

用于三维显示的双目体视全息图

康 辉 杨英民

(南开大学物理系, 天津)

Binocular stereoscopic holograms for three dimension display

Kang Hui, Yang Yingmin

(Department of Physics, Nankai University, Tianjin)

提要: 本文讨论并制作了高效近像面双目体视全息图, 在室内自然光下, 就可通过它观测到明亮的立体影像, 文中还分析了与此有关的一些问题。

关键词: 三维显示, 双目体视全息图

一、引言

3-D 影像技术是人们一直关注并致力于研究的一个课题。为了实现对 3-D 空间信息的记录和显示, 人们发展了两种类型的 3-D 成像技术^[1]: 一是双目体视成像术, 另一种是全息成像技术。近几年来, 科学工作者将这两种成像术结合起来, 发展了一种新的 3-D 显示技术^[2]。这种技术是把一套具有视差信息的透明片作为物, 用光学方法分别对它们记录成条形透射 Fresnel 全息图, 称为合成全息图。观察时不需用附加装置, 只要人眼与全息图作相对运动, 即可得到活动的 3-D 影像。显然, 这种技术具有能记录任意景物的全息图的优点, 但也存在一些不足之处, 比如, 由于它要记录大量立体片对的全息图而需要专门的记录设备, 再现观测时还必须用点光源, 因单元全息图是细条形状而限制了再现像的分辨率等。

本文利用了全息图具有多重记录和重现

的特性, 在同一片记录介质上同时记录两张具有一定视差信息的透明片近像面全息图, 称之为双目体视全息图。再现时, 观察者只需处在适当位置上, 不需用任何附加装置, 即可实现单目观看单个图像, 从而产生立体视觉。与合成全息图相比, 两者明显的区别在于, 它只记录两张透明片的全息图, 全息图不是分立的细条形状的 Fresnel 全息图, 而是重叠在一起的近像面全息图。所以, 它除具有合成全息的优点外, 还克服了合成全息的缺点, 而且还具有光能利用率高的特点。这在许多场合下, 尤其是在非损检验中, 将具有很大应用潜力。

文中详细地描述了综合双目体视全息图的方法, 推导并给出了双目体视全息图的体视放大率公式, 分析和讨论了再现观察中的一些问题。用 DCG 板记录了高效率的反射像面双目体视全息图, 它可不用专门照明, 在室内自然光下即可观察到明亮的立体影像。

收稿日期: 1987年11月9日。

二、双目体视全息图的综合

制作双目体视全息图分两步进行: 1. 拍摄立体片对; 2. 综合双目体视全息图。

1. 立体片对的拍摄。立体片对是用相机从不同的方位对同一物体摄得的正透明片对, 它们包含着视差信息。由图 1 可以导出反映视差大小的位移变化量:

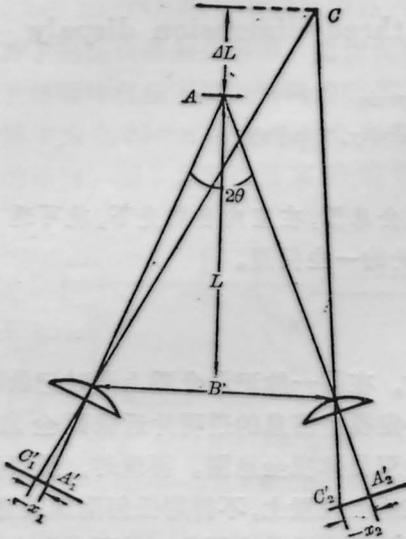


图 1 立体片对的拍摄

$$\begin{aligned} \Delta x = x_1 - x_2 &= M_1 B \frac{\Delta L}{L} \cos \theta \\ &= f' B \frac{\Delta L}{L^2} \cos^2 \theta \quad (1) \end{aligned}$$

其中, f' ——相机焦距, B ——拍摄基线长, L ——对准点到基线的垂直距离, ΔL ——对准点到另一点的空间深度, M_1 ——对准平面的垂轴放大倍率, 2θ ——两拍摄视轴的夹角。由上式可知, 在摄得的立体片对上各点的位移差与相机焦距、拍摄基线长、视轴夹角余弦的平方成正比, 与对准点的垂直距离平方成反比。

2. 双目体视全息图的综合。双目体视全息图是双目体视术与全息术相结合的产物。根据它们的原理, 双目体视全息图应具有以下特点: a . 再现光瞳必须为分离实像点, 两

者间距约为双眼瞳距; b . 两再现像亮度近似相等; c . 观察间距应大于明视距离。图 2 示出了双目体视全息图的再现原理。

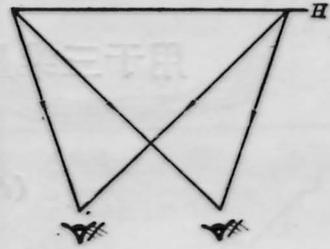


图 2 双目体视全息图的再现

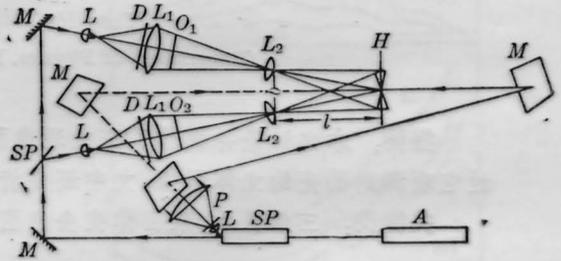


图 3 综合双目体视全息图的光学系统

记录双目体视全息图的装置如图 3 所示, 其中, A ——激光器, SP ——分束器, L ——聚光镜, P ——针孔, M ——反射镜, D ——漫射屏, L_1 、 L_2 ——成像透镜, O_1 、 O_2 ——立体透明片对, H ——全息记录材料, 透镜 L_1 将点源成实像于 L_2 , 提供会聚照明光, 漫射体将会聚点源扩散充满透镜 L_2 的孔径 d , L_2 将透明片 O_1 、 O_2 成像于记录平面 H 处。以不同的方向引入参考光束便可记录近像面体视全息图。图中虚线为记录透射全息图的参考光光路, 它垂直于两透镜 L_2 的连线但不在纸面内, 而是位于二物光束夹角的对称平分面内, 这样可保证全息图衍射光的色散方向与双眼基线相垂直。对于记录反射像面体视全息图的参考光束如实线所示, 它除从背面入射之外, 其它情况和透射的相似。但是, 反射体全息图衍射具有很强的波长选择性而使重现成像光束近似为单色, 所以参考光的方向可不受前述的限制, 它完全可以和两物光束同在一平面内。为满足双目体视全

息图的一般要求,两个 L_2 透镜中心连线长应等于双眼瞳距 b (约为 65 mm), 连线到 H 的垂直距离 l 要大于明视距离。

三、双目体视全息图的再现与观察

用图 3 拍摄的近像面双目体视全息图, 再现时应采用共轭参考光路, 如图 4 所示, 其中 (a)、(b) 分别表示透射和反射二种情况的再现。下面讨论再现中的几个问题。

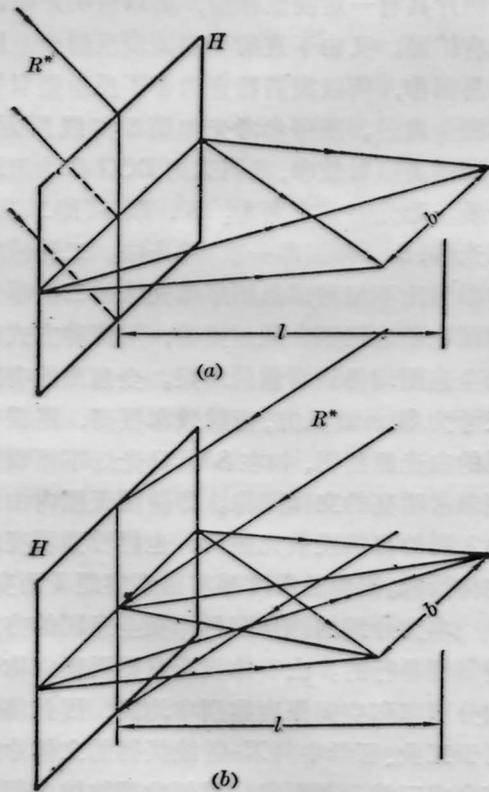


图 4 双目体视全息图的再现光路
(a) 透射再现 (b) 反射再现

3.1 体视放大率

通过体视全息图观看重现的立体景物与直接观察景物的体视感不同。描写这种变化可从以下两个方面进行比较。

A: 对立体景物中各物点位置深度差的鉴别能力的比较, 可用相应两点产生的生理视差 Δx 的比值表示, 称为体视放大率。由式

(1) 可以求得人眼观测双目体视全息再现像所产生的立体视差为:

$$\Delta x' = M_2 B f'_e \Delta L \cos^2 \theta / (L^2 l)$$

其中, M_2 ——记录全息图时 L_2 对透明片的放大率, f'_e ——人眼焦距, l ——观测距离。人眼在拍摄位置处直接观察景物时的立体视差为:

$$\Delta x_0 = b f'_e \Delta L \cos^2 \theta' / L^2$$

其中, $2\theta'$ ——双眼视轴夹角, b ——双目基线长。于是, 体视放大率 P 为

$$P = \frac{\Delta x'}{\Delta x_0} = M_2 \cdot \frac{B}{b} \cdot \frac{f'}{l} \cdot \frac{\cos^2 \theta}{\cos^2 \theta'}$$

由此可知, 通过选取拍摄参量 B 、 θ 、 f' 和记录参量 l 可使 $P > 1$, 这样可增大对立体景物深度差别的鉴别能力。

B. 关于空间深度的变化比, 可由实际立体景物和通过全息图重现的立体影像中相应二点之深度差的反比表示:

$$\Delta l / \Delta L = M \cdot B / b \cdot l / L \cdot \cos \theta' / \cos \theta$$

其中 $M = M_1 M_2$ 表示再现景物与实际景物的横向放大率。由该式可知, 通常因比值小于 1 而使全息图再现的立体影像比实际景物的深度感减小。

3.2 再现像的观测范围

当观察者通过双目体视全息图观看再现像时, 其双眼必须位于有限范围内才能综合出立体影像。图 5(a) 所示的是全息再现光路的俯视图, 其中两片阴影区是看到完整单一图像的范围。所以双眼分别位于这一区域时, 即可实现单目观看单一图像, 产生立体视觉。除此之外, 只能观看到平面图像。图 5(b) 是体视全息图再现的侧视图, 其中实线表示反射全息图的再现, 它只衍射单色光瞳, 而整个图 (b) (包括实线和虚线) 表示透射全息图再现的多色光瞳。

3.3 光源对再现观察的影响

由于记录的双目体视全息图是近像面型的, 所以对再现照明光源的要求将大大降低, 这是优于合成全息图的。当照明光源沿轴向

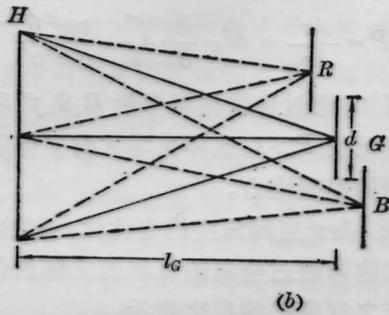
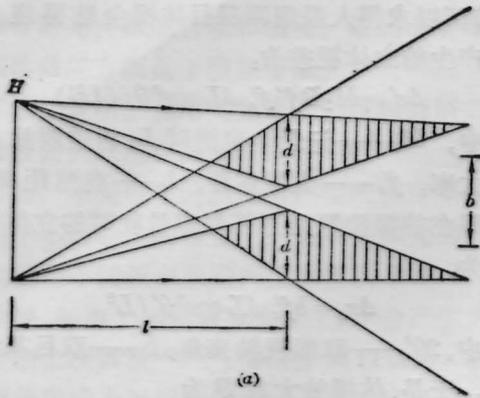


图5 直接观看全息图再现像能产生立体视觉时双眼所处的空间范围

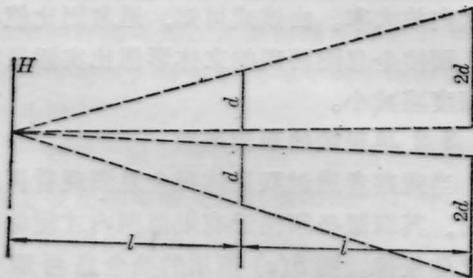


图6 再现点源轴向位置发生变化时对再现瞳的影响

偏离原参考光源时，除再现光瞳的位置和大小发生变化外，其他均未见明显改变。图6示出照明光源由平行光变为离全息图为 $2l$ 的点源时，再现光瞳的位置和大小的变化。当照明点源沿垂轴方向偏离原参考源时，将因厚全息图的角度选择性使衍射像亮度下降。这一点，正好可被利用来使用面光源照明全息图，而不至于发生两个再现光瞳重叠的现象。这又降低了对照明光源的要求，我们的实验完全证明了这一点。我们制作的全息图，

无论用点源还是用面源(如40W日光灯，室内自然光)照明，均能观察到较好的立体影像。

四、实验与结果

我们记录双目体视全息图的实验装置是图3的变型。其中 L_1 为准直透镜，它产生平行光照明物透明片 O ，透镜 L_2 将 O_1 成实像于 H 处，并在 L_2 的后焦面处形成 O 的傅里叶谱，谱面距 H 的垂直距离 $l=300\text{mm}$ 。装置中没放入漫射屏，但因点源有一定大小且透明片具有一定漫散作用，所以透明片的谱稍有扩展。又由于透射全息图较反射全息图容易制作，所以我们特意综合了反射型双目体视全息图。所用参考光如图3实线所示，为获得高衍射效率，我们选用DCG作为记录介质。曝光方式有两种：A. 顺序(即二次)曝光法，B. 同时(即一次)曝光法。二种情况的参物不相同，且顺序曝光法的二次曝光时间也稍有区别。通过实验，用两种方式记录全息图均得到满意的结果。全息图的有效尺寸为 80mm 见方，衍射效率很高，用很普通的白光光源照明，如在 8W 日光灯下可观察到非常明亮的立体图像。即使阴天屋内由窗户入射的自然漫散光照明，也能看到明亮的立体景象。图像的深度感将随观察距 l 而变。

本文介绍的综合双目体视全息图的方法是简便易行的。由于体视全息图再现立体像的分辨率和空间深度鉴别率均高，因此将它用于工业、医学中用X-射线摄得的立体片对综合成三维透明影像，以便发现物体内部异常的所谓“无损检验”技术是非常有意义的。另外，它在宣传广告、教育、艺术表达等方面也具有广泛应用价值，因此是值得推广的。

参 考 文 献

- 1 T. Okoshi, Three-Dimensional Image Techniques, Academic Press, New York, (1976)
- 2 喻涛, 应用光学, 科学出版社, (1966).
- 3 于美文, 光学全息及信息处理, 国防工业出版社, (1983)