

基于 OpenCV 的单目照相机定标的测试实践

黄吉兰, 楼新远

(西南交通大学 信息科学与技术学院, 成都 610031)

摘要: 计算机视觉技术研究的目标是使计算机具有通过二维图像认知三维环境信息的能力。摄像机定标的目的就是要建立三维世界坐标与二维图像坐标之间的一种对应关系。在单目视觉中, 这种对应关系是一对多的对应, 即二维图像上的一个像素对应三维空间中的一条直线。本文测试了基于开源视觉库 OpenCV 的单目摄像机标定算法的详细处理过程, 得出了实验结果。

关键词: 摄像机; 标定; OpenCV; 图像

中图分类号: TP393.11 **文献标识码:** A

Practice test of monocular camera calibration based on OpenCV

HUANG Ji-lan, LOU Xin-yuan

(School of Information Science and Technology, Southwest Jiaotong University, Chengdu 610031, China)

Abstract: The research goal of computer vision technology was able to set the three-dimensional environment information by the two-dimensional image, camera calibration was to establish the relationship between three-dimensional coordinates of the world and two-dimensional coordinates of the image. In the monocular vision, this relationship was the corresponding of one-to-many, that is, two-dimensional image on a pixel corresponding to the three-dimensional space in a straight line. It was detailed the process. The result of testing was given by testing the algorithm based on the OpenCV of monocular camera calibration

Key words: camera; calibration; OpenCV; image

从摄像机获取图像信息是计算机视觉的基本

任务之一, 而空间物体表面某点的三维几何位置与其在图像中对应点之间的相互关系是由摄像机成像的几何模型决定的, 这些几何模型参数就是摄像机参数。获取这些参数的过程被称为摄像机

收稿日期: 2008-10-27

作者简介: 黄吉兰, 在读硕士研究生, 楼新远, 副教授。

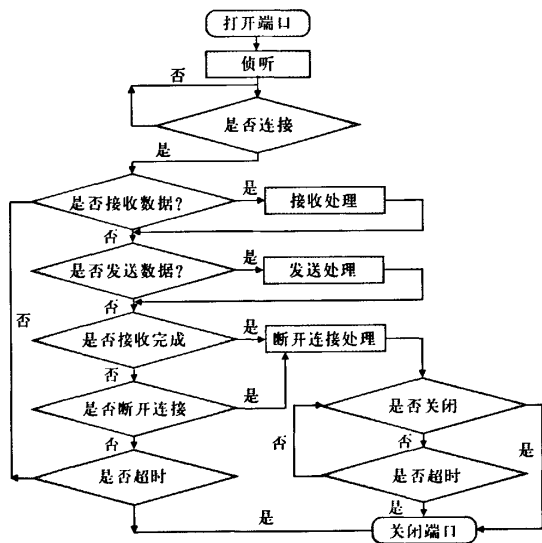


图4 TCP 通信流程图

/* 设置端口存储器信息。主要工作为设置端口为TCP模式, 检查网关及获取网关的物理地址, 设置分片长度。*/

3.2 数据通信

W5100 通过 TCP、UDP、IP_RAW 和 MAC_RAW 模式进行数据通信。现重点介绍 TCP 通信。图4为服务器模式 TCP 通信流程图。

4 结束语

本项目根据实际需要完成了立车车库以太网通信系统的设计和底层硬件的具体实现, 较好地达到了预期目的。系统充分利用了 W5100 芯片内部嵌入硬件协议栈 (TCP/IP 协议栈、以太网 MAC 和 PHY) 省去了传统繁琐的以太网协议编写和调试步骤, 加快了系统开发速度。

定标(或称为标定)。标定精度的大小,直接影响着计算机视觉(机器视觉)的精度。迄今为止,对于摄像机标定问题已提出了很多方法。大致可以分为传统定标技术和自定标技术。其中,传统定标技术在定标的时候需要在摄像机前放置一个特定标定物,并人为提供一组已知坐标的特征基元,摄像机通过寻找标定物上这些已知的特征基元来实现定标。自定标技术不需要特定的参照物来实现定标,是一种对环境具有很强适应性的定标技术。它利用环境的刚体性,通过对比多幅图像中对应点来计算摄像机模型。本文概述了基于OpenCV的摄像机标定方法是介于传统标定方法和自定义方法之间的一种方法^[1]。OpenCV (Open Source Computer Vision Library) 开放源代码的计算机视觉类库由英特尔公司位于俄罗斯的研究实验室所开发,它是一套可免费获得的由一些C函数和C++类所组成的库,它不依赖于其他的外部库。通过调用OpenCV算法库来实现一些常用的图像处理及计算机视觉算法^[2]。

1 OpenCV的标定原理

摄像机模型的选择直接影响最后的标定结果。常用的针孔模型^[4]忽略了透镜的厚度和畸变的存在,因此不能很好的反映实际情况。OpenCV提供的标定算法中的摄像机模型考虑了摄像机镜头的径向和切向畸变,该模型比只引入一阶径向畸变的Tasi模型^[3]更接近透镜的实际情况,但没有引入Weng模型^[5]的薄棱镜畸变。三维空间点P (X,Y,Z), 它的齐次坐标为 (X,Y,Z,1), 在世界坐标系投影到图像平面上像素坐标系(u,v)的过程如下:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f/k & -f \cot \theta / k & u_0 & 0 \\ 0 & f/(\sin \theta) & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R_{3 \times 3} & t_{3 \times 1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = A(R \ t) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

其中, f 为摄像机焦距, θ 为摄像机坐标系的偏斜度。像素点大小为 k × 1, (u₀, v₀) 是图像的坐标原点, R_{3×3} 为旋转矩阵, t_{3×1} 为平移向量。上式是图像点和空间点之间的映射关系。

图1为无畸变理想图像点位置与有畸变实际图像点位置之间的关系。

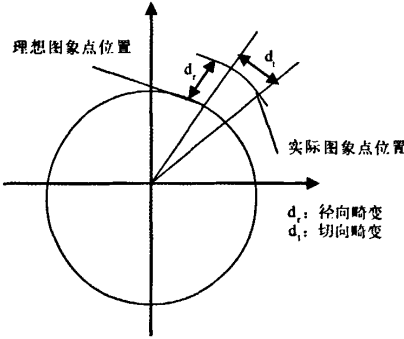


图1 理想图像点与实际图像点

因此,像点、光心和物点在同一条直线上的假设并不成立。实际中的成像模型并不满足线性关系,而是一种非线性关系,OpenCV中的非线性畸变采用下述公式描述:

$$\begin{aligned} x &= x_d + k_1 x(x^2 + y^2) + (p_1(3x^2 + y^2) + 2p_2xy) \\ y &= y_d + k_2 y(x^2 + y^2) + (p_2(3x^2 + y^2) + 2p_1xy) \end{aligned}$$

k_1 、 k_2 称为径向畸变, p_1 、 p_2 称为切向畸变。

2 标定系统的实现

根据OpenCV相机标定的原理,制定一个标定系统的功能流程,如图2。

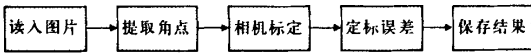


图2 系统功能图

由于OpenCV提供的cvCalibrateCamera2()只适用于n × n的图像,因此设计的标定模板为8*6的棋盘格图片,每个方格大小是2 cm,并打印出来。用相机获取4张图像。

2.1 装载图像

OpenCV的HighGUI部分提供了载入图像的函数cvLoadImage0。cvLoadImage0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。cvLoadImage0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。因此把4张图的名称和扩展名存放在一个txt文本文件中,文件名之间以回车符相隔,用getline()函数循环读取文本文件的内容实现载入所需的全部标定图像。

2.2 提取角点

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。在用 cvFindChessboardCorners()完成角点粗略位置提取后,还需要进一步用函数 cvFindCornerSubPix()通过迭代方法获取子像素精度的角点位置坐标。最后用函数 cvDrawChessboardCorners()对提取到的角点进行标记显示到屏幕上。

2.3 相机标定

在计算相机的内外参数之前,要对三维空间点与图像平面点之间的对应坐标准备好。其中图像平面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尺寸就可以得到 x,y 的坐标,本试验方格的大小为 2cm,另外, z=0,所以物体三维坐标确定了。因本试验不知道摄像机的内部参数,所以使用 cvCalibrateCamera2()求取摄像机的内部参数和外部参数。如果知道摄像机的内部参数,则可以直接使用函数 cvFindExtrinsicCameraParam2()获取摄像机的外部参数。

2.4 定标误差

函数 cvProjectPoints2()通过给定的摄像机内参数和外参数计算三维点投影到二维图像平面上的坐标,将获得的投影坐标与通过角点提取得到的投影坐标进行比较,从而得到一个误差值。这里使用了函数 cvNorm()实现误差值的计算。

2.5 保存标定结果

在标定过程中把摄像机的内部参数、外部旋转矩阵、平移矢量参数和畸变系数等结果用函数 fout()保存到txt文件中。为了节省存储空间,用函数 cvCreateMemStorage()动态分配内存的方法存储角点坐标数据。把角点坐标存入 CvSeq 堆栈坐标序列中。

2.6 实验结果

本试验采用罗技快看太空版MP摄像头,传感器像素 130 万,最高分辨率 1280 × 960 像素。表 1 是实验的结果。从实验结果可以看出该产品的图像畸变小,同时从图像重投影检测出的平均误差也验证了此方法的可行性。

表 1 实验结果

| | 相机内部参数 | | | | 旋转向量 | 平移向量 | 平均误差 | 畸变系数 | | | |
|------|---------|---------|---------|---------|---------------|----------|----------------|--------------|---------------|--------------|--------------|
| | fx | fy | cx | cy | | | | K1 | K2 | p1 | p2 |
| 照片 1 | 9.42023 | 8.94567 | 239.512 | 156.772 | 0.0651619 | 48.6579 | 0.204046 像素 | 3.42765e-005 | -6.99133e-007 | -0.000740481 | -0.000306142 |
| 照片 2 | | | | | -3.13942 | -72.6928 | | | | | |
| 照片 3 | | | | | -6.33901e-005 | 10.282 | 0.269308 像素 | | | | |
| 照片 4 | | | | | 2.21278 | -3.79563 | | | | | |
| | | | | | -2.2268 | 61.4368 | 0.287981 像素 | | | | |
| | | | | | -0.00761793 | 9.43765 | | | | | |
| | | | | | -2.18143 | 16.6677 | 0.225316 像素 | | | | |
| | | | | | 2.26132 | 56.919 | | | | | |
| | | | | | 0.00676799 | 9.14132 | | | | | |
| | | | | | 0.0285626 | 25.1208 | 0.225316 像素 | | | | |
| | | | | | -3.13916 | -59.9451 | | | | | |
| | | | | | -0.000250631 | 10.8466 | | | | | |

3 结束语

本文用 OpenCV 中视觉标定原理测试,实践了单一的摄像机标定,方法简单、精确。而且其中的函数在设计和汇编时被 Intel 公司对其所生产的处理器做了优化,因而具有很高的性能。本文未对双目立体视觉系统的标定做出进一步的实验。在双目视觉中,是将两幅图像上的特征点进行匹配,然后计算出匹配特征点的三维坐标,进行 3D 重建。

参考文献:

- [1] 陈胜勇, 刘 盛. 基于 OpenCV 的计算机视觉技术实现 [M]. 北京: 科学出版社, 2008.
- [2] Intel Corporation. Open Source Computer Vision Library Reference Manual [S]. 2001, 12.
- [3] Tsai RY. Aversatile camera calibration technique for high-accuracy 3Dmachine visionmetrology using off-the-shelfTV camera and lenses[J].IEEE Journal of Robotics and Automation, 1987, 3(4): 323-344.
- [4] 马颂德, 张正友. 计算机视觉-计算理论与算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
- [5] Weng J Y, Cohen P, HerniouM. Camera Calibrationwith distortion models and accuracy evaluation[J].IEEETrans on PAMI, 1992,14(10):965-998.
- [6] 刘瑞祺, 于仕琪. OpenCV 教程基础篇[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2007.
- [7] 贾云得. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [8] 田克微, 张爱武, 王少敏. 一种基于 OpenCV 的摄像机标定方法[J]. 首都师范大学学报 (自然科学版), 2008 (2).
- [9] 秦保华, 张 海. 基于 OpenCV 的双目视觉标定程序的开发[J]. 期刊现代计算机 (专业版) 2007 (8).