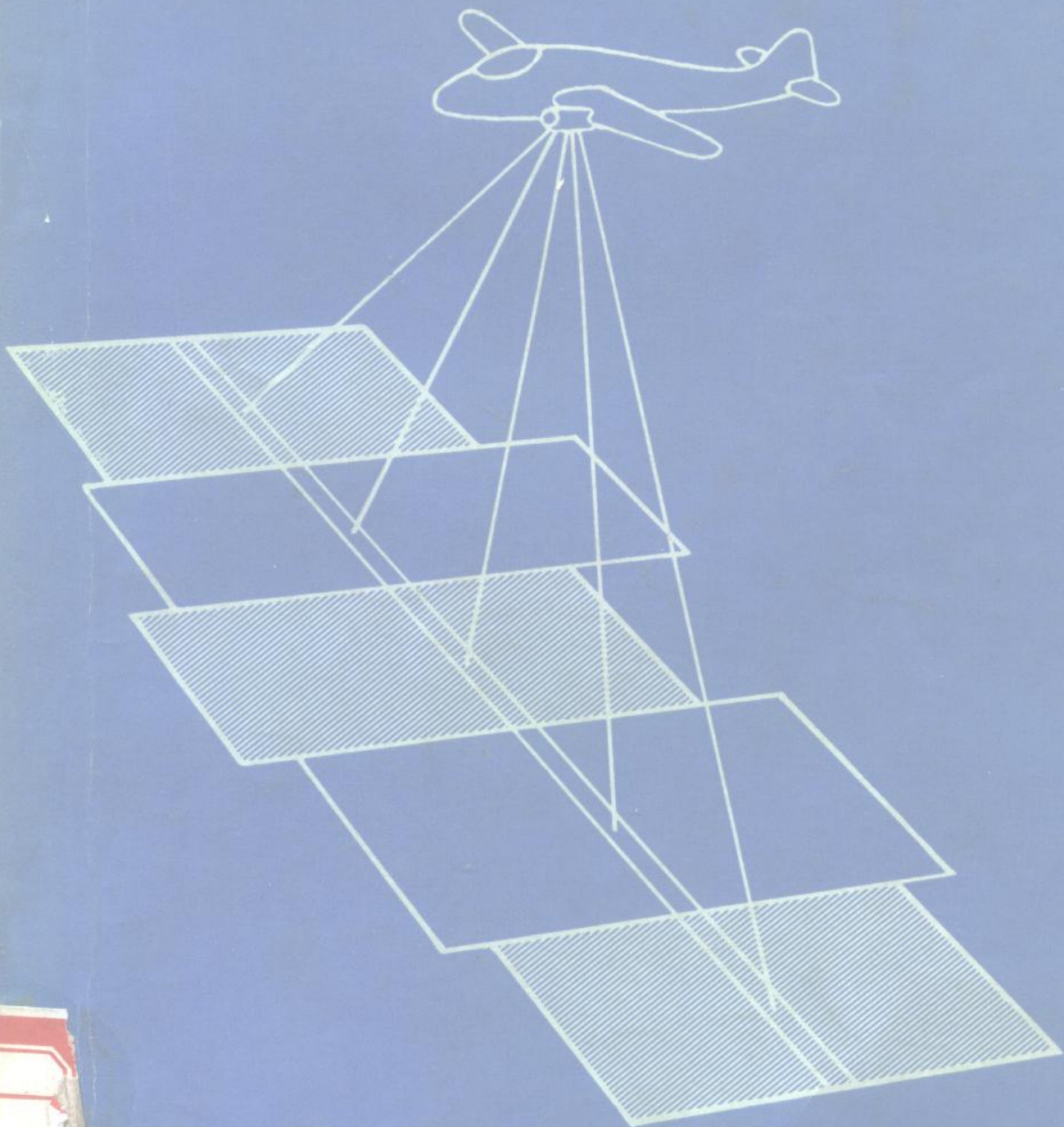


遥感定量方法

〔美〕 P. H. 斯韦恩 S. M. 戴维主编



科学出版社

遥 感 定 量 方 法

[美] P. H. 斯韦恩 S. M. 戴 维 主编
朱振福 童寿彬 张 晋 舒守荣 等译
舒守荣 等校

科 学 出 版 社

1984

DS26 / 11
内 容 简 介

本书是讨论遥感定量方法的理论基础及其各种应用的一本专著。全书共分七章。第一章是全书的框架,介绍定量方法的概念和原理;第二章介绍数据收集系统的物理原理和各种适宜采集定量数据的传感器;第三章叙述各种数据分析过程中所要用到的统计理论及遥感模式识别的基本原理;第四章阐述数据处理和数据分析的系统和方法;第五章阐述计算机辅助分析用于遥感数据分析的生物和物理基础;第六章介绍定量方法的应用实例;第七章展望从多波段影像数据和以多变量分析为基础的多波段遥感技术的未来发展远景。

本书内容深入浅出,可供不同目的和在不同工作背景下工作的遥感工作者阅读。可作为与遥感有关的不同学科的大学生高年级学生的教科书,也是农、林、水利、交通及工矿等生产部门的技术人员,生物、地学和技术科学部门的科研人员需要掌握定量遥感理论方法的入门参考书。

Edited by
PHILIP H. SWAIN & SHIRLEY M. DAVIS
REMOTE SENSING:
The Quantitative Approach
MCGRAW-HILL INTERNATIONAL BOOK COMPANY

1978

遥 感 定 量 方 法

〔美〕P. H. 斯韦恩 S. M. 戴维 主编

朱振福 童寿彬 张晋 舒守荣 等译

舒守荣 等校

责任编辑:姚岁寒

科学出版社出版

北京朝阳门内大街137号

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1984年4月第一版 开本:787×1092 1/16

1984年4月第一次印刷 印张:16 3/4 插页:4

印数:0001—3,950 字数:388,000

统一书号:13031·2524

本社书号:3463·13—13

定价:3.00元

序 言

遥感并不是一门新的技术。过去几十年来,人们就已不断地进入地球的上空,从远处对它进行观测,以便更多地了解地球的环境状态。现已广泛采用的航空摄影正是为着这一目的。在过去几十年中,把摄影作为遥感传感器,已发展成为一门相当完善的技术。

载有地球观测传感器系统的各种技术卫星的最新发展,使我们有可能获得有关地球表面的大量照片和其他形式的资料。对于解决人类所面临的大量问题,这些资料具有巨大的意义。诸如解决严重的食物短缺,监测和控制环境污染,补充日益短缺的自然资源,以及规划城市的合理发展等等。鉴于这些需要,如果能迅速而经济地将卫星资料转变成有用的信息,则对人类具有极大的价值。近代的高速数字计算机为这种数据处理工作提供了一种有力的工具。计算机技术与各种新的观测系统相结合,在获取我们所居住的地球的准确而又及时的信息方面,已使我们的能力发生了革命性的飞跃。遥感技术中的定量方法即为这种结合的具体产物。

从某种意义上讲,我们宁可采用“定量方法”一词来表达本书所指的遥感方法。其他的遥感方法也具有与之相应的定量技术,而且其中有些遥感方法比我们所说的新方法应用要早得多,但是我们仍然认为选用这一术语甚为贴切。因为其他的方法没有一种能如此地同遥感数据的定量收集、存贮和应用紧密地联系在一起。与过去所使用的同类仪器相比,现在的新型传感器可以更精确地定标,并且能以更高的灵敏度在更大的动态范围和更宽的光谱波段内进行工作,因此更适合于定量方法的目的。所有的数据均在传感器上转换成数字形式(即计算机兼容形式),并以数字形式记录和存贮。以计算机为执行工具的分析方法本质上就是定量的(即客观的、数字的),其结果必然也是定量的(即数字的、统计的)。因此,这些结果最适用于需要定量信息的各种遥感应用。这种定量信息常常是从大量传感器数据中以极迅速的方式提取出来的。

在过去的十年中,遥感定量方法已取得迅速的进展。有关资料差不多在许多学科的技术文献中均有刊载。这种多学科的特点,一方面说明了遥感定量方法在应用领域中的广度和深度,但是另一方面也使初学者难以迅速掌握这门综合性的技术。在本书的出版之前,在遥感定量方法方面,一直还没有一本系统的教科书可供采用。

本书是讨论遥感定量方法的理论基础及各种实际应用的著作。各章所论述的主题是根据定量技术本身的逻辑发展而按章目顺序加以安排的。在介绍了多波段和多时相的概念之后,即对遥感定量分析系统进行概述,并以此作为全书的基本框架。第二章首先说明数据收集系统所根据的物理原理,然后再深入讨论各种最适宜于收集定量数据的传感器。第三章叙述各种数据分析过程中所要用到的统计理论。第四章叙述实现数据处理和数据分析任务的各种方法。第五、六两章首先说明地球的各种天然光谱特征为什么能被定量地描述,然后转入采用定量方法进行大面积农业调查的实例说明。最后一章根据当前的技术水平对以影象和多变量分析为基础的多波段遥感技术用更复杂的观点进行了评述,并提出了未来的发展远景。

为认真地向读者提供掌握定量遥感的系统方法是本书作者们的意图。本书引用的材料在性质上是基础性的，也是理论性的。本书的写作目的不是教读者如何应用某种特定的系统，或者在某一特定的场合应用这种技术，而是使他懂得：作为一个遥感的应用工作者或设计人员，在他所面临的各种选择中应该如何作出正确的抉择，并使他具备作出理想选择所必须的理论素养。

本书可供不同目的和各种工作背景的人员阅读。由于叙述形式没有越出一般的科学水准，内容并不深奥，故可供不同学科的大学高年级学生和毕业生使用。本书亦适于需要掌握定量遥感理论基础的政府部门和私人企业中的专业人员阅读，在评价遥感定量方法在本部门工作中的用途时，本书也可作为入门的进阶。

鉴于定量遥感技术本身的多学科性，采用统一的、系统的表达方法无疑都会极显著地提高教材的教学质量。这样的表达方法，从理论上讲也只能通过真正的多学科途径才能实现，换言之，不是通过工程师、计算机管理人员或农学家各自的观点，而是将他们全体所提供的观点进行有效的综合。本书的七位作者和编者就是以实现这种综合为宗旨。他们是遥感中许多主要学科方面的著名代表，而且是同一个实验室——普杜大学遥感应用实验室的长期研究工作者和行政管理人员。他们共同努力，发展了有效地进行跨学科研究的基本途径和方法。

作者对曾为遥感技术的发展作出过贡献的机构和部门表示由衷的感谢。它们是：为开展多学科研究提供了有利环境的普杜大学，于1966年促成遥感应用实验室创建的美国农业部，以及给遥感研究不断支持和鼓励的美国国家宇航局（NASA）。

P.H. 斯韦恩

S.M. 戴 维

（何昌垂译，舒宇荣校）

目 录

序言	i
第一章 定量方法的概念和原理	1
1-1 历史背景	1
1-2 遥感中信息的传递途径	2
1-3 多波段数据中的信息：一种更周密的研究	6
1-4 定量方法的系统示意图	10
第二章 辐射和遥感仪器	13
2-1 辐射和辐射源	13
2-2 大气效应	20
2-3 遥感中的反射率	23
2-4 辐射测量仪器的一般原理	31
2-5 辐射探测器	33
2-6 遥感仪器	38
2-7 数据采集系统的一般特点	68
2-8 遥感数据采集系统	73
第三章 遥感中模式识别的基本原理	84
3-1 什么是模式	84
3-2 模式识别的几何解释与鉴别函数	85
3-3 “训练”模式分类器	88
3-4 统计模式识别方法：原理和实例	89
3-5 遥感数据的统计特性	90
3-6 以统计理论为基础的鉴别函数	93
3-7 分类器的评价：错误概率	98
3-8 统计可分性和特征选择	102
3-9 特征抽取	108
3-10 集群分析和非监督分析	110
3-11 本章各节内容的概括总结	115
第四章 数据处理的方法和系统	117
4-1 数据处理系统的模型	117
4-2 输出子系统	119
4-3 输入子系统	123
4-4 分析子系统	129
4-5 人机对话子系统	132
4-6 系统的评价	136
第五章 计算机辅助分析技术用于遥感数据分析的生物和物理基础	145
5-1 景物的光谱、时间和空间特性	145

5-2 植物的光谱特性·····	147
5-3 土壤的光谱特性·····	153
5-4 水和雪的光谱特性·····	160
5-5 地表特征光谱特性的时间和空间效应·····	168
5-6 遥感数据的比较判读·····	173
5-7 总结·····	181
第六章 定量方法的应用研究·····	186
6-1 实施遥感应用计划的主要步骤·····	186
6-2 作物鉴别和土地面积估算的实例研究·····	188
6-3 应用举例·····	199
例 1: 大面积土地利用调查·····	199
例 2: 山区森林覆盖制图·····	203
例 3: 雪被制图·····	207
例 4: 地质制图·····	212
例 5: 水温制图·····	214
6-4 结论·····	216
第七章 从多波段图象数据中获取有用信息的未来展望·····	219
7-1 遥感系统的结构剖视·····	219
7-2 景物及其复杂性·····	220
7-3 传感器: 景物特征的数据表示·····	222
7-4 处理系统·····	236
词汇表·····	244
英汉名词对照表·····	253
彩色图版·····	263

第一章 定量方法的概念和原理

遥感是在一定的距离之外,也就是不实际接触物体,通过测量而获得某一物体信息的科学。在现代遥感系统中,最经常测量的量是由被测目标发射出来的电磁波能量。虽然还可能测量其他形式的能量,如地震波、声波和重力等。我们讨论的重点是集中在测量电磁波能量的遥感系统上。常常有一种无谓的争论——物体离开测量装置多远才能算作“遥”。这仅仅是个语义学方面的争论,而我们需要关心的是方法论方面的研究。本书所讨论的各种应用,虽然是指离被测目标几百米或几千米以外所进行的测量,但是我们也想把这样的应用包括在内,在这些应用中,被测目标可能仅离测量装置不到一米。

1-1 历史背景

要确定一个特定的时间或事件来标志遥感技术的创始是困难的。有人将美国南北战争之前在绳系气球上所进行的摄影作为遥感的起点,也有一些人认为开始得更早^[1],但是遥感技术取得长足的进展无疑是二十世纪初期之后的事情。

许多早期的遥感技术是因第一和第二次世界大战中军事侦察的需要而发展起来的。战后不久,利用这些技术来解决和平时期问题的可能性已变得日益明显。民用工程师们最早将遥感应用于和平目的。早在本世纪初,他们首先采用遥感技术作为勘察和制图的工具。美国农业部于三十年代开始用航空摄影进行全国的土壤调查工作。利用人工判读来分析航空摄影机所获得的照片,这种实践约在四十年代已臻成熟^[2]。作为地球表面传感器的航空摄影机,由于采用了彩色和红外摄影方面的研究成果,因此更提高了探测的有效性^[3]。

本世纪五十年代和六十年代初期,数字计算机的出现以及利用计算机模拟人的智能有关过程的探索,更加速了“模式识别”这种数据分析技术的发展^[4,5]。在此期间,传感器系统的设计^[6],尤其是在红外波段的能量测量方面,也获得了显著进展。作为这些进展的综合产物,最终导致了一种崭新的遥感方法——定量方法的产生。这种方法的基础是它具有迅速、准确测量和处理多波段遥感数据的能力。

由此,我们可以知道当前存在着两个主要的遥感分支。第一个分支即上面所述的分支,把它归作为与影象有关的,我们称之为影象遥感技术,因为它利用的是数据的图形方面,所采用的分析方法主要依靠其所产生的影象。第二个分支与数字有关,我们称之为数字遥感技术,因为它是计算机发展的直接结果,它强调的是遥感数据所固有的定量特性方面,并抽象地将遥感数据看作是一种测量值的集合。在这种技术分支中,影象不是被当作数据,而是作为观测数据的方便途径。

影象遥感技术是一种较老的技术,发展亦较完善。影象遥感系统中最通用的传感器——摄影机以及相应的分析技术——照片判读,使用都很早。实践证明,对于各种实际应用,这种技术是经济可靠的。正因这样,这种遥感技术仍在继续发展。

数字遥感系统的情况正相反,虽然在短暂的年代中已发展到目前的状态,但只能说还是在幼年状态。数字遥感系统常用的传感器是多波段扫描仪。与摄影系统所用的传感器相比,它对电磁波谱的更大部分波段内具有更大的响应范围。虽然计算机是数字遥感系统中常用的分析工具,但是它也可以应用在影象遥感系统中。同样,还有许多其他的工具和技术也适用于这两种技术,如摄影测量的方法。数字方法虽然尚在萌发时期,它的许多潜力尚待开发,但是在某些应用中,数字方法已进入实用阶段。现在它和老的影象遥感技术一起,正在开始发挥它所特有的作用。

目前,我们正从地球轨道卫星收集地球的观测数据。由于从卫星轨道高度可以获得广阔的视域,星载传感器的运行速度极快,并采用了较多的光谱通道,因此数量庞大的数据正在源源涌来。由于在许多情况下,从遥感所获取的信息只有在迅速和成本合理的前提下才具有使用价值,因此利用计算机从大量数据中经济而迅速地来完成提取可靠信息的任务是十分自然的。

本书的目的就是介绍这种方法,它把现代传感器系统、模式识别、计算机和人结合在一起,综合形成一个数字遥感系统。下一节我们将对这一方法的某些基本概念作概括讨论。

1-2 遥感中信息的传递途径

现在让我们从基本原理入手作为讨论的出发点。图 1-1 是地球部分表面的空中景象(见彩色照片)。看了这张照片,我们立即就能获得景象中所包含的某种信息。请读者思考片刻,想一想是什么东西使你从匆促的一瞥中作出一定的结论的。我们从照片中可以看到许多线性特征或直线,这意味着在这一地区内存在着人类活动。

这些线性特征把这一地区分成了若干大的地块,某些地块还相当平整,这一现象又说明了这里还存在人类活动——农业。某些地块,特别是位于前景中的地块,具有杂色斑点状特征。如果那儿有农作物的话,那末作物的植冠显然不够发育,以致不能掩盖这些地块内土壤类型的自然变化。

有一些线性特征是道路,道路附近的一些小的棱角状的物体是农庄上的建筑物。人们工作和生活在那里,因此从建筑物的数量还可以估算人口。

我们还可以从这张照片中提取更多的信息。现在让我们回过头来对已经得到的信息作一考察,可以发现,我们据以作出这些结论的根据,一般说来都是影象中比较明显的几何形状,即景物发射出来的被摄影胶片所记录的能量的空间结构。由此我们可以得出结论,能量的空间结构包含着景物中的大量信息。

在图 1-2 中(见彩色照片),我们看到的是同一景物,而且是同一时间拍摄的,不同之处仅仅在于照片是彩色的。在这张照片上,我们不仅能看到能量的空间分布,而且还能看到能量空间分布的重要迹象,若以研究图 1-1 相同的方式来研究图 1-2 的景物中有什么以及它们的状态如何,就可得到更多的信息。例如从这彩色影象上,已收割的田地与未收割的田地很容易区分,因为前者呈黄褐色,而后者呈细颗粒状影纹。

图 1-3(见彩色照片)仍然是同一景物,但这是用彩色红外胶片拍摄的(这种胶片将在第二章中详细讨论,现在只作简单说明)。这种胶片对光谱中的蓝、绿、红成分的能量分布

不敏感,但是对光谱中的近红外成分很敏感,因此能提供有关景物中的新信息。例如,由于绿色植物在近红外波段具有较高的反射率,因此在这一光谱波段内比光谱中的可见波段更容易探测出植冠的微小变化。

图 1-4 和图 1-5 (见彩色照片) 所示的彩色和彩色红外影象能清楚地说明这一点。请注意每张照片右边的梯形农田,这是一块玉米地,在交替排列的行上种植着不同的品种。一个品种已被疾病感染,由于胶片的红外敏感性,因此这种染病品种的状态在图 1-5 中极为鲜明。值得指出的是,从近红外波段获取有用的资料与局限在可见波段观察景物相比较,则前者能给我们提供更多的信息¹⁾。

到现在为止,我们的讨论均限制在电磁波谱中摄影传感器能起响应作用的波长范围之内,然而电磁波谱的其他部分还可容纳更多的地球的景象信息。图 1-6 画出了整个的电磁波谱。图的上部是以频率函数形式表示的各种辐射,图的下部是光学波段。虽然电磁波谱的其他波段(如微波波段)对遥感也很有用,但我们最感兴趣的是光学波段,故将光学波段在这图的下面详细地画了出来。应该注意:摄影传感器所测得的辐射计量只包括可见波段内的辐射和一小部分红外辐射。在第二章的前面将详细讨论电磁波谱的光学波段。

综上所述,根据地球表面覆盖物所发射的电磁波能量的空间分布和光谱分布,我们就能获得有关这些覆盖物的信息。不久我们还要指出,景物中的时间变化对信息提取方法亦相当有用,因为通过观察测区随时间的变化可以获得该区内的大量信息。

在研究景物的时间变化之前,让我们稍为详细地讨论一下数据分析方法和景物信息的获取方式^[7]。图 1-7 是用可见、近红外和远红外三个波段成像的一小块农地的象片。暂且假定在这一小块地区内只收集了四种覆盖物的资料,即玉米、苜蓿、裸土和残茬地。因此,在分析由地面覆盖物未知的地区所收集到的数据时,我们只有四种可供选择的可能性,那末我们凭什么来进行选择呢?

首先,我们可以仔细地考察可见波段的影象。我们发现在图注为“玉米”区域内,影象具有清晰的纹理,这在其他三种覆盖物中是看不到的。因此,每当我们在未知地区看到这种纹理时,我们就可作出倾向是玉米的判断,而不是其他的三种覆盖物。但纹理是一种很难用定量方法来描述的特征,要用数量来描述影象的纹理,就必须先给“纹理是什么”下一个精确的定义。这种定义即使能很费劲地作出来,也必定是极其复杂而无法加以

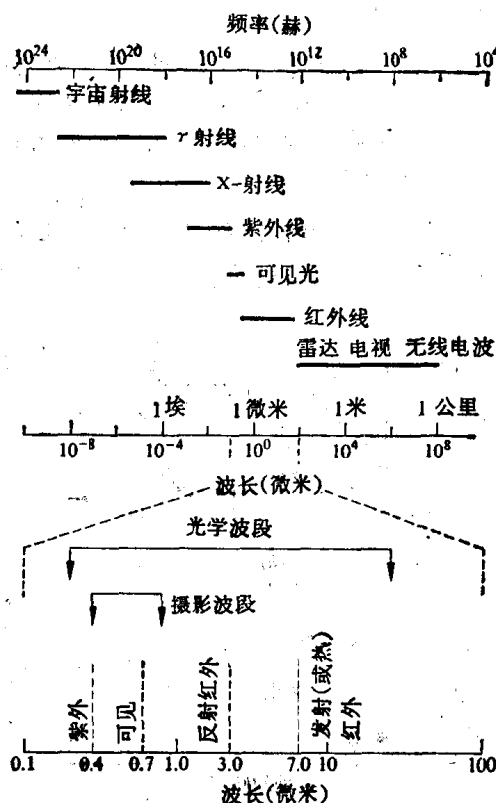


图 1-6 电磁波谱

1) 因为遥感利用的是电磁波谱的既有可见波段以内的也有可见波段以外的光谱信息,故本书中均采用光谱学术语(如波长、每单位波长的功率等等),而不采用色度学中的术语(如色调、色品等)。

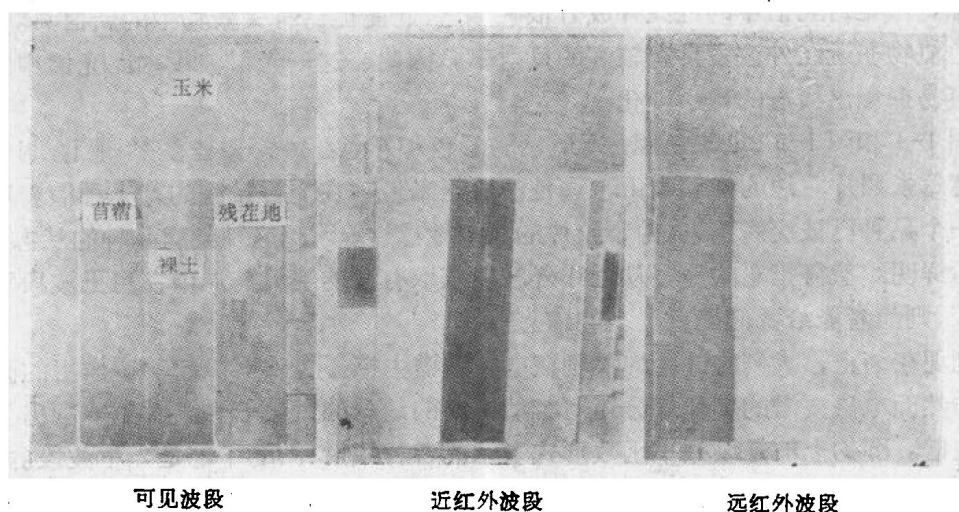


图 1-7 在三个光谱波段中四种覆盖类型的响应

有效地应用。

但是, 还有其它方法可以用来解决这类鉴别问题。例如, 在上述象片中我们可以发现, 苜蓿在三个波段内的响应变化次序是从很黑到很亮, 最后又变成很黑。这种随波长函数而变化的响应次序, 在其他三种覆盖物中均未出现, 由此我们便得到一种特殊的方法可将苜蓿把它同其他三种物质区分开来。这种方法所根据的特征是每个波段内的辐射能量, 而辐射能是一种比纹理更容易定量描述的特征。

现在我们把这种推论范围更深入一步。请看图 1-8, 该图表示出了三种简单的地面

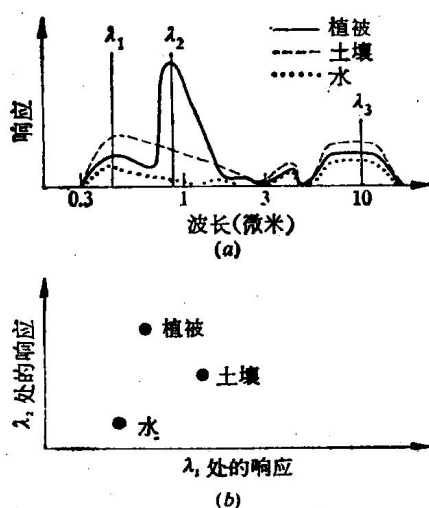


图 1-8 (a) 假想的光谱曲线;
(b) 它们在二维空间的表示

覆盖物类型, 即植物、土壤和水的相对反射率。这些相对反射率是波长的函数。该图是假设的, 但概念是准确的。让我们在图 1-8 (a) 上选择两个感兴趣的波长, 以 λ_1 和 λ_2 表示, 并在二维测量空间标出这两个波长的光谱响应, 如图 1-8 (b) 所示。该图表示了在 λ_1 处的响应对 λ_2 处的响应。正如我们前面在图 1-7 中所看到的, 这种不同的响应序列可以帮助进行分类, 这种响应在二维空间的不同位置构成相应的点。这种分类或是说鉴别方法的实质就是确定类与数据点所落在的二维空间的区域的关系。

应该指出: 利用两个以上波长的响应数据来进行分析也是完全可以的。例如图 1-8 (a) 画出了第三个波长点。若采用三个波长点。则图

1-8 (b) 就需要用三维空间的形式来表示。若用计算机分析数据, 当然采用四个或更多个波长也是可以的, 应该不会有特殊的困难。

为了对定量方法的总体概貌有一个基本的认识, 在上面的理论性例题中还必须引入反射比数据的另一特征。所有健康绿色植物的光谱响应曲线其形状变化基本上是相同的, 但是在两种类型的植物之间, 以及同类植物的个体之间, 总还存在着微小的差异。显

然,这种差异可以用来鉴别不同的植物种类。但是由图 1-8 (b) 可知,在二维空间的数据点,对植物来说不应该是一个点,而是可以用某种统计分布来描述的点群。因此为了严格地讨论,更主要是为了进一步利用不同种类内部的天然变异性,我们必须用一种统计模型来描述某种给定物质的光谱响应。

因此分析工作就变成了一种决策问题,即如何将多变量空间划分成与每一类别相联系的定义域,使数据点所在的定义域单值地与某一类别相关联,然后对数据点的类别归属作出决策判断。实例如图 1-9 所示,该图在二维空间内画出了三类物质的数据点。应该注意的是,图中所示的同类物质数据点的分布是一种比较典型的实际状况。现在必须提出的问题是:我们应该根据什么原则把图中的一个未知点(用 U 表示)与三种类别中的哪一种物质联系起来?

为了解答这个问题,在工程和统计学文献中已提出了不少算法。一种最简单的方法如图 1-10 所示。在图 1-10 所示的情况中,每一类物质的条件均值(或称类平均值)已被

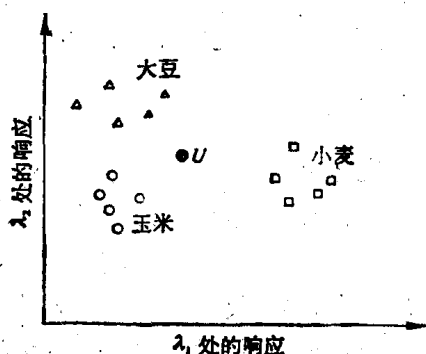


图 1-9 在二维度量空间中样品的响应

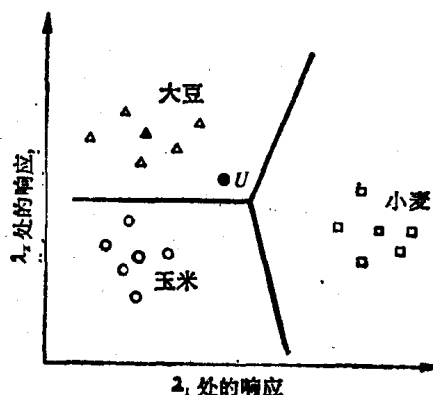


图 1-10 分类规则: 到均值的最小距离法

测定,并用黑体符号表示在图中。图中还画出了与这些条件均值等距离点的轨迹,这些轨迹线称为**判决界线**,它们将空间分成三个不重叠的区域,空间的每一点只能唯一地与三种物质中的某一种相关联。由图可见,图 1-10 中的未知样品 U 应该归属于“大豆”类。这种特殊的算法仅在说明一般的方法时有用,通常我们还必须采用比较复杂的算法,因而将得到非线性的判决界线。

利用少数**训练样品**来确定多变量空间的判决界线是一种最基本的方法,现已成为遥感数据分析中定量方法的基础。应该注意,这种方法所依靠的是能被简便地测量的特性——特定波长处的响应。另外应该注意的是,就这种方法而论,至今我们仅利用了景物中的光谱变化特性。空间变化更难以定量表示,但也是可利用的。

那末前面所说的时间变化特性有何用处呢?让我们利用简单的二维空间来说明时间变化的作用。图 1-11 是一个简洁明了的实例,图中有两类物质:玉米和大豆。在美国中部,这两种作物均在春季种植,通常是行间作物,于秋季收割。所以如果我们如果在春季从上往下观察,种植这两种作物

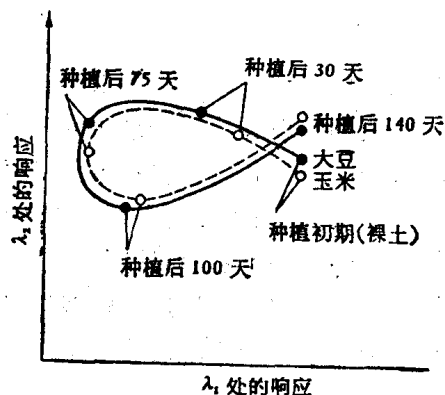


图 1-11 在二维空间中的时间变化

的田地几乎与裸土无异。此后,作物的植冠开始显露、成长,这时画在二维空间的响应点将从裸土区域开始向绿色植物区域移动。到了夏季的月份,植冠发育趋于完全,作物开始成熟并且颜色转褐。最后,植冠逐渐消失,只剩衰败的枯叶残留在裸土上。因此我们可以认为,在持续的生长季节里,这两种作物在发育过程中的光谱响应应该是十分相似的。然而,即使这两种作物均为行间种植的绿色作物,但是一种生长得矮而密,而另一种长得很高。这两种植株几何形状上的差别将导致不同的阴影效果。透过植冠而显露出来的裸土总量也不一样,同时植物叶片本身的光谱响应也存在微小差异。因此,我们可以指望,在不同的生长期内,对于玉米和大豆的光谱响应,我们可以找出量值虽小但意义却十分重大的差异。

上述时间变化特性至少有三方面的用途。第一,利用时间变化特性来帮助确定获取与分类有关的目标信息的最佳时间。例如由图 1-11 可见,开始种植后的 30 天是收集数据的最佳时间,因为在这一时间玉米和大豆的光谱响应差别看来是最大。

第二,在许多涉及到地球的覆盖物观测的问题中,需要了解在一段时间历程中发生了什么。例如,对于一座城市及其周围地区经过数年的观测后,关于这座城市是如何发展和增长的,我们便能获得一个准确的记录。这种资料在制订该城市未来的发展和增长规划时,即可加以利用。

第三,由于数据分析的多变量方法,使这种因时间变化的信息还可以有第三种用途。例如,假定在准备何时收集数据方面我们没有选择的余地,而所得的全部数据是生长期中 75 天和 100 天时的数据。由图 1-11 可知,这两种作物的光谱响应在这两个时间是差异最小的。但是,如果在四维空间中重新绘出这两组数据,即把 75 天时在 λ_1 和 λ_2 处的响应作为第一和第二维,而把 100 天时在 λ_1 和 λ_2 处的响应作为第三和第四维,就有可能使这两种作物原有的微小差异得到部分增强。换言之,这两种作物在这两个特定时间上的光谱响应,经多变量方法处理后,将出现更多的净差异,因此在分类时可以达到更高的精度。

综上所述,景物的时间变化与光谱变化和空间变化一起都是遥感信息的传递。我们的研究任务是如何设计适当的方法以便全部利用它们。为了这一目的,下一节我们将深入地探讨多波段的概念。

1-3 多波段数据中的信息:一种更周密的研究

数据分析的影象方法和数字方法之间,其差别在某些方面是很不显著的。为了加深对这些差别的理解,现在来研究一个数据分类方面的深入例子对此是有帮助的。在这讨论的过程中,我们将引入多波段方法的另一个方面——波段选择。

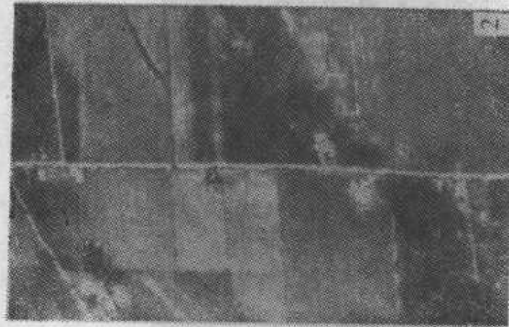
为了这些目的,我们来研究下列例子。图 1-12 是用显示影象复制出来的十个光谱波段的资料¹⁾。图的最上面是同一地区的常规航空照片,该照片中用字母表示每块农田内的作物。假定我们希望通过这些多波段照片资料的分析来区分这一地区的作物。它们给人的第一个印象是十个波段的影象包含着数量十分庞大的信息,每一波段的照片内均存在

1) 测量单个波长处单一能量的仪器实际上是无法制造的,实际仪器所测量的是一个较窄波长范围或波段内的能量。

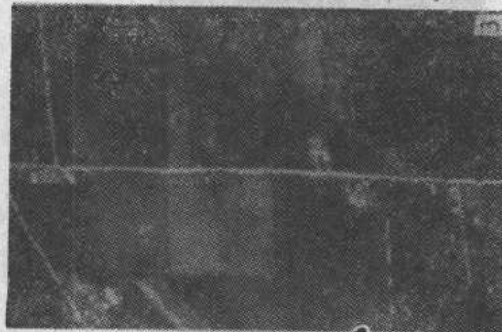


航空照片

- A. 苜蓿
BS. 裸土
C. 玉米
DA. (diverted)
O. 燕麦
P. 牧草
R. 黑麦
RC. 红三叶草
S. 大豆
W. 小麦



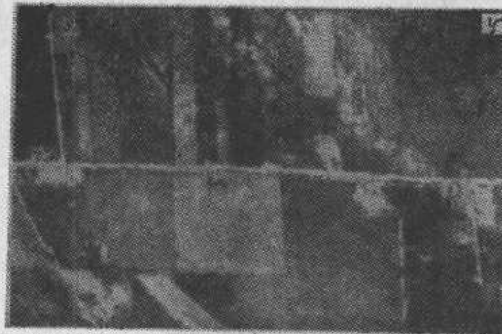
0.40—0.43 微米



0.46—0.47 微米



0.48—0.49 微米



0.50—0.51 微米



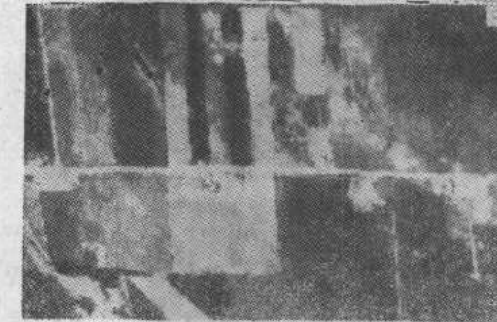
0.52—0.54 微米



0.55—0.57 微米



0.62—0.65 微米



0.66—0.71 微米



0.72—0.79 微米



0.80—0.99 微米

图 1-12 常规航空照片和十个单波段的显示影像复制照片

着细微的差异,这些微小的差异看来都是信息的传递。但是对于判读人员来说,把这十个波段的照片相互联系起来并作出合理的解释是比较困难的。

为了对象片中的作物进行分类,让我们先把这一复杂的问题简化一下。请看图 1-13,

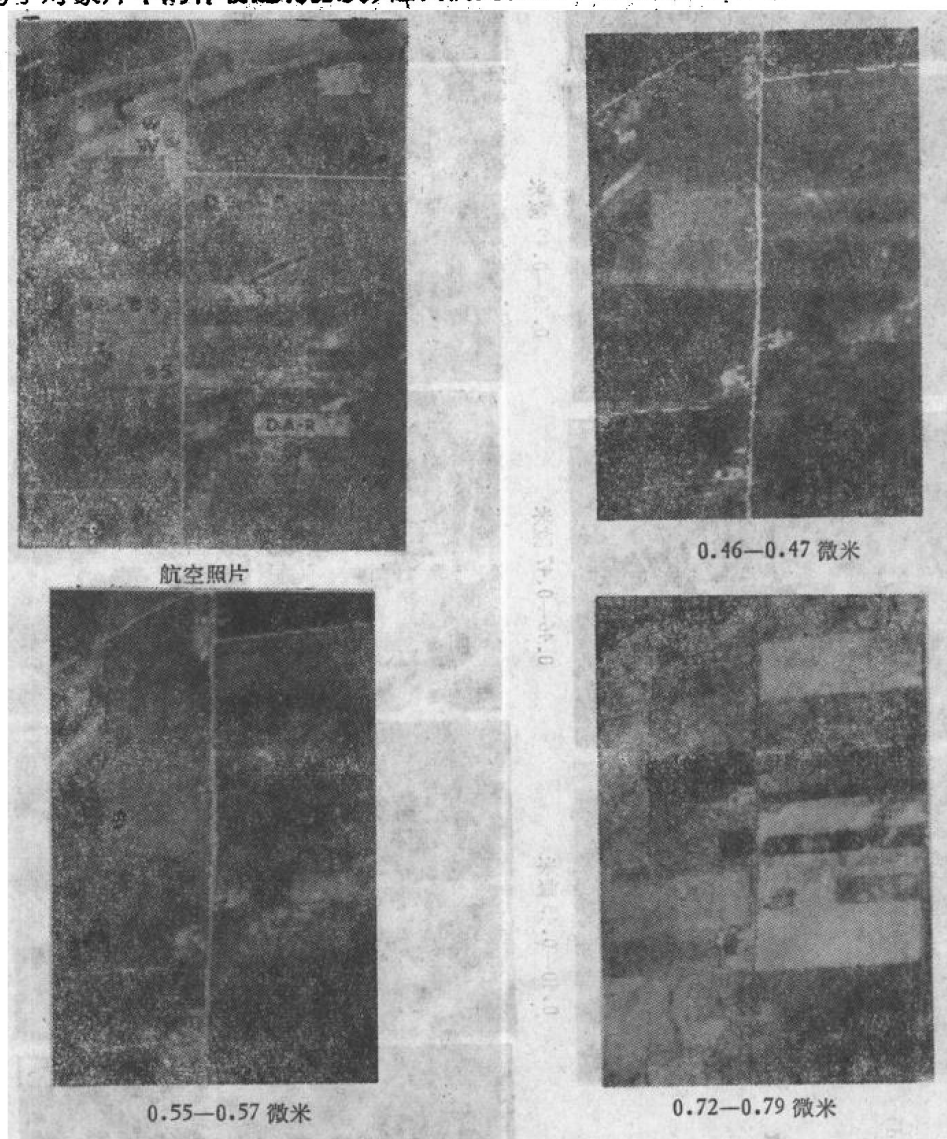


图 1-13 航空照片和三个波段的显示影象复制照片

假定我们已对图 1-13 下半部的两个业已选出的波段进行了扼要的分析研究,并正在考虑利用右上角第三波段中的资料是否会有助于增加分类效果。将右上角和左下角的照片作一迅速比较就会发现这两个波段内的差别极小,因此采用第三波段的照片看来价值不大。但是我们不应该忘记,这一结论是我们根据考察影象形式的资料而得出的,但是我们打算用数字方法来对它进行分析。

为了进一步说明我们注重数字分析的原因,最好是更仔细地研究一下多波段分析的问题。图 1-14 是大量玉米和大豆叶子在 0.5—2.5 微米波长范围内的百分反射率的测量结果^[8]。图中用两种不同图案的阴影区域表示 171 个玉米样品和 44 个大豆样品的测量结果,黑色的区域则表示玉米和大豆测量结果的重叠部分。

问题：根据这种数据单以光谱为基础能否区分玉米和大豆？答案肯定是：“可以”。只要利用1.7微米区间的光谱数据便能做到这一点，因为在该波长处，这两种物质的光谱没有重叠部分，反射率大于某值的数据点均可在分类时当作大豆，而反射率小于该值的数据点均可当作玉米。根据这种原理进行识别分类通常称为“密度分割”。

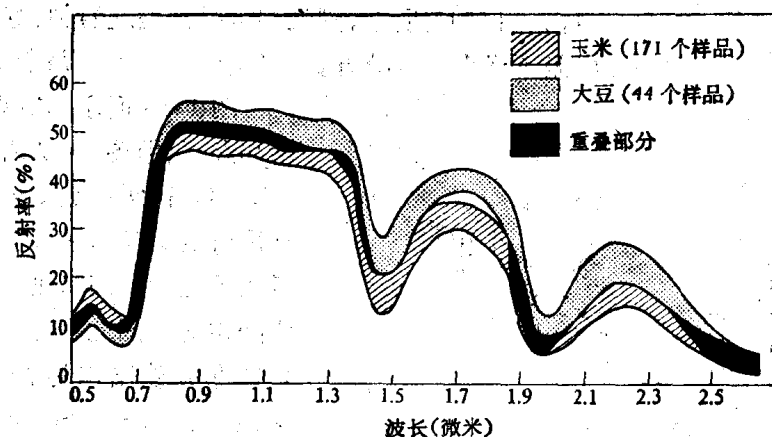


图 1-14 玉米和大豆叶子反射率的实验室测量结果

现在让我们把这个问题考虑得更复杂一点。假定我们只有0.7微米区间附近的光谱数据，在0.7微米附近这两种作物的光谱重叠最大。图1-15较详细地画出了大豆和玉米在两个窄波段内的反射率数据分布，这两个波段的中心波长分别为0.67和0.69微米。

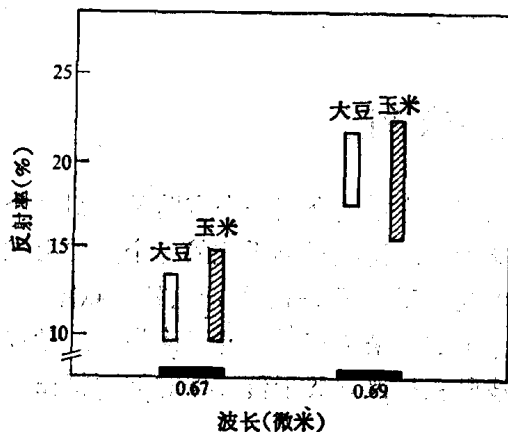


图 1-15 玉米和大豆在两个光谱波段内的数据分布

显然，这两种作物在这两个波段内均有很大的重叠。如果这两个波段内的数据以相应波段的影象显示出来，玉米和大豆看上去必然十分相似。假如我们现在问：单用这两个波段，玉米和大豆能区分吗？

也许令人诧异，这个问题的答案仍然是：“可以”。我们利用绘制图1-8(b)相同的方法来重新绘制图1-15中的数据，则可以得到如图1-16所示的结果。在该图中，由于数据是绘制在多变量空间的，故能观察到两类作物的实际分布情况。如果将这两组数据绘制

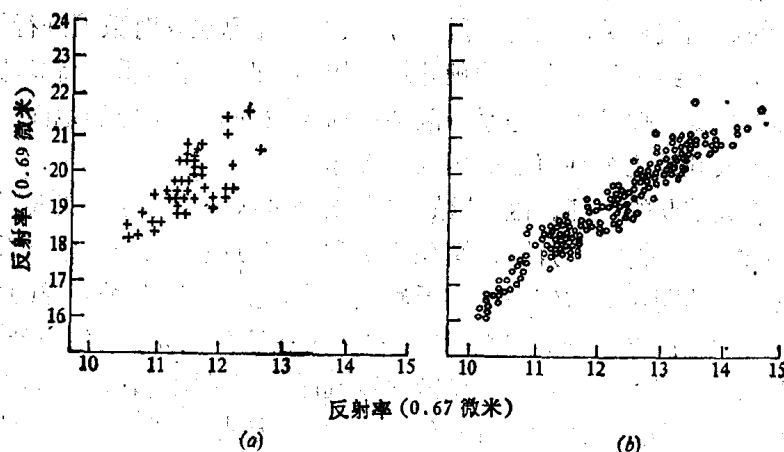


图 1-16 两个光谱波段内数据的正交图
(a) 44 个大豆样品；(b) 171 个玉米样品。

在一个坐标系统中,如图 1-17 所示,则我们可以清楚地看到,甚至只需用线性判决界线就可以将这两类作物差不多完全区分开,尽管这两类作物在每个单波段内重叠都很严重。

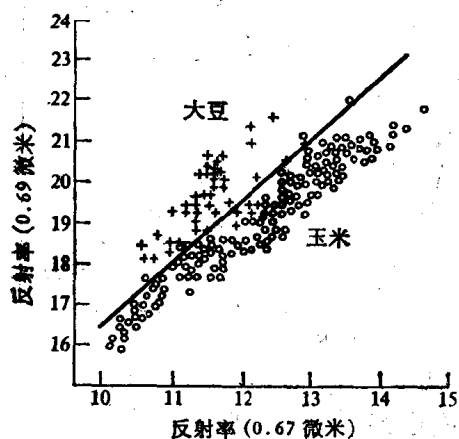


图 1-17 玉米和大豆正交图的叠合

本例中,两类作物在这两个波段内的数据表现出紧密的相关性。这种相关性再加上两个波段内数据平均值的较小差异,就使我们能对这两种作物进行分类¹⁾。如果通过影象形式来观察数据,光谱波段之间的这种内在关联我们是无法看出的。

图 1-15 所示的数据表示法无法用来鉴别玉米和大豆,但图 1-17 所示的数据表示法则可以进行鉴别。这两种数据表示法的主要区别在于,后者是将数据表示在多变量空间内的,故称为多变量表示法;而前者则是将数据表示在多个单变量空间中的,因此可称为“多重单变量”表示法。图 1-17 能反映出这两个光谱波段数据之间的相互关系,但图 1-15 却不能。相关数据的分布趋向是数据点集中在沿着一条直线的条带中,而非相关数据在这样的叠合图中则呈现圆形分布状态。

1-4 定量方法的系统示意图

为了给本书以下各章及其相互关系提供一个轮廓,这里先介绍一个有助于说明这个问题的系统示意图是有帮助的。这种系统示意图能清楚地说明遥感系统的三个主要组成部分,即地球表面、传感器和数据处理系统之间的相互关系。图 1-18 即为这种示意图。在遥感系统中,传感器系统当然是必不可少的,因为必须靠它来观察地球的表面部分。已被广泛使用的传感器是摄影相机、电视摄象机和多波段扫描仪。关于传感器的问题将在下一章讨论。

除了传感器以外,遥感系统中往往需要某种类型的飞行器上的预处理和无线电遥测装置。飞行器上的预处理可以包括下列各项:根据标准源对数据进行辐射校准,使地理参考数据与传感器的数据流相关联,以及可能采用数据压缩算法来对数据进行格式变换。

在地面上数据还要再经过另外几步的预处理。例如为改善制图质量而对数据进行几何纠正;加上网格坐标或其他地理参考系,以便使遥感数据与其相应的地面位置关联起来。在第四章中将深入地讨论各种可能的预处理工作。

数据分析当然是极重要的一环,因为“数据”必须经过这一步骤才能变成“信息”。我们前面已经指出,遥感有两种基本方法,即图象方法和数字方法。在数据分析系统中,这两种方法之间的差别最为明显。即使在数字遥感技术中,也存在着多种多样的分析方法。其中最简单的是适用于单波段数据的单变量方法(例如密度分割)。其他的分析方法则是适用于多波段情况的,在这些分析方法中既可以同时利用不同波段的数据或其他的数据特征(多变量方法),也可以逐次顺序利用(多重单变量方法)。数据分析方法将在第三

1) 在这个例子中应该特别注意的是(可能和人的直觉相反):有助于这两种作物分类识别的主要因素是这两个波段内数据之间所呈现的相关度。人们常常把相关性看作是数据中多余的指标,这是一种过于简单化的想法。