

文章编号:1000-582X(2012)11-126-05

## 基于 GIS 的地表破碎指数计算

贾兴利,许金良,杨宏志,赵利苹

(长安大学 特殊地区公路工程教育部重点实验室,西安 710064)

**摘要:**为了研究区域地表破碎程度,选取地表起伏度、地表切割密度、地表切割深度 3 个单因素指标来综合量化地表破碎指数。以数字地面高程模型为数据基础,以地理信息系统为技术平台,对各单因素指标的计算和提取进行了研究;提出了基于粗集和模糊集理论的地表破碎程度综合指标的单要素权重确定方法,建立了综合指标-地表破碎指数的计算公式。并以山东省为例进行了指数计算,得到了山东省地表破碎程度图。计算结果表明:山东省地表破碎指数存在明显的地域分异规律,它能够客观、准确地反应出山东省地表破碎程度分布情况,为公路区划、土地规划等的研究提供了依据。

**关键词:**地理信息系统;地表破碎指数;地表起伏度;地表切割密度;地表切割深度

**中图分类号:**U412

**文献标志码:**A

## Calculation of broken index of surface based on GIS

JIA Xingli, XU Jingliang, YANG Hongzhi, ZHAO Liping

(Key Laboratory for Special Area Highway Engineering, Ministry of Education, Chang'an University, Xi'an 710064, China)

**Abstract:** Three factors, i. e. surface amplitude, incision density and incision depth are used to quantify the broken index of surface in order to study broken degree of surface. Based on the DEM, the calculation and extraction of single elements are finished by using GIS. Based on fuzzy clustering and rough set theory, a method is put forward to determine the influence coefficients of single elements in the composite element, and the formula of composite elements-the broken index of surface is elaborated to finish the calculation in Shandong Province. The calculation results indicate that a highly spatial heterogeneity exists in the broken index of surface in Shandong Province and it objectively shows the distribution of the broken degree of surface in Shandong Province and provide a basis for the zoning of highway and land division.

**Key words:** GIS; broken index of surface; surface amplitude; incision density; incision depth

地表破碎程度是地表平顺性、完整性的示量,对于公路区划、土地规划及城乡建设等多个领域有着重大的影响,尤其在公路自然区划中扮演着重要的角色。科学、准确地计算地表破碎程度指数,不但有利于全面地揭示区域内的地表破碎程度,还对于公路区划、土地规划的科学制定及城乡建设的良好发展有着重要的理论和现实意义。

目前国内外学者开展了大量的理论研究,并结合 GIS 技术,初步建立了地表破碎程度评价系统框架,提高了地表破碎程度评价的科学化水平。但是目前的研究多停留在定性分析层面,且主要集中于单因素指标的分析,缺乏对各因子的综合表征,由此就影响了评价结果的准确性,很难全面地反应区域内的地表破碎程度<sup>[1-3]</sup>,有待进一步地完善。基于

**收稿日期:**2012-05-03

**基金项目:**西部交通建设科技项目(2009318000102);中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(CHD2011ZD021)

**作者简介:**贾兴利(1986-),男,长安大学博士研究生,从事道路总体工程、交通 GIS 方向研究。

许金良(联系人),男,长安大学教授,工学博士,从事路线工程、交通 GIS 应用与开发等,(E-mail)gl15@chd.edu.cn。

此,笔者选择了地表起伏度、地表切割密度、地表切割深度 3 个单因素指标来量化综合指标,并以山东省为例进行了定量计算,结合 GIS 技术平台展示了山东省地表破碎指数的地域分异规律,为下一步的省级公路三级自然区划、土地规划等提供数据支撑。

## 1 计算基础

计算中用到的基础数据为山东省 1:50 000 数字线划地图(digital line graphic, DLG)以及由其生成的数字地面模型(digital elevation model, DEM)。

DLG 数据中面状居民地轮廓线的现势性可达到 1997—2003 年,与更新影像资料源现势性一致;居民地名称、级别的现势性可达到 2000 年,与 1:50 000 地名数据现势性一致;高程点、等高线数据是以地形图及数字栅格地图为原始资料源,并经 1:50 000 航片正射影像、卫星遥感影像、地名等数据更新。

在 ArcGIS 的 3-D Analysis 模块支持下,可以将 1:50 000DLG 中的高程点、等高线数据转换成基于三角网的 TIN(tri-angulated irregular network)模型,然后再转换成基于规则网格单元的 DEM。

## 2 单因素指标及计算

### 2.1 地表起伏度

地表起伏度也称相对高度,是指一定面积内的最大高程与最小高程之差。地表起伏度是一个从宏观尺度上描述地貌形态的指标,在欧洲国际地貌图和中国地理学科研究中经常用其作为地貌类型划分的客观依据,它能够很好的反应出区域内的地貌分异规律。在计算地表起伏度时首先要确定一个合理的统计面积,遵循区域普适性和山体完整性原则,根据逻辑曲线,确定地表起伏度最佳统计单元为 0.49 km<sup>2</sup>。基于 ArcGIS 空间分析下的邻域统计模块,提取出各统计单元的高程最大值和最小值,调用栅格计算器计算地表起伏度<sup>[4-7]</sup>。

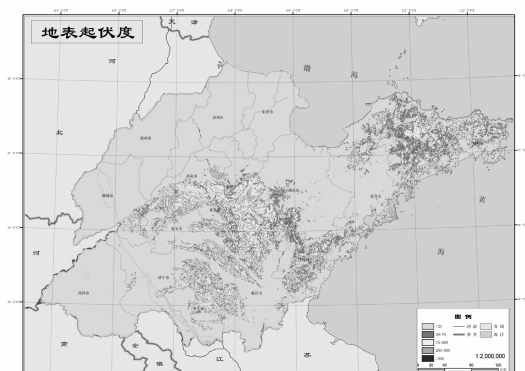


图 1 地表起伏度

### 2.2 地表切割密度

地表切割密度(沟壑密度)是指单位面积上一定级别(或长度)以上沟谷的总长度,它主要与研究区域的大小、沟壑水系的长度有关。由于地表切割密度是地形、气候、植被、岩性、土壤等因素综合影响的反应,它能够很好地表征周围的自然环境。以 DEM 作为基础数据,利用 ArcGIS 水文分析模块对其进行无洼地处理和小平原处理,在无洼地 DEM 的基础上获取水流方向矩阵,基于其计算汇流累积矩阵,设定合理的阈值(5 000)后提取区域内的河谷网络<sup>[8-10]</sup>。并根据区域内的沟谷长度情况,将计算单元确定为 1 km<sup>2</sup>。而后调用 ArcEngine,利用 .Net 编程实现遍历整个区域的单元面积内河谷长度统计和切割密度计算。

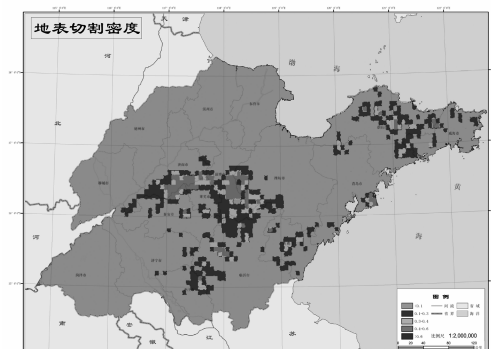


图 2 地表切割密度

### 2.3 地表切割深度

相对于地表起伏度,地表切割深度是针对于局部小范围内,地表垂直方向上割裂程度的示量,通常用一定汇水面积内的相对高差来表示<sup>[11]</sup>,它能够很好的反映出区域内的沟谷深度、相对高差。切割深度的计算是结合 ArcGIS 水文分析功能进行的,前半部分基本与切割密度的计算流程一样,只是在提取出水流累积矩阵后,进一步勾画分水岭线,获得集水区域<sup>[12-13]</sup>。在集水区域确定后,结合 DEM 数据,

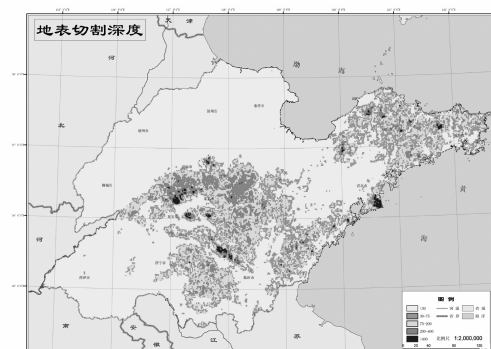


图 3 地表切割深度

计算一定汇水面积内的最高海拔与最低海拔之差,即得到了区域内的切割深度。考虑到公路建设用地范围,计算单元面积分为 2 种情况:汇水面积小于  $0.04 \text{ km}^2$  时,以汇水面积为计算单元;汇水面积大于  $0.04 \text{ km}^2$  时,以  $0.04 \text{ km}^2$  为计算单元遍历汇水区域进行切割深度的计算。

### 3 综合指标及计算

#### 3.1 权重计算

各单因素指标对地表破碎程度的影响不尽相同,为了更好地反映出这种差异性,需要对各单因素指标赋予权重,如何合理的确定他们的权重,是地表破碎程度综合指标研究的核心内容,它确定了各单要素指标在综合指标中所占的分量,直接影响到综合指标的客观性和准确性。这里采用了基于粗集和模糊聚类分析的权重计算方法。主要经过以下步骤:

1)在山东省全省范围内抽取 17 个样本点,他们分布于山东省的 17 个市、地区,样本分布相对较为均匀。分别提取 17 个样本点的地表起伏度、切割密度、切割深度属性值,如表 1 所示,建立  $3 \times 17$  阶原始数据矩阵。样本点属性如表 1 所示。

表 1 样本点属性

编号	切割深度/m	地表起伏度/m	切割密度/( $\text{km} \cdot \text{km}^{-2}$ )
1	0	0	0
2	97	170	0.076
3	18	83	0.211
4	37	76	0.114
5	159	425	0.076
6	50	80	0.092
7	87	180	0.046
8	20	79	0.214
9	1	1	0
10	0	0	0
11	112	200	0.023
12	0	0	0
13	37	43	0.113
14	21	90	0.238
15	135	337	0.118
16	52	110	0.219
17	60	130	0.112

2)利用极差规格化法对原始数据矩阵进行标准化处理,通过欧氏距离法建立模糊相似矩阵,利用二次方法生成等价矩阵,进行模糊聚类分析。得到全属性的动态模糊聚类图,如图 4 所示。

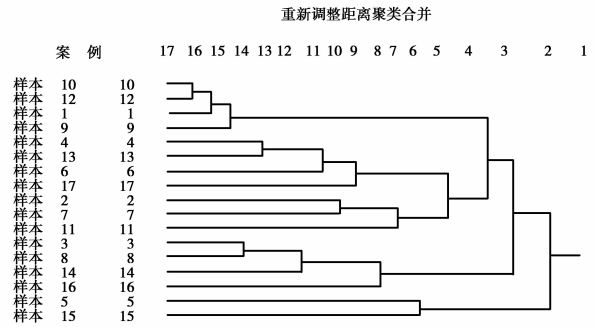
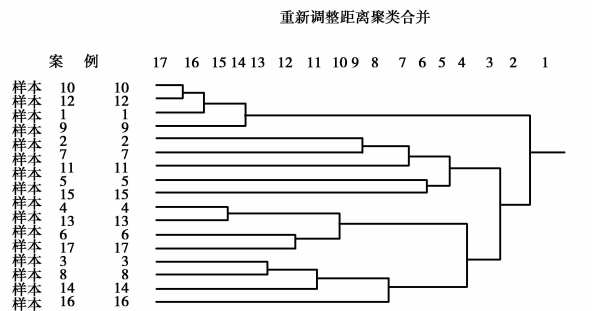
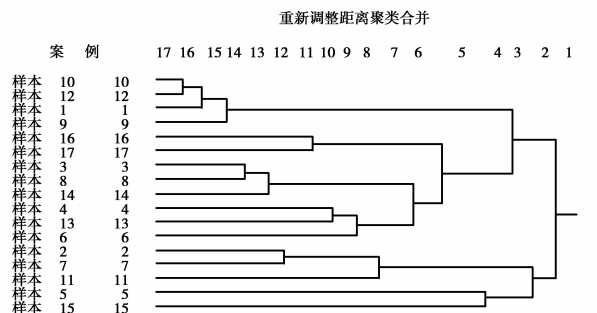


图 4 全属性模糊聚类图

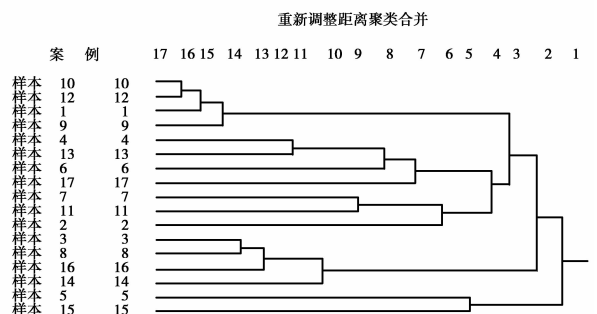
3)建立删除属性  $C_i$  的原始矩阵,按照上述 1、2 步,进行删除  $C_i$  后的模糊聚类分析,并依次删除其他属性。分别得到去掉地表起伏度、去掉地表切割密度、去掉地表切割深度的动态模糊聚类图,如图 5 所示。



(a)去掉地表起伏度



(b)去掉地表切割密度



(c)去掉地表切割深度

图 5 缺失属性模糊聚类图

4)利用  $F$ -统计量确定最佳阈值  $\lambda$ ,找出对应的最佳分类。 $F$ -统计量为:

$$F = \frac{\sum_{i=1}^r n_i \|\bar{x}^{(i)} - \bar{x}\|^2 / (k-1)}{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_j} \|x_j^{(i)} - \bar{x}^{(i)}\|^2 / (n-k)} \quad (1)$$

式中:  $\|\bar{x}^{(i)} - \bar{x}\| = \sqrt{\sum_{r=1}^m (x_r^{(i)} - \bar{x}_r)^2}$  表示  $\bar{x}^{(i)}$  与  $\bar{x}$  之间的距离;  $\|x_j^{(i)} - \bar{x}^{(i)}\|$  为第  $i$  类中第  $j$  个样本与其中心  $\bar{x}^{(i)}$  之间的距离。

5) 计算各属性的重要程度  $SIG(C_i, C, D)$ 。

$$SIG(x, C, D) = 1 - \gamma(C - \{x\}, D) \quad (2)$$

式中,  $\gamma(C - \{x\}, D)$  表示去掉属性  $x$  后, 条件属性对决策属性的依赖程度。按照归一化方法, 计算每个属性的权重, 如式(3)所示。

$$P_i = SIG(c_i, C, D) / \sum_{r=1}^m SIG(C_r, C, D) \quad (3)$$

经过上述步骤得到了 3 个属性对于地表破碎程度指数的权重系数, 具体见表 2。

表 2 单因素权重系数

属性	地表起伏度	地表切割密度	地表切割深度
权重	0.425	0.325	0.250

由于粗集理论在数据处理时无需提供问题所需处理的数据集合之外的任何先验信息, 并且能够根据属性的重要性确定计算要素的影响系数, 所以对问题的不确定性的描述或处理可以说是比较客观的, 但其要忽略较多的系统信息; 模糊聚类理论处理数据和聚类分析时没有任何的信息损失, 但进行模糊评判时通常需要提供先验的权重分配, 无法进行单纯基于数据的影响系数的分配<sup>[14-17]</sup>, 将两者结合起来可大大提高影响系数的客观性以及定量化程度。

### 3.2 地表破碎程度指数计算

在单因素指标选择时, 是从不同角度来筛选的, 所以它们之间有不同的性质, 不同的量纲。现在要对这些指标进行综合分析, 就需要确定他们的等效标度分值。现将各单因素指标分为 5 个等级, 每个等级分别赋值, 见表 3。

表 3 影响因子标度分值表

破碎度等级 与指标分值	破碎程度影响因子		
	地表起伏度/m	切割密度/ (km · km <sup>-2</sup> )	切割深度/ m
无	0	0~30	0~0.05
轻度	1	30~75	0.05~0.15
中度	3	75~200	0.15~0.3
严重	6	200~500	0.3~0.5
极严重	10	>500	>0.5

调用 ArcGIS 的图层叠加功能, 将各单因素指标与其权重相乘后相加即可得到地表破碎程度指数。根据计算结果, 将山东省地表破碎程度分为 5 级, 详见表 4。并建立山东省地表破碎程度图, 见图 6。

表 4 地表破碎程度划分

级别	完整	轻微破碎	一般破碎	严重破碎	极严重破碎
指数	0 < E < 1	1 ≤ E < 2	2 ≤ E < 3	3 ≤ E < 5	5 ≤ E < 10

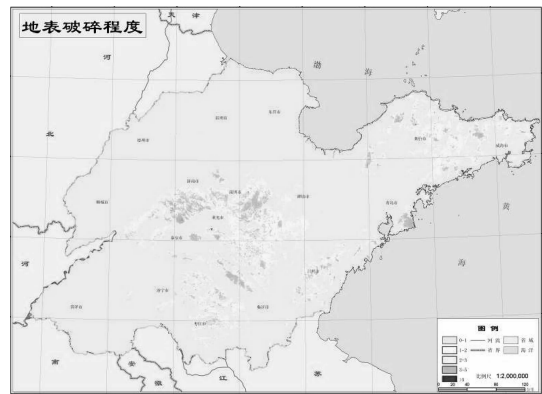


图 6 地表破碎程度图

### 3.3 计算结果

由山东省地表破碎程度图所示: 鲁西一北以菏泽、聊城、德州、滨州、东营以及济宁大部为主形成的一个环形包裹区, 鲁中南汶上、泗水、邹城一带的汶泗平原区、沂沭河中游平原区、淄博及潍坊北部的泰鲁沂山北平原区, 鲁东潍河、胶莱河流域的诸城平原区、胶莱平原区内地表完整度良好, 破碎程度很小; 鲁中沂南一带的沂蒙丘陵区, 鲁南山亭和费县附近的尼枣丘陵区, 鲁东烟台境内的艾山丘陵、莱阳丘陵盆地以及招虎山丘陵区地表存在一定程度的破碎; 鲁中泰山、鲁山、徂徕山、蒙山, 鲁东崂山、昆崂山地区山势绵延, 地表破碎较为严重。

## 4 结 语

1) 地表起伏度、地表切割深度、地表切割密度能够从垂直方向和水平方向全面而又不冗余的反应出区域内的地表破碎情况。

2) 利用粗集和模糊集理论进行单因素指标影响权重的确定, 可有效地提高权重系数的客观性和定量化程度。

3) 基于 GIS 建立的山东省地表破碎指数图, 能够准确地揭示山东省地表破碎分布规律, 为下一步

的省级公路三级自然区划、土地规划等提供了科学、准确的量化指标。

#### 参考文献:

- [1] 贾兴利. 公路自然区划地表破碎程度评价指标体系研究[D]. 西安:长安大学硕士学位论文, 2010.
- [2] 毛雪松, 王富春, 王秉纲. 中国公路沙漠自然区划研究[J]. 公路交通科技, 2009, 26(1):57-60.  
MAO Xuesong, WANG Fuchun, WANG Binggang. Desert natural division of highway in China[J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2009, 26(1):57-60.
- [3] Wang W D, Xie C M, Du X G. Landslides susceptibility mapping based on geographical information system, Guizhou, south-west China[J]. Environmental Geology, 2009, 58(1):33-43.
- [4] Magcale-Macandog M D B, Delgado M E M, Ty E, et al. A GIS-based model to improve estimation of aboveground biomass of secondary forests in the Philippines[J]. Journal of Tropical Forest Science, 2006, 18(1):8-21.
- [5] Gao Y, Alexander J, Tipping R G. Karst database development in Minnesota: design and data assembly[J]. Environmental Geology, 2005, 47(8):1072-1082.
- [6] 张军, 李晓东, 陈春艳, 等. 新疆地势起伏度的分析研究[J]. 兰州大学学报:自然科学版, 2008, 44(增刊):10-13.  
ZHANG Jun, LI Xiaodong, CHEN Chunyan, et al. Analysis of the relief amplitude in Xinjiang[J]. Journal of Lanzhou University: Natural Sciences, 2008, 44(Sup):10-13.
- [7] 于汉学, 郭庆仪, 解学斌. 黄土高原沟壑区城镇体系协调单元的建构[J]. 建筑科学与工程学报, 2006, 23(2):76-80.  
YU Hanxue, GUO Qingyi, XIE Xuebin. Construction of coordinating units in urban system of loess plateau gully areas [J]. Journal of Architecture and Civil Engineering, 2006, 23(2):76-80.
- [8] 朱庆, 吴波, 钟正. 三维 GIS 与公路 CAD 的集成[J]. 中国公路学报, 2006, 19(4):1-6.  
ZHU Qing, WU Bo, ZHONG Zheng. Integration of 3-D GIS and highway CAD [J]. China Journal of Highway and Transport, 2006, 19(4):1-6.
- [9] Bender O, Boehmer H J, Jens D et al. Using GIS to analyze long-term cultural landscape change in Southern Germany [J]. Landscape and Urban Planning, 2005, 70(1):111-125.
- [10] 吴良超, 汤国安, 张友顺, 等. 基于 DEM 的陕北黄土高原沟壑密度提取与空间分异[J]. 西北大学学报:自然科学网络版, 2005, 3(5):1-7.  
WU Liangchao, TANG Guoan, ZHANG Youshun, et al. DEM based channel density derivation and its spatial variance in the loess plateau [J]. Journal of Northwest University: Natural Science Online, 2005, 3(5):1-7.
- [11] Marius J, Aida M. A GIS-based modelling of vehicles rational routes: geographical information system [J]. Journal of Civil Engineering and Management, 2006, 12(4):303-309.
- [12] Kanda M, Moriwaki R, Kasamatsu F. Spatial variability of both turbulent fluxes and temperature profiles in an urban roughness layer [J]. Boundary-Layer Meteorology, 2006, 121(2):339-350.
- [13] Cho S E. Effects of spatial variability of soil properties on slope stability [J]. Engineering Geology, 2007, 92(3/4):97-109.
- [14] 李德仁, 王树良, 李德毅. 空间数据挖掘理论与应用[M]. 北京:科学出版社, 2006.
- [15] 苗夺谦, 李道国. 粗糙集理论、算法与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2008.
- [16] Júnior V V, Carvalho M P, Dafonte J, et al. Spatial variability of soil water content and mechanical resistance of Brazilian ferralsol [J]. Soil and Tillage Research, 2006, 85(1/2):166-177.
- [17] Chou S Y, Chang Y H, Shen C Y. A fuzzy simple additive weighting system under group decision-making for facility location selection with objective/subjective attributes [J]. European Journal of Operational Research, 2008, 189(1):132-145.

(编辑 郑洁)