

文章编号:1674-2869(2011)05-0101-05

双目立体视觉测量系统的研究与实现

陈 念¹,李 进¹,王海晖^{1,2}

(1. 武汉工程大学 计算机科学与工程学院,湖北 武汉 430205;
2. 武汉工程大学 智能机器人湖北省重点实验室,湖北 武汉 430205)

摘 要:根据双目视觉原理,介绍了双目立体视觉测量系统的组成,对系统涉及的关键技术进行了有关的探讨和研究.利用 VC 6.0 与 HALCON 软件开发平台结合相关硬件设备,实现了双目立体视觉测量系统.系统各模块经过试验测试和验证,能够对空间物体的三维位置坐标进行高精度的测量,满足对物体三维测量要求.
关键词:双目立体视觉;图像处理;摄像机标定;三维测量
中图分类号:TP242.6⁺2 **文献标识码:**A **doi:**10.3969/j.issn.1674-2869.2011.05.026

0 引 言

客观现实世界是一个三维的空间世界,常用的摄像机、数码相机等图像捕获设备利用光学镜头成像原理只能获取到二维图像,但二维图像几乎失去了物体所有的深度信息,然而物体的三维图像能够更加全面、真实地反映客观物体,提供更加丰富而准确的信息,所以有必要从二维图像中重构场景的三维空间,以获取其三维信息.人的视觉系统具有将获取的图像信息转换为立体视图的功能,实现对客观世界三维场景的感知、认识和理解.双目立体视觉测量系统正是根据此原理,模拟人类视觉处理景物的方式,探求从二维图像中恢复三维空间信息的方法,达到从图像认识世界的目的.双目立体视觉技术在物体三维测量中的应用日益成为计算机视觉、虚拟现实、生物工程和多媒体技术等前沿领域研究的重要内容.

1 双目立体视觉原理

双目视觉测量原理是从两个视点观察同一物体,以获取在不同视角下的感知图像,通过三角几何原理计算图像像素间的位置偏差(即视差)来获取景物的三维信息^[1].空间点是构成三维空间结构的最基本单元,理论上可以由点形成线,由线形成面,再由各种面构成三维立体结构.因此,空间点的坐标测量是双目立体视觉的最基本内容.

三维空间点成像模型如图 1 所示,对于空间

物体表面任意一点 P ,如果用 C_1 和 C_2 两个摄像机同时观察 P 点, P 在两相机的投影分别为 P_1 、 P_2 ,并且已经确定 P_1 与 P_2 为双目视觉图像的匹配点,那么可以得出, P 点既位于直线 O_1P_1 上,又位于直线 O_2P_2 上.因此, P 就是这两条直线的交点,它的三维位置是唯一确定的.

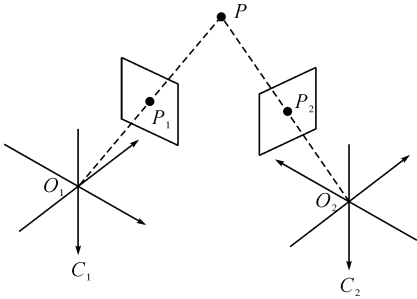


图 1 双目视觉成像原理

Fig. 1 Principle of binocular vision imaging

令世界坐标系下空间点 $P(X,Y,Z)$ 在两个摄像机像平面上的投影坐标分别为 $P_1(u_1,v_1)$ 和 $P_2(u_2,v_2)$,点 P_1 、 P_2 坐标均以像素为单位.根据针孔成像模型,经过理论推导可以得到像素坐标和世界坐标之间的关系为^[2]:

$$s \begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_x & 0 & u_0 & 0 \\ 0 & a_y & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{t} \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \tag{1}$$

式(1)中, s 是比例系数; $a_x = \frac{f}{d_x}$, $a_y = \frac{f}{d_y}$;矩阵

收稿日期:2011-01-14
基金项目:武汉工程大学第五届校长基金资助项目
作者简介:陈 念(1989-),男,湖北汉川人,研究方向:数字图像处理、机器视觉.
指导教师:王海晖,男,教授,博士,硕士研究生指导老师.研究方向:模式识别、数字图像处理.

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & r_{13} \\ r_{21} & r_{22} & r_{23} \\ r_{31} & r_{32} & r_{33} \end{bmatrix}$$
为旋转矩阵, $\mathbf{t} = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix}$ 为平移矩

阵; f 为摄像机焦距; d_x 和 d_y 分别为图像坐标系中相邻像素在 X 轴和 Y 轴方向上的距离。

在测量系统中, 摄像机是基于双目平行的空间关系进行配置的。要求空间点 P 的坐标, 先用摄像机定标的方法分别求出双目摄像机的投影矩阵, 再将这两个投影矩阵分别带入式(1), 从而可以得到关于 X 、 Y 、 Z 的四个线性方程构成的超定方程组, 可利用最小二乘法解得该点的世界坐标。

2 图像预处理

从图像获取系统中得到的符合立体视觉原理的左右图像对, 由于各方面因素的影响, 会不可避免的存在噪声、干扰和失真现象, 造成图像质量的下降, 而两台摄像机由于接收的光强不同, 立体图像对间也会存在亮度差异。因此在对其进行分析和操作之前, 必须对原始图像进行必要的预处理。图像预处理的就是对图像采用一系列技术来降低噪声的影响和图像的失真, 改善图像的视觉效果, 突出有用信息、抑制无用信息^[3]。

基于上述问题, 提出一种图像预处理方法, 步骤如下:

(1) 采用阈值法将图像二值化, 效果如图 2、图 3 所示。



图 2 图像二值化前

Fig. 2 Before the binarization of an image

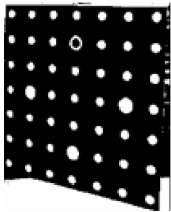


图 3 图像二值化后

Fig. 3 After the binarization of an image

(2) 采用阈值面积去噪法对图像进行降噪处理, 效果如图 4、图 5 所示。阈值面积去噪法即采用区域面积滤波的方式消除掉面积过大和面积过小的图像区域, 去掉标靶外围大部分干扰点, 得到标靶去噪后的二值化图像^[4]。

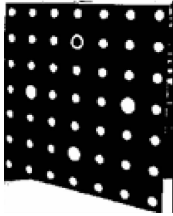


图 4 图像降噪处理前

Fig. 4 Before the image noise reduction processing

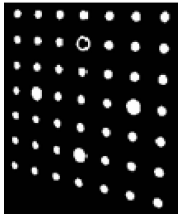


图 5 图像降噪处理后

Fig. 5 After the image noise reduction processing

(3) 保存经处理后的二值化图像。

经过处理后, 噪声与失真等不利因素明显减少, 标定版特征圆清晰可见, 且圆心坐标容易得到, 使得标定图像在特征检测与提取时有利于计算机分析和计算, 提高了系统精度。

3 双目摄像机标定

摄像机标定是指建立摄像机图像像素坐标与场景点三维坐标之间的关系, 根据摄像机模型, 由已知特征点的图像坐标和世界坐标求解摄像机的内外参数, 主要参数包括摄像机的畸变系数、焦距、中心点坐标、投影矩阵以及摄像机之间的旋转矩阵、平移矩阵^[5]。摄像机标定是双目立体视觉研究中需要解决的第一问题, 也是进行双目视觉三维重建和非接触三维测量时不可或缺的重要环节, 标定的精度直接影响最终的重建效果与测量误差。

双目立体视觉中双目摄像机标定与单个摄像机标定类似, 先用单摄像机标定的方法分别得到两个摄像机各自的内外参数, 然后利用两摄像机的外参数标定摄像机与摄像机之间的位置关系。设两摄像机的外参数分别为 \mathbf{R}_1 、 \mathbf{t}_1 与 \mathbf{R}_2 、 \mathbf{t}_2 (\mathbf{R} 为旋转矩阵, \mathbf{T} 为平移矩阵), \mathbf{R}_1 、 \mathbf{t}_1 表示摄像机 C_1 与世界坐标系之间的相对位置, \mathbf{R}_2 、 \mathbf{t}_2 表示摄像机 C_2 与世界坐标系之间的相对位置。对于空间任意一点 P , 由三维重建原理可得

$$\begin{cases} \mathbf{P}_1 = \mathbf{R}_1 \mathbf{P} + \mathbf{t}_1 \\ \mathbf{P}_2 = \mathbf{R}_2 \mathbf{P} + \mathbf{t}_2 \end{cases} \quad (2)$$

由式(2)消去 P 后得到:

$$\mathbf{P}_2 = \mathbf{R}_2 \mathbf{R}_1^{-1} \mathbf{P}_1 + \mathbf{t}_2 - \mathbf{R}_2 \mathbf{R}_1^{-1} \mathbf{t}_1 = \mathbf{R} \mathbf{P}_1 + \mathbf{t} \quad (3)$$

令摄像机 C_1 相对于摄像机 C_2 的位置关系为 \mathbf{R}, \mathbf{T} , 则

$$\begin{cases} \mathbf{R}=\mathbf{R}_2\mathbf{R}_1^{-1} \\ \mathbf{t}=\mathbf{t}_2-\mathbf{R}_2\mathbf{R}_1^{-1}\mathbf{t}_1 \end{cases} \tag{4}$$

由此,可以求出双目摄像机模型参数之间的几何关系.

结合对 HALCON 软件平台的使用,利用其算法动态库,通过不同的特征坐标值对摄像机进行多次标定,对于内、外参数,利用多次标定取平均值的方法进行确定.

首先,使用 HALCON 中亚像素阈值、亚像素边缘提取、圆心确定等一系列操作计算标定板上每个点的图像坐标以及标定板与摄像机之间大致的位置关系,即摄像机的外参初始值.然后,通过修改并调用 HALCON 库函数来确定两个摄像机的内参数、外参数以及两个摄像机之间的相对位置关系.最后,通过多次测量取平均值来确定相关参数信息.系统坐标计算精度为亚像素级,如某标志点在左摄像机图像坐标系中坐标为(624.610932,574.729904),在右摄像机图像坐标系中相应点坐标为(592.833922,604.261484).因此,系统具有较高的测量精度.表 1 为部分特征点在双目摄像机中的图像坐标.

表 1 特征点在双目摄像机的图像坐标
Table 1 Image coordinates of feature points in the binocular camera

点号	左摄像机		右摄像机	
	u	v	u	v
1	624.610 932	574.729 904	592.833 922	604.261 484
2	678.743 202	573.604 230	643.378 641	603.449 838
3	736.539 945	572.446 281	697.406 433	602.464 912
4	798.498 759	570.890 819	755.493 438	600.908 136
5	864.791 111	568.704 444	817.919 240	598.933 492
6	935.735 700	566.972 387	884.673 684	597.370 526
7	1011.582 593	566.296 625	956.505 597	596.832 090
8	623.539 007	506.173 759	591.843 284	536.440 299
9	677.463 950	503.106 583	642.323 333	533.220 000
10	735.117 318	499.692 737	696.323 442	530.094 955

左摄像机标定参数:

旋转矩阵:

$$\mathbf{R}=\begin{bmatrix} 0.845\ 207 & 0.031\ 973 & 0.533\ 482 \\ -0.009\ 125 & 0.998\ 927 & -0.045\ 41 \\ -0.534\ 361 & 0.033\ 516 & 0.844\ 592 \end{bmatrix}$$

平移向量: $\mathbf{t}=\begin{bmatrix} -13.723\ 388 \\ -507.209\ 815 \\ 2\ 355.424\ 530 \end{bmatrix}$

有效焦距: $f=5.086\ 001$

畸变系数: $k=0.003\ 742$

用同样的方法可以得到右摄像机标定参数.

最终计算出双目标定的结果.

双目摄像机标定结果:

欧拉角: $R_x=-0.026\ 907$; $R_y=0.042\ 819$;
 $R_z=0.005\ 11$

平移向量: $\mathbf{t}=\begin{bmatrix} -188.730\ 691 \\ -5.222\ 369 \\ 119.025\ 645 \end{bmatrix}$

4 立体匹配

在基于双目立体视觉的测量系统中,立体匹配是一个关键技术,它是指将同一空间景物在不同视点下投影图像的像素点对应起来,并由此生成相应的视差图(Disparity map)的过程.目前,立体匹配算法^[5-6]主要分为基于特征和基于区域两类.前一类选取图像中具有唯一性质的点作为匹配点,通常选择边缘、角点等;后一类考虑每个需要匹配的点的邻域性质,能够得到稠密的视差图.本文采用基于特征的立体匹配算法.

基于特征的匹配不是直接利用图像的灰度,而是通过灰度导出符号特征来实现匹配,因此这种方法对于对比度和光照变化等相对稳定,同时基于特征的匹配可以通过对特征属性的简单比较而实现,因此匹配的速度相对较快.

设 $I_L(x, y)$ 和 $I_R(x, y)$ 分别为左、右两幅图像,对于每一像素点计算在水平、垂直、左对角和右对角方向上相邻像素灰度值的平方和,取其最小值作为该像点特征值,即

$$F_L(x, y)=\min\{H, V, L, R\} \tag{5}$$

其中

$$H=[I_L(x, y)-I_R(x, y-1)]^2+$$

$$[I_L(x, y)-I_R(x, y+1)]^2$$

$$V=[I_L(x, y)-I_R(x-1, y)]^2+$$

$$[I_L(x, y)-I_R(x+1, y)]^2$$

$$L=[I_L(x, y)-I_R(x-1, y-1)]^2+$$

$$[I_L(x, y)-I_R(x+1, y+1)]^2$$

$$R=[I_L(x, y)-I_R(x-1, y+1)]^2+$$

$$[I_L(x, y)-I_R(x+1, y-1)]^2$$

为了消除噪声的影响,对所有特征图像取阈值 Th ,从而得到图像的所有特征点.

$$F_L(x, y)=\begin{cases} F_L(x, y), & F_L(x, y)\geq Th \\ 0, & else \end{cases} \tag{6}$$

在获得左、右图像的所有特征点后,进行两者之间的匹配.在理想情况下,左图像的每一个特征点在右图像中有唯一的特征点与之对应,但由于遮挡、阴影及噪声等影响,对左图像中的某些特征点,在右图像中可能没有对应点,或者有多个可能

对应点. 为了使两幅图像的特征点之间能够实现正确的对应, 通常在得到可能的特征匹配点集后, 设置一个初始匹配概率, 然后进行一个松弛迭代过程, 取那些具有较大匹配概率的可能匹配点作为最终的对应匹配点, 从而实现两幅图像间的对应问题的求解^[7-9].

5 测量系统结构与精度

已知摄像机成像模型和匹配关系后, 可以根据立体匹配得到的视差关系恢复物体的三维信息. 其中根据标定所得的摄像机内、外参数, 利用最小二乘法可求出离散空间点的三维坐标, 将这些点进行曲面拟合即可得到空间物体的三维模型. 本文设计的双目立体视觉测量系统提供三维测量函数接口, 只需将检测到的特征点在左右图像中的坐标值传递给该函数即可得到相应物点的三维坐标值.

系统分为硬件部分与软件部分, 如图 6、图 7 所示.

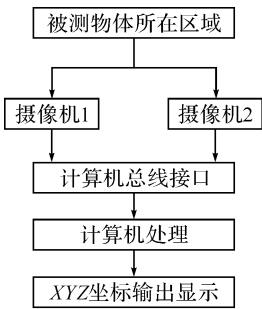


图 6 系统硬件连接图

Fig. 6 Connection diagram of the hardware in the system

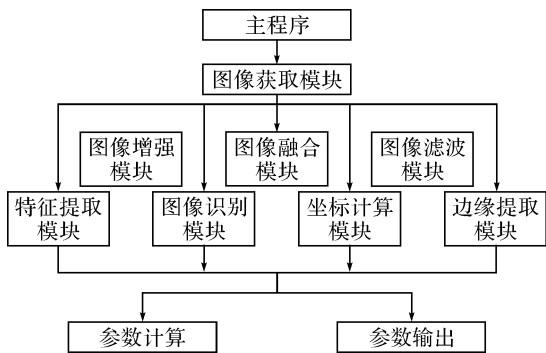


图 7 系统软件逻辑示意图

Fig. 7 Logical diagram of the software in the system

一般来讲, 距离测量精度与匹配定位精度成正比, 与摄像机基线(不同摄像机位间的连线)长度成反比. 增大基线长度可以改善深度测量精度,

但同时会增大图像之间的差异, 增加匹配的困难程度. 因此, 要设计精确的计算机立体视觉系统, 必须综合考虑各方面的因素, 保证各个环节都具有较高的精度. 在本系统中通过校正立体视觉系统的方法, 简化了匹配的复杂度, 通过使用图像金字塔以及各种约束提高了算法速度和精度, 另外也校正了倾斜对高度测量的影响等. 系统特征圆检测精度 0.02 像素, 通过 500 个标志点坐标的对应关系计算出的摄像机各个参数需要的时间约为 1.6 s, 标定残差小于 0.1 像素, 系统精度较高.

6 结 语

在进行双目立体视觉测量系统设计的基础上, 实现了具有较高精度的标定算法以及其他相关技术, 验证了所设计系统的可行性, 若要进一步提高测量精度, 还需要精心设计系统的每个环节以减小累积误差. 以视觉系统为基础的三维外形轮廓的非接触式、高速测量是一个重要的研究方向, 本文的工作只是这一技术领域的部分体现, 还有很多问题需要解决.

参考文献:

[1] 马颂德, 张正友. 计算机视觉-计算机理论与算法基础[M]. 北京: 科学出版社, 1998.

[2] 赵光兴, 于春雨. 基于双目视觉三维测量系统平台的搭建与实现[J]. 安徽工业大学学报, 2009, 26(4): 403 - 404.

[3] Rafael C. Gonzalez. 数字图像处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.

[4] 杨述斌, 陈艳菲, 程莉. 交替滤波的加权形态边缘检测算法[J]. 武汉工程大学学报, 2009, 31(7): 88 - 90.

[5] 张广军. 机器视觉[M]. 北京: 科学出版社, 2005.

[6] Myron Z, Darius B, Gregory D. Advances in computational stereo [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2003, 25 (8): 993 - 1008.

[7] 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 - 62.

[8] Lloyd S A, Haddow E R, Boyce J F. A parallel binocular stereo algorithm utilizing dynamic programming and relaxation labeling [C]//Computer Vision. Graphics and Image Processing, 1987, 39(2): 202 - 225.

[9] 贾贝贝. 基于双目立体视觉的三维人脸重建[D]. 北京: 北京交通大学, 2006.

Research and implementation of measurement system
based on binocular stereo vision

CHEN Nian¹, LI Jin¹, WANG Hai -hui^{1, 2}

(1. School of Computer Science and Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China;

2. Hubei Province Key Laboratory of Intelligent Robot, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430205, China)

Abstract: According to the principle of binocular stereo vision, this paper introduces the components of measurement system of binocular stereo vision and discusses about the relevant key technologies of the system. By using VC 6. 0 and HALCON software development platform and relevant hardware equipment, a measurement system of binocular stereo vision is built successfully. After each module pilot is tested and validated, the system can measure the coordinates of 3 - D position of space objects in high precision, and it satisfies the requirements of 3 - D measurement.

Key words: Binocular stereo vision; Image processing; Camera calibration; 3 - D Measurement

本文编辑:陈小平



(上接第 100 页)

Design of analog front-end for HF ground wave radar receiver

LUO Wen¹, WANG Qin², Yang Zi-jie²

(1. School of Science, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China;

2. School of Electronic Information, Wuhan University, Wuhan 430079, China)

Abstract: A novel analog front-end scheme is presented based on the performance index of the multi-frequency HF ground wave radar receiver and the idea on software defined radio. Noise figure, sensitivity, gain are calculated theoretically, the results show that the parameters match the requirements of the performance index. The scheme is practical and has the good prospect of the applications in marine monitoring.

Key words: Multi-frequency radar; analog front-end; low noise amplifier; electronical tuned filter

本文编辑:陈小平