文章编号:1000 - 582X(2003)02 - 0029 - 03

基于自适应直线拟合的角点检测*

乔　宇,黄席樾,柴　毅,周　欣
(重庆大学 自动化学院,重庆 400044)

摘　要:角点检测是计算机视觉的一个基本问题。进行角点检测的关键是估算曲率。笔者给出了一种新的基于参考点的前后曲线方向估计的曲率计算方法。我们以离散点远离直线垂直距离误差最小为目标进行直线拟合,同时根据误差大小来自适应的选择拟合窗口的大小。很好的解决了角点曲率计算时拟合窗口大小和计算精度间的矛盾。实验证明,该方法抗干扰性好,且运算量不大,对于存在明显转折点的曲线角点有很好的检测和定位能力。

关键词:角点检测;曲率;自适应直线拟合
中图分类号:TP391.41　　**文献标识码**:A

曲线的角点提取和检测是数字图像处理和计算机视觉的一个基本问题。曲线角点是包含有丰富的图像目标特征信息,也是人识别曲线的重要依据。通过对特征角点检测,机器可以有效的对目标曲线进行有效描述和建模。特征点的检测精度对描述和建模的结果有着至关重要的影响。

由于角点检测的重要意义,其研究很早就引起了大量学者的注意。早在 1974 年,Rosenfeld 和 Johnston[1-2] 就提出通过计算角点强度 k - (Corner strength)来提取角点,不过这种方法虽然简单,但容易受噪声干扰,效果不好。此后,Asada[3] 在求取曲率时采用了高斯平滑同时还考虑了其他一些特性。角点检测的另一大类方法是,先将用某类函数对原始曲线分段拟合,然后根据拟合后的曲线分段方程,计算曲线出曲率的极值获取角点的位置。如 Langricle[4] 使用了三次多项式,Gerard Medioni[5] 提出了 B - 样条来拟合曲线。由于需要先计算曲线的拟合方程,运算量通常较大;而且对拟合的精度有较高的要求。此外,费旭东等[6] 提出了一种基于查表技术和知识的角点提取方法这种方法运算量较小,但是对知识的有较高的依赖性,缺乏通用性。陈燕新等[7] 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角点的,不过这种方法对于局部曲率的变化不敏感,无法精确定位。

通常角点被定义为曲线上曲率较大的点,从曲率的定义可以发现,角点检测的关键是估计当前轮廓点前后曲线的方向,基于此笔者给出了基于距离误差的直线拟合,并结合误差的大小自适应的确定拟合窗口的大小。实验证明,与传统方法相比,这种方法具有运算不大、检测及定位性能好等优点。特别是对于图线转折清晰、具有近似多边形的图形来讲,此方法精度高,抗干扰能力强,并且可以根据预先设定的精度进行检测。

1　曲线曲率计算方法

在图像经过边缘检测,轮廓提取或者细化后可以得到宽度为一的曲线 C。曲线 C 可以看作为个相连的 n 像素点 $p(i)$ 的集合,即

$$C = \{p(i) = (x(i), y(i)) \mid i = 0,1,2,\cdots,n-1\}$$

曲线 C 上某点 (x,y) 的曲率被定义为 $T(x,y) = \frac{\partial\varphi}{\partial s}$, $\partial\varphi$ 是曲线切线方向的变化率,∂s 是曲线长度的变化率。在离散的情况下,由于曲线 C 上两个相邻离散点的距离 ∂s 可以认为大致相等,因而计算的关键是估计在当前点位置上切线方向的变化率 $\partial\varphi$。这里我们用基于距离误差最小的直线拟合的方法,结合自适应的拟合窗口选取,近似的估计当前点前后曲线的方向。

1.1　基于距离误差的直线拟合

传统的方法大都是利用基于 y 方向误差最小的最小二乘法来对一组离散点进行直线拟合的,但是这里需要的是对这些离散点方向的估计;特别是当离散点的方向与 y 方向大致平行时,最小二乘法得出的计算误差非常大。这里,笔者给出一种新的基于距离误差的

* 收稿日期:2002 - 09 - 15
基金项目:国家自然科学基金资助(69674012)
作者简介:乔宇(1978 -),男,河南南阳人,重庆大学硕士研究生,主要研究方向为计算机视觉、图形处理、智能控制。

直线拟合,把离散点偏离拟合直线的距离和 E 最小作为目标。如果采用 $y = kx + b$ 形式的方程计算很复杂,无法表达 $x = a$ 形式的直线。这里采用形式为 $x\sin\theta - y\cos\theta = \rho$ 的直线方程,具体的计算方法如下:

离散点偏离拟合直线的距离和 $E = \sum_i (x_i\sin\theta - y_i\cos\theta - \rho)^2$

其中 (x_i, y_i) $(i = 0,1,2,\ldots,k)$ 为一组待拟合的离散点,k 为拟合窗口的大小。

这里的优化目标是最小化误差距离和 $\min\{E\}$,取:

$$\frac{\partial E}{\partial \rho} = -2\sum_i (x_i\sin\theta - y_i\cos\theta - \rho) = 0$$

$$\frac{\partial E}{\partial \theta} = 2\sum_i (x_i\sin\theta - y_i\cos\theta - \rho)(x_i\cos\theta + y_i\sin\theta) = 0$$

由此得 $\rho = \bar{x}\sin\theta - \bar{y}\cos\theta$,

$$\frac{\partial E}{\partial \theta} = \left(\sum_i (x_i^2 - y_i^2) - n(\bar{x}^2 - \bar{y}^2)\right)\sin2\theta + 2\left(\overline{xy} - \sum_i x_i y_i\right)\cos2\theta = 0$$

取 $$t_1 = \left(\sum_i (x_i^2 - y_i^2) - n(\bar{x}^2 - \bar{y}^2)\right),$$
$$t_2 = 2\left(\overline{xy} - \sum_i x_i y_i\right)$$

可以证明,只要离散点 (x_i, y_i) $(i = 0,1,2,\ldots,k)$ 的坐标不完全相同,就有 t_1, t_2 不同时为零。

$$\text{则 } \theta = \begin{cases} \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(-\frac{t_2}{t_1}\right) & \text{if}(|t_1| > |t_2| \\ \frac{1}{2}\tan^{-1}\left(-\frac{t_1}{t_2}\right) & \text{else} \end{cases}$$

需要注意的是,这里计算出的 θ 还应该根据原始离散点数据调整到区间 $[0,2\pi]$ 里。先根据初始点的位置 (x_0, y_0) 和所有离散点的重心位置 $(\bar{x}, \bar{y})$,由向量 $(\bar{x} - x_0, \bar{y} - y_0)$ 的方向估算出 θ 的大致范围,进而将其调整到区间 $[0,2\pi]$ 内。

1.2 自适应的直线拟合

为确定曲线当前点位置的曲率,需要用直线拟合的方法估计当前点前后曲线的走向。直线拟合需要我们设定拟合窗口的大小,也就是用多少个点来拟合直线。传统的方法大多采用固定窗口,即在拟合之前就确定所需的点数和窗口的大小。这种方法虽然简单,但是容易受局部误差干扰,效果不理想。为此,根据直线拟合误差的大小来确定拟合窗口的大小 w,把直线拟合误差控制在某个阈值 E_{th} 以内。当这一段曲线曲率较小与直线很相近时,就可以把拟合窗口设的大一些;反之,当曲线曲率大,拟合窗口就会被设的很小。当拟合窗口太小时,直线拟合就会失去意义,考虑到这样剧烈的局部变化通常是由局部噪声引起的,这样的点通常也不是角点,这里我们设定拟合窗口的大小不能小于设定阈值 w_m。

算法如下:

① 计算拟合窗口的最小值 $w_m = \min\{5, L/5k\}$,其中 L 为曲线 C 的总长度,k 为所求角点的个数;选择合适的拟合误差阈值 E_{th}。

② 取拟合窗口的初始大小 $w = w_m$,按(1)式计算拟合误差 E,如果 $E < E_{th}$ 到③,否则认为这是一个局部噪声,无需计算拟合直线,返回。

③ 取拟合窗口的大小 $w = w + 1$ 计算拟合误差 E,如果 $E < E_{th}$ 到(3),否则 $w = w - 1$,到④

④ 根据当前拟合窗口的大小 w 计算拟合直线的方向并返回。

计算的时候为提高运算速度,我们可以存储中间运算量 $\sum_i x_i^2$, $\sum_i y_i^2$, $\sum_i y_i x_i$, $\bar{x}\bar{y}$,当拟合窗口的大小 w 增加一时,只需要在原有的基础上增加一个点的值,就可以快速的计算出结果 θ。

设当前点 O 前后两个方向 OP_1, OP_2 的方向角分别为 θ_1 和 θ_2,则前后两个方向的差角被定义为:

$$d_\theta = 180° - \min\{|\theta_1 - \theta_2|, 360° - |\theta_1 - \theta_2|\}$$

这样,由于曲线的曲率正比于差角,所以在以后的讨论中,就可以用差角来表示曲率。差角越大曲率越大,反之差角越小曲率越小。因此可以近似的用差角的数值来代替曲率。

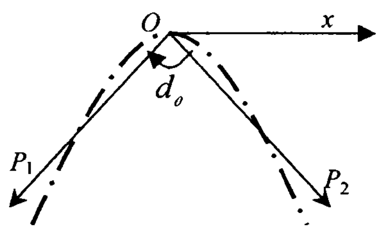

图 1 差角的计算

2 角点的合并与定位

如前所述,角点是曲率大的点,也就是差角大的点。通常,可以定义一个阈值,把差角大于这一阈值的点作为角点。当然也可以选取差角数值排在前 n 位的点作为角点。

但是目前的方法存在一个问题,就是差角在某一点的数值比较大时,差角在这点附近点的值也会比较大,但是对于角点检测,只希望获得的这一范围内曲率最大点来做为角点,因而这就要求我们在角点检测的基础上进行角点合并,选取一定范围内差角最大的点作为角点。算法如下:

① 计算连接窗口的大小 $w_l = L/5$,把所有的差角大于设定阈值的角点放入初始集合 S,并把合并后角点的集合 F 置空。

② 从 S 中任取一个未被检测过的角点作为初始点，把该点放入集合 A，并把该点从 S 中删除。

③ 在 S 中寻找到集合 A 中任一点距离小于 w_l 的点，把该点放入集合 A，并把该点从 S 中删除。

④ 重复 ③ 直到 S 中所有点到 A 中点的距离都大于 w_l。

⑤ 把 A 中差角最大的一个点放入 F，同时把 A 置空。

⑥ 如果 S 不为空，到 ②；否则，结束。

这样，F 就为最终的角点集合。

3　试验与结论

为了检测本模型的有效性，笔者用下列图形进行了试验得到的结果如图 2。

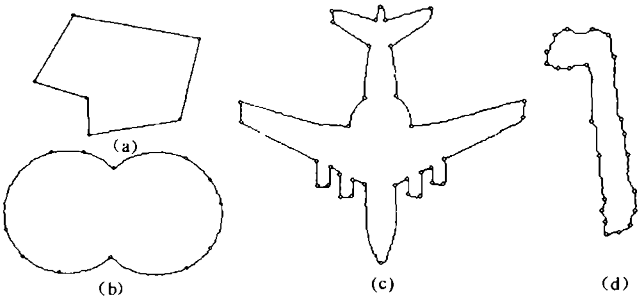

图 2　试验结果

可以发现，对于由近似直线组成的多边形，本方法有非常精确的角点定位能力，如图 2(a) 所示，这一点也可以用从角点曲率是通过计算拟合直线的方向的差角得到解释。同时对于如图 2(c) 中形状复杂的飞机图案，本算法也有很高的检测能力，图 2(c) 中所有的转折点都被精确的检测出来，而其他方法如 Rosenfeld74、拟合法等，或者不能检测出所有的角点，或者角点的位置不能被准确的定位，与它们相比本方法对于图线走向较为清晰，转折明显的图线有很强的优势。对于图线变化复杂的图 2(d)，利用本算法也可以大致确定主要角点的位置。但是，本方法对于由较为平滑的曲线检测效果并不明显，如图 2(b) 中，虽然两个明显转折点别很好的检测出来，但是在曲线的平滑部分，角点的位置是模糊和不容易确定的，事实上对于这类曲线就连人也无法精确的定位角点位置，如果不能估计出曲线的大致方程仅仅利用直线拟合估计方向显然无法很好的计算出其位置。

参考文献：

[1] ROSENFELD A, WESZKA J S. An improved method of angel detection on digital curves[J]. IEEE Trans. Comput, 1975, C-24(9): 940-941.

[2] FREEMAN H, DAVIS L S. A corner finding algorithm for chain-coded curves[J]. IEEE Trans. Computers, 1977, 26(3): 297-303.

[3] ASADA H, BRADY M. the curvature primal sketch[J]. IEEE Trans PAMI, 1986, 8(1): 2-14.

[4] LANGRIDE D J. Curve Encodeing and the detection of discontinuities[J]. CVGIP, 1982, 20(1): 58-71.

[5] MEDIONO G, YASUMOTO Y. Corner detection and curve representation using cubic B-splines. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1987, 39(3): 267-278.

[6] 费旭东，荆仁杰. 基于知识的快速角点提取[J]. 计算机学报，1994，17(1)：30-36.

[7] 陈燕新，戚飞虎. 一种新的提取轮廓特征点的方法[J]. 红外与毫米波学报，1998，17(3)：171-176.

Corner Point Detection Based on Adaptive Line Approximation

QIAO Yu, HUANG Xi-yue, CHAI Yi, ZHOU Xin

(College of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

Abstract: The detection of corner points is one of the basic problems of computer vision. Usually the key question of detecting corner points is how to calculate curvature. This paper presents a novel approach of calculating the backward and forward direction of reference point based on the adaptive line approximation. Our line approximation method objects minimize the distance error and the length of approximation widow adaptively changes with the approximation error. Our adaptive method finds a compromise between the length of approximation widow and the calculation precise. The experiments results show, the method can robustly, effectively and precisely locate corner point for curves with apparent corners with little computation.

Key words: corner point detection; curvature; adaptive line approximation

(责任编辑　吕赛英)