

基于光源偏振补偿的硅基液晶激光三维显示光学引擎

亓 岩^{1,2} 毕 勇¹ 王 宇¹ 王爱斌³ 王延伟¹ 成 华¹ 王 斌¹ 房 涛¹ 颜博霞¹ 郑 光¹

¹ 中国科学院光电研究院, 北京 100094
² 中国科学院研究生院, 北京 100049
³ 北京中视中科光电技术有限公司, 北京 100049

摘要 基于光源偏振补偿硅基液晶(LCOS)光学引擎的激光三维(3D)显示系统对传统的 LCOS 光学引擎引起的偏振光损失进行了补偿,使经由照明系统进入光学引擎的不同偏振方向的激光全部参与成像,既可以实现激光 3D 立体显示,还提高了二维(2D)显示时的光能利用率。进行 2D 显示时,入射激光的 s 偏振光和 p 偏振光分别对应于不同 LCOS 同时成像,成像后的图像在屏幕上相互叠加,投影后图像的亮度约为未进行偏振补偿时的 2 倍。当输入 3D 视频信号时,正交偏振的 p 偏振光和 s 偏振光分别对应于左右眼图像同时成像,观看者配戴由正交偏振片制成的眼镜,可实现双像分离,实现激光 3D 显示。

关键词 图像处理;激光显示;光学引擎;硅基液晶;三维立体显示

中图分类号 TN27 文献标识码 A doi: 10.3788/CJL201138.0917003

Laser Three-Dimensional Display System Based on Polarization Compensated Liquid Crystal on Silicon Optical Engine

Qi Yan^{1,2} Bi Yong¹ Wang Yu¹ Wang Aibin³ Wang Yanwei¹
Cheng Hua¹ Wang Bin¹ Fang Tao¹ Yan Boxia¹ Zheng Guang¹

¹ Academy of Opto-Electronics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100094, China
² Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China
³ Phoebus Vision Opto-Electronics Technology Co., Ltd., Beijing 100049, China

Abstract Laser three-dimensional (3D) display system based on polarization compensated liquid crystal on silicon (LCOS) optical engine compensates the polarization loss of the traditional LCOS optical engine, light of different polarizations entering into the optical engine is utilized in the process of the imaging process, each polarization is directed to one of two LCOS panels. In two-dimensional (2D) operation, the same image is presented on each LCOS, producing a double-brightness image. In 3D mode, one LCOS produces a right-eye image and the other produces a left-eye image. The images are optically combined and leave the projector through the same projection lens. This improved optical engine realizes 3D display, as well as enhances the efficiency of the optical engine when working in 2D display mode. This approach is highly efficient in that nearly 100% of the light emitted by the lasers utilized.

Key words image processing; laser display; optical engine; liquid crystal on silicon; three-dimensional display

OCIS codes 140.7300; 120.2040; 230.1360; 110.3010

1 引 言

激光显示是以红绿蓝(RGB)三基色激光为光源的显示技术^[1,2]。由于激光光源本身的线谱发射特性,使得激光显示技术在色度学大色域色彩再现

方面具有显著优势,其色域覆盖率可以达到人眼所能识别色彩空间的 90%^[3],可真实再现客观世界最丰富、最艳丽的色彩,已成为显示技术向更高性能发展的必然趋势。三维(3D)立体显示作为一种全新

收稿日期:2011-03-30;收到修改稿日期:2011-05-09

基金项目:国家 863 计划(2009AA032701,2009AA032706)和电子信息产业发展基金([2008]97)资助课题。

作者简介:亓 岩(1980—),女,博士,工程师,主要从事固体激光技术和大屏幕激光显示技术等方面的研究。

E-mail:qiyan@aoe.ac.cn

模式的视觉革命,突破了平面的限制^[4~6],利用平面二维(2D)记录介质来产生出 3D 信息即立体 3D 图像,可以充分地发挥激光的特性,使激光显示技术进入一个全新的发展阶段。投影技术发展至今,衍生出了阴极射线管(CRT)、液晶显示(LCD)和数字光处理(DLP)3 种常用投影技术^[7]。CRT 投影技术由于受到技术的制约已逐渐被淘汰,硅基液晶(LCOS)投影技术是一种新型的反射式微型 LCD 投影技术^[8,9],与透过式 LCD 和 DLP 技术相比,具有光能利用率高、体积小、开口率高和制造技术较成熟等特点,可以很容易地实现高分辨率和充分的色彩表现。

本文基于偏振补偿的激光 3D 显示光学引擎采用 LCOS 作为成像元件,对传统的 LCOS 光学引擎进行了光源偏振补偿,可以实现激光 2D 和 3D 立体显示,同时提高了 LCOS 光学引擎的整体光能利用率。

2 偏振补偿原理

基于 LCOS 的激光显示光学引擎主要由 LCOS 芯片和偏振分光棱镜(PBS)构成,PBS 由两个 45°等腰直角棱镜胶合而成,中间镀有偏振分光膜,可以将入射到其中的随机偏振的光分为两路正交线偏光^[10]。图 1 为自然光垂直入射时 PBS 的光学特性。当自然光垂直入射到 PBS 中时,PBS 反射入射光的 s 偏振光,同时使其中的 p 偏振光透过。对应于不同波长的入射光,PBS 的分光特性也不相同,并且随着入射角度的增大,PBS 的分光性能降低。

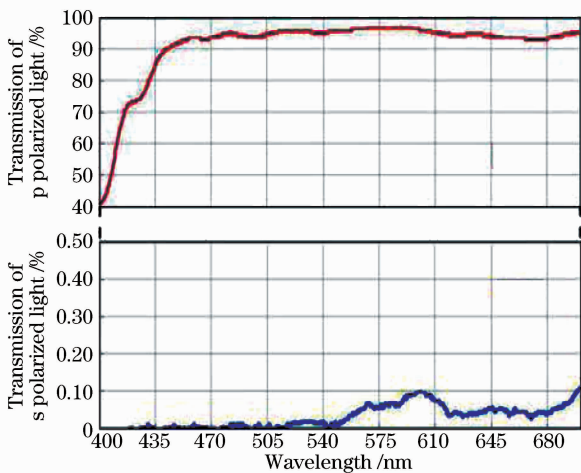


图 1 PBS 的光学特性

Fig. 1 Optical characteristics of PBS

基于 LCOS 光学引擎的激光显示系统基本成像过程如图 2 所示。激光器发出的光经光纤耦合后由照明系统进入光学引擎,经光学引擎调制成像后,由成像系统投影到屏幕上。激光器发出的光进入照

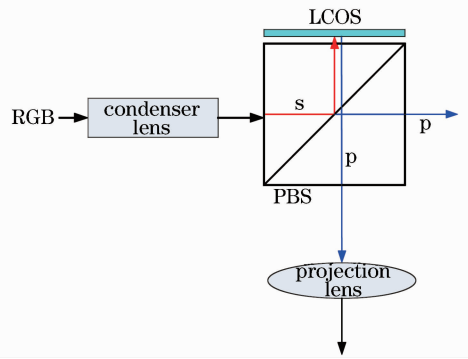


图 2 LCOS 光学引擎的基本成像过程

Fig. 2 Imaging process of LCOS optical engine

明系统前通过光纤耦合输出,尽管激光器本身发出的光具有一定的偏振性,但是经过一定长度的光纤后,由于光纤的退偏作用,从光纤出射后的激光其偏振方向趋近于自然光。

从光纤出射后的激光经照明系统匀化整形后,进入光学引擎。在如图 2 所示传统的基于 LCOS 光学引擎的投影系统中,由照明系统进入光学引擎的 RGB 三色激光只有 s 偏振光成分被 PBS 反射,进入 LCOS 液晶光阀,光阀调制的反射光中,只有 p 偏振光成分再次通过 PBS 后,通过投影透镜投影在屏幕上,这样,入射激光只有一半的光能参与成像,从而使得基于 LCOS 光学引擎的显示系统光能利用率的提高受到限制。

对传统 LCOS 光学引擎进行了偏振补偿的激光 3D 显示光学引擎如图 3 所示。在 PBS 与原 LCOS1 芯片垂直的另一面放置一个同样的 LCOS (LCOS2) 芯片,原来由照明系统进入光学引擎的 RGB 三色激光中不参与成像的 p 偏振光部分经过 LCOS2 调制后变为 s 偏振光,再次经 PBS 反射,与经 LCOS1 调制的 p 偏振光一同进入投影系统参与成像,这样,经由照明系统进入光学引擎的激光全部

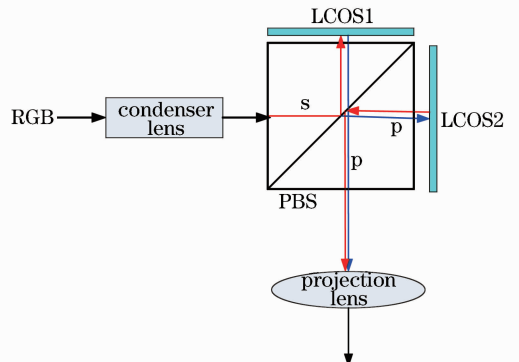


图 3 进行了偏振补偿的 LCOS 光学引擎

Fig. 3 Polarization compensated LCOS optical engine

参与成像,当激光显示系统进行 2D 显示时,由于在原来一半入射光参与成像的基础上实行了偏振补偿,提高了入射光的利用率,同样功率的入射光,经偏振补偿后投影亮度约为未进行补偿时的 2 倍。在提高 2D 显示光能利用率的同时,按照这种偏振补偿方案设计的激光引擎可以实现 3D 立体显示。分别给两个 LCOS 不同的视频信号,如左眼图像信号传送到 LCOS1,入射光经 PBS 和 LCOS1 调制后由 p 偏振光成像到屏幕上,右眼图像信号传送到 LCOS2,入射光经 PBS 和 LCOS2 调制后由 s 偏振光成像到屏幕上,两片 LCOS 对正交偏振的 p 偏振光和 s 偏振光同时成像,这样,就在屏幕上形成了两幅由两束偏振方向互相垂直的光形成的图像投影。观看者佩戴上用一对正交偏振片制成的眼镜,即可实现双像的分离,在 2D 平面上产生出 3D 立体图像,从而实现了 3D 立体显示。

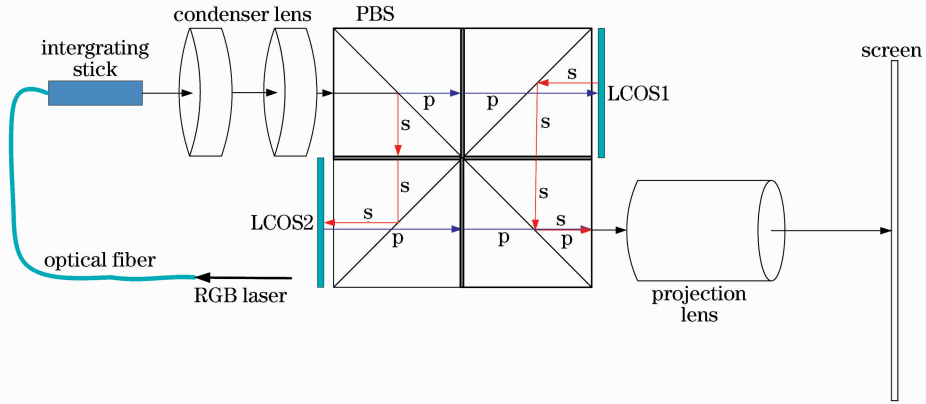


图 4 基于光源偏振补偿的 LCOS 激光显示系统

Fig. 4 Laser display system based on polarization compensated LCOS optical engine

图 3 所示的进行了偏振补偿的 LCOS 光学引擎中只含有一个 PBS, PBS 的偏振分光膜反射 s 偏振光,但仍有一部分 s 偏振光会透过 PBS 到达 LCOS2;同样,到达 LCOS1 的 s 偏振光里也会掺杂一定的 p 偏振光,定义 PBS 对 s 偏振光及 p 偏振光的透射率分别为 T_p 和 T_s ,反射率分别为 R_p 和 R_s ,则系统的对比度为

$$C = \frac{R_s T_p + R_p T_s + T_p R_s + T_s R_p}{R_p T_p + R_s T_s + T_p R_p + T_s R_s} = \frac{R_s T_p + R_p T_s}{R_p T_p + R_s T_s} \quad (1)$$

对于 PBS 而言,存在关系

$$0 \approx T_s < R_p, \quad (2)$$

$$T_p < R_s \approx 1, \quad (3)$$

得到

$$C \approx \frac{R_s}{R_p} \approx \frac{1}{R_p} \quad (4)$$

3 实验及讨论

基于上述 LCOS 光学引擎激光光源偏振补偿原理的偏振补偿激光 3D 显示系统如图 4 所示,为实现大的色域覆盖率,同时提高整机的效率,RGB 三色激光对应的波长分别选择为 635, 532 和 456 nm^[11]。三色激光的输出功率均为 2 W,按照 1:1:1 的功率配比分别耦合到直径 200 μm ,数值孔径 (NA) 为 0.22 的石英光纤中。由于激光的相干特性,从石英光纤中耦合输出的光若直接进入照明系统,最终成像在屏幕上时,会产生散斑效应^[12~15],这将极大地降低图像的均匀性和人眼的舒适度。为减小散斑效应,令从石英光纤出射的激光经过一定长度的液态光导管后再进入照明系统的光棒。由液态光导管和光棒匀化整形后的激光经聚焦系统进入光学引擎。

经投影系统成像后,图像的对比度 C 约与 R_p 成反比。为提高图像的对比度,提高成像质量,采用如图 4 所示的偏振分光棱镜组,偏振分光棱镜组由 4 个相同的 PBS 组成,当入射光束经照明系统进入 PBS 组后,入射激光中的 s 偏振光经 PBS 组的两次反射后到达 LCOS2,经调制后参与成像的部分变为 p 偏振光经两块 PBS 透射后进入成像系统,入射激光中的 p 偏振光经 PBS 组的透射后到达 LCOS1,经调制后参与成像的 p 偏振光变为 s 偏振光经 PBS 组的两次反射后,同经 LCOS2 调制后的 p 偏振光一起经投影系统成像,这样系统的对比度 C 变为

$$C = \frac{R_s^2 T_p^2 + R_p^2 T_s^2}{R_p^2 T_p^2 + R_s^2 T_s^2} \approx \frac{1}{R_p^2} \quad (5)$$

参与成像的 s 偏振光和 p 偏振光经过了两次反射和透射后,图像的对比度约与 R_p^2 成反比,极大地提高了显示图像的对比度。为了进一步提高图像的对比

度,在每两个 PBS 之间加入了偏振片来滤除杂光。

图 5 是实验中进行了偏振补偿的 LCOS 光学引擎实物图,4 个相同的 PBS 每两个光胶在一起构成 PBS 组,实验选用宽角度宽波段的 PBS,每个 PBS 的尺寸为 $20\text{ mm} \times 20\text{ mm} \times 28\text{ mm}$,材质选用 SF57 玻璃,单个 PBS 的 p 偏振光的平均透射率大于 90%,消光比为 500:1。LCOS 芯片对准后用 UV 胶固定在 PBS 上,芯片后面贴上散热片对 LCOS 进行散热。由于 PBS 对 s 光的反射率 R_s 和对 p 光的透射率 T_p 随着 F 数的减小而降低,因此,除了选用宽角度宽波段的 PBS,还需要选用大 F 数的光学系统,针对基于激光光源偏振补偿的 LCOS 3D 显示系统,选用的照明系统 F 数约为 7。

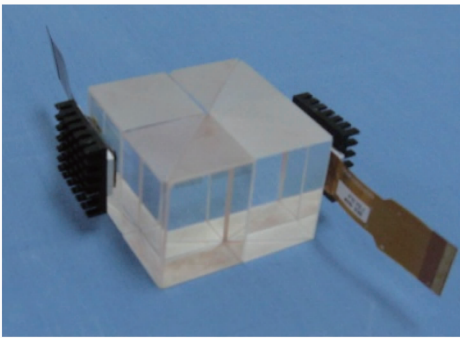


图 5 进行了偏振补偿的 LCOS 光学引擎实物图

Fig. 5 Picture of the polarization compensated LCOS optical engine

为提高整个激光显示系统的电效率,LCOS 光学引擎中采用 Himax 时序工作的 LCOS 芯片。实验中使用的两片 LCOS 芯片完全相同,芯片尺寸为 1.143 cm ,分辨率为 $1024\text{ pixel} \times 768\text{ pixel}$,反射率为 66%,RGB 三色激光占比均为 30%,根据 LCOS 的调制按照一定的顺序进行开关。分别给两个 LCOS 对应于左右眼的不同视频信号,如左眼图像信号传送到 LCOS1,右眼图像信号传送到 LCOS2,则分别对应于左右眼图像的正交偏振的 p 偏振光和 s 偏振光同时成像,这样,就在屏幕上形成了两幅由两束偏振方向互相垂直的光形成的图像投影,观看者配戴由一对正交偏振片制成的眼镜,可实现双像的分离,从而实现了 3D 立体显示。实验中使用的屏幕为偏振保持的金属屏幕,屏幕增益为 2.0。给两个 LCOS 完全相同的视频信号,由 LCOS1 和 LCOS2 成的完全相同的像在屏幕上进行叠加,从而提高了投影到屏幕上的整个图像的亮度。各色激光的输出功率均为 2 W,当如图 3 中所示进行了偏振补偿的光学引擎中只采用一片 PBS 时,由于受

到 LCOS 芯片水平的限制,测得系统的对比度仅为 40:1,而当光学引擎中采用 PBS 组时,对比度达到 1500:1,极大地提高了系统的对比度,同时测得如图 4 所示的进行了偏振补偿的激光显示系统的光通量为 240 lm,而未进行偏振补偿时,即系统中只含有一个 LCOS 时,激光投影系统的光通量仅为 130 lm,经偏振补偿后投影系统的光通量提高了将近 1 倍。

如上所述的基于激光光源偏振补偿的 LCOS 3D 显示系统进行 2D 显示时,由于提高了入射激光的利用率,投影后亮度约是未进行偏振补偿时的 2 倍。进行 3D 显示时,分别对应于左右眼的正交偏振的 p 偏振光和 s 偏振光同时成像,观看者配戴由一对正交偏振片制成的眼镜,可实现双像的分离,从而在 2D 平面上产生出 3D 立体图像。在目前的 3D 显示技术中,偏振式 3D 技术的色彩损失是最小的。由于眼镜透射率高,本身几乎没有任何颜色,色彩显示更为准确。这种显示方式观看角度大,眼睛倾斜到一定角度依然能显示高质量的 3D 画面。偏振式 3D 技术还有眼镜成本低、配戴舒适和无辐射等优点。

4 结 论

基于光源偏振补偿的 LCOS 激光 3D 显示光学引擎对传统的 LCOS 光学引擎进行了偏振补偿,使经由照明系统进入光学引擎的激光全部参与成像,既可以实现 3D 显示,还可以提高 2D 显示的光能利用率。进行 2D 显示时,入射激光的 s 偏振光和 p 偏振光全部参与成像,入射激光的光能利用率提高,投影后图像的亮度是未进行偏振补偿时的 2 倍。当输入 3D 视频信号时,正交偏振的 p 偏振光和 s 偏振光分别对应于左右眼图像同时成像,观看者配戴用正交偏振片制成的眼镜,即可实现双像的分离,实现 3D 显示。限于实验条件,选取的 LCOS 芯片指标有限,若选择更高性能的 LCOS 芯片,整个显示系统的分辨率等指标还可以进一步提高。

参 考 文 献

- 1 K. W. Kennedy, R. J. Martinsen, A. J. Radl *et al.*. Laser-based SXGA reflective light valve projector with e-cinema quality contrast and color space [C]. *SPIE*, 2000, **3954**:168~174
- 2 Kang Yusi, Liu Weiqi, Feng Rui *et al.*. Offset interference of laser TV [J]. *Chinese J. Lasers*, 2008, **35**(4):615~619
康玉思,刘伟奇,冯睿等. 激光电视的消干涉[J]. *中国激光*, 2008, **35**(4):615~619
- 3 K. V. Chellappan, E. Erden, H. Urey. Laser-based displays: a review [J]. *Appl. Opt.*, 2010, **49**(25):F79~F98
- 4 Zhang Zonghua, Peng Xiang, Hu Xiaotang. A new color 3D

- optical imaging system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(8): 994~998
- 张宗华, 彭 翔, 胡小唐. 一种新型彩色三维光学成像系统[J]. *光学学报*, 2002, **22**(8):994~998
- 5 A. Wang, Q. Wang, D. Li *et al.*. Three dimensional display technology [J]. *Chinese J. Electron Devices*, 2008, **31**(1):305~307
- 6 Tian Jindong, Peng Xiang. Approach for three-dimensional digital imaging via position-shift point array projection [J]. *Acta Optica Sinica*, 2005, **25**(10):1319~1323
- 田劲东, 彭 翔. 位错点阵投影的三维数字成像[J]. *光学学报*, 2005, **25**(10):1319~1323
- 7 Ji Xudong. The latest development of projection technology [J]. *Electro-Optics Technology*, 2009, **51**(1):25~30
- 季旭东. 投影技术的最新发展[J]. *光电技术*, 2009, **51**(1):25~30
- 8 Y. Liu, W. Geng, Y. Dai. Low power design of a field sequential color LCoS chip [J]. *Optoelectronics Letters*, 2009, **5**(5):341~343
- 9 H. Dai, K. Xu, Y. Liu *et al.*. Characteristics of LCoS phase-only spatial light modulator and its applications [J]. *Opt. Commun.*, 2004, **238**(4-6):269~276
- 10 Yao Liying, Yi Kui, Yang Jian *et al.*. Design and fabrication of polarizing beam splitter for projection display system [J]. *Acta Optica Sinica*, 2002, **22**(9):1116~1118
- 姚李英, 易 葵, 杨 健等. 应用于投影显示系统的偏振分光镜的设计和制备[J]. *光学学报*, 2002, **22**(9):1116~1118
- 11 G. Zheng, B. Wang, T. Fang *et al.*. Laser digital cinema projector [J]. *IEEE Journal of Display Technology*, 2008, **4**(3):314~318
- 12 J. W. Goodman. Statistical Properties of Laser Speckle Patterns [M]. Berlin: Springer, 1984. 9~75
- 13 Wan Haifeng, Fu Yuchuan, Wang Zhiheng. Optical flow analyses on speckle patterns [J]. *Acta Optica Sinica*, 1997, **17**(4):434~441
- 万海峰, 傅玉川, 王植恒. 激光散斑图样的光流场分析研究[J]. *光学学报*, 1997, **17**(4):434~441
- 14 N. George, A. Jain. Speckle reduction using multiple tones of illumination [J]. *Appl. Opt.*, 1973, **12**(6):1202~1212
- 15 L. Wang, T. Tschudi, T. Halldrórsson *et al.*. Speckle reduction in laser projection systems by diffractive optical elements [J]. *Appl. Opt.*, 1998, **37**(10):1770~1775