

# 白光再现计算全息干涉防伪术\*

黄奇忠 杜惊雷 栗敬钦 张怡霄 郭永康

(四川大学物理系 成都 610064)

**提要** 提出了一种将计算全息和全息干涉相结合的防伪方法。这种方法设计灵活,防伪功能强,摄制的全息图可由白光再现检测,具有很高的实用价值。还讨论了这种白光再现的原理。

**关键词** 计算全息,全息干涉,防伪

## 1 引 言

1966年,罗曼(A. W. Lohmann)首先应用迂回位相法对复数波面编码,制出了罗曼型计算全息图,标志着计算全息术的开端<sup>[1]</sup>。近年来,随着计算机技术和制图设备的不断发展,计算全息也得到了相应的发展,在更多的领域中得到了应用。

利用全息干涉思想实现防伪有许多方案,如夹层全息图<sup>[2,3]</sup>、全息干涉防伪术<sup>[4]</sup>。但是这些方法都存在着各自的困难,如夹层全息图要求对准精度非常高而且需由激光再现;对全息干涉防伪术,若采用的物体较为复杂,则制作互补的模板比较困难。这些困难限制了这些方法的实际应用。本文基于全息干涉原理,利用计算全息设计的灵活性,提出一种白光再现的计算全息干涉防伪方法。其基本思想是:将计算全息产生的任意特殊波面,记录在一张全息图上,在同一位置用另一全息图记录下参考波面,这里的参考波面是指能与前面的特殊波面干涉并形成特定的干涉图样的波面,它可以是简单的平面波,也可以是由计算全息产生的特殊波面。再现时,将二者对准紧贴在一起,由原参考光照明再现,两全息图的再现光相互干涉,将按照所设计的光场分布形成干涉图样,而单独再现每张全息图则观察不到任何图样。和前面提到的方案相比,这种方法特点在于:利用计算全息设计的灵活性,可任意地设计波面,而且它常常无法用普通的光学方法来获得,参数的修改很容易实现。同时,参考波面也可以用计算全息产生的特殊波面,干涉后形成更为复杂的干涉图样,这样就无法从干涉图样中准确地获知分别记录在全息图上的波面,因此很难仿制出完全相同的全息图。再者,这种方法可用白光再现,具有动态效应,这些特点使全息图在防伪力度得到提高的同时,实际应用也更为方便。

## 2 用计算全息获得各种波面

罗曼型像面计算全息图可以用来产生各种波面<sup>[1]</sup>。这里仅取球面波、锥面波、螺旋波为

\* 四川大学青年基金资助课题。

收稿日期: 1998-08-10; 收到修改稿日期: 1999-02-21

例, 此时位相函数分别为

$$\varphi_1(x, y) = (k/2f)(x^2 + y^2) \tag{1}$$

$$\varphi_2(x, y) = 2\pi r/r_0 \tag{2}$$

$$\varphi_3(x, y) = 2\pi\theta/\theta_0 \tag{3}$$

其中,  $k = 2\pi/\lambda$ ,  $\lambda$  为波长,  $f$  为球面波的曲率半径,  $r_0, \theta_0$  为常数。

用迂回位相方法对量化后的以上位相函数进行编码, 将编码后的数据转化成计算机图像处理软件(如画笔、照片编辑器等)能直接处理的位图文件格式, 然后由激光打印机打印输出, 这样可简化计算全息的制作过程, 缩短全息图的制作时间。实际制作时, 抽样点为  $256 \times 256$ , 位相量化成 16 等级, 打印输出图形大小为  $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ , 整个计算、出图过程的时间不到 1 min。然后用初缩机缩至约 1.5 cm 的计算全息图。

图 1 是打印输出的计算全息图(以螺旋波为例), 图 2 是三种波面的计算全息图的夫朗和费衍射图样, 它可以用来检测计算全息的设计和计算是否正确。

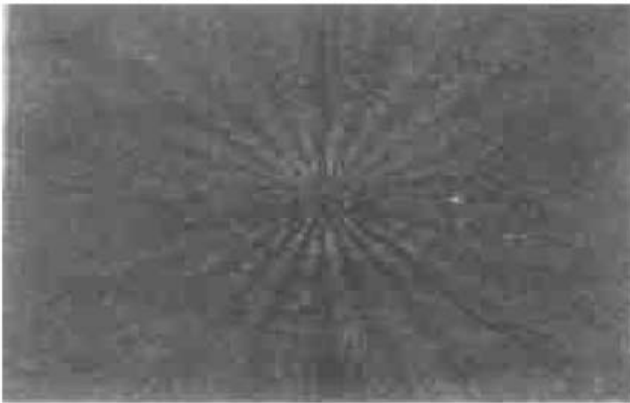


图 1 打印输出的螺旋波计算全息图  
Fig. 1 The CGH of helicon wave

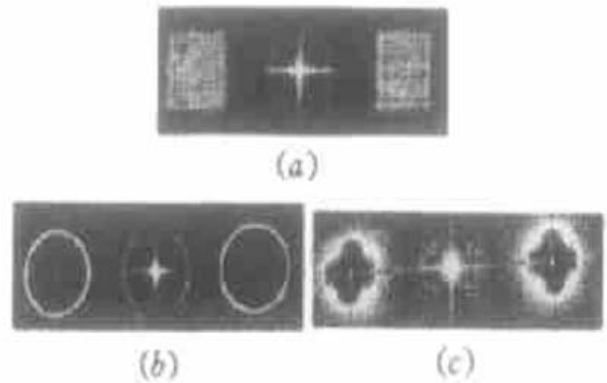


图 2 计算全息图的夫朗和费衍射图样  
(a) 球面波; (b) 锥面波; (c) 螺旋波  
Fig. 2 The diffraction patterns of CGH  
(a) sphere; (b) pyramidal; (c) helicon

### 3 计算全息干涉防伪全息图

#### 3.1 实验和结果

将计算全息和全息干涉术<sup>[4]</sup>结合, 可制成计算全息干涉图用于防伪。其制作光路如图 3 所示。图中  $K_1 \sim K_3$  为开关;  $M_1 \sim M_4$  为反射镜;  $S_1 \sim S_3$  为分束镜;  $L_1 \sim L_3$  为扩束镜;  $L_4 \sim L_6$  为准直透镜;  $L_7$  为变换透镜; CGH 为计算全息图,  $F$  为滤波器(仅让计算全息的一级衍射光通过);  $H$  处放置全息干涉版。

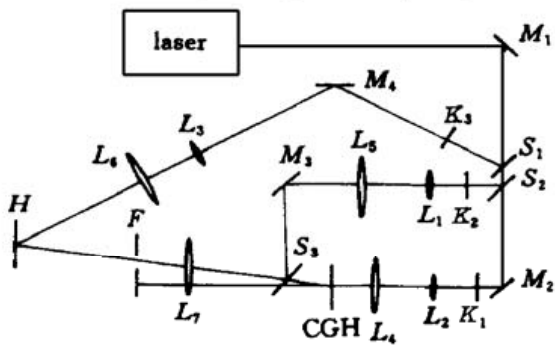


图 3 计算全息干涉图的记录光路  
Fig. 3 Recording setup for CGH interference

光路中 CGH 处放置计算全息图, 用以产生特殊波面; 图中  $S_2$  到  $M_3$  的光路提供参考波面, 参考波面可以是一般的平面波, 也可以是另一计算全息产生的特殊波面。此参考波面和 CGH 产生的特殊波面干涉形成干涉图样。图中  $M_4$  到  $H$  的光路提供记录全息图时所用的参考光。

记录时, 先关闭  $K_3$ , 调节光路, 使得在  $H$  面上出

现所期望的干涉图样。接着打开  $K_3$  关闭  $K_2$ , 在  $H$  处放置全息干版  $H_1$ , 记录下特殊波面的全息图。然后, 再关闭  $K_1$  打开  $K_2$ , 在  $H$  处放置全息干版  $H_2$ , 记录下参考波面的全息图。为了使  $H_1$ ,  $H_2$  在空间位置上保持相同, 应使用复位干板架, 且注意全息图的乳胶面相对。

再现时, 将经处理后的全息图复位, 由原参考光照明再现, 再现光波干涉后形成特定的图样, 图 4 为实验结果, 特殊波面分别为球面波、锥面波及螺旋波, 参考波面为平面波。单独再现全息图, 则观察不到任何图样。

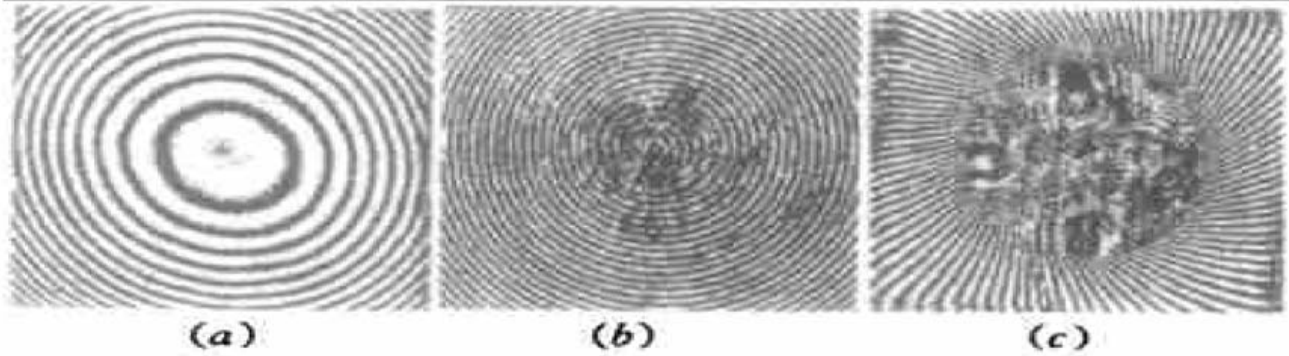


图 4 计算全息图干涉再现结果  
(a) 球面波; (b) 锥面波; (c) 螺旋波

Fig. 4 The interference patterns of reconstructive waves from CGH  
(a) sphere; (b) pyramidal; (c) helicon

## 3.2 讨论

### 3.2.1 全息图的防伪功能

要从一张全息图中解码出所设计的干涉图样, 必须将它和前面所述在同一光路中拍摄的另一张全息图合在一起。两全息图中的任何一张可以充当解码全息图, 只有和解码全息图合在一起后能解出所设计的干涉图样的全息图, 才是有效的。这样的两张全息图必须在同一光路中同时拍摄, 否则要制出与解码片相匹配的另一张全息图是不可能的。

计算全息设计灵活, 容易获得各种特殊波面, 而有些波面无法用普通的光学方法来获得, 并且还可以通过改变设计参数, 很方便地改变干涉图样的疏密分布。图 5 所示为  $\theta_0$  参数不同的螺旋波和平面波的干涉图, 图中的结果对应参数  $\theta_0 = \pi/2$  和  $\theta_0 = \pi$ 。而图 4 中的螺旋波则对应参数  $\theta_0 = \pi/8$ 。

用计算全息产生的特殊波面作为参考波面, 可形成更为复杂的干涉图样, 图 6 分别是球面波和螺旋波、球面波和锥面波的干涉图样(内密外疏)。在本文中仅以球面波、锥面波以及螺旋波为例来说明这种方法, 其实完全可以设计出更为复杂的波面以及它们的各种组合(如位相函数为对数函数), 这正是计算全息的优势。因此, 一般人不可能从干涉图样中准确地获知记录在两张全息图上的波面。这些特点增加了仿制的难度。

### 3.2.2 全息干涉全息图白光再现的原理

上述方法制作的全息图可用白光再现。由于在同一光路中分别记录两张全息图, 记录两全息图时所用的参考光和物光的夹角相同, 因而再现时全息图的衍射光方向也是相同的, 两衍射光之间的干涉类似白光照明的等厚薄膜干涉, 只是等厚干涉中由于薄膜厚度的不同所产生的位相变化, 在这里由计算全息编码产生(即计算全息图产生的位相变化所对应的光程差, 对应着等厚干涉中薄膜的厚度)。条纹定域在薄膜上, 没有出现不同条纹的各种颜色成分的相互

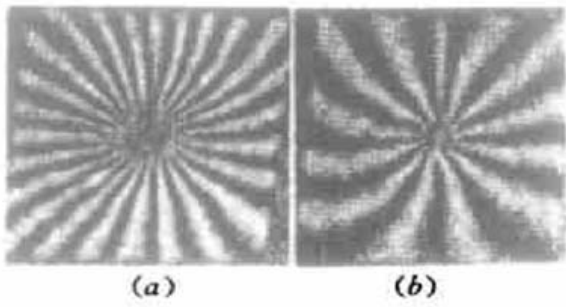


图 5 改变参数后螺旋波与平面波的干涉图样

Fig. 5 Patterns of helicon with different parameters  $\theta_0$   
(a)  $\theta_0 = \pi/2$ ; (b)  $\theta_0 = \pi$

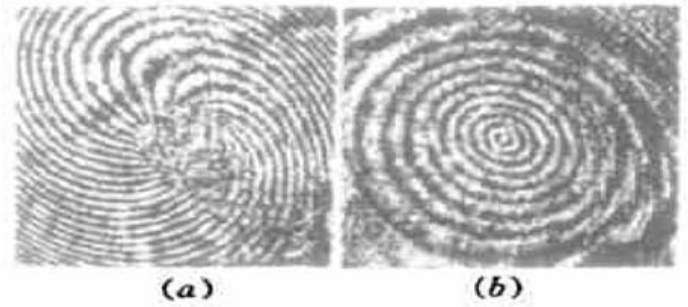


图 6 用计算全息图产生的特殊波面形成的干涉图样  
(a) 球面波和螺旋波; (b) 球面波和锥面波

Fig. 6 Patterns using a special wavefront generated by CGH as reference wave  
(a) sphere and helicon; (b) sphere and pyramidal

重叠,故条纹仍是清晰可辨的。由于可用白光再现,使这种全息图的应用范围更加广泛。

### 3.2.3 对位和动态效应

这种全息图解码容易实现,借助记录的对位标志和干涉条纹的变化情况,可以实现手工对位解码。另外,解码后的图样具有强烈的动态效应,如螺旋波和平面波干涉形成的图样,随观察角度改变,产生转动的视觉效果,这是普通全息图所没有的。

## 参 考 文 献

- 1 Yu Zuliang, Jin Guofan. Computer Generated Hologram. Beijing: Publishing House of Tsinghua University, 1984. 31~ 41 (in Chinese)
- 2 Nils. Abramson, H. Bielhagen, P. Skande. Sandwich holography for storing information interferometrically with a high degree of security. *Appl. Opt.*, 1979, **18**(12): 2017~ 2021
- 3 Jiang Tieliang, Wu Xiaoyu. The sandwich hologram used in information display. *J. Beijing Industrial University* (北京工业大学学报), 1993, **19**(3): 38~ 43 (in Chinese)
- 4 Qizhong Huang, Jinglei Du, Yongkang Guo. Optical coding for storing confidential data. *Proc. SPIE*, 1997, **3159**: 287~ 291

## White Light Reconstruction CGH Interference for Anti-counterfeiting

Huang Qizhong Du Jinglei Su Jingqing Zhang Yixiao Guo Yongkang  
(Department of Physics, Sichuan University, Chengdu 610064)

**Abstract** An anti-counterfeiting approach combining CGH and holographic interference is presented in this paper. It is flexible in design and possesses a high anti-counterfeiting ability. It can be reconstructed by common white light source and has a practical value in the future.

**Key words** CGH, holographic interference, anti-counterfeiting