

条形散斑屏用于彩虹全息记录系统

于美文
(北京工业学院)

提 要

本文提出一种条形散斑屏的制作方法,将其用于彩虹全息记录系统,不仅可以简化记录系统的结构,还可以对二维图片产生单眼深度感觉。

一、彩虹全息术的进展

彩虹全息是用激光记录全息图,白光照明再现单色像的一种全息术。它的基本特点是在记录系统中适当的位置加入一个狭缝,限制再现像光波,降低色模糊,从而实现用白光照明再现单色像的效果。1968年本顿首先提出二步彩虹全息术。1978年美籍华人陈选、杨震寰等又利用像全息提出一步彩虹全息术。这种方法虽然简单一些,但视场受限制。为了扩大视场,又在系统中加入一个场镜,以后又相继发展了像散二步彩虹和一步彩虹,能够用较宽的狭缝来扩大景深。

近几年来彩虹全息术的进展是在记录系统中去掉狭缝,在一步彩虹记录过程中按一定的方向匀速移动物体^[1]或透镜^[2],使在透镜后焦平面上的光场成为物体的频谱与 sinc 函数的乘积。因为 sinc 函数的光分布,使光能的 84% 集中在中央亮纹部分,这样就代替了狭缝的作用。还有一种无透镜彩虹全息术^[3],能用于记录二维物体,它是移动照明物体用的毛玻璃。最近又报道一种用多次曝光综合狭缝的方法^[4]。

以上几种系统由于没有狭缝,可以增大视场和景深,也可以提高记录时光能的利用率,但系统中都要加入一个移动的机构,这又造成一些麻烦。本文采用条形散斑屏,使在记录系统中,既不需要狭缝,也不需要移动的机构可以很方便的记录二维物体。调整条形散斑屏的直射光和散射光的强度比,还可以使再现像产生一种特殊的立体效果。

二、条形散斑屏的制作

关于全息信息存储用的散斑随机相移器的理论和实践,已有许多文献报道过。条形散斑屏的原理和制作与散斑随机相移器相似,只是散射物体的形状不同,前者的散射物体是圆孔状,后者是矩形。记录光路如图 1 所示,用平行光照明毛玻璃,将开有矩形孔的光屏置于毛玻璃附近。根据散斑场统计计算的结果,散斑的平均线度为

$$\sigma_x = \lambda z / a, \quad \sigma_y = \lambda z / b, \quad (1)$$

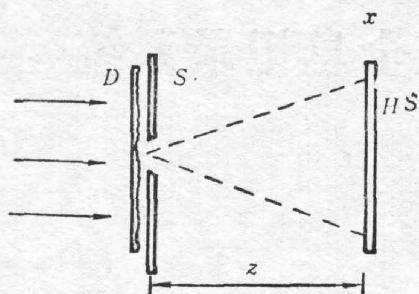


Fig. 1 The optical system for making striped-speckle screen

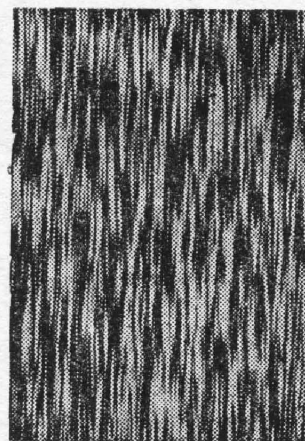


Fig. 2 The striped-speckle screen

式中 λ 是波长, z 是矩孔到记录介质的距离, a 和 b 分别是矩形孔的长度和宽度。宽度 b 应使条形散斑的平均长度 σ_y 等于或小于被记录物体的最小分辨距离 ϵ (即 $\sigma_y \leq \epsilon$)。长度 a 应根据将来观察再现像时双眼间的距离来考虑。用银盐干板作记录介质, 通过漂白处理即可以制成合用的条形散斑屏。条形散斑屏的放大照片如图 2 所示, 这是用 $a/b=10$ 的矩形孔拍摄的。

根据用途不同散斑屏的直射光和散射光的光强比应有一定的要求, 这种直散比可用细激光束和功率计进行测量、将条形散斑屏放在傅氏变换光学系统中可以观察到它的谱分布, 图 3 是谱分布的照片。(a) 的直散比为 0.05, (b) 的直散比为 0.8, 可以看到在照片 (b) 的中央有一个亮斑。

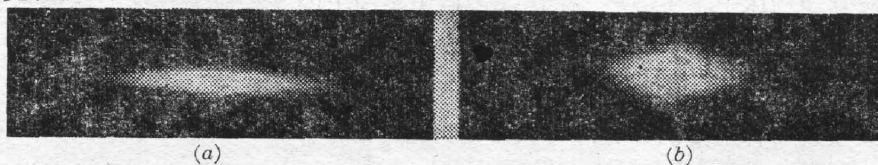


Fig. 3 The spectrum of striped-speckle screen

(a) Directly transmitted beam to scatter ratio is 0.05; (b) Directly transmitted beam to scatter ratio is 0.8

三、用条形散斑屏记录二维物体的彩虹全息图

使用条形散斑屏的彩虹全息记录光路如图 4 所示。分束以后的激光, 使其一束为发散光, 一束为会聚光, 两束光的夹角要大一些, 最好能大于 45° 。在会聚光束中放置散斑屏 HS 和被记录的二维透明片 O 。为了再现时安置照明光源的位置方便起见, 使散斑线度大的方向 (定为 x 方向) 与参物光束的入射面平行, 物体的直立方向要平行于 x 方向, 即物体横放。用发散光束作为参考光, 考虑到像差的影响和再现光源有一定的大小, 参考光源与全息干板应有一定的距离, 本顿曾建议这个距离 (l_k) 至少大于全息图尺寸的 10 倍。

在物光路中, 会聚光束通过散斑屏以后, 在聚焦点 P 处形成一矩形光斑, 与狭缝彩虹全息的狭缝像相对应。矩形光斑的长度方向与参、物光束的入射面垂直, 它的平均长和宽分别为

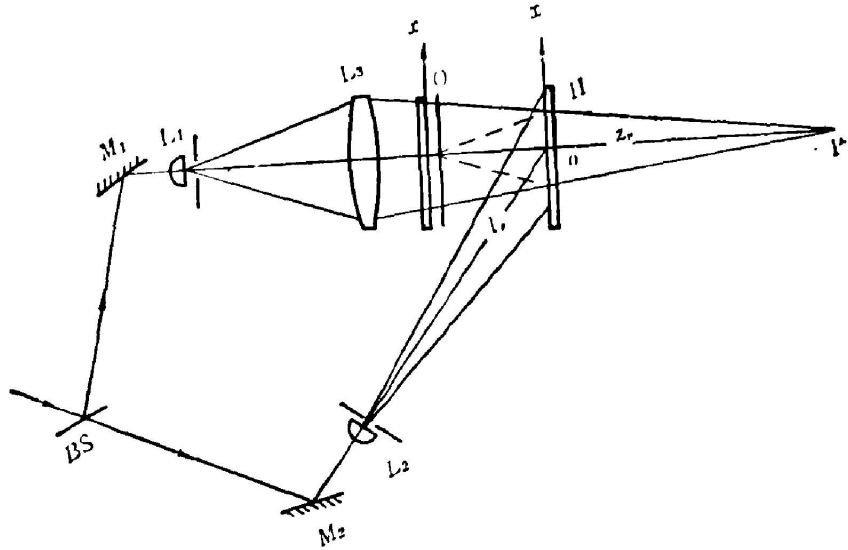


Fig. 4 Optical system used to record a rainbow hologram

$$A = \lambda z_P / \sigma_x \text{ 和 } B = \lambda z_P / \sigma_y, \quad (2)$$

式中 z_P 是自散斑屏到 P 点的距离。这个矩形光斑实际上就是散斑屏的谱，形状与图 2 相似。这样记录的彩虹全息图可以用白光按原参考光方向照明再现。

四、原理说明

按照图 4 的光路所记录的全息图属于离轴非涅尔型的。在记录光路中加入条形散斑屏以后，照明物体的光束结构如图 5 所示。散斑屏 HS 上的每一点发射出的光分布在 P 点处一个矩形面积上(实际是如图 2 所示的纺垂形)， P 点处矩形面积上的任一点，都能接受到来自散射屏上各个点的光线。这样照明光的结构具有像散光束的特点。

为了观察方便全息图平面到 P 点的距离 E_P 应接近于明视距离，在 300mm 左右较为合适。在第二节介绍了两种直散比的散斑屏，用小直散比 (< 0.05) 的散斑屏，可以记录二维物体的离轴全息图；用直散比较大的散斑屏则能同时记录离轴非涅尔全息图和像面全息图。前者用白光点光源照明，眼睛置于矩形光斑处，可观察到清楚的单色像，再现光路如图 6 所示。后者因为有像面全息图，可允许较大些的光源。这种情况在 P 处光斑中央具有一条亮线，如图 7 所示。将两眼置于矩形光斑处，可看到原物的虚像。将一个眼睛置于中心亮点处，

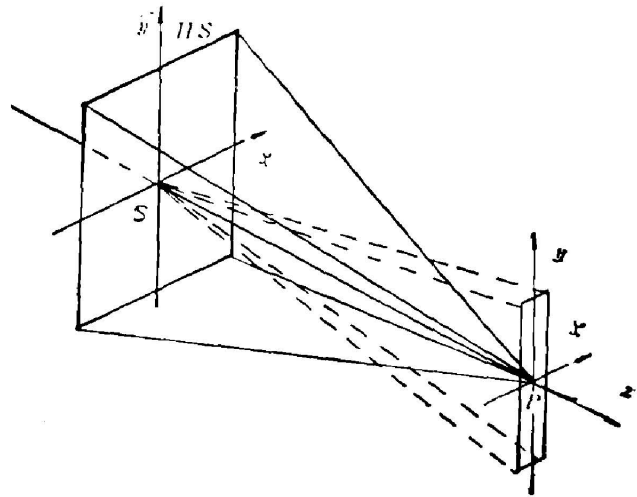


Fig. 5 Construction of the illuminant beam

将看到全视场的像面全息图的再现像。有趣的是当再现的虚像投射在像面全息像上时，也就是有一个眼睛置于图 7 所示的亮线处时，即产生一种单眼的深度感觉，呈现出一幅立体图像。

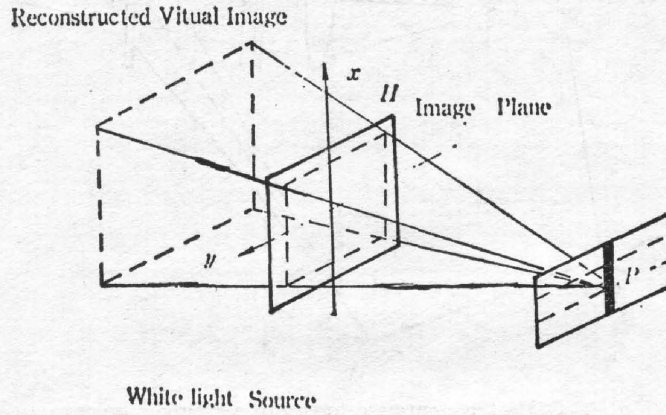


Fig. 6 Reconstruction of the image by rainbow hologram

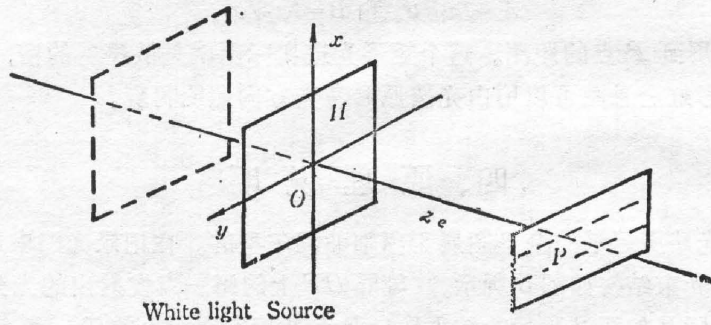


Fig. 7 Optical system use to observe the single-eyed depth image

关于菲涅尔型彩虹全息图再现像的像模糊和色模糊的计算可参阅文献 [3]。此处不再重复。

五、实验结果

制作条形散斑屏采用的参量为 $a=100\text{ mm}$, $b=10\text{ mm}$, $z=400\text{ mm}$, 允许记录最小分辨距离 $s>0.025\text{ mm}$ 的二维图像。



Fig. 8 Reconstruction the image by a rainbow hologram with laser

记录系统的参量是用两个 $f=540\text{ mm}$, $\phi 120\text{ mm}$ 的物镜产生会聚光束。二维图像的尺寸是 $80 \times 100\text{ mm}^2$ 的风景和人物照片。 $z_P=500\text{ mm}$, $z_E=300\text{ mm}$ 。记录全息干板的尺寸为 $60 \times 90\text{ m}^2$ 。用直散比为 0.05 的散斑屏记录菲涅尔型全息图，可用 6V 30 W 的白炽灯或手电筒再现清楚的像，单色性也很好。用直散比为 0.8 的散斑屏，有清楚的像面全息图，这种像面全息图虽然是投影式的，但是与不放散

斑屏所记录的像面全息图完全不同。前者不受图像边缘衍射的影响,后者由于图像边缘衍射使得面目全非。图 8 是激光照明再现的照片。在有像面全息图时产生的立体效果非常逼真,特别是一些风景照片,可惜这种立体效果是无法拍成照片的。将来热压复制全息图能批量生产以后,可望与读者见面。

六、小 结

本方法与文献[3]介绍的方法基本原理是相同的,但此处不需要移动毛玻璃,减少一个匀速移动的机构。从物理概念上说,文献[3]的方法是由于毛玻璃的移动使得在记录平面上的散斑作匀速移动因而产生一种条形的散斑。由于物光束是用会聚光照明,故再现时这种条形散斑的衍射在聚焦点形成 sinc 函数的分布。本文的方法是会聚光通过条形散斑屏照明物体,在聚焦点也会形成 sinc 函数的分布。两者只是散斑屏所在位置不同。但由于散斑屏的直散比可以控制就增加了灵活性,产生了不同的效果。

本方法的优点:(1)记录系统的结构简单;(2)从改变直散比,可获得两种类型的全息图;(3)产生的单眼深度感觉可望在全息显示技术和图像处理中获得一些特殊的应用。

参 考 文 献

- [1] Q. Shan, Q. Chan *et al.*; *Appl. Opt.*, 1983, **22**, No. 23 (Dec), 3902.
- [2] A. Beauguard, R. A. Lessard; *Appl. Opt.*, 1984, **23**, No. 18 (Sep) 3095.
- [3] C. P. Grover, R. A. Lessard *et al.*; *Appl. Opt.*, 1983, **22**, No. 20 (Oct), 3300.
- [4] 陈桂丛,单启莹;《中国激光》,1985, **12**, No. 6 (Jnn), 324.

Striped-speckle screen used in a rainbow hologram recording system

YU MEI WEN

(Department of Engineering Optics, Beijing Institute of Technology)

(Received 24 September 1985; revised 26 November 1985)

Abstract

We propose a method for making the striped-speckle screen used in a rainbow hologram recording system, which makes the system structure simpler while the reconstructed 2-D image having some single-eye depth perception.