

基于对称性特征的棋盘方格角点自动检测算法

谭晓军¹, 郭志豪^{1,2}, 蒋 芝¹

(1. 中山大学 工学院, 广州 510275; 2. 爱立信移动数据应用技术研究开发(广州)有限公司, 广州 510630)

(tanxj@mail.sysu.edu.cn)

摘要:提出了一种针对棋盘方格角点的自动检测算法,用于摄像机标定过程中控制点的精确提取。该算法在分析现有算法的优缺点的基础上,结合棋盘标定物的几何特征,进行从粗到精的角点提取和坐标精确定位。首先粗略确定角点所在区域,然后在区域内应用对称性特征实现坐标的精确提取。实验表明,该算法能自动、有效地对控制点进行自动检测和精确提取。

关键词:方格角点检测;几何对称性;摄像机标定

中图分类号:TP391.41 **文献标志码:**A

Chessboard grid corners detection based on geometric symmetry

TAN Xiao-jun¹, GUO Zhi-hao^{1,2}, JIANG Zhi¹

(1. School of Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou Guangdong 510275, China;

2. Ericsson Mobile Data Application R&D center, Guangzhou Guangdong 510630, China)

Abstract: A new algorithm was proposed based on the geometric symmetry to detect grid corners. The method can be utilized in camera calibration where chessboard-like patterns were often used. Based on the observation of the geometric symmetry of such patterns, the new algorithm could be regarded as a coarse-to-fine process. Coarse detection defined the corner candidates and then precise extraction was used based on symmetry analysis. Experimental results show that the algorithm assures an efficient and accurate detection and the procedure can be carried out automatically.

Key words: grid corner detection; geometric symmetry; camera calibration

0 引言

摄像机标定是实现立体视觉的重要环节^[1-3],此环节常通过在立体相机前放置标定物来实现^[4-6]。标定物上分布有一定数量的控制点,其三维空间位置已知,但在相机中的二维图像坐标需要进行检测和提取,提取精度将直接影响摄像机内外参数的标定。

摄像机标定过程中,常使用一种类似国际象棋棋盘的图案作为标定物,均匀分布有黑白相间的方格,方格的顶点作控制点。这类图案具有明显的几何特征,易于提取,因而被广泛采用^[7-9]。然而,如何自动、精确地检测并提取该类控制点,仍有许多细节值得研究。

本文在分析现有算法的基础上,从标定图案的对称性特征出发,提出一套完整的检测算法。首先论述如何对方格角点作局部精确提取,然后结合全局有效性,引入粗检测步骤,以减少运算量且避免出现歧义点。整个算法能精确检测方格角点并提取其坐标,且提取过程可自动实现无需人为干预。

1 现有算法及其局限性

现有棋盘方格角点检测方法大致可以分成两类:1)基于通用边角点检测算子的算法;2)基于 Hough 变换的检测算法。就通用的边角点检测算子而言,较为经典的有 Beaudet 算子^[10], Kitchen & Rosenfeld 算子^[11],以及 Harris 算子^[12-13]。这些检测算法大多基于图像灰度变化,通用性好,对各种类型边角点都具有检测能力。棋盘方格边角特征明

显,因此利用这些算子对棋盘的方格角点进行检测是可行的。然而,此类检测算子的抗噪声能力差,且拍摄标定物时其背景须相当“干净”(即,除棋盘以外不存在其他边角点),否则误判率将会很高。为克服以上问题,文献[8]将检测过程分成两步,由操作员在图像上划定一个大致范围,输入相关参数包括畸变因子等,在此基础上使用改进的 Harris 算子提取方格角点的坐标。该方法精度较高,但由于需要人工干预,算法不能自动完成。

基于 Hough 变换的检测算法基于以下考虑:图案中的方格边缘分布在两簇大致平行的直线上,而控制点恰为这些直线的交点;确定了直线方程,即可提取控制点的坐标^[14]。文献[9]提出了一种基于两次 Hough 变换的检测方格角点的算法。此类检测算法基本上可以自动完成,无需人为干预。然而,其不足在于:1)检测的效果仍受标定图案背景的影响。背景中若含有直线特征比较明显的物体将会产生错误的检测结果;2)标定物距离摄像机比较近时,由于径向失真,棋盘格的边缘不再是一条直线,检测精度低。

2 基于对称性特征的自动检测算法

2.1 角点的局部精确提取

如图 1 所示,观察某方格角点 $C_1(x_0, y_0)$ 为中心的一个邻域 $\delta = \{(x, y) | |x - x_0| < r, |y - y_0| < r\}$,发现两直线把整个图像窗口分割成四个部分,相邻的两个部分(如 I 和 II,或者 III 和 IV),像素灰度值具有明显的差别,而相对的两

收稿日期:2007-12-06;修回日期:2008-02-22。

基金项目:广东省自然科学基金博士启动项目(06300319);广东省科技计划项目(2006B12101002)。

作者简介:谭晓军(1977-),男,广东广州人,讲师,博士,主要研究方向:计算机视觉、机器人;郭志豪(1980-),男,广东广州人,硕士研究生,主要研究方向:计算机视觉;蒋芝(1983-),女,四川达州人,硕士研究生,主要研究方向:计算机视觉及其在智能交通中的应用。

个部分(如 I 和 III,或者 II 和 IV)内像素灰度值却非常接近。更重要的是窗口中各像素的灰度值分布具有一定的对称性,即:

$$f(x, y) \approx f(2x_0 - x, 2y_0 - y); (x, y) \in \delta \quad (1)$$

其中, $f(x, y)$ 表示窗口中坐标是 (x, y) 的像素的灰度值。

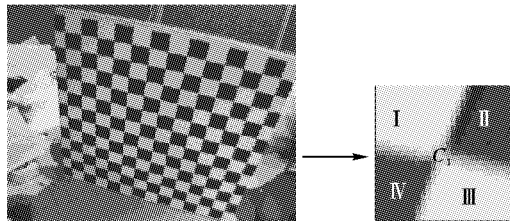


图1 以方格角点为中心的方形邻域

基于以上分析,若已知方格角点分布在某一区域,则只要找到该区域的对称中心便可以确定其位置。具体操作为:在图像中取某个含有方格角点的邻域(图2(a)),应用边长为 L 的窗口 $W_{x_c, y_c} = \{(x, y) | |x - x_c| < L/2, |y - y_c| < L/2\}$ 在片段中滑动(图2(b)),如果窗口中心 $C(x_c, y_c)$ 落在方格角点处(图2(c)),窗口内的像素灰度值将关于窗口中心 W_{x_c, y_c}

对称,反之,如果窗口 $C(x_c, y_c)$ 中的像素灰度值关于窗口的中心 C 对称,该中心 C 就是窗口中的方格角点。

为此,定义变量 $S(x_c, y_c)$,用于衡量窗口内像素关于窗口中心的不对称度:

$$S(x_c, y_c) = \sum_{x, y \in W_{x_c, y_c}} [f(x, y) - f(2x_c - x, 2y_c - y)] \quad (2)$$

窗口每滑动一格,便计算一次该窗口的不对称度 $S(x_c, y_c)$ 。当窗口内像素关于窗口中心对称时, $S(x_c, y_c)$ 将获得极小值。图2(d)所示为窗口遍历整个邻域后,得到 $S(x_c, y_c)$ 的分布图,其中亮度越大表示 $S(x_c, y_c)$ 的值越大。可知, $S(x_c, y_c)$ 在方格角点所在的位置取得极小值。

值得注意的是, $S(x_c, y_c)$ 在邻域中其余四个区块还出现比较小的值,这是由于滑动窗口刚好落在某个区块内,区块内的灰度值接近。为排除这种情况,只要增加一个判断规则,即窗口内的像素灰度必须有一定的差异。根据以上规则,方格角点可以非常精确地被检测(图2(e))。

图3是应用以上方法对不同的标定物图像进行方格角点坐标局部提取的部分实验结果,可见其对不同角度获得的棋盘图像均有效。

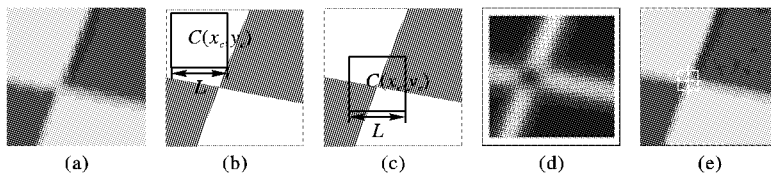


图2 方格角点局部提取

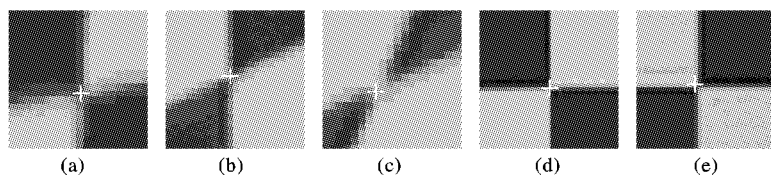


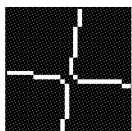
图3 方格角点局部检测结果

2.2 有效的方格点提取算法

以上提到的是一种局部提取方法,如果应用到整幅图像进行全局提取将出现两个问题:1)要遍历整幅图像,运算量非常大;2)尽管局部的提取准确,但与通用边角点检测算子一样,因背景中有可能存在满足上述规则的伪方格角点而导致误判。

为实现鲁棒的检测,可将整个过程分成由粗到精的两步:1)粗检测,即确定含有单个方格角点的区域,不要求方格角点坐标的准确提取;2)精提取,即在含有方格角点的区域应用局部提取算法,实现方格角点坐标的精确提取。

在第1步的处理中,为减小运算量,先对原图作二值化和边缘检测。类似于局部提取的方法,使用滑动窗口 W_{x_c, y_c} 遍历整个图像,但



只对窗口边缘上的像素而不是窗口内所有元素进行考察。如图4,若窗口内含有方格角点,边缘上应该各有一个像素值为1,其余像素值则为0。当且仅当窗口4条边的边缘上各有一个像素为1时,该窗口内含有方格角点,而窗口中心将是可能的方格角点。标记和为候选角点窗口和候选角点。

图5所示为对标定图像进行粗检测的结果。其中,图5(a)是标定图像,图5(b)为得到所有候选角点,用黑点标记,其他用白点作标记。检测出的候选角点的定位并不准确,需结合第2步的精提取,即在候选角点上应用角点局部提取,具

体细节已经在2.1节中进行了详细描述。

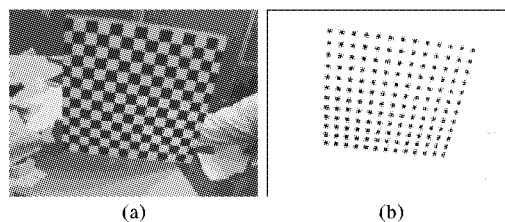


图5 方格角点的粗提取

3 实验结果

3.1 准确性验证

为了验证准确性,对相同的标定图样,用两种较有代表性的算法与本文算法进行比较,其中方法1采用经典的Harris角点检测算子^[12],方法2是基于Hough变换的检测算法^[9]。

表1 方格点检测算法的提取平均误差比较 像素

方法	图样1	图样2	图样3	图样4
方法1	0.134	0.123	0.167	0.154
方法2	1.334	1.322	2.646	2.455
本文方法	0.141	0.120	0.177	0.168

检验图样及其角点真实位置的参考值,均取自 http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/。实验过程中,粗检测的滑动窗口大小设为13,精确提取的滑动窗口设为9。用于检验的图样为4张,每张图样为156个点,每个图样方格

点提取的平均误差比较如表 1 所示,图 6 为部分检验图样。可见本文的算法与传统的 Harris 算法具有较为接近的检测准确度。而方法 2 的检测结果误差很大,难以接受,究其原因,是镜头径向失真导致的,如图 7 所示。

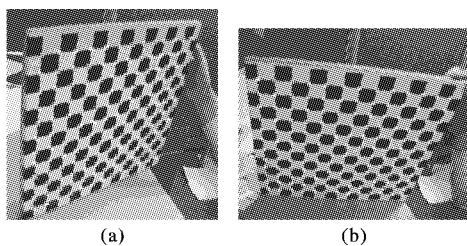


图 6 用于准确性检验的部分图样

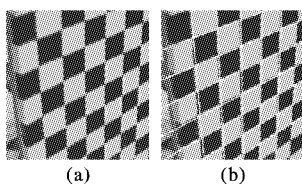


图 7 径向失真造成的检测误差

3.2 鲁棒性验证

在实验室以外,光线及图样的背景均不可控,单纯的经典角点检测算子与基于 Hough 变换的检测算法均显得无能为力。图 8 所示为户外场景下获取的检验图样,表 2 所示为本文算法与其他方法对于户外图样的方格点检测的效果的比较。可见,本文算法对于干扰较多的户外图样具有很高的鲁棒性。方法 1 在能够检出棋盘图样上所有的方格点以外,在树丛、道路等处多检出一百多个干扰点。至于方法 2,由于图样中线条比较杂乱,直线的交点均不能正确落在真实的棋盘方格点上,因此检出的 54 点均为错误的点,而真实的 154 个点均没有被检测出来。

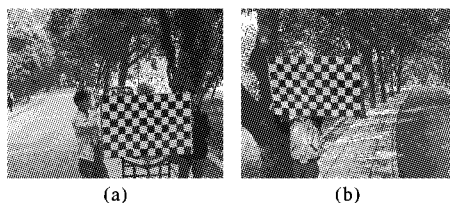


图 8 干扰较多的户外图样

表 2 对户外图样的方格点检测效果比较(共 154 个点)

	错检点数	漏检点数
方法 1	167	0
方法 2	54	154
本文方法	0	0

4 结语

在分析现有方格角点检测算法的优缺点的基础上,结合棋盘标定物的几何特征,提出了一种从粗到精的方格角点检测及坐标精确提取的算法。先粗略确定方格角点所在区域,再在区域内根据对称性特征实现方格角点坐标的精确提取。实验表明,算法能鲁棒地对方格角点进行自动检测和精确提取。

参考文献:

- [1] CLARKE T A, FRYER J G. The development of camera calibration methods and models [J]. Photogrammetric Record, 1998, 16(91): 51-66.
- [2] 马颂德,李毅. 计算机视觉中摄像机定标综述[J]. 自动化学报, 2000, 26(1): 43-55.
- [3] 谭晓军,沈伟,郭志豪. 机器人立体视觉模块的故障诊断[J]. 华中科技大学学报: 自然科学版, 2005, 33(6): 86-88.
- [4] 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.
- [5] ZHANG Z. A flexible new technique for camera calibration [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [6] HEIKKILÄ J, SILVÉN O. A four-step camera calibration procedure with implicit image correction [C]// IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97). San Juan, Puerto Rico: [s. n.], 1997, 1: 1106-1112.
- [7] 谭晓军,余志,李军. 一种改进的立体摄像机标定方法[J]. 测绘学报, 2006, 35(2): 138-142.
- [8] Camera calibration toolbox for Matlab [EB/OL]. [2007-02-08]. http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/.
- [9] 胡海峰,熊银根. 一种基于两次 Radon 变换检测棋盘方格点的新算法[J]. 中山大学学报, 2003, 42(2): 23-26.
- [10] BEAUDET P R. Rotationally invariant image operators [C]// Proceedings of the 4th International Joint Conference on Pattern Recognition. Tokyo: IAPR, 1978: 579-583.
- [11] KITCHEN L, ROSENFELD A. Gray-level corner detection [J]. Pattern Recognition Letters, 1982, 1(2): 95-102.
- [12] HARRIS C G. Determination of ego-motion from matched points [C]// Proceedings of Alvey Vision Conference. Cambridge: [s. n.], 1987: 189-192.
- [13] HARRIS C G, STEPHENS M. A combined corner and edge detector [C]// Proceedings of the 4th Alvey Vision Conference. Manchester: [s. n.], 1988: 147-152.
- [14] BRACEWELL R N. Two-dimensional imaging [M]. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1995: 505-537.

(上接第 1539 页)

- [4] OLIVA A, TORRALBA A. Modeling the shape of the scene: A holistic representation of the spatial envelope [J]. International Journal of Computer Vision, 2001, 42(3): 145-175.
- [5] VOGEL J, SCHIELE B. Natural scene retrieval based on a semantic modeling step [C]// International Conference on Image and Video Retrieval, LNCS 3115. Berlin: Springer-Verlag, 2004: 207-215.
- [6] LI FEI-FEI, PERONA P. A Bayesian hierarchical model for learning natural scene categories [C]// IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Washington: IEEE Computer Society, 2005, 524-531.
- [7] QUELHAS P, MONAY F, ODOBEZ J-M, et al. Modeling scenes with local descriptors and latent aspects [C]// Proceedings of the

- Tenth IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV'05). Washington: IEEE Computer Society, 2005: 883-890.
- [8] BOSCH A, ZISSERMAN A, MUNOZ X. Scene classification via pLSA [C]// European Conference on Computer Vision, LNCS 3954. Berlin: Springer-Verlag, 2006: 517-530.
- [9] HOFMANN T. Unsupervised learning by probabilistic latent semantic analysis [J]. Machine Learning, 2001, 41(2): 177-196.
- [10] BLEI D, NG A, JORDAN M. Latent dirichlet allocation [J/OL]. Journal of Machine Learning Research, 2003, 3(7): 993-1022.
- [11] LOWE D G. Distinctive image features from scale-invariant keypoints [J]. International Journal of Computer Vision, 2004, 60(2): 91-110.