

彩虹全息假彩色编码的面积分割法

陈利永 蔡坚勇 杨文琴 陈金铠

(福建师范大学实验中心, 350007)

提要: 本文介绍利用三狭缝面积分割法进行假彩色编码拍制二步彩虹全息图的方法。并用多参考光束记录, 以扩大彩虹全息的视场角。

关键词: 彩虹全息术, 假彩色编码

Pseudocolor encoding for rainbow holograms using area partition

Chen Liyong, Cai Jianyong, Yang Wenqin, Chen Jinkai

(Experimental Center, Fujian Teachers University, Fuzhou)

Abstract: A pseudocolor encoding method for rainbow holography is introduced using three-slit area partition and two-step exposure. Based on the principle of three basic color composition, the relation of interval between slits with the color-control in recording H_2 is discussed and the viewing field can be enlarged with multi plereference laser beams.

Key words: rainbow holography, pseudocolor encoding

一、引言

彩虹全息图可以用白光再现。具有相干噪声小, 图像明亮清晰, 在不同的观察角度呈现不同颜色的再现像的特点。近十几年来被广泛用来制作模压全息图。

为了使拍出来的彩虹全息图在某一观察角度能再现出彩色的像, 通常是采用多次变换狭缝位置重复曝光的方法^[1]。这种方法由于是在同一底片面积上重复曝光, 必然导致衍射效率的下降。此外, 这种方法是通过在拍二步彩虹全息图(H_2)时变换狭缝的位置来进行假彩色编码的。因此, 在拍照的过程中, 每曝光一次, 就要换一张主全息图(H_1), 变一下狭缝的位置, 操作麻烦, 周期长, 且像的各部份的连接不容易对准。

为了解决上述问题, 本文采用三狭缝面积分割法进行假彩色编码的记录方法。拍二步彩虹全息图时, 一次曝光即可获得彩色化的彩虹全息图。

二、记录光路和狭缝间距的确定

记录过程分两步进行。第一步按图1所示的光路, 分三次曝光, 记录一张三狭缝面积分割

的主全息图 H_1 。图中的 D 为毛玻璃屏, B_i 为与红、绿、蓝三基色对应的透射物屏, $i=1, 2, 3$ 分别与红、绿、蓝相对应; S_1 为狭缝。

拍照时, 每曝光一次, 变一下狭缝的位置, 同时换一张 B_i 。在拍中间这一张时, 缝宽取固定值, 一般为 $4\sim 8\text{mm}$ 。拍旁边两张时, 缝宽可取宽一点, 取平板宽度的 $1/3$ 。其目的是: 在拍 H_2 时, 可通过改变缝的间距来控制 H_2 再现像的色彩, 便于找出与最佳的色彩相对应的缝间距, 为在光致抗蚀剂上拍出高质量的 H_2 作准备。

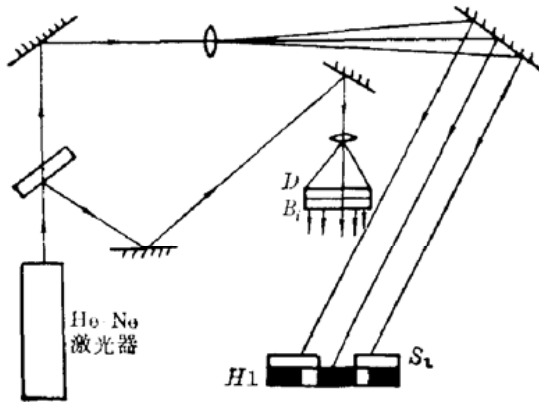


图 1

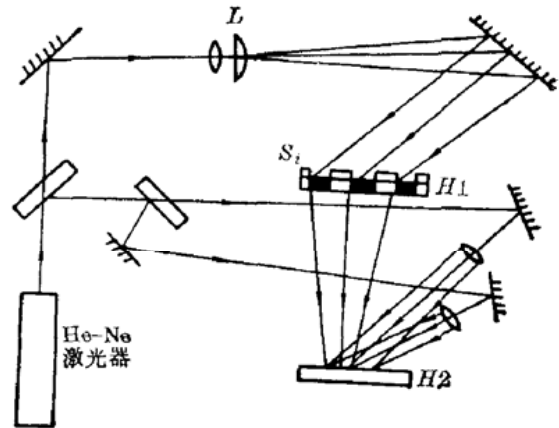


图 2

第二步, 按图 2 所示的光路, 一次曝光, 记录一张二步彩虹全息图。图中 L 为柱面透镜; S_2 为缝间距可变的三狭缝, 可用包装干板的黑纸刻成, 直接贴在 H_1 的背面上。为了扩大视场角, 用大孔径的抛物反射镜反射出的光照明长条状的 H_1 成像, 以及采用双参考光束记录。

要得到预定的颜色组合, 必须按光路参数来设置缝间距。

设与中央缝相对应的是再现波长为 λ_2 的色像, 与两旁缝相对应的是再现波长为 λ_1 和 λ_3 的色像。取图 3 所示的坐标系, 并假定物光束、参考光束以及再现光束的光轴均位于 xOz 平面上, 因而不用考虑再现像的 y 方向分量。

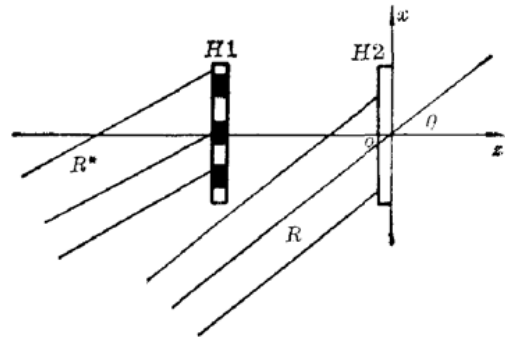


图 3

设缝 1、2、3 的位置坐标分别为 (x_{01}, z_{01}) 、 (x_{02}, z_{02}) 、 (x_{03}, z_{03}) 。在图 3 所示的坐标系中,

$$z_{01} = z_{02} = z_{03} = z_0 \quad (1)$$

$$x_{02} = 0 \quad (2)$$

在傍轴近似的条件下, 各缝再现像的位置方程为^[2]:

$$1/z = 1/z_c \pm (\lambda/\lambda_0)(1/z_0 - 1/z_k) \quad (3)$$

$$x/z = x_c/z_c \pm (\lambda/\lambda_0)(x_0/z_0 - x_k/z_k) \quad (4)$$

式中 λ_0 为记录光的波长; x_k, z_k 为参考光源的位置坐标; x_c, z_c 为再现光源的位置坐标。正、负号由像的性质来定, 当像为原始像时, 取正号; 像为共轭像时, 取负号。

要在某一固定的角方位上看到彩色的再现像, 要求各个缝像的位置在该方位上重合或部分重合。即

$$\begin{aligned} x_c/z_c - \lambda/\lambda_0(x_{01}/z_{01} - x_k/z_k) &= x_c/z_c - (\lambda_2/\lambda_0)(x_{02}/z_{02} - x_k/z_k) \\ &= x_c/z_c - (\lambda_3/\lambda_0)(x_{03}/z_{03} - x_k/z_k) \end{aligned} \quad (5)$$

化简并利用(1)式,可得

$$\lambda_1(x_{01}/z_0 - x_k/z_k) = \lambda_2(x_{02}/z_0 - x_k/z_k) = \lambda_3(x_{03}/z_0 - x_k/z_k) \quad (6)$$

令
则

$$\operatorname{tg} \theta = x_k/z_k$$

$$x_{01} = \left(\frac{\lambda_2}{\lambda_1}\right) x_{02} - \frac{(\lambda_2 - \lambda_1)}{\lambda_1} z_0 \operatorname{tg} \theta \quad (7)$$

$$x_{03} = \frac{\lambda_2}{\lambda_3} x_{02} - \frac{(\lambda_2 - \lambda_3)}{\lambda_3} z_0 \operatorname{tg} \theta \quad (8)$$

利用(2)式,可得

$$x_{01} = -\frac{(\lambda_2 - \lambda_1)}{\lambda_1} z_0 \operatorname{tg} \theta \quad (9)$$

$$x_{03} = -\frac{(\lambda_2 - \lambda_3)}{\lambda_3} z_0 \operatorname{tg} \theta \quad (10)$$

若令 $\lambda_1 = 0.65 \mu\text{m}$, $\lambda_2 = 0.54 \mu\text{m}$, $\lambda_3 = 0.48 \mu\text{m}$, $z_0 = -300 \text{mm}$, $\theta = 40^\circ$ 则有 $x_{01} = -42.6 \text{mm}$, $x_{03} = -31.5 \text{mm}$.

在 x_{01} 和 x_{03} 确定之后,观察到缝像的角度由下式确定:

$$\operatorname{tg} \alpha_i = \operatorname{tg} \alpha_c \pm \frac{\lambda}{\lambda_0} \left[\frac{x_{02}}{z_0} - \operatorname{tg} \theta \right] \quad (11)$$

式中的 $\operatorname{tg} \alpha_i = x_i/z_i$, $\operatorname{tg} \alpha_c = x_c/z_c$ 。用白光再现时,在 $\operatorname{tg} \alpha_c = \operatorname{tg} \theta$ 的条件下,可观察到彩虹全息的原始像,故(11)式中的正、负号应取正号。

将 $\operatorname{tg} \alpha_c = \operatorname{tg} \theta$ 代入(11),得

$$\operatorname{tg} \alpha_c = (1 - \lambda/\lambda_0) \operatorname{tg} \theta + (\lambda/\lambda_0)(x_{0i}/z_0) \quad (12)$$

把上述的 θ 、 x_{0i} 和 z_0 的值代入(12)式,可得观察到缝像的角度为 6.83° 。对于宽度为 6mm 的狭缝,缝像的张角为 1° 。

由(12)式可见,当再现光源为扩展的面光源时,观察到再现像的角度 α_i 随着 θ 角的变化而变化。利用该原理,用不同角度的参考光束同时进行记录,可以在不同的方位角上观察到各个缝的再现像。这些再现像的交叉顺序排列,扩展了彩虹全息图的视场角。

另外,为了减少物像点随着 θ 角的变化而变化,拍 H_2 时应尽量调整物体的实像像靠近全息图平面。

三、构图的制作及实验结果

我们采用图4所示的一种简单图形为透射物体来拍全息图。要求拍出来的全息图的再现像在视场内各部份的颜色如图中所示。

这几种颜色可以看成是由红、绿、蓝三基色组成的^[3]。根据三基色迭加的原理,可将原构图按三基色的成份分解成三张图(图5)。

用图1所示的光路分三次曝光,拍一张面积分割的主全息图 H_1 。第一次以图5(b)为物体,

先拍中间的,它再现波长为 $\lambda_2=0.54\mu\text{m}$ 的物像。然后,分别以图5(a)和(c)为物拍两旁的,它再现波长为 $\lambda_1=0.65\mu\text{m}$ 和 $\lambda_3=0.48\mu\text{m}$ 的物像。

第二步,用图2所示的光路,一次曝光记录一张彩虹全息图 H_2 。

实验中,我们用输出功率大于20mW的He-Ne激光器为光源。取缝宽 $a=6\text{mm}$,1和2缝的中间距为42.6mm,2与3缝的中间距为31.5mm。

为了扩大彩虹全息图的水平视场角,拍 H_1 时,用长为240mm的天津2型全息平板为记录介质,并将物体横着放(即:物体的纵向沿着 x 轴的正方向),用稀释的D76显影液显影。

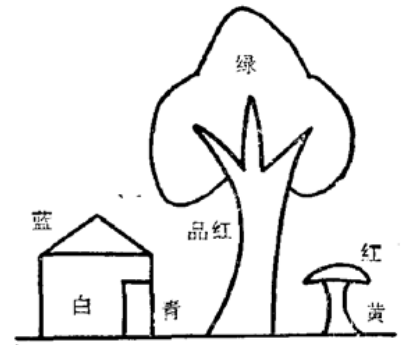


图 4

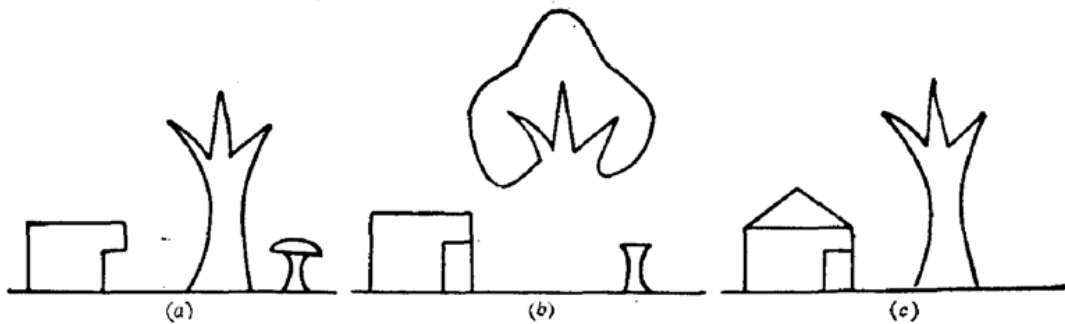


图 5

拍 H_2 时,用能形成表面浮雕型全息图的漂白液漂白^[4]。并用 $\theta_1=40^\circ$ 和 $\theta_2=60^\circ$ 的两束参考光同时记录,以扩大垂直方向的视场角。由(12)式可求得垂直方向视场角的理论值可达 40° 左右。

再现 H_2 时,用普通的白炽灯从 H_2 的上方做斜入射,水平方向大约在 40° 角之内,垂直方向大约在 25° 角之内,均能观察到清晰的彩色再现像。大约在与全息图平面法线成 7° 角的方位上观察,可观察到图4图形的彩色再现像。在其它的方位观察,可得到不同色调的彩色再现像。

参 考 文 献

- 1 A. Tai, F. T. S. Yu *et al.*, *Appl. Opt.*, **18**(1), 6(1979)
- 2 于美文,光学全息及信息处理,国防工业出版社,北京,1984, 66
- 3 王明臣,彩色电视接收机原理,人民邮电出版社,北京,1977, 24
- 4 于美文,光学全息及信息处理,国防工业出版社,北京,1984, 301