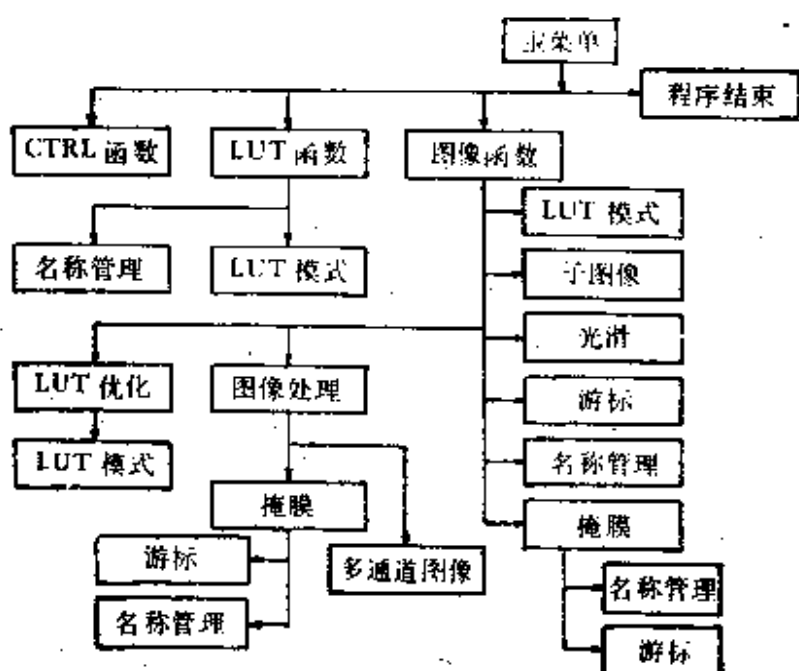


图 2-3 μ SAT 主菜单

第三章 数字准备

第一节 数字采集和 储存的两种格式

数字制图中，把各种信息转换成数字的工作称为数字采集。采集到的数据要储存到计算机内存或外存软盘之中，称数字储存。然后，才能进行数字制图的一系列工作。

数字采集和储存，目前存在着两个不同的格式，即矢量格式和栅网格式。

一、矢量格式

矢量格式把地图看成是线的集合，把每条线看成是缩得很小的连续矢量的集合。

矢量格式是直接读取和记录地图上点、线、面的一系列 xy 坐标值。在平面坐标体系中，点可以用一对 xy 坐标值表示；线可表示为一串点的 xy 坐标对；而面则为首尾点相同的一串点的 xy 坐标对。这种坐标对的数量很庞大，完整地表示一幅地图的矢量数据可能达到 100 万至 300 万个点的坐标对。

图 3-1 便是地图的矢量格式数字表示。在一个地图所在的平面坐标中， O 为坐标原点； OX 为 X 轴； OY 为 Y 轴。地图上的一个点 A ，由坐标 x_A, y_A 表示。地图上的一根线 BC ，由一串 $x_1, y_1; x_2, y_2; \dots x_n, y_n$ 坐标对表示。地图上的一块面 D ，则由首尾点相同 (D_1) 的一串 x_{D_1} ,

$y_{D_1}, x_{D_2}, y_{D_2}, \dots, x_{D_{n-1}}, y_{D_{n-1}}, x_{D_n}, y_{D_n}$ 的坐标对表示。

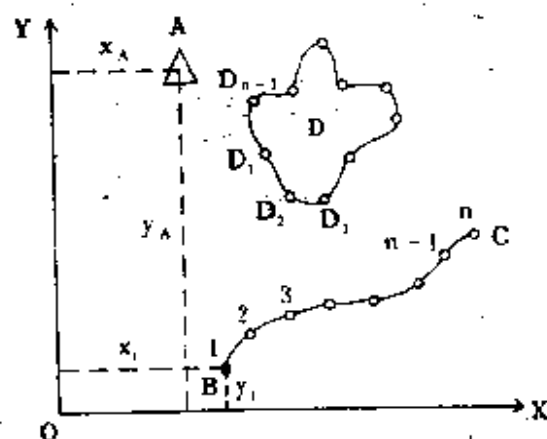


图 3-1 地图的数字表示（矢量格式）

二、栅网格式

栅网格（网格）式把地图看成是两维平面，这个表面被分划成很小很小尺寸的点要素矩阵，也即面状点的集合。

面状点也称像元，每个像元的边长小于 0.05mm，像元的位置可由相应的行、列数加以确定。因此地图图形的个体点状符号可以用其中心处的像元表示；线状地物符号用中心轴线的像元表示；面状符号则为其所覆盖的像元集合表示。

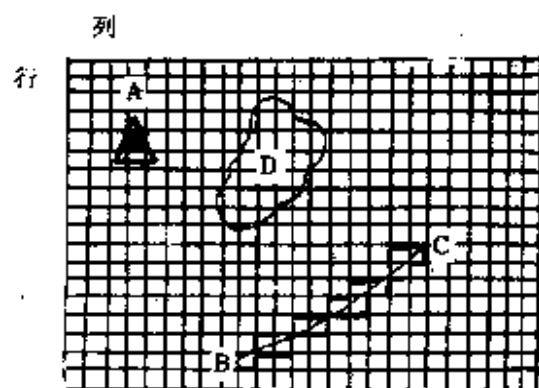


图 3-2 地图的数字表示（栅网格式）

图 3-2 便是地图的栅网格式数字表示。 A 点可用像元（5 行，4 列）表示；线条 BC 可用它通过的像元表示；面 D 可用它所覆盖的像元集合表示。

由于栅网格式数据能把地图分割为规则的按行和列排列的矩阵形式，各种地图图形可按行、列顺序记录其像元的值，通常可用二进制数的“1”表示有地图符号图形存在的像元，用“0”表示空白像元。一幅图的像元数可达几千万之多。

三、两种格式的互换

当然，上述两种格式不是绝对化的，它们之间是可以相互转换的。

由矢量格式转换成栅网格式比较简单。人们可以先制作一个栅网，确定每行、每列的步长（间距），然后将栅网套到矢量平面坐标上，地图上点、线、面的坐标对落在哪一个列像元里，就将这一像元的行列值代替这一坐标对，一对一地逐个替换过来，便将矢量式转换成栅网式了。

由栅网转换成矢量也不复杂。

当然，这两种格式不是绝对化的，它们之间是可以相互转换的。有些仪器就是按照两种格式来设计的，而且这种设计思想愈益成为一种趋势。此外还有一种软件，它能把一种格式转变成另一种格式。

对遥感信息而言，其本身由像元构成，已经是一种栅网格式。遥感信息之间的复合甚为容易，只要对准像元便可。由于 MSS 像元不是正方形，它必需先进行像元改正。由于 TM 和 SPOT 像元都是正方形，像元改正问题已很简单。至于非遥感信息（如行政界线）同遥感信息的复合，则需要将矢量格式转变为栅网格式。

第二节 卫星磁带记录方式

遥感信息无非是以磁带和底片两种形式提供的。磁带本身是以数字形式记录的。底片也能通过摄像装置，把光学灰阶信号转变为数字形式的记录。

目前，国内经常且大量使用的卫星磁带，无论是从美国、日本或泰国卫星地面接收站，还是从我国科学院空间中心地面站采购来的，大多是美国陆地卫星(Landsat)磁带。另外，法国地球资源观测实验卫星(即 SPOT 卫星)和我国的国土资源卫星也提供了良好的磁带。这些磁带都是计算机兼容磁带，英文名为 Computer Compatible tape，简称 CCT 磁带。

上述 CCT 磁带的记录密度一般有 800 BPI, 1600 BPI 和 6250 BPI 之分。BPI 为每英寸所记录的二进制位。1 英寸 = 2.54cm。常用的记录密度是 1600 BPI。

CCT 磁带记录的内容包括四个部分：

① 鉴别标识记录(ID)：它标明磁带所属卫星号、记录时间和图幅与帧数、磁带序号、扫描行数据记录长度、校正标志及多光谱数据方式等。

② 注记记录(AN)：注释基本参数，例如图像曝光时间、航向、图像中心、底点经纬度、太阳角、太阳方位角以及图像边框位置。

③ 图像数据记录(VD)：这是 CCT 磁带记录的主要数据内容，也是遥感数字制图主要的数据源泉。每盘带一般包含有 2340 个记录块，即 Landsat MSS CCT 磁带记录一帧景像的行数。

④ 图像注记带(SIAT): 主要记录图像经纬度坐标参数、卫星姿态参数、传感器性能参数以及处理命令参数等, 它们都是数字制图进行几何纠正时需要的基本参数。

以上四方面的内容在CCT磁带上均按一定的先后次序记录的。以陆地卫星磁带来说, 便有两种记录格式: 交叉式(BIL)和顺序式(BSQ)记录。

交叉式是分条带记录, 即四个通道的信息呈交叉式存储(见图 3-3)。

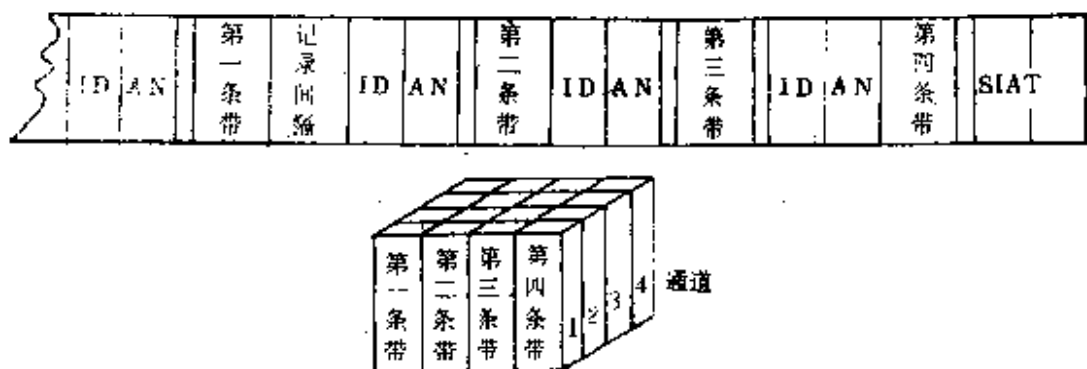


图 3-3 CCT磁带分带交叉记录格式示意图

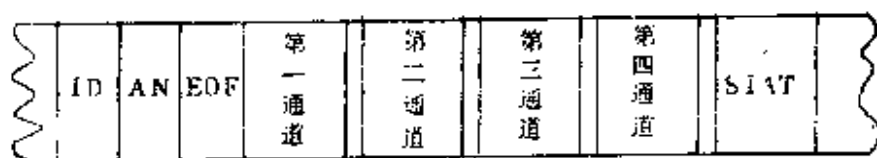


图 3-4 CCT磁带按波段顺序记录格式示意图

顺序式(BSQ)是分通道存储数据(见图 3-4)。

这两种记录格式在实际应用中各有特点。按分带交叉式对小面积范围图像及四个通道分析处理较方便。按通道顺序式则有利于图像分波段进行计算和处理。

当然, 用户在数字制图过程中, 还可以根据具体的要求

和图像处理及制图设备的性能自行组织格式。

顺便提及的是：记录数据的磁带通常还有 7 道和 9 道两种。在使用的 CCT 磁带中，多数是 9 道的。

第三节 标准文件的建立

一、标准文件

标准文件指数字制图的基本文件。遥感数字的标准文件自然是来源于卫星遥感磁带记录的数字，按照一定的制图目的，依规定的格式组织起来的文件。

标准文件可以是整幅卫星影像，也可以取影像中的一部分，也可以由若干影像的一部分拼接而成（如图 3-5）。

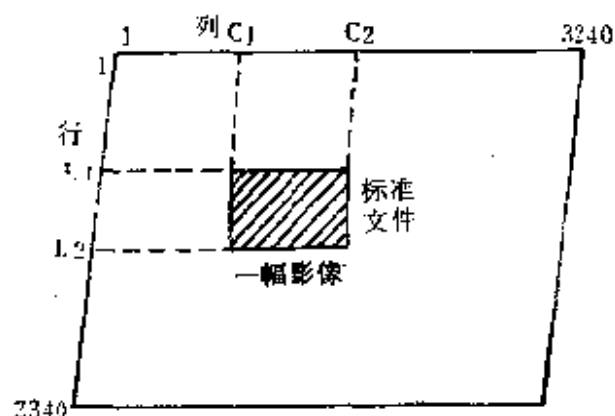


图 3-5 标准文件

人们常用的美国陆地卫星图像和法国 SPOT 卫星图像的基本特征见表 3-1 和表 3-2。

二、提取、缩小和组合

当标准文件已经建立，人们还可以提取出其中所需要的

美国 Landsat 图像基本特征

表 3-1

卫星序号	Landsat 1	Landsat 2	Landsat 3	Landsat 4
项目MSS				
发射日期	1972.7.23	1975.1.22	1978.3.5	1982.7.16
各通道的波长 (微米)	0.5~0.6 0.6~0.7 0.7~0.8 0.8~1.1	0.5~0.6 0.6~0.7 0.7~0.8 0.8~1.1	0.5~0.6 0.6~0.7 0.7~0.8 0.8~1.1 10.4~12.6	除 MSS 外, 还有TM 如下 0.42~0.52 0.52~0.60 0.63~0.69 0.76~0.90 1.55~1.75 2.08~2.35 10.40~12.50
分辨率(米)	79×56	79×56	79×56 热红外 240	30×30 热红外 120
一景最大行数	2340	2340	2340	6167 热外(1542)
一景最大列数	3240	3240	3240	6167 热外(1542)

法国 SPOT 图像基本特征

表 3-2

卫 星	发射日期	各通道的波长(微米)		分辨率(米)	
		全 色 片	多 光 谱	全 色 片	多光谱
SPOT 1	1987 年 2 月	0.51~0.73	0.50~0.59 0.61~0.68 0.79~0.89	10×10	20×20

一部分影像。即根据给定的制图区域的位置,找出它在整幅

标准文件中的起始行、终了行或行数；起始列、终了列或列数；以及行和列的增量(一般取1)。将该行列所规定的范围内的数字取出来,组成新的标准文件。这时通常是以一个一个通道来取更为方便,然后把几个通道再依次排列起来。

例如,我们为了研究南京,选用美国陆地卫星多光谱磁带南京幅的数据,建立了1977年4月(春季)和1981年7月(夏季)的两个标准文件。为了探讨南京城市的动态变化,选取南京城墙内外约 360×360 像元的区域作为城市动态制图区域。找出各自的起始行列数码。

1977年4月 966~1325行 1880~2239列

1981年7月 491~850行 1327~1686列

从而组成南京城市的两个新的标准文件。

有时人们只为了压缩数据,有时人们为了减小比例尺而压缩数据,可以对标准文件数字图像进行缩小处理。

缩小的方法很简单。一种办法是取一个像元代表二行二列(图3-6),对它们所组成的四个像元,简单地丢舍掉其它三个,便组成缩小的数字图像。另一种办法是对上述四个像元取其均值,以均值数字构成的一个新的像元代替原始的四个像元,也组成缩小的数字图像。图3-8是图3-7的缩小图像。

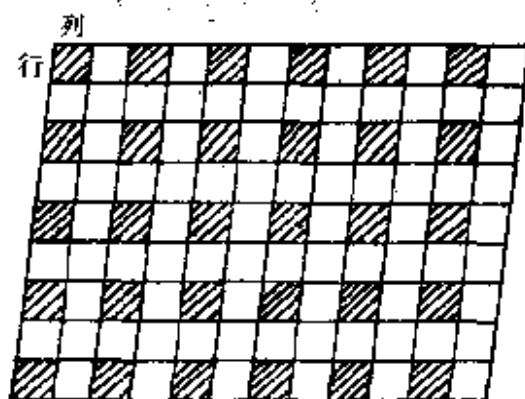


图 3-6

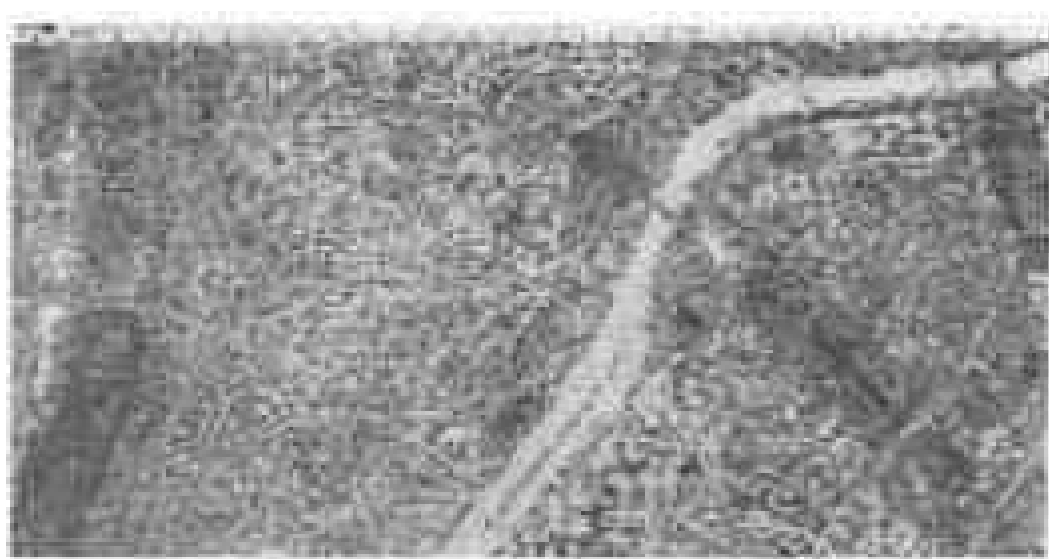


图 3-7

用各种方法组成的标准文件，还必须合理地编排到计算机内存中，或编排到外部设备的软盘上。这种合理编排的步骤称为组合，即标准文件的组合。

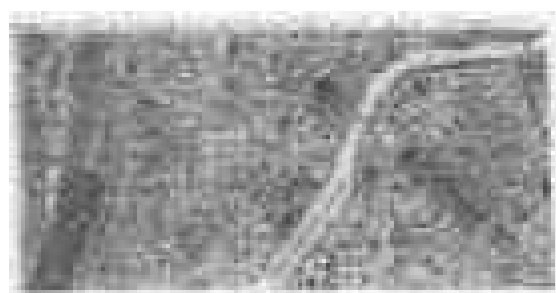


图 3-8

组合时通常要有一个过渡的介质（磁带或磁盘的一个区域），组合完成的标准文件，必须做好笔记，以免记忆错误致使调用时发生混乱。

经过标准文件的建立、提取、组合，我们已经准备好了“数字”。下面就可以进行数字直方图分析和黑白图像的显示。

第四节 直方图

当你建立了标准文件，获得一大堆数字。在遥感数字制图中，这些数字是每一个像元的辐射数值。

为了分析这一大堆数字本身的特点，找出数值与频率之间的关系，揭示数值空间分布的规律，必须制作直方图。

一、直方图的制作

直方图是针对某一个通道而言的。在平面上做一个直角坐标，该直角坐标的横坐标表示数值（像元的辐射值，从0至255），纵坐标表示频率。人们对某一个通道上所有的像元，按行列顺序进行辐射值的统计，并把它描绘到平面直角坐标上，便制成该通道的直方图。

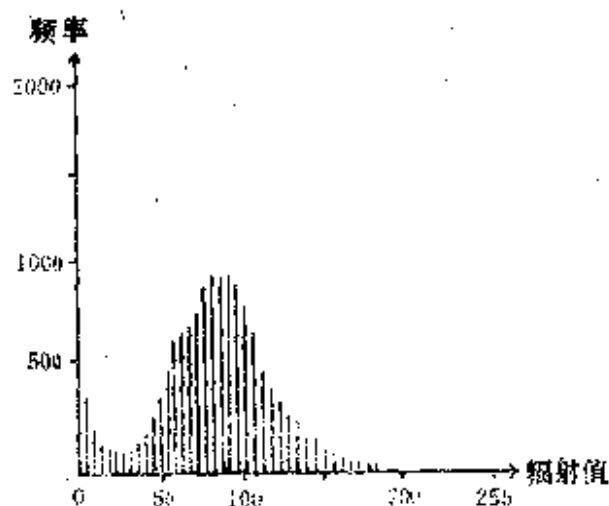


图 3-9 直方图

直方图可以显示在屏幕上，也可以打印出来。

在直方图上能分析出每幅图像的像元分布情况：辐射值

的变幅、最大辐射值、最小辐射值、规律性、中断性和模数。当前，卫星遥感图像的像元辐射值是以灰度 0 至 255，分 256 个数值来表示的。

图 3-10 和图 3-11 是南京城市 360×360 像元，1977 年 4 月和 1981 年 7 月 MSS 4, 5, 6, 7 的直方图。从直方图

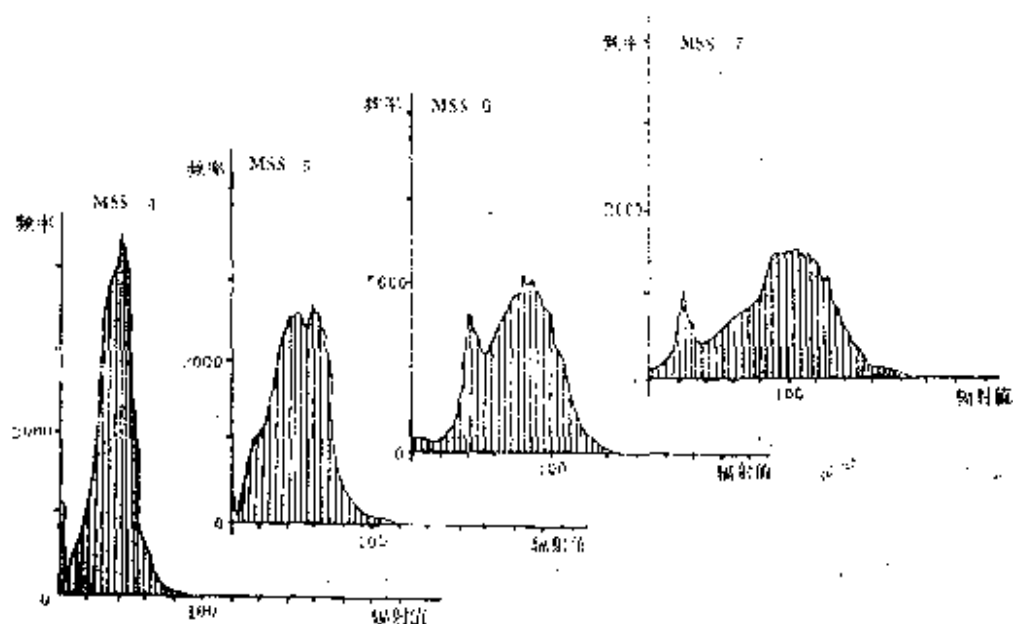


图 3-10 南京 1977 年图像直方图

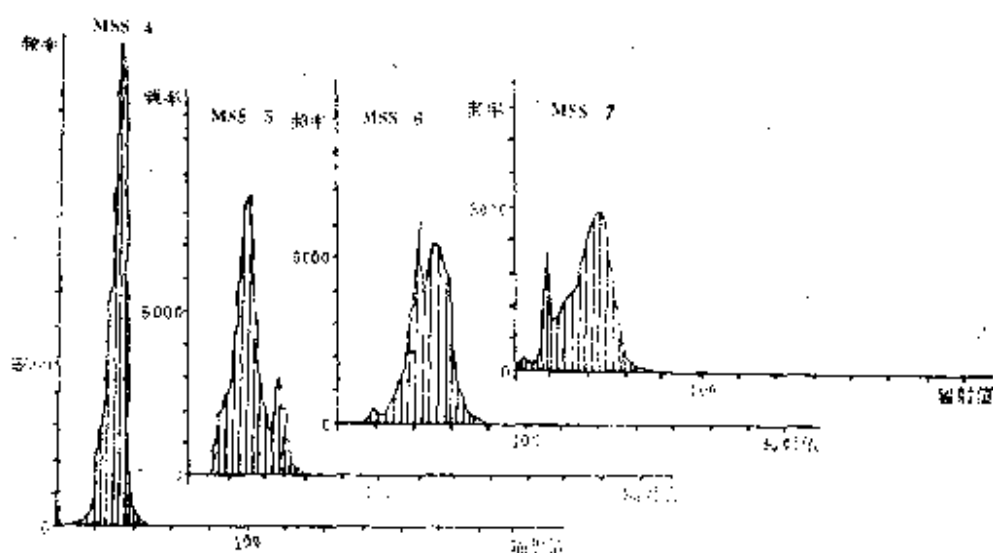


图 3-11 南京 1981 年图像直方图

的曲线变化可以将它们划分为如下等级。

1977 年 4 月	MSS 4	0, 15, 25, 31, 36, 44, 48, 53
	MSS 5	0, 21, 35, 42, 48, 55, 62, 68
	MSS 6	0, 34, 43, 56, 67, 76, 85,
		103
	MSS 7	0, 39, 68, 86, 97, 108, 119, 132
1981 年 7 月	MSS 4	0, 21, 25, 28, 31, 34, 37, 40
	MSS 5	0, 22, 26, 29, 32, 35, 38, 43
	MSS 6	0, 23, 38, 46, 49, 52, 60, 64
	MSS 7	0, 10, 20, 30, 36, 41, 48, 52

二、二维直方图

为了反映两个通道上像元辐射值频率的分布和相互关系，必须制作二维直方图。

我们先做一平面直角坐标，让横坐标表示第 1 通道的辐射值，纵坐标表示第 2 通道的辐射值。同一像元在两个通道上辐射值出现的频率，则被表示在纵横坐标的交叉点上。例如：第 1 行第 1 列像元在通道 1 上的辐射值为 50，在通道 2 上的辐射值为 30，那么我们便在横坐标 50 和纵坐标 30 的交叉点上记 1。第 1 行第 2 列像元在通道 1 和通道 2 上的辐射值分别为 70 和 100，便在横坐标 70 和纵坐标 100 的交叉点上记 1。依此类推。假如在 50 和 30 的交叉点上又出现一次，则把 1 累加成 2，依此类推(图 3-12)。

我们把频率分成 10 级，这 10 个等级可以用疏密、粗细、灰黑的黑白符号表示，也可以用由浅到深的颜色表示。同样可以显示到屏幕上，或打印到纸张上。

二维直方图能分析两个通道像元分布的特点，还能探讨

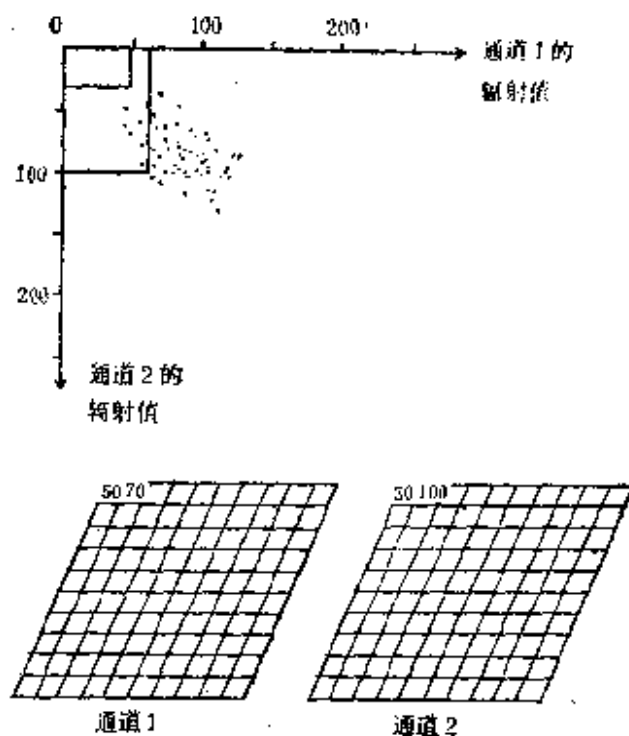


图3-12 二维直方图

两个通道的相互关系。

图 3-13 是法国斯特拉斯堡 SPOT 卫星第 2 和第 3 通道的二维直方图。从二维直方图可以看出：像元辐射值在这两个通道上分布均匀，主要集中在灰度值 100 附近。粗略划分可以勾绘出 5 或 6 个级别，从而为以后的专题制图提供了依据。

总而言之，无论一维直方图还是二维直方图，它们都是黑白图像输出的依据，也是而后专题制图分类分级的依据。

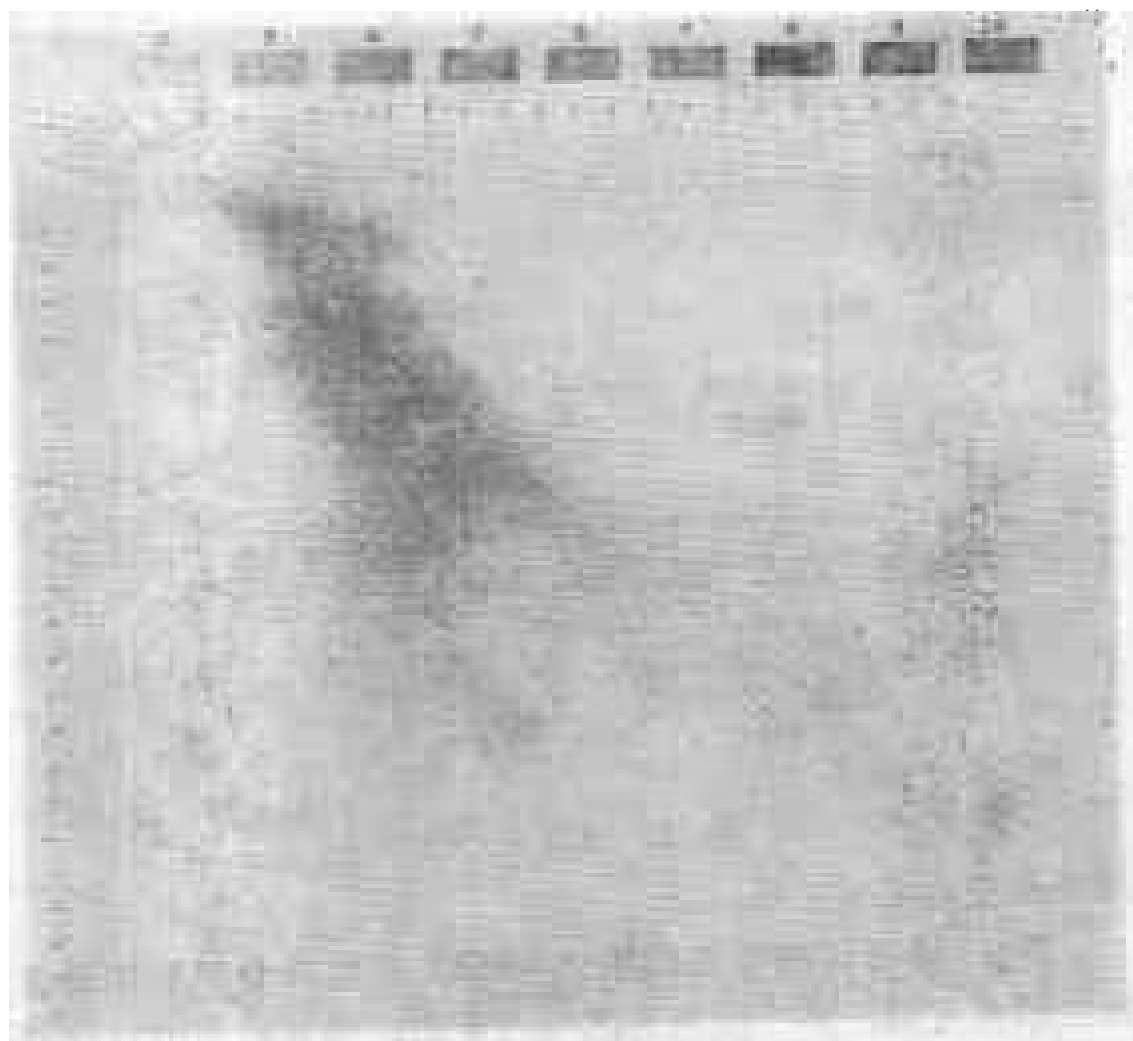


图 3-13 斯特拉斯堡二维直方图

第五节 黑白图像的输出

一、黑白图像显示过程

制作了直方图，便能反映像元辐射值的分布情况。但是，像元辐射值有 256 个等级，绝不能分 256 个等级以黑白和彩色将图像显示出来。一般只能分成七、八个等级，至多十来等级，用黑白点子或网纹将图像显示出来。这样，人

眼才能辨识。

因此，黑白图像显示过程是从直方图入手到点子、网纹显示结束。在黑白图像显示过程中，人们首先分析直方图上辐射最大值、最小值、模数和直方分布曲线的形状。接着，按直方图分布曲线，将辐射值划分成几个等级。例如，在我们提供的直方图分级程序中，能机械地划分为 24 个等级，它能被 2、3、4、6 整除，以便选择编图者需要的级别。在这种机械分级的基础上，编图者应根据直方分布曲线形状（如转折点）加以调整。通常，直方分布曲线呈正态分布，为此，两头应该取宽一些，中间应该取窄一些。特别要注意的是，头上 0 点一定要取上，否则图形出现空白。至于尾部，那是不要紧的。确定了分级，便可将级别数（1，2，3……N）替换像元辐射值（0 至 255）。最后，再用黑白疏密程度不一的点和网纹将级别表示出来。再加上图像名称、图例、刻划、日期等整饰和注记，便得到完整的图像。

必须注意，Landsat 1 至 3 号 MSS 图像地面分辨率是 78.4×56 米，一个像元在磁带上是一个数值，而这个数值输出时如果用方点，图像就会变形。为此，它的输出不能用方点，而采用 7 行 5 列的小矩形点。当然，如果已经经过纵横比的纠正，那么可以用方点打印。

图 3-14 和图 3-15 就是 1977 年 4 月南京附近 360×360 像元，MSS 6 和 MSS 7 通道，根据其直方图曲线，按下列数字分成 8 级：

MSS 6 0, 34, 43, 56, 67, 76, 85, 103

MSS 7 0, 39, 68, 86, 97, 108, 119, 132

分别替换成 1、2、3、4、5、6、7、8 八个数字，再代入由黑白点线、疏密不均的符号组成的黑白图像。

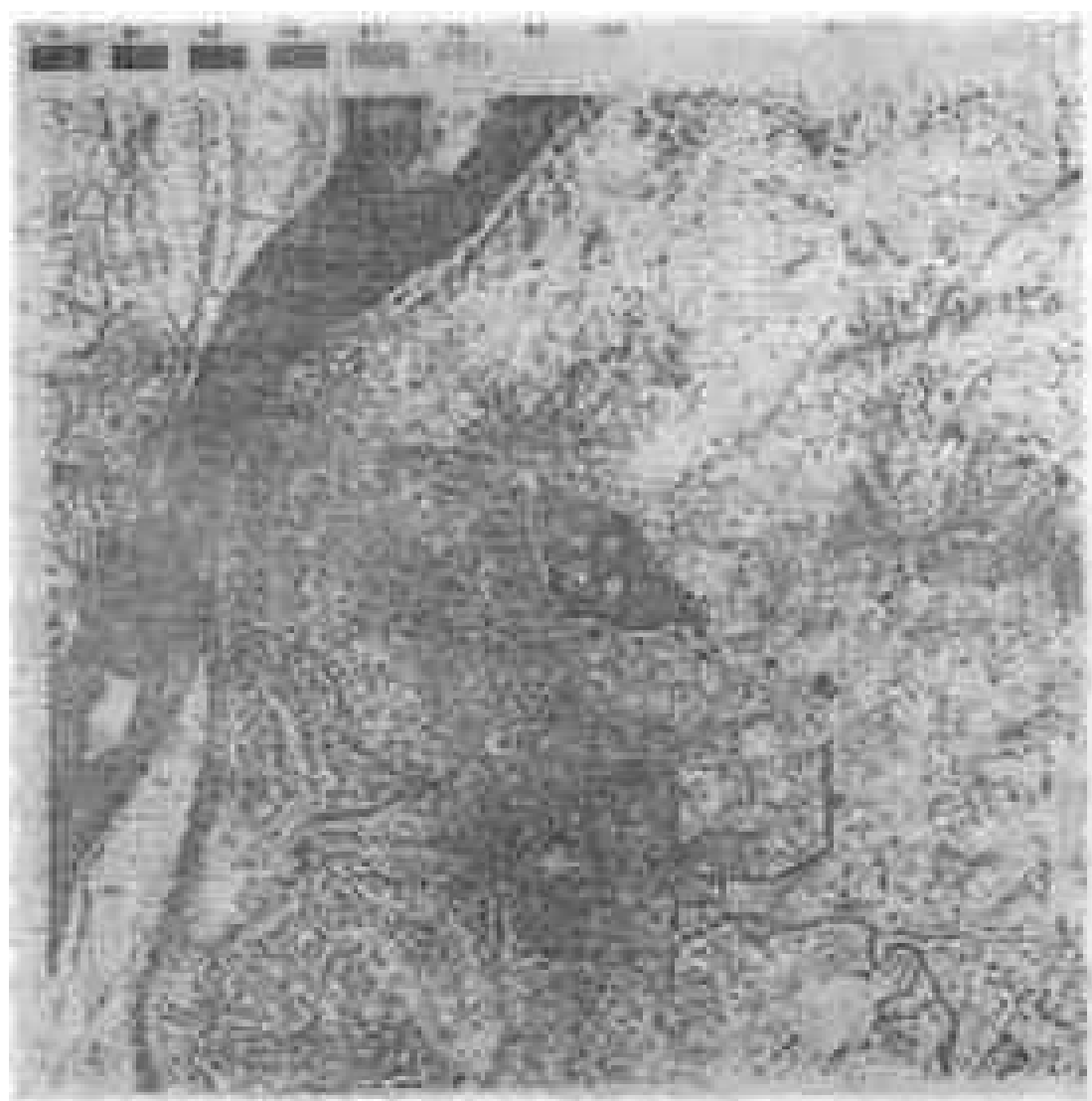


图 3-14 南京 1977 年 4 月的 MSS 6 图像

二、黑白图像输出的意义

黑白图像输出是数字制图的一个重要步骤，它具有多种意义。

首先，黑白图像使数字信息变成图像信息，便于人眼直观感受。在黑白图像上，人们可以分析数字分布情况，它是地物波谱反射辐射记录的逆过程，即由灰度（数字）恢复成



图 3-15 南京 1977 年 4 月的 MSS 7 图像

图像，也即再现所扫描的地物。人眼感受地物，人脑便理解和识别地物。从图3-14和3-15上人们可以看到最黑的一级是静止的水面(玄武湖及其所含岛屿、莫愁湖、水库、池塘等)，次级是从西南流向东北的长江、继而是丘陵山地、市区街道、农田、工地等等。

其次，黑白图像上每一个像元的位置均能准确地读出它位于哪一行哪一列，这样十分便于选择样区，(样点或样品)，可以数出每个样区包含哪几行、哪几列的几个像元。

再则,人们可以将数字制图的中间产品用黑白图像输出,检查流程结果、鉴定结果是否和预想的一致。从而改变阈值和参数,使数字制图过程更科学、更合理。

最后,在输出彩色成图前,最好先输出黑白图,获得初步分析结果,拟定彩色方案,以使彩色成图具有良好的效果。这样做也可以节省数字制图输出经费。

可以认为,制作黑白图像是极为重要的。

第四章 纠正和匹配

第一节 数字图像误差的根源

遥感数字图像是地球资源卫星在高空中扫描或摄影后传输回地面接收站的信息，因此会产生各种误差。

误差的产生主要是由三方面的因素引起的：大气传输；传感器系统的传输变换；运载系统的运动等。

误差产生后主要表现为：使所获得的图像发生了强度、频率及空间的退化现象，出现对比度下降、边缘模糊，几何形态畸变等。

大气传输误差：卫星遥感，从地面辐射的波谱能量经大气传输至传感器的输入端，大气对辐射的能量产生了散射、吸收作用，构成误差。即每一像元灰度值不仅包含有本点所对应的地面辐射能量信息，同时还含有邻近点的信息。这就需要进行辐射纠正。

传感器系统和运载系统误差：传感器往往由于其分光扫描系统、光电转换、数字化等过程会产生误差。运载器会出现姿态、速度、高度等偏离正常状态的空间位移。传感器扫描镜速度随时间的变化、扫描期间地球自转等原因，都会造成图像的像元空间位置发生偏移，图像出现几何变形。这就需要进行几何纠正。

此外，还有一种非系统性的，偶然的或随机性的误差。例如，少扫描了几行，其处掉了一个像元点，磁带上的污

点……，这些误差称之为噪音，它比较容易辨别。这就需要进行噪音纠正。

第二节 噪音纠正和辐射纠正

噪音纠正和辐射纠正通常在磁带的粗加工阶段进行并完成。

噪音纠正比较简单易行。例如发现某图像上少了一行，这一行的灰度值全部为零，那么我们可以把它删除，也可以用它相邻一行像元的灰度值来代替它，也可以用它相邻二行各像元平均灰度值来代替它。又如发现某像元灰度值显然同四周的灰度值不一致、不协调，已确认是噪音误差，那就可以用其相邻像元的任意一点的灰度值代替之，或者用相邻 4 个像元（或者相邻 8 个像元）的灰度值来代替之。如此等等。

辐射纠正主要是消除大气传输误差和传感器传输误差。目前深入研究其机理和纠正方法的论文不少，我们可以大致归纳出如下的一个通用办法。

$$f(x, y) \rightarrow \boxed{h(x, y)} \xrightarrow{n(x, y)} \boxed{\Sigma} \rightarrow g(x, y)$$

遥感图像的复原是根据上述通用模型进行的， $f(x, y)$ 是地物向上反射的能量函数， $h(x, y)$ 是退化函数，对于线性系统，退化函数 $h(x, y)$ 不随时间而变，因而可以采用代数运算方法复原；当退化函数 $h(x, y)$ 随机变化时，可采用随机估计技术复原。 $n(x, y)$ 为加法性噪音。 $g(x, y)$ 是复原的结果。

采用代数方法复原的公式：

$$g(x,y) = f(x,y) * h(x,y) + n(x,y)$$

辐射纠正具体做法比较复杂，通常卫星地面站接收信息后，在进行图像预处理粗加工时就已将辐射纠正完成。用户往往喜欢购买这样的磁带，以便使图像处理一开始就从几何纠正做起。

第三节 几何纠正

一、几何纠正的原理

数字图像的几何关系是很复杂的。但是归纳起来存在两种畸变：一种是非系统性畸变，这是由于卫星姿态、高度、速度，地球自转、曲率及地形起伏等外部因素产生的随机变形；另一种是因卫星光学系统、扫描器结构及其速度的变化而引起的系统性畸变。

本书目的是数字制图，不去深入探讨几何畸变的本身；而是侧重于了解数字图像畸变的因果关系，以便建立几何纠正的变换模式，包括投影变换和像元纵横比的改正。

关于变换，目前有两种办法，一是光学投影纠正法，另一是计算机数值分析变换法。计算机遥感数字制图则采用数值分析变换法。

二、几何纠正方法和匹配

计算机数值变换法是实现数字图像投影自动变换，实现几何纠正的一个重要的方法。本方法是在已知原图投影公式及常数的前提下，通过反算求解原投影点地理坐标，并代入新投影公式，从而建立两投影间的平面直角坐标关系式；另

外, 运用多项式数值逼近, 以建立图像和地图投影间的关系, 实现投影变换。

某一般表达式为:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(u, v) \\ y &= f_2(u, v) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

将 (1) 式展开得:

$$\left. \begin{aligned} x &= f_1(u, v) = a_{00} + a_{10}u + a_{01}v + a_{20}u^2 + a_{11}uv + a_{02}v^2 + a_{30}u^3 + a_{21}u^2v + a_{12}uv^2 + a_{03}v^3 + \dots = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij}u^i v^j \\ y &= f_2(u, v) = b_{00} + b_{10}u + b_{01}v + b_{20}u^2 + b_{11}uv + b_{02}v^2 + b_{30}u^3 + b_{21}u^2v + b_{12}uv^2 + b_{03}v^3 + \dots = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n b_{ij}u^i v^j \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中: x 、 y 为新投影点的直角坐标;

u 、 v 是原图像投影点的直角坐标;

a_{ij} 、 b_{ij} 为投影变换系数。

数字图像的投影变换可以通过直接求解法和最小二乘法及降维降阶逼近法等方法实现。

图 4-1 表示了投影变换过程。

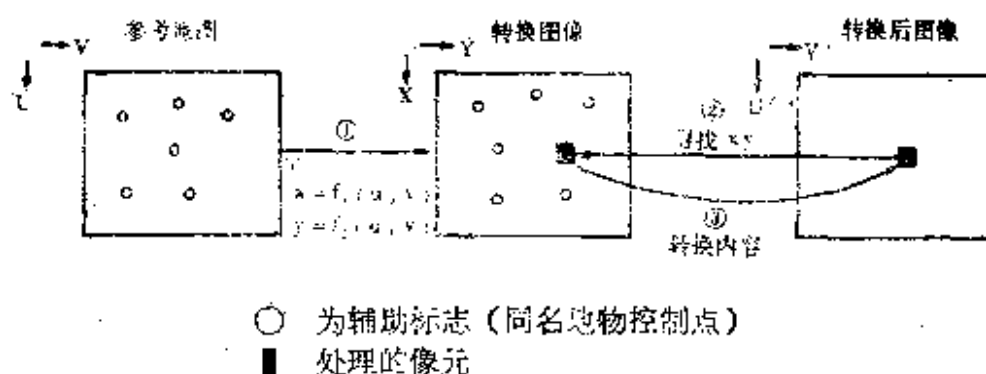


图 4-1 投影变换过程

应该找到一张中比例尺 (如 1:20 万) 或大比例尺 (如

1:10 万或 1:5 万) 的精确地形图或地理底图, 作为参考地图。

参考地图除了具备有精确的数学精度外, 还应该具有较新的现势性和地物表示的清晰易读性, 以便毫无困难地在图上能找到足够数量、分布均匀的地面控制点。并且精确地量算出每个地面控制点的 u 、 v 值, 量算误差要求小于一个像元的精度, 以 TM 信息而言, 即小于 30 米。以 1:20 万地图计, 地面控制点的量算误差要小于 0.15 毫米; 以 1:10 万地图计, 地面控制点的量算误差要小于 0.3 毫米。它们几乎超过或接近线划的误差, 可见参考地图对地物位置精度要求是很严格的。

和参考地图相对照的是需要进行几何纠正的遥感图像, 我们称之为转换图像。在转换图像上必须找到与参考地图同名的地面控制点, 精确到一个像元。并量算出 x 、 y 值, 即各个同名地面控制点所在像元所处的行数和列数。

每一对同名地面控制点在参考地图上的 u 、 v 值和转换图像上的 x 、 y 值一一对应, 组成与地面控制点点数同样数目的方程式, 见图 4-1 上的①过程。这样, 便可求出系数 a_{ij} 和 b_{ij} , 也同时确定了 u 、 v 的次数, 如二次方程、三次方程等。

此时, 便完成了图 4-1②寻找真正的 x 、 y 之过程, 进而实现③转换内容, 转换后图像获得 u' 、 v' 。最后依 a_{ij} 、 b_{ij} 系数和 u' 、 v' 数值对转换图像的每一个像元逐一调整和转换, 即完成转换后图像。这个转换后图像已经具备同参考地图一样的数学精度和地图投影。宣告几何纠正完成。

请注意, 地面控制点在图像纠正处理时, 有人称之为辅助标志。

多项式的求解应在地图和图像上选择与多项式次数相应的地面控制点。多项式阶次与控制点个数的关系式为：

$$m = (n + 1)(n + 2)/2$$

其中： m 为地面控制点个数；

n 为多项式阶次。

地面控制点选择是关系到纠正精度的关键，选点时必须注意：

①辅助标志要清晰和稳定，在参考地图和图像上都能很容易找到，特别是在图像上要求能明确指出是哪一个像元，并注意标出同名地物点的序号。

②所选辅助标志点在图面上配置应尽量能均匀分布，预选点数可稍多于所需控制点数。假如那一部分的点偏多，则缺少点的部分精度很差。

③点的量测要求十分精确，地图上要计量到零点几毫米，图像上要计量到像元。

选点并不容易，有时地图上找不到，有时图像上找不到，有时又很难一一对应。然而，只要人们认真操作，经过上述计算后，误差会小于一个像元，应该能达到半个像元的误差。

人们量出控制点的直角坐标后就可以代入（2）式，解算出 x 、 y 的若干方程组，从而得到变换系数 a_{ij} 和 b_{ij} 。这样，原图像经过数值变换获得了新图像点，构成了制图区内的新纠正图像，最后将其结果记录于磁带，获得所需投影的图像。

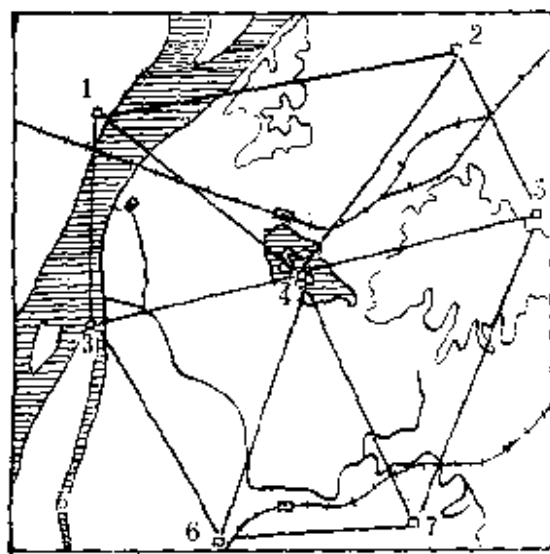
至于匹配，其原理和方法与几何纠正的原理和方法一样。先选择一种图像，它具有较高的精度，并且已经经过几何纠正，作为参考图像。将需要配匹上去的图像，作为转换

图像。同样选同名地物点作为辅助标志，精度、点数要求也同几何纠正的要求一样，然后代入几何纠正多项式求解，得到变换系数，再在转换图像上按行列依次把所有像元进行变换，得到新的图像，这个新图像上的所有像元都一一对应地同参考图像上的像元相匹配。

三、应用实例

当我们得到1977年4月的图像，它的几何纠正是在法国国家地理院完成的。而1981年7月的图像，它的几何纠正是在中国北京完成的。它们的像元相互不匹配。

为此，我们取1977年图像作为参考图像，1981年图像作为转换图像。依上述几何纠正公式，在这两幅图像上同时选取7个同名地物点作为纠正和匹配的控制点（见图4-2）。并计数出各自的行数和列数（见图4-2的表格），做二阶纠正。由于选择的7个同名地物点在图像上分布得很均匀，点位也比较准确，量算的精度很高，误差小于一个像元。最后，使两年的图像完全匹配。



点号	位 置	1981年图像 (转换图像)		1977年图像 (参考图像)	
		x	y	u	v
		行数	列数	行数	列数
1	长江北岸堤上	82	71	70	58
2	尧化门附近工地	46	269	28	297
3	江心洲北端堤	198	70	209	55
4	玄武湖两岛间小桥	173	182	179	190
5	黄马青水库堤坝	138	310	137	348
6	雨花台西南铁路	319	141	356	140
7	南京飞机场	309	245	344	267

图 4-2 地面控制点分布图

第五章 假彩色合成

第一节 假彩色合成的意义

遥感解译和数字制图必须显示图像。图像由像元的排列组成。像元是地物对太阳光谱反射、辐射的数值记录的单元。这些数值由 256 个灰度级 (0~255) 构成。

彩色合成是一种增强方法。它可以用光学方法,也可以用电子计算机数字制图方法来实现。光学方法就是在不同通道(光谱段)的黑白胶片上配以相应的不同颜色的滤光片,把相应的图像很好地重合起来进行合成而得到的。同理计算机方法就是借用各种不同颜色分别赋给不同通道,以颜色来代替灰度,并且组合起来显示出合成图像。

常用的假彩色合成是黄、品、青三色合成。本书特意介绍一种新的方法,称 HLS 假彩色合成。

第二节 黄、品、青假彩色合成

黄、品、青假彩色合成是取三个通道(光谱段),如 MSS 4, 5, 7, 分别赋予黄、品、青三色,其合成结果可用三维直角坐标表示:设 X 轴代表通道 1, 赋黄色,不同灰度值由深浅不同的黄色表示;Y 轴代表波段 2, 赋品红色,不同灰度值由深浅不同的品红色表示;Z 轴代表通道 3, 赋青色,不同灰度值由深浅不同的青色表示。在坐标的任一位置

上均可找到由黄、品、青三色构成的某种彩色。这是人们惯用的假彩色合成法。

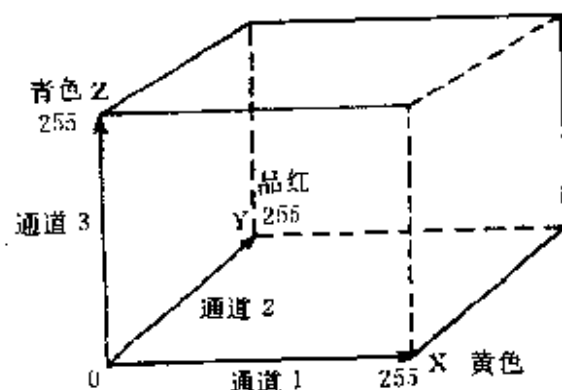


图 5-1 黄品青三维直角坐标

在法国国家地理院，我们利用 TRIAS 系统对南京幅 Landsat MSS 图像进行处理，以黄、品、青三色分别代入 MSS 4，MSS 5 和 MSS 7，构成假彩色合成图像。

在这个图像上，长江等流动水面呈浅蓝色；玄武湖等平静水面呈深蓝色；森林、麦地、芦苇、果园等植被呈红色；休闲水稻田和秧田呈淡蓝色；城市街区呈灰蓝色。因此，分类识别时，水面和天然植被可以分清，只是街区、水稻田和平静水面容易混淆。

第三节 HLS 假彩色合成

HLS 是英文 Hue Luminance Saturation 三个词的第一个字母的缩写组合。H 是色相，L 是明度，S 是饱和度。

以 HLS 组合的假彩色合成图像不同于上一节叙述的黄、品、青组合的假彩色合成图像。由于 HLS 彩色合成图像接

近于类型图，可以进行初步分类，所以为遥感信息的解译和数字制图提供了一种良好手段。

一、原理

H是光线属性，它能区分光的颜色，如红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫。L是光源强度，如明亮的浅蓝，暗黑的深蓝。S是光线接近标准色的程度。如青蓝、淡而柔和的蓝色。其合成可用另一种三维坐标表示(图5-2)：第一坐标H，是16等分的圆盘，分别表示由红至紫逐渐变化的颜色；第二坐标L，橄榄形，数值从下往上也分16等分，明度逐渐加大，下端尖底的明度为零，呈黑色，中间明度为8，上端尖顶的明度为16，呈白色；第三坐标S，从圆心沿半径向圆周逐渐加大，也分16等分，圆心S为零，各色别之间几乎没有区别，在圆周上S为16，各色别之间的差别最大。

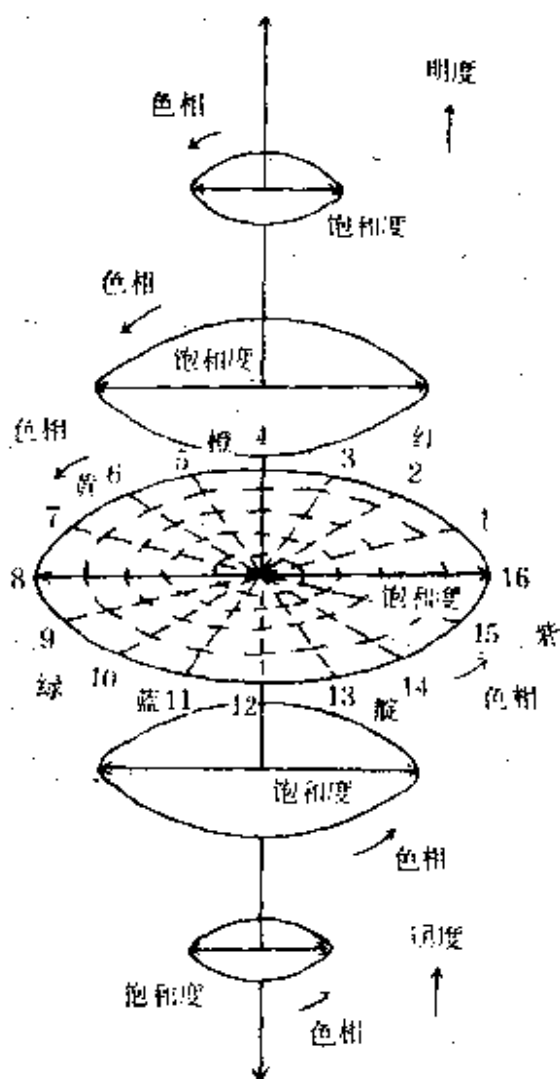


图 5-2 HLS三维坐标

HLS合成也可用来反映多通道数据。例如，把通道1

代入 H, 通道 1 上不同灰度分成若干级以 0 至 16 数字表示, 不同灰度就变成由红至紫的不同颜色反映出来的图像。把通道 2 代入 L, 其上不同灰度分成若干级, 以颜色的明度同通道 1 合成。把通道 3 代入 S, 其上不同灰度分成若干级, 从饱和度方面同通道 1 和通道 2 合成。

二、具体做法

仍以 1977 年 4 月南京幅 Landsat MSS 三个通道为例。首先将三个通道的灰度进行统计, 输出直方图, 能明显地看出各通道灰度特征值:

通道 1 0, 93, 129, 141, 153, 159, 168, 183

通道 2 0, 25, 47, 54, 64, 71, 84, 92

通道 3 0, 34, 43, 56, 67, 76, 85, 103

并以此输出黑白图像。

将通道 1 代入 H, 它在合成后的图像中将起着主要的作用。通道 1 灰度从 0 到 204 划成 16 分将显示出各种颜色。我们粗略地参照黑白图像, 确定它灰度特征值应当依次代入什么颜色。0 代入 13 将呈蓝色, 141 代入 4 将呈橙色, 作为街区的大界线; 153 代入 9 将呈绿色, 作为植被的大界线。最后, 通道 1 取下列值代入 H: /3, 0/0, 115/1, 129/2, 135/4, 141/7, 149/8, 153/9, 159/10, 168/11, 183/12, 204/*。

通道 2, 只是从明度上对通道 1 进行补充。依其直方图和黑白图像, 取下列值代入 L: /6, 0/8, 25/10, 54/13, 71/15, 92/。

* 即/HLS 级别数, 某个通道像元的灰度值/。

通道 3 取 $/16, 1/$, 即取饱和度最大, 使各颜色区分最鲜明。

在上述 HLS 彩色合成的图像上, 长江等流动的水面呈蓝色; 玄武湖等平静水面呈深蓝色; 森林、麦地呈淡绿色; 水稻田呈黄绿色; 而街区则呈紫红色。根据它们, 很容易区分地物。

第四节 两种假彩色合成的比较

一、HLS 图像具有分类特点

同黄、品、青假彩色合成相比, HLS 图像具有初步分类尝试的特点。

黄、品、青假彩色合成, 一般地说三个通道在三维直角坐标上表示的机会是均等的, 但是, 这种图像还不是类型图, 不能直接用于分类和数字制图。

对于 HLS 假彩色合成来说, 三个通道的作用是不等的。代入 H 的通道起主导作用, 代入 L 和 S 的波段只是起补充作用。因此, 较适用于以某一通道为主, 其他通道为辅的假彩色合成。例如, 为解译南京土地利用分布情况, 在图像处理时建立了一些新的通道。其中, 生物量通道*能较好地反映植物分布, 成为解译时的主要资料。亮度指数通道*能较好地反映岩石、土壤的亮度分布, 成为解译的辅助资料。以生物量通道代入 H, 以亮度指数通道代入 L, 以 MSS 6 通道代入 S。假彩色合成图像的彩色主要由代入 H 的生物量通道的灰度等级构成。而亮度指数和 MSS 6 通道只是根据生物量

* 生物量通道, 亮度指数通道等新通道的定义和建立见本书第六章。

通道划分类型的补充。所以它能清晰区分街区和植物的界线,反映街区内部和不同植物的差别。因此,这种图像接近于类型图,是分类数字制图的初步尝试。

二、HLS 图像具有分级特点

同密度分割相比,HLS 图像具有交叉分级的特点。

密度分割法是对单一通道的灰度进行分割,对分割后的每一级赋予一种色,为了使区分更为明显,一般多采用跳跃式色相。

HLS假彩色合成中的H,颇象密度分割,只是H是对某一通道进行密度分割,色相是渐变的。同密度分割的本质区别是,H分割后再由L和S进行补充。注意,假设L或S取16,那么等于H分割后不起补充作用。

HLS假彩色合成是将H分割后的等级,再由L和S细分,实质上是两或三个波段的交叉分级,所以得到的级数多,可塑性大。

笔者在法国科学院斯特拉斯堡专题地图实验室借助Univac 1110 计算机和 Tektronix 4691 彩色硬拷贝机进行了南京、雅典、清迈和斯特拉斯堡的陆地卫星和 SPOT 卫星多光谱数据的 HLS 彩色合成,都取得了良好的效果。

三、几点讨论

1. 由于HLS在分级时可塑性很大,尤其代入H的通道灰度值决定合成图像的色相构成,因而在人机交互系统上可根据代入H通道的灰度值的空间分布选择色相界线。

2. 由于HLS代入的三个通道有交叉分级功能,故可利用交叉分级做计算机相关掩膜。

3. HLS 假彩色合成要借助计算机图像处理系统（包括彩色输出设备），并由一套软件支持。

HLS 假彩色合成在欧、美、加拿大已显示其优点，我国应引起重视。

第六章 新通道的建立和应用

第一节 新通道建立的意义

一、新通道的定义和意义

众所周知，对于卫星遥感图像处理和机助制图而言，目前可资利用的通道（波段）是很有限的。例如 Landsat 1, 2, 3号地球资源卫星只有多光谱MSS 4, MSS 5, MSS 6, MSS 7四个通道。Landsat 4号地球资源卫星TM只有七个通道。法国的SPOT卫星也只有C1, C2, C3三个多光谱通道和一个全色片通道可用。这样，就显得信息量不够充足。

况且，这些通道中，有的质量还不好，例如 MSS 4和C1往往有较大的噪音干扰，其上留有明显的探测器扫描痕迹，尽管经过噪音纠正，依然难以消除，这就给人们带来了更多的困难。

这些直接可以利用的通道，我们称之为原始通道。原始通道信息是地物对太阳光的反射和辐射数值的记录，以 255 个灰度等级描述。

对于应用专家来讲，遥感图像的解译不仅局限于分析每个像元的灰度，以及由它们的辐射数值的差异来观察地物，而且还要研究邻近像元的排列状况，从而得到形态轮廓和图斑界线来识别地物。显然，对于后者原始通道是不能胜任的。

种种理由都表明：为了更好地进行图像处理，正确地解

译，客观且合理地分类制图，十分有必要在原始通道的基础上建立新通道。

新通道是由原始通道经过一定的数学演算，借助于算子造就成的。它可以是简单的线性关系，也可以是较复杂的数理统计关系。本书将详细地介绍建立新通道的各种方法和程序。

新通道的建立和应用，不仅仅是一种扩展信息源泉的方法，而且是数字制图的重要内容之一。

二、新通道的种类

在遥感图像里，至少有四种组成，相应地可以构成四种新通道。

1. 辐射组成

它同像元所包含的反射值有关，类似于地图的“负载”。

美国陆地资源卫星多光谱通道MSS 4, MSS 5, MSS 6, MSS 7便是辐射组成的原始通道。

求解各个原始通道的均值、差值、比值、指数、对数等等便可得到辐射新通道，辐射新通道往往能够为我们提供某一专题内容，例如对分析植被十分有益的信息。

2. 轮廓组成

它同表面反射变化的不连续性有关。这些不连续的线条常常构成以它为边界的地理形状，类似于地图的“轮廓”界线。

微分算子之卷积给我们提供了轮廓新通道。也就是它能够描绘出一些容器的几何形状。

3. 图斑组成

它同相邻像元的形态有关，是同这些邻族的排列相一致

的。这种排列可能是偶然的，单一形状的，周期性的，细粒状的，类似于地图的“图斑”内容。它表明了图斑也能够用形态学的统计来表达。

4. 网纹组成

它同已经或未经几何纠正的行与列的记录规格有关，类似于地图的“网纹”。

一些局部反差计数算子给我们提供了图斑新通道。

第二节 新通道的建立

新通道是依靠原始通道的信息建立的。原始通道即一景卫星遥感图像拥有庞大的信息量。例如一景Landsat MSS或TM图像，就有 2340×3240 个像元，约计 7500 万个像元。假如人们取 512×512 个像元进行数字制图处理的话，也还有 26 万多个像元。因此任何一种新通道的建立都必须借助于电子计算机才能方便地进行。根据新通道的含义、采用的算子和计算程序，本书介绍几种最常用的方法。

一、借助于线性组合程序建立辐射新通道

这种程序按照我们确定的线性组合，对每一个像元的多光谱数据逐个地进行处理，计算出一个新的数值（从 0 至 255），便建成了辐射新通道。例如：

（1）差值 = 通道 A - 通道 B

例如 1977 年 4 月的南京幅 MSS 4—MSS 7，这种新通道突出了探测器误差，效果不甚好，不宜采用。

（2）均值 = (通道 A + 通道 B + …… + 通道 N) / 通道数 N

$$\text{均值} = \sum_{i=1}^N (\text{通道}i) / N \quad (N \text{为通道数})$$

均值对诸多通道的像元辐射值取平均，实质上是消除了最大、最小辐射值，有些象机助制图中“光滑”功能。

例如法国斯特拉斯堡1982年2月SPOT卫星模拟 $(C1 + C2 + C3) / 3$ 得到的均值新通道（见图6-1）。它能仔细地表示城市平面和克伦布西边的铁路线；能很好地显示水面，淡灰为莱茵河，黑色为格丽湖，白色为池塘。

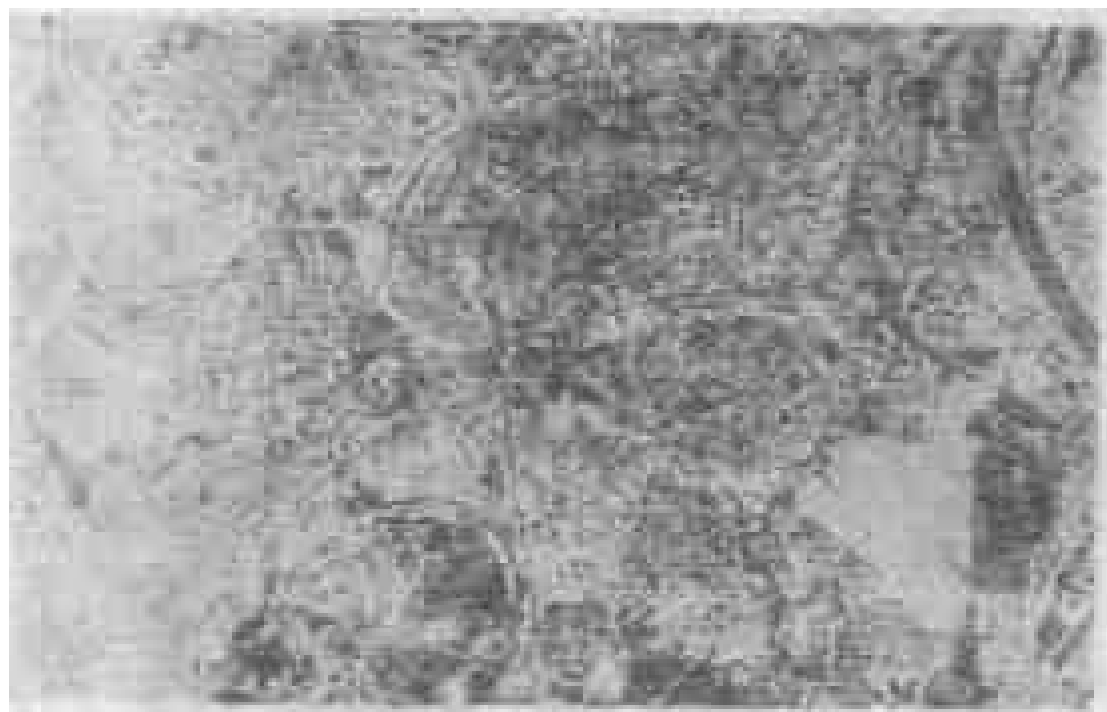


图 6-1 均值新通道

又如1977年4月南京 $(MSS\ 4 + MSS\ 5 + MSS\ 6 + MSS\ 7) / 4$ ，其效果也很好。水陆界线分明，长江和湖泊、河道有显著不同，紫金山的植被至少能分出三种，城市房屋密集程度也有所反映，但是如不熟悉地面状况，山上植被和水、

城市稠密区和水不能分出来。

总的来说，均值通道是一个好通道。

(3) 比值 = 通道A/通道B

例如法国斯特拉斯堡 1982 年 2 月 SPOT 卫星模拟 C2/C3 得到的生物量新通道 (见图 6-2)，它很好地反映了植被分布情况，森林最密集处为深黑色，次密处为次黑，一般为黑，草地和花园表示为灰色，水面及街区的无植物或很少植物处均为白色。



图 6-2 比值新通道

又如南京幅 1977 年 MSS 5/MSS 7 得到的生物量通道 (图6-3)，它很好地反映了植物情况，植被多的地方均为白色，紫金山上、幕府山麓、市内城东干道、九华山、北极阁、狮子山、雨花台、市区街道、玄武湖边城墙等，都因植被覆盖度的不同而有显著的反映；芦苇与沙岛呈明显对比；

郊区的农田处各种网纹也很细密，说明农作物的种类很多很杂。

总的来说，生物量通道是一个很好且很有用的新通道。



图 6-3 南京幅生物量通道

(4) 指数 = $[(\text{通道 A})^2 + (\text{通道 B})^2 + \dots + (\text{通道 N})^2]^{\frac{1}{2}} / (\text{通道数 N})^{\frac{1}{2}}$

例如由南京幅 1977 年 4 月 Landsat 多光谱组合 $[(\text{MSS } 4)^2 + (\text{MSS } 5)^2 + (\text{MSS } 6)^2 + (\text{MSS } 7)^2]^{\frac{1}{2}} / \sqrt{4}$ 得到的亮度指数新通道 (图6-4)。

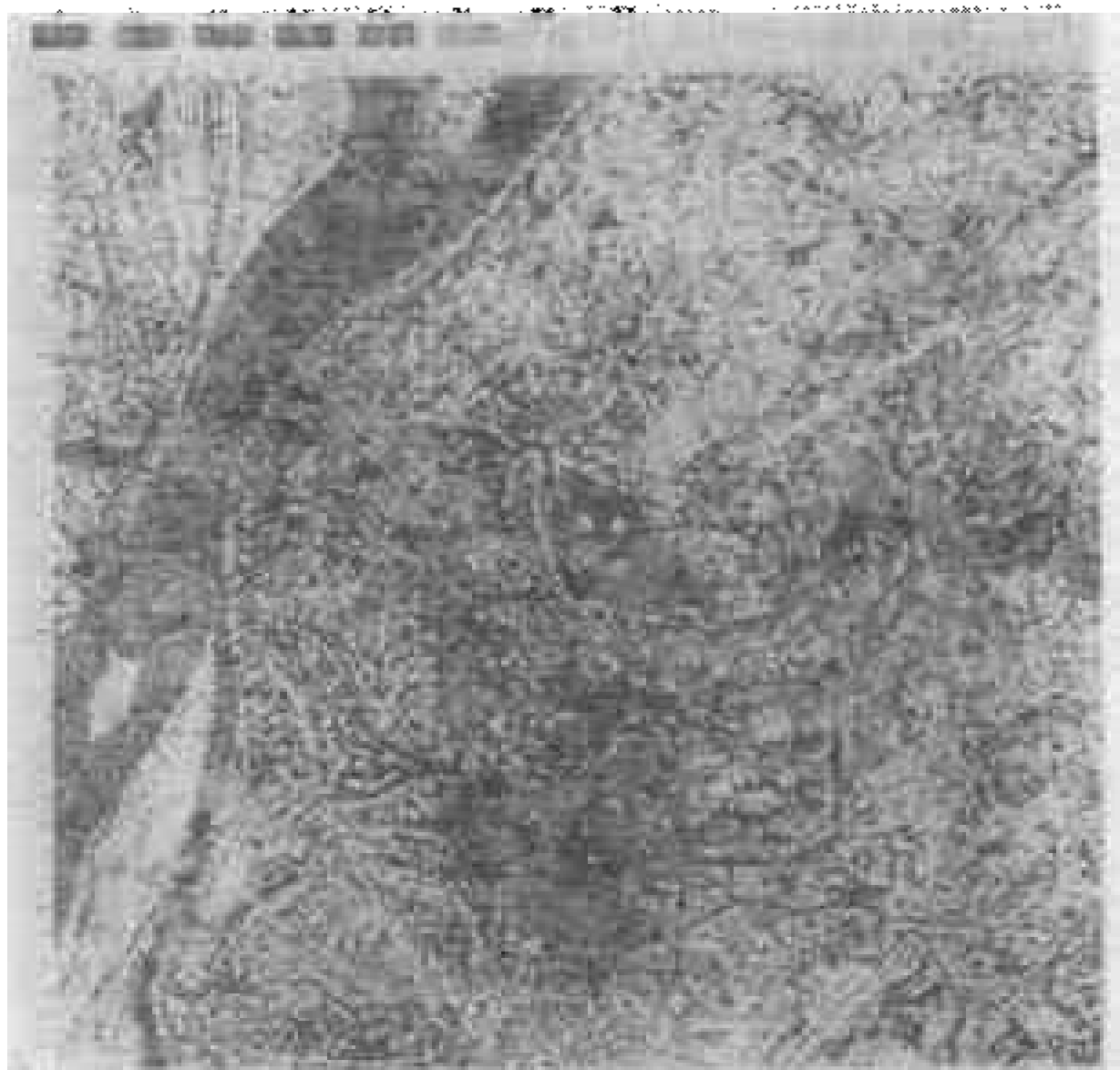


图 6-4 南京幅亮度指数新通道

图上以亮度来反映地物。平静的蔚蓝色湖水和池塘表面为深黑；流动、含沙、呈淡黄色的长江水为次黑；古老密集的街区和稀疏而带有花园、草地的新街区有明显的对比；紫金山和幕府山上不同郁闭度的植被有明显的对比；更明显的是，工地、沙石、场地均呈白色，亮度强烈。

此外，还有对数通道等，这里不再一一列举。

二、借助于局部算子程序建立轮廓新通道

局部算子程序只对一个光谱段数据进行卷积计算，为图像上的每一个点给出一个说明其表面特征的数值。

算子的一般形式是：

$$\begin{array}{ccccccc} M_{1,1} & M_{1,2} & \cdots & M_{1,ndim} \\ M_{2,1} & M_{2,2} & \cdots & M_{2,ndim} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ M_{ndim,1} & M_{ndim,2} & \cdots & M_{ndim,ndim} \end{array}$$

其中：M 是算子系数；

ndim 是算子个数(最大取 11)，亦是掩膜的尺寸。

卷积公式是

$$I_s \left(\frac{ndim-1}{2}, \frac{ndim-1}{2} \right) = \frac{\sum_{i=1}^{ndim} \sum_{j=1}^{ndim} I_s(i,j) * M(i,j)}{c}$$

式中：I_s 是卷积结果所得数值；

I_s 是卷积输入原始数值；

c 是平衡系数。

应用局部算子卷积既能进行低通滤波(光滑)，又能进行高通滤波(轮廓)，在高通滤波中，既可做定向轮廓，又能做多向轮廓，此外还能取它们的最大值或方差。

例如

$$\begin{array}{ccc} \textcircled{1} & \textcircled{2} & \textcircled{3} \\ 1/16 \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} & 1/9 \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} & 1/8 \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \end{array} \quad \text{光滑 (低通滤波)}$$

$$\textcircled{4} \quad \text{abs}^* \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & -4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \textcircled{5} \quad \text{abs}^* \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{多向轮廓} \\ \text{(高通滤波)} \end{matrix}$$

$$\textcircled{6} \quad \text{abs}^* \begin{bmatrix} -1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad \textcircled{7} \quad \text{abs}^* \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\textcircled{8} \quad \text{abs}^* \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ -1 & -1 & 1 \end{bmatrix} \quad \textcircled{9} \quad \text{abs}^* \begin{bmatrix} -1 & -1 & 1 \\ -1 & -2 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{定向轮廓 (高} \\ \text{通滤波)} \end{matrix}$$

$$\textcircled{10} \quad \text{abs}^* \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad \textcircled{11} \quad \text{abs}^* \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\textcircled{12} \quad \text{abs}^* \begin{bmatrix} 0 & 1 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & -1 & 0 \end{bmatrix} \quad \textcircled{13} \quad \text{abs}^* \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{matrix} \text{定向轮廓 (高} \\ \text{通滤波)} \end{matrix}$$

$$\textcircled{14} \quad \max\{\textcircled{10}, \textcircled{11}, \textcircled{12}, \textcircled{13}\}$$

⑮

取同四个邻点差异最大的

⑯

方 差

例如, 我们对南京幅 1977 年 4 月陆地资源卫星多光谱

MSS 6 进行卷积，取⑭号算子，得到轮廓新通道，以它输出直方图。

根据直方图，把光谱灰度值分成八级：

0, 11, 25, 45, 59, 74, 87, 110

输出黑白图像如图 6-5。



图 6-5 轮廓新通道

图上突出反映了反差对比。长江、江心洲、秦淮河、大小湖泊、主要街道都明显地突出表示。更有趣的是整幅图上，显示出许许多多的涡旋状图形。

又如图 6-6 和图 6-7 是巴黎西部 SPOT 卫星模拟的全色通道，被微分算子滤波的图像。SPOT 卫星模拟全色通道具有 10×10 米的地面分辨率。

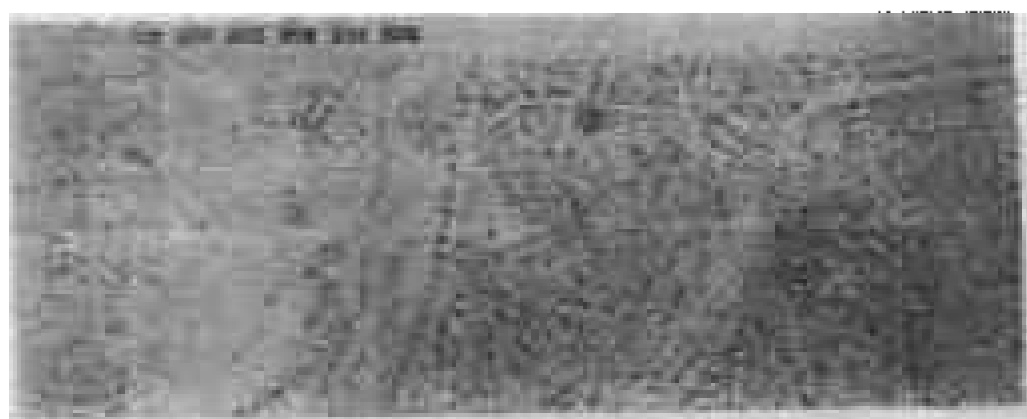


图 6-6 巴黎东西向算子

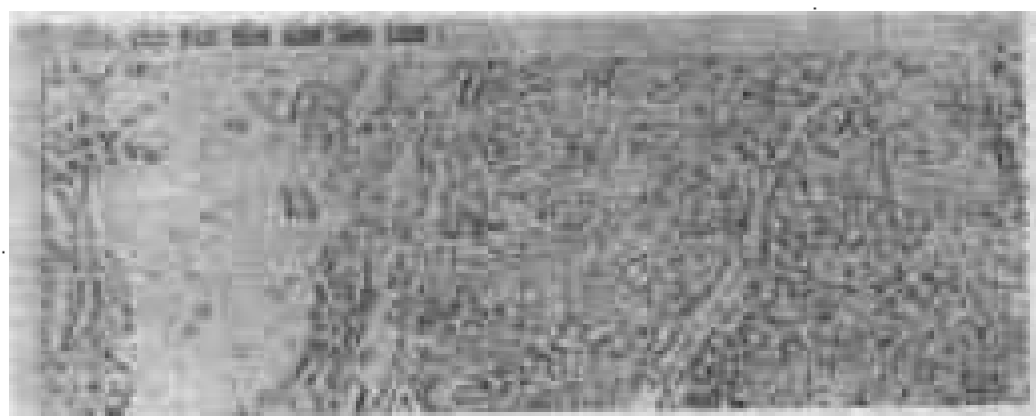


图 6-7 巴黎南北向算子

这里所采用的算子是拉布拉斯多方向算子。图 6-6 是 3×3 像元栅格，东西向算子；图 6-7 是 5×5 像元栅格，南北向算子。这两图是同一地方、同一比例尺，但图形很不一样，图 6-6 强调东西向线条，图 6-7 突出南北向线条。这种

滤波能提供带有分类的数字化图像，对不熟悉的图像也能即刻给出一个内容形式的概念。它还能强调某些细部，例如一艘平底驳船正在穿过无线电广播台圆形屋子附近的铁桥桥洞。

三、借助于活动方差程序建立轮廓新通道

活动方差程序是用一个包含四个像元的方块。计算出它们的方差，方块按照一定的步子移动，便得出逐个方块的方差数值。根据这些数值集合，绘出直方图并确定一个阈值，再以这个阈值将数值集合划分成几个类型，每个类型以一种由疏到密的点符合表示，便得到轮廓新通道。

图 6-8 是法国斯特拉斯堡 Landsat 1975 年 8 月应用活动方差法建立的新通道。

显然，方差是由观察数值的离散差计算出来的。当活动栅格穿过同质地带时，方差很弱；反之，出现强烈的线性反差，因此，能特别明显地观察到不连续的表面，也即是地理轮廓线所在，象莱茵河与其河岸，港口堤坞与码头，砂砾场与其陡坡等。

图 6-8 是 1975 年 8 月法国斯特拉斯堡 Landsat MSS 7 活动方差图像。依照活动方差公式

$$S^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2$$

将每四个像元组成的方块计算出方差值，形成新通道的像元灰度值(图 6-9)。

把活动方差数值作横坐标，活动方块中心出现的频率作纵坐标，便得到该新通道的频率分布柱状图解。依图解分为

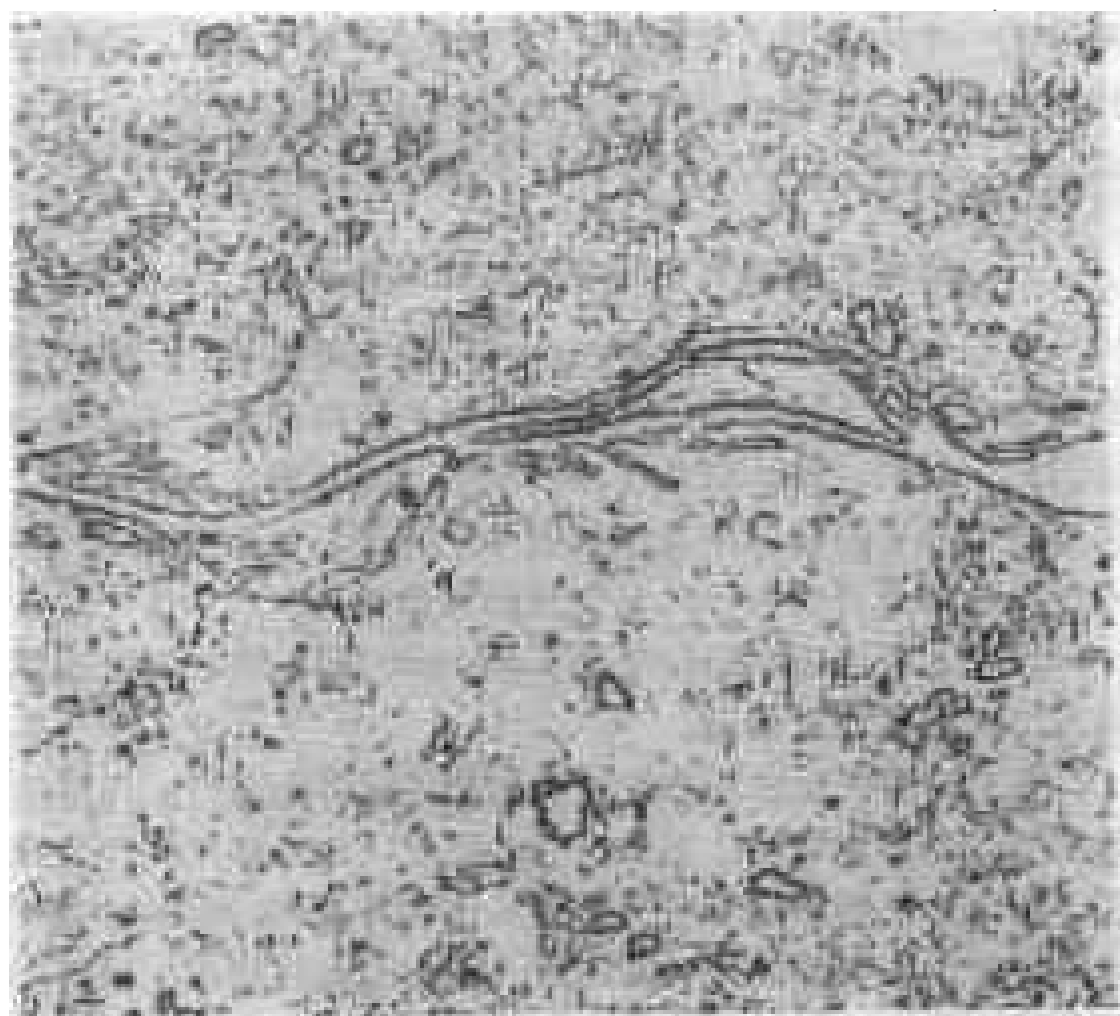


图 6-8 活动方差图像

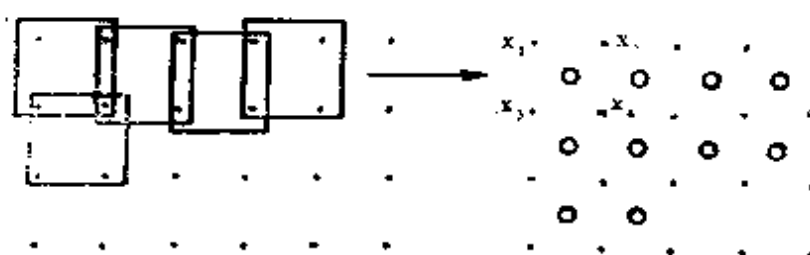


图 6-9

- 原始通道像元
- x_i 原始通道像元的灰度值
- 方差新通道像元
- s^2 方差新通道像元的灰度值

八级，并以相应的黑白点子输出，就得到图 6-8。

四、借助于反差计数程序建立图斑新通道

反差计数程序首先制定一个奇数格子的背景盘，将盘套到某一原始通道上，按一定的步距移动。然后求盘上相邻两像元点之间反射值的差值。因为背景盘是一个正方形的格子，所以其上有 0° 、 90° 、 45° 、 135° 四个方向的相邻点。再确定一个阈值（例如 5、10、20，这是从直方图分析约估的）。凡相邻点差值大于或等于阈值的记为 1，凡相邻点差值小于阈值记为 0，依次逐对计数并累加，便得出 0° 、 90° 、 45° 、 135° 四种相邻点的差值的累计数。最后，把四种累计数简单相加得总的差值。当背景盘从某一通道上移动完成，这就建成了 5 个图斑新通道（图 6-10）。

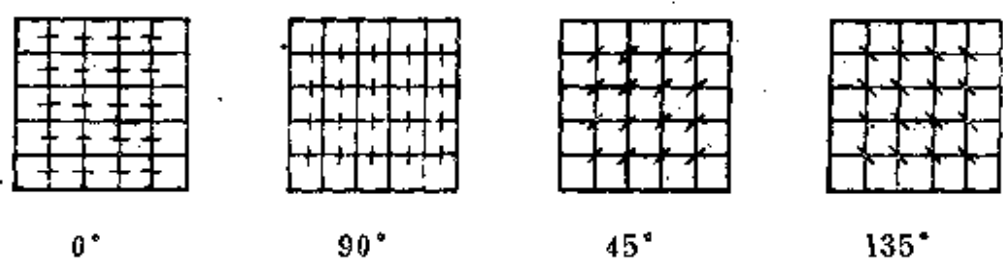


图 6-10

例如，1981 年 4 月的南京 Landsat MSS 7，用 5×5 像元的背景盘，阈值取 10，得到的图斑新通道，依它做直方图，根据直方图灰度值（此时，实际上是反差计数值）分布曲线，划分成八个等级：

0, 1, 3, 5, 7, 9, 12, 15

输出的黑白图像见图 6-11。

图上凡是反差较强的地方，也即异质图斑为深色；反差较弱的地方，也即相似图斑为灰色；没有反差的地方，也即



图 6-11 图斑新通道

同质图斑为白色。无疑它是一种很好的反差对比。由于 Landsat 分辨率太低，因此像元之间的差值反映得还不够详细，然而 SPOT 卫星全色片分辨率达 10×10 米，多光谱片分辨率达 20×20 米，由它建立的图斑新通道将会获得更详细的效果。

尚须注意，背景值大小和阈值的变化都会产生很不同的效果，这要多加试验，而在编程序时每移一步事实上已经有现成的数据可供利用，巧妙地加以重复利用会减少计算时

间。

五、借助于粒状程序建立图斑新通道

本程序根据一个像元点四周的光谱反射值信号变化的分布情况，计算出一个图斑指数。

如图 6-12 所示，假如，我们采用的栅格大小是 5×5 个像元。

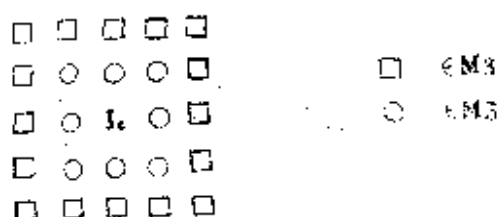


图 6-12

那么， I_c 相应于 1 个像元的反射值；

M_3 是由中间一层 8 个像元组成的方块；

M_5 是由外面一层 16 个像元组成的方块。

N_3 和 N_5 是信号变化的数目，即沿着 M_3 和 M_5 方块上，每相邻两个像元反射值的差值。我们仅仅以绝对值的形式，在一个限定的阈值范围内，记载它最大的差值。

而该像元 (I) 的反差变动数值 I_T (从 0 至 255) 由下列公式得到：

$$I_T\left(\frac{ndim-1}{2}, \frac{ndim-1}{2}\right) = \frac{2}{3} N_3 + \frac{1}{3} N_5$$

这样就建成了一种图斑新通道。

图 6-13 就是根据粒状程序，对法国斯特拉斯堡 SPOT 卫星第三通道进行的反差变动数值的演算，限定阈值为 200。

将演算的结果分成八级：

0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140

并找相应的黑白点子输出黑白图像。

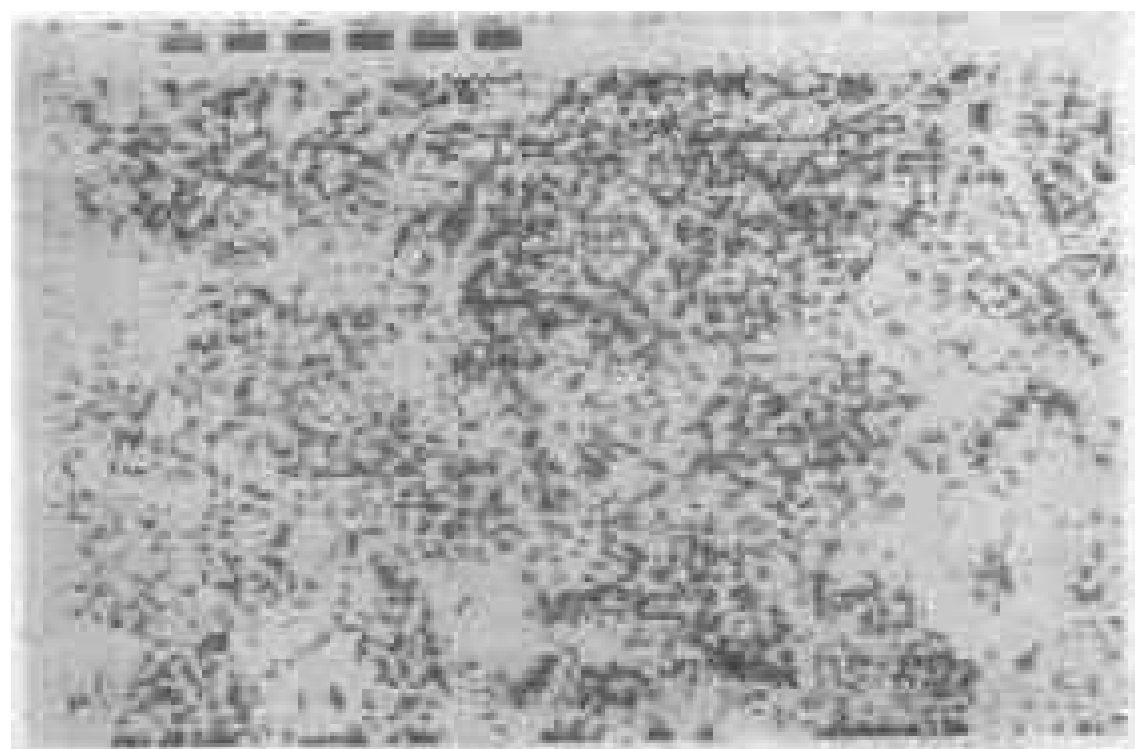


图 6-13 粒状图斑新通道

这张黑白图像的实质是反映像元的反差。反映像元同围绕它的相邻的第一层 8 个像元和第二层 16 个像元之间反差变动的情况。从地理意义来说，它表示地物形态分析，反映不稳定的边缘，同时在整幅图像上造成一个又一个的大小不同的方块和方块组合。

上述种种新通道还都属于辐射、轮廓和图斑新通道。至于网纹新通道，目前只停留在理论探讨，尚未见付诸实际应用。然而，相信不久的将来也会应用于数字制图。

必须强调指出，新通道的建立本身就是数字制图，就是从一种专题地图编成另一种专题地图。也可理解为从遥感原始信息中，以数字形式编制种种反映某一特征的专题地图。

第七章 主成分分析与制图

第一节 原理和意义

根据各种算子建立起来的新通道，尽管具有某一方面特别有用的信息，但它们仍然是原始通道简单的组合，并没有引进各种数理统计方法。为了采用更为科学的数学方法，除了由原始通道和上一章所述方法建成的新通道外，还可以建成更加综合的新通道。

卫星遥感提供的原始通道是极其有限的，而由它建成的新通道却是无限的，至少说是很多的。但是，人们在数字制图时，不可能让这么多的通道参加运算，也不应该浪费那么多的计算机机时。为此，十分有必要寻找一种数学方法，建立少数几个更加综合的通道，从而大大地压缩信息量，减少机时，提高数字制图速度。但是，这少数几个更加综合的通道却又能代表众多通道的本质，至少是大部分（95%以上）的本质。

选用什么样的数学方法来建立更加综合的通道呢？

主成分分析是人们可以采用的一种好方法。

主成分分析是因子分析中的一种，它是探讨变量间变量之间关系的一种因子分析，又称 R 型分析。而另一种是探讨样品之间的关系，称 Q 型分析。

主成分分析是多元统计分析方法，它能揭示存在于多个变量之间的关系，其目的是对大批观测数据用比较少的有代

表性的因子来说明由多个变量所提供的信息，并由此希望得到科学的单纯性或描述的经济性。

在数字制图时，主成分分析能够对研究的许多变量（通道或新通道），在关系复杂的情况下找到影响它们的共同因素和特殊因素。当许多变量存在一定相关时，设法找出若干个数目较少的独立新变量（更加综合的新通道）——它实质上是一些原始变量（原始通道或新通道）的线性组合。用这些独立的新变量（更加综合的新通道）来表达所观测的原始数据，从而大大简化观测系统，找到影响观测数据的主要因素即主成分，用主成分的图像（即更加综合的通道的图像）进行数字制图。

例如，为了利用遥感信息编制南京土地利用动态变化图，我们选取了1977年4月和1981年7月Landsat MSS数据，两个年分间距四年，分属春、夏不同季节，有利于解译植物和城市建筑的动态变化，但Landsat像元的地面分辨率太低，限制了城市土地利用的动态变化分析，为了克服这种困难，我们建立并选用了1977年和1981年的MSS 4，MSS 5，MSS 6，MSS 7，生物量和亮度指数，两年共12个通道。它们共有150多万个数据。这样庞大的数据不利于计算和分析，为此，我们借用主成分分析法，找出其中头几个主成分，就代表了12个通道的本质，只利用这几个主成分通道，即几个更加综合的新通道进行机助动态制图，便能达到理想的预期结果。

必须说明，这里介绍的主成分是在通用电子计算机上应用的通用主成分公式，不是专用遥感图像处理系统上的KL变换（它也是主成分分析）。

第二节 过程和步骤

一、求均值

求各变量（通道）的所有像元辐射值的算术平均值和标准差。

二、求相关矩阵

根据相关系数公式求相关矩阵

$$R = (r_{jk}) = \frac{\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j)(X_{ik} - \bar{X}_k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_{ij} - \bar{X}_j)^2 \cdot \sum_{i=1}^N (X_{ik} - \bar{X}_k)^2}} \quad (7-1)$$

式中： i 为像元编号；

N 为像元数；

$j, k = 1, 2, \dots, v$ 为通道数。

我们可以求出各个变量（通道）间的相关系数，将相关系数排列成矩阵，即相关矩阵 $R = (r_{jk})$ 。相关矩阵是对称矩阵，所以可用上三角或下三角矩阵来表示。

三、求特征值

求相关矩阵 $R = (r_{jk})$ 的特征值 λ 和其对应的特征向量 U 。

怎样求解 λ 和 U ？

矩阵 $A = (a_{ij})_{n \times n}$ 的特征值是使方程组

$$A x = \lambda x \quad (7-2)$$

有非零解的 λ 值（这个非零解的向量 x 就是属于特征值 λ 的

特征向量)。所以特征值就是特征方程

$$|A - \lambda I| = 0 \quad (7-3)$$

的根。将上述行列式展开，得到一个 n 次多项式。当多项式次数比较低时，例如二次，可以展开 (7-3) 式直接求解。如：

$$\begin{vmatrix} a_{11} - \lambda & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} - \lambda \end{vmatrix} = 0$$

展开后有

$$(a_{11} - \lambda)(a_{22} - \lambda) - a_{21} \cdot a_{12} = 0$$

$$\lambda^2 - (a_{11} + a_{22})\lambda + a_{11}a_{22} - a_{21}a_{12} = 0$$

可用一般求解二次方程式方法求根 λ 。将 λ 值代入到式 (7-2)，求出相应的特征向量。当特征方程为高次多项式时，求解的计算就比较复杂。常用的方法有雅可比 (Jacobi) 法和迭代法。

将求出的 λ 值按大小依次排列，使得：

$$\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3 > \dots \lambda_N$$

在数字制图中，我们根据编图目的和制图对象的特点，充分考虑特征值累计百分比，只取前 m 个主要的特征值， m 远远小于 N 。并且将 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ 所代表的新通道（更为综合地反映制图区域特点）分别叫做第一主成分 (F_1)，第二主成分 (F_2)，……第 m 主成分 (F_m)。

四、求权系数

根据特征值及其特征向量，求出各个变量（通道）在各个主成分中的权系数，即求初始因子载荷矩阵。

$$A = (a_{ij}) = (\sqrt{\lambda_j} U_{ij}) \quad (7-4)$$

这里 $j = 1, 2, \dots, m$;

m 为选取因子个数;

i 仍为通道编号。

其展开式为:

$$A = (a_{ij}) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \cdots & a_{1m} \\ a_{21} & a_{22} & \cdots & a_{2m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ a_{N1} & a_{N2} & \cdots & a_{Nm} \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} U_{11}\sqrt{\lambda_1} & U_{12}\sqrt{\lambda_2} & \cdots & U_{1m}\sqrt{\lambda_m} \\ U_{21}\sqrt{\lambda_1} & U_{22}\sqrt{\lambda_2} & \cdots & U_{2m}\sqrt{\lambda_m} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ U_{N1}\sqrt{\lambda_1} & U_{N2}\sqrt{\lambda_2} & \cdots & U_{Nm}\sqrt{\lambda_m} \end{pmatrix}$$

五、用方差最大准则旋转初始因子矩阵

通过上述计算,可求得 m 个初始因子轴(从几何上看为 m 个相互垂直的参考矢量)和初始因子系数矩阵。数字制图的目的不但要选出几个主成分,而且还要知道每个主成分所代表的地学意义。为此,必需把初始因子轴进行旋转。大家知道,每个主因子轴所代表的地学意义是根据最靠近于因子轴的一个通道的地学特征决定的。为此,因子轴旋转的目的就是使某一因子轴尽可能地靠近一些通道,尽可能地远离另一些通道。在数学上就是使因子系数矩阵的结构简化。它可理解为:在因子系数矩阵的每一行中至少要有有一个因子系数值接近或等于零;在任两列中使尽可能少的标本在一列中的系数值很小,而在另一列中又很大。总之,结构简化是使每个标本的因子系数值在尽可能少的因子上达到较大值。为此,常常采用正方的方差最大轴旋转。

方差最大准则下轴旋转的优点是：当参加计算的样品数有少量变化时，所得的结果保持不变或变化较小。

方差最大轴旋转的计算步骤是：

(1) 公共因子方差的计算

$$h_i^2 = \sum_{j=1}^m a_{ij}^2$$

(2) 因子系数的标准化

$$b_{ij} = a_{ij}/h_i$$

(3) 方差 V 的计算

$$V^{(K)} = \sum_{i=1}^m \left\{ \left[N \sum_{j=1}^N (b_{ij}^2)^2 - \left(\sum_{j=1}^N b_{ij}^2 \right)^2 \right] / N^2 \right\} \quad (7-5)$$

其中 K 为迭代次数。

(4) 任取因子系数矩阵 (7-4) 中的两列，设为 a_{jp} , a_{jq} ($j=1, 2, \dots, N$ 通道数)。旋转后的因子系数为

$$(a_{jp}, a_{jq})^{(K)} = (a_{jp}, a_{jq})^{(K-1)} \begin{pmatrix} \cos \varphi & -\sin \varphi \\ \sin \varphi & \cos \varphi \end{pmatrix} \quad (7-6)$$

式中：K 为迭代次数；

j 为通道编号；

p, q 为主成分编号，

$$p = 1, 2, \dots, m-1$$

$$q = p+1, p+2, \dots, m$$

六、计算旋转后的因子系数矩阵

$$G = (g_{ij}), \quad g_{ij} = b_{ij} h_i$$

式中：i = 1, 2, ..., N, 是通道编号；

$j=1,2,\dots,m$, 是主成分编号。

这就是我们所需要的最主要结果。

顺便提及, 有关主成分分析的程序, 一般计算站和拥有计算机的单位都作为常备的软件保存。数字制图用户能很方便地取得。

第三节 应用实例与分析

一、采用主成分分析的目的

为了进行南京附近的城市发展和土地利用的动态变化分析, 我们已经取得 1977 年 4 月和 1981 年 7 月两个年度不同季节的 Landsat MSS CCT 磁带。两年度相距不太远也不太近, 南京土地利用情况和城市面貌有相当大的变化。4 月是春末, 7 月是仲夏, 便于季节性对比。

由 MSS 4,5,6,7 四个原始通道, 我们建立了许多辐射、轮廓和图斑新通道。当我们分析了它们的直方图和黑白图像以后, 淘汰了轮廓和图斑新通道, 这是由于 MSS 地面分辨率太差造成的。在我们选中的辐射通道中, 尤以生物量通道和亮度指数通道为最佳。加上 4 个原始通道, 每年有 6 个, 两年则有 12 个。

我们不能让 12 个通道都参加运算。在数字制图时, 便借助于主成分分析的优点, 因为它能得到通道和新通道的集合体, 以少量几个变换的通道代替并反映原先众多通道的本质。即选择几个主成分就代表了 12 个通道的本质。

这样, 至少有两个好处: 一方面避免了多余的信息; 另一方面它是非监督分析, 可以事先不要求判读人员了解地面实况(当然, 能了解实况更好)。

相关矩阵

表 7-1

1977年	MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7	生物量	亮度 指数	1981年 MSS 4	MSS 5	MSS 6	MSS 7	生物量	亮度 指数
1977年 MSS 4	1.000											
MSS 5	0.878	1.000										
MSS 6	0.237	0.231	1.000									
MSS 7	0.000	-0.028	0.926	1.000								
生物量	-0.523	-0.588	0.540	0.767	1.000							
亮度指数	0.326	0.316	0.976	0.924	0.481	1.000						
1981年 MSS 4	0.586	0.596	0.054	-0.238	-0.558	0.003	1.000					
MSS 5	0.543	0.576	0.176	-0.379	-0.642	-0.110	0.909	1.000				
MSS 6	0.224	0.250	0.710	0.660	0.341	0.709	0.061	-0.084	1.000			
MSS 7	0.012	0.022	0.729	0.763	0.571	0.704	-0.257	-0.422	0.910	1.000		
生物量	-0.208	-0.270	0.609	0.729	0.760	0.558	-0.609	-0.755	0.657	0.883	1.000	
亮度指数	0.135	0.144	0.279	0.240	0.083	0.282	0.065	0.016	0.326	0.278	0.184	1.000

二、相关矩阵

本例选取1977年和1981年MSS 4, 5, 6, 7和生物量通道、亮度指数通道共12个变量, 代入公式(7-1), 得到相关矩阵(表7-1)。

相关系数最大的为0.976, 是1977年亮度和MSS 6; 相关系数较大的为0.926, 是1977年MSS 6和MSS 7, 0.924是1977年亮度和MSS 7。而1981年的亮度几乎和谁都不相关。

三、特征值及其累计百分比分析

由上述相关矩阵, 能求出它的特征值和其对应的特征向量。

表7-2是各成分特征值及其累计百分比。

主成分特征值及累计百分比

表 7-2

主 成 分	特 征 值	累 计 百 分 比
1	5.739670	0.478306
2	3.599300	0.778248
3	0.892484	0.852621
4	0.754966	0.915535
5	0.609096	0.966293
6	0.152729	0.979020
7	0.092552	0.988733
8	0.077953	0.993229
9	0.036809	0.998297
10	0.025698	0.998438
11	0.013338	0.999550
12	0.005404	1.000000

从表上可以很明显地看出，取头五个主成分已经包含96.9%的特征；而从第六个主成分以后，特征值累计百分比增加得很慢，小于1%。

四、各通道在各主成分中的权系数分析

我们决定选取头五个主成分。经计算机继续运算，可以得到五个主成分旋转后的因子系数矩阵(表7-3)。

五个主成分旋转后的因子系数矩阵 表 7-3

	主成分 1	主成分 2	主成分 3	主成分 4	主成分 5
1977年MSS 4	-0.158	0.872	-0.087	-0.266	-0.229
MSS 5	-0.174	0.890	-0.058	-0.300	-0.171
MSS 6	0.831	0.442	-0.156	0.176	-0.164
MSS 7	0.920	0.196	-0.152	0.240	-0.130
生 物	0.810	-0.405	-0.087	0.351	0.009
明 度	0.793	0.518	-0.170	0.163	-0.192
1981年MSS 4	-0.462	0.743	-0.018	0.308	0.302
MSS 5	-0.600	0.673	-0.025	0.323	0.220
MSS 6	0.738	0.467	-0.102	-0.161	0.423
MSS 7	0.900	0.137	0.072	-0.231	0.292
生 物	0.926	-0.198	0.045	-0.258	0.090
明 度	0.276	0.290	0.883	0.156	-0.187

由因子系数矩阵能绘制出这五个主成分的权系数平面图(图7-1)。

从平面图上能看出某主成分和各通道之间的关系，从而说明该主成分的组合特征。以南京为例：

主成分1主要由1981年生物量、MSS 7和1977年MSS 7、生物量构成；而两年的MSS 4，MSS 5都是负分。

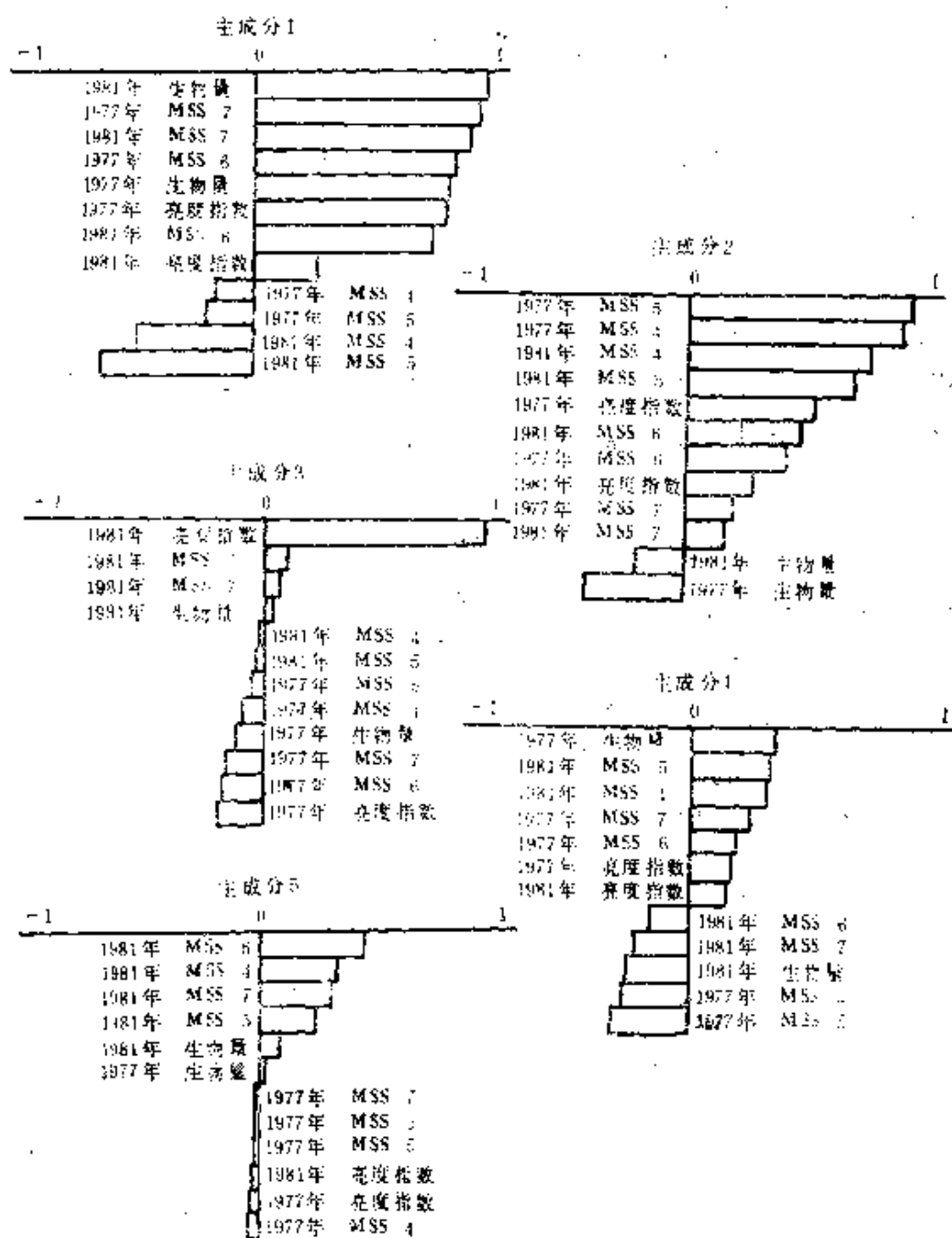


图 7-1

www.ck12.org

10

11

12

13

14

15

16

17

18

19

20

21

22

23

24

25

26

27

28

29

30

31

32

33

34

35

36

37

图 7-2 是南京例子中五个主成分通道的直方图。

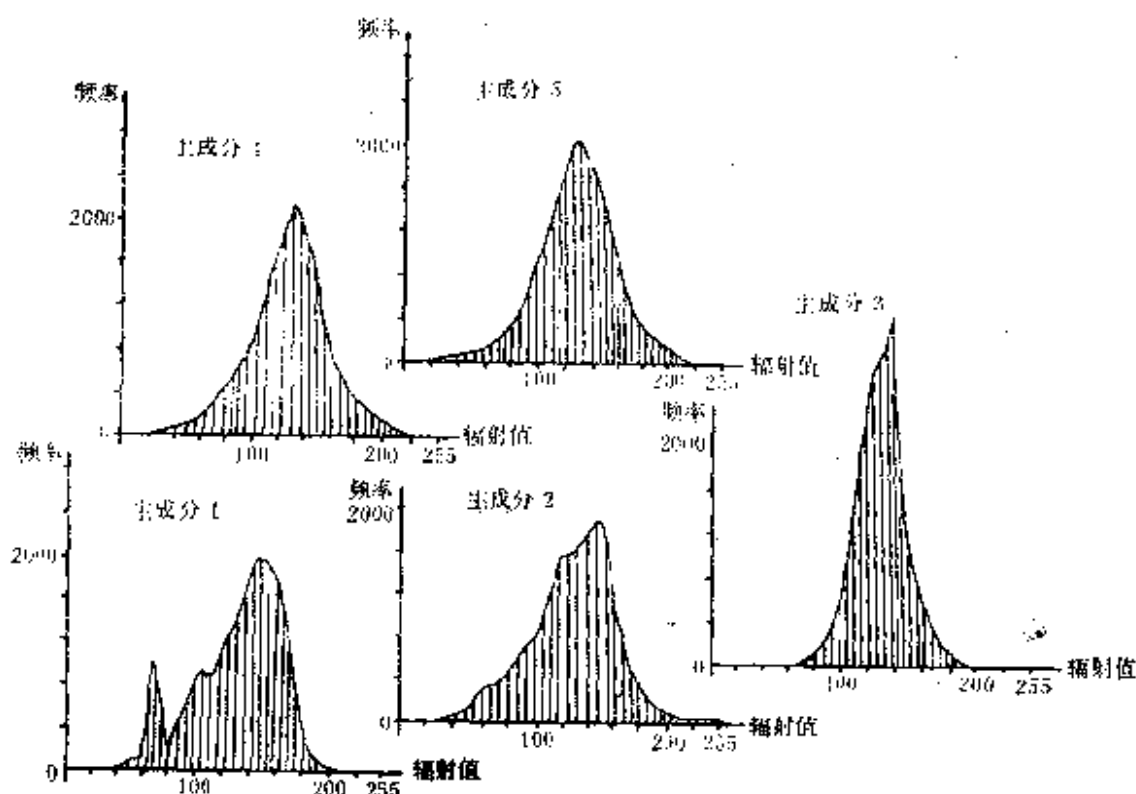


图 7-2 五个主成分直方图

主成分 1 通道的直方图辐射值范围较广，呈两峰出现，第一峰灰度值小于 80，是由长江、玄武湖等水体造成的。第二峰前又有一个小起伏，灰度值约为 120，是城市街区造成的。从分布曲线就可看出它反映的内容很多。

主成分 2，4，5 通道的直方图呈正态分布，显得平稳；而主成分 3 通道辐射范围很狭窄，形成高耸的峰。主要是地物亮度造成的。

依照直方图，对五个主成分通道划分级别如下：主成分 1 分八级：

0, 78, 109, 125, 137, 145, 154, 167,

主成分 2 分八级：

0, 67, 92, 110, 122, 142, 162, 179,
主成分 3 分八级:

0, 96, 110, 120, 129, 135, 143, 152
主成分 4 分八级:

0, 95, 111, 121, 134, 146, 161, 187
主成分 5 分八级:

0, 90, 107, 121, 135, 143, 155, 184



图 7-3 南京 1977—1981 年主成分 1



图 7-4 南京 1977—1981 年主成分 2

并找相应的黑白点子和网纹进行黑白图像的输 出，得到图 7-3、图 7-4、图 7-5、图 7-6、图 7-7。

现在对五张主成分黑白图像进行一些简单分析。

主成分 1 通道占有丰富的地理内容，它能很好地划出水域、街区和植被、岩石几大类。在街区中还有深浅层次，反映了街区内房屋密集的程度。对于植被，山区网纹花样较多，平原区网纹层次丰富。对岩石裸露地段和机场跑道，反光特强。



图 7-5 南京 1977—1981 年主成分 3

主成分 2 通道，对动态变化部位特别敏感，如江心洲、山上的植被、田野里的农作物。实质是反映两年不同季节的动态变化。

主成分 3 通道，酷似一张浮雕画，地物反差强烈形成黑白分明的边缘，这是由于 1981 年夏季太阳光特别强烈，同 1977 年春天亮度相差特别大的原因造成的。

主成分 4 通道看起来很杂乱，但仔细分析，其变化主要在城市郊区，反映了郊区农作物的变化。对长江、南京市街



图 7-6 南京 1977—1981 年主成分 4

区，反差较少。

主成分 5 通道不但郊区和山地网纹更复杂多样，街区内的细微变化也跃如纸上。

可以认定，主成分黑白图像已是数字制图的初级产品。利用它代替诸多原始通道来进行专题制图和动态制图，既科学又经济。

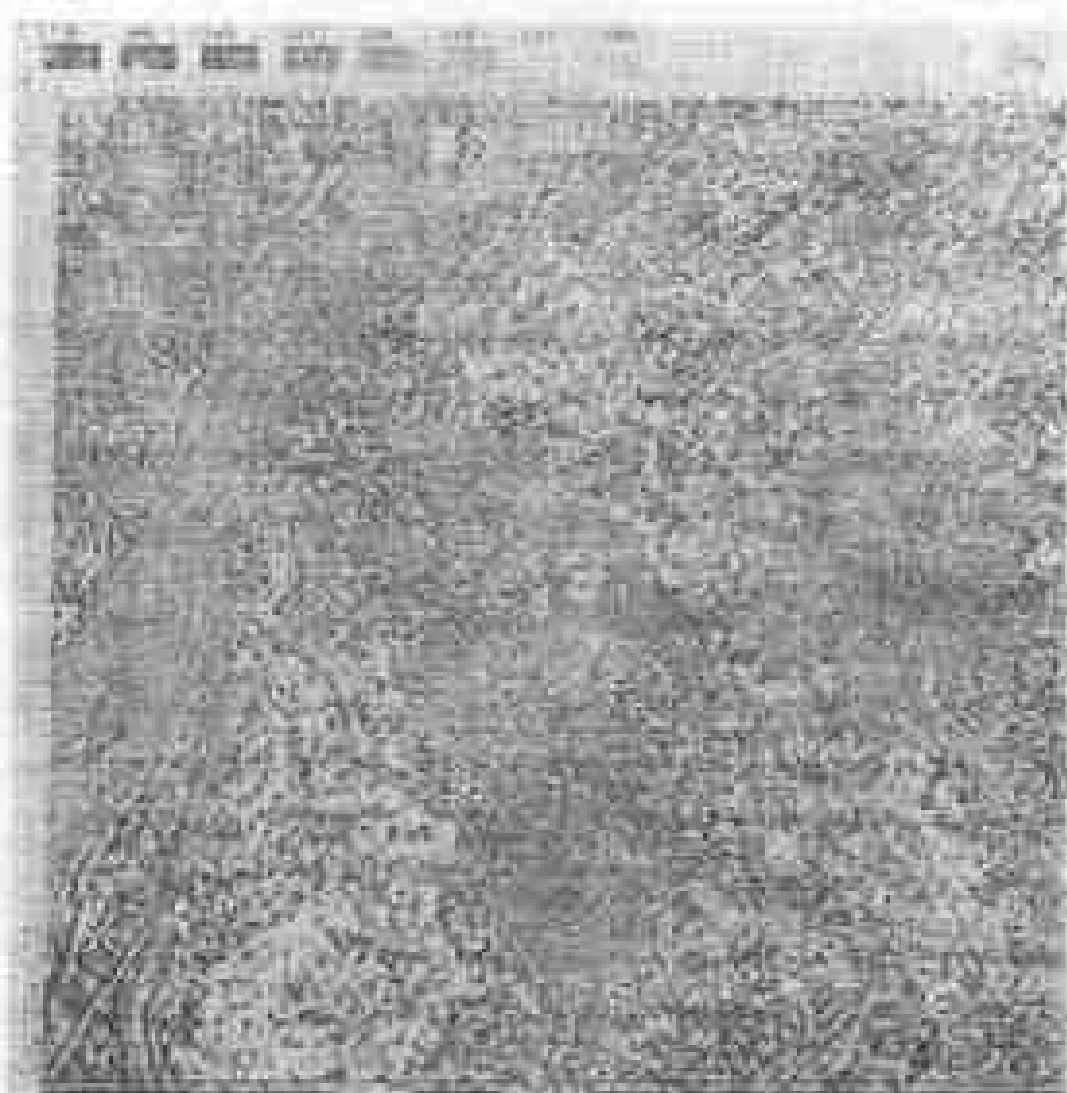


图 7-7 南京 1877—1941 年虫成分 5

第八章 多维数字分析与动态制图

第一节 单时相多通道判别分析

一、判别分析原理

判别分析是遥感的数字制图的一种重要的分类方法。它和聚类法、最大或然率法、动态云法、重心法、最小距离法等各种方法构成了数字制图的分类体系。

所有分类方法都可归为两大类，即监督分类和非监督分类。监督分类即事先熟悉地面情况，认识有足够的样品，由已知推未知。非监督分类即事先对地面情况不了解，只在假彩合成和黑白图像输出、判读时才决定样品，给每个样品以代号。接着不断去训练计算机，让计算机识别这些样品，最后得出分类结果并对每一类冠以代号，利用已编的专题地图和实地检验等办法，认定各类代号实际上代表什么。

用一个时期的遥感信息进行判别，称单时相判别分析。用几个时期的遥感信息进行判别，称多时相判别分析。

判别分析的原理可以用下列图解来说明：

（1）两组样品，单一通道

设有样品 A、B，仅利用一个通道进行判别时，假如出现图 8-1 的情况，那么重叠的阴影小，A 和 B 样品容易区分开来。假如出现图 8-2 的情况，那么重叠的阴影大，A 和 B 样品不容易区分开来。

（2）两组样品，两个通道

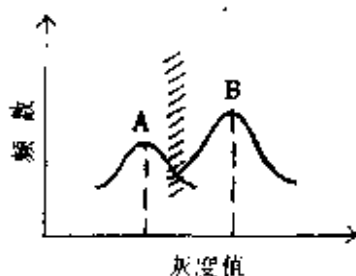


图 8-1

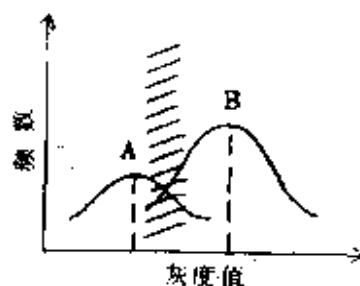


图 8-2

同样还是A和B两组样品，若同时利用两个通道进行判别，联系前面学过的两个通道的直方图构成，则图8-3相当于图8-1的情况，但是它们重叠的阴影比图8-1小得多。图8-4相当于图8-2的情况，它们重叠的阴影也比图8-2小得多。因此，在同样的条件下，利用两个通道进行样品判别，比利用单个通道来说，会使样品A和B更容易区分开来。



图 8-3

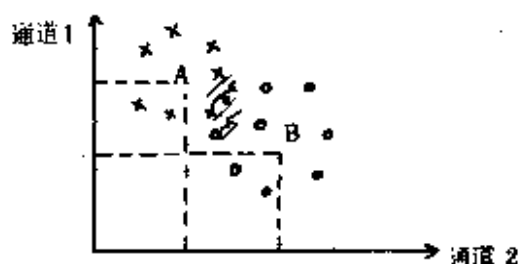


图 8-4

两组样品，两个通道，在直角坐标中形成椭圆状分布的两组样品点群，这两组点群彼此之间往往有少量零散的样品点相互掺杂。

判别分析就是如何在两组点群之间找到一条判别线，将两组点群比较合理地划分开来。这根判别线称为判别函数。如图8-5所示。

(3) 两组样品，多个通道

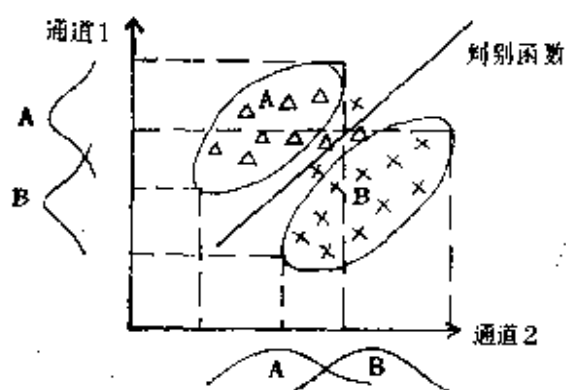


图 8-5

从第(1)种情况到第(2)种情况,人们自然地想到增加通道数目会使阴影区最大限度地缩小,从而更容易判别样品。

判别分析就是利用多个通道(变量),尽量地缩小不好判别的阴影区,提高正确判断的概率的一种数学方法。

至于判别函数,当推广到多变量的情况时,就是找到一个平面或超平面,将两组点群合理地划分开来。在实际计算时,须借用统计方法,把多个变量变换为一个单变量,根据这个单变量进行判别。在统计上就是求变量的线性函数,这种函数就称为判别函数。

必须注意:当变量(通道)增加到一定程度以后,再增加变量,有时也会使判别效果降低。其原因是会引起计算精度下降,使最后建立的判别函数不稳定,错判标本个数增加。通道太多则收集、观测这些变量的分析项目也多,每组要求的最低样品数量也要相应地增加,这同样会增加不必要的资料准备和计算的工作量。所以我们不能用太多的通道参加判别,一般只取四个或五个通道,效果最为理想。

(4) 多组样品,两个通道

在实际工作中，往往不止两组样品。因此，必须讨论多组样品的情况。

多组样品，利用两个通道进行判别，在直角坐标中形成多个样品点群，如图 8-6 和图 8-7 所示。在这种情况下，我们必须找出多根判别线，即存在多个判别函数才能将样品点群两两分开。

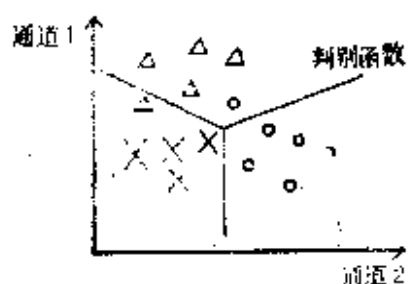


图 8-6

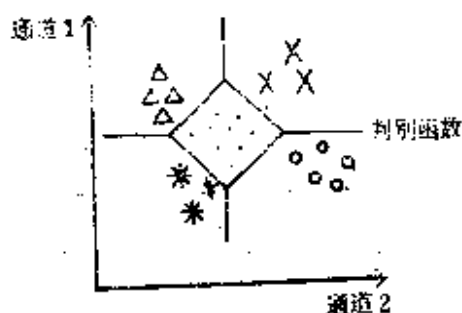


图 8-7

(5) 多组样品，多个通道

多组样品、多个通道的判别分析要求在多维 (v 维) 空间中进行，其实质是以某种规则划分 g 个互不相交的区域，要求对已知归属的 g 组样品来说，使分组的误差最小。

(6) 逐步判别分析

前面讲过通道增加太多有时反而效果不好。那么在多变量情况下，逐步判别可以帮助我们对变量进行选择。它是通过计算和统计检验，自动选取对判别有效变量的一种方法。

逐步判别与逐步回归中选择有效变量的基本思路是一样的。逐步判别是根据每个变量在各组判别式中所起判别作用的重要性不同，挑出起判别效果最大的变量，使其进入判别式；剔除不起判别作用的变量，将其退出判别式。从一个变量开始，每步引进（或剔除）一个变量，如此反复进行，一

直到没有变量可以再引入（或剔除）时为止。最后得到第一典则变量和第二典则变量。

逐步判别分析，既可以做监督分类，也可以做非监督分类，是一种很好的数字制图方法。

二、判别分析流程框图

单时相逐步判别分析流程框图大致如下：

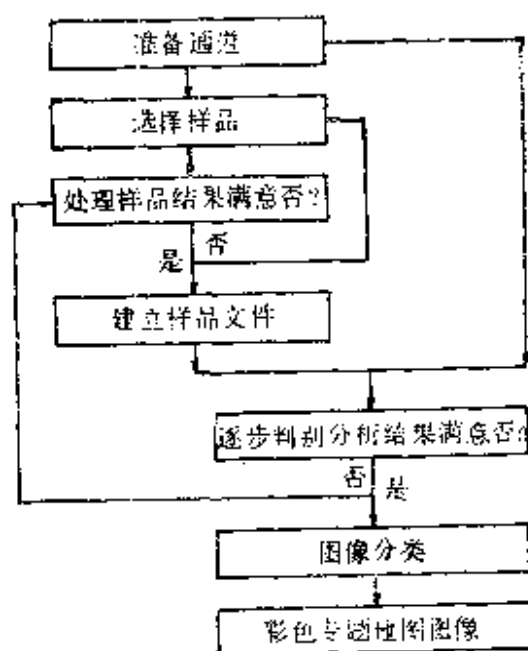


图 8-8 判别分析流程框图

单时相逐步判别分析，只利用一个时相的遥感信息。

准备通道时，只在一个时相中，从多通道中（如 MSS 4，5，6，7），或者机械地挑选几个；或者建立一些新通道后再挑选几个；或者由原始通道和新通道，经主成分等某种数学加工后挑选几个。效果自然是后者最优。经验表明，通道不宜太多，也不宜太少，一般挑选四个、五个最好。

准备了四、五个通道之后，便可以在这四、五个通道上进行样品的选择。选择样品有两种情况。第一种是对地面很熟悉，对各种地物光谱辐射分布很了解，这就可以做监督分类。样品可以选自己最熟悉最有把握的像元，如在长江中选流动水面样品，在玄武湖中选静止水面样品，在紫金山脊选针叶林样品，在紫金山坡选阔叶林样品，如此等。起先可以多选几个像元(几十个或十几个像元)，以后再逐渐精减。第二种情况是对地面不熟悉，对各种地物光谱辐射分布不了解，这只能做非监督分类。此时，只能在各通道的黑白图像上，或在假彩色合成的图像上进行选样品。自然样品包含的像元不能太少(几十个或十几个)。否则影响而后的分析。

处理样品主要是将样品中每一个像元在各个通道上的灰度值打印出来以供分析。

例如样品 3，水生植物覆盖的水面：

起始行 272 終了行 273
 起始列 136 終了列 143
 像元数 16

各个像元在不同通道上的灰度值如下：

	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4
*	136	125	1	256
	126	120	1	256
	129	117	1	256
	138	116	1	256
	143	117	1	256
	145	122	1	256
	135	118	1	256
	123	112	13	256

*	144	128	1	256
	139	130	1	256
	123	131	1	256
	128	113	1	256
	128	110	1	256
	124	112	1	256
	123	118	1	256
	117	116	1	256
最小值	117	110	1	256
最大值	145	131	13	256
均值	131.31	119.06	1.75	256.00
方差	8.46	6.30	2.90	0.00

又如样品 4，阔叶林：

起始行 143 结束行 145

起始列 306 结束列 310

像元数 15

各个像元在不同通道上的灰度值如下：

	通道 1	通道 2	通道 3	通道 4
*	180	68	156	128
	169	64	144	137
	176	79	129	105
	181	85	146	97
	175	81	145	123
*	181	68	163	125
	171	68	149	122
	175	80	126	114
	175	80	137	121
	172	73	148	125

*	175	64	156	132
	169	70	142	117
	175	75	149	113
	177	79	148	126
	176	77	148	122
最小值	169	64	126	97
最大值	181	85	163	137
均 值	175.13	74.07	145.73	120.47
方 差	3.65	6.46	9.34	9.82

从以上数据，可以认为样品 3 和 4 是较好的样品，它们在各个通道上的方差都没有超过10，最大值和最小值之间的差数也很小。当计算机询问处理结果是否满意时，应该回答：满意！

假如样品选得不满意，或不完全满意，还可重新再选择，也可以去掉一些像元，使之成为满意的样品。如样品 3，从通道 3 看出 272 行 143 列的灰度值为 13，应该删去，即把 143 列全删除。

272								×
273								
	136	137	138	139	140	141	142	143

如样品 4，144 行，306 列，在通道 1 上是 181，在通道 3 上是 163，都是最大值，应该删去。143 行 309 列在通道 1

143			×	
144	×			
145				
	306	307	308	309

上是 181, 在通道 2 上是 85, 都是最大值; 而在通道 4 上是 97, 是最小值, 也应该删去。这样, 处理后的样品 4, 应选 144 行至 145 行的 307 列至 310 列。

样品处理满意后, 便可建立样品文件。样品文件除了列出上述样品、通道与像元的基本数据外, 还能绘出每个样品在各通道上均值分布的起伏曲线。人们只要观察到各样品的曲线形状差别很大, 就可以确认将来判别分析会有好的结果。图 8-9 便是某地 13 个样品在四个通道上的灰度值分布曲线。共有三种表示方式。1 位于屏幕左上方, 上面标名 1 至 13 个数字, 代表 13 个名称的样品, 如水面、森林、农田、城市、裸地等。起伏曲线是 13 个样品灰度均值在四个通道上分布情况。可以看出, 它们之间的差别很明显, 说明样品处理得甚为满意。2 位于屏幕右上方, 是 13 个样品灰度均值 $(MSS\ 4 + MSS\ 5)/2$ 为横坐标, $(MSS\ 6 + MSS\ 7)/2$ 为纵坐标的一种平面分布图。图上可以看出 13 个样品区分得很清楚。只 8 号和 9 号样品比较接近。3 位于屏幕下方, 它是 13 个样品中每一个像元在四个通道上的分布曲线。

接着, 将样品代入逐步判别分析程序, 进行演算。并且将执行的结果, 由宽行打印机打印输出。

执行结果的内容包括:

① 样品代码。如:

样品	代码
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5
6	6

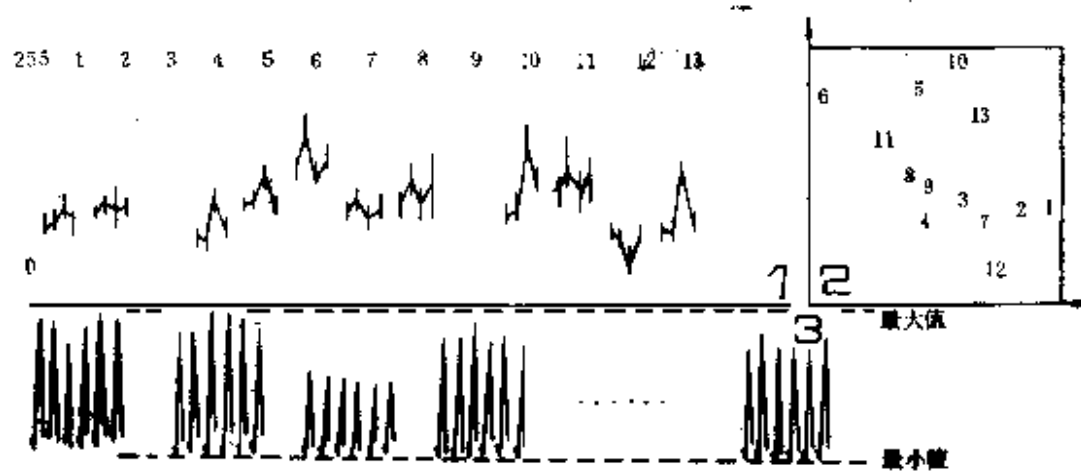


图 8-9 样品处理

7	7
8	8
9	9
10	A
11	B
12	C
13	D
14	E
15	F
16	G
17	H
18	I

样品总像元数：如 430。

② 每个样品在各通道上的灰度数值。如：

	样品 1	样品 2		样品 N
通道 1	34.93750	24.88889		31.50000
通道 2	49.78472	21.36111		36.50000
通道 3	39.63889	18.88889		46.50000
通道 4	15.67361	6.47222		36.25000
通道 5	85.51389	83.27778		127.75000
像元数	144	72		4

每个样品中像元灰度数值的离差值。如：

	样品 1	样品 2		样品 N
通道 1	1.70240	1.10766		0.70711
通道 2	2.51197	1.12970		0.00000
通道 3	1.47999	1.80419		1.41421
通道 4	1.61215	1.38373		1.41421
通道 5	5.30073	9.05262		0.70711

每个样品的方差系数。如：

	样品 1	样品 2		样品 N
通道 1	0.04873	0.04450		0.01297
通道 2	0.05046	0.05289		0.0000
通道 3	0.03734	0.09552		0.01837
通道 4	0.10286	0.21380		0.02245
通道 5	0.06199	0.10870		0.00546

从灰度数值可以观察到各样品的特征。从离差值可以看出样品中像元的处理情况。上例中大部分离差值都很小，甚至接近零或等于零，说明样品处理相当满意。只是其中通道 5 出现离差数 5.3 和 9.0，表明样品 1、样品 2 在第五通道中处理得尚不完全满意。从方差系数可以看出判别分析效果将会如何？上例所有方差系数都很小，都接近于零。说明上例是成功的。

③ 样品相关矩阵。它表明各个样品之间的相互关系。

(例子从略)

④ 分级函数。如

	样品 1	样品 2		样品 N
通道 1	11.36172	12.00875		24.78540
通道 2	14.74820	7.77935		11.31059
通道 3	11.95814	7.71918		12.37305
通道 4	-20.87283	-18.47286		- 4.26458
通道 5	11.67313	9.79281		9.16420

⑤ 分级分类的符合百分比，以及多个像元符合，多个像元不符合。例如：从表 8-1 可以看出，大部分分类都是 100% 的符合，只有少数（如 5，8 类）欠佳。而且，还能查明 5、8 类同其它类别混淆的情况。如 8 类主要和 5 类

表 8-1

类别→

	符合率 (%)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	100	144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	98.6	0	71	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
3	100	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	100	0	0	0	4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	50	0	0	0	1	8	0	0	6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
6	100	0	0	0	0	0	32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	100	0	0	0	0	0	0	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	86.7	0	0	0	0	4	0	0	26	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	100	0	0	0	0	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
B	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0
C	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	28	0	0	0	0	0	0
D	93.3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	42	0	0	0	0	0
E	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0
F	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	0
G	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0
H	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
I	100	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4

类别

混；5类则同8类、4类、E类相混。

⑥ 经逐步判别分析，得到典则变量系数。这是十分重要的一种数据，它将构成典则变量坐标系，来对照整幅图像上的每一个像元，让每一个像元（逐行逐列）都归到某一类里面去。

典则变量系数如：

	通道 1	通道 2		通道 N
类别 1	1.95994	7.23144		-0.01644
类别 2	10.38927	-6.04770		-0.00104
.....				
类别 N	-5.89729	-0.09188		-0.81417

⑦ 典则变量坐标。图 8-10 是 1977 年 4 月南京幅 16 种地面覆盖类型的典则变量坐标图。

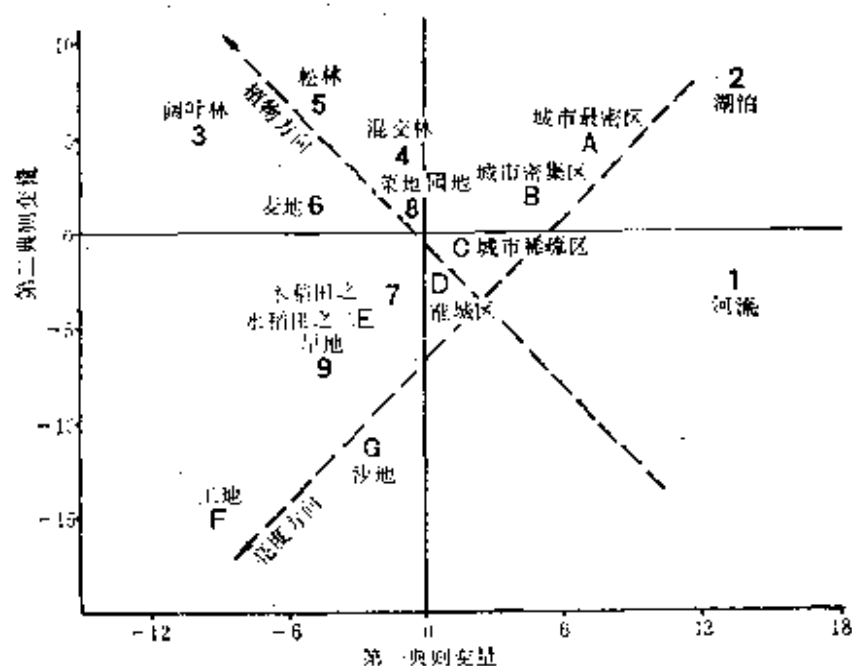


图 8-10

图 8-11 是 1981 年 7 月南京幅 18 种地面覆盖类型的典则变量坐标图。

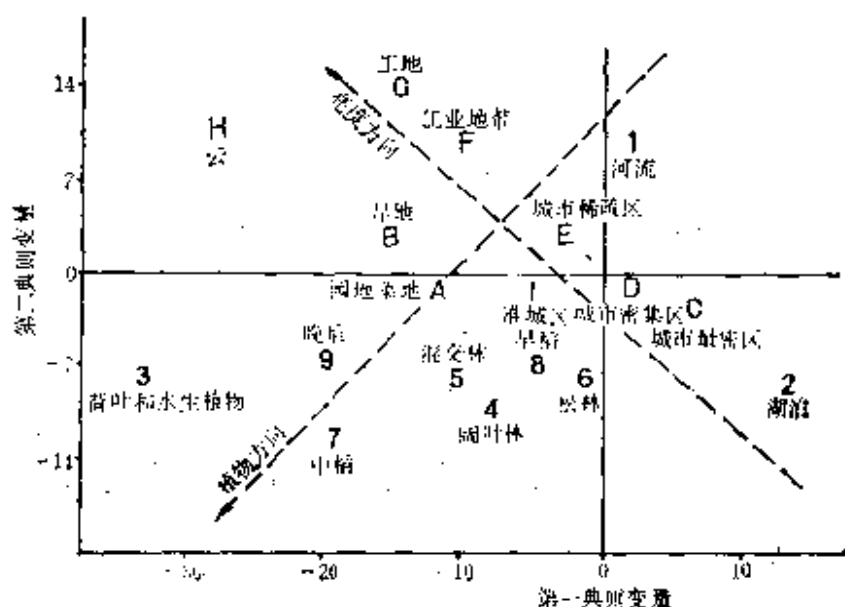


图 8-11

使用典则变量坐标图可以直观地看出各类地面覆盖类型是否已很好地区分开来。从南京例子观察，无论是 1977 年的 16 类，还是 1981 年的 16 类，都能明显地区分开，并且反映了地理分布的规律性。如图 8-10 中，ABCD 表示城市房屋最密集区、密集区、稀疏区和准城区（建筑中的城区），7、E 分别为水稻田，其时 4 月仍种着小麦，q 为旱地，G 为沙地，F 为工地，如箭头示，形成亮度方向，亮度依次加大。同样，另一个箭头，C（城市）、8（菜地）、4（混交林）、5（松林）、3（阔叶林）形成植被方向，生物量指数依次加大。图 8-11 也反映了同样的情况。这说明判别分析数学方法应用到数字地理制图，理论探讨和实际应用都是成功的。

⑧ 每组样品的每一个像元在典则坐标系中的位置(x 、 y 值)。如 F 组样品，16 个像元（401 到 416 号）在典则变

量坐标系中的 x 、 y 值。

组别 F	(共 16 个像元)	
像元方块	x 值	y 值
401	- 9.68	4.43
402	-10.73	6.73
403	-10.92	7.47
...	...	...
414	-11.32	8.08
415	-11.52	9.40
416	- 9.69	6.84

又如 I 组 4 个像元（从 427 号到 430 号）在典则变量坐标系中的 x 、 y 值。

组别 I	(共 4 个像元)	
像元方块	x 值	y 值
427	-4.71	-0.24
428	-7.20	-0.34
429	-6.77	-1.12
430	-4.92	-0.65

分析这些数据，可以确定逐步判别分析的结果是否满意。如果不满意，可以根据分级分类不符合的类别进行修改，可以找到在典则变量坐标系中位置偏离这个类型中心甚远的某一个像元，进行删除或改动。

如果从上述种种数据分析认定数字制图是成功和满意的，那么可以依照典则变量坐标系去对照整幅图像，逐行逐列地将图像上的全部像元归类，用类别的数字代码代替像元的灰度值，形成新的一幅类型地图的新通道。并以黑白图像输出，做最后的检验。

经检验,黑白图像如果是高质量的、符合客观地理分布规律的,便可将类别的数字代码赋给相应的彩色符号代码,由彩色输出设备输出彩色类型专题地图,如土地利用图、城市动态变化图、地貌图、土壤图等。从而最终完成数字制图过程,获得用户需要的彩色专题地图。

三、应用实例与分析

我们以南京地区 360×360 像元, 1977 年 4 月和 1981 年 7 月, 各自作单时相的土地利用图为例。

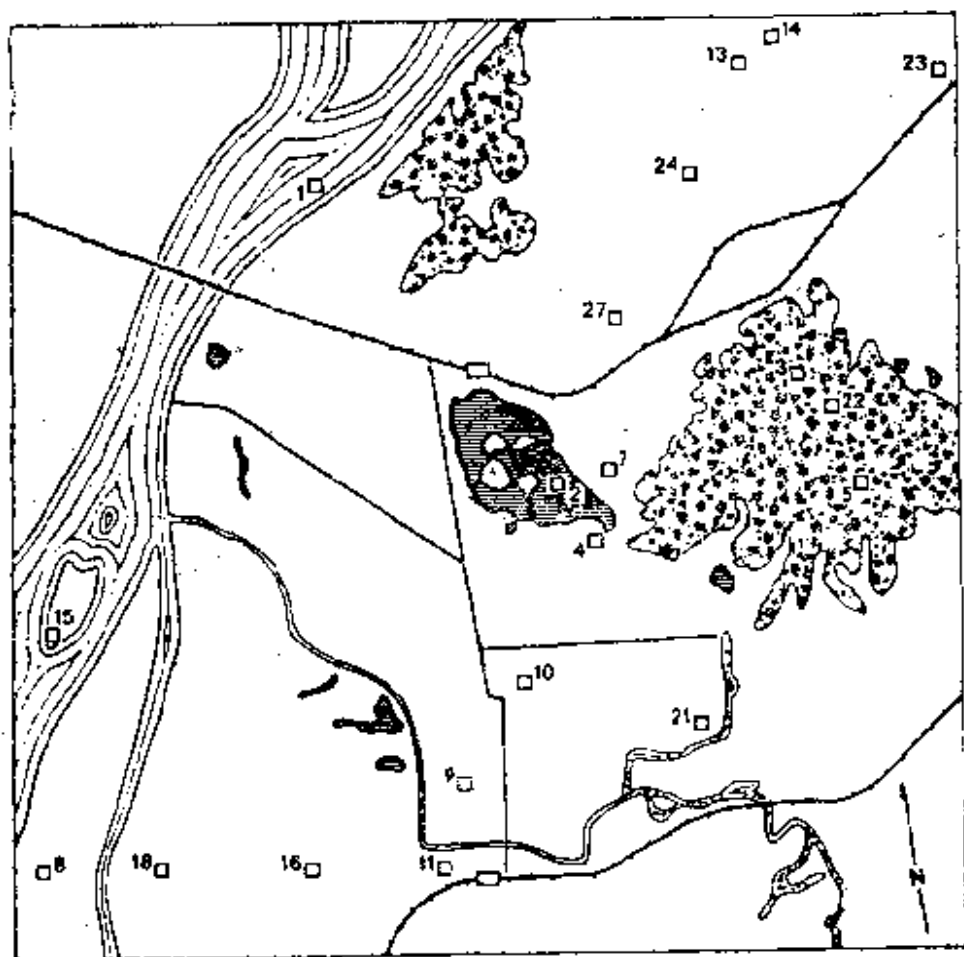


图 8-12 1977 年 4 月南京幅样品分布

1. 准备通道

我们准备了五个通道：MSS 4, MSS 5, MSS 6, MSS 7 和生物量通道。

2. 选择样品

我们对南京地区相当熟悉，具有足够数量的在地面上能很好认识的样品。图 8-12 是 1977 年 4 月被我们选中的样品点；图 8-13 是 1981 年 7 月被我们选中的样品点。这些样品都是在地面上可以认识清楚，在假彩色像片和黑白图像上也清晰可辨，即在五个通道上的灰度值能很好区分开来。这一点对判别的结果起着非常重要的作用。

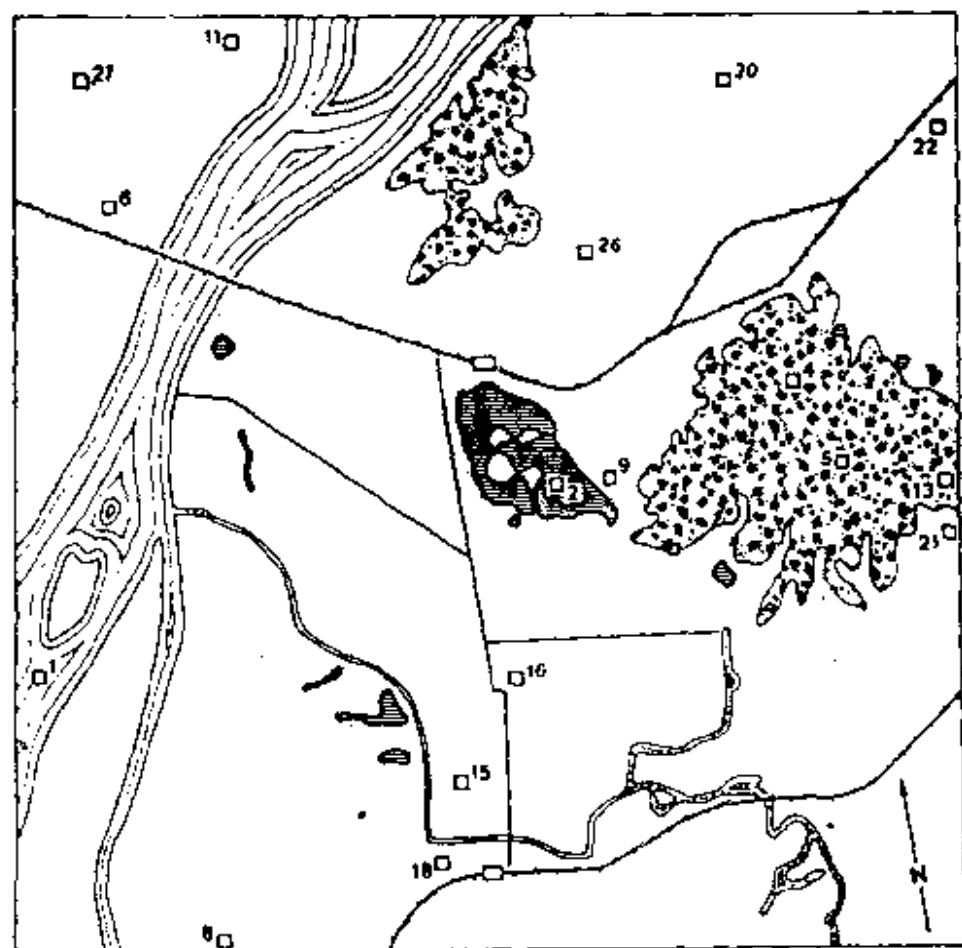


图 8-13 1981 年 4 月南京幅样品分布

利用大型仪器时，可以自动量测样品。利用通用计算机时，可以自己手量样品，记录其起始行、结束行、起始列、结束列，并通过逐步判别程序计算出每个像元的灰度值和每个样品的灰度平均值。因为我们准备了五个通道，所以有五组这样的数值。

3. 处理样品

处理样品是让计算机打印出样品的行、列、像元数，及其在各个通道上的灰度值、最大的和最小的灰度值、灰度均值、方差等。

然后对方差大的像元进行调整。例如有七行六列的某个初始样品，其中×为不满意的像元。

处理时，可取 ABCDA 四行四列为样品，也可取 EFGHE 二行五列为样品，或其它组合。再次处理依此类推(图 8-14)。

	1	2	3	4	5	6
1	G				F	
2	H				E	X
3	X		A			B
4		X				
5						
6			D			C
7				X		

图 8-14

起初样品包含的像元可以稍多一些，经处理，删除不满意的像元，样品包含的像元会愈来愈少。经验表明，最后也不宜过少，极特殊情况也应留下一两个像元。

4. 建立样品文件

处理结果将打印出样品清单，其上载明每个样品的每个像元的起始行、结束行、起始列、结束列，每个像元在五个通道的灰度值。

根据这些可以绘出每个样品灰度均值在五个通道上的波谱曲线。分析波谱曲线时，若能很好地区分开来，则说明样品处理得十分满意。此时，便建立了样品文件。

5. 逐步判别分析程序执行和结果输出

我们对 1977 年 4 月和 1981 年 7 月各自的五个通道选定的样品和处理样品后建立的样品文件, 对所有 360×360 像元的南京地区 MSS 图像进行逐步判别运算, 便得到样品间的矩阵、样品出错情况表, 以及典则变量坐标图 (参看图 8-10 和图 8-11)。

经过一两次的调整, 便可得到相当满意的结果。从典则坐标图上看到, 1977 年 4 月河流、湖泊同其它类别区分得很明显。城市最密集区、城市密集区、城市稀疏区、城市新区、稻田、旱地和工地沿亮度方向线排列开来, 容易区分。城区、园地、混交林、松林和阔叶林 (此时是春天, 树林已变绿, 但叶子还并不很茂盛) 沿植物方向线排列开来, 亦易于区分。1981 年 7 月典则坐标图也一样。

接着通过人机交互系统, 将颜色代号相应地代替类别数码, 这种做法和传统的手工设色方法是一样的。

本例利用 UNIVAS 图形软件给出彩色代号: 82 为蓝色河流, 5 为深蓝湖泊, 3 为深绿莲花荷叶, 144 为蓝绿阔叶林, 18 为暗绿混交林, 23 为深灰绿松林, 116 为翠绿中稻, 59 为浅绿早稻, 86 为绿色晚稻, 57 为浅蓝园地, 36 为黄旱地, 105 为暗紫红城市最密区, 79 为紫红城市密集区, 43 为红色城市稀疏区, 8 为棕红城市工厂区, 46 为棕黄工地, 0 为白云, 37 为浅色城市新区。以此输出南京地区单时相的土地利用图像。

6. 图像评价

“春风又绿江南岸”, 1977 年图像正是春天的图像。我们划分出 16 种土地利用类型: 河流、湖泊、阔叶林、混交林、松林、麦地、水稻田之一、水稻田之二、园地、旱作、

城市最密区、城市密集区、城市稀疏区、新城区、工地和沙地。

南京地区春天平均气温为 14.5°C ，降水量约 200 毫米，温和潮湿，河水水位低，沙滩裸露，树叶刚刚发绿，阔叶林仍处于嫩枝幼叶状态，小麦近成熟，水田刚播下早稻，中稻和晚稻田仍长着小麦，园地包括郊区的菜地、园艺地和城里的花园和草地，旱地分布在阶地或沙岛上，城市网纹能反映房屋密集程度的不同。可以认定，分类是精确的。

但是有两点混淆：一是混合像元，如水边的水和路的混合变成城市密集区；二是城市新区界线较难掌握。

1981 年图像是夏天图像。南京地区平均气温超过 29°C ，降水量为 450 毫米，尤其集中在 7 月份，很热很潮。我们划分出 17 种土地利用类型：河流、湖泊、莲花荷叶、阔叶林、混交林、松、中稻、早稻、晚稻、园地、旱作、城市最密区、城市密集区、城市稀疏区、工业地带、工地和城市新区。

夏天河水水位高，湖里水生作物发育（例如莫愁湖长满莲花），树叶都已茂盛，水稻占据农用地的大部分面积，早稻已成熟，中稻生长正旺盛，晚稻刚播种和出苗，图像上能区分出早、中、晚稻，城市网纹、园艺、旱地也都能很好地表示。整幅图像的分类也是正确的。

但也有两处混淆：一是混合像元；二是由于地貌大单元的不同，地面湿度很不一样，引起图像中部分水稻田被误判为森林。此处，两小块云也破坏了原有的类型。

总而言之，单时相的判别分析的分类结果是精确的。但它又总有一些类别或像元混淆，因而被误判。这就要求我们去建立更加综合的新通道，并采用多时相判别分析方法。

第二节 多时相多通道判别分析

一、多时相和单时相的异同

多时相和单时相最主要的差别是使用多个时期的通道参加分析，即多时相在准备通道时就要充分考虑怎样利用不同的时相。

首先要根据制图的目的进行选择。例如我们为了研究某地区的水土资源的变化，那么至少要选两个时期季节不同的磁带，这两个时期不应相隔太近，（看不出变化），也不宜相隔太远（摸不准变化情况），一般宜相差4年或5年左右。两个季节的考虑则要参照制图区域的物候表，依植物和农作物生长期精心确定。

其次，准备好的通道有两种方式参加判别分析。第一种是让两个时期的通道直接参加判别，如1977年4月MSS 4, 5, 6, 7的生物量和亮度指数；1981年7月MSS 4, 5, 6, 7的生物量和亮度指数。这种方法是机械的组合，判别效果不甚佳。我们曾用泰国清迈府做试验，稻田和城市很难分清，稻田和积水洼地也难分开。第二种是先让上述12个通道做主成分分析，取出头几个主成分通道参加判别分析。这种方法是机有机的综合，判别效果甚佳！

多时相和单时相判别分析的流程是相同的。按第一种方法准备通道，只要包含了两个时期的通道即可进行分析。按第二种方法准备通道，只要注意选取头上那几个通道即可。而后的选样品、样品处理、建立样品文件、判别分析、输出结果、编制成彩色专题地图的数字制图过程都与单时相的相同。

二、应用实例与分析

为了研究南京地区土地利用的动态变化，曾用数字制图的方法编制 1977 年至 1981 年南京贯时性土地利用动态变化专题地图。我们参照南京地区主要农作物和天然植被生长期物候表，选取了 1977 年 4 月和 1981 年 7 月共 12 个通道，经主成分分析得到头 5 个主成分通道。

以这 5 个主成分通道作判别分析的依据，选出 19 个在地面上认识很清楚的样品，这些样品尽量能同单时相分析时选择的样品一致。如城市最密集区、城市密集区、城市稀疏区等等。这样有便于比较的好处。但是，也不能所有样品都和单时相的一样。这是由于，多时相准备的通道是已经综合了的通道，他们的直方图曲线和各样品的灰度光谱曲线的形状和单时相的不一样了。图 8-15 是多时相样品分布。

经过样品处理，得到 19 个样品类型，并且建立了样品文件。样品数据见表 8-2。样品在主成分 1，2，4，5 通道上的灰度值分布见图 8-16。

接着进行逐步判别分析。在典则坐标图上清晰地划分出 17 种类型，同时清楚地依植被方向和亮度方向排列(图 8-17)。

这 17 个类型是：河流、湖泊、莲荷、阔叶林、混交林、松、裸地、水稻田之一、水稻田之二、园地、旱地、城市最密集区、城市密集区、城市稀疏区、新城区、工地和沙地。其中动态变化较大的是湖泊和莲荷、水稻田、城市稀疏区和新城区。

同样配以颜色代号即可输出土地动态变化分类的彩色地图。这幅彩色地图的分类是十分精确的。除了混合像元以外，很少有误判的地方。

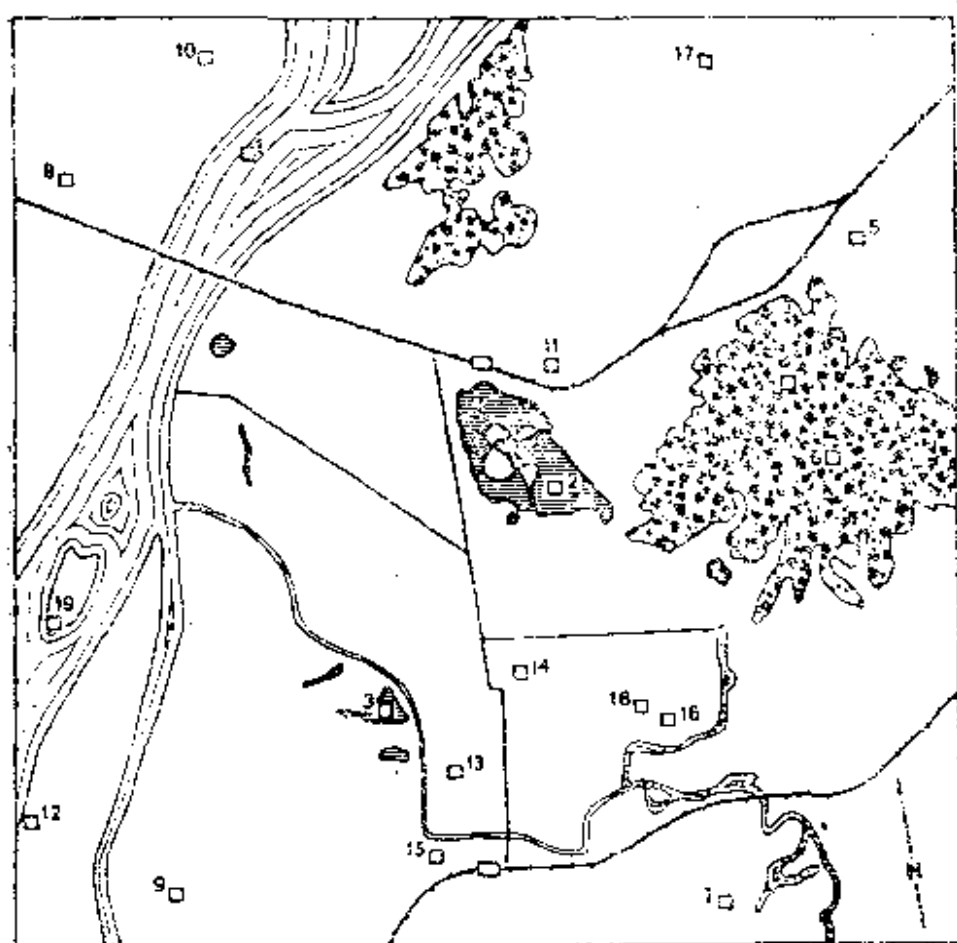


图 8-15 1977—1981 年样品分布

三、多时相的优点

单时相分类总有少数像元类型被混淆，多时相分类没有像元类型被混淆(除了混合像元)。单时相只能反映瞬时性静态状况，多时相可反映贯时性动态变化。

因为所有自然现象都是取决于水的环循，因此，选择时相十分重要。就本例而言，4月和7月能很好地区分农作物，而相距5年则能看出同类地物的变化，象城市街区轮廓。

总之，多时相分类总比单时相要优越得多。当然，多时

南京幅多时相判别分析样品表

表 8-2

数 字				硬拷 贝号	行	列	名 称	像 元
样品 号	类型 号	计算 机代 号	颜色 号					
1	1	1	0	82	57,62	83,91	河流	6×9 54
2	2	2	1	05	183,188	208,215	湖泊	6×8 48
3	3	3	2	03	272,273	136,143	荷	2×8 16
4	4	4	3	144	143,145	306,310	阔叶林	3×5 15
5	5	5	4	18	76,80	322,327	混交林	5×6 30
6	6	6	5	23	164,169	314,323	松林	6×10 60
7	7	7	6	00	328,329	281,282	裸地	2×2 4
8	8	8	7	59	53,54	24,26	水稻田 1	2×3 6
9	9	9	8	86	315,316	51,54	水稻田 2	2×4 8
10	9	9	8		27,31	71,81	水稻田 2	5×11 55
11	10	A	9	57	141,142	254,254	园艺地	2×1 2
12	11	B	10	36	323,323	17,17	旱地	1×1 1
13	12	C	11	105	292,294	177,178	城市最密区	3×2 6
14	13	D	12	79	254,257	186,187	城市密集区	4×2 8
15	14	E	13	43	323,324	171,172	城市稀疏区	2×2 4
16	15	F	14	37	272,274	257,258	准城区	3×2 6
17	16	G	15	46	41,44	231,232	玉地 1	4×2 8
18	16	G	15		267,268	252,255	工地 2	2×4 8
19	17	H	16	31	235,235	15,17	沙地	1×3 3
								总计 358 个像元

相分类要求照顾到全部的土地覆盖类型，假如就某一类型的详细对比和探讨，数字相关掩膜的方法值得一试。

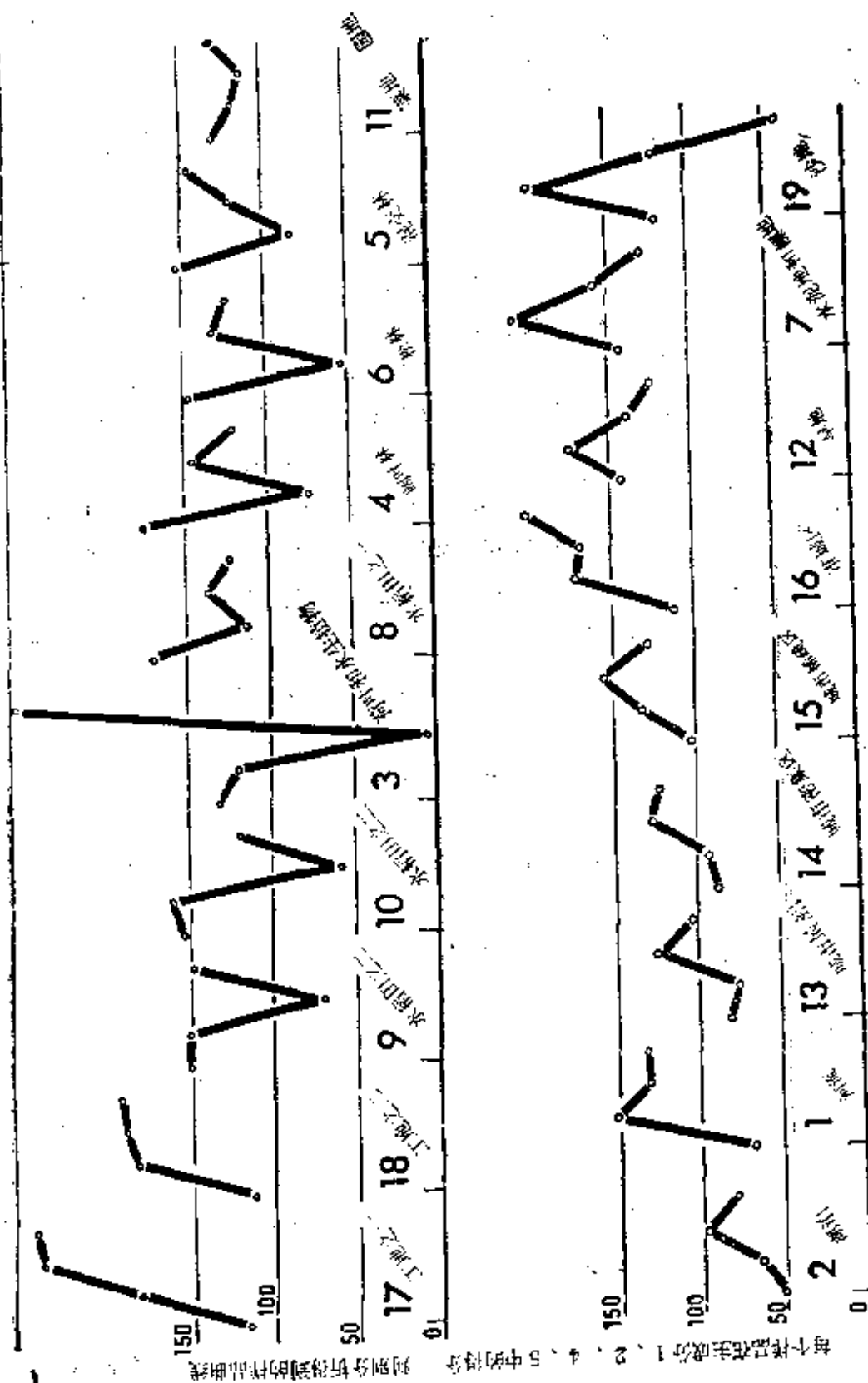


图 8-16 南京地区样品曲线

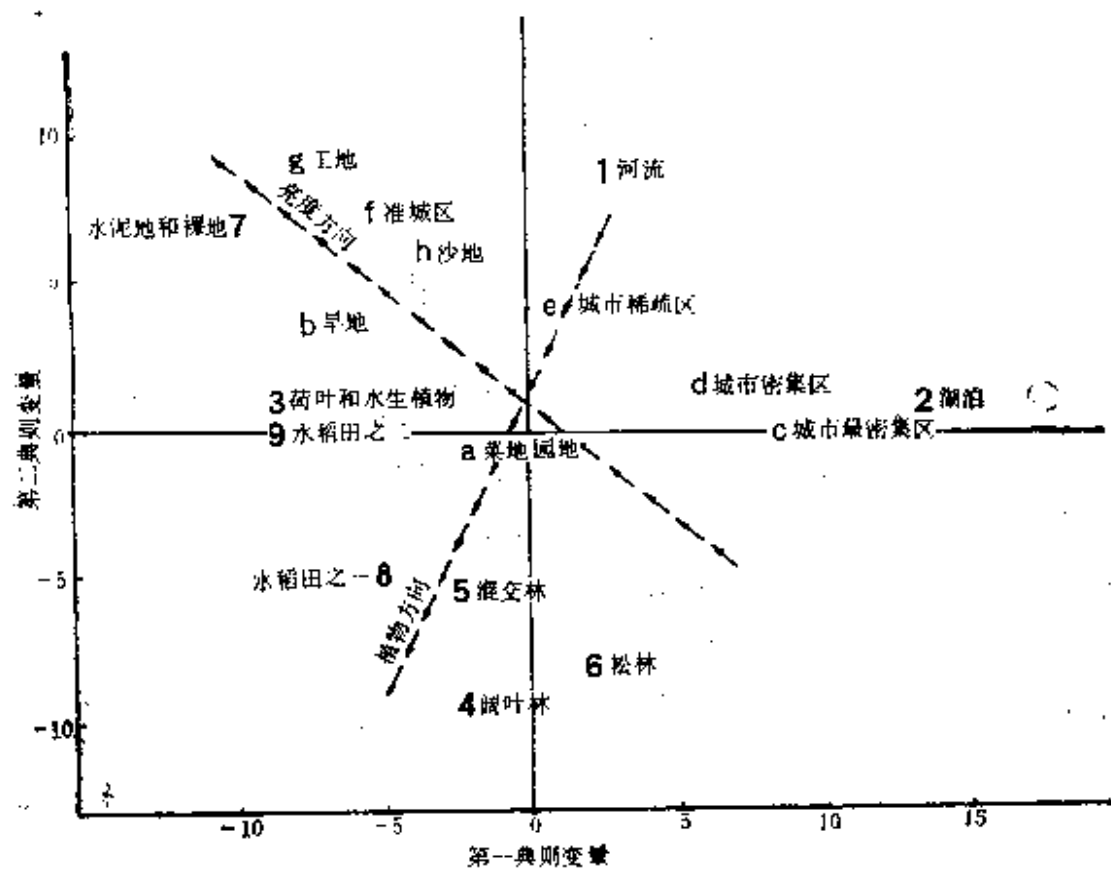


图 8-17 1977—1981 年南京地区判别分析

第九章 数字相关掩模与制图

第一节 原 理

相关掩膜处理技术，是利用遥感图像产生的彼此能够精确重叠、且具有不同特征的一组通道，经过不同组合搭配及相互叠掩的办法，以满足遥感图像分析判读与数字制图需要的一系列图像处理技术和数字制图方法的总称。

参加这种处理的一组通道称之为相关掩膜模片。它们之间存在着一定的相关性。它们可能是多光谱图像或多时相多光谱图像的原始通道，也可能是由原始通道经算子运算后组成的新通道。要求它们事先经过辐射和几何纠正，它们的基本影像特征在空间上要能够彼此精确重叠。

相关掩膜技术可以用来进行反差调整、边界增强、影像相减、彩色合成、密度分割、专题要素的抽取等一系列处理，以便完成数字制图之目的。

同任何一种技术一样，相关掩膜方法也是遥感技术发生和发展后，经过人们不断实践探索而逐步发展起来的。

大体说来，70年代至80年代初，是光学相关掩膜大发展的时期。当时，美国人就利用阿波罗9号拍摄的像片处理了亚利桑那州的图像。日本人利用地球资源卫星相关掩膜处理，提取关东地区森林、耕地、高密度街区、水域和污染水域等专题要素。在我国，也进行过更加广泛的试验和应用。中国科学院遥感应用研究所的专家们分析总结了国内外

这类处理方法,于1979年提出“遥感图像相关掩膜处理判读技术”这一术语,并于1981年由科学出版社出版了“实用遥感图像光学处理方法——相关掩膜技术及其应用”专著。

80年代以来,陆续见到国外应用计算机相关掩膜方法的论文。1984年,作者有机会在法国斯特拉斯堡专题制图实验室利用宇宙机进行了城市相关掩膜试验,取得了良好的效果。计算机方法的原理与光学方法相同,但速度快,可以事先估计,十分适合于专题制图。

第二节 应用实例

计算机掩膜方法是遥感数字制图的基本方法之一。它能够避免手工光学相关掩膜存在的一些问题,快速地实现多维动态分析。在遥感原始信息不变的前提之下,它能够提高解译能力,使遥感技术从单一数据的瞬时性静态解译转变到综合数据的贯时性动态解译,从而大大提高了应用价值。

笔者曾利用法国科学院斯特拉斯堡专题地图实验室的Univac 1110通用计算机及其外围设备泰克4015彩色图形输出仪和本松9215静电打印机,对南京、雅典、斯特拉斯堡进行Landsat CCT磁带的计算机掩膜试验与研究,取得的结果实例介绍如下。

一、掩膜前的准备工作

1. 明确工作目的

进行计算机掩膜,首先要明确工作目的。例如为了解译城市、植被、土壤、地表形态、土地利用等等。针对其目的

才能确定信息选取及掩膜方案。

本实例是要求详细地解译出城市建筑物，并且还要说明它们大致的密度、年代和动态变化情况。

2. 选取遥感信息

根据着重城市动态变化的目的，必须选出至少包括两个年份及两种季节的卫星磁带，作为掩膜的原始资料。

两个年份相距不宜太近而没有变化，也不宜相距太远而变化太大。两种季节应该参看当地的物候表加以选择。本例两年相距五年，两个季节分别为春天和夏天。这样，不仅反映了年度的变化，而且也反映了季节的变化。

3. 纠正和匹配

选择好的原始磁带应利用计算机作辐射纠正。本例的 CCT 磁带购进时已经经过粗加工和辐射纠正。

再参照大、中比例尺地形图，选出控制点，做几何纠正。本例选取了 37 个控制点，它们遍布整景图像，参照最新编制的 1:20 万江苏省地形图，顺利地完成了几何纠正。

有时，还要将两个年份的磁带进行计算机匹配，使同名地物点在图像上的像元能够一一对应。本例选了 7 个同名地物点，将 1981 年的图像匹配到 1977 年的图像上去，使同名像元一一对应和重叠。

经纠正和匹配后再进行掩膜，得到的图像具有一定的数学精度，符合某一种投影的地图图像，显然很容易转绘成专题地图。

4. 建立新通道

Landsat CCT 磁带提供的原始通道是有限的。况且在有限的通道里，有的质量很差，噪音严重，不能使用。

为此，必须根据掩膜的目的，按照本书第六章的方法建

立诸多新通道。

这么多新通道不可能都选来做掩膜，一般需要再经过主成分分析，求得头几个成分。例如斯特拉斯堡1975年和1981年每年的4个MSS通道、1个垂直植物指数通道，共计10个通道，经主成分分析后只取头5个主成分。南京1977年和1981年各年的4个MSS通道、一个生物量指数通道和一个亮度指数通道，共12个通道，经主成分分析取出头5个主成分便可代表12个原始通道的本质（请参照本书第七章），这5个主成分通道实质上是更加综合的新通道。

至此，我们已经做好了掩膜的准备工作，接着便进入掩膜过程。

二、计算机掩膜过程

以南京市为例，计算机掩膜过程如图9-1所示。

1. 分析参加掩膜的通道

本实例参加掩膜的通道是主成分1至5。根据主成分分析程序所得到的结果，即五个主成分旋转后的因子系数矩阵，我们能绘制出各通道的权系数平面图，从平面图上能看出某主成分和各原始通道及新通道之间的关系，从而说明该主成分的组合特征。

就南京市而言，主成分1主要由1981年生物量、MSS 7和1977年MSS 7、生物量构成，而两年的MSS 4和MSS 5都是负分，可见它是矿物质和植物的对比，反映水面、街区和植物的差异，当然是城市掩膜最重要最基本的资料。

主成分2主要由MSS 4和MSS 5两年相间而成，可见它是两年矿物和水的对比，实则是春夏季节的对比。负分

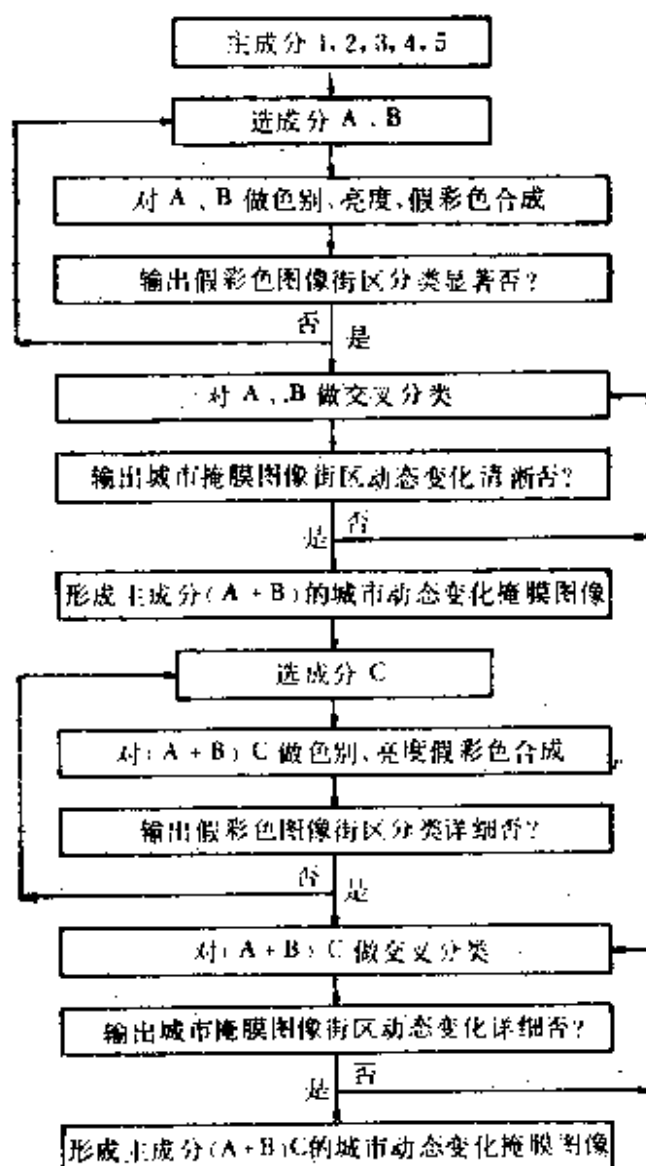


图 9-1 城市掩膜分类的流程框图

由两年的生物量相间而成，但分数很小，说明它亦稍许反映春夏两季植物的差别。主成分 2 是城市掩膜的辅助资料。

主成分 3 是两年亮度系数的强烈对比，实际是春夏两季亮度的强烈对比，对城市掩膜关系不大，故舍弃未用。

主成分 4 主要反映郊区农作物的变化，对城市掩膜作用

不大。

主成分 5 能够反映两年来城市街区的某些细小的变化，对城市掩膜相当有用。

总之，通过分析，确认五个主成分各具特色，而对于城市掩膜而言，主成分 1 尤为重要，主成分 2 和主成分 5 也将起到相当大的作用。

2. 首次色相、明度、饱和度假彩色合成

色相、明度、饱和度假彩色合成在本书第五章第三节作了详细介绍，它不同于流行的黄、品、青三色假彩色合成。

色相、明度和饱和度假彩色合成，是把色相、明度和饱和度分别赋给三个通道。赋给色相的通道在合成图像里起主导作用，其余两个通道起辅助作用。合成的图像接近于类型图，它是分类的初步尝试，因而它很适合于制作掩膜图像，提供解译分析使用。

就本例而言，我们选南京地区 360×360 个像元的主成分 1、主成分 2、主成分 5 做色相、明度、饱和度假彩色合成。

依主成分 1, 2, 5 图像灰度值直方图，划分出等级。

主成分 1 划分为 12 级：

14, 0/0, 78/1, 96/3, 109/6, 115/7, 121/8,
125/9, 137/10, 145/11, 154/12, 167/13, 190/

主成分 2 划分为 5 级：

6, 0/8, 67/10, 92/13, 122/15, 162/

主成分 5 只划分 1 级：

16, 1/

主成分 1 占主导地位，主成分 2 起补充作用，主成分 5 不起作用。由此得到的彩色图像能够区分出城市街区轮廓和

其内部特征。在 0, 78(蓝色)处是水和街区的分界线;在 8, 125(黄色)和 9, 137(黄绿色)处是植物和街区的分界线。这样, 我们可以将街区提取出来详加分级。

3. 首次交叉分级

既然主成分 1 和主成分 2 的假彩色合成图像能够划分街区, 那么我们就可以对主成分 1、主成分 2 进行交叉分类(图 9-2)。

主成分 1	主成分 2	级 别	内 容
0—76	0—256	1	水面
77—124	0—91	2	城市最密区
77—109	92—161	3	城市密集区
110—124	92—161	4	城市稀疏区
77—124	161—256	5	准城区

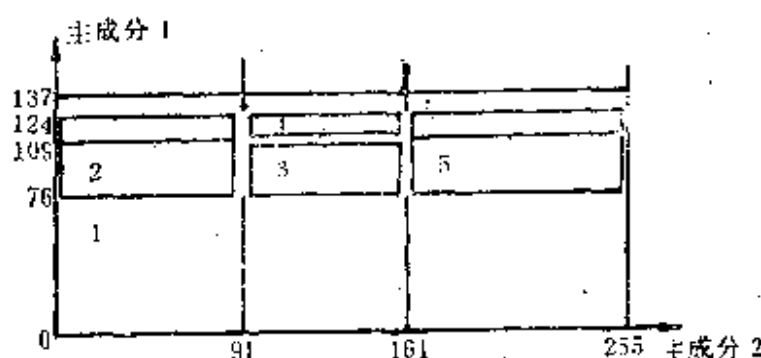


图 9-2

由它便可输出南京城市街区彩色地图。

彩色地图反映了南京市街区的动态变化, 一共分 5 个类型:

① 水部: 以浅蓝色表示了长江、玄武湖等湖泊、水库以及秦淮河等双线河流。

② 城市房屋最密集区：以深紫红色表示了南京市房屋最密集区域，大部分在城南，少数在下关区。这里房屋密且小，没有花园和空地，甚至街道都十分狭窄，是动态变化最小的地区。

③ 城市房屋密集区：以红色表示了南京房屋密集区域。其面积占城建区总面积的比例最大，分布较广。在城墙里，沿主干道两边都有分布。其边缘是动态变化区域。

④ 城市房屋稀疏区：以浅红色表示了南京市房屋稀疏区域。它沿房屋密集区两边零散地分布着，是城市动态变化较大的地区。房屋稀疏，而且有花园和空地间隔。在本地图上，由于植被不表示，形成空白颜色。

⑤ 准城区和工地：以黑色条纹表示南京市1977年和1981年间才建成的房屋，或正在建筑的房屋(工地)。大部分分布在郊区、城西干道和几个新型小区。是城市动态变化最强烈的地区。

4. 再次色相、明度和饱和度假彩色合成

对主成分(1+2)和主成分5做色相、明度、饱和度假彩色合成。

主成分(1+2)划分为6级：

8,0/14,2/0,3/2,4/5,5/7,6

主成分5划分为3级：

8,0/14,100/12,155

主成分4划分为1级：

16,1

主成分(1+2)起主导作用，主成分5起辅助作用，主成分4不起作用。这样合成的图像比首次合成的更加详细。

5. 再一次交叉分级

既然主成分 (1+2) 和主成分 5 的合成图像能够细分街区，那么我们对它进行交叉分级。

主成分 (1+2) 分级依旧。

主成分 5 划分为三级：

0-99-154-255

这便得到理想的分类盒子 (图 9-3) 和表格 (表 9-1)。

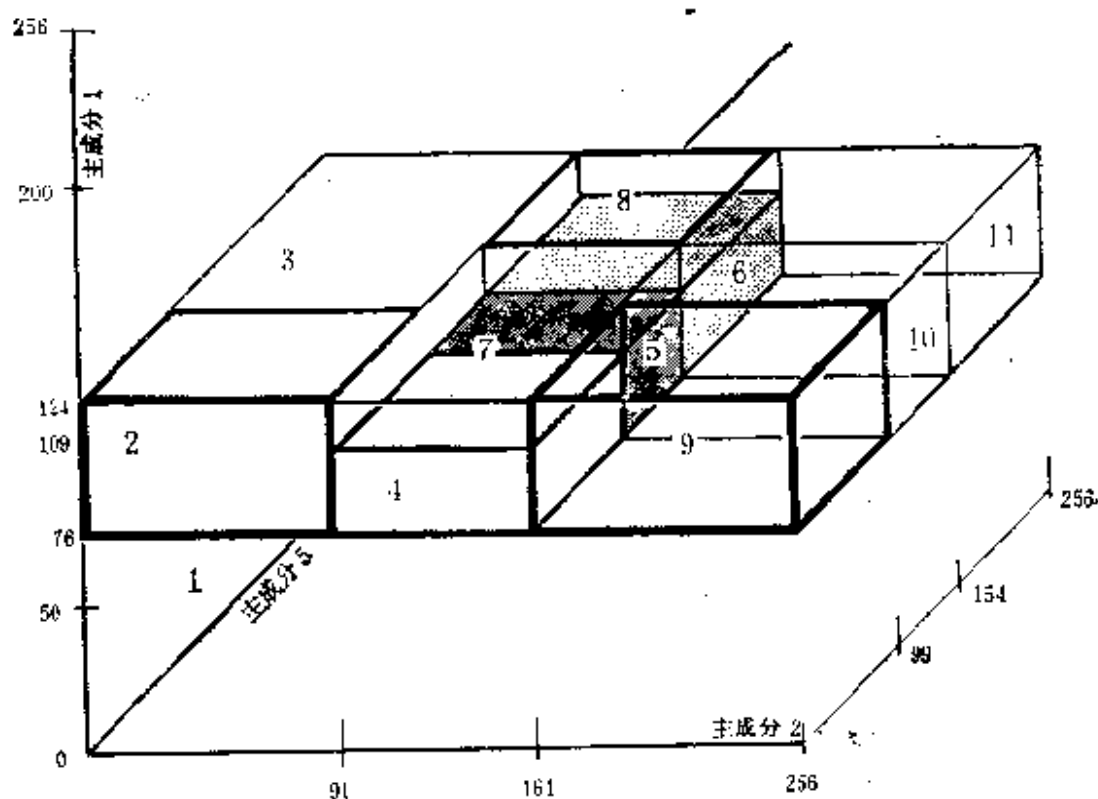


图 9-3 南京城市掩膜盒子

根据南京城市掩膜盒子和城市掩膜分类数据，输出南京城市彩色掩膜图像，便制成城市动态变化专题地图。

三、实质和应用

综上所述，计算机掩膜的实质包括两个方面：其一是进行多次色别、亮度和饱和度的假彩色合成，目的在于图像增

城市掩膜分类数据

表 9-1

组别	主成分 1	主成分 2	主成分 2	类 型
1	0~76	0~255	0~255	水 面
2	77~124	0~91	0~99	城市最密最古区
3	77~124	0~91	100~255	城市次密次古区
4	77~109	92~161	0~99	城市密集古老区
5	77~109	92~161	100~154	城市较密较古区
6	77~109	92~161	155~255	城市不密不古区
7	110~124	92~161	0~154	城市较疏较新区
8	110~124	92~161	155~255	城市稀疏新区
9	77~124	162~255	0~99	城市新区
10	77~124	162~255	100~154	城市最新区
11	77~124	162~255	155~255	工 地

强, 利用这种假彩色合成接近于类型图的优点, 以便于目视解译和分类; 其二是进行多次交叉分级, 目的在于使图像分类更加详尽, 以便揭示解译内容和探索城市动态变化。

计算机掩膜得到的南京城市图像, 划分为 11 种类型, 借助于专题地图和地面信息的对照, 我们认为该图像的分类是很精确的。

第 1 类: 水面。

第 2 类: 城市建筑最密最古老区。位于城市的核心地区。最古老的街区, 建筑物为密集低矮的砖瓦或木材结构的房屋, 屋顶呈灰黑色斜面。没有空地, 很少植物。多属明清时代的建筑。

第 3 类: 城市建筑次密次古老区。类同第 2 类, 但年代比前者稍晚。

第 4 类: 城市建筑密集古老区。房屋稍高仍密集, 出现

平顶，有些空地和花园，估计是民国初期的建筑。

第5类：城市建筑较密较古区。时代比前者新些，房屋比前者又稀些，但仍比较密集，是民国年间的建筑。

第6类：城市建筑不密不古区。房子不密，有空地花园，平顶房屋较多。估计是30年代前后的建筑。

第7类：城市建筑较疏较新区。30年代以后的建筑物，房屋较稀疏，有庭院花园，房子间也有间隔。

以上几类没有什么动态变化。

第8类：城市建筑稀疏新区。房屋较新，反光强，有空地、花园，多为平顶，呈灰白色，是解放后的建筑。有动态变化，例如进香河原为水沟，后填平植树，两旁建有低矮房屋等。

第9类：城市建筑新区。是70年代前后的建筑，多平顶，有空地，房屋相间不连，多为工厂和住宅。动态变化甚大。

第10类：城市建筑最新区。是1977年至1981年间的建筑，如南京图书馆、南京建筑研究所。房屋密度小，建筑新，反光强。

第11类：正在筹建的机关、学校、工矿和住宅工地，动态变化最大。

毫无疑问，计算机掩膜图像同样也能供其它目的的详细解译。

总之，计算机掩膜是简便的行之有效的遥感图像处理方法之一。无论从理论上还是从实践中都证明，它适用于多维动态变化分析，从而提高卫星图像针对一定目的的解译能力，促进遥感应用技术为国民经济建设更好地服务。

第十章 数字同质化

第一节 数字同质化的含义

同质化指的是指，数字图像中的所有像元经专题分类后已经换成分类号数（它也是一种数值，如分12类，分类号数即从0至11），将这些像元的分类数值同其邻族像元的分类数值进行比较，实现多数票的选取。

我们可以设计一种程序，给定一个算子和一个得票当选的阈值，将每一像元逐个地同其邻居像元做比较。按事先给定的这个算子来计票，相当于选举，只是这种选举可以是每人1票，也可以是各人的票数不等。然后，按照得票的多少，将票数同得票当选的阈值做比较。得票多于阈值的当选，该像元分类数值被保留；得票少于阈值或等于阈值的未当选，该像元分类数值不保留，并归属于邻近像元得票最多者。这样就完成了像元同质化，其结果相当于制图综合。

像元同质化（即数字制图综合）固然同像元本身的分类数值有关，但同质化（综合概括）的程度取决于算子和阈值。为此，在计算机数字制图时，通过人机对话交互式地进行，制图综合会很理想地得以实现。

第二节 数字同质化的做法

数字制图具体作业时，首先是设计算子，其次才考虑阈

值。怎样适当调节算子和阈值？正如制图综合一样，要依靠专家的智慧及其地学修养和地图编制水平。

为此，算子可以用通式书写如下：

$$\begin{bmatrix} M_{1,1} & M_{1,2} & M_{1,3} \\ M_{2,1} & M_{2,2} & M_{2,3} \\ M_{3,1} & M_{3,2} & M_{3,3} \end{bmatrix}$$

阈值的确定要考虑综合的程度。阈值选得大，综合程度也大。同时要分析图像复杂和琐碎程度；如果图像不甚复杂、不甚琐碎，阈值不必太大；反之图像十分复杂和琐碎，阈值则要大一些。

例如，给定一个 3×3 像元的算子

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

把这个算子套到某一分类图像上，即得：

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} B & B & C \\ B & A & C \\ B & A & D \end{bmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} 5A \\ 6B \\ 3C \\ 1D \end{matrix}$$

假如我们规定的阈值是 6，那么

像元 A 得票 > 6 决定保留

像元 A 得票 ≤ 6 决定不保留

当像元不保留时，应归到邻近像元得票最多者 (B) 中去。

设有下列数字：

1 1 2 7 5 7

1	1	5	6	7	8
1	1	1	1	5	3
1	2	3	3	3	8

1 2 8 3 7 1

对框内数字按上述算子和阈值进行同质化，便得到：

1 1 2 7 5 7

1	1	1	5	5	8
1	1	1	3	3	3
1	1	3	3	3	8

1 2 8 3 7 1

调整阈值会影响结果。同是上题，假如我们规定阈值是4，那么像元 A 得票为5，大于阈值4，则保留(A)。

1 1 2 7 5 7

1	1	1	5	7	8
1	1	1	3	3	3
1	2	3	3	3	8

1 2 8 3 7 1

改变算子，同样影响结果。

$$\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} B & B & C \\ B & \text{A} & C \\ B & A & D \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{matrix} 2A \\ 4B \\ 2C \\ 1D \end{matrix}$$

设阈值为4，A 得票2，小于4，A 不予保留，

归到得票最多的邻居 (B) 中去。

	1	1	2	3	5	7
1	1	1	5	7	8	
1	1	1	3	3	3	
1	1	3	3	3	8	
	1	2	8	3	7	1

我们曾经对南京附近 360×360 个像元得到的地面覆盖图分出 16 类, 选用

$$\begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 3 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

作算子, 阈值取 6, 做了数字同质化试验, 其效果相当理想, 原先长江中有些像元分类不属于水面, 经同质化后都概括为水面。

第三节 讨 论

任何数字图像都不可能把地球上的现象或事物全部表示出来, 它总是以概括的形式予以反映。一般说, 比例尺愈小, 取舍和概括的程度愈高。这种概括与取舍称为制图综合。

制图综合是地图编制中最富有创造性的重要步骤, 也是编图人员水平的良好体现。

遥感信息, 无论航空的还是航天的, 本身已经是一种地物的概括反映, 而数字制图中所解决的制图综合问题主要是两个方面:

其一是地图图斑的同质化, 相当于地图上专题要素的碎

部的合并，也影响了专题轮廓的概括。

其二是地图专题内容分类由详细到简单的合并。这一点通过专题内容的分类编码，交由计算机是很容易实现的。例如我们以遥感图像为信息源，经数字制图的种种处理，最后只要依下列编码就可完成地面覆盖的归类合并。例如

111	平原水田	}	11	水田	}	1	耕地		
112	平原梯田								
121	平地水浇地	}	12	水浇地					
122	梯地								
131	平地旱地	}	13	旱地					
132	坡旱地								
140	菜地		14	菜地					
210	果园		21	果园	}	2	园地		
220	茶园		22	茶园					
230	桑园		23	桑园					
240	热带作物		24	热带作物					
250	基塘		25	基塘					
319	针叶林	}	31	用材林	}	3	林地		
312	阔叶林								
313	混交林								
314	竹林								
315	迹地								
321	木本粮油	}	32	经济林					
322	柞场								
330	疏林地		33	疏林地					
340	薪炭林及灌丛		34	薪炭林及灌丛					
350	防护林地		35	防护林地					

410	人工及改良草地	41	人工及改良草地\	
421	草甸草地	42	天然草地	4 牧草地
422	草甸草原草地			
423	干草原草地			
424	荒漠草地			
...	...			
...	...		...	...

第十一章 图形彩色输出

第一节 彩色输出的意义

数字制图的编辑工作是通过人机对话由电子计算机完成的，编辑中的中间成果和最终成果大多是显示在黑白屏幕和彩色屏幕上的。现代技术已经能使屏幕显示到十分细致的程度，如 1024×1024 分辨率的高精度彩色显示系统已经普遍使用。因此，在彩色显示系统的屏幕上表示精美彩色图像的愿望已经实现。

然而，屏幕显示只能观察，还需要复制下来提供广泛的使用，这便是图形输出的任务。

复制有两种情况：一种是黑白复制，例如使用静电绘图仪，它可以从黑白图像复制成黑白图像，也可以从彩色图像复制成黑白图像。另一种是彩色复制，例如使用彩色硬拷贝或彩色打印机，但必须原稿是彩色图像。

黑白复制的原理比较简单。它主要是根据每个像元的灰度值，或是分类图像的分级数值，将这些数值分成几个级别，并冠以级别的数字代号。然后用一种由黑白点子和晕线组成的从疏到密的黑白符号（图 11-1），用这些黑白符号的数字代号来替换灰度值或分类级别的数字代号，便能由黑白输出装置复制出黑白图像。

彩色复制的原理比较复杂。首先必须记清屏幕上各种颜色的代码数字，然后将这些屏幕上的颜色代码数字由人工或



图 11-1 黑白符号

由计算机转换成彩色输出设备(如 Tektronix 4695, Canon PJ 1080 A Calcomp 5912) 的彩色代号。由于屏幕显像是加色法, 彩色打印是减色法, 屏幕上的图像由红、绿、蓝三原色组成, 而彩色打印输出的颜色是由黄、品(红)、青合成。所以, 必须有一个换算的过程。

众所周知, 黑白图给人的感受是比较有限的, 而彩色图给人的感受是形象的和深刻的。彩色图像在屏幕上的显示效果远远超过单一颜色(如绿、黄、红、……), 彩色能提高人机对话时专家和操作人员的分析与判断能力, 容易形成观点和概念, 以便确认数字制图最终成果的精确性和可靠性, 并确认对这个成果的满意程度。同理, 黑白输出只能给用户提 供有限的信息, 而彩色输出能给用户 提供丰富的形象直观的信息。

综上所述, 图形的彩色输出至少有下列两个方面的积极意义: 首先, 它也能提供较多份数的图像给用户使用, 以便开展分析、应用工作; 其次, 它能给出比黑白图更为丰富和形象的地图。

第二节 色彩的基本知识

一、色彩的来源

自然界中各种各样物体的丰富色彩, 都是由于太阳光线

照射和地物固有的波谱特性形成的。如果没有太阳光（或其它光），人就看不见颜色。

人们日常看到的太阳光是白色的，但实际上它是由多种光波组成的。我们见到的是可见光谱，它是由红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七种色光组合而成的。

当太阳光照射到地物时，由于地物具有的波谱特性不同，它吸收、反射、辐射太阳光的能力不同，便反映出各种各样的颜色。简单地讲，地物色彩便是这样形成的。

数字制图中的彩色含义要比地物颜色的含意大的多。例如有假彩色合成等手段。但不管怎样，屏幕上的颜色和打印纸上的颜色仍然由红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫等七色组成。

二、色彩的标准

千差万别的颜色究竟用什么尺子衡量和区别呢？大致有三个标准，即色彩三要素：色相（色别）、明度（亮度）、饱和度（纯度）。

色相（又叫色别）是颜色的种类和名称，也就是颜色的面貌。根据光谱，颜色基本上可分为红、橙、黄、绿、蓝、靛、紫七种标准色及其七种中间色。由中间色构成的色相数目是惊人的，但一般视觉可分辨的不是太多。

明度（又叫亮度）是指颜色因光度不同而产生的明暗程度，如明绿、暗绿等。还有一种解释，是指七种标准色相互比较的明暗度，以黄色的光度最强，橙、绿次之，红、青再次之，紫色最弱。为此，颜色偏向于黄白的，便是明调子，色彩偏向于紫黑的，便是暗调子。

纯度（又叫色度或饱和度）可简单地理解为颜色中含某

种色彩成分的多少，最高值可达100%。七种标准色的纯度最高，因无其它色掺和在內而达到了饱和状态。而七种标准色以外的颜色，中间总夹杂着其它颜色的成分，纯度都不及标准色。颜料中的大红、朱红、柠檬黄、翠绿、普蓝、紫色等，比较接近于标准色，是纯度较高的颜色。

三、色彩的配合

色彩的配合，也就是色的混合。

色的混合，可以是色光的混合，也可以是颜料的混合，但两者是根本不同的。色光的混合与颜料的混合所得的结果在明度和色相方面都不相同。

遥感数字制图时屏幕彩色显示是色光的混合，而彩色输出打印则是颜料的混合。在研究颜色的配合时，既要把它们区别开来加以探讨，又要把它们联系起来，寻找屏幕显示和打印之间怎样转换。

色光的混合，是光线的增加，好象数字相加，混合的色光越多，就越明亮而近于白，称为加色法。颜料的混合，是光线的减弱，多一种颜料多吸收掉一些光线，好象数字相减，混合的颜料越多，就越晦暗而近于黑，称为减色法。

四、色彩的感觉

以各种颜色显示或打印的地图，给予人们的感受，简单地说，大致有两个方面：

① 颜色的冷暖。红、橙、黄等颜色为明色，就是暖色，或称热色；蓝与紫为暗色，就是寒色，或称冷色。绿、黑、白、金、银、灰等属于中性色。但有时暖色也会倾向于冷色调，冷色也会倾向于暖色调，这全在于显示屏幕或彩色打印

时的颜色调配关系。

② 色彩的远近与轻重。颜色中紫、蓝、绿是远与轻的色彩，而黄、橙、红是近与重的色彩。

遥感的数字制图是制图的一种，在色彩的设置方面应该遵循地图编制中彩色设计的一般性要求。例如：在多种颜色配合时，应有主题；用色不宜过多，应能鲜明地区分各要素，使之各具特色；色彩要均衡，图斑大小和图斑所占面积的多寡，在明度和饱和度的设置上必须充分考虑；既要有对照，又要能呼应，如使用艳丽的色彩，旁边就应配以朴素的色彩；大面积的明色，应以若干小面积的暗色加以衬托，整幅图面各种颜色的明暗、冷暖、轻重关系要调配得当，彼此呼应。

第三节 彩色打印的原理和实现

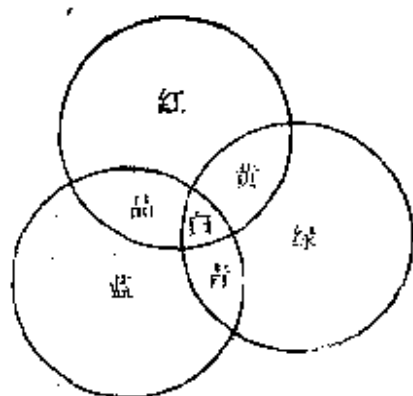
一、彩色打印原理

彩色输出可以借用打印机，也可借用硬拷贝。本节着重介绍彩色打印机，以 Canon PS 1080 A 为例。

上节已经提到：屏幕显像是加色法，而彩色打印是减色法（图 11-2 和图 11-3）。

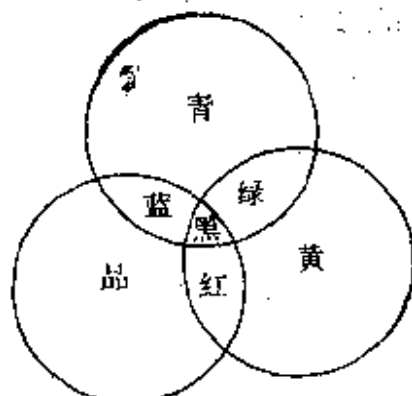
在数字制图屏幕显示时，第一次色（亦称原色）是红、绿、蓝。由第一次色两两组合的颜色称第二次色（亦称间色），是黄（红+绿）、品（蓝+红）、青（蓝+绿）。三种颜色的叠加（红+绿+蓝）则产生白色。屏幕上的各种各样的颜色都是由原色、间色和白色搭配组合而成的。假如我们给予它们数字代号，颜色的相加便形成一种数字的加法。

在数字制图打印输出时，第一次色是黄、品、青，由它们两两组合的颜色则是蓝（青+品）、红（品+黄）和绿（青+



红 + 绿 = 黄
 蓝 + 绿 = 青
 蓝 + 红 = 品
 红 + 绿 + 蓝 = 白

图 11-2 加色法



青 + 黄 = 绿
 品 + 黄 = 红
 品 + 青 = 蓝
 黄 + 品 + 青 = 黑

图 11-3 减色法

黄)，而三种第一次色的混合立即得到灰色(浅黑)。这就是四色胶版印刷的理论基础，也是我们数字制图彩色打印的理论依据。也就是说，彩色打印机输出的各种各样的颜色都是来源于黄、品、青、黑这四种色。假如我们对各种颜色都赋予某一数字代码，那么颜色的变化便可以由一系列数字演算来完成。

我们既然能借助微机等计算机来辅助我们进行数字制图的各种工作，那么我们当然亦能借助微机来替我们实现从屏幕到纸张的彩色转换和输出。

法国斯特拉斯堡专题制图实验室和鲁昂大学地理学院微信息处理研究室、香港大学地理系城市规划研究室都为我们提供了成功的例子。

在屏幕上，三种颜色是并列的，它给人们以综合的彩色视觉；在打印机上，第一次色（黄、品、青）则是叠置在同一个要素上的，因而能给出八种基本色（白、黑、红、绿、蓝、黄、品、青）。每个点上的光线强度，在屏幕上能够

随意确定的，然而它在打印机上则是固定不变的。

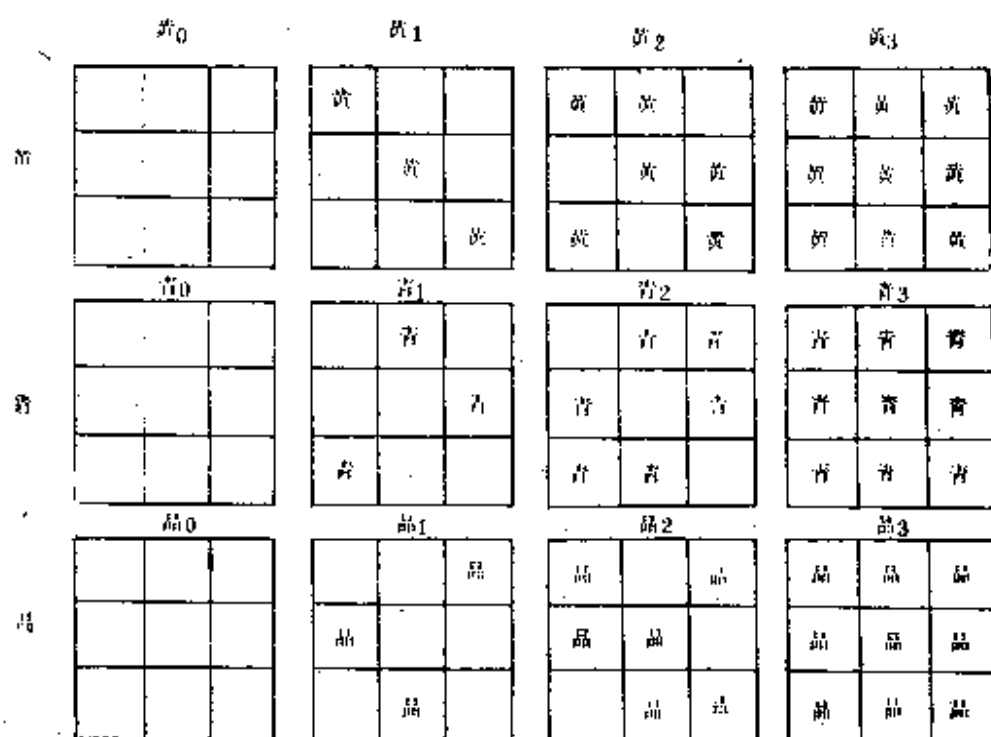
彩色显示时，红、绿、蓝三只发光器的并置能够表示极大数目的颜色。事实上，假如每一种第一次色用 8 个比特 (bit) 表示的话，总共会超过 1600 万种颜色 (256^3)，具有极其丰富的彩色显示。

彩色打印时，为了得到可以同屏幕显示相比较的效果，必须进行点要素的重叠。然而，它只有 8 种可能的强度，因此必须计算点阵内部综合要素的显示情况。点阵指的是彩色点的图解。彩色调配的丰富程度取决于表示该种颜色的点阵的大小和行列。点阵在传统的打印机上是 3 至 4 毫米大小，点阵的行列一般是 3 至 8。点阵大小和行列一旦选定，便决定了彩色点的维数，彩色点接近于一个毫米。必须注意的是：彩色点不是卫星遥感中的像元，也不是数字制图分类后的像元，而是打印机上的东西，只是由彩色点构成点阵，由这种点阵来替换屏幕上的像元点阵。

利用 3×3 矩阵，人们轻而易举地能确定每个第一次色 (黄、品、青) 的 4 级强度 (图 11-4)。

人们用黄 0、黄 1、黄 2、黄 3 表示黄的四种愈来愈深强度的色彩。同理，青和品也分别后缀 0、1、2、3 以表示它们的色彩强度。但是必须注意：黄品青三色为 0 时，色彩最浅， 3×3 矩阵的 9 个彩色点全是白色。三色为 3 时，色彩最深，9 个彩色点全是黄、品、青色。然而，为 1 和 2 时，黄品青 9 个彩色点的排列是很不相同的，几乎是有意识地将它们错开排列。这样黄、品、青为 1 为 2 时组合成的间色便会出现许多种。

将黄、品、青三色的 4 个强度加以组合，4 的 3 次方等于 64，人们便得到由黄、品、青三色各自 4 个强度组合成的



每一方块为一个彩色点 $\curvearrowright \rightarrow$ 愈来愈深

图 11-4

64 种不同的颜色。我们用图 11-5 加以表示。

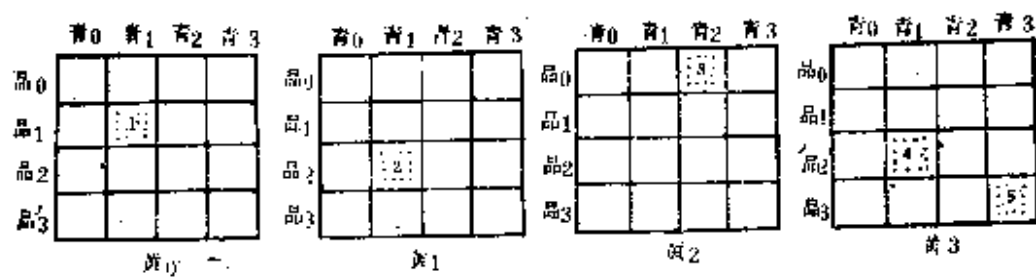


图 11-5

图 11-5 由 64 个方块组成，每个方块分别由黄 x 、品 y 和青 z (x 、 y 、 z 从 0 到 3) 组成，由此构成各种颜色，如：

1 号方块 = 黄 0 + 品 1 + 青 1 (浅紫色)

2 号方块 = 黄 1 + 品 2 + 青 1 (深紫红色)

3 号方块 = 黄 2 + 品 0 + 青 2 (深绿色)

4 号方块 = 黄 3 + 品 2 + 青 1 (深棕色)

5 号方块 = 黄 3 + 品 3 + 青 3 (深灰色或黑色)

每个方块又是由 3×3 矩阵即 9 个彩色点组成的。由于黄、品、青为 1 和为 2 时, 9 个彩色点中那几个彩色点具有黄、品、青颜色的排列是不相同的, 这便要求设计一种程序来加以完成。

二、彩色打印的实现

根据上面叙述的彩色打印原理, 人们利用彩色打印机, 配以彩色打印程序, 使彩色打印令人满意地实现。

以 Canon PJ 1080 A 喷射式打印机为例, 人们首先借用屏幕上彩色图形模式, 其存取码为“ESC x”。按照公式计算, 每一次打印一行。

ESC x + n + 红色数据 + 绿色数据 + 蓝色数据
(n 个字节) (n 个字节) (n 个字节)

红、绿、蓝模式(屏幕上)被软件转换成黄、品、青输出。在我们推导黄、品、青模式的量器中, 黄品青和红绿蓝转换编码是十分必需的。为了发出打印命令, 当然要按照彩色组合的规则进行。例如, 黄 1 + 青 3 + 品 2 (图 11-6) 就是这样进行的。

首先取三个色彩要素黄 1 (A)、青 3 (B) 和品 2 (C)。黄 1 的 3×3 矩阵彩色点中, 沿西北-东南向的对角线上排列 3 个黄色彩色点(A)。青 3 的 3×3 矩阵中布满 9 个青色彩色点(B)。品 2 的 3×3 矩阵中有 6 个品色彩色点(C)。

然后将黄 1、青 3、品 2 依 3×3 矩阵叠加起来, 得到彩色组合如 (D) 所示。根据彩色合成规则, 我们对 3×3 矩

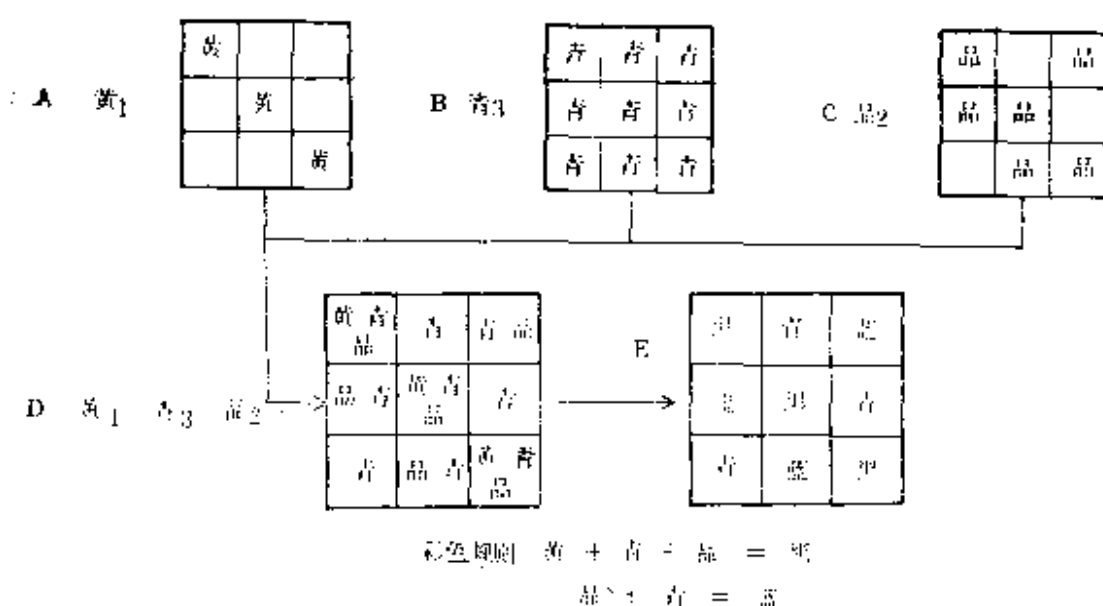


图 11-6

阵中每一个彩色点进行换算，黄 + 青 + 品 = 黑，沿西北-东南对角线的 3 个彩色点是黑点；品 + 青 = 蓝，有 3 个彩色点是蓝点；青 + 0 = 青，剩下的 3 个彩色点是青色。

最后组合的结果如 E 所示，黄 1 + 青 3 + 品 2 得到的 3×3 矩阵彩色点中有 3 个黑点、3 个蓝点和 3 个青点，总体效果是深蓝绿色。

至于黄品青和红绿蓝黑之间的转换关系可以用图 11-7 示出。

从图 11-7 取出图 11-6 (黄 1 + 青 3 + 品 2) 3×3 矩阵中的第一行，即

黄	品	青
---	---	---

 青

青

 品青 (图 11-7A)。

将它们分解成黄品青的代码，得到 4、7、5 (图 11-7 B)。

将它们的代码储存到打印的数组 U 中去，得到 U[0] = 011 = 3，U[1] = 010 = 2，U[3] = 111 = 7。

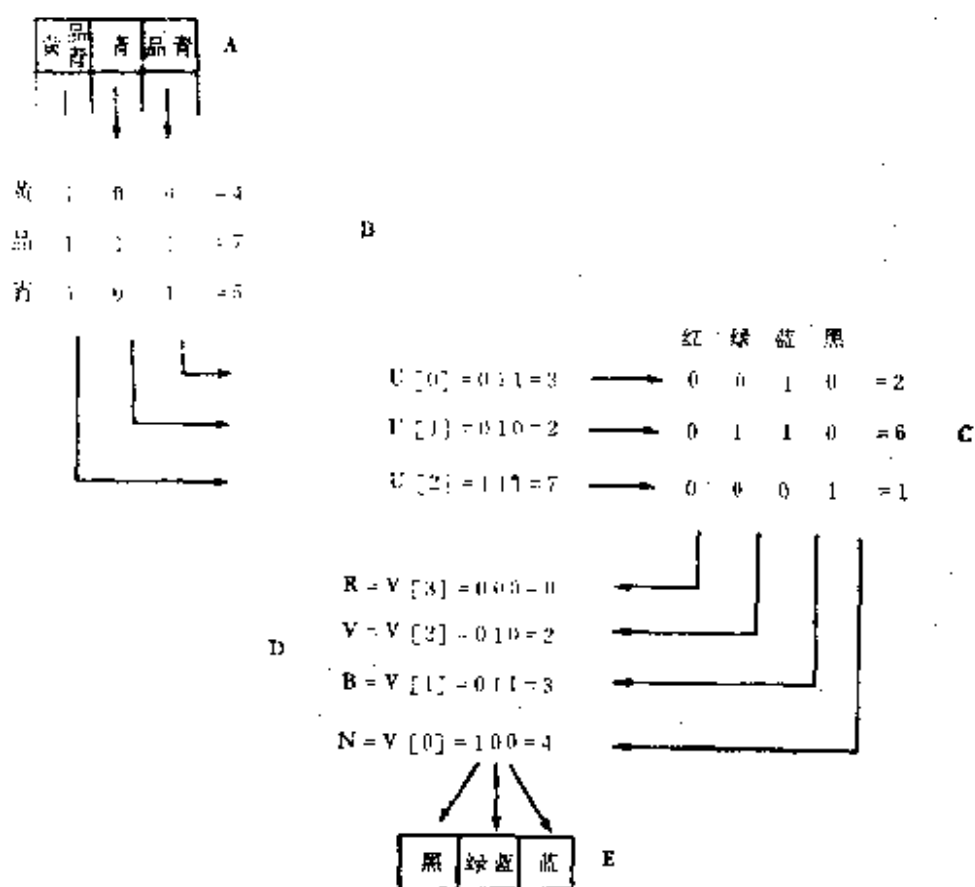


图 11-7

将它们转换成红、绿、蓝、黑的代码，得到 2、6、1 (图 11-7C)。

将它们的代码储存到屏幕的数组 V 中去，得到 $V[0] = 100 = 4$ ， $V[1] = 011 = 3$ ， $V[2] = 010 = 2$ ， $V[4] = 000 = 0$ (图 11-7D)。

将它们依红、绿、蓝合成规则计算，得到结果 (图 11-7E) 为

黑	绿蓝	蓝
---	----	---

，那么

黄品青	青	品青
-----	---	----

 和

黑	绿蓝	蓝
---	----	---

 就是打印和屏幕显示的关系。

其它各种各样的颜色都可以依此规则推导，这样人们很容易编制一种程序将打印和屏幕两种彩色进行转换，经验表明 C 语言是实现这种功能的良好语言。

总之，人们已经顺利地借用 C 语言写成的程序，实现了从屏幕到打印的彩色输出。

顺便提及，假如使用彩色硬拷贝，图形彩色输出亦很方便。

彩色硬拷贝和彩色打印机的颜色组合原理是相同的，都

表 11-1

分类号	分 类 内 容	想 设 的 颜 色	颜色号
1	河 流	淡 蓝	82
2	湖 泊	深 蓝	05
3	水生作物	浅 绿	03
4	阔叶林	深 绿	144
5	混交林	蓝 绿	18
6	松 林	深蓝绿	23
7	水泥地和裸地	白 色	00
8	水稻田之一	浅黄绿	59
9	水稻田之二	深黄绿	86
10	园艺、菜地	极浅蓝	57
11	旱 地	黄 色	36
12	城市房屋最密集区	深紫红	105
13	城市房屋密集区	紫 红	79
14	城市房屋稀疏区	红	43
15	准城区	浅 红	37
16	工 地	橙 黄	46
17	沙 地	浅橙黄	31

是由油墨颜料产生的，都是减色法，每种彩色的强度都是有限的。为此，输出之前同样要进行从屏幕显示颜色到硬拷贝复制之间的转换。转换规则和程序如上面所述。所不同的是彩色硬拷贝一般已经备好色标，注好了色标的数字代码。当人们完成了数字制图分类之后，可以先在屏幕上显示，而后依硬拷贝的色标数字代码转换，也可以直接根据硬拷贝的色标数字代码来替换分类的数字代号。

例如，我们完成了 1977 年至 1981 年南京土地覆盖动态分类，得到 17 种土地动态变化类型，它们的分类代号和硬拷贝数字代号如表 11-1。根据分类代号找出分类内容，依内容在硬拷贝色标上找出要设置的彩色，由彩色找数字代号，最后逐行逐列地以硬拷贝的彩色数字代号替换了分类代号，输出彩色地图，便是人们希望得到的土地动态类型分布地图。

结 语

综上所述，遥感的数字制图已初步形成了原理和方法。尽管这些原理和方法还在发展中，但它应该包括以下几个主要方面。

第一，遥感数字准备，就是大致按照矢量格式和栅网格式数字化，并建立标准文件。

第二，遥感的数字制图应该严格遵循一定的数学法则，进行各种纠正，以完成从图像到地图的转变。

第三，根据像元灰度值直方图，进行黑白图像和假彩色图像的制作与输出，进行初步的地图编制。

第四，借助各种算子和程序建立新通道，而每一新通道就是一种新图型，它反映和突出了制图区域内某一特定的地理特征。

第五，依各种数学方法进行分类和制图，使数字制图既具有精确的数学依据，又具有严密的地学逻辑性。

第六，还有单时相制图和多时相制图之分；静态瞬时现象的制图和动态贯时性分析制图方法。以及同质化原理。

最后，数字制图还解决了从屏幕显示到彩色打印输出的替换，得到符合要求的彩色地图。

遥感数字制图是遥感技术应用的一个部分，特别是遥感图像处理的部分，它应该具备有遥感制图的特点。遥感数字制图又是计算机辅助制图的一个部分，它也应该具备机助制图的特点。那么，遥感数字制图到底具备哪些特点呢？

可以归纳如下：

(1) 遥感的数字制图是以数字形式进行的。卫星磁带本身就是数字记录，假若遇到非数字的信息源也要将它数字化，变成统一格式的数字，而后的地图编辑、地图分析和图形输出都是以数字形式进行的。

由于是以数字形式编制地图，因而十分便于借用数字电子计算机来工作。这一点也许是数字制图的最显著特点。

(2) 遥感的数字制图要求严格的数学基础。这不但体现在对每个像元要符合数学精度，而且就整幅图也要符合数学精度，要经过几何纠正处理，要符合某一种投影并带有地理坐标等。否则仅仅是一幅图像，而不是地图。

(3) 遥感的数字制图对比例尺而言，主要体现在专题内容的详细程度，而不在于尺寸的大小。所谓大比例尺，应指专题内容分类详尽、图斑细致；而小比例尺，应指专题内容分类简单，图斑概括。至于尺寸大小，可以随意由计算机的放大功能来协调。也就是说，可以先完成小比例尺专题地图，然后再编制大比例尺专题地图，也可大、小比例尺同时进行。从大比例尺向小比例尺转变的制图综合，可以利用同质化程序实现。

(4) 遥感的数字制图可以从同一信息源编制出一系列专题地图，同时提供各方面的用户使用，即很适合于专题系列成图。

遥感数字制图的逻辑思维过程同一般制图的思维过程是一样的。然而，它是通过人机对话交互式地来完成的。通过彩色屏幕显示和打印使人们最后确定地图是否编成和编的是否满意。它以磁带和磁盘方式存储，随时可以检索、更新，从这个角度来看，它完成的是一种活的地图。

主要参考文献

- [1] 赵 锐: 图像处理的新通道,《遥感信息》1986 年第二期
- [2] 赵 锐: HLS 假彩色合成,《遥感信息》1987 年第三期
- [3] 赵 锐: 南京 LANDSAT 动态图像分析,《江苏地理与经济建设》第一号, 1987 年
- [4] 赵 锐: 卫星遥感信息计算机掩膜及应用,《中国科学院南京地理研究所集刊》第 4 号, 科学出版社, 1987 年
- [5] 阎守邕、张圣凯、孙建国著: 实用遥感图像光学处理方法, 科学出版社, 1981 年
- [6] 李铁芳、冯均泌、苏民生编著: 遥感图像数字处理原理与应用, 云南科技出版社, 1987 年
- [7] 廖克、刘岳、傅肃性编著: 地图概论, 科学出版社, 1985 年
- [8] 中国科学院地质研究所编著: 数学地质引论, 地质出版社, 1978 年
- [9] 美国地质调查局、美国大气海洋局 编, 王新民、戴自忻等译: 陆地卫星 4/5 数据用户手册, 科学出版社, 1987 年
- [10] 傅肃性、曹桂发: 遥感制图及其研究特点,《遥感信息》1986 年第一期
- [11] J.Hirsch et C. Schneider: Manuel d'utilisation du logiciel de traitement d'image et de cartographie de données de télédétection, IREM, CNRS, LCT, 1983
- [12] P.Lecarpentier, Deshen Xia, B.Diarra etc: Le traitement informatique de la couleur en cartographie, *Cahiers de Géographie de Rouen*, No.27, 1987
- [13] S.Rimbert: Des néo-variables polygénique au secours d'une image hivernale, *L'Espace Géographique*, No.3

1984, pp185-200 pp299-300

- [14] S.Rimbert: A propos d'une analyse d'image satellitaire, *L'Espace Géographique*, No.2 1984, pp151-165
- [15] S.Rimbert et Zhao-Rui, alt: Évolutions urbaines d'après des données diachroniques Landsat 3 (Strasbourg, Athènes, Nanjing), *Rapport final, LCT, CNRS-ULP*, 1984
- [16] Zhao-Rui: Types de quartiers urbains à Nanjing (Chien) d'après Landsat, *Photo-interprétation images aériennes et spatiales*, No.86-5/4, 1986
- [17] P.J.Curran: Simple size for ground and remotely sensed data, *Remote Sensing of Environment*, No.1, 1986, pp 31-42