

文章编号: 0258-7025(2009)02-0417-04

基于数字光处理器的裸眼立体显示系统

吴翔 廖薇 刘锦高

(华东师范大学电子系, 上海 200241)

摘要 详细介绍了一种基于背投显示设备的裸眼立体显示方法, 可实现观众在不佩戴特殊眼镜的情况下观看有立体效果的视频。不同于现在广泛采用的光栅方法, 提出算法基于 DLP 特有的成像原理, 更改原先的单片 DMD 投影为左右两片 DMD 交替投影, 将对应于左右眼的视频帧按时间顺序交叉处理后, 依次投射至屏幕上。和使用分光眼镜或者是采用光栅来分离左右眼接收光不同的是, 提到的方法采用特殊的透镜屏幕, 可以有效使得左右眼分别看到互不干扰的视频对, 从而产生视差。实际观测效果证明方法在清晰度和观看视角方面都具有更优的性能, 并且降低观看和视频源获取的复杂度。

关键词 虚拟现实; 裸眼立体显示; 数字光处理器; 立体视频帧; 视差

中图分类号 TP391 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093602.0417

A Naked-Eye Stereoscopic Display System Based on Digital Light Processor

Wu Xiang¹ Liao Wei¹ Liu Jin'gao

(Department of Electronic Science and Technology, East China Normal University, Shanghai 200241, China)

Abstract This paper proposes a novel method to realize naked-eye stereoscopic display based on DLP. The method we proposed is different from grating method used widely, it based on the DLP image-forming principle, two DMD chips are applied instead of single DMD. The stereoscopic image pairs are intersected sequentially and projected to different orientation by each DMD. To separate the left and right video, lens is used and located before the screen. Left eye and right eye can receive corresponding frame individually. Some experimental results are given to demonstrate the proposed technology at last.

Key words virtual reality; naked-eye stereoscopic display; digital light processor (DLP); stereo video frame; disparity

1 引言

相比 2D 的显示设备, 3D 设备能表达出更多信息也更有真实感。但是传统佩戴偏光立体眼镜实现立体显示的方法^[1]对观众使用有局限性。目前裸眼 3D 立体显示仍是国内外力图突破的难题之一。现有的采用光栅的平板立体显示器^[2,3], 一般将两幅视图经光栅分光后分别进入人的左眼和右眼。垂直放置的光栅因显示器像素间的缝隙易对进入两眼的产生黑色的干扰条纹, 并且对人眼在显示器前的位置有较大的限制。在两幅视图合并时候还会降低一半的水平分辨率。

本文提出一种在时间上分离左右眼视图的方

法。时间上交叉的帧在不同角度投射至透镜实现分光进入左眼和右眼。数字光处理器(DLP)用微镜将全数字图像投射到屏幕或其他表面上的工作方式正适合改进实现本文提出的方法。这种时间融合的算法相比较目前基于光栅实现裸眼立体显示所用的空间融合的算法, 可以提高近一倍的水平分辨率^[4], 并且减少许多其他限制。

2 视差图像的产生

2.1 系统结构

系统硬件结构设计与系统实际应用需求密切相关, 本系统的整体框图如图 1 所示。可分为三个部

收稿日期: 2008-08-30; 收到修改稿日期: 2008-10-28

基金项目: 上海市 2007 年科技攻关重点项目(075115002)和华东师范大学优秀博士研究生培养基金(20080050)资助课题。

作者简介: 吴翔(1982-), 男, 博士研究生, 主要从事信号处理方面的研究。E-mail: Dr. seanwoo@gmail.com

导师简介: 刘锦高(1948-), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事光纤和移动通信等方面的研究。E-mail: jgl0000@126.com

分。这里给出宏观的功能描述。

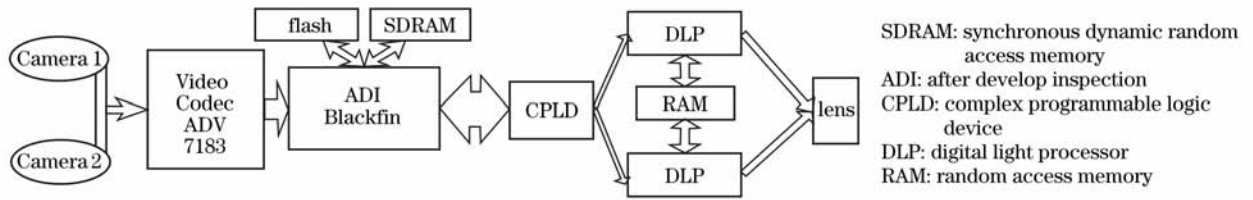


图 1 系统框图

Fig. 1 Block diagram of the system

用来产生视差的立体图像对,通过水平放置并间隔 20 cm 的双摄像头获取。模拟信号经视频解码器进行数字化和编码,得到的数据输入 ADI 的 DSP 处理。CPLD 模块主要完成硬件控制、协调及缓冲的功能,并且生成 VGA 或 HDMI 信号输入 DLP。DLP 会根据输入数字信号控制微镜产生背投画面。最后不同角度的投影画面利用透镜分别互不干扰的进入人左右眼。为了使 DLP 正常工作,实际还有色轮、光源等器件这里不再一一赘述。

2.2 左右帧交叉

左摄像头和右摄像头是同时工作的,但是处理器和屏幕只有一个。所以要对左右图像对进行融合处理。本文提出用角度和透镜分光采用时间上的融合。融合的算法如图 2 所示。

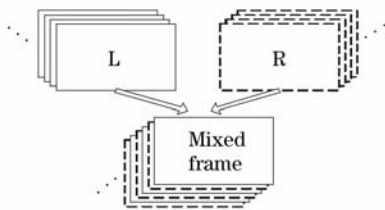


图 2 帧混合

Fig. 2 Frame merging

交替读取两个摄像头输出数据,每次取一幅完整帧,按顺序依次交叠。凑成的新视频流输出到下面的 DLP 进行输出处理。合并过程中,除了帧同步和场同步信号需要添加外,值得注意的是刷新率。由于增加了一个摄像头,输入数据了也增加一倍。50 Hz 的场扫描频率是人眼可以接受的,增加一倍意义不大。所以在融合左右帧时,应该适当通过丢弃的方式降低单个摄像头输入数据的场频率,可以减少数据处理量。由于系统构架使用一个视频处理器,所以虽然具有两个摄像头同时取像但实际的左右视频在时间上并非完全同时,仍是分别由视频处理器从摄像头取得的。所以太低场频也可能导致左右帧图像在时间上的不一致而无法产生满意的立体效果。因此需要选取一个适当的场频,在保持画面

流畅的同时不带来过大的计算负荷。这个场频根据实验的实际效果决定。

3 系统光路分析

人眼具有三维视觉能力的原因很多,但最重要的因素是人的双眼所成的图像存在视差^[5,6]。由于人类两眼的位置差异,两眼观察景物时,相对于各物点的位置与角度有微小的差别,这种差异使人们能够将视场中的物体区别出远近。但由于人的双目间距很小,要分别看到不同的摄像机拍摄的画面,不借助眼镜比较困难。这要求左摄像头拍摄的图像光线准确射到左眼位置而不影响右眼,同样右摄像头拍摄的图像光线应投射到右眼位置。DLP 通过投影显示图像,适合使用直接将左右帧光分开的方法,DLP 原理如图 3 所示。

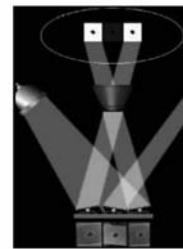


图 3 DLP 光路图

Fig. 3 Light path of DLP

DMD 芯片上有数百万个微小的反射镜片,数字信号会激活镜片下面的微型电极,推动镜面迎向或避开光源,从而将光线从两个方向反射出去。实际的反射方向则视底层记忆晶胞的状态而定,当记忆晶胞处于“ON”状态时,反射镜会旋转至 $+10^\circ$,若记忆晶胞处于“OFF”状态,反射镜会旋转至 -10° 。反射角度的改变导致了光的选择性,使得屏幕出现不同灰度的像素。只要结合 DMD 以及适当光源和投影光学系统,反射镜就会把入射光反射进入或是离开投影镜头的透光孔,使得“ON”状态的反射镜看起来非常明亮,“OFF”状态的反射镜看起来就很黑暗。利用二位脉冲宽度调变可以得到灰阶效果,如

果使用固定式或旋转式彩色滤镜,再搭配一颗或三颗 DMD 芯片,即可得到彩色显示效果^[7]。

当投射角度不同时,在不同位置会接收到不同的光强。两个 DLP 的光反射位置如图 4(a)所示,投影 1 输入右边图像而投影 2 输入左边图像,投射光线分别从不同的角度入射到透镜上。显然在观测

点 1 上和观测点 2 上所观测到的图像是完全不同的。光路图可详见图 4(b)。当双目处于图 4(a)中的观测点 1 和观测点 2 时,则可以分别看到互相不干扰的视频,由于片源是模仿人双目的摄像头所拍摄,所以眼睛看到的正是所要的视差图像,因此产生了立体感^[8,9]。

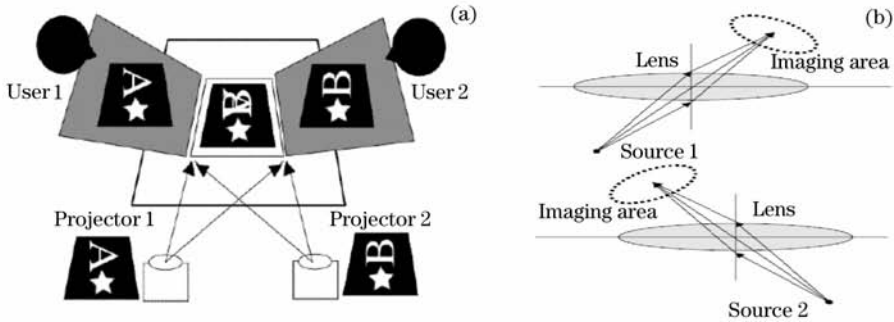


图 4 投影光路图。(a) 投影位置; (b) 透镜光路

Fig. 4 Projecting light path. (a) Projecting position; (b) light path of lens

4 实验结果

图 5 是所使用的实验平台,具体结构已在图 1 中介绍。左右两个摄像头获得的数据进行时间上的融合达到输出给 DLP 产生视差图像的目的。

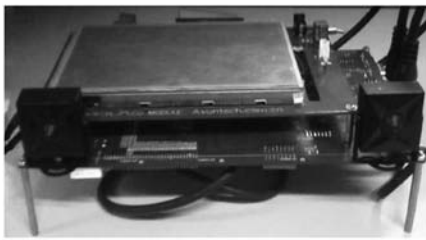


图 5 实验平台

Fig. 5 Experimental platform

图 6 是对透镜的实验。用两束照出汉字“文”和“字”的光在不同角度对透镜射出,如图 6(a)。在图 6(b)中透镜上方可看到两个字呈现在不同位置。换一个角度,在图 6(c)中,只能看到“字”,出现在镜子里的“文”说明显示“文”的光线要在另一端才可以看到。而正是利用这两点所看到的景象不同而创造出了立体显示所必须的视差。由此可见,使用透镜完全可以达到裸眼立体显示的效果。

5 结 论

本文根据人眼立体成像原理,通过双目摄像头实现获得立体信息进而提出使用 DLP 背投技术和透镜产生视差^[10],最终达到立体显示效果。并在第二章给出实现系统的结构。相比传统的光栅方法实现裸眼立体显示,由于本算法采用时间上合并左右摄像头拍摄图像的技术,大幅度提高了水平分辨率。而且使用光栅要达到好的立体显示效果,需要多个摄像头拍摄一组不同位置的视差,所以本方法也大大降低了对硬件的要求。

值得指出的是,虽然裸眼立体显示比传统佩戴偏光镜对观众而言更方便,但是对观看位置的依赖和无法彻底分开左眼视频和右眼视频相互间干扰的问题始终是存在的。正如图 7 中试验结果所示,调节投影光源和透镜的距离是很重要的,这决定两个成像区域的距离,这个距离应该是适合人眼间距的。另外当人眼距离透镜太远或者角度太偏也会造成无

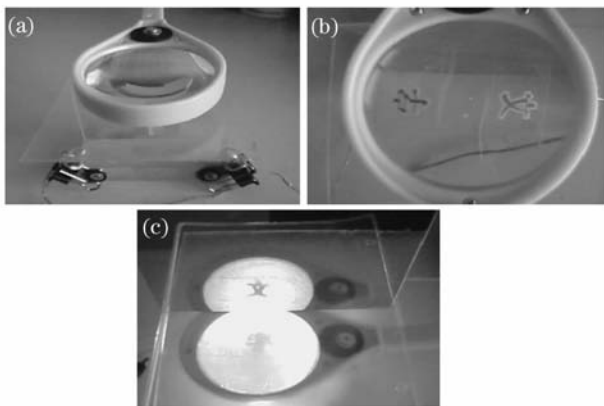


图 6 透镜实验结果。(a) 光源位置; (b) 透镜正上方观察结果; (c)透镜一侧观察结果

Fig. 6 Experimental results. (a) position of the lamps; (b) observe on the top of the lens; (c) observe on one side

法正确接收对应图像光的情况,从而无法产生视差^[11~13]。事实上这个问题在使用光栅的系统中同样存在。如何解决这个问题加大裸眼立体显示系统的观看区域是本方法未来需要进一步研究的地方。

参 考 文 献

- 1 Bennett D J, V. QC. A stereo advantage in generalizing over changes in viewpoint on object recognition tasks[J]. *Perception & Psychophysics*, 2006, **68**(7): 1082~1093
- 2 Wang Qionghua, Tao Yuhong, Li Dahai. 3D autostereoscopic liquid crystal display based on lenticular lens[J]. *J. Electron Devices*, 2008, **31**(1): 296~298
王琼华,陶宇虹,李大海. 基于柱面光栅的液晶三维自由立体显示[J]. *电子器件*, 2008, **31**(1): 296~298
- 3 Zheng Defeng, Wang Xiangzhao, Li Zhongliang *et al.*. Dynamic measurement of small angle with two prisms [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **34**(9): 1255~1259
郑德锋,王向朝,李中梁等. 一种使用双棱镜的动态小角度测量方法[J]. *中国激光*, 2007, **34**(9): 1255~1259
- 4 Langhans K, Oltmann K, Reil S. FELIX 3D display: Human-machine interface for interactive real three-dimensional imaging [J]. *Virtual Storytelling: Using Virtual Reality Technologies for Storytelling, Proceedings*, 2005, **3805**: 22~31
- 5 Xu Qiaoyu, Ye Dong, Che Rensheng. On-line calibration of stereo vision measurement system based on optical reference bar [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(1): 81~86
徐巧玉,叶东,车仁生. 基于光学参考棒的立体视觉测量系统现场标定技术[J]. *光学学报*, 2008, **28**(1): 81~86
- 6 Surman P A, Sexton I, Bates R *et al.*. The construction and performance of a multi-viewer 3DTV display [J]. *J. Opt. Technol.*, 2005, **72**(9): 695~698
- 7 Han Chao, Wei Sui. Digital micromirror device display of phase-only hologram of binary coding of cosine[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4): 659~663
韩超,韦穗. 余弦二值编码纯相位全息图的数字微镜器件显示[J]. *光学学报*, 2008, **28**(4): 659~663
- 8 Jiang Hongzhen, Zhao Jianlin, Di Jianglei *et al.*. Correction of nonparaxial and misfocus aberrations in digital lensless Fourier transform holography [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(8): 1457~1462
姜宏振,赵建林,邸江磊等. 数字无透镜傅里叶变换全息术中非傍轴及离焦像差的校正[J]. *光学学报*, 2008, **28**(8): 1457~1462
- 9 Feng Zhongyao, Jia Fang, Zhou Jinghui *et al.*. Three-dimensional surface shape measurement of big objects by image splicing in digital holography [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(12): 2017~2021
冯忠耀,贾防,周景会等. 数字全息术中利用图像拼接测量大物体的三维形貌[J]. *中国激光*, 2008, **35**(12): 2017~2021
- 10 Wang Shuxian, Wang Jing, Qiu Song. Research on the realization method of nakedness-eye stereoscopic display based on single chip DMD [J]. *J. Electron Devices*, 2008, **38**(1): 325~328
王淑仙,汪静,邱崧. 基于单片DMD的裸眼立体显示的实现方法研究[J]. *电子器件*, 2008, **31**(1): 325~328
- 11 Smolic A, Mueller K. Coding algorithms for 3DTV-A survey [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, **17**(11): 1606~1621
- 12 Alatan A A, Yemez Y, Gudukbay U *et al.*. Scene representation technologies for 3DTV-A survey [J]. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2007, **17**(11): 1587~1605
- 13 Feng Shaotong, Baoyi, Nie Shouping *et al.*. Three-dimensional object recognition under out-of-plane rotation based on multiple feature spaces [J]. *Chinese J. Lasers*, 2007, **27**(7): 952~956
冯少彤,鲍毅,聂守平等. 基于多特征空间的三维目标离面旋转识别[J]. *中国激光*, 2007, **27**(7): 952~956