

文章编号: 1005-5630(2015)02-0160-05

## 基于双目视觉的标志点定位系统硬件设计

王立钢, 马国欣, 向 鹏

(广州中国科学院工业技术研究院, 广东 广州 511458)

**摘要:** 双目视觉通过模仿人类视觉来获得物体的深度信息,使机器具有从二维图像认知三维环境的能力。针对特定应用场合,建立一种自主设计的反光标志点,通过被动式反射光源发出的光来进行定位。基于双目视觉原理搭建试验平台,分析了系统硬件各组成部分技术特点,通过对系统硬件的特殊设计很好地解决了复杂背景对目标物识别定位的干扰。最后通过距离和角度测量试验,验证系统的精度。

**关键词:** 双目视觉; 视差; 三维坐标; 硬件系统

**中图分类号:** TN 29 **文献标志码:** A **doi:** 10.3969/j.issn.1005-5630.2015.02.015

### Hardware design of marker positioning system based on binocular vision

WANG Ligang, MA Guoxin, XIANG Peng

(Institute of Industry Technology, Guangzhou & Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 511458, China)

**Abstract:** The binocular vision directly simulates the manner of human eyes observing one scene from different viewpoints to obtain the depth information of object. This system is for a particular application. The objects positioned by this system are markers which can reflect the light radiated by the light source, so they can be located by the passive reflection. The experiment platform is set up based on the principle of the binocular vision. The hardware components technology is analyzed. The system can find a good solution to the influence of complex background on recognition and localization of the markers. At last, experiments are conducted, which contain the distance and the angle measurements. The results demonstrate that the accuracy of the system is good.

**Keywords:** binocular vision; disparity; three-dimensional coordinate; hardware system

### 引 言

立体视觉是计算机视觉领域的一个重要分支。双目立体视觉通过模拟人类双眼机制,利用两台摄像机从不同位置观察同一目标,获得不同视角下的一组目标图像,基于视差原理计算目标图像对应点间的位置偏差,以此来获取目标物体的三维信息<sup>[1]</sup>。目前立体视觉在机器人视觉、航空测绘、军事应用、医学诊断及工业检测中应用越来越广泛<sup>[2]</sup>。

一个完整的立体视觉系统通常分为图像获取、摄像机标定、图像预处理、特征匹配及三维重建这五大部分。目前大多数研究集中在摄像机标定<sup>[3-4]</sup>、特征匹配<sup>[5-6]</sup>及精度分析<sup>[7]</sup>等方面,而在如何利用硬件设计

收稿日期: 2014-07-25

作者简介: 王立钢(1986—),男,硕士,主要从事光电检测及图像处理等方面研究。E-mail: wangligang@gziit.ac.cn

优化图像获取方面文献较少。因此本文重点研究双目视觉系统中图像获取这一步,通过特殊的硬件设计来优化获取到的图像,为后续图像处理带来便利。

## 1 双目视觉系统工作原理

常见的双目视觉系统主要有两种模式:平行式摄像模式和汇聚式摄像模式,如图 1 所示。平行式摄像模式即两个 CCD 摄像机按光轴平行安装,该种模式便于标定且计算简单,但是对于视场较小的摄像机,若测量空间视场要求较大则很难满足测量要求。而汇聚式摄像模式由于两光轴成一定角度进行安装,使光轴同时汇聚于目标物体,因此可以通过适当调整两光轴夹角来满足测量的视场要求。

由于本系统测量要求的视场范围较大,若采取平行式摄像模式则需要大视场摄像机,而视场角大的摄像机获得的图像畸变也较大,不利于提高系统精度<sup>[8]</sup>,因此本系统采用汇聚式摄像模式,其结构原理图如图 2 所示。

图中  $O_1C_1$  与  $O_2C_2$  为左右摄像机的光轴,夹角为  $2\theta$ ,两摄像机光心间距为  $B$ ,为简化计算,假设两摄像机关于  $YOZ$  平面绝对对称, $P$  点为物点, $P_1$ 、 $P_2$  分别为  $P$  点在左右摄像机上的像点。坐标系  $XOZ$  中,假设  $P$  点的世界坐标为  $(X, Z)$ ,其像点  $P_1$ 、 $P_2$  的世界坐标分别为  $(X_1, Z_1)$ 、 $(X_2, Z_2)$ ,其在图像物理坐标系中  $XOZ$  平面上的坐标为  $(x_1, 0)$ 、 $(x_2, 0)$ 。若两摄像机焦距均为  $f$ ,则根据小孔成像原理及几何关系可得

$$X_1 = -B/2 - f\sin\theta + x_1\cos\theta \quad (1)$$

$$Z_1 = -f\cos\theta - x_1\sin\theta \quad (2)$$

$$X_2 = B/2 + f\sin\theta + x_2\cos\theta \quad (3)$$

$$Z_2 = -f\cos\theta + x_2\sin\theta \quad (4)$$

由于  $P_1C_1$  与  $P_2C_2$  的交点为  $P$ ,因此通过联立直线  $P_1C_1$  与  $P_2C_2$  的方程便可求得

$$Z = \frac{B[f^2\cos^2\theta + \frac{1}{2}(x_1 - x_2)f\sin 2\theta - x_1x_2\sin^2\theta]}{f^2\sin 2\theta - (x_1 - x_2)f\cos 2\theta + x_1x_2\sin 2\theta} \quad (5)$$

## 2 双目视觉系统组成

一个完整的基于双目视觉的目标定位系统主要包括硬件和软件两大部分,系统的工作流程如图 3 所示,主要包括图像采集、摄像机标定、图像预处理、特征匹配及三维重建。其中图像采集这一环节主要由系统的硬件部分来完成,摄像机标定、图像预处理、图像匹配及三维重建主要由系统的软件部分来完成。而本文的重点便是系统的硬件部分设计。

## 3 系统硬件设计

系统硬件部分主要由反光标志点、试验台架、摄像

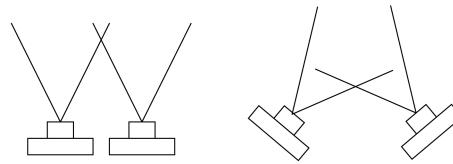


图 1 平行式摄像模式和汇聚式摄像模式

Fig. 1 Binocular parallel system and binocular convergent system

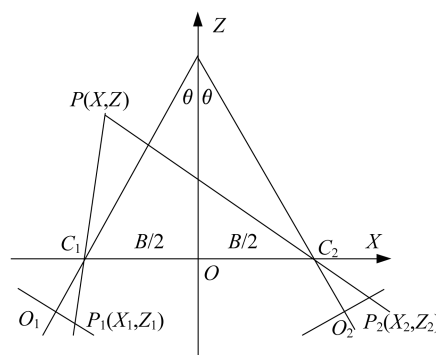


图 2 汇聚式结构模型原理图

Fig. 2 Schematic diagram of binocular convergent system

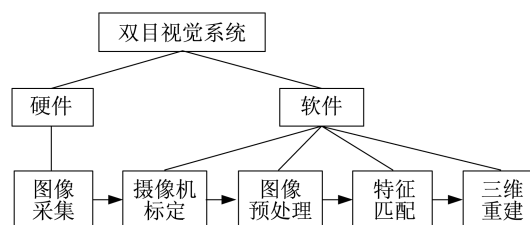


图 3 双目视觉系统组成及工作流程

Fig. 3 The workflow of binocular vision system

机、照明光源几个部分组成,整体硬件实物如图 4 所示。

### 3.1 反光标志点

反光标志点即为本系统需要定位及跟踪的目标。标志点反射光源打在其上的光,反射光被镜头接收后来定位。文献[6,9]中均使用一种主动发光的 LED 标志点,与其相比本系统采用的标志点为被动式反光的无源器件,无需接线,因此使用方便且更加可靠。标志点的外观及光路如图 5 所示,标志点为自主设计加工,尺寸很小,高度、直径均只有 10 mm。应用时可以将多个标志点镶嵌在运动的刚体上,通过对标志点的定位来确定刚体的三维信息。

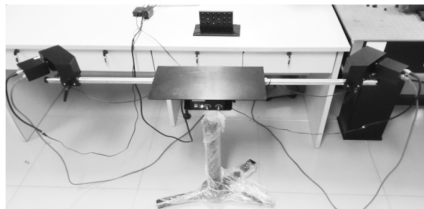


图 4 双目视觉系统硬件实物图  
Fig. 4 The photo of binocular vision hardware system

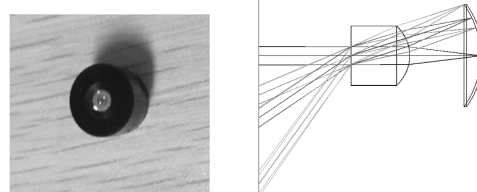


图 5 标志点实物图及光路原理图  
Fig. 5 The photo and the optical configuration of the marker

该反光标志点的光路特点为,当入射光线进入标志点后,经过透镜折射聚光之后光线入射到一块镀有高反射膜的透镜上,反射后的光线与入射光线基本重合,即光线进入该反光标志点后会按原路被反射回去。反光标志点的入射角度范围设计值为  $0^{\circ}\sim 90^{\circ}$ ,由于加工精度的影响,实际工作中入射角在  $0^{\circ}\sim 70^{\circ}$  时定位精度比较高。

### 3.2 摄像机及试验台架

系统采用两台型号参数一致的高分辨率低畸变 CCD 摄像机,安装在自制的试验台架上,通过调节试验台架,两台摄像机之间的间距、夹角及高度可以任意调节以满足不同的工作距离及有效视场范围的要求。测量误差与两镜头光轴夹角及基线距离间存在复杂的函数关系,在满足工作距离及有效视场的前提下,系统误差随基线距增大而减小,且当基线与光轴的夹角在  $55^{\circ}\sim 70^{\circ}$  之间取值时,平均综合测量误差达到最小值<sup>[5]</sup>。同时镜头配有中心波长为 635 nm( $\pm 10$  nm)的窄带滤光片保证其他波段的光可以被有效滤除。

### 3.3 照明光源

系统采用 635~645 nm 波段的红光 LED 点光源作为照明光源,通过一块半透半反射镜使点光源主光轴与镜头主光轴重合,这种同轴光照明方式的优点是照明亮度非常均匀,且与反光标志点配合使用时,由于标志点可以将光按原路反射回镜头,而其他背景部分的反射光则很难反射回镜头,因此标志点会出现高亮而其他部分则较暗。同时由于镜头安装了窄带滤光片,只有 635 nm $\pm 10$  nm 波长的红光可以通过镜头,因此能进一步消除背景杂光的干扰。

系统的硬件部分主要负责图像获取这步工作,图 6 为实际工作时本系统获取到的图像,从图中可以看出,除了几个反光标志点为高亮之外,其他部分的光线非常暗。硬件这样设计的好处是为后续的软件处理提供了很大的方便,图像处理时只需简单的算法便可准确提取标志点的中心。

## 4 实验与数据分析

为验证本系统硬件设计的准确性及系统精度,设计一组关于距离及角度的测量试验。设计并加工了两块测试板如图 7 所示,测试板 1 上面排布  $6\times 4$  个孔洞,反光标志点直接嵌入孔洞中,每相邻两个



图 6 系统获取的标志点图像  
Fig. 6 The photo of the markers obtained by the system

孔洞的中心间距均为 24 mm,该测试板用来测试两标志点间距。测试板 2 上面有三条凹槽,两条凹槽之间的夹角为固定值,该测试板用来测试标志点旋转角度。

#### 4.1 距离测量试验

距离测量实验具体做法是在测试板 1 上直接排布  $3 \times 3$  个标志点,每相邻两个孔洞的中心间距均为 24 mm。用本系统定位得到每个标志点三维坐标,如表 1 所示,进而根据三维坐标计算得到两点间距离。

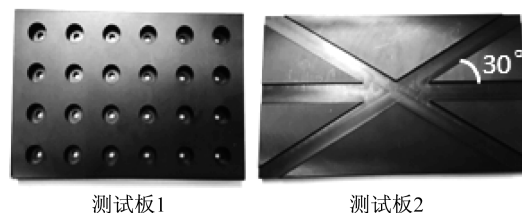


图 7 试验用测试板

Fig. 7 The test board for the experiment

表 1 9 个标志点的三维坐标

Tab. 1 Three-dimensional coordinates of markers

标志点	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$x$	-1.075 9	-24.963 8	-49.040 3	-0.265 7	-24.091 5	-47.908 5	1.011 5	-22.811 4	-46.640 0
$y$	-52.707 9	-51.465 4	-50.064 7	-28.711 8	-27.444 1	-26.221 7	-4.698 1	-3.398 4	-2.343 9
$z$	738.107 6	737.760 3	737.937 5	738.688 1	738.539 4	738.772 6	739.265 8	738.517 1	739.452 0

距离测量试验总计 50 组,每组各有 12 个 24 mm 点间距,共计 600 个 24 mm 点间距。测量数据统计如表 2 所示。

#### 4.2 角度测量试验

测量实验具体做法是在测试板 1 上排布两个点,两点连线只要不与世界坐标系  $Y$  轴平行即可。如图 8 所示测试版在测量视场范围内拍摄一次,计算出两标志点三维坐标,然后按测试板 2 上的凹槽将板 1 旋转一个已知角度 ( $30^\circ$ )再拍摄一次,同样计算出旋转后两标志点的三维坐标。

根据这两组坐标值可以计算出两点连线的旋转角度值,同样在测量视场范围内任意位置做 50 组实验,测量数据统计如表 3 所示。

由表 2、表 3 可以看出系统在测量两点间距时精度较高,误差只有 0.1 mm 左右,但对于旋转角度的测量误差则较大,平均值在  $0.36^\circ$  左右。造成角度测量误差较大的原因主要有两点:其一为测试板加工精度不够带来的误差;其二为当测试板旋转后,进入反光标志点的入射光入射角度发生变化,由于标志点在入射范围  $0^\circ \sim 70^\circ$  时精度较高,超过  $70^\circ$  后入射角越大其精度越差。

表 2 距离测量试验数据

Tab. 2 Results of distance measurement experiments

类别	最大值	最小值	平均值
绝对误差/mm	0.520 8	0.002 3	0.093 6
相对误差/%	2.17	0.01	0.39
测量值/mm	24.217 8	23.479 2	23.906 4

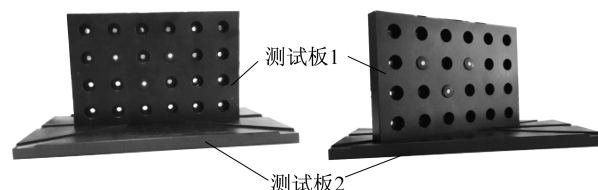


图 8 测试板固定角度旋转示意图

Fig. 8 The test board at a fixed angle

表 3 角度测量试验数据

Tab. 3 Results of angle measurement experiments

类别	最大值	最小值	平均值
绝对误差/ $^\circ$	0.78	0.06	0.36
相对误差/%	2.6	0.2	1.2
测量值/ $^\circ$	29.94	29.22	29.64

## 5 结论

本文详细阐述双目视觉系统硬件各部分实现方式,与现有双目视觉系统相比,通过设计反光标志点并与窄带滤光片、同轴光照明模式配合使用,在硬件上便很好地优化了获取到的图像。本文实验验证过程也具有一定的创新性,现有文章的实验过程大多只考虑到距离测量的精度<sup>[9-10]</sup>,而本文增加了旋转角度

的测量,更好地验证了系统的准确度及可靠性。后续可以通过优化反光标志点设计在硬件方面进一步提高系统精度。

**参考文献:**

[1] 马颂德,张正友. 计算机视觉[M]. 北京:科学出版社,1998:72-73.  
 [2] 游素亚,徐光祐. 立体视觉研究的现状与进展[J]. 中国图象图形学报,1997,2(1):17-24.  
 [3] 刘晓利,田媛,童飞,等. 双目立体视觉的光学标定技术[J]. 光学仪器,2013,35(3):11-15.  
 [4] 李中伟,王从军,史玉升. 3D测量系统中的高精度摄像机标定算法[J]. 光电工程,2008,35(4):58-63.  
 [5] 刘瑜,刘缠牢,苏海. 一种基于结构光双目视觉的特征匹配算法研究[J]. 光学仪器,2014,36(2):161-166.  
 [6] 魏振忠,高明,张广军. 光笔视觉三维测量中光斑图像点立体匹配方法[J]. 光电工程,2009,36(8):45-49.  
 [7] 肖志涛,张文寅,耿磊,等. 双目视觉系统测量精度分析[J]. 光电工程,2014,41(2):6-11.  
 [8] 常铭,李亮,陈志强. CT扫描中的汇聚式双目立体视觉系统参数研究[J]. 中国体视学与图像分析,2011,16(1):89-95.  
 [9] 解则晓,孙洪磊,王晓敏. 光笔式双摄像机三维坐标视觉测量系统[J]. 光学技术,2012,38(4):459-464.  
 [10] ZHU S P,GAO Y. Noncontact 3-D coordinate measurement of cross-cutting feature points on the surface of a large-scale workpiece based on machine vision method[J]. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement,2010,59(7):1874-1887.

(编辑:刘铁英)

=====

(上接第 153 页)

**表 1 测试数据表**

**Tab.1 Test data**

序号	目标距离/m	运动速度/(m·s <sup>-1</sup> )	运动方向/(°)	目标类型	航路捷径/m	跟踪精度/mrad
1	10 000	12	90	海上目标	1 000	0.08
2	12 000	200	30	空中目标	500	0.20
3	7 000	180	45	空中目标	400	0.18

**4 结 论**

该目标仿真系统采用视频叠加技术生成仿真目标的视频,供光电跟踪仪进行目标跟踪。经实际应用表明该系统可稳定正常地产生仿真目标视频,并自动计算光电跟踪仪的跟踪精度,有效地检验了光电跟踪仪的跟踪性能。

**参考文献:**

[1] 蒋鸿旺. 舰用光电跟踪仪的发展特点和趋势[J]. 应用光学,1995,16(42):1-6.  
 [2] 赵建川,姜润强,王伟国. 光电跟踪仪作用距离分析[J]. 光电技术应用,2009,24(3):15-16.  
 [3] 孙希东. 光电观察系统对海作用距离测试与评价方法[J]. 光学与光电技术,2010,8(5):28-29.  
 [4] 陈纬真,张春华,王学伟,等. 空间观测序列图像目标运动成像仿真[J]. 激光与红外,2008,8(3):14-19.  
 [5] 何永强,唐德帅,胡文刚,等. 一种红外场景仿真系统工作状态寻优方法[J]. 光学仪器,2013,35(6):43-47.  
 [6] 韩意,孙华燕,李迎春,等. 基于 OpenGL 的空间目标图像生成方法[J]. 计算机仿真,2010,27(6):267-270.

(编辑:张 磊)