

文章编号: 1001-3806(2008)06-0621-03

点光源照射下彩色图像随机相位编码的实现

冯军波, 周 昕*

(四川大学 电子信息学院, 成都 610065)

摘要: 为了实现对彩色图像的单随机相位编码, 根据随机相位编码原理, 提出采用单色点光源照射系统结合波长多路技术, 实现了对组成彩色图像的三基色图像进行随机相位编码。理论分析和数值模拟显示, 采用单色点光源照射系统, 对彩色图像进行随机相位编码是可行的; 同时由于系统装置的减少, 有效地减少了由于随机相位掩膜所引起的相应光能损失和图像噪声。结果表明, 这种方法在追求彩色还原度高的场合具有实用价值。

关键词: 图像处理; 点光源; 菲涅耳域; 单随机相位掩膜; 三基色图像

中图分类号: TN911.73 **文献标识码:** A

Random phase encoding achievement of color images under spotlight illumination

FENG Jun-bo, ZHOU Xin

(College of Electronic Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

Abstract: In order to achieve single random phase encoding of color images, based on the principle of random phase encoding and multi-wavelength technology, the random phase encoding of trichromatic images was realized. Theoretical analysis and digital simulation results show that using spotlight illumination systems to realize random phase encoding of color images is feasible. As the installations are reduced, the light energy losses and the corresponding image noise from random phase mask is effectively reduced.

Key words: image processing; spotlight; Fresnel domain; single random phase mask; trichromatic image

引 言

自 REFREGIER 等人提出双随机相位编码技术后^[1], 相继出现了许多新的相位编码加密方法。其中 SIU 和 ZHANG 把双随机相位编码技术扩展到菲涅耳域^[2], 即在加密过程中只需要两块相位掩膜, 省去两块傅里叶透镜, 使系统得到简化。DENG 等人又在此基础上, 提出了一种更简化的加密方式, 即单随机相位编码^[3-4], 它采用点光源照射系统, 结合球面波的相位因子, 实现了只用 1 块相位掩膜在菲涅耳域进行的图像加密。大多数随机相位编码方法都是使用单色光来进行的加密, 所恢复的图像也是单色光, 因而在运用于视频音像制品的光学图像加密时受到局限。为此 ZHANG 等人提出了基于菲涅耳域的彩色图像加密^[5]。SIU 和 LU 等人则又提出了波长多路技术来对多幅图像进行加密^[6-7]。ZHAO 等人结合彩色图像加密技术^[8-9]和波长多路技术, 在平行光的照射下提出了基于波长多路技

术和无透镜菲涅耳域的彩色图像加密的方法^[10-12]。作者结合点光源照射单随机相位掩膜板后点光源相位因子被随机调制的特性, 提出了一种利用单色点光源对组成彩色图像的三基色光在菲涅耳域分别进行单随机相位调制的方法, 从而实现了对彩色图像的光学加密。方案中采用点光源照射, 仅使用 1 块随机相位板, 简化了系统, 同时由于掩膜数量的减少, 可有效减少由于随机相位板所引起的相应的光能损失和图像噪声。

1 点光源照射下菲涅耳域的单色图像随机相位编码

DENG 等人所提出的单随机相位无透镜的菲涅耳域单色图像加密^[3-4], 其装置如图 1 所示。与 REFREGIER 等人编码方案相比, 这种装置中省去了 2 块透镜及 1 块随机相位板 RPM₁ (random phase mask, RPM), 利用

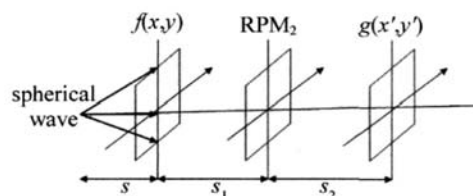


Fig 1 Optical setup of single random phase encoding based on spotlight illumination in the Fresnel domain

作者简介: 冯军波 (1979-), 男, 硕士研究生, 主要从事光电信息、图像编码的研究。

* 通讯联系人。E-mail: zhoxn@21cn.com

收稿日期: 2007-09-17; 收到修改稿日期: 2007-11-05

点光源进行照射,直接在菲涅耳域进行图像加密。图中 $f(x, y)$ 为待加密的彩色图像, RPM_2 为随机相位板, $g(x', y')$ 为加密后的图像,运用 2 次曲面近似^[13],从左边点光源发射出来在某平面上的发散球面波为:

$$u(x, y) = \frac{A}{s} \exp \left\{ ks + \frac{jk}{2z} \cdot (x^2 + y^2) \right\} \quad (1)$$

式中, A 为光强度的振幅, s 为点光源到观察屏之间的距离, k 为波矢的模。从 (1) 式可以看出,当忽略 x 和 y 等无关的项时, $u(x, y)$ 为一个相位函数,由相位函数的特性可知,相位函数有对信息进行相位调制的功能。所以当采用点光源来照射图像 $f(x, y)$ 时,由于相位对其调控的影响,就扰乱了图像 $f(x, y)$ 的空间信息,这就与 REFREGIER 等人提出的编码方案中 RPM_1 有扰乱 $f(x, y)$ 空间信息的功能一样。所以当用点光源来照射图像时,利用点光源本身所携带的相位因子来代替 RPM_1 ,从而达到只用 1 块相位掩膜进行图像加密,就可以省略掉 RPM_1 。

2 彩色图像的单随机相位加密

每幅彩色图像都可以看作是由红、绿、蓝 3 种基色按照一定比例组合而成,改变 3 种颜色的比率可以得到不同的彩色图像。把彩色图像按照预先给定的比例分解成红、绿、蓝 3 种基色图像,对某一基色图像的随机相位编码光学实现示意图见图 2,其中 SLM (spatial

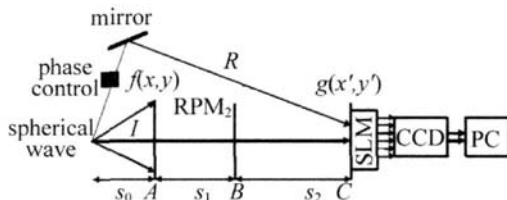


Fig 2 Color image encoding architecture

light modulator) 为空间光调制器, $f(x, y)$ 为彩色图像, RPM_2 为随机相位板, $g(x', y')$ 为加密后的图像。

在 A 处放置分解后的某一基色图片,用与该基色相同波长的点光源来进行照射,由于点光源产生的球面波有相位调控的功能,在紧靠图像平面 A 位置的后面得到的是空域被调控的信息,当信息到达 B 处时,由于该位置的 RPM_2 是对图像的频域进行调控,所以当图像经过 B 位置后该信息又被进行了频域调控,图像经过空域、频域两次调控后,最后在 C 处与参考光进行干涉,得到带有噪声的加密图像 $g(x', y')$ 。为了得到记录的图像,采用数字全息方法对图像进行记录^[14-17],最后成像在 PC 机上。按照相同的原理把其它两基色图像分别进行同样的操作,最后把 3 幅带有噪声的图像通过 PC 进行组合^[6-7],这样就得到了带有噪声的加密图像。

设物光波在 A 平面的复振幅为 $o(x_0, y_0)$,距离物体 $z(s_1 + s_2)$ 处的衍射图像的复振幅为 $o(x, y)$,参考光波 R 以倾角 θ 投射到记录面上,其复振幅为 $R(x, y)$ 。根据菲涅耳衍射公式,在近轴近似的条件下,忽略常数项,到达 CCD 平面的物光波及参考光波分别为^[18]:

$$o(x, y) = \frac{\exp(jkz)}{j\lambda z} \iint o(x_0, y_0) \times \exp \left\{ \frac{jk}{2z} [(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2] \right\} dx_0 dy_0 \quad (2)$$

$$R(x, y) = A_r \exp \left[j \frac{2\pi}{\lambda} (x \cos \theta_{r,x} + y \cos \theta_{r,y}) \right] \quad (3)$$

式中, A_r 为参考光振幅, λ 为波长, $k = 2\pi / \lambda$, $\theta_{r,x}$ 和 $\theta_{r,y}$ 分别为参考光传播方向与 x 轴和 y 轴的夹角。其中 x_0, y_0 为物平面坐标, x, y 为全息平面坐标, z 为物平面到全息平面坐标之间的距离。

最后在输出平面得到了全息图像的光强为:

$$I(x, y) = O(x, y) + R(x, y)^2 = O(x, y)|^2 + R(x, y)^2 + O(x, y)R^*(x, y) + R(x, y)O^*(x, y) \quad (4)$$

把经过加密后的全息图像通过空间光调制器系统存储,然后用 CCD 光学仪器来记录,并输入到计算机中就得到了加密后的图像 $g(x', y')$ 。

解密的过程则相反,由于 (4) 式中 $O(x, y)R^*(x, y)$ 信息为原始图像的信息,如果把它代入全息菲涅耳再现公式进行数值再现,就可以得到解密图像。解密装置示意图如图 3 所示,取加密后的图像 $g(x', y')$ 的

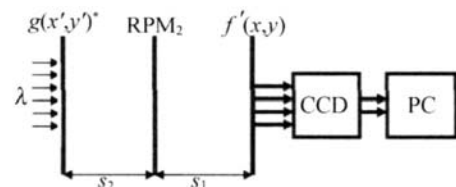


Fig 3 Color image decoding architecture

共轭 $g(x', y')^*$,用加密时完全相同的 3 种波长 λ 单色光源分别从原系统的输出平面输入,为了便于操作,此时可以使用平行光入射,经过完全相同的装置后在原来的输入平面得到 $f'(x, y)$ 。与原图像 $f(x, y)$ 相比, $f'(x, y)$ 附加了另外的相位因子,记录 $f'(x, y)$ 则可以得到其振幅分布,即原始图像 $f(x, y)$,最后把得到的三基色图通过计算机的多通道技术^[6-7]还原成原来的彩色图像。

3 数值模拟

分别选择波长为 700nm 的红光、540nm 的绿光、435nm 的蓝光的单色光对图像进行照射,其中原始图片为像素为 256×256 的彩色图像,图片大小为 $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm}$,点光源到图像之间的距离为 5cm,衍

射距离分别为 2cm 和 3cm, 使用相位控制器实现 $1/4$ 波长延迟。图 4 所示为加密和解密的图像。

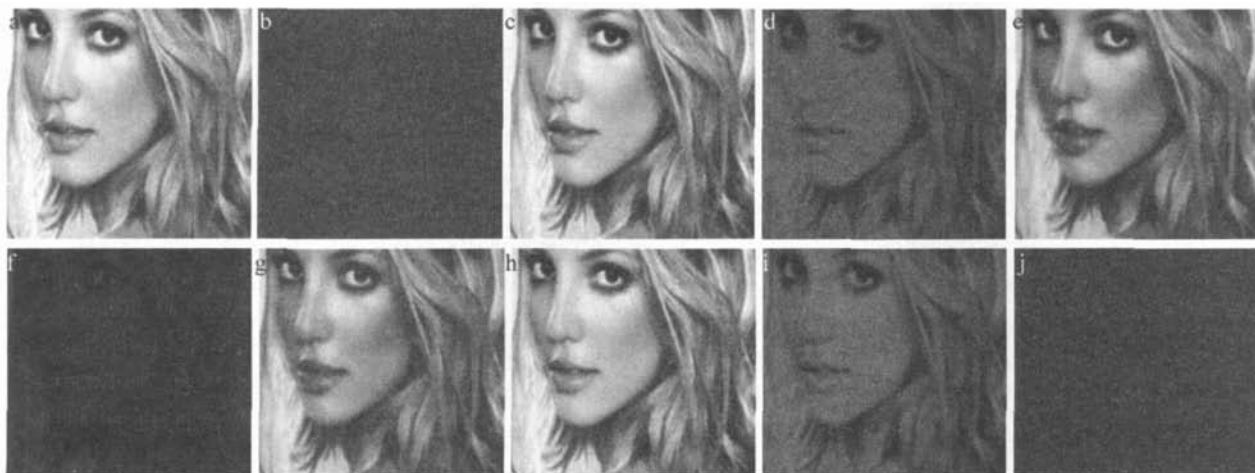


Fig 4 Color image's encoding and decoding

图 4a 为像素为 256×256 的彩色原始图像; 图 4b 为呈噪声状的加密图像; 图 4c 为正确解密后得到的图像; 图 4d 为只有红色光解密正确时得到的图像; 图 4e 为只有绿色光解密正确时得到的图像; 图 4f 为只有蓝色光解密正确时得到的图像; 图 4g 为只有蓝光和绿光解密正确时得到的蓝、绿两图的合成图像; 图 4h 为只有绿光和红光解密正确时得到的红、绿两图的合成图像; 图 4i 为只有红光和蓝光解密正确时得到的红、蓝两图的合成图像。可见, 从图 4d~图 4i 虽然能得到部分解密的信息, 但是没有正确还原真实的彩色图像, 丢失了彩色图像原来的信息。而图 4j 为红基色图片加密后在解密时由于波长不正确所得到的噪声图, 这种情况同样会在蓝基色图片和绿基色图片上出现。

4 小 结

提出了一种利用单色点光源照射实现在菲涅耳域对彩色图像进行随机相位编码的方法。在加密过程中除随机相位板及系统的参量外, 入射光波长也构成加密钥匙, 如果随机相位板不正确或使用波长不对, 则无法正确还原真实的彩色图像。这种方法在追求彩色还原度高的场合具有实用价值。

参 考 文 献

[1] REFREGIER P, JAV DIB. Optical image encryption based on input plane and Fourier plane random encoding [J]. Opt Lett, 1995, 20 (7): 767-769.
 [2] SIU G H, ZHANG J I. Double random phase encoding in the Fresnel domain [J]. Opt Lett, 2004, 29 (14): 1548-1586.
 [3] DENG X P, ZOU K. Optical image encryption using one random phase mask based on spotlight illumination in the Fresnel domain [J]. Laser Technology, 2006, 30 (3): 327-328 (in Chinese).
 [4] DENG X P, XIANG G X, WANG S H. Optical image encryption using only one random phase mask based on spherical wave illumination [J]. Laser Journal, 2005, 26 (5): 52-53 (in Chinese).

[5] ZHANG S Q, KAR M M A. Color image encryption using double random phase encoding [J]. Microwave Optical Technology Letters, 1999, 21 (19): 318-323.
 [6] SIU G H, ZHANG J J. Multiple-image encryption by wavelength multiplexing [J]. Opt Lett, 2005, 30 (11): 1306-1308.
 [7] LIU S H, MI Q L, ZHU B H. Optical image encryption with multistage and multichannel fractional Fourier-domain filtering [J]. Opt Lett, 2000, 25 (16): 1242-1244.
 [8] NICOLS J, IEMM I C, COMPOS J, et al. Optical encoding of color three-dimensional correlation [J]. Opt Commun, 2002, 209: 35-43.
 [9] LEDESMA S, IEMM I C, V LLARREAL M, et al. Multichannel correlation by color multiplexing [J]. Opt Commun, 1999, 166: 173-180.
 [10] CHEN L F, ZHAO D M. Optical image addition and encryption by multiexposure based on fractional Fourier transform hologram [J]. Chinese Physical Letters, 2006, 23 (3): 603-606.
 [11] CHEN L F, ZHAO D M. Optical color image encryption by wavelength multiplexing and lensless Fresnel transform holograms [J]. Optical Express, 2006, 14 (19): 8552-8560.
 [12] WANG X G, ZHAO D M, FENG J, et al. Information synthesis (complex amplitude addition and subtraction) and encryption with digital holography and virtual optics [J]. Optical Express, 2006, 14 (4): 1476-1485.
 [13] WANG S H, ZHU Z H Q. Principle of modern optics [M]. Chengdu: University of Electronic Science and Technology of China Press, 1998: 117-118 (in Chinese).
 [14] GABOR D, STROKE G W, RESTRICK R, et al. Optical image synthesis (complex amplitude addition and subtraction) by holographic Fourier transformation [J]. Phys Lett, 1965, 18 (2): 116-118.
 [15] JAV DIB, NOMURA T. Securing information by use of digital holography [J]. Opt Lett, 2000, 25 (1): 28-30.
 [16] NOBUKAZU Y S, MASAH DE ITOH Y, TOYOH IKO Y. Binary computer-generated holograms for security applications from a synthetic double-exposure method by electron-beam lithography [J]. Opt Lett, 1998, 23 (18): 1483-1485.
 [17] WANG H Y, WANG D Y, XIE J J, et al. Study of the recording condition about the digital hologram recorded with spherical reference wave [J]. Laser Journal, 2007, 28 (1): 44-46 (in Chinese).
 [18] YUAN C J, ZHONG L Y, WANG Y P, et al. The analysis of off-axis digital holographic recording condition [J]. Laser Technology, 2004, 28 (5): 482-484 (in Chinese).