

DEM 支持的黄土丘陵沟壑区地被遥感分类方法

李小曼, 王 刚

(武警工程大学, 西安 710086)

摘 要: DEM 支持的黄土丘陵沟壑区地被遥感分类方法的提出, 目的是解决由于受到复杂地形影响, 遥感影像地被分类精度低且不具有地形特征的问题。在分类预处理过程中利用基于 PCA 的方法复原阴影区域的信息, 可以减少大量阴影造成的影响。分类时对分布在不同地形区域的相同地被选取不同的样本, 利用 Bayes 分类进行土地覆盖分类。根据正负地形特征和剖面曲率将 DEM 划分为梁峁地、沟坡地、沟底地。分类后使用最小面积原则的滤波方法对土地覆盖分类图与土地类型分类图进行处理, 并以土地类型边界为标准进行图斑的叠加重组。该方法将光谱特征与空间地形信息相结合, 得到的分类结果精度有所提高且带有地形信息, 充分体现了黄土丘陵沟壑区地被分布的实际情况, 增强了分类结果的实用价值。

关键词: 黄土丘陵沟壑区; 遥感影像; DEM; 地被分类; 地形分类

中图分类号: TP751.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2013)03-0110-05

Research on DEM Based on Remote Sensing Classification Method in Loess Hilly Ravine Area

LI Xiao-man, WANG Gang

(Engineering University of CAPF, Xi'an 710086, China)

Abstract: A land-cover classification method was put forward based on remote sensing image to solve the problem of low classification accuracy and lack of terrain characteristics due to the influence of complex terrain in Loess hilly Ravine area. This method uses PCA to recover the remote sensing image shadow information before land-cover classification, and to reduce the influence caused by large numbers of shadow. This method selects different samples on same cover of different terrain, and uses Bayes classification to complete land cover classification. DEM is used to classify the landform into ridges and hills, sloping fields, gullies, combines the spectrum feature analysis and terrain information processing, overlays the result with terrain classification, and restructures the figure spot based on land type boundary. This method combines spectral features and spatial topographic information in the process of classification, therefore, the classification result precision is improved. This method makes the classification results with the terrain information, fully embodies the actual situation of the cover distribution in Loess hilly ravine area, and enhances the practical significance of classification results.

Key words: Loess hilly-gully region; remote sensing image; DEM; land-cover classification; terrain classification

黄土丘陵沟壑区土壤耕性良好, 土地覆盖类型多样, 是潜力很大的农牧产品产区。同时该区域受现代侵蚀的强烈影响, 是西部地区可持续发展中生态治理、资源分布、资源供给、环境优化、减灾免灾、水土保持的重点地区。黄土丘陵沟壑区地形复杂, 主要分为河流阶地、残塬、平梁顶、平梁斜坡、长梁、斜梁、梁峁

和峁等地貌类型^[1]。复杂的地形形成了复杂的地物光谱。国内外的学者对黄土丘陵沟壑区遥感影像分类方法进行了研究。Li R 等利用遥感数据进行了黄土高原地区地形信息的提取^[2]; 张渊智等将层次分类等方法应用到黄土高原地区遥感影像的分类中^[3-5]; 陆广勇等^[6]提出 GIS 与 RS 相结合的方法解决土地

覆盖动态变化问题;刘咏梅^[7-8]提出用数据融合的方式解决黄土丘陵沟壑区的遥感图像分类。经过前人的努力,黄土丘陵沟壑区遥感影像自动分类结果的精度较以前有所提高,但还不能满足使用要求,较高精度的黄土丘陵沟壑区遥感影像地被分类方法研究亟待解决。

黄土丘陵沟壑区环境复杂、空间差异性大,侧重于利用方式的地被分类不能完全反映土地和环境的自然属性,也不能较好地反映土地资源的质量。例如,部分优质耕地位于梁峁坡的中下部,部分则位于缓坡梁峁的顶部。因此对黄土丘陵沟壑区遥感图像进行地被分类时,应首先将地形作为划分地被类型的主导因素,建立地被分类系统的骨架;其次是土壤和植被等土地覆盖因素,划分出带有地形信息的地被类型个体,真实反映复杂地区的土地资源状况。

造成目前黄土丘陵沟壑区地被分类精度低的主要原因是:第一,难以消除由于地形影响而产生的“同物异谱”和“同谱异物”现象,分类结果漏分错分现象较多;第二,忽略了由于地形影响而产生的空间差异,分类结果包含较少地形特征,很难反映分类区域的实际情况。针对这些问题提出了“DEM 支持的黄土丘陵沟壑区地被遥感分类方法”,以解决由于受到复杂地形的影响,黄土丘陵沟壑区遥感影像地被分类精度低且不具有地形特征的问题。

1 算法流程

DEM 支持的黄土丘陵沟壑区遥感影像地被分类方法主要是将光谱特征与空间特征相结合,应用各种数学方法减少地形变化对地物光谱特征的影响,利用地形变化引起的空间构型特征补充单纯依靠光谱值分类的局限性。具体方法为:首先确定垂直方向上土地类型的分类,主要根据地貌类型、外力作用差异和过程进行划分;然后根据各类地物在遥感影像上的差异性,确定土地类型;最后将两者相结合得到该地区的地被分类。黄土丘陵沟壑区地被分类具体步骤如下,技术路线如图 1 所示。

- (1) 分类前对遥感影像进行阴影消减,减少地形因素对遥感图像光谱特征的影响。
- (2) 对遥感影像进行土地覆盖分类。
- (3) 利用数字地形模型进行“空间”分析,提取典型地形特征线,划分出梁峁地、沟坡地、沟(谷)底地等基本土地类型。
- (4) 将遥感图像土地覆盖分类结果与土地类

型分类结果相结合,得到具有地形特征的地被分类图。

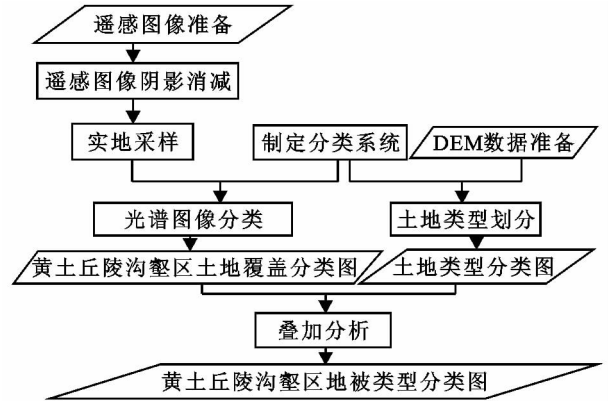


图 1 黄土丘陵沟壑区遥感影像地被分类技术路线

2 算法实现

2.1 遥感图像的阴影消减

黄土丘陵沟壑区地形起伏大,遥感图像中存在大量的阴影,表现为像元值偏低,信息量相对较少,同时也是导致“同物异谱”和“同谱异物”现象的主要原因,为图像分类带来难度,影响分类精度。对于多波段的遥感影像,PCA 变换后得到的第一主成分包含了多波段图像的绝大部分信息,一般在 80% 以上,通常认为第一主成分代表亮度^[9]。多波段遥感影像的每个波段都有阴影影响,而且出现在相同的位置。在第一主成分中包含大量的阴影信息,并且远高于任何单一波段的阴影信息。其它主成分所含的信息较少,其中的阴影成分可以忽略,因此可以利用第一主成分来进行阴影的消减。

多波段图像进行主成份变换产生的第一主成分图像记为 PCA1,消除阴影后的第一主成分记为 PCA1'。多波段图像的均值可以起到平滑噪声的作用,因此多波段图像的均值图像接近原始无噪声的图像,多波段图像经过平均后能使噪声造成的像素灰度值的偏差变小。使用均值图像作为阴影消除后的期望,使消除阴影后的第一主成分的均值和标准差达到均值图像的水平,具体消减阴影的模型如式(1)所示。

$$\frac{PCA1_i' - \text{mean}(JUN)}{(\text{PCA1}_i - \text{mean}(PCA1))} = \frac{\text{sd}(JUN)}{\text{sd}(PCA1)} \quad (1)$$

式中:PCA1_i'——第一主成分第 i 像元的灰度值;PCA1_i——阴影消减后第一主成分第 i 像元的灰度值;mean(PCA1)——第一主成分图像的均值;sd(PCA1)——第一主成分图像的标准差;mean(JUN)——均值图像的均值;sd(JUN)——均值图像的标准差。得到消减阴影的第一主成分

PCA1'后,结合其它主成分进行主成分逆变换,即得到消减阴影后的各波段图像。

2.2 遥感图像土地覆盖分类

根据实地调查将黄土丘陵沟壑区土地覆盖类型划分为水域、平耕地、坡耕地、阔叶林、针叶林、针阔混交林、高盖度草地、中盖度草地、低盖度草地、居民地、工矿用地及交通用地、裸土、裸岩 12 大类。考虑该地区遥感影像受地形的影响较大,因而在进行样本选取时考虑每大类所处的地形,使多个小类参与训练与分类,采用贝叶斯 (Bayes)^[10-11] 分类后将小类合并成大类。

地物的波谱辐射和其对应的遥感图像灰度值也都近似地遵循正态函数的分布。因此,假定各类地物波谱辐射都是正态分布。设某遥感图像上有 s 个地物类别,分别用 $\omega_1, \omega_2, \dots, \omega_s$ 来表示,每个类别发生的先验概率分别为 $P(\omega_1), P(\omega_2), \dots, P(\omega_s)$ 。设有未知类别的样本 x ,其类条件概率分别为 $P(x|\omega_1), P(x|\omega_2), \dots, P(x|\omega_s)$,则根据 Bayes 定理可以得到样本属于 s 个类中第 i 类的后验概率,如式(2)所示:

$$P(\omega_i | x) = \frac{P(x | \omega_i) P(\omega_i)}{P(x)} \quad (2)$$

Bayes 分类器以样本 x 出现的后验概率为判别函数来确定样本 x 的所属类别,判别准则为式(3),如果满足,则 $x \in \omega_i$ 。

$$P(\omega_i | x) = \max_{j=1,2,\dots,s} \{P(\omega_j | x)\} \quad (3)$$

在 Bayes 分类器中,先验概率 $P(\omega_i)$ 根据对采样样本的统计计算给出,而类的条件概率 $P(x/\omega_i)$ 则需根据实际情况做出合理的假设。按照 Bayes 分类器对样本进行分类,其优点在于能利用各类型的先验性分布知识及其概率,降低错误分类的概率。

2.3 地形分类

黄土丘陵沟壑区由正地形和负地形构成。正地形主要有黄土梁峁,负地形主要是各种侵蚀沟谷,有河沟、冲沟、干沟等^[12]。正负地形实际上是由几种特征地类构成的一个空间框架,这个空间框架按照高程从高到低可以概括表示为 3 个部分:上部是坡度较为缓和的梁峁地,下面是坡度较为陡峻的沟坡地,底部是较为平坦的沟底地。因此,将黄土丘陵沟壑区的地形类型分为三类,即梁峁地、沟坡地、沟底地。从坡度、剖面曲率、正负地貌等几个方面考虑,各种地类的特征为:梁峁地的顶部坡度在 5° 以下,向下坡度增大到 15° 以上,梁峁地和沟坡地的分界线附近达到 25°

左右,剖面曲率大于 0,为正地貌;沟坡地的坡度大于梁峁坡,一般大于 25° ,剖面曲率小于 0,梁峁丘陵的沟坡呈负地貌;沟底地地面平缓,坡度一般小于 15° ,剖面曲率小于 0,多数为负地貌。依据各类地形的特征,首先根据正负地形和剖面曲率区分出梁峁地和沟坡地、沟底地,再根据坡度划分出沟坡地与沟底地。土地类型分类算法的主要流程如图 2 所示。

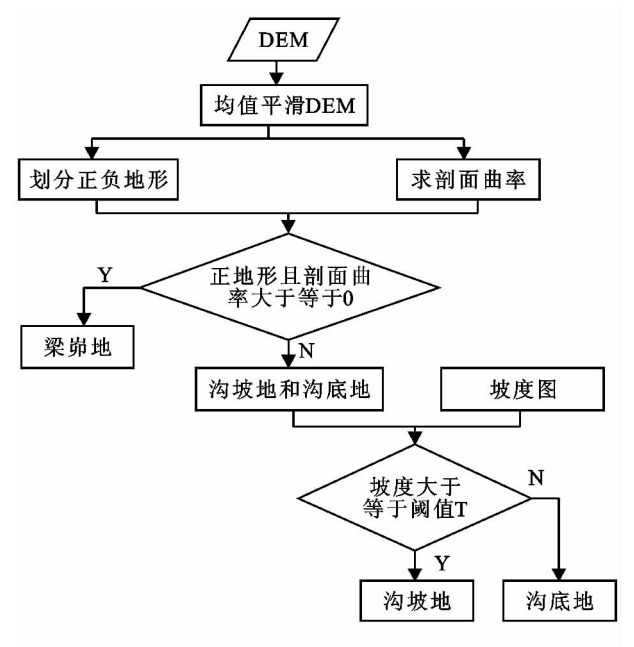


图 2 地形分类流程

对于正负地形的划分,使用莫兰指数 (Moran's I) 来度量,Wood^[13] 证明对于栅格数据自相关的计算,莫兰指数的简化计算公式如式(4)所示。

$$I = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)(x_j - x_m)}{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2} \quad (4)$$

式中: x_i, x_j ——在 i, j 位置的高程值; x_m ——在所有 i, j 位置的高程均值; n ——所有测量点的数目。莫兰指数大于 0 为正地形,小于 0 为负地形。根据地形剖面曲率的定义,剖面曲率使用式(5)计算^[14],设地形曲面函数为 $z = f(x, y)$ 。

$$C_p = \frac{p^2 r + 2qps + q^2 t}{(p^2 + q^2)(1 + p^2 + q^2)^{3/2}} \quad (5)$$

式中: C_p ——剖面曲率; $p = \frac{\partial f}{\partial x}, q = \frac{\partial f}{\partial y}; r = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, t = \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}, s = \frac{\partial^2 f}{\partial x \partial y}$ 。

由于不同地区的地貌发育程度不同,区分沟坡地与沟底地的坡度阈值 T ,要根据 DEM 表达地区的实际情况而定,一般为 $15^\circ \sim 20^\circ$ 。对于小面积的 DEM 可以使用相同的阈值,对于大面积的 DEM 要区分

类,根据实际情况确定各区的阈值,可以根据流域进行区域划分。

2.4 具有地形信息的地被分类

使用基于最小面积原则的滤波处理方法对土地覆盖分类图与土地类型分类图中的小图斑进行处理。根据聚类统计的基本结果,给每个类规定一个应保留的最小连接像元数,凡小于此数的连片像元和单个的孤立像元,均合并至与其相邻的连续分布的类中。

进行最小图斑处理后,将土地覆盖分类图与土地类型分类图进行叠加分析,并以土地类型边界为主对图斑进行重组,将属性进行合并,得到黄土丘陵沟壑区地被类型。例如,落在梁峁地的坡耕地,称为梁峁坡耕地。

3 黄土丘陵沟壑区遥感影像地被分类实例

以 2010 年 9 月黄土高原丘陵沟壑区的一景 TM 图像为例,使用地面分辨率为 10 m 的规则格网 DEM,利用 ERDAS IMAGINE 的建模功能,完成阴影消减、黄土丘陵沟壑区土地覆盖分类、地形分类等功能,利用 ArcView 完成土地覆盖分类图与土地类型分类图的叠加分析。选取的 TM 图像地形起伏较大,影像中存在较多阴影。阴影消减前第一主成分如图 3 所示,在第一主成分中突出反映了阴影信息;按照前述算法进行阴影消减,处理后的第一主成分(图 4)中的阴影得到了很好的消减,被阴影遮盖的信息有所体现,更有利于进一步进行图像分类。



图 3 阴影消减前第一主成分

分类并经过后处理的土地覆盖结果如图 5(部分截取)所示,图像对应地区的土地类型分类根据上述算法,实验使用 5×5 的窗口提取正负地形,窗口越大综合程度越大,选择窗口大小时要考虑使用 DEM 的地面分辨率和地形分类的用途。根据研究地区的实

际情况及反复实验,沟坡地和沟底地的区分阈值取 17°,分类结果如图 6 所示,其中黑色部分为沟底地,灰色为沟坡地,白色为梁峁地。

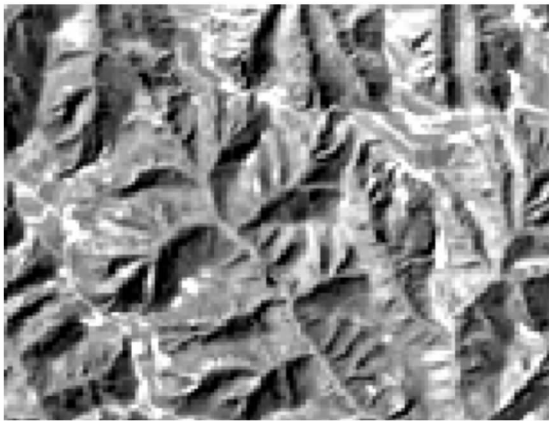


图 4 阴影消减后第一主成分

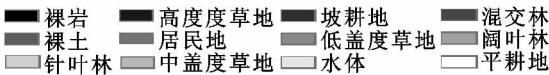
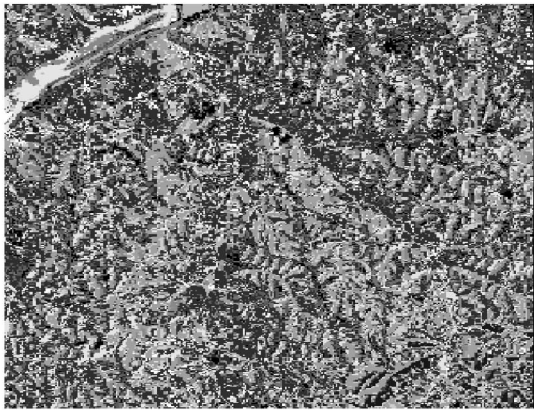


图 5 地被分类图

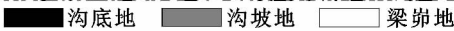
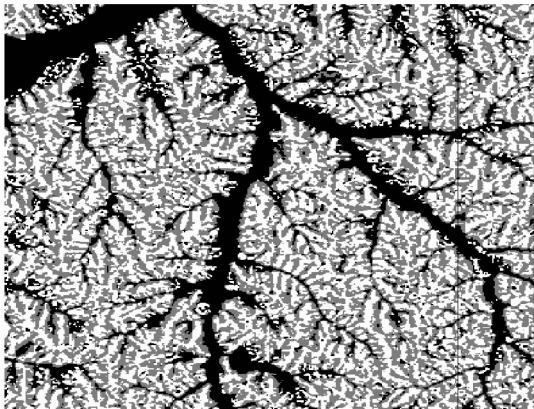


图 6 土地类型分类图

依据航空相片目视判读结果和实地检验进行分类结果精度估计。经过抽样核查,抽查图斑总数 185 个,其中边界正确图斑 164 个,边界错误图斑 21 个,边界定位精度为 88.58%。抽取采样点 5 528 个,根据抽样结果建立的混淆矩阵如表 1 所示。

表 1 分类结果抽样核查混淆矩阵

参考类 别代码	评价类别代码												总和
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1	521	31	0	14	8	5	0	0	4	0	0	0	583
2	21	425	3	5	0	5	0	0	5	0	0	0	464
3	0	9	381	6	0	0	6	9	5	0	36	0	452
4	15	11	20	413	0	0	6	15	6	0	0	0	486
5	0	0	0	14	368	6	0	0	5	0	6	18	417
6	0	0	8	0	0	443	20	21	7	5	30	12	546
7	12	0	9	0	0	10	517	6	2	3	0	4	563
8	6	0	7	7	17	3	0	490	3	5	0	0	538
9	0	0	0	0	8	15	6	0	211	5	0	4	249
10	0	0	0	19	0	0	0	5	0	226	10	0	260
11	6	0	0	0	7	5	12	0	1	10	540	6	587
12	6	0	0	0	9	10	12	0	0	0	1	345	383
总和	587	476	428	478	417	502	579	546	249	254	623	389	5528

注:表中类别代码含义为:1 表示混交林;2 表示高密度草地;3 表示低密度草地;4 表示中密度草地;5 表示针叶林;6 表示阔叶林;7 表示平耕地;8 表示坡耕地;9 表示居民地;10 表示裸岩;11 表示裸土;12 表示水体。

根据表 1 混淆矩阵中的值可以计算 Kappa 系数,具体算法见式(6)。

$$\text{Kappa} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})} \times 100\% = 87.14\%$$

(6)

式中: $r=12$; X_{ii} ——第 i 行 i 列的观察值; X_{i+} , X_{+i} ——分类误差矩阵的行总和及列总和; $N=5528$ 。

4 结论

文中提出的基于 DEM 的黄土丘陵沟壑区遥感影像地被分类方法,通过实验验证,其主要特点有:(1) 分类预处理中提出多波段遥感图像阴影削减模型。(2) 通过地学数据进行土地类型分类。(3) 将土地类型分类结果与遥感图像土地覆盖分类结果相结合来完成黄土高原地区遥感图像的分类,使得分类结果精度有所提高,且带有地形信息,充分体现了黄土高原地区的实际情况,既有土地类型的分类又有土地覆盖的分类,土地类型分类与土地覆盖分类即可相互独立又可相互结合,具有更广泛的应用价值。

参考文献:

[1] 杨勤业,袁宝印. 黄土高原地区自然环境及其演变[M]. 北京:科学出版社,1991.

[2] Li R, David Jupp. Extraction of Landform Information from Remotely Sensed Data: An Initial Study[C]. Beijing: Proc. Beijing BIRS,1986.

[3] 张渊智. 基于知识的土地覆盖分层分类及机助制图试验研究:以黄土丘陵区为例[D]. 北京:中国科学院研究生

院,1991.

[4] 李道峰,田英,郝芳华. 基于 NDVI 数据的黄河流域地表植被覆盖综合分类研究[J]. 水土保持研究,2003,10(4): 88-91.

[5] 范莉,刘洪斌,王伟. 一种遥感混合分类方法及其在山区土地覆盖分类中的应用[J]. 水土保持研究,2006,13(3): 235-237.

[6] 陆广勇,杨勤科,王海江. 基于 MODIS-NDVI 时序数据的黄土丘陵区土地覆盖分类研究[J]. 水土保持研究,2011,18(2):112-115.

[7] 刘咏梅,杨勤科,温仲明. 地形复杂地区遥感图像分类方法应用研究:以黄土丘陵沟壑地区坡耕地遥感调查为例[J]. 水土保持通报,2003,23(4):30-32.

[8] 刘咏梅,杨勤科,赵牡丹. 基于影像融合的陕北黄土丘陵沟壑区土地利用动态监测[C]//中国水土保持探索与实践. 小流域可持续发展研讨会论文集. 北京:中国水利水电出版社,2005.

[9] 曾志远. 卫星遥感图像计算机分类与地学应用研究[M]. 北京:科学出版社,2004.

[10] 边肇祺,张学工. 模式识别[M]. 北京:清华大学出版社,2000.

[11] 刘蓉,靳红梅,段福庆. 基于 Bayes 决策的光谱分类[J]. 光谱学与光谱分析,2010,30(3):838-841.

[12] 焦峰,温仲明,李锐. 黄土丘陵区(安塞)县域尺度土地类型结构评价[J]. 水土保持研究,2005,12(1):30-31.

[13] Wood J D. The Geomorphological Characterisation of Digital Elevation Model[D]. Park Lane London: University of Leicester,1996.

[14] 周启鸣,刘学军. 数字地形分析[M]. 北京:科学出版社,2006.