

地图图斑群自动综合的分形方法研究*

王 桥 毋河海

(武汉测绘科技大学国土信息与地图科学系, 武汉市珞喻路 39 号, 430070)

摘 要 提出了基于分形理论的地图图斑群自动综合的新方法, 使地图图斑群的自动综合能够根据其自身的分布变化规律及形状结构特征自适应地进行。

关键词 地图图斑群; 自动制图综合; 分形; 分维

分类号 P283.1; P283.7

湖泊群、岛屿群等制图现象在地图上都表现为图斑群。其自动综合需要考虑两方面的问题: (1) 数量选取; (2) 形状化简。对于问题(1), 目前主要采用方根规律模型处理, 其选取依据是综合前的图斑数量。两个图斑数量相同的图斑群, 不管它们的分布及面积变化特征有多大区别, 综合后所选取的图斑数量都是相同的, 这显然是不合理的。对于问题(2), 目前主要采用基于单条曲线化简的方法来逐个对图斑轮廓线进行形状概括。但不管采用何种化简方法, 都要碰到阈值选取问题。阈值选取目前基本上是为人为的和经验的, 难以顾及曲线本身的形状结构特征或复杂程度, 这无疑影响了自动综合结果的客观化程度。

本文将运用专门处理复杂现象的分形理论, 探索解决上述问题的新途径, 以提高图斑群自动综合的自动化程度和客观化程度, 使图斑群的自动综合能够根据其自身的分布变化规律及形状结构特征自适应地进行。

1 图斑群数量选取的分形方法

1.1 图斑群数量变化特征的分维描述

随着观察尺度或比例尺的变化, 图斑群的数量也会相应发生变化。Korcak(1940)指出, 湖泊群面积的概率分布呈幂型:

$$P_r(A > a) = ka^{-b} \quad (1)$$

其中 a, b, k 为常数; $P_r(A > a)$ 表示面积大于 a 的湖泊的概率。(1)式对于岛屿群亦是成立的, 且 b 可以在一定范围内变化, 一般地 $b \geq 0.5$ 。Bruce、Milne 在对某种植物类型所组成的图斑群进行研究中发现了更进一步的规律:

$$N_r(A > \lambda) = C\lambda^{-\frac{D}{2}} \quad (2)$$

其中 A 表示图斑的“直径”, λ, C, D 为常数, $N_r(A > \lambda)$ 表示“直径”大于 λ 的图斑个数。事实上, (2)式可以写成如下的等价形式:

$$N_r(A > a) = Ca^{-D} \quad (3)$$

其中 A 的含义与(1)式一样, 仍表示图斑面积。

收稿日期: 1995-07-22。王桥, 男, 38岁, 副教授, 现从事 GIS 与分形应用研究。

* 高校博士点专项科研基金资助项目。

把(2)、(3)式与分形理论中分维(分数维)定义加以比较,我们有理由将 D 定义为图斑群的一种新形式的分维。根据(3)式,这样的分维 D 描述了图斑数量随观察尺度变化的速率,从本质上说,即描述了图斑数量随比例尺变化的规律。

在统计自相似性的意义上(运用分形理论研究自然现象大都在此前提下),可直接从(3)式出发进行分维估值。在(3)式两边取对数:

$$\ln N_r(A > a) = \ln C + (-D) \ln a \quad (4)$$

对于 a 的不同取值 $a_i (i=1, 2, \dots, m, m$ 可视需要选定), 求出相应的 $N_i = N_r(A > a_i)$, 再在双对数坐标系 $\ln-\ln$ 下, 用线性回归直线 $y = k_1 x + k_0$ 拟合点对 $(\ln a_i, \ln N_i)$, 则可由(4)式得出 $D = -k_1$ 。

1.2 基于分维的图斑数量选取规律

设所考虑图斑群综合前后的比例尺分母分别为 M_1, M_2 , 图斑数量分别为 N_1, N_2 。由(3)式有:

$$N_1 = N_r(A > a_1) = C a_1^{-D}, N_2 = N_r(A > a_2) = C a_2^{-D} \quad (5)$$

其中, a_1, a_2 表示面积。由(5)式得:

$$N_1/N_2 = (a_1/a_2)^{-D} \quad (6)$$

根据实地面积尺度规律有:

$$a_1/a_2 = M_1/M_2 \quad (7)$$

将(7)式代入(6)式,得:

$$N_1/N_2 = (M_1/M_2)^{-D} \quad (8)$$

最后有:

$$N_2 = N_1 (M_1/M_2)^D \quad (9)$$

(9)式给出了一种基于分维的图斑群数量选取规律。与方根选取规律的明显区别是,它与分维有关,也即顾及了图斑群固有的分布变化特征。例如,图1、图2所示的两个图斑群,综合前的图斑数量都等于100。现将比例尺缩小50%,按方根规律模型综合后它们的图斑数量也是相等的,都大约为70。但是,根据

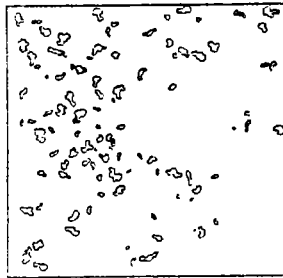


图1

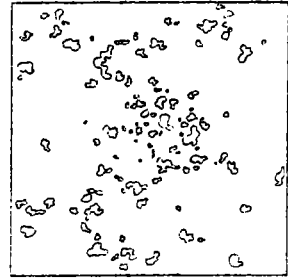


图2

(9)式,对于图1所示图斑群, $N_2 = 67$; 对于图2所示图斑群, $N_2 = 62$ 。这说明,图斑面积变化速率越大, N_2 越小。显然,这种数量选取更符合制图综合的客观实际。

2 图斑群形状综合的分形方法

2.1 图斑形状结构特征的分维描述

对于图斑形状综合,我们所关心的是图斑轮廓线的形状和复杂程度,因此,这里主要考虑图斑轮廓线的分维。

根据分形理论,曲线的分形特征可以一般地描述为:

$$M(\gamma) = C \gamma^{f(D)} \quad (10)$$

其中, $M(\gamma)$ 表示分维的一种测度, γ 表示相应的量测尺度, C 是常数, $f(D)$ 是分维 D 的一个简单函数。(10)式被认为是许多自然现象的基本概括。对于图斑轮廓线,(10)式可具体地写成:

$$L(\gamma) = C\gamma^{1-D} \quad (11)$$

其中, $L(\gamma)$ 表示轮廓线长度, D 即为轮廓线的分维, 它可以描述轮廓线填充空间的能力, 即复杂程度。

分维估值可首先在(11)式两边取对数:

$$\ln L(\gamma) = (1 - D)\ln\gamma + \ln C \quad (12)$$

若拟合点对 $(\ln\gamma_i, \ln L(\gamma_i))$ 的线性回归直线方程为 $y = k_1x + k_0$, 则由(12)式可得 $D = 1 - k_1$ 。

2.2 形状自动综合中阈值的自适应选取

对图斑群形状的综合是通过对每个图斑轮廓曲线的逐一简化(概括)来实现的。由于各图斑的复杂程度不同, 应该使用不同的阈值去处理。设曲线 L 综合前后的长度为 L_1, L_2 , 比例尺分母分别为 M_1, M_2 , 由分维估值中无标度区的确定方法可确定 L 的无标度区 $[\gamma_1, \gamma_2]$ 。易知, 用尺度 γ_1 量测曲线 L , 即可得出 $L_1 = L(\gamma_1)$ 。再由 Beckett 公式 $L_1/L_2 = (M_2/M_1)^{0.017}$ 求出 L_2 , 最后将 L_2 代入由(11)式确定的分形表达式, 得到描述综合后曲线所用的阈值 R_2 。显然, R_2 是由曲线本身的形状结构特征自适应地确定出的, 不仅与综合前后的比例尺分母有关, 而且与曲线的分维值有关。根据分形几何原理, 以 R_2 为阈值所综合的图形将保持综合前图形形状结构特征。下面给出阈值自适应选取的一般算法:

(1) 确定曲线 L 的无标度区 $[\gamma_1, \gamma_2]$ 及 D, C ;

(2) 以无标度区下限 γ_1 量测曲线 L , 得 $L_1 = L(\gamma_1)$;

(3) 由 Beckett 公式求出 $L_2 = L_1(M_2/M_1)^{-0.017}$;

(4) 将 L_2 代入(11)式得出描述比例尺分母为 M_2 的曲线(综合后图形)所需阈值 $R_2 = (L_2/C)^{1-D}$ 。

3 应用

从上面讨论可以知道, 阈值主要是由分维估值过程确定的。而实际应用中, 阈值总要与具体的曲线化简算法相联系。因此, 在应用以上方法过程中, 图斑轮廓线分维估值所采用的尺度应与曲线化简算法所采用的阈值在标准或尺度上是统一的。

3.1 图斑选取的具体处理

从制图综合的基本原理来看, 对图斑选取起决定作用的应该是图斑的面积。因此, 我们采用面积作为取舍标准。设综合前图斑群数量为 N_1 , 由(9)式可确定综合后图斑群数量 N_2 。将图斑群各图斑按面积大小排序后, 我们不难确定出 N_2 所对应的图斑的面积, 不妨设其为 S 。显然, S 即可作为选取标准, 图斑面积大于 S 者保留, 小于 S 者再进行进一步考查; 如果它对于图斑群的分布特征具有重要的影响, 则将其保留, 并把面积扩大至 S , 否则就舍弃。对于面积小于 S 者, 判别其取舍, 可采取如下不同的方案:

[方案一]

(1) 分别求出面积小于和大于 S 的图斑的图心 (X_i, Y_i) ($i = 1, 2, \dots, n_1$)、 (x_j, y_j) ($j = 1, 2, \dots, n_2$);

(2) 对所有 j , 求 (x_j, y_j) 与 (x_k, y_k) 之间的距离 ($k = 1, 2, \dots, n_2, k \neq j$) d_1, d_2, \dots, d_l , 其中 $l =$

$$C_{n_2}^2, \text{ 记 } d = \frac{2}{l} \sum_{j=1}^{n_2} d_j;$$

(3) 对所有 i, j , 求 (X_i, Y_i) 与 (x_j, y_j) 之间的距离 d_{ij} , 若 d_{ij} 大于 d , 则保留 (X_i, Y_i) 所对应的图斑, 否则舍弃该图斑。

[方案二]

(1) 与方案一(1)同;

(2) 利用计算几何方法, 由 $S_2 = \{(x_j, y_j) | j=1, 2, \dots, n_2\}$ 生成一个 voronoi 多边形, 即由 n_2 个区域把图斑群图心所在平面划分为一个凸网(见图 3);

(3) 求出 voronoi 多边形中每个凸多边形 $V(j)$

的面积 $S(j) (j=1, 2, \dots, n_2)$, 记 $A = \frac{2}{n_2} \sum_{j=1}^{n_2} S(j)$;

(4) 对于 $(X_i, Y_i) \in V(j) ((X_i, Y_i)$ 属于且仅属于唯一的凸多边形), 若 $S(j)$ 大于 A , 则保留 (X_i, Y_i) 所对应的图斑, 否则舍弃该图斑 ($i=1, 2, \dots, n_1; j=1, 2, \dots, n_2$)。

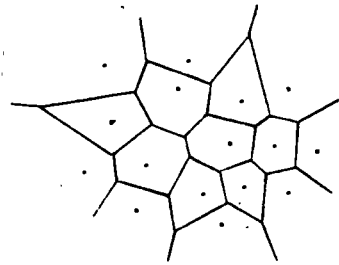


图 3

3.2 一般步骤与应用实例

综合上述, 我们可以给出图斑群自动综合分形处理的一般步骤:

- (1) 按 § 1.1 进行图斑群图斑数量变化描述的分维估值;
- (2) 根据(9)式确定综合后图斑群选取数量;
- (3) 按 § 3.1 措施选取所要综合图斑;
- (4) 对所选取图斑, 按 § 2.1、§ 2.2 及 § 3.1 逐一进行轮廓线形状分维估值以及阈值选取;

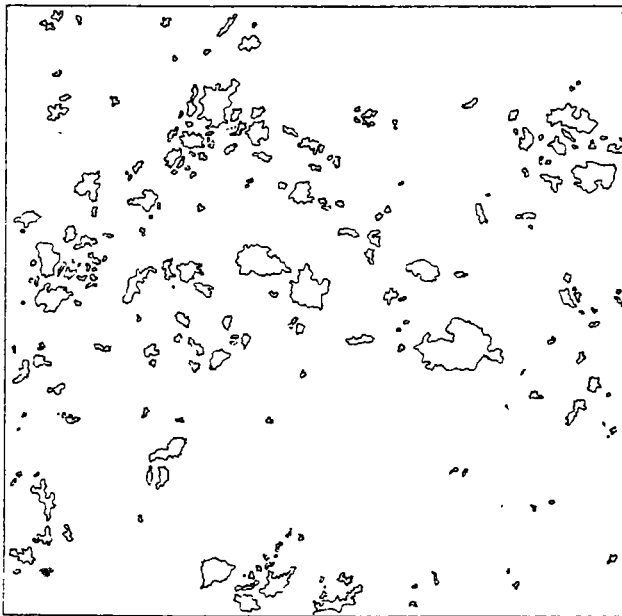


图 4

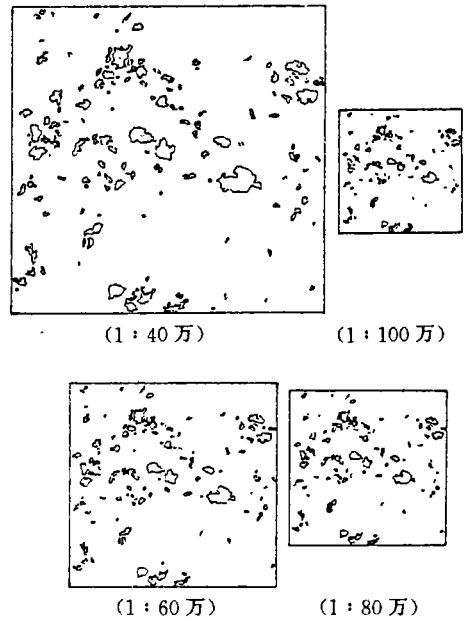


图 5

(5)运用曲线化简方法(如光阑法、间隔取点法、Douglas-Peucker 法、垂距法、偏角法等),对所选取图斑逐一进行形状综合。

显然,以上步骤的算法化和编程是不难实现的,本研究已完成了这一工作。以下通过一个实例来说明应用效果。

本例原始图形数据通过对 1:20 万地形图中湖泊群的数字化而获得(见图 4)。这里的湖泊群从分布到形状结构特征都比较复杂,适合运用本文所提出的方法进行自动综合。按上述步骤(1)~(5)处理的结果如表 1 及图 5 所示。

表 1

比例尺分母	A(面积)	N_2	实际保留数量	湖泊数量变化分维估值 $\ln-\ln$ 图
200 000	0	228	228	
400 000	5 598.4	149	153	
600 000	7 849.2	117	120	
800 000	9 824.1	98	100	
1 000 000	13 292.1	85	87	

参 考 文 献

- 1 毋河海. 地图数据库系统. 北京:测绘出版社,1991
- 2 Mandelbrot B B. The Fractal Geometry of Nature. Freeman,1982.
- 3 Falconer K J. Fractal Geometry. New York, John Wiley & Sons,1990.
- 4 Dietrich S, Helga S. Fractals, Random Shapes and Point Fields. New York, John Wiley & Sons,1994.
- 5 董连科. 分形理论及其应用. 沈阳:辽宁科学技术出版社,1991.
- 6 Preparata F P, Shamos M I. 计算几何导论. 北京:科学出版社,1990.
- 7 祝国瑞,张根寿. 地图分析. 北京:测绘出版社,1994.
- 8 Buttenfield B P. Scale-dependence and Self-similarity in Cartographic Lines. Cartographica,1989,26(1):79~100
- 9 Maguire D J. Generalization, Fractals and Spatial Databases. The Bulletin of the Society of University Cartographers,1986,20(2):96~99
- 10 Beckett P. Cartographic Generalizations. The Cartographic Journal,1977,14(1):49~50
- 11 王 桥. 自动制图综合中图形复杂程度变化规律的分形研究. 武汉测绘科技大学学报,1995,20(增刊):53~58

The Research on Fractal Method of Automatic Generalization of Map Polygons

Wang Qiao Wu Hehai

(Dept. of Land Information & Cartography, WTUSM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

Abstract Based on the fractal theory, a new method of automatic generalization of map polygons is proposed in this paper, which can automatically generalize the map polygons according to the distribution characters and shape features themselves.

Key words map polygons; automatic generalization; fractals; fractal dimension