

一种获得大视角彩虹全息图的新方法 ——全息共轭法

国 承 山

(山东师范大学 物理系, 济南)

提 要

提出一种利用全息相位共轭法获得大视角彩虹全息图的新方法, 和全息聚光屏的概念。与一般彩虹全息法相比, 全息相位共轭法所得彩虹全息图的视场不受透镜孔径的限制。简述了全息共轭法的基本原理, 从理论上和实验上证明了该方法的可行性。

关键词: 全息术; 全息相位共轭; 全息聚光屏。

一、引 言

1969年, S. A. Benton 发明了彩虹全息术^[1]。由于彩虹全息图特别便于大批量模压复制, 因此在全息显示方面得到广泛应用。为了简化彩虹全息图的制作步骤和改善彩虹全息图的像质、景深及视场特性, 人们陆续提出了几种制作彩虹全息图的不同方法^[2~5]。这些方法各有不同的优点和适用场合。但是, 它们都还存在一个共同的不足之处, 就是所记录的彩虹全息图的视角通常都要受到成像透镜或准直透镜的孔径的限制。本文提出一种用全息相位共轭获得大视角彩虹全息图的新方法。它属于二步彩虹全息。与本顿法所不同的是, 在两次记录过程的光路中, 于适当位置(物体和记录介质之间)引入一个聚光屏, 并利用它达到扩大视角的目的。

二、基 本 原 理

图1为全息相位共轭法第一步记录过程的光路原理图。图中, O 为物体, JP 为聚光屏, 它能把不直接到达全息干板 H_M 的物光, 以某种方式聚集到全息干板上, 从而使较小的全息图面, 也能记录下较大视角的物光的信息。

假设物光波在透过聚光屏前(聚光屏前表面上)的光振幅分布为 $O(x, y)$, 聚光屏的复振幅透射率为 $t_p(x, y)$, 则在全息干板 H_M 上所记录的调制波的复振幅分布为:

$$O_H(x', y') = \frac{\exp(j2\pi z_0/\lambda)}{j\lambda z_0} \iint O(x, y) t_p(x, y) \exp\left\{j \frac{\pi}{\lambda z_0} [(x-x')^2 + (y-y')^2]\right\} dx dy. \quad (1)$$

引入参考光 $R_M(x', y')$, 在 H_M 上记录下该复振幅分布。则这样记录的全息图 H_M 就相当

于一个主全息图。将该全息图复位,并用与原参考光 R_M 共轭的光再现时,沿 z 轴反方向传播的再现波的共轭像项为

$$A_0 O_H^*(x', y'), \quad (2)$$

其中, A_0 为一常数,“*”为复共轭。当该项共轭波又回到聚光屏 JP 处(未通过屏以前)时,光波的复振幅为:

$$O_p(x, y) = \frac{\exp(j2\pi z_0/\lambda)}{j\lambda z_0} \cdot \iint A_0 O_H^*(x', y') \exp\left\{j\frac{\pi}{\lambda z_0} [(x-x')^2 + (y-y')^2]\right\} dx' dy'. \quad (3)$$

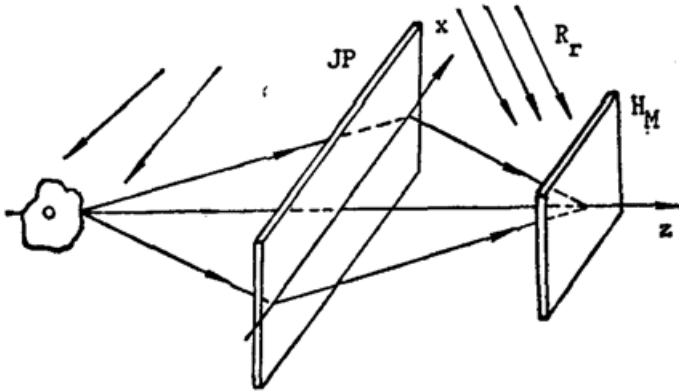


Fig. 1 The first step recording configuration of holographic conjugation method

将(1)式代入(3)式,得

$$O_p(x, y) = \frac{A_0}{\lambda^2 z_0^2} \iiint O^*(\alpha, \beta) t_p^*(\alpha, \beta) \exp\left\{j\frac{2\pi}{\lambda z_0} [x'(\alpha-x) + y'(\beta-y)]\right\} dx' dy' d\alpha d\beta = \frac{A_0}{\lambda^2 z_0^2} O^*(x, y) \cdot t_p^*(x, y). \quad (4)$$

该光波再透过聚光屏后,其复振幅分布就恢复成原物波的共轭波,即

$$O'_p(x, y) = \frac{A_0}{\lambda^2 z_0^2} |t_p(x, y)|^2 O^*(x, y). \quad (5)$$

其中, λ 为记录光波的波长, z_0 为聚光屏到全息干板 H_M 的距离。如果我们采用的聚光屏是相位型的,其强度透射率为常数。因此,(5)式可写成

$$O'_p(x, y) = B_0 O^*(x, y). \quad (6)$$

B_0 为一常数。该共轭波在原物体所在位置处形成物体的共轭像,它就象是以聚光屏上发出的,其视角由聚光屏的长度决定。

如果在聚光屏 JP 上加一适当的限制狭缝 SL (或把聚光屏做成长条形),在共轭像附近放另一全息干板,进行第二次全息记录,就可以获得一彩虹全息图。

图 2 所示,就是全息相位共轭法中第二步记录过程的光路原理图。由前面的分析可以看到,由于光路中引入了聚光屏,即使主全息图 H_M 较小,只要采用较长的聚光屏,仍可以获得较大视角的彩虹全息图。由于采用复共轭技术,消除了聚光屏对物光可能产生的影响。因此,从原理上这里的聚光屏可以是多种多样的。例如,普通的毛玻璃就可以看作是这样的一种聚光屏。因为,凡到达毛玻璃各点上的物光都可以经过散射间到达干板,并被记录下来。通过复共轭,被记录的物波信息仍可以被还原^[6],但需要较严格的复共轭条件,而且也容易产生强的背景噪声。

图 3 所示,是一个由若干离轴全息透镜(作为示例,这里只画出其中的 A 、 B 、 C 三部分)构成的一个复合屏,其中每一单元都可以把从 F 点发出的物光会聚到干板所在的区域,由于最后的像是经过一次复共轭过程产生的,因此,即使聚光屏上的各单元成像并不重合,也不会影响最后的结果,最后的像仍然是单一的。这种复合屏称之为全息聚光屏。

由于全息聚光屏各部分的独立成像特性,它对共轭再现光及复位精度的要求是不严格的,容易实现的。这一点可从全息透镜的成像公式^[7]上看到。当共轭条件和干板复位有微小

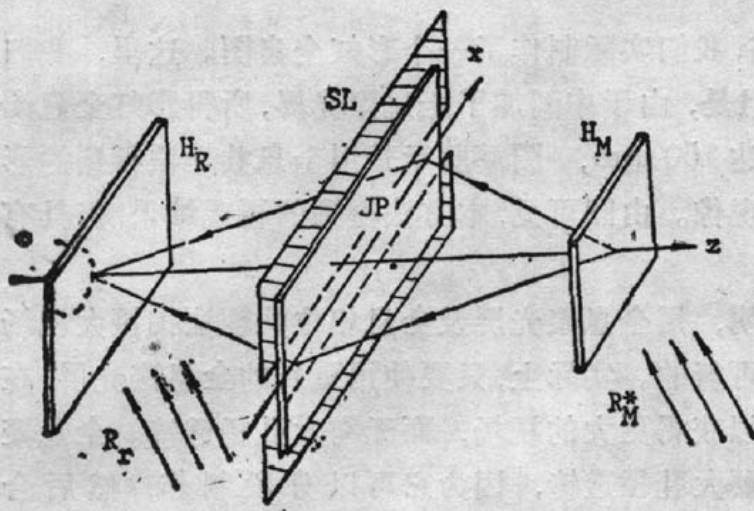


Fig. 2 The second step recording configuration of holographic conjugation method

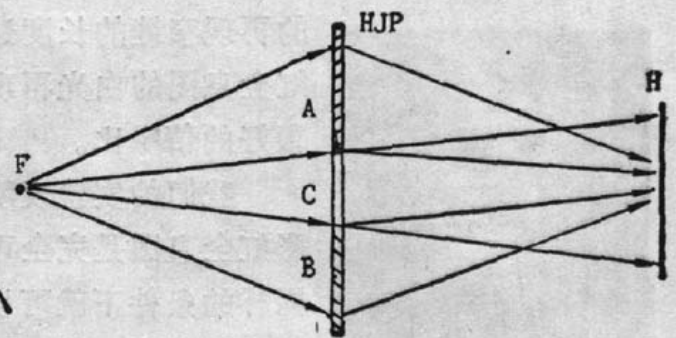


Fig. 3 Holographic collector screen

偏差时,并不影响共轭像的形成,共轭像的亮度基本不会发生变化,只是使共轭像也发生相应的偏移,并产生一定的像差或模糊。这一像差与大孔径全息透镜的情况是类似的。因此,对于全息聚光屏来说,当在记录条件附近使用时,共轭再现光及复位的微小偏差是容许的。由于这种全息聚光屏容易做成较大的尺寸,并且不需要特殊的设备,因此它使全息共轭法的实际应用成为可能。

三、实验及其结果

我们实际制作了一个图 3 所示的全息聚光屏。其中 F 点和 H 平面距离全息聚光屏均为 30 cm。聚光屏的总长度(沿 x 方向)约为 15 cm。 A 、 B 两部分用天津全息 I 型干板制作,并经过漂白处理;为与 A 、 B 部分的衍射效率相匹配, C 部分采用了一透射率约为 20% 的灰度板。

为了充分说明全息共轭法的实质,我们使 A 、 B 两单元在 H 平面上的会聚点具有明显的分离,这样 F 点处的物体在 H 平面上形成两个并不重合的像。图 4(a) 所示,为在 F 点放一物体时,于 H 平面上直接记录的结果。显然,由 A 、 B 两单元会聚到 H 平面所形成的像是不重合的。

图 4(b) 则是同样条件下,在 H 平面上进行的全息记录,然后经共轭再现后,在原物体所在位置处得到的再现实像。我们看到,该全息聚光屏各单元形成的共轭再现像是完全重



Fig. 4 Holographic phase conjugation

合的,没有相互错位,即完全复原。

利用该聚光屏及图 1、图 2 所示的光路,我们实际制作了一个彩虹全息图。这里,我们所用的主全息图 H_M 的长度只有 70 mm;但是,由于中间加了全息聚光屏,所得彩虹全息图的再现窄缝的长度达 150 mm,图 5 所示是用全息共轭法得到的彩虹全息图的白光再现像。由图可见,本方法得到的再现结果,仍具有很好的信噪比。



Fig. 5 White-light reconstructed image of the rainbow hologram

我们的实验表明,用全息聚光屏及全息相位共轭法拍摄大视场彩虹全息图是完全可行的。实际上,只要使用更长的全息聚光屏,在同样的条件下就可以获得更大的视场,而无需大孔径透镜。全息聚光屏的制作也不需要大孔径透镜,因为它可以分段制作,然后合成。

实验中我们发现,全息聚光屏最好做成长条形,也就是说,应在记录主全息图 H_M 时,就把狭缝加到聚光屏上。这样可以最大限度地利用主全息图的衍射能量,使反向再现的共轭像最亮。这一点是容易理解的。如果在第一次记录过程中不加限制狭缝,则当主全息图反向再现时,衍射光能将是分布在整个聚光屏上,而实际通过的只有狭缝区域的能量,其它部分的光能就被挡掉了。如果第一次记录过程中就在聚光屏上加进限制狭缝,则当主全息图反向再现时,其衍射能就全部集中在狭缝处,而不会被挡掉。

四、结 论

从以上理论分析和实验结果可见,通过在光路中加聚光屏,用全息相位共轭法来获取大视场彩虹全息图的技术是完全可行的。它为了解决彩虹全息图的视场受透镜孔径限制的问题提供了一条新的、有效的途径。

参 考 文 献

- [1] S. A. Benton; *J. O. S. A.*, 1969, **59**, No. 10 (Oct), 1545~1546.
- [2] H. Chen, F. T. S. Yu; *Opt. Lett.*, 1978, **2**, No. 4 (Apr), 85~87.
- [3] P. N. Tamura; *Appl. Opt.*, 1978, **17**, No. 21 (Nov), 3343.
- [4] C. P. Grover *et al.*; *Appl. Opt.*, 1983, **22**, No. 20 (Oct), 3300~3304.
- [5] 国承山等;《光学学报》,1987, **7**, No. 9 (Sep), 794~798.
- [6] K. A. Haines, D. B. Brumm; *Appl. Opt.*, 1968, **7**, No. 6 (Jun), 1185~1189.
- [7] 于美文等;《光学全息及信息处理》,(国防工业出版社,北京,1984), 145.

A new method of obtaining large view rainbow hologram ——holographic phase conjugation method

GUO CHENGSHAN

(Department of Physics, Shandong Normal University, Jinan)

(Received 18 July 1989; revised 23 March 1990)

Abstract

A new method of obtaining large view rainbow hologram by using holographic phase conjugation is proposed. A concept of holographic collector screen is presented. Compared with existing methods, a large view rainbow hologram can be constructed by this method. The view of the resulted hologram is not limited by the aperture of lens. The principle of this method explained simply is and the feasibility is demonstrated experimentally.

Key words: holography; holographic phase conjugation; holographic collector screen.