

## 显示全息再现像的视角与视角通道\*

钟丽云 张文碧 杨齐民 李 川

(云南工业大学激光研究所, 昆明, 650051)

摘要: 视角与视角通道是全息摄影非常重要的概念, 但它一直未受到应有的重视和深入全面的研究。作者首先给出了它们的定义, 指出只要灵活应用视角通道就可以拍摄出许多光怪陆离的全息图片, 诸如双通道、左右通道、颜色通道、合成全息等等。此外, 利用它还可对于全息学中的某些基本现象做出解释(如细光束成像的问题)。

关键词: 观察视角 视角通道 左右通道 颜色通道 合成全息

### Viewing angle and it's passageway of reconstructing holographic image

Zhong Liyun, Zhang Wenbi, Yang Qimin, Li Chuan

(Institute of Laser, Yunnan Polytechnic University, Kunming, 650051)

**Abstract** Viewing angle and it's passageway or viewing channel play an important roll in holography, but researches have not pay enough attention to these concepts for long time. First, this paper gives the definition of viewing angle and viewing passageway for holography, and points out that the various holograms can be taken for different viewing angle passageway, such as double passageway, left-right passageway, color passageway, synthetic hologram et al. In addition, using of the concept of viewing angle passageway, a lot of holographic original phenomena can be explained.

**Key words:** viewing angle viewing angle passageway left-right passageway color passageway synthetic hologram

#### 1 离轴全息图再现像的观察视角

我们知道, 由散射物体到达银盐干板的物光, 其光场  $O(x, y)$  实际是一个散斑场, 是散射物体上各散射中心的衍射光相干所致。它与参考光的光场  $R(x, y)$  相干涉形成无数多的小全息照片(曾拍摄过  $5000\times$  放大电镜照片<sup>[1]</sup>), 每一个斑纹形成一张小全息片, 我们把它称为基元全息片。再现时每一张基元全息片再现出它对应的物体图像(就是从该小全息片位置处看到的物体形状), 干板上的所有基元全息片的全体再现像构成了物体的全方位再现像。

现我们来讨论全息再现图像的观察视角, 为此, 首先得给它一个科学的定义。先讨论用参考光再现的情况, 由于散射物体是由无数多个光点所组成, 这时 +1 级衍射应准确再现物光, 即 +1

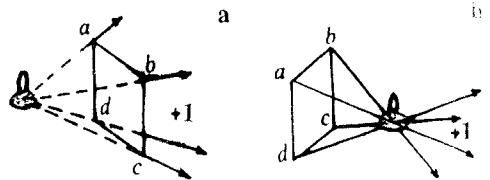


Fig. 1 Sketch of viewing angle of off-axis hologram

\* 云南省科委应用基础基金资助。

级衍射光是由无数多个发散球面子波所组成的发散光束, 它们的延长线在干板的另一侧相交, 形成一个个虚点所组成的物体虚像, 如图 1a 所示, 图中再现光没有绘出, 只绘出了 + 1 级衍射光。要想观察到虚像上任一点, 我们的视线必需落在射线  $Oa, Ob, Oc, Od$  所张的立体角内, 就是必须通过干板才能看到物体的虚像。

故定义  $O$  点的观察视角为干板平面对  $O$  点所张的立体角,  $O$  点的水平观察视角为  $\theta_p$ , 它是干板水平宽度  $ab$  对  $O$  点所张的角,  $O$  点的垂直观察视角为  $\theta_v$ , 它是干板垂直高度对  $O$  点所张的角。显然, 它们与像点  $O$  到干板中心的距离  $l_I$  有关<sup>[2]</sup>, 而  $l_I$  可按下式计算

$$1/l_I = (1/l_C) + \mu(1/l_O - 1/l_R) \quad (1)$$

式中,  $\mu = M/\lambda_0$ ,  $l_O$  是散射物体上一点到干板中心的距离,  $l_R$  是参考光源到干板距离,  $l_I$  是再现光源到干板距离,  $\lambda, \lambda_0$  分别为再现与记录光的波长。因是用参考光再现, 故  $\mu = 1, l_C = l_R, l_I = l_R$ 。当参考光是平行光时, 观察视角就是数值孔径<sup>[3]</sup>。上式表明物体上不同点的视角方向和大小都有所不同。实际上, 发散角也是物体上任一点发出的球面子波的光束角宽度。- 1 级衍射光是由无数多个会聚球面子波所组成的会聚光束。它们形成物体的实像, 图中未绘出, 因为我们不打算讨论它。

其次讨论用参考光的逆相位共轭光再现的情况(即逆光路再现<sup>[4]</sup>), 这时 + 1 级衍射光应准确再现物光, 即 + 1 级衍射光是由无数多个会聚球面子波所组成的会聚光束。它们相交并形成一个个实点所组成的物体实像, 如图 1b 所示。要想观察到实像上任一点  $O$ , 我们的视线必需落在射线  $aO, bO, cO, dO$  所张的立体角内, 也就是必须通过  $O$  点看到干板才能观察到物体的实像。故上述对观察视角的定义, 对逆光路再现的实像也成立。

## 2 彩虹全息图的再现像观察视角

彩虹全息具有两个特点: 一是物体的图像就在干板上, 二是物光受到狭缝的调制。所以, 当用逆光路再现时, 应准确再现逆向传播的物光(会聚光), 除了再现物体实像外, 还在干板前方再现狭缝的实像。由于光栅的色散与波长有关, 故狭缝像由红到紫排列开来, 其位置由右式计算<sup>[5]</sup>:

$$y_I/l_I = y_C/l_C \pm \mu(y_O/l_O - y_R/l_R) \quad (2)$$

$$x_I/l_I = x_C/l_C \pm \mu(x_O/l_O - x_R/l_R) \quad (3)$$

式中,  $y_I, x_I, y_C, x_C, y_O, x_O, y_R, x_R$  分别为像点, 再现光源, 参考光源和物点的  $y$  和  $x$  方向的坐标。通过红色狭缝可以看到一个红色物体像, 通过绿色狭缝可以看到一个绿色物体像等等。如果狭缝太宽或光栅色散不够, 不同颜色的狭缝像重合太多, 表现为单色性不好。

按前述彩虹全息横向(水平)观察视角的定义仍然适用, 但这时的  $ab$  应理解为狭缝像的长度, 而它的纵向观察视角的定义已不再适用, 因为这时狭缝像已变为由红到紫的无数多个了, 这时的纵向观察视角应是图 2 上的  $EOP$  角, 它可由 (2) 式和 (3) 式先分别算出红光( $\lambda = 0.72\mu\text{m}$ )和紫光( $\lambda = 0.42\mu\text{m}$ )的  $y_I, l_I$  和  $y_I', l_I'$  后, 再行计算。

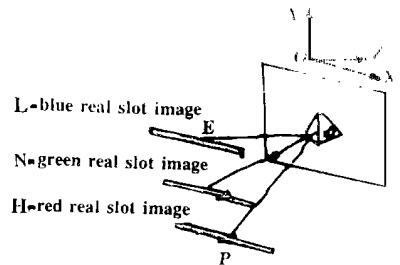


Fig. 2 Sketch of longitudinal viewing angle of a rainbow hologram

### 3 双视角通道彩虹全息

通过上面的讨论,由表及里发现,要想观察到物体的全息像,必须把自己的眼睛移动到再现物光的角宽度内。在逆光路再现时,物光是会聚的,在狭缝实像处,光束的横截面积最小,只有通过它才能看到物体的实像,在它的外面就看不到物体的实像,故实际上狭缝实像成了图像的信息通道。

有了信息通道的概念,我们就能建立多通道的概念,现以双通道为例:我们把要拍摄的图像分为A和B两个部分。首先利用 $a$ 狭缝拍摄的图像A部分,然后再利用 $b$ 狭缝拍摄的图像B部分, $a$ 和 $b$ 两狭缝所放的位置,要事先利用(2)式和(3)式进行计算,以确保再现时 $b$ 狭缝的紫色像的后面,紧接着 $a$ 狭缝的红色像,如图3所示。

观察时人眼通过 $a$ 狭缝的红色像到紫色像,看到的是图像A部分的一系列彩虹实像,通过 $b$ 狭缝的红色像到紫色像,看到的是图像B部分的一系列彩虹实像,即图像A部分的信息是通过 $a$ 狭缝的实像通道输出的,而图像B部分的信息是通过 $b$ 狭缝的实像通道输出的,这就是双通道的概念<sup>[6]</sup>。

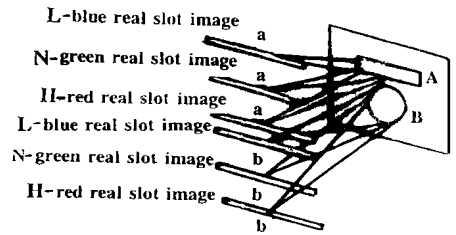


Fig. 3 The reconstructing image of a rainbow hologram with double viewing angle passageway

### 4 左右通道与视觉立体全息

我们知道,人对物体的视觉立体感是通过人的左眼和右眼对物体的成像产生视差,再通过大脑处理后,才建立起物体的视觉立体感的。如果利用照像机分别拍摄与人左眼对应的左照片,与人右眼对应的右照片,然后设计一种观察方法,使得人的左眼只能观察到左照片,右眼只能观察到右照片,再通过大脑处理后,就可建立起物体的视觉立体感,目前,除全息以外的立体照片(包括立体电影和电视),都是建立在这个原理基础上的。

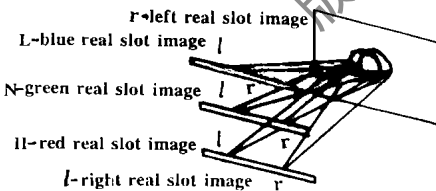


Fig. 4 The reconstructing image of stereo-hologram with left-right viewing angle passageway

这样就可造成左眼只能看到物体的左照片,右眼只能看到物体的右照片。通过人脑的作用,就可观察到一幅物体的视觉立体图像<sup>[7]</sup>,如图4所示。

### 5 多通道合成全息图

左右通道总共只有两个,如果把通道数增加到 $N$ 个( $N$ 可取任意整数,例如 $N=100$ ),即把狭缝分为 $N$ 段,就得到 $N$ 个通道,只要利用每一通道来拍摄物体某一瞬间的照片,再现时

各通道的“狭缝”实像都会再现,观察时让人眼沿通道扫描(让人眼移动或全息片移动均可),由于人脑的视觉暂留作用,我们将观察到一幅物体的动态图像(动画或电影片断)<sup>[8]</sup>。

同理,如果每一通道拍摄的不是物体某一瞬间的照片,而是物体某一方位的照片,只要有足够的通道数,拍摄完物体  $360^\circ$  全方位的照片。再现时让人眼沿各通道扫描,就能看到物体  $360^\circ$  全方位的立体图像。如果直接拍摄的是物体每一方位的全息照片,再现时立体感将会更强<sup>[8]</sup>。

## 6 颜色通道与彩色全息

我们知道,彩色图片的印刷过程是先把 1 张彩色照片进行分色处理,即把它变为红、黄、蓝 3 张不同的分色照片,印刷时分别用红、黄、蓝三色油墨,对红、黄、蓝 3 张分色照片套印 3 次,最后的结果就是 1 张彩色图片。

同理,如图 5 所示,有  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  3 条狭缝,用  $\alpha$  狭缝拍摄物体的红分色照片,  $\beta$  狭缝拍摄物体的黄分色照片等等。但应注意,  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  3 条狭缝的位置,应按 (2) 式和 (3) 式进行计算,以确保再现时  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  3 条狭缝的实像,在正方向某一位置处完全重合,这时人眼就能通过此处的各缝看到一幅彩色图像<sup>[9]</sup>。遗憾的是在其它位置上,就不能做到  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  3 条狭缝的实像重合了,颜色畸变也就会越来越严重,偏离了原来照片的色彩。

视角与视角通道是全息摄影非常重要的概念,掌握好它,灵活应用就可以拍摄出许多光怪陆离的全息图片。对于全息学中的某些基本现象的解释,例如,细光束成像的问题等<sup>[10]</sup>,均要利用到它,但它一直未受到应有的重视和深入全面的研究。

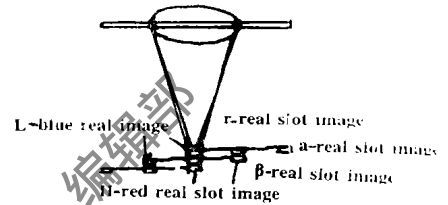


Fig. 5 The reconstructing image of the color passageway and the color hologram

## 参 考 文 献

- 1 杨齐民,张文碧,钟丽云 *et al.* 光电子·激光, 1996; 7(2): 89
- 2 于美文. 光全息术. 北京:北京教育出版社, 1995: 50
- 3 张文碧, 杨齐民, 钟丽云 *et al.* 激光技术, 1994; 18(5): 264~ 267
- 4 于美文. 光学全息及信息处理. 北京:国防工业出版社, 1984: 20
- 5 于美文, 张静芳. 光全息术. 北京:北京教育出版社, 1995: 50
- 6 谢敬辉. 光学学报, 1988; 8(5): 410~ 416
- 7 王民草, 于美文. 北京工业学院学报, 1986; 6(3): 48~ 52
- 8 于美文. 光全息学及其应用. 北京:北京理工大学出版社, 1996: 487~ 501
- 9 张静芳. 光学技术, 1994; (2): 22~ 29
- 10 杨齐民, 张文碧, 钟丽云 *et al.* 激光杂志, 1999; 20(6): 39~ 41

\* \* \*

作者简介: 钟丽云, 女, 1968 年出生。教授。从事激光全息和光电检查方面的研究工作。

收稿日期: 1998-10-14 收到修改稿日期: 1998-12-16