

文章编号:1007-2780(2013)06-0939-04

基于边缘改进的 Harris 角点检测方法

刘博超, 赵 建, 孙 强*

(中国科学院 长春光学精密机械与物理研究所, 吉林 长春 130033, E-mail: liubochao@ciomp. ac. cn)

摘 要: 针对 Harris 角点检测算法中, 对于图像角点存在错检和漏检的问题, 提出了一种基于图像边缘的 Harris 角点检测方法。该方法首先采用二阶微分算子提取图像边缘, 然后在得到的图像边缘的基础上进行 Harris 角点检测, 最后记录检测出的角点的位置并在原图上进行标记。实验结果表明, 相对于传统的采用梯度进行角点检测的方法, 采用二阶微分算子提取边缘后的角点检测方法能够更多更准确地检测到图像的角点。

关 键 词: 角点检测; Harris 算子; 梯度; 拉普拉斯算子

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

DOI: 10.3788/YJYXS20132806.0939

Improved Harris Corner Detection Method Based on Edge

LIU Bo-chao, ZHAO Jian, SUN Qiang*

(Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences,
Changchun 130033, China, E-mail: liubochao@ciomp. ac. cn)

Abstract: In order to solve the undetected and error detected problem in Harris corner detection method, an improved Harris corner detection method based on edge is put forward. The improved method firstly extracts edge of input image with second order differential operator and then detects the corners in the edge image with Harris corner detection method. Finally the positions of the detected corners are recorded and marked in the original image. Experimental results show that the improved corner detection method which extracts edge with second order differential operator is able to detect more corners more accurately than that with gradient.

Key words: corner detection; Harris operator; gradient; Laplacian operator

1 引 言

角点一般被定义为图像边缘曲线上曲率极大的点, 或者是图像亮度变化剧烈的点, 它在保留了图像原有特征的基础上有效地减少了信息的数据量, 从而提高了图像处理的速度和精度。角点检测方法在图像配准^[1]、图像拼接^[2]、图像融合^[3]、精确定位等领域有着非常重要的应用, 它不

仅可以大大减少图像处理过程中的计算量, 而且可以降低噪声的影响, 对灰度变换、图像形变以及遮挡等都有较好的适应能力。

基于图像灰度的角点检测方法主要考虑像素点邻域的灰度变化, 即图像亮度的变化, 将图像中与其相邻点亮度对比足够大的点定义为角点, 主要通过计算点的曲率及梯度来检测角点。此类方法得到了非常深入的研究, 已经取得了很大的进

收稿日期: 2013-01-31; 修订日期: 2013-04-02

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60977001); 吉林省科技厅项目(No. 20106015); 吉林省与中国科学院合作长春图开发开放先导区科技创新合作专项(No. 2011CJT0004)

作者简介: 刘博超(1985—), 男, 吉林长春人, 硕士, 研究实习员, 主要研究方向: 数字图像处理。

* 通信联系人, E-mail: sunq@ciomp. ac. cn

展。其中 Harris^[4]等人提出的基于 Harris 算子的角点检测方法被公认为是效果较好的基于图像灰度的角点检测方法之一。

2 Harris 角点检测及其不足

类似于 Moravec 算子^[5]中计算某一方向的

灰度变化(自相关性), Harris 算子以 (x_0, y_0) 为中心的一个圆形窗来计算。记 $N_0 = N(x_0, y_0, r)$, 其中 $N(x_0, y_0, r) = \{(x, y) \in R^2, \|(x, y) - (x_0, y_0)\| \leq r\}$ 为 (x_0, y_0) 的一个邻域, 则灰度函数 $I(x, y)$ 在 (x_0, y_0) 处沿着某一方向的灰度变化可表示为:

$$f(x_0, y_0) = \min_{(\Delta x, \Delta y) \in D_\epsilon} \sum_{(x, y) \in N_0} [I(x + \Delta x, y + \Delta y) - I(x, y)]^2 \quad (1)$$

其中 $(\Delta x, \Delta y)$ 为平移基元, $(\Delta x, \Delta y) \in R^2 - \{(0, 0)\}$, $D_\epsilon = \{(\Delta x, \Delta y) \in R^2, \|(\Delta x, \Delta y)\| = \epsilon, \epsilon \geq 0\}$ 为所有 ϵ 大小的平移基元。用 Taylor 展开的前两项来近似, 可得:

$$I(x + \Delta x, y + \Delta y) \approx I(x, y) + \nabla I(x, y)^T \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 $\nabla I(x, y) = (\frac{\partial I(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial I(x, y)}{\partial y})^T$ 为该点处的梯度, 将式(2)代入式(1)可得:

$$\begin{aligned} f(x_0, y_0) &\approx \min_{(\Delta x, \Delta y) \in D_\epsilon} \sum_{(x, y) \in N_0} [\Delta x, \Delta y] \cdot \\ &\quad \nabla I(x, y) \nabla I(x, y)^T \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \\ &\min_{(\Delta x, \Delta y) \in D_\epsilon} [\Delta x, \Delta y] \left(\sum_{(x, y) \in N_0} \nabla I(x, y) \nabla I(x, y)^T \right) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \\ &\min_{(\Delta x, \Delta y) \in D_\epsilon} [\Delta x, \Delta y] M \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } M &= \sum_{(x, y) \in N_0} \nabla I(x, y) \nabla I(x, y)^T = \\ &\left(\frac{\partial I(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} \right)^T \left(\frac{\partial I(x, y)}{\partial x}, \frac{\partial I(x, y)}{\partial y} \right) \end{aligned}$$

显然 M 为半正定对称矩阵, 因此有:

$$\min_{(\Delta x, \Delta y) \in D_\epsilon} [\Delta x, \Delta y] M \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} = \|(\Delta x, \Delta y)\|^2 \lambda_{\min} = \epsilon^2 \lambda_{\min}$$

即 $f(x_0, y_0) \approx \epsilon^2 \lambda_{\min}$, 其中 $\lambda_{\min}$ 为 M 的最小特征值。

矩阵 M 和 (x_0, y_0) 邻域的像素有如下关系:

(1) 当 $I(x, y)$ 在 N_0 中近似为常数时, $\nabla I(x, y)$ 在 N_0 中接近零, 因此 M 的两个特征值也接近零, 此时 (x_0, y_0) 在平坦区域;

(2) 当 $\nabla I(x, y)$ 在 N_0 中有相同方向时, M 为奇异矩阵, $\lambda_{\min} = 0$, 此时 (x_0, y_0) 在边缘区域;

(3) 当 N_0 中的各点梯度 $\nabla I(x, y)$ 方向各不相同时, M 满秩, $\lambda_{\min} > 0$, 此时 (x_0, y_0) 在角点区域。

从上述的 3 种情况可知, 矩阵 M 的特征值能很好地度量图像的角点, 因此 Harris 算法引入了响应函数 $R = \det M - k \text{tra}^2 M$, 其中 $\det M$ 为 M 的行列式, $\text{tra} M$ 为 M 的迹, k 建议取值 0.04。

Harris 角点检测算法虽然是一种经典的角点检测算法, 具有旋转和仿射不变性, 但却存在着以下公认的不足: (1) Harris 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, 阈值小又会提取很多伪角点。(2) Harris 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。

3 基于梯度的改进方法

针对 Harris 角点检测算法存在的以上不足, 我们考虑先对原始图像进行边缘^[6]提取, 再对提取边缘后的图像进行角点检测, 从而提出了下面的改进方法。

基于梯度(即一阶微分)^[7]的边缘检测方法是简单最常用的边缘提取方法, 我们很自然的联想到采用梯度算子提取边缘后再进行角点检测, 改进后的具体步骤为:

(1) 提取图像边缘

在计算梯度的过程中常常采用差分的方法代

替微分运算,我们采用如图 1 所示的最常用的梯度算子——Roberts 算子、Sobel 算子和 Prewitt 算子对原始图像进行边缘提取。

(2)保存图像边缘

将提取到的图像的所有边缘通过链码的形式记录下来,在具体应用中可以经过提取边缘后的图像保存下来,为角点检测做准备。

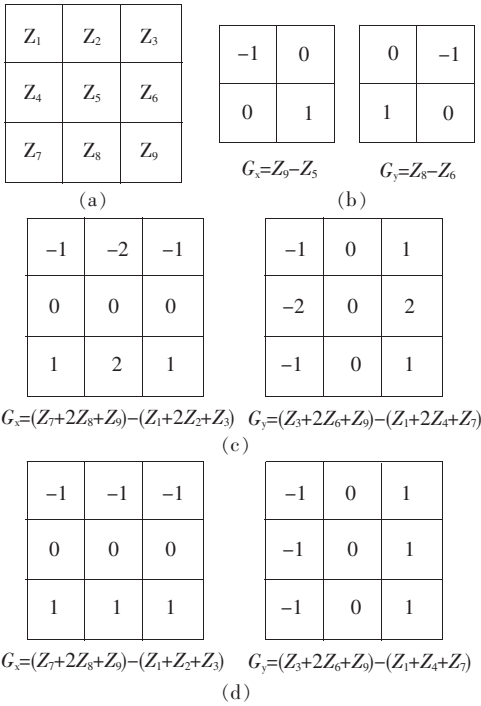


图 1 常用边缘检测梯度模板。(a)邻域图像模板;(b)Roberts 算子;(c)Sobel 算子;(d)Prewitt 算子。
Fig. 1 Common gradient template of edge detection. (a) Neighborhood image template; (b) Roberts operator; (c) Sobel operator; (d) Prewitt operator.

(3)角点检测

对步骤(2)中得到的图像边缘进行角点检测,记录每个检测到的角点的位置,在原始图像中的对应位置将所有检测到的角点标记出来。

我们使用含有 60 个角点的标准角点检测图片进行试验,得到 Harris 角点检测算法和不同边缘检测梯度算子的角点检测效果如图 2 所示。

Harris 角点检测算法和不同边缘检测梯度算子的角点检测结果如表 1 所示。

从表 1 可以看到,经过梯度算子边缘化处理后的角点检测方法并不比原方法好,这是因为原方法和改进后的方法使用的都是基于梯度的算子,通常一阶微分处理会产生较宽的边缘,而二阶

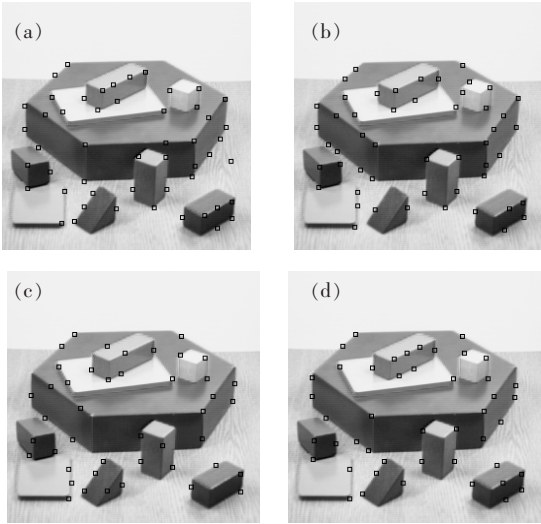


图 2 不同梯度算子的角点检测效果。(a)Harris 算子;(b)Roberts 算子;(c)Sobel 算子;(d)Prewitt 算子。
Fig. 2 Results of corner detection with different gradient operators. (a) Harris operator; (b) Roberts operator; (c) Sobel operator; (d) Prewitt operator.

表 1 积木图像的匹配结果				
Table 1 Matching result of juggle				
检测算子	匹配数	正确数	错误数	正误比
Harris 算子	52	18	34	0.529
Roberts 算子	48	17	31	0.548
Sobel 算子	44	15	29	0.517
Prewitt 算子	44	15	29	0.517

微分处理后产生的边缘则会细得多^[8],因此我们使用二阶微分进行了下面的改进。

4 基于二阶微分的改进方法

二元函数 $f(x,y)$ 的拉普拉斯变换被定义为:

$$\nabla^2 f(x,y) = (\frac{\partial}{\partial x^2} + \frac{\partial}{\partial y^2})f(x,y) = \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x,y)}{\partial y^2}$$

对于数字图像可以用差分近似表示微分,因此有:

$$\nabla^2 f(x,y) = f(x+1,y) + f(x-1,y) + f(x,y+1) + f(x,y-1) - 4f(x,y)$$

由此可得到拉普拉斯的标准模板 $L_1 =$

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}, \text{也可以使用两个互相垂直的对角}$$

方向上的二阶导数,这样就得到了拉普拉斯常用

模板 $L_2=\begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 0 & -4 & 0 \\ 1 & 0 & 1 \end{pmatrix}$,也可以将两个常用模板

L_1 和 L_2 相加,这样就得到了另外一个拉普拉斯常

用模板 $L_3=\begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{pmatrix}$ 。使用这 3 个模板代替

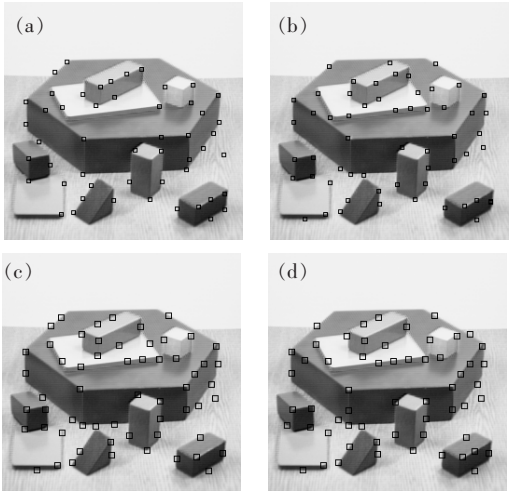


图 3 二阶微分角点检测效果。(a) Harris 算子;(b)模板 L_1 ;(c)模板 L_2 ;(d)模板 L_3 。

Fig. 3 Result of corner detection with second-order differential. (a) Harris operator; (b) Template L_1 ; (c) Template L_2 ; (d) Template L_3 .

参 考 文 献:

[1] 丘文涛,赵建,刘杰. 结合区域分割的 SIFT 图像匹配算法[J]. 液晶与显示,2012,27(6):827-831.

[2] 贾莹. 基于 Harris 角点检测算法的图像拼接技术研究[D]. 长春:吉林大学,2010.

[3] 邵明省,杜广朝. 基于量子克隆多宇宙算法的图像融合研究[J]. 液晶与显示,2012,27(6):837-841.

[4] Harris C,Stephens M. A combined corner and edge detector[C]// *Processing of the 4th ALVEY Vision Conference*, Manchester,England;Organising Committec AVC, 1988;147-151.

[5] Moravec H P. Towards automatic visual obstacle avoidance[C]// *Processing of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence*, Cambridge, Massachusetts, USA; Morgan Kaufmann Publishers Inc., 1977; 584-590.

[6] 杨权,刘晶红,马晓飞. 基于图像处理的机载光电平台自动调焦方法[J]. 液晶与显示,2011,26(5):677-682.

[7] Fram J R,Deutsch E S. On the quantitative evaluation of edge detection schemes and their comparison with human performance [J]. *IEEE Transactions ,on Computers*,1975,C-24(6):618-628.

[8] Rafael C G,Richard E W. 数字图像处理(第二版)[M]. 北京:电子工业出版社,2005:98-108.

改进算法中步骤(1)的梯度算子得到的角点检测效果如图 3 所示。

采用不同二阶微分模板的角点检测结果如表 2 所示。

表 2 积木图像的匹配结果				
Table 2 Matching result of juggle				
检测模板	匹配数	正确数	错误数	正误比
Harris 算子	52	18	34	0. 529
L1	54	27	27	1. 000
L2	58	26	32	0. 813
L3	57	26	31	0. 839

从表 2 可以看出,采用二阶微分提取图像边缘后的角点检测结果明显优于原算法和采用一阶微分提取图像边缘的方法。

5 结 论

针对 Harris 角点检测方法存在的不足,在参考了边缘检测方法的基础上,循序渐进地提出了一种改进的角点检测方法,改进后的采用二阶微分提取图像边缘的角点检测方法比原方法能够更多更准确地检测到图像的角点,为未来角点检测方法的发展方向提供了一种参考。