

基于 DEM 的黄土高原小流域规划空间数据挖掘

刘万青¹, 陈云明², 张超超¹, 于传才¹

(1. 西北大学 城市与环境学院, 陕西 西安 710127; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 黄土高原小流域规划需要多种地理背景数据支持, 以陕西省安塞县马家沟流域为样区, 以 DEM 为基础数据集, 采用 ArcGIS 技术及多种空间分析方法, 进行了坡度分级、地貌分类、坡向分类等方面的数据挖掘实验, 获得了一组小流域规划本底数据挖掘的参数和指标, 并提出了以数值编码为核心的多元地理数据集的空间叠加与融合方法, 研究成果对于指导黄土高原小流域规划具有参考价值。

关键词: DEM; 空间数据挖掘; 数据融合; 流域规划

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2010)02-0229-04

中图分类号: S157, TP751.1

Spatial Data Mining for Watershed Planning on the Loess Plateau Based on DEM Datasets

LIU Wan-qing¹, CHEN Yun-ming², ZHANG Chao-chao¹, YU Chuan-cai¹

(1. College of Urban and Environment, Northwest University, Xi'an, Shaanxi 710127, China; 2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: Working out a small watershed planning on the Loess Plateau needs many kinds of geographical data. By taking the Majiagou watershed in Ansai County, Shannxi Province as a typical experimental area, taking the DEM of the watershed as the basic data set, and using ArcGIS and various space analysis technologies, data mining experiments on slope graduation, landform classification, and aspect graduation are conducted and a series of data mining parameters and the indexes for drawing up the planning are obtained. Based on the multi-dimensional geography spatial data sets, a new method of data superimposition and fusion that takes the value code as the core are proposed. The research result has a certain reference value in the planning instruction for other small watersheds on the Loess Plateau.

Keywords: DEM; spatial data mining; data fusion; watershed planning

黄土高原地区土质疏松、侵蚀严重、地面破碎, 人类长期不合理的土地利用加剧了水土流失, 破坏了生态环境, 阻碍了全区社会经济的可持续发展。加强科学研究, 持续改善环境是该区长期面临的课题, 各级政府 and 学术界为此提出了多种解决办法。其中, 以小流域为单位实施生态重建是近年来被反复证明而切实有效的方法^[1]。流域规划是开展大规模流域治理的前提, 而快速获取制订规划所必须的基础数据则是整体工程的重中之重。

数据挖掘(data mining)是从大量的、不完全的、有噪声的、模糊的、随机的数据中提取隐含在其中的、人们事先不清楚的、但又是潜在有用的信息和知识的过程, 该技术最近几年在地学界得到了广泛发展和应用^[2-3]。基于数字高程模型(DEM)数据来提取各种数字地形和地貌描述信息, 就是一种非常典型的地

学/空间数据挖掘过程。朱宏春^[4]以陕北韭园沟为例, 对基于 DEM 的空间数据挖掘方法进行了系统研究, 确定了宏观和微观地形因子、地形综合特征知识的体系结构, 提出了黄土高原地区区域特征知识的基本构成及其系统完整、科学可行的挖掘提取算法。但是, 由于其研究的焦点是各类水土流失影响因子的自动提取, 因此相关算法并不适用于小流域规划, 其中以坡度因子最为典型。

本研究以数据挖掘理论为指导, 以小流域高分辨率 DEM 为数据挖掘母本数据, 综合运用 GIS 空间分析中的数字地形分析和水文分析方法, 探索坡度、坡向、地貌类型等数据的自动提取方法, 旨在构建一种以小流域规划为目的的多元地理信息的新数据融合方法, 以期为黄土高原小流域规划提供精确的数据保障。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区为陕西省安塞县的马家沟流域,地处 $36^{\circ}49'52''N-36^{\circ}56'40''N$ 和 $109^{\circ}9'36''E-109^{\circ}18'58''E$ 之间,流域中轴线呈 NW—ES 走向,总面积约 73.77 km^2 。该流域属于典型黄土梁峁丘陵沟壑区,地表破碎,沟谷纵横,地面海拔高度处于 $1052 \sim 1643 \text{ m}$,平均海拔 1300 m ,平均坡度 29.6° ,平均沟谷密度 7.1 km/km^2 ,地面平均剖面曲率达 30.18° 。

该流域前期土地利用方式以农耕地为主,陡坡垦殖普遍,退耕还林还草和水土保持任务艰巨,东南部沟口与安塞县城毗邻,以城镇用地为主。

1.2 数据基础

试验所依赖的基础数据源是由覆盖整个流域的 1:1 万数字地形图经插值构 TIN 后转换生成的数字高程模型(DEM),其栅格尺寸为 $5 \text{ m} \times 5 \text{ m}$,分辨率高,具有良好的地形表达精度,能够从中提取流域规划所需要的核心地形因子^[3,5-7]。为了更清晰地显示实验所取得的数据成果,本研究从整个流域中游支流交汇处选取了一块 $2.25 \text{ km} \times 1.94 \text{ km}$ (面积 4.36 km^2) 的矩形区域作为插图样区。

1.3 研究方法

试验所采用的软件是美国 ESRI 公司开发的大型地理信息系统平台软件 ArcGIS 9.0。针对小流域规划所涉及的土地利用结构调整的总体要求,采用了基于 DEM 母本数据集的 GIS 空间分析法、数字地形分析法和水文分析法等地理空间数据挖掘方法。

其中,在水文分析法之中主要运用了 DEM 洼地填充、坡向提取、径流累积量提取、流域自动生成等多种分析工具。在数字地形分析法之中主要运用了插值计算、表面分析、邻域分析等分析工具。

2 试验过程与结果分析

2.1 数据挖掘过程

2.1.1 坡度分级数据挖掘 按照马家沟小流域规划的具体要求,坡度划分为 $0^{\circ} \sim 5^{\circ}$ (平地), $5^{\circ} \sim 15^{\circ}$ (缓坡地), $15^{\circ} \sim 35^{\circ}$ (中坡地), $> 35^{\circ}$ (陡坡地) 共 4 个等级。

该数据集的数据挖掘基本流程为:DEM 数据 \rightarrow 提取坡度矩阵 \rightarrow 坡度矩阵 4 级重采样 \rightarrow 邻域众数分析 \rightarrow 栅格数据转矢量 \rightarrow 小图斑“聚类”合并 \rightarrow 矢量数据转栅格(图 1)。

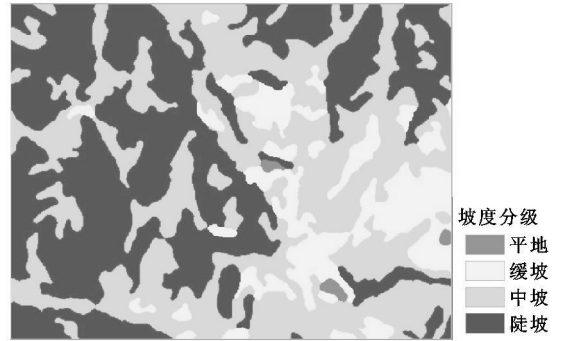


图 1 马家沟流域坡度分级数据的提取成果

2.1.2 地貌类型数据挖掘 马家沟黄土梁峁丘陵沟壑区,正负地貌特征典型,基本地貌类型有梁峁地、沟坡地和沟底地,其分布状况及面积比例对于流域规划具有相当重要的影响,是流域规划和治理的主要本底数据之一。该数据集的数据挖掘过程为:(1) DEM 数据 \rightarrow 提取 Slope 和正负地形栅格矩阵 \rightarrow 提取“梁峁地”;(2) DEM 数据 \rightarrow 提取沟沿线^[6]和沟底线栅格矩阵 \rightarrow 以沟底线栅格数据为标志手工描绘“沟底地” \rightarrow 沟底地矢量转栅格;(3)“梁峁地”栅格转矢量 \rightarrow 以沟沿线为标志验证和编辑“梁峁地” \rightarrow 梁峁地矢量转栅格;(4)对以上两步所得栅格矩阵实施数值编码并求和 \rightarrow 新栅格矩阵“重分类” \rightarrow 生成地貌分类栅格图层(图 2)。



图 2 流域 3 大地貌类型的提取成果

上述过程中,“正负地形”栅格矩阵由 DEM 经 11×11 邻域均值分析所得矩阵与原始 DEM 相减获得^[7];提取“梁峁地”的控制指标为坡度 $< 35^{\circ}$,正负地形值 > -0.38 ;“沟沿线矩阵”控制指标为坡度 $> 35^{\circ}$,正负地形值 > 0.55 ;“沟底线矩阵”控制指标为坡度 $> 35^{\circ}$,正负地形值 < -0.38 。

2.1.3 坡向数据提取 基于 DEM 的坡向数据提取^[8]相对容易,在流域规划中,一般仅将坡向区分为两种类型,即阴坡和阳坡,其最常用的划分指标为在 360° 方位角内, $90^{\circ} \sim 315^{\circ}$ 范围内为阳坡, $315^{\circ} \sim 360^{\circ}$ 和 $0^{\circ} \sim 90^{\circ}$ 之间为阴坡。坡向数据集的提取过程是:DEM 数据 \rightarrow 提取 10 级坡向矩阵 \rightarrow 坡向矩阵按阴阳

坡划分指标“重分类”(图 3 上幅) → 邻域众数分析 → 栅格数据转矢量 → 阴阳坡“聚类”, 剔除过小图斑 → 矢量转栅格 → 生成成果(图 3 下幅)。

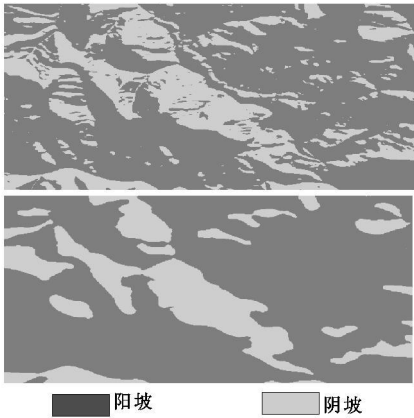


图 3 流域阴阳坡向数据的提取与加工

2.2 数据融合

流域规划的目的是为调整现存的不合理土地利用方式找到理论依据并提供技术指导, 如果仅仅取得诸如地貌、坡向、坡度等单项数据指标, 其对于规划来说作用远远小于综合性数据指标。传统地理学中常用专题地图“叠置分析”的方法来获取复合信息, 效率很低。如今, 运用 GIS 软件所提供的栅格运算功能, 不仅能够迅速而方便地得到所需要的数据融合成果, 而且还可同时获得实施流域规划的核心数据——地类图斑面积统计值。

本实验探索出一种新的专题数据融合方法, 使其成果数据能够最终满足小流域规划和指导土地利用

结构调整之需要。基本原理是: 先对坡度分级、坡向、地貌分类 3 种栅格型中间成果数值矩阵进行赋值编码; 再运用 ArcGIS 的栅格运算器对其求和, 生成复合图层并取得图斑编码; 最后对各图斑编码进行地学命名, 使其具有指导小流域规划的基本功能。

2.2.1 专题图层赋值编码 编码方案为: (1) 坡向专题数据层: 阳坡= 1, 阴坡= 2; (2) 地貌专题数据层: 梁峁地= 10, 沟坡地= 20, 沟底地= 30; (3) 坡度专题数据层: 平地= 100, 缓坡地= 200, 中坡地= 300, 陡坡地= 400。

2.2.2 数据成果可视化处理 编码结束后, 随即运用“栅格运算器”对各图层求和, 得到规划参考地类原始栅格矩阵; 然后再经由“栅格转矢量”矢量编辑(剔除小图斑)“矢量转栅格”处理, 最终生成自动渲染显示的成果数据集——地类信息图谱(附图 12)。

2.2.3 数据融合后的地学命名 采用复合命名法, 其原理是将新图层各个分类图斑数值码所蕴含的坡度、坡向、地貌信息类型名称直接按位相加, 必要时稍做调整, 即可得到新的复合地类名称。比如, 阳山梁峁平地(数值码: 111) = 阳坡(编码: 1) + 梁峁地(编码: 10) + 平地(编码: 100); 阴山沟坡缓坡地(数值码: 222) = 阴坡(编码: 2) + 沟坡地(编码: 20) + 缓坡地(编码: 200)。

2.3 数据汇总及分析

本研究用于马家沟小流域规划和土地利用结构调整的指导性地类共 24 种, 由坡度、坡向、地貌类型 3 大宏观数据图层叠加而成, 各地类所含数据栅格数目及其所占比重如表 1 所示。

表 1 马家沟流域规划参考地类数据汇总

编号	复合地类命名	单元格数量	百分比/ %	编号	复合地类命名	单元格数量	百分比/ %
111	阳山梁峁平地	2471	0.08	311	阳山梁峁中坡地	380 975	12.93
112	阴山梁峁平地	1078	0.04	312	阴山梁峁中坡地	220 904	7.50
121	阳山沟坡平地	324	0.01	321	阳山沟坡中坡地	189 559	6.43
122	阴山沟坡平地	497	0.02	322	阴山沟坡中坡地	98 877	3.35
131	阳山沟底平地	8 594	0.29	331	阳山沟底中坡地	64 744	2.20
132	阴山沟底平地	10 157	0.34	332	阴山沟底中坡地	25 061	0.85
211	阳山梁峁缓坡地	80 607	2.74	411	阳山梁峁陡坡地	256 278	8.70
212	阴山梁峁缓坡地	48 378	1.64	412	阴山梁峁陡坡地	135 611	4.60
221	阳山沟坡缓坡地	48 416	1.64	421	阳山沟坡陡坡地	506 137	17.18
222	阴山沟坡缓坡地	37 814	1.28	422	阴山沟坡陡坡地	290 129	9.85
231	阳山沟底缓坡地	32 021	1.09	431	阳山沟底陡坡地	354 513	12.03
232	阴山沟底缓坡地	14 611	0.50	432	阴山沟底陡坡地	138 778	4.71

由表 1 可知, 全流域主要规划参考地类有 9 种, 其排列次序为: 421—阳山沟坡陡坡地, 占 17.18%; 311—阳山梁峁中坡地, 占 12.93%; 431—阳山沟底陡坡地, 占 12.03%; 422—阴山沟坡陡坡地, 占 9.85%; 411—阳

山梁峁陡坡地, 占 8.70%; 312—阴山梁峁中坡地, 占 7.50%; 321—阳山沟坡中坡地, 占 6.43%; 432—阴山沟底陡坡地, 占 4.71%; 412—阴山梁峁陡坡地, 占 4.60%。而 322—阴山沟坡中坡地、211—阳山梁峁缓坡

地、331—阳山沟底中坡地、221—阳山沟坡缓坡地、212—阴山梁峁缓坡地、222—阴山沟坡缓坡地、231—阳山沟底缓坡地等 7 种地类所占比重介于 3.36%~1.09% 之间。其余 8 种地类所占比重不足 1%。

3 结论

(1) 利用高分辨率 DEM 作为母本数据集,运用 GIS 丰富的空间分析方法,可以挖掘出多种衍生数据集。其中,由坡向、坡度、地貌类型数据经过加工融合所生成的复合数据集,对于黄土高原的小流域规划,具有极为重要的意义,可作为现代小流域规划的本底数据。

(2) GIS 空间分析法可作为空间数据挖掘和指导小流域规划的重要地学方法。

(3) 利用 ArcGIS 软件提供的高效工具集,可快速完成深层次的空间数据挖掘。

(4) 实验所取得的数据派生与数据融合方法及其参数指标,可广泛用于指导黄土高原同类地区的小流域规划。

(5) 实验不足之处在于地貌分类数据挖掘没有完全实现自动化,今后还需深入研究。

致谢 中国科学院水利部水土保持研究所马家沟流域规划项目组提供数据支持,特此致谢!

[参 考 文 献]

- [1] 刘国彬,杨勤科,郑粉莉.黄土高原小流域治理与生态建设[J].中国水土保持科学,2004,3(1):11-15.
 - [2] 周海燕,王家耀,吴升.空间数据挖掘技术及其应用[J].测绘通报,2002(2):11-13.
 - [3] 李德仁,王树良,李德毅,等.论空间数据挖掘和知识发现的理论与方法[J],武汉大学学报:信息科学版,2002(3):221-233.
 - [4] 朱红春.数字高程模型(DEM)空间数据挖掘研究[D].西安:西北大学,2003.
 - [5] 汤国安,杨勤科,张勇,等.不同比例尺 DEM 提取地面坡度的精度研究[J].水土保持通报,2001,21(1):53-56.
 - [6] 朱红春,汤国安,张友顺,等.基于 DEM 提取黄土丘陵区沟沿线[J].水土保持通报,2003,23(5):43-45.
 - [7] 汤国安,杨昕.ArcGIS 地理信息系统空间分析实验教程[M].北京:科学出版社,2006.
 - [8] 陈楠,王钦敏,汤国安.基于 DEM 的坡向提取算法对比分析:以黄土丘陵沟壑区的研究为例[J].遥感信息,2007(1):70-75.
-
- (上接第 224 页)
- [16] Isselin N F, Bedecarrats A. Soil microtopographies shaped by plants and cattle facilitate seed bank formation on alpine ski trails[J]. Ecological Engineering, 2007, 30(3): 278-285.
 - [17] Urbanska K M. Restoration ecology research above the timberline: colonization of safety islands on a machine-graded alpine ski run[J]. Biodiversity and Conservation, 1997, 6(12): 1655-1670.
 - [18] Rey F, Isselin N F, Bedecarrats A. Vegetation dynamics on sediment deposits upstream of bioengineering works in Mountainous Marly Gullies in a Mediterranean climate (Southern Alps, France) [J]. Plant and soil, 2005, 278(1-2): 149-158.
 - [19] Burylo M, Rey F, Delcros P. Abiotic and biotic factors influencing the early stages of vegetation colonization in restored marly gullies (Southern Alps, France) [J]. Ecological Engineering, 2007, 30(3): 231-239.
 - [20] 周佩华,张学栋,唐克丽.黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室土壤侵蚀模拟实验大厅降雨装置[J].水土保持通报,2000,20(4):27-30,45.
 - [21] Poesen J. Transport of rock fragments by rill flow: a field study[J]. Catean Supplement, 1987, 8: 35-54.