

正贗复合全景像全息术

傅 声 乔

(湘潭大学物理系)

提 要

本文提出一种利用正、贗再现像,将物体的正、反两面信息复合在一起的全息术。在一张全息干板上,可以同时看到物体的两面,增强立体效果和艺术感。文中介绍了原理、方法和结果。

关键词: 全息术; 合成全息。

一、引 言

我们知道,作为同轴全息,虚像和实像在同一方向的不同位置同时出现,其分离问题对全息术的发展曾长期形成困扰。而贗像正像是凸凹相反的,如果设法使它们与一个物体的前后两面分别对应,并在同一位置复合,贗像的反常凸凹亦有可供利用之处。基于这一设想,本文提出一种拍摄全景全息的新方法。将物体360°全景分成正反两面,分别摄制母全息片,再现时将物体背面看不到的部分再现为贗像,对观察者来说它与原物是凸凹相反的。将物体正面部分再现为正的虚像,对观察者来说它与原物是凸凹相同的。这样就有可能将两个再现图像复合成一个完整的物体轮廓,在第三张全息干板上进行复合记录。此方法再现简单,复全片的再现图像看起来好象物体具有透明的感觉,在单张全息片上,看到物体的360°,有强的立体效果。

二、基本 原理

为说明再现时照明光对像点位置的影响,及再现图像的正、贗、虚、实关系,将物体设为一个简单的点源,如图1所示。

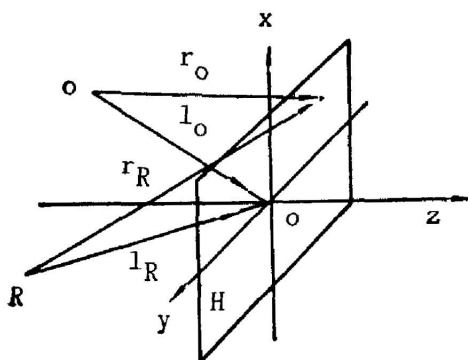


Fig. 1 Elementary hologram

物光与参考光分别为:

$$O(x, y) = O_0 \exp [j\varphi_0(x, y)],$$

$$r(x, y) = R_0 \exp [j\varphi_R(x, y)].$$

在线性记录条件下,忽略常数项的影响,用同一波长的照明光 $C_0 \exp [j\varphi_0(x, y)]$ 再现制得的全息片 H ,再现光波为:

$$\begin{aligned} i = & C_0 (R_0^2 + O_0^2) \exp [j\varphi_0] \\ & + C_0 R_0 O_0 \exp [j(\varphi_0 + \varphi_0 - \varphi_R)] \\ & + C_0 R_0 O_0 \exp [j(\varphi_0 - \varphi_0 + \varphi_R)]. \end{aligned} \quad (1)$$

在坐标上再现像点、原物点、参考光点的对应关系为^[1]:

$$\begin{aligned} l_i &= \frac{l_C l_O l_R}{l_O l_R \pm l_C (l_R - l_O)}, \\ x_i &= \frac{x_C l_O l_R \pm l_C (x_O l_R - x_R l_O)}{l_O l_R \pm l_C (l_R - l_O)}, \\ y_i &= \frac{y_C l_O l_R \pm l_C (y_O l_R - y_R l_O)}{l_O l_R \pm l_C (l_R - l_O)}. \end{aligned} \quad (2)$$

用原参考光照明再现, $x_C = x_R$, $y_C = y_R$, $l_C = l_R$ 。得到原始像的位置为 $l_i = l_O$, $x_i = x_O$, $y_i = y_O$ 。像点与原物点重合。由(1)式第2项, 以 $C = R_O \exp [j\varphi_R(x, y)]$ 代入, 得再现光波为:

$$R_O^2 O_O \exp [j\varphi_O] = \beta O(x, y)。$$

得到发散光点的像为一虚像。如果改用原参考光的时间反演共轭光(逆转光)照明全息图再现, 即 $C(x, y) = R_O \exp [-j\varphi_R(x, y)]$, 其汇聚点与原参考光点源处坐标是重合的, 同样可以得到:

$$l'_i = l_O, \quad x'_i = x_O, \quad y'_i = y_O,$$

像点也是与原物点重合的。由(1)式的第3项 $R_O^2 O_O \exp [-j\varphi_O(x, y)] = \beta' O^*$ 可知, 再现的是记录时物体传到干板上面的光的共轭, 必然成一个汇聚的实像。

设一组物点(如图2(a)所示) O_1, O_2, O_3 , 其位置关系 $l_{O1} > l_{O2} > l_{O3}$, 则再现原始虚像位置如图2(b)所示, 位置关系 $l_{i1} > l_{i2} > l_{i3}$, 是一个凸凹与原物相同的正像(orthoscopic image)。

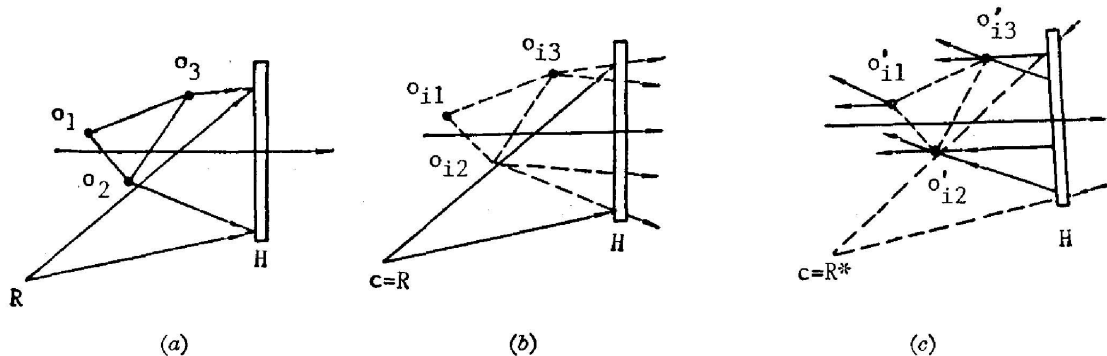


Fig. 2 Schematic diagram of the recording technique and the reconstruction of orthoscopic and pseudoscopic images

如果改用原参考光的逆转光再现, 再现的实像如图2(c)所示, 对于干板坐标来说, 同样有 $l_{i1} > l_{i2} > l_{i3}$, 即位置关系是不变的。但对于观察者, 显然是 O'_{i1} 像点距眼睛最近, O'_{i3} 距眼睛最远, 是一个看起来与实物凸凹关系相反的贗像(pseudoscopic image)。

对于一不透明物体, 如图3所示, 可用 O_1, O_2, O_3 代表它的前表面; O_3, O_4, O_1 代表它的后表面, 用干板 H_1, H_2 分别对其前后表面进行菲涅尔全息记录。作为母全息片, 将 H_1, H_2 显影定影处理后在原处复位。取走原物, 用原参考光照明 H_1 , 而 H_2 的再现改用拍摄时的参考光的反演共轭光照明, 使 H_1 产生的正像与 H_2 干板产生的贗像在空间复合。将 H_3 干板放在适当的位置即可对复合光波进行再记录(如图4所示)。尽管两个像的性质为一虚一实, 但对 H_3 的拍摄来说是一样的。

作为物体的全景信息, 物光分布可以看成前后两个表面许多单元物光分布之和。设物体前表面有一物单元, 位于 $x_0 y_0$ 平面, 其分布为 $O_1(x_0, y_0) \exp(j\varphi_1)$ 。由图5可见 H_1 记

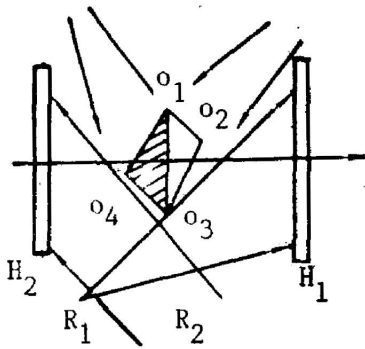


Fig. 3 Separately recording the object wave of front side and back side

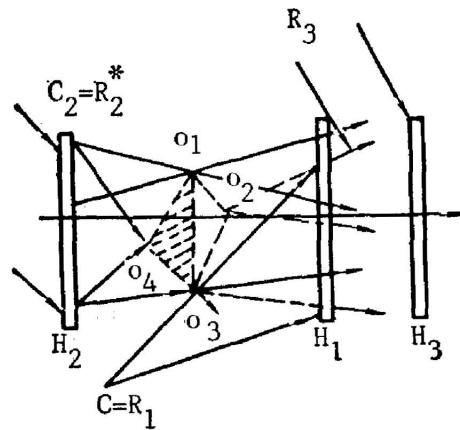


Fig. 4 Recording the compound wave of reconstruction orthoscopic and pseudoscopic images

录的是该物光在 x_1y_1 平面上的菲涅尔衍射。对 H_1 用原参考光照明,再现光波由(1)式第 2

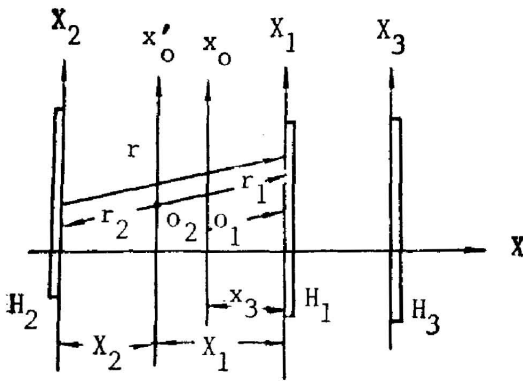


Fig. 5. Diffraction of elemental object wave and compound recording

项决定:

$$\begin{aligned}
 C_0 R_0 O_1 \exp [j(\varphi_0 + \varphi_0 - \varphi_R)] &= \beta_1 O_1(r_1 y_1) \\
 &= \beta_1 \frac{\exp [jkz_3]}{j\lambda z_3} \iint O_1(x_0 y_0) \exp(j\varphi_0) \\
 &\quad \times \exp \left\{ j \frac{\pi}{\lambda z} [(x_1 - x_0)^2 \right. \\
 &\quad \left. + (y_1 - y_0)^2] \right\} dx_0 dy_0 \quad (3)
 \end{aligned}$$

设物体后表面一单元物体位于 $x'_0 y'_0$ 平面,其分布为 $O_2(x'_0, y'_0) \exp(j\varphi_2)$,在符合惠更斯-菲涅尔近似的条件下^[3], H_2 干板平面上的分布可写为:

$$O'_2(x_2, y_2) = \frac{1}{j\lambda z_2} \iint O_2(x'_0, y'_0) \exp(j\varphi_2) \exp(jkr_2) dx'_0 dy'_0, \quad (4)$$

经 H_2 干板进行记录,得到全息片用反演共轭的参考光照明,得到沿 z 轴正方向传播的光波是(1)式的第 3 项,将上式代入有:

$$\begin{aligned}
 C_0 R_0 O'_2 \exp [j(\varphi_C - \varphi_0 + \varphi_R)] &= \beta_2 O_2^*(x_2 y_2) \\
 &= \beta_2 \frac{1}{-j\lambda z_2} \iint O_2(x'_0, y'_0) \exp(-j\varphi_2) \exp(-jkr_2) dx'_0 dy'_0, \quad (5)
 \end{aligned}$$

该光波衍射到 $x_1 y_1$ 平面,如忽略 H_1 片的透射率影响,并写成菲涅尔近似,整理常数项,得到与(3)式相同的表达式:

$$\begin{aligned}
 &\frac{1}{j\lambda(z_1 + z_2)} \iint \left[\beta_2 \frac{1}{-j\lambda z_2} \iint O_2(x'_0 y'_0) \exp(-j\varphi_2) \exp(-jkr_2) dx'_0 dy'_0 \right] \\
 &\quad \times \exp [jk(r_1 + r_2)] dx_2 dy_2 \\
 &= \beta_2 \frac{1}{\lambda^2 z_2^2 + \lambda^2 z_1 z_2} \iiint O_2(x'_0 y'_0) \exp(-j\varphi_2) \exp(jkr_1) dx'_0 dy'_0 dx_2 dy_2
 \end{aligned}$$

$$= \beta_3 \frac{\exp(jkz_1)}{j\lambda z_1} \iint O_2(x'_0, y'_0) \exp(-j\varphi_2) \times \exp\left\{j \frac{\pi}{\lambda z_1} [(x_1 - x'_0)^2 + (y_1 - y'_0)^2]\right\} dx'_0 dy'_0, \quad (6)$$

由(3)式、(6)式可知, H_3 干板进行复合记录时, 来自 H_1 母全息再现光的再现光实际上等效于原物对 H_3 所在平面的直接衍射。而来自 H_2 母全息的再现光等效于背面物点物光方向反演之后, 对 H_3 平面的直接衍射, 这两部分光合成了原物体的完整轮廓。正是由于背面物光的反向作用, 使得 H_3 全息的再现像看起来具有透明物体的艺术效果。不同的是它没有壁厚, 也没有透明介质对光的折射实效, 而是一种前后物面的信息轮廓。 H_3 可以因照明光的不同再现原物光, 或原物光的共轭。因为它同时记录了物体前后两面的信息, 所以再现时既可以使物像的正面朝前, 背面透视; 也可以翻边, 使物像的背面朝前而正面在后。

为增加艺术效果, 按图 6 所示光路拍成一步彩虹全息(或像面全息), 白光再现较有实际意义。后部分光路在文献[1]和[2]中已有描述。

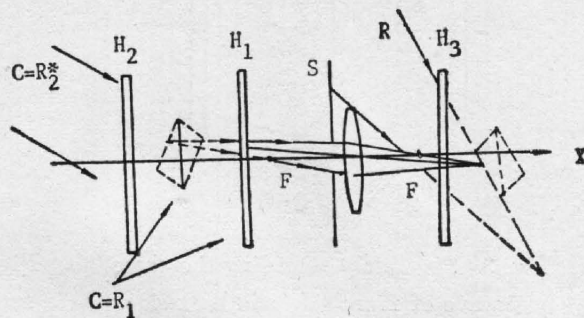


Fig. 6 Improved method of making compound hologram using one-step rainbow hologram process

三、实验光路与结果

用上述原理拍摄正负复合全景全息的光路如图 7 所示。 H_1 、 H_2 用复位架安装, 平行地安放在物体的正反两面。与物体的距离以便于引进参考光不发生遮挡为准, H_2 的拍摄应以准直平行光作参考光。调整时必须考虑反演共轭照明光的方便。物体的前后表面是分别进行记录的。 H_2 的记录、处理、复位完毕后, 转动 M_2 、 M_3 , 将 H_2 的参考光改作物体前表面的照明光, 物体原后表面的照明光改作 H_1 全息拍摄的参考光, 这样来减少光路元件。再现母

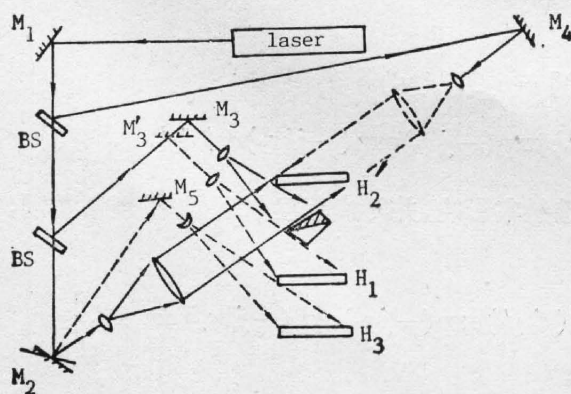


Fig. 7 Diagram of experimental arrangement



Fig. 8 Photograph of reconstruction orthoscopic image

全息时, H_1 就用拍摄时的参考光照明, H_2 用原准直参考光的反演共轭, 以保证正视虚像和赝视实像在原位再现, 且不带来大小的改变。改变照明光强度以调整两个再现像的相对光强, 达到好的复合效果。

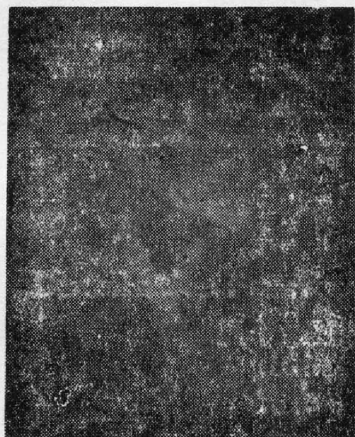


Fig. 9 Photograph of compound wave of orthoscopic and pseudoscopic images

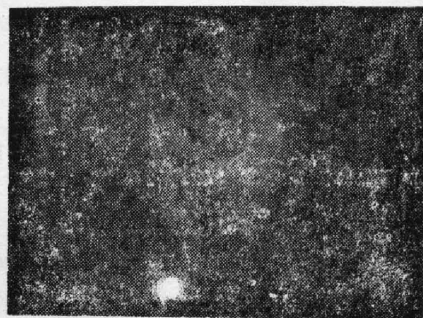


Fig. 10 Photograph of reconstruction image of compound panoramic hologram

我们选用的物体是一个正反两面图形分布错落有序的玩具地球仪, H_1 再现的正、虚像如图 8 所示, 只可以看见球体正面的陆地板块和前支架。正视、赝视再现光复合见图 9, 最后复合全景全息再现图像见图 10。地球仪球体看起来具有透明效果, 大陆板块彼此错开浮现在透明球体表面上。同时前后支架都清晰可见, 构成一个闭合圆环的完整轮廓。

正、赝复合全息光路器件较多, 二次拍摄带来一定的噪声。干板复位、光波的共轭、胶层的收缩等对原位复合带来一定影响。同时要达到一定的艺术效果, 被拍摄的物体形状必须较为规整。

参 考 文 献

- [1] 于美文等;《光学全息及信息处理》, (国防工业出版社, 北京, 1984)。
- [2] 杨振寰;《光学信息处理》, (南开大学出版社, 天津, 1986)。
- [3] J. W. 顾德曼;《傅里叶光学导论》, (科学出版社, 北京, 1979)。

Compound panoramic holography of orthoscopic and pseudoscopic image

FU SHENGQIAO

(Department of Physics, Xiangtan University)

(Received 8 February 1988; revised 11 April 1989)

Abstract

This paper presents a new optical holography for compounding reconstruction orthoscopic image and pseudoscopic image of the recorded object.

Better stereoscopic and artistic effect can be obtained as the information on both the front side and the back side of object recorded in a hologram can be seen at the same time.

In this paper, the recording principle and the experimental technique and results are introduced.

Key words: holography; compound hologram.