

变三角形滤波法——一种新的图形概括模型

李小娟 崔伟宏

(中国科学院遥感应用研究所, 北京 100101)

尹连旺

(北京大学遥感与地理信息系统研究所, 北京 100871)

摘要 简要介绍了两种传统的图形概括模型的基本原理和方法,并针对它们所存在的一些缺陷,结合计算机制图综合的特点,提出了一种新的图形概括模型——变三角形滤波法。该模型易于理解、操作简便,可做为一个实用的制图综合数学模型。

关键词 图形概括 变三角形滤波法

1 问题的提出

随着 GIS 应用的不断发展,迫切需要 GIS 能够解决与比例尺相适应的空间信息压缩与复现问题,而制图综合自动化是解决该问题的根本途径。目前商业化 GIS 软件尚不具备完善的制图综合自动化功能,这不但限制了 GIS 空间数据的处理速度,也影响了地理实体空间定位的精度和地理现象空间分布规律的表达,成为制图学和 GIS 发展的瓶颈。

在 GIS 中制图综合自动化的技术流程可以归纳为如图 1 所示。图形概括(化简)是重要的组成部分。图形概括是通过删除、扩大、合并和分割等方法去掉轮廓的细部结构而代之以总体的形状特征。欲实现图形化简的自动化处理,首先要知道它们的形态结构特征的量化指标及其随比例尺变化的规律。目前国内外有关线状要素图形概括的数学模型基本上可以分为两大类:基于平面坐标的解析算法和基于线状要素自相似性的分形方法。

分形方法基本上能够从数量上揭示线状要素的形态结构特征(用分维值 D 表示)及其随比例尺变化的规律。不足之处是分维估值步行算法比较复杂,需要进行大量的数理统计相关分析,此外在线状要素形态结构特征差异较大时,会出现图形概括的“失真”(本文对此不做详述)。

对于以平面坐标为基础的解析算法,有 Dtrav 法、Lopass 法、Deveav 法和 Douglass-Peuker 法等等,其中以 Dtrav(垂距限差法)和 Douglass-Peuker 算法最为

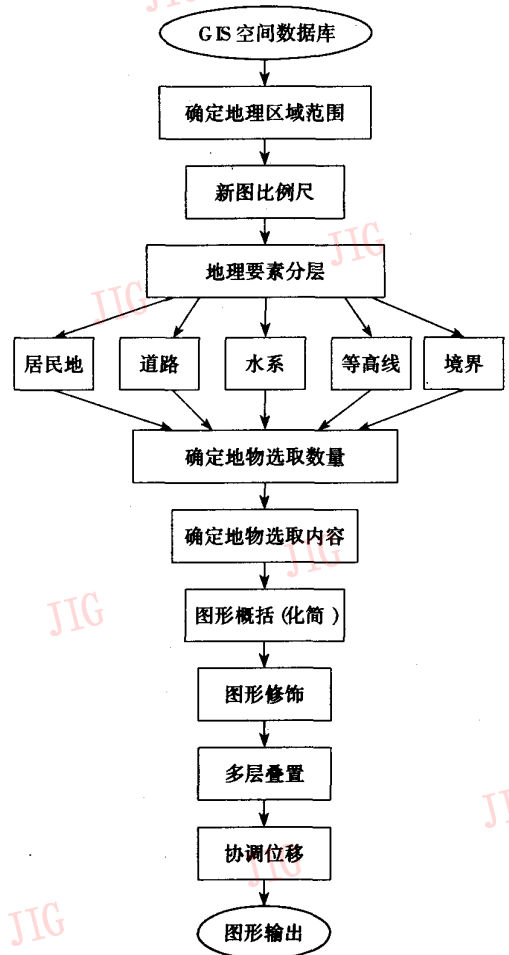


图 1 GIS 制图综合自动化流程图

典型。为了更好地说明这类算法的不同特点,下面

简要介绍两种平面解析图形概括算法模型。

(1) 垂距限差法

这种方法首先由 Lang 在 1963 年提出。如图 2 所示,它从数字化的曲线的一端开始,选择三个点为一组,计算第一个点 P_1 与第三个点 P_3 的直线 A ,以及从这条直线到第二个点 P_2 的垂距 D_1 ,如果垂距

D_1 小于给定的限差,那么第二点被舍去;反之就被保留。然后再选择 $P_1、P_3、P_4$ 为一组,重复上面的过程,直至该曲线的最后一点。经过这种算法处理,满足条件的数据点被保留,其余则被剔除,从而达到图形综合的目的。

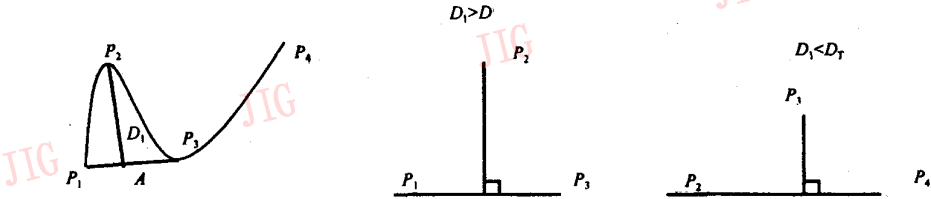


图2 垂距限差法

(2) Douglas-Peucker 算法

事实上, Douglas-Peucker 算法是垂距限差法的改进形式(见图 3)。它的基本思想是:在某曲线上截取一段弧段 AB ,并用一直线连接 AB 两端,在 AB 弧段上有 n 个数据点 $C、D、E\dots$,然后分别由 $C、D、E\dots$ 等点向直线 AB 做垂线,并选取最大垂距 D_N ,如果 D_N 大于规定的阈值 D_T ,则该点(如 C)被保留并

成为新的浮动点(代替点 B),然后再计算数据点到直线 AC 的垂距,重复上面操作,寻找最大垂距 D_M ,如果 D_M 小于规定的阈值 D_T ,则该点(如 F)被去掉,反之成为新的浮动点(代替点 C),就这样依次类推,直到整条曲线操作完毕,符合规定的点被选取,其他则被删除,最终达到曲线综合的目的。

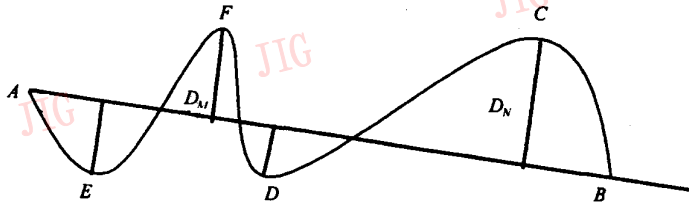


图3 Douglas-Peucker 算法

分析垂距限差法与 Douglas-Peucker 算法时不难发现,它们在对线状图形化简时存在以下缺点:

① 没有考虑描述曲线特征的弯曲角度(如图 4 中用 α 表示)和弯曲程度($R = D_T/AB$),这样就不能判断曲线的弯曲方向、角度大小和弯曲程度。而实际上在进行图形概括时,为了反映地物要素(如等高线、河流、海岸线等)的轮廓形态特征,有时特征部位小的弯曲也是很重要的,如果只考虑垂距 D_T 一个指标,则有可能删除这些特征点。

② 对于 Douglas-Peucker 算法,很难截取合适的线段以表达曲线局部和整体的形态特征,尤其是对于闭合曲线(如等高线、湖泊等要素)。每条曲线都要人为地截取若干段,对于整幅地图的处理工作量是相当大的,并且耗时很长。

③ 如果只考虑垂距 D_T 而忽略弯曲程度 R ,会使得一些线状要素的特征弯曲点(小角度的小弯曲),如变化细碎的山地等高线将被处理成变化平缓的地貌形态,这显然是错误的。

综述这类算法的优点是:模型简单、灵活多样;缺点是:在线符的形态结构特征比较复杂时稳定性较差,往往不能合适、有效地保证线符应有的形态特征。这是因为该算法主要是依据坐标的位置关系,很少顾及线符本身的形态结构特征(方向变化、弯曲大小等等)及其与比例尺的联系,同时由于所用的阈值的选取在很大程度上是主观的、人机交互的,这样使得该算法的客观性受到一定影响。针对上述方法的缺陷,本文提出了一种新的、实用的图形概括方法——变三角形滤波法,用于线状要素的图形化简。

2 变三角形滤波法

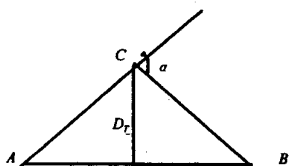


图4

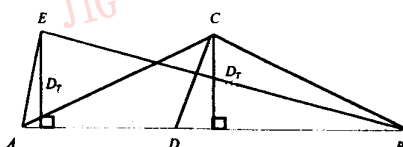
为了比较全面系统地描述曲线的弯曲形态,在曲线上选取三个连续的数据点,并用这三个点组成一个三角形,例如图4中的A、C和B组成的三角形(用 $\triangle ACB$ 表示),由此产生一组描述该弯曲的数量指标:

- φ 弯曲垂距(深度) D_T ;
- κ 弯曲跨度(宽度) AB ;
- λ 弯曲程度(对比度) $R = D_T/AB$;
- μ 弯曲角度 $\alpha = \pi + \arctg[(Y_C - Y_A)/(X_C - X_A)] - \arctg[(Y_B - Y_C)/(X_B - X_C)]$ 。

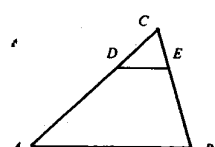
其中 $(X_A, Y_A), (X_B, Y_B), (X_C, Y_C)$ 分别为三个数据点ABC的平面坐标。

弯曲程度 R 的值越大,表明曲线越弯曲;具有相同弯曲程度的曲线,弯曲角度 α 不一定相同, α 值越大,表明曲线的方向变化越大。在图5(a)中, $\triangle ACB$ 和 $\triangle ACD$ 具有相同的弯曲垂距 D_T ,但弯曲的跨度、程度和角度都不同; $\triangle ACB$ 和 $\triangle AEB$ 具有相同的垂距、弯曲跨度、弯曲程度,但弯曲角度不同。因此,只用弯曲垂距一个指标难以全面反映线状要素的弯曲特征,而上述四个指标的结合则可以较全面地表示线状要素的弯曲特征。

在图5(b)中,边长(或称点距) AC 和 CB 的长度大于 CD 和 CE ,我们称曲线 ACB 为大弯曲,曲线 DCE 为小弯曲。当弯曲角度 α 相同时,大弯曲一般应当被选取,而小弯曲应当被去掉;当边长不变时,弯曲角度越大,表明曲线的方向变化越大,一般来说该坐标点越应该被保留,如图5(a)中,弯曲 ACD 与 ACB 具有相同的边长 AC , $\triangle ACD$ 的弯曲角度大于 $\triangle ACB$ 的弯曲角度, C 点在曲线 ACD 中选取的可能性要大于在曲线 ACB 中被选取的可能性。当弯曲角度 α 为0时, ACB 为一直线, C 点必然要去掉。因此坐标点的选取标准在这里不是唯一的。为表达这种随弯曲角度 α 由 π 到0变化而引起的选取点距由小到大变化的规律,我们建立了由弯曲角度 α 构成的函数 d 作为曲线图形数据点选取的标准,即:



(a)



(b)

图5

$$d = \frac{\sqrt{2}D(\pi + \beta)}{\pi \sqrt{1 + \cos\beta}}$$

其中: d 为滤波模板三角形的边长,用于两个数据点距离选取的阈值(单位为mm);

D 是用户给定的一个常数(或称最小弯曲深度);

β 为 AC 与 CB 的夹角,其定义域为 $0^\circ < \beta \leq 180^\circ$;

$$\beta = \pi - \alpha = \arctg[(Y_B - Y_C)/(X_B - X_C)] - \arctg[(Y_C - Y_A)/(X_C - X_A)];$$

π 为半圆弧度。

上述公式是一个自适应的线状要素图形概括模型。它的几何意义在于:当用户给定最小的曲线弯曲深度(D)后,系统按照上述公式,根据线状要素相邻三个数据点之间的连线夹角(β)自动确定作为数据过滤器的模板等腰三角形(其两腰边长为 d ,顶角为 β ,顶点到底边的垂距由 $D(\pi + \beta)/\pi$ 函数决定)。这样,当线状要素相邻三个数据点之间的两条连线距离都大于模板三角形的边长 d 时,则中间点被保留;反之被滤掉,其余依此类推。

显然,随着曲线弯曲角度 β 的增大,作为数据

过滤模板的三角形越大,这样对于不同角度的弯曲,系统自动确定不同边长的三角形作为数据过滤器以保证不同角度的特征弯曲点(指小角度的小弯曲、大弯曲和大角度的大弯曲)都被保留。由于该方法是用一个变化的三角形为模板对曲线上的矢量数据点做空间频率的滤波,因此称为变三角形滤波法。

从上述公式可以看出, d 的取值为一变量,例如当 $D=1.5\text{mm}$, $\triangle ACB$ 中的 AC 与 CB 的夹角 β 分别为 $\frac{1}{8}\pi$ 、 $\frac{1}{4}\pi$ 、 $\frac{1}{2}\pi$ 、 $\frac{3}{4}\pi$ 、 0.95π 时,两数据点之间最小距离 d 的取值如表1所示:

表1

$\beta(\pi)$	1/8	1/4	1/2	3/4	0.95
$d(\text{mm})$	0.93	1.31	8	9.28	55.69

由上表可以看出:随着 β 增加,点距阈值 d 逐渐增大;当 β 趋于 180° 时, d 值急剧增加,这种变化是非线性的。

3 具体实现步骤

例如图6所示的线状图(用虚线表示),应用变三角形滤波法实现图形概括的步骤如下:

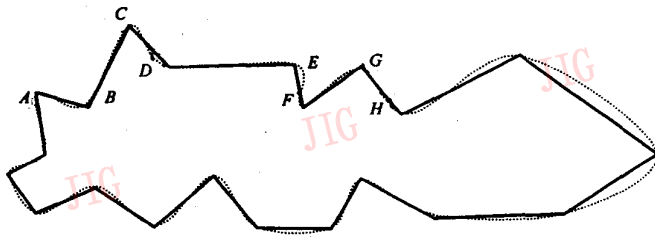


图6 变三角形滤波法实例

① 自曲线的起始点开始,选取该曲线中的三个相邻的数据点 A 、 B 、 C 构成三角形;

② 根据三个点的平面坐标,按上述公式计算出直线 AB 与 BC 的夹角 β 和点距阈值 d ,由顶角 β 和两腰边长 d 构成三角形滤波模板;

③ 分别计算出 AB 和 BC 的长度;

④ 如果 AB 和 BC 的间距都大于规定的三角形滤波模板的边长 d ,则 B 点被保留,反之 B 点被舍去;

⑤ 若 B 点被保留,则选取 B 、 C 、 D 三点构成新的三角形,重复上述操作,判断 C 点是否被保留;若 B 点被舍去,则选取 A 、 C 、 D 三点构成新的三角形,重复上述操作,判断 C 点能否被选取,依次类推,直到处理完整条曲线的全部数据点。

4 变三角形滤波模型评价

与传统的图形概括方法相比,变三角形滤波法具有如下优点:

① 算法简单,便于理解和实现;

② 同时考虑了影响曲线弯曲特征的多种因素,如:弯曲垂距、弯曲跨度、弯曲程度和弯曲角度等。这样使得对线状要素的形态特征描述更加全面,同

时该模型对曲线的形态化简更加合理;

③ 对于不同角度的弯曲,系统自动确定不同边长的三角形作为数据过滤模板以保证不同角度的特征弯曲点(指小角度的小弯曲、大弯曲和大角度的大弯曲)都被保留。

④ 曲线化简的点距阈值 d ,取决于曲线本身的形态特征,无须人为规定;若一次限定最小弯曲深度 D 的取值,可使矢量数据的空间滤波实现完全自动化;

⑤ 运算公式为简单的初等函数, d 的取值由最小弯曲深度 D 和弯曲角度 β (取决于各数据点的平面坐标)确定。对于具有 N 个数据点的曲线图形概括,系统执行 $N-1$ 次运算,因此该模型的计算复杂性基本由曲线上数据点的数量确定。

⑥ 当 D 取不同的值时,可以产生出不同概括程度的图形轮廓,以适应不同比例尺条件下不同要素的形态特征。

参考文献

- 1 祝国瑞,尹贡白.普通地图编制.测绘出版社,1980年.
- 2 罗宾逊 A H,塞尔 R D,等.地图学原理.测绘出版社,1989年.
- 3 胡友元,黄杏元.计算机地图制图.测绘出版社,1987年.
- 4 张文星,张晓春.地图制图与专家系统.地图,1990(4).
- 5 祝国瑞,徐肇中.普通地图制图中的数学方法.测绘出版社,

- 1990年.
- 6 黄杏元,汤勤. 地理信息系统概论. 北京:高等教育出版社, 1989年.
 - 7 周春平. 基于人工智能的遥感影像制图综合:[学位论文]. 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 1993年.
 - 8 术洪磊. 基于知识的遥感影像分类与制图综合方法研究:[学位论文]. 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 1995年.
 - 9 潘俊峰. 基于GIS环境的专家系统开发工具实验研究:[学位论文]. 北京大学遥感与地理信息系统研究所, 1990年.
 - 10 徐肇中. 用模糊综合评判原理建立地图上物体选取的一种数学模型. 测绘学报, 1986, (2).
 - 11 祝国瑞. 用等比数列法选取河流. 测绘通报, 1981, (2).
 - 12 祝国瑞. 指数方程及其在河流选取中的应用. 测绘通报, 1979, (6).
 - 13 徐肇中,冯可君. 模糊数学基础知识及在地图制图学中的应用讲座,第五讲:模糊综合评判方法在地图制图综合中的应用. 地图杂志, 1987, (2).
 - 14 何宗宜. 用多元回归分析法建立计算居民地选取指标的数学模型. 测绘学报, 1986, (1).
 - 15 王桥,胡毓钺. 基于分形分析的自动化制图综合研究. 测绘学报, 1995, (3).
 - 16 刘岳,梁启章. 专题地图制图自动化. 测绘出版社, 1981年.
 - 17 刘岳,梁启章. 制图自动化的数学方法. 测绘通报, 1979, (1).
 - 18 胡毓钺等. 数学制图学. 中国工业出版社, 1964年.
 - 19 Su Bo, Li Zhilin. An Algebraic Basic Basis for Digital Generalization of Area-patches Based on Morphological Techniques.
 - 20 Su Bo, Li Zhilin. From Phenomena to Essence Envisioning the Nature of Digital. Map Generalization.
 - 21 Li Zhilin. Some observation on the issue of line generalization.
 - 22 Francois Bouille. A Structured Expert System for Cartography Based on the HBDS.
 - 23 David M Mark. Conceptual based for geographic line generalization. ITC Journal, 1989, 3.
 - 24 Braford G Nickerso. Automated cartographic generalization for liner features. Cartographica, 1988, 25(3).
 - 25 K. Stuart Shea, Robert B McMaster. Cartographic Generalization In a Digital Environment When And How to Generalize.
 - 26 Mark Monmonier. Interpolated Generalization: Cartographic Theory for Expert Guided Feature Displacement, The American Cartographic.

李小娟 现在中国科学院遥感应用研究所攻读博士学位,专业研究方向为遥感与地理信息系统。目前参加的科研项目有国家“九五”科技攻关项目“3S技术综合应用”和“可持续发展决策支持系统示范工程”等。



尹连旺 1996年毕业于北京大学遥感与地理信息系统研究所,获得硕士学位,专业研究方向为数字制图、遥感与地理信息系统。现在北京大学遥感与地理信息系统研究所攻读博士学位。近年来在各类学术刊物上共发表“3S”文章6篇。



A New Technique for Map Generalization, Triangle-Varying Filtering Model

Li Xiaojuan, Cui Weihong

(Institute of Remote Sensing Applications, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

Yin Lianwang

(Institute of Remote Sensing and Geographic Information System, Peking University, Beijing 100871)

Abstract This paper presents a new graph simplification model, the varying-triangle filtering model, which not only considers the characteristics of computer cartographic generalization but overcomes the shortage of traditional methods as well. This model is easy to understand and operate. Meanwhile it can be used as a practical method in cartography generalization.

Keywords Graph simplification, Varying-triangle filter model