

Algorithm and Technology of Image Area Measurement Based on Binocular Stereo Vision

Juanjuan Che¹, Jian Zhang², Xuehong Cao^{1,2}

¹College of Communication and Information Engineering, Nanjing University of Posts and Telecommunication, Nanjing

²College of Communication Engineering, Nanjing Institute of Technology, Nanjing

Email: juanjuan_che@163.com

Received: Jul. 31st, 2013; revised: Aug. 26th, 2013; accepted: Sep. 8th, 2013

Copyright © 2013 Juanjuan Che et al. This is an open access article distributed under the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Abstract: A binocular stereo vision system with a common USB camera is developed based on the distance measurement principle of binocular stereo vision, and the non-contact and on-line inspection method for the area of image is studied. First, we calibrate the camera and obtain the internal parameters of the camera. Second, horizontal parallax of the corresponding points in two images is calculated by template matching based on OpenCV, and then the distance parameter is obtained. Finally, we find the spatial geometrical relationship between the image of the imaging plane and the actual image, and then the actual area of image is gotten. This method is easy to realize with low cost and real-time performance. The experiment indicates that the algorithm meets the accuracy requirements within certain range of measurement.

Keywords: Binocular Stereo Vision; Camera Calibration; Template Matching; Parallax; Geometrical Relationship

基于双目立体视觉的图像面积测量算法与技术

车娟娟¹, 张健², 曹雪虹^{1,2}

¹南京邮电大学通信与信息工程学院, 南京

²南京工程学院通信工程学院, 南京

Email: juanjuan_che@163.com

收稿日期: 2013年7月31日; 修回日期: 2013年8月26日; 录用日期: 2013年9月8日

摘要: 本文基于双目立体视觉测距原理, 用普通的 USB 摄像头搭建双目立体视觉系统, 提出了图像面积的非接触在线测量方法。首先对摄像头进行标定, 得到摄像头的内参数, 然后根据 OpenCV 的模板匹配算法, 求出两幅图像中对应匹配点的水平视差, 得到距离参数, 最后根据平行双目视觉的成像原理, 求得实际图像与其在成像平面上的图像之间的空间几何关系, 进而求出图像的实际面积。该方法实现简单、成本低、实时性好。经过实验验证, 该算法在一定测量范围内达到精度要求。

关键词: 双目立体视觉; 摄像机标定; 模板匹配; 视差; 几何关系

1. 引言

人类视觉系统能够通过眼睛成像来感知现实世界中的三维物体, 表明人类视觉系统具有从二维景物图像感知三维信息能力, 这对立体视觉技术理论的形

成具有重要的指导意义。在人类用计算机实现对视觉信息处理的过程中形成了一门新兴的学科——计算机视觉^[1], 而基于计算机视觉的测量技术作为一种非接触式的先进测量技术, 具有精度高、效率高、成本低

等诸多优点，有着广阔的应用前景。

面积是物体主要的二维特征之一^[2]，在对一些大尺寸物体和人类视觉无法感知场合的物体进行实际面积测量时，常用测量工具无法完成的测量工作，计算机视觉更显示出其无可比拟的优越性。人们对于利用双目立体视觉系统进行测距的研究已经很成熟了，然而利用双目立体视觉系统进行物体面积测量的研究却不是很多，文献[3]测量面积的方法是先计算出图像像素面积，然后换算出图像的实际面积，这种方法算法复杂，误差比较大。另一种方法可以先求出特征点的空间坐标，再求出面积，但前提是特征点在左右图像平面上的 Y 坐标相等^[4]，然而在实验过程中，我们很难保证两个摄像头完全在一个平面上，即不可能使 Y 坐标相等，因此这种方法对测量仪器的要求较高，为了避免上述两种方法的缺点，本文提出的一种运用普通 USB 摄像头构建的双目视觉系统测量图像面积的方法算法简单，不需要保证 Y 坐标相等且在一定测量范围内达到了精度要求。其具体实现过程是：先做摄像机标定和特征点匹配，测量出图像到双目系统的距离参数，然后利用实际图像与其在成像平面上的图像之间的空间几何关系，最后计算出实际面积。

2. 双目立体视觉系统测距原理

为了测量面积，图像到双目立体视觉系统的距离是必不可少信息。图 1 所示为简单的平行双目立体测距原理图，两摄像机的光心连线的距离为基线距，表示为 B ，摄像机焦距为 f 。两摄像机在同一时刻拍摄空间物体的同一特征点 P ，分别在左 CCD 像面和右 CCD 像面上获得了包含特征点 P 的图像。

该特征点在两幅图像上的坐标分别为 $P_l(X_{\text{Left}}, Y_{\text{Left}})$ 、 $P_r(X_{\text{Right}}, Y_{\text{Right}})$ ，由相似三角形关系可得：

$$\frac{B - |X_{\text{Left}} - X_{\text{Right}}|}{z - f} = \frac{B}{z} \quad (1)$$

由(1)式可以得出：

$$z = \frac{Bf}{|X_{\text{Left}} - X_{\text{Right}}|} \quad (2)$$

其中视差 $D = |X_{\text{Left}} - X_{\text{Right}}|$ ， f 为摄像机标定所求的参数。

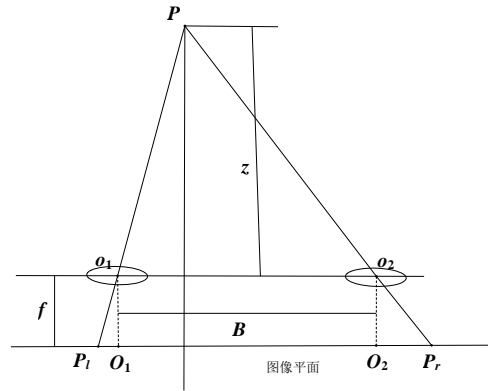


Figure 1. The principle of binocular stereo vision distance measurement
图 1. 双目立体视觉测距原理

3. 双目立体视觉系统面积测量原理

本文提出了一种基于双目立体视觉测距原理，利用实际图像与其在成像平面上的图像之间的空间几何关系的面积测量方法。

图 2 是不考虑畸变情况下的典型的双目视觉成像系统，由图 2 可以看出，立体视觉中左右摄像机的放置和相应的各种坐标系，设左右两侧的图像坐标系分别为 $O_1x_1y_1$ 和 $O_2x_2y_2$ ，三维空间中一点 P 通过镜头的聚焦在图像传感器上成像，其像点 P_1 、 P_2 在图像坐标系下的坐标分别为 (X_1, Y_1) 和 (X_2, Y_2) 。点 o_1 和 o_2 分别为左右两侧摄像机镜头的光学主点。为了简化分析过程，设双目摄像机水平摆放。以左侧摄像机镜头光学主点 o_1 为测量坐标系原点建立三维测量坐标系 $oxyz$ ，光轴 O_1o_1 与 z 轴重合，线段 o_1o_2 称为双目立体视觉系统的基线，其长度为 B 。若摄像机的有效焦距分别为 f_1 、 f_2 ，空间点 P 与摄像机光学中心的连线与两摄像机光轴的夹角分别为 ω_1 、 ω_2 ，可以由像点 P_1 、 P_2 在像平面上的坐标与焦距 f_1 、 f_2 比值的反正切函数得到：

$$\begin{cases} \omega_1 = \arctan\left(\sqrt{X_1^2 + Y_1^2} / f_1\right) \\ \omega_2 = \arctan\left(\sqrt{X_2^2 + Y_2^2} / f_2\right) \end{cases} \quad (3)$$

其中 $P_1O_1 = \sqrt{X_1^2 + Y_1^2}$ 、 $P_2O_2 = \sqrt{X_2^2 + Y_2^2}$ 。

同时可以得到：

$$\begin{cases} P_1o_1 = \sqrt{P_1O_1^2 + f_1^2} \\ P_2o_2 = \sqrt{P_2O_2^2 + f_2^2} \end{cases} \quad (4)$$

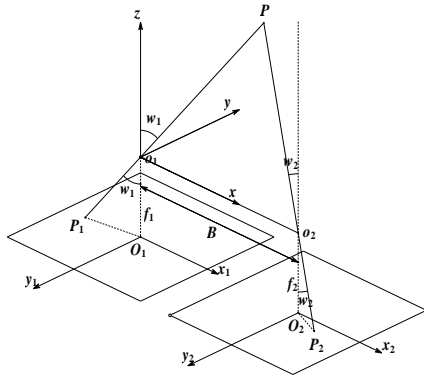


Figure 2. The imaging system of binocular stereo vision
图 2. 双目视觉成像系统

结合(2)式和(3)式可以求得:

$$\begin{cases} P_{O_1} = \frac{z}{\cos w_1} \\ P_{O_2} = \frac{z}{\cos w_2} \end{cases} \quad (5)$$

由上述可知我们可以根据(2)式求出几何图形每个顶点到立体视觉系统的距离记为 z_1 、 z_2 和 z_3 。(本文中实验的几何图形为三角形 PQR)

同理可以求出三个顶点到光学主点 o_1 、 o_2 的距离 P_{O_1} 、 P_{O_2} 、 Q_{O_1} 、 Q_{O_2} 、 R_{O_1} 、 R_{O_2} 。

以左摄像机拍摄的图形为例,待测三角形与其在图像平面的三角形之间的空间几何关系如图 3 所示:

如图 3 所示,设 P 点、 Q 点和 R 点在左摄像机图像平面上的坐标分别为 $P_l(x_1, y_1)$ 、 $R_l(x_2, y_2)$ 、

$$Q_l(x_3, y_3) \text{ 则由上述可知: } \begin{cases} w_p = \arctan \frac{\sqrt{x_1^2 + y_1^2}}{f} \\ w_r = \arctan \frac{\sqrt{x_2^2 + y_2^2}}{f} \end{cases},$$

$$\begin{cases} P_{O_1} = \frac{z_1}{\cos w_p} \\ R_{O_1} = \frac{z_2}{\cos w_q} \end{cases} \text{ 及 } \begin{cases} P_l O_1 = \sqrt{P_l O_1^2 + f^2} \\ R_l O_1 = \sqrt{R_l O_1^2 + f^2} \end{cases}, \text{ 其中 } z_1, z_2 \text{ 为 } P$$

点、 Q 点到光学主点 o_1 的距离, $P_l O_1 = \sqrt{x_1^2 + y_1^2}$ 、 $R_l O_1 = \sqrt{x_2^2 + y_2^2}$, 因为两个摄像机配置相同, 所以 $f_1 = f_2 = f$ 。

因为 P_l 、 R_l 在图像平面的坐标已知, 所以 $P_l R_l = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$, 进一步可以得到:

$$\alpha = \arccos \frac{P_l O_1^2 + R_l O_1^2 - P_l R_l^2}{2 P_l O_1 \times R_l O_1} \quad (6)$$

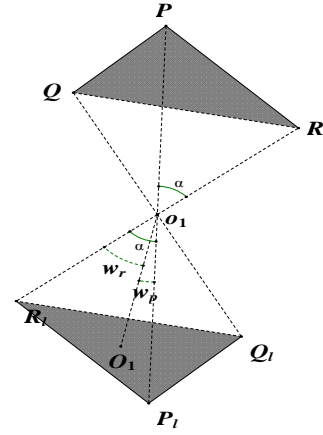


Figure 3. The spatial geometrical relationship between triangle under test and triangle on the imaging plane
图 3. 待测三角形与其在图像平面三角形的空间几何关系图

则 $PR = \sqrt{P_{O_1}^2 + R_{O_1}^2 - 2 \cos \alpha P_{O_1} \times R_{O_1}}$, 同理可以求出其它两条边的边长 PQ 、 RQ , 最后得到三角形的面积:

$$S = \sqrt{P(P - PQ)(P - PR)(P - QR)} \quad (7)$$

其中 $P = \frac{PQ + PR + QR}{2}$ 。

4. 基于双目立体视觉的图像面积测量的算法实现流程

上述距离参数的确定要靠摄像机标定和特征点匹配来获得, 本文中摄像机标定采用的是张正友的摄像机标定法^[5,6], 标定前首先对标定板进行角点检测, 因为对标定板提取的角点的坐标值的精确度会对摄像机标定的精度产生影响, 所以标定点先采用传统的 Harris 算子^[7]检测出像素级的角点坐标, 再通过亚像素角点到周围像素点的矢量应垂直于图像的灰度梯度这个观察事实^[8]得到角点的亚像素坐标; 然后进行标定, 得出摄像机的参数。面积测量首先要对图像进行特征点匹配, 得出匹配点的视差后, 再由三角测量理论结合标定参数计算出待测图形到双目立体视觉系统的距离。最后根据上述的测量面积原理计算出实际面积的大小。

特征点匹配

特征点匹配是要找出需要配准的两幅图像中正确匹配的特征点。考虑到实验中采用的立体图像对纹理比较简单, 因此本文的特征点匹配采用的是 OpenCV

提供的模板匹配算法 `cvMatchTemplate`^[9]，该算法的优点就是简单，直接，运行速度比较快，但不具有旋转不变性和尺度不变性。

为了适合本实验的应用要求，实验中对左右图像分别进行了角点检测，然后把左图中的特征点作为模板图像，与右图中的特征点进行模板匹配，相似度最大的，则认为是最佳匹配点，最后计算出最佳匹配点的像素坐标。图 4(a)、(b)为双目系统中，左右摄像头所拍摄到的三角形，论文采用的匹配方法得到的匹配图如图 4(c)。

实验得出该算法所用的时间为 2 ms 左右，计算的速度相对比较快的。从左右匹配图中，可以看出匹配效果还是比较好的，左图中的特征点在右图中基本上都能找到相应的匹配点，误匹配点很少。

5. 实验结果及讨论

5.1. 摄像机标定实验

$$\text{摄像机内参矩阵 } A = \begin{pmatrix} f_x & s & u_0 \\ 0 & f_y & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, f_x、f_y \text{ 分别}$$

为 u 和 v 的有效焦距，很多情况下令 $s = 0$ ， u_0 、 v_0 为图像中心坐标。

实验测量工具采用 2 个 USB 摄像头及一把钢尺构成的双目视觉系统，先用两个摄像头拍摄两幅图像，再换标定板的摆放位置，继续在左右拍摄点拍摄得到左右图像，以此类推。实验采用左右各 10 幅图像来标定，图像大小为 640×480 ，得到的左右摄像头的内参矩阵结果如下：

$$A_l = \begin{pmatrix} 749.15884 & 0 & 275.93266 \\ 0 & 741.78180 & 223.60537 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$A_r = \begin{pmatrix} 753.08179 & 0 & 275.13763 \\ 0 & 745.23099 & 212.08890 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

5.2. 面积测量实验

为了便于计算和比较测量误差，实验测量的图形为一个等边三角形，边长为 10 cm。实验中设置两摄像头之间的距离为 200 mm，即基线距。为了得到距离参数，对左右图像进行特征点匹配，如图 4(c)所示，

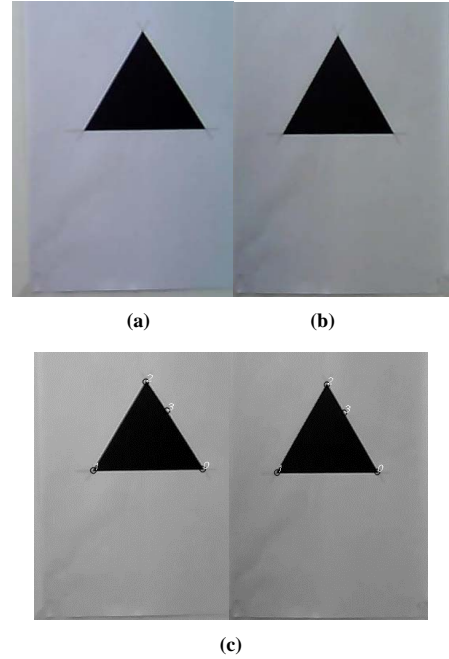


Figure 4. The experimental images of feature point matching; (a) Left image under test; (b) Right image under test; (c) Matching figure (the matching point pairs has the same number)
图 4. 特征点匹配实验图; (a) 左侧待测图形; (b) 右侧待测图形; (c) 待测图形匹配图(数字相同的为一对匹配点)

可以得到三个顶点的视差，然后根据(2)式可以得到三个顶点的距离。最后根据本文介绍的面积测量的方法，如图 3 所示，可以计算出两组三角形面积测量结果。设三角形的三个顶点分别为 P 、 Q 、 R ，三个顶点到成像平面上的点设为 $P1$ 、 $Q1$ 、 $R1$ ，则计算结果如表 1 所示：

从表 1 中可见，两组测量同一三角形的实际面积的实验误差在 2%以内。根据一切图形除点和线外都是由三角形组成的原理，以多边形的中心连接多边形的各个顶点，就得到一组三角形，最后利用本文中测量三角形面积的方法，就可以测量出任意一个多边形的面积。

6. 结束语

本文利用廉价的 USB 摄像头构建了双目视觉系统，在短距离内实现了较为精确的面积测量，并通过实验验证了本文算法的可行性因而具有广泛的实用性。由于标定误差、人为误差以及其他因素的影响，例如未对标定图像和待测图形进行预处理，这些因素的影响导致了在距离摄像机越远的地方测量得到的面积信息精度越差，如果提高实验设备性能，误差将

Table 1. The results and error of area measurement
表 1. 三角形面积测量结果及误差

序号	三点坐标	测量边长	实际边长	测量面积	实际面积	面积误差
1	P1 (228.342, 43.622)	PR = 9.7323815	PR = 10	42.56	43.30	1.7%
	Q1 (151.737, 167.897)	PQ = 9.65471178	PQ = 10			
	R1 (305.746, 167.048)	RQ = 10.4093064	RQ = 10			
2	P1 (524.314, 42.6206)	PR = 9.678082463	PR = 10	43.25	43.30	0.12%
	Q1 (451.1, 168.178)	PQ = 9.90717955	PQ = 10			
	R1 (603.411, 165.73)	RQ = 10.4439041	RQ = 10			

注：边长单位为厘米，面积单位为平方厘米。1 和 2 组实验的三点到双目测距系统的距离为 500 mm。

会进一步减少。

7. 致谢

本课题的完成，得到了导师张健副教授和曹雪虹教授的悉心指导。从论文选题、论文研究到整个论文的完成，处处渗透着张老师和曹老师的心血和劳动。这段时间，张老师和曹老师在学习上和生活中都给予我很多的支持和帮助，他们严谨求实的治学作风、锐意创新的思想意识、孜孜不倦的科研精神和平易近人的师长风范，深深地鞭策和教育着我。在此，谨向导师张健副教授和曹雪虹教授表示崇高的敬意和衷心的感谢。

在这段时间的日常学习以及最后课题的完成过程中，也得到了实验室很多同学的热情指导和帮助，在此也表示衷心的感谢。

参考文献 (References)

- [1] 马颂德, 张正友 (1997) 计算机视觉. 科学出版社, 北京.
- [2] 阮秋琦 (2001) 数字图像处理学. 电子工业出版社, 北京.
- [3] 尤路, 付永庆, 王咏胜 (2008) USB 摄像头平行双目视觉系统在面积测量中的应用. *应用科技*, 2, 1-4.
- [4] 高强, 李青, 康丹, 黄霞 (2010) 电力线巡检立体图像的视差估计方法. *计算机应用*, S2, 104-106.
- [5] Zhang, Z.Y. (2000) A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 22, 1330-1334.
- [6] Zhang, Z.Y. (1999) Flexible camera calibration by viewing a plane from unknown orientations. *Proceedings of the International Conference on Computer Vision (ICCV'99)*, Corfu, 21-22 September 1999, 666-673.
- [7] Harris, C.G. (1988) A combined corner and edge detector. *Proceeding of the Fourth Alvey Vision Conference*, Manchester, 31st August-2nd September 1988, 147-151.
- [8] 梁志敏, 高洪明, 王志江, 吴林 (2006) 摄像机标定中亚像素级角点检测算法. *焊接学报*, 2, 102-104.
- [9] Bradski, G.R. and Kaehler, A. (2008) Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library. O'Reilly, Sebastopol.