一种基于智能优化的摄像机标定方法研究

高忠国，张 洪，王露露，曹 毅
(江南大学，无锡 214122)

摘要：针对现有包装设备上对摄像机标定中传统优化算法存在的缺点，如对初始值敏感、收敛性差、易陷入局部最优解等，研究了量子粒子群优化算法在摄像机标定中的应用，提出了一种基于智能优化的摄像机标定方法，并给出了具体的步骤。实验结果表明该标定方法可以克服传统算法的不足，具有较高的精度，可以满足计算机视觉在包装工程中的应用。

关键词：摄像机标定；量子粒子群优化算法；非线性相机模型

中图分类号： **文献标识码**：A **文章编号**：1001-3563(2011)21-0082-03

Research of Camera Calibration Method Based on Intelligent Optimization

GAO Zhong-guo, *ZHANG Hong*, *WANG Lu-lu*, *CAO Yi*
(Jiangnan University, Wuxi 214122, China)

Abstract: The application of an improved quantum particle swarm optimization algorithm (QPSO) in camera calibration was studied to overcome the drawbacks of traditional optimization algorithms in camera calibration, such as sensitive to original value, poor astringency, and easy to relapse into local optimization. A camera calibration method based on intelligent optimization algorithm was put forward and the calculation procedures were given. Calibration experiments results showed that the method can overcome the drawbacks of traditional optimization algorithms, has higher precision, and meet the application requirements of computer vision in packaging engineering.

Key words: camera calibration; QPSO; nonlinear camera model

随着计算机视觉技术的发展，其在包装检测中的应用[1-2]已变得切实可行。摄像机标定是计算机视觉的前提，摄像机标定的精度和计算机视觉系统的综合性能密切相关[3]。摄像机标定是为了确定摄像机的位置、属性参数，以便于确定世界坐标系中物理点与其在图像坐标系中所成的像点之间的对应关系[4]。传统的标定方法主要用的是最小二乘法中的迭代优化方法[5-6]，存在很多不足，为此，提出了基于智能优化的摄像机标定方法。

1 基于智能优化的摄像机标定方法

基于智能优化的摄像机标定方法综合了Heikkilä与Silvén 2人提出的四步标定算法[7]以及张正友提出的平面模板标定算法[8]，首先由线性摄像机模型对摄像机参数进行预估；然后引入摄像机的畸变系数，采用智能优化算法对非线性的摄像机模型进行精确标定。

采用量子粒子群优化算法[9-10]将所需标定的 i 个参数作为一个微粒 i 维分量，按一定要求可生成 d 个粒子，组成 $i\times d$ 维的粒子群矩阵，根据微粒的适应度大小来进行相应的操作，即可得到所需精度的最优标定参数。具体方法如下。

第1步：采用 harris 亚像素角点提取方法得到特征点的像素坐标。

第2步：根据图像像素坐标以及其对应的世界坐

收稿日期：2011-07-07
基金项目：国家自然科学青年基金(50905075)
作者简介：高忠国(1986－)，男，山东无棣人，江南大学硕士生，主攻计算机视觉技术以及移动机器人视觉导航技术。
通讯作者：张洪(1966－)，男，江苏无锡人，博士、江南大学副教授，主要研究方向为机器人控制研究、机电一体化。

标系坐标计算内外参数的初始值。根据文献[7]可以得到每幅图像的单应性矩阵 $\boldsymbol{H}$,根据文献[6]对内参数初始化:焦距为$[f_c(1), f_c(2)] = \left(\frac{n_x}{2}\right)/\tan(\pi \cdot \mathrm{FOV_angle}/360) \cdot [2, 1]$,光心:$(u_0, v_0) = \left(\frac{n_x-1}{2}, \frac{n_y-1}{2}\right)$,FOV_angle 为摄像机出厂参数中的视场角,n_x 与 n_y 为拍摄图像的宽和高(即分辨率);再由单应性矩阵 $\boldsymbol{H}=[h_1 \quad h_2 \quad h_3]=\lambda\boldsymbol{A}[r_1 \quad r_2 \quad t]$求解外参数 R,T 的初始值。

第 3 步:初始化粒子群 $X_{di}^{(0)}$,将所有内参数 $f_c(1),f_c(2),u_0,v_0,\gamma$ 以及畸变参数 k_1,k_2,p_1,p_2,k_3 作为粒子群的一个微粒的 i 个分量,并以第 2 步的初始值随机生成均匀分布在初始值周围的 d 个粒子,组成 $i\times d$ 维的粒子群矩阵。

第 4 步:将初始粒子群 X_{di} 作为当代最优局部矩阵(pbest),按式(7)计算其各微粒的适应值函数,选取适应值最小的一个微粒,作为最优粒子(gbest)。

$$fan = \sqrt{\frac{1}{m+n}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m}[m_{ij} - \widetilde{m}(f_c,u_0,v_0,\gamma,k_1,k_2,p_1,p_2,k_3,R,T,M_{ij})]^2} \tag{7}$$

式中:$\widetilde{m}(f_c,u_0,v_0,\gamma,k_1,k_2,p_1,p_2,k_3,R,T,M_{ij})$是第 i 幅图像上第 j 个图像点对应标定模板上三维点 M_{ij} 经过投影后得到的平面图像坐标值;m_{ij} 为第 i 幅图像上第 j 个标定点的实际图像坐标。则目标函数即表示实际图像点与重投影所得到到图像点之差。

第 5 步:按照式(8)—(10)更新粒子群,获得新的粒子群 $X_{di}^{(j)}$:

$$\mathrm{m\,best}(t+1)=\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}P_i(t)=\left(\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}P_{i1}(t),\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}p_{i2}(t),\cdots,\frac{1}{M}\sum_{i=1}^{M}p_{iD}(t)\right) \tag{8}$$

$$PP_{ij}(t+1)=f_{ij}(t+1)\times P_{ij}(t)+[1-f_{ij}(t+1)]\times P_{gj}(t) \tag{9}$$

$$X_{ij}(t+1)=PP_{ij}(t+1)+\mathrm{rand}(t+1)\times a(t+1)\times|\,\mathrm{m\,best}_j(t+1)-X_{ij}(t)\,|\times\ln\left[\frac{1}{u_{ij}(t+1)}\right] \tag{10}$$

其中:$f_{ij}(t+1)=\mathrm{rad}f()$;$u_{ij}(t+1)=\mathrm{rad}f()$;$P(t)$为局部最优值;mbest 是粒子群 pbest 的中间位置;$a(t)=(1-0.5)\times(\mathrm{MAXITER}-t)/\mathrm{MAXITER}+0.5$ 为收缩扩张系数;MAXITER 为最大迭代次数;rand 表示随机数。

第 6 步:按式(7)计算 $X_{di}^{(j)}$ 的适应值,与上一代的 pbest 比较、替代,获得新一代的 pbest,得到新的 gbest,同时按第 2 步的方法计算更新外部参数 R,T 的值。判断待标定参数是否符合精度要求,如不满足,返回第 4 步;如满足,则输出内参最优值 gbest 和当前的外参最优值 R,T。

2　标定实验

标定实验摄像机为 Bumblebee2 立体视觉相机,它集成了 2 台 sony 1/3 吋逐行扫描彩色 CCD 相机,只用其一完成标定实验。由 AutoCAD 绘制标定模板并由激光打印机打印张贴在一平板上,标定图案见图 1,采用方格的角点作为标定的特征点,标定程序在 MatlabR2007b 环境下编写完成。

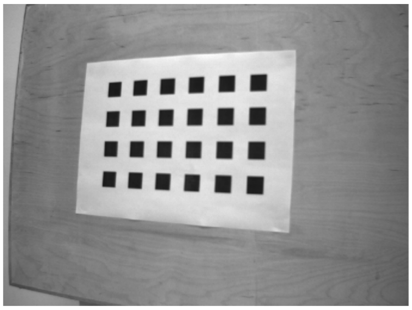

图 1　标定模板图案

Fig. 1 Pattern of the calibration template

试验中通过对比实际效果,选用了 7 幅模板图像,每幅图像有 96 个角点,取最大迭代次数 30,分别对左右 2 个摄像机进行标定,结果如下式所示。

内参矩阵:
$$\boldsymbol{A}=\begin{bmatrix} f_c(1) & \gamma & u_0 \\ 0 & f_c(2) & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} 1\,320.398\,55 & -0.001\,62 & 495.866\,72 \\ 0 & 1\,321.704\,69 & 382.504\,71 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

畸变参数向量:$\boldsymbol{k}_c=[k_1 \ \ k_2 \ \ p_1 \ \ p_2 \ \ k_3]=[-0.470\,03 \ \ 0.229\,92 \ \ -0.005\,42 \ \ -0.010\,49 \ \ 0]$

由摄像机 CCD 像元尺寸 $d_x=d_y=4.65\ \mu\mathrm{m}$,利用标定出的参数计算相机焦距,并换算成 mm 单位:

$$f=\frac{f_c(1)d_x+f_c(2)d_y}{2}=6.142\,9$$

所用摄像机给出的焦距(f_0)为 6 mm,若不计较标称值本身的误差,可计算出标定结果中焦距的绝对误差和相对误差:

$$\Delta f = |f - f_0| = 0.1429\ \text{mm}$$

$$\frac{\Delta f}{f_0} \times 100\% = 2.38\%$$

可以看出此表定方法的有效性。

为了验证标定结果的准确度,对模板中的特征点进行重投影,得到的理论成像点("○"表示)与原实际图像上所提取的特征点("+"表示)对比见图 2(有限特征点的放大图),箭头表示重投影后点的偏移方向。

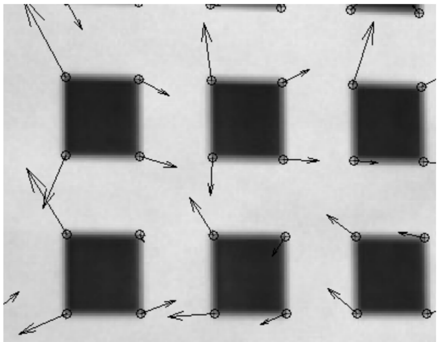

图 2 特征点的重投影效果

Fig. 2 Projective rendering of characteristic points

可以看出理论值与实际提取的特征点值相差很小,通过实际计算该误差均小于 0.25 个像素,由此,可以证明标定结果能正确反映了摄像机成像的关系,验证了标定结果的准确性,而现有实际用于包装检测中的视觉技术的精度大部分为像素级别[11-12],所以本标定方法的结果可以满足计算机视觉在包装工程中的应用。

3 结语

通过研究传统的摄像机标定,发现其在非线性优化过程中具有对初始值敏感、精度低、收敛速度慢、容易陷入局部最优解等缺点,提出了基于智能优化算法(量子粒子群优化算法)的摄像机标定方法。该方法结合了张正友标定方法与四步标定法的特点,给出了基于智能优化算法求解摄像机标定参数的具体步骤。从标定试验可以看出,该方法具有精度较高、初始值计算简单、收敛速度快的优点,是一种有效的摄像机标定方法,可以满足计算机视觉在包装检测中的应用。

参考文献:

[1] 朱作付,徐超,葛红美. 机器视觉技术在包装领域的应用[J]. 包装工程,2010,31(3):124-127

[2] 薛利军,张虎,李自田. 采用机器视觉的药品包装实时在线检测系统的研究[J]. 包装工程,2005,26(2):52-54.

[3] FAUGERAS O D,TOSCANI G. Camera Calibration for 3D Computer Vision[M]. Prec Int Workshop on Industrial Applications of Machine Vision and Machine Intelligence. New York: IEEE Comput Soc Press,1986.

[4] TSAI R Y. A Versatile Camera Calibration Technique for High Accuracy 3D Machine Vision Metrology Using Off-the-sheff TV Camera and Lenses[J]. IEEE Journal of Robotics and Automation,1987,3(4):323-344.

[5] 王社阳,强文义,陈兴林,等 基于遗传算法的非线性摄像机标定[J]. 宇航计测技术,2004,24(4):33-38.

[6] BIANCHINI M, FANELLI S, GORI M. Optional Algorithms for Well-Conditioned Nonlinear Systems of Equations [J]. IEEE Trans on Computers, 2001,50(7):689-698.

[7] HEIKKILÄ J,SILVÉN O. A Four-step Camera Calibration Procedure with Implicit Image Correction[J]. IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR'97),San Juan,Puerto Rico,1997:1106-1112.

[8] ZHANG Z Y. A Flexible New Technique for Camera Calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(11):1330-1334.

[9] SUN J,XU W B. A Global Search Strategy of Quantum-behaved Particle Swarm Optimization[C]. Proceedings of IEEE Conference on Cybernetics and Intelligent Systems,2004:111-116.

[10] SUN J,FENG B,XU W B. Particle Swarm Optimization with Particles Having Quantum Behavior[C]. Proceedings of 2004 Congress on Evolutionary Computation,2004:325-331.

[11] 王磊,张疆,邹玉胜. 卷烟包装图像识别检测技术[J]. 机械工程与自动化,2010(5):116-118.

[12] 姚敏茹,贠江剑. 机器视觉检测技术在药片包装检测中的应用[J]. 价值工程,2011,30(4):204-205.