

黄土丘陵区数字地貌模型 与遥感影象分类

张 兵

(中国科学院遥感应用研究所 北京 100101)

摘 要 黄土丘陵区地形破碎、沟壑纵横,为遥感影象的土地利用自动分类带来了很大困难。仅依靠传统的光谱统计分类方法,难以达到较高的分类精度。本文拟探讨在黄土丘陵区运用大比例尺地形图数据,建立区域数字地貌模型;并在模糊数学理论的指导下,运用数字地貌模型对影象的分层分类结果进行修正和细化。研究表明,此方法能够有效地提高土地利用分类精度和机助制图比例尺。

关键词 黄土丘陵、数字地形模型、数字地貌模型、模糊数学、土地利用

1 前 言

在黄土丘陵区,地形切割破碎,沟壑纵横,地形阴影对遥感影象影响明显,这对主要基于地物光谱数值差异的计算机图象自动识别分类造成了困难和较大的误差。因此,国内外许多学者常用 DTM 作为遥感影象分类的辅助数据层,但由于 DTM 数据精度和处理手段的局限,往往仅限于对 DTM 中坡度等单个地形因子的运用。本文通过几种不同精度 DTM 的对比分析,评价了它们对黄土丘陵区地貌特点的真实反映程度。同时还探讨了使用较大比例尺的地形图扫描数据,直接生成可实用的数字地貌模型(DGM),并以此模型参予遥感影象专题分类,来提高遥感影象的土地利用分类精度。这就使得 DTM 数据更加深入、全面地用于图象分类过程。研究试验区位于陕西省北部佳芦河流域五女川支流——金明寺沟,面积均 20 km²,属于典型的黄土丘陵地带。土地利用现状与地貌类型有很强的相关性,就垂直分布而言,沟缘线以上梁峁顶、坡地,坡度较缓,但水分条件较差,基本上都属于坡旱地;沟缘线至沟底线之间陡坡地,土壤侵蚀强烈,坡面破碎,属灌草地或裸地;沟底线至河谷沟道之间,地势平坦,水分条件较好,多分布有水浇地、川旱地、川台地等,为稳产高产的基本农田^[1]。机助分类过程可分为 3 部分:

1. 使用大比例尺地形图扫描数据建立区域数字地貌模型(DGM),以它做为土地利用分类的地貌限制性因素。

2. 使用遥感影象数据作土地覆盖的分层监督分类,提取植被信息,以它做为土地利用分类的植被限制性因素。

(C)1994-2021 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http

3. 在模糊数学理论上, 做数字地貌模型与土地覆盖模型的匹配、复合以取得较高分类精度的区域土地利用模型。

2 格网型 DTM 中的地形因子

数字地形模型 (DTM) 是地形的数学描述, 数据存储多为等距格网模式。每个格网点的属性可为高程值、坡度值、坡向值、地面粗糙度等。它们构成了 DTM 中各个不同的地形因子。针对黄土丘陵区地貌特点, 可以从数字高程模型 (DEM) 中演生出如下几种地形因子。

格点坡度 即在 3×3 格网中, 中心点 5 的坡度。设 3×3 格网所拟合的平面为 $Z=a_0+a_1x+a_2y$, 格点坡度就是 $\alpha=\arctg(\text{grad}(Z))$

格点坡向 在 3×3 网格中, 其中心格点的坡向由满足 $|h_j-h_5|_{\max}$ 的 j 值确定^[2]。

格点坡度变化率 在 3×3 网格中, 设“ j ”号格点坡度为 α ; $j=1, 2, \dots, 8, 9$, 则中心格点的坡度变化率 S_5 为:

$$S_5 = \begin{cases} \frac{|\alpha_j - \alpha_5|_{\max}}{b}, & \text{当 } j=2, 4, 6, 8 \text{ 时} \\ \frac{|\alpha_j - \alpha_5|_{\max}}{\sqrt{2}b}, & \text{当 } j=1, 3, 5, 7, 9 \text{ 时} \end{cases}$$

b 为格网边长。

格点粗糙度 在 3×3 网格中, 格点面元趋势面面积与其水平投影面积的比, 称为中心格点粗糙度, 记为 CZ 。

$$CZ = \text{Area}S / \text{Area}H$$

式中, $\text{Area}S$ 为格点面元趋势面面积; $\text{Area}H$ 为格点面元面积。

3 在黄土丘陵区, 几种不同 DTM 的实用性评价

本研究工作共取得了试验区 4 种 DEM 数据。分别利用这些 DEM 数据计算此区域的坡度等值分布。看其对区域地形特点反映程度如何, 间接地对不同 DEM 的实用性做出评价。

对于 1:10 万地形图, 50m 采样数据计算的坡度, 其结果如表 1。

表 1 50m 采样坡度分级表

Table 1 Slope degree distribution from 50m /pixel

坡度等级 (度)	0—3	3—8	8—15	15—25	25—35	>35
百分比 (%)	29.4	28.2	29.3	11.7	1.1	0.4

通过上表, 可以看出, 在黄土丘陵区以 1:10 万地形图, 按 50m 采样所建 DTM,

将采样点内复杂的地形及坡度均一化,无法反映出黄土丘陵区地形破碎、起伏大、谷深、坡陡这一特点,由此计算出的坡度不符合实际情况。

对于 1:1 万地形图扫描数据,分别按 10、5、2.5 m 采样,其坡度百分比的计算结果如表 2。

表 2 区域坡度分级表

Table 2 Slope degree distribution from 10 m /pixel. 5m /pixel 2.5 m /pixel

百分比 (%)	坡度 (度)	采样间距 (m)					
		0—3	3—8	8—15	15—25	25—35	>35
10		13.1	10.2	14.8	21.0	26.0	14.9
5		9.8	11.3	10.5	24.6	20.8	23.0
2.5		10.0	10.1	13.1	23.1	19.6	24.1

从表 2 可以看出,对于黄土丘陵区 1:1 万地形图扫描数据,为了既不过多影响 DTM 精度,又减少数据冗余,以 5 m 采样间隔为好,图版 I 图 1 为由此所做的地形影像。

4 区域数字地貌模型的建立

数字地貌模型 (DGM) 是以数字点阵形式存储的地貌单元分类。从数字地形模型 (DTM) 到数字地貌模型 (DGM) 是在对区域地貌特点有所了解的基础上,通过对多因子高精度的 DTM 的计算机运算与人工逻辑分析,共同完成的。

黄土地区各地貌类型和单元均可以通过格网型 DTM 中的各地形因子或其复合来适量描述。如黄土谷坡地,其最明显的特点就是格点坡度大,格点粗糙度大,处于沟缘线和沟谷坡度急变线之间,而沟缘线和谷坡线的坡度变化率是最大的。

本研究通过对 1:1 万地形图 5m 采样的 DEM 数据处理,得到了区域数字地貌模型 (DGM) 以及各类型在区域内所占面积百分比。其栅格大小为 5 m,点值代表该点地貌单元类型 (图版 I 图 2)。其地貌类型及坡度如下:

G_{11} : 黄土梁峁 ($\leq 8^\circ$), G_{12} : 黄土梁峁 ($8-25^\circ$), G_{21} : 黄土谷坡 ($\leq 35^\circ$), G_{22} : ($> 35^\circ$), G_{31} : 黄土坪 ($< 8^\circ$), G_{41} : 沟底平地 ($< 8^\circ$), G_{51} : 水域 (0°)。

5 数字地貌模型 (DGM) 参与土地利用分类

土地利用类别实际上是由植被,地貌条件两方面因素决定的。本研究所使用的遥感数据为 TM 和 SPOT 复合地面分辨率为 10 m 的三维光谱数据。为了与 DGM 数据精度一致,被插值到了 5 m 分辨率。

这里引入模糊数学理论,分别建立起地貌,植被与土地利用之间的从属度关系。

首先,把集合 U 定义为土地利用集合,则:

$$L = \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5, y_6, y_7, y_8\}$$

y_1 : 水浇地, y_2 : 沟底旱地, y_3 : 沟台地, y_4 : 沟间坡旱地, y_5 : 林地, y_6 : 灌丛草地, y_7 : 稀疏草地和裸地, y_8 : 水域

将集合 G 定义为地貌类型集合, 则:

$$G = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5\}$$

x_1 : 黄土梁峁(沟缘线以上), x_2 : 黄土沟坡, x_3 : 黄土坪, x_4 : 沟底平地, x_5 : 水域。

如果将模糊关系 R_1 定义为集合 G 中元素从属于集合 L 中元素的可能性, 则得到如下模糊矩阵:

$$A = \begin{bmatrix} \mu_{R_1}(x_1, y_1), & \mu_{R_1}(x_1, y_2), & \dots & \mu_{R_1}(x_1, y_8) \\ \mu_{R_1}(x_2, y_1), & \mu_{R_1}(x_2, y_2), & \dots & \mu_{R_1}(x_2, y_8) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{R_1}(x_5, y_1), & \mu_{R_1}(x_5, y_2), & \dots & \mu_{R_1}(x_5, y_8) \end{bmatrix}$$

其中 $\mu_{R_1}(x_i, y_j)$ 表示集合 G 中第 i 个元素从属于 L 中第 j 个元素的程度。其取值一般需要专家的经验知识。

模糊矩阵 A 确立了集合 $G \rightarrow L$ 之间的一个模糊关系。

遥感影像中每个象元点的植被光谱信息(多维信息, 因本研究中植被分类均考虑图象预处理后的3个波段, 因此为三维信息)与土地利用植被样本之间的接近程度可用欧氏空间距离来表示。

象元点 $z_i = (z_{i1}, z_{i2}, z_{i3})$ 和样本点 $z_j = (z_{j1}, z_{j2}, z_{j3})$

欧氏距离

$$\|z_i - z_j\| = \sqrt{(z_{i1} - z_{j1})^2 + (z_{i2} - z_{j2})^2 + (z_{i3} - z_{j3})^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^3 (z_{ik} - z_{jk})^2}$$

现在我们使用另一个量广义夹角余弦来刻划这种接近程度。

z_i 和 z_j 的广义夹角 σ 的范围规定 $0 \leq \sigma \leq 90^\circ$, 而 σ 的余弦用下式来定义

$$\cos \sigma = \frac{(z_i, z_j)}{\|z_i\| \times \|z_j\|}$$

其中

$$(z_i, z_j) = z_{i1} \times z_{j1} + z_{i2} \times z_{j2} + z_{i3} \times z_{j3} = \sum_{k=1}^3 z_{ik} \times z_{jk}$$

$$\|z_i\| = \sqrt{z_{i1}^2 + z_{i2}^2 + z_{i3}^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^3 z_{ik}^2}, \quad \|z_j\| = \sqrt{z_{j1}^2 + z_{j2}^2 + z_{j3}^2} = \sqrt{\sum_{k=1}^3 z_{jk}^2}$$

广义夹角余弦也描述了两样品之间的差异。显然, 当样品 z_i 与 z_j 的所有指标都相同时, $\cos \sigma = 1$, 即夹角为 0° , 表明两样品完全一致。 $\cos \sigma = 0$, 即夹角为 90° , 表明两样品完全不同。

如果我们把 z_i 定义为植被集合 V 中元素, z_j 看作为土地利用集合 L 中元素 y_j 。 $V \rightarrow G$ 的模糊关系从属函数 $\mu_{R_2}(z_i, y_j) = \cos \sigma$ 因为 $0 \leq \sigma \leq 90^\circ$, 则: 得到模糊矩阵 B 。

$$B = \begin{bmatrix} \mu_{R2}(z_1, y_1), & \mu_{R2}(z_1, y_2), & \dots & \mu_{R2}(z_1, y_8) \\ \mu_{R2}(z_2, y_1), & \mu_{R2}(z_2, y_2), & \dots & \mu_{R2}(z_2, y_8) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_{R2}(z_m, y_1), & \mu_{R2}(z_m, y_2), & \dots & \mu_{R2}(z_m, y_8) \end{bmatrix},$$

这样，我们就得到了每个图象象元在植被覆盖光谱信息上与土地利用类型集合 L 之间的模糊关系。

上面我们分别建立了 DGM 信息、植被光谱信息与土地利用类型之间的模糊关系，也就是 A 、 B 两模糊矩阵。这样，对于图象中每一个象元 x 都具有了地貌与植被两方面的特性。可以用一个数对表示： $x(a_i, b_i)$ ($i=1, 2, \dots, 8$)

其中， a_i 表示其地貌类型从属于第 i 类土地利用类型的可能性； b_i 表示其植被类型从属于第 i 类土地利用类型的可能性。实际上 a 、 b 均为 1×8 的模糊矩阵。

对于 x 的归属，可用模糊矩阵 a 与 b 的和来求算。

$$a = [a_1, a_2, \dots, a_8], \quad b = [b_1, b_2, \dots, b_8]$$

则：
$$C = (k_1 a + k_2 b) / (k_1 + k_2) = [c_1, c_2, \dots, c_8]$$

其中 k_1, k_2 为加权值，可根据不同情况作适当调整。 C 也为一模糊矩阵。

设象元 x 的土地利用类别为 k ,

则：
$$k = i, \text{ 当 } c_i = \max(c_1, c_2, \dots, c_8) \text{ 时. } (i=1, 2, \dots, 8)$$

这样，我们就利用模糊数学理论将地貌与植被两大因子结合起来完成了土地利用的分类。

为了直观地检验分类效果的好坏，我们将土地利用各类型与 DTM 做了复合并进行三维透视，图版 I 图 3 为耕地类型的三维视图。

它清晰地显示出，沟间坡旱地一般处在沟缘线以上，其下为陡坡。并且一些切沟，纹沟都有表示，这比只通过图象的光谱信息进行分类的结果要准确和精细得多。沟台地的划分也与几条明显的沟谷陡坎相吻合，其分类精度如表 3 所示。

表 3 DGM 与遥感图象复合分类结果评判
Table 3 Evaluation on the classification results

土地利用类型	面积百分比 (%)	验证图斑数	判对数	判对率 (%)
水浇地	1.2	1240	1058	85.3
沟底旱地	0.6	2024	1787	88.3
沟间地	50.5	28441	25519	89.7
林地	0.9	1442	986	68.4
灌丛草地	23.2			
稀疏草地和裸地	16.7	22932	17633	76.9
川台地	6.0			
水域	0.9	6272	5765	91.9

以 1:2.5 万彩红外航片目视解译图为准, 选三块样区, 对分类结果作如下统计:

土地利用类型中的沟台地没有作为验证图斑, 是因为沟台地(黄土坪)在 DTM 中有明显表现, 但对 1:2.5 万彩红外航片来说却难以识别。这从另一角度也说明 1:1 万地形图扫描数据所建 DTM 对黄土丘陵区复杂地形的反映程度还是很高的, 总的来讲, 地形因子在分类过程中起的作用超过了 50%。

由于 DGM 的引入分类, 使土地利用计算机自动分类的专题要素增多了, 这是由于引入数字地貌模型后, 按照不同地貌部位又对光谱分类结果进行了细分, 再有就是分类精度比仅依靠光谱分类结果提高了近 30 个百分点。耕地边界随地形线弯延曲折, 图斑精细。它综合地考虑了地形条件和地物反射光谱两方面的信息。

参 考 文 献

- [1] 陕北黄土高原地区遥感应用研究. 中国科学院遥感应用研究所, 西北水土保持所, 科学出版社, 1991.
- [2] 数字地面模型. 柯正谊, 何建邦, 池天河. 科学技术出版社, 1993.

作 者 简 介

张兵, 男, 生于 1969 年 2 月, 毕业于北京大学城市与环境学系, 1994 年获得中国科学院遥感应用研究所地图学与遥感专业硕士学位。

Study on the Landuse Classification Using DGM Data in Loess Hill Area

Zhang Bing

(Institute of Remote Sensing Applications, CAS)

Abstract With the complicated terrain and low vegetation cover in loess plateau of North China, it is very difficult to get higher accuracy of digital image classification, only depending on the traditional spectral statistical classification method. The spatial resolution of Thematic Mapper (30 m /pixel) also limit the accuracy and scale of interpreting landuse maps.

In order to improve the accuracy of landuse classification in loess hilly area, a large scale relief map was used to create the digital geomorphic model (DGM).

By applying Fuzzy Mathematics theory, the DGM was used to correct the digital image classification result, so as to create the regional landuse model. The study shows that this classification improves the accuracy of landuse classification effectively, and combines the digital image classification with DTM entirely.

Key words Loess hill, DTM, DGM, Fuzzy mathematics, Landuse

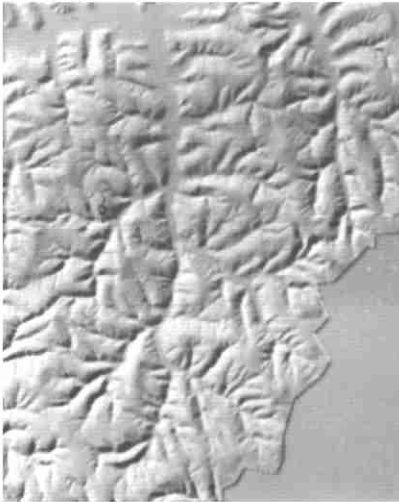


图 1 由 DTM 数据生成的地形影像图

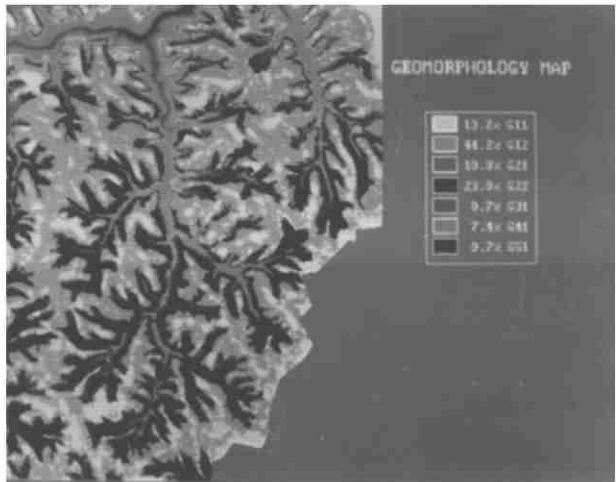


图 2 由 DTM 数据生成的地貌图

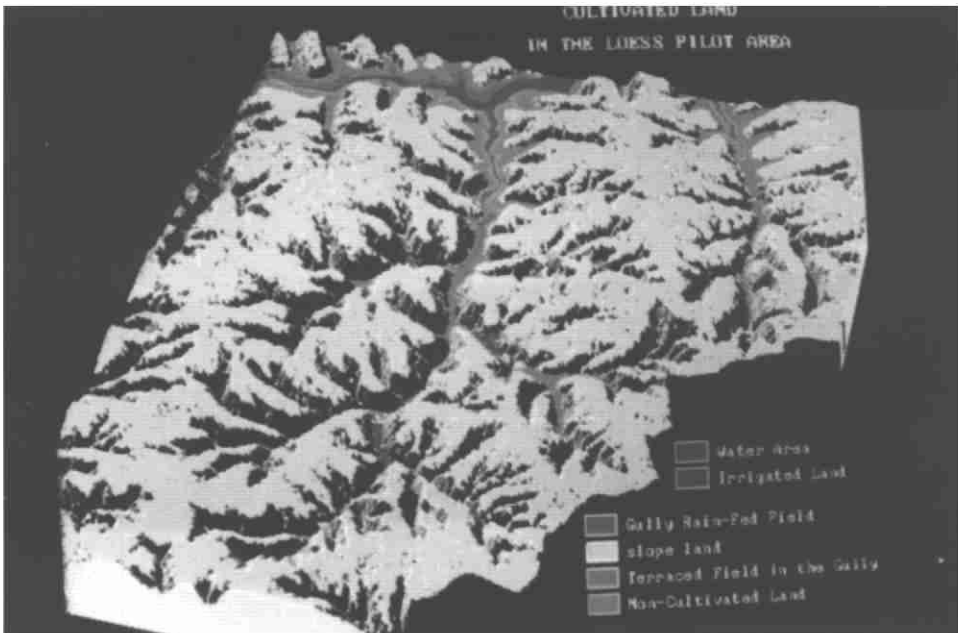


图 3 耕地分布与 DTM 数据复合三维显示