

# 基于图像局部加权熵和自适应阈值的角点检测算法

王 民, 刘 涛\*, 负卫国

西安建筑科技大学信息与控制工程学院, 陕西 西安 710055

**摘要** 针对 Harris 角点检测算法在应用中实时性较差和运算量较大, 同时抗噪能力较差等问题, 提出一种基于 Harris 算法的改进算法, 利用图像局部加权熵与最小亮度变化(MIC)算法相结合的方法进行角点检测。首先, 运用图像局部加权熵算法思想, 初步得出候选角点集; 然后计算 Harris 算法的角点响应函数(CRF)值, 将候选角点按 CRF 值大小差分为三类; 最后使用自适应模板和阈值的 MIC 算法进行角点检测, 得出最佳匹配点。实验结果表明, 该方法提高了原算法的实时性, 增加了角点提取数量和准确性, 并且能够有效去除大多数伪角点。

**关键词** 图像处理; 角点检测; 局部加权熵; 自适应阈值; Harris 算法; 最小亮度变化算法

**中图分类号** TP391.41      **文献标识码** A

**doi:** 10.3788/LOP54.051003

## Corner Detection Algorithm Based on Local Weighted Entropy and Adaptive Threshold

Wang Min, Liu Tao, Yun Weiguo

*School of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an, Shaanxi 710055, China*

**Abstract** In terms of the application of Harris algorithm, since the less real-time and a large amount of computation together with poor anti-noise ability and other issues, an improved corner detection algorithm is proposed based on the Harris, combing the local weighted entropy with minimum intensity change (MIC) algorithm. First of all, the candidate corner point set is computed through the local weighted entropy algorithm. Then the candidate corner is divided into three categories according to the corner response function (CRF) value of Harris algorithm. Finally, the best matching corners are obtained through the adaptive template and MIC algorithm of the threshold. Experimental results show that the proposed algorithm can improve the real-time of the original algorithm, increase the quantity of the corner extraction with better accuracy, and remove the most false corners effectively.

**Key words** image processing; corner detection; local weighted entropy; adaptive threshold; Harris algorithm; minimum intensity change algorithm

**OCIS codes** 100.3008; 140.1135; 140.6910

## 1 引 言

角点检测是一种低层次的图像处理技术。角点特征是图像的一种重要的二维局部特征, 包含了大量的局部特征和形状特征, 对掌握目标轮廓具有决定作用。角点特征具有计算量少, 不随光照条件改变以及在旋转、平移、缩放等情况下均不会改变的优点<sup>[1]</sup>。角点作为特征点用于各种图像处理中, 在三维重建、图像匹配、运动估计、目标识别和跟踪中具有非常重要的应用, 尤其在实时处理系统中具有很高的应用价值<sup>[2-3]</sup>。因此, 角点检测的准确性对后续的图像处理具有重要影响。

**收稿日期:** 2016-12-12; **收到修改稿日期:** 2017-01-16

**基金项目:** 住房城乡建设部科学技术项目计划(2016-R2-045)、陕西省教育厅专项基金(2013JK1081)、陕西省科学技术研究发展计划项目[CXY1122(2)]、陕西省自然科学基金青年基金(2013JQ8003)

**作者简介:** 王 民(1959—), 男, 本科, 教授, 主要从事智能信息处理方面的研究。E-mail: wangmin1329@163.com

\* **通信联系人.** E-mail: 44634576@qq.com

目前角点算法主要分三类:1) 基于模板匹配的角点检测<sup>[4]</sup>;2) 基于边缘特征的角点检测<sup>[5]</sup>;3) 基于图像灰度计算的角点检测。第一类方法由于模板的多样性造成匹配计算复杂度较大,应用受到限制。第二类方法由于先天边缘提取效果的影响,应用也受到限制。第三类方法通过计算图像中像素点的曲率和梯度来检测,避免了其他两类方法的先天影响,同时减少了算法的难度和运算量。因此,基于图像灰度的检测算法应用广泛,其中代表算法有 Harris 算法<sup>[6]</sup>、SUSAN 算法<sup>[7]</sup>、FAST 算法<sup>[8]</sup>和最小亮度变化(MIC)算法等。

Harris 算法在这些算法当中检测效果较好,但该算法需要先对每一个像素点计算角点响应函数(CRF)值,然后在邻域选择最优点,计算量大,难以满足实时性要求。同时,传统的角点检测算法中,需要人为的给出经验阈值才能得到较理想的角点。因此,本文在 Harris 算法基础上,提出基于图像局部加权熵算法和自适应阈值的角点检测算法。

## 2 Harris 和 MIC 角点检测算法与其局限性

### 2.1 Harris 检测算法

Harris 算子是在 Moravec 算子基础上发展起来的,通过计算一个窗口  $w$  向任意方向移动微小位移,若图像某一点向任意方向位移,灰度的变化量均较大则判断该点是角点,以此将角点和非角点分离<sup>[9]</sup>。灰度强度变化量表示为

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

写为矩阵形式

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

式中

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

式中  $I_x$  和  $I_y$  分别为  $x$ 、 $y$  方向上的偏导数,反映了图像中每个像素的灰度变化方向, $w(x, y)$  为高斯窗函数,即

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

式中  $\sigma$  表示高斯函数的标准差。

设和为自相关矩阵的特征值,当自相关矩阵  $\mathbf{M}(x, y)$  处于特征点位置时,将同时拥有两个较大的非负特征值,Harris 角点响应函数为

$$R(x, y) = \det(\mathbf{M}) - b [\text{tr}(\mathbf{M})]^2 = \lambda_1\lambda_2 - (\lambda_1 + \lambda_2)^2, \quad (5)$$

式中  $b$  为经验值,常取 0.04~0.06,文中取 0.04。在图像中,像素点可以分为 3 种类型:角点、平坦区域像素点和边缘点。由(5)式可知, $R(x, y)$  具有:1) 平坦区域, $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  都很小;2) 边缘点, $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  中一个值较大,另外一个值较小;3) 角点, $\lambda_1$ 、 $\lambda_2$  都较大。

利用此算法,Harris 算子将会遍历图像中每个像素点,求解角点响应函数  $R$  的值,然后对整幅图的  $R$  值进行一个非极大值抑制。通过设置  $R$  的阈值,在  $h \times h$  范围内求极大值点,得出角点。

### 2.2 Harris 检测算法的局限性

Harris 角点检测算法具有良好的检测效果,但是依然存在以下不足<sup>[10]</sup>:

1) 该算法计算图像中每个点的角点响应  $R$  值,再在邻域中选择极大值点。在计算过程中,每个像素点的自相关矩阵中乘法运算次数较多,因此算法运行耗时比较长,尤其在分辨率高、纹理丰富的图像检测时,算法运行时间将会大幅度上升,难以满足实时性要求。

2) Harris 算法利用邻域内非极大值抑制,但角点提取的效果完全依赖于阈值的设定。当设定阈值过大,两个像素灰度值相差很大的时候才能成为角点,会丢失很多应有的角点;而当阈值过小,将会产生大量的伪角点。所以,针对不同图像,需要人为改变阈值选择,才会取得较理想的结果。

### 2.3 MIC 检测算法的局限性

MIC 角点检测算法精度高,速度快,抗噪声干扰能力强。但其仍有一些不足之处:

1) MIC 算法无法区分边缘点和角点,容易在斜边产生伪响应。

2) MIC 算法检测效果与模板和阈值选取有很大关系,很难确定一个合理的阈值,设定过大会丢失部分角点信息,过小则会提取出伪角点。

## 3 改进的图像局部加权熵和自适应阈值算法

### 3.1 图像局部加权熵建立候选角点集

为了减少算法的运行时间,同时提高角点检测的准确率,引进局部熵的角点检测算法<sup>[11]</sup>。图像中的局部熵反映了图像灰度的离散程度,将一幅灰度图像以 $(i, j)$ 为中心的 $k \times k$ 窗口的局部图像熵<sup>[12]</sup>记为 $H$ , $k$ 取值为7,

$$H = - \sum \sum p_{i,j} \lg p_{i,j}, \quad (6)$$

式中 $p_{i,j}$ 表示灰度值为 $m$ 的像素块在以 $(i, j)$ 为中心图像块中出现的概率。在离散程度大的部分 $p_{i,j}$ 较小,图像熵较大;反之, $p_{i,j}$ 较大,则图像熵较小。由于(6)式涉及对数计算,为了计算简便,近似为

$$H = - \sum \sum p_{i,j} (p_{i,j} - 1). \quad (7)$$

同时为了快速去除图像中灰度变化较小的窗口,利用局部信息熵值快速检测目标窗口,当窗口图像熵 $H$ 大于设定值时,则认为该窗口存在预选角点,反之则不存在<sup>[13]</sup>。

$$\sum_{x \in \text{circle}(x)} |H(x) - H(0)| > g, \quad (8)$$

式中 $g$ 表示设定的经验阈值。

为了防止使用统一的阈值在预处理过程中造成的角点冗余或者角点漏测的问题,本文设定了一个自适应阈值 $H_1$ 。首先通过计算模板中每个像素点与中心点的灰度差值,取其均值为自适应阈值计算的迭代初始值 $H_0$ ,

$$H_0 = - \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^{k-k} [p_{i,j} (p_{i,j} - 1)], \quad (9)$$

式中 $k$ 为检测窗口大小, $n$ 为图像分块数量。然后以 $H_0$ 初始值,进行迭代,

$$H_{i+1} = \frac{1}{2} \left[ \frac{\sum_{m=C_{\min}}^{H_i} m \cdot h(m)}{\sum_{m=0}^{H_i} h(m)} + \frac{\sum_{m=H_{i+1}}^{C_{\max}} m \cdot h(m)}{\sum_{m=H_{i+1}}^{C_{\max}} h(m)} \right], \quad (10)$$

式中 $m$ 为候选窗口的图像熵, $h(m)$ 为具有该熵值像素个数, $C_{\min}$ 为候选图像块熵的最小值, $C_{\max}$ 为其最大值。当 $|H_{i+1} - H_i| < \epsilon$ ( $\epsilon$ 为选定的极小值)时停止迭代,并取 $H_1 = H$ ,作为最终阈值。

通过上一步检测出存在角点的预选窗口,在这些预选图像中亮度变化较小的部分,一般信息量较小,对图像整体贡献较小。而在局部熵图像中,这些熵值也是较大的,为了让局部熵准确的反应出窗口内的灰度变化,对图像中每个像素的熵进行加权,权值为窗口的标准差,记为 $s_w$ 。则局部加权熵记为

$$H = -s_w \sum \sum p_{i,j} (p_{i,j} - 1). \quad (11)$$

为了检测到熵图像中局部最大值,让局部图像中的每个点与 $k \times (k-1)$ 领域内的样本值进行比较,若他大于其他点,则选取该点为候选角点。

$$H = \max(H_{x,y}). \quad (12)$$

这种方法与用 Harris 算法运用大量数学积分运算检测角点相比,比较局部图像熵的计算方式使运算速率大大提高。

### 3.2 自适应检测候选角点

得出候选角点后,计算 Harris 角点响应函数值 $R$ 。然后利用 MIC 算法剔除伪角点。

经典的 MIC 角点检测算法的基本原理是在规定的圆形窗口模板内寻找最小的亮度变化,也就是 CRF 值。

如果这个值大于某一个门限值,则认为它是角点,否则不是角点。MIC 角点响应函数<sup>[14]</sup>定义如下:

$$R_{\min} = \min [|f(p_1) - f(c)|^2 + |f(p_2) - f(c)|^2], \quad (13)$$

式中  $f(c)$  为图像中核像素值,  $f(p_1)$ 、 $f(p_2)$  为  $p_1$ 、 $p_2$  点对应像素灰度值。

在经典的 MIC 算法中,几何阈值  $T_d$  选取很重要,决定了检测模板的大小,在实际检测过程中,若使用大模板进行检测时,能得到更多的角点,但定位不够准确,并且会出现大量伪角点;而使用小模板检测时,虽然能精确定位,但会遗漏部分角点<sup>[14]</sup>。为了解决这一问题,3.1 节得出的候选角点集后,计算 Harris 角点响应函数值  $R$ , $R$  值的大小对应着图像灰度变化的剧烈程度, $R$  值越大,图像灰度变化越大,为此可以根据  $R$  值大小将预选角点分为三类,即

$$N = \begin{cases} \text{I}, & R_{\min} \leq R \leq (R_{\max} + 2R_{\min})/3 \\ \text{II}, & (R_{\max} + 2R_{\min})/3 \leq R \leq (2R_{\max} + R_{\min})/3, \\ \text{III}, & (2R_{\max} + R_{\min})/3 \leq R \leq R_{\max} \end{cases} \quad (14)$$

式中  $R_{\max}$ 、 $R_{\min}$  为 Harris 算法中角点响应函数值的最大值和最小值。MIC 角点检测函数阈值  $T_d$  表示可以检测到的最小对比度。在相同大小的模板中, $T_d$  越小,则可从对比度越低的图像中检测出特征点。当  $N = \text{I}$  时,设为第一类点,此时待检测点的灰度变化范围较小,这类点灰度变化最小,故使用几何阈值  $d=7$  的模板对其进行处理,防止漏检; $N = \text{II}$  时,设为第二类点,使用几何阈值  $d=5$  的模板进行处理; $N = \text{III}$  时,设为第三类点,灰度变化范围较大的点,使用几何阈值  $d=3$  的模板进行处理,从而精确定位。模板分类如图 1 所示。此时检测算法的阈值  $T_d$  选取为

$$T_d = \begin{cases} 0.1t, & N = \text{I} \\ t, & N = \text{II} \\ 2t, & N = \text{III} \end{cases} \quad (15)$$

式中参数  $t$  是给出的经验值,权值 0.1、1、2,是根据实验样本分析给出的经验值。

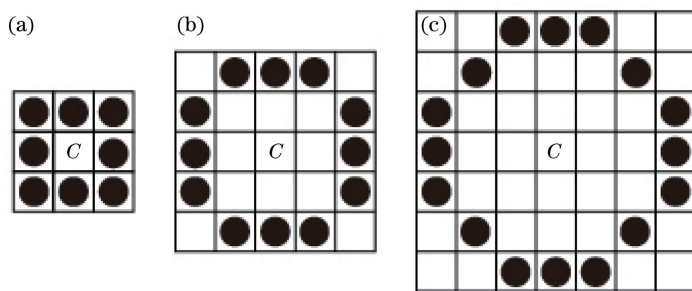


图 1 不同尺寸的检测模板。(a)  $d=3$ ; (b)  $d=5$ ; (c)  $d=7$

Fig. 1 Detection template with different sizes. (a)  $d=3$ ; (b)  $d=5$ ; (c)  $d=7$

综上所述,改进算法步骤如下:

- 1) 将图像转换成灰度图像,选取  $9 \times 9$  高斯函数为检测窗口对图像进行平滑滤波。
- 2) 选取待检测图像任意一点  $p$ ,以此为中心的  $4 \times 4$  窗口内,利用局部熵判断每块是否存在预选角点。
- 3) 将存在预选角点的窗口,按式(12)求每个窗口里的加权局部熵的极大值,然后建立候选角点集。
- 4) 将候选角点  $\text{corner}(i, j)$  代入(5)式计算 Harris 角点响应值  $R$ ,将角点响应值  $R$  按从小到大依次排序,按(14)式将候选点分为三类。
- 5) 将分类的三类候选点分别按不同的模板进行角点检测,带入(13)式计算 CRF 值  $R_{\min}$ ,并且用(15)式中相应的阈值对候选点进行检测筛选。
- 6) 对整幅图像进行邻近角点剔除操作。为了避免角点拥簇的现象,本文选用  $5 \times 5$  的操作模板扫描整幅图,当模板内存在的角点数量大于 1 时,则只保留模板内  $T_d$  值为最大的点。

## 4 实验结果及分析

### 4.1 算法速率分析

选取不同像素的图像进行仿真实验,表 1 为经典 Harris 算法、MIC 算法与本文算法对 5 组灰度图像,每组图像包括 10 幅同尺寸大小的图像,进行角点检测所耗费的平均时间。其中,第 1 组图像为  $128 \text{ pixel} \times 128 \text{ pixel}$ ;第 2 组图像为  $256 \text{ pixel} \times 256 \text{ pixel}$ ;第 3 组图像为  $374 \text{ pixel} \times 374 \text{ pixel}$ ;第 4 组图像为  $428 \text{ pixel} \times 428 \text{ pixel}$ ;第 5 组图像为  $512 \text{ pixel} \times 512 \text{ pixel}$ 。

表 1 运行时间对比

Table 1 Running time comparison

Algorithm	Running time /s				
	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
Harris	0.746782	1.983133	3.234567	4.456239	5.879491
MIC	0.278955	0.869324	1.246794	2.098156	2.543891
Proposed	0.334721	0.845476	1.520665	1.872408	2.467123

在计算机中减法运算耗费时间远小于乘法运算,Harris 检测算法运用多次乘法计算每个像素点 CRF 值,而本文算法通过图像局部加权熵筛选出候选角点,不必计算图像每个像素点的 CRF 值,减少了乘法的运算次数。然后采用自适应模板和阈值的 MIC 算法对候选角点进行检测剔除伪角点,此过程仅对候选角点进行检测,减少了计算量。从表 1 中可以看出,本文算法的运行时间是 Harris 算法的 40%左右,和 MIC 算法基本持平。

### 4.2 算法正确性分析

使用 Matlab 软件自带原图,使用 Harris 算法、MIC 算法和文献[15]算法以及本文算法进行角点提取,检测结果如图 2 所示。对于 Harris 算法,如图 2(a)所示,存在相对较多伪角点,包括图像边缘角点,同时漏检角点较多;对于 MIC 算法,如图 2(b)所示,可以快速检测出角点,也存在伪角点和漏检角点;而文献[15]算法中,如图 2(c)所示,能够快速检测出角点并使角点数增加,但存在漏检角点较多。本文算法,如图 2(d)所示,正确角点数和漏检有所改善。

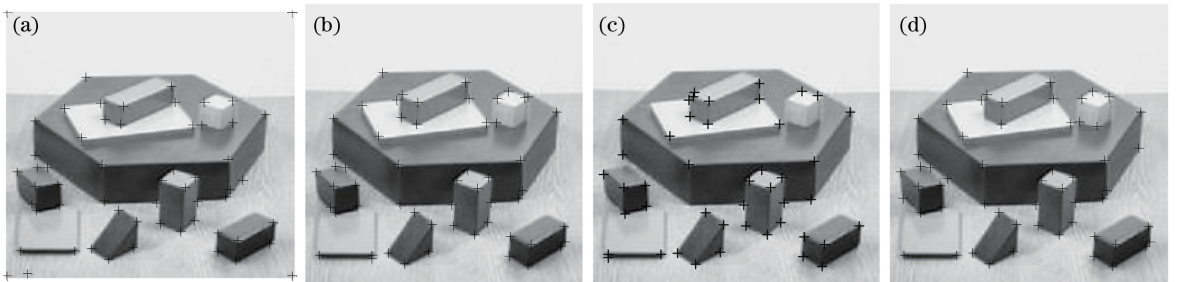


图 2 实验结果。(a) Harris 算法;(b) MIC 算法;(c)文献[15]算法;(d)本文算法

Fig. 2 Experimental results. (a) Harris algorithm; (b) MIC algorithm; (c) Ref. [15] algorithm; (d) proposed algorithm

检测统计结果如表 2 所示,表中正确角点与伪角点采用文献[16]的定义。定义两个集合  $C_r$  和  $C_d$  分别代表人工标记角点和实验所得角点。设检测出角点和人工标记角点距离  $l$ ,最大误差阈值为  $l_{\max}$ ,设定

$$l_e = \min_q \| C_r - C_d \|, \quad (16)$$

式中  $e$  表示真实角点集合中的第  $e$  个真实角点, $q$  表示检测出来的角点集合中的第  $q$  个的距离最小的值。若  $l$  小于设定阈值,则与正确角点匹配,否则标记为漏检角点; $C_d$  中未匹配的角点为伪角点。

为了进一步对算法进行分析比较,对 4.1 节样本中的 5 组图像,每组图像随机抽取 1 幅图像进行分析。人工标记正确角点,与实验检测角点进行比较分析,计算角点检测准确率,结果如表 3 所示。准确率表达式为

$$r_a = a / (o + p), \quad (17)$$

式中  $a$  为准确角点数, $o$  为人工标记总角点数, $p$  为检测出的错误角点数。

表 2 角点个数统计结果

Table 2 Statistical results of corner number

Algorithm	Correct point	Wrong point	Missing point	Statistics time /s
Harris	46	12	14	2.325358
MIC	48	7	12	0.512456
Ref. [15]	43	3	17	0.484437
Proposed	52	4	8	0.551233

表 3 角点准确率统计结果

Table 3 Statistical results of corner accuracy

Algorithm	Accuracy /%				
	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
Harris	63.9	61.9	59.7	62.3	57.3
MIC	71.6	73.7	67.5	63.5	68.1
Ref. [15]	68.6	59.7	57.2	66.7	64.7
Proposed	81.2	77.3	71.5	74.7	71.9

由表 3 可知,本文算法在准确性上有所提升,且适应不同图像的处理。

### 4.3 算法抗噪性能分析

为了对算法抗噪性能进行分析,对原图加入混合噪声(密度为 0.01 的椒盐噪声和均值为 0,  $\sigma$  为 0.001 的高斯噪声),然后比较四种算法对加噪图像进行角点检测的效果,如图 3 所示,统计结果如表 4 所示。

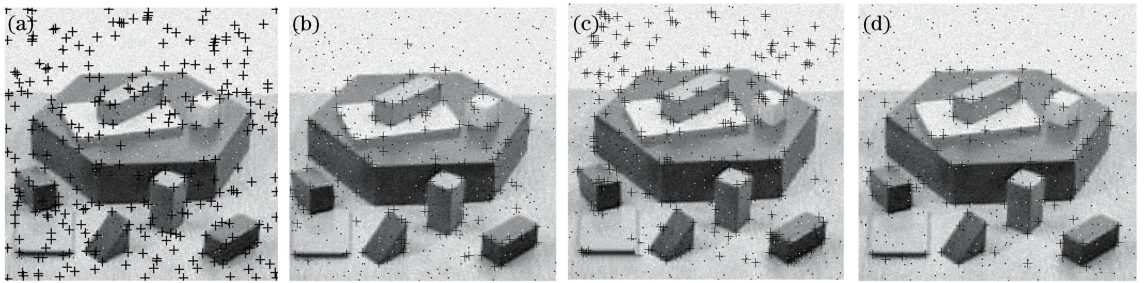


图 3 实验结果。(a) Harris 算法;(b) MIC 算法;(c) 文献[15]算法;(d) 本文算法

Fig. 3 Experimental results. (a) Harris algorithm; (b) MIC algorithm; (c) Ref. [15] algorithm; (d) proposed algorithm

表 4 角点个数统计结果

Table 4 Statistical results of corner number

Algorithm	Correct point	Wrong point	Missing point	Accuracy /%
Harris	43	235	17	15.5
MIC	42	73	18	36.5
Ref. [15]	47	220	12	17.6
Proposed	45	41	15	46.8

抽取样本统计结果如表 5 所示。

表 5 角点准确率统计结果

Table 5 Accuracy rate of corner statistical results

Algorithm	Accuracy /%				
	Team 1	Team 2	Team 3	Team 4	Team 5
Harris	16.9	12.9	15.4	15.7	13.9
MIC	39.5	33.7	33.1	32.5	32.6
Ref. [15]	16.6	18.9	19.8	20.1	17.4
Proposed	44.3	43.7	40.6	37.1	36.3

由实验结果可以看出,图像加入混合噪声后,本文算法抗噪效果比文献[15]算法、Harris 算法和 MIC 算法均有所提高,并且在加噪情况下比较均匀地检测出图像的几何角点。

## 5 结 论

对 Harris 和 MIC 算法进行分析,在此基础上引进局部加权熵算法思想建立候选角点集,通过 Harris 算子 CRF 函数值将候选角点按照灰度差大小分为三类,应用自适应模板和阈值的 MIC 算法检测角点。在此过程中,应用 Harris 算子对候选角点进行分类,比较准确地对预选角点灰度差进行分析,避免了大量数学微积分计算。通过实验分析可知,改进算法提高了原算法的检测速率和角点的准确性,同时适用于图像的实时处理。但是在实验中发现,改进算法在灰度变化不明显和纹理信息丰富的图像中不能准确区分边缘点和角点,下一步将重点研究在此情形下如何提高角点检测的效果。

## 参 考 文 献

- [1] Mao Y M, Lan M H. Research on corner detection methods[J]. Modern Computer, 2008(10): 86-88.
- [2] Rosten E, Porter R, Drummond T. Faster and better: a machine learning approach to corner detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2008, 32(1): 105-119.
- [3] Li Jianping, Niu Yanxiong, Yang Lu, *et al.* Contactless driver fatigue detection and warning system based on eye state information[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2015, 52(4): 041101.  
李建平, 牛燕雄, 杨露, 等. 基于人眼状态信息的非接触式疲劳驾驶监测与预警系统[J]. 激光与光电子学进展, 2015, 52(4): 041101.
- [4] Shen Xiajing, Cheng Mengjiao, Xiao Jiangjian, *et al.* Corner detection for fisheye checkerboard images based on iterative correction[J]. Laser & Optoelectronics Progress, 2016, 53(9): 091501.  
申夏晶, 程梦娇, 肖江剑, 等. 基于迭代校正的鱼眼棋盘格图像角点检测[J]. 激光与光电子学进展, 2016, 53(9): 091501.
- [5] Li Houjie, Qiu Tianshuang, Song Haiyu, *et al.* Separation algorithm of traffic signs based on curvature scale space corner detection[J]. Acta Optica Sinica, 2015, 35(1): 0115002.  
李厚杰, 邱天爽, 宋海玉, 等. 基于曲率尺度空间角点检测的交通标志分离算法[J]. 光学学报, 2015, 35(1): 0115002.
- [6] Harris C, Stephens M. A combined corner and edge detector[C]. Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference, Manchester, 1998: 147-151.
- [7] Smith S 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] Trajković M, Hedley M. Fast corner detection[J]. Image & Vision Computing, 1998, 16(2): 75-87.
- [9] Shen Shizhe, Zhang Xiaolong, Heng Wei. Improved Harris corner detection algorithm based on auto-adaptive threshold and pre-selection[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2011, 26(2): 207-213.  
沈士喆, 张小龙, 衡伟. 一种自适应阈值的预筛选 Harris 角点检测方法[J]. 数据采集与处理, 2011, 26(2): 207-213.
- [10] Wang Rui, Hao Na, Zhang Bo, *et al.* Harris corners detection method based on self-adapting non-maximal suppression algorithm[J]. Fire Control & Command Control, 2015, 40(7): 84-86, 91.  
王瑞, 郝娜, 张波, 等. 一种自适应 Harris 角点检测算法[J]. 火力与指挥控制, 2015, 40(7): 84-86, 91.
- [11] Zhou Bing, Wang Yongzhong, Sun Lihui, *et al.* Image local entropy for small target detection[J]. Acta Photonica Sinica, 2008, 37(2): 381-387.  
周冰, 王永仲, 孙立辉, 等. 图像局部熵用于小目标检测研究[J]. 光子学报, 2008, 37(2): 381-387.
- [12] Sun Legong, Mao Zheng, Mao Yuxin, *et al.* Study on fast local entropy algorithm for real-time detection of airborne small targets[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2011, 30(6): 28-32.  
孙乐公, 毛征, 毛羽忻, 等. 空中小目标实时检测的快速局部熵算法研究[J]. 国外电子测量技术, 2011, 30(6): 28-32.
- [13] Tian Jiandong, Tang Yandon. Fast and high-precision corner detection algorithm based on geometric features[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2009, 30(2): 287-292.  
田建东, 唐延东. 基于几何特征的快速高精度角点检测算法[J]. 仪器仪表学报, 2009, 30(2): 287-292.
- [14] Liu Wenghui. Research and implementation on fast corner detection algorithms based on MIC[D]. Shenyang: Shenyang Ligong University, 2013.  
刘文辉. 基于 MIC 的快速角点提取算法研究与实现[D]. 沈阳: 沈阳理工大学, 2013.

- [15] Wang Wei, Tang Yiping, Ren Juanli, *et al.* An improved algorithm for Harris corner detection [J]. *Optics and Precision Engineering*, 2008, 16(10): 1995-2001.  
王 崑, 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.
- [16] Liu Yawei, Li Jianwei, Zhang Xiaohong. Corner detection operator based on LoG of edge contour [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(10): 140-143.  
刘亚威, 李见为, 张小洪. 一种基于边缘轮廓线的 LoG 角点检测 [J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(10): 140-143.