

基于 TFT LCD 的立体显示技术研究

梁发云 邓善熙 杨永跃

(合肥工业大学仪器仪表学院, 合肥 230009)

摘要 裸眼立体显示器使用特殊的光学方法能产生左右眼互不干扰的独立视区, 由于其能使立体对图像与眼睛正确对应, 因此不需要配戴立体眼镜等视图分隔装置也可以获得立体感。为了实现高清晰无闪烁的裸眼立体显示, 在简述几种典型的基于 TFT LCD 的立体显示技术的基础上, 选择线光源照明法作为重点研究对象, 先分析了左右视图截面光路的特点, 然后利用菲林曝光方法制造光栅胶片, 设计了一种产生线光源的照明板, 最后探讨了立体显示器的基本结构, 并据此开发了一种基于 TFT LCD 的立体显示器。实验结果表明, 研制的样机可以获得高清晰无闪烁的裸眼立体显示。

关键词 薄膜晶体管液晶显示器 立体显示 线光源 胶片光栅

中图分类号: TN873 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2006)01-0107-06

Research on Stereoscopic Display Technique Based on TFT LCD

LIANG Fa-yun, DENG Shan-xi, YANG Yong-yue

(School of Instrumentation, Hefei University of Technology, Hefei 230009)

Abstract Been used special optic method to produce independence view zone for each eye, made the stereo pair corresponding with left and right eye, the nakedness-eye stereoscopic display can be perceived stereo vision without stereo spectacle. In this paper, we briefly several related typical stereoscopic display using TFT LCD. And taking the line light illumination 3D display as main research object, we analyzed the section light road. By using exposure method to make grating film, we designed a linear light illumination board. Moreover we discussed basic structure of stereoscopic display. The result of experiment proves our stereoscopic display can perceive high resolution, no twinkling stereo vision.

Keywords thin film transistor liquid crystal display(TFTLCD), stereoscopic, linear light, film

1 引言

众所周知, 现实世界是一个立体的空间, 由于物体都存在 3 维尺寸和空间位置关系, 因此只有立体显示器才能够真实地重现客观世界的景像, 即能表现出图像的深度感、层次感和真实性。

大家知道, 人是通过眼睛等生理器官来获得立体视觉的^[1,2], 即人在观看周围物体时, 左眼视网膜形成的图像和右眼视网膜形成的图像存在细微的差别, 这种差别体现为水平方向上物体位置的偏移, 即视差。视差理论很好地解释了立体视觉的形成机

制, 是实现立体显示技术的理论基础。仿真实际观看的情况, 进行立体显示时, 首先需要准备两幅分别对应于左、右眼睛的图像, 并利用视图分隔装置, 使眼睛与图像对应起来, 然后利用立体显示器进行显示, 其中偏振光眼镜立体显示、补色眼镜立体显示、液晶开关眼镜立体显示等都是先利用视差图像, 使对应于左、右眼的视图能够分开, 同时使每只眼睛只能看到相应的图像, 然后由人的视觉中枢进行立体融合来形成立体视觉。

这些立体显示技术由于需要附加的观看装置才能进行, 从而给使用者带来了很大麻烦, 而裸眼立体显示器则不需要辅助的观看工具就可以自由地欣赏

收稿日期: 2004-05-31; 改回日期: 2005-04-22

第一作者简介: 梁发云(1970~), 男, 1999年5月获合肥工业大学工学硕士学位, 现为合肥工业大学仪器仪表学院博士研究生。主要研究领域为视频技术、液晶显示、立体视觉、智能仪器。E-mail: jcs2003@163.com

立体效果,给人们以临场感和沉浸感,是将来立体显示器件的主要发展方向,也是当前的研究热点^[3-5]。

近几年来,美国、日本、韩国和欧洲积极进行裸眼立体显示器的研究。日本 Sharp 公司于 2002 年底同时研制了多款立体显示器,并成功应用在手机和笔记本电脑中。韩国由政府进行组织,也正在积极研究立体显示器的相关技术。欧美的研究则以中大屏幕的立体显示为主,同时进行全像式显示技术的研究。

我国台湾的光电研究院也研制了一款裸眼立体显示器,并正积极研发大屏幕投影立体显示技术。

立体显示器的研究目标可以概括为:

- ① 能实现丰富鲜明的显示颜色和更高的图像对比度;
- ② 不需要配戴任何助视眼镜就可以在任意位置观看;
- ③ 有移动视差;
- ④ 长时间观看不会引起不舒适感;
- ⑤ 价格低廉。

薄膜晶体管液晶显示器(thin film transistor liquid crystal display, TFT LCD)是一种被动显示器件,它是使用液晶控制照明光的通过率来改变图像颜色的辉度,其独立的 TFT LCD 超薄图像显示层和层叠式的结构设计使之成为立体显示技术的优选显示部件。

2 几种基于 TFT LCD 的裸眼立体显示

利用 TFT LCD 来显示立体图像具有色彩丰富、装置简单、价格便宜等优点。目前使用 TFT LCD 的立体显示技术主要有以下几种实现方式^[3-5]:

2.1 柱透镜方法

该方法是在 TFT LCD 的前面板上镶上一块柱透镜板来组成立体显示的光学系统,其中柱透镜板是由细长的半圆柱透镜紧密排列构成,这样经 TFT LCD 像素调制的光线通过柱透镜的折射,就把奇、偶列像素上显示的视差图像投射到人的左、右眼,再经视觉中枢的立体融合就获得立体感。图 1 是柱透镜方法的示意图,其中的像素层为 TFT LCD。该方法结构简单,易于实现,且柱透镜的加工也极为方便,其关键参数是柱透镜的节距和曲率。根据安装的位置不同,柱透镜方法可分为前置和后置两种类型。由于柱透镜与液晶屏固定安装在一起,因此只能用于单一的立体显示,无法兼容平面显示。

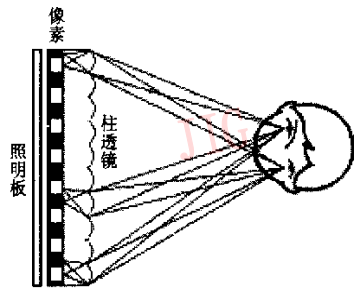


图 1 柱透镜法原理

Fig. 1 Theory of lenticular

2.2 视差挡板方法

该方法是在显示器和眼睛的中间设置一个栅栏式的挡板,用于改变奇、偶列图像的光线走向,使之分别送达左、右眼,以形成立体视觉效果(图 2)。该方法结构简单,只需根据显示屏像素的大小,设计相应的挡板间距和狭缝宽度即可,但需要保证显示面、挡板和眼睛的位置关系,为了获得明显的立体效果,需要实时调整图像和视差挡板的位置。使用电子挡板不仅可兼容平面显示,而且由于挡板位于显示平面的前方,因此可以使用等离子显示器(plasma display panel, PDP)作为像素层。

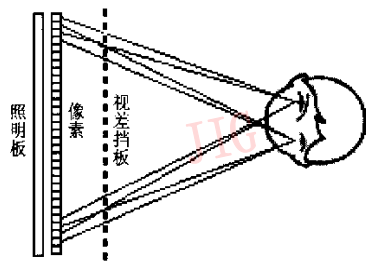


图 2 视差挡板法原理

Fig. 2 Theory of parallax barrier

2.3 微位相差板法

微位相差板法是我国台湾光电研究院研究成功的一种裸眼立体显示技术。它是使用微位相差板改变光的偏极态来达到左、右视图分离的目的(图 3)。尽管其微位相差板立体显示器不需要戴眼镜,但是由于视角很小,因此需要和头部跟踪装置配合使用。该方法结构较为复杂,而且微位相差板使用特别研究的光刻方法加工而成,其必须与非涅尔透镜和特殊结构的照明系统相配合,才能够进行视线跟踪。

2.4 线光源照明法

基于线光源照明法的立体显示器^[16,7]在 TFT LCD

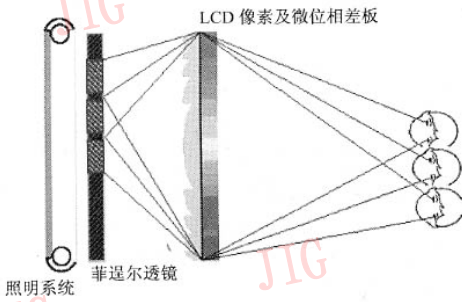


图 3 微位相差板法原理
Fig. 3 Theory of micro-retarder

的像素层后使用线光源提供背光照明,且线光源宽度极小,并与液晶屏的列像素平行。它是利用密集的线条光源照明,使奇、偶列像素的图像传输路径分离来形成左右眼独立视区(图 4),然后把 TFT LCD 的全部像素分为奇、偶列像素交错的两大显示单元,用来显示具有视差的立体对图像,最后经照明板分离后视差图像就能分别到达对应的眼睛。这种显示技术不仅结构简易,容易制造,而且使用电子照明板可以选择平面显示和立体显示,但在立体显示时,由于形成阻挡区,因而将会降低显示器的整体亮度。

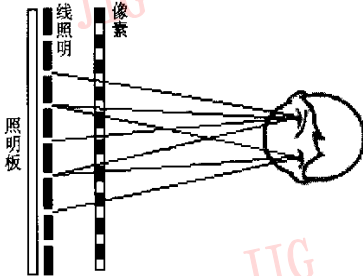


图 4 线光源照明法原理
Fig. 4 Theory of linear lighting illumination

这几种立体显示技术都是使用 TFT LCD 屏幕上的奇、偶列像素来组成相互交错的两个显示单元,用于显示立体对视图。由于左、右视图的位置取决于像素列的几何位置,而像素列位置在制造时已经确定,因此其实质上是使用光学元件来改变像素列的出射光线。

3 线光源照明的截面光路研究

顾名思义,线光源照明法即是使用非常狭窄的一组亮线给邻近的液晶列像素提供照明,由于光源

的宽度极小,因此可以抽象为一条明亮的“线”。照明线通过相邻的奇、偶列像素到达人的双眼,而且列像素上的左、右视图信息同时传送到对应的眼睛,这相当于通过列像素观看后面的线光源。这样当眼睛、像素和照明线位于同一直线上时,就能够看到清晰的图像。

图 5 是单条光线给一组奇、偶列像素照明的示意图。由该图可见,眼睛、像素和线光源在水平截面上构成两个相同张角的相似三角形,其几何参数可以作为立体显示器光学部件设计的依据。

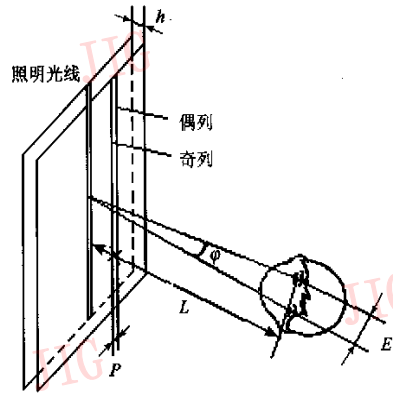


图 5 光线出射示意图
Fig. 5 Sketch map of light beam shoot

如图 5 所示,线光源照明立体显示的光学参数主要有线光源间距 s 、照明距离 h 、像素间距 P 、瞳孔间距 E 、观看距离 L 和分离角 φ 。线光源、像素间距、瞳孔间距构成了两个相似的三角形,并满足如下的数学关系:

$$\frac{P}{E} = \frac{h}{h + L} \quad (1)$$

$$\varphi = 2 \arctan \frac{\frac{1}{2}E}{h + L} \quad (2)$$

式(1)、式(2)描述了一条照明线及邻近像素的几个参数之间的几何关系,但参数值的确定还需借助于实际试验来确定。对于标准的 TFT LCD,像素的尺寸是一个定值,像素间距 P 的大小虽无法更改,但可以通过改变照明间距 h 、线光源间距 s 、像素与线光源的相对偏移量 Δ 来综合比较不同参数时线光源照明的光线分布情况。照明间距 h 的大小直接影响分离角 φ 的大小,经验值一般取 $h = 4 \sim 10P$ 。线光源间距 s 决定奇、偶列可视光线的排列情况,从整个显示区域来看,由于不适当的 s 会使光线呈没有规则的

分布,因此形成不了立体场景所需要的视图分离。

综合比较不同参数值组合的光路分布情况,可以认为在图 6 所示的线光源照射下,奇、偶列像素的水平截面光路符合预期的结果。图 6(a)为奇列照明光

路,图 6(b)为偶列照明光路,图 6(c)是奇、偶列照明的光路叠加情况。由于像素的间距大于线光源的间距,因此实际通过列像素的光路呈楔形在空间依次排列,图 6 中的光线仅抽取通过像素中心的光线。

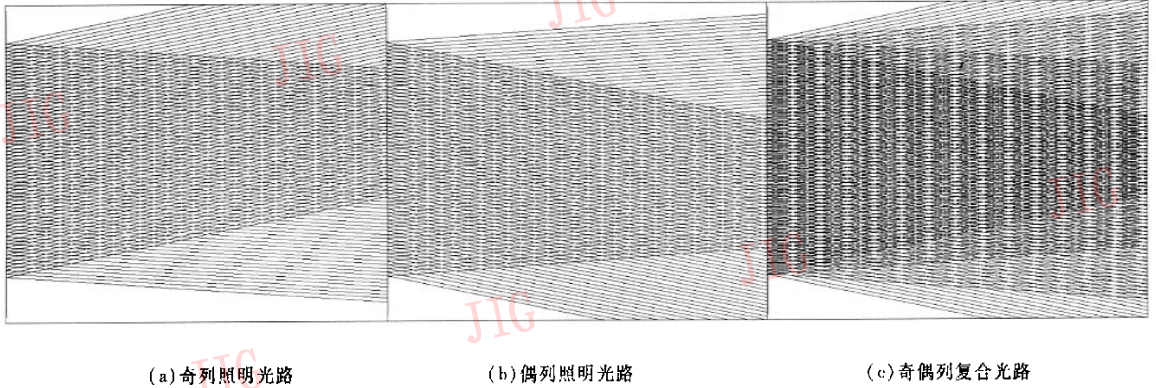


图 6 奇偶列像素光路

Fig. 6 Odd and even column pixel light road

从图 6 中可以得出如下的结论:

- ①由于单条光源的照射能使相邻的奇、偶像素列产生光线分离,因此多束光线的照明能使全部像素列的可视光线按同一规律分离;
- ②奇列像素的光路呈固定夹角平行分布,而且偶列像素的光路也呈固定夹角平行分布;
- ③奇、偶列像素光路之间的夹角等于分离角 φ ;
- ④多条线光源的照明使奇、偶列像素上的立体视图可视方向产生了分离;
- ⑤由于奇、偶像素的光路在空间上均匀分布,因而可以形成多个视点。

4 立体 TFT LCD 的基本结构及设计

TFT LCD 是基于液晶光电效应的显示器件,它是采用薄膜晶体管组成有源非线性驱动矩阵和由扭曲向列相液晶构成显示单元。普通的液晶屏从结构上可以分为具有图像显示功能的液晶盒和提供照明的背光模组两个部分。典型的液晶盒由上、下玻璃基板、ITO(indiumtin oxide)电极、薄膜晶体管阵列、彩色滤色膜、保护膜、偏振膜和液晶层组成,其中彩色滤色膜构成的 R、G、B 三基色按一定的图案排列成一个显示像素。由于 TFT LCD 是被动型显示器件,其液晶像素的图像只有在背光照明下才能清楚显示出来,因而需要提供特别照明,而背光模组则可

以发出满足照明需要的高亮度面光源。薄膜晶体管阵列可通过调节使液晶扭曲的电压大小来改变三基色的光通量,以便混色后得到多辉度彩色显示。

图 7 是 TFT LCD 的基本结构示意图。图中 1 表示前偏振膜,2 为前玻璃基板,3 为液晶层,4 为后玻璃基板,5 为后偏振膜;9、10、11 分别表示保护膜、增亮膜、扩散膜等背光处理薄膜;12 为导光板,13 为冷阴极射线管(cold cathode fluorescent lamp, CCFL)背光灯;14 为反射层。其中 1、2、3、4、5 层组成普通的液晶盒。

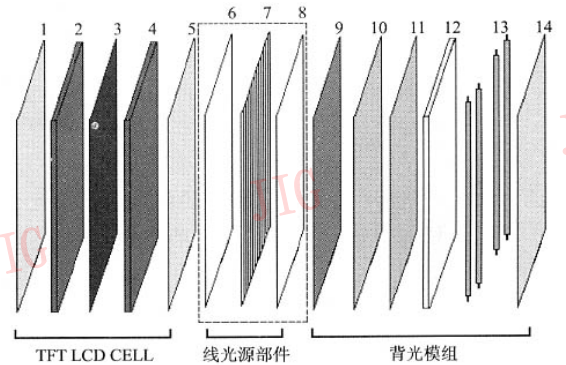


图 7 立体 TFT LCD 结构

Fig. 7 Structure of stereo TFT LCD

立体 TFT LCD 和普通 TFT LCD 在结构上非常相似,都包括液晶盒和背光模组,其不同的地方在于

普通液晶显示器使用面光源,而立体液晶显示器则使用线光源。根据线光源的特点,可以用狭缝对面光源进行离散化来产生线光源。为了加工方便和降低试验成本,本文设计了光栅胶片来对面光源进行离散化。光栅胶片的制作是先根据计算的线光源的间距要求绘制出版图,然后在光绘底片上曝光得到光栅胶片,胶片的大小等同于 TFT LCD 的显示区域尺寸。图 8 是用电荷耦合器件 CCD 显微镜拍摄的光栅胶片的局部照片,其中黑色部分阻挡光线通过,而无色部分则可以使照明光线自由通过,形成线光源。由于光栅胶片的厚度很薄,且质地柔软,不易保证平面度,因此为了保证平面度要求和能方便安装和调整像素与线光源之间的照明间距 h ,可在胶片

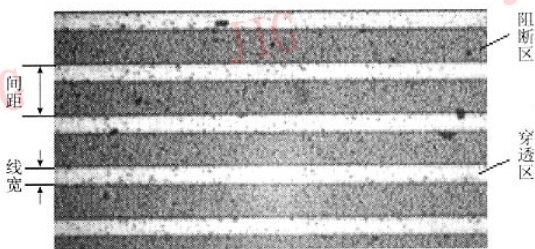


图 8 线光源胶片

的前后用同样大小面积的玻璃夹紧并粘合,同时用多层透明胶片来调整 h 。如此处理后就制成了能产生线光源的照明板(图 7 中的 6、7、8 层)。

把照明板安装在 TFT LCD 的液晶盒和背光模组之间(图 7 中虚线方框所示),并与液晶盒、背光模组封装在一起,组成立体液晶显示屏。

5 立体显示器样机及实验

为了验证立体显示器显示效果把立体液晶显示屏与驱动电路板连接作为计算机显示器使用来进行立体显示实验。实验时,选取幅度合适的立体对图像(例如图像大小为 512×768 ,这样的画面可以与显示屏的像素一一对应)来进行立体显示实验。实验采用笔者编写的左右格式的立体对图像显示软件。在平面显示时,把两幅图像以左右并排方式显示,即使左视图位于显示屏的左半屏,右视图位于显示屏的右半屏(图 9(a),未加光栅时拍摄的照片);立体显示时,首先使用像素检测及重组算法来把左视图按列放置到液晶显示器的奇列,然后将右视图放置到偶列,这样就合成了一幅相互交错的立体视图(图 9(b))。



(a) 平面显示



(b) 立体显示

图 9 左右格式的立体对图像显示效果照片

Fig. 9 Display photo of left-right stereoscopic pair

图 9(b)是加入线光源照明板的经过软件重组的立体显示实况照片。立体显示时,立体对视图先经过线光源照射,由于视图的可视光线被分离,因此在合适的位置观看时,左、右眼能够互不干扰地获得对应的图像,然后通过大脑的立体融合作用,即能获得立体感。实际观看图 9(b)时,牛的前角仿佛刺出屏幕,呈现在液晶屏的正前方,表现出良好的纵深感

和层次感。由于数码相机只能拍摄对应于某一只眼睛的视图,所以在平面照片中无法体现立体效果。

6 结论

综上所述,线光源照明的光路及其相关计算可以客观地描述立体显示器的分光机理,结合多参数

的计算机仿真,即可确定照明板的设计参数,而利用底片曝光来制造光栅胶片,则不仅能满足面光源离散化的要求,而且制造成本低廉,还可以同时设计出不同间距的光栅进行验证试验。

裸眼立体显示器是使用光学方法改变左右眼视图的观察位置来达到与立体眼镜相同的视图分隔效果,而不需要借助于立体眼镜来观察立体图像,这虽然解放了眼睛的束缚,但观察区域却受到了一些限制,因此只适合在计算机桌面显示中使用。

TFT LCD 技术的成熟和普遍应用,为立体显示提供了优良的图像显示器件,并使基于平板的立体显示器能够真正达到实用化。实验证实,本文线光源照明式立体显示的设计参数和原理正确,且研制的样机立体显示效果很理想。研究证明,可以通过改进 TFT LCD 光学部件和添加附属装置来实现高解析、无闪烁的立体显示。

参考文献 (References)

- 1 YANG Yong-yue, DENG Shan-xi, DING Xing-bao. Vision bionics and stereo vision measurement [J]. Journal of Hefei University of Technology, 2001, 24(6):1029 ~ 1035. [杨永跃, 邓善熙, 丁兴
- 2 YANG Yong-yue, DENG Shan-xi, HE Ge-qun. The online use of image processing technology in detecting printing registration deviation [J]. Journal of Applied Sciences, 2002, 20(4):423 ~ 425. [杨永跃, 邓善熙, 何革群. 应用图像测量技术在线检测印刷套色偏差 [J]. 应用科学学报, 2002, 20(4):423 ~ 425.]
- 3 CAI Nu-zhong, LIU Hua-guang. Optical 3D display technology [J]. Advanced Display, 1996, (1):39 ~ 54. [蔡履中, 刘华光. 光学三维显示技术 [J]. 现代显示, 1996, (1):39 ~ 54.]
- 4 JIA Zheng-gen. The newly development of the stereoscopic display technique [J]. Optoelectronic Technology, 2001, 21(4):267 ~ 271. [贾正根. 立体显示技术新进展 [J]. 光电子技术, 2001, 21(4):267 ~ 271.]
- 5 WANG Yuan-qing. Auto-stereoscopic display based on LCD [J]. Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays, 2003, 18(2):116 ~ 120. [王元庆. 基于 LCD 的自由立体显示技术 [J]. 液晶与显示, 2003, 18(2):116 ~ 120.]
- 6 Jesse B. Eichenlaub, Progress in autostereoscopic display technology at Dimension Technologies Inc [J]. Proceedings of SPIE, 1991, 1457: 290 ~ 301.
- 7 Jesse B. Eichenlaub, A lightweight, compact 2D/3D autostereoscopic LCD backlight for games, monitor, and notebook application [J]. Proceedings of SPIE, 1998, 3295: 180 ~ 185.