

# 面向沟谷特征点簇的空间结构模型与应用

朱红春<sup>1,2\*</sup>, 李永胜<sup>3</sup>, 汤国安<sup>2</sup>

(1. 山东科技大学测绘科学与工程学院, 青岛 266590; 2. 南京师范大学虚拟地理环境教育部重点实验室, 南京 210023; 3. 中冶地集团西北岩土工程有限公司, 西安 710119)

**摘要** 点簇(即点的集合)具有特定的组织结构;沟谷作为一类自成体系的重要空间实体,表达其形态、结构、发育等关键属性特征的沟谷特征点簇,是有严密的组织结构、密切的空间关系和完整的属性描述的关键特征点的集合。建立沟谷特征点簇的空间结构模型,进行沟谷特征的空间分析与应用,具有重要的科学意义。本文在分析沟谷特征点簇的组成要素、空间与结构特征的基础上,确定了点簇的层次结构模型和非结构化文件存储方式,编程实现了沟谷特征点簇数据模型;然后,构建了点簇文件,并运用C# + AE的开发方式,研发建立了基于点簇的沟谷分析原型系统,实现了沟谷特征点簇数据的可视化、结构空间分析、专题属性特征分析等基本功能;最后,以特征点的沟谷路径追溯查找效率作了对比分析,验证了基于特征点簇模型的沟谷分析具有较高的处理效率。本研究构建的面向沟谷特征点簇的空间结构模型,研发的具有沟谷结构、形态与属性分析功能的沟谷分析原型系统,有一定的应用价值。

**关键词** 点簇模型;沟谷特征点簇;面向对象;空间结构;功能设计;沟谷分析

**DOI:** 10.3724/SP.J.1047.2014.00707

## 1 引言

近年来,空间实体的表达和空间特征的点模式空间分析方法具有描述和组织的简捷性、指标量化的明确性、结构关系的紧密型、形态模拟的动态性等优点,已在生态、传染病、地震、交通等领域得到成功的应用<sup>[1-9]</sup>。研究表明:地理空间中各类要素实体除了在一定空间表达尺度上可以抽象为点的形式,其空间形态和结构特征也可以一系列特征点集进行表示。罗明良、汤国安、苍学智等在对地形特征点的类别、空间关系及其形态结构规律研究的基础上,提出了地形特征点簇的概念模型,并对地形特征点簇的提取方法、基于地形特征点簇的分析方法进行了深入的研究<sup>[10-11]</sup>。

沟谷作为一类重要的空间实体,自成体系;在该体系中,对沟谷发育过程中起决定性作用及对沟谷地形起标定作用的,往往就是诸如“侵蚀基准

点”、“沟谷源点”、“裂点”、“径流节点”等形态控制和属性跃迁的关键点位。目前,对于各类特征点的类型、涵义及其自动提取方法都有了成熟的研究成果<sup>[12-16]</sup>。不同类型的沟谷特征点之间具有明确的层级关系和严格的空间拓扑约束;同时,该点集在沟谷发育的不同阶段以及不同的地貌发育条件下,其数量规模、空间位置及空间关系都依次发生有规律的变化。本文提出沟谷特征点簇的概念,即对沟谷发育起决定性作用(如径流源点、裂点、侵蚀基准点)和对沟谷地形起标定性作用(如沟谷节点、沟头点、沟谷中点等)的特征点组成的有机整体,具有明确的层级关系和严格的空间拓扑约束。

本文以沟谷特征点簇为对象,研发建立基于点簇模型,具有沟谷结构、形态与属性分析功能的沟谷特征点簇分析系统,可丰富并提升沟谷分析理论与方法和应用价值。

收稿日期 2013-08-19;修回日期:2013-10-22.

基金项目 国家自然科学基金青年基金项目(41001294);国家自然科学基金重点项目(40930531);“资源与环境信息系统国家重点实验室”开放基金项目(2010KF0002SA)。

作者简介 朱红春(1977-),男,山东泰安人,博士,副教授,研究方向为DEM数字地形分析,GIS与遥感系统开发与应用。

E-mail:sdny\_xa@163.com

## 2 沟谷特征点簇的空间结构模型建立

沟谷特征点簇的特征点之间具有明确的层级关系和严格的空间拓扑约束,特征点之间连接规则可视为其空间拓扑约束的外在表现,点簇的层级关系与汇流特性有关。点簇数据模型能有效地存储沟谷特征点,包括点的空间位置信息、必要的属性信息,以及点与点之间的层级和空间拓扑结构信息。

### 2.1 沟谷特征点簇的结构特征分析

沟谷特征点簇是体现沟谷特征的高信息强度点的集结群体,主要包括沟谷源点、裂点、局部侵蚀基准点、沟谷节点4种不同类型的特征点。构建相应的点与点之间的层次结构关系,才能真正从“离散点群”上升到“特征点簇”,从而实现沟谷特征点簇的一体化存储、分析。

组成沟谷特征点簇的点要素之间具有严格的层级关系,并且这些点要素呈现由较低级别结点向高级别结点逐渐汇聚的结构模式,根据这一规则可知:高级别结点与其直接相邻的低级别结点之间构成一对多联系(在高级别结点为裂点的情况下构成一对一联系),这种水系汇流的关系可视为层次数据模型中数据之间的隶属关系。局部侵蚀基准点是流域中最高级别的节点,因此,在数据模型构建时,将局部侵蚀基准点视为根结点。对于一个独立的流域,流域局部侵蚀基准点仅有一个,并且是级别最高的点,可视为该树型结构的根结点;由于裂点所处位置的独特性,所以只有一个子节点。自然界中,河流总是两条或多条河流汇聚于一点,因此,在不考虑裂点的情况下,每个高级别的沟谷节点都有两个或多个子节点,结点类型为沟谷节点或沟谷源点。

### 2.2 基于层次结构的沟谷特征点簇空间数据模型设计

沟谷特征点簇既要关注特征点的众多属性信息,又要注重点与点之间的层级关系和拓扑约束。栅格数据模型属性结构简单,空间信息隐含在栅格文件的存储结构中,无法记录空间实体之间的拓扑关系;而矢量数据模型可以拥有多列属性值,并且能够记录空间实体的位置信息和拓扑关系,因此,矢量数据模型更适合沟谷特征点簇数据建模的需求。

沟谷特征点簇作为一个有机的整体,与离散点

之间最大的区别在于其具有自身的连接规则,该连接规则可视为沟谷特征点簇的层级结构关系,因此,可利用层次数据模型来构建沟谷特征点簇模型<sup>[17]</sup>。在该模型中,点簇被抽象为一个树型结构,树中的每一个节点代表一个沟谷特征点,相邻节点之间的连接可看作是沟谷的模拟表示,按照汇流次序将这些特征点依次连接起来,构成一个具有实际意义的树型结构,如图1所示。该树型结构将流域中的沟谷源点、沟谷节点、侵蚀基准点、裂点进行一体化存储、管理,其结果是用非结构化存储方式,将组成沟谷特征点簇的点要素的属性信息、空间位置信息、点与点之间的层级和拓扑约束等内容完整地存储于一个特定的文件中。

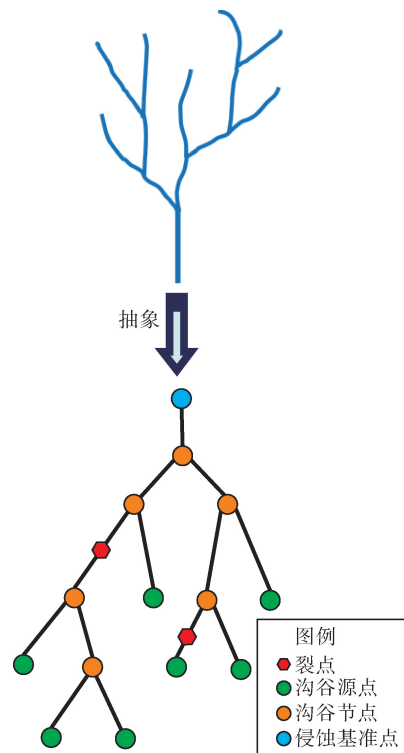


图1 模型的层次结构示意图

Fig.1 Model hierarchy diagram of model data

### 2.3 模型文件的设计应用

通过高精度DEM数据提取了各类沟谷特征点并标定了点类型、点级别、坡度、水流方向等属性,径流量、流速、溯源侵蚀速度等属性由实测得到。采用面向对象建模<sup>[18-20]</sup>,运用C#语言定义并实现了该数据结构模型(沟谷特征点簇数据记录在一个纯文本文件中,数据文件的扩展名采用.fpc,文件内容和结构示例如图2所示)。沟谷特征点簇文件(\*.fpc)是对获取的特征点 shapefile 文件和相应属性表文





点簇文件(.fpc)节点查找所用时间来分析两者在效率上的差异,绘制得到特征点数与追溯查找耗时之间的关系图(图6)。

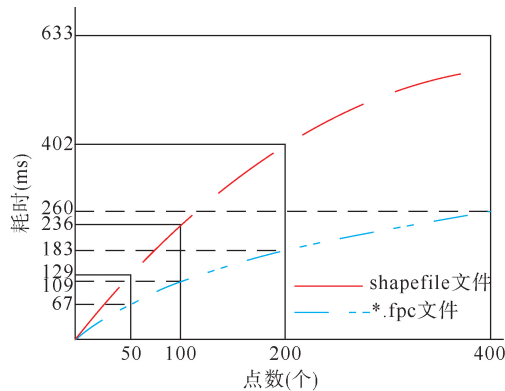


图6 特征点追溯查找效率对比分析

Fig.6 The Comparison of retrospective efficiency of feature points in \*.shp and \*.fpc

实验结果发现:基于Shapefile文件进行子结点查询所需时间随点数增加而迅速增长,点的数量对效率有非常明显的影响;而基于(.fpc)文件的子结点查询所需时间随点数的增加而缓慢增长,点数的增加对其效率的影响相对较低,且点数越多, (.fpc)文件的优势越明显。结果验证表明,基于沟谷特征点簇文件的沟谷特征点路径查找具有较高的效率。

## 4 结论与讨论

本文采用面向对象建模的基本思路,创建了一种层次结构模型和非结构化文件存储的沟谷特征点簇模型;设计了特征点簇的沟谷分析原型系统的详细功能结构和操作流程,运用C# + AE的开发方式,实现了沟谷特征点簇数据的可视化、特征点空间层级关系查询、空间拓扑关联分析、属性特征分析等基本功能。以特征点追溯查找为例,对比计算了Shapefile文件和特征点簇文件(.fpc)的查找效率,验证了点簇模型沟谷分析的处理效率。

本研究实践了一种新型的沟谷表达与分析的技术途径。今后工作的重点是对沟谷特征点簇的空间形态与结构特征进行分析,建立点簇特征指数,并在系统中实现特征指数的计算功能;同时,完善的沟谷特征点簇分析系统,研究不同地貌的沟谷空间分异规律和空间格局。

## 参考文献:

- [1] Wiegand T, Kissling W D, Cipriotti P A. Extending point pattern analysis for objects of finite size and irregular shape[J]. *Journal of Ecology*, 2006,94:825-837.
- [2] Diggle P J, Gomez-Rubio V, Brown P E. Second-order analysis of inhomogeneous spatial point processes using case-control data[J]. *Biometrics* June, 2007,63:550-557.
- [3] 迟文学,王劲峰,李新虎,等.出生缺陷的空间点格局分析[J].*环境与健康杂志*,2007,24(4):238-241.
- [4] 时培建,刘杰,杨振.汶川地震的时空点格局分析[J].*地震学报*,2009,31(5):506-515.
- [5] Erdogan S, Yilmaz I, Baybura T. Geographical information systems aided traffic accident analysis system case study: City of Afyonkarahisar[J]. *Accident Analysis and Prevention*, 2008,40:174-181.
- [6] Sadahiro Y. Analysis of surface changes using primitive events[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2001,15(6):523-538.
- [7] Sadahiro Y. Stability of the surface generated from distributed points of uncertain location[J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2003,17(2):139-156.
- [8] Sadahiro Y, Masui M. Analysis of qualitative similarity between surfaces[J]. *Geographical Analysis*, 2004,36(3): 217-233.
- [9] Andrea B C, Vicente T R, Valentino S, *et al.* Geomorphometric analysis for characterizing landforms in Morelos State, Mexico[J]. *Geomorphology*, 2005,67:407-422.
- [10] 罗明良.基于DEM的地形特征点簇研究[D].成都:中国科学院成都山地灾害与环境研究所,2008.
- [11] 苍学智,汤国安,仲腾,等.山顶点类型及其形态特征数字表达[J].*南京师大学报(自然科学版)*,2010,23(1):136-140.
- [12] 朱红春,汤国安,吴良超,等.基于地貌结构与汇水特征的沟谷节点提取与分析[J].*水科学进展*,2012,23(1):7-13.
- [13] 谢铁群,朱红春,汤国安,等.基于DEM的沟谷特征点提取与分析[J].*地球信息科学学报*,2013,15(1):61-67.
- [14] 易红伟,汤国安,刘咏梅,等.河网径流节点及其基于DEM的自动提取[J].*水土保持学报*,2003,17(3):108-111.
- [15] 李军锋,李天文,汤国安,等.基于DEM的沟谷网络节点水流累积量研究[J].*山地学报*,2005,23(2):228-234.
- [16] 钱柯健,朱红春,李发源.一种基于DEM汇水累积量的径流节点提取方法[J].*测绘科学*,2012,37(1):28-29.
- [17] 王皓,李铁键,高洁,等.大尺度流域河网二叉树编码方法[J].*河海大学学报(自然科学版)*,2009,37(5):499-504.
- [18] 庄群洪.面向对象GIS数据模型的研究[D].泉州:华侨大学,2008.
- [19] 童小华,岳秀平,杨东援,等.面向对象思想方法及其在地

- 理信息系统开发中的应用[J]. 计算机应用研究, 1997, 14(2): 10-12.
- [20] 姜晓轶. 基于 Open GIS 简单要素规范的面向对象时空数据模型研究[D]. 上海: 华东师范大学, 2006.
- [21] 邱洪钢, 张清莲, 陆绍强. ArcGIS Engine 开发从入门到精通[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2010.

## The Spatial Structural Model Established for Gully Feature Points Cluster and Its Application

ZHU Hongchun<sup>1,2\*</sup>, LI Yongsheng<sup>3</sup> and TANG Guo'an<sup>2</sup>

(1. College of Geomatics, Shandong University of Science and Technology, Qingdao 266590, China;

2. Key Laboratory of Virtual Geographic Environment of Ministry of Education,

Nanjing Normal University, Nanjing, 210023, China;

3. Northwest Bureau of China Metallurgical Geology Bureau, Xi'an 710119, China)

**Abstract:** Points cluster is a set of points which generally have its specific organizational structure. Gully is a self-contained class and important spatial entity, so the gully feature point cluster which expresses and describes gully's morphology, structure and the key attributes have tight organizational structure, close spatial relationship and complete description of the properties. Establishing the spatial structure model of gully feature point cluster and applying the model to the gully features' spatial analysis and application have important scientific significance. There are some important completed works. Firstly, based on analyzing the elements, spatial and structural characters of gully feature point cluster, the existing stored method of spatial data point information was analyzed. By using object-oriented modeling ideas, the gully feature point cluster data model was designed for describing gully's topology and other spatial information based on hierarchical model and unstructured file storage. The gully feature point cluster data model was achieved by C#. And then, based on the point cluster file, the prototype system was researched and designed. Through using visual C# and ArcEngine, visualization (tree structure), spatial analysis (correlation structure), property characteristics analysis (statistics, and hydro-geomorphological analysis) and other basic functions of gully feature point cluster were realized initially. Finally, as a case study, the feature points retrospective sought, the processing time was comparatively analyzed and the time-consuming and point number relationship figure was drawn. The analysis verified the documents based on feature points cluster analysis with a more gully high processing efficiency. In this study, a new idea using point cluster model for gully analysis of expression was practiced. Established the point cluster prototype system orienting valley structure, morphology and properties analysis functions has some practical application value.

**Key words:** point cluster model; gully feature point cluster; object-oriented; spatial structure; function designing; gully analysis

\*Corresponding author: ZHU Hongchun, E-mail: sdny\_xa@163.com