

# 利用纯位相计算全息图实现位相函数 相加的光学安全技术\*

黄奇忠 杜惊雷 张怡霄 栗敬钦 高福华 郭永康

(四川大学物理系 成都 610064)

**提要** 提出一种利用纯位相计算全息图实现光学安全和防伪方法。这种方法将记录相息图时在全息图面上对应的位相分解成两部分,分别制成两张纯位相计算全息图。单独再现每一张全息图时无法观察到原物体信息,而将两全息图对准合在一起时,则可在计算全息图的观察面上得到原来的物体信息。可以将其中的一张全息图作为解码标准,从而依据是否可以与之共同解出某一特定的信息来判断全息图的真伪。

**关键词** 防伪,纯位相计算全息图,光学安全

在文献[1]中,Ruikang K. Wang 提出了一种基于位相迭代算法的光学安全方法,它的基本思想为:先用计算机生成一个随机数,作为输入位相值。然后根据目标函数,利用改进的 G-S 迭代算法,求出所需的位相滤波函数。这样,只有当输入的随机位相函数和迭代计算出的位相函数相匹配时,在观察面上可以解出原来的目标函数,目标函数即是加密编码的图像或文字信息。由于输入函数和用 G-S 迭代算法求出的位相函数均为随机函数,没有对应的解码片而单独再现全息图则无法实现解码,因此这种方法具有很高的光学安全特性。但由于其中的位相函数是通过 G-S 迭代算法计算得出的,它的位相分布剧烈起伏,不便于量化和实际制作,光学实现较为困难,因此文献仅给出了一个计算机模拟结果。

我们提出一种利用纯位相计算全息图实现的光学安全方法。将计算获得的相息图面上的位相分解成两部分,分别用迂回位相编码方法制作成两张纯位相计算全息图。只有当这两张匹配的全息图合在一起时方可在观察面上解出原来的信息。这种纯位相计算全息图制作容易,且可以较为准确地对位相加以编码,更好地满足了本方法的要求,获得了满意的实验结果。

## 1 原 理

纯位相计算全息图可以再现物体信息,其基本思想源于相息图原理,即在一定的条件下,仅记录物体的位相信息可以再现出物体。相息图<sup>[2]</sup>是通过计算机设计而产生的一种波前再现元件,仅记录物光波的位相信息。它是在一种基本假设下制作的,即认为整个记录平面内的光

\* 四川大学青年科研基金资助项目。

收稿日期: 1999-02-01; 收到修改稿日期: 1999-03-23

波振幅为常数,这在物理上等效于光通过漫射体后照明物体。根据以上的假设和基尔霍夫衍射理论,相息图面上的光波复振幅最终可以写成(一维)

$$U(x_l) = C' \exp\left[j \frac{\pi}{\lambda z_0} (\delta x)^2 l^2\right] \sum_{k=-m/2}^{m/2-1} T_k \exp\left[j \frac{\pi}{\lambda z_0} (\delta a)^2 k^2\right] \exp(-j2\pi k l / m) \quad (1)$$

其中  $T_k$  表示第  $k$  个点孔的透过率函数,  $C'$  为常数,  $z_0$  为物体到相息图的距离,  $\lambda$  为波长。 $\delta a$ ,  $\delta x$  分别为物体和相息图面上沿水平方向的抽样间隔,  $k$ ,  $l$  分别为物体面和全息图面的抽样序数,  $m$  为抽样点数。利用上式可以进一步计算出相息图面上的位相函数  $\varphi(x, y)$ 。

制作相息图时,先将计算所得的位相  $\varphi(x, y)$  取模数  $2\pi$  的余数,即位相在  $(0, 2\pi)$  之间取值,再将此位相值量化为适当的等级。然后用灰阶绘图仪制成相息图原图,初缩至要求的尺寸,漂白处理后即成相息图。这样制作的相息图具有很高的衍射效率,只有一级再现光,但要求制作出的相息图上的位相值能严格对应计算所得位相值(即计算所得灰度等级),否则容易引起位相失配,带来较大的制作误差,在实验上要用普通方法做到这点是困难的。因此,我们没有制作相息图来进行本文的实验,而是在相息图只记录位相信息的思想启发下,用迂回位相法对计算所得相息图面上的位相分布进行编码,制作了一种特殊的纯位相计算全息图(它的振幅部分为常数)。和相息图不同的是,这种纯位相计算全息图将在  $\pm 1$  级衍射光中再现出物体的信息(而不是相息图中只有一级),而且这种计算全息图将相息图中由浮雕高度来反映位相,变为由全息图各单元的开孔位置来反映位相,这样,不仅全息图更容易制作,而且能更准确地控制位相编码值,实现位相的分解和合成,从而能更好地满足实验的要求。

## 2 利用纯位相计算全息图实现图像的编码和解码

### 2.1 图像的编码

设再现某一物体所对应的相息图的位相分布函数为  $\varphi(x, y)$ , 可用计算机分解成两部分

$$\varphi(x, y) = \varphi_1(x, y) + \varphi_2(x, y) \quad (2)$$

其中,  $\varphi_1(x, y)$  可以为再现另一物体的相息图所对应的位相,也可以为一计算机生成的随机位相,  $\varphi_2(x, y)$  由式(2)确定。很明显,它将是一个随机数。将  $\varphi_1(x, y)$ ,  $\varphi_2(x, y)$  利用迂回位相编码方法制成两张纯位相计算全息图。这样,相息图上用来再现原来的物体所对应的位相被分解后成两部分,分别记录在两张计算全息图上。每张计算全息图的位相可以对应另外一种信息,或呈随机分布。单独再现时无法再现出原来的物体信息,从而实现了图像信息的编码。

### 2.2 解码和光学认证

再现时,将前面得到的两张纯位相计算全息图对准后合在一起,放入相息图的再现光路中,由平行准直光照明,其衍射光场分布如图 1 所示。图中,  $A_0$  为再现光照明  $H_1$  以后的非衍射光复振幅(0 级光),  $A_1$  为  $H_1$  的一级衍射光复振幅,  $A_2$  为  $A_1$  照明  $H_2$  后的一级衍射光复振幅。

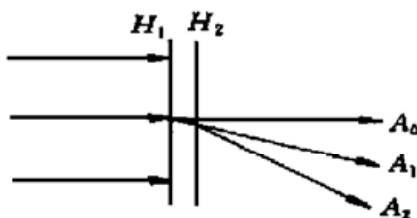


图 1 纯位相计算全息图的再现光场分布

Fig. 1 Diffraction waves of phase-only CGH

可以证明,利用迂回位相编码方法制作的二元像面计算全息图<sup>[2]</sup>,再现时衍射光波的复振幅含有编码时所用复振幅成分(除去一些影响不大的常数因子)。当编码的复振幅仅含位相信息(即振幅部分为常数)

时, 则可利用像面计算全息来获得所需的位相任意分布的光波, 因此有

$$A_1 \propto \exp[j\varphi_1(x, y)] \quad (3)$$

$$A_2 \propto A_1 \cdot \exp[j\varphi_2(x, y)] = \exp[j\varphi_1(x, y)] \cdot \exp[j\varphi_2(x, y)] = \exp[j\varphi(x, y)] \quad (4)$$

(4) 式说明复振幅  $A_2$  中含位相分布  $\varphi(x, y)$ , 这正是利用相息图原理再现物体信息所要求的。因此, 在全息图的像面上  $A_2$  对应的位置处, 将再现出记录的信息, 从而实现了信息的解码过程。此时, 其中的任意一张计算全息图可以视为信息图, 另一张则为解码钥。

由上面的再现过程可以看出, 要再现出原来的物体信息, 必须同时拥有上面所述的两张配对的计算全息图, 因此可以根据能否与自己共同解出特定的图像信息来检验对方的真实性。从相息图的原理可以知道, 再现同一信息的纯位相计算全息图其位相分布并不是唯一的(由于漫反射的假设造成的), 加之分解后的纯位相计算全息图的位相分布的随机性, 不可能从一张计算全息图的位相分布和解码信息中计算出另外一张计算全息图的位相分布情况。因此这种方法的光学安全性是很高的。

### 3 实验和结果

实验中首先根据所要再现的物体信息的振幅透过率  $T_k$ , 利用(1) 式计算出全息图平面上的复振幅, 从而计算相应的位相分布  $\varphi(x, y)$ 。然后利用式(2) 将  $\varphi(x, y)$  分解成  $\varphi_1(x, y)$  和  $\varphi_2(x, y)$  两部分。用迂回位相法对  $\varphi_1(x, y)$  和  $\varphi_2(x, y)$  进行编码, 把编码后获得的数据文件转化成通用的计算机图像软件能处理的 bmp 图像文件格式, 便于用激光打印机打印输出纯位相计算全息图的编码图形。最后, 用光学方法将其缩微成大小合适的计算全息图。实验中, 物体和纯位相计算全息图面上的抽样点均为  $128 \times 128$ , 位相量化等级为 16。打印输出的计算全息图如图 2 所示(局部), 大小为  $15 \text{ cm} \times 15 \text{ cm}$ 。初缩后的纯位相计算全息图大小为  $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$ 。

为了加密信息, 将位相分布分解成两部分, 有两种分解方法, 一种是将  $\varphi(x, y)$  分解成随机的两部分, 具体做法是先用计算机产生一个随机位相  $\varphi_1(x, y)$ , 然后用(2) 计算出  $\varphi_2(x, y)$ ; 另一种做法是将一部分分解为再现一种信息所对应的位相分布, 另一部分由式(2) 计算获得。



图 2 打印输出的纯位相计算全息图

Fig. 2 Printed phase only CGH map

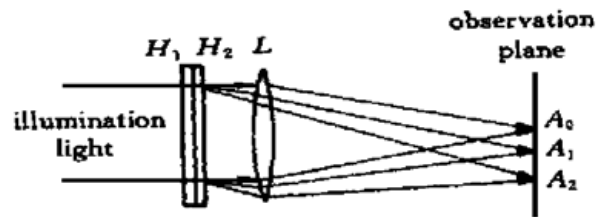


图 3 纯位相计算全息图的解码光路

Fig. 3 Decoding setup of phase only CGH

将两张纯位相计算全息图  $H_1$  和  $H_2$  对准后合在一起放入再现光路中, 由激光照明, 如图 3 所示。再现结果如图 4, 图 5 所示。其中图 4 对应第一种分解方法, 记录的信息为字母“B”。图 5 对应第二种分解方法, 记录的信息为字母“W”。两图中, (a), (b) 是单独再现一张全息图的结果, (c) 为正确解码结果, (c) 图中中央部分为零级光, 最外端为解码出的信息, 分别为字母“B”和“W”, 中间部分为第一次衍射的光场。

为实现正确的解码, 两张全息图必须准确对准, 对本实验数据, 全息图对准精度应为  $10/$

128= 0.08 mm。为了实现对准,在记录计算全息图的同时,也记录了相应的对位标志,借助对位标志,稍加调整后就可以获得很好的实验结果。由于解码是通过两次衍射实现的,因此为了获得较好的解码效果,对这种纯位相的计算全息图做了漂白处理。处理后衍射效率可达 30% (衍射光强主要集中在一级,且一级衍射光强已经超过零级光),完全能满足实验的需要。

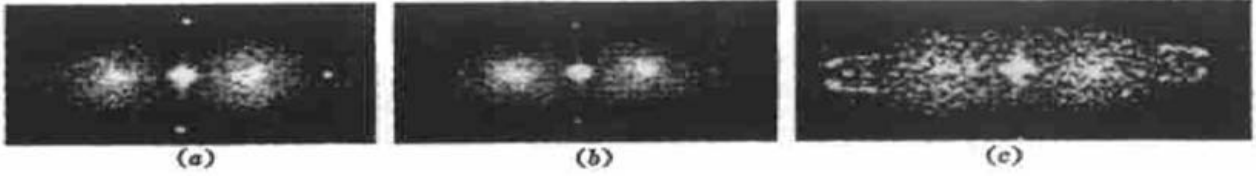


图 4 纯位相计算全息图的解码结果(第一种分解方法)

Fig. 4 Decoding results of phase-only CGH (for the first decomposing method)

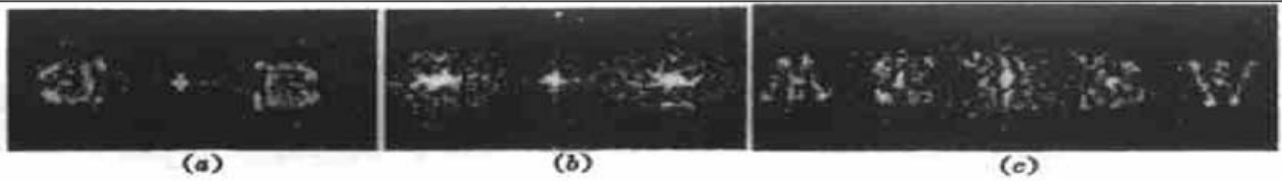


图 5 纯位相计算全息图的解码结果(第二种分解方法)

Fig. 5 Decoding results of phase-only CGH (for the second decomposing method)

## 4 结 论

1) 利用迂回位相编码方法制作的纯位相计算全息图,能方便、准确地实现位相分解与合成,较好地满足实验的要求。全息图的对准过程在空域进行,降低了对准的精度要求;

2) 本方法中的计算全息图由于为纯位相型的,不能用 CCD 等仅对光强敏感的器件获得全息图上记录的位相信息,而且在一个很小的区域内可以用大量的随机数据进行位相编码,因此难于复制出同样的计算全息图或对它进行解码。

## 参 考 文 献

- 1 Ruikang K. Wang, Lan A. Watson, Cheis R. Chatwin. Random phase encoding for optical security. *Opt. Eng.*, 1996, **35**(9): 2464~ 2469
- 2 Yu Zuliang, Jin Guofan. Computer Generated Hologram. Beijing: Publishing House of Tsinghua University, 1984. 41 ~ 45, 59~ 65 (in Chinese)

## Optical Security Based on Phase Additive Using Phase-only CGH

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

**Abstract** An anti-counterfeiting means using phase-only CGH is presented in this paper. Two phase-only CGHs are made by decomposing the phase information into two parts. When single CGH is reconstructed, no information will be observed, while two alignment combined phase-only CGHs are reconstructed, the recorded information will be read out on the image plane. Any one of the CGH can act as the decoding key. Because the phase distribution on each CGH is a random one, it is very difficult to duplicate the identical decoding CGH.

**Key words** phase-only CGH, anti-counterfeiting, optical security