

基于改进的 Harris 算法检测角点

周龙萍

(四川大学 计算机学院, 四川 成都 610064)

摘要: 传统的 Harris 角点检测算法检测效果比较理想,也有较高的重复率,然而其角点提取的效果几乎完全依赖于非极大值抑制过程中阈值的设定,当参数不改变时,并不具有旋转不变性。文中提出了一种改进的 Harris 算法,通过二次非极大值抑制,有效地避免设置阈值这一难点;同时,在不改变任何参数的情况下,明显地减小了图像旋转前后角点提取的差异。通过对比实验表明,本算法简单易操作,提取角点非常有效,相较于传统的 Harris 算法具有更好的角点检测性能。

关键词: Harris 算子; 角点; 非极大值抑制; 旋转不变; 阈值

中图分类号: TP31

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2013)02-0011-04

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2013.02.003

Corners Detection Based on Improved Harris Algorithm

ZHOU Long-ping

(College of Computer Science, Sichuan University, Chengdu 610064, China)

Abstract: The traditional Harris corner detection algorithm not only has a good work, but also has a higher repetition rate. However, the whole corner detection process depends almost entirely on the corner extraction threshold during non-maxima suppression, and it's hard to achieve the rotational invariance if the parameters do not change. It presents an improved Harris algorithm, through the secondary maxima suppression to avoid setting the threshold value; at the same time, reduce the corner extraction differences around image rotation when there is not any change to the parameters. The experiment shows that this algorithm is simple and easy to operate, the corner points extracted are very effective, compared with the traditional Harris algorithm has better corner detection performance.

Key words: Harris operator; corner; non-maxima suppression; the rotational invariance; threshold

0 引言

在图像处理研究领域,往往要从两幅或更多的相关图像中提取有用的信息。比如,从一张红外图像中找到与之对应的可见光图像中相同的特征部分,由于两张图像分别通过红外摄影仪与可见光摄影机得到,其图像本身之间有质的差别,已经无法通过一般地比较两幅图像中每一个像素点的原始方法进行信息提取。于是,那些具有特殊性质、富有代表性的兴趣点成为考虑的重点,即特征点。角点是特征点最重要的一种表现形式。对角点提取的越准确,越有助于对图像的理解和分析,同时它对于确定场景中的物体乃至立体视觉图像配准都有很重要的作用^[1]。

目前对于角点的定义并未得到统一。根据不同的提取方法,角点往往也有不同的表述,如基于灰度的角点检测将角点描述为图像中具有周围灰度变化剧烈特

征的点;而基于边缘的角点检测将角点描述为图像边界上具有曲率足够高的点。因此,角点的检测方法决定了角点的定义,而角点的定义也相应地决定了角点检测所采用的方法以及所检测出的角点特性。根据角点的不同定义,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,一类是基于图像灰度信息的角点检测^[2]。

基于边缘的角点检测一般通过图像预分割和轮廓链码提取后,再进行角点检测。常见的检测方法有:基于边界小波变换的角点检测^[3]、基于边界链码的角点检测^[4]、基于边界曲率的角点检测^[5]。

基于灰度信息的角点检测主要是通过计算曲率和梯度来进行角点提取,它不需要对图像进行预分割和边缘提取等前期工作,因此能广泛地应用到各个领域。但它往往需要设定阈值,边缘强度与边缘的变化率也直接影响着提取的角点数目。典型的基于灰度信息的角点检测算法有:Moravec 算法、Harris 算法^[6]、SU-SAN 算法^[7]等。其中,Harris 算法角点检测结果相对比较理想,最具代表性。它是典型的 Moravec 算子的一种改进,基于这样的假设^[8]:若某一点在领域内平移

收稿日期: 2012-05-18; 修回日期: 2012-08-22

基金项目: 国家“863”高技术发展计划项目(2012AA011804)

作者简介: 周龙萍(1988-),女,四川南充人,硕士研究生,主要研究方向为数字图像处理、图像配准。

一个很小的距离后,亮度变化很小则说明该点处于亮度均匀的“平坦区域”;若沿某一方向变化小而沿另一方向变化大则说明该点在边缘上;若亮度在各个方向上变化都很大,则判断该点为特征角点。其优点明显:首先,由于 Harris 算子只用到了灰度的一阶差分以及滤波,也不涉及阈值,使得计算简单,操作方便,自动化

程度高,具有较好的重复性与信息量;同时, Harris 算子对图像中的每一个点都计算其兴趣值,通过领域选

优,使得角点分布均匀,特征点数目在纹理信息丰富的区域相对较多,而在纹理信息较少的区域则偏少^[9]。然而, Harris 算子也有其不足之处, Harris 算子需要对每个点计算兴趣值,使得计算量增大^[10];同时由于依赖于梯度信息因而对噪声很敏感;并且它是基于像素级的计算,因此对许多类型交叉点的定位也不准;如果在提取角点的过程中不修正阈值,它也并不能够实现旋转不变性^[8]。

文中通过大量实验,基于 Harris 算子通过进行二次非极大值抑制,有效地避免了设置阈值这一难题,同时,也减小了图像在旋转前后角点提取效果的偏差,极大地改进了 Harris 算子的检测性能。

1 Harris 算子检测原理及不足

1.1 Harris 算法原理

Harris 是 Harris 和 Stephens 在 1988 年提出,专门针对 Moravec 算子的改进版。Harris 算子,又称 Plessey 算子,它基于与 Moravec 相同的角点定义,即定义在各个方向上灰度值变化的点。与 Moravec 算子的不同之处在于局部自相关测量结果的估计方式, Moravec 算子只对八方向离散的移动方向计算灰度变化,而 Harris 算子允许获得所有方向上的自相关变化(也就是灰度变化)^[8],它用一个自相关函数来计算灰度信号在二维方向上具有明显变化的像素点位置,构造一个与相关函数相关的矩阵 \mathbf{M} ,而通过比较矩阵 \mathbf{M} 的特征值的大小可以轻松地提取到相应的角点^[6]。

设图像窗口平移 $[u, v]$ 产生的灰度变化为 $E(u, v)$, 则:

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I(x+u, y+v) - I(x, y)]^2 \quad (1)$$

$$\text{由 } I(x+u, y+v) = I(x, y) + I_x u + I_y v + O(u^2, v^2)$$

得

$$E(u, v) = \sum_{x, y} w(x, y) [I_x u + I_y v + O(u^2, v^2)]^2, \text{ 从}$$

$$\text{而得到: } [I_x u + I_y v]^2 = [u, v] \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

到下面的表达:

$$E(u, v) = [u, v] \mathbf{M} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (2)$$

\mathbf{M} 为二维矩阵,且

$$\mathbf{M} = \sum_{x, y} w(x, y) \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$w(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{(x^2+y^2)}{2\sigma^2}} \quad (4)$$

其中, I_x 表示 x 方向的梯度, I_y 表示 y 方向的梯度, $w(x, y)$ 为高斯函数。矩阵 \mathbf{M} 的特征值是自相关函数的一阶曲率。 \mathbf{M} 特征值的大小与特征点的性质息息相关。即当两个特征值都比较小时,则此点可能位于平坦区,不为角点或边界点;当两个特征值一个较大、而另一个却相对较小时,则此点位于边界上,属于边界点;当两个特征值均相对较大时,则此点沿任意方向的曲率都较大,为需要提取的角点^[8]。

一般地,为了避免计算矩阵 \mathbf{M} 的特征值,常通过下式来计算特征点的响应函数,亦称兴趣值:

$$R = \text{Det}(\mathbf{M}) - K \text{Trace}^2(\mathbf{M}) \quad (5)$$

其中, $\text{Det}(\mathbf{M})$ 为矩阵 \mathbf{M} 的行列式, $\text{Trace}(\mathbf{M})$ 为矩阵 \mathbf{M} 的迹,即 \mathbf{M} 特征值之和。 K 为经验值常数,一般在 0.04 ~ 0.06 范围内取值。

为了计算方便,文中采用文献[2]中所提及的角点响应函数计算兴趣值从而判定出角点,即:

$$R = [I_x^2 * I_y^2 - (I_x I_y)^2] / (I_x^2 + I_y^2 + \epsilon) \quad (6)$$

其中, ϵ 表示任意小的正数。与(5)相比,数学公式(6)的计算避免了 K 选择的随机性。

1.2 Harris 算法步骤

(1) 利用差分算子对图像进行滤波,并计算图像中每个像素点的 $I_x^2, I_y^2, I_x I_y$;

(2) 对 $I_x^2, I_y^2, I_x I_y$ 进行高斯平滑,以去除噪声。在此过程中可通过归一化将模板参数和置 1;

(3) 计算原图像每个对应点的兴趣值 R , 并进行局部非极大值抑制;

(4) 设定阈值,如果兴趣值大于这个阈值并且在某领域内是局部最大值,则认为该点是需要提取的角点。

1.3 Harris 算法不足

虽然 Harris 算法相较于其他众多基于灰度的角点提取算法具有明显的优势,但它仍然存在一些不足:

一方面,在经典的 Harris 角点检测中,当对角点的兴趣值进行非极大值抑制来确定局部极大值的时候,

$$\begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}$$

角点的提取效果几乎完全由设定的阈值大小决定 [11]。而阈值的大小也与所提取的角点数量息息相关，一般

I_y^2 情况下，阈值越大提取的角点越少，极易造成正确角点

于是对于局部微小的移动量 $[u, v]$ ，可以近似得 的丢失；阈值越小提取的角点数越多，也会带来很多伪

角点。因此,在运用 Harris 算法进行角点检测时,阈值这个经验值的选取和设定对角点提取具有很大的影响;

另一方面,正如陈静^[8]所述,和 Moravec 算子一样,Harris 算子有各项异性反应。由于 M 只是用于水平和垂直的梯度来计算,Harris 算子并非原则不变性(即,有各项同性反应),而是各项异性的。陈静用两幅设有相同参数值的图像,在旋转前后对它们分别进行角点检测,结果表明角点提取差异很大,经旋转后的图像斜向边缘会被误检为角点,并通过经验得出 Harris 算子在旋转 45° 后反应的差别最大的结论。而实际上,文献[8]并未抓住要点,因为当图像旋转时,若相应地改变旋转后的阈值参数,也能得到与旋转之前的图像相同的角点提取效果。因而,这又面临了再次获取阈值的问题。

2 改进的角点提取算法

根据 Harris 角点提取算法过程中存在的不足,毛雁明等人^[2]通过在进行非极大值抑制时采用双阈值法,对同一图像不同阈值的角点信息进行对比,从而解决角点丢失和位置偏移的问题;房超等人^[12]利用双掩膜来定义进行非极大值抑制的局部范围,结合 K 均值聚类方法进行非极大值抑制;龚平等人^[13]通过对图像中每行、每列上所有像素点的兴趣值进行 X、Y 方向的曲线拟合,将拟合曲线上都处于“波峰”位置的点提取为角点;张小洪、王玉珠^[14,15]等人采用 B 样条函数方法,利用它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,也比较好地对 Harris 角点检测方法进行了改进。文中基于 Harris 中极大值的处理,通过二次极大值处理,从而避免了设置阈值。通过试验对比,本算法比 Harris 算法具有更好的角点检测性能,同时,当不改变算法任何参数时,图像旋转前后所提取的角点差异较小。

在 Harris 角点检测过程中,Harris 算子对角点响应函数执行非极大值抑制,一般通过设定一个很小的正方形区域(后续中均称为“模板区域”),再从此模板区域内获取最大值,当极大值大于零时,标记模板区域中心所对应的图像位置的值为此最大值^[4]。然后,用同样的方法,按照从左到右,从上到下的顺序依次遍历一点,直到整个图像都被检测为止,从而获取到基于模板区域的局部极大值。传统的 Harris 角点检测算子选取的角点即为大于给定阈值的极大值点。

本算法采用二次非极大值抑制,即先用传统的 Harris 提取出非极大值,并标记出极大值点,再用同样的方法对提取出的极大值点信息进行第二次非极大值抑制。因此,第一次非极大值抑制提取出的极大值点,

在经过二次非极大值抑制之后就有可能发生丢失,只保留了那些相对更大的极大值点,从某种意义上讲,保留了一个稍大局部里的响应度最大的点。

如图 1 所示,阴影区域表示模板区域,即为进行非极大值抑制时的局部区域,每次获得该区域中的一个极大值后,按位置加一的顺序进行下一次的比较和非极大值抑制。

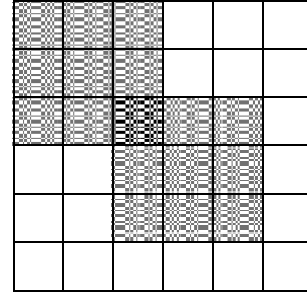
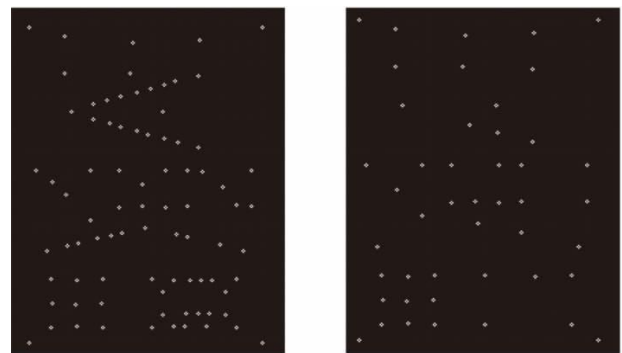


图1 极大值抑制

图 2 是本试验中图像的两次非极大值抑制情况图,其中图(a)表示进行第一次非极大值抑制后所提取的极大值点,图(b)表示在(a)的基础上进行第二次非极大值抑制所提取的极大值,也即为文中的角点。显然地,图(b)与图(a)相比,点的数量少了很多,同时,相较于图(a)中点的密集分布,图(b)的点显得相对分散、更加均匀。



(a) 第一次非极大值抑制

(b) 第二次非极大值抑制

图2 两次非极大值抑制点

3 实验结果与分析

在本实验中,不必设置阈值,只需在非极大值抑制过程中,对模板区域设置大小即可。本实验使用 15×15 的模板区域进行检测。整个试验过程的参数都未进行改变。

如图 3 所示,图中表示使用 Harris 算法和本算法进行角点检测的结果,在 Harris 算子中,设定其阈值为 500 时,效果较好;图像旋转对比时,采用逆时针旋转 45° 。其中,(a)和(c)表示使用 Harris 算子对旋转前后的图像的角点检测,(b)和(d)表示使用本算法对旋转前后的图像的角点检测。

通过表 1 与表 2 可以很容易地发现,文中算法相

较于 Harris 算法检测效果更好,且在发生旋转前后,文中算法变化不大。

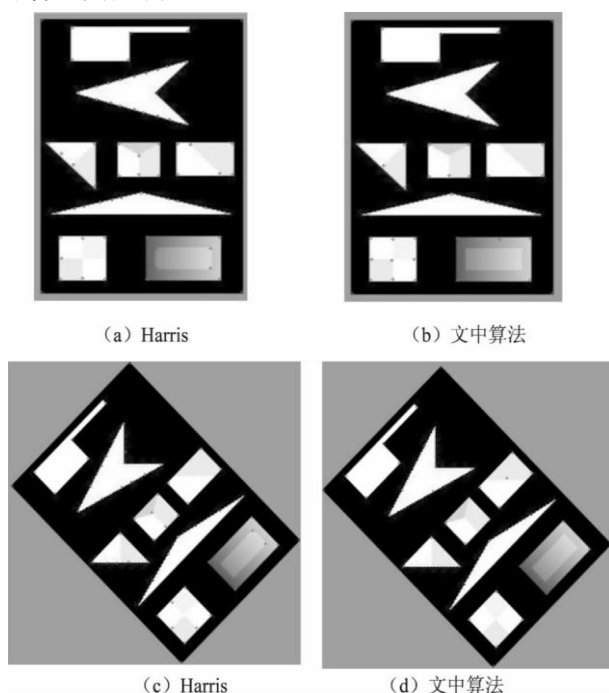


图 3 角点检测结果

表 1 旋转前的角点数量统计

| 检测算法 | 准确角点 | 漏检角点 | 伪角点 | 角点总数 |
|-----------------------|------|------|-----|------|
| Harris 算法 (阈值=500) | 35 | 1 | 35 | 70 |
| 文中算法 | 35 | 1 | 11 | 46 |

表 2 旋转后的角点数量统计

| 检测算法 | 准确角点 | 漏检角点 | 伪角点 | 旋转角点 | 角点总数 |
|-----------------------|------|------|-----|------|------|
| Harris 算法 (阈值=500) | 35 | 1 | 23 | 45 | 58 |
| 文中算法 | 33 | 3 | 7 | 45 | 40 |

4 结束语

Harris 算子相较于其他基于灰度的角点检测算子,具有比较好的执行效果,是比较经典的角点提取算子之一。针对 Harris 算子提取角点过程中存在的不足,比如,在进行非极大值抑制时不易设置阈值、图像旋转前后角点提取效果上的明显差异等现象,通过采用二次非极大值抑制的方法,有效地避免了设置阈值这一难题,同时,也减小了图像旋转时所引起的角点差异问题。由于本算法基于传统的 Harris 算法,通过使用平移的圆形窗口对图像进行预处理来降噪,因此本算法稳定性高,且对噪声不敏感,对形状的角点检测准确性也较高。文中通过对同一图像在旋转前后分别用 Harris 算法与本算法进行对比,实验结果表明,本算法能很好地控制角点数量,同时在不更改任何参数的前提下,基本能保证旋转不变性,与传统的 Harris 角点提

取算法相比,具有很好的角点检测性能。

同时,由于在第一次非极大值抑制基础上进行的第二次非极大值抑制,从而当角点分布较密集时,可能造成一些角点的丢失,降低了角点的准确率。因此,本算法模板区域选择与图像的角点分布有一定关系,虽然成功地避免了设置阈值这一难题,但却未能真正达到自适应,在以后的工作中应当继续研究。

参考文献:

- [1] 叶 鹏,王 琰.一种改进的 Harris 多尺度角点检测[J].计算机技术与发展,2010,20(4):58-60.
- [2] 毛雁明,兰美辉,王运琼,等.一种改进的基于 Harris 的角点检测方法[J].计算机技术与发展,2009,19(5):130-133.
- [3] Hua J P, Liao Q M. Multiscale corner detection by using wavelet transform[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1995,4(1):100-104.
- [4] Freeman H, Davis L S. A corner-finding algorithm for chain-coded curves[J]. IEEE Trans. on Computer, 1977,26(3):297-303.
- [5] Mokhtarian F, Suomela R. Robust Image Corner Detection through Curvature Scale Space[J]. IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1998,20(12):2549-2552.
- [6] Harris C, Satephens M J. A combined corner and edge detection[J]. Image Vision Computing, 1988,6(1):121-128.
- [7] Smith A M, Brady J M. SUSAN: A New Approach to Low Level Image Processing[J]. International Journal of Computer Vision, 1997,23(1):45-78.
- [8] 陈 静.图像配准特征点提取算法研究[D].南京:南京理工大学,2006.
- [9] Bellavia F, Tegolo D, Valenti C. Improving Harris corner selection strategy[J]. IET Computer Vision, 2011,5(2):87-96.
- [10] Guo Chenguang, Li Xianglong, Zhong Linfeng, et al. A Fast and Accurate Corner Detector Based on Harris Algorithm[C]//Third International Symposium on Intelligent Information Technology Application. [s. l.]: [s. n.], 2009:49-52.
- [11] Bellavia F, Cipolla M, Tegolo D, et al. An Evolution of the Non-parameter Harris Affine Corner Detector: a Distributed Approach[C]//International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies. [s. l.]: [s. n.], 2009:18-21.
- [12] 房 超,王小鹏,牛云鹏,等.基于改进 Harris 算法的角点检测[J].计算机与数字工程,2011,39(5):142-144.
- [13] 龚 平,刘相滨,周 鹏.一种改进的 Harris 角点检测算法[J].计算机工程与应用,2010,46(11):173-175.
- [14] 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.
- [15] 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.