

③ 171-1/6

一种新的提取轮廓特征点的方法*

陈燕新 戚飞虎

(上海交通大学计算机科学与工程系, 上海, 200030)

TP391.41

摘要 给出了一种新的提取轮廓特征点的方法, 该方法是通过考察以轮廓点为中心的圆盘内目标及背景所占面积大小来提取轮廓特征点的. 理论和实验表明该方法不仅运算量小而且具有很好的检测及定位能力.

关键词 轮廓特征点、角点、切点、拐点.

计算机视觉

引言

在计算机视觉中, 轮廓特征点的提取有着十分重要的意义. 轮廓特征点包括角点、切点、和拐点, 其中角点是目标轮廓线上曲率超过一定阈值的局部极大值点, 切点是圆弧和直线的平滑过渡点, 拐点是凹圆弧和凸圆弧的平滑过渡点. 由于它们对目标形状起着决定作用, 一旦找到了目标的这些轮廓特征点也就大致掌握了目标的形状. 因此在形状表征、形状分析、图像匹配及目标识别^[1-2]中, 角点、切点及拐点是基本的表征目标形状的特征基元.

目前绝大多数的轮廓特征点提取方法都是利用相邻的一组轮廓点来计算轮廓线上各点的曲率或两近似直线段的夹角(将轮廓点近似看作是两直线段的交点)来判定轮廓特征点的. 角点的曲率较大, 比较容易提取, 国内外学者对它都进行了较多的研究. 而对于切点和拐点, 由于它们的重要性不如角点, 加之它们的曲率较小, 较难提取, 因此只有少数学者进行提取切点和拐点的研究. 在轮廓特征点提取方面比较有代表性的方法有: Sheu 等^[3]利用 B 样条拟合获得轮廓点的曲率从而判定角点; Tsai^[4]在将轮廓点近似看作是两直线段交点的基础上, 首先利用有 2 个隐层的 $18 \times 9 \times 4 \times 1$ 个神经元组成的 BP 神经网络检测直线段相对 X 轴的角度而获得两直线段的夹角及曲率, 以此判定角点, 然后将曲率符号输入第二个有 1 个隐层的 $18 \times 9 \times 2$ 个神经元组成的 BP 神经网络以提取切点和拐点. 这些方法都是利用相邻的一组轮廓点(这些点构成的区域通常称为支撑区域)来计算曲率或两近似直线段的夹角来判定轮廓特征点的, 因此不仅运算量大而且易受噪声影响.

本文给出了一种简单而有效的轮廓特征点提取方法, 该方法是通过考察以轮廓点为中心的圆盘内目标及背景所占面积的大小来提取轮廓特征点的. 这种提取方法具有运算量小、检测及定位性能好等优点.

1 轮廓特征点的提取方法

1.1 角点提取方法

* 国家自然科学基金(编号 69572026)资助项目
稿件收到日期 1997-11-19, 修改稿收到日期 1998-01-07

设有一个以轮廓点为中心、半径为 R 的圆盘在轮廓线上移动, 观察图 1: 当圆盘位于 A 位置时, 目标和背景在圆盘中的面积是圆盘面积的一半; 当圆盘位于 B、C 位置时, 目标在圆盘中的面积小于一半, 背景在圆盘中的面积大于一半; 当圆盘位于 D 位置时, 目标在圆盘中的面积大于一半而背景在圆盘中的面积小于一半. 图 1 中 B、C、D 的位置是角点的位置. 基于上述观察, 可有如下结论: 当圆盘处在直线上时, 目标和背景在圆盘中的面积是圆盘面积的一半; 当角点处在圆盘中心时, 目标和背景在圆盘中的面积总有一个小于圆盘面积的一半. 根据这一点可以进行角点检测.

为区别目标区和背景区(本方法无须确定出哪个是真正的目标区, 哪个是真正的背景区, 只需区别出这两个区域即可), 我们首先进行轮廓填充. 对于多连通目标, 会得到若干个闭合轮廓线, 我们将逐个填充轮廓线. 在算法具体实现时, 可将目标、背景及轮廓线用不同的数值表示, 累加以 r_0 为中心圆盘内目标、背景及轮廓线所占的面积, 分别记作 $S'_a(r_0)$ 、 $S'_b(r_0)$ 和 $S'_c(r_0)$, 则包含轮廓的目标和背景所占的面积为

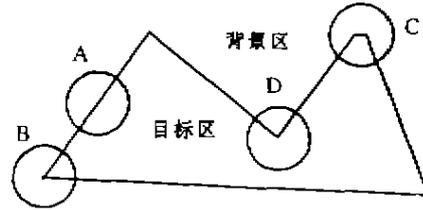


图 1 圆盘在轮廓线上的移动
Fig. 1 The disk moving on the boundary

$$\left. \begin{aligned} S_o(r_0) &= S'_a(r_0) + \frac{1}{2}S'_c(r_0), \\ S_b(r_0) &= S'_b(r_0) + \frac{1}{2}S'_c(r_0). \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

它们满足 $S_o(r_0) + S_b(r_0) = S_d$, 其中 S_d 是圆盘的面积, 即圆盘内点的总数. 令 $S_{\min}(r_0) = \min\{S_o(r_0), S'_b(r_0)\}$, 则当

$$S_{\min}(r_0) \leq \frac{T_1}{360} S_d \quad (2)$$

时, 将 r_0 标志为候选角点, 式(2)中的 T_1 是阈值. 令

$$\theta(r_0) = 360 \times \frac{S_{\min}(r_0)}{S_d} \quad (3)$$

则由式(2)可知: 只有当 $\theta(r_0) \leq T_1$ 时, 才将 r_0 标志为候选角点. 若将轮廓点近似看作是两直线的交点, 则 θ 即为这两直线的夹角.

圆盘半径 R 构成了测量角度的支撑区域, 它的选取主要考虑数字化、噪声及测量角度的精度^[5]. 目前绝大多数角点提取方法都是利用一组相邻的轮廓点来计算曲率或两近似直线的夹角来判定角点的, 由于参与计算的是轮廓点, 所以易受噪声的影响. 为了减小噪声的影响, 通常的途径是将支撑区域取得较大, 同时进行运算量较大的曲线(直线)拟合. 这样就导致了算法不仅对小尺寸不能适应而且运算量也较大. 本文提出的算法是利用轮廓线在圆盘中所围成的面积, 求面积是积分运算, 由此可以预见本方法抗噪能力比那些仅仅利用轮廓点的提取方法要好. 由此带来的好处是支撑区域可以取得较小, 从而使算法对小尺寸有良好的适应性. 另外, 本方法基本上只有加法运算, 因此运算量较小. 对于实验中给出的测试图

像,当 T_1 取值小于 160 时,圆盘半径 R 在 6~10 之间取值,结果都令人满意.

须从由式(2)得到的一系列候选角点中筛选出真正的角点.通过非极小抑制即可筛选出真正的角点,即只有当下式成立时,候选角点才成为角点:

$$S_{\min}(r_0) = \min_{\|r-r_0\| \leq R} S_{\min}(r) \quad (4)$$

1.2 切点和拐点的提取方法

在欧氏空间,一条直线的曲率为零,圆弧的曲率是非零常数,凹圆弧和凸圆弧的曲率符号相反.设凸圆弧的曲率为正值,凹圆弧的曲率为负值,用 1 表示正曲率符号, -1 表示负曲率符号, 0 表示曲率为零.考察以轮廓点为中心、 ρ 为半径窗口内轮廓点的曲率符号,由图 2 可以看到:曲率符号在图(a)中的切点附近是 0, 1 阶跃函数;在(b)中的拐点附近是 -1, 1 阶跃函数;在(c)中的两直线交点附近有一个点为 1, 而其他点均为 0; 对于(d)中的圆弧, 为常数 1. 根据上述观察, 可以构造提取切点和拐点的方法.

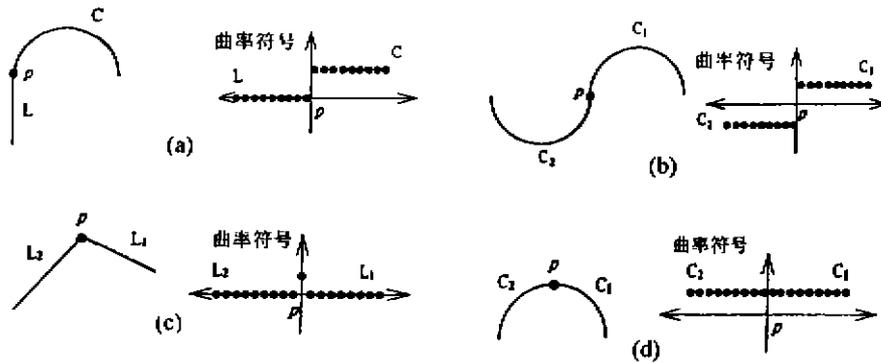


图 2 曲线的曲率符号

Fig. 2 Sign patterns of curvatures for curves

根据目标和背景在圆盘内的面积可以确定圆盘内轮廓线的凹凸性及曲率符号:当目标所占面积 S_a 小于背景所占面积 S_b 时,轮廓线是凸的,曲率符号为 1;当 S_a 大于 S_b 时,轮廓线是凹的,曲率符号为 -1;当 S_a 等于 S_b 时,轮廓线是直线段,曲率符号为 0.

可用式(3)中的 θ 定义曲率角 k , 即

$$k(r_0) = \begin{cases} 180 - \theta(r_0), & \text{曲率符号为 1 或 0} \\ \theta(r_0) - 180, & \text{曲率符号为 -1} \end{cases} \quad (5)$$

曲率角 k 的符号和曲率符号相同.考虑到数字化及噪声的影响,用曲率角定义曲率符号,有如下表达式:

$$\zeta(r_0) = \begin{cases} 0 & \text{if } |k(r_0)| \leq T_2, \\ 1 & \text{if } k(r_0) > T_2, \\ -1 & \text{if } k(r_0) < -T_2, \end{cases} \quad (6)$$

其中 T_2 是阈值.由于曲率大的点是角点,因此切点和拐点的曲率一般比较小,另外,由于数字化及噪声的影响,曲率角有波动性,直线上各点的曲率角 k 也并不严格为 0, 这给提取切

点和拐点带来了困难. 本文采取以下措施来克服上述困难: (1) 用大小为 3 的窗口对曲率角 k 进行平滑; (2) 圆盘半径 R 取得大些, 本文在提取切点和拐点时, 圆盘半径 R 取为 9.

实验发现: 当圆盘半径 R 为 9 时, 直线的曲率角 k 经平滑后, 其绝对值一般小于 5, 因此 T_2 可取为 5. 由于构成切点和拐点的圆弧半径越大, 圆盘内的圆弧就越接近直线段, 因此要区别圆弧和直线, 圆弧半径不能太大, 当圆弧半径为 35 时, 平均曲率角为 11, 只有少数轮廓点的曲率角为 5, 由于 T_2 取值为 5, 决定了要区别出圆弧和直线, 圆弧半径不能超过 35.

设用于提取切点和拐点的支撑区域的半径为 u , 考察由曲率符号 ζ 所组成的矢量为

$$(\zeta(r_0 - u), \zeta(r_0 - u + 1), \dots, \zeta(r_0 - 2), \zeta(r_0 + 2), \dots, \zeta(r_0 + u - 1), \zeta(r_0 + u)).$$

由于对曲率角进行了平滑, 所以矢量中没有包括 $\zeta(r_0 - 1)$, $\zeta(r_0)$ 及 $\zeta(r_0 + 1)$, 以消除平滑对判断的影响. 本文中 u 的取值和圆盘半径 R 相同均为 9.

对于切点, 曲率符号 ζ 所组成矢量的可能模式为: (1) (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0); (2) (-1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0); (3) (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1); (4) (0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1).

对于拐点, 曲率符号 ζ 所组成矢量的可能模式为: (1) (-1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0); (2) (1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1, -1).

将上述的可能模式看作模板, 进行模板匹配即可提取切点和拐点. 当提取切点时, 可先将轮廓点曲率符号 ζ 取绝对值, 这样就可以将提取切点的 4 个模板减少为 2 个. 设在 r_0 处所有模板进行匹配时最大响应为 $M_{\max}(r_0)$, 则当

$$M_{\max}(r_0) \geq T_3 \times 2(u - 1) \quad (7)$$

时, r_0 才成为候选的切点或拐点. 式(7)中的 T_3 是阈值, 它在本文中的取值为 3/4, 这在一定程度上可以容忍不好的数字化及噪声.

当将轮廓点近似看作是两直线段的交点时, 由于是用圆盘内目标和背景所占的面积来求两直线夹角 θ 的(参见式(3)), 这导致在角点附近 θ 不会等于 180, 从而使得在角点附近一定区域内曲率角不会为 0, 由此造成在角点附近会报出候选的切点或拐点. 对于这种情况, 我们只须以候选角点为中心, 对半径为 u 窗口内的候选切点和拐点进行抑制即可. 对于剩下的候选点, 只需通过非极大抑制即可筛选出真正的切点和拐点, 即只有当

$$M_{\max}(r_0) = \max_{|r-r_0| \leq u} M_{\max}(r) \quad (8)$$

成立时, r_0 才成为切点和拐点, 这时若对应最大响应的模板属于切点, 则 r_0 判为切点; 若对应最大响应的模板属于拐点, 则 r_0 判为拐点.

2 实验结果与讨论

2.1 角点提取实验

Liu 等^[6]用一组测试图像对若干种角点提取方法进行了比较, 为了具有可比性, 本文也采用这组测试图像对我们的方法进行测试, 并与 Tsai 方法^[4](参见引言)进行比较.

图 3 中的(a1)和(b1)是取自文献[6]的测试图像, 由于是扫描获得的, 所以有一定噪声. (a2)和(b2)是本文方法提取角点的结果, (a3)和(b3)是 Tsai 方法提取角点的结果. 为了便

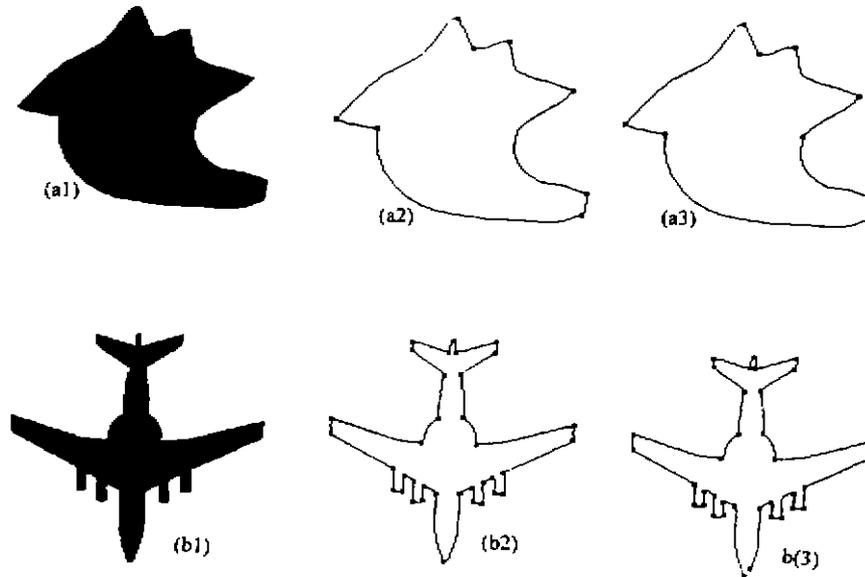


图 3 提取角点的图像

Fig. 3 Images for extracting corners

于比较,两种方法的阈值 T_1 都取 145(文献[4]中也需设定相当于阈值 T_1 的量),支撑区域半径都取 9.从图 3 可知:Tsai 方法对噪声和不好的数字化更为敏感,所以在对图像(a1)进行测试时,Tsai 方法检测到的角点数比本文的方法多,对图像(b1)进行测试时,Tsai 方法与我们的方法尽管检测到的角点数相同,但它未检测到人观察觉得更为明显的角点.整体上,本文方法与 Tsai 方法在角点定位精度上差不多,在对角点检测性能上前者比后者好,在运算量上,Tsai 方法比本文的方法大得多.我们也将本文方法与文献[6]提及的角点提取方法进行了比较,发现本文的方法在性能、运算量上都占有较大的优势.

2.2 切点和拐点提取实验

用图 4(a)对本文方法进行测试,并与 Tsai 方法进行比较.图 4(b)是本方法提取切点和

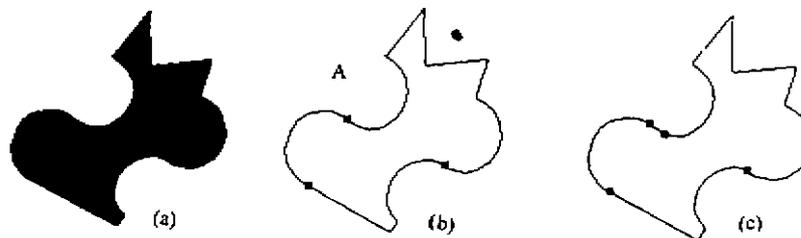


图 4 提取切点和拐点的图像

Fig. 4 Images for extracting tangent and inflection points

拐点的结果,(c)是 Tsai 方法的结果. 本方法能正确地检测到切点和拐点,定位精度较高. 而 Tsai 方法将拐点 A 检测成了两个切点,其原因是 Tsai 方法的曲率角符号为 0 的阈值为 10(参见式(6),阈值取 10 是由训练 BP 网样本的间隔为 5° 决定的),由于两圆弧在拐点 A 附近形成的轮廓线类似于直线段,使测得的曲率角较小,由式(6)阈值化后得到了 0 曲率符号,从而在拐点 A 附近报出了两个切点. 而本文的方法曲率符号为 0 的阈值为 5(由 1.2 小节可知,它是合理的),从而可以正确检测到拐点 A. 由上述实验可知:在切点和拐点提取上,我们的方法要比 Tsai 方法的检测性能好,另外我们的方法对特征点的定位精度也较高.

REFERENCES

- 1 Han M H, et al. *Pattern Recognition*, 1990, **23**: 21~33
- 2 Chen Y X, Qi F H. *Journal of Infrared and Millimeter Waves* (陈燕新, 戚飞虎. 红外与毫米波学报), 1998, **17**(2): 99~106
- 3 Sheu H T, et al. *Pattern Recognition*, 1996, **29**: 819~828
- 4 Tsai D M. *Pattern Recognition*, 1997, **30**: 85~97
- 5 Teh C H, et al. *IEEE trans. Pattern Analysis Mach. Intell.*, 1989, **11**: 859~872
- 6 Liu H C, et al. *Pattern Recognition*, 1990, **23**: 51~68

A NEW APPROACH TO EXTRACT FEATURE POINTS ON THE BOUNDARY *

CHEN Yan-Xin QI Fei-Hu

(Department of Computer Science and Engineering, Shanghai Jiaotong University, Shanghai 200030, China)

Abstract A new approach to extract feature points on the boundary was proposed, which is based on the areas of object and background in the disk with its center on the boundary. Theoretical and experimental results show that the approach is not only easy to compute efficiently, but also has good capability of detection and localization.

Key words feature points on the boundary, corners, tangent points, inflection points.

* The project supported by the National Natural Science Foundation of China
Received 1997-11-19, revised 1998-01-07