

# 一种改进的 Harris 角点检测算法

李鹏程, 曾毓敏, 张 梦

(南京师范大学物理科学与技术学院, 江苏 南京 210023)

[摘要] Harris 角点检测算法是一种经典算法, 但对于大尺度图像, 误检现象比较严重, 并且耗时过长. 本文提出一种新的检测算法, 通过对圆形区域进行非极大值抑制, 能够明显地降低角点检测时间, 并且能够有效地减少误检. 同时, 在不改变任何参数的情况下, 对于图像旋转, 能够明显地减小提取的差异. 通过实验对比, 本算法简单方便, 提取角点也非常有效, 相对于传统 Harris 算法具有更好的角点检测性能.

[关键词] Harris, 角点, 非极大值抑制, 图像旋转

[中图分类号] TP391.41 [文献标志码] A [文章编号] 1001-4616(2014)02-0049-06

## An Improved Harris Corner Detection

Li Pengcheng, Zeng Yumin, Zhang Meng

(School of Physics and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing 210023, China)

**Abstract:** Harris corner detection algorithm is a classical algorithm, but it makes more serious problems and wastes more time in the large scale image. This article will put forward a new detection algorithm which can reduce the check time and lower the false corners through making non-maxima suppression within the circular region. At the same time, without changing any parameters, for image rotation, the new algorithm can significantly reduce the differences in extraction as to the image rotation. Experimental results confirm the validity of the new method and show that the new method greatly improves image corner detection performance with higher accuracy compared with the traditional algorithm.

**Key words:** Harris, corner, non-maxima suppression, image rotation

角点检测是图像研究中的重要组成部分, 其研究的历史也很悠久. 早在 1977 年, Moravec<sup>[1]</sup>就提出了角点特征, 当时他使用的还是“兴趣点”这个概念. 目前学术界对于角点的定义并未得到统一, 对于不同的角点检测方法, 其角点所代表的含义也可能不尽相同. 在很多场合下, 角点也常常和兴趣点、局部特征等名词相混同. 通常情况下, 角点就是指图像中亮度发生剧烈变化或者图像边缘曲线上曲率极大值的点.

角点检测方法主要可以分为两大类: 基于图像边缘的方法和基于图像灰度的方法. 基于图像边缘的方法往往需要对图像边缘进行编码, 这种方法在很大程度上依赖于图像的分割和边缘提取, 具有相当大的难度和计算量, 并且一旦待检测目标局部发生变化, 很可能会导致操作的失败. 而基于图像灰度的方法通过计算点的曲率和梯度来检测角点, 这样, 便可避免基于图像边缘检测方法的缺陷, 这种方法是当前研究的重点. Harris 角点检测算法属于基于图像灰度的角点检测法, 除此以外, 典型的基于灰度信息的角点检测算法还有: Moravec 算法、SUSAN 算法<sup>[2]</sup>等.

## 1 Harris 角点检测算法简介

### 1.1 Harris 算法原理

Harris 角点检测算法作为一种经典算法, 很多人对它进行了改进, 也有很多人将这种算法及其改进算法运用到各个领域. Cheng 等人在文献[3]中评估了 Harris 角点检测算法在摄像机校准上的应用效果, 并且提出了 4 个评估参数用以完成评估; GAO 等人在文献[4]中运用改进的 Harris 角点检测算法进行网

收稿日期: 2013-04-23.

基金项目: 江苏省自然科学基金(BK2010546).

通讯联系人: 曾毓敏, 博士, 教授, 研究方向: 语音信号处理和数字图像处理. E-mail: zengyumin@njnu.edu.cn

格栅栏的破损检测;He等人<sup>[5]</sup>基于统计特性来改进 Harris 算法;Shen等人<sup>[6]</sup>通过改变角点响应函数来实现 Harris 算法的自适应性,同时再运用块处理技术使算法更加完善;Zhu等人<sup>[7]</sup>通过将图像压缩与块处理结合起来改进 Harris 算法;Dai等人<sup>[8]</sup>和 Bo等人<sup>[9]</sup>则将 Harris 算法与 SIFT 算法结合起来.这些改进都有一定的优点,也都取得了一定的成功. Harris 角点检测算法基于这样的思想:若某一点在邻域内平移一个很小的距离后,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.这种思想可以通过一个局部小区域或者小窗口来得以实现,在图像上,如果在各个方向上,移动这个特定的小窗口,窗口内图像的灰度发生了很大的变化,那么,我们就可以认为我们在这个小窗口内遇到了角点;如果这个特定的窗口在各个方向上移动时,窗口内图像的灰度都没有发生变化,那么,这个窗口内就不存在角点;如果窗口在某些方向上移动,窗口内的图像灰度发生变化而在另外一些方向上移动时,窗口内的灰度不发生变化,那么窗口内的图像很有可能是一条直线.

Harris 算子可以获得所有方向上的自相关变化(也就是灰度变化),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,构造一个与之相关的矩阵  $M$ ,而通过比较矩阵  $M$  的特征值的大小可以轻松地提取相应的角点.<sup>[10]</sup>

图像  $I(x, y)$ , 当在  $(x, y)$  处平移  $(\Delta x, \Delta y)$  后的自相关性,可以通过自相关函数给出:

$$c(x, y, \Delta x, \Delta y) = \sum_{(u, v) \in W(x, y)} w(u, v) (I(u, v) - I(u + \Delta x, v + \Delta y))^2, \quad (1)$$

式(1)中,  $W(x, y)$  是以点  $(x, y)$  为中心的窗口,  $w(u, v)$  为加权函数,它既可以是常数,也可以是高斯加权函数:  $\exp \frac{-(u-x)^2 - (v-y)^2}{2\sigma^2}$ .

根据泰勒展开,对图像  $I(x, y)$  在平移  $(\Delta x, \Delta y)$  后进行一阶近似,可以得到:

$$I(u + \Delta x, v + \Delta y) \approx I(u, v) + I_x(u, v) \Delta x + I_y(u, v) \Delta y = I(u, v) + [I_x(u, v), I_y(u, v)] \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}, \quad (2)$$

式(2)中,  $I_x, I_y$  是图像  $I(x, y)$  的偏导数,这样,式(1)可以近似为:

$$c(x, y, \Delta x, \Delta y) \approx \sum_{(u, v) \in W(x, y)} \left\{ [I_x(u, v) - I_y(u, v)] \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix} \right\}^2 = [\Delta x, \Delta y] M(x, y) \begin{bmatrix} \Delta x \\ \Delta y \end{bmatrix}, \quad (3)$$

其中

$$M(x, y) = \sum_{(u, v) \in W(x, y)} \begin{bmatrix} I_x(x, y)^2 & I_x(x, y) I_y(x, y) \\ I_x(x, y) I_y(x, y) & I_y(x, y)^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & C \\ C & B \end{bmatrix}. \quad (4)$$

二次项函数在本质上来说,是一个椭圆函数.椭圆的扁率和尺寸是由  $M(x, y)$  的特征值  $\lambda_1, \lambda_2$  决定的,椭圆的方向是由  $M(x, y)$  的特征矢量决定的.其与图像的关系有3种情况:当图像上是直线的时候,则一个特征值大而一个特征值小,自相关函数值在某一个方向上大,在其他的方向上小;当图像上是平面的时候,则两个特征值都很小,且近似相等,自相关函数值在各个方向上都很小;当图像上是角点的时候,则两个特征值都很大,且近似相等,自相关函数在所有的方向上都很大.

在实际的算法中,为了避免计算矩阵  $M$  的特征值,常常通过式(5)来计算特征点的响应,我们称  $R$  为角点响应值.

$$R = \det M - \alpha (\text{trace} M)^2, \quad (5)$$

$$\det M = \lambda_1 \lambda_2 = AC - B^2, \quad \text{trace} M = \lambda_1 + \lambda_2 = A + C, \quad (6)$$

其中,  $\det M$  是矩阵  $M$  的行列式;  $\text{trace} M$  是矩阵  $M$  的迹;  $\alpha$  是经验常数,一般在 0.04 ~ 0.06 的范围内选取.

## 1.2 Harris 算法实现步骤

- (1) 计算图像  $I(x, y)$  在  $X$  和  $Y$  两个方向上的梯度  $I_x, I_y$ .
- (2) 计算图像两个方向梯度的乘积  $I_x^2, I_y^2$  和  $I_x I_y$ .
- (3) 对  $I_x^2, I_y^2$  和  $I_x I_y$  进行高斯平滑,以去除噪声,在此过程中可以通过归一化将模板参数和置 1.
- (4) 计算每个像元的 Harris 角点响应值  $R$ ,并且对小于某一个阈值  $t$  的  $R$  置为零

$$R = \{ R : \det R - \alpha (\text{trace} R)^2 < t \}. \quad (7)$$

(5) 在  $3 \times 3$  或者  $5 \times 5$  的邻域内进行非最大值抑制,局部最大值点就是图像中的角点。

## 2 改进的 Harris 角点检测算法

在传统算法中,对于角点响应值  $R$  的选取上,需要设定经验常数  $\alpha$ ,这种方法具有一定的随机性,为了计算方便,采用文献[11]中所使用的方法,即:

$$R = [I_x^2 * I_y^2 - (I_x I_y)^2] / (I_x^2 + I_y^2 + \varepsilon), \quad (8)$$

其中,  $\varepsilon$  表示任意小的正数。

同时,在进行 Harris 角点检测时,图像的四角及边缘区域,往往会被误检为角点,并且这部分的角点在图像的实际应用中往往是冗余的,我们可以在角点检测过程中剔除图像的边缘像素,以增加 Harris 角点检测的准确性。

传统 Harris 算法中,在进行非极大值抑制时,选用的模板区域为  $3 \times 3$  或  $5 \times 5$  等形式的矩形框。以  $3 \times 3$  来说明,即通过矩形框中间点与周围 8 个点逐次比较,如果周围的 8 个点的角点响应值都比中心点小,则将中心点标志为区域内的极大值。

传统算法中,此部分的核心代码为:

$$\begin{aligned} R(i,j) &> R(i-1,j-1) \wedge R(i,j) > R(i-1,j) \wedge \\ R(i,j) &> R(i-1,j+1) \wedge R(i,j) > R(i,j-1) \wedge \\ R(i,j) &> R(i,j+1) \wedge R(i,j) > R(i+1,j-1) \wedge \\ R(i,j) &> R(i+1,j) \wedge R(i,j) > R(i+1,j+1). \end{aligned} \quad (9)$$

由(9)可以看出,运用枚举算法进行非极大值抑制,运算量很大,并且当图像发生旋转变换后,其矩形窗口将发生变化,可能会出现误检的现象。对于图像旋转不变性,将在下面的实验中详细说明。

而如果将矩形窗口换成圆形窗口的话,根据圆的性质,当图像发生旋转时,中心点的非极大值抑制窗口不发生变化,这将会对图像旋转不变性有一个更好地改善。并且,适当调整圆形窗口的半径,可以获得最佳的检测效果。在算法上,可以选择对窗口内图像进行中值滤波,将窗口内的角点响应值进行从小到大的排序放置于一维矩阵中,这样,矩阵中的最后一位数值就是窗口内的最大角点响应值;矩阵中倒数第二数值就是窗口内第二大角点响应值。当圆心处的角点响应值就是窗口内的最大角点响应值并且最大角点响应值与第二大角点响应值不相等的时候,我们可以认定圆心处的角点响应值就是该窗口圆区域内的最大角点响应值,圆心所在位置就是我们所要求的角点。

此算法可以概括为:

$$keypt = \{ centre : centre = \max[ circle(centre) ] \neq 2nd \max[ circle(centre) ] \}. \quad (10)$$

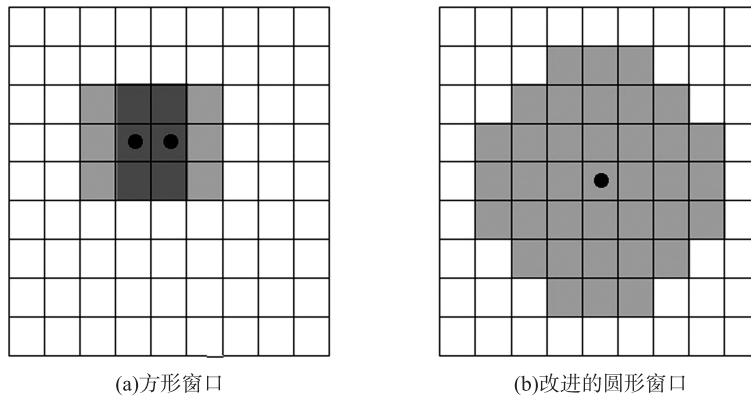


图1 非极大值抑制窗口

Fig.1 Non-maxima suppression window

在图1(a)中,我们示例的是  $3 \times 3$  的矩形窗口,当窗口区域比较结束后,中心点位置顺序递增,进行下一轮非极大值抑制;在图1(b)中,此处示例的是半径为 3 的圆形窗口(半径可以自行调整为合适的值),当窗口区域内比较结束后,中心点位置顺序递增,进行下一轮非极大值抑制。图中黑点即表示为中心点。

### 3 实验结果与分析

为了验证改进算法的良好效果,本次实验所用设备为Acer的E430台式电脑,操作系统是Windows 7系统,cpu为core i3-2130@3.4 GHz,4 G内存,matlab 2009.

#### 3.1 角点检测精确性与旋转不变性实验

如图2所示,我们选择一张角点比较明显的图片来做角点检测实验.

图3(a)、3(b)为传统算法与改进算法的角点检测对照实验;图3(c)、3(d)所示为当原图片经过45°旋转后的检测效果,经过实验可得,当图片旋转45°效果最明显.

表1中,检测总数是指算法检测到的所有角点数,检测总数=误检数+准确数;漏检数为本该是图像中的角点却没有检测到的数目;误检数为不是图像中的角点却被检测为角点的数目;准确数为图像中的角点被正确检测到的数目.在此处,新设置一名词“错准比”,即错准比=(误检数+漏检数)/准确数.由定义即可知,错准比越大,检测效果越差.

由表1可以看出,虽然传统Harris算法有较低的误检率,但是其有相当高的漏检率,总来的说,其准确



图2 角点检测样图

Fig. 2 The original image of corner detection

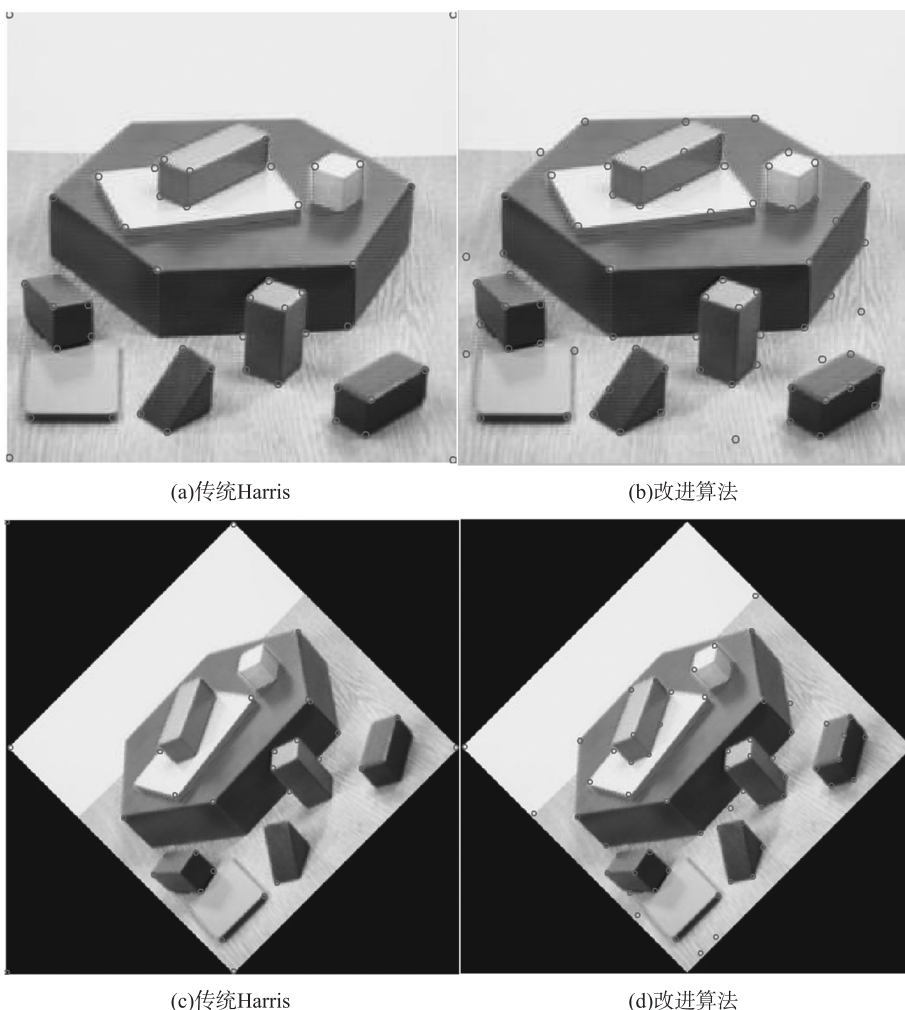


图3 a、c分别为Harris对原图以及原图旋转45度后的角点检测效果,b、d分别为改进算法对原图以及原图旋转45°后的角点检测效果.圆圈标记处即为检测角点

Fig. 3 a, c were the detection results of original image and rotated 45 degrees rimage while b, d were the improved detection results

性并不是很高,并且,当图像发生旋转时,其效果变化还是比较明显的.通过错准比可以看出,不管图像经过旋转与否,改进的算法的错准比都比传统算法的错准比要低,这说明改进算法在准确率方面要明显地优于传统算法.

表 1 角点检测结果比较

Table 1 Comparison of the two algorithms

	算法	检测总数	漏检数	误检数	准确数	错准比
原图	传统 Harris	45	15	4	41	19/41
	改进 Harris	69	2	9	60	11/60
旋转图	传统 Harris	29	37	2	27	39/27
	改进 Harris	61	9	8	53	17/53

众所周知,Harris 算法具有旋转不变性.但是 Tinne Tuytelaars 和 Krystian Mikolajczyk 在其经典文献 [12] 中提出:虽然传统 Harris 具有旋转不变性,但是并不是旋转后的特征点完全不变,依旧有一定的特征点不完全重合.因而,我们可以认为:传统 Harris 角点检测算法具有不完全的旋转不变性.这是由于矩形的非极大值抑制窗口的特性决定的.只有当正方形按中心旋转  $90^\circ$  的整数倍时,旋转后的矩形才能与旋转前矩形所处的位置完全重叠,即非极大值抑制窗口内的值不变,否则当图像发生旋转时,中心点处的非极大值抑制窗口内的值将发生改变,非极大值抑制的结果可能发生改变.而对于圆,当圆围绕圆心做任意角度的旋转时,圆所覆盖的区域都将保持不变.因而,将非极大值抑制窗口改为圆形,传统 Harris 算法的旋转不变性将有一定的提升.

对图 3 进行比较,由图 3(a)和图 3(c)比较可得,当图像发生旋转后,两幅图中所检测的角点并不完全重合,这是由于当图像发生旋转时,非极大值抑制窗口也发生了变化,原本被认为是极大值的位置,现在可能不被算法认为是极大值而被抛弃;由图 3(b)和图 3(d)比较可得,改进算法在旋转不变性方面的稳定性要优于传统算法.

### 3.2 角点检测时间比较实验

为了比较改进算法与传统算法的运算速度(即一幅图的角点检测总时间),我们可以选择像素比较大的图片,以更好地突出效果.此处,我们选择法国 INRIA-LEAR 图像数据库的一幅图像,并且适当将其大小缩放至  $200 \times 200$  像素、 $400 \times 400$  像素、 $600 \times 600$  像素以及  $800 \times 800$  像素进行比较.

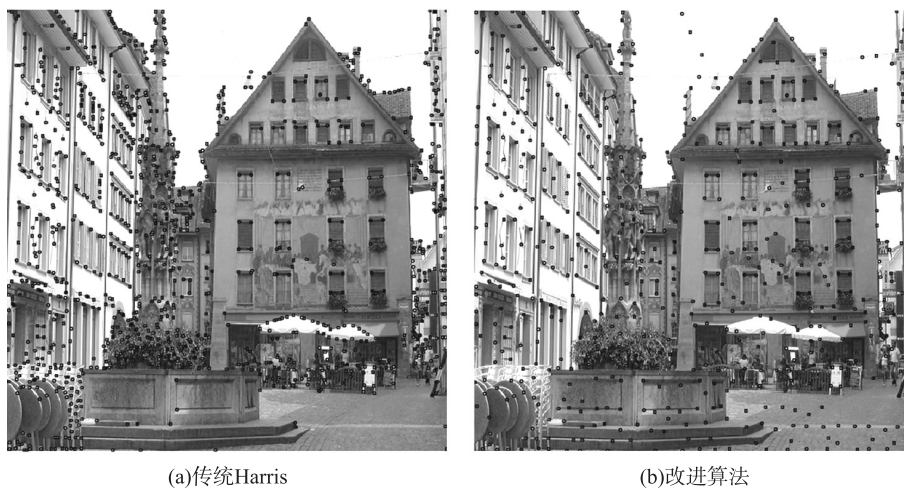
图 4  $600 \times 600$  像素实景图检测比较Fig. 4 Comparison of the two algorithms with  $600 \times 600$  pixels

表 2 算法运算时间比较

Table 2 Comparison of the two algorithms' running time

算法	200×200 像素	400×400 像素	600×600 像素	800×800 像素
传统	0.36 s	1.12 s	2.54 s	4.51 s
改进	0.22 s	0.78 s	1.73 s	3.06 s

由表2可以看出,改进算法相对于传统算法,运算时间有一个明显的提高.图4中红色圆点所标记处即是图像中检测到的角点,由图4(a)、4(b)比较可以直观地发现,改进算法能够较好地检测出图像中的角点,并且改进算法相对于传统算法使得角点分布更加均匀,这将使得后续的图像匹配识别应用的准确性更高.

## 4 结语

Harris 算子相较于其他的基于灰度的角点检测算子,具有较好的效果,是经典的角点提取算子之一.自 Harris 算子问世以来,由于 Harris 本身的一些缺陷(比如运算时间不快、需要设置阈值、不具备尺度不变性等),对 Harris 算子的改进工作一直是一个热点.本算法基于传统 Harris 算法进行改进,相比于传统算法,改进算法在角点检测准确率、旋转不变性和运算时间上有一定的改善,经过具体的实验比较,改进算法效果良好.但是改进算法在角点检测准确性、运算时间等方面依然拥有很大的提升空间,并且改进算法没有引进尺度空间,对于尺度不变性并没有改善,这在以后的工作中,将是研究的重点所在.

### [参考文献]

- [1] Hans P M. Towards automatic visual obstacle avoidance [C]//Proceedings of the 5th International Joint Conference on Artificial Intelligence. Cambridge:International Joint Conference on Artificial Intelligence,1977:584-584.
- [2] 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.
- [3] Cheng O,Guangzhi W,Quan Z,et al. Evaluating harris method in camera calibration [C]//27th Annual International Conference of the IEEE,Shanghai:IEEE,2006:6 383-6 386.
- [4] Gao Q J,Xu P,Yang L. Breakage detection for grid images based on improved Harris corner[J]. Journal of Computer Applications,2012,32(3):766-769.
- [5] He B,Ming Z,Wei Y. A matching algorithm on statistical properties of Harris corner [C]//2011 IEEE International Conference on IEEE,Shenzhen:IEEE,2011:226-229.
- [6] Shen S,Zhang X,Heng W. Auto-adaptive harris corner detection algorithm based on block processing [C]//2010 International Symposium on IEEE,Nanjing:IEEE,2010(1):1-4.
- [7] Junxiong Z,Kai Y. Fast Harris corner detection algorithm based on image compression and block [C]//2011 10th International Conference on IEEE,Chengdu:IEEE,2011,3:143-146.
- [8] Dai J,Song W,Pei L,et al. Remote sensing image matching via Harris detector and SIFT descriptor [C]//2010 3rd International Congress on IEEE,Yantai:IEEE,2010,5:2 221-2 224.
- [9] Bo G,Cao J,Zhou Z,et al. A robust image registration algorithm used for panoramic image mosaic [C]//2012 International Conference on IEEE,Hangzhou:IEEE,2012:1-4.
- [10] Harris C,Stephens M. A combined corner and edge detector [C]//Alvey Vision Conference. Manchester:Univ of Manchester, 1988,15:147-151.
- [11] 周龙萍. 基于改进的 Harris 算法检测角点[J]. 计算机技术与发展,2013,23(2):11-14.
- [12] Tuytelaars T,Mikolajczyk K. Local invariant feature detectors;a survey[J]. Foundations and Trends® in Computer Graphics and Vision,2008,3(3):177-280.

[责任编辑:顾晓天]