

大型菲涅耳人像全息图的制作

聂亚茹 刘惠萍* 于佳 王金城 杨宇

中国海洋大学信息科学与工程学院, 山东 青岛 266100

摘要 研究了用于三维(3D)展示的大面积拼接菲涅耳合成全息图的制作方法。在研究菲涅耳全息原理与合成全息原理的基础上,解决了菲涅耳合成全息图在再现图像时再现窗口与观察视场不符的问题。利用激光作为记录和再现光源,进行了全息图拍摄实验,实现了大面积、大景深、高质量的三维人像合成全息图的制作。

关键词 全息;菲涅耳全息图;合成全息图;人像全息图

中图分类号 O436 文献标识码 A doi: 10.3788/LOP51.050901

Method of Making Large-Scale 3D Portrait Fresnel Hologram

Nie Yaru Liu Huiping Yu Jia Wang Jincheng Yang Yu

College of Information Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao, Shandong 266100, China

Abstract A holographic method for displaying large-scale three-dimensional (3D) portrait is put forward. The method is based on the theory of Fresnel hologram and holographic stereogram, resolving the problem that the reconstruction window does not accord with observation field-of-view. Using laser as a recording and reconstruction source, the hologram experiment is carried out. By this method, 3D portrait hologram with a large scale and large depth-of-field is made, which can be reconstructed by laser.

Key words holography; Fresnel hologram; holographic stereogram; portrait hologram

OCIS codes 090.2870; 090.1995

1 引言

三维(3D)显示技术可以生动再现物体,实现逼真的模拟场景,具有二维(2D)显示无法比拟的优势^[1],并且显示全息从诞生至今已经有了很多实际的应用^[1-3]。特别是显示3D图像用于商业展示方面在近年来取得了显著的进步,例如,美国麻省理工学院(MIT)Media实验室^[4]和美国Zebra公司^[5]在制作大面积合成全息图方面进行了多方面的研究,使得拍摄的大型全息图可投入商业运用,进行广告展示。一直以来,由于激光器的价格和体积问题,显示全息图基本上是运用白光光源进行照明,再加上白光光源本身的限制,很容易使再现的全息图产生色模糊,影响画面的清晰度,激光再现则可以实现大景深、大场景、无色模糊的图像再现。目前,激光器正朝着体积小、功率大、价格低等方向发展,已经为高质量的三维立体显示提供了保证,在商业应用领域具有良好的前景,研究激光再现的大面积菲涅耳全息图具有很高的实用价值。

本文根据菲涅耳全息和合成全息的基本原理,研究了一种拼接大面积菲涅耳人像全息图的制作方法。通过对图像的预处理、单元全息图的拼接,完成了一幅全息图产品的制作,并且使用激光作为再现光源,得到了理想的全息立体图。

2 原理

2.1 菲涅耳全息图

全息术利用光的干涉和衍射原理,将物体发出的特定光波以干涉条纹的形式记录下来,并在一定条件

收稿日期:2013-10-16;收到修改稿日期:2013-12-17;网络出版日期:2014-03-28

作者简介:聂亚茹(1989-),女,硕士研究生,主要从事数字全息和三维显示方面的研究。E-mail: yarunie@163.com

导师简介:王金城(1955-),男,教授,硕士生导师,主要从事全息术与三维成像、光度学、色度学等方面的研究。

E-mail: hololab@ouc.edu.cn

*通信联系人。E-mail: lhuiping@163.com

下使其再现,形成原物体逼真的立体像。菲涅耳全息图直接记录物光波本身,不需要变换透镜和成像透镜,仅要求干板与物体的距离满足菲涅耳近似条件。若使用原参考光再现,可以在原物处看到物体的虚像;若使用参考光的共轭光进行再现,看到的是物体的实像。由于光栅的色散效应,在非单色光下图像将产生色模糊,从而无法给出清晰的像,因此菲涅耳全息图通常作为二步法反射全息图或透射全息图的拍摄母版。而在激光下进行再现时,不存在色散,可以给出大景深、大角度的图像。

2.2 合成全息

合成全息是通过对物体进行多角度记录,获取一组满足体视对关系的二维图像序列,利用全息摄影技术和双眼视差原理合成为一张全息照片,实现原物体立体感的三维显示技术^[6]。

传统的合成菲涅耳全息图仅用于制作母版而非直接再现,因此常用的菲涅耳全息图的物像关系使得再现虚像位于全息图后方。在直接观察虚像时,需要人眼紧贴干板才能看到物体正确的像,即符合体视对关系的一对图像。而在实际应用中,人们习惯于与显示媒体离开一段距离,观察距离一般有1 m甚至更远。当离开干板时,观察视场受限,双眼不能同时看到一幅完整的图像,看到的是多幅图像的混乱重叠,产生变形及模糊,并且失去合成立体感。为此,需要引入图像预变换处理,解决观察视场的记录距离问题。

为满足要求,需依据衍射角度进行图像预变换,过程如下:采样得到原始二维图像序列,提取原二维图像序列每一帧的某一像素列,按照二维图像序列的编号,依次将像素列按顺序排列起来,组成一幅新的二维图像;以矩阵的方式表述,设原二维图像序列 K 个图像为矩阵 X_1, X_2, \dots, X_K ,每一个 X_i 维数相同,为 $m \times n$,将其以向量的方式表示为 $X_i = x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}$ 。变换后即是将 $(x_{11}, x_{21}, x_{31}, \dots, x_{k1})$ 组成新的图像矩阵 Y_1 ,将 $x_{12}, x_{22}, x_{32}, \dots, x_{k2}$ 组成新的图像矩阵 Y_2 ,依此类推, $Y_i = (x_{i1}, x_{2i}, x_{3i}, \dots, x_{ki})$,最终得到一组新的二维图像序列。进行了图像预变换的图像将用于全息记录,每一幅重新组合的图像会聚于一个狭缝依次进行拍摄,如图1所示。

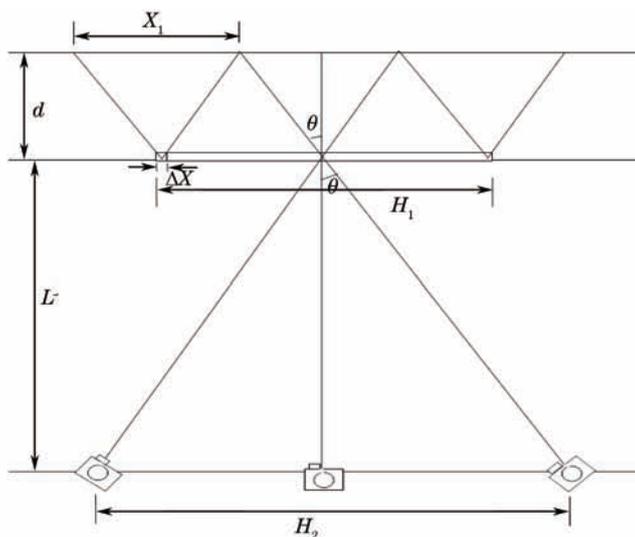


图1 场景采样与合成全息图像记录的基本关系结构示意图

Fig.1 Sketch map of basic relationship between scene sampling and holographic stereogram recording

对图1进行分析讨论,可以得到采样图像张数 N ,拍摄图像张数 N_0 ,以及 θ 角的计算公式,从而得到采样角度 α 的计算公式:

$$N = \frac{X_1}{\Delta X}, \quad N_0 = \frac{H_1}{\Delta X}, \quad \alpha = 2\theta, \quad \theta = \arctan \frac{X_1}{2d} = \arctan \frac{H_2}{2L},$$

式中 X_1 为全息元件的有效作用宽度, H_1 为干板的长度, d 为元件到干板的距离, L 为采样的距离或者是观察的距离, ΔX 为一幅图像的宽度。这种处理方法满足了人眼观察所需要的视场,并且解决了记录距离的问题。

3 菲涅耳全息图的实验过程

本实验以拼接一幅大面积的人像为例,首先将真实场景采样的人像在电脑中进行视频到二维图像的转换,对图像进行变换处理,然后进行单元全息图的拍摄,最后进行大面积的拼接实验。

3.1 采样及图像变换

实验采样角度为 60° ,采样帧数为110张。图2是采样结果的部分图像,分别是不同角度的三幅图像。

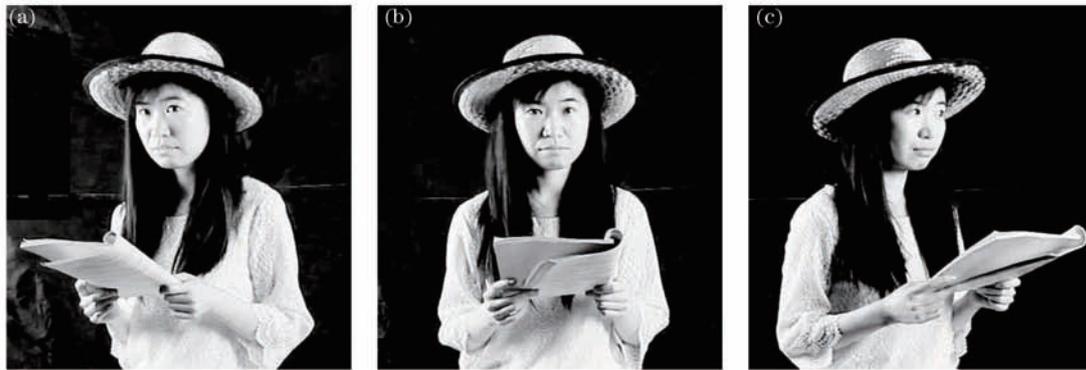


图2 采样图像

Fig.2 Sampling images

接下来对图像进行区域分割,并且编写程序对图像进行预处理变换,得到的图像如图3所示。

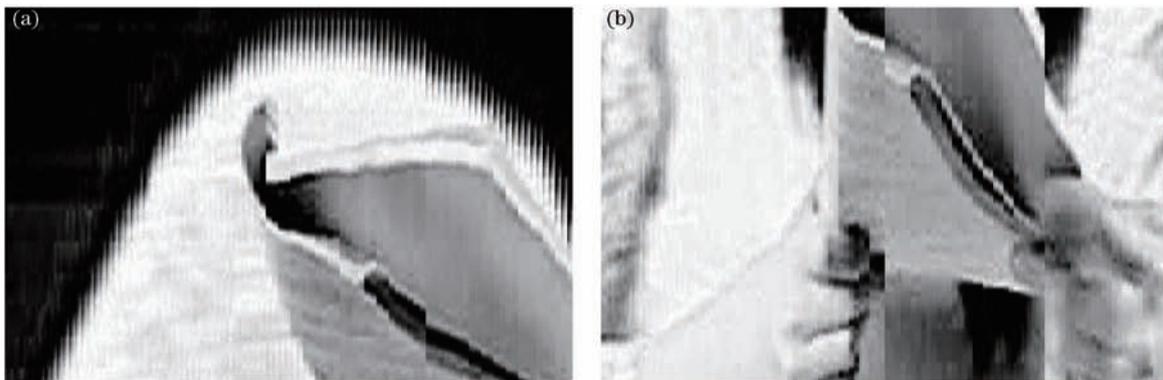


图3 水平分割重组后的图像

Fig.3 Images after picture processing

3.2 全息图的拍摄及拼接

目前多是利用衍射光学元件(DOE)或全息光学元件(HOE)来进行全息图的拍摄。利用DOE结合光学透镜可以得到大视场角的三维全息图,但DOE元件设计加工困难,为了保障合成全息图的分辨率,使得每次曝光的单元全息图尺寸很小,完成一幅大面积全息图需要的时间很长^[7]。在合成全息原理的基础上,对传统作为母版的合成菲涅耳全息图拍摄方法进行了改进,不使用散射屏作为物光图像载体,而是制作了一块全息光学元件——全息柱面透镜——来实现类似柱透镜的功能。该HOE能够实现普通光学透镜难以实现的功能:将入射物光沿垂直方向衍射压缩至狭缝大小,而沿水平方向实现漫射传播,且保证图像不产生畸变和信息丢失。而且,通过设计制作短焦距的全息光学元件,可以实现大角度的观察视场。

单元全息图的拍摄光路为透射型光路,实验采用数字微反射镜(DMD)^[8-9]作为空间光调制器(SLM),将拍摄图像投射在全息元件上,全息光学元件对光线进行衍射来实现压缩会聚的功能,最终作为物光会聚到狭缝,同时参考光展宽为扇形面光源到达狭缝,物光与参考光在狭缝后方进行干涉。拍摄所用激光器为氦氖激光器,功率为60 mW,记录材料为银盐干板,狭缝宽度与干板上下移动步长均为1 mm,单帧曝光时间为7 s,依次对单元全息图进行拍摄,通过拼接可获得一幅大面积菲涅耳人像全息图。两束光的夹角约为 60° ,参考光与物光的光强比约为4:1。光路如图4所示。

4 实验结果及分析

所拍摄单元全息图的尺寸为 $16\text{ cm}\times 15\text{ cm}$,6块单元全息图拼接后总尺寸约为 $48\text{ cm}\times 30\text{ cm}$ 。

实验拍摄的人像全息图照片如图5所示。两幅全息图分别表现了在不同波长激光下不同角度的再现结果。由于激光器的功率不同,再加上相机分辨率的影响,再现图像有些模糊,实际观察到的图像更为清晰。

本次实验拍摄的是一幅单色的人像全息图作品, 所得到的全息图比较清晰, 并且具有很好的立体效果, 观察视角大约为 60° 。

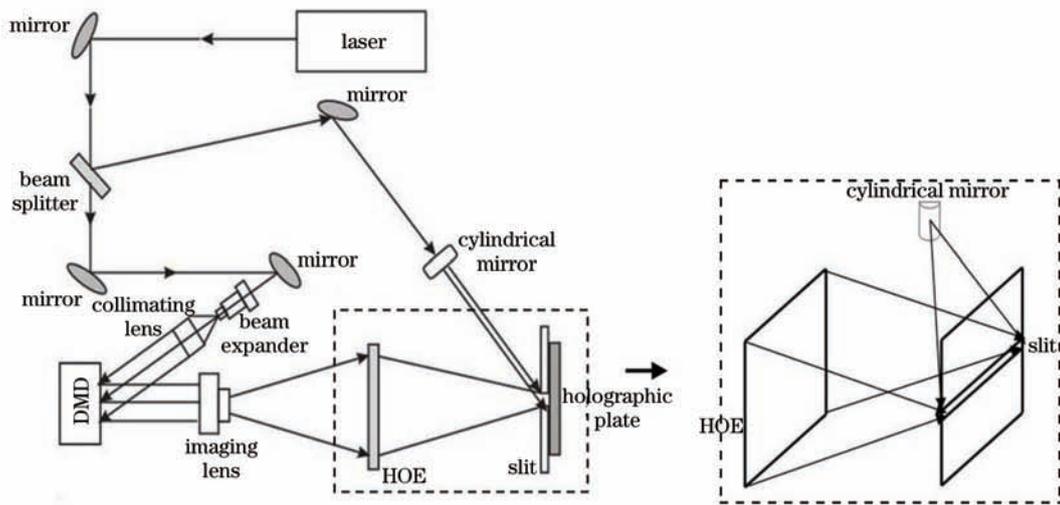


图4 一步法菲涅耳合成全息图拍摄光路

Fig.4 Optical path of one-step Fresnel holographic stereogram

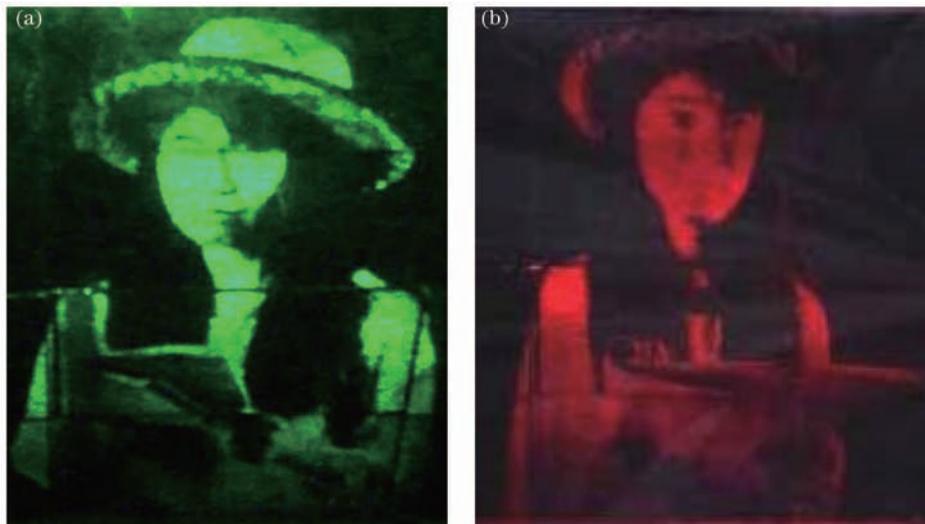


图5 拼接大面积人像全息图实验结果

Fig.5 Experimental results of large-scale portrait hologram

目前的方法只制作了水平视差的合成全息图, 然而本方法完全可以扩展到二维的合成立体, 实现全视差高质量的立体显示。

5 结 论

实验结果表明, 本方法拍摄的非涅耳全息图更容易实现较大的视场, 全息图不仅能拍摄出静止的物体、合成的模型, 还能拍摄出真实的人物, 激光再现体现出了它的优越性。本实验将拍摄素材拓宽到人像领域, 希望在下一步的工作中拍摄出更高质量、题材更丰富、更灵活多样的大型全息图, 并且最终实现真彩色、全视差合成全息图的制作。

参 考 文 献

- 1 Yu Li, Yang Yu, Yu Jia, *et al.*. A method of making three-dimensional holographic projection screen [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2013, 50(4): 020902.
于丽, 杨宇, 于佳, 等. 一种三维全息投影屏的制作方法[J]. *激光与光电子学进展*, 2013, 50(4): 020902.

- 2 Fan Qi, Zhao Jianlin, Li Shiyang, *et al.*. Detail displaying and vision aberration rectifying of reconstructed image in digital holography [J]. *Chinese J Lasers*, 2005, 32(10): 1401-1405.
范琦, 赵建林, 李世扬, 等. 数字全息再现像的细节显示和视觉畸变矫正[J]. *中国激光*, 2005, 32(10): 1401-1405.
- 3 Wang Yuanyuan, Wang Hui, Ren Zhijun, *et al.*. Research of the computer generated dynamic rainbow hologram [J]. *Acta Photonica Sinica*, 2006, 35(7): 1018-1021.
王媛媛, 王辉, 任志君, 等. 动态数字彩虹全息显示的研究[J]. *光子学报*, 2006, 35(7): 1018-1021.
- 4 Bitte F, Dussler G, Pfeifer T. 3D micro-inspection goes DMD [J]. *Optics and Lasers in Engineering*, 2001, 36(2): 155-167.
- 5 Halle M, Benton S, Klug M, *et al.*. The ultragram: a generalized holographic stereogram [C]. *SPIE*, 1991, 1461: 142-155.
- 6 Yu Meiwen. *Optical Holography and the Application* [M]. Beijing: Beijing Institute of Technology Press, 1996.
于美文. *光学全息及其应用*[M]. 北京: 北京理工大学出版社, 1996.
- 7 Long Tao, Qian Keyuan. Research on digital synthetic holography based on multi-parallax stereo display [J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2012, 49(7): 070901.
龙涛, 钱可元. 基于多视差立体显示的数字合成全息技术研究[J]. *激光与光电子学进展*, 2012, 49(7): 070901.
- 8 Han Chao, Wei Sui, Quan Xilong, *et al.*. Holographic display of digital micromirror device [J]. *Chinese J Lasers*, 2010, 37(1): 190-194.
韩超, 韦穗, 权希龙, 等. 数字微镜器件的全息显示[J]. *中国激光*, 2010, 37(1): 190-194.
- 9 Chen Xiao, Yan Binbin, Song Feijun, *et al.*. Diffractive properties of DMD gratings and its new application in tunable fiber lasers [J]. *Acta Optica Sinica*, 2012, 32(7): 0705003.
陈笑, 颜纷纷, 宋菲君, 等. DMD光栅的衍射特性及其在可调谐激光中的应用[J]. *光学学报*, 2012, 32(7): 0705003.