

文章编号 1004-924X(2013)01-0189-08

## 采用环形模板的棋盘格角点检测

储 珺\*, 郭卢安政, 赵贵花

(南昌航空大学 计算机视觉研究所, 江西 南昌 330063)

**摘要:**曝光过度 and 镜头畸变将分别导致棋盘格角点分离和角点局部区域不对称, 现有的角点检测算法难以准确提取棋盘格角点。为此本文提出了一种图像坐标系下基于环形模板的棋盘格角点检测算法。该算法通过分析棋盘格角点附近的灰度分布应满足的对称性和灰度交替性等性质, 得出环形模板卷积后的图像应满足的性质。利用该性质来定义并提取棋盘格角点, 最后利用局部冗余角点分布的对称性来去除冗余角点, 使角点检测更精确从而使提取的角点直接达到亚像素精度。实验结果表明: 本文提出的棋盘格角点检测算法在曝光过度, 镜头畸变和复杂背景情况下均能取得较好的棋盘格角点检测效果, 且运算速度快, 误差小。将该算法应用于实际摄像机标定, 结果显示重投影误差在 0.3 个像素以内。

**关键词:**棋盘格角点; 角点检测; 环形模板; 摄像机标定

**中图分类号:** TP391 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/OPE.20132101.0189

## Chessboard corner detection based on circular template

CHU Jun\*, GUOLU An-zheng, ZHAO Gui-hua

(*Institute of Computer Vision, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China*)

\* *Corresponding author, E-mail: chujun9660@163.com*

**Abstract:** Over exposure and camera lens distortion often result in the separation and local area asymmetry of a chessboard corner and the existing chessboard corner detection algorithms can not extract the corner information in such conditions accurately. Therefore, this paper proposed a detecting algorithm based on the circular template under an image coordinate. The symmetry and interchangeability needed by gray distribution of the local area for the chessboard corner were analyzed, and the properties of a convoluted image for the circular template were obtained. On the basis of the properties, the chessboard corner was defined and extracted. Finally, the symmetry of local redundant corner distribution was used to remove the redundant corner to improve the corner detection accuracy and to allowed the extracted accuracy of the corner to sub-pixel level in merely one step by employing the image coordinate. Experiment results show that our algorithm can achieve better results in over exposure and lens distortion both at simple backgrounds and complex scenes, and it is characterized by higher operation speed and smaller errors. Applying proposed algorithm to a camera calibration, a re-projection error less than 0.3 pixels is obtained.

**Key words:** chessboard corner; corner detector; circular template; camera calibration

收稿日期: 2012-09-30; 修订日期: 2012-10-16.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (No. 61263046); 国家 973 重点基础研究发展计划资助项目 (No. 2009CB320902); 航空科学基金资助项目 (No. 2010ZC56005)

## 1 引言

摄像机标定在机器人导航、三维重建、虚拟现实等研究中具有广泛的应用<sup>[1-3]</sup>。摄像机标定精度直接影响这些任务的可靠性,而摄像机标定精度很大程度上取决于标定模板特征点的图像定位精度。正如 Laves 等<sup>[4]</sup>指出,即使特征点位置 0.5 个像素的误差也会导致标定参数的重大偏差,因此如何精确地获取模板特征点的位置是实现高精度相机标定的关键。在摄像机标定的方法中,基于棋盘格的相机标定较为常用。在此,本文也采用棋盘格模板作为标定模板。

棋盘格角点检测算法最早采用的是人机交互方法<sup>[5]</sup>,即用鼠标按照一定的顺序选取最外边的 4 个角点给出参考信息,然后由计算机通过计算进行定位。这种方法计算复杂度较高,而且难以实现标定过程的自动化。Harris 角点检测算子<sup>[6]</sup>和 Susan 角点检测算子<sup>[7]</sup>克服了标定过程自动化难以实现的问题,但是在提取棋盘格内角点的同时,也会提取出许多错误和冗余的角点。因此,该类角点提取算法难以直接应用于棋盘格角点检测中。近几年,很多学者通过分析棋盘格角点的局部灰度分布特性来对上述角点检测算法进行改进。Wang 等<sup>[8]</sup>利用 Harris 算子对棋盘格模板图像中的角点进行粗提取,再通过棋盘格模板的对称性去掉部分角点,然后利用横竖栅格线的交点去除冗余角点。该算法计算复杂度大,对畸变较大的图像无法正确提取角点,并且不适合复杂环境中棋盘格角点的提取。罗钧等<sup>[9]</sup>采用 Susan 算子遍历 Sobel 边缘,并利用棋盘格模板的对称性来求取角点,该算法不能正确提取畸变较大的棋盘格图像,而且也会产生一些冗余角点。以上提出的算法虽然在通用的角点提取算子上做了一些改进,添加了一些棋盘格角点区域的灰度分布特性,但也增加了计算复杂度。

针对上述算法存在的问题,Zheng 等<sup>[10]</sup>提出了一种基于卷积模板和德劳内三角划分的棋盘格角点检测算子,但该算法在输入图像中存在类高斯噪声和径向畸变时会失效;Tavares 等<sup>[11]</sup>提出

了一种基于希尔伯特变换和曲面拟合的棋盘格角点检测算子,该方法提供了一种很好的思路来提取角点,但是在对原图像进行希尔伯特变换以后,在提取到棋盘格角点的同时,背景中也会产生很多满足棋盘格角点要求的点。Zhao 等<sup>[12]</sup>提出了一种基于棋盘格角点局部区域的灰度交替变换和对称性的棋盘格角点提取算法,该算法计算较快,但是由于没有考虑到棋盘格图像仿射变换的问题,不能提取某些仿射变换后的图像,存在一定的局限性,并会产生冗余提取。刘阳成、朱枫等<sup>[13]</sup>提出了一种针对棋盘格角点提取的对称方差算子,该算法降低了计算复杂度,但是通用性不强,会对某些图案产生误检,而且阈值的选取对棋盘格角点提取的精度影响很大,在昏暗的场景下和明亮的场景下,方差分量取值的范围跨度非常大,导致阈值选取不稳定。屠大维、张翼成<sup>[14]</sup>利用一种圆形角点检测器<sup>[15]</sup>对棋盘格图像进行初步提取,再利用棋盘格角点的局部图像对称性来去除一些错误角点,但是在去除冗余角点的问题上,采用局部灰度最大权值原理<sup>[15]</sup>,即取其中灰度值最大的点为角点,这种取法会导致较大的偏差。以上的提出的算法虽然是专门针对棋盘格角点提出的,降低了计算复杂度,但是仍然存在一些问题。例如:当拍摄的图像曝光严重时,棋盘格角点会产生棋盘格角点分离的情况,而以上算法难以解决这种情况下的棋盘格角点提取;当图像存在较大畸变时,棋盘格角点局部区域的对称性是不存在的,所以很难准确地提取到棋盘格角点,或者存在误提取的问题;另外在复杂背景下;易导致棋盘格角点的误提取。

针对上述问题,本文提出了一种环形模板棋盘格角点检测算子。该算子应用图像坐标<sup>[16]</sup>提高角点精度,降低了计算复杂度。针对原图像中棋盘格图像由于曝光、分辨率低、人为等原因产生的各种畸变,提出了一种环形模板算子,利用环形模板中央的空心区域,避免了直接求取畸变后难以检测棋盘格角点的问题。观察到局部冗余角点分布具有对称性,利用求取冗余角点质心的方法来得到实际角点,解决了棋盘格角点检测冗余提取的问题。

## 2 环形模板检测算子

### 2.1 环形遍历模板

定义 1:假设存在一幅二值图像,如图 1 所示,由一个白色的环形前景和黑色的背景组成,圆环的中心  $A$  点为图像坐标系下的点。本文定义符合该性质的图像中灰度值为 1 的圆形区域为环形遍历模板。环形模板内环半径为  $r_1$ ,外环半径为  $r_2$ 。

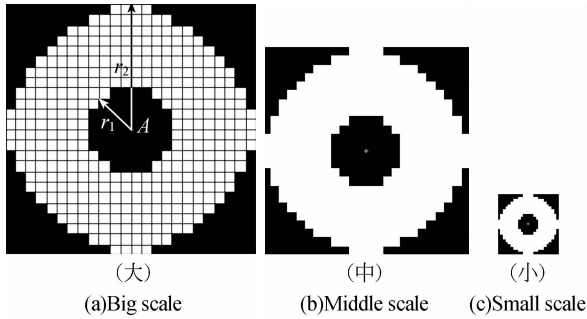


图 1 不同尺度圆形遍历模板示意图  
Fig. 1 Round template under different scales

### 2.2 棋盘格角点定义

定义 2:假设存在一幅二值化后的棋盘格图像  $G$ ,图像的每个格子的边长为  $a$ ,如图 2(a) 所示。现采用一个环形模板  $T$  对  $G$  进行遍历,图像  $S$  为遍历后产生的图像,

$$S = \{s \mid s = G * T\}. \quad (1)$$

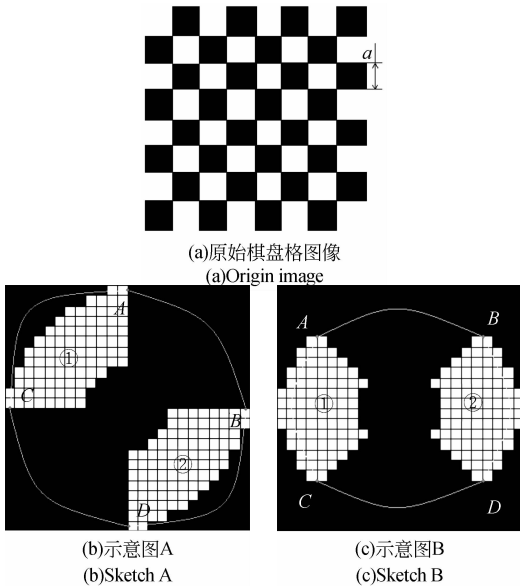


图 2 棋盘格角点性质示意图

Fig. 2 Sketches of chessboard corner properties

如图 2(b)、(c)所示,图 2(b)为在不存在旋转变换的棋盘格图像的棋盘格角点上遍历后产生的图像,图 2(c)为在存在  $90^\circ$  旋转变换的棋盘格图像的棋盘格角点上遍历后产生的图像。若图像  $S$  满足如下性质:

性质 1:已知环形模板区域面积为  $W$ ,区域内灰度值为 1 的连通分量有 2 个,连通分量①的面积为  $M$ ,连通分量②的面积为  $N$ ,存在

$$\frac{M}{W} \approx \frac{N}{W} \approx \frac{1}{4}. \quad (2)$$

性质 2:设  $S_1$  为  $S$  的边缘像素点的集合,其中存在顺时针方向上灰度由 0 变为 1 的两个像素的中点  $B$ 、 $C$  和灰度由 1 变为 0 的两个像素的中点  $A$ 、 $D$ 。满足  $|AB|=|CD|$  且  $|AC|=|BD|$ 。则称遍历模板中心在图像  $G$  上相对应的图像物理坐标点的集合为原始图像中棋盘格角点物理坐标的集合。

### 2.3 角点精确化

在提取棋盘格角点的过程中,由于图像畸变等原因,我们时常会放宽阈值的范围。所以,在真实角点附近会存在一定的冗余角点。为了解决这个问题,本文对所有的角点进行了一个精确化的操作。观察到局部冗余点分布具有对称性,如图 3 所示。然后利用求取冗余点质心的方法来去除冗余角点。

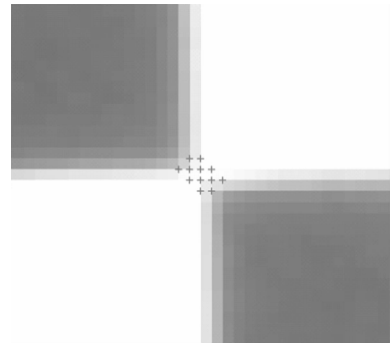


图 3 局部冗余点对称性示意图

Fig. 3 Sketch of symmetry of local redundant points

设  $Q$  为经过模板遍历后得到的包含冗余角点的集合,

$$q_1(x_1, y_1), q_2(x_2, y_2) \cdots q_n(x_n, y_n) \in Q, \quad (n \geq 2 \text{ 且 } n \in Z^*). \quad (3)$$

若:

$$D(q_i(x_i, y_i), q_j(x_j, y_j)) \leq \epsilon, \quad (i \in n, j \in n \text{ 且 } i \neq j), \quad (4)$$

其中： $D$  表示两点之间的欧式距离，常数  $\epsilon$  与图像的畸变程度有关。图像的畸变程度越大，常数  $\epsilon$  的取值越大。一般不超过 3 个像素大小。

则：

$$p\left(\frac{x_1+x_2+\dots+x_n}{n}, \frac{y_1+y_2+\dots+y_n}{n}\right)$$

来代替原来的  $n$  个点。之后，得到一个新的点集  $Q'$ 。 $Q'$ 即为精确的角点集。

### 3 算法流程图

本文采用大津法<sup>[17]</sup>对 RGB 图像进行二值化，算法流程图如图 4 所示。

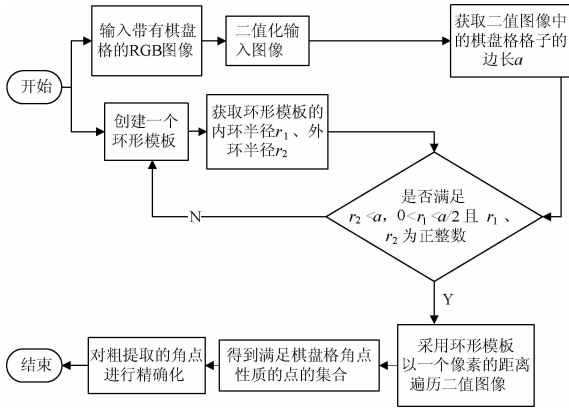


图 4 棋盘格角点检测算法流程图

Fig. 4 Flow chart of chessboard corner detection

### 4 实验结果与分析

本文所有实验数据均是采用北京微视图像有限公司生产的 MVC3000F 相机采集，并在 Windows 平台上采用 MATLAB 9.0 进行实验。（注：MVC3000F 是一款遵循 USB 2.0 标准的高分辨率、高清晰度、高帧率一体化工业摄像头。具有连续曝光功能，幅面大小为  $2\ 048 \times 1\ 536$ ，像元尺寸为  $3.2\ \mu\text{m} \times 3.2\ \mu\text{m}$ ；所采用的镜头为 Edmund Optics 公司生产的 C-Mount 镜头，固定焦距为 16 mm；Windows 平台采用的是 XP 系统，主频为 3.2 GHz，内存为 2.0 GB。）

#### 4.1 实验一

本实验采用的棋盘格图像是在中午太阳当空照射的环境下采集的，并用 Photoshop CS3 软件去除图像背景区域。由于曝光和镜头畸变原因，图像中的棋盘格角点出现了过度分离的现象和轻微的

棋盘格角点局部区域不对称现象。将本文实验结果与 Harris 角点检测算法、Susan 角点检测算法、文献[11]算法、文献[12]算法、文献[13]算法、文献[14]算法提取的结果进行了对比，结果如图 5、图 6 所示。

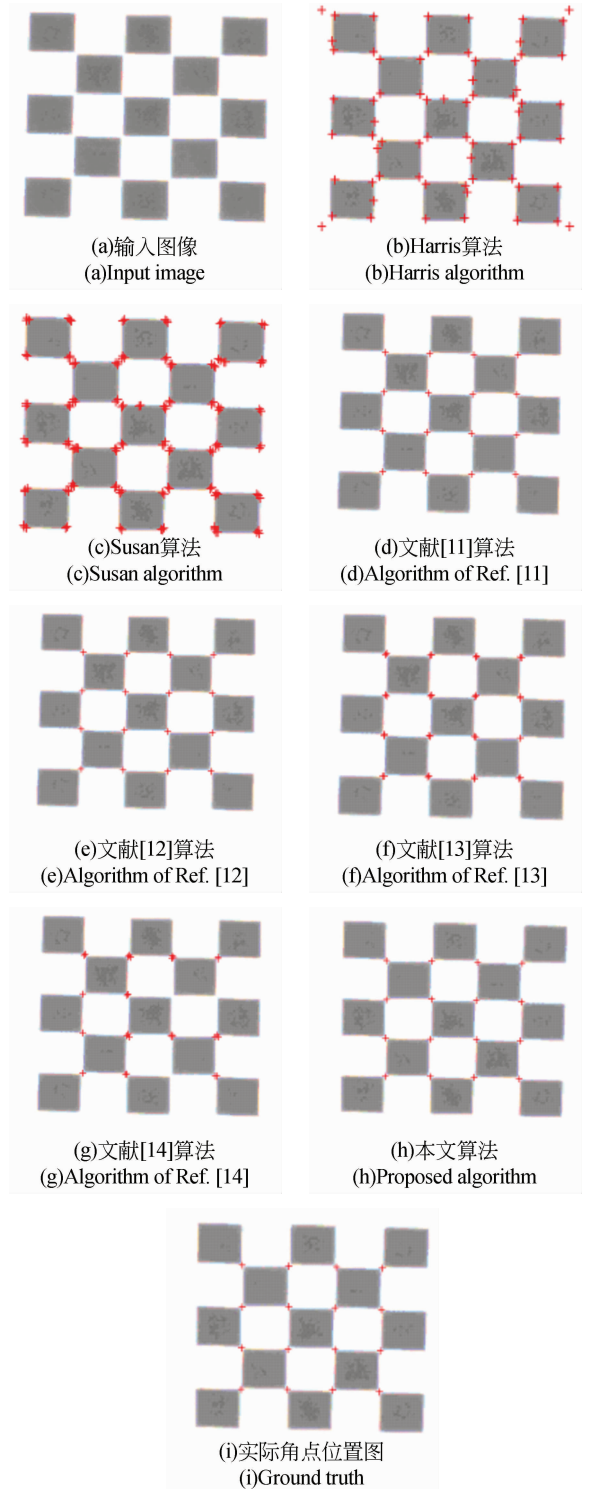
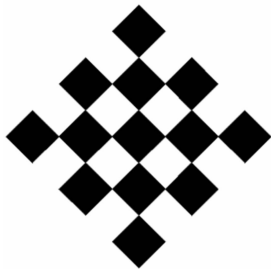


图 5 无背景的点分离图像棋盘格角点检测结果  
Fig. 5 Chessboard corner detection of overexposed images without background



(a)输入图像  
(a)Input image



(b)文献[12]算法  
(b)Algorithm of Ref. [12]



(c)本文算法  
(c)Proposed algorithm

图 6 无背景图像棋盘格角点检测结果  
Fig. 6 Chessboard corner detection of rotated images without background

误提取的情况。文献[13]和文献[14]算法也存在漏检测和冗余检测的情况。文献[11-12]和本文算法能够检测出所有棋盘格角点,不存在冗余提取和错提取的情况。但如果棋盘格图像存在旋转变换时(如图 6 所示,彩图见电子文献),本文算法能够准确地提取到棋盘格角点,不存在误提取和冗余提取,并达到亚像素级别,而文献[12]算法在这种情况下不能提取到棋盘格角点。

#### 4.2 实验二

本实验主要针对复杂背景下的棋盘格角点检测,所采用的图像是在实验室的环境下的人工布置的杂乱的场景,以此为背景采集得到的图像。将本文算法与 Harris 算法、Susan 算法、文献[11-14]算法进行了实验对比,实验结果如图 7 所示(彩图见电子文献)。通用的角点提取算法 Harris 算法和 Susan 算法都不能准确地提取到棋盘格角点,存在大量的错误提取,并有冗余角点;文献[11]算法的检测结果在背景中存在一定程度的误提取;文献[12]算法的检测结果存在冗余角点;文献[13]算法在相机架子的把手处出现了误判,说明该算法不适用于复杂背景的棋盘格角点检测;文献[14]算法由于存在算法上的缺陷,提取结果很不理想;而本文算法可以正确地提取到棋盘格角点,不存在漏检和误检的情况。

从图 5(彩图见电子文献)中可以看出,Harris 算法和 Susan 算法提取的角点存在大量的冗余提取和



(a)输入图像  
(a)Input image



(b)Harris算法  
(b)Harris algorithm



(c)Susan算法  
(c)Susan algorithm



(d)文献[11]算法  
(d)Algorithm of Ref. [11]



(e)文献[12]算法  
(e)Algorithm of Ref. [12]



(f)文献[13]算法  
(f)Algorithm of Ref. [13]

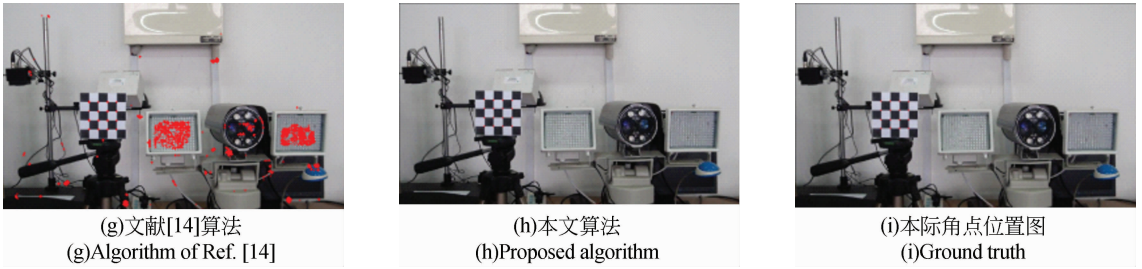


图 7 复杂背景下棋盘格角点检测结果

Fig. 7 Chessboard corner detection results in complex scenes

### 4.3 实验三

为了验证本文方法的准确性,本文拍摄了 15 幅  $752 \text{ pixel} \times 480 \text{ pixel}$  大小的棋盘格标定图像(如图 8 所示),棋盘格由  $5 \times 5$  的方格组成。分别采用文献[6-7, 11-14]算法和本文算法对这 15 幅图像进行棋盘格角点提取,然后运用文献[18]中的重投影方法分别对文献[6-7, 11-14]算法和本文算法进行重投影误差计算并对比。对于其中某些算法提取到的检测结果中存在冗余角点的情况,则从冗余角点中找到一个最靠近实际角点位置的角点来代替这些冗余角点进行重投影误差对比。平均重投影误差(提取到的每一个棋盘格角点的重投影误差的平均值)如表 1 所示。

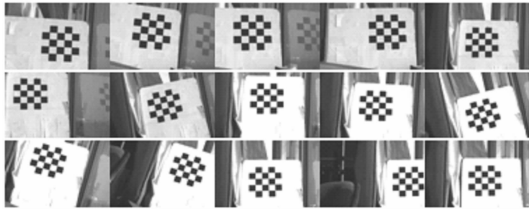


图 8 实验三采用的 15 幅棋盘格图像

Fig. 8 15 images used in Exp. 3

表 1 平均重投影误差分析表

Tab. 1 Analysis of average reprojection errors

算法	平均重投影误差/pixel
Harris 算法	[0.283, 0.326]
Susan 算法	[0.326, 0.375]
文献[11]	[0.231, 0.231]
文献[12]	[0.238, 0.226]
文献[13]	[0.243, 0.246]
文献[14]	[0.247, 0.253]
本文算法	[0.235, 0.224]

从表 1 中可以看出,本文的平均重投影误差略高于 Susan 算子和 Harris 算子的重投影误差。与文献[11]、文献[12]、文献[13]、文献[14]的平均重投影误差几乎相等。

### 4.4 实验四

本实验主要验证本文算法在运算速度上的优越性,采用的测试图像为无背景的  $564 \text{ pixel} \times 558 \text{ pixel}$  的棋盘格图像。

从表 2 中可以看出,Harris 算子和 Susan 算子的处理时间少于本文算法的处理时间,而从实验三和实验四易知,本文的算法在准确性上要远远优于 Harris 算子和 Susan 算子。文献[11]、文献[12]、文献[13]、文献[14]的处理时间要远远大于本文算法的处理时间。

表 2 运算时间分析表

Tab. 2 Analysis of processing time

算法	处理时间/s
Harris 算法	3.077
Susan 算法	15.700
文献[11]	215.876
文献[12]	158.426
文献[13]	142.696
文献[14]	163.878
本文算法	30.642 5

## 5 结 论

本文提出了一种基于图像物理坐标环形模板

的棋盘格角点检测算子,利用该检测算子使得提取的角点达到了亚像素精度。利用圆环中央的空心区域,避免了实际角点区域不明显或者由于图片曝光过度产生角点分离等难以提取出棋盘格角点的问题。通过分析角点附近区域灰度分布,得出环形模板遍历后产生的图像应满足的性质,利用该性质来提取棋盘格角点。最后利用局部冗余角点分布

的对称性来去除冗余角点,使角点检测更精确。实验表明,本文算法对各种模糊的、曝光过度的图像能够得到较好的检测结果。对检测不存在畸变的图像也能达到较高的精度,能够适应各种复杂场景下的棋盘格角点提取。由于环形检测器中间步骤采用的都是简单的四则运算,运算快,误差小,因此该算法具有广泛的应用前景。

## 参考文献:

- [1] CHU J, LIU P X, JIAO C. Multi-view reconstruction of annular outdoor scenes from binocular video using global relaxation iteration [J]. *International Journal of Robotics and Automation*, 2011, 26(3): 272-281.
- [2] STRUM P, MAYBANK S. On plane-based camera calibration: a general algorithm, singularities, application [C]. *Proceedings of IEEE International Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 1999:432-437.
- [3] TSAI R Y. A versatile camera calibration technique for high-accuracy 3D machine vision metrology using off-the-shelf TV cameras and lenses [J]. *IEEE Journal of Robotics and Automation*, 1987, 3(4): 323-344.
- [4] LAVEST J M, VIALA M, DHOME M. Do we really need an accurate calibration pattern to achieve a reliable camera calibration [C]. *Proceedings of the 5th European Conference on Computer Vision*, 1998, 1:158-174.
- [5] Bouguet Jean-Yves Camera Calibration Toolbox for Matlab [EB/OL]. [http://131.215.134.19/bouguetj/calib\\_doc/index.html](http://131.215.134.19/bouguetj/calib_doc/index.html).
- [6] HARRIS C, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C]. *Proceeding of the 4th Alvey Vision Conference*, 1988:147-151.
- [7] SMITH S M, BRADY J M. SUSAN-new approach to Low Level Image Processing [J]. *Computer Vision*, 1997, 23(1):45-78.
- [8] WANG Z, WU W. Recognition and location of the internal corners of planar checkerboard calibration pattern image [J]. *Applied Mathematics and Computation*, 2007, 185(2):894-906.
- [9] 罗钧,王莲,侯艳. 摄像机标定的棋盘格亚像素角点的对称性来去除冗余角点,使角点检测更精确。实验表明,本文算法对各种模糊的、曝光过度的图像能够得到较好的检测结果。对检测不存在畸变的图像也能达到较高的精度,能够适应各种复杂场景下的棋盘格角点提取。由于环形检测器中间步骤采用的都是简单的四则运算,运算快,误差小,因此该算法具有广泛的应用前景。检测[J]. *重庆大学学报*, 2008, 31(6):615-619.
- [10] LUO J, WANG L, HOU Y. Sub-pixel corner detection of tessellated picture based on camera calibration [J]. *Journal of Chongqing University*, 2008, 31(6): 615-619. (in Chinese)
- [11] ZHENG Z, ZHA Z, HAN L, et al.. Feature detection and correspondence for camera calibration [J]. *International Journal of Information Acquisition*, 2008, 5(1): 41-50.
- [12] TAVARES P S, VAZ M A. accurate subpixel corner detection on planar camera calibration targets[J]. *Optical Engineering*, 2007, 46(10): 1-8.
- [13] ZHAO F, WEI C, WANG J, et al.. An automated X-corner detection algorithm[J]. *Journal of Software*, 2011, 6(5): 791-797.
- [14] 刘阳成,朱枫. 一种新的棋盘格图像角点检测算法 [J]. *中国图象图形学报*, 2006, 11(5):656-660.
- [15] LIU Y, ZHU F. A new algorithm for X-corner detection [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2006, 11(5): 656-660. (in Chinese)
- [16] 屠大维,张翼成. 基于灰度差异的棋盘格角点自动检测[J]. *光学精密工程*, 2011, 19(6):1360-1365.
- [17] TU D W, ZHANG Y CH. Auto-detection of chessboard corners based on grey-level difference [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2011, 19(6): 1360-1365. (in Chinese)
- [18] 温江涛,王伯雄. 基于灰度差异几何特征的角点检测[J]. *光学技术*, 2009, 35(5):668-670.
- [19] WEN J, WANG B. Corner point detection based on geometrical features with grey-level difference [J]. *Optical Technique*, 2009, 35(5): 668-670. (in Chinese)
- [20] LINDA S, GEORGE S. *Computer Vision* [M]. Science Publishing Company, Prentice Hall, 2001: 454-465.
- [21] OTSU N. A threshold selection method from gray-

level histograms [J]. *IEEE Trans on Systems, Man, and Cybernetics*, 1979, 9(1):62-66.

[18] ZHANG Z. A flexible new technique for camera

calibration [C]. *IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2000, 22(11): 1330-1334.

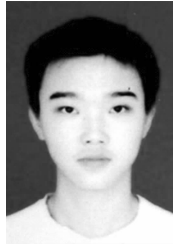
#### 作者简介:



**储 珺**(1967—),女,江苏宜兴人,教授,博士生导师,2002年、2005年于西北工业大学分别获得硕士和博士学位,主要从事计算机图形学、图像处理、计算机视觉、模式识别方面的研究。E-mail:chujun99602@163.com



**赵贵花**(1986—),女,山西朔州人,硕士研究生,2011年于桂林理工大学获得学士学位,主要从事计算机图形学、图像处理、计算机视觉、模式识别方面的研究。E-mail:624911438@qq.com



**郭卢安政**(1989—),男,江西上饶人,硕士研究生,2011年于南昌航空大学获学士学位,主要从事计算机图形学、图像处理、计算机视觉、模式识别方面的研究。E-mail:jsjsj\_glaz@163.com

(版权所有 未经许可 不得转载)