



# 基于圆环模板和标志矩阵的角点检测算法

王建卫

(东北林业大学 机电工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150040)

**摘要:**为了解决计算机视觉系统中图像边缘检测时边缘点和边缘段同时检出的问题,提出了一种基于圆环模板和角点标志矩阵表示的角点检测算法。首先通过设置较小的阈值,应用圆环模板提取较多的灰度图像的亮度变化点作为候选角点;记录角点在原图像中的位置,并将原图像中该像素值设置为1,其他像素设置为0,建立角点标志矩阵,并将矩阵按照四叉树结构分解;统计子矩阵的1的个数和所占比例,将个数和比例较低的子块的角点标记删除;对其他的子矩阵分别采用行方式和列方式进行行程编码,在编码中对连续的1序列仅保留第一个,将后续的1置为0。记录同时在行方式和列方式结果矩阵中的1元素为角点。实验结果表明,与Moravec算法、Harris算法与FAST算法相比,该算法具有角点检测准确和适用面广的优点,在一定程度上解决了减少角点数目的问题。

**关键词:**角点检测;圆形模板;角点标志矩阵;四叉树;行程编码

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2019)06-0066-05

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2019.06.014

## A Corner Detection Algorithm Based on Ring Template and Mark Matrix

WANG Jian-wei

(School of Mechanical and Electrical Engineering, Northeast Forest University, Harbin 150040, China)

**Abstract:**In order to solve the problem of simultaneous detection of edge points and edge line segments during the edge detection in computer vision system, we propose a corner detection algorithm on basis of the ring template and the corner mark matrix. At first the smaller threshold is set up. More pixels with the brightness change extracting by the ring template are treated as the candidate corner pixels. The corner locations are recorded in the original image, and the pixel value of the original image is set to 1, and the other pixels are set to 0. The corner marker matrix is established and decomposed according to the quadtree structure. The number and proportion of the 1 are calculated in the submatrices. And the corners in the subblocks are deleted from the corner marks with the lower numbers and the lower proportions. The sub matrices are coded in line and column respectively through run length coding. The first 1 element in the consecutive coding sequences is kept, and the subsequent 1 is set to 0. The 1 element in the result matrix of the row and column mode are recorded as the corner points at the same time. The experiment shows that compared with Moravec algorithm, Harris algorithm and FAST algorithm, the proposed algorithm has the advantages of the accurate corner detection and the wide application, which solves the problem of reducing the number of corner points to a certain extent.

**Key words:**corner detection; circular template; corner mark matrix; quadtree; run length coding

## 0 引言

随着计算机技术的发展,使计算机具有视觉功能进一步得到广泛关注和研究,视觉系统已经成为计算机系统不可或缺的一个重要组成部分,建立通用的计算机视觉系统完成视觉任务一直是计算机视觉领域、图像处理领域的重要研究内容。一般地,视觉任务是以任务初期获取的原始图像的理解为目的,围绕着图

像理解的一系列研究也纳入到了计算机研究工作者的视野中。通常,图像理解的关键是通过分割图像获得目标和背景,边缘检测往往是实现目标和背景分割的首选方法。在边缘检测中,存在着边缘点和边缘段同时检出的问题,角点是边缘段的方向属性改变时所标注的特殊的边缘点。角点作为灰度图像稳定的局部特征,包含了图像中的重要结构信息<sup>[1]</sup>。自从1977年

收稿日期:2018-07-12

修回日期:2018-11-08

网络出版时间:2019-03-06

基金项目:黑龙江省教育科学技术研究项目(12533020)

作者简介:王建卫(1973-),女,博士,副教授,研究方向为模式识别与智能系统。

网络出版地址: <http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20190306.0901.006.html>

Moravec 算法提出以来,研究者们开始研究图像的角点检测理论和方法<sup>[2-4]</sup>。由于角点检测结果在计算机视觉理论的应用领域都具有重要的作用<sup>[5-7]</sup>,因此,角点检测理论始终是计算机视觉理论、图像处理领域的研究热点之一。

由于角点检测理论的复杂性,角点很难给出明确的定义,目前将角点描述为二维图像亮度变化剧烈的点,或边缘曲线的曲率局部极大值点或多条边缘曲线的交汇点<sup>[8-10]</sup>。角点检测算法可分为三类:基于灰度强度的方法、基于边缘轮廓的方法和基于角点模型的方法<sup>[11-14]</sup>。其中第一种方法可直接在灰度图像上进行,角点为在像素点的周围邻域内有足够多的像素点与该点处于不同的区域。角点是图像各向异性的局部特征<sup>[15]</sup>,图像像素的局部灰度变化和结构信息的有效提取和描述是基于灰度强度算法的关键,常用的检测方法有 Moravec<sup>[16]</sup>、Harris<sup>[17-18]</sup>、SUSAN<sup>[19]</sup> 和 FAST<sup>[20-21]</sup> 等。Moravec 算法在检测出角点的同时,边缘点也会检测出。Harris 在平滑后的灰度图像逐一检测像素点是否为角点,检测过程较复杂<sup>[17]</sup>。SUSAN 算子检测出边缘点也是不可避免的<sup>[19]</sup>。FAST 算子是在 SUSAN 算法的基础上利用机器学习方法提出的,对半径为 3 的圆周上的像素点进行判决,根据设置的阈值提取角点,关键在于阈值的选取<sup>[20-21]</sup>。为解决角点检测中边缘点和边缘段同时检出问题,文中提出一种基于圆环模板和角点标志矩阵表示的角点检测算法。

### 1 FAST 角点检测算法的原理

FAST 角点检测算法的原理是检测灰度图像的 Bresenham 圆模板区域中,有足够多的像素点的灰度值大于该点的灰度值或者小于该点的灰度值,关键在于设定的阈值和圆形检测模板的设计<sup>[20-21]</sup>。

FAST 角点检测算法步骤如下:

步骤 1:输入灰度图像  $I$ , 设定阈值  $t$ ;

步骤 2:将图像的左上角的第一个像素点设置为候选角点  $p$ , 该像素点的亮度值为  $I(p)$ ;

步骤 3:以  $p$  为圆心检测如图 1 所示的 Bresenham 圆周上的 16 个像素点  $x$ 。若有  $n$  ( $n = 7, 8, 9, 12$ ) 个像素点的像素值小于  $I(p) + t$  或者有连续的  $n$  个像素  $I(p) - t$ , 那么该点为角点;

		16	1	2		
	15				3	
14						4
13			$p$			5
12						6
	11					7
		10	9	8		

图 1 Bresenham 圆周上的 16 个像素点

步骤 4:检测图像中  $p$  后续的所有像素点。

该算法先检测  $p$  点周围的 1,5,9,12 四个点中是否有三个点超过  $I(p) + t$ , 如果有,则直接跳过该像素点;如果没有,则继续使用前面的算法,全部判断 16 个点中是否有 12 个满足条件。

由于圆周上至少有 12 个连续点的灰度值与中心点像素有差值变化,12 个连续点必然包括圆周上的 1、5、9、13 这 4 个位置的像素中的 3 个,所以先检测位置 1 和位置 9,若它们与中心点像素的灰度差值在规定的阈值范围内,再检测位置 5 和位置 13。若上述 4 个像素点中至少有 3 个大于或小于阈值,则保留像素点  $p$ , 否则选取其他的中心像素点进行检测<sup>[21]</sup>。图像上的像素点经过初步检测后,符合条件的将成为候选角点。分析 FAST 算法中 16 个像素点与检测点所处的位置,可知其实质为半径为 3 的圆形模板圆周上的像素点,可以考虑将圆形模板扩展为通用模板,如圆形的半径为 1,2,4 等。当半径为 1 时,检测点的圆形模板退化为该像素的 8 邻域。

文中应用半径为 4 的外圆和半径为 2 的内圆的圆环模板作为候选角点确立的模板,该模板的 28 个像素点如图 2 所示。

			20	1	2		
		19				3	
	18			21			4
17		28			22		5
16	27		$p$			23	6
15		26			24		7
	14			25			8
		13				9	
			12	11	10		

图 2 28 个像素点组成的圆环模板

### 2 基于圆环模板和角点标志矩阵表示的角点检测算法的设计

#### 2.1 算法原理

文中算法的原理是先设置较小的阈值,通过简单的筛选得到角点的与灰度图像同型的标志矩阵,根据角点在矩阵中所处的行列位置逐步删除孤立的角点、边缘段上的角点。算法的关键在于孤立的角点、边缘段上的角点类型的判断。

算法步骤为:应用圆环模板提取候选角点;记录角点在原图像中的位置,建立与原图像同型的角点标志矩阵;将矩阵按照二叉树结构分解,并删除孤立的角点;删除边缘段上的角点。

#### 2.2 算法步骤

根据上述算法原理, corner\_detection 算法过程如下:

cor = corner\_detection( I )

输入:灰度图像 I ;

输出:角点集合 cor。

步骤 1:读入灰度图像 I 。

步骤 2:设置阈值  $t$  ,选择模板类型(下面以圆环型模板为例设计算法)。

步骤 3:以模板结构将图像的边界进行扩充,以免将边界上的角点漏选。文中将边界上像素值设置为 0,使对角点的选取结果无影响。

步骤 4:根据模板类型和阈值提取较多的灰度图像 I 的亮度变化点作为角点,建立角点集合 cor。

应用图 2 的圆环模板检测 I 的像素点,外圆环的像素点数为  $n_1 = 20$ ,内圆环的像素点数为  $n_2 = 8$ , I 的候选角点集合 cor 元素  $p$  的响应函数为:

$$f_1(x) = \sum_{x \in N_{20}(p)} | I(x) - I(p) | > t$$

$$f_2(x) = \sum_{x \in N_8(p)} | I(x) - I(p) | > t$$

当  $f_1(x) \in \{9,10,11,12,13,14,15\}$  且  $f_2(x) \in \{4,5,6\}$  时,  $p \in \text{cor}$ 。

步骤 5:记录角点在原图像中的位置,并将原图像的对应像素值设置为 1,其他像素设置为 0,建立角点标志矩阵  $M$  。

将角点标志矩阵按照二叉树结构进行分解,即分成  $N \times N$  ( $N = 2^n$ ) 的子矩阵  $M_i$ ,一般地  $N = 32,64,128,256$ 。考虑到图像子块的相关性,文中以  $N = 128$  为例进行后续步骤。

下面逐一分析各角点标志子矩阵  $M_i$  ( $128 \times 128$ )。分析角点标志矩阵,将孤立的 1 设置为 0,即删除该角点。

步骤 6:统计各个子矩阵  $M_i$  的 1 的个数  $C_i$  ( $i = 1, 2, \dots, k$ ),则最大值  $C_{\max} = \max(C_1, C_2, \dots, C_k)$ ,最小值  $C_{\min} = \min(C_1, C_2, \dots, C_k)$ ,均值  $\bar{C} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k C_i$ ;1 元

素的个数在该子矩阵中的比例为  $d_i = \frac{C_i}{128 \times 128}$ ,则最大值  $d_{\max} = \max(d_1, d_2, \dots, d_k)$ ,最小值  $d_{\min} = \min(d_1, d_2, \dots, d_k)$ ,均值  $\bar{d} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k d_i$ 。

若  $C_i < 0.5 \times C_{\max}$  且  $d_i < 0.1 \times \bar{d}$ ,说明该图像子块中候选角点数目极少。经验表明该图像子块往往处于图像的背景区域,是非显著的区域。候选角点可理解为“噪声点”,直接删除。

步骤 7:分析角点标志矩阵,通过距离计算分析将孤立的 1 设置为 0,即删除该角点。

设  $M_i(h, w)$  为  $M_i$  的  $h$  行  $w$  列的元素 1,若该元素与该子块中其他元素 1 的  $D_4$  距离(行坐标之差的绝对

值和列坐标之差的绝对值之和)的最小值大于 3,则该角点为孤立角点,删除该角点。

步骤 8:删除水平和垂直边缘段上的连续角点。

对各个子矩阵  $M_i$  按照行的方式进行行程编码,保留连续 1 序列的第一个 1,后续的置为 0,结果矩阵为  $M_{R_i}$ 。删除策略为同一行的各矩阵元素为 128 个由 0 或 1 组成的随机序列,保留连续的 1 序列中的第一个 1,其他的删除。

在行程编码中,连续的 1 序列为边缘线,第一个 1 元素作为候选角点,后续的 1 元素组成了以该点为起始点的边缘线段,因此,可将后续的点删除。

例:设数据 data 为  $X = [0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 1\ 1\ 1\ 0\ 1\ 0]$ ,编码 rle 为两个长度相同的行向量:

$$\text{data} = [0\ 1\ 0\ 1\ 0\ 1\ 0]$$

$$\text{rle} = [1\ 1\ 3\ 4\ 1\ 1\ 1]$$

其中,结合 data,分析 3 的含义是 3 个 0,4 的含义是 4 个 1,处理后的 X 为:

$$X = [0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0\ 0\ 0\ 0\ 1\ 0]$$

同理,得到按列的方式处理的结果子矩阵  $M_{C_i}$ 。

步骤 9:依次读取  $M_{R_i}$  和  $M_{C_i}$  的元素,若同行同列的元素为 1,则置  $M$  的相应元素为 1,否则为 0。

步骤 10:记录矩阵  $M$  中矩阵元素为 1 的行号和列号,在图像 I 中将该行列的像素点标记为角点。

### 3 实验结果与分析

为验证该算法在计算机视觉系统中的通用性,在 Windows7 系统 MATLAB 2016 环境下编程实现上述算法,并选取了具有不同性质目标的、目标数目不同的以建筑物和树叶目标为主的两类图像做了分析和比较。

例 1 采用以建筑物为主的 scene\_categories 的灰度图像 image\_0001.jpg 作为测试图像<sup>[12]</sup>,原图像为 256×256 的灰度图像,分别采用 Moravec 算法、SUSAN 算法、Harris 算法、FAST 算法和文中算法进行了角点检测。

为了更好地进行比较,该例中采用的是固定阈值。角点检测结果如图 3 所示,角点检测数据如表 1 所示。

表 1 image\_0001.jpg 角点检测数据

算法	阈值	时间	数目
Moravec	26	0.910 7	377
SUSAN	25.5	2.480	1 345
Harris	27	0.846 0	384
FAST	26	0.078 31	1 181
文中	26	0.927 3	1 060

由表 1 的数据可知,Moravec 算法得到的角点数目较少,且定位不够准确;SUSAN 算法在角点集中的区

域有角点聚集的现象,算法的执行时间也较长;Harris算法得到的角点数目较少,有漏检现象,算法的执行时间也较长;FAST算法得到的角点数目较多,有聚集的现象,算法的执行时间较短;文中算法检测出的角点具有相应次数较低、无重复的优点,较好地达到了精确检测角点的目的,其中外环的参数为15,内环的参数为

6,执行时间与 Moravec 算法和 Harris 算法接近。

例2 采用对比度较低的以树叶目标为主、背景较复杂的灰度图像 image\_leaf.jpg 作为测试图像<sup>[12]</sup>,原图像为  $256 \times 256$  的灰度图像。角点检测结果如图4所示。

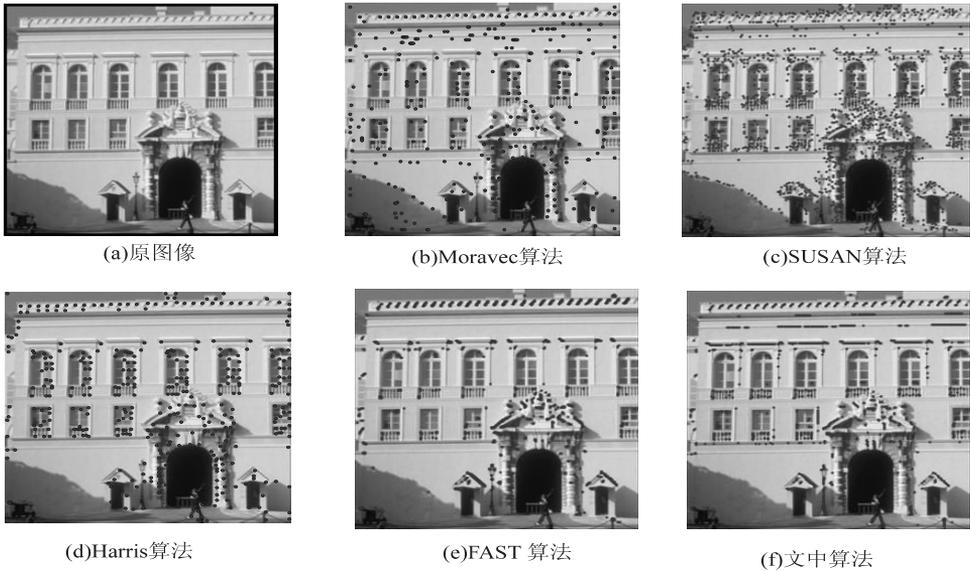


图3 图像 image\_0001.jpg 的角点检测结果

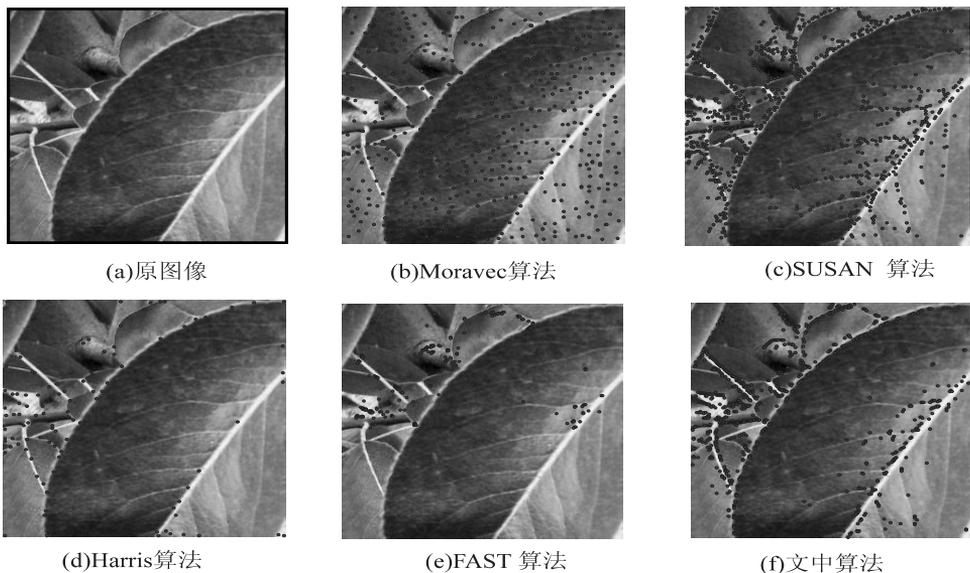


图4 图像 image\_leaf.jpg 的角点检测结果

由图4可知,Moravec算法的角点定位不够准确;SUSAN算法在角点集中的区域有角点聚集的现象;Harris算法有漏检的现象;FAST算法与Harris算法类似,角点数目较少,有漏检的现象;文中算法适用于背景部分的角点检测,其中外环的参数为10,内环的参数为5,候选角点数为1 820,经过筛选后得到的角点数为920,执行时间与Moravec算法接近。

取的角点数目,在一定程度上解决了角点数目过少或过多导致角点聚集的问题。

#### 4 结束语

文中以角点检测算法的改进为主要研究内容,为计算机视觉理论的图像边缘检测中的角点检测问题提供了一种较合理的解决方法,对计算机视觉系统的实现具有一定的实践意义。

上述实验结果表明,与Moravec、SUSAN、Harris与FAST等算法相比较,文中算法通过二次筛选保证了提

实验证明,该算法具有执行速度快、角点检测准确

的优点,可以检测出较复杂的三类图像的各种角点,而且适用面较广、通用性较强,也在图像分割研究领域为建立通用的计算机视觉系统完成视觉任务提供了新的思路。

该算法的不足之处在于参数较多,因此还需进一步研究像素值与参数值之间的内在关系,以实现更准确的提取。

#### 参考文献:

- [1] 章为川,孔祥楠,宋文. 图像的角点检测研究综述[J]. 电子学报,2015,43(11):2315-2321.
- [2] VAN AUDENHAEGE K V, VANHOVE C, VANDENBERGHE S, et al. The evaluation of data completeness and image quality in multiplexing multi-pinhole SPECT[J]. IEEE Transactions on Medical Imaging,2015,34(2):474-486.
- [3] KAZMI W, ANDERSEN H J. A comparison of interest point and region detectors on structured, range and texture images[J]. Journal of Visual Communication and Image Representation,2015,32:156-169.
- [4] SINGH N, ARYA R, AGRAWAL R K. A convex hull approach in conjunction with Gaussian mixture model for salient object detection[J]. Digital Signal Processing,2016,55:22-31.
- [5] MA Hongjin, NIE Yufeng. An edge fusion scheme for image denoising based on anisotropic diffusion models[J]. Journal of Visual Communication & Image Representation,2016,40:406-417.
- [6] 高华. Log-Gabor 梯度方向下的角点检测[J]. 中国图象图形学报,2017,22(6):797-806.
- [7] 刘妍,余淮,杨文,等. 利用 SAR-FAST 角点检测的合成孔径雷达图像配准方法[J]. 电子与信息学报,2017,39(2):430-436.
- [8] 赵亚利,章为川,李云红. 图像边缘轮廓自适应阈值的角点检测算法[J]. 中国图象图形学报,2016,21(11):1502-1514.
- [9] 刘亮,王平,孙亮. 基于区域灰度变化的自适应 FAST 角点检测算法[J]. 微电子学与计算机,2017,34(3):20-24.
- [10] XING Yuanxiu, ZHANG Dengyi, ZHAO Jianhui, et al. Robust fast corner detector based on filled circle and outer ring mask [J]. IET Image Processing,2016,10(4):314-324.
- [11] PATOOMMAKESORN K, VIGNAT F, VILLENEUVE F. A new straight line matching technique by integration of vision-based image processing[J]. Procedia CIRP,2016,41:777-782.
- [12] BOK Y, HA H, KWEON I S. Automated checkerboard detection and indexing using circular boundaries[J]. Pattern Recognition Letters,2016,71:66-72.
- [13] DING Weili, WANG Wenfeng, LI Xiaoli. OTLines: a novel line-detection algorithm without the interference of smooth curves [J]. Pattern Recognition,2016,53(2):238-258.
- [14] ZHANG Xiaohong, LEI Ming, YANG Dan, et al. Multi-scale curvature product for robust image corner detection in curvature scale space [J]. Pattern Recognition Letters,2007,28(5):545-554.
- [15] LAKEMOND R, FOOKES C, SRIDHARAN S. Affine adaptation of local image features using the Hessian matrix [C]//2009 sixth IEEE international conference on advanced video and signal based surveillance. Genova, Italy: IEEE,2009:496-501.
- [16] MORAVEC H P. Visual mapping by a robot rover [C]//Proceedings of the 6th international joint conference on artificial intelligence. Tokyo, Japan: Morgan Kaufmann Publishers Inc.,1979:598-600.
- [17] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C]//Proceedings of the 4th Alvey vision conference. [s. l.]: [s. n.],1988:147-151.
- [18] NOBLE J A. Finding corners [J]. Image & Vision Computing,1988,6(2):121-128.
- [19] SMITH S M, BRADY M. SUSAN—a new approach to low level image processing [J]. International Journal of Computer Vision,1997,23(1):45-78.
- [20] ROSTEN E, DRUMMOND T. Machine learning for high-speed corner detection [C]//European conference on computer vision. [s. l.]: [s. n.],2006:430-443.
- [21] ROSTEN E, PORTER R, DRUMMOND T. Faster and better: a machine learning approach to corner detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence,2009,32(1):105-119.