

一种改进的基于 Harris 的角点检测方法

毛雁明, 兰美辉, 王运琼, 冯乔生

(云南师范大学 计算机与信息技术学院, 云南 昆明 650092)

摘 要:在研究 Harris 角点检测算法时发现该算法对一些图像进行角点提取时, 存在提取伪角点、角点信息丢失和位置偏移, 而且在进行非极大值抑制时不易设置阈值等现象。提出了在进行非极大值抑制时采用双阈值法, 分别设置一个相对大和一个相对小的两个阈值, 从而得到同一图像不同阈值的角点信息, 通过角点信息对比能够很好地解决角点信息丢失和位置偏移并能消除一部分伪角点, 然后利用 SUSAN 的思想消除剩余的伪角点。通过对比实验表明, 文中算法提取角点非常有效, 比 Harris 算法具有更好的角点检测性能。

关键词:Harris 角点检测; SUSAN 角点检测; 特征提取

中图分类号:TN911.73

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)05-0130-04

An Improved Corner Detection Method Based on Harris

MAO Yan-ming, LAN Mei-hui, WANG Yun-qiong, FENG Qiao-sheng

(College of Computer and Information Technology, Yunnan Normal University, Kunming 650092, China)

Abstract:By the study of the Harris corner detection algorithm, while some images' corners are extracted, there exists the following problems: extracting false corners, the information of the corners is missing, the positioning of the corners offsets. And also not easy to set up the threshold in non-maximal inhibition. Presents to set up a dual threshold method, one is relatively large, and the other is relatively small when perform the non-maximal inhibition, so get the corners information of different thresholds in the same image, through comparing the corners information, can better solve the corners information missing, location offsetting and eliminate some false corners, and then using the idea of the SUSAN to eliminate the leaving false corners. By comparing the results show that the algorithm to extract corners very effective, and better than the Harris algorithm in the performance of corner detection.

Key words:Harris corner detection; SUSAN corner detection; feature extraction

0 引言

角点是图像的一个重要的局部特征, 它在保留了图像中物体的重要特征信息的同时有效地减少了信息的数据量。角点检测在光流计算、图像匹配、目标描述与识别、运动估计、相机标定和 3D 重构等方面有着极其重要的应用。在计算机视觉和图像处理中, 对于角点的定义有不同的表述, 如图像边界上曲率足够大的点^[1]; 图像边界上曲率变化明显的点^[2]; 图像边界方向变化不连续的点^[3]; 图像中梯度值和梯度变化率都很高的点^[4]等。由于不同的定义, 角点检测的方法也不尽相同。目前的角点检测方法可以分为两类: 一类是基于图像边缘特征的角点检测, 该方法有三个步骤, 即

图像预分割、轮廓链码提取和角点检测。如基于边界小波变换的角点检测^[5,6], 基于边界链码的角点检测^[7], 基于边界曲率的角点检测^[8,9]。这类算法在角点检测时对边缘线依赖较大, 如果边缘线由于某种原因发生中断, 则会对角点的提取结果造成影响。另一类是基于图像灰度信息的角点检测, 如 Moravec 算法、Harris and Stephens 算法^[10], SUSAN 算法^[11]。该方法主要通过计算曲率及梯度来达到检测角点的目的, 它通过计算边缘的曲率来判断角点的存在性。角点数的多少不仅与边缘强度有关, 而且与边缘方向的变化率有关。这类算法的主要缺点是定位精度不是太高, 同时还会漏掉一些实际角点, 且对噪声比较敏感。

基于灰度的角点检测方法不需要进行图像预分割、边缘提取等前期工作, 符合工业自动化的要求, 因此应用比较广泛。在直接基于图像灰度的算子中, 最著名的就是 Harris 算子, Harris 角点检测具有比较理想的结果, 它通过计算像素所在位置的梯度检测角点^[11], 如果像素所在位置有两个方向梯度的绝对值都

收稿日期: 2008-09-01

基金项目: 云南省自然科学基金项目(2007F2021X)

作者简介: 毛雁明(1982-), 男, 福建福安人, 硕士研究生, 研究方向为计算机视觉; 王运琼, 副教授, 研究方向为计算机视觉、模式识别; 冯乔生, 教授, 研究方向为计算机视觉、模式识别。

比较大,则判定该像素点为角点。然而 Harris 算子对角点响应函数执行非极大值抑制,确定局部极大值时,角点提取的效果完全依赖于单阈值的设定。阈值大会丢失角点信息但角点定位非常精确,阈值小又会提取出很多伪角点并且部分角点发生位置偏移。针对此问题,笔者提出了用双阈值法,先利用一个比较大的阈值提取一部分正确的角点信息,接着用一个比较小的阈值提取比较多的角点信息,通过提取出的角点信息对比,能够获得部分正确的角点信息,且去除了部分伪角点,这时还剩部分伪角点没有去除,然后利用 SUSAN 的思想去除剩余的伪角点。由于 Harris 算法采用了高斯滤波,具有很好的抗噪性,文中算法又是在 Harris 算法的基础上进行改进,同样具有很好的抗噪性。最后通过对比实验,表明本算法能够有效地提取角点并精确定位,且比 Harris 算法具有更好的角点检测性能。

1 Harris 角点检测原理与局限

Harris 角点检测算法是在 Moravec 算法基础上发展起来的,Harris 通过微分运算和自相关矩阵来检测角点^[10]。微分算子能够反映像素点在任意方向上的灰度强度变化,因而能够有效地区分角点和边缘点,记像素点 (x, y) 的灰度为 $f(x, y)$,图像的每个像素点 (x, y) 移动 (u, v) 的灰度强度变化表示为:

$$\begin{aligned} E_{u,v}(x, y) &= \sum_{u,v} w_{u,v} [f(x+u, y+v) - f(x, y)]^2 \\ &= \sum_{u,v} w_{u,v} [u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y} + O(u^2, v^2)]^2 \\ &\approx \sum_{u,v} w_{u,v} (u \frac{\partial f}{\partial x} + v \frac{\partial f}{\partial y})^2 \\ &= \sum_{u,v} w_{u,v}(u, v) \begin{bmatrix} (\frac{\partial f}{\partial x})^2 & \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial y} \\ \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial y} & (\frac{\partial f}{\partial y})^2 \end{bmatrix} (u, v)^T \end{aligned} \quad (1)$$

其中 $w_{u,v}$ 为高斯窗口在 (u, v) 处的系数。由于 Harris 检测算法选用高斯函数为检测窗口,对图像进行平滑滤波后再提取角点,对噪声有一定的抑制作用。在

Harris 角点检测算法中,用 $\frac{\partial f}{\partial x}, \frac{\partial f}{\partial y}$ 反映图像在每个像素点的灰度变化方向,若像素点 (x, y) 存在两个方向灰度都发生足够大的变化则提取为角点。令 $M =$

$$\begin{bmatrix} (\frac{\partial f}{\partial x})^2 & \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial y} \\ \frac{\partial f}{\partial x} \frac{\partial f}{\partial y} & (\frac{\partial f}{\partial y})^2 \end{bmatrix}, \text{则 } M \text{ 称为像素点 } (x, y) \text{ 的自相关}$$

矩阵。为了避免对自相关矩阵 M 进行特征值分解,定义角点响应函数(CRF)为 $R = \det M - k(\text{trace} M)^2$,其中 $\det M = \lambda_1 \lambda_2$, $\text{trace} M = \lambda_1 + \lambda_2$, λ_1 和 λ_2 为 M 的特征值, k 为经验值,通常取 0.04。如果满足 $R >$

threshold 的像素点提取为角点。而文中采用文献[1]中的角点响应函数来判定角点:

$$R = \det M / (\text{trace} M + \epsilon) \quad (2)$$

其中 ϵ 为任意小的正数,该角点响应函数与 Harris 角点检测算子中的角点响应函数 $R = \det M - k(\text{trace} M)^2$ 相比,它避免了 k 的选取,减少了 k 选择的随机性。因而,文中采用的响应函数更具有实用性。

虽然 Harris 角点检测算法是一种经典的角点检测算法,具有旋转和仿射不变性,但仍然存在以下不足:①Harris 角点检测在对角点度量执行非极大值抑制,确定局部极大值时,角点提取的效果完全依赖于单阈值的设定。阈值大会丢失角点信息,阈值小又会提取出很多伪角点,图 1 说明了上述的不足,(a)为阈值取 5000 的 Harris 角点检测结果,从中看出虽检测了部分正确角点,但很多角点未被检测出来;(b)为阈值取 600 的 Harris 角点检测结果,虽检测了更多的正确角点,但同时也提取了很多伪角点。②Harris 角点检测虽然采用了可调窗口的高斯平滑函数,但在实际应用中高斯窗口的控制不易控制。如果选用较小窗口的高斯平滑函数,则会因为噪声的干扰导致众多伪角点的出现;如果用较大窗口的高斯平滑函数,则会因为卷积的圆角效应使得角点的位置产生偏移。③用光滑的高斯函数对图像做平滑滤波时,会由于过度平滑导致角点信息的丢失。

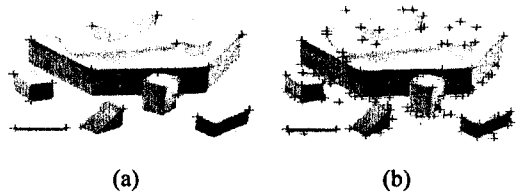


图 1 Harris 角点检测结果

2 改进的角点检测算法

根据 Harris 角点检测算法存在的不足,闫龙^[12]通过计算图像的方差、平均梯度与熵,建立图像质量评价量表,以此来设置 Harris 角点检测的参数;张小洪、王玉珠等人^[13,14]利用 B 样条函数可以收敛于高斯函数且具有良好的逼近能力和紧支性等优秀的性质对 Harris 角点检测方法进行改进。文中提出了双阈值法和利用 SUSAN 算法的思想方法能够很好地去除伪角点且解决了 Harris 算子中阈值不易控制的问题。并通过对比实验表明文中算法比 Harris 算法具有更好的角点检测性能。

2.1 利用双阈值法去除伪角点

由于 Harris 在进行角点检测时不易控制阈值,阈

值过大检测出的角点信息少,但精确,阈值小检测的角点信息多,但同时带来了伪角点且有些角点发生位置偏移。文中提出了一种双阈值法,利用一个大的阈值和小的阈值分别提取同一图像的角点信息分别记为 corner1 与 corner2 ,为了尽可能多地检测出精确角点,且使伪角点尽可能的少,用 corner1 与 corner2 进行比较:如图 2 所示,像素点 (m,n) 是 corner1 上的某个角点,则像素点 (m,n) 也一定是 corner2 中的角点,但 corner2 中存在很多伪角点,可能有一部分角点与 (m,n) 临近。利用角点之间存在一定的距离,去除 corner2 中以 (m,n) 为中心的 5×5 邻域的角点信息并记录 (m,n) 。在 corner2 中去除 (m,n) 这个角点,主要为了后面利用 SUSAN 思想去除伪角点时可能把 (m,n) 当作伪角点去除,这样就能够更好地检测出角点并精确定位。如此下去,就记录了很多正确角点信息,同时也把 corner2 中一部分正确角点信息和伪角点删除。此时 corner2 中仍然存在一部分正确角点和伪角点,最后利用 SUSAN 思想方法去除 corner2 中的伪角点,把 corner2 剩下的角点当作正确角点,同时记录这些正确角点信息。

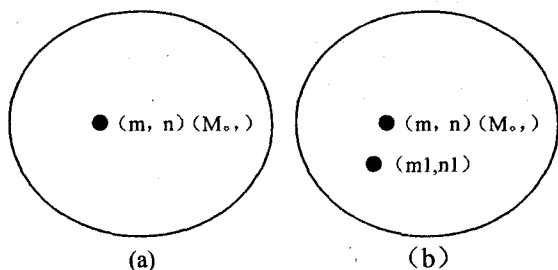


图 2 双阈值法去除伪角点

图 2(a)中 (m,n) 为 corner1 中的角点,(b)中 (m,n) 与 $(m1,n1)$ 为 corner2 中的角点,且 $(m1,n1)$ 在以 (m,n) 为中心的 5×5 邻域内。

2.2 利用 SUSAN 思想去除伪角点

利用 SUSAN 的思想方法,能够很好地去除伪角点,并且此方法对噪声不敏感,即使是含噪图像也能够很好地去除由于噪声而检测出的伪角点。定义一个直径 $D = 7$ 的圆形模板,如图 3 所示。

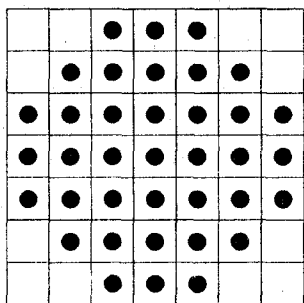


图 3 直径 $D = 7$ 的圆形模板

用圆形模板在图像上移动,若模板内像素的灰度值与模板中心的像素灰度差小于一定的阈值,则认为该点与核具有相同(或近似)的灰度。由满足这样条件的像素组成的区域称为 USAN(Univalue Segment Assimilating Nucleus),具体检测时,用圆形模板扫描整幅图像,当圆形模板完成处于背景或目标时,USAN 区域的面积最大,当模板向目标边缘靠近时,USAN 区域的面积逐渐减小,当模板核处于目标边缘时,USAN 面积很小,当模板的核处于角点时,USAN 区域的面积最小。

根据这个原理,可以检测出角点,也可以用来判断伪角点。通过前面对 corner2 进行处理以后,只要利用圆形模板对 corner2 进行扫描,而不需要扫描整幅图像,设像素点 (m,n) 为 corner2 的角点,如果以 (m,n) 为核的 USAN 的面积大于 $1/2$ 的模板面积时,则认为该角点为伪角点,从 corner2 中去除。如此下去,就可以把 corner2 中大部分的伪角点去除,剩下的当作正确角点,最后记录这些角点。

3 实验结果与分析

在本实验中,执行非极大值抑制时选用的两个阈值只要一个相对大一个相对小就好了,但小阈值执行非极大值抑制时必须能够尽量多地检测出角点,虽然这样也同时带来了伪角点,但用 SUSAN 思想方法能够很好地去除这些伪角点。

图 4(a)中表示 Harris 算法进行角点检测时采用的一个非常好的阈值的效果图(阈值 = 1200);(b)为文中算法利用双阈值(阈值为 2000 与 600)提取角点的效果图。图 5(a)中表示在图像中加入 5% 的高斯噪声,

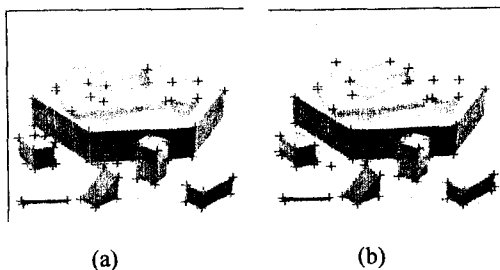


图 4 文中算法与 Harris 算法实验结果对比

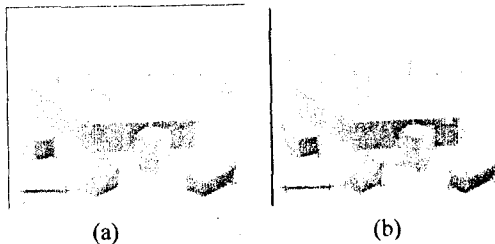


图 5 实验结果对比

Harris 算法进行角点检测时采用的一个非常好的阈值的效果图(阈值 = 4000);(b)为文中算法利用双阈值(阈值为 5000 与 3500)提取角点的效果图。通过表 1 与表 2,文中算法与 Harris 算法比较,表明改进的 Harris 算法比 Harris 算法的检测效果更好且具有很好的抗噪性。

表 1 角点个数统计

检测器	准确角点	漏检角点	伪角点
Harris 算法 (阈值 = 1200)	46	14	10
文中算法	51	9	5

表 2 角点个数统计(5%的高斯噪声)

检测器	准确角点	漏检角点	伪角点
Harris 算法 (阈值 = 4000)	37	23	8
文中算法	45	15	5

4 结束语

为了克服 Harris 算法存在的不足,即在角点提取中会出现伪角点、角点信息丢失和位置偏移,在进行非极大值抑制时不易设置阈值等现象,通过在进行非极大值抑制时采用双阈值法,分别设置一个相对大和一个相对小的两个阈值,大阈值能够精确地提取角点但丢失很多角点信息,小阈值能检测出较多角点,但检测出的角点存在位置偏移且存在很多伪角点。文中通过对同一图像不同阈值的角点信息进行对比能够很好地解决角点信息丢失和位置偏移且去除部分伪角点,然后利用 SUSAN 的思想方法去除剩余的伪角点。最后通过对比实验,表明本算法对提取角点非常有效,比 Harris 算法具有更好的角点检测性能。

参考文献:

[1] Smith A M, Brady J M. SUSAN: A New Approach to Low
++++++
(上接第 129 页)
[3] Lowe D G. Distinctive image features from scale - invariant
key - points[J]. International Journal of Computer Vision,
2004,60(2):91 - 110.
[4] Ke Y, Sukthankar R. PCA - SIFT: A more distinctive repre-
sentation for local image descriptors[M]. [s. l.]: IEEE Com-
puter Society, 2004:511 - 517.
[5] Mikolajczyk K, Schmid C. A Performance Evaluation of Local
Descriptors[C]//Proceedings of the Conference on Computer
Vision and Pattern Recogniton. Madison, Wisconsin, USA:[s.
n.], 2005:257 - 264.
[6] Brown M, Lowe D G. Recognising Panoramas[C]//In Pro-

Level Image Processing[J]. International Journal of Computer
Vision, 1997, 23(1):45 - 78.
[2] Zun Ga O A, Haralick R M. Corner Detection Using the Facet
Model[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer
Vision and Pattern Recognition. Piscataway, USA: IEEE,
1983:30 - 37.
[3] S Hen H T, Hu W C. A Rotationally Invariant Two - phase
Scheme for Corner Detection[J]. Pattern Recognition, 1996,
29(5):819 - 828.
[4] Wu Z Q, Rosenfeld A. A Filtered Projections as an Aid in
Corner Detection[J]. Pattern Recognition, 1983, 16(1):31
- 38.
[5] Hua J P, Liao Q M. Multiscale corner detection by using
wavelet transform[J]. IEEE Transactions on Image Process-
ing, 1995, 4(1):100 - 104.
[6] 王 展, 皇普堪, 万建伟, 等. 基于多尺度小波变换的二维
图像角点检测技术[J]. 国防科技大学学报, 1999, 21(2):46
- 49.
[7] Freeman H, Davis L S. A corner - finding algorithm for chain
- coded curves[J]. IEEE Trans. on Computer, 1977, 26(3):
297 - 303.
[8] Mokhtarian F, Suomela R. Robust mage Corner Detection
Through CurvatureScale space[J]. IEEE Trans. Pattern Anal-
ysis and Machine Intelligence, 1998, 20(12):2549 - 2552.
[9] 李 伟, 沈振康, 李 飏. 基于局部曲率函数的角点检测
[J]. 计算机工程与设计, 2007, 28(11):2595 - 2596.
[10] Harris C, Satephens M J. A combined corner and edge detec-
tor[J]. Image Vision Computing, 1988, 6(1):121 - 128.
[11] Robert M. The topographic primal sketch[J]. The Interna-
tional Journal of Robotics Research, 1983, 2(1):50 - 72.
[12] 闫 龙, 赵正旭, 周以齐. 图像质量对 Harris 角点检测的影
响研究[J]. 山东大学学报, 2006, 36(5):21 - 24.
[13] 张小洪, 李 博, 杨 丹. 一种新的 Harris 多尺度角点检测
[J]. 电子与信息学报, 2007, 29(7):1735 - 1738.
[14] 王玉珠, 杨 丹, 张小洪. 基于 B 样条的改进型 Harris 角点
检测算法[J]. 计算机应用研究, 2007(2):192 - 193.

ceedings of the 9th International Conference on Computer Vi-
sion (ICCV2003). Nice, France:[s. n.], 2003:1218 - 1225.
[7] 蔡丽欢, 廖英豪, 郭东辉. 图像拼接方法及其关键技术研究
[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3):1 - 4.
[8] 吴锐航, 李绍滋, 邹丰美. 基于 SIFT 特征的图像检索[J].
计算机应用研究, 2008, 25(2):478 - 481.
[9] 许广毅, 王 杨. 基于 SIFT 特征的单样本人脸识别研究
[J]. 信息工程大学学报, 2008, 9(2):164 - 167.
[10] 汪国有, 王岳环, 张天序. 大转角下高质量图像旋转快速算
法[J]. 华中理工大学学报, 1999, 27(6):45 - 47.