

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2015.04.015

# OpenCV 耦合改进张正友算法的相机标定算法

李莉

(西安工程大学 计算机科学学院, 陕西 西安 710048)

**摘要:**视觉系统中的相机,由于透镜本身原因,采集到的图像往往会发生一定的畸变,从而影响后期的图像处理精度。当镜头与图像平面夹角过小,或者标定图像次数过少时,普通标定算法往往存在标定不准,效果不佳等问题。对此,文中提出了开源计算机视觉库(Open Source Computer Vision Library, OpenCV)耦合改进张正友标定算法的相机定位机制。首先研究了发生畸变的原因;再对普通张正友算法进行改进,随后通过 OpenCV,计算出相机内参数、畸变系数、偏移向量和旋转向量;最后结合改进后的张正友算法和 OpenCV 函数编程实现相机标定机制。实验结果显示:与未改进的张正友标定算法相比,在镜头与图像平面夹角过小,或者标定图像次数过少时,文中机制具有更好的标定效果,在实际工程中具有较大的应用价值。

**关键词:**相机标定;畸变系数;张正友标定算法;OpenCV 函数;内参数

中图分类号:TP391 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2015)04-0060-05

## Camera Calibration Algorithm Based on OpenCV and Improved Zhang Zhengyou Algorithm

LI Li

(College of Computer Science, Xi'an Polytechnic University, Xi'an, Shanxi 710043, China)

**Abstract:** For the camera in the visual system, due to the reason of lens, collected images may have certain distortion, thus affecting image processing precision. When the angle between the lens and image plane is too small, or image calibration time is less, general calibration algorithm always have the problem of inaccurate calibration, poor effect. Therefore, improved Open Source Computer Vision Library (OpenCV) coupling Zhang Zhengyou calibration algorithm of camera positioning mechanism was proposed. Firstly, the cause of distortion was analyzed, the ordinary Zhang Zhengyou algorithm was improved, and through OpenCV, the intrinsic parameters of camera, distortion, offset vector and rotation vector were calculated; finally, with improved Zhang Zhengyou algorithm and OpenCV function programming, the camera calibration mechanism was realized. The experimental results show that compared with unmodified Zhang Zhengyou calibration algorithm, for the problem of small angle between the lens and the image plane, and less times of image calibration, the proposed calibration mechanism has better effect and good application value in the practical engineering.

**Key words:** camera calibration; distortion coefficient; Zhang Zhengyou calibration algorithm; OpenCV; internal parameters

随着科技和经济的蓬勃发展,机器人作业、汽车自动驾驶等技术已经得到广泛应用,在很大程度上推动了社会生产力的发展<sup>[1-2]</sup>。这些高端设备或系统中往往都需要用到相机标定<sup>[3-4]</sup>。相机标定的作用在于消除由于相机产生的图像畸变,从而校正图像,为处理计

算出精确数值提供可能。由此,相机标定成了系统准确的先决条件,也成为众多专家学者研究的热点,到目前为止,在这一领域,国内外已取得一定进展和成果<sup>[5]</sup>。张正友提出了一套相机标定方法,特别受到业界的一致认可<sup>[6]</sup>,其实验结果表明该算法具有更优异

收稿日期:2015-01-15;修回日期:2015-03-10

基金项目:陕西省教育厅项目(No. 12JK0931)

作者简介:李莉(1979),女,河北沧州人,硕士,讲师,主要研究方向为计算机技术。E-mail: xalilics1979@163.com

的定位性能,视觉效果好。

尽管张正友标定算法能够取得较好效果;但由于标定算法通常应用于引导机器人从事精密作业,因此,对标定精度要求很高;然而实际应用中,往往存在镜头和图像平面夹角过小的情况,或者标定图像次数过少,使得张正友标定算法存在明显的标定偏差。

对此,本文提出了一个基于 OpenCV 与改进张正友标定的相机标定机制。并测试本文相机标定技术的方法。

## 1 相机成像畸变原理

透镜畸变分为 2 种,径向畸变和切向畸变。径向畸变来源于透镜形状,光学中心的畸变为 0,随着向边缘移动,畸变越来越严重。实际情况中,这种畸变比较小,可以采用  $r=0$  位置周围的泰勒级数展开的前几项来调节<sup>[7]</sup>。调节公式如式(1)所示:

$$\begin{cases} x_{\text{corrected}} = x(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \\ y_{\text{corrected}} = y(1 + k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) \end{cases} \quad (1)$$

式中:  $x_{\text{corrected}}, y_{\text{corrected}}$  为校正后坐标;  $(x, y)$  为畸变点的原始坐标;  $r$  代表相机内参数。

切向畸变来源于透镜制造上的缺陷,使得透镜本身与图像平面不平行而产生。借助 2 个额外参数  $P_1$  和  $P_2$ <sup>[8-9]</sup>,可用如下模型来调节:

$$\begin{cases} x_{\text{corrected}} = x + [2p_1 y + p_2 (r^2 + 2x^2)] \\ y_{\text{corrected}} = y + [2p_1 x + p_1 (r^2 + 2y^2)] \end{cases} \quad (2)$$

综合上述,需要计算的畸变系数有 5 个,分别为  $k_1, k_2, k_3, p_1$  和  $p_2$ 。这些系数组成一个  $5 \times 1$  的矩阵,再采用 OpenCV 快速求解,最终达到校准的目的。

## 2 张正友标定算法的改进

在实际标定中,往往存在偏差,原因主要有 2 个: ①标定时,标定板所在平面与成像平面(image plane)之间的夹角太小,张正友算法<sup>[10]</sup>中的仿真数据(有噪声的数据)显示,当两者夹角太小时,会产生很大的误差。而且张正友的文献中也提到 2 幅标定板之间的位置平行放置的话,其效果相当于 1 幅标定板。因此,在实际标定中平行放置的情况最好避免,否则会标定不准;②标定时,拍摄的图片太少,虽然文献<sup>[10]</sup>里只用了 5 幅图片,但是建议 10 幅左右还是必要的,因为在实际中,可能标定板是用 A4 纸打印出来贴在 1 块板上的,标定板上的物理坐标精度就不是特别高,多拍摄几幅图像能减少这方面带来的误差,而且多个角度拍摄也能解决标定板和成像平面夹角小的问题。张正友标定算法<sup>[10]</sup>如公式(3)所示:

$$\begin{cases} x_{\text{corrected}} = k_1 x(x^2 + y^2) + [p_1(3x^2 + y^2) + 2p_2 xy] + s_1(x^2 + y^2) \\ y_{\text{corrected}} = k_2 x(x^2 + y^2) + [p_2(x^2 + 3y^2) + 2p_1 xy] + s_2(x^2 + y^2) \end{cases} \quad (3)$$

式中:  $x_{\text{corrected}}, y_{\text{corrected}}$  为校正后坐标,  $(x, y)$  为畸变点的原始坐标。  $k_1, k_2, p_1, p_2$  为畸变系数,  $s_1, s_2$  为薄镜畸变。

由于在实际应用中,薄镜畸变往往可以忽略不计,对此,公式(3)变为

$$\begin{cases} x_{\text{corrected}} = k_1 x(x^2 + y^2) + (p_1(3x^2 + y^2) + 2p_2 xy) \\ y_{\text{corrected}} = k_2 x(x^2 + y^2) + (p_2(x^2 + 3y^2) + 2p_1 xy) \end{cases} \quad (4)$$

如此改进可以大大减轻角度过小带来的误差<sup>[11]</sup>,从而达到标定结果更加准确的效果。

## 3 本文标定机制与实现

通过分析透镜畸变原因,首先给出完成相机标定前需要求出的相机内参数与畸变系数;其次研究张正友标定算法,对其进行改进;最后基于 OpenCV 函数编程对相机标定进行实现。本文用到的标定算法需要硬件支持,即标定板<sup>[12-13]</sup>,采用黑白方块交替排列的平面物体一棋盘,保证测量上任何一边都无偏移。

首先对棋盘格标定板进行不同位置的取像,分别定位并绘制出各个角点,即角点查找函数和角点绘制函数;然后以各个标定板图像的角点图像坐标和物理坐标作为输入,利用 OpenCV 标定函数求出相机内参数和畸变系数;最后以相机内参数和畸变系数作为输入,利用映射畸变校正函数<sup>[14-15]</sup>,即完成标定过程。整个本文算法的流程图见图 1。

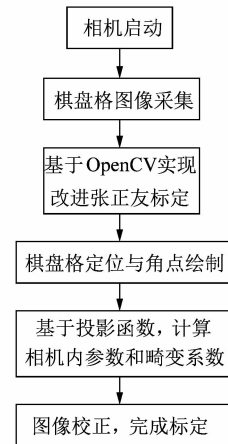


图 1 本文标定机制架构

Figure 1 Calibration algorithm framework

相机标定部分关键代码:

```
CameraCalibrator:: addChessboardPoints ( const std::;
```

```

vector < std::string > & fileList, cv::Size & boardSize)
{
    std::vector < cv::Point2f > imageCorners;
    std::vector < cv::Point3f > objectCorners;
    for ( int i=0; i < boardSize. height; i + + )
    {
        for ( int j=0; j < boardSize. width; j + + )
        {
            objectCorners. push_back ( cv::Point3f ( i, j,
0.0f) );
        }
    }
    cv::Mat image; // to contain chessboard image
    int successes = 0;
    for ( int i=0; i < fileList. size(); i + + )
    {
        image = cv::imread( fileList[ i ], 0 );
        bool found = cv::findChessboardCorners ( image,
boardSize, imageCorners );
        cv::cornerSubPix ( image, imageCorners, cv::Size ( 5, 5 ),
cv::Size ( -1, -1 ),
            cv::TermCriteria ( cv::TermCriteria::MAX_ITER
+ cv::TermCriteria::EPS, 30, 0.1 ) );
        if ( imageCorners. size() == boardSize. area() )
        {
            addPoints ( imageCorners, objectCorners );
            successes + + ;
        }
        cv::drawChessboardCorners ( image, boardSize,
imageCorners, found );
        cv::imshow ( "Corners on Chessboard", image );
        cv::waitKey ( 100 );
    }
    return successes;
}

void CameraCalibrator::addPoints ( const std::vector <
cv::Point2f > & imageCorners, const std::vector < cv::
Point3f > & objectCorners )
{
    imagePoints. push_back ( imageCorners );
    objectPoints. push_back ( objectCorners );
}

double CameraCalibrator::calibrate ( cv::Size

```

```

&imageSize)
{
    mustInitUndistort = true;
    std::vector < cv::Mat > rvecs, tvecs;
    return
        calibrateCamera ( objectPoints, imagePoints,
imageSize, cameraMatrix, distCoeffs, rvecs, tvecs,
flag );
}
cv::Mat CameraCalibrator::remap ( const cv::Mat
&image)
{
    cv::Mat undistorted;
    cv::remap ( image, undistorted, map1, map2,
cv::INTER_LINEAR ); // interpolation type
    return undistorted;
}

void CameraCalibrator::setCalibrationFlag ( bool
radial8CoeffEnabled, bool tangentialParamEnabled ) {
    flag = 0;
    if ( ! tangentialParamEnabled )
flag + = CV_CALIB_ZERO_TANGENT_DIST;
    if ( radial8CoeffEnabled )
flag + = CV_CALIB_RATIONAL_MODEL;
}

delete [ ] pBuffer。

```

#### 4 实验与讨论

本文标定机制通过工业相机<sup>[16-17]</sup>, 基于 C + + 编程完成对标定板的多次取像, 通过改进张正友标定算法, 然后通过 OpenCV 函数实现。本文标定机制下, 畸变参数  $k_1 = 1.293, k_2 = 3.121, p_1 = 3.145, p_2 = 5.214$ , 普通算法机制下, 畸变参数  $k_1 = 1.593, k_2 = 3.221, p_1 = 3.645, p_2 = 5.714$ , 计算有一定差异通过图像校正效果来评判算法和参数的正确。

对同一块标定板进行不同角度 (2.0、1.2、3.2、1.9°) 进行 4 次图像采集, 由于镜头与图像平面夹角过小, 采集次数偏少, 标定图像次数较少, 效果如图 2~3 所示。后分别采用普通张正友标定和本文改进算法, 进行标定测试。从图 4~5 中可知, 本文改进算法准确完成标定, 效果良好。而普通张正友标定, 当镜头与图像平面夹角过小, 或标定图像次数过少时, 往往存在标定不准确, 或者标定效果不明显, 如图 6~7 所示。



图 2 待标定图

Figure 2 Pending for calibration

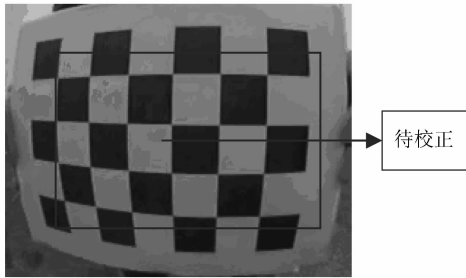


图 3 待标定图

Figure 3 Pending for calibration

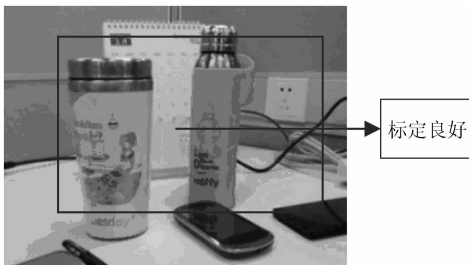


图 4 本文算法标定图

Figure 4 Calibration with new algorithm

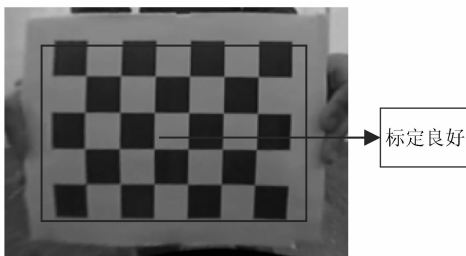


图 5 本文算法标定图

Figure 5 Calibration with new algorithm

## 4 结语

为了解决当标定板与图像平面夹角较小和取像次数不够的时候相机标定效果不明显的问题,本文采取以下措施:①分析了透镜畸变原因和张正友算法;②基于 OpenCV 标定函数实现改进算法;③对于存在标定角度小,图像采集系数少的不足,引入本文标定机制,计算出相机内参数和畸变系数,最终做图像校正,实现

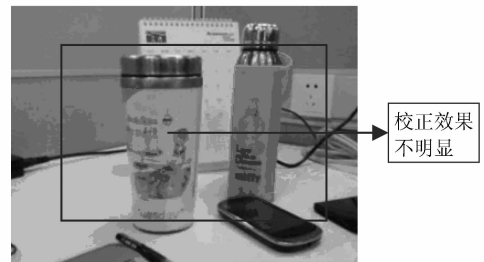


图 6 普通算法标定图

Figure 6 Calibration with traditional algorithm

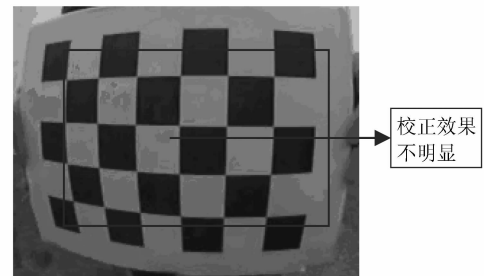


图 7 普通算法标定图

Figure 7 Calibration with traditional algorithm

相机标定。最后测试了机制性能。结果表明:与普通标定算法相比,当标定板与图像平面夹角较小和取像次数不够的时候,本文机制具有更好的标定效果,完成畸变校正。

## 参考文献:

- [1] 高卫平. 采用移动光靶标的分区相机标定[J]. 光学精密工程, 2013, 13(17): 4983 - 4986.
- [2] 李博, 林岳凌, 谭振豪. 基于直角坐标机器人的计量封印自动化包装装置[J]. 轻工机械, 2014, 32(4): 77 - 79.
- [3] 张烁. 月面巡视探测器导航和全景相机标定方法研究[J]. 测绘通报, 2013, 36(4): 181 - 185.
- [4] 王鹏. 基于非线性优化模型的数码相机标定算法数据通信[J]. 电子设计工程, 2013, 21(7): 1906 - 1913.
- [5] 刘晓敏. 一种基于相机标定的图像配准方法[J]. 计算机系统应用, 2013, 33(10): 2886 - 2890.
- [6] 支健辉. 相机标定的外界影响因素分析[J]. 应用光学, 2011, 23(2): 371 - 376.
- [7] NOORI H, SARYAZDI S, NEZAMABADI-POUR H. A bilateral image inpainting [J]. Transactions of Electrical Engineering, 2011, 35(E2): 95 - 108.
- [8] KUANG Yin, ZHANG Lei, YI Zhang. An adaptive rank-sparsity K-SVD algorithm for image sequence denoising [J]. Pattern Recognition Letters, 2014, 45(1): 46 - 54.
- [9] 刘新艳, 马杰, 张小美, 等. 联合矩阵 F 范数的低秩图像去噪算法[J]. 中国图象图形学报, 2014, 19(4): 502 - 511.
- [10] ZUJOVIC J, PAPPAS T N, NEUHDF D L. Structure texture similarity metrics for image analysis and retrieval [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2013, 22(7): 2545 - 2558.

(下转第 68 页)