

二维彩色彩虹像面全息图记录的一种新方法

蔡铁权 王 辉 姚晓刚
(浙江师范大学 物理系, 金华)

提 要

本文提出了利用液晶光阀和单色激光进行彩色全息图记录的方法。借助于液晶光阀非相干-相干转换的功能,采用新的彩虹全息术,获得了记录于同一块干版上的原彩色目标由红、绿、蓝三色所成的三个基色彩虹全息像。用白光透射再现,得到原彩色图的真彩色全息像。这种方法是液晶光阀、条形散斑屏在图像处理中的一种特殊应用。

关键词: 液晶光阀,非相干-相干转换,条形散斑屏,彩色全息图。

一、引 言

彩色全息图的记录方法一般是由分别记录被摄物体红、绿、蓝三基色的三个独立全息图重叠而成的多重全息图,再现时各像分别衍射而重新混合组成彩色像。

现有的彩色全息记录方法中,有些需红、绿、蓝三种颜色的激光器作为照明光源,并需用全色全息干版作感光底片,且存在克服假像干扰和感光乳胶收缩等技术问题^[1~2]。有的过程比较复杂、技术要求较高^[3~4]等。特别是到目前为止的全部彩色全息术,都是用纯光学手段记录;且在用单一激光记录的各种方法中,都无可避免地使用光栅编码。

本文提出一种新的彩色全息术,即借助于新型电-光器件——液晶光阀的非相干-相干图像转换功能,只需单一激光(He-Ne , 6328\AA)作照相光源,单色的全息干版作感光底片(天津 I 型),新的彩虹全息记录方法,在同一干版上记录彩色透明片的三基色合成全息图,可用向光再现出原彩色图像。

二、原 理

本文提出的记录方法,主要分两部分。第一部分将彩色透明片的三基色图像由三基色滤色片分解出并写入液晶光阀;第二部分是彩虹全息记录系统。

交流液晶光阀是一种空间光调制器,在正常工作方式中,它能实现非相干-相干光图像转换^[5]。如写入光是一非相干图像,就会在液晶光阀的基片上产生一个电场潜像^[6],此潜像被相干线偏振光取出,再经检偏,即可读出与原图相关的相干图像,其光路安排见图 1 的左半部分。

使用条形散斑屏^[7]作彩虹全息记录的光路见图 1 右半部分,由透镜 L_4 将从液晶光阀中读出的相干光图像成像在记录平面 H 处, H 前面放一条形散斑屏 HS ,安排光路时注意

使 L_4 的像方光束为会聚光, 距 H 30 cm 左右的 P 点为会聚点, 放入条形散斑屏后会聚点弥散成一条形斑, 它是散斑屏的谱。为清除叠像, 条形散斑屏应与干板叠合而成为像面虹全息装置, 这是本方法与文献 [7] 方法的不同之处。

拍摄时, 彩色透明片依次被三基色滤色片分解并写入液晶光阀, 用激光读出并在同一干板上记录三个基色图像全息图, 同时要注意改变参考光的入射方向。三次曝光参考光与干板法线的夹角 (即与物光夹角) θ_r 、 θ_g 、 θ_b 分别为

$$\left. \begin{aligned} \frac{\lambda_0}{\sin \theta_r} (\sin \theta_R + \sin \theta_1) &= \lambda_r, \\ \frac{\lambda_0}{\sin \theta_g} (\sin \theta_R + \sin \theta_1) &= \lambda_g, \\ \frac{\lambda_0}{\sin \theta_b} (\sin \theta_R + \sin \theta_1) &= \lambda_b, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

式中 λ_0 为记录激光波长, θ_R 为再现光入射角, θ_1 为一级衍射角, λ_r 、 λ_g 、 λ_b 分别为三基色滤色片的主波长。由此得到的全息图可在白光下重现, 眼睛处于狭缝像处, 视轴与干板法线夹角为 θ_1 , 即可看到原彩色图像。

三、实验与结果

1. 制作条形散斑屏

根据参考文献 [7] 中的光路与狭缝要求, 用天津 I 型干板作记录介质, 并经 R-10 液漂白处理, 制成需要的条形散斑屏。

2. LCLV 的三基色转换效率及全息过程的色平衡

在实验中我们发现 LCLV 对三基色图像的转换效率是不一样的, 这将严重影响彩色全息图的色平衡。但我们的理论和实验表明, 若调节实验中的某些参数, 可使再现色与原色达到较好的匹配。

设待记录的彩息透明片三原色光透射率为 $T_r(x, y)$ 、 $T_g(x, y)$ 、 $T_b(x, y)$, 它们的像也即在 LCLV 写入面上的光强分布为

$$\left. \begin{aligned} I_r(x, y) &= I_{r0} T_r(x, y), \\ I_g(x, y) &= I_{g0} T_g(x, y), \\ I_b(x, y) &= I_{b0} T_b(x, y), \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

式中 I_{r0} 、 I_{g0} 、 I_{b0} 分别为原色照明光在 T_r 、 T_g 和 T_b 都等于 1 时在写入面上的强度。设 $I_{r0}:I_{g0}:I_{b0} = b_1:b_2:b_3$ 时, $I_r(x, y)$ 、 $I_g(x, y)$ 、 $I_b(x, y)$ 的叠加可得到原彩色像:

$$c(x, y) = c[b_1 T_r(x, y) + b_2 T_g(x, y) + b_3 T_b(x, y)], \quad (3)$$

一般情况, $I_{r0}:I_{g0}:I_{b0} \neq b_1:b_2:b_3$, 这时

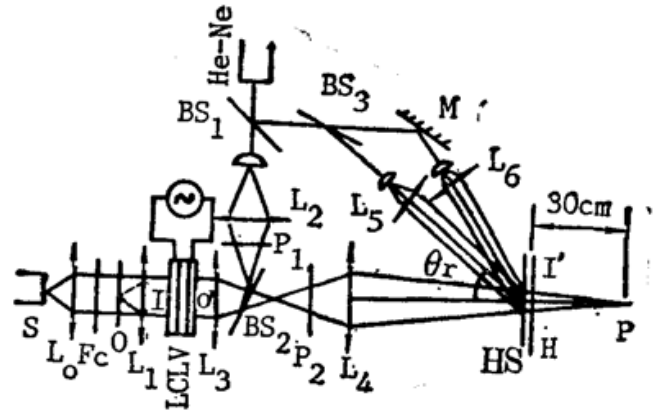


Fig. 1 The recording geometry of color hologram

$$c'(x, y) = I_r(x, y) + I_g(x, y) + I_b(x, y) \neq c(x, y), \quad (4)$$

下面我们就一般情况讨论。(2)式经光阀线性转换后,输出强度为

$$\left. \begin{aligned} I_1(x, y) &= \alpha I_r(x, y) = \alpha I_{r0} T_r(x, y), \\ I_2(x, y) &= \beta I_g(x, y) = \beta I_{g0} T_g(x, y), \\ I_3(x, y) &= \gamma I_b(x, y) = \gamma I_{b0} T_b(x, y). \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

因为光阀对三基色图像的转换效率不一样,所以 $\alpha \neq \beta \neq \gamma$ 。对应振幅输出为*

$$\left. \begin{aligned} O_1(x, y) &= \sqrt{\alpha T_r(x, y)} = \sqrt{\alpha I_{r0} T_r(x, y)}, \\ O_2(x, y) &= \sqrt{\beta T_g(x, y)} = \sqrt{\beta I_{g0} T_g(x, y)}, \\ O_3(x, y) &= \sqrt{\gamma T_b(x, y)} = \sqrt{\gamma I_{b0} T_b(x, y)}. \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

在同一条件下,线性记录上述三个图像的全息图,其有意义的衍射像为

$$O_c(x', y') = a_1 O_{1r}(x', y') + a_2 O_{2g}(x', y') + a_3 O_{3b}(x', y'), \quad (7)$$

式中 $O_{1r}(x', y')$ 是 $O_1(x, y)$ 的红光衍射像, $O_{2g}(x', y')$ 是 $O_2(x, y)$ 的绿光衍射像, $O_{3b}(x', y')$ 是 $O_3(x, y)$ 的蓝光衍射像,这三个衍射像是不相干的,故全息像的强度分布为

$$\begin{aligned} c(x', y') &= a_1^2 |O_{1r}(x', y')|^2 + a_2^2 |O_{2g}(x', y')|^2 + a_3^2 |O_{3b}(x', y')|^2 \\ &= a_1^2 \alpha I_{r0} T_r(x, y) + a_2^2 \beta I_{g0} T_g(x, y) + a_3^2 \gamma I_{b0} T_b(x, y), \end{aligned} \quad (8)$$

a_1, a_2, a_3 是全息过程引入的常数, α, β, γ 是转换过程引入的常数。显然,若能使

$$a_1^2 \alpha I_{r0} : a_2^2 \beta I_{g0} : a_3^2 \gamma I_{b0} = b_1 : b_2 : b_3, \quad (9)$$

则(8)式可写成

$$c(x', y') = c' [b_1 T_r(x, y) + b_2 T_g(x, y) + b_3 T_b(x, y)], \quad (10)$$

与(3)式比较,两者表示同一颜色分布。

在全息记录条件相同和再现光谱分布一定的情况下, a_1, a_2, a_3 也都是确定的,难以调节这三个参数。但实验表明,若调节加到液晶光阀上的电压或频率,可使 α, β 和 γ 发生变化,也可调节三原色照明光的光度,即调节 I_{r0}, I_{g0}, I_{b0} 。在实验中,我们使 a_1, a_2, a_3 和 α, β, γ 为确定,调 I_{r0}, I_{g0}, I_{b0} , 测量证明,当

$$I_{r0} : I_{g0} : I_{b0} = 21.56 : 3.02 : 1$$

时,可使再现像较好地恢复原彩色,也即认为(9)式得到了满足**。

3. 记录彩色全息图

按图1布置光路。调整光阀左边部分光路,使物 O 在光阀上成一清晰的像 I 。调整读出光路,使光经 P_1 起偏, BS_2 分束,通过 L_3 后成平行光束射到光阀上, P_2 偏振方向先与 P_1 垂直。对液晶光阀,为了得到合适的灵敏度、动态范围、输出图像对比度等,必须适当地选择工作电压,频率和改变光阀读出光的入射偏振方向^[8]。实验中对这三者需经反复调试,使读出与写入成线性关系。我们的实验采用的交流频率为 500 Hz, 工作电压 5 V。

此外,我们用光源为 24 V、250 W 的卤灯,考虑到色平衡,由第2点的讨论,在记录三基色图像时,按预先测试好的要求调节相应入射光的强度 I_{r0}, I_{g0} 和 I_{b0} (实际操作中通过调卤灯电压实现)。在 L_4 的像面处(L_4 出来的光必须是会聚光)放在全息干板和条形散斑屏

* 略去共同相位部分。

** 由于各液晶光阀的性能尚不一致,我们这里的参数仅供参考。

(两者重叠), 在 FC 位置放上滤色片(如红色), 参考光中即让对应的一路通过, 卤灯电压调到相应数值。在同一干板上依次记录三基色全息图, 经处理即得到所需要的彩色全息图。

为了使三次曝光中, 参考光方向能精确对位, 我们在拍摄前, 按计算将参考光分成三束, 布置好光路, 分别对三路参考光的强度, 角度, 光程反复校对, 然后依次挡住其中二路参考光进行曝光, 而不必在拍摄过程中改变光路, 以确保参考光方向的定位。记录中, 使用 $\lambda_r = 7000 \text{ \AA}$, $\lambda_g = 5461 \text{ \AA}$, $\lambda_b = 4358 \text{ \AA}$ 和 $\theta_r = 38^\circ$, 由此得到 $\theta_g \approx 52^\circ$, $\theta_b \approx 81^\circ$, $\theta_1 \approx 2^\circ$ 。为了简洁, 图 1 只表示了记录红、绿二种基色图像全息图的情形。

4. 再现

再现光路如图 2 所示, 用近似白光点源照射全息图, 图板法线与光轴所成角 $\theta_R = 38^\circ$, 眼睛在与干版法线成角约 2° 方向看去即可看到原物的真彩色图像如图 3(彩照)所示(见封三)。

[Fig. 3(a) Original colour film; (b) Holographic reconstruction image—see colour picture on inside back cover]

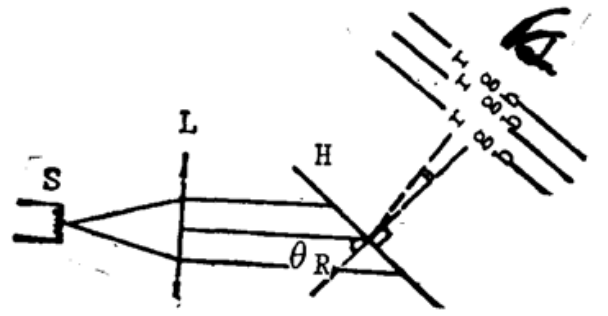


Fig. 2 Reconstruction of color hologram

四、小 结

应用液晶光阀非相干-相干光图像转换进行彩色全息图的记录, 目前还没有见到过报道。这一工作, 对开发液晶光阀在光信息处理中的应用是一项有价值的工作, 同时这一方法也可用于彩色胶片的档案存储, 由于不是以彩色染料形成原彩色像, 故可达到历久不褪的效果。

由于拍摄时将条形散斑屏与干板相贴, 这样既充分利用了光能, 又消除了叠像干扰。

当然, 目前液晶光阀还存在背景噪声, 分辨率也不够高, 由于玻璃片不平而出现的干涉条纹还很明显, 由于镀膜不均匀造成光阀整块面积上电光响应的不一致, 这些对记录的彩色全息图的质量都带来了一定的影响。

参 考 文 献

- [1] E. N. Leith, J. Upatnieks; *J. O. S. A.*, 1964, 54, No. 11 (Nov), 1295~1301.
- [2] R. J. Collier, K. S. Pennington; *Appl. Opt.*, 1967, 6, No. 6 (Jun), 1091~1096.
- [3] 陈岩松等;《物理学报》, 1978, 27, No. 6 (Nov), 723~727.
- [4] F. T. S. Yu;《光学信息处理》, (南开大学出版社, 天津, 1986年), 621~626.
- [5] 佐佐木昭夫;《液晶电子学基础和应用》, (科学出版社, 北京, 1985), 45~49.
- [6] 陈星;《光学学报》, 1984, 4, No. 11 (Nov), 1051~1055.
- [7] 于美文;《光学学报》, 1986, 6, No. 3 (Mar), 207~211.
- [8] 陈智勇等;《光学学报》, 1987, 7, No. 3 (Mar), 247~252.

A new method for recording colour rainbow image plane hologram

CAI TIEQUAN, WANG HUI AND YAO XIAOGANG

(*Department of Physics, Zhejiang Normal University, Jinhua*)

(Received 16 February 1989; revised 7 May 1989)

Abstract

A new method for recording colour hologram is proposed in this paper. Using liquid crystal light valve (LOLV) and a monochromatic laser. LOLV is a device with which incoherent light image can be translated into coherent light image. Three holograms corresponding to three primary colours are recorded respectively on the same silver halide plate using a laser of 6328 Å.

This hologram can reconstruct original colour image using white light.

Key words: Liquid crystal light valve; incoherent-coherent transform; striped-speckle screen; colour hologram.