

文章编号:1001-5078(2007)09-0885-04

基于空间光调制器的合成全息显示技术研究

陈海云, 杨上供

(浙江师范大学信息光学研究所, 浙江 金华 321004)

摘要:提出了一种基于液晶空间光调制器和计算全息技术的合成全息显示新方法。由计算机设计三维物体模型并获取带有视差信息的系列二维体视数字图像,通过计算全息方法对每一幅二维图像计算得到相应的全息图,再现时将左右眼视图对应的全息图同时输出到两个空间光调制器进行实时光电再现,并使再现像的位置符合人眼双目观察需要,计算机控制不同视角全息图顺序输出,从而实现合成全息立体显示,同时可观察合成全息动感,而观察者位置不必移动,与传统的合成全息显示相比操作灵活,易于控制。在实验中用液晶背投影光学引擎系统设计了硬件实验系统,设计了相关的控制软件,并给出了实验结果。

关键词:计算全息;合成全息;空间光调制器;光电再现;光学引擎

中图分类号: O438.1 **文献标识码:** A

Study on Display Technology of Synthetic Hologram Based on Spatial Light Modulator

CHEN Hai-yun, YANG Shang-gong

(Institute of Information Optics, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004, China)

Abstract: Based on liquid crystal spatial light modulator and technology of computer-generated hologram, a new method of synthetic hologram display is proposed. 3D object model is generated by computer and a serial of 2D digital stereo images with parallax information are obtained and then the correlated holograms of every 2D image are computed. The two holograms correlated with the left and right stereo image are output simultaneously to two SLMs respectively for reconstruction and the position of reconstructed images are arranged to meet the requirement of two-eye perceiving. The computer controls the holograms with different viewing angle to be transferred sequentially to implement stereoscopic display of synthetic hologram, and at the same time, the perceived stereoscopic image is sensorimotor without moving the position of viewer. In this approach, the operation is more flexible and easier to control than that in conventional synthetic holography. The experimental system is designed using liquid crystal optic engine system of rear-projector. The controlling program is also designed and the experimental result is presented.

Key words: computer-generated hologram (CGH); synthetic hologram; spatial light modulator (SLM); optoelectronic reconstruction; optic engine

1 引言

Gabor 于 1948 年提出的全息技术^[1],能够记录和再现三维物体,已经在光学计量、微光学、立体显示等领域得到了广泛的应用^[2-3]。合成全息术是将专门制作的一组带有视差信息的二维图片,综合成

为能显示三维图像的全息术,尤其在记录室外大场

基金项目:浙江省自然科学基金资助项目(No. 102056)。

作者简介:陈海云(1977 -),男,讲师,硕士,研究方向为光电技术与全息立体显示。E-mail: chy@zjnu.cn

收稿日期:2007-03-19;修订日期:2007-04-16

景和人物肖像等方面有着自己独特的优势^[4]。计算全息术将全息原理与计算机技术相结合,使全息图的制作更加灵活方便^[5-6],合成全息图同样可以利用计算机图形处理能力和计算全息技术制作得到。高分辨率电寻址的液晶空间光调制器目前已经商用化,并在光学信息处理领域得到了广泛的应用^[7-9],同时也对合成全息技术的发展提供了新的技术支持^[10-11],利用其与计算机的良好接口,作为二维图片发生器参与合成全息图的拍摄,极大地提高了合成全息图拍摄的灵活性和可靠性。但计算机辅助的只在拍摄环节,合成全息的记录和显示以及观察合成全息动感仍然是通过空间面积分割来实现的。目前高分辨率电寻址液晶空间光调制器的像素尺寸达到了微米量级,已经可以直接用于数字全息图的实时光电再现^[12]。本文正是基于计算全息技术和数字全息图的实时光电再现技术,提出了一种实现合成全息显示的新方法,由计算机制作三维物体模型并得到体视图阵列,计算每一视角二维体视图的全息图,再现时利用两个液晶空间光调制器同时对一对体视图的两幅全息图进行实时光电再现,同时使再现像符合人眼双目视觉需要以达到立体显示效果,计算机控制全息图阵列按一定频率输出,代替传统合成全息中的空间面积分割,从而实现合成全息的显示效果,同时可以方便的观察合成全息动感。本文分析了计算原理和实验系统设计,并给出了实验结果。

2 二维视图对应全息图的计算原理

根据体视图原理,如图1所示,选取合适的角度 α 摄取一对体视图图片,并有 $\alpha = \arctan(B/2l)$, B 为人眼一般瞳距62mm, l 取明视距离300mm,则可计算得 $\alpha = 5.9^\circ$ 。计算全息术根据光学全息的原理,利用计算机计算得到物光波在全息平面上的分布,并对光场的分布进行编码,得到数字化的全息图。对二维光场分布,计算全息的记录原理如图2所示,设二维物光场分布为 $f(x_0, y_0)$, z_0 满足菲涅耳衍射条件,则全息面 $x_H - y_H$ 上的物光波分布为^[13]:

$$u(x_H, y_H) = \frac{\exp(jkz_0)}{j\lambda z_0} \iint_{\Sigma} f(x_0, y_0) \times \exp \left[jk \frac{(x_H - x_0)^2 + (y_H - y_0)^2}{2z_0} \right] dx_0 dy_0 \quad (1)$$

式中, $k = 2\pi/\lambda$; z_0 是物平面到全息面的距离,为常数。略去常数项 $\exp(jkz_0)/j\lambda z_0$ 后,式(1)可以表示

成:

$$u(x_H, y_H) = P(x_H, y_H) \iint_{\Sigma} [f(x_0, y_0) \times P(x_0, y_0) \times \exp[-j2\pi \frac{x_H x_0 + y_H y_0}{\lambda z_0}]] dx_0 dy_0 \quad (2)$$

式中, $P(x, y) = \exp[\frac{jk}{2z_0}(x^2 + y^2)]$,则全息面上的物光分布可以通过 $f(x_0, y_0)P(x_0, y_0)$ 的傅里叶变换得到,变换频率 $f_{Hx} = x_H/\lambda z_0$, $f_{Hy} = y_H/\lambda z_0$ 。在计算全息中物光波是离散化的,三维物体由计算机设计并得到相应不同视角视图的数字图像,因而可用快速傅里叶变换(FFT)计算菲涅耳衍射。用博奇编码法^[14]制作得到 1024×768 像素的离轴菲涅耳计算全息图。对体视对中的两个图像分别计算得到两幅全息图。为实现合成全息显示效果,将三维物体不同侧面对应体视图计算并处理得到的系列全息图按顺序存储。

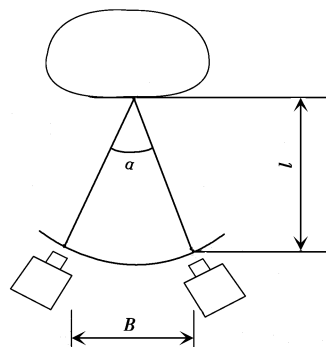


图1 体视对摄取示意图

Fig. 1 schematic for taking stereo pair

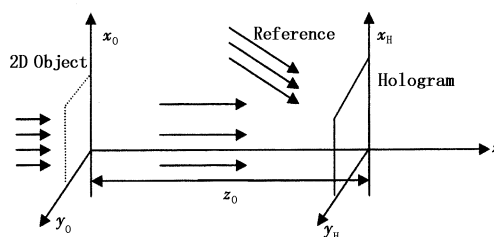


图2 全息记录光路原理图

Fig. 2 optic system of recording hologram

3 合成全息显示系统设计

目前高分辨率电寻址液晶空间光调制器的像素尺寸达到了微米量级,已经能用于对数字全息图光学再现得到二维图像^[8],再现系统光路原理图如图3所示,全息图通过计算机视频接口输出至SLM,平行激光光束垂直照射SLM,透射光经 L_1 会聚在焦面处得到全息再现像,再现像的大小与空间光调制器像素尺寸、 L_1 的焦距和再现光的波长有关^[15]。由

于 SLM 的周期性像素化结构,再现像有多组 ± 1 级衍射像出现,同时伴有零级衍射光,在 L_1 焦面处加光阑 F 选取一组合适的再现像,同时消除零级衍射光的影响。

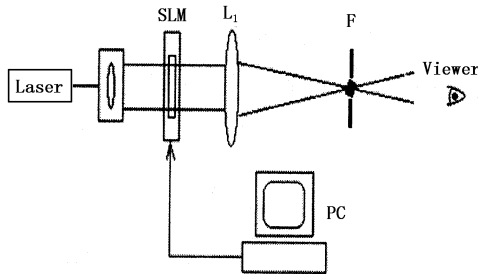


图3 光电再现原理图

Fig.3 schematic of optoelectronic reconstruction

合成全息图实现立体显示要求左右视图对应的全息图同时再现,并且再现像满足双目观察要求。因而我们设计了用两个液晶空间光调制器同时进行光电再现的实验系统,如图4所示。实验系统设计的关键是如何将左右视图的全息图同时分别输出到两个 SLM,这里我们采用杭州三花科特光电公司的 TLE09X-02Fd3-b 型液晶背投影光学引擎系统,光学引擎中三个 SLM 是 EPSON 产的 TFT-LCD,性能参数如表1所示。光学引擎系统的驱动电路能够将计算机输出 VGA 信号的 RGB 信号处理后同时分别驱动三个 LCD。背投影光学引擎是用于非相干光学信息处理的,用于全息光电再现时必须进行改造,选用其中的 R 和 B 对应的 LCD,把它们从光学引擎上取下后重新固定,并按图4所示组成实验系统,再现像通过一双孔光阑观察,光阑的双孔距离符合人眼一般瞳距取 62mm。

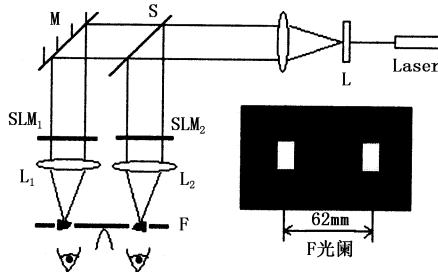


图4 实验系统图

Fig.4 experimental system

采用光学引擎系统的主要出发点是利用其能将彩色图像通过 RGB 三个通道,将三基色图像分别显示于三个 LCD,用于合成全息显示时,则需要对全息图作一定的处理,处理方法如图5所示,将左右视图的全息图分别作为 RGB 图像的 R 和 B 分量,G 分

量可以任意,进而把 RGB 三个分量用 Matlab 图像处理的方法处理合成一幅 1024×768 的 RGB 彩色图像,这样当一幅 RGB 图像通过计算机视频接口输出时,就同时输出了一对体视全息图到再现光路系统中,通过实时光电再现,使人眼观察到立体像。

表1 SLM 的性能参数

Tab.1 parameters of SLM

screen size	$18.432\mu\text{m} \times 13.842\mu\text{m}$
pixel pitch	$18\mu\text{m} \times 18\mu\text{m}$
pixel number	1024×768
aperture ratio	63%
frame rating	60Hz
data interface	VGA

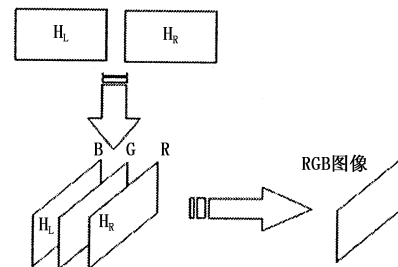
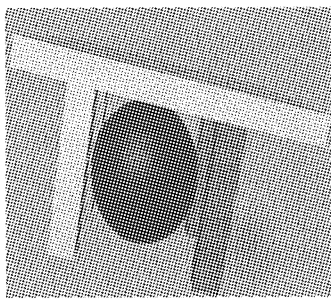


图5 全息图处理示意图

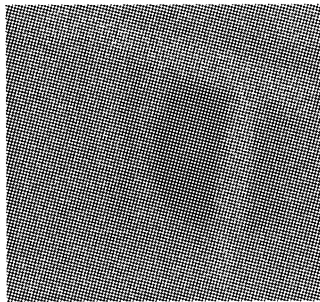
Fig.5 schematic of processing holograms

4 实验结果及分析

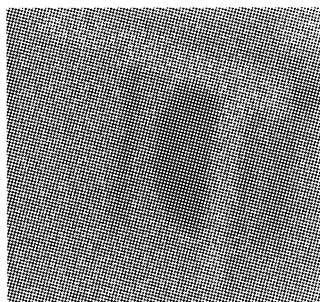
在实验中,三维物体由软件 3D Max 5.0 制作,为一小桌子,其下空间有一球,如图6(a)所示,三维物体绕 z 轴转动,每转过 6° 取得一幅数字图像。根据菲涅耳全息的基本原理用 Matlab 语言编写了计算全息程序,对所得到的数字图像序列,计算得到相应的全息图阵列,其中物光和参考光波长选用 514.8nm ,物面与全息面距离为 300mm 。对所得的全息图阵列每相邻两幅全息图按图5所示用 Matlab 图像处理方法得到 RGB 图像阵列。用 Visual Basic 6.0 编写了控制程序,控制 RGB 图像液晶空间光调制器输出,再现光波长为 510nm , L_1 焦距 300mm ,图6所示为实验结果。同时控制程序可以控制计算机以一定频率输出 RGB 格式的全息图序列,且输出频率可调,输出最大频率为 60Hz 。利用人眼视觉残留效应,可以观察到连续动感的再现立体像。实验中同时也发现,由于激光功率、液晶空间光调制器开口率和透过率以及全息图本身的衍射效率的影响,再现图像的亮度受到了一定的限制。其次,由于液晶空间光调制器像元尺寸的限制,再现像的大小有限。



(a) 原物模型
(a) original object



(b) 左视图
(b) left-view image



(c) 右视图
(c) right-view image

图6 实验结果

Fig.6 experimental result

5 结论

结合计算全息技术和液晶空间光调制器,系统研究了合成全息图的计算机生成和实时光电再现技术,利用经过改造的液晶背投影光学引擎系统,设计了相应的实验系统,得到了实验结果。相比于传统合成全息显示技术,该方法中从体视图的获取、全息图的计算到实时光电再现都是由计算机控制完成,提高了全息制作和显示的可靠性和实时性,对促进合成全息显示技术的发展和实用化提供了一个有效的途径。

参考文献:

[1] Gabor D. A new microscope principle [J]. Nature,

1948:161 - 777.

- [2] Takashi Kawai. 3D displays and applications [J]. Displays, 2002, 23: 49 - 56.
- [3] Lenny Lipton. The future of autostereoscopic electronic displays [C] // Prof. of SPIE., 1992, 1669: 156 - 162.
- [4] Jin Weimin, Mao Hera, Wang Hui. A studying method of making stereo-rainbow hologram of outdoor natural scenery [J]. Acta Photonica Sinica, 2005, 34(1): 118 - 120. (in Chinese)
- [5] Wai - Hon Lee. Computer - generated hologram; techniques and applications [M]. Progress in Optics VII, North Holland, 1978: 121 - 133.
- [6] Wang hui, Li yong, Jin hongzhen, et al. Three-dimensional visualization of shape measurement data based on a computer generated hologram [J]. Journal of Optics A: Pure and Applied Optics, 2003, 5(9): 195 - 199.
- [7] Lifa Hu, Li Xuan, Yongjun Liu, et al. Phase-only liquid-crystal spatial light modulator for wave, front correction with high precision [J]. Optics Express, 2004, 12(26): 6403 - 6409.
- [8] A Miniewicz, A Gniewek, J Parka. Liquid crystals for photonic applications [J]. Optic Materials, 2002, 21: 605 - 610.
- [9] Charles W McLauchlin. Progress in projection and large-area displays [J]. Proceedings of IEEE, 2002, 90(4): 521 - 532.
- [10] WANG Jin-cheng, GUO Huan-qing, LANG Hai-tao, et al. A system of digital synthetic generated hologram [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2002, 13(7): 740 - 743. (in Chinese)
- [11] Yang Shining, Li Yaotang, Wang Tianji, et al. Generation of dynamic hologram using LCD liquid crystal screen [J]. Laser Journal, 1999, 20(4): 16 - 19. (in Chinese)
- [12] Marek Sutkowski, Malgorzata Kujawinska. Application of liquid crystal (LC) devices for optoelectronic reconstruction of digitally stored holograms [J]. Optics and Lasers in Engineering, 2000, 33: 191 - 201.
- [13] Su Xianyu, Li Jitao. Information optics [M]. Beijing: Science Press, 1999, 9: 42 (in Chinese).
- [14] Yu Zuliang, Jin Guofan. Computer generated hologram [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 1984: 48 - 50. (in Chinese)
- [15] N Hashimoto, K Hoshino, S Morokawa. Improved real-time holography system with LCDs [C] // SPIE Proc., 1992, 1667: 2 - 7.