

光滑条件约束下密集等高线识别算法研究*

邓德祥 苗 京 吴章华

(武汉测绘科技大学光电工程学院, 武汉市珞喻路 129 号, 430079)

摘 要 介绍了一种在光滑条件约束下密集等高线的跟踪识别方法, 解决了等高线的光滑和保真识别问题

关键词 数字图像; 密集等高线; 光滑矢量化

分类号 TP751.1; P208; P283.7

在对地形图进行数字化时, 传统方法以手扶跟踪数字化为主要手段, 这种方法的主要问题是作业效率低下, 因此人们正致力于高效率的扫描自动数字化研究。然而, 由于扫描仪分辨率以及成像系统的散焦和外部干扰等因素影响, 导致扫描仪输入图像的退化, 其典型现象是图像模糊。在对 1:25 万分版等高线图进行实验时, 由于图像模糊等因素的制约, 导致等高线打折 (如图 1 所示) 和尖峰偏离 (如图 2 所示) 等失真。因此, 等高线的光滑和保真识别就成为等高线扫描数字化技术在生产应用中的关键问题之一。

图 1 等高线打折

Fig. 1 Bending of Contour

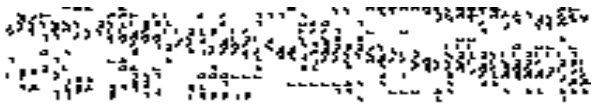


图 2 尖峰偏离

Fig. 2 Leaving of Peak

本文提出了一种新的等高线识别方法。其基本过程可概述如下: 首先利用断面分析法 (PAO

法) 在模糊图像上进行初始跟踪, 获取一组等高线初始点; 再基于这些初始点, 依据图像模糊模型, 形成一条模糊带状图像; 在光滑条件约束下逐点摆动初始点使其和背景图像的等高线影像达到最佳匹配。根据本文方法对实际的等高线图像进行了试验, 结果表明是可行且有效的。

1 基本原理

1.1 三次 B 样条拟合等高线

设 P_1, P_2, \dots, P_n ($n \geq 4$) 为给定空间的 n 个点, 称参数曲线

$$Q(t) = \sum_{i=1}^n P_i B_{i,4}(t), \quad 0 \leq t \leq n-3 \quad (1)$$

为三次 B 样条曲线, 折线 $P_1 P_2 \dots P_n$ 为 $Q(t)$ 的控制多边形。称点集 $\{P_i\}$ 为 $Q(t)$ 的控制顶点, (1) 式中 $B_{i,4}(t)$ 为三次 B 样条的基函数。 $B_{i,4}(t)$ 的重要特征之一是在参数变化范围内, 各函数只在部分区间内函数值不为零, 从而 $Q(t)$ 可分为 $n-3$ 个三次参数曲线段 $Q_1(t), Q_2(t), \dots, Q_{n-3}(t)$, 每段曲线受到 4 个控制点控制。调整参数 t , 使每个曲线段可以在各自的区域内定义 ($0 \leq t \leq 1$), 则 (1) 式的矩阵表达式为:

$$Q(t) = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} t^3 \\ t^2 \\ t \\ 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} P_i \\ P_{i+1} \\ P_{i+2} \\ P_{i+3} \end{bmatrix} \quad 0 \leq t \leq 1, \quad 1 \leq i \leq n-3 \quad (2)$$

对于光滑等高线, 采用 (2) 式所表示的曲线段序列 $Q_1(t), Q_2(t), \dots, Q_{n-3}(t)$ 来逼近。其拟合的曲线不仅具有二阶几何连续性, 即位置、切线方向以及曲率的连续 (满足等高线光滑约束条件), 而

且有完全的局部控制性,适合于设计逐点迭代算法。

1.2 图像退化模型

在几何光学条件下,原始图像函数 $f(x,y)$ 和其退化图像函数 $g(x,y)$ 有如下关系式:

$$g(x,y) = h_r(x,y) * f(x,y) + u(x,y) \quad (3)$$

式中, $u(x,y)$ 是随机噪声; * 表示卷积运算; $h_r(x,y)$ 是成像系统的点扩展函数(即退化模型),它可由(4)式表示:

$$h_r(x,y) = \begin{cases} 1/r^2 & x^2 + y^2 \leq r^2 \\ 0 & x^2 + y^2 > r^2 \end{cases} \quad (4)$$

(4)式中 r 为模糊范围半径,在实验中,取 $r=2$ 退化模型的实验结果另文发表。

1.3 匹配原则

设 $Q(x,y)$ 为三次 B 样条曲线 $Q(t)$ 离散生成的图像,定义匹配系数 V 为:

$$V = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} (g(x,y) - Q(x,y) * h_r(x,y))^2 dx dy \quad (5)$$

当摆动 $Q(t)$ 的控制顶点 $\{P_i\}$ 时,匹配系数 V 也会跟着变化。寻找使匹配系数 V 最小的控制顶点 $\{P_i\}$,即为所求等高线最佳控制点。至此,我们将等高线的光滑识别问题转化成为 V 的极小化问题,即

$$V\{P_i\} \rightarrow \min \quad (6)$$

2 寻找最佳匹配的摆动迭代算法

算法的具体步骤为:

首先利用断面分析法 (PAO法) 在模糊图像上进行初始跟踪,获取一组等高线初始点 $P_1, P_2, \dots, P_n (n \geq 4)$,如图 3 所示。图 3(b) 为图 3(a) 中虚线框放大图。

再对 4 个初始点 $P_i, P_{i+1}, P_{i+2}, P_{i+3} \{i=1, 2, \dots, n-3\}$ 作如下工作:

1) 采用 (2) 式拟合 $P_i, P_{i+1}, P_{i+2}, P_{i+3}$, 形成三次 B 样条曲线 $Q(t)$ 。

2) 离散生成 $Q(t)$ 的图像 $Q_i(x,y)$, 记点 $P_i = (X_i, Y_i)$ 。令 $d = \min \|P_{i+2} - P_{i+1}\|$, 则图像 $Q(x,y)$ 由 d 个黑像素点组成,像素的 w 坐标计算如下:

$$A_x = (-X_{i+1} + 3X_{i+2} - 3X_{i+3} + X_{i+4}) / 6$$

$$B_x = [(X_{i+1} + X_{i+2}) - X_{i+3}] / 2$$

$$C_x = (X_{i+2} - X_{i+1}) / 2$$

$$D_x = (X_{i+1} + 4X_{i+2} + X_{i+3}) / 6$$

$$W_1 = (1/d)^2 \quad W_2 = A_x W_1 (1/d) \quad W_3 = B_x W_1 (1/d)$$

$$x_0 = D_x \quad \Delta x = W_2 + W_3 \quad C_x / d$$

$$\Delta^2 x = 6W_2 - 2W_3 \quad \Delta^3 x = 6W_3$$

for ($k=1; k < d; k++$)

$$\{x_k = x_{k-1} + \Delta x; \Delta x = \Delta x + \Delta^2 x;$$

$$\Delta^2 x = \Delta^2 x + \Delta^3 x; \}$$

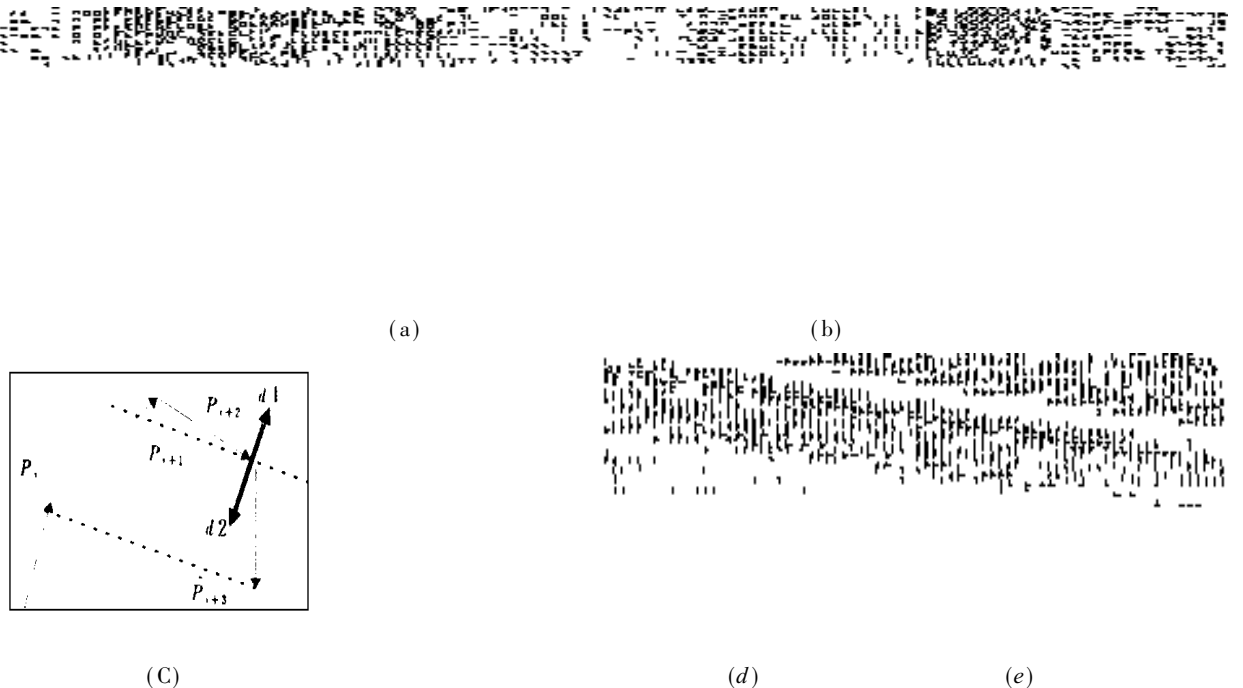


图 3 算法流程示意图
Fig. 3 Diagram of Algorithm Flow

$Q_i(x, y)$ 的 d 个黑像素点的 y 坐标计算和 x 坐标计算过程完全相同, 仅需将过程中的 x 替换为 y 即可。

3) 将 $Q_i(x, y)$ 同退化模型 $h_r(x, y)$ 进行卷积, 形成模糊图像 $q_i(x, y)$, 并计算出匹配系数 V_i 。

4) 随后在 P_1P_3 的法线方向 d_1, d_2 上(如图 3(c)所示)摆动点 P_2 。其摆动顺序是 d_1 方向的 1, 2, 3, 4 d_2 方向的 -1, -2, -3, -4 重复(1)(2)(3)步, 若向 d_1 方向摆动时, V 值连续两次增加则停止该方向摆动; 改向 d_2 方向摆动, 若 V 值增加则摆动停止。此时 P_2 点即为最终等高线之 B 样条控制点。另外为保持曲线的尖峰不受影响, 一组初始点的头尾 4个点应保持不变。图 3(d)是离散生成 B 样条曲线 $Q(t)$ 的图像 $Q_d(x, y)$, 图 3(e)是 $Q_d(x, y)$ 同退化模型 $h_r(x, y)$ 卷积, 从而形成模糊图像 $q_d(x, y)$ 。

试验在四川测绘局数字化基地进行, 试验资料为两幅 1: 25万单要素等高线版胶片。图像输入设备为 HP4P扫描仪(光学分辨率 300dpi, A4幅面, 24位图像), 扫描时参数设置为 300dpi, 8位灰度图像。试验用机为 AST AT5/120微机。试验分两次进行, 第一次试验未采用上述光滑识别方法, 第二次试验采用本文所述的在光滑条件约束下密集等高线的跟踪识别方法。试验结果全部由四川测绘局数字化基地质量检定室提供。

3.2 试验结果

3 试验结果

3.1 试验环境

表 1 第一幅图套合结果(未光滑)(/mm)

Tab. 1 The Results of First Map(Un-smooth)(/mm)

点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
偏差	0.2	1.3	1.5	0.7	2.7	3.2	0.1	2.8	1.3	0.1	0.0	0.4	0.3	1.0	2.0	1.2	0.2
点号	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
偏差	0.5	0.2	0.1	0.0	0.1	0.4	0.1	0.4	0.9	0.2	0.3	0.4	1.2	1.0	2.0	0.0	0.1
点号	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
偏差	0.0	0.1	0.6	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.7	0.0	0.5	0.3	0.2	0.1	0.3	0.2	

表 2 第二幅图套合结果(未光滑)(/mm)

Tab. 1 The Results of Second Map(Un-smooth)(/mm)

点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
偏差	0.3	0.3	0.5	0.6	1.5	2.2	0.2	1.8	0.3	0.4	0.1	0.5	0.1	1.1	1.0	0.2	1.0
点号	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
偏差	1.5	0.3	0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.1	1.0	0.1	1.3	0.4	0.2	0.0	1.0	0.5	0.2
点号	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
偏差	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.7	0.1	0.2	0.2	0.1	0.2	0.1	0.4	0.7	0.1	0.5	

表 3 第一幅图套合结果(光滑)(/mm)

Tab. 1 The Results of First Map(Smooth)(/mm)

点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
偏差	0.1	0.3	0.3	0.4	0.2	0.2	0.1	0.3	0.0	0.1	0.1	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0	0.2
点号	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
偏差	0.2	0.1	0.1	0.0	0.1	0.4	0.1	0.4	0.2	0.2	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	0.0	0.1
点号	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
偏差	0.0	0.1	0.2	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.2	0.1	0.0	0.0	0.0	

表 4 第二幅图套合结果 (光滑) (/mm)

Tab. 1 The Results of Second Map(Smooth) (/mm)

点号	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
偏差	0.2	0.3	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.0	0.1	0.1	0.3	0.0	0.1	0.3	0.2
点号	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
偏差	0.1	0.2	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	0.4	0.2	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0
点号	35	36	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	
偏差	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	0.1	0.1	0.1	0.0	0.3	0.0	0.2	0.1	0.3	0.2	

表 5 套合结果比较 (/mm)

Tab. 5 Comparison of Results (/mm)

	最小偏差	最大偏差	平均偏差
第一幅图套合结果(未光滑)	0.0	3.2	0.62
第一幅图套合结果(光滑)	0.0	0.4	0.14
第二幅图套合结果(未光滑)	0.0	2.2	0.49
第二幅图套合结果(光滑)	0.0	0.4	0.14

表 5说明采用本文介绍的方法对等高线进行识别,其最大偏差为 0.4mm,平均偏差为

0.14mm,基本满足等高线的光滑和保真识别要求

致谢:本研究工作在林宗坚教授、卢健教授直接指导下进行,特此致谢。

参 考 文 献

- 1 唐荣锡,汪嘉业,彭群生.计算机图形学教程.北京:科学出版社,1994.
- 2 王之卓.摄影测量原理续编.北京:测绘出版社,1986.
- 3 冯 康.数值计算方法.北京:国防工业出版社,1978.

On the Recognition of the Intensive Contour Map Based on Restraint of Smooth

Deng Dexiang Miao Jing Wu Zhanghua

(School of Photoelectric Engineering, WTU SM, 129 Luoyu Road, Wuhan, China, 430079)

Abstract In this paper, the problem of contour smooth recognition is discussed. The method regarding the trace of intensive contour map based on restraint of smooth is introduced. The effectiveness of the new method is illustrated by experiments.

Key words digital image; intensive contour; smooth vectorization

《武汉测绘科技大学学报》第八届编辑委员会

名誉主任: 宁津生

主任: 李德仁

委员: 刘经南 王新洲 朱灼文 晁定波 张正禄

郑肇葆 龚健雅 舒 宁 许云涛 张祖勋

毋河海 刘耀林 李 霖 杜道生 朱元泓

詹庆明 李清泉 赵茂泰 梁荫中 柳建乔

主 编: 李德仁(兼)

副 主 编: 柳建乔