

文章编号:1671-8860(2009)03-0374-04

文献标志码:A

# 坡位的分类及其空间分布信息的定量化

秦承志<sup>1</sup> 朱阿兴<sup>1,2</sup> 李宝林<sup>1</sup> 裴 韶<sup>1</sup>

(1) 中国科学院地理科学与资源研究所资源与环境信息系统国家重点实验室,北京市朝阳区大屯路甲11号,100101)

(2) 威斯康星-麦迪逊大学地理系,麦迪逊,美国 WI 53706)

**摘要:**综合分析了目前不同的坡位分类系统,提出了坡位的二级分类系统。为了能够进一步定量描述自然界中普遍存在的坡位间的渐变现象,针对现有的坡位空间渐变信息定量化方法中忽视空间位置信息等不足之处,介绍了基于典型位置相似度的模糊推理方法。以东北平缓地形条件的实验小区为例,本方法被用于提取本文给出的11类坡位间的定量渐变信息。结果表明,本文所介绍的坡位分类系统以及坡位空间分布信息定量化方法是合理的和有效的。

**关键词:**栅格DEM;坡位;空间渐变;典型位置;相似度

中图法分类号:P283.1; P208

在自然界中的坡面上,不同的部位具有各自的地形地貌特征,使得其上的土壤、水文等许多地理过程也呈现出不同的特征。因此,研究者将坡面的不同部位划分为坡位(如坡肩、坡脚等)进行研究,坡位信息在许多与地形相关的地理或生态过程模型中成为一类重要的因子<sup>[1]</sup>。但目前对坡位的分类并不统一<sup>[2,3]</sup>。不同的坡位分类对坡位的定量化有直接的影响,也影响了应用结果的可对比性。坡位的一个重要特点就是不同坡位间的转变通常都是渐变的,因此,定量的坡位渐变信息对于在精细尺度上的坡面土壤侵蚀、土壤调查和土壤制图、分布式水文模型等应用领域具有重要的意义。本文在总结前人对坡位研究成果的基础上,提出了一个二级的坡位分类体系。

## 1 坡位的确定性分类

在数字地形分析出现之前,对坡位分类的研究一直是地形分析的一个重要研究内容。传统的方法是基于定性讨论,其分划依据侧重于坡位形态或是成因与地理过程<sup>[3,4]</sup>。本文认为,在坡位分类中,地貌学涵义是首要因素,控制着地理过程中与地形相关的基本特征,形成了坡面最基本

形态。在此基础上,更精细的坡位形态特征反映并同时影响着其上的地理过程。本文提出了一个二级的坡位确定性分类体系(见图1)。该体系包括两个分类层次。第一个层次侧重于坡位的地貌部位涵义,按照坡面上沿剖面自上而下的分布序列为5类坡位,即山脊、坡肩、背坡、坡脚、沟谷。这些坡位除了相对位置的差异外,在基本形态特征上还反映为沿剖面曲率的由凸变直、再变为凹的波动变化趋势。第二个分类层次则是借鉴文献[3]等考虑坡位凸凹形态的分类思想,在第一个分类层次的基础上进一步将坡肩、背坡、坡脚分别根据沿等高线曲率所反映出的凸凹形态变化特征分类为凸坡肩、直坡肩、凹坡肩、凸背坡、直背坡、凹背坡、凸坡脚、直坡脚、凹坡脚,从而细化

5类	11类				
	沿等高线曲率				
山脊	沿剖面曲率	凸	直	凹	
坡肩		凸坡肩	直坡肩	凹坡肩	
背坡		直背坡	直背坡	凹背坡	
坡脚		凸坡脚	直坡脚	凹坡脚	
沟谷					

图1 坡位的二级分类体系

Fig. 1 Taxonomy of Slope Positions

收稿日期:2009-01-17。

项目来源:国家自然科学基金资助项目(40501056);中国科学院知识创新工程青年人才领域前沿资助项目;中国科学院“百人计划”资助项目;中国科学院创新团队国际合作伙伴计划资助项目(CXTD-Z2005-1)。

为 11 类坡位。这些坡位的组合可以形成各种复杂的坡面以及一些特殊的地貌部位。该分类体系中所列出的坡位与许多地理现象的形成和空间分布密切相关。

## 2 坡位空间渐变信息量化

诸多与地形相关的应用模型都需要定量的坡位信息,传统的方法是对坡位确定性的分布信息进行量化,如基于类别多边形的坡位分布图。但由于完全忽视了坡位渐变信息,因此,任何对坡位空间分布所进行的确定性划分都相对武断<sup>[5]</sup>,因此需要对坡位空间渐变信息进行量化。

对坡位的确定性分类通常是使用坡度、曲率等各种地形属性进行定义的<sup>[6,7]</sup>,但是对坡位渐变信息却不能直接用这些地形属性的渐变来进行描述和表达。这是因为坡度、曲率等基本地形属性仅考虑局域上的几何形态信息,无法反映坡位在区域中的相对位置信息。因此,需要研究一套对坡位渐变信息的定量描述方法。

目前,定量的坡位渐变信息主要采用栅格 DEM 数据进行提取,把坡位作为模糊对象进行模糊表达<sup>[8]</sup>。现有的系统提取坡位模糊信息的方法主要分为两类:模糊聚类方法<sup>[9]</sup>和基于模糊规则的推理方法<sup>[3,8]</sup>。基于典型位置的坡位渐变信息模糊推理方法是在坡位典型位置的基础上,按照文献[10]中的三步骤计算其他位置对于各类坡位的相似度<sup>[10,11]</sup>。

1) 计算某点和某个典型位置之间在某个地形属性上的相似度。设坡位类型 C 在区域中有  $m$  个典型位置,有  $n$  个地形属性参与计算。待推理像素  $P_{ij}$  和典型位置  $T_t$  ( $t \in [1, \dots, m]$ ) 之间在地形属性  $A_v$  ( $v \in [1, \dots, n]$ ) 上的相似度  $S_{ij,t}^v$  见文献[10]。

2) 取该点与此典型位置在各地形属性上的相似度  $S_{ij,t}^v$  的最小值作为  $P_{ij}$  相对于  $T_t$  的综合相似度。

3) 以反距离加权函数来综合该点与各典型位置之间的相似度,计算得到该点相对于该类坡位的相似度结果。

4) 对每一类坡位在研究区的所有像素上重复上述步骤,可获得各类坡位在研究区中的相似度图。

## 3 应用实例

本文按照所提出坡位分类体系,应用基于典

型位置相似度的模糊推理方法提取应用区中属于第二级的 11 类坡位空间分布的定量信息。研究区位于黑龙江省鹤山农场,属于嫩江流域。研究区面积为  $60.22 \text{ km}^2$ ,整体地形平缓,最大高程为 366 m,高差约为 100 m,平均坡度为  $2^\circ$ ,沟谷地区平缓开阔。由于在计算多种地形属性时,采用 10 m 分辨率的 DEM 明显优于采用较低分辨率的 DEM,并且采用更高分辨率的 DEM 也不会有明显的改进<sup>[12]</sup>,因此,本研究采用水平分辨率为 10 m 的 DEM。

### 3.1 地形属性计算

本应用研究采用了坡度、沿剖面曲率、水平曲率等三个局部地形属性以反映局域的几何形态信息,同时选用一个区域地形特征——相对位置指数 (relative position index, RPI)。坡面上任一点的 RPI 指数定义为该点到沟谷的最短欧氏距离与该点到山脊及沟谷的最短欧氏距离之和的比值<sup>[13]</sup>。这些地形属性的选择原因及计算可参见文献[11]。

### 3.2 典型位置提取

提取坡位典型位置的方法很多,如对地形特征线的提取方法<sup>[14,15]</sup>。本文综合前人对于坡位确定性分类算法的研究<sup>[3,6]</sup>,通过强化地形属性阈值的约束条件建立规则来识别典型位置(表 1)。原则是强调所提取典型位置的典型性、无二义性,同时兼顾后续的计算量,而不要求典型位置集合的完整性。

### 3.3 推理参数设置

在推理过程中,选择曲线类型以及设定  $w_1$ 、 $w_2$  两个参数时,需综合考虑提取典型位置时所使用的地形属性阈值以及对研究区地形特征的认识(表 1)。

### 3.4 结果与讨论

推理结果对每一类坡位生成一个相似度图,定量地反映该类坡位的空间渐变分布。通过对各类坡位的相似度图按照最大相似度原则进行叠加,可得到栅格形式的研究区坡位确定性分类图(图 2(a))(这种传统意义的类型图可称为硬化图)以及最大相似度图(图 2(b))。最大相似度图定量地给出了硬化图中每一个栅格位置上坡位类型识别结果的模糊程度。由图 2 可见,硬化后的坡位分类结果总体上符合研究区的地形地貌特征,局部出现的一些山脊与坡肩相间、沟谷与坡脚相间的现象对应着较低的最大相似度,反映了在这些位置上进行硬化分类的不确定性较大。

在小流域尺度上,除了人为因素的影响外,地形因素常常是影响土壤在空间上差异性分布的最

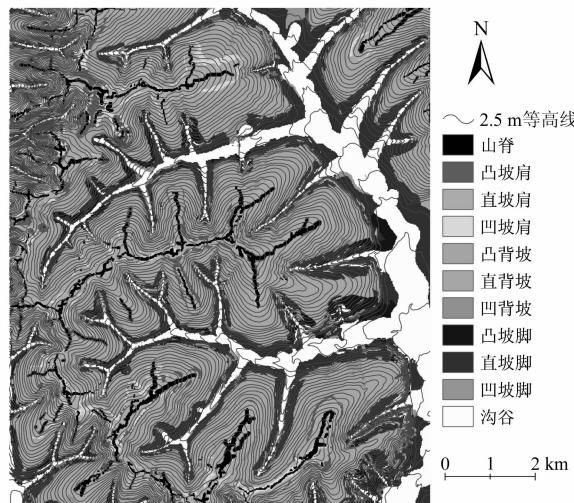
表1 提取坡位典型位置及推理过程中的参数设置

Tab. 1 Parameter Settings for Extracting the Typical Locations of Slope Positions and Doing Fuzzy Inference

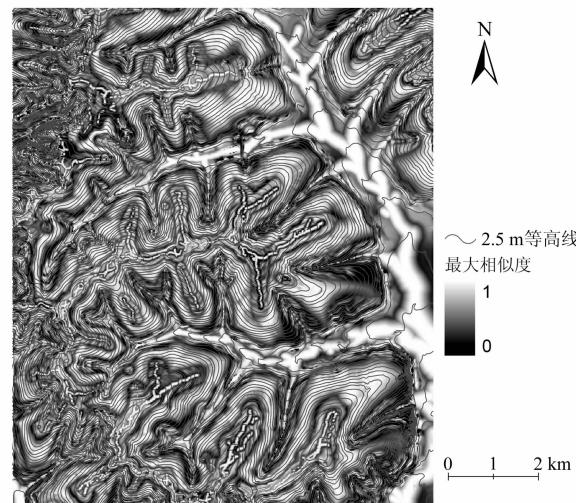
典型位置	RPI		典型位置	沿剖面曲率/ $10^{-3} \text{m}^{-1}$		典型位置	水平曲率/ $10^{-3} \text{m}^{-1}$ (对于沟谷, 为坡度/°)	
	推理参数	典型位置		推理参数	典型位置		推理参数	典型位置
山脊	$\geq 0.99$	S形: $w_1 = 0.05$	$[-0.5, 0.5]$	钟形: $w_1 = w_2 = 1$			$\geq 0.5$	S形: $w_1 = 1$
凸坡肩								
直坡肩	$[0.8, 0.9]$	钟形: $w_1 = w_2 = 0.1$	$\geq 0.5$	S形: $w_1 = 1$	$[-0.01, 0.01]$	钟形: $w_1 = w_2 = 1$		
凹坡肩							$\leq -0.5$	Z形: $w_2 = 1$
凸背坡			$[-0.5, 0.5]$				$\geq 0.5$	S形: $w_1 = 1$
直背坡	$[0.4, 0.6]$	钟形: $w_1 = w_2 = 0.2$	$[-0.01, 0.01]$	钟形: $w_1 = w_2 = 1$	$[-0.01, 0.01]$	钟形: $w_1 = w_2 = 1$		
凹背坡			$[-0.5, 0.5]$				$\geq -0.5$	Z形: $w_2 = 1$
凸坡脚							$\geq 0.5$	S形: $w_1 = 1$
直坡脚	$[0.1, 0.2]$	钟形: $w_1 = w_2 = 0.1$	$\leq -0.5$	Z形: $w_2 = 1$	$[-0.01, 0.01]$	钟形: $w_1 = w_2 = 1$		
凹坡脚							$\leq -0.5$	Z形: $w_2 = 1$
沟谷	$\leq 0.01$	Z形: $w_2 = 0.1$	$[-0.5, 0.5]$	钟形: $w_1 = w_2 = 1$			$\leq 0.5$	Z形: $w_2 = 2$

主要因素<sup>[16]</sup>。因此,结合研究区的高精度土壤类型分布图<sup>[17]</sup>,通过对坡位硬化图中每一类坡位上土壤类型的分布情况进行分析,来进一步研究本文方法应用结果的合理性和有效性。进一步的分析表明,研究区的土壤空间差异性分布与本文

方法所获得的坡位空间渐变分布两者间存在着明显的关联<sup>[18]</sup>。这也表明本文所介绍的坡位分类系统以及坡位空间分布信息的定量化方法是合理的、有效的。对结果的进一步应用将有可能提高地形相关的地学过程模拟的效果。



(a) 坡位确定性分类图



(b) 最大相似度图

图2 坡位相似度图的硬化结果

Fig. 2 Harden Map from Similarity Maps of Slope Positions

## 4 结语

本文综合考虑地貌部位的涵义以及形态特征,提出了坡位的二级分类系统。以东北平缓地形条件的实验小区为例,采用该方法提取了本文所提出的坡位分类系统中11类坡位的空间分布信息。结果表明,本文所介绍的坡位分类系统以及坡位空间分布信息定量化方法在坡面至小流域的尺度上是合理的、有效的。进一步的研究表明,坡位空间分布信息的定量化方法将有可能为小流域尺度上的诸多与地形相关的地理或生态过程模

型(如对土壤类型和土壤属性的推理性预测)提供定量的地形部位参数。

## 参 考 文 献

- [1] 周启鸣, 刘学军. 数字地形分析[M]. 北京: 科学出版社, 2006
- [2] Ruhe R. Quaternary Landscapes[M]. Iwoa: Iowa University Press, 1969
- [3] Schmidt J, Hewitt A. Fuzzy Land Element Classification from DTMs Based on Geometry and Terrain Position[J]. Geoderma, 2004, 121: 243-256
- [4] Schoeneberger P J, Wysocki D A, Benham E C, et al. Field Book for Describing and Sampling Soils

- [R]. Natural Resources Conservation Service, National Soil Survey Center, Lincoln, NE, 2002
- [5] Gerrard A. Soil Variations on Hillslopes in Humid Temperate Climates[J]. *Geomorphology*, 1990, 3: 225-244
- [6] Pennock D J, ZebARTH B J, de Jong E. Landform Classification and Soil Distribution in Hummocky Terrain, Saskatchewan, Canada [J]. *Geoderma*, 1987, 40(3/4): 297-315
- [7] 汤国安, 杨玮莹, 杨昕, 等. 对DEM地形定量因子挖掘中若干问题的探讨[J]. *测绘科学*, 2003, 28(1): 28-31
- [8] MacMillan R, Pettapiece W, Nolan S, et al. A Generic Procedure for Automatically Segmenting Landforms Into Landform Elements Using DEMs, Heuristic Rules and Fuzzy Logic[J]. *Fuzzy Sets and Systems*, 2000, 113(1): 81-109
- [9] Irvin B, Ventura S, Slater B. Fuzzy and Isodata Classification of Landform Elements from Digital Terrain Data in Pleasant Valley, Wisconsin [J]. *Geoderma*, 1997, 77(2/4): 137-154
- [10] 秦承志, 朱阿兴, 施迅, 等. 坡位渐变信息的模糊推理[J]. *地理研究*, 2007, 26(6): 1165-1175
- [11] Shi Xun, Zhu Axing, Wang R X. Deriving Fuzzy Representations of Some Special Terrain Features Based on Their Typical Locations[C]//Cobb M, Petry F, Robinson V. *Fuzzy Modeling with Spatial Information for Geographic Problems*. Berlin: Springer-Verlag, 2005
- [12] Zhang W, Montgomery D R. Digital Elevation Model Grid Size, Landscape Representation, and Hydrologic Simulations[J]. *Water Resources Research*, 1994, 30(4): 1019-1028
- [13] Skidmore A. Terrain Position as Mapped from a Gridded Digital Elevation Model[J]. *International Journal of Geographical Information Systems*, 1990, 4(1): 33-49
- [14] 黄培之. 提取山脊线和山谷线的一种新方法[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2001, 26(3): 247-252
- [15] 靳海亮, 康建荣, 高井祥. 利用等高线数据提取山脊(谷)线算法研究[J]. *武汉大学学报·信息科学版*, 2005, 30(9): 809-812
- [16] McSweeney K, Slater B K, Hammer R D, et al. Towards a New Framework for Modeling the Soil-landscape Continuum[C]//Amundson R. *Factors of Soil Formation: A Fiftieth Anniversary Publication*. Madison, WI: Soil Science Society of America, 1994
- [17] 杨琳, 朱阿兴, 李宝林, 等. 应用模糊C均值聚类获取土壤制图所需土壤-环境关系知识的方法研究[J]. *土壤学报*, 2007, 44(5): 784-791
- [18] Qin Chengzhi, Zhu Axing, Yang Lin, et al. Primary Discussion on the Relationship Between Distributions of Fuzzy Slope Positions and Soil Types[C]. The 16th International Conference on Geoinformatics & Joint Conference on GIS and Built Environment, Guangzhou, China, 2008

第一作者简介: 秦承志, 副研究员。现主要从事数字地形分析研究。  
E-mail: qincz@lreis.ac.cn

## Taxonomy of Slope Positions and Quantification of Their Spatial Distribution Information

QIN Chengzhi<sup>1</sup> ZHU Axing<sup>1,2</sup> LI Baolin<sup>1</sup> PEI Tao<sup>1</sup>

(1 State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research, CAS, 11A Datun Road, Beijing 100101, China)

(2 Department of Geography, University of Wisconsin-Madison, Madison, WI 53706, USA)

**Abstract:** A two-level taxonomy of slope positions is presented, and a fuzzy inference approach based on similarity to the typical locations to fulfilling the quantification of the spatial gradation between slope positions is proposed, which is normal phenomenon in nature. The new approach overcome a lot of some shortcomings (e.g., neglecting spatial information) in current approaches to quantifying the spatial gradation of slope positions, and is applied to quantifying the spatial distribution of slope positions with a fuzzy manner. The results show that both the two-level taxonomy and our proposed approach are reasonable.

**Key words:** grid DEM; slope position; spatial gradation; typical location; similarity