

真彩色彩虹全息图图像合成技术

陈利永 陈金铠

(福建师范大学实验中心, 福州 350007)

摘 要 介绍了真彩色彩虹全息图图像的合成技术。讨论了合成的记录光路和两个物体的相对位置随 H_1 的记录光波长而变化所应满足的关系, 以防止两个物体的再现像因错位而发生互相干扰的现象。

关键词 真彩色彩虹全息图, 图像合成。

1 引 言

在模压全息图制作的过程中, 通常是采用二步彩虹全息的记录光路来记录原版全息图。应用横向面积分割法可以记录假彩色编码的彩虹全息图^[1,2]。近年来又在此基础上发展了真彩色彩虹全息术, 以解决在假彩色编码的技术中光能利用率低的问题。

真彩色彩虹全息图是用三原色的激光来记录的彩虹全息图, 也有一步法和二步法。目前在国内外已有报道利用横向面积分割法来记录真彩色彩虹全息图, 但这些报道都局限在记录单一的二维透明片或单一的三维漫反射物体的真彩色彩虹全息图^[3~5], 对于记录这两类物体组合画面的真彩色彩虹全息图未见报道。记录这一类画面的真彩色彩虹全息图是模压全息图的制作者感兴趣的研究课题。该课题的关键首先是: 根据画面的要求, 合理地选择记录光的波长和实验参数, 解决两个物体彩虹全息图的再现像因错位而发生互相干扰的现象。其次是合理安排实验光路, 解决记录这两类物体的菲涅耳全息图的光路布局不同的问题。

本文着重于在图像的合成过程中, 正确地设置物体相对位置的变化关系和实验光路的布局。为了便于讨论, 在整个推导和实验中仅使用二色激光, 一色用来记录背景, 另一色用来记录前物, 以达到背景和前物的彩虹全息图的再现像在空间某一视场角内呈现不同的颜色。在综合使用本文和文献^[3]的理论的前提下, 可实现真正的真彩色彩虹全息图的记录。

2 两个物体的相对位置与 H_1 的记录光波长之间的关系

二维平面物和三维漫反射物体所组成的艺术画面一般是以二维平面物作为三维漫反射物体的背景。使用横向面积分割法来记录这一类物体的彩虹全息图时, 不仅要改变 H_1 上狭缝的横向位置, 而且也要改变物体相对于 H_1 的纵向位置。

在推导两物体的相对位置与 H_1 的记录光波长之间的关系式时, 为了讨论的方便, 首先假设在整个记录的过程中光的波长为 λ_0 , 并把在记录 H_1 时, 物体相对于 H_1 所做的纵向位移, 转换成 H_1 上的条形全息图相对于物体所做的反方向位移。在这种转换的条件下, 原来连在一起的主全息图, 现等效成两块如图 1 所示的条形全息图。

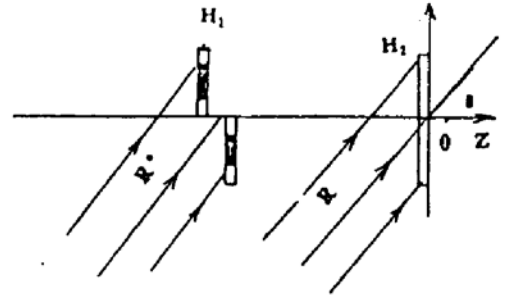


Fig. 1 The coordinate system for deducing the relationship

建立图 1 所示的坐标系, 设两个条形全息图的坐标位置分别为 x_{01}, y_{01}, z_{01} 和 x_{02}, y_{02}, z_{02} 。在傍轴近似的条件下, 由全息图的物像关系式^[6]

$$1/Z_I = 1/Z_C \pm \mu (1/Z_R - 1/Z_0) \quad (1)$$

$$x_I/Z_I = x_C/Z_C \pm \mu (x_R/Z_R - x_0/Z_0) \quad (2)$$

可求出各缝再现像的坐标位置。式中的 $\mu = \lambda/\lambda_0$, λ 和 λ_0 分别为再现光和记录光的波长。

全息图在记录和再现像的过程中, 通常是采用平行光或准平行光为参考光和再现光, Z_C 和 Z_R 远大于 Z_0 和 Z_I , 所以 $1/Z_C$ 和 $1/Z_R$ 可近似等于零。把这个条件代入(1)式可得

$$Z_I = \pm \mu Z_0 = \pm (\lambda_0/\lambda) Z_0 \quad (3)$$

把(3)式代入(2)式中, 并化简可得

$$x_I = x_0 \pm Z_0 [(\lambda_0/\lambda) \operatorname{tg} \theta_c + \operatorname{tg} \theta_R] \quad (4)$$

式中的 $\operatorname{tg} \theta_c = x_C/Z_C$, $\operatorname{tg} \theta_R = x_R/Z_R$ 。由(4)式可见, Z_I 不仅与 Z_0 有关, 而且与 λ 也有关, Z_I 的变化率为

$$\Delta Z_I = \pm (\lambda_0/\lambda^2) Z_0 \Delta \lambda \pm (\lambda_0/\lambda) \Delta Z_0 \quad (5)$$

式中 $\Delta \lambda$ 和 Δx_I 的变化有关, 由(4)式可得

$$\Delta x_I = \Delta x_0 \pm \Delta Z_0 [(\lambda_0/\lambda) \operatorname{tg} \theta_c + \operatorname{tg} \theta_R] \pm (\lambda_0/\lambda^2) Z_0 \operatorname{tg} \theta_c \Delta \lambda \quad (6)$$

彩虹全息图再现时, 为了在空间某个方位上能观察到两个物体不同颜色的再现像。在记录时, 应选择合适的实验参数, 使得两个缝的再现像在空间某个方位上重合或部份重合, 形成一个彩色化的观察窗。在这个条件下

$$\Delta x_I = 0 \quad (7)$$

把(7)式代入(6)式中可得

$$\mp Z_0 (\lambda_0/\lambda) \Delta \lambda = \Delta x_0 \operatorname{ctg} \theta_c \pm (\lambda_0/\lambda) \Delta Z_0 \pm \operatorname{tg} \theta_R \operatorname{ctg} \theta_c \Delta Z_0 \quad (8)$$

把(8)式代入(5)式中可得

$$\Delta Z_I = \Delta x_0 \operatorname{ctg} \theta_c \pm \operatorname{tg} \theta_R \operatorname{ctg} \theta_c \Delta Z_0 \quad (9)$$

要使两个物体的再现像不因错位而交叉重叠产生干扰, ΔZ_I 应不等于零, 把这一条件代入(9)式中可得

$$\Delta Z_0 \neq \Delta x_0 \operatorname{ctg} \theta_c \quad (10)$$

(10)式就是在记录光 λ_0 保持不变的条件下; 也就是在假彩色编码的条件下, 实现图像的合成, 二维平面物和三维漫反射物体之间的间距 ΔZ_0 和缝间距 Δx_0 所应满足的关系。

在真彩色彩虹全息图图像合成的过程中, 物间距 ΔZ_0 和缝间距 Δx_0 之间的关系同样也必须满足(10)式的要求。但必须注意: 在真彩色彩虹全息术中, Δx_0 虽然还是表示两个缝之间的间

距,但它对彩色化的再现像的颜色不起关键的影响作用,起关键的影响作用的是两个条形全息图记录光的波长差。 ΔZ_0 也不等于记录 H_1 时两个物体之间相对位置的变化值;而应等于记录 H_2 时, H_1 上的两个条形全息图的再现像之间相对位置的变化值。为了与在假彩色编码的条件下所推导出的(10)式中的符号相区别,用 ΔZ_{0l} 来表示它,并设 $\Delta Z_{0l} = Z_{IR} - Z_{IG}$ 。由(3)式可得

$$\Delta Z_{0l} = Z_{IR} - Z_{IG} = \pm (\lambda_R Z_{OR} - \lambda_G Z_{OG}) / \lambda \quad (11)$$

式中的 λ 为记录 H_2 的光波长。正、负号分别对应于原始像和共轭像。由于在记录 H_2 时,是以 H_1 的实像为物,因此(11)式中的正、负号应取为负号。

在记录 H_2 时,若采用波长为 λ_R 的光为记录光,由(11)式和(10)式可得

$$Z_{OG} = (\lambda_R / \lambda_G) (Z_{OR} + \Delta x_0 \text{ctg } \theta_R) \quad (12)$$

若采用波长为 λ_G 的光为记录光,同理可得

$$Z_{OG} = (\lambda_R / \lambda_G) Z_{OR} + \Delta x_0 \text{ctg } \theta_R \quad (13)$$

由(12)和(13)两式可见,当 $\lambda_R > \lambda_G$ 时, $\lambda_R / \lambda_G > 1$, 则 $Z_{OG} > Z_{OR}$, 这说明为了实现图像的合成,使得二维平面物成为三维漫反射物体的背景,应采用波长较长的激光 λ_R 来记录三维漫反射物体的菲涅耳全息图,采用波长较短的激光 λ_G 来记录二维平面物的菲涅耳全息图。

在具体实验的过程中,考虑到(10)式中的不等式的关系,在 Z_{OR} 预先选定的条件下, Z_{OG} 应选取大于(12)和(13)两式所决定的值。

3 记录光路和实验结果

在真彩色彩虹全息图图像合成的过程中,采用图 2 所示的光路来记录横向面积分割的全全息图 H_1 。图中的 M_1 和 M_2 为可移动的反射镜,移动 M_1 可以很方便地切换记录光的波长,移动 M_2 可以很方便的将记录二维平面物菲涅耳全息图的光路改变成记录三维漫反射物体菲涅耳全息图的光路。

图中的 M 为大孔径的抛物反射镜,采用它在拍 H_2 时不仅能很方便地调好 H_1 的再现像,而且也可扩大彩虹全息图 H_2 的视场角,具有一定的特色。 S 为可横向移动的狭缝。

记录的过程分两步进行:第一步,先取走 M_1 , 将 M_2 置于光路中,用 Ar 离子激光记录二维平面物背景的非涅耳全息图;第二步,取走 M_2 , 将 M_1 置于光路中,同时变换狭缝 S 的位置,用 He-Ne 激光记录三维漫反射物体的菲涅耳全息图。

在真彩色彩虹全息术中,由于狭缝的间距对彩虹全息图再现像的颜色的影响不起决定性的作用,因此 Δx_0 的选取较随便。为了提高记录 H_2 时激光的利用率,在画面彩色条件许可的前提下, Δx_0 取越小越好。实验中可将两个条形全息图紧靠在一起,此时 Δx_0 等于狭缝的宽度,一般取 4~6 mm。

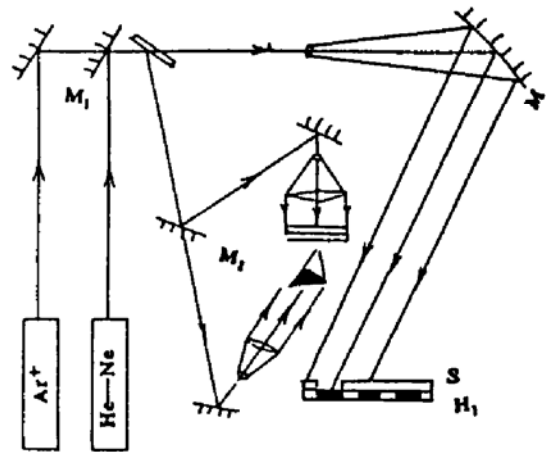


Fig. 2 The recorded optical path of H_1

H_2 的记录光路如图 3 所示。图中的 L 为柱面透镜，它的作用是压缩物光束沿缝宽方向的截面积，以提高光能的利用率和两个实像的亮度，缩短曝光时间。这样的光路布局特别适合于在感光灵敏度低的光致抗蚀剂上拍出衍射效率高的原版全息图。

由于 H_2 的再现光源通常是由上往下照射的，所以要求狭缝的再现像应沿着水平方向。为了操作的方便，在记录 H_1 时，将缝的纵向取为竖直方向，而将物体的纵向取为水平方向，即在记录 H_1 时，将物体横着放置。实验中用天津 I 型干板，取 $\theta = 40^\circ$ ， $\lambda_n = 0.632 \mu\text{m}$ ， $\lambda_c = 0.514 \mu\text{m}$ ， $Z_{0n} = 250 \text{ mm}$ ， $\Delta x_0 = 4 \text{ mm}$ ，由(12)式求得 $Z_{0c} = 309 \text{ mm}$ ，考虑到不等式的关系，取 $Z_{0c} = 320 \text{ mm}$ 。按图 2 和图 3 的光路布局来记录 H_1 和 H_2 。记录 H_1 时，采用大功率、过曝光的方法来克服天津 I 型干板对 λ_c 的光感光灵敏度低的问题。实验的结果如图 4 所示。

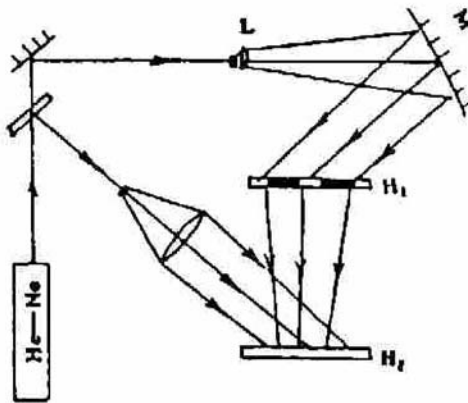


Fig. 3 The recorded optical path of H_2

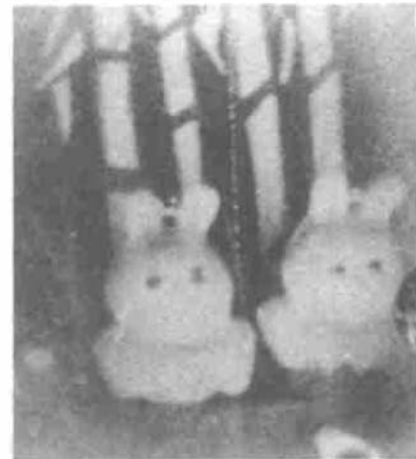


Fig. 4 The result of experiment

参 考 文 献

- [1] 陈利永, 蔡坚勇, 扬文琴等, 彩虹全息假彩色编码的面积分割法. 中国激光, 1990, 17(10): 619~622
- [2] 谢敬辉, 赵业玲, 于美文, 横向面积分割法及其在二维/三维模压全息图中的应用. 光学学报, 1988, 8(5): 410~416
- [3] 范 诚, 江朝川, 郭履容, 一种新的真彩色彩虹全息术. 光学学报, 1991, 11(11): 1032~1035
- [4] Kzuhiko Ohnuma, Fujio Iwata, Color rainbow hologram and color reproduction. *Appl. Opt.*, 1988, 27(18): 3859~3863
- [5] R. Rodriguez-Vera *et al.*, Holographic techniques in the color reproduction of two-dimensional images. *Opt. Engng.*, 1989, 28(2): 191~196
- [6] 于美文, 光学全息及信息处理. 北京, 国防工业出版社, 1984: 20~25

A Technique of Composition Real Color Rainbow Hologram Images

Chen Liyong Chen Jinkai

(Experiment Centre of Fujian Normal University, Fuzhou 350007)

(Received 8 June 1993; revised 11 January 1994)

Abstract In this paper, a composition technique for real color rainbow hologram images is described. We discuss the recorded optical path and the satisfied relationship altered on accordance with the distance between objects with the recorded light wave length of H_1 , to rid of interference from each of two images because of their dislocation.

Key words real color rainbow hologram, image composition.