

## 自由立体显示中降低串影干扰的背光控制系统

薛亚兰<sup>1</sup>, 王元庆<sup>1</sup>, 曹利群<sup>2</sup>, 周必业<sup>2</sup>, 李鸣皋<sup>2</sup>

(1. 南京大学电子科学与工程学院, 南京 210046; 2. 中国人民解放军海军总医院, 北京 100088)

**摘要:**为实现自由立体显示,提出了一种新型指向性背光结构,配合人眼跟踪系统,分时显示具有视差的立体图像对,基于视差原理实现了高分辨率的多用户自由立体显示。着重阐述了基于AVR单片机的发光二极管阵列时分立体显示背光控制系统,并针对视差立体显示中一直存在的串影问题,从背光控制层面提出了3种改善方法:降低背光点亮时间占空比,倍速刷新液晶显示屏以及卡尔曼预测插值背光刷新数据。实验表明,这3种方法可有效改善串影问题,最终实现了具有较强立体感的无分辨率损失的自由立体显示。

**关键词:**自由立体显示;时分;背光控制;串影;卡尔曼预测

**中图分类号:** TP368.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-637X(2014)07-0069-04

## Backlight Control System of Autostereoscopic Display with Less Crosstalk

XUE Ya-lan<sup>1</sup>, WANG Yuan-qing<sup>1</sup>, CAO Li-qun<sup>2</sup>, ZHOU Bi-ye<sup>2</sup>, LI Ming-gao<sup>2</sup>

(1. School of Electronic Science and Engineering, Nanjing University, Nanjing 210046, China;

2. Navy General Hospital, Beijing 100088, China)

**Abstract:** In order to realize autostereoscopic display, a new directional optic structure was proposed, which could provide a pair of parallax images time-sequentially aided with the human eye tracking system, and a high resolution multi-user parallax 3D displayer was invented. Its backlight control system based on single chip microcomputer was elaborated, in view of the crosstalk existed in 3D displays, three methods were put forward for improvement: reducing lit time ratio of backlight, refreshing LCD at a faster speed, and using Kalman prediction interpolation. As the experimental results shows, these methods can reduce the crosstalk effectively, and finally a strong 3D visual sense is achieved without loss of resolution.

**Key words:** autostereoscopic display; time-sequential; backlight control; crosstalk; Kalman prediction

### 0 引言

2010年,随着科幻立体电影《阿凡达》的热映,“3D”概念在世界各地风生水起。同年,国家自然科学基金委员会把“裸眼三维立体显示理论与关键技术”列入重点研究计划<sup>[1]</sup>。现有一些辅助式显示器已进入市场,但仍需要佩戴眼镜等辅助设备,而无辅助立体显示器才是人们的真正需求。现有自由立体显示方式主要分为3大类:视差立体、体立体和全息立体。视差立体主要基于立体影像原理,使观看者的左右眼分别只看到对应立体图像对的左右图像<sup>[2]</sup>。自视差立体显示技术出现以来

就一直伴随着串影问题的干扰。立体串影,是指左右图像信息相互泄露而混叠<sup>[3]</sup>,从而导致立体效果减弱或者消失。国内串影问题研究的并不多,国外研究者如Woods, Smit等都相继从软件编码、LCD(Liquid Crystal Display)像素刷新以及光学模块<sup>[4]</sup>等方面提出了一些串影减弱办法,但串影依然无法避免,并一直困扰着国内外立体显示的研究者们,因此,如何降低串影干扰是现代视差立体显示中需要解决的一个重要问题。

### 1 系统原理简介

为实现全分辨率自由立体显示,本系统基于时分原理,采用菲涅尔透镜加多组柱镜光栅组成的视角扩展镜,如图1所示。其基本实现原理是让观察者左右眼分别处于左右出瞳处,LCD按帧频分时显示左右视差图像,同时按帧频时序分时控制左右LED(Light

收稿日期:2013-07-22

修回日期:2013-09-05

基金项目:海军总医院重大专项(AHJ2011Z001)

作者简介:薛亚兰(1990—),女,江苏兴化人,硕士生,研究方向为自由立体显示。

Emitted Diode)阵列的亮灭,LED阵列发出的光经过菲涅尔透镜形成远距离的虚像,再经过自主设计的视角扩展镜汇聚成指向性出瞳<sup>[5]</sup>,分时投射到人眼。

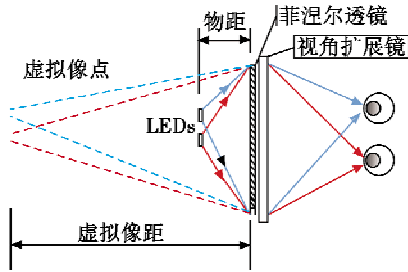


图1 系统原理结构图  
Fig.1 Basic structure of the system

视角扩展镜结构如图2所示,其性质为将远距离的物点在近距离处成像,可大大减小系统的整体结构尺寸,利于实现平板化,相对单独菲涅尔透镜形成出瞳而言,出瞳的质量得到很大改善。

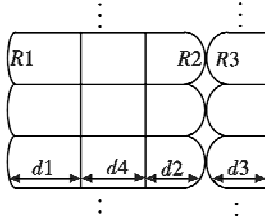


图2 视角扩展镜结构  
Fig.2 Structure of the angle extender

同时,为了适应多用户以及用户可移动观看,本装置还包含人眼跟踪模块,人眼跟踪模块检测观看者的移动和观看者数目,将此信息以30帧/s的速度近实时地传递给背光控制模块<sup>[6]</sup>,背光控制模块随后做出相应处理,从而形成多个独立的立体视域窗口。

此外,采用分时原理而又不让用户观看时产生闪烁感,LCD刷新频率不应低于100 Hz。本装置使用的是三星23寸LCD屏,分辨率为1920×1080@120 Hz。

## 2 LED背光控制系统的控制原理

背光控制系统主要处理两件事情:1)确定点亮的LED阵列的位置;2)控制LED阵列点亮时序。该系统采用AVR Atmega128作为控制处理器,其具体实现方法为单片机通过RS232串口从人眼跟踪模块获得观看者眼睛位置信息及观看者数目,以此确定应该点亮的LED阵列的位置;同时通过外部中断,模拟合成帧频信号以控制对应LED阵列的亮灭,进而实现分时显示。

多阵列LED电路由多排水平排列的高亮度、小尺寸照明LED及其驱动电路组成,每一列LED之间采用共阳极接法,通过控制阴极的电平高低控制灯的亮灭,从而每一列可单独控制,也即具有可寻址性和随动性。

### 2.1 同步信号的提取及合成

为了能够同步控制背光单元,首先需要提取显卡

显示每一对左右图像的帧同步信号,图3a即为提取出的120 Hz的帧同步信号,低电平有效,将该信号作为单片机的外部中断源输入,设置单片机中断方式为下降沿触发,辅助以延时操作,便可合成图3b所示的LED点亮时序,低电平表示点亮。

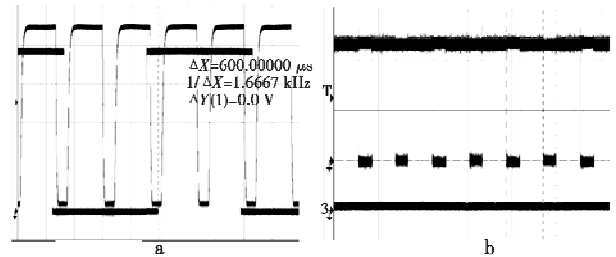


图3 帧同步信号  
Fig.3 Frame synchronization signal

### 2.2 串口通信

人眼跟踪模块基于PC平台,实现与单片机之间的串口通信。采取RS232串口,双方使用“握手协议”进行通信<sup>[7]</sup>。与此同时,引入标志信号位:发送请求信号(RSend)和允许发送信号(ASend),并对数据进行封装,即用特定的标志位表示传送数据的开始和结束,这样即便中间传输中断,数据依然可以正确接收建立通讯通道的流程为:1)上位机初始化,下位机初始化;2)上位机发送RSend标志信号,如没收到ASend,隔一秒重新发送一次;3)下位机接收到RSend后,重新初始化本地数据,下位机发送ASend。

整个背光模块的控制见图4,其向上负责与上位机PC进行串口通信,向下则控制驱动芯片点亮LED阵列电路。

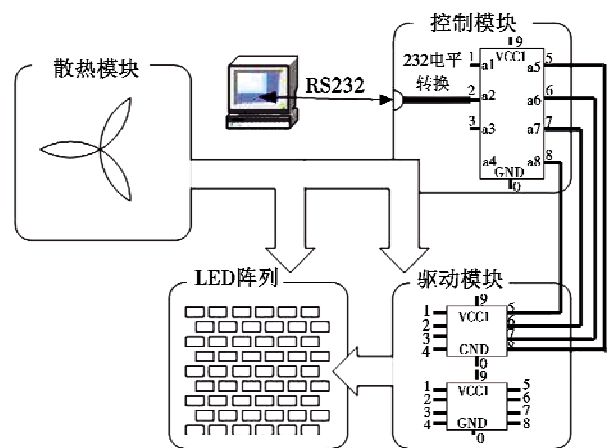


图4 模块控制结构图  
Fig.4 Structure of the control module

## 3 降低串影的方法论证及结果分析

在基于LCD的分时自由立体显示中,造成串影的主要因素有:液晶显示器的保持型(hold-type)显示方式、像素响应时间、图像更新方式、汇聚出瞳窗口过宽

以及背光数据刷新速率过慢等<sup>[8]</sup>。文中已分析采用视角扩展镜的新结构可改善出瞳质量,也就从光学结构上减小了串影影响,再从背光控制角度,采取减小背光点亮时间占空比,改善左右背光点亮的时序关系以及对背光寻址数据进行卡尔曼预测插值这 3 种方法,可显著降低自由立体显示中的串影干扰。

### 3.1 减小背光源点亮时间占空比

显示屏的刷新时序见图 5。

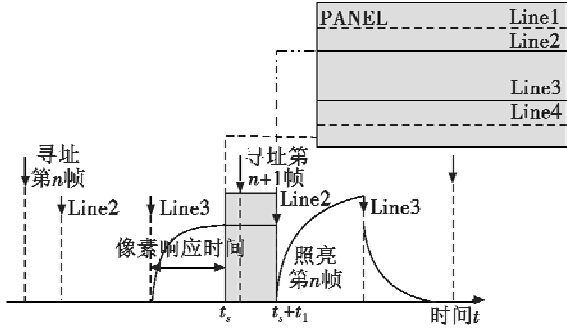


图 5 LCD 刷新时序图

Fig. 5 LCD refresh sequence diagram

假设第  $n$  帧图像是左图像,第  $n + 1$  帧显示右图像,  $t_s$  时刻,右眼背光开始点亮,右眼可以看到图像,此时主体显示区域 Line2 ~ Line3 之间的像素全部完成偏转并保持稳定<sup>[9]</sup>;  $t_s + t_1$  时刻,左图像开始写入,右眼背光熄灭。如果背光打开过早,屏幕主体区域最后几行像素还没有完全翻转到新的状态并由此而产生串影;背光如果关闭得太晚,屏幕主体区域的前几行像素将开始向下一帧的状态翻转并由此而产生串影。为此,通过实验确定最合适的  $t_1$  值,同时,  $t_s$  的值也通过多次实验测定。

显示器刷新频率为 120 Hz,每帧周期  $T$  为 8.3 ms。改用图 5 中的设计时序对 LED 进行控制,并不断调整  $(t_s, t_1)$  的值,发现当  $(t_s, t_1) = (1.8 \text{ ms}, 2.8 \text{ ms})$  时,串影得到了最佳改善。改善效果见图 6,所用测试图片为向不同方向倾斜的红蓝平行条纹,图 6a 是时序未改善时的红蓝斜条测试图像,可明显看到向右侧倾斜的蓝色斜条纹;图 6b 是时序改善后的测试图,向右侧倾斜的蓝色斜条几乎看不见,可知串影得到了改善。

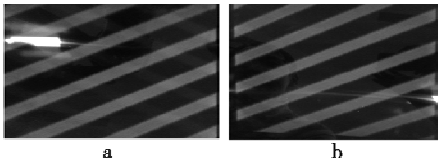


图 6 减小占空比前后串影对比图

Fig. 6 Crosstalk comparison before and after reducing the lighting time

### 3.2 倍速刷新 LCD 屏幕

上文提到,LCD 逐行扫描的刷新方式使得很长一段时间屏幕上都不是纯粹的单幅视图。但如果 LCD 刷新

速度加快,比如只需要现在一帧时间的一半,那么在剩下的一半时间里屏幕将单纯地显示一幅图像。事实上,随着技术和工艺的进步,如今液晶生产厂家已开发出倍速驱动技术,240 Hz 的显示器已成可能,而如果在 240 Hz 的 LCD 上实现分时立体,将彻底消除 LCD 刷新显示所带来的串影问题,具体如图 7 所示。 $V_{syn}$  为帧同步信号,显示内容按照左图像、黑帧、右图像、黑帧的顺序依次轮换,左/右眼对应的背光在对应图像显示的那一帧(几乎整帧)以及接下来的黑帧时间里都可以点亮。这样,在左背光点亮的时间里,液晶分子处于以下几种状态之一:稳定地显示黑帧、稳定地显示左图、正在黑帧转换到左图或是从左图转换到黑帧。因此,无论如何都不可能看到属于另一只眼睛的图像,从而不会发生串影。

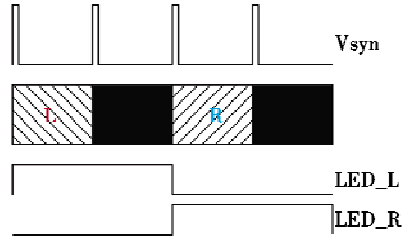


图 7 240 Hz 帧时序

Fig. 7 240 Hz frame sequence diagram

由于目前 240 Hz 的 LCD 主要用于大尺寸电视,成本比较高,因此,先在 120 Hz LCD 上进行插黑帧实验,仍然采用红蓝斜条测试图像对,并按图 7 中的时序对 LED 进行控制。实验结果表明,几乎没有串影(见图 8),但会感觉到闪烁,这是由于刷新率不足,现在单眼看到的频率只有 30 Hz,小于临界闪烁频率 CFF。

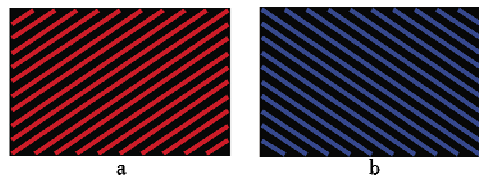


图 8 插黑帧消除串影

Fig. 8 Results after inserting the black frame

### 3.3 平衡卡尔曼预测插值

如上文所述,本背光控制系统从人眼跟踪装置实时获取观看者的左右眼位置信息,从而确定对应点亮的 LED 阵列位置。由于人眼跟踪装置算法的限制,目前只能达到 30 帧/s 的检测帧率,此时,当观察者移动较快时,会出现串影、闪烁甚至掉帧的现象,于是采取实验在背光控制单元上对人眼位置坐标进行卡尔曼预测插帧,实现 60 Hz 的 LED 的亮灭刷新率。

Kalman 预测器是一种递推估计器,其原理是通过第  $k$  时刻给出的第  $k + 1$  时刻的预测值,然后再根据第  $k + 1$  时刻的观测值修正预测值得到最优估计值<sup>[10]</sup>。假定用户的移动是一个由随机加速而被扰动的匀速直

线运动<sup>[6]</sup>,则 Kalman 模型的状态方程为

$$\begin{pmatrix} x(n) \\ v(n) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & t \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x(n-1) \\ v(n-1) \end{pmatrix} + w_{k-1} \quad (1)$$

式中: $x(n)$ 代表眼睛(左眼或右眼)位置的水平坐标; $v(n)$ 代表眼睛运动的速度; $t$ 代表时间间隔。而测量方程为

$$z(n) = (1 \ 0) \begin{pmatrix} x(n) \\ v(n) \end{pmatrix} + v_k \quad (2)$$

式中: $z(n)$ 代表眼睛的测量位置; $v_k$ 为测量噪声。

为了验证卡尔曼滤波算法的效果,最后实验选出的最优参数为 $(Q11, Q22) = (1024, 0.5)$ , $R = 4576$ 。实验中,手工标记了运动较快的 1500 帧图片左右两眼的精确位置,单片机通过串口将滤波值以及 1/2 帧处的预测值回发给上位机。定义预测值与真实值偏移程度  $\Delta$  为

$$\Delta = \frac{E((x_1^f - x_1^r)^2) + E((x_r^f - x_r^r)^2)}{2} \quad (3)$$

式中: $x_1^f$ 表示左眼坐标的测量值; $x_1^r$ 表示左眼坐标的实际值;相应的  $x_r$  则表示右眼。使用 Matlab 计算,得到图 9 的结果,横坐标表示帧编号,纵坐标表示观察者所在的水平位置,以显示器的最左边作为水平位置零点。

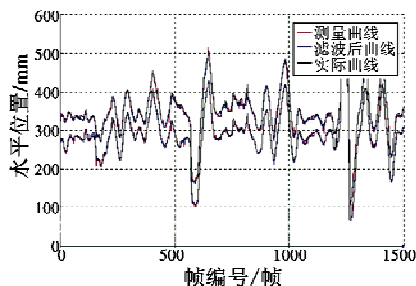


图9 卡尔曼预测插值

Fig. 9 Kalman prediction interpolatio

最终数据表明,未使用 Kalman 平衡滤波前, $\Delta_1 = 25.56$ ,滤波后  $\Delta_2 = 17.82$ ,性能提高 32%,利用 Kalman 预测插值,对观看者移动带来的串影干扰有一定改善。

#### 4 结束语

本文在背光控制层面提出了 3 种降低立体串影的方法,并进行了验证,得到了较强的立体观看效果,最终的显示装置及显示效果见图 10。



图10 整机效果图

Fig. 10 General outlook of this device

自由立体显示技术已然成为当今的研究热点,本文阐述了一种基于时分原理实现的无辅助视差立体显示系统,只需要采用一对立体图像对,即可实现无分辨率失真、多人同时观看的自由立体显示。

#### 参考文献

- [1] 田丰. 裸眼立体显示及数据获取的研究与实现[D]. 上海:华东师范大学,2010.  
TIAN F. Research and implementation of autostereoscopic display and data acquisition [D]. Shanghai: East China Normal University, 2010.
- [2] RICHARDS W. Stereopsis and stereoblindness[J]. Experimental Brain Research, 1970, 10(4):380-388.
- [3] WOODS A. Understanding crosstalk in stereoscopic displays [C]// Keynote Presentation at the Three-Dimensional Systems and Applications Conference, Tokyo, Japan, 2010:19-21.
- [4] LEE C, SEO G, LEE J, et al. Auto-stereoscopic 3D displays with reduced crosstalk[J]. Optics Express, 2011, 19(24):24762-24774.
- [5] SURMAN P, BRAR R S, SEXTON I, et al. MUTED and HELIUM3D autostereoscopic displays[C]// ICME, IEEE International Conference on Multimedia and Expo(ICME), IEEE, 2010:1594-1599.
- [6] 严超,王元庆,张兆扬. 基于 AdaBoost 和 Kalman 算法的人眼检测与跟踪[J]. 南京大学学报:自然科学版, 2010, 46(6):681-687.  
YAN C, WANG Y Q, ZHANG Z Y. Eye detection and tracking based on Ada. Boost and Kalman algorithms [J]. Journal of Nanjing University: Natural Sciences Edition, 2010, 46(6):681-687.
- [7] 欧伟明. 单片机原理与应用系统设计[M]. 北京:电子工业出版社,2009.  
OU W M. Single-chip microcomputer principle and application system design [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2009.
- [8] WANG L L, TEUNISSEN K, TU Y, et al. Crosstalk evaluation in stereoscopic displays[J]. Journal of Display Technology, 2011, 7(4):208-214.
- [9] 周志敏. LCD 背光驱动电路设计与应用实例[M]. 北京:人民邮电出版社,2009.  
ZHOU Z M. LCD backlight driving circuit design and applications [M]. Beijing: Posts & Telecom Press, 2009.
- [10] 张富铭,王展青,王传廷. 基于卡尔曼预测的运动目标实时跟踪[J]. 企业导报, 2009, 11:278-279.  
ZHANG F M, WANG Z Q, WANG C T. Real-time tracking of a moving target based on Kalman prediction [J]. Journal of Business Review, 2009, 11:278-279.