

# 遥感图像自动识别与分类的试验研究\*

——以太原幅山地土壤为例

王 蓓

(中国科学院遥感应用研究所)

1986年11月20日收稿

## 摘 要

本文讨论了当前遥感图像自动识别与分类中存在的一些问题,提出由地形、地质、植被数据辅助执行的土壤类型模糊分类方法,在土壤数据分类和遥感图像识别中,定量地引入了土壤发生分类学的概念,并赋予成土因素对分类结果的影响作用以新的含义,从而把地学相关分析与自动识别分类有机地结合了起来。这对消除自动分类中光谱特征相互混淆的现象及提高分类精度具有一定的意义。

## 一、遥感信息用于土壤发生分类的依据

按 B. B. 道库恰耶夫土壤发生学原理,土壤与生态景观系统有下面的函数关系<sup>[1]</sup>:

$$S = f(Cl, o, r, p, t) \quad (1)$$

其中  $s, u, Cl, r, p, t$  分别表示土壤、气候、生物、母质、地貌、时间,  $f$  是函数关系。该式表明土壤是五大成土因素 ( $Cl, o, r, p, t$ ) 综合作用的产物,成土因素的发展变化制约着土壤的形成与演化。因此,了解成土因素的地域变化及其与土壤类型之间的相互关系,便有可能推断一个地区的不同土类。

一个地区的遥感影像显示的正是这一地区的特定地理环境(包括土壤与各成土因素)。土壤影像地学相关分析之所以能在自动识别分类中加以应用,其基本原理就是土壤与环境相统一。因为土壤外部形成条件与内部成土过程、剖面构型及其性质在大多数情况下是一致的,这就能够根据反映土壤本身性状和形成条件的波谱特性及其在影像上的综合反映来识别土壤类型和土壤组合。

## 二、当前遥感图像分类中存在的问题

利用遥感资料进行土壤自动识别分类与制图的研究,目的是要提高土壤调查工作的质量与速度,然而当前的图像处理自动分类程序,都是以各像元不同波段的亮度等级加以群分的,尚未考虑区域环境因素的影响,另外由于传感器空间分辨率的限制,大多数像元的亮度级都不是单一地物的信息,而是土壤与植被的混合光谱<sup>[2,3]</sup>。所以用现行的分类程

\* 本文是作者的硕士论文。在此对北京大学遥感技术应用研究所石世民导师表示谢意。

序来识别某种土壤,由于覆盖度的影响,该土类常被识别为不同的类别,也不能满足土壤识别与分类的精度要求。用目视判读配合的土壤分类能够满足一定比例尺的要求,主要就是在光谱分析的基础上,利用了地学相关分析的方法,以相关因素特征(如降雨量多少、植物种类、地形起伏、地表物质组成、土地利用现状、侵蚀形式等等),推断土壤类型。

目前国际上有关遥感图像土壤自动识别分类的文献报道不多,原因就在于土壤成土因素之间的关系较复杂,土壤区域分异较强,难以建立统一的模式进行系统分类,并加以推广。能否发挥目视判读中多元相关分析的优势,自动地从环境遥感影像中准确地、最大限度地提取各种专题信息,是图像分析的核心。如果正确掌握专题目标的空间分布和它所处区域地理环境各要素的关系,即土壤生态环境与土壤分布的水平和垂直规律,各成土因素的分布规律及其与土壤形成发育的内在联系,利用地学相关分析的方法,就可以根据地理景观与土壤相互联系的规律性,从相关因素特征推断出土壤类型特征,有利于排除干扰因素,从相同的影像特征中鉴别出不同的土类,或者从不同的影像特征中判定出同一土类。

### 三、试验区自然条件与土壤基本情况

试验区选择在山西吕梁山地中段,分布范围大致是  $E111^{\circ}30' - 111^{\circ}40'$ ,  $N37^{\circ}32' - 37^{\circ}54'$ ,面积约  $12 \times 40 \text{ km}^2$ 。属季风暖温带气候,主峰关帝山海拔 2830 m,文裕河最低处海拔 1400 m,相对高差达 1400 多 m。自然植被类型主要为地带性常绿针叶林、落叶阔叶林、森林草原、非地带性山地草甸及山地灌丛草原,各类植被的覆盖度都较高;地形地貌条件较复杂,既有亚高山、中山,又有黄土丘陵、冲积平原;成土母质主要为混合岩化强烈的花岗岩及其它古老变质岩系、海相碳酸岩和黄土堆积。

关帝山一带按生物、气候条件及已有的有关土壤属性的分析资料,可将土壤景观划分为褐土与灰褐土两个地带。实验区水平分布属吕梁山以东的褐土地带,但西部一角还出露有灰褐土带。由于地势上的差异,地形部位的不同和水热条件的再分配,导致生物群落系列、土壤地球化学过程有明显的垂直变化。这种自然带的垂直变化,构成了本区土壤随海拔高度不同呈明显的垂直分异和地方性差异的立体分布模型。关帝山东坡情况见表 1。

表 1 实验区土壤景观简单示意图

Table 1 Illustration of Soil Landscape in Study Area

土壤类别	植被群落	海拔高程 (m)
亚高山草甸土	亚高山草甸	大于 2700
山地草甸土	山地草甸	2000—2300
山地棕壤	常绿针叶林	1800—2700
山地淋溶褐土	针阔混交林	1800—2200
山地褐土	落叶阔叶林	1300—1700
淡褐土	草地灌丛	1400—1600

其实,土壤类型界限不仅与气候、植被、地貌有关,而且还与母岩类别有关。由于植被与土壤相关性甚好,土壤与植被垂直地带分布界限相当吻合,因此能够建立典型植被与土

壤的相关特征,如:

亚高山草甸土和山地草甸土对应于草甸植被;

山地灰色棕壤对应针叶林与混交林;

山地褐土对应阔叶林、灌木草丛。

如果仅按植被来划分土壤,很多类别彼此是分不开的,如上述第一组。这时若引进土壤与地形的相关特征,那么分类就可以细致地进行下去:

亚高山草甸土——2700 m 以上的亚高山顶部;

山地草甸土——1800—2300 m 的中山顶部;

山地棕壤——1800—2700 m 的亚高山、中山部位;

山地褐土——1600 m 以下的中低山部位。

当然,各类植被之间没有明显的分类界限,土壤的分布在地势上也呈过渡性。在 1600—1800 m 范围内,是针叶林、阔叶林、混交林的交界地带,也正好是山地棕壤、山地淋溶褐土、山地褐土的分布位置。这时如果再引入土壤与母岩类别的相关特征,就可按它们在成土母质上的差异加以区分:

灰色棕壤对应变质岩、混合岩、花岗岩。

山地褐土对应石灰岩、黄土。

这样就可以综合地通过植物群落的分异,地貌、岩性的差异来间接推断并细分出山地土壤的类型。

#### 四、试验方法综述与具体步骤的实施

基于上述想法,本次实验主要是在掌握试验区地理环境总体规律的基础上,分析遥感

表 2 土壤景观等级系统

Table 2 The Grade System of Soil Association

山地土壤景观单元	土 壤 组 合		
	主要土壤(>60%)	组合土壤(>25%)	其它土壤(<25%)
亚高山草甸、变质岩、亚高山(>2700m)	亚高山草甸土	—	—
草甸、石灰岩、中山(2100—2300m)	山地草甸土	—	—
云杉、落叶松、桦(针叶林、混交林)变质岩、花岗岩、中山(1800—2700m)	山地灰色棕壤	山地棕壤性土	—
云杉、落叶松、桦(针叶林、混交林)、石灰岩、中山(>2000m)	山地灰色棕壤	山地棕壤性土	山地淋溶褐土
云杉、油松、桦、辽东栎(混交林)、变质岩、石灰岩、中山(1600—1800m)	山地淋溶褐土	山地褐土性土	山地灰色棕壤
油松、辽东栎(阔叶林)、灌木草丛、石灰岩、黄土、中山、低山(1300—1600m)	山地褐土	山地褐土性土	—
油松、辽东栎(阔叶林)、砂页岩、中山(1600—1700m)	山地淋溶褐土	山地褐土性土	—
灌木草丛、黄土、低山(<1500m)	山地淡褐土	—	—

图像中反映土壤类别的主导因素(例如根据影像色调深浅推断土壤湿度;按水系展布格式了解地貌特征,判定土壤分布规律等),据图像的总体特征和本区地理环境性质,考虑母质、地貌、植被与土壤的关系,参考试验区已有的土壤类型和成土因素间相互关系的有关资料,以及山西农业遥感实验的系列图件,划分出不同的地理—土壤景观单元(表 2):

$$\text{植被} + \text{母质} + \text{地貌} \longrightarrow \text{土壤组合} \quad (2)$$

使用非遥感的地理学辅助信息,有效地对遥感数据分类结果进行自动判别。同时,以各类土壤的光谱特征作为自动分类的基准,用预处理方法对 MSS 影像进行增强,分别突出土壤和各成土因子的光谱特征,对它们的关系进行综合评价,把地学相关分析方法引入到计算机中,根据 Landsat 磁带数据,设计以各波段亮度值为基准的模糊数学模型,自动识别土类。在聚类过程中,客观地定量输入相应的地理控制参数,避免或减少一些误判。

### (一) 试验所用资料及其预处理

本试验所用数据是 Landsat-3 的 CCT 磁带,同时还收集了地形图、其它专业图件及文字资料,在 ARIES-II (dipix 系统)上对原始 MSS 数据进行预处理(比值, KL 变换,投影变换,相关分析),得到几个新的波段组合,以突出与土壤类别有关的几个成土因子的光谱特征,并消除植被的影响,获得在一定程度上增强了的土壤光谱数据。下面详细加以说明。

#### 1. 土壤亮度指数与植被绿度指数

应用 Kauth, Thomas (1976) 提出的 Tasseled Cap<sup>[4]</sup>(某些农业景观的光谱散射图之间存在一定特性,在二维空间光谱数据呈图 1 所示的三角形分布,而在四维空间则呈图 2 所示形状,形象地称为 Tasseled Cap) 概念,以 KL 变换方法对 MSS 四个波段原始数据进行去相关处理<sup>[5]</sup>:

$$Z_j = \sum_{i=1}^4 R_{ij} X_i \quad (3)$$

其中  $x_i$  表示四个波段的原始光谱值,  $Z_j$  表示变换后新波段的光谱值,  $R_{ij}$  是 KL 变换阵的元素,在本试验中,变换阵  $R$  满足:

$$R = [R_{ij}] = \begin{bmatrix} 0.9671 & 0.1291 & 0.1254 & 0.2698 \\ 0.1957 & 0.2635 & -0.6212 & 0.4723 \\ -0.1403 & 0.2104 & -0.1078 & 0.2149 \\ -0.1017 & 0.3395 & 0.1205 & -0.1801 \end{bmatrix} \quad (4)$$

由此得到第一、二主分量组成的两个新波段:

土壤亮度指数

$$SBI = \sum_{i=1}^4 R_{i1} X_i \quad (5)$$

植被绿度指数

$$VGI = \sum_{i=1}^4 R_{i2} X_i \quad (6)$$

从而  $SBI$  和  $VGI$  定义了一个极为相似的 Tasseled Cap 面(土壤面),光谱信息量损失极

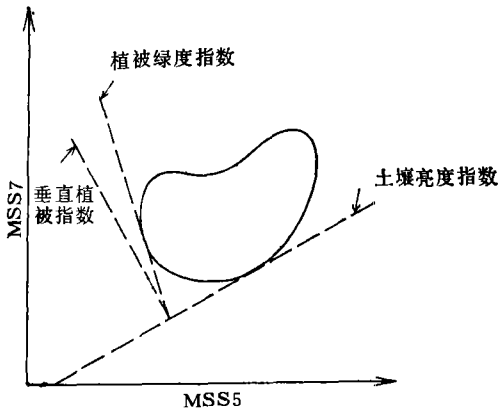


图 1 二维空间光谱散点图

Fig. 1 Scattering Diagram of 2-Dimension Spectrum

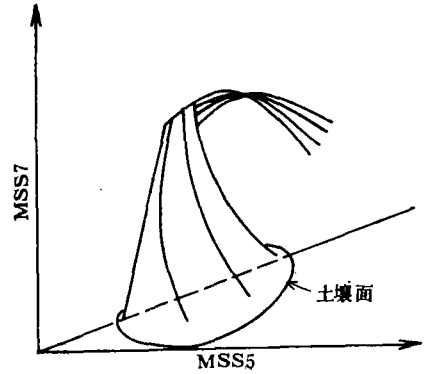


图 2 四维空间光谱散点图

Fig. 2 Scattering Diagram of 4-Dimension Spectrum

少。

### 2. 土壤投影亮度

按 John E. Colwell 提出的概念<sup>[6]</sup>, 随植物覆盖的不断增加, 植物光谱特性曲线在绿度—亮度空间未达到覆盖中值以前, 近似呈线性关系 (图 3 曲线 CDEF 和曲线 HIJ); 而且从具有不同反射值的两种土壤中得到两条分开的光谱线 (图 3 虚线) 趋于全植物点 (PAV)。试验过程中通过 PAV 的绿度值  $G_F$  和亮度值  $B_F$ , 以及由 (5), (6) 两式所确定的光谱空间任意点的亮度  $B$  和绿度  $G$ , 根据已知直线上任意两点, 求该直线横截距的方法, 得到对植物存在数量不敏感 (即绿度值近于零) 的投影土壤亮度 (PSB) 如下:

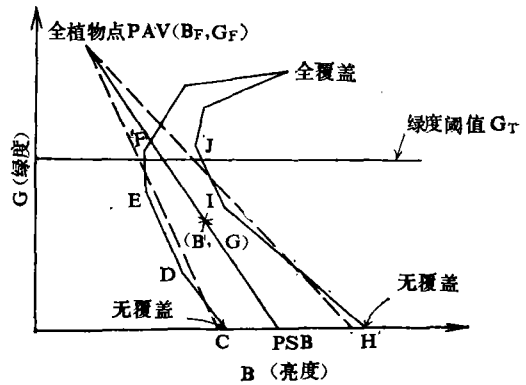


图 3 投影土壤亮度示意图

Fig. 3 Projected Soil Brightness

$$PSB = \begin{cases} 0 & \text{如果 } G > G_T \\ \frac{B_F \cdot G - G_F \cdot B}{G - G_F}, & \text{其它} \end{cases} \quad (7)$$

该式规定, 当光谱空间某一点绿度值大于阈值  $G_T$  ( $G_T$  是以该光谱空间的平均绿度中值为标准的) 时, PSB 为零, 即认为该点不可能裸露, 实测光谱数据根本不可能为土壤亮度数值; 此外,  $B_F, G_F$  是从 SBI 和 VGI 两波段上植被覆盖较大的光谱值中统计出来的, 因此, 由 SBI 和 VGI 两个波段, 按比值运算就能得到 PSB 波段。

### 3. 土壤指数

已有不少研究说明, 由于植物生长量、覆盖度和土壤条件变化所引起的光谱特征变

化,可通过红波段和红外波段进行二维压缩,比值  $IR/R$  对植物生长、生物量、覆盖度很敏感,同时还能将变化的土壤类型、土壤有机质含量、湿度的影响加以规范化。因为在二维空间中,随植物覆盖度的增加,每类土壤光谱将达到覆盖度为 100% 的植物光谱,可以表示为:

$$\left. \begin{aligned} R &= C \cdot PR + (1 - C) \cdot SR \\ IR &= C \cdot PIR + (1 - C) \cdot SIR \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

其中,  $R$ ,  $IR$  分别是景观在红波段及红外波段的混合反射光谱值,  $PR$ ,  $PIR$  和  $SR$ ,  $SIR$  分别是植物(以  $P$  表示)与土壤(以  $S$  表示)在红波段及红外波段的反射值,由(8)消去  $C$  (植物覆盖度),有:

$$\frac{R - SR}{IR - SIR} = \frac{PR - SR}{PIR - SIR}$$

对此式进行恒等变换,就能把土壤与植被间的相关性由景观与植被之间的关系间接表达出来,即:

$$\frac{PIR - SIR}{SR - PR} = \frac{PIR - IR}{R - PR} \quad (9)$$

(9)式左边表示土壤与植被间的光谱特性,而右边则为景观与植被的光谱特性。设此恒等式的值为  $K$ ,有文献报道, $K$  值随土壤有机质含量和水分增加而减小,而且  $K$  对每一特定景观下的土壤都是常数,从而可作为分类指标以识别各类土壤。由于  $MSS5$  和  $MSS7$  正好代表景观在红波段及红外波段的光谱,因此(9)式可表示为

$$\frac{PIR - SIR}{SR - PR} = \frac{PIR - MSS7}{MSS5 - PR} = K \quad (10)$$

由  $K$  值得到土壤指数  $SI$ ——又一个新波段。

## (二) 分类过程

### 1. 常规监督分类

以最大似然分类法(ML)单独对  $SBI$  波段分类,虽然注意到了选择正确的训练场地、确定合理的统计阈值等问题,但对于这种经预处理基本上代表土类光谱特性的波段,不同分类等级究竟对应什么土类这一根本问题仍未很好地加以解决,亚高山草甸土与山地草甸土,山地褐土与山地淋溶褐土、灰色棕壤之间依然存在不同程度的混淆,反映出了常规监督分类方法在土壤类别划分中的局限性。

### 2. 模糊分类

根据遥感图像识别中的模糊特性,按模糊识别理论,建立自动划分不同土类的模糊数学模型<sup>[7]</sup>:

$$A_i = \bigcap_{j=1}^p A_{ij} \quad \left( \begin{array}{l} i = 1, 2, \dots, n \text{ 是类别数目} \\ j = 1, 2, \dots, p \text{ 是波段数目} \end{array} \right) \quad (11)$$

对正态分布型模糊集合  $A_{ij}$ , 其隶属函数为:

$$A_{ij}(x) = \inf_{1 \leq j \leq p} A_{ij}(x_j) = \exp \left[ -\sup_{1 \leq j \leq p} \left( \frac{x_j - a_{ij}}{b_{ij}} \right)^2 \right] \quad (12)$$

它表示像元  $x$  隶属于第  $i$  类的程度。其中  $a_{ij} = EX_{ij}$ ,  $b_{ij} = DX_{ij}$  分别是第  $i$  类像元在第  $j$  波段上的均值与标准差。对任意给定的像元  $x_0$  进行识别, 它该归入  $A_i$  中的哪一类, 其准则就是“最大隶属原则”: 若有

$$A_k(x_0) = \max_{1 \leq i \leq n} A_i(x_0) \quad (i \text{ 为 } 1, 2, \dots, n \text{ 的正整数}) \quad (13)$$

则认为  $x_0$  相对隶属于第  $k$  类。

以模糊分类方法划分土壤类别, 比 ML 方法得到更为详细的分类结果, 较为突出的是使山地草甸土与山地淋溶褐土、山地淋溶褐土与山地棕壤之间的混淆情况得到部分消除。但仍存在着一定的混淆, 如亚高山草甸土与山地草甸土之间的情况。

### 3. 由地理、地质参数控制的模糊分类

从上面两种分类结果可见, 如果不对土壤类型识别过程施以相关的地理等控制参数, 单纯依靠计算机光谱识别, 是很难提高自动分类精度的。本试验按土壤地理分布规律, 主要以地貌地形参数为主, 辅之以成土母质及植被类型分布范围参数 (将地形高程及母质岩性、植被类型界线数字化后作为类别文件与光谱模糊分类结果匹配), 在模糊分类的基础上客观地对土类的形成属性与分布规律进行自动推测、判断, 针对第二种方法中所出现的混淆土类再确定其类别归属, 其流程表示在图 4 中 (其中  $\omega(X)$  表示类型判别函数,  $TR(X)$  表示地形、母质判别值), 如对亚高山草甸土, 则  $TR(X)$  可用高程  $>2700\text{m}$ , 母质为变质岩两个属性特征明确地加以限制, 从而与山地草甸土区分出来。由此, 大部分混淆问题可以得到解决。

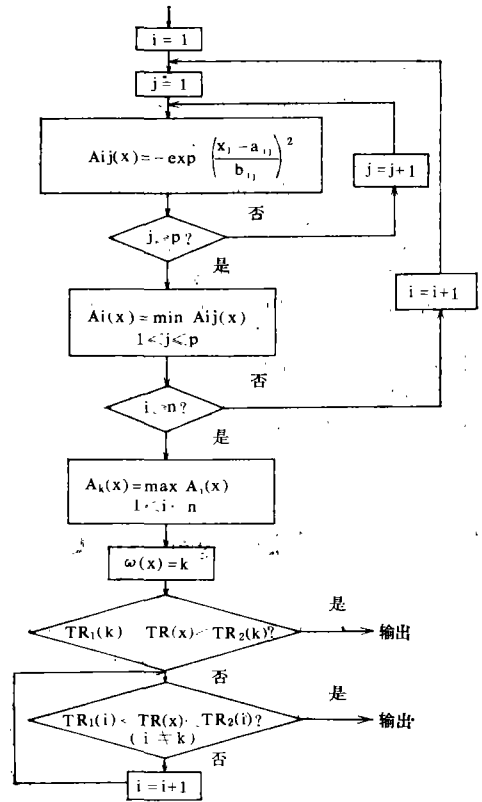


图 4 模糊集和辅助数据分类框图  
Fig. 4 The Diagram of Fuzzy-clustering with Ancillary Data

## 五、结 论

以模糊分类方法及地理、地质数据形成的判别函数, 在对太原幅关帝山山地土壤自动分类时, 取得了较好的效果。与常规方法相比, 该方法能够更明确地控制监督分类过程中误判与拒判土类的归属问题, 其根本原因不但在于更好地体现了土壤景观体系中的模糊特性, 又不单纯依靠差异极微弱的光谱特征, 较好地解决了自动分类中常见的光谱混淆现象, 而且更重要的在于吸收了地学相关分析的专业知识, 可模拟人脑思维活动、综合分析, 从而使各土类误分程度大大降低。

## 参 考 文 献

- [1] 李天杰、郑应顺、王云编, 土壤地理学(第二版), 高等教育出版社, 1983 年。
- [2] L. J. Lund, R. A. Weismiller, S. J. Kristof, F. R. Krischner & D. Harrison, Development of Spectral Maps for Soil-Vegetation Mapping in the Big Desert Area, Idaho, International Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data and Soil Information System and Remote Sensing and Soil Survey, 1980.
- [3] Michikazon Fugubara, Extraction of Soil Information from Vegetation Area, International Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, pp. 242—245, 1979.
- [4] R. J. Kauth & G. S. Thomas, The Tasseled Cap—A Graphic Description of the Spectral-temporal Development of Agricultural Crops as Seen by Landsat, International Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, 1976.
- [5] F. G. Hall, Satellite Remote Sensing: An Integral Tool in Acquiring Global Crop Production, International Symposium on Machine Processing of Remotely Sensed Data, pp. 10—20, 1982.
- [6] John E. Colwell, Landsat Feature Enhancement, Proceedings of 15th International Symposium on Remote Sensing of Environment, Vol. 1, pp. 599—622, 1981.
- [7] 冯晋臣, 遥感土地覆盖精确分类的模糊数学模型的研究, 模糊数学, (1), 1981。

## The Use of Soil-genesis Concept in the Automatic Classification of Remotely Sensed Image

Wang Bei

(*Institute of Remote Sensing Application, Academia Sinica*)

### Abstract

This paper deals with some problems existed currently in the conventional numerical classification of soil types and the automatic recognition of remotely sensed image. We propose a soil fuzzy-clustering method which is ancillary performed by geographic and geological data. In this paper, a concept of soil-genesis is first introduced quantitatively in soil numerical classification and image recognition, endowing the effect of soil-forming factors on the classified results with a new meaning. Thus it combines the correlative geoscientific analysis with automatic recognition and classification, and can be used to solve the problem of spectral confusion in automatic classification. Therefore, it is a development in improving the accuracy of category.