

复杂背景下模板自动检测与定位的新方法

王建华 朱元昌 王春平

(军械工程学院光学与电子工程系, 石家庄 050003)

摘要 在应用视觉测量系统时, 摄像机标定是必要且关键的一步。当采用标定模板标定时, 首要任务是对模板进行检测和定位。目前大量的模板检测定位采用的都是人工方法, 它的显著缺点是效率低。为此, 提出了一种复杂背景下新的模板自动检测与定位方法。该方法包括模板检测和精确定位两个步骤。前者利用图像分割、Hough变换实现模板检测; 后者利用 SUSAN 算法对模板上的 4 个关键角点进行精确定位。实验结果表明, 该方法实现简单、性能可靠, 可适用于各种复杂的场景中。

关键词 模板检测 精确定位 标定 视觉测量

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)08-1344-05

New Method for Template Detection and Location Under Complex Background

WANG Jian-hua, ZHU Yuan-chang, WANG Chun-ping

(Department of Optics and Electronics Engineering, Ordnance Engineering College, Shijiazhuang 050003)

Abstract Sensor calibration is a necessary and key step before applying photic sensor to measurement. While applying template in calibration, the first task is to detect and locate the template in complex background. At present, manual detection is used widely, whose efficiency is very low. To solve this problem, a new method for template detection and location under complex background is provided in this paper, which consists of two steps, template detection and precise location. The former implements the template detection using image segmentation and Hough transformation, and the later locates the four key corners on template using SUSAN technique. The experiment result shows that the proposed method is simple and reliable and it can be applied in any complex scene.

Keywords template detection, precise location, calibration, visual measurement

1 引言

摄像机标定是光学非接触式 3 维测量的首要步骤, 其标定的精度一般由下列几个因素决定^[1]:

(1) 摄像机模型 摄像机模型分为线性和非线性两种, 如果对精度要求较高, 则应采用非线性模型;

(2) 电荷耦合器件 (charge coupled device, CCD) 的分辨率 CCD 的分辨率越高, 其获得的图像数据越精确;

(3) 特征的提取方法和精度 如果特征点提取

的精度不准确, 则将会给摄像机的标定结果带来很大的误差。

由此可见, 摄像机标定模板特征点的提取对于摄像机的标定精度起着举足轻重的作用。在这一过程中, 人们总是希望在采集图像的同时, 获得摄像机的内部参数和外部参数。因此, 在各种各样的复杂背景下, 如何快速准确地从图像中对标定模板进行检测和定位是模板特征点提取的首要任务。

目前对于模板的检测与定位, 大量采用的一种方法是, 通过人工点击图像中模板上 4 个关键角点来进行的。这种方法的优点是简单、定位准确度高,

收稿日期: 2006-04-17; 改回日期: 2006-06-02

第一作者简介: 王建华(1978 ~), 女。现为军械工程学院光学与电子工程系博士研究生。主要从事计算机视觉、图像处理等研究。

E-mail: liwe_jxy@yahoo.com.cn

缺点是效率低,而且容易出现同样的一组图像数据,其标定结果不一致的现象。为了解决该方法存在的弊端,许多学者对标定模板的自动检测和定位进行了大量的研究。该方法不需要人工干预,即可自动完成模板的定位与角点提取。它的显著优点是效率高,但由于目前很多算法的检测结果不稳定,而且对采集的标定图像有非常严格的要求^[1,2],因此不能满足实际测量需要。

本文的研究正是针对上述问题,提出了一种复杂背景下标定模板的自动检测与定位方法,并利用模板的先验知识设计了高效快速的算法,现已应用于实际的视觉测量系统中,且取得了良好的效果。

在基于计算机视觉的图像测量系统中,用来完成摄像机标定的参照物为黑白相间的棋盘格形式(如图1所示),其中黑白方格块大小相等,整个模板由9×9个黑白块组成。由于在摄像机标定过程中,需要先采集多幅标定模板图像,然后分别在模板图像上建立世界坐标系,且要求所建立的所有世界坐标系的原点必须是标定模板上的同一点,由于坐标系的X轴和Y轴相对于原点方向一致(在模板上逆时针或顺时针),所以图中右上角的小三角标志是用于表示建立世界坐标系的原点标志,即距离其最近的黑方块的顶点为世界坐标系的原点。在进行模板图像采集时,模板被随意地置放在场景中(如图2所示)。由于要测量的场景各种各样,背景的

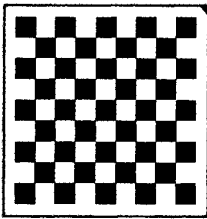


图1 标定模板

Fig. 1 Calibration template

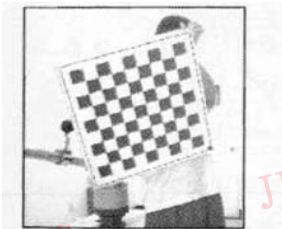


图2 标定模板置于测量场景中

Fig. 2 Calibration template in measurement scene

情况也比较复杂,因此模板的检测与定位任务就是从复杂背景中判别模板的存在,并给出模板的4个关键角点(即最边缘的4个黑方块的顶点)的精确坐标。

2 模板自动检测与定位方案

本文提出的模板检测与定位的整体方案如图3所示。该方案主要由预处理、模板检测以及角点定位3个部分组成。这里模板检测指的是确定模板外围四边形的位置,而角点定位则指的是确定模板的4个关键角点的像素坐标。以下将详细介绍各个部分的工作原理与实现方法。

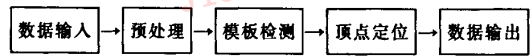


图3 模板检测与定位方案框图

Fig. 3 Scheme of calibration detection and location

2.1 预处理

在实际测量中,标定模板所处的背景是复杂多样的,其中包含了各种形状、大小的物体。因此必须对原始图像进行预处理,以去除或减少其他物体对检测模板的干扰。

对于图像有复杂的背景、阴影、光照不均匀、对比度不同等情况时,如果只用一个固定的全局阈值对整幅图进行分割,则由于不能兼顾图像的部分情况而很难取得理想的分割效果。其解决的办法是对图像的各部分用不同的阈值进行分割,这种取阈值的分割方法称为动态阈值法^[3]。它的基本思想是首先将图像分成一系列子图像,这些子图像可以互相重叠,也可以只相邻,如果子图像比较小,则由阴影、光照或对比度的空间变化带来的影响就比较小;然后对每个子图像计算一个阈值;最后通过对这些子图像所得阈值进行插值就可得到对图像中每个像素进行分割所需的阈值。其基本步骤如下:

- (1) 将整幅图像用长、宽各为1/6的比例将图像分为36个小块,每一个小块即为一个子图像;
- (2) 统计出每个子图像的直方图;
- (3) 检测每个子图像的直方图是否为双峰,若是,则可求出阈值;否则,不处理;
- (4) 根据直方图为双峰的子图像得到的阈值,用插值的方法即可得到所有的子图像的阈值;
- (5) 根据各子图像的阈值,再通过插值得到所

有像素的阈值,用来对图像进行分割。

在实际的操作中,一般不要求出每一个像素的阈值,可直接用每一个子图像对应的阈值来对子图像进行分割就可以取得很好的分割效果,而且速度更快。

子图像阈值的确定可采用文献[4]中的迭代阈值算法。该算法是通过迭代次数来判断直方图是否为双峰的同时求出分割阈值,这既简化了步骤,又减少了时间,具有较好的使用价值。当子图像的直方图不为双峰分布时,阈值的确定可借助文献[3]提到的插值算法的思想。最简单的插值方法是最近邻插值,也叫零阶插值。这里应用的最近邻插值指的是,在当前子图像的8邻域内,任选一个子图像的阈值作为其分割阈值。由于这种方法的缺点是比较笼统,有时不够精确,所以仅在子图像处于整幅图像的边缘时应用它。当子图像位于整幅图像的内部时,可采用一种较好的折衷方法——双线性插值。如图4所示,A、B、C、D、E、F、O分别表示7个子图像。设O的四邻域A、C、D、F的分割阈值已知,依次为 T_A 、 T_C 、 T_D 、 T_F ,若求子图像O的阈值 T_O ,则应首先计算子图像B和E的阈值 T_B 和 T_E :

$$T_B = 0.5 \times [T_C - T_A] + T_A = 0.5 \times [T_C + T_A] \quad (1)$$

$$T_E = 0.5 \times [T_F - T_D] + T_D = 0.5 \times [T_F + T_D] \quad (2)$$

而 T_O 则为

$$T_O = 0.5 \times [T_B - T_E] + T_E = 0.5 \times [T_B + T_E] \quad (3)$$

如果 T_B 和 T_E 已知,则可以直接用式(3)计算 T_O 。

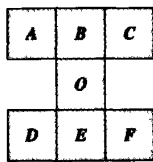


图4 双线性插值示意图

Fig. 4 Sketch map of bilinear interpolation

图像分割对于模板检测非常关键,如果图像受到很强的噪声干扰或光照不均程度较大时,则可以把图像分为更小的块,以便更好地完成分割任务。

动态阈值分割后,在二值图像中,由于背景上小块的干扰物体和模板上小块的噪声以及棋盘格对于模板外围四边形所在直线的检测构成了很大的障碍,因此必须对二值图像进行进一步的处理。这里采用基于数学形态学的腐蚀操作对图像进行滤波处理

$$I \ominus S = Z = \{z | S_z \subseteq I\} \quad (4)$$

式中, I 为待处理的二值图像, S 为结构元素, \ominus 为腐蚀操作运算,上式表明, I 用 S 腐蚀的结果是所有 z 的集合,其中 S 平移 z 后仍在 I 中。从大量的图像分析可知,如果结构元素选的过大,则起不到滤波的作用,如果过小,则会把模板外围四边形所在的直线滤掉。综合考虑,本文采用 7×7 的方形结构元素。为了尽可能地滤除更多的干扰物体,这里提出了一种改进的腐蚀滤波算法,即对结构元素覆盖下的二值图像区域通过计算灰度值为0的像素个数来进行滤波,如果超过30,则把结构元素覆盖下的二值图像区域的灰度值均置为255,这样就可以较好地完成滤波任务,并可使得模板外围四边形相对比较突出,从而为后续的模板检测打下良好的基础。

2.2 模板检测

这里模板检测指的是对模板所在位置进行粗定位,即对模板外围四边形所在直线进行检测。谈到直线检测,很容易想到Hough变换。Hough变换是用来检测图像中直线的有效技术手段。由于它对随机噪声和部分遮挡现象不敏感,而且适合于并行处理,因此在数字视觉中被广泛应用。

在对模板进行检测时,需要对4条直线进行检测,考虑量化和噪声的影响、其他背景直线的干扰以及4条直线的相对位置关系,其具体的做法是:

(1) 利用直线的极坐标方程 $r = x \cos \theta + y \sin \theta$,在极坐标空间 (r, θ) 中建立1个2维的累加数矩阵 $A(r, \theta)$,其中 $r = [0, \sqrt{2}N]$, $\theta = [0, 180^\circ]$,图像的长和宽均为 N ;

(2) 对于每一个图像空间的给定点 (x, y) ,让 θ 取遍所有可能的值,先根据极坐标方程计算出对应的 r ,再根据 r 和 θ 的值(设都已经取整)对 A 进行累加: $A(r, \theta) = A(r, \theta) + 1$;

(3) 检测累加器阵列 $A(r, \theta)$ 中 r 和 θ 值最大的点,设所对应的 r 和 θ 分别为 r_{\max} 和 θ_{\max} ,然后将 r_{\max} 和 θ_{\max} 的 5×5 邻域内的 $A(r, \theta)$ 置为0,再次搜索累加器阵列中最大值 \hat{r}_{\max} 和 $\hat{\theta}_{\max}$ 的点,比较 r_{\max} 与 \hat{r}_{\max} 差的绝对值,如果 $|r_{\max} - \hat{r}_{\max}| < T$ (T 为阈值,一般情况下,取10),则表明两条直线距离很近,且接近于平行,此时应去除第2条直线所对应的点,这是由于噪声或直线边缘不是单像素而引起的在一条直线上检测出两条直线的现象。

(4) 依此类推,在累加器中找出4个对应最大值的点,且两两直线的参数 r 要保持一定的距离,并

记录 4 条直线所对应的直线参数 r 和 θ ;

把极坐标空间中的 r 和 θ 映射到笛卡儿坐标空间,即可得到每条直线上的像素坐标,通过求解线性方程组,就可以确定四边形的 4 个顶点坐标。

2.3 模板定位

已知模板所在区域后,角点的提取操作均在该区域内进行。在原始图像上,分别在 4 个顶点的 15×15 (pixels) 的邻域内,找出包含灰度值小于 120 的像素个数最多的那个顶点,即为模板原点所对应的顶点。

从图 2 中可以看出,无论模板以什么样的姿态存在于场景中,其要提取的棋盘格上的 4 个关键角点坐标一定在模板外围四边形的两条对角线上,利用这一约束条件,在四边形的 4 个顶点的邻域内采用 SUSAN (small univalue segment assimilating nucleus) 算法搜索棋盘格上的 4 个关键角点,即在原始图像上利用 SUSAN 算法进行角点检测,在四边形对角线所在的直线(通过四边形上的两个对角顶点唯一确定)上,且距离四边形的对应顶点距离最小的那个角点,即为所求的棋盘格上的角点位置。

SUSAN 算法原理如图 5 所示,用圆形模板在图像上移动,若模板内像素的灰度与模板中心像素(核)灰度的差值小于一定阈值,则认为该点与核具有相同(或相近)的灰度,由满足这样条件的像素组成的区域称为核值相似区(univalue segment assimilating unclenus, USAN)。而把图像中的每个像素与具有相似灰度值的局部区域相联系是 SUSAN 原则的基础^[5,6]。从图中可以看出,平坦区域的 USAN 区最大;在边缘处,USAN 区大小降为一半;而在角点附近,USAN 区会变得更小。具体检测时,可先用圆形模板扫描整个图像,然后将模板中的各点与核心点(当前点)的灰度值进行比较,并通过给定阈值来判别该像素是否属于 USAN 区域,具体判别如下式所示:

$$c(x, y) = \begin{cases} 1 & |I(x, y) - I(x_0, y_0)| \leq t \\ 0 & |I(x, y) - I(x_0, y_0)| > t \end{cases} \quad (5)$$

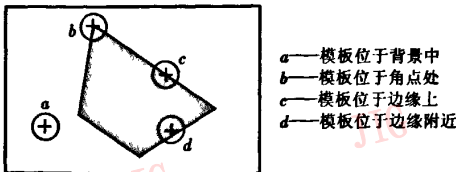


图 5 SUSAN 算法示意图

Fig. 5 Sketch map of SUSAN algorithm

式中, $I(x_0, y_0)$ 和 $I(x, y)$ 分别是核心与模板中其他点的灰度值, t 是用于区分特征目标与背景,即确定相似程度的一个重要阈值,则图像中某一点 USAN 区域大小可由下式表示

$$h(x_0, y_0) = \sum_{(x, y) \in (x_0, y_0)} c(x, y) \quad (6)$$

在得到每个像素的 USAN 区域后,再由下式产生 USAN 特征图像

$$R(x_0, y_0) = \begin{cases} g - h(x_0, y_0) & h(x_0, y_0) < g \\ 0 & h(x_0, y_0) \geq g \end{cases} \quad (7)$$

式中, g 为几何阈值。

利用 SUSAN 算法检测角点,其模板形状和大小的确定、阈值 t 和 g 的选取至关重要,因它们直接影响到角点检测的精度。

模板越大,提取到的角点越尖锐。本文中为了减小运算量,以提高运算速度,选用 7×7 的方形模板。

阈值 t 的选取采用了一种基于图像灰度的自适应取值方法^[6]:

$$t = a \times \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^{\max} - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n I_i^{\min} \right) \quad (8)$$

式中, I_i^{\max} 和 I_i^{\min} ($i=1, 2, \dots, n$) 分别代表图像中第 i 个最大的灰度值和第 i 个最小的灰度值, n 一般取 5~10。比例系数 a 一般取 0.15~0.30。

由于阈值 g 的大小不但决定了可从图像中提取角点的多寡,而且还决定了所检测到的角点的尖锐程度,所以一旦确定了所需角点的尖锐程度,那么 g 就可以取一个固定不变的值。本文中 g 取为 23。

3 实验结果分析

为了测试本文所提出的模板检测与定位的有效性,采用了 320 幅实测图像进行了测试实验。在测试的图像中,有 95.7% 取得了满意的检测和定位结果。实验中所用测试图像的尺寸为 512×512 pixels,运行环境为 P-IV, 256M 内存的 PC 机。算法用 Matlab 6.5 编程实现,整个检测与定位过程平均在 3s 内完成。

由于篇幅所限,这里只选择 2 组测试结果对本文所提出的模板检测与定位方案加以解释。图 6(a)、图 6(b) 为两幅摄像机标定时采集到的模板图像;图 6(c)、图 6(d) 为预处理模块的输出图像,从图 6(c)、图 6(d) 可以看出,经预处理后模板

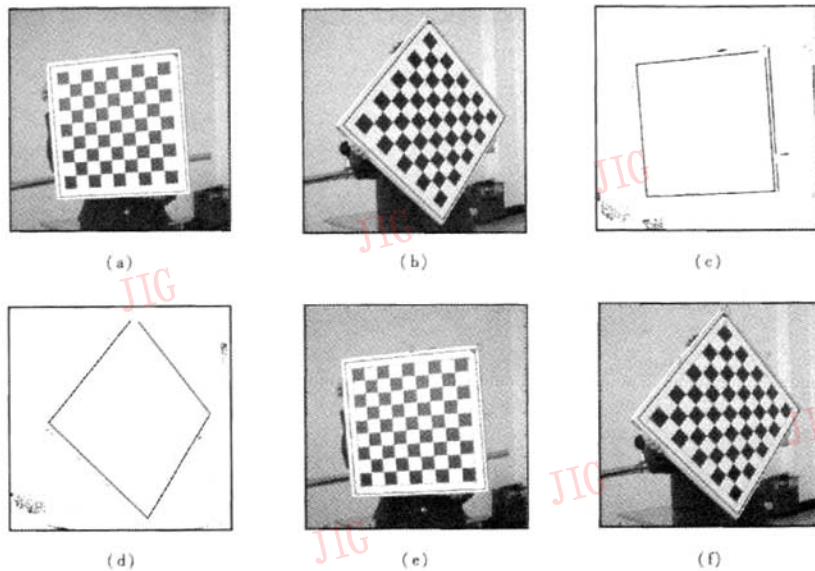


图 6 实验结果

Fig. 6 Experiment results

边缘从复杂背景中分离出来。图 6(e)、图 6(f)为模板定位结果及在模板上根据检测到的原点位置建立的世界坐标系。从整个实验过程可以看出,本文所提出的方法可以有效地检测模板所在区域,并可对模板上 4 个关键角点进行精确定位。

4 结 论

本文所提出的模板自动检测与定位方法是通过模板外围四边形来间接对模板的 4 个关键角点进行提取的,与在复杂背景下直接获取关键角点的方法相比,该方法更加稳定可靠。同时与手工定位相比,具有更高的定位精度,这不仅极大程度上减轻了人工定位的负担,而且提高了摄像机标定的自动化水平。该算法不仅可以应用在图像测量中,而且对于有关计算机视觉、图像处理以及模式识别等许多领域涉及到的模板检测与定位都将起着很好的借鉴作用。

参考文献 (References)

1 Yuan Ping, Yuan Zheng-peng. An algorithm of sub-pixel corner

detection for calibration pattern[J]. *Modern Machine*, 2003, (4): 14~17. [袁萍,袁政鹏.一种应用于视觉测量标定的亚像素级特征点提取算法[J].*现代机械*, 2003, (4):14~17.]

2 Hu Hai-feng, Hou Xiao-wei. A new algorithm for automatically detecting chessboard corners [J]. *Computer Engineering*, 2004, 30(14): 19~21. [胡海峰,侯晓微.一种自动检测棋盘角点的新算法[J].*计算机工程*, 2004, 30(14):19~21.]

3 Zhang Yu-jin. *Image Engineering-Image Processing and Analysis* [M]. Beijing: Tsinghua University Publishing Company, 2000: 195~205. [章毓晋. *图像工程—图象处理和分析(上册)* [M]. 北京:清华大学出版社, 2000: 195~205.]

4 Jin Yun-hua, Dong Cai-lin, Yang Yang, et al. Threshold interpolation techniques in complicated background [J]. *Computer Engineering*, 2003, 29(17): 160~161. [景云华,董才林,杨扬等.复杂背景下的阈值插值方法[J].*计算机工程*, 2003, 29(17): 160~161.]

5 Smith S M, Brady J M. SUSAN-a new approach to low level image processing[J]. *Journal of Computer Vision*, 1997, 23(1): 45~78.

6 Zhang Kun-hua, Wang Jin-ru, Zhang Qi-heng. Corner detection based on multi-feature[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2002, 7(4): 319~324. [张坤华,王敬儒,张启衡.多特征复合的角点提取方法[J].*中国图象图形学报*, 2002, 7(4): 319~324.]