

数学形态学在黄土地貌单元分类学上的应用

陈 燕, 齐清文, 杨志平, 纪翠玲, 彭 , 梁雅娟

(中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘 要:以黄土高原的遥感图像为基本信息源, 利用数学形态学方法提取黄土高原地貌单元, 分别计算出各个地貌单元的形状指数、面积周长比、分形分维指数和由形状复杂和边界扭曲引起的 FD(分形分维) 值变化数等 6 项数学形态特征, 并进行统计分析, 利用这些参数对每类地貌单元进一步分类, 同时对各项数学形态特征在黄土高原地貌单元分类上作为分类特征的可靠性和可行性进行论证, 并对黄土高原地貌单元分类进行定量化方面的探讨和研究, 取得了较理想的结果。

关键词:数学形态学; 黄土高原; 地貌单元; 地貌分类

中图分类号:P183. 1

文献标识码:A

数学形态学(Mathematical Morphology)是一门建立在严格数学理论基础上的新兴图像分析学科, 涉及到几何学、拓扑学、概率论、图论等。数学形态学是用集合描述二值图像或灰度图像中显示的不同的几何形状, 并说明目标的结构特点。随着计算机科学的快速发展和广泛应用, 数学形态学已经涉及到与计算机图像处理有关的各个领域, 对具有地貌信息的遥感图像进行特征提取和分析, 并利用计算机提取的特征对地貌信息进行分类成为可能^[1]。

1 样区与技术路线

1.1 样区概况

黄土高原位于我国的中北部($101^{\circ}10' \sim 114^{\circ}30' E$; $33^{\circ}50' \sim 40^{\circ}15' N$), 东起太行山, 西迄乌鞘岭、日月山, 南以秦岭、伏牛山为界, 北到长城一线。在行政区域上跨青海、甘肃、宁夏、内蒙、山西、陕西 6 省区, 总面积 $48.4 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。陇中、陇东、宁南、陕北和晋西等地区, 黄土均呈连片分布, 其堆积厚度一般为 100~ 200 m, 最厚的可达 300 m 左右, 是黄土地貌发育的典型区域。本次研究选择的样区范围包括

陕西省的榆林县、佳县和神木县, 山西省的兴县和临县, 涉及 4 张 1: 5 万地形图, 30 张 1997 年采集的 1: 35 000 的彩红外航空像片。该地区是黄土梁峁状丘陵和峁状丘陵沟壑分布的典型地区, 梁峁兼备、沟壑发育。梁峁顶海拔 1 300~ 1 600 m, 相对切割深度 150~ 200 m。沟间地与沟谷地之比为 1: 1 或 4: 6, 沟壑密度 $4 \sim 5 \text{ km/km}^2$ 。梁峁坡面细沟、浅沟发育, 面侵蚀、线侵蚀强烈, 梁峁边缘以下冲沟、干沟、河沟深切, 多呈 V 形。在榆林等与风沙区临近地带, 黄土梁峁状丘陵沟壑上盖有薄层片沙和低缓沙丘; 黄土梁峁状丘陵沟壑区, 峁顶海拔 1 200~ 1 400 m, 峁坡多为凸形坡, 坡度 $15^{\circ} \sim 25^{\circ}$, 孤立丘顶一般称为塔或圪塔。沟壑发育, 沟壑密度 $5 \sim 8 \text{ km/km}^2$, 地面破碎, 破碎裂度达 60% 左右^[2]。

1.2 技术路线

将黄土高原地貌形态分为沟间地和沟谷地, 沟间地的主要地貌类型是塬、梁、峁。在实地的地貌类型中, 大而完整的“塬”是很难见到的, 大多被侵蚀成为梁或峁, 因此把梁、峁作为黄土高原地貌类型的基本单元。同时对彩红外航空像片与地形图配准后进行彩色扫描, 存为图形文件备用。

收稿日期(Received date): 2003- 12- 20; 改回日期(Accepted): 2004- 06- 10。

基金项目(Foundation item): 国家 863 信息领域对地观测数据处理与分析技术课题(编号 2001AA135140)。[Funded by Earth Observing Information Processing and Analysis Technology Project, National 863 Program; No. 2001AA135140。]; 中国科学院知识创新工程领域前沿项目(CXIOG- D001- 01)。[Funded by Knowledge Innovation Item of CAS, No. CXIOG- D001- 01。]

作者简介(Biography): 陈 燕(1976-), 女, 中国科学院地理科学与资源研究所在读博士生。研究方向为遥感应用、地学信息图谱等。[Chen Yan (1976-), female, Doctor candidate at Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Major in Application of Remote Sensing and Geo-info-TU PU. Email: chenyan@igsrr.ac.cn。]

1. 2. 1 原始图像的灰度增强

中值滤波方法不仅可以消除噪声, 同时也保持了图像的细节。因此采用中值滤波方法对原始扫描图像进行处理, 使图像上的各种噪声得到了消除, 同时增强了边缘信息。黄土高原的各个地貌形态的单元界线更加明确了, 有利于单元形态的提取。

1. 2. 2 图像的二值化

图像灰度增强以后设定一个适当的阈值, 将图像变成黑白两色。合理的阈值必须结合有关地物的知识或者是结合有经验的视觉表示的先验知识。当被分割的两类地物十分相似时, 简单的阈值化难以实现分割, 需要增加附加信息。因此我们通过辅助人工目视判断来确定阈值, 使黄土高原的地貌形态单元塬、梁、峁与背景尽量地区分开来。

1. 2. 3 数学形态学滤波

图像二值化后, 由于各种自然原因会存在一些 小面积的图斑, 而我们需要提取的是一种总体的地貌形态单元, 利用数学形态学中的计算连通成分面积的算法, 分别计算出各个连通单元的面积, 然后设置一个限值, 将面积小于此限值的小图斑全部消除掉, 只保留能反映总体地貌形态单元的信息。

1. 2. 4 边缘提取

利用数学形态学的边缘提取算法, 提取出各地

貌单元的内边缘。然后将其细化成八连通的单像素形式, 进行压缩编码, 输出通用的 CAD 格式的矢量格式^[3]。

1. 2. 5 数学形态特征提取

为保证一系列描述参数的准确性, 上面提取到的矢量格式的图形边缘的计量单位需提前转换成毫米级的, 分别对每个地貌单元的图形特征进行提取。提取的特征包括 Area、Perimeter、SI、PAR、FD、ShapeFD。各项参数的计算方法及说明如下:

- (1) Area: 面积
- (2) Perimeter: 周长
- (3) SI: 形状指数 $SI = P/2S\sqrt{\pi \cdot A}$
式中 P 为周长, A 为面积。(下面的公式同)
- (4) PAR: 周长面积比
- (5) FD: 分形分维指数 $FD = 2\lg P/\lg A$
- (6) ShapeFD: 形状复杂和边界扭曲引起的 FD (分形分维) 值变化。 $ShapeFD = FD - YuanFD$
(其中 YuanFD 表示相同面积的圆的分形分维数)

2 结果与分析

2.1 地貌单元的 6 项数学特征值
提取的特征均值见表 1。

表 1 地貌单元的 6 项数学特征值
Table 1 Six Eigenvalues of the Morphology unit

ID	Area	Perimeter	SI	PAR	FD	ShapeFD
185	0.000 02	0.024 18	1.351 70	1 209.000 00	0.944 29	0.184 952
267	0.000 01	0.017 11	1.352 66	1 711.000 00	0.947 52	0.184 820
801	0.000 01	0.017 13	1.354 25	1 713.000 00	0.947 32	0.184 605
551	0.000 02	0.024 23	1.354 50	1 211.500 00	0.943 91	0.184 570
90	0.000 02	0.024 24	1.355 06	1 212.000 00	0.943 84	0.184 494
482	0.000 01	0.017 15	1.355 83	1 715.000 00	0.947 12	0.184 389
285	0.000 06	0.042 03	1.356 51	700.500 00	0.937 27	0.184 296
284	0.000 02	0.024 28	1.357 29	1 214.000 00	0.943 53	0.184 190
690	0.000 04	0.034 34	1.357 41	858.500 00	0.939 65	0.184 175
183	0.000 03	0.029 77	1.358 81	992.333 33	0.941 12	0.183 985
654	0.000 03	0.029 78	1.359 26	992.666 67	0.941 05	0.183 923
621	0.000 01	0.017 21	1.360 57	1 721.000 00	0.946 51	0.183 747
589	0.000 04	0.034 43	1.360 97	860.750 00	0.939 13	0.183 693
331	0.000 03	0.029 82	1.361 09	994.000 00	0.940 80	0.183 676
1 313	0.000 02	0.024 35	1.361 21	1 217.500 00	0.943 00	0.183 661
800	0.000 01	0.017 22	1.361 36	1 722.000 00	0.946 41	0.183 640
889	0.000 07	0.045 56	1.361 37	650.857 14	0.935 51	0.183 639
736	0.000 02	0.024 38	1.362 88	1 219.000 00	0.942 77	0.183 435
216	0.000 03	0.029 86	1.362 92	995.333 33	0.940 54	0.183 430
488	0.000 03	0.029 86	1.362 92	995.333 33	0.940 54	0.183 430
472	0.000 01	0.017 26	1.364 52	1 726.000 00	0.946 01	0.183 214
197	0.000 04	0.034 59	1.367 29	864.750 00	0.938 22	0.182 843
566	0.000 02	0.024 46	1.367 36	1 223.000 00	0.942 17	0.182 835
354	0.000 01	0.017 30	1.367 69	1 730.000 00	0.945 61	0.182 791
167	0.000 01	0.017 30	1.367 69	1 730.000 00	0.945 61	0.182 791
256	0.000 03	0.029 97	1.367 94	999.000 00	0.939 83	0.182 757
568	0.000 03	0.029 97	1.367 94	999.000 00	0.939 83	0.182 757
422	0.000 05	0.038 71	1.368 61	774.200 00	0.936 63	0.182 668
102	0.000 01	0.017 33	1.370 06	1 733.000 00	0.945 30	0.182 474

2.2 各项特征的比较分析

SI(形状指数)表示图形的形状与相同面积的圆之间的偏离程度,即图形的似圆度。在黄土高原的地貌分类中,“峁”的定义为由黄土覆盖的孤立的圆穹状的黄土丘,大小不等,直径一般数十米或数百米。“梁”的定义为长条形的黄土高地。形状指数(SI)表示图形的形状与相同面积的圆之间的偏离程度,即图形的似圆度。当图形形状是圆时,其值为1。通常一般都是>1的。SI值越大,图形的形状越狭长。所以可以将SI作为区分梁、峁的主要依据。经过多次实验校正发现:当 $SI \leq 1.35$ 时,图形为峁(图形长短轴之比为2:1的仍为峁);当 $MSI > 1.35$ 时归为梁。分类结果见图1。

分维数(FD)反映了图形的边界复杂程度。面积A与周长P的关系可以描述为:

$P = A^{0.5FD}$, 转化为对数形式为: $\ln P = \ln c$

$+ 0.5FD \ln A + e$ 。后面的公式描述了周长与面积的分维关系。如果图形边界比较平滑,分维度D将趋于1;如果边界特别复杂,分维度将趋于2。经过多次实验确定:当 $SI < 0.915$ 且 $FD \leq 1.015$ 时,图形为近圆峁;当 $0.915 < SI < 0.99$ 且 $1.0016 < FD < 1.015$ 时,图形为椭圆峁;当 $0.99 < SI < 1.05$ 且 $0.9908 < FD < 1.0016$ 时,图形为不规则近圆峁;当 $1.05 < SI < 1.2$ 且 $0.9671 < FD < 0.9908$ 时,图形为不规则近椭圆峁;当 $1.2 < SI < 1.35$ 且 $0.9443 < FD < 0.9671$ 时,图形为不规则线性峁。当 $1.35 < SI < 2.1$ 且 $0.8363 < FD < 0.9443$ 时,图形为简单单维梁;当 $2.1 < SI < 3.15$ 且 $0.7455 < FD < 0.8363$ 时,图形为简单树枝状梁;当 $3.15 < SI < 4.0$ 且 $0.6601 < FD < 0.7453$ 时,图形为树枝状梁;当 $4.0 \leq SI$ 且 $FD < 0.6601$ 时,图形为树枝状梁群(组)。分类结果见图1~10。



图1 梁峁分类结果图(浅色为峁,深色为梁)
Fig. 1 Classification of Liang (black) and Mao (grey)

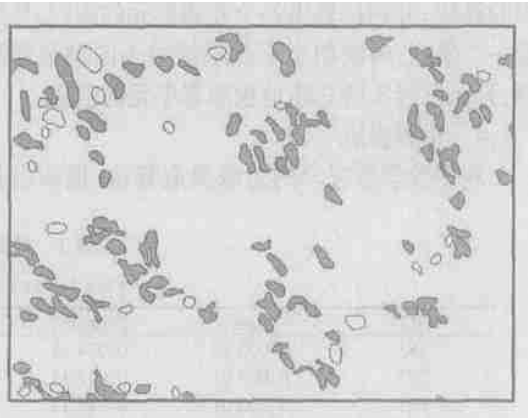


图2 近圆峁(浅色为近圆峁)
Fig. 2 The Round Mao

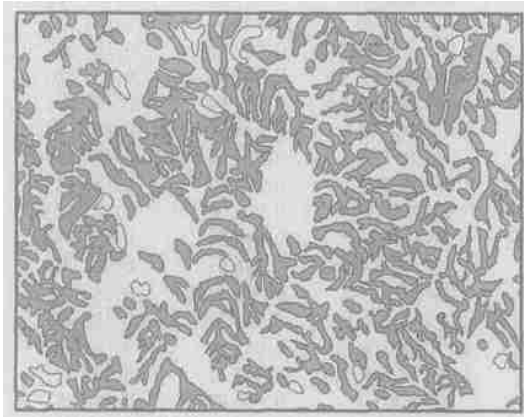


图3 不规则近圆峁(浅色为不规则近圆峁)
Fig. 3 The Anomalous-round Mao



图4 椭圆峁(浅色为椭圆峁)
Fig. 4 The Elliptical Mao

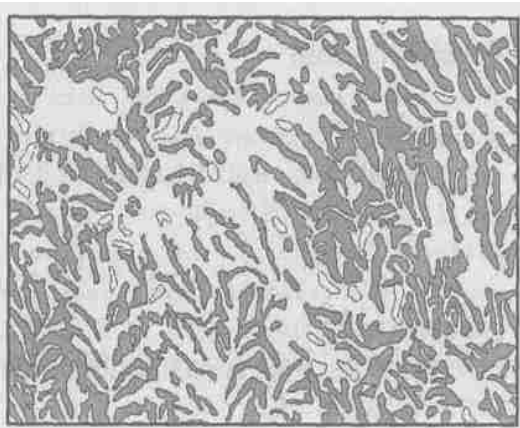


图 5 不规则近椭圆峁(浅色为不规则近椭圆峁)
Fig. 5 The Anomalous-elliptical Mao



图 6 不规则线性峁(浅色为不规则线性峁)
Fig. 6 The Anomalous-linear Mao

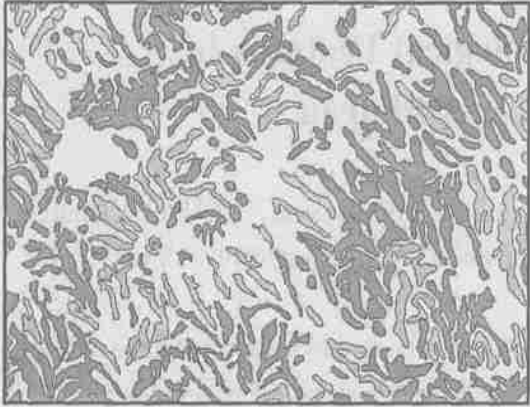


图 7 简单单维梁(浅色为简单单维梁)
Fig. 7 The simple one dimension Liang



图 8 简单树枝状梁(浅色为简单树枝状梁)
Fig. 8 The simple dendritic Liang



图 9 树枝状梁(浅色为树枝状梁)
Fig. 9 The dendritic Liang



图 10 树枝状梁组(群)(浅色为梁组)
Fig. 10 The dendritic Liang Group

3 结论

黄土高原区的主要中型地貌,根据黄土所处的地貌单元、规模及总体的形态分类按形态划分有:黄土塬、黄土梁和黄土峁等类型。下一级的分类只是仅仅依据目视程度上的形状划分,比如峁分为平峁、尖峁,梁分为长梁、短梁、宽梁、窄梁等等,没有一定的数学基础,本文尝试基于数学基础来量化的研究黄土高原地貌单元的分类。对地貌单元的粗略分类取得了一定的结果,经验证,运用上述的分类参数对黄土高原其他地区的地貌单元分类也有着较高准确性和适用性。

参考文献(References):

- [1] Shen Zuoni, Yu Xinwen. Research on mathematical insect morphology[J]. *ACTA Entomologica Sinica*, 1998, **41**(suppl.): 140 ~ 148. [沈佐锐, 于新文. 昆虫数学形态学研究及其应用展望[J]. 昆虫学报, 1998, **41**(增刊): 140~ 148.]
- [2] Qi Qingwen, Cheng Xifang, Ji Cuiling, et al.. Research on the Geo-Info-TUPU of the Landform of Loess Plateau[J]. *Journal of Geographic Sciences*, 2001, **26**(suppl.): 32~ 37. [齐清文, 成夕芳, 纪翠玲, 等. 黄土高原地貌形态信息图谱[J]. 地理学报, 2001, **26**(增刊): 32~ 37.]
- [3] Yang Zhiping, Qi Qingwen, Huang Rentao. Application of mathematical morphology in the skeleton extraction of spatial pattern Image[J]. *Geo-Information Science*, 2003, (2): 79~ 87. [杨志平, 齐清文, 黄仁涛. 数学形态学在空间格局图像骨架提取中的应用[J]. 地球信息科学, 2003, (2): 79~ 87.]

Application of Math-morphological Features in Relief Taxonomy of Loess Plateau

CHEN Yan, QI Qingwen, YANG Zhiping, JI Cuiling, PENG Xiao, LIANG Yajuan

(Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, CAS, Beijing 100101, China)

Abstract: We took the remote sensing image of the loess plateau as the basic information resources and used the method of math morphology to abstract the relief unit; then calculated the shape index, area/parameter ratio, fractal dimension caused by the shape complicity and the boundary distortion, and other math-morphological features. Then the six kinds of characters are analyzed based on the statistics, we made a further classification about the relief unit and concluded that it is reliable and feasible to use the math-morphological features to classify the loess plateau's relief. At last we discussed the research in the relief cell classification by the quantification-method and got the ideal result, which are when the *SI* is less than 0.915 and *FD* is equal or lesser than 1.015, the relief cell is named The Round-Mao; when *SI* is between 0.915 and 0.99 and *FD* is between 1.0016 and 1.015, the relief cell is called The Elliptical-Mao; when *SI* is between 0.99 and 1.05 and *FD* is between 0.9908 and 1.0016, the relief cell is called The Anomalous-round Mao; when *SI* is between 1.05 and 1.2 and *FD* is between 0.9671 and 0.9908, the relief cell is called The Anomalous-elliptical Mao; when *SI* is between 1.2 and 1.35 and *FD* is between 0.9443 and 0.9671, the relief cell is called The Anomalous-linear Mao; when *SI* is between 1.35 and 2.1 and *FD* is between 0.8363 and 0.9443, the relief cell is called The simple one-dimension Liang; when *SI* is between 2.1 and 3.15 and *FD* is between 0.7453 and 0.8363, the relief cell is called The simple dendritic Liang; when *SI* is between 3.15 and 4.0 and *FD* is between 0.6601 and 0.7453, the relief cell is called The dendritic Liang; when *SI* is equal or greater than 4.0 and *FD* is less than 0.6601, the relief cell is called The dendritic Liang-Group.

Key words: math-morphology; loess plateau; relief unit; relief taxonomy