

基于角点检测的双目视觉测距新方法

任继昌, 杨晓东

(海军潜艇学院, 山东 青岛 266042)

摘要: 为解决双目视觉中立体匹配困难、效率低的问题, 提出了一种基于角点检测的人工匹配方法实现双目视觉测距。首先介绍了双目测距基本原理, 对摄像机进行了标定, 并采用 Bouguet 立体校正算法对双目视觉系统进行立体校正; 然后采用 J. Shi 和 C. Tomasi 提出的角点方法对立体校正后的左右摄像机图像中被测目标上的同一特征点进行了亚像素级角点提取, 并利用提取的匹配角点坐标结合双目视觉测距公式实现距离测量。

关键词: 计算机视觉; 双目测距; 特征点匹配; 角点检测

中图分类号: V271.4; U666.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2013)07-0093-03

A New Method for Binocular Vision Ranging Based on Corner Detection

REN Jichang, YANG Xiaodong

(Navy Submarine Academy, Qingdao 266042, China)

Abstract: It is difficult to make stereo matching in distance measurement based on binocular vision, and the efficiency is low. To solve the problems, we proposed a new method based on corner detecting and manual matching. The basic theory of binocular vision based distance measurement was presented. The cameras were calibrated, and stereo rectification of binocular vision system was realized by using arithmetic of Bouguet. Then the method proposed by J. Shi and C. Tomasi was used to extract the sub-pixel corner points, which belonged to the same feature-point of the target in the left and right images. Finally, the coordinates of the matched corner points and distance-measuring formula were used to implement the distance measurement.

Key words: computer vision; binocular camera; feature point matching; corner detection

0 引言

双目视觉测距技术是计算机视觉技术的一种具体应用, 它仿照人类双眼感知周围环境空间深度的功能^[1], 利用两个摄像头从不同位置拍摄同一场景, 通过各种算法对所拍摄的立体图像对进行匹配, 并计算视差, 然后利用三角测量原理实现距离测量。立体匹配是双目视觉测距的关键环节, 其目的是在图像对的左右图像上寻找到同名的点, 并通过某种手段计算出视差。针对立体匹配问题, 国内外众多学者进行了深入研究^[2-5], 常用算法有基于相位的匹配、基于特征的匹配和基于区域的匹配这3种。以上方法计算量大、缺乏针对性, 且存在误匹配的情况, 因而效率较低。事实

上, 在进行测距时无需知道目标上每个点的坐标, 而只需知道目标上一些特征点坐标即可达到测距目的, 因而只需进行局部匹配即可。基于此思路, 本文提出一种基于亚像素级角点检测的人工匹配方法, 在一定程度上提高了匹配效率。

1 双目立体视觉三维测量原理

双目立体视觉测量基于视差原理, 图1所示为简单的双目平视立体成像原理图, O_1 、 O_r 分别表示左右摄像机光心, 两摄像机的投影中心线的距离, 即基线距为 B , f_c 表示摄像机的有效焦距。两摄像机在同一时刻观看空间物体的同一特征点 P , 分别在“左眼”和“右眼”上获取了点 P 的图像, 它们的图像坐标分别为 $p_1 = (X_1, Y_1)$, $p_r = (X_r, Y_r)$ 。假定两摄像机的图像在同一个平面上, 则特征点 P 的图像坐标 Y 相同, 即 $Y_1 = Y_r = Y$, 则由三角几何关系得到

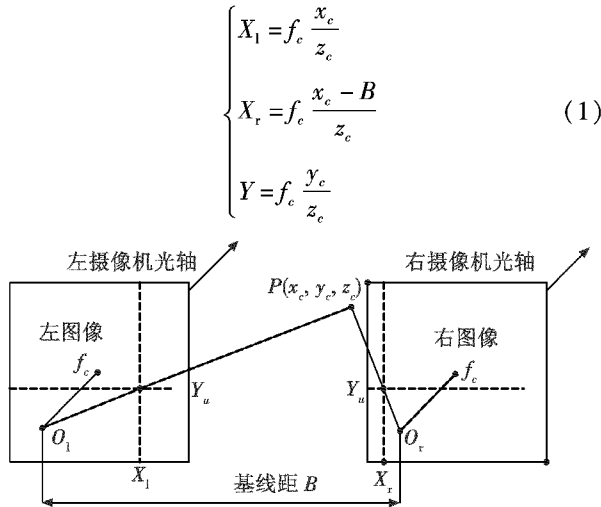


图1 双目立体成像原理

Fig. 1 Principle of binocular vision

设视差为 $D = X_l - X_r$ 。由此可计算出特征点 P 在摄像机坐标系下的三维坐标为

$$\begin{cases} x_c = B \cdot X_l / D \\ y_c = B \cdot Y_l / D \\ z_c = B \cdot f_c / D \end{cases} \quad (2)$$

同时可以容易得到特征点到坐标系原点的距离

$$s = \sqrt{x_c^2 + y_c^2 + z_c^2} \quad (3)$$

因此,左摄像机像面上的任意一点只要能在右摄像机像面上找到对应的匹配点(二者是空间同一点在左、右摄像机像面上的点),就可以确定出该点的三维坐标。

2 摄像机标定

立体标定是计算空间上两台摄像机之间的几何关系,立体标定前需要完成单个摄像机的标定工作。摄像机标定是指建立摄像机图像像素位置与场景点位置之间的关系,其途径是根据摄像机模型,由已知特征点的图像坐标和世界坐标求解摄像机的模型参数。

2.1 图像、摄像机坐标系和世界坐标系

图像坐标系是存储在计算机中的数字图像的坐标系,表示方法有两种:1) 以像素单位表示,坐标系原点位于图像的左上角,以 (u, v) 表示图像中的某一坐标;2) 用物理单位 mm 表示,设坐标的原点位于 (u_0, v_0) 像素点,即主点(摄像机光轴与图像平面的交点)。两种坐标表示方法比较如图2所示^[6]。则图像中任意一个像素在两个坐标系下的坐标有如下关系,

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{k} & 0 & u_0 \\ 0 & \frac{1}{l} & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

式中,像素点的物理大小为 $k \times l$,单位为 mm。

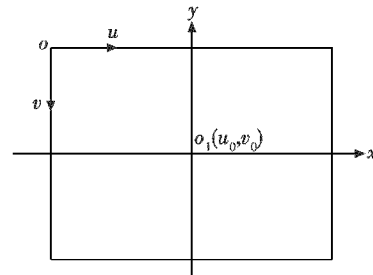


图2 图像坐标系

Fig. 2 Image reference frame

摄像机坐标系 (X_0, Y_0, Z_0) 是以摄像机镜头的光心为原点, X_0 轴和 Y_0 轴与图像坐标系的 x 轴和 y 轴平行, Z_0 垂直于图像平面。摄像机坐标系与图像坐标系的关系为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_c} \begin{bmatrix} f & -f \cot \theta & 0 & 0 \\ 0 & f & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

式中: f 为摄像机焦距; θ 为摄像机坐标系的偏斜度(一般情况下,摄像机坐标系垂直于图像坐标系,即成 90°)。

结合式(4)与式(5)可得

$$\begin{bmatrix} u \\ v \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_c} \begin{bmatrix} \frac{f}{k} & -\frac{f}{k} \cot \theta & u_0 & 0 \\ 0 & f & v_0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_c \\ Y_c \\ Z_c \\ 1 \end{bmatrix} = \frac{1}{Z_c} \mathbf{A} P_c \quad (6)$$

式中, \mathbf{A} 为摄像机内参数,包含了摄像机的6个内参数 $(k, l, u_0, v_0, f, \theta)$ 。

世界坐标系是用来描述摄像机位置的基准坐标系,同时也用来描述环境中任何物体的位置,它由 (X_w, Y_w, Z_w) 表示。摄像机坐标系与世界坐标系之间的关系可以用旋转矩阵 \mathbf{R} 与平移向量 \mathbf{T} 来描述, \mathbf{R} 与 \mathbf{T} 称为摄像机的外参数。它们之间的关系如下

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \mathbf{R} & \mathbf{T} \\ \mathbf{0}^T & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} = \mathbf{M}_2 \begin{bmatrix} X_w \\ Y_w \\ Z_w \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

式中: \mathbf{R} 为 3×3 正交单位矩阵; \mathbf{T} 为三维平移向量; $\mathbf{0} = (0, 0, 0)^T$; \mathbf{M}_2 为 4×4 矩阵。

2.2 摄像机标定

摄像机标定是指建立摄像机图像像素位置与场景点位置之间的关系,需要解算摄像机的内参矩阵 \mathbf{A} 中6个参数。本文采用 ZHANG 标定法^[7],结果如下。

右摄像机内参数为

$$A = \begin{bmatrix} 5614.12692 & 0 & 657.73666 \\ 0 & 5657.47615 & 153.18634 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

左摄像机内参数为

$$A = \begin{bmatrix} 5608.36549 & 0 & 446.68467 \\ 0 & 5606.84275 & 567.19080 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}。$$

3 图像立体校正

在真实世界中,摄像机几乎不可能像图1那样严格的前向平行对准,但可以通过数学方法计算投影图和畸变图,从而将左右摄像机图像校正为前向平行对准。本文按文献[8]中提及的Bouguet立体校正算法对双目视觉系统进行立体校正,结果如下。

校正后的右摄像机内参数为

$$A_r = \begin{bmatrix} 5677.0 & 0 & -720.236 \\ 0 & 5677.0 & 294.899 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

校正后的左摄像机内参数为

$$A_l = \begin{bmatrix} 5677.0 & 0 & -876.640 \\ 0 & 5677.0 & 294.899 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

旋转矩阵为 $R = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$; 平移向量为 $T = \begin{bmatrix} t_x \\ t_y \\ t_z \end{bmatrix} =$

$[-328.506 \quad -2.66453E-15 \quad 4.26326E-14]$ 。

结果显示 R 为单位矩阵,表明两摄像机已校正为前向平行,即校正后对应的左右摄像机图像满足行对准。同时 T 也发生了变化,参数 t_y, t_z 很小,几乎可以忽略,即可认为校正后的双目视觉系统在垂直方向和前后方向没有发生平移,达到了立体校正的要求。图3和图4分别为未校正和立体校正后的左右摄像机图像。

由图4边缘可以看出,校正后的图像与原图(图3)有一定变化(左视图上部、右视图下部有变化),且两幅图处于平行对准状态。

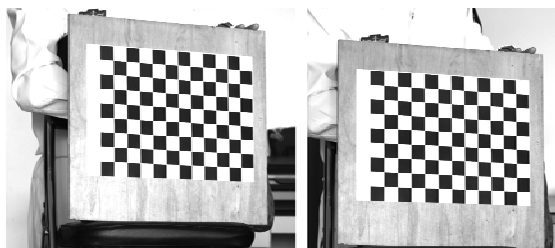


图3 未校正的左右摄像机图像

Fig.3 Unrectified pictures

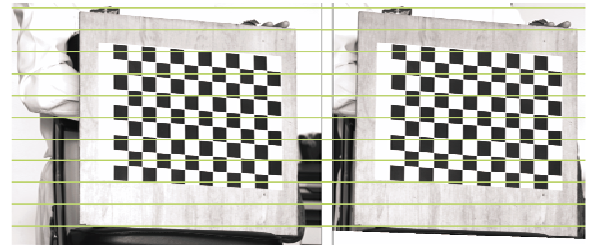
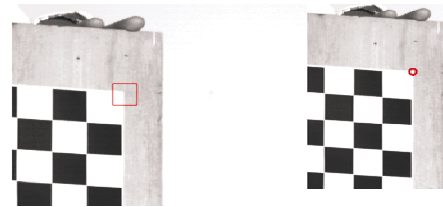


图4 立体校正后左右摄像机图像

Fig.4 Rectified pictures

4 角点检测与匹配

按文献[9]提出的检测方法对图3中测距目标进行角点检测,如图5所示。



a 以特征点为中心画矩形 b 矩形区域内角点检测结果

图5 角点检测

Fig.5 Corner detecting

本文要测量图中标定纸右上角到左摄像机光心(世界坐标系原点)的距离。选取右图像标定纸右上角作为特征点,然后以该点为中心画适当大小的矩形(只需大致包含特征点即可),该矩形即为角点检测区域,进行亚像素级角点检测,测得该点 P_r 坐标为 $x_r = 803.521, y_r = 362.512$ 。

按照同样方法测得左图像相同特征点 P_l 坐标为 $x_l = 1218.93, y_l = 362.373, P_l$ 为对应 P_r 的匹配点。

5 距离计算

测得 P_l, P_r 坐标后即可依式(2)~式(5)进行三维坐标计算,但式(2)~式(4)是理想情况下的计算公式,即认为两摄像头完全一致,从 A_r, A_l 可以看出,校正后的两个摄像头并非完全一致,光心点坐标 (u_0, v_0) 不完全一样,因而公式修正为

$$\begin{cases} x_c = \frac{B \cdot (X_1 - u_0^l)}{(u_0^l - u_0^r) - D} \\ y_c = \frac{B \cdot (Y_1 - v_0^l)}{(u_0^l - u_0^r) - D} \\ z_c = \frac{B \cdot f_c}{(u_0^l - u_0^r) - D} \end{cases} \quad (8)$$

式中:有效焦距 $f_c = 5677.0$; 视差 $D = x_l - x_r = 413.864$; 基距 $B = t_x = -328.506$; 主点差 $u_0^l - u_0^r = -156.404$ 。

(下转第105页)

取加速度计Z轴的数据值,并利用 Matlab 画出加速度大小与采集时间的关系曲线,如图7所示。从图7可以看出加速度计的波动范围小于 $0.0005 \times 10^{-3} g$, 具有较高的测量精度,可见设计满足要求。

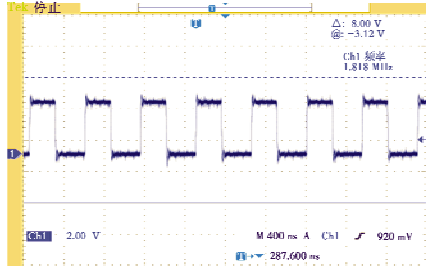


图6 V/F转换调理后输出频率的波形
Fig.6 Waveform of the output frequency of V/F converter after conditioning

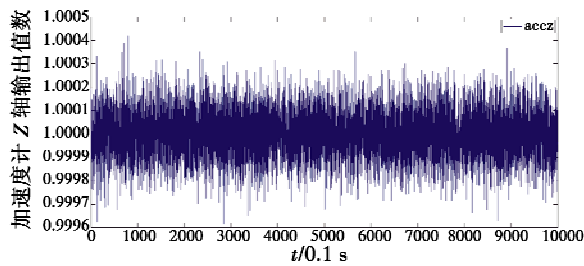


图7 加速度计输出的加速度值曲线
Fig.7 Acceleration values of the accelerometer output curve

5 结语

试验结果表明,基于V/F转换器AD7742和FPGA设计的加速度计信号采集电路在提高采集精度方面具

有简单便捷、成本低廉的特点,为整个导航系统设计提供了便利条件。可不用ADC转换器或者I/F电路就可实现加速度计的采集,对于提高加速度计采集精度设计具有参考意义,可应用于加速度计信号采集处理领域。

参考文献

- [1] 牛清红,张春熹,宋凝芳.用A/D和FPGA实现的加速度计数据读出系统[J].中国惯性技术学报,2006,14(1):25-27.
- [2] 孟俊芳.弹载惯导系统中的加速度计I/F变换电路[J].航空兵器,1998(3):13-16.
- [3] 叶林,李昌禧,张杰,等.V/F转换电路的动态特性分析及求解[J].仪表技术与传感器,2002(6):41-43.
- [4] 陈浩.基于ARM的石英挠性加速度计采集处理系统设计[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2007.
- [5] 李云松,宋锐,雷杰,等.Xilinx FPGA设计基础[M].西安:西安电子科技大学出版社,2008:74-164.
- [6] 虞露,李敬,冯兴光.大规模可编程逻辑器件(FPGA)开发系统电源设计研究[M].西安:西安电子科技大学出版社,2007:125-164.
- [7] 侯伯亨,顾新.VHDL硬件描述语言与数字逻辑电路设计[M].西安:西安电子科技大学出版社,1999:122-154.
- [8] 徐欣,于红旗.基于FPGA的嵌入式系统设计[M].北京:机械工业出版社,2005:56-63.
- [9] 李国辉.惯性器件的温度漂移及补偿技术研究[D].西安:航天第十六研究所,2003.
- [10] 张岩.激光陀螺捷联惯导系统数据采集电路的分析与设计[D].长沙:国防科技大学,2005.

(上接第95页)

经计算可得 $x_c = 877.63 \text{ mm}$, $y_c = 39.39 \text{ mm}$, $z_c = 3270.27 \text{ mm}$,依式(5)可得距离 $s = 3386.21 \text{ mm}$ 。

6 结语

本文针对双目视觉测距中匹配过程复杂、运算量大、效率低的问题,提出更为简捷的基于角点检测的人工匹配方法,并基于该方法实现了双目测距。实验所测距离为 3386.21 mm ,而利用激光测距仪测得距离为 3401 mm ,测量误差为 0.44% ,具有较高精度。结果表明,本文提出的基于角点检测的人工匹配测距方法运算量小、效率高且匹配方法简单,同时测距结果也比较理想。本文所用方法同样适用于远距离测距,可通过增大基距,采用长焦距、高分辨率摄像机,以及提高标定精度等方法来保证最终的测距精度。

参考文献

- [1] 高文,陈熙霖.计算机视觉-算法与系统原理[M].北

- 京:清华大学出版社,1998.
- [2] 王军,张明柱.图像匹配算法的研究进展[J].大气与环境光学学报,2007,2(1):11-15.
- [3] 徐奕,周军,周源华.基于小波及动态规划的相位匹配[J].上海交通大学学报,2003,37(3):388-392.
- [4] 王年,范益政,鲍文霞,等.基于图割的图像匹配算法[J].电子学报,2006,34(2):232-236.
- [5] 徐彦君,杜利民,侯自强.基于相位的尺度自适应立体匹配方法[J].电子学报,1999,27(7):38-41.
- [6] 张广军.机器视觉[M].北京:科学出版社,2005.
- [7] ZHANG Z Y. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2000,22(11):1330-1334.
- [8] BRADSKI G,KAHLER A.学习OpenCV(中文版)[M].于仕琪,刘瑞祯,译.北京:清华大学出版社,2009.
- [9] SHI J,TOMASI C. Good features to track[C]//The 9th IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition,1994:593-600.