

基于距离变换和形态学的顶点探测算法

李红松, 侯朝桢

(北京理工大学自动控制系, 北京 100081)

摘要: 在这篇文章里我们提出了一种简单有效的基于形态学和距离变换的角顶点探测算法, 此算法和传统的基于链码和基于边缘方向以及近年来新兴的基于形态学的算法有着本质的区别, 它从算法的基本原理上克服了一些以前算法的缺点, 最后给出了对二值图像和灰度图像的实验, 实验表明, 算法克服了许多其他算法的缺陷, 保留了他们的优点, 是一种简单、实用、有效的角顶点探测算法。

关键词: 图像处理; 角顶点; 形态学; 距离变换

中图分类号: TN911. 73 文献标识码: A 文章编号: 0372-2112(2004)01-0038-04

Corner Detection Based on Distance Transform and Morphology

LI Hong-song, HOU Chao-zhen

(Department of Automatic Control, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China)

Abstract: A simple and effective corner detection algorithm based on morphological and distance transform is proposed. In essence, the algorithm is different from the corner detection algorithm which is based on chain code, oriented edge or morphology. It overcomes some bugs of former algorithms from basic principle. At last, some corner detection experiments of binary and intensity images are given. Experiments indicate that the algorithm overcomes some shortcomings of other algorithms and preserves their advantages. It is a simple, practical, effective corner detection algorithm.

Key words: image processing; corners; mathematic morphology; distance transform

1 引言

顶点是物体的重要特征, 它在图像处理中的立体视觉匹配、图像匹配、以及形状描述等一系列应用中占有重要地位。传统上, 顶点指的是: 在这个点上, 物体的边缘方向上发生了不连续的改变, 或者边界的曲率在某一阈值上。长期以来, 国外学者提出了许多顶点探测方法, 大致可以分为两大类: 基于物体边界的链码分析算法和基于边缘方向的算法^[1]。前一种算法由于顶点探测过分依赖于图像分割的效果, 近来已不常用。一般说来, 这两种算法都计算较为复杂, 且对噪声都很敏感。近一些年来, 又出现了基于数学形态学的顶点探测算法, 这种算法计算简单, 但也有一些缺陷。

迄今为止, 大多数的角顶点探测算法都是基于像素灰度的二阶导数的。其判断一个点是否是顶点的标准为: 在这个点上边缘方向发生了不连续的改变或者边缘的曲率达到某一阈值。例如: Kitchen 和 Rosenfeld 定义了一个角能量函数 $c(x)$ ^[2]:

$$c(x) = \frac{I_{xx}I_y^2 - 2I_{xy}I_xI_y + I_{yy}I_x^2}{I_x^2 + I_y^2}$$

(x, y) 为坐标点, I 为原始图像。

$$I_x = \frac{\partial I}{\partial x}, I_y = \frac{\partial I}{\partial y}, I_{xx} = \frac{\partial^2 I}{\partial x^2}, I_{xy} = \frac{\partial^2 I}{\partial x \partial y}, I_{yy} = \frac{\partial^2 I}{\partial y^2}$$

设定一个阈值, 根据角能量函数 $c(x)$ 的大小来判断一个点是否是顶点, 随后又有其他学者提出了相近的算法^[3-6], 其基本思想大都相同。我们可以看出, 这些算法确定一个点是否是顶点的计算是非常复杂的, 另外它对噪声过于敏感, 往往不能有效的区分顶点和噪声。因为求导本身就放大了噪声。

近年来, 又涌现出了基于形态学的顶点探测算法^[7-9], 这种方法计算很简单。形态学的思想很简单: 形态学中的闭运算能够祛除目标上的突出部分, 开运算能够填补目标上的凹进部分, 而这些突出部分和凹进部分往往就是目标的凸角顶点和凹角顶点, 那么用原图像减去闭运算后的图像和用开运算后的图像减去原图像则会得到凸角顶点和凹角顶点。算式如下:

$$A_{凸顶} = A - (A \odot B) \odot B \quad A_{凹顶} = (A + B) \ominus B - A$$

但是通常基于形态学的顶点探测算法所探测出的顶点唯一性不是很好, 即一个角对应多个顶点。另外, 多数基于形态学的顶点探测算法不太容易推广到灰度图像中去。

缘点的位置.

$$E(x, y) = f(x, y) - \min_{(i,j) \in W} \{f(i, j)\}$$

W 为以 (x, y) 为中心的 3×3 的小窗口. 如果 $E(x, y)$ 大于某一阈值, 则认为 (x, y) 为边缘点位置, 我们的实验中这个阈值定为 30. 当然也可以采用别的边缘提取算法.

(2) 腐蚀原图像 A , 出于方向上的考虑, 我们采用的是近似圆形的结构算子, 我们采用的结构算子 B 为:

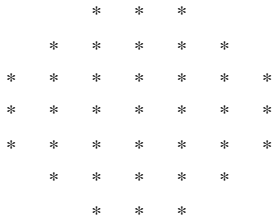


图 3 腐蚀所用的结构元素 B

- (3) 提取腐蚀原图像 $A \odot$ 的边缘, 仍采用极小法.
- (4) 原图像 A 的腐蚀图 $A \odot$ 的边缘点看做是特征点, 实施 chamfer 3/4 距离变换.
- (5) 在腐蚀图的距离变换图中, 用一个 5×5 的滑动窗口判断原图像 A 的边缘点是否是局部极大像素距离值, 注意我们只比较边缘点位置的像素距离值. 且这个局部极大像素值要大于一个阈值, 这里我们把这个阈值取为 12. $d(x, y)$ 为点 (x, y) 的距离值.

$$\delta = d(x, y) - \max_{(i,j) \in W} \{f(i, j) \mid i \neq x, \text{ 且 } j \neq y\} > 0 \text{ 且 } d(x, y) > = 12$$

出于对噪声的考虑, 我们采取了以下措施:

- 同时在滑动窗口内对边缘点计数, 只有在这个数值达到一定值时, 我们才认为这是有效的边缘点, 这个数值定为 3.
- (6) 标定满足步骤 3 的像素点, 认为这就是凸角顶点.
- (7) 膨胀原图像 A , 仍使用结构元素 B .
- (8) 采用极小法, 提取膨胀图像 $A \odot$ 的边缘.
- (9) 将原图像 A 的膨胀图 $A \odot$ 的边缘点看作是特征点, 重复步骤 3、4, 探测出凹角顶点.
- (10) 标定所有的角顶点.

3 实验及分析

我们用上述算法分别对一幅二值图像和两幅灰度图像进行了实验. 每探测出一个顶点用一个 3×3 的小方框圈注.

实验 1 二值图像中目标有 12 个凸顶点和 15 个凹顶点, 都被准确有效的探测了出来, 而且顶点的唯一性较好.

实验 2 灰度图像的角顶点探测远比灰度图像的复杂得多, 具体表现为边缘的模糊性以及图像不象二值图像那样只有两个灰度级, 而且还受到噪声等各方面的影响. 对于灰度图像的距离变换, 我们首先对它进行边缘检测, 以获得边缘点的位置, 然后将边缘点看作是特征像素, 其余非边缘点看作是非特征像素点. 我们对两幅 256 灰度级的实拍图像进行了实验.

图 7、图 10 分别为 145×145 和 270×175 , 灰度级为 256 的灰度图像, 我们从其边缘图可以看出基于链码或边缘方向的顶点探测方法是很难奏效, 甚至于无法正常工作的, 但我们的算法还是较为有效的探测出了大部分的顶点.

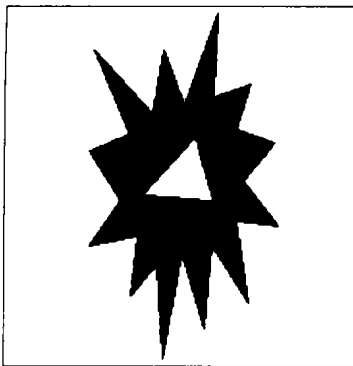


图 4 二值图像

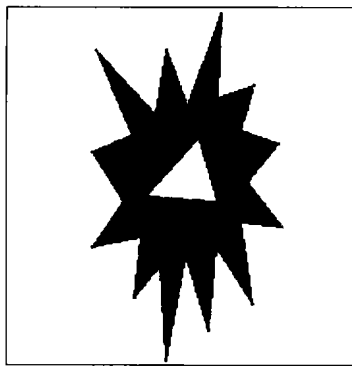


图 5 二值图像凸顶点

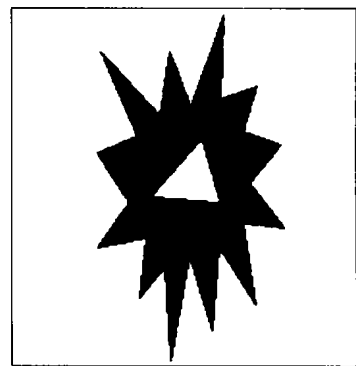


图 6 二值图像凹顶点



图 7 原图

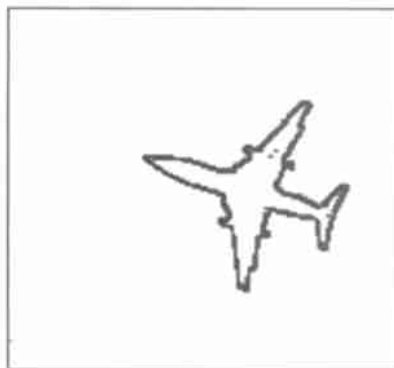


图 8 边缘图



图 9 顶点图



图 10 原图

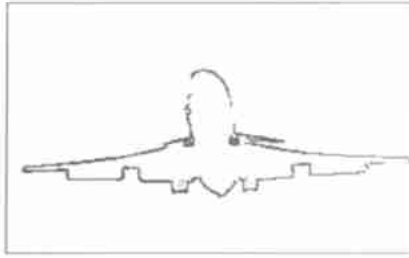


图 11 边缘图



图 12 顶点图

4 结论

综上所述,我们提出的基于形态学和距离变换的顶点探测算法有以下优点.

(1)在一定程度上克服了基于边缘方向的顶点探测算法计算复杂和对噪声敏感的缺陷,例如,在边缘发生小的断裂的情况下,基于边缘方向的顶点探测算法往往认为断裂处是顶点,有的算法甚至无法工作.而这在灰度图像中往往是经常发生的.我们的算法从原理上克服了这种情况,即角顶点的距离值必须是局部极值.

(2)算法很实用,很容易由二值图像推广到灰度图像,这往往是我们最需要的,很多基于形态学的算法仅是在二值图像中讨论,不容易推广到灰度图像中去.

(3)算法非常灵活,因为结构算子可以根据不同的应用场合采取不同的结构.

(4)仍然保持了形态学顶点探测算法的优点,计算简单、实时性强,整个算法没有涉及任何乘除,只有加减、比较等简单的运算.

参考文献:

- [1] Sun Cheol Bae, InSo Kweon, Choong Don Yoo. COP: a new corner detector [J]. Pattern Recognition Letters, 2002, 23(11): 1349- 1360.
- [2] L Kitchen, A Rosenfeld. Gray level corner detection [J]. Pattern Recognition Letters, 1982, 1(2): 95- 102.
- [3] Wang H Brady, M. Real time corner detection algorithm for motion estimation [J]. Image and Vision Computing, 1995, 13(9): 695- 703.
- [4] Singh A, Shneier M. Gray level corner detection: a generalization and a robust real time implementation [J]. Computer Vision, Graphics and Image Processing, 1990, 51: 54- 59.
- [5] Rosin P L. Augmenting corner descriptors [J]. Graphical Models and Image Processing, 1996, 58(3): 286- 294.
- [6] Zhi qiang ZHENG, Han WANG, Eam Khwang Teoh. Analysis of gray level corner detection [J]. Pattern Recognition Letters, 1999, 20(2): 149- 162.
- [7] Robert Laganère. A morphological operator for corner detection [J]. Pattern Recognition, 1998, 31(11): 1643- 1652.

- [8] LIU Weir yu, LI Hua, ZHU Guang xi. A fast algorithm for corner detection using the morphologic skeleton [J]. Pattern Recognition Letters, 2001, 22(8): 891- 900.
- [9] Rey Sem LIN, Chyi Hwa CHU, Yung Cheh Hsueh. A modified morphological corner detector [J]. Pattern Recognition Letters, 1998, 19(3): 279- 286.
- [10] Rosenfeld A, Pfaltz J. Sequential operations in digital picture processing [J]. Journal of the ACM, 1966, 13(4): 471- 484.
- [11] W H Hesselink. The Stepping Distance Transformation. <http://www.cs.rug.nl/~wim/pub/mans.html>.
- [12] 管伟光, 马颂德. 统一化的快速距离变换 [J]. 计算机学报, 1995, 18(8): 626- 635.
- [13] G Borgfors. Distance transformation in arbitrary dimensions [J]. Computer Vision, Graphics, and Image Processing, 1984, 27: 321- 345.
- [14] Alexander Toet. Target Detection and Recognition through Contour Matching [R]. TNO report TNO-TM 1994 A- 51. CALMA Report no. CALMA.TNO. WP31. AT. 95b.

作者简介:



李红松 男, 1974 生于云南, 北京理工大学自动控制系 2000 级博士生, 研究方向为图像处理、目标识别.



侯朝桢 男, 1938 年生于四川自贡, 北京理工大学自动控制系, 博导, 教授, 研究方向为神经网络、智能控制.