

利用栅格扫描数据 进行等高线的自动成组综合(化简)*

费 立 凡

【提要】 本文着重讨论了栅格数据经自动预处理后,让电子计算机模拟人工制图综合,采用二维空间的曲率比较,寻找等高线上的特征点、筛选谷地点、跟踪谷底线、区分谷地重要性、量测谷间距、判断谷地的取舍,进而实现等高线谷地弯曲的成组概括等问题,同时给出了初步试验的结果。

一、引 言

在机助制图的地图缩编中,对等高线进行自动综合的方法目前虽已有多种,但绝大多数只是面向单根等高线的化简,这样势必要歪曲制图区域的地貌形态;如果过份依赖手工数字化时由人工给出的各种特征码信息进行机助编图,则在实际上会大大降低自动化的程度。

本文主要探讨将全自动获取的栅格扫描数据进行预处理后,如何让电子计算机模拟人工智能,进行等高线的成组综合。本文实验的数据基础是模拟上述预处理后得到的结果。软件设计主要涉及采用二维空间的曲率比较,寻找等高线上的地貌特征点、筛选出谷地点、跟踪谷底线、区分谷地重要性、协调地貌版与水系版、对称鞍部的识别及处理、量测谷间距、谷地取舍决断、等高线图形的成组概括等问题的自动处理。至于自动移位、夸大、合并等其他综合手段尚有待进一步探索。

本文实验的软件调试工作均在微型计算机上完成,并借助栅格绘图机自动输出综合前、后的各幅试验样图。

二、等高线成组综合中的关键和实现自动成组综合的基本设想

(一) 等高线成组综合的关键

假定制图区域的地貌形态以正向为主,则对等高线图形的概括主要反映在删除次要沟谷方面。谷底线是反映各等高线谷地弯曲之间重要联系的天然纽带,故实现等高线成组综合的关键在于寻找出隐含在等高线图形或数据中的主要结构线(在这里是谷底线),使之与等高线建立有机联系,以便根据这种联系,统筹处理等高线上的成组谷地弯曲。

(二) 应用人工智能模拟的设想

许多研究表明:制图综合的许多部分不能直接算法化。但另一方面,经人类长期的制图实践和理论研究,常规制图综合已历史地发展起来。其中许多编绘原则,既有较高的科学性,又简易可行。这就产生了应用电子计算机,模拟人工智能,进行等高线自动成组综合的设想。

事实上,在常规编图中,作业员交替或协调地使用脑、眼、图、手、笔,使制图综合这

*本文系研究生毕业论文的一部分,指导教师为胡毓巨副教授,毋河海、徐庆荣讲师。

项工作能高效、优质地完成。对计算机而言，要模拟手、笔以及资料图作为记录介质的那部分功能，只要计算机按要求，在内存或外存中正确地记入所需要的信息即可。脑的指挥功能可以由处理程序本身来模拟；脑的记忆功能可以由计算机内存及外存的作用来模拟。为了使计算机在必要时也有图可“看”，以便迅速作出判断和反应，在内存中可放入一幅采用栅格扫描数据结构的、细化了的原始资料二象图“HEXMAP”，同时，在主程序控制下，计算机可随时调用某个子程序，对二象图中任何一个所需“看”的象元进行灰度值测试，并携带测试结果，返回主程序，以此来模拟眼睛的功能。

(三) 本文实验的数据基础

设一幅水系、地貌版资料原图，经分版或分色扫描数字化，然后利用专用软件进行预处理（已研制出这样的软件），就可得到本实验所用的数据文件。预处理流程图如下：

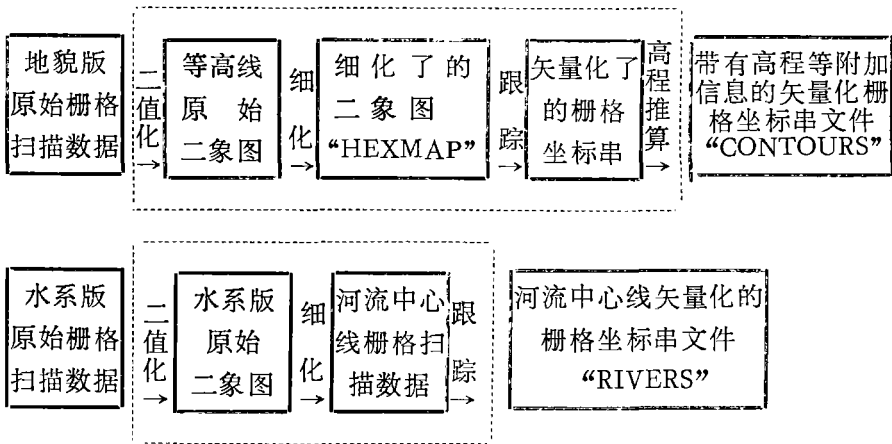


图1 (虚线框内为专用软件处理过程)

本文实验的数据基础是三个数据文件：1、顺序存取式文件“HEXMAP”——模拟预处理第二步后的中间结果，即一幅细化了的栅格扫描数据（二象图）。

2、随机存取式文件“CONTOURS”——模拟预处理后得到的等高线矢量化数据及一些附加信息。其格式为：

记录O: $k, m, l, b, N_0, N_1, \dots, N_i, \dots, N_k;$

记录 $i+1$: $i, Z_i, X_{i_0}, Y_{i_0}, X_{i_1}, Y_{i_1}, \dots, X_{i_j}, Y_{i_j}, \dots, X_{i_{N_i}}, Y_{i_{N_i}}, C_i;$
 $(i = 0, 1, \dots, k)$

其中: k 为全图等高线总根数减 1;

i 为等高线序号;

j 为栅格点序号;

$N_i (i = 0, 1, \dots, k)$ 为各根等高线细化后所含栅格点点数减 1;

$m = \max\{N_i; (i = 0, 1, \dots, k)\};$

l, b 分别为二象图的长和宽（以一个象元的边长为单位）;

X_{i_j}, Y_{i_j} 为第 i 根等高线第 j 栅格点的坐标对;

Z_i 为各根等高线高程;

C_i 为该等高线图形指示信息:

$$C_i = \begin{cases} 0, & \text{开曲线;} \\ 1, & \text{正向地貌闭曲线;} \\ -1, & \text{负向地貌闭曲线。} \end{cases}$$

3、随机存取式文件“RIVERS”——为了更好地考虑综合后的水系版与地貌版之间的协调关系,也为了利用水系版,提高自动寻找谷底线的正确性,故特意设置了此文件。它是模拟对应的水系版中,河流中心线矢量化了的栅格数据。除了没有 Z_i 和 C_i 外,格式同“CONTOURS”。

(四) 处理程序总体设计

为了让计算机模拟人工智能,对经预处理的栅格扫描数据进行等高线的自动成组综合,本文实验的总体设计如图2所示(见下页)。

三、软件设计中的基本算法

(一) 寻找地貌特征点

地貌特征点通常位于等高线某个弯曲中曲率相对为最大的位置。故可根据曲率值的计算,寻找出各地貌特征点。

我们知道,一根光滑的曲线经过栅格扫描数字化后,从所得的数据看,这根曲线已不是那么光滑了,而产生了一些微小的“颤动”,本文称之为“栅格化颤动”。由于曲率是描述曲线局部特征的量,故在求各点曲率值前,若不基本摆脱“栅格化颤动”的影响,则原曲线上各点真正的曲率值必然会被淹没在颤动所引起的各种伪曲率值中(见图3)。

为此,可将栅格点以尽可能接近理想分点距 Δl 的间隔进一步离散化,只把分点看成是原光滑曲线上的点。这样,就可大大摆脱“栅格化颤动”对求曲率值的影响。

如图4,设曲线 C 上的一点从 P_0 沿着曲线运动到邻近的一个位置 P_1 上,它原来的切线 l_0 也同时运动到 l_1 的位置,从 l_0 到 l_1 的转角为 $\Delta\alpha$,增量弧 $\widehat{P_0P_1}$ 的长度为 ΔS ,对应弦 $\overline{P_0P_1}$ 的长度为 Δl ,且设从 P_0 出发到 P_1 的方向上 ΔS 、 Δl 均取正值,从 P_0 到 P_2 的方向上 ΔS 、 Δl 均取负值。 K 表示 P_0 点的曲率。

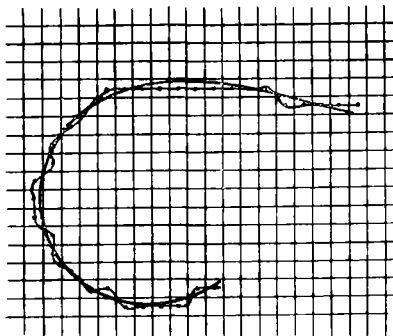


图3

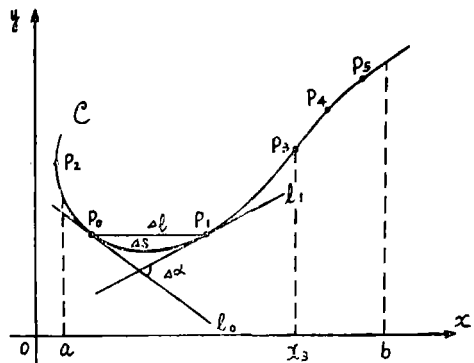


图4

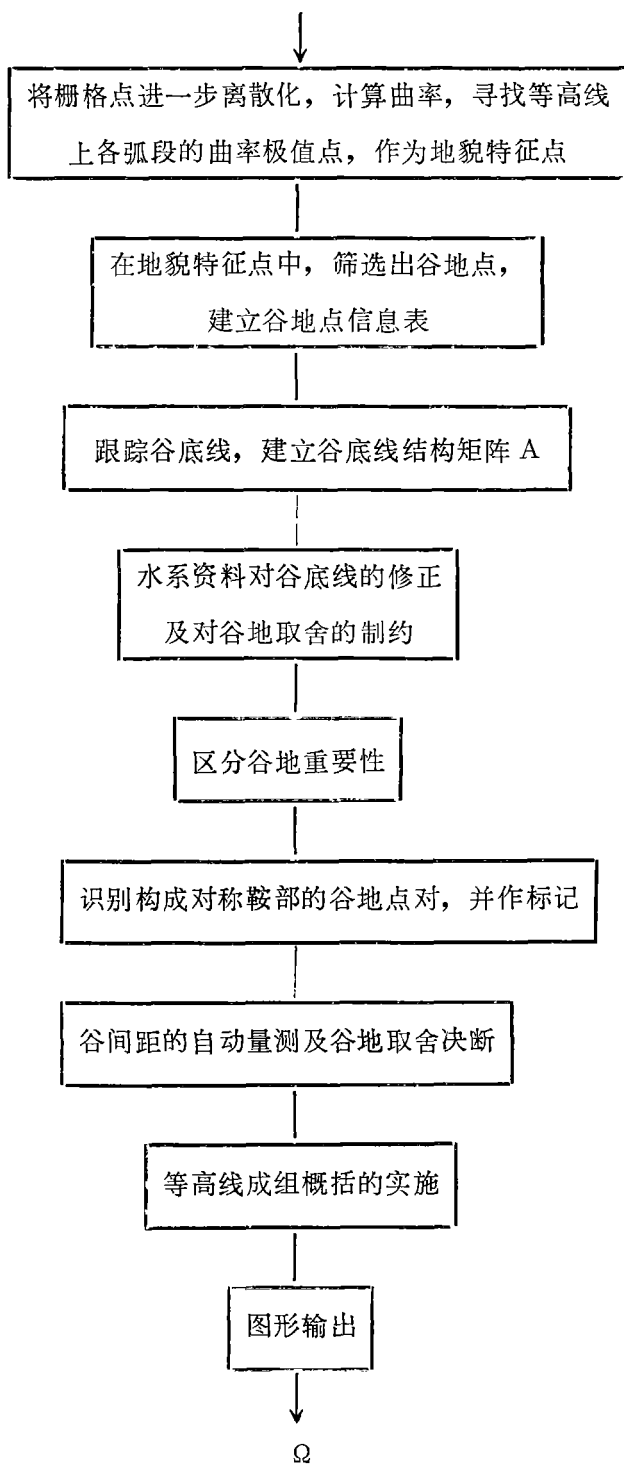


图 2

曲率定义为:

$$K = \lim_{\Delta s \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta S} = \frac{d\alpha}{ds} \quad (1)$$

按曲率的这种定义, K 可取正值、0、负值。另外, 在数学分析中已证明:

$$\lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta l} = 1. \quad (2)$$

即增量弧长 ΔS 和对应弦长 Δl 是等价无穷小。

$$\therefore \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta l} \text{ 及 } \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta S} \text{ 都存在, 且当 } \Delta S \rightarrow 0 \text{ 时, } \Delta l \rightarrow 0,$$

$$\therefore \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta l} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta S} \cdot \frac{\Delta S}{\Delta l} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta S}{\Delta l} \cdot \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta S} = \lim_{\Delta S \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta S} = K.$$

即由曲率定义, 已推出:

$$K = \lim_{\Delta l \rightarrow 0} \frac{\Delta \alpha}{\Delta l} \quad (3)$$

当 Δl 相当小时, $K \approx \frac{\Delta \alpha}{\Delta l} = K'$ 。 K' 为 $\widehat{P_0 P_1}$ 的近似平均曲率。

如图 4, 设在 (a, b) 上, $y = f(x)$ 为单值函数, 且 $f(x)$ 的二阶导数处处存在, $P_3(x_3, f(x_3))$ 为曲线 C 上的一个拐点, 则 $f''(x_3) = 0$, 且 $f''(x)$ 在拐点 P_3 两侧的附近根据位于曲线的上凹段还是下凹段而取不同符号的值。

由 (1) 式推出的曲率与二阶导数的关系式为:

$$K = \frac{y''}{(1 + y'^2)^{3/2}} \quad (4)$$

因 (4) 式右端分母恒为正, 所以在拐点两侧, 根据曲线段凹向不同, 曲率 K 值将取不同的符号。由于曲率是一种几何量, 因此, 通过对曲线分段和坐标系旋转来说明, 很容易将这一性质推广到多值函数的情况。

从以上讨论可知: 如果从等高线的一个端点出发, 沿着此曲线以相当小的弦长 Δl 依次截取等高线, 这样截得的每小段弧的近似平均曲率就可能取正值或负值, 也可能为 0。在拐点附近, 就会出现曲率值反号现象。本文实验中, 正是利用这一现象, 把等高线所表示的正向地貌段和负向地貌段区分开来。

在曲线中的每个同号曲率段内, 取出其近似平均曲率的绝对值最大的小弧段, 采用某种判别函数, 找出小弧段内包含的一个栅格点, 作为地貌特征点。本文实验中所采用的判别函数如下:

设在某同号曲率段内含有 n 个小弧段, 各小弧段的近似平均曲率为: K'_1, K'_2, \dots, K'_n ; 其中 $|K'_i| = \max \{ |K'_1|, |K'_2|, \dots, |K'_n| \}$; i 为不大于 n 的自然数。

又设在第 i 个小弧段内, 所包含的所有栅格点为 $P_{j+0}, P_{j+1}, \dots, P_{j+m}$, 则搜寻这样的点 P_{j+r} , 使

$$\left| \frac{(x_{j+r} - x_{j+0})^2 + (y_{j+r} - y_{j+0})^2}{(x_{j+r} - x_{j+m})^2 + (y_{j+r} - y_{j+m})^2} - \frac{|K'_{i+1}|}{|K'_{i-1}|} \right| \text{ 为最小 } (0 \leq r \leq m)$$

理想分点距 Δl 以多长为宜呢? Δl 值越大, 就越能减小栅格化颤动这一因素对所求曲率值的影响, 但太大了会使“以弦代弧”的近似程度下降, 甚至破坏小弧段之间近似平均曲率值的相对关系, 而且会忽略掉一些有意义的、表示地貌特征的小弯曲。综合考虑上述因素, 本文实验选用 0.4 毫米作为 Δl 的值。

设一根等高线依次被 Δl 截取, 截点分别为 P_1, P_2, \dots, P_n , 则把 $\overline{P_{i-1}P_{i+1}}$ 的方向角近似地认为等于过点 P_i 的、等高线的切线方向角 A_i ($i = 2, 3, \dots, n-1$)。切线转角 $\Delta\alpha_i = A_{i+1} - A_i$ (见图 5)。

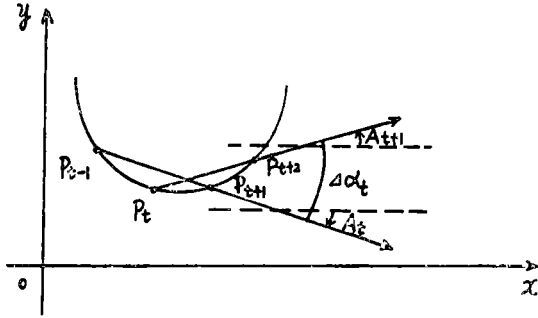


图 5

$\overline{P_i P_{i+1}}$ 的近似平均曲率:

$$K'_i \approx \frac{\Delta\alpha_i}{\Delta l_i} \quad (i = 2, 3, \dots, n-2) \quad (5)$$

上式分母之所以不用统一的 Δl 来表示, 是由于等高线数据是矢量化了的栅格点坐标对, 故在截取小弧段时, 是以截到距离最接近 Δl 的那一栅格点为原则的。

如前所述, 以 Δl_i 为间隔, 将等高线栅格点进一步离散化后, 只能减小“颤动”的影响, 从而计算出比较合乎实际的曲率值, 但是其中毕竟还存在着“栅格化颤动”因素, 若不将这种因素排除, 就会使等高线呈现出许多多余摆动, 从而给下一步处理带来麻烦。为了“滤掉”这种因素, 我们给出一个角度阈值 ω , 凡是 $|\Delta\alpha_i| > \omega$ 的小弧段, 在选拔近似平均曲率绝对值最大的弧段中, 才能成为候选者; 凡 $|\Delta\alpha_i| \leq \omega$ 的弧段, 即使其近似平均曲率值已出现反号现象, 程序将认为它们仍处于某同号曲率段内。 ω 的确定方法, 可参见论文原文附录 (一), 此处从略。

实验表明: 用上述方法得出的特征点位置, 在曲率较大的等高线弯曲中, 与人眼目估所定出的点位很相符, 但在曲率较小的平缓弧段中, 有时与人眼目估结果相差较远。即使就用这样的特征点, 对本文实验以后各步的处理来说, 精度也够了。但我们也知道, 寻找且保留特征点、舍去一般点, 已成为一种数据压缩的方法。为了使本文对特征点的寻找方法今后也能用于数据压缩, 也为了今后在进一步研究等高线综合时应用其他自动综合手段 (如内插等高线、移位等) 可能的需要打下基础, 有必要提高特征点点位的精度。本文实验采取了两个“后处理”步骤:

1、将 Δl 扩大 2 倍, 进行第二次特征点寻找, 其过程与上次一样。将两次寻找结果有机地结合起来, 凡本来处于曲率较大的弯曲中的特征点, 用第一次寻找结果; 处于平缓弧段中的特征点, 用第二次寻找结果; 凡被第二次忽略掉的小弯曲上的特征点, 仍用第一次结果。

2、作最后细微调整：如图6，如果原来寻找到 P_0 作为特征点，则以 P_0 为顶点，以定长 S 为腰长，在 P_0 附近栅格点上自动拟构等腰三角形 $Q_1P_0Q_2$ 。一一计算 $\widehat{Q_1Q_2}$ 之中每一个栅格点到直线 $\overline{Q_1Q_2}$ 的距离，将其距离最大者重新定义为特征点。例如，在图6中， P_1 将取代 P_0 成为特征点。

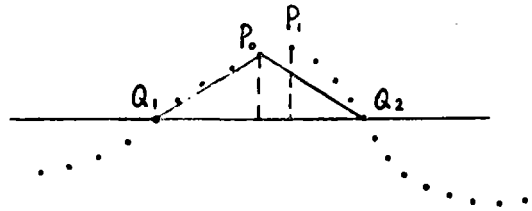


图6

对于每个特征点，利用所拟构的等腰三角形顶角平分线的斜率，作为过此特征点的、等高线上的法线斜率。

此外，取各特征点所在的小弧段的近似平均曲率值，作为该点的参考曲率值。用下列各种数组中的元素来记录各特征点的一些属性：

- X: 特征点栅格坐标的x值；
- Y: 特征点栅格坐标的y值；
- F: 特征点在本等高线上的栅格点序号；
- T: 过特征点的、等高线上的法线斜率；

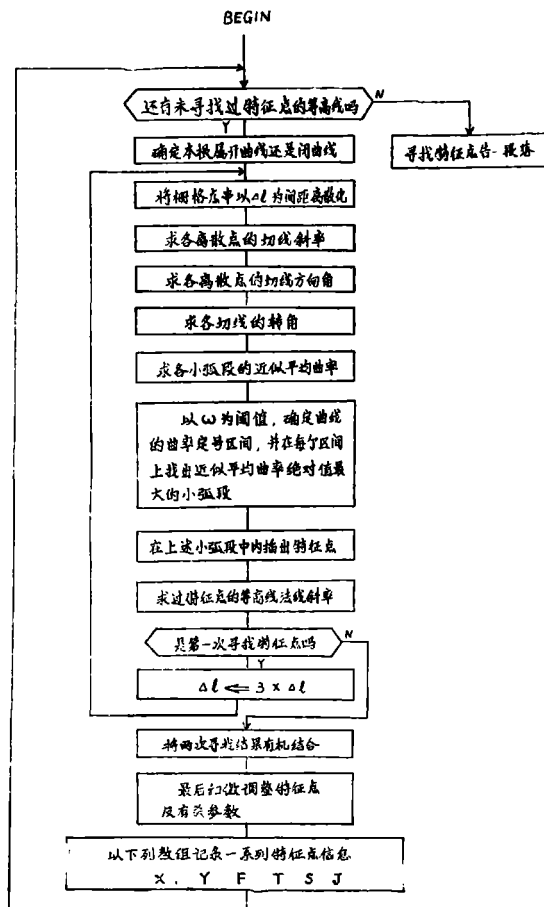


图7

K: 特征点的参考曲率值;

J: 该特征点所属的等高线编号。

图7是自动寻找等高线特征点的程序设计详解框图。

(二) 调整参考曲率值符号, 使其与地性符号相一致

至此, 参考曲率值的正负号, 只能把同一根等高线上正向和负向地貌特征点区分开来, 但其符号不见得都与地性符号(指用“+”代表正向地貌、“-”代表负向地貌)相对应。等高线矢量化时的跟踪方向, 若按图1专用软件的某种规定(如从图廓西北角起, 顺时针方向沿图廓搜索, 凡遇新等高线的一个端点, 就作为跟踪起点; 且按扫描顺序逐根逆时针跟踪闭曲线), 则通过上述方法寻找出特征点后, 样图各点的参考曲率值符号如图8所示。

这一部分程序的任务, 是对于每根等高线, 给出一个特征点的参考曲率符号的调整系数 $S(i)$, 使这根等高线上所有特征点的参考曲率值乘上 $S(i)$ 后, 其符号与地性符号一致起来, 以便下一步处理时能认清正向地貌特征点及谷地点。显然, $S(i)$ 的取值范围只需是 +1 和 -1。

本处理程序就是按图9所示的设计方法, 推算各根等高线特征点参考曲率值的符号调整系数 $S(i)$ 的。

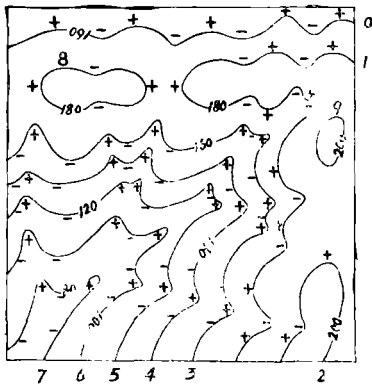


图8

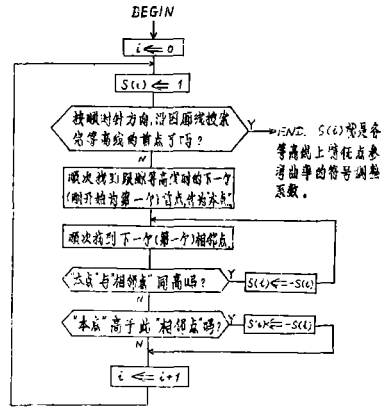


图9

若从表示正向地貌的闭曲线上首先扫描到的点出发, 跟踪方向是逆时针, 则其调整系数总为 +1。

如图8所示的情况, 推算结果为:

$$S(0) = 1; \quad S(1) = 1; \quad S(2) = 1; \quad S(3) = -1;$$

$$S(4) = -1; \quad S(5) = -1; \quad S(6) = -1; \quad S(7) = -1; \quad S(8) = 1。$$

用各调整系数乘以各等高线上的特征点参考曲率值后, 其符号已与地性符号相一致。

(三) 跟踪谷底线

在跟踪谷底线之前, 先选出所有谷地点并编号, 同时对应地选出各谷地点的有关属性, 以此建立谷地点信息表。某谷地点的一切属性, 可以按谷地点编号, 在谷地点信息表中取得。

跟踪谷底线的具体目的是要产生一个谷底线结构矩阵 $A_{m \times n}$, 其中每一个非负元素 a_{ij} 代表一个谷地点编号。设 h_0 为全图等高线的最低高程, S_0 为等高距, $Z_{a_{ij}}$ 表示编号为 a_{ij} 的谷地点高程, 则要求:

- (1) 用集合 $M = \{a_{ij} | \text{sgn}(a_{ij}) \neq -1\}$ 表示全图所有的谷地点;
- (2) 用向量 $\alpha_i = (a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in})$ 表示一根谷底线;
- (3) $Z_{a_{ij}} = h_0 + (j-1)S_0$
($i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n | a_{ij} \in M$)

跟踪方法是从高程最低的等高线上某一谷地点出发, 在二象图“HEXMAP”中, 按一定角度范围搜索较高的相邻等高线上的谷地点, 这种谷地点称为被跟踪的候选点。存在着下述几种可能性和处理方法:

- (1) 若没有这样的候选点, 则此谷底线的跟踪结束, 另找出发点跟踪;
- (2) 若只有一个这样的候选点, 且这个候选点未被其他谷地点跟踪过, 则将此点点号记入 A 阵跟踪出发点号所在行的下一列内。
- (3) 若只有一个这样的候选点, 但出现谷底线“合并”情况, 则按套合指数计算公式一(详述于后), 分别计算两个出发点与被跟踪的候选点所在的两对谷地弯曲的套合指数。取使其套合指数较大的出发点, 作为谷底线主方向上的出发点, 而割断另一对谷地点间原来可能因跟踪谷底线而发生的联系。
- (4) 若不止搜索到一个这样的候选点, 即出现谷底线“分叉”情况, 则按套合指数计算公式二, 分别计算跟踪出发点与多个被跟踪候选点所在的多对谷地弯曲的套合指数。取使其套合指数最大的候选点, 作为主方向上的被跟踪点; 其余候选点均作为新的出发点。每判别处理一个点, 就记在 A 阵的适当行、列中。

套合指数是衡量跟踪出发点及被跟踪候选点所在谷地弯曲之间套合程度的一种相对指标值。

套合指数计算公式一:

$$\tau_i = \frac{|K_{A_i}|}{d_i^2 (|\alpha_i| + |\beta_i|)} \quad (i = 1, 2) \quad (6)$$

套合指数计算公式二:

$$\tau_i = \frac{d_i^2 |K_{B_i}|}{|\alpha_i| + |\beta_i|} \quad (i = 1, 2, \dots, n) \quad (7)$$

其中:

τ ——套合指数;

α 和 β ——分别指在跟踪出发点及被跟踪候选点处等高线法线与这两点连线的夹角(取锐角);

d ——两谷地点间的距离;

K_A 和 K_B ——分别指等高线上在跟踪出发点及被跟踪候选点处的参考曲率值。

采用以上经验公式的理由此处从略。

(四) 考虑和处理水系版与地貌版的关系

这段程序的目的是有两个:

(1) 利用水系资料“RIVERS”，对谷底线跟踪结果作检核。即根据河流中心线细化了的矢量化栅格坐标对数据，依次从河流在图内的下游开始，沿着河流中心线，“逆流而上”地密集测试二象图“HEXMAP”，直到找到与等高线的交点为止，然后利用谷地点信息表，找到与这个交点对应的谷地点，并将谷地点编号依次与谷底线结构矩阵A中相应位置的元素分别核对，若发现有关谷底线走向与水系走向不符，则在A阵中对该谷底线走向作调整。

(2) 给载有河流的那些谷底线作上标记，使以后在等高线谷地弯曲的成组概括时能贯彻“有水必有谷”的原则。

(五) 区分谷地重要性

在等高线成组概括时，应保留重要谷地、删除某些次要谷地，故有必要区分谷地重要性。本文实验的衡量方法是计算各根谷底线的近似长度（折线累加长），并一般以谷底线的长度作为表达谷地重要性的指数。

凡是因载有河流而一定要保留的谷地，处理程序对其谷底线赋予一个大大超过此谷底线实际长度的、象征性的长度值，以确保在凭谷底线长度决定取舍时，此谷地绝不可能被舍去。

(六) 对称鞍部的识别及处理

这部分程序从垂直投影角度出发，自动识别构成对称鞍部（包括半鞍部）的成对谷地，并作好标记，以便以后在实施等高线图形概括时，同时保留或舍弃山脊两侧的对称谷地，以保持对称鞍部这一地貌形态的基本特征。

如图10， l 为谷地顶点A与B的连线。将法线与 l 的夹角 α 和 β （均取锐角绝对值）称为错位角。错位角之和大小不同，可以影响到谷地的对称性。例如如图10所示为对称型，而图11则不是对称型。图12说明光凭错位角之和小还不能肯定谷地点A和B一定是对称型，还和等高线在A、B处弯曲的凸向有关。另外，还跟A、B间的直线扫视结果有关。例如，图13和图14两种情况，我们认为尚属对称型；而图15中，由于等高线的迂回破坏了A、B间原有的、直接的对称性，故这两个谷地不属对称型。

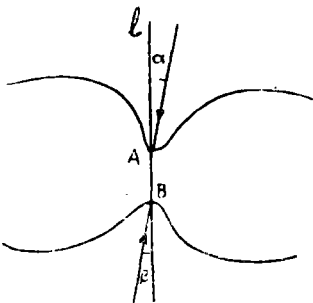


图10

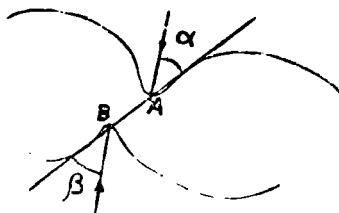


图11

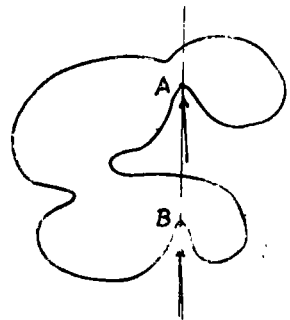


图12

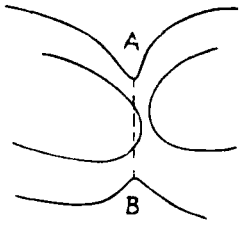


图13

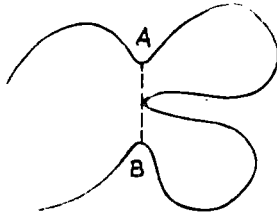


图14

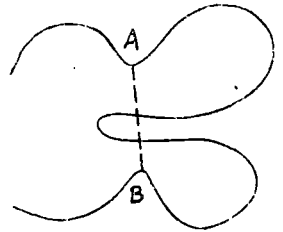


图15

构成对称鞍部的谷地点的成对寻找及初步处理方法列于图16

**(七) 谷间距的自动量测及谷地取舍
决断**

这部分程序的功能是对资料图上各种谷间距进行自动量测, 根据预先给定的谷间距选取指标, 参考各谷地的重要性指标, 决定谷地的取舍。本文实验的谷间距选取指标是根据对制图区域地貌特征的分析及缩编倍率, 由人机对话方式给出。

将要量测其谷间距的两根谷底线与同高等高线的两个交点称为可比点。本文还定义了谷底线的方向角: 如果通过两谷底线上各可比点对中属于其中某一根谷底线的那些谷地点, 拟合一条直线, 直线上由低到高(指高程)的方向相对于x轴的角度。

谷间距量测的基本算法是分别利用两组可比点, 根据线性相关分析及最小二乘法, 找出线性回归系数, 从而拟合直线 l_1 和 l_2 (若每组可比点只有一个, 则利用点坐标及法线斜率, 拟合直线 l_1 和 l_2), 求 l_1 和 l_2 交角的平分线 l_3 的方程。设可比点共有 $n(n \geq 1)$ 对, 求出每组可比点到 l_3 的距离 d_{1_i} 和 d_{2_i} ($i = 1, 2, \dots, n$), 取 $\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (d_{1_i} + d_{2_i})$ 作为这两

根谷底线所在谷的谷间距。为了避免量测谷间距、决定谷地取舍时过度机械, 处理程序先计算谷底线方向角差。只有当方向角差绝对值小于某一阈值时, 才量测谷间距, 并与谷间距选取指标作比较, 决定取舍; 否则, 两谷地均暂时保留。直至每两根谷底线之间均作过这类考察、取舍为止。

(八) 等高线图形概括的实施

对于等高线上需删除的谷地弯曲, 处理程序按所设计的最大张角迭代法, 求出谷口两侧

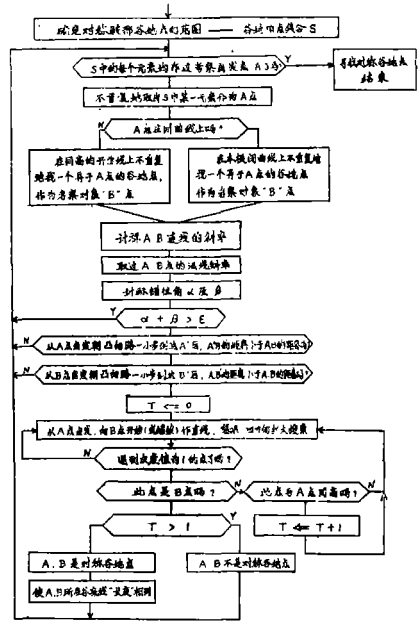


图16

“公切线的切点” T_1 和 T_2 (见图17)。

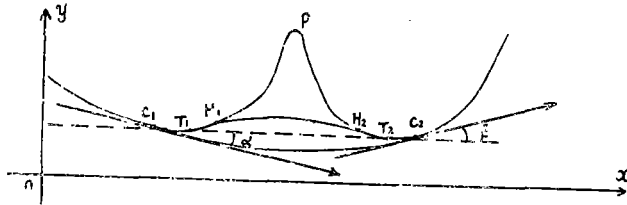


图17

最大张角迭代法的基本思想如图18所示。

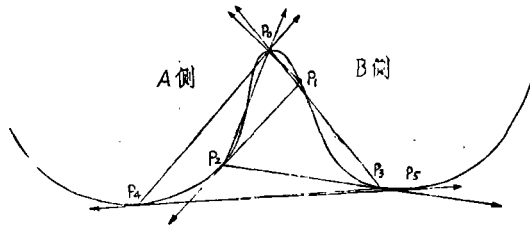


图18

设 P_0 为要删除的谷地点。首先在 P_0 的附近取曲线上的一点 P_1 ，以 P_1 为原点，作射线 P_1P_0 。设 P_1 在 P_0 的 B 侧，则让点 P 从 P_0 开始在其 A 侧沿曲线运动，在运动过程中，张角 $\angle P_0P_1P$ 逐渐增大，过了某一点， $\angle P_0P_1P$ 又逐渐减小。设使张角取得极大值的时候， P 点的位置为 P_2 。再以 P_2 为原点，作射线 P_2P_0 ，让 P 从 P_1 出发，背向 P_0 ，沿曲线向前运动。设使张角 $\angle P_0P_2P$ 取得极大值的时候， P 点的位置为 P_3 ……依次类推地取得 P_4, P_5, \dots ，直到所取得的 P_{n-1} 与 P_{n+1} 的距离小于预定的 ϵ ，且 P_n 与 P_{n+2} 的距离也小于 ϵ ，则 P_{n-1} 与 P_n 就是所求的“公切线的切点” T_1 和 T_2 。

在 P 背向 P_0 ，沿曲线运动的过程中，如果遇到另一个谷地点，则必须立即停止向前运动，并将此谷地点作为“公切线”的“切点”之一。

找到 T_1 和 T_2 以后，对应一定的谷地删除手法，在“公切线的切点”某一邻域内选取适当的两点（例如图 17 中的 C_1 和 C_2 ），分别利用 $C_1、C_2$ 附近的栅格点坐标，求出这两点处曲线的切线方向角 $\alpha、\beta$ ，在 $C_1、C_2$ 之间用一条新曲线代替老谷地弯曲。新曲线的参数方程为：

$$\begin{cases} x = \sum_{n=0}^3 p_n z^n \\ y = \sum_{n=0}^3 q_n z^n \end{cases} \quad (8)$$

其中 $p_n、q_n$ ($n = 0, 1, 2, 3$) 均为常数， z 为参数。

令上式满足以下条件：

$$\begin{cases} x|_{z=0} = x_{C_1} \\ x|_{z=1} = x_{C_2} \\ \left. \frac{dx}{dz} \right|_{z=0} = r \cos \alpha \\ \left. \frac{dx}{dz} \right|_{z=1} = r \cos \beta \end{cases} \quad \text{及} \quad \begin{cases} y|_{z=0} = y_{C_1} \\ y|_{z=1} = y_{C_2} \\ \left. \frac{dy}{dz} \right|_{z=0} = r \sin \alpha \\ \left. \frac{dy}{dz} \right|_{z=1} = r \sin \beta \end{cases} \quad (9)$$

以此解出 p_n 、 q_n ($n = 0, 1, 2, 3$) :

$$\begin{cases} p_0 = x_{C_1} \\ p_1 = r \cos \alpha \\ p_2 = 3(x_{C_2} - x_{C_1}) - r(\cos \beta + 2\cos \alpha) \\ p_3 = -2(x_{C_2} - x_{C_1}) + r(\cos \beta + \cos \alpha) \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{cases} q_0 = y_{C_1} \\ q_1 = r \sin \alpha \\ q_2 = 3(y_{C_2} - y_{C_1}) - r(\sin \beta + 2\sin \alpha) \\ q_3 = -2(y_{C_2} - y_{C_1}) + r(\sin \beta + \sin \alpha) \end{cases} \quad (11)$$

故综合后的等高线图形在 C_1 、 C_2 点可保持一阶导数连续。

新曲线的松紧, 可通过改变 r ($r \geq 0$) 的值来控制。对制图上常用的手法来说,

$r = k\sqrt{(x_{C_2} - x_{C_1})^2 + (y_{C_2} - y_{C_1})^2}$ ($0.5 \leq k \leq 1.5$) 较为适中。当 r 取值愈大, 则曲线愈松; r 取值愈小, 则曲线愈紧; 当 $r = 0$ 时, 则曲线蜕化为直线。

利用这一性质, 通过人机对话和(或)程序控制, 改变 r 值, 可提高新曲线的制图适应性, 使新曲线图形自然, 松紧适宜。

四、初步试验结果

图19显示了不同的两幅资料样图, 用本文实验处理程序自动综合前后的图形对比(四幅图形均用栅格绘图机输出)。

对以上初步试验结果进行了分析和评价, 认为基本上达到了笔者的设计要求, 并曾对不足之处提出了一些改进措施(限于篇幅, 此处从略)。

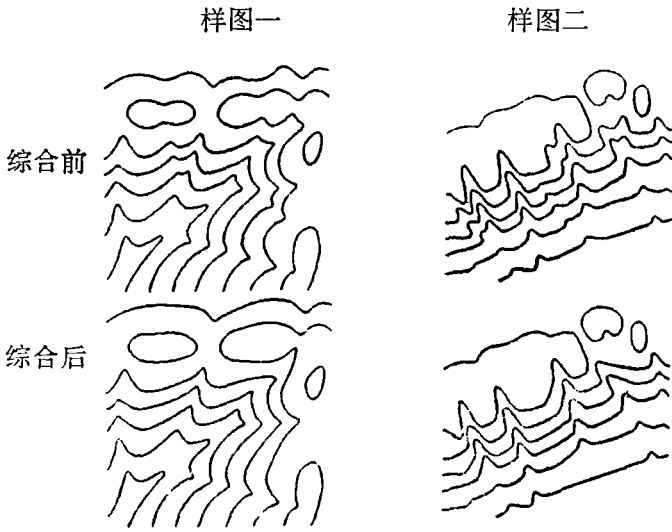


图19

五、结 论

(一) 为了提高机助编图的自动化程度, 利用不带特征码的栅格扫描数据, 实现等高线的自动成组综合是可能的。

(二) 等高线数据的栅格化在本文实验中只是作为图形自动地输入、输出的一种手段, 故本文所述的基本思想及方法也适用于对矢量化数据的等高线进行自动成组综合(必要时可加密原始数据)。

(三) 在发展和完善制图综合理论的同时, 结合现有的常规地图编制理论和方法, 进行程序设计, 利用电子计算机模拟人工智能, 有望获得较为直接而良好的效果, 是可以继续探索的途径之一。

参 考 文 献

- [1] 毋河海: 地貌形态自动综合的原理与方法 1981
- [2] 孙亚梅、胡友元: 等高线自动综合初探 南京大学地理系 1981
- [3] 刘 岳、梁启章: 制图自动化《测绘通报》1978年第4、5、6期, 1979年第1期
- [4] 祝国瑞、尹贡白: 《普通地图编制学》 1981
- [5] 杨学平: 《计算机绘图》电力工业出版社 1980
- [6] 武汉测绘学院地图制图系制图自动化研究室: 《计算机地图制图讲义》(上册) 1981
- [7] 张家庆、苏山舞、胥燕婴: 《等高线扫描数字化软件包》国家测绘局测绘研究所制图自动化研究室

- [8] 范小林: 等高线数据压缩的算法和程序 《军事测绘》 1981年第 4 期
- [9] 范小林、李继先: 《等高线自动化简的若干方法》总参测绘局研究所 1981
- [10] 贺述臣、白锦铭: 《等高线光栅数据到矢量数据的转换》总参测绘局研究所 1981
- [11] Wigand Weber: Automationsgestützte Generalisierung—Nachrichten aus dem Karten—und Vermessungswesen, Heft Nr.88
- [12] International Cartographic Association: Computer-assisted Cartography, Vol. I & II, 1981.10
- [13] 杜道生、费立凡: 《三点式求导分段三次多项式插值法》中国测绘学会第二届综合性学术年会论文 1979

Automatic Generalization (Simplification) of Contours in Groups Using Raster Data

Fei Lifan

Abstract

This paper deals with the computer simulation of manual cartographic generalization using automatically pre-processed raster data of contours by comparing the two-dimensional curvatures to search for the feature points on the contours, filtering out the valley points, tracing the valley lines, deciding the valleys to be remained on the basis of evaluating the importance of each valley and measuring the mean distance of every couple, and generalizing the valley curves in groups. Results of preliminary experiments are also included.