

文章编号 1004-924X(2014)08-2259-08

基于 Harris 角点的矩形检测

张从鹏*, 魏学光

(北方工业大学 机电工程学院, 北京 100144)

摘要: 为了快速精确地对矩形进行识别和检测, 开发了一套图像采集系统, 并提出了基于改进的 Harris 角点检测法的快速矩形识别算法。首先, 只针对多种角点中的 L 型角点进行快速检测, 并通过亚像素级后处理提高角点的位置精度。然后, 根据得到的高精度角点位置信息, 任意组合角点并遴选相互平行且长度相等的直线段组, 从而匹配出相互垂直且四个角点重合的平行直线段; 将其作为矩形的四条边, 进而循环识别出图像中所有的矩形元素。提出了伪矩形图形元素的甄别判据, 以提高算法的精确度和可靠性。实验结果表明: 分别用基于 Harris 角点和基于 Hough 变换的矩形检测算法处理同一图片时, 前者的运算速度为后者的 9.5 倍; 其图像识别精度能达到亚像素级, 最大误差为 0.4 pixel。该算法满足工业应用中高实时性、高精度的要求, 并且稳定性好, 抗干扰能力强。

关键词: 计算机视觉; 矩形检测; 角点检测; 图像处理

中图分类号: TP391.4 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20142208.2259

Rectangle detection based on Harris corner

ZHANG Cong-peng*, WEI Xue-guang

(College of Mech. & elec. Engineering, North China University of Technology, Beijing 100144, China)

* Corresponding author, E-mail: soaringroc@ncut.edu.cn

Abstract: To recognize and detect a rectangle rapidly and accurately, an image collection system was established and a rapid detection algorithm for rectangles was proposed based on Harris corner detection algorithm. First, the L-shaped corner points were selectively recognized from all kinds of corner points in the detecting image by improving the traditional Harris corner detection algorithm, and the position accuracy of corner points was promoted by sub-pixel post-processing. Then, according to the obtained high-precision angular position information, some parallel straight line segment pairs with equal length were grouped and the perpendicular parallel line segment pairs with four overlap corner points were matched, by which the four sides of a rectangle were obtained. Furthermore, all the rectangle elements were detected in the processed image. In order to improve the accuracy and reliability of the rectangular recognition algorithm, the identifying criterion of the pseudo rectangular graphic elements was provided. Finally, the sensor performance testing experiments were carried out. Experimental results indicate that the rectangular recognition speed of Harris corner point algorithm is 8.5 times faster than that of Hough algorithm, and the rectangular image recognition maximum position error is 0.4 pixel. The Harris corner rectangle detection method has strong anti-interference capability and stability and can meet the

收稿日期: 2013-11-13; 修订日期: 2014-01-23.

基金项目: 北京市人才强教计划资助项目 (No. PHR201108053)

high real-time and precision detection requirements of industrial application.

Key words: computer vision; rectangle detection; corner detection; image processing

1 引言

矩形检测技术是图像识别技术中的重要内容。快速而准确地检测出矩形具有广泛的应用范围,例如汽车车牌定位与识别、印刷品在线质量检测、矩形物体的识别与定位等。在矩形检测的算法研究中,大部分都是先检测矩形的 4 条直线,而后根据直线的交点确定矩形的 4 个顶点,从而将矩形的检测问题转化为直线的检测问题。直线检测中应用最广的是经典的 Hough 变换^[1]。李强兵等人提出了一种基于 Hough 变换的快速矩形检测算法。该方法对通过 Hough 变换后参数空间中的峰值点进行提取组合,再根据矩形中直线角度和长度的关系,快速确定图像中的矩形位置,其缺点是当图像中矩形边长相对较小时,检测容易受到干扰^[2]。C. ROSITO JUNG 和 R. SCHRAMM 提出了一种基于窗口化的 Hough 变换的矩形检测方法。该方法使用一个环形窗口在图像中进行扫描,对窗口中的每个像素进行 Hough 变换,通过比较窗口中图像在 Hough 空间的参数,检测出每个窗口内矩形的中心点。这种方法能够精确检测出未知大小和方向的矩形,但是需要重复计算大量像素点,复杂度高,且需要人工参与确定环形窗口的参数^[3]。王红军等人提出了一种实用的基于 Hough 变换和最小二乘法相结合的矩形几何提取和校正算法。该算法通过 Hough 空间累加器的最大值检测出直线,在检测到的直线邻域内,通过最小二乘法拟合得到更精确的直线,由 4 条直线得到 4 个交点,从而求出透视变换矩阵而确定矩形^[4]。任玲辉等人提出了一种灰度投影积分极值法的矩形检测方法。该方法是把待测图像沿 $0 \sim \pi$ 方向进行投影得到灰度投影积分(GPI)矩阵,求得 GPI 矩阵中极值点的位置,将其保存为新的矩阵 GPIEV,并在 GPIEV 矩阵中搜索平行线重构矩形,从而完成矩形检测^[5]。

上述方法基本都需要进行 Hough 变换,然后根据 Hough 变换得到的各项参数与矩形的几何

性质来进行矩形的检测定位。由于无法从根本上解决计算量大、耗时长缺点,基于 Hough 变换的检测速度太低、实时性差,同时精度也不高。目前有多种基于 Hough 的改进算法,如随机 Hough 变换(RHT)、概率 Hough 变换(PHT)、自适应“多对多”Hough 映射方式等^[6-10]。本文提出了一种基于 Harris 角点检测的矩形识别技术,该技术避开冗长的 Hough 变换,直接通过检测矩形的特征点来完成矩形的检测。该算法能够准确、快速地检测出矩形,实时性高,并具有较强的抗干扰能力,具有一定的实用意义。

2 算法原理

2.1 Harris 角点检测

Harris 角点检测算法是由 Harris 和 Stephens 在 1988 年提出的角点特征提取算子^[11-12]。它是一种基于信号的点特征提取算子,其原理是取以目标像素点为中心的一个小窗口(一般为矩形区域)向任意方向以微小位移移动,其灰度变化量可以用解析表达式表示。

假设以 (x, y) 为中心的小窗口在 X 方向上移动 u ,在 Y 方向上移动 v ,则其灰度变化量的解析式表示为:

$$E(x, y) = \sum w_{x,y} (I_{x+u, y+v} - I_{x,y})^2 = \sum w_{x,y} \left[u \frac{\partial I}{\partial X} + v \frac{\partial I}{\partial Y} + o(\sqrt{u^2 + v^2}) \right]^2, \quad (1)$$

其中: $E_{x,y}$ 为窗口内的灰度变化量; $w_{x,y}$ 为窗口函数,一般定义 $w_{x,y} = e^{-(x^2 + y^2)/\sigma^2}$; I 为图像灰度函数,略去无穷小项为:

$$E_{x,y} = \sum w_{x,y} [u^2 (I_x)^2 + v^2 (I_y)^2 + 2uv I_x I_y] = Au^2 + 2Cuv + Bv^2, \quad (2)$$

其中: $A = (I_x)^2 \otimes w_{x,y}$; $B = (I_y)^2 \otimes w_{x,y}$; $C = (I_x \cdot I_y) \otimes w_{x,y}$ (\otimes 表示卷积)。

将 $E_{x,y}$ 化为二次型有:

$$\mathbf{E}_{x,y} = \begin{bmatrix} u & v \end{bmatrix} \mathbf{M} \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix}, \quad (3)$$

M 为实对称矩阵:

$$M = w_{x,y} \begin{bmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{bmatrix}, \quad (4)$$

其中: I_x 为图像 I 的 x 方向的梯度; I_y 为 I 的 y 方向上的梯度。通过分析矩阵 M 可以看出, M 阵的特征值是自相关函数的一阶曲率, 如果两个曲率值都高, 那么就认为该点是角点特征。

在矩阵 M 的基础上, 角点响应函数 CRF 定义为:

$$CRF = \det(M) - k \cdot \text{trace}^2(M), \quad (5)$$

其中: $\det(M)$ 为矩阵 M 的行列式; $\text{trace}(M)$ 为矩阵 M 的迹; k 为常数, 一般取 0.04。CRF 的局部极大值所在点即为角点。

Harris 角点检测过程中, 当检测窗口在平滑区域移动时, 窗口的灰度特征值在各个方向上没有变化, 如图 1(a) 所示; 当检测窗口穿过直线图元移动时, 窗口沿直线方向上的灰度特征值没有变化, 如图 1(b) 所示; 当检测窗口覆盖角点时窗口的灰度特征值在各个方向上均具有变化, 如图 1(c) 所示。Harris 角点识别算法就是通过窗口的灰度特征值在各个方向上的变化程度来确定图像上角点的特征及位置信息。

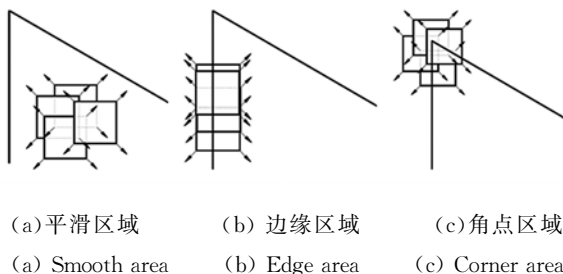


图 1 图像中的角点信息

Fig. 1 Image corner information

2.2 矩形检测原理

假设图像中有一矩形如图 2 所示, 其中 XOY 是图像坐标系; O 为原点; $P_1 = (x_1, y_1)$, $P_2 = (x_2, y_2)$, $P_3 = (x_3, y_3)$, $P_4 = (x_4, y_4)$ 是矩形的 4 个顶点。

该矩形在 Harris 角点检测中的结果如图 3 所示, 图中检测出的 4 个顶点就是矩形的 4 个顶点 P_1, P_2, P_3, P_4 。这 4 个顶点需满足以下条件:

(1) P_1 和 P_2 组合成线段并且其斜率为 K_1 ; P_3 和 P_4 组合成线段并且其斜率为 K_2 ; P_1 和 P_4

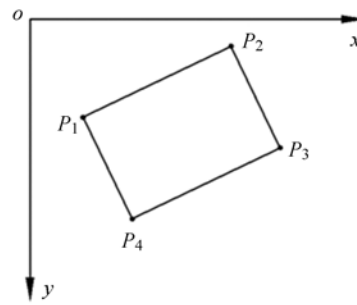


图 2 图像中的矩形

Fig. 2 Rectangle in the image

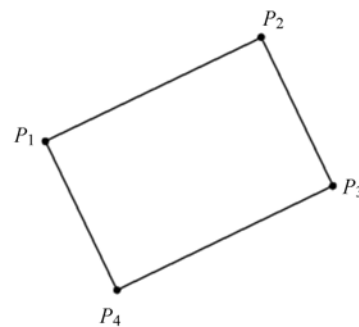


图 3 Harris 角点检测结果

Fig. 3 Result of Harris corner detection

组合成线段并且其斜率为 K_3 ; P_2 和 P_3 组合成线段并且其斜率为 K_4 。其中: $K_1 = K_2, K_3 = K_4$ 。

(2) 相邻边正交, 角度值差为 $\pi/2$, 即 $\arctan K_1 - \arctan K_2 = \pi/2$ 。

(3) 长度条件满足 $P_1 P_2 = P_3 P_4, P_1 P_4 = P_2 P_3, P_1 P_3 = P_2 P_4$ 。

3 算法描述

3.1 Harris 角点检测的改进

为了进一步提高 Harris 角点检测的效率, 使之更适应后续的矩形检测, 对传统的 Harris 角点检测算法进行了改进。根据相关文献中的改进 Harris 角点检测算法的思路, 在计算角点响应函数前剔除非角点, 从而提高检测效率。常见的角点类型有 5 种: L 型、T 型、Y 型、X 型、斜 T 型。矩形检测中的角点均为 L 型角点, 因此在矩形识别中, 直接对 L 型角点进行后续处理, 不仅可以在角点检测过程中节省时间, 也使后续矩形识别的运算量大大减少。

根据 8-邻域像素点计数法,将中心像素周围与之灰度相似的点的个数记为 $k(i, j)$ 。经研究分析只需要对 $k(i, j)=3, k(i, j)=4$ 两种情况进行分析。 $k(i, j)=3, k(i, j)=4$ 的情况比较多,最终需要确定的角点情况如图 4 所示。假设目标像素点 K 的值为 3,计算目标像素点及其 8-邻域范围内的像素点的 K 值,寻找最小值,如果最小值与目标像素点处的值相等,则保留该点,并将其作为下一步 Harris 算法计算的候选点;如果最小值与目标像素点值不相等,则剔除该点,以减少下一步工作量。如果该点满足 Harris 算法中 CRF 的局部极大值的条件,则认为该点为角点^[13]。

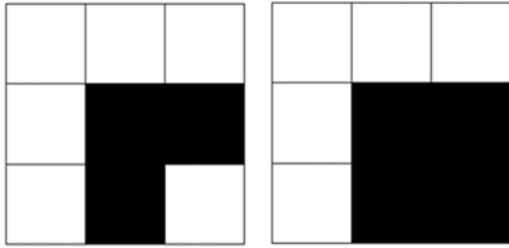


图 4 $k(i, j)=3, k(i, j)=4$ 的情况

Fig. 4 Cases of $k(i, j)=3$ and $k(i, j)=4$

基于上述方法得到图像角点后,本文对角点进行了亚像素级后处理,提高了矩形检测的准确度。

3.2 矩形检测

假设 $H_1 = (x_1, y_1), H_2 = (x_2, y_2), \dots, H_k = (x_k, y_k)$, 是由改进的 Harris 角点检测后提取的 k 个角点,下一步就是从 k 个角点中寻找满足条件的矩形顶点。

首先,扫描所有角点,计算任意两点组成的直线的斜率,考虑到竖直位置斜率不存在的情况,所以采用角度来计算。根据公式(6)求其弧度值 α_m ,并将 α_m 的值存入二维数组。

$$\alpha_m = \arctan\left(\frac{y_i - y_j}{x_i - x_j}\right). \quad (6)$$

然后,扫描所有的角度 α_m ,将满足式(7)、式(8)的角点 H_{mi}, H_{mj} 和 H_{ni}, H_{nj} 组合在一起。

$$\Delta\alpha = |\alpha_m - \alpha_n| < T_\alpha, \quad (7)$$

$$\sqrt{(x_{ni} - x_{nj})^2 + (y_{ni} - y_{nj})^2} - \sqrt{(x_{mi} - x_{mj})^2 + (y_{mi} - y_{mj})^2} < T_l, \quad (8)$$

其中: α_m 为 H_{mi}, H_{mj} 组合的斜率; α_n 为 H_{ni}, H_{nj}

组合的斜率; T_α 为角度阈值; T_l 为长度阈值。

令 θ_{nm} 表示平行线对斜率的均值(以弧度表示),如公式(9)所示, θ_{nm} 所关联的 4 个角点为 $H_{mi}, H_{mj}, H_{ni}, H_{nj}$ 。

$$\theta_{nm} = \frac{1}{2}(\alpha_m + \alpha_n). \quad (9)$$

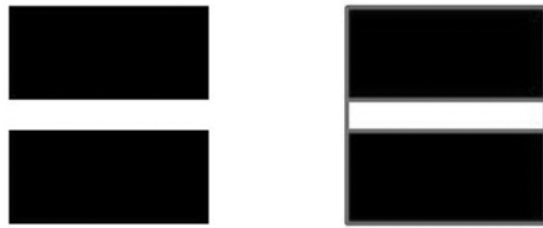
接下来,比较所有的 θ_{nm} ,得到满足公式(10)的 θ_{nm} 和 $\theta_{m'n'}$ 。

$$\Delta\theta = |\theta_{nm} - \theta_{m'n'} - \pi/2| < T_\alpha. \quad (10)$$

最后,将满足的 θ_{nm} 和 $\theta_{m'n'}$ 所确定的 8 个角点 $H_{mi}, H_{mj}, H_{ni}, H_{nj}$ 和 $H_{m'i'}, H_{m'j'}, H_{n'i'}, H_{n'j'}$ 进行对比,判断它们是否为 4 个相同的角点。若相同就可确定此 4 个角点即为矩形的顶点,通过绘出 4 条边 $H_{mi}H_{mj}, H_{ni}H_{nj}, H_{m'i'}H_{m'j'}, H_{n'i'}H_{n'j'}$ 完成矩形检测。

3.3 误检测矩形判据

由于本文是根据角点的位置信息,经过矩形条件判定来确定矩形,一些特殊情况下会检测出多余的矩形,例如:图像中对齐放置的矩形如图 5(a)所示,根据本算法检测的结果如图 5(b)所示。



(a) 特殊位置的矩形

(b) 检测结果

(a) Rectangles in special positions (b) Detection results

图 5 特殊位置的矩形及其检测结果

Fig. 5 Rectangles in special positions and their results

经算法检测出的结果有 8 个角点,6 个矩形。不难看出,该算法误检出了多余的矩形,要予以去除。

如图 5(a)所示的矩形物体,可先进行 canny 边缘检测,若是简单矩形,则可直接进行如下判断:根据定位矩形的 4 个顶点 H_1, H_2, H_3, H_4 ,分别统计 $H_1H_2, H_2H_3, H_3H_4, H_4H_1$ 直线段附近像素的个数(在直线周围大约 $\pm 5 \sim \pm 10$ pixel 单位内),然后与各边边长进行比较,伪矩形的判别条件如公式(11)所示:

$$|Q_i - \xi_i| < T_\xi \xi_i, \quad (11)$$

其中: Q_i 代表直线段附近像素的个数; ξ_i 是根据

公式(8)计算的矩形边长; T_{ε} 是阈值。正确的检测结果如图 6 所示。

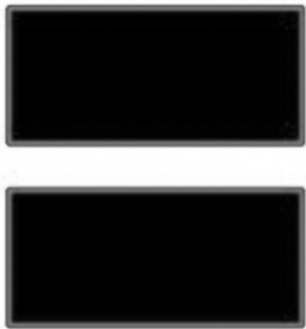


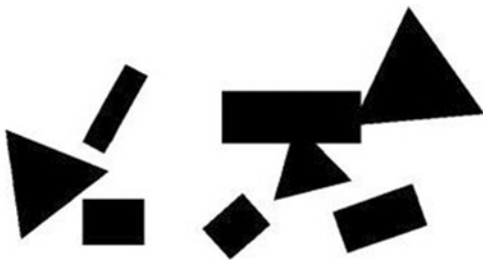
图 6 正确的检测结果
Fig. 6 Right detection results

4 算法测试及结果分析

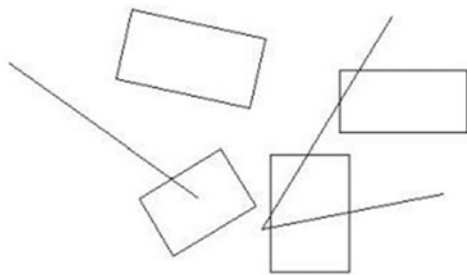
利用合成图像和采集系统获取的实际矩形零件图像分别对算法进行性能测试。

4.1 合成图像测试结果

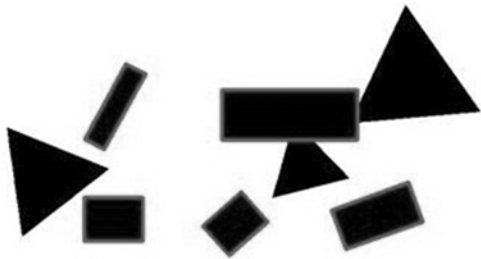
首先对图 7(a)、7(b)所示的合成图像 1、合成图像 2 进行测试。图像检测过程中采用的参数为 $T_a=0.05$, $T_l=1.5$, 其检测结果分别如图 7(c)、图 7(d)和表 1 所示,矩形识别准确率为 100%,计算用时均小于 90 ms。



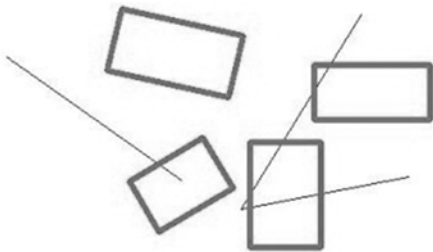
(a) 合成图像 1
(a) Synthetic image 1



(b) 合成图像 2
(b) Synthetic image 2



(c) 合成图像 1 的检测结果
(c) Detection results of synthetic image 1



(d) 合成图像 2 的检测结果
(d) Detection results of synthetic image 2

图 7 合成图像及其检测结果
Fig. 7 Synthetic images and their results

表 1 合成图像检测结果

Tab. 1 Detection results of synthetic images			
图像	图像大小/pixel	耗时/ms	检测出矩形
合成图像 1	860×470	85.325	5
合成图像 2	500×300	28.776	4

4.2 实际矩形零件图像测试结果

实际矩形零件图像由工业相机采集所得,图像采集实验系统如图 8 所示。系统配置为:CCD 工业相机,型号为 FL3-FW-20S4M-C,镜头为 M0814-MP,有效像素为 1 624×1 224,1394b 接口图像采集卡,型号为 FWB- PCIE-01。实验用的图像采集软件是基于 VS2010 环境自主开发。

实验光源条件为室内自然光照,实际矩形零件如图 9(a)所示,采用参数 $T_a=0.1$, $T_l=3$,其检测结果如图 9(b)和表 2 所示。

表 2 实际矩形零件 50 幅图像检测结果

Tab. 2 Detection results of 50 images of actual rectangular parts			
图像大小	平均耗时/ms	正确次数	准确率
1 600×1 200	330.372 5	50	100%

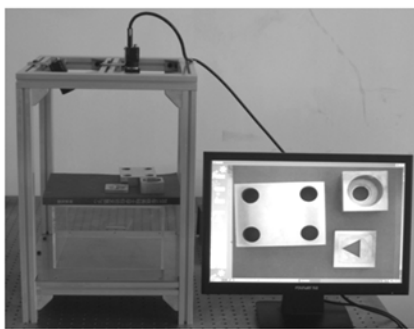
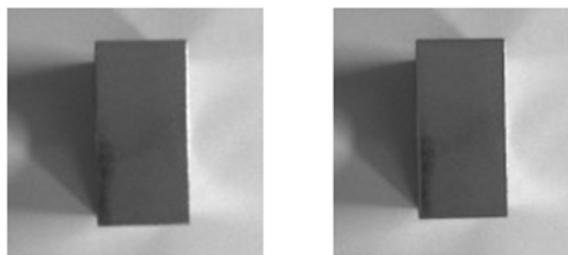


图 8 图像采集实验系统

Fig. 8 Experimental system of image acquisition

由于图像中的矩形边缘受到背景阴影噪声的影响, Hough 边缘检测算法不能检测出矩形的直线边缘, 针对图像 9(a) 所示矩形零件, 文献[2]的算法检测失败。



(a) 矩形零件 1 (a) Rectangular part 1
(b) 本算法检测的结果 (b) Detection results of proposed algorithm

图 9 本算法检测的结果

Fig. 9 Detection results of proposed algorithm

为了提高 Harris 角点矩形识别算法的准确率, 要求采集图像的光照要均匀, 要减少角点位置附近的噪点, 否则可能导致检测矩形失败。实际应用中, 可以通过增加光源, 采用暗色背景, 使采集的图像受到均匀的光照, 突出角点的信息, 从而提高准确率。

4.3 算法的性能比较

为了验证本文算法的速度和精度要求, 对图 10(a) 所示的图片采用文献[2]中的算法和本文算法分别进行测试, 其结果如 10(b)、10(c) 所示:

两种算法的计算结果如表 3 所示。

通过检测结果的分析可知, Harris 角点矩形检测算法的运算速度为 Hough 矩形检测算法的 9.5 倍; 由于采用了亚像素算法, 实验中矩形图像的最大识别位置误差为 0.4 pixel, 精度更高, 优于文献[2]的 Hough 算法, 能满足一定的精度和



(a) 矩形零件 2

(a) Rectangular part 2



(b) 文献[2]中算法检测结果

(b) Detection results of reference [2] algorithm



(c) 本文算法检测结果

(c) Detection results of proposed algorithm

图 10 两种算法检测结果

Fig. 10 Detection results of two algorithms

实时要求。

表 3 两种算法检测结果比较

Tab. 3 Comparison results between two algorithms

	文献[2]算法	本文算法	实际坐标
图像大小	1 600×1 200	1 600×1 200	
耗时/ms	2 448.529 4	233.596 6	
顶点坐标	(697, 207)	(700.6, 210.5)	(701, 211)
	(906, 422)	(907.4, 425.7)	(907, 426)
	(688, 635)	(689.1, 634.1)	(689, 634)
	(486, 418)	(485.8, 418.9)	(486, 419)

该算法可以快速完成高精度的角点识别,依据矩形的几何特征,把满足特定条件的角点进行匹配组合,检测出符合条件的矩形顶点。通过调整角度阈值 T_a 和长度阈值 T_l 来改变矩形的检测质量,阈值越小,检测到的矩形越准确;反之,可以检测出更多的近似矩形。在图像角点清晰的情况下,即使矩形边被遮掩,也可以检测出矩形位置,并且达到了很好的精度。算法的缺点是图像中的角点检测决定了矩形检测的质量,如果图像中角点信息(矩形顶点)受到严重的噪声污染,检测容易受到干扰。这时可以通过改善采集图像的环境、增加图像预处理来减少噪声,提高检测率。本算法尤其适用于角点信息明显的图像识别。

参考文献:

- [1] LINGWORTH J, KITTLER J. A survey of the Hough transform [J]. *CVGIP*, 1988, 44: 87-116.
- [2] 李强兵,刘文予. 基于 Hough 变换的快速矩形检测算法[J]. *微计算机信息*, 2007, 23(11): 248-250.
LI Q B, LIU W M. Fast rectangle detect based on Hough transform [J]. *Microcomputer Information*, 2007, 23(11): 248-250. (in Chinese)
- [3] JUNG C R, SCHRAMM R. Rectangle detection based on a windowed Hough Transform [J]. *SIB-GRSPI'04*, 2004, 113-120.
- [4] 王红军,陈临强,王磊. 机器视觉中矩形几何提取和校正[J]. *机电工程*, 2010, 27(4): 95-111.
WANG H J, CHEN L Q, WANG L. Extraction and correction of rectangle geometric date in machine vision [J]. *Journal of Mechanical & Electrical Engineering*, 2010, 27(4): 95-111. (in Chinese)
- [5] 任玲辉,刘凯,张海燕,等. 灰度投影积分极值法的矩形检测[J]. *计算机工程*, 2012, 38(8): 159-163.
REN L H, LIU K, ZHANG H Y, *et al.*. Rectangle detection of gray projection integral extreme value method [J]. *Computer Engineering*, 2012, 38(8): 159-163. (in Chinese)
- [6] XU L, OJA E, KULTANEN P. A new curve detection method: Randomized Hough Transform (RHT) [J]. *Pattern Recognition Letters*, 1990: 331-338.
- [7] KIRYATI N, ELDAR Y, BRUCKSTEIN AM. A probabilistic Hough transform [J]. *Pattern Recognition*, 1991, 24: 303-316.
- [8] 刘桂雄,申柏华. 基于改进的 Hough 变换图像分割方法[J]. *光学精密工程*, 2002, 10(3): 257-260.
LIU G X, SHEN B H. Study of image segmentation based on improved Hough transform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2002, 10(3): 257-260. (in Chinese)
- [9] 陈洪波,王强,徐晓蓉,等. 用改进的 Hough 变换检测交通标志图像的直线特征[J]. *光学精密工程*, 2009, 17(5): 1111-1118.
CHEN H B, WANG Q, XU X R, *et al.*. Line detection in traffic sign image based on improved Hough transform [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2009, 17(5): 1111-1118. (in Chinese)
- [10] 赵小川,罗庆生,陈少波. 改进型图像中的直线快速检测[J]. *光学精密工程*, 2010, 18(7): 1654-1660.
ZHAO X CH, LUO Q SH, CHEN SH B. Improved fast line detection method in images [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2010, 18(7): 1654-1660. (in Chinese)
- [11] 苏恒强,冯雪,于合龙,等. 基于 Harris 角点检测的位移测量算法[J]. *实验力学*, 2012, 27(1): 45-53.
SU H Q, FENG X, YU H L, *et al.*. A new algo-

- rithm for displacement measurement based on harris corner detection [J]. *Journal of Experimental Mechanics*, 2012, 27(1): 45-53. (in Chinese)
- [12] HARRIS C G, STEPHENS M J. A combined corner and edge detector [C]. *Proceedings Fourth Alvey Vision Conference, Manchester, U. K.* 1988:147-151.
- [13] 王 巍, 唐一平, 任娟莉, 等. 一种改进的 Harris 角点提取算法 [J]. *光学 精密工程*, 2008, 16(10): 1995-2001.
- WANG W, TANG Y P, REN J L, *et al.*. An improved algorithm for Harris corner detection [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2008, 16(10): 1995-2001. (in Chinese)

作者简介:



张从鹏(1975—),男,河南鲁山人,博士,副教授,硕士生导师,2000 年于西南交通大学获得学士学位,2003 年于北方工业大学获得硕士学位,2007 年于北京航空航天大学获得博士学位,主要从事高性能运动系统设计与控制、数字化工艺装备方面的研究。E-mail: soaringroc@ncut.edu.cn



魏学光(1988—),男,河南濮阳人,硕士研究生,主要从事机器视觉、图像处理方面的研究。E-mail: aaa782544811@163.com

(版权所有 未经许可 不得转载)