

# 基于 OpenCV 的双目视觉标定程序的开发

秦保华, 张 海

(北京航空航天大学自动化科学与电气工程学院, 北京 100083)

**摘 要:** 分析了基于 2D 标靶的摄像机标定算法原理以及双目立体视觉系统摄像机的标定方法, 给出了基于开源视觉库 OpenCV 的摄像机标定算法的详细处理流程, 实现了一个完整的摄像机标定程序, 可移植到嵌入式系统中。

**关键词:** 摄像机标定; 双目视觉; OpenCV

## 0 引言

在很多视觉系统的应用中, 例如测量或者物体表面三维恢复等, 需要得到摄像机的内、外参数, 即进行摄像机标定。摄像机标定是决定系统精度的关键环节。OpenCV 可实现图像处理和计算机视觉方面的很多通用算法, 可向嵌入式视觉系统迅速移植的双目立体视觉摄像机标定应用程序开发方法<sup>[1]</sup>。

## 1 基本原理

传统的摄像机标定方法, 都需要使用 3D 立体标靶, 制作成本高, 且加工精度受到一定的限制。基于 2D 平面标靶的摄像机标定方法, 只要求摄像机在不同方位拍摄一个平面标靶, 能够满足嵌入式视觉系统中标定方法灵活、快速的要求。

基于 2D 标靶的平面标定方法, 标定过程分为两步: 计算标靶平面与图像平面之间的映射矩阵, 计算映射矩阵时不考虑摄像机的成像模型, 只是根据平面标靶坐标点和对应的图像坐标点的数据, 利用最小二乘法计算得到; 求解摄像机参数矩阵, 由计算得到的标靶平面和图像平面的映射矩阵得到与摄像机内部参数相关的基本方程关系, 求解方程得到摄像机内部参数, 考虑镜头的畸变模型, 将上述解方程获得的内部参数作为初值, 进行非线性优化搜索, 从而计算出所有参数的准确值<sup>[2]</sup>。

在双目立体视觉系统中, 除了要得到各个摄像机的内部参数外, 还要知道两台摄像机之间的相对位置关系, 获得系统的结构参数: 旋转矩阵  $R$  和平移矢量  $T$ 。设双目视觉系统左右摄像机的外部参数分别为  $R_l$ 、 $T_l$  与  $R_r$ 、 $T_r$ , 即  $R_l$ 、 $T_l$  表示左摄像机与世界坐标系的相

对位置,  $R_r$ 、 $T_r$  表示右摄像机与世界坐标系的相对位置。因此, 对于空间任意一点, 如果在世界坐标系、左摄像机坐标系和右摄像机坐标系中的坐标分别为  $x_w$ 、 $x_l$ 、 $x_r$ , 则有:  $x_l = R_l x_w + T_l$ ,  $x_r = R_r x_w + T_r$ 。因此, 两台摄像机之间的相对几何关系可以由下式表示<sup>[3]</sup>:

$$R = R_r R_l^{-1}, T = T_r - R_r R_l^{-1} T_l$$

## 2 基于 OpenCV 的双目视觉摄像机标定

基于 OpenCV 的摄像机标定采用平面棋盘格标定模板, 如下图 1 所示。

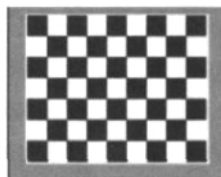


图 1 平面标定模板

由平面标定算法原理可知, 采集不同方位的多幅棋盘格标定模板的图像, 根据模板角点与图像点的坐标对应关系就可以得到摄像机的内、外参数, 由于计算中采用了最小二乘法, 因此, 采集的图像越多, 标定的结果越准确。利用 OpenCV 提供的处理函数, 实现了快速、准确、全自动处理的摄像机标定算法。算法结构如图 2 所示。

### (1) 装载图像

OpenCV 的 HighGUI 部分提供了载入图像的函数 `cvLoadImage()`。`cvLoadImage()` 返回指向图像的 `IplImage` 结构指针, 所有对图像的处理操作都是通过对 `IplImage` 指针完成的。`cvLoadImage()` 函数只支持单幅图像的载入, 而摄像机的标定需要对多幅图像进行处理。算法中采用了一个简单、实用的处理方法, 即将所需要的全部

收稿日期: 2007-06-11 修稿日期: 2007-08-20

作者简介: 秦保华 (1982-), 男, 河北迁西人, 硕士, 研究方向为嵌入式系统、计算机视觉

标定图片的名称(包括扩展名)存放在一个TXT文本文件中,文件名之间以回车符相隔,因此,循环读取文本文件的内容就可以载入所需要的全部标定图像。

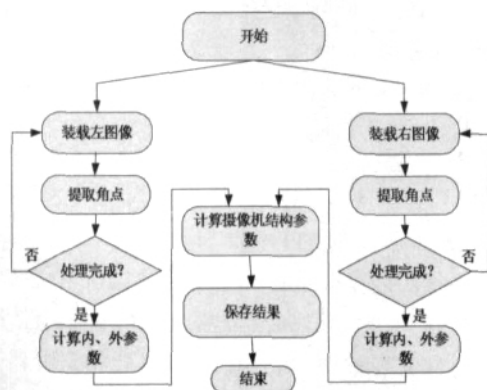


图2 摄像机标定算法

## (2) 粗精度角点提取

角点提取由函数 `cvFindChessboardCorners()` 完成,如果提取角点成功,则将像素级的角点坐标保存在 `CvPoint2D32f` 类型的数组中。提取角点成功与否受输入标定图像质量的影响,如果得到角点数与输入的模板大小不一致,则提取角点失败,这样此幅图像就不能在标定计算中使用,应予舍弃。图3显示了提取角点成功和失败的对比。

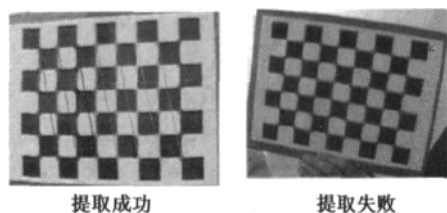


图3 角点提取成功、失败对比

## (3) 子像素级角点提取

角点坐标的精度直接影响摄像机参数的标定精度,角点精度越高,标定的结果越准确。在确定角点的粗略位置以后,还需要进一步提高角点坐标的精度。将由函数 `cvFindChessboardCorners()` 得到的角点坐标输入到函数 `cvFindCornerSubPix()` 中,可以得到子像素级精度的角点位置坐标。子像素级的角点提取在输入角点坐标附近做优化搜索,因此搜索模板的选择直接影响坐标精度,经实验验证,以  $11 \times 11$  (单位:像素) 大小的模板进行搜索可以得到满足精度要求的角点坐标。

## (4) 计算单摄像机内、外参数

`cvCalibrateCamera2()` 函数根据输入的图像对应点坐标,可以快速得以像素为单位的焦距  $(f_x, f_y)$ 、图像中心点坐标  $(c_x, c_y)$ 、畸变系数以及外部旋转矩阵、平

移矢量等参数。在计算之前,要准备好三维空间点与图像平面点之间的对应坐标。图像平面的坐标已经由角点提取部分得到,对应的空间三维坐标以标定靶的左上角为原点建立世界坐标系,根据棋盘点的个数和方格的尺寸就可以得到  $z=0$  的三维坐标数据。由于不同的标定靶可能含有不同数目的角点,同时为了节省存储空间,采用动态分配内存的方法存储角点坐标数据,即 `cvCreateMemStorage()` 分配足够的内存之后,建立 `CvSeq` 堆栈序列,将获取的角点坐标用函数 `cvSeqPush()` 存储到堆栈里面。

## (5) 立体视觉摄像机标定

OpenCV 中并没有计算立体视觉系统两台摄像机之间的结构参数的函数。立体视觉标定的完成需要根据前面介绍的方法,计算旋转矩阵和平移矢量。在实际标定过程中,由标定靶对两台摄像机同时进行摄像标定,以分别获得两台摄像机的内、外参数,从而不仅可以标定出摄像机的内部参数,还可以同时标定出双目视觉系统的结构参数。由单摄像机标定过程可以知道,标定靶每变换一个位置就可以得到一组摄像机外参数:  $R_1, T_1$  与  $R_2, T_2$ , 因此,由公式  $R=R_1R_2^{-1}, T=T_1-R_1^{-1}T_2$ , 可以得到一组结构参数  $R$  和  $T$ 。标定靶变换多个位置时得到的多组  $R$  和  $T$  会有差别,采用统计的方法,取多组结果的中值作为最佳标定结果。

## (6) 标定结果显示和保存

标定过程中将提取角点后的图像用 `cvShowImage()` 显示,以便观察角点提取的情况。最终的标定结果在程序界面显示,并保存在文件中。OpenCV 提供了大量用于文件处理的数据结构和函数,例如 `cvOpenFileStorage()`、`cvWrite()`、`cvRead()` 等。以写入文件为例,打开要进行写操作的文件以后,可以直接将 `CvMat` 数组写入文件, `cvWrite(fs, "camera_matrix", camera_matrix)`。

## 3 标定实验

根据上述的原理和标定方法,作者在 Windows XP(SP2)平台上,利用 Visual Studio 2005 开发了一个基于 OpenCV 1.0 版本的双目立体视觉摄像机标定程序,其功能框图如图4所示。

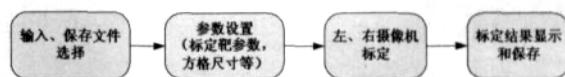


图4 程序功能框图

此标定程序能够完成单摄像机标定以及双目摄像机结构参数的标定,标定过程不需要人工参与,标定快速,结果准确。程序界面如下图5所示。

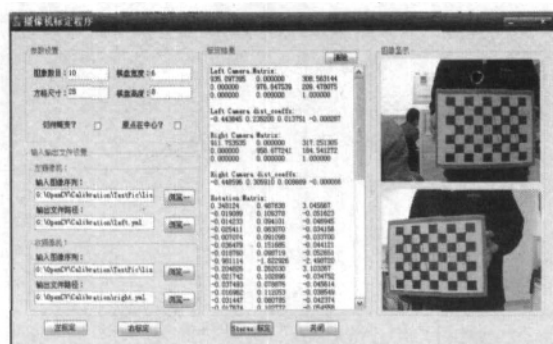


图5 标定程序界面

为了验证该标定程序的标定结果, 两台相对位置固定的摄像机同时采集了多组棋盘标靶在不同位置的标定图像对, 分别用本文的基于 OpenCV 的标定程序和文献[4]提供的 MatLab 工具箱: Camera Calibration Toolbox for MatLab 进行标定计算, 并比较计算结果:

表1 标定结果

相机参数	标定实验一 16×716×574				标定实验二 20×716×574			
	OpenCV		Matlab		OpenCV		Matlab	
	Left Camera	Right Camera	Left Camera	Right Camera	Left Camera	Right Camera	Left Camera	Right Camera
fx	935.0974	911.7535	937.4946	901.5335	936.2717	921.8841	920.7361	912.2014
fy	976.6475	958.6772	978.8912	948.5180	981.9903	964.4593	963.5785	951.7408
U0	308.5631	317.2513	306.8692	325.0226	349.9551	355.4956	344.2423	360.1646
V0	209.4781	184.5413	198.5710	186.3949	353.9465	317.8416	358.1769	328.9550
K1	-0.4438	-0.4486	-0.48884	-0.46576	-0.4999	-0.4034	-0.48018	-0.43780
K2	0.2352	0.3059	0.24767	0.32522	0.6604	0.1261	0.34671	0.17185
P1	0.01375	0.0089	0.01747	0.00833	-0.01365	-0.0073	-0.01524	-0.01084
P2	-0.0003	-0.00007	0.00501	-0.00190	-0.0034	0.0042	0.00159	0.00202
om (R)	[-0.02174 0.09872 -0.04237]		[-0.01019 0.02834 -0.03088]		[-0.009791 0.04625 0.03455]		[-0.00447 0.03514 0.03502]	
	[-233.324 -3.4043 7.4927]		[-229.13155 6.75036 -2.65466]		[-136.8746 1.650008 -2.574432]		[-136.50481 2.38108 0.09915]	
T								

从表中可以看出两者的内参数标定结果是接近

的,但在畸变系数以及立体视觉摄像机结构参数上存在一定的误差,这是由于平面标定的算法本身在估算镜头畸变上存在缺陷,不能得到准确的畸变模型参数。基于 OpenCV 的标定程序能够得到满足工程应用标定精度的结果,同时由于其标定过程不需要人工的参与、速度快,因而相对于 MatLab 标定工具箱更适应于工程应用,尤其是嵌入式视觉系统中的应用。

#### 4 结 语

利用 OpenCV 的 API 函数可以迅速的完成双目立体视觉系统的摄像机标定,这种标定方法简单、快捷、可移植性强,输入图像以后不需要人工参与,适合于嵌入式立体视觉系统的应用。以 Intel PXA270 处理器为核心构成的嵌入式视觉系统,能够满足视觉处理的高速要求,OpenCV 的函数都是由 C 或者 C++ 语言完成,能够方便、快速地移植到 PXA270 视觉系统中。因此,基于 OpenCV 的摄像机标定方法可以在各种恶劣的工业环境中,由嵌入式视觉系统完成摄像机的标定,应用广泛、灵活,相比于传统的标定方法具有明显的优势。

#### 参考文献

- [1]OpenCV 中文网站. <http://www.opencv.org.cn/index.php>, 2007, 4
- [2]Zhang Z. A Flexible New Technique for Camera Calibration. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2000, 22 (11):1330~1334
- [3]张广军. 机器视觉. 北京: 科学出版社, 2006, 6: 122~123
- [4]Klaus Strobl, Wolfgang Sepp, Stefan Fuchs. Camera Calibration Toolbox for MatLab. [http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib\\_doc/index.html#functions](http://www.vision.caltech.edu/bouguetj/calib_doc/index.html#functions), 2007, 4

## Program Development of Calibration for Binocular Vision Based on OpenCV

QIN Bao-hua , ZHANG Hai

(School of Automation Science and Electrical Engineering, Beihang University, Beijing 100083)

**Abstract:** Analyses the principle of camera calibration algorithm based on 2D target and the calibration method of binocular vision system. Presents the processing flow of the calibration method based Open Source Computer Vision library in details, realizes a multifunctional camera calibration software, it can be easily transplanted to the embedded system.

**Keywords:** Camera Calibration; Binocular Vision; OpenCV