

文章编号: 1673-095X(2013)01-0045-04

基于 MATLAB 与 OpenCV 相结合的双目立体视觉测距系统

汪珍珍, 赵连玉, 刘振忠

(天津理工大学 机械工程学院, 天津 300384)

摘要: 双目立体视觉测距技术是当前机器视觉领域中的一个主要研究内容. 本文设计了基于 MATLAB 与 OpenCV 相结合的双目立体视觉测距系统, 利用 MATLAB 进行摄像机标定后将结果导入到 OpenCV 进行后续的图像处理与立体匹配. 摄像机标定通过 MATLAB 标定工具箱来完成, 较于人工标定和 OpenCV 标定具有更好的鲁棒性和较高的精确性. 立体匹配采用区域匹配中相对快速实时的 SAD 匹配, 能够更好的被应用于工程实际.

关键词: 双目立体视觉; OpenCV; 摄像机标定; 立体匹配; 视差图

中图分类号: TP39 **文献标识码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1673-095X.2013.01.012

Binocular stereo vision distance measurement system based on a combination of Matlab and OpenCV

WANG Zhen-zhen, ZHAO Lian-yu, LIU Zhen-zhong

(School of Mechanical Engineering, Tianjin University of Technology, Tianjin 300384, China)

Abstract: Binocular stereo vision distance measuring technology is a hot research topic in the field of machine vision. This paper focuses on a binocular stereo vision distance measurement system based on a combination of MATLAB and OpenCV. Using MATLAB camera calibration, and then import the results to OpenCV for subsequent image processing and stereo matching. Camera calibration via MATLAB Calibration Toolbox has better robustness and higher precision than in the artificial calibration and OpenCV calibration. The stereo matching adopt the SAD match which is a relatively rapid and real-time regional match and able to be better applied to actual projects.

Keywords: binocular stereo vision; OpenCV; camera calibration; stereo matching; disparity map

本文在 VC++ 的环境下, 采用 OpenCV 与 MATLAB 相结合的方法开发了一种新的双目测距系统. 先通过 MATLAB 对标定图像进行标定 (该方法较于人工标定和 OpenCV 标定具有更高的精确性和鲁棒性), 再将标定的结果导入到 OpenCV 进行后续的图像校正和立体匹配, 快速而实时的计算出周围目标景物的三维深度信息. 实验验证, 该系统在提高精度和实时性方面有所提高, 能够更好地被应用于工程实际中.

1 双目立体视觉模型

本文采用平行双目视觉模型, 让两摄像机光心

相距 T 平行放置. P 为现实场景中一目标点, P_l 和 P_r 是点 P 在左右图像上的成像点, X 轴上相应的坐标分别为 x_l 和 x_r , 则视差 $d = x_l - x_r$, 利用相似三角形可推导出目标点 P 与摄像机的距离 Z 值^[1]

$$\frac{T - (x_l - x_r)}{Z - f} = \frac{T}{Z} = \frac{T}{Z} \Rightarrow Z = \frac{fT}{x_l - x_r} \quad (1)$$

2 摄像机标定

2.1 摄像机标定原理

摄像机定标就是通过实验与计算求解摄像机参数的过程也称为标定, 就是确定摄像机的几何和光学参数、摄像机相对世界坐标系的位置关系, 涉及到

收稿日期: 2012-10-18.

作者简介: 汪珍珍 (1987—), 女, 硕士研究生.

通讯作者: 赵连玉 (1963—), 男, 教授, 硕士生导师, E-mail: lianyuzhao@163.cn.

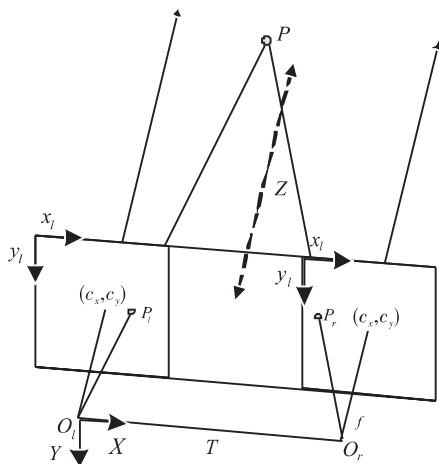


图1 平行双目立体视觉模型

Fig. 1 Parallel binocular stereo vision model

世界坐标系、摄像机坐标系和图像坐标系等3个坐标系^[2]. 其中图像坐标分为图像平面坐标(以毫米为单位)和图像像素坐标(以像素为单位), 他们之间的转换关系为:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/dx & 0 & u_0 \\ 0 & 1/dy & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ l \end{bmatrix} \quad (2)$$

其中 \$(u, v)\$ 图像像素坐标 \$(x, y)\$ 是图像平面坐标. 在摄像机投影模型中, 世界坐标系与摄像机坐标系的转换关系可以表示为:

$$\begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

其中 \$(X_c, Y_c, Z_c, 1)^T\$ 是点 \$P\$ 在摄像机坐标系下的坐标, \$(X_w, Y_w, Z_w, 1)^T\$ 是点 \$P\$ 在世界坐标系下的坐标. \$\mathbf{R}, \mathbf{t}\$ 分别表示旋转矩阵和平移向量. 利用针孔模型可得点 \$P\$ 在图像上的成像位置为

$$\begin{cases} x = \frac{f}{Z_c} X_c \\ y = \frac{f}{Z_c} Y_c \end{cases} \quad (4)$$

将(2)式与(3)式代入到(4)中可得

$$Z_c \begin{bmatrix} u \\ v \\ l \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/dx & 0 & u_0 \\ 0 & 1/dy & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} f & 0 & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & f_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_1 \mathbf{M}_2 X_w \quad (5)$$

其中 \$\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2\$ 分别为摄像机内外参数矩阵, 确定 \$\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2\$ 的过程即为摄像机的标定. 在得到目标点在图像上的成像位置后, 即可根据(5)式求得摄像机的内外参数 \$\mathbf{M}_1, \mathbf{M}_2\$.

2.2 摄像机标定

基于标定板的摄像机参数标定可以有3种实现方法: 人工标定、基于 MATLAB 工具箱的标定方法和借助 OpenCV 的自标定方法. 其中借助 MATLAB 标定工具箱进行立体标定. 相对于人工标定和 OpenCV 的标定方法具有更高的精度和较强的鲁棒性, 故本文采用 Bouguet 的 MATLAB 标定工具箱来标定, 再将标定的结果读入 OpenCV, 来进行后续图像校准和匹配. 标定过程大致如下.

1) 自制标定板, 打印角点数为 \$8 \times 8\$、大小为 \$27 \text{ mm} \times 27 \text{ mm}\$ 国际象棋棋盘格图案贴在硬质塑料板上制成的标定板, 如图2所示.

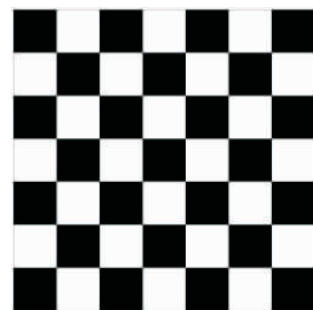


图2 标定方格板

Fig. 2 Calibration grid board

2) 图像采集与读取, 利用两平行放置的摄像机同时对标定板的不同角度图像进行采集, 一般采集的图像组越多, 标定效果越好, 建议 \$10 \sim 20\$ 组, 本文摄像机共采集 12 组图像对, 如图3和图4所示:

3) 提取角点, 点击主控界面上的 Extract grid corners, 提取每幅图的角点. 如下图所示.

4) 单目标定, 依次提取完 12 幅图的角点后, 通过 Calibration 进行摄像机的标定. 经过多次迭代后, 程序会最终得到摄像头的内外参数, 点击 Save 程序会将标定结果分别以 mat 格式的文件保存.

5) 立体标定, 通过 stereo_gui 命令对左右两摄像机的标定结果进行立体标定, 得到两个摄像头之

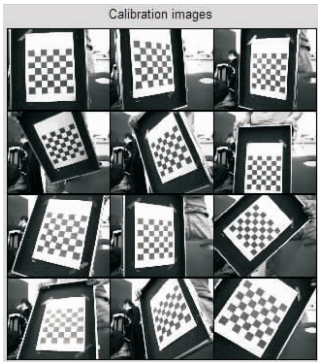


图 3 左相机的标定图像

Fig. 3 Left camera calibration image

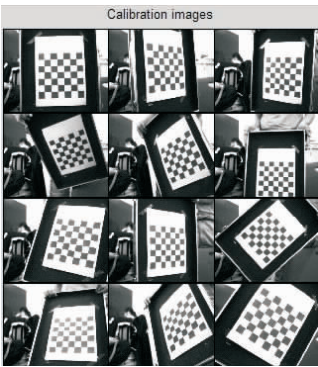


图 4 右相机的标定图像

Fig. 4 Right camera calibration image

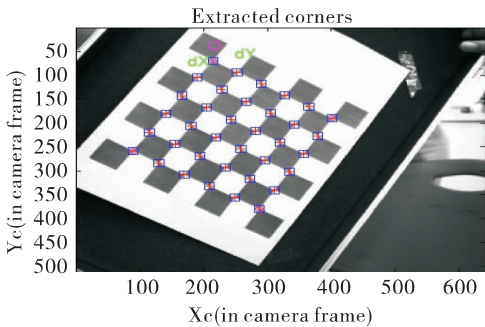


图 5 提取角点

Fig. 5 Extract corner

间位置关系的旋转矩阵 R 和平移向量 T .

3 立体匹配

立体匹配的基本原理就是通过寻找在不同视点下投影图像中同一空间景物像素间的对应关系,通过计算像素之间的视差进而获取景物的三维信息^[3].此系统立体匹配采用的是快速有效的块匹配立体算法,该算法有多种匹配算法,如绝对误差累计 SAD、图像的相关性 NCC、图像序列中对应像素差的

平方 SSD 等,其中 SAD 算法简单,搜索速度快,能够快速有效的实现匹配,符合立体视觉系统的快速性要求,所以选用该算法. SAD 算法的基本流程如下:

- 1) 构造一个小窗口,类似与卷积核.
- 2) 用窗口覆盖左边的图像,选择出窗口覆盖区域内的所有像素点.
- 3) 同样用窗口覆盖右边的图像并选择出覆盖区域的像素点.
- 4) 左边覆盖区域减去右边覆盖区域,并求出所有像素点差的绝对值的和.
- 5) 移动右边图像的窗口,重复 3 4 的动作.
- 6) 找到这个范围内 SAD 值最小的窗口,即找到了左边图像的最佳匹配的像素块.

该算法可采用 OpenCV 提供的算法函数 `cvFindStereoCorrespondenceBM()` 来实现^[4],其结构如下.

```
void cvFindStereoCorrespondenceBM(  
    const CvArr * leftImage ,  
    const CvArr * leftImage ,  
    CvArr * disparityResult ,  
    Cv StereoBMState * BMState  
);
```

经过对左右图像的对应点进行立体匹配后可得到是视差深度图如图 6 所示.



图 6 视差图

Fig. 6 Disparity map



图 7 原图

Fig. 7 Original image

由图 6 可看出,实验得到的图像中匹配点比较

稠密,较好的完成了对现实场景中匹配,可以从视差图中较直接地获得物体的深度信息,立体匹配效果较好。

4 实验结果与分析

实验采用两个平行放置的摄像头同时对标定板的不同摆置进行拍摄,得到 12 组不同位置相对应的左右图像(大小为 640×512),并对这些图像进行标定的结果如下:

$$M_1^l = \begin{bmatrix} 810.837 & 0 & 357.959 & 0 \\ 0 & 807.981 & 259.405 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (8)$$

$$M_1^r = \begin{bmatrix} 800.679 & 0 & 344.090 & 0 \\ 0 & 802.055 & 278.689 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (9)$$

$$R = \begin{bmatrix} 0.9999 & 0.0034 & 0.0062 \\ 0.0034 & 1.0000 & 0.0018 \\ 0.0062 & 0.0018 & 1.0000 \end{bmatrix} \quad T = \begin{bmatrix} 58.931 \\ 1.087 \\ -6.056 \end{bmatrix} \quad (10)$$

标定好之后,将标定结果导入到 OpenCV 进行立体校正和立体匹配,运用三角测量原理再对某些对应的匹配点的深度信息进行提取,同时并与实际精确测量出的实际深度信息进行比较。实验结果如下:

表 1 测距结果

Tab. 1 Distance measurement results 单位: mm

目标	计算的距离	实际测量的距离	误差
1	101.34	100	1.34%
2	152.07	150	1.38%
3	202.95	200	1.47%
4	304.64	300	1.55%
5	406.98	400	1.75%
6	511.55	500	2.31%
7	615.79	600	2.63%
8	720.39	700	2.91%
9	827.22	800	3.40%
10	945.12	900	5.01%
11	1053.04	1000	5.30%

从标定的实验结果看,旋转矩阵 R 近似于单位矩阵,基本上无旋转,符合前文所介绍的平行双目立体视觉模型。标定得到两摄像机相距为 58.931 mm,而两摄像机之间的实际距离为 60 mm,标定结果与之比较相近。从测距的实验结果看,当所需测量的目标物体距离摄像机越近时,系统提取目标的深度信息越稳定,精度也相对较高。

5 结 论

本文主要研究了一种基于 MATLAB 与 OpenCV 相结合的双目立体视觉测距系统,通过在 VC++ 的环境下,基于双目测距的基本原理,借助 MATLAB 标定工具箱对摄像机进行标定,将得到的摄像机内外参数等结果导入到 OpenCV 进行后续的图像校正与立体匹配等,最终得到实际场景中物体的三维信息。根据实验结果可知,该系统较好的完成了图像的立体匹配以及视差图的获取,有较好的稳定性和较高的鲁棒性,对现实场景中目标点的测量达到了一定的精度。同时,由于受到图像边界、弱纹理以及真实场景中图像噪声较大的影响,存在一定的误差以及误匹配,导致了测量距离较远的目标物体距离时精度较低。

参 考 文 献:

- [1] 罗 丹,廖志贤. 基于 OpenCV 的双目立体视觉测距[J]. 大众科技, 2011(4): 52-53.
- [2] 徐 奕,周 军,周源华. 立体视觉匹配技术[J]. 计算机工程与应用 2003(15): 1-5.
- [3] 霍智勇,朱秀昌. 基于区域的立体匹配算法研究[J]. 南京邮电大学学报: 自然科学版 2011(3): 44-49.
- [4] Gary Bradski, Adrian Kaebler. 学习 OpenCV[M]. 于世琪,刘瑞祯,译. 北京: 清华大学出版社 2009.