

基于结构分析的线划角点检测*

闫 利 林宗坚 于子凡

(武汉测绘科技大学信息工程学院, 武汉市珞喻路 39号, 430070)

摘 要 针对线划图影像的特点, 设计了一种完整的基于结构分析的角点描述和检测算法, 并能给出不同类型角点的标识码。

关键词 图像处理; 线划图影像; 轮廓角点检测; 角点描述; 角点定位

分类号 P231.5 TP751.1

1 角点的描述及位置定义

根据线划图影像中角点的结构特点, 可分为 3 类, 即“L”型角点, “T”型角点, “+”型角点。在线划图影像中, 线划是具有宽度为 W_p 个像素的线性特征:

$$W_p = W_l \times \text{扫描分辨率} / 25.4$$

其中, W_l 为线划宽度。这样, 角点的位置就处于其周围邻域内轮廓角点的几何中心, 从而可以用这些轮廓角点来描述和确定线划角点。第 i 个轮廓角点 CC_i 可用下式表示:

$$CC_i = (x_i, y_i, d_i^1, d_i^2, \text{ang}) \quad (1)$$

其中, x_i, y_i 表示第 i 个轮廓角点 CC_i 的影像坐标; d_i^1, d_i^2 表示构成第 i 个轮廓角点 CC_i 的两条线段的方向, $0 \leq d_i^1 \leq d_i^2 \leq \pi$; ang 表示第 i 个轮廓角点 CC_i 的角度。

1.1 “L”型角点

若满足下述 3 个条件, 则认为两个轮廓角点 CC_i, CC_j 构成一个线划“L”型角点 L_c :

a. 存在两个角度相同的轮廓角点 CC_i, CC_j , 即

$$|\text{ang}_i - \text{ang}_j| \leq A_{\text{thd}} \quad (2)$$

其中, A_{thd} 为判断两个角度关系的阈值。

b. 存在两个相邻的轮廓角点 CC_i, CC_j , 即它们之间的距离 d_{ij} 应满足:

$$d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2} \leq D_{\text{thd}} \quad (3)$$

其中, D_{thd} 为判断两个轮廓角点是否相邻的阈值。

c. 分别构成两个轮廓角点 CC_i, CC_j 的两对边的方向应该相同, 即

$$|d_i^1 - d_j^1| \leq O_{\text{thd}} \text{ 或 } ||d_i^1 - d_j^1| - \pi| \leq O_{\text{thd}} \quad (4)$$

且

$$|d_i^2 - d_j^2| \leq O_{\text{thd}} \text{ 或 } ||d_i^2 - d_j^2| - \pi| \leq O_{\text{thd}} \quad (4)$$

其中, O_{thd} 为进行方向判断的阈值。从而, L 型角点的几何位置可以定义为:

$$L_c(x, y) = \left(\frac{x_i + x_j}{2}, \frac{y_i + y_j}{2} \right) \quad (5)$$

1.2 “T”型角点

a. 存在两个角度互补的轮廓角点 CC_i, CC_j , 即

收稿日期: 1996-03-21. 闫利, 男, 29岁, 博士生, 现从事计算机视觉研究。

* 国家测绘局“八五”重点科技攻关资助项目, 编号 C85-12

$$| \text{ang}_i + \text{ang}_j - \pi | \leq A_{\text{thd}} \tag{6}$$

b. 同 § 1. 1 中的 b

c. 分别构成两个轮廓角点 CC_i 、 CC_j 的两对边的方向, 一对同向, 一对反向, 即

同向 $| d_i^1 - d_j^1 | \leq O_{\text{thd}} \quad \text{或} \quad || d_i^1 - d_j^1 | - \pi | \leq O_{\text{thd}}$

反向 $|| d_i^2 - d_j^2 | - \pi | \leq O_{\text{thd}}$ (7)

类似地, 可判断 d_i^1 与 d_j^2 同向和 d_i^2 与 d_j^1 反向, 或 d_i^2 与 d_j^2 同向和 d_i^1 与 d_j^1 反向, 或 d_i^1 与 d_j^2 同向和 d_i^2 与 d_j^1 反向是否成立

若满足上面 3 个条件, 求这两个轮廓角点 CC_i 、 CC_j 的中点 C_m :

$$C_m(x, y) = \left(\frac{x_i + x_j}{2}, \frac{y_i + y_j}{2} \right)$$

d. 沿两个轮廓角点 CC_i 、 CC_j 同向边的反方向, 从中点 C_m 开始在 $3W_p$ 的范围内搜索, 看是否存在一条轮廓。若存在, 则求 C_m 到最近轮廓的距离 d 。若满足 $d \leq D_{\text{thd}}$, 求 C_m 到最近轮廓的中点, 那么该点即为所求的“T”型角点 T_e 。

1. 3 “+”型角点

a. 存在满足下面距离条件的 4 个轮廓角点 CC_i :

$$d_{ij} = [(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2]^{1/2} \leq D_{\text{thd}} \quad i = 1, \dots, 4; j = i + 1, \dots, 4 \tag{8}$$

b. 将 4 个轮廓角点的 8 条边的方向由小到大顺序排序, 并将每一个轮廓角点的角度的顺序作相应调整。这样, 任意相邻的两个角度都应互补, 即

$$| \text{ang}_i + \text{ang}_j - \pi | \leq A_{\text{thd}} \tag{9}$$

其中, $j = (i + 1) \text{ MOD } 4$

c. 排序后, 属于不同轮廓角点的相邻两条边应同向, 即

$$| d_i^2 - d_j^1 | \leq O_{\text{thd}} \quad \text{或} \quad || d_i^2 - d_j^1 | - \pi | \leq O_{\text{thd}} \tag{10}$$

其中, $j = (i + 1) \text{ MOD } 4$

若满足上述 3 个条件, 则认为这 4 个轮廓角点 CC_i ($i = 1, \dots, 4$) 构成一个“+”型角点 C_c , 其几何位置可以定义为:

$$C_c(x, y) = \left(\frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 x_i, \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 y_i \right) \tag{11}$$

2 角点检测方法

2. 1 线划轮廓链码描述的获取

此处进行影像预处理的目的是抑制噪音。本文采用了多级中值滤波器^[1]来抑制噪音, 克服了标准中值滤波器会将宽度小于滤波器窗口长度一半的线划消去的缺点。

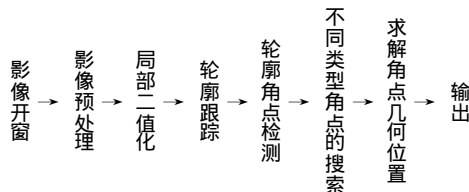


图 1 角点检测流程

对于多灰度影像, 本文采用基于二维熵的局部二值化方法。一般地, 使用原始灰度图像和

由每个像素的邻域平均所得到的“平滑图像”,用二维熵方法^[2]选择阈值。考虑到线划图常常带有底色,以及在二值化之前可进行抑制噪音的预处理,所以本文用灰度差图像即由每个像素的邻域内的最大灰度差形成的图像,代替“平滑图像”,然后再用二维熵方法选择阈值,并且采用了基于二维熵的图像阈值选择快速算法^[3]。

本文的算法使用链码描述数字轮廓曲线,通过轮廓跟踪方法^[4]获取数字轮廓曲线的链码描述。一条数字轮廓曲线 C 可被写作:

$$C = \{s, c_1, c_2, \dots, c_n\}$$

其中, $a(i = 1, 2, \dots, n)$ 是链码, 且 $c \in \{0, 1, \dots, 7\}$, s 是起始点。

2.2 轮廓角点检测

针对所要解决的问题,本文设计了一种轮廓角点检测方法,如图 2 所示

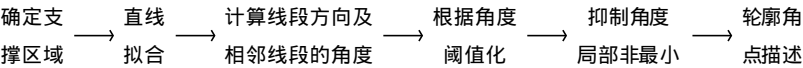


图 2 一种轮廓角点检测方法

由于轮廓曲线上的角点对应于曲线上的高曲率点,所以数字曲线上离散曲率的精确定义以及用于计算曲率的支撑区域 (support region) 的确定成为角点检测的关键。在实欧几里得平面,对于曲线 $y = f(x)$,其曲率可表示为:

$$\frac{d^2y}{dx^2} \left[1 + \left(\frac{dy}{dx} \right)^2 \right]^{3/2}$$

对于数字曲线,如果离散曲率定义为在上式中用一阶差分代替导数,那么就存在一个问题,即不可能出现小的斜率变化,这是因为在数字曲线上连续倾角之差为 45° 的倍数。解决这个问题的一种方法是度量经过平滑的离散曲线;另一种方法是采用高阶链码^[6],其中被量化的方向数超过 8 个。

既然在各种方法中度量的是经过平滑的离散曲线,那么为了以一定的精度度量离散曲率,必须根据数字曲线上细节的丰富程度来选择一个适当的平滑因子。实际上这个平滑因子是支撑区域的一个函数,这个区域是用来计算曲率的显著性度量的。一般地,细节层越丰富,所选择的平滑因子越小。由于曲线由多种尺度的特征构成,所以必须根据不同尺度区域,确定合适的支撑区域。在各种控制点检测算法中的一个主要困难是点 p_i 的支撑区域 $D(p_i)$ 的定义。

2.2.1 支撑区域的确定

从图 2 可以看出,在本文采用的轮廓角点检测算法中,需要计算的是轮廓角点的角度和其两条边的方向而不是曲率,所以,此处的支撑区域是用来确定参加直线拟合的离散点的范围。可采用下面两种方法确定支撑区域:

- a. 将支撑区域范围定义为不大于相邻两个轮廓角点之间的间距,这个距离可作为一个输入参数。
- b. 支撑区域的确定与直线拟合同时进行,在给定拟合直线限差的情况下,将直线拟合误差不大于限差的最大范围定义为支撑区域。

第一种方法需根据检测对象,确定并输入支撑区域这个参数,这个方法较简单;第二种方法具有自适应的特点,但计算量较大。

2.2.2 方向及角度的计算

对于轮廓上的每一点 cp_i ,分别向前和向后确定支撑区域 m, n ,并作直线拟合,然后分别对

这两条直线段 $cp^i, cp^{i-1}, \cdots, cp^{i-m+1}, cp^{i-m}$ 和 $cp^i, cp^{i+1}, \cdots, cp^{i+n-1}, cp^{i+n}$ 作拟合,得到相应的参数, $a_1x + b_1y + c_1 = 0$ 和 $a_2x + b_2y + c_2 = 0$ 下面求解描述轮廓角点的两个方向和角度,如图 3 所示。令 $D_x = cp^{i-m,x} - cp^{i,x}, D_y = cp^{i-m,y} - cp^{i,y}$, 那么 $d_1 = \tan^{-1}(-a/b)$ 若 $D_y < 0$, 则 $d_1 \leftarrow d_1 + \pi$ 。同理可求得 d_2^1 若 $d_1^1 > d_2^1$, 则将 d_1^1 与 d_2^1 的值对换, $\text{ang} = d_2^1 - d_1^1$

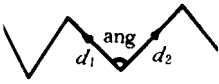


图 3 轮廓角点的参数

2.2.3 轮廓角度阈值化

根据具体的识别对象,需确定一个阈值 Ang_{thd} ,以便判断轮廓上的任意一点是否为轮廓角点,即当 $\text{ang} < \text{Ang}_{\text{thd}}$ 时,承认第 i 个轮廓点是角点;否则,不是轮廓角点,并置 $\text{ang} \leftarrow -\text{ang}$

2.2.4 抑制局部非最小

对角度作阈值化处理之后,在角点处并不是仅存在一个点,而可能存在两个或两个以上角点。由于在轮廓角点处的角度在其局部范围内应该最小,所以根据这一事实,应作抑制局部非最小处理,以便使在轮廓角点的局部范围内得到唯一的角度值以及位置。处理过程如下:

- a. 仅保留满足下面条件的点:
 $|\text{ang}_i| \leq |\text{ang}_j|$ 对于满足 $|i-j| \leq (m+n)/2$ 的所有 j
- b. 进行以上处理后,对于仍存在两个或两个以上点的点组,若存在奇数个点,则只保留中间点;若存在偶数个点,则保留中间两个点。对于存在两个点 $i, i+1$ 的点组,则作如下处理:
 - 当 $|\text{ang}_i - |\text{ang}_{i-1}|| > |\text{ang}_{i+1} - |\text{ang}_{i+2}||$ 时,抑制第 $i+1$ 点
 - 当 $|\text{ang}_i - |\text{ang}_{i-1}|| < |\text{ang}_{i+1} - |\text{ang}_{i+2}||$ 时,抑制第 i 点
 - 当 $|\text{ang}_i - |\text{ang}_{i-1}|| = |\text{ang}_{i+1} - |\text{ang}_{i+2}||$ 时,抑制灰度值较大的点;若它们的灰度值相等,则抑制任意一点。

2.3 不同类型线划角点的搜索

构成各种类型线划角点的轮廓角点及其描述均已得到,现在要解决的是哪几个轮廓角点构成一个线划角点。为此,需要进行角点搜索。搜索过程如图 4。搜索过程结束后,将得到有关线划角点的几何位置及其类型

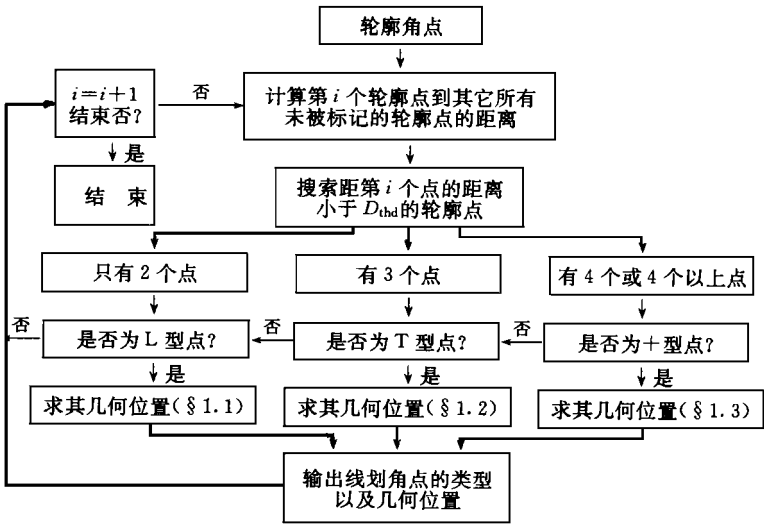


图 4 不同类型线划角点的搜索

2.4 角点的排序

线划角点是构成图形的要素。因此,需要知道一个角点的相邻角点,以便形成一个描述图

形的有序角点序列。本文采用跟踪方法进行角点排序。在一定的距离范围内,从一个角点沿线划跟踪到另一个角点,若这两个角点间无其它角点存在,则认为这两个角点为相邻角点。

3 实验及结论

对于上述角点检测方法,本文进行了大量的实验。实验中的影像有聚酯薄膜描绘的线划图、蓝晒的线划图等,识别角点的总数达到 1 470个。实验是在 486/75微机上进行的。图 5是实验之一,图中“+”表示识别出的角点。在实验中,用矩形框给定待检测角点的初始范围,阈值 A_{thd} 、 O_{thd} 均取 10° , D_{thd} 取 $2W_p$, W_l 取 1.5mm, Ang_{thd} 取 135° 。性能指标如表 1所示。

表 1中的误差指的是所检测出的角点的坐标与其真实坐标之差。实验表明,识别一个角点平均耗时少于

0.5s。该算法对于“+”型角点的正确识别率低于“L”型角点,这主要是因为描述“+”型角点的条件较为苛刻。对于拒识和错误的角点,可通过人工干预予以补充和纠正,也可以进一步研究检验诊断算法来自动提示拒识和错误的角点。结果表明,该算法具有较好的检测性能,角点位置具有较高的精度以及良好的稳定性。该算法已应用于线划图纸扫描输入后的自动识别或半自动识别中特征点的自动捕捉,获得了较满意的结果。

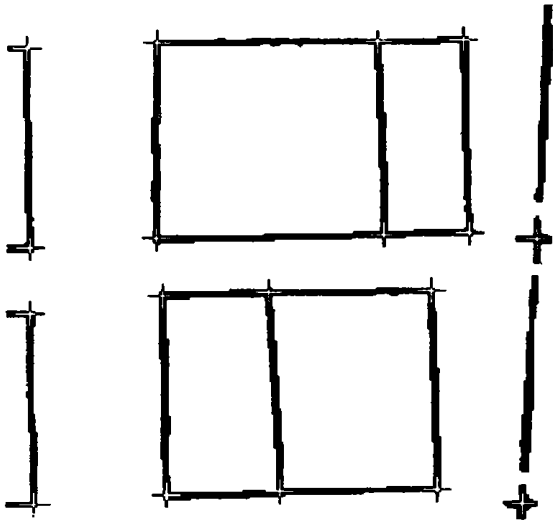


图 5 线划角点识别 (地籍蓝晒图,扫描分辨率为 300dpi)

表 1

	正确识别率	错误识别率	拒识率	误差/像素
L型角点	98.0%	0.5%	1.5%	< 0.5
T型角点	97.2%	0.7%	2.1%	< 0.5
+型角点	95.9%	0.9%	3.2%	< 0.7

参 考 文 献

1 Wang X. Adaptive Multistage Median Filter. IEEE Trans. Signal Processing, 1992, 40(4): 1 015~ 1 017

2 Abutaleb A S. Automatic Thresholding of Grey-level Pictures Using 2-D Entropy. CV GIP, 1989(47)

3 刘建庄.基于二维熵的图像阈值选择快速算法.模式识别与人工智能, 1991, 4(3)

4 林应强,吴立德.区域围线追踪算法的改进.模式识别与人工智能. 1994, 7(3)

5 Attneave F. Some Informational Aspects of Visual Perception. Psychol. Rev., 1954, 61(3): 183~ 193

6 Saghi J A, Freeman H. Analysis of the Precision of Generalized Chain Codes for Representation of Planar Curves. IEEE Trans. PAMI, 1981(3): 533~ 539

7 Koplowitz J, Plante S. Corner Detection for Chain Coded Curves. Pattern Recognition, 1995, 28(6): 843~ 852

8 Pkatz A, Dinstein I. Optimal Polygonal Approximation of Digital Curves. Pattern Recognition, 1995, 28

(3): 373~ 379

9 Ansari N, Huang K. Non-parametric Dominant Point Detection. Pattern Recognition, 1991, 24(9): 849~ 861

10 Yuan J, Suen C Y. An Optimal $O(n)$ Algorithm for Identifying Line Segments from a Sequence of Chian Codes. Pattern Recognition, 1995, 28(5): 635~ 646

11 Teh C, Chin R T. On the Detection of Dominant Points on Digital Curves. IEEE Trans. PAMI, 1989, 11(8)

12 Singh A, Shneier M. Grey Level Corner Detection: A Generalization and a Robust Real Time Implementation. CV GIP, 1990(51): 54~ 69

13 Kitchen L, Rosefeld. Grey Level Corner Detection. Pattern Recognition, Lett. 1982(1): 95~ 102

14 Tseng D, Huang M. Automatic Thresholding Based on Human Visual Perception. Image and Vision Computing, 1993, 11(9)

Structural-Analysis-Based Corner Detection in Line-drawing Image

Yan Li Lin Zongjian Yu Zifan

(School of Information Engineering, W TU SM, 39 Luoyu Road, Wuhan, China, 430070)

Abstract In this paper, line-drawing image characteristics and structural features of all kinds of corners are taken into account, and a complete corner representation and detection method is designed, and the identifying codes of different types of corners can be given by means of this method.

Key words image processing; line-drawing image; contour corner detection; corner description; corner location

(上接第 212 页)

turns out that the accuracy increase is quite limited by using gravity observation to analyse vertical deformation, if the aim is only to determine point vertical displacement and its velocity. However the trend of vertical deformation can be detected in time with the help of gravimetry to monitor large scale vertical deformation or local drastic ones.

Key words monitoring of vertical deformation; gravity gradient; velocity of vertical displacement