

文章编号:1672-3392(2009)02-0078-04

## 采用双液晶空间光调制器的激光立体显示方法研究\*

曾里 曹益平

(四川大学光电科学技术系, 四川 成都 610064)

**摘要** 利用激光的高亮度、高方向性和液晶空间光调制器的光强可调制特性和旋光特性,提出了一种新的激光立体显示方法。阐述了该方法的基本原理,设计了相应的实验系统,获得了较为满意的立体显示效果。由于该立体显示方法采用全电子时序控制,无需复杂的机械扫描控制,系统结构简单,程序可控性好,在长景深、大屏幕立体显示领域具有较好的应用前景。

**关键词** 激光显示; 空间光调制; 双液晶系统; 立体显示

**中图分类号** TN761 **文献标识码** A

### 1 引言

激光显示<sup>[1-2]</sup>由于具有亮度高,较容易实现大景深的大屏幕显示等优点,成为当今的一项热门显示技术,并且得到了快速的发展。目前的立体显示技术主要有:立体镜技术<sup>[3-5]</sup>、自动立体镜技术<sup>[6]</sup>、真三维立体显示技术<sup>[7]</sup>和全息技术<sup>[8]</sup>。立体镜技术,在观察的时候需要佩戴特定的眼镜观察投影出的两幅视差图像来得到立体感;自动立体镜技术则是在立体镜技术基础上,利用光栅,使得人在特定范围内,不配带眼镜,而左右眼能观察到对应视差图像实现立体感;真三维立体显示技术依靠屏幕旋转和光投影等技术,将二维图像拼接成一个三维图像,这样的显示方式能够还原物体真实的三维形象,支持多人、全角度观察;全息技术是利用计算全息技术,将三维全息信息真实地展现给观众,这种方式也被认为是立体显示的最终解决方案,但在硬件实现上现在仍具有较高难度。

在以上立体技术中,目前运用最成熟的是立体镜技术。立体镜技术分为主动式和被动式。被动式立体镜技术由于其客户端价格低廉,重量和系统复杂度远远低于主动式眼镜而得到更加广泛的应用。

被动式立体镜技术依靠传统投影仪作为投影主体,在投影片后方让投影光经过一面起偏器,转换成线偏光,然后令线偏光经过一个旋光器件,其

作用是利用旋光性控制投影光偏振方向,使之在两相互正交的偏振状态之间快速转换。这样,通过佩戴对应偏振特性的偏振眼镜,就能够分别观察到具有不同偏振特性的投影画面。利用这一特点,控制旋光器件的旋光状态,使之与画面左右眼视图的投影时间同步变换,就可以实现精确控制,使得左右眼分别观察到对应视差图像。

由于被动式立体镜技术采用的传统投影设备,图像景深普遍不高,而且其光源获得高平行度比较困难,效率和寿命都较低,而若以激光光源就能很好的弥补这些缺憾。

由此,本文利用激光扩束,依靠激光良好的方向性,改善传统立体投影的光源部分,同时吸取传统投影系统中的光强空间调制方式的优势,采用双液晶空间光调制系统,达到去掉激光显示中的机械扫描部分,简化投影部分光学结构,提高系统景深的目的。

### 2 激光立体显示原理

#### 2.1 激光面光源的获得

为了获得较大横截面积的激光光束,采用倒立的望远系统来完成。设望远系统物镜和目镜的焦距分别为  $f_1$  和  $f_2$ ,根据望远原理要求  $f_1 > f_2$ , $\omega_0$ 、 $\omega_1$  分别为入射和出射光束的束腰大小, $z_0$  为出射光束束腰到物镜的距离,则有:

收稿日期 2008-09-04; 收到修改稿日期 2008-10-25

作者简介 曾里(1983-),男,硕士研究生,主要从事三维光学信息处理研究。E-mail: sunwind\_900@163.com

\* 国家 863 高技术研究发展计划(2007AA01Z333),四川省科技攻关项目(2006Z01-028),四川省学术和技术带头人培养基金(07GRC-01)资助项目

$$\frac{\omega_1}{\omega_0} = \frac{f_1}{f_2} \quad (1)$$

$$z_0 = \frac{(f_1 + f_2)f_1}{f_2} \quad (2)$$

如果以出射束腰位置为光束传输原点,沿传输  $z$  轴上的光束尺寸  $\omega(z)$  为

$$\omega(z) = \omega_1 \sqrt{1 + (z/z_0)^2} \quad (3)$$

如果使激光显示区域接近扩束激光光腰位置,则  $\omega(z) \approx \omega_0$ ,可见,利用扩束装置,我们既能够放大激光光束,使之适合于投影区域大小,同时根据发散角与光腰成反比的原理又能够进一步提高激光的平行度。

### 2.2 双液晶激光立体显示原理

如图 1 所示,激光经扩束后,入射到由偏振片 1(Polarizer1)、液晶空间光调制器 1(LCSM 1) 偏振片 2(Polarizer2)组成的图像调制器,当将左右视图按一定编程时序经视频分屏器的接口 1 (Spliter1)输入到图像调制器,同时通过视频分屏器的接口 2(Splitter2)经一专门设计的适配器电路后同步控制液晶空间光调制器 2(LCSM 2),使之产生  $0^\circ$ 和  $90^\circ$ 旋光使左右视图信息偏振方向相互正交,那么通过佩戴对应正交偏振特性偏振片眼镜,就能够容易地区分开左右眼视图,产生显著的立体感。

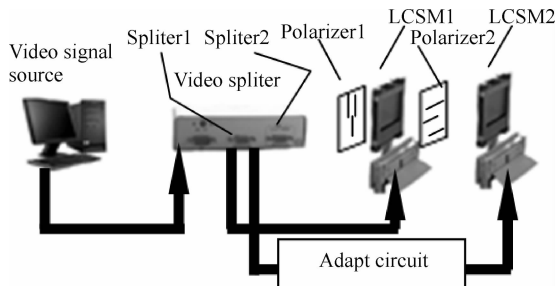


图 1 双液晶系统结构图

Fig. 1 Sketch map of double liquid system

由于双液晶系统需要在 LCSM1 对双眼图像信息切换的同时,改变 LCSM2 的旋光特性,使得被调制的图像信息被对应的眼睛观察到,所以,该系统对同步性的要求就比较高。针对这一需求,设计了专门的适配电路。

### 2.3 适配时序设计

因为 LCSM2 实际上也是依靠视频信号的输入进行控制,视频信号中主要包含有 RGB 三色信号和对应的行同步,帧同步信号。考虑到 LCSM2 作为旋光片仅仅需要两种状态的控制即旋光  $90^\circ$  和不旋光,所以其控制信号也就仅需要相对简单的

两种状态即高电平使旋光性消失,低电平保持旋光  $90^\circ$ 。因此需要对 LCSM2 的 RGB 输入信号进行单独设计。考虑到控制信号的两种状态的改变应与 LCSM1 的左右眼图像的更新同步对应,所以其同步性可由行同步、帧同步信号的对接实现,这样就可以保证两片 LCSM 的更新实现像素级的同步。剩下的工作就是要设计出三路随着左右眼图像不断切换而不断变换高低电平的 RGB 信号,用来控制 LCSM2 的旋光性。利用适配电路以帧同步信号  $S_f$  为基础,对其进行加工,用以作为对 LCSM2 的 RGB 口进行输入的旋光信号。

首先从视频分屏器的 Spliter2 中对应引脚引出帧同步信号  $S_f$ ,然后输入到适配电路中,将帧同步信号根据需要分频并转换为方波  $S_i$ ,再利用特定元件将方波的幅值转换为可以直接输入到 LCSM2 作为 RGB 信号的特定幅值,转换后的三色信号分别用  $S_r, S_g, S_b$  表示。最后将经过适配后的 RGB 信号输入到 LCSM2 中,其余的接口信号则直接从分屏器的线孔连接到 LCSM2 对应的针脚上。

若系统采用 60 帧/秒刷新率的电脑视频信号输入,以同样 60 次/秒的速率切换左右眼视图,由此可知,LCSM2 需要以 30 Hz 的方波信号来同步切换旋光方向。其时序图如图 2 所示。

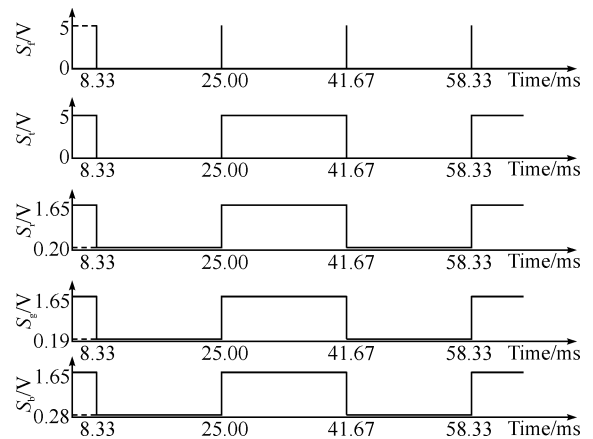


图 2 适配电路时序图

Fig. 2 Timing chart of the adaptive circuit

将引出的帧同步信号  $S_f$  经过电路处理,得到二分频后的方波  $S_i$ ,其频率为 30 Hz,幅值仍为 5 V。然后将其分为三路,分别由幅值调节电路调节出可以直接充当 RGB 信号的幅值,经测量三色旋光控制的上下阈值如图 2 所示中的  $S_r, S_g, S_b, y$  轴所标注数据分别为 RGB 三色电压控制信号  $S_r, S_g, S_b$  在旋光  $0^\circ$ 和  $90^\circ$ 时对应的控制电压阈值,旋

光  $0^\circ$  对应上阈值, 旋光  $90^\circ$  对应下阈值。幅值调节电路只要匹配两阈值, 即可实现对旋光度的正确调节。然后将这三路分别对应 RGB 信道的方波信号  $S_r, S_g, S_b$  输入到对应接口。其余信号, 如电源、地、行同步、帧同步信号都直接由分线器接出, 输入到 LCSM2 中, 这样就实现了精确到像素的良好同步性。

#### 2.4 双液晶对准误差分析

上节中描述的时序, 可以保证双液晶片间的良好同步性, 同步性可以精确到像素级。但是这一效果必须建立在双液晶片精确对准的基础之上。理想情况下, LCSM1 与 LCSM2 在扩束激光的照射方向上, 能够实现像素一一对应的调制。但是, 实际操作的时候, 由于实验器具的测量精度有限, 所以很难实现像素级的对齐。设 LCSM 的左上角像素坐标为原点坐标  $(0, 0)$ , 以行方向为  $x$  坐标方向, 列方向为  $y$  坐标方向。由于对准误差, LCSM2 的  $(0, 0)$  像素仅与 LCSM1 的  $(x_0, y_0)$  像素相对齐, 在行和列上分别位移了  $x_0$  列和  $y_0$  行。这样, 在 LCSM1 的新图像像素更新到像素  $(x_0, y_0)$  的时候, LCSM2 也更新到了  $(x_0, y_0)$ , 虽然更新了同样数量的像素, 但由于错位引入的误差, 此时 LCSM2 调制的却是 LCSM1 还未更新到的旧图像。这样就会使得这段时间内, 在两液晶片重叠部分, 实现偏振态调制的 LCSM2 更新就超前了实现图像信息调制的 LCSM1, 使得旧图像的信息受到新偏振态的调制, 被错误地观察到。

为了表征这一错位对立体观察效果的影响, 考虑到人眼对图像的观察是一个对光能时间积分的效果。人眼观察到的光亮度, 在光通量随时间不变的情况下, 只和通光时间有关。在每秒  $F$  帧, 图像显示幅面为  $X \times Y$  的情况下, 对于重叠区域, LCSM2 的更新超前 LCSM1 的时间为

$$t = \frac{y_0 \times X + x_0}{F \times X \times Y} \quad (4)$$

又由于这一超前会一直保持下去, 所以, LCSM2 与 LCSM1 的重叠部分同坐标像素的更新都会保持时间  $t$  的间隔, 从人眼视觉对光能的积分特性来说, 即在每一帧的显示中, 有时间  $t$  的通光量是对错误图像的显示。用图像错误信息率  $R$  来表征错位所引起的错误通光能量对人眼观察效果的影响, 则有:

$$R = \frac{t}{T} \quad (5)$$

其中,  $T=1/F$  是一帧图像的显示时间。

### 3 实验及结果分析

本系统的实验设计原理如图 3 所示。

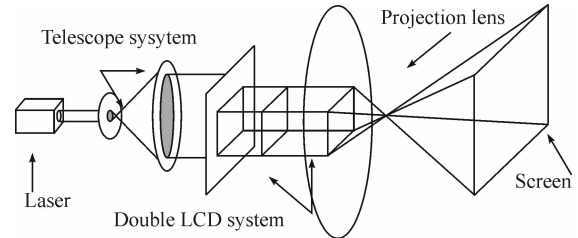


图 3 激光双液晶立体投影系统

Fig. 3 Laser double-LCSMs stereoscopic display system

系统采用 He-Ne 激光器作为投影激光源, 经过双液晶系统的调制, 最后用投影透镜透射出去。投影出的图像效果如图 4 所示。

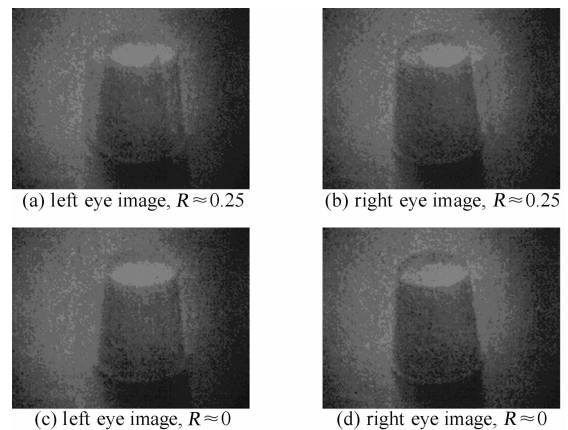


图 4 双眼视图投影效果对比

Fig. 4 Parallax intage projection effect

图 4 是在 LCSM 帧频为 60 Hz, 分辨率为  $1024 \times 768$  的情况下, 左右眼图的切换频率和帧频一致。在投影透镜之前再放置一个偏振镜, 通过调节偏振镜与空间光调制系统中偏振片 2 的偏振方向同向和正交两种情况, 分别采集的左、右眼图像。为了明显地体现出双液晶对准误差对显示效果的影响, 装置在对准时特意在  $y$  方向错开  $1/4$  左右的位置。这样, 利用式 (5) 计算可得, 图像错误信息率  $R=0.25$  左右。而图 4(a), (b) 则是对这一情况下双液晶重叠部分图像的采集情况, 可以看出, 本来该只有左眼或右眼图像的情况下出现了图像的混叠。由于计算得到的图像错误信息率只有 0.25, 所以混叠的效果不是太明显。而在准确对准的情况下, 采集到的图像如图 4(c), (d) 所示, 比较明显的是, 混叠现象已经基本消失了, 显示效果良好。

从结果可以看出,利用双液晶系统能够实现良好的双眼图像的区分,达到立体显示的目的。而且能够证明双液晶系统的对准误差会引起立体显示效果的下降。

## 4 结 论

本文通过实验,实现了一种利用激光扩束作为新型光源并利用双液晶系统进行空间光强和旋光调制的立体投影系统,提出了可表征系统画面质量的图像错误信息率的概念。这一系统的提出旨在结合现在最新的两种投影方式,互取长处,并简化现有系统。本文中采用的是单色激光的模拟实验,三色系统在投影系统中的良好匹配仍然会是一项比较复杂的工作,系统的对准问题也需要仔细研究。希望通过该方法的提出,为激光显示和立体显示的结合,提供一种新思路。

## 参 考 文 献

- [1] Christhard DETER, Juergen KRAENERT. High resolution scanning laser projection display with diode pumped solid state lasers [C]. SPIE, 2000, 3954: 175-184.
- [2] 康玉思,刘伟奇,冯睿. 激光显示中光学系统研究[J]. 应用光学, 2005, 28 (4): 401-405.
- [3] 赵新亮,林妩媚,曹益平,等. 激光显示中声光调制器的非线性实时校正[J]. 光电工程, 2005, 3 (4): 66-69.
- [4] 郭飞,胡兵,应花山,等. 双振镜扫描几何失真的硬件校正[J]. 激光技术, 2003, 27 (4): 337-341.
- [5] 徐伟忠,刘辉,谈正. 三维立体显示系统的开发研究[J]. 中国图形图像学报, 1997, 2 (A) (4): 144-148.
- [6] 蒋峰,朱向冰. 液晶自动立体显示技术研究进展[J]. 光学与光电技术, 2007, 5 (4): 81-84.
- [7] 李艳丽,王惠南,陶玲,等. 真三维立体显示系统的旋转体扫描技术研究[J]. 计算机应用与软件, 2008, 25 (5): 221-222.
- [8] 柴晓冬,韦穗. 基于序列视差图像的全息立体显示方法 [J]. 东南大学学报(自然科学版), 2003, 33 (3): 289-291.

# Laser Stereoscopic Display by Double Liquid Crystal Spatial Modulators

ZENG Li CAO Yi-ping

( Department of Optoelectronics, Sichuan University, Chengdu 610064 , China )

**Abstract** By taking the advantages of the high luminance, excellent parallel nature of laser and the intensity modulability and polarization alterability of the liquid crystal spatial modulator, a new method to achieve the laser stereoscopic display was proposed. The main principle of the laser stereoscopic display system was introduced in detail and the display system was designed comprehensively. The satisfied effect was acquired successfully by the designed experimental system. By electronic timing control in stead of the mechanical scanning device, this stereoscopic display system can be well controlled by programming. This large-field-depth system has a promising applied prospect in large-screen stereoscopic display field.

**Key words** laser display; spatial light modulation; double liquid crystal system; stereoscopic display