

计算全息实现信息相干分解及其 在图像加密中的应用*

黄奇忠 杜惊雷 张怡霄 高福华 郭永康

(四川大学物理系 成都 610064)

提要 提出一种利用计算全息对信息进行随机相干分解的加密存储方法,它是将须加密图像信息根据相干原理分解成随机的两部分,分别记录在两张计算全息图上.当两张全息图对准合在一起照明再现时,从两张全息图衍射光波的干涉图样中可以再现出原来的信息.只有同时拥有这两张配对的全息图方可解出原来的信息,因而用于图像信息的加密时,具有很高的安全性.

关键词 计算全息, 图像加密, 位相编码

1 引 言

近年来, B. Javidi 等提出了基于随机性的图像加密和光学安全方法, 如随机位相编码方法^[1,2], 基于迭代算法的随机位相法^[3]. 这些方法都利用计算机产生的随机数对图像进行编码加密. 由于随机数本身的无规律性, 难以再次生成同样数据, 故其安全和加密特性非常好. 但这些方法也有一定的缺点, 如第一种方法, 利用随机位相板在空域和频域同时加密图像, 解密时要求在频域进行滤波, 这样就要求较高的对准精度, 且为一种相干光处理. 基于迭代算法的方法只是一种原理上的讨论, 仅有计算机模拟结果, 还很难在实验上得到满意的结果. 本文提出了一种利用计算全息对信息进行随机相干分解的加密存储方法. 将原来的信息经随机相干分解后, 分别记录在两张计算全息图上. 由于每张全息图的位相呈随机分布, 故单独再现全息图时, 无法观察到原来的信息; 而当两张全息图对准合在一起再现时, 两全息图的再现光波将发生干涉, 干涉图样中将再现出原来的信息. 只有同时拥有两张配对的全息图方可解出原信息, 因而具有很高的加密力度. 和以前的方法相比, 它在设计、制作上更加灵活方便, 可用白光解码, 解码时要求的对准精度不高, 因而具有较高的实用价值.

2 用计算全息实现信息的相干分解存储和干涉再现

计算全息干涉防伪方法的基本原理可用图 1 来说明, 其中 CGH_1 , CGH_2 分别为两张纯位相计算像全息图(振幅为常数). A_0 为非衍射光, A_1 为 CGH_1 的一级衍射光, A_2 为 CGH_1 的非衍射光(零级光)照明 CGH_2 后的一级衍射光.

* 四川大学青年基金资助项目.

收稿日期: 1999-04-26; 收到修改稿日期: 1999-06-09

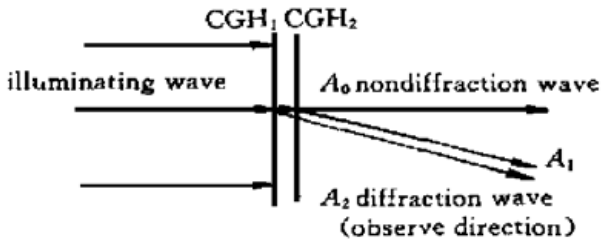


图 1 计算全息干涉防伪方法

Fig. 1 Holographic interference for image encryption

图后发生衍射, 衍射光能量主要集中在正负一级光中. 为了讨论的简明, 在图中只画出了其中的一级衍射光. 两计算全息图沿同一方向的两束一级衍射光 A_1, A_2 将发生干涉, 干涉场的复振幅为

$$A = A_1 + A_2 \quad (3)$$

因此, 两计算全息图衍射光波的干涉场的光强分布为

$$I(x, y) = |A_1 + A_2|^2 \propto 1 + \cos[\varphi_1(x, y) - \varphi_2(x, y)] = 1 + \cos[\Delta\varphi(x, y)] \quad (4)$$

其中

$$\Delta\varphi(x, y) = \varphi_1(x, y) - \varphi_2(x, y) \quad (5)$$

为两计算全息图衍射光波的位相差.

根据上述原理, 如要从计算全息再现光波的干涉场中再现出存储的信息所对应的光强分布 $I(x, y)$, 按(4)式, 则要求参与相互干涉的两光波具有 $\Delta\varphi(x, y)$ 的位相差. 利用计算全息图, 可以有两种方法来产生这种位相差:

1) 利用迂回位相法将 $\Delta\varphi(x, y)$ 直接编入其中的一张计算全息图中, 而另一张计算全息图的位相为常数(实际上此时的计算全息图即为一张光栅);

2) 将 $\Delta\varphi(x, y)$ 分解成两部分 $\varphi_1(x, y), \varphi_2(x, y)$, 两者关系满足(5)式. 然后分别对两部分位相进行编码, 制成两张计算全息图.

为了增加图像的加密效果, 使得更难以从一张计算全息图上读出所记录的信息, 应利用随机数进行位相的分割, 因为它更加无规律性, 也难以再次生成. 此时, $\varphi_1(x, y)$ 是由计算机产生的一个随机数据, 则 $\varphi_2(x, y)$ 可由式(5)确定, 也是一个随机数. 此时从图像信息编码的角度来看, 原来的物体信息根据干涉原理, 被分解成两部分, 分别存储在两张全息图中, 而每张全息图存储的是一组随机数据, 这样就实现了图像的分解和加密过程.

再现时, 将两全息图对准合在一起照明再现, 两全息图的衍射光将发生干涉, 干涉光场的强度分布由式(4)决定, 受位相差 $\Delta\varphi(x, y)$ 的调制, 从而再现出对应的光强分布 $I(x, y)$, 即再现出原来所记录的物体信息, 实现解码过程.

3 实验和结果

实验中, 先根据所记录的图像信息的光强分布 $I(x, y)$, 计算出相应的位相分布 $\Delta\varphi(x, y)$, 然后编程产生随机位相分布 $\varphi_1(x, y)$, 根据式(5)计算出 $\varphi_2(x, y)$. 利用迂回位相法对位相函数 $\varphi_1(x, y), \varphi_2(x, y)$ 进行编码, 制作出相应的两张计算全息编码图形, 由激光打印机打印输出, 初缩成大小合适的计算全息图.

设记录在两张计算像全息图上光波的位相分布分别为 $\varphi_1(x, y)$ 和 $\varphi_2(x, y)$. 由计算全息原理可知^[4], 此时计算全息图的衍射光中含有复振幅成分: $\exp[i\varphi_1(x, y)]$ 和 $\exp[i\varphi_2(x, y)]$, 即

$$A_1 \propto \exp[j\varphi_1(x, y)] \quad (1)$$

$$A_2 \propto \exp[j\varphi_2(x, y)] \quad (2)$$

制作两张抽样点和大小尺寸完全一样的计算像全息图, 然后将它们对准合在一起, 用平行准直光照明, 如图 1 所示. 照明光通过计算全息

实验中采用的数据为:

采样点数为 $128 \text{ mm} \times 128 \text{ mm}$, 初缩后的计算全息图大小为 $10 \text{ mm} \times 10 \text{ mm}$, 再现灰阶图像时的量化等级为 16 或 32. 用这种方法可以存储文字、黑白图像、灰阶图像, 它们可以由计算机生成, 也可以由 CCD 或扫描仪获得, 本身较为复杂而不易仿制.

解码时, 两全息图对准合在一起, 然后由普通白光光源照明再现, 可从两张计算全息图衍射光的干涉场中观察到解码的信息.

实验中所用的信息如图 2 所示, 分别为由计算机获得的文字(中文“光”字)、由 CCD 获得的黑白图案. 图 3 为打印输出的其中一张计算全息原图(部分). 图 4 为实验中获得的解码结果照片, 其中 (a), (b) 分别为正确的解码结果, (c) 为错误的解码片进行解码的结果.



图 2 实验用信息

Fig. 2 Experimental information

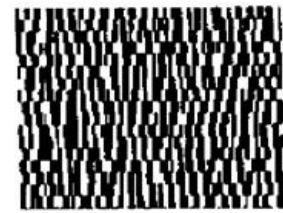


图 3 打印输出的计算全息原图(部分)

Fig. 3 A part of printed CGH

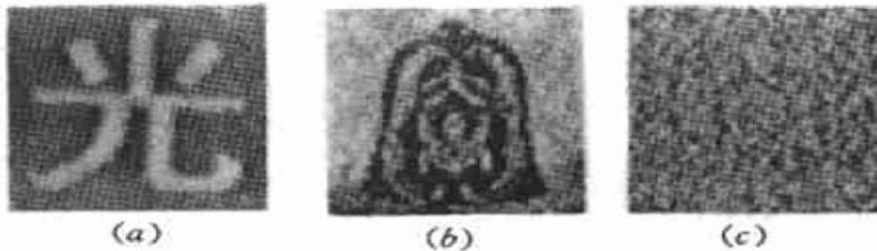


图 4 解码结果照片

Fig. 4 Photography of decoding results

4 讨 论

1) 基于全息干涉原理, 利用计算全息实现了信息的相干分解加密存储, 再利用再现光波的干涉实现解码. 可用白光再现实现信息的解码, 获得了满意的结果.

2) 这种方法再现时要求的对准精度不高. 对本文采用的实验数据, 理论上的对准精度要求为 $10/128 = 0.08 \text{ mm}$, 实际使用时, 由于还可以借助干涉场强度分布的变化情况进行对准, 故完全可以利用手工和目视实现解码, 从而能满足多数实际应用的要求.

参 考 文 献

- 1 Bahram Javidi, Joseph L. Horner. Optical pattern recognition for validation and security verification. *Opt. Eng.*, 1994, **33**(6): 1752~ 1756
- 2 Bahram Javidi, Guanshen Zhang, Jian Li. Experimental demonstration of the random phase encoding technique for image encryption and security verification. *Opt. Eng.*, 1996, **35**(9): 2506~ 2512
- 3 Ruikang K. Wang, Lan A. Watson, Chris Chatwin. Random phase encoding for optical security. *Opt. Eng.*, 1996, **35**(9): 2464~ 2469
- 4 Yu Zuliang, Jin Guofan. Computer Generated Hologram. Beijing: Publishing House of Tsinghua University, 1984. 41~ 44 (in Chinese)

Implementation of Information Decomposing Using CGH and Its Application in Optical Image Encryption

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

Abstract An information encryption method using CGH is presented in this paper. In this method, the encryption information is divided into two parts and recorded on two CGHs, respectively, the phase of wave recorded on each CGH has been coded according to the recording information and distributing randomly. When a single CGH is reconstructed, no information will be observed, while two alignment combining CGHs are reconstructed, the original information will be observed in the interference patterns of the two reconstructed waves. Information can be read out only when two holograms are matched, which ensure hologram a high encryption ability.

Key words CGH, image encryption, phase encoding