

文章编号:1004-4213(2010)07-1268-4

一种三维全息图的数字化实现方法*

万远红¹,张瑾²,浦东林¹,陈林森^{1,†}

(1 苏州大学 信息光学工程研究所,江苏 苏州,215006)

(2 苏州苏大维格光电科技股份有限公司,江苏 苏州,215026)

摘要:提出一种实现三维显示的新方法,从两步法彩虹全息基本原理出发,通过分区域分幅的方式对多视角图形的波前进行数字化编码,获得夫琅和费光场分布,在位相型硅基液晶空间光调制器上按视角顺序输入该信息,利用透镜的傅里叶变换特性再现多视角子图像,干涉法逐区域拼接获得完整三维图像.最后通过实验获得了三维图像样品,验证了该方法.本方法可成为三维显示的重要技术手段.

关键词:三维全息;位相提取;数字化;硅基液晶

中图分类号:TN 249

文献标识码:A

doi:10.3788/gzxb20103907.1268

0 引言

三维(Three-dimensional, 3D)图像在医学、工业、国防等许多领域中具有广泛的应用^[1-2].目前最具有代表性的三维显示的方法有积分成像^[3-4]、投影式三维显示^[5]与全息照相.三维全息能够实现逼真的三维显示,从而备受关注.

在三维全息实现技术中,传统三维全息需要实物模型,彩色三维全息图拍摄需要多套单色模型对准,受激光器功率、相干长度、隔震等因素的影响,传统全息难以制作较大幅面的彩色 3D 图像;朱利伟等采用空间光调制器显示视差物信息,同样也受光学元件孔径、激光相干长度等因素限制,无法实现大幅面^[6-7];计算全息制作大幅面全息图需要大型计算机以及采用惊人的计算时间而没有得到广泛的采用^[8-9].美国斑马公司采用数字化的方法成功研制了大幅面的彩色三维全息图^[10],根据投影原理,采用空间光调制器逐区域显示图像,然后采用反射全息的方式逐点记录,理论上幅面不受限制,但记录材料采用光致聚合物,成本高,复制困难.

本文以两步法彩虹全息的原理作为基本理论依据,对 H_1 信息进行数字化编码,以位相型硅基液晶(Liquid Crystal on Silicon, LCoS)空间光调制器显示,代替两步法中的主全息图,采用两步法中第二步光路进行记录,逐区域拼接成完整三维全息图像.该方法可以采用光刻胶干板记录,实现低成本的复制.

1 原理

两步法彩虹全息拍摄方法如图 1 所示.全息图在用白光照明时,不同波长光的狭缝像的位置不同,在不同的狭缝像的位置会看到不同颜色的像,可以对狭缝再现像位置进行编码,通过设置红、绿、蓝三条狭缝,形成彩色 3D 图像.三色狭缝再现像重合,狭缝的位置近似可以用式(1)计算

$$x_i = \left(\sin \theta_R - \frac{\lambda_0}{\lambda_i} \sin \theta_P \right) z_0 \quad (1)$$

x_i :狭缝在 H_1 上的位置(坐标中垂直纸面方向)

θ_R :第一步光路中参考光和 H_1 法线的夹角

θ_P :观察时照明光和全息图法线的夹角

λ_0, λ_i :分别是记录光波长,狭缝颜色编码波长

Z_0 :第二步光路中 H_1 和干板的距离.

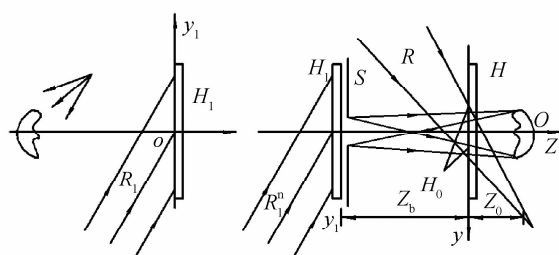


图 1 两步法彩虹全息制作原理

Fig. 1 Schematic of two-steps rainbow holography

来自于物体反射的光波前,传播到记录材料 H_1 上, H_1 表面的光场分布为光从物体到记录面的菲涅耳衍射,如果相对于物体传播的距离较远,菲涅耳衍射光场可以简化成夫琅和费衍射光场(傅里叶变换),将物体的傅里叶变换信息在 H_1 显示与再现出来,便可以代替主全息图 H_1 . 物光经过长距离传播

* 江苏省科技支撑计划(BE2009048)资助

† Tel:0512-65112851

Email:lcchen@suda.edu.cn

收稿日期:2009-10-19

修回日期:2010-01-05

后,各部分光强分布相近,因此这里采用迭代傅里叶算法保留位相,去除振幅,保证了再现像的品质,同时计算量较计算全息大大减少。

位相型 LCoS 空间光调制器具有位相调制能力,用来显示位相信息具有 20% 以上的衍射效率^[11],满足实验的要求,本文提出用位相型 LCoS 来显示 H_1 的位相台阶信息,实现数字化的 H_1 ,如图 2。

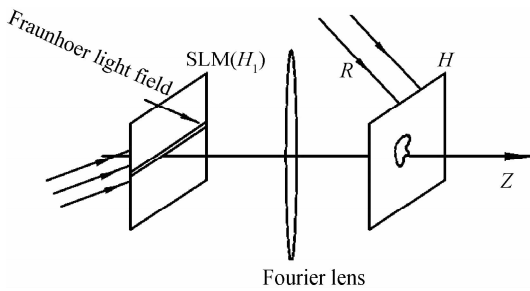


图 2 空间光调制器代替 H_1 示意图
Fig.2 Schematic of using SLM as H_1 hologram

但全息图的数据量巨大,如一张传统 4 英寸的 3D 全息图,具有约 1 000 Lp/mm 的微纳结构,若将其包含的信息以数字化来衡量,具有 GB 数量级,目前分辨率最高的空间光调制器(1 920×1 080)也无法支持显示完整图像的位相信息,所以本文提出了采用分块处理、拼接制作的解决方法。

2 具体方法

实施步骤为

- 1) 获得三维物体的分视角平面数字图像;
- 2) 对每幅图像进行分色并分割成子图,再对子图分组,在各图像中对应位置相同的子图为一组;
- 3) 取一组子图,计算每一子图在远场的光场分布,提取位相信息,将这一组子图的位相信息分布按视角排列,编码成 H_1 ;

4) 用空间光调制器显示 H_1 ,并放置于透镜的前焦面,在透镜后焦面上通过透镜的傅里叶变换的平移不变形性,形成多视角图像再现,引入干涉光,通过干涉光路在记录材料上记录从空间光调制器上再现出的图像;

5) 对应下一组子图的位置,移动记录材料的位置;

6) 重复步骤 3)、4)、5),至所有子图记录完毕,实现三维图形的记录。

具体描述如下:

首先,需要获得三维物体的分视角数字图像,可以采用相机拍摄,以物体为中心,每隔一定的角度拍摄,也可以采用计算机虚拟的三维图像处理,获得虚拟物的分视角图像。

其次,将多视角图像编号 1 至 n ,并进行 R、G、B 分色处理,单色图,则无须分色处理.把不同视角的同一颜色图片,进行分割,形成子图.计算不同视角图形的相同位置的子图形的夫琅和费分布,按它们的视角顺序排列成一条狭缝,即为全息图 H_1 的红色狭缝 SR;用相同的方法分别对 1— n 幅绿色、蓝色分量图像子图像进行编码,获得绿色狭缝 SG 和蓝色狭缝 SB.在空间光调制器上同时显示三列 SR、SG、SB,如图 3.根据原理中狭缝编码公式,若干板到 H_1 的距离为 90 mm,拍摄 H_1 的参考光角度为 30° ,观察再现角度为 45° ,记录波长为 405 nm,红、绿、蓝颜色编码波长分别取 645.2 nm、526.3 nm、444.4 nm,那么三条狭缝在 H_1 上的位置分别为 5.5 mm、-3.9 mm、-13 mm,红、蓝狭缝间距 18.5 mm.

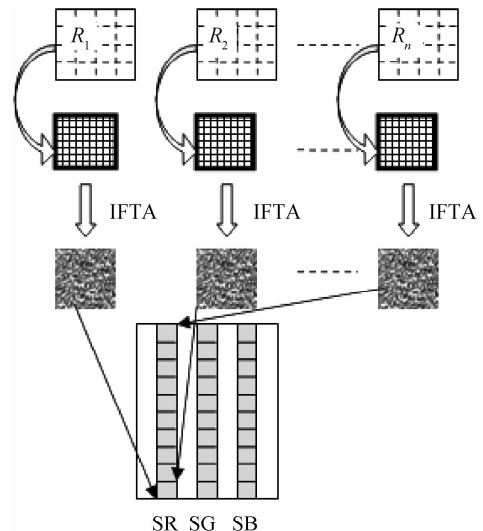


图 3 数字化 H_1 编码示意图
Fig.3 Schematic of digital coding H_1

3 实验

在制作 3D 图像前,对 LCoS 的位相调制量与输入灰度之间的关系进行了测量.所使用 LCoS 的分辨率是 1 280×768,像素尺寸 12 μm .采用干涉方法^[12-14]对相位调制特性进行测试,测试装置如图 4,激光束经过扩束准直后经过半透半反片,一束光经

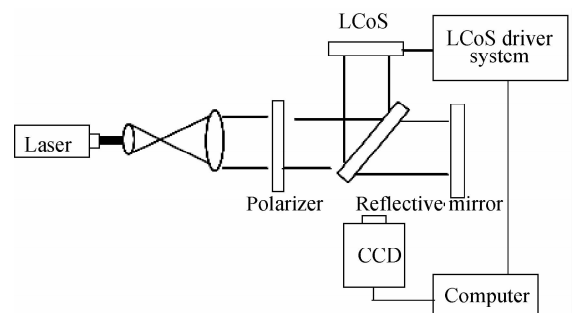


图 4 实验测试装置
Fig.4 Experimental test equipments

过参考反射镜反射到达 CCD(大恒 R2500),另一束光经过 LCoS 反射后到达 CCD,两光束相干形成干涉条纹,偏振器的作用是调节匹配 LCoS 的入射光偏振方向.测量在不同灰度下 CCD 记录干涉条纹的位移量来测量相位调制量.测试结果如图 5 所示.

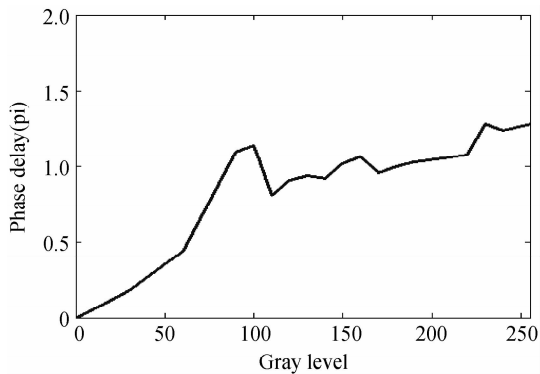


图 5 LCoS 相位调制特性曲线

Fig. 5 Phase modulating curve of LCoS

从测试的 LCoS 特性曲线可知,相位调制量达到 1.3π .实验误差、LCoS 本身特性等原因,导致相位调制并非理想的线性关系,但实验中发现可以满足位相信息再现的要求.

实验中,采用迭代傅里叶算法^[15-16]获得各子图形的夫琅和费衍射光场分布,顺序提取相同位置子图的傅里叶变换图排列成狭缝.

实验光路图如图 6,405 nm 单纵模半导体激光器发出的激光经过快门,1/2 波片、偏振分光棱镜后分为两束,一束经过 1/2 波片、扩束准直后照射到 LCoS 上,LCoS 上的信息经过傅里叶变换透镜($f=90$ mm)再现后成像到记录材料上,另外一束作为参考光,经 1/2 波片,扩束准直后,与再现像形成干涉.1/2 波片的作用是调整两束光的偏振态一致.在紧靠记录材料表面放置光阑,用于遮挡杂散光,记录材料放置在二维移动的平台.

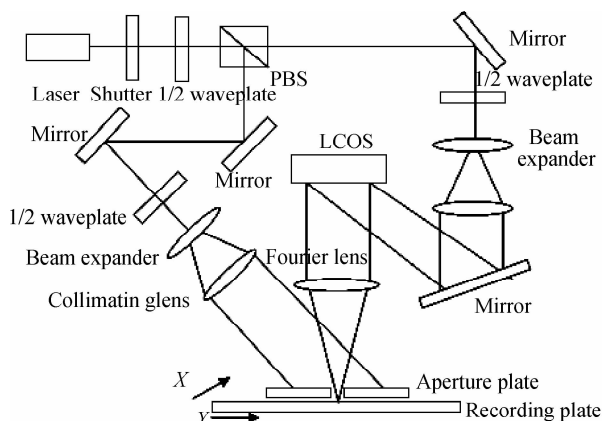


图 6 实验光路图

Fig. 6 Experimental optical setup

像素全息图的大小(A)与记录光波长(λ)、傅里叶透镜焦距(f)及 LCoS 像素大小(p)有关,可以用

公式 $A=1.22\lambda f/p$ 表示.实验中为了避开再现零级光的影响,实验中对子图像尺寸扩展,原始图像占 1/4 面积,这样像素全息图的尺寸为上述尺寸的 1/4,因此本实验光路中像素全息图尺寸约为 0.9 mm.

全息图的可观察视角范围(θ)根据傅里叶变换透镜的焦距(f)和 LCoS 的长度(L)计算, $\theta=2\arctan(L/2f)$,本光路中可实现的视角为 9.75° .

实验中,用 3DMAX 软件设计三维单色模型,在水平方向上以九个连续视角生成九张二维图片,每张图片大小均为 2112×1580 pixel 的 256 色的灰度图.将图片分割成 32×32 pixel 的子图,整张全息图由 66×50 pixel 全息图组成,图 7 为获得的实验结果,可观察到 3D 效果.

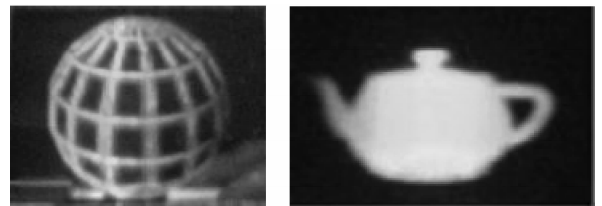


图 7 实验结果

Fig. 7 Results of the experiments

4 小结

本文以彩虹全息的基本原理作为理论依据,结合高精度的光、机、电、算的处理方法和先进的光电器件,实现了全数字化制作三维全息图.深入研究三维图像海量数据高速处理和图像光刻设备,有可能实现大幅面彩色三维全息图,将在虚拟现实、展示、广告等领域中获得应用.

参考文献

- [1] OHYAMA N, INOUE S, HANEISHI H, *et al.* Three-dimensional reconstruction of a bone image from cone beam projection[J]. *Appl Opt*, 1989, **28**:5338-5241.
- [2] MICHAEL A. Klug. Display application of large scale digital holography[C]. *SPIE*, 2002, **4737**:142-149.
- [3] LIPPMANN G. Laphotographic intergral[J]. *C R Acad Sci*, 1908, **146**:446-451.
- [4] WANG Xiao-rui, HUA Hong. Theoretical analysis for integral imaging performance based on microscanning of a microlens array[J]. *Optics Letters*, 2008, **33**(5):449-451.
- [5] NAEMURA T, YOSHIDA T, HARASHIMA H. 3-D computer graphics based on integral photography[J]. *Optics Express*, 2001, **809389**(2):255-262.
- [6] ZHU Li-wei, ZHANG Ke-ru, BAI Ran, *et al.* Synthetic technique for the making of 3D sensorimotor double-viewpoint rainbow hologram[J]. *Transactions of Beijing Institute of Technology*, 2004, **24**(4):345-349.
朱利伟,张可如,白然,等.三维动态双视彩虹全息图合成技术[J]. *北京理工大学学报*, 2004, **24**(4):345-349.
- [7] WANG Jin-cheng, GUO Huan-qing, LANG Hai-tao, *et al.* A system of digital synthetic generated hologram[J]. *Optics • Laser*, 2002, **13**(7):740-743.

- 王金城,郭欢庆,郎海涛,等. 数字合成全息系统[J]. 光电子·激光, 2002, **13**(7):740-743.
- [8] CAI Xiao-ou, WANG Hui, LI Yong. Study on computer color rainbow hologram coded by single wavelength [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, **35**(7):1013-1017.
蔡晓鸥,王辉,李勇. 单波长编码计算机制彩色彩虹全息图的研究[J]. 光子学报, 2006, **35**(7):1013-1017.
- [9] GAN Liang-qin, WANG Hui, LI Yong, *et al.* A new method of making three-dimensional color holograms by combing computer with optical holography [J]. *Journal of Zhejiang Normal University (Nat Sci)*, 2007, **30**(1):21-26.
甘亮勤,王辉,李勇,等. 计算机与光学联合制三维物体彩色全息图的新方法[J]. 浙江师范大学学报(自然科学版), 2007, **30**(1):21-26.
- [10] MARUYAMA S, ONO Y, YAMAGUCHI M. High-density recording of full-color full-parallax holographic stereogram, practical holography XXII: materials and applications [C]. *SPIE*, 2008, **6912**: 69120N1-69120N10.
- [11] Holoeye company. PhaseCam Manual. 2005.09.
- [12] GE Ai-ming, SUI Zhan, XU Ke-shu. Characteristics of phase-only modulation using a reflective liquid crystal on silicon device [J]. *Acta Physica Sinica*, 2003, **52**(10):2481-2485.
葛爱明,隋展,徐克书. 反射型 LCoS 期间春位相调制特性的研究 [J]. 物理学报, 2003, **52**(10):2481-2485.
- [13] DAI Hai-tao. Characteristics of liquid crystal on silicon phase spatial light modulator and its application [D]. Shanghai: Fudan University, 2001.
戴海涛. LCoS 位相空间光调制器的特性及其应用的研究 [D]. 上海:复旦大学, 2001.
- [14] DAI Hai-tao, LIU Yan-jun, WANG Xin, *et al.* Characteristics of LCoS phase-only spatial light modulator and its application [C]. *SPIE*, 2004, 5280:270-277.
- [15] XU Bing, CHEN Lin-sen, WEI Guo-jun. Optimal design of phase encoding of laser beam shaping element with iterative fourier transform algorithm [J]. *Laser Journal*, 2004, **25**(4):73-75.
- [16] HACKER M, STOBRAWA G, FEURER T. Iterative transform algorithm for phase-only pulse shaping [J]. *Opt Express*, 2001, **9**(4):191-199.

Making Three-dimensional Holograms with a Novel Digital Method

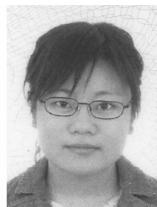
WAN Yuan-hong¹, PU Dong-lin², ZHANG Jin¹, CHEN Lin-sen¹

(1 *Information Optical Engineering Institute, Suzhou University, Suzhou, Jiangsu 215006, China*)

(2 *SVG Optronics Co., Ltd., Suzhou, Jiangsu 215026, China*)

Abstract: A new method of making three-dimensional hologram is presented. On the basic principle of two-step rainbow holography, we obtain the Fraunhofer phase information of three-dimensional object by digital coding the wave front of multi visual angle images. Such images are divided into small blocks and coding individually. In the experiments, the phase information of blocks was inputted into phase only liquid crystal on silicon spatial light modulator, the voxel image was reconstructed at the focal plane of fourier lens with laser illumination and recoded with interference on photoresists. The whole three-dimensional image was obtained by matrix stitching voxel images. The results proved this method. It will be an important technology of three-dimensional display.

Key words: Three dimensional hologram; Phase extraction; Digital; Liquid crystal on silicon(LCoS)



WAN Yuan-hong was born in 1984. Now she is a candidate of M. S. of Optical Engineering in the Institute of Information Optical Engineering, Soochow University. Her research interests include making wide three-dimensional holograms, investigation of large view angle holograms and three-dimensional holographic display.



CHEN Lin-sen was born in January of 1961. He was received B. S. degree in 1982 and Master degree in 1986 from Soochow University. Now he is a professor in the Institute of Information Optical Engineering of Soochow University. His research activities are involved in the fields of optical information processing, digital photolithographic system, binary optics and holography. He won the National Science and Technology Award in 2002 for his successful work in digital laser photolithographic system.