

文章编号:1004-4213(2010)04-0605-5

自由立体显示器上立体鼠标的实现及其应用研究*

方恩博,李大海[†],王琼华,文福林

(四川大学 电子信息学院,成都 610065)

摘要:提出了一种在三维自由立体显示器的基础上,依据人眼双目视差的原理,使普通鼠标实现立体鼠标显现效果的方法.在此基础上,进一步提出了当立体鼠标指向屏幕上任意点时的实际位置深度信息的计算方法,并通过实验验证了该位置深度信息计算的正确性.理论分析和实验研究表明,提出的立体鼠标实现和位置计算方法可实现将当今的三维自由立体显示器应用于数字摄影测量系统.

关键词:自由立体显示器;视差;视差图;立体鼠标;位置深度

中图分类号: TN873+.93; TN911.74 **文献标识码:** A **doi:** 10.3788/gzxb20103904.0605

0 引言

根据人眼双目视差立体成像原理,采用光栅构成的自由立体显示器不同于传统通过佩戴偏光眼镜、液晶开关眼镜、互补色眼镜等辅助工具的立体显示器,且用户可直接获得很好的三维立体效果,完全解放了人的双眼,降低了由于佩戴辅助工具带来的视疲劳.利用一台显示器和 3D/2D 切换装置就可以实现三维与二维显示功能的相互兼容,使得它在虚拟现实技术、三维交互、3D 游戏、3D 广告、立体电视、航空航天、医学等领域有十分广阔的应用前景^[1-3].传统的鼠标只能实现在一个平面内运动,当它用于自由立体显示器时,就不能实现与立体显示内容的三维空间进行完美的结合,限制了立体显示器的三维交互功能.为此,本文提出了一种在自由立体显示器上实现立体鼠标的新方法,并且实现了在三维空间中该立体鼠标可任意指向某一深度位置的功能.此外,还实现了一种在自由立体显示器上当立体鼠标指示到指定位置时并能进行距离计算的方法.实验表明,本文提出的立体鼠标是对视差图进行操作,可达到三维交互目的,也增加了自由立体显示器在虚拟现实技术、三维交互、测量、医学等领域应用的可行性.

1 立体鼠标实现的原理

双目立体视觉测量的基本原理是从两个视点来观察同一景物,以获取在不同视角下的感知图像,在

已知双相机的几何位置、并且相机满足线性成像、同时知道每组同名点对应的视差大小的条件下,可根据三角原理计算物点的空间位置.如图 1(a)是双目立体视觉测量模型,设被测空间点 P 在左相机中的成像点为 P_1 ,它是通过从 P 点发出的光线经过透镜中心 C_1 与图像平面的交点,同理, P_2 是通过从 P 点发出的光线经过透镜中心 C_2 与像平面的交点,射线 P_2C_2 与 P_1C_1 的交点可唯一确定物体点 P 在三维空间中的位置.图 1(b)为两相机的光轴平行,并且位于同一平面时的情形.假设 P 点在左、右图像

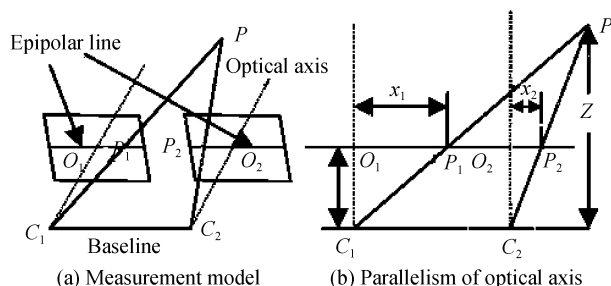


图 1 双目立体视觉测量原理

Fig. 1 Measurement principle of binocular

平面中的像点相对于点 O_1 和 O_2 (O_1 和 O_2 是左、右相机透镜光轴与图像平面的交点) 的距离分别为 x_1 、 x_2 , 则 $x_1 - x_2$ 称为视差. 在图 1(b) 情况下, P 点距离透镜中心的距离 z 可以表示为^[4]

$$z = fd / (x_1 - x_2) \quad (1)$$

式中 f 是透镜的焦距, d 为基线长度.

图 2 为光栅式三维自由立体显示器的结构示意图.它是通过在普通的平面显示屏上加装狭缝光栅并通过精密耦合而成.其中,显示屏上所示的两种颜色分别指它的子像素,任何一种颜色表示一副单独的视差图.如果将图 1 中的左、右视差图像在如图 2 所示的自由立体显示器上同时显示,该情况下的图

* 国家高技术研究发展计划(2007AA01Z301)和四川省科技厅支撑计划(2008FZ0003)资助

[†] Tel: 028-85411665 Email: dahaili@email.scu.edu.cn

收稿日期: 2009-10-19

修回日期: 2009-11-09

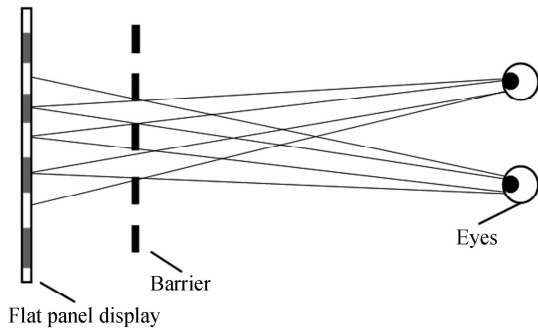


图2 光栅式三维自由立体显示器结构

Fig. 2 Configuration of autostereoscopic display based on barrier

像经狭缝光栅分光后,在确定位置上的观看者其左眼就只能看到左视差图,右眼只能观看到右视差图,经大脑的融合后,观看者就能观看到立体图像。

这里定义立体显示屏上左视差图像和右视差图像的同名点 P_1 、 P_2 之间的距离为 s 。 P_1 、 P_2 在显示屏上的位置如图3:当 P_2 在 P_1 的左边时,定义为负视差的情形, P_1 、 P_2 之间的距离 $s < 0$,通过双眼融合,看上去空间点 A 就显示在屏幕的前面;当 P_1 在 P_2 的左边时,定义为正视差的情形, P_1 、 P_2 之间的

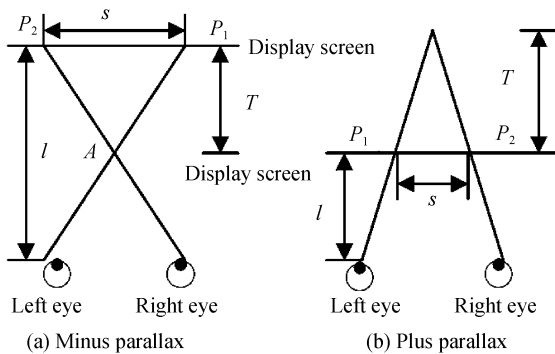


图3 正、负视差时重现的立体像点位置示意图

Fig. 3 Location of reconstruction stereo image with plus and minus parallax

距离 $s > 0$,看上去空间点 A 就显示在屏幕的后面.设观看者两眼之间的距离为 d ,观看者与显示屏的距离为 l ,此时的深度 T 就为^[6]

$$T = sl / (d - s) \quad (2)$$

如果给鼠标赋予视差 $x_1 - x_2$,使其在自由立体显示器上显示时鼠标图标能同时出现在如图3所示的 P_1 、 P_2 点的位置,鼠标就具有深度感 T ,因此也能指示到空间不同深度的位置。

2 立体鼠标的实现方法

由图1可知:当相机参量和相机间距离确定后,图像中任意同名点如 x_1 、 x_2 之间的视差 $x_1 - x_2$ 也就确定了.当图像进行缩放时(如将图像在不同大小显示器上进行显示),改变的仅仅是像素的单位长度而没有改变视差 $x_1 - x_2$ 对应的像素个数.因此可以

通过事先算出对应点视差 $x_1 - x_2$ 对应的像素个数 n 来确定视差值的大小,这一点可以通过立体图像匹配来完成^[8](本文主要是对待测的特征点进行匹配,而忽略遮挡和不连续区域),代入式(1)即可计算出该点到相机的距离.如果此时也给移动到该对应点的鼠标附上相应的视差量 $x_1 - x_2$,由式(2)得:鼠标应具有相同的深度感 T .它不仅将传统的平面鼠标转换成了立体鼠标,通过移动该鼠标能够指示到不同深度的位置,而且结合式(1)还可计算并显示出鼠标所指向的每一点的深度信息。

此外,设用于显示视差图像对显示器的单位像素长度为 Δx ,图3所示的视差值就为

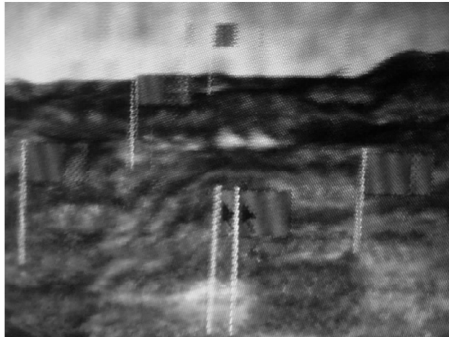
$$s = (n_1 + n_2) \Delta x \quad (3)$$

这里的 n_1 和 n_2 分别表示为了使立体鼠标显示在想实现的深度位置上,左、右视差图在显示屏上的移动子像素的个数.规定左、右视差图在显示屏上向左移动时, n_1 、 $n_2 > 0$;左、右视差图在显示屏上向右移动时, n_1 、 $n_2 < 0$,这可以通过键盘或鼠标操作来实现.显然,该数值可以在人眼视差融合范围内变化.它取不同的数值反映了使用者对不同视差量的需求.如某一对应点间的真实视差值为 $x_1 - x_2$,但为了测量或使用上的需要,可减小或增大该数值,使其变化到理想的深度,而立体鼠标的视差也将随之作相应的调整,从而方便使用者操作.因此,本文提出的立体鼠标具有实现舒适观看条件下指向任意深度位置的功能。

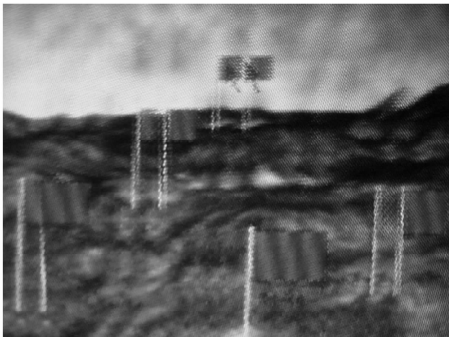
本文在 OpenGL 环境下开发了专门用于实时调整立体鼠标、子视差图的视差和合成视差图的显示软件.首先,对应建立两个与左、右视差图分辨率相同的模拟窗口,并在模拟窗口中全屏显示各视差图.然后,利用 OpenGL 获取左模拟窗口中鼠标所在位置的坐标 (x, y) ,并在右模拟窗口中找到相同的坐标点.再在每个模拟窗口中的坐标点 (x, y) 处调用系统鼠标图标,从而在每个模拟窗口中都产生一个鼠标.接着,挪动鼠标使左视差图对应的模拟窗口中的鼠标指向所要指示的待测点,用键盘调整 n_1 和使另一个模拟窗口中的鼠标也指向所要指示的待测点.然后,记录鼠标视差 S ,代入式(1)计算 z .最后合成显示.此时,观测者将看到鼠标指示到立体显示的待测点上。

图4显示了本文在 3DMAX 下模拟的一个草地场景,草地上插了五面前后距离不同的旗帜.图4是实际拍摄的立体鼠标的图片.(a)是通过键盘同时调整鼠标和视差图的视差值使场景适合人眼观看,并且让鼠标指向最前端的情况,这一点可以通过鼠标与前端红旗具有相同的视差值而反映出来.(b)是

调整鼠标视差,让鼠标指示到最后面正视差最大的红旗上的情形.同样可以看出,此时鼠标与该面红旗具有相同的视差值,说明鼠标实现了立体显示空间中不同深度位置点的指向.



(a) Mouse point at the flag at the front of display



(b) Mouse point at the flag at the bottom of display

图 4 立体鼠标的实现

Fig. 4 Realization of stereo mouse based on binocular stereo vision

3 深度信息获取的实验研究

根据前面的分析,对子视差图和立体鼠标视差的调整只是调整了人眼观察的深度感 T ,并没有改变实际被测 P 点到相机的距离.因此,可以根据实际视差 $x_1 - x_2$,由式(1)来确定被测点的实际距离.

为此,本文设计了一个实际被测环景(如图 5),其中放置了花篮、机箱、笔筒、激光器.选择墙为参考面,实际如图 6(a)或(b).首先,用光轴平行的两个相机在待测物体前面拍摄左右视差图;然后,通过立

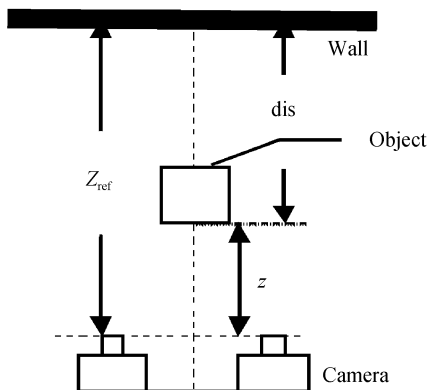
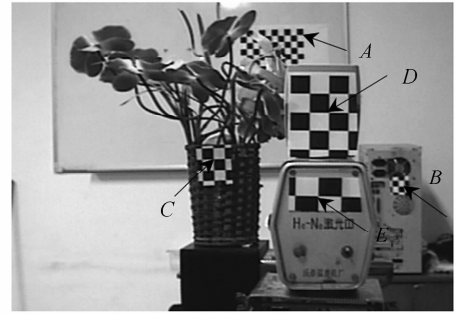
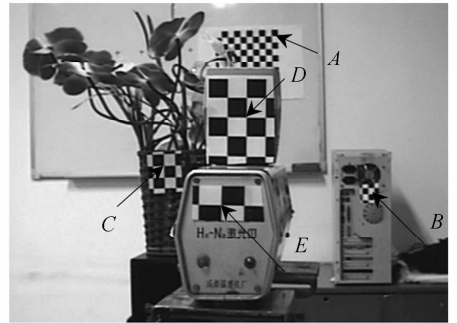


图 5 实验示意图

Fig. 5 Experimental setup



(a) Left image



(b) Right image

图 6 拍摄的视差图

Fig. 6 Parallax images acquired by the setup showing in Fig. 5

体图像匹配找出墙面上某一参考点(如 A 点)视差所对应的像素个数 N 和待测物体物体前端任意点(B 、 C 、 D 和 E)视差所对应的像素个数 n ;最后代入式(1),分别计算出 Z_{ref} 和 z ,由图 5 可知: $dis = Z_{ref} - z$.因此,可以通过该方法来测量实际物体到事先选定参考面的距离.

为了准确指向所要测试的点,在各个物体的表面粘贴了棋盘格;然后选择了图 6 中所标的 5 个点.实验中所用的相机对应的每个像素的大小为 $8.6 \times 8.3 \mu\text{m}^2$,焦距 $f = 8 \text{ mm}$.图 6 为实际拍摄到的一组左、右图像,两个相机的光轴平行并且水平摆放,基线长度 $d = 60 \text{ mm}$.为了验证基线长度的改变对距离测量有无影响,本文又拍摄了一组基线长度 $d = 20 \text{ mm}$ 的左、右图像,并进行计算,然后比较两组实验结果.表 1 为依据式(1)计算的结果,其中 dis 表示所选的两点对应的两个平面之间的距离(比如 dis_{AB} 表示墙面和机箱前表面之间的距离), Z_{ref} 表示参考面到相机的距离.

由表 1 可以看出:1)当本文的系统由于测量时,相对误差可以控制在 3% 以内,因此,可以通过该方法测量任一空间点到事先选定参考面的距离.2)对光轴近似平行的立体相机系统,当相机的基线长度改变时,视差所对应的像素数成比例改变,可以放宽对基线距离的要求^[10].此外,如果在实验中提高相机的分辨率则有助于提高立体匹配的准确度,进而能够提高测量的准确度.

表 1 实验结果

Table 1 The measurement results

Point	$C_1 = 20 \text{ mm}$			$C_2 = 60 \text{ mm}$			Measuring distance/mm
	n	Calculated distance/mm	error	n	Calculated distance/mm	error	
A	5	$Z_{\text{ref}} = 3\ 721$	1.3%	15	$Z_{\text{ref}} = 3\ 721$	1.3%	3 670
B	6	$\text{dis}_{\text{AB}} = 620$	1.6%	18	$\text{dis}_{\text{AB}} = 620$	1.6%	610
C	11	$\text{dis}_{\text{AC}} = 2\ 030$	0.4%	33	$\text{dis}_{\text{AC}} = 2\ 030$	0.4%	2 040
D	20	$\text{dis}_{\text{AD}} = 2\ 791$	2.2%	60	$\text{dis}_{\text{AD}} = 2\ 791$	2.2%	2 730
E	23	$\text{dis}_{\text{AE}} = 2\ 913$	2.0%	69	$\text{dis}_{\text{AE}} = 2\ 913$	2.0%	2 855

4 结论

本文提出了一种基于三维自由立体显示器的立体鼠标实现方法,使普通鼠标具有可以指向立体显示三维空间中任何不同深度位置的功能.在此基础上,进一步提出了当立体鼠标指向屏幕上任意点时的实际位置深度信息的计算方法,并通过实验验证了该位置深度信息计算的正确性.根据目前数字摄影测量系统的性质和功能,通过键盘调整图像以及鼠标图标的运动,可以代替数字摄影测量系统中的手轮、脚盘和踏板,因此,本文的研究结果可望引入数字摄影测量系统中,并且使用自由立体显示后观察者不用佩戴偏光眼镜,可以缓解观察者的视疲劳.

参考文献

- [1] ALPASLAN Z Y, SAWCHUK A A. Three-dimensional interaction with autostereoscopic displays[C]. *SPIE*, 2004, **5291**:227-236.
- [2] XUE Jian, TIAN Jie, ZHAO Ming-chang. Three-dimensional human computer interaction based on 3D widgets for medical data visualization[C]. *SPIE*, 2005, **5744**:697-706.
- [3] TAKAHASHI H, YAMADA K, SHIMIZU E. Arbitrary viewpoint 3D display system[C]. *SPIE*, 2003, **5243**:50-58.
- [4] ZENG Ji-yong. Catadioptric omnidirectional stereo imaging[D]. Chengdu: Sichuan University, 2003:17-20.
曾吉勇. 折反射全景立体成像[D]. 成都: 四川大学, 2003:17-20
- [5] WANG Yuan-qing. Optical analyzing of the parallax stereo LCD

with illumination on narrow seam[J]. *Advanced Display*, 2004(4):45-48.

王元庆. 基于狭缝光照明的 3D-LCD 光学结构分析[J]. 现代显示, 2004(4):45-48.

- [6] SUN Chao. A probe in to several stereoscopic display technologies[J]. *Computer Simulation*, 2008, **4**(25):213-217.
孙超. 几种立体显示技术的研究[J]. 计算机仿真, 2008, **4**(25):213-217.
- [7] LEE B, HONG H, PARK J, et al. Multi view autostereoscopic display of 36view using an ultra-high resolution LCD[C]. *SPIE*, 2007, **6490**:1-8.
- [8] HE You-bing, LI Da-hai, LI Fu-ming, et al. Matching algorithms of a pair s of color stereo images[J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2007, **8**:417-422.
- [9] ZHOU Lei, TAO Yu-hong, WANG Qiong-hua, et al. Design of lenticular lens in autostereoscopic display[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2009, **38**(1):30-33.
周磊, 陶宇虹, 王琼华, 等. 立体显示用柱面透镜光栅的设计[J]. 光子学报, 2009, **38**(1):30-33.
- [10] JIN Wei-xian, YANG Xian-hong, SHAO Hong-zhao, et al. Photographic surveying [M]. Wuhan: Wuhan University Press, 2003:261-262.
金为铄, 杨先宏, 邵鸿潮, 等. 摄影测量学[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2003:261-262.
- [11] CHANG Ling-ying, ZHAO Bao-chang, YANG Jian-feng, et al. Optical system design of space three-dimensional photographic[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2007, **36**(3):539-542.
常凌颖, 赵葆常, 杨建峰, 等. 用于航天立体摄影测量的光学系统设计[J]. 光子学报, 2007, **36**(3):539-542.

Realization of 3D-Mouse in Autostereoscopic Display and its Applications

FANG En-bo, LI Da-hai, WANG Qiong-hua, WEN Fu-lin

(School of Electronics and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: A realization of 3D-mouse is proposed. By the principle of stereo vision, the method based on autostereoscopic Display can make the common mouse point to any location at different depths in three-dimensional space which can be perceived by the viewers. And, a method of calculating the real position's depth is also proposed and is verified experimentally. Theoretical analysis and experiment results show that the method of the realizing 3D-mouse and calculating the real position's depth can make the autostereoscopic display be introduced into the digital photogrammetric system.

Key words: Autostereoscopic display; Parallax; Parallax image; 3D-mouse; Depth



FANG En-bo was born in 1984. Now he is pursuing his M. S. degree, and his research interests focus on stereo mouse.



LI Da-hai received the Ph. D. degree in optics from Sichuan University in 2002. He is a professor, and his current research interests focus on optics and optoelectronics, especially in optical measurements and display technologies.