

体视全息照相的简化设计

王 辉 何 旭 金伟民

(浙江师范大学信息光学研究所, 金华 321004)

提要 设计一简单的线阵透镜照相机, 和彩虹全息术相结合进行自然场景的立体记录与显示。较详细地分析了它的原理并给出了实验结果。

关键词 透镜阵列, 体视图, 彩虹全息图

1967 年 Pole 提出的“全息编码器——全息照相”方法^[1], 将传统的体视术——集成照相术和全息术相结合, 使得非相干照明物体的全息显示成为可能。以后 Mccrickerd 等人又提出了与 Pole 类似的体视全息法^[2], 使得全息显示技术得到了进一步的发展和应用^[3~6]。但由于 Pole 的“全息编码器”——蝇眼透镜照相板的制作困难, 价格昂贵, 以及 Mccrickerd 方法的复杂, 制作周期长, 因而这些技术很难推广。本文在前人研究的基础上, 提出一种改进的方法。将蝇眼透镜照相板改为小透镜线阵, 和彩虹全息术相结合拍摄室外景物或人像合成全息图, 取得了较为满意的效果。将蝇眼透镜照相板改为小透镜线阵后, 一方面克服了蝇眼透镜板价格昂贵而又不能重复使用的缺点, 又避免了 Mccrickerd 方法不能拍摄动态物体及合成全息图曝光时间长的问题。而且容易和彩虹全息术结合以达到白光显示的目的。

1 透镜线阵的成像过程

透镜线阵是由一些小透镜在一直线上紧密排列而成, 如图 1 所示。设每一透镜焦距为 f , 相邻透镜距离为 T , 现考虑空间一物点被透镜线阵两次成像的过程, 即第一次将物点成像于透镜像平面的记录介质上, 第二次再将记录介质上的像点成像于原物空间, 图 2 和图 3 表明了这一成像过程。

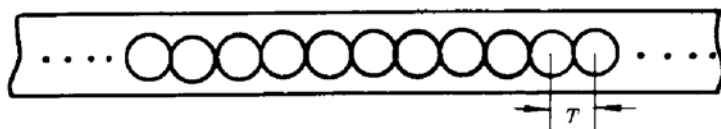


Fig. 1 Linear lens array

为了不使问题复杂化, 我们仅考虑通过每个透镜的主光线情况, 这样物方光线和像方光线就连成一条直线, 如图 2 所示。设物距 z_0 很大, 以致每根光线相对其透镜都可看成是傍轴光

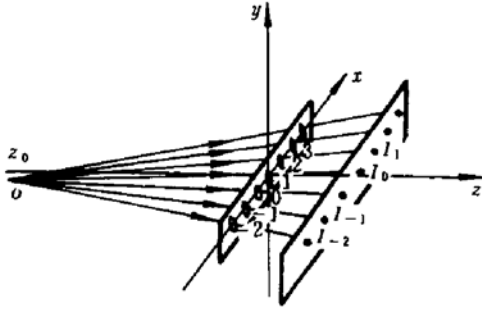


Fig. 2 Principal rays path from object point O through the linear lens array to image points I_n .

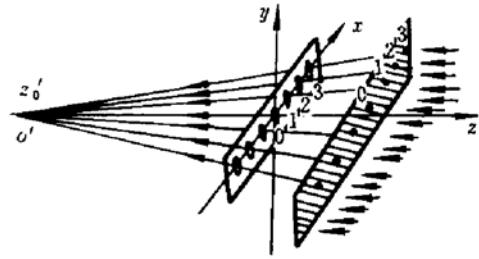


Fig. 3 Principle of reconstruction of image point O' using the linear lens array

线。图中 LR 是透镜线阵, I 是像面, 物点 O 被每个透镜在 I 面上形成一系列像点 I_0, I_1, \dots 。对于每一个透镜有

$$\frac{1}{z_0} + \frac{1}{z_1} = \frac{1}{f} \quad (1)$$

显然, 若不考虑像差, 通过每个透镜的其他光线也应会聚于对应的像点。为了使每一透镜成一独立的像而不与其他透镜成的像重叠, 必须用挡板将各个透镜的像空间隔开, 这样第 n 个透镜就在第 n 个像空间成像, 如果将感光材料置于 I 面上, 则可记录这些像点。这实质上是记录了物点 O 的体视信息, 如果将显影后的感光胶片放回 I 平面, 用逆光路照明, 我们期望能在原物空间综合出一个像点。尽管按光路可逆原理这是可能而且是明显的, 但为了对其机理有更进一步的认识, 下面较为详细地讨论其物像关系。

设透镜阵列位于 xoy 平面, 沿 x 方向沿伸, 第 n 个透镜的中心坐标为 $(nT, 0, 0)$, $n = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$, 物点坐标为 (x_0, y_0, z_0) , 像平面坐标 $z = z_1$, 像点坐标为 (x_n, y_n, z_1) 。由物点 O 发出的各主光线形成一直线族, 其方程为

$$\frac{x - nT}{\cos\alpha} = \frac{y}{\cos\beta} = \frac{z}{\cos\gamma} \quad (2)$$

其中

$$\cos\alpha = \frac{x_0 - nT}{\sqrt{(x_0 - nT)^2 + y_0^2 + z_0^2}} = \frac{x_0 - nT}{r}$$

$$\cos\beta = \frac{y_0}{r}, \quad \cos\gamma = \frac{z_0}{r}$$

由(2)式可得像平面 I 上各像点的坐标为

$$y_n = \frac{z_1}{\cos\gamma} \cdot \cos\beta = \frac{z_1}{z_0} y_0 \quad (3a)$$

$$x_n = nT + \frac{z_1}{\cos\gamma} \cdot \cos\alpha = nT + \frac{z_1(x_0 - nT)}{z_0} \quad (3b)$$

z_1 由(1)式决定。

将上述一系列像点记录于胶片上, 作适当处理, 使最后的胶片透射率与曝光量成正比(可通过反转显影或正常显影成负片再拷贝成正片, 因为正片的透射率与曝光量关系为 $\tau(x, y) = \beta E^\gamma$, β 与 γ 是与显影过程有关的常数, 可适当处理使 $\gamma = 1$), 然后再将此胶片放于原 I 面。现在来证明, 当用散射光沿 $-z$ 方向照明时, 可在原物空间形成一像点 O' , 如图 3 所示。一般来说,

如将透镜线阵设计成一固化的照相机,当将阵列体视图(即拍好的正片)放回 I 面时,可以很方便地使图像的号数与透镜的号数相对应,这一点在实验中将给予表述。

设正片放回 I 面后,各像点坐标有一位移 dx_i, dy_i, dz_i ,即坐标变为 $(x_{in} + dx_i, y_i + dy_i, z_i + dz_i)$ 。要使所有的透镜将其所对应的像点成像于原物空间同一点 O' ,必须满足透镜成像公式

$$\frac{1}{z_0'} + \frac{1}{z_i + dz_i} = \frac{1}{f}$$

这里 z_0' 是综合像点 O' 的 z 轴坐标。

因为已假设图 2 光路中的像空间被隔离,这样,图 3 中胶片上各点发出的光线只能通过与其号数对应的透镜成像,于是为了满足由像点 I_i 发出的所有主光线必须在 z_0' 平面上相交。

由前一条件可确定 z_0' 值

$$z_0' = \frac{(z_i + dz_i)f}{z_i + dz_i + f} \quad (4)$$

对于后一个条件,必须用主光线直线族考虑。从各像点出射的光线中,总有一条通过与其相对应透镜中心的主光线,这些主光线又形成一直线族,其方程为

$$\frac{x - nT}{\cos\alpha'} = \frac{y}{\cos\beta'} = \frac{z}{\cos\gamma'} \quad (5)$$

其中

$$\cos\alpha' = \frac{x_{in} - nT + dx_i}{\sqrt{(x_{in} + dx_i - nT)^2 + (y_i + dy_i)^2 + (z_i + dz_i)^2}} = \frac{x_{in} - nT + dx_i}{r'}$$

$$\cos\beta' = \frac{y_i + dy_i}{r'} \quad \cos\gamma' = \frac{z_i + dz_i}{r'}$$

根据两条件解(4)式和(5)式,可知只有当 $dz_i = 0$ 时,胶片上的像点经透镜线阵后才能在原物空间综合出一像点 O' ,并且其坐标为

$$x_0' = x_0 + \frac{z_0}{z_i} dx_i$$

$$y_0' = y_0 + \frac{z_0}{z_i} dy_i$$

$$z_0' = z_0$$

2 彩虹全息合成

这一过程是很简单的。我们将已记录有空间物体体视信息的胶片(称之为初级体视图)放回原 I 面,用漫射相干光照明如图 4,从透镜线阵中将出射一扁平光束。这一光束可以综合出原物体的赝视像,这非常类似彩虹全息术,透镜线阵此时不仅起到成像作用,而且起到了彩虹全息术中的狭缝作用。 L 是柱透镜,将细光束扩展为扁平光束照明,可充分利用光能, G 为毛玻璃,将直射光变为散射光。 F 为初级体视图, LR 是透镜线阵。在综合出的赝视像附近放全息干板,并引入参考光即可记录赝视像的彩虹全息图。

3 实 验

为了便于拍摄初级体视图和记录其全息图时复位,我们制作了一个透镜线阵照相机,如图

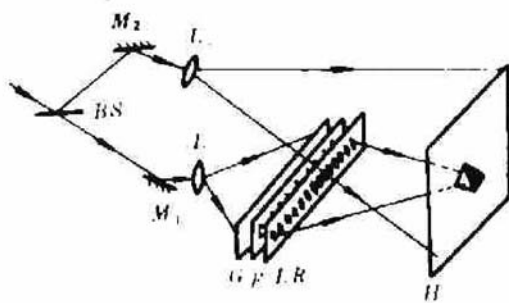


Fig. 4 Optical arrangement for taking the stereo-rainbow Hologram

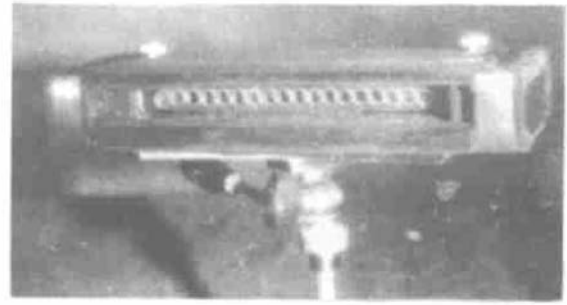


Fig. 5 Photography of the linear lens array camera

5所示,图6给出了内部结构。小透镜的选取该从如下几个方面来考虑:1)必须保证成像质量,双胶合显微物镜在其焦面附近的成像可满足这一要求;2)为保证图像的分辨率,透镜孔径 ϕ 必须大于 $1.22\lambda/e$, e 为人眼的最小分辨角。透镜形状最好为方形以便于相邻透镜的衔接而减少重构像的“跳跃”现象;3)相对孔径 ϕ/f 决定了视场的大小,而透镜的个数则决定了视角的大小。综合上述考虑和本实验室现有的透镜情况,我们选取孔径为8 mm,焦距为35 mm的双胶合显微物镜。这是一种平凸复合透镜,用光学胶将透镜平的一面粘合排列在光学玻璃板上。我们共排列了20个小透镜,线阵长度为160 mm,为了防止在拍摄初级体视图时各个透镜所成的像互相重叠,用一系列挡板将像空间分开,这样也可以保证合成全息图时初级体视图的复位以及防止初级体视图被透镜线阵交叉成像。图7是用这一相机拍摄的人物初级体视图,每一幅图像的大小为8 mm \times 8 mm。合成全息图时,将线阵透镜相机放于图4中LR处,初级体视图透明片F已装于相机中。图8是按图4所示光路拍摄的全息图再现像照片,实际观察全息图时,立体效果是令人满意的。

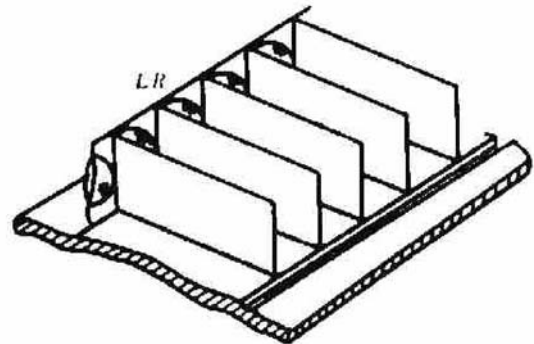


Fig. 6 Inside structure of the linear lens array camera



Fig. 7 Images taken by the linear lens array camera

4 小 结

本文所提出的方法综合了 Pole 和 Mccrickerd 方法的优点,同时又克服了他们的不足之处,使得体视全息图的拍摄大为简化,这一简化带来的最大好处是可以推广为民用,我们可制作出任何人都容易使用的透镜线阵照相机,而由此拍摄的初级体视图可以到有全息业务的照相馆,通过同一型号的透镜线阵照相机合成全息图,从而得到立体照片,这样全息术不仅在环境要求上,而且在使用人员上都走出了实验室,进而推动全息产业的发展。



Fig. 8 Reconstruction image of the stereo-rainbow hologram

当然,我们现在实验中用的透镜单元较大,和蝇眼相板合成的全息图相比,再现的立体像随着眼睛的移动有一些跳跃,因而为了使这一技术实用化,在光学最佳设计方面还要继续做些工作。

参 考 文 献

- 1 R. V. Pole. Three-dimensional imagery and hologram of objects illuminated in white light. *Appl. Phys. Lett.*, 1967, 10(1): 20~22
- 2 J. T. Mccrickerd, N. George. Holographic stereo-gram from sequential component photographs. *Appl. Phys. Lett.*, 1968, 12(1): 10~12
- 3 M. C. King, A. M. Noll, D. H. Berr. A new approach to computer-generated holography. *Appl. Opt.*, 1970, 9(2): 471~475
- 4 K. Sto, I. Akiyama, T. Ishizuka *et al.*. 3D display of human fetus image by holographic stereogram. *Proc. SPIE*, 1992, 1732: 397~404
- 5 K. Okada, T. Honda, J. Tsujinchi. A method of distortion compensation of multiplex holograms. *Opt. Commun.*, 1983, 48(3): 167~170
- 6 M. Yamaguchi, N. Ohyama, T. Honda. Holographic three-dimensional printer: New method. *Appl. Opt.*, 1992, 31(2): 217~222

Simplified Design on the Stereo-holography

Wang Hui He Xu Jin Weimin

(Institute of Optical Information, Zhejiang Normal University, Jinhua 321004)

Abstract The design of a simple linear lens array camera, with which and the rainbow holography a 3-D display of a natural scenery can be achieved is presented. The method simplifies the stereo-holography while causing good results. This paper deals with the principle of this technique and gives experimental results.

Key words lens array, stereo-gram, rainbow holography