

文章编号: 0258-7025(2009)01-0177-05

# 基于离散余弦变换的复值加密图像隐藏技术

朱竹青<sup>1</sup> 冯少彤<sup>1</sup> 聂守平<sup>1</sup> 孙 敏<sup>2</sup>

(<sup>1</sup> 南京师范大学物理科学与技术学院 光电技术省重点实验室, 江苏 南京 210097)  
<sup>2</sup> 南京理工大学理学院, 江苏 南京 210094)

**摘要** 提出了一种基于宿主图像离散余弦变换(DCT)的复值加密图像隐藏技术,待隐藏图像经双随机相位编码后的复值加密图像按一定规律隐藏在放大的宿主图像的离散余弦变换系数中。在提取隐藏图像过程中,利用相邻像素相减(NPVS)算法对藏有信息的宿主图像离散余弦变换系数进行运算,提取出隐藏的复值加密图像。经过正确的双随机相位解码,可获得原隐藏图像。研究了不同嵌入权重因子 $\omega$ 下藏有信息的宿主图像和解码后隐藏图像的各自相关度,分析了在 $\omega=0.2$ 情况下藏有信息的宿主图像的剪切对提取的隐藏图像质量的影响和基于数字全息三维物体信息隐藏,结果表明该图像隐藏技术隐藏信息量大,抗剪切能力强,保密性好。

**关键词** 图像处理;离散余弦变换;双随机相位编码;复值加密图像;相邻像素相减法则

**中图分类号** TN911.73 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/CJL20093601.0177

## Complex Valued Encrypted Image Hiding Technology Based on Discrete Cosine Transform

Zhu Zhuqing<sup>1</sup> Feng Shaotong<sup>1</sup> Nie Shouping<sup>1</sup> Sun Min<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Jiangsu Provincial Key Laboratory of Optoelectronic Technology, School of Physical Science and Technology, Nanjing Normal University, Nanjing, Jiangsu 210097, China  
<sup>2</sup> School of Science, Nanjing University of Science and Technology, Nanjing, Jiangsu 210094, China

**Abstract** A new complex encrypted image hiding technology based on discrete cosine transform (DCT) is presented. The complex encrypted image acquired by encoding the image to be hidden with double random phase is embedded in the DCT domain of the enlarged host image by rule. With neighbor pixel value subtraction (NPVS) algorithm, the hidden complex encrypted image is extracted from the coefficients of the host image hiding information transformed by IDCT and the original hidden image is restored with the correct double random phases. The correlation value of the host image hiding information and the decoded hidden image are studied with different embedding factor  $\omega$ . The effect on the decoded hidden image is analyzed as the host image hiding information is cut by different occlusion and the three-dimensional object information hiding based on digital holography are also numerically simulated with  $\omega=0.2$ . The results indicate that this image hiding technology has large capacity hidden information, robust anti-cut capacity and good security characteristic.

**Key words** image processing; discrete cosine transform; double-random-phase coding; complex valued encrypted image; neighbor pixel value subtraction

## 1 引 言

随着因特网的迅速发展,网络数据的保密传输成为研究热点,各种信息隐藏技术也相继出现<sup>[1~3]</sup>。基于图像的信息隐藏就是将待隐藏图像信息以相应

的方式嵌入到宿主图像中,并且使藏有信息的宿主图像退化不严重,图像信息隐藏系统稳健性好。

目前对于图像隐藏技术的研究较多<sup>[4~11]</sup>,R. G. van Schyndel等<sup>[4,5]</sup>研究了二值图像和灰度图像

收稿日期:2008-03-03;收到修改稿日期:2008-05-29

基金项目:国家自然科学基金(60778041),江苏省自然科学基金(BK2006726)和江苏省高校自然科学基金(08KJD140010)资助项目。

作者简介:朱竹青(1976—),男,讲师,主要从事光信息处理和光纤通信器件特性方面的研究。

E-mail: njzqzhu@163.com

的隐藏, Nobukatsu Takai 等<sup>[6~9]</sup>研究了二维物体的傅里叶全息图和数字全息图的隐藏, X. Zhou 等<sup>[10,11]</sup>研究了基于宿主图像空域的复值加密图像的信息隐藏。本文提出了一种基于宿主图像离散余弦变换(DCT)的复值加密图像隐藏技术, 该技术不但用于二值图像和灰度图像信息的隐藏, 同时也可用于基于数字全息的三维物体复值信息的隐藏, 提高了隐藏图像的信息量。另一方面, 该技术与基于

宿主图像空域的复值加密图像的信息隐藏技术相比, 具有抗噪声和抗剪切能力强, 保密性好等优点, 能成为数字多媒体产品版权保护和数据安全传输的有效方案, 也为基于数字全息的三维物体的信息隐藏和保密传输提供了技术保障。

## 2 信息隐藏和提取

信息隐藏与提取框图如图 1 所示。

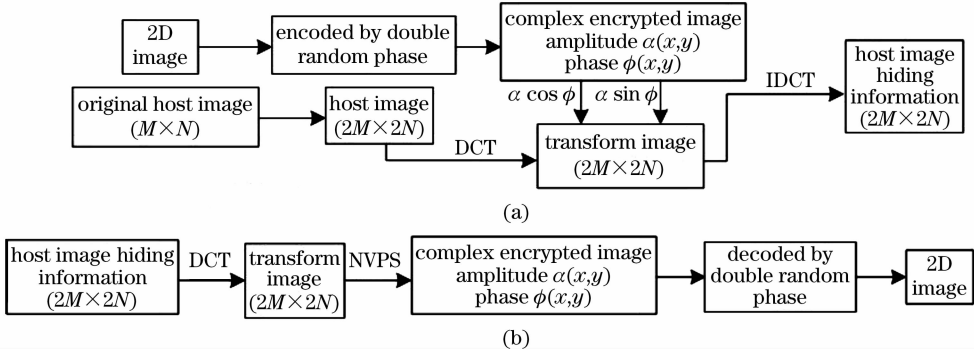


图 1 信息的隐藏(a)与提取(b)示意图

Fig. 1 Schematic diagram of information hiding process (a) and extraction process (b)

在隐藏二维图像过程中, 首先利用双随机相位编码<sup>[12~16]</sup>方式将待隐藏图像编码成振幅为  $a(x, y)$ , 相位为  $\phi(x, y)$  的复值加密图像, 该图像具有白噪声分布, 确保了隐藏图像的保密性; 其次将大小为  $(M \times N)$  的原宿主图像(标志为  $h$ ) 按如下方式扩充为大小为  $(2M \times 2N)$  的宿主图像(标志为  $e$ )

$$\begin{aligned} e(2m-1, 2n-1) &= h(m, n), \\ e(2m-1, 2n) &= h(m, n), \\ e(2m, 2n-1) &= h(m, n), \\ e(2m, 2n) &= h(m, n), \\ m &= 1, 2, 3, \dots, M, \quad n = 1, 2, 3, \dots, N, \end{aligned} \quad (1)$$

接着将复值加密图像的实部和虚部以相加和相减的形式嵌入到图像  $e$  离散余弦变换相邻列或行系数中。复值加密图像的实部为  $a \cos \phi$ , 虚部为  $a \sin \phi$ , 嵌入权重因子为  $\omega$ , 图像  $e$  离散余弦变换后系数矩阵记为  $d$ , 新系数记为  $d'$

$$\begin{aligned} d'(2m-1, 2n-1) &= d(2m-1, 2n-1) + \omega(a \cos \phi), \\ d'(2m-1, 2n) &= d(2m-1, 2n) - \omega(a \cos \phi), \\ d'(2m, 2n-1) &= d(2m, 2n-1) + \omega(a \sin \phi), \\ d'(2m, 2n) &= d(2m, 2n) - \omega(a \sin \phi), \\ m &= 1, 2, 3, \dots, M, \quad n = 1, 2, 3, \dots, N, \end{aligned} \quad (2)$$

将所得到的新系数矩阵  $d'$  再离散余弦反变换后就得到藏有信息宿主图像(记为  $e'$ )。根据图 1 可见, 隐藏信息提取过程实际上是信息隐藏的逆操作。信

息接收端将藏有信息的宿主图像进行离散余弦变换, 利用相邻像素相减算法(NVPS)<sup>[17]</sup>获取振幅为  $a(x, y)$ , 相位为  $\phi(x, y)$  的复值加密图像, 经双随机相位解码后提取出原二维图像。

为了定量评估恢复的二维图像的质量以及藏有信息的宿主图像与宿主图像之间的关系, 可分别采用归一化的相关系数  $r_e$  和  $r_h$  表示<sup>[18]</sup>。若  $f_1(m, n)$  和  $f_2(m, n)$  分别代表两个图像, 则它们之间的相关系数  $r$  可定义为

$$r = \frac{\sum \sum f_1(m, n) f_2(m, n)}{\sqrt{\sum \sum f_1(m, n)^2 \sum \sum f_2(m, n)^2}}, \quad (3)$$

从(3)式可见, 相关系数  $r$  值越大, 两个图像的相关度越高, 图像就越接近。

## 3 模拟结果与分析

对图 1 所示的信息隐藏和提取进行了计算机模拟实验。图 2(a)为一幅  $512 \text{ pixel} \times 512 \text{ pixel}$  的待加密灰度图像, 图 2(b), (c) 分别为待加密灰度图像经双随机相位编码后复值加密图像的振幅和相位, 图 2(d)为一幅经扩大、像素大小为  $1024 \text{ pixel} \times 1024 \text{ pixel}$  的宿主图像。

### 3.1 嵌入权重因子 $\omega$ 的选取

在不同的嵌入权重因子  $\omega$  情况下, 藏有信息的宿主图像和宿主图像之间的相关度  $r_h$  以及提取出

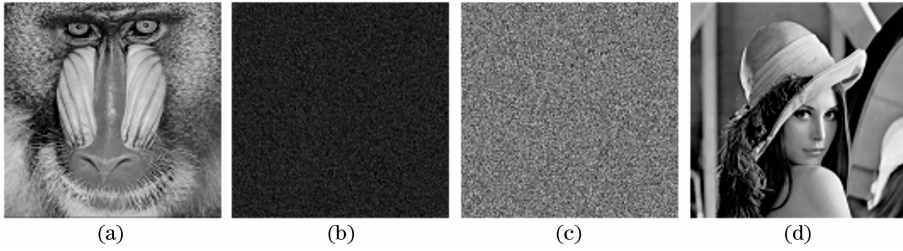


图2 模拟实验所用图像。(a) 待加密图像;(b) 复值加密图像振幅;(c) 复值加密图像相位;(d) 宿主图像  
Fig.2 Images used in simulation experiments. (a) image to be encrypted; (b) amplitude and (c) phase of complex encrypted image; (d) host image

表1  $\omega$  与宿主图像和隐藏图像的相关度之间的关系

Table 1 Relationship between embedding factor  $\omega$  and host and hidden images

$\omega$	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$r_h$	0.9998	0.9992	0.9969	0.9875	0.9767	0.9594	0.9435
$r_e$	0.9967	0.9991	0.9996	0.9989	0.9979	0.9965	0.9953

表2 采用文献[10,11]中的方法得到的  $\omega$  与宿主图像和隐藏图像的相关度关系

Table 2 Relationship between embedding factor  $\omega$  and host and hidden images with methods in Refs. [10,11]

$\omega$	0.05	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
$r'_h$	0.9998	0.9992	0.9970	0.9878	0.9768	0.9552	0.9321
$r'_e$	0.8266	0.8079	0.8095	0.8224	0.8232	0.8355	0.8479

的隐藏图像与隐藏图像之间的相关度  $r_e$  计算结果如表1所示。

从表1可见,当  $\omega$  值从小到大变化时,藏有信息的宿主图像与宿主图像间的相关度也从小到大,表明嵌入权重因子  $\omega$  越大,藏有信息的宿主图像质量越差,而提取出的隐藏图像与原隐藏图像间的相关度却不是单调变化。当  $\omega < 0.2$  时,相关度先随  $\omega$  增大而增大。当  $\omega > 0.2$  时,相关度却随  $\omega$  增大而减小。因此,综合两种相关度变化关系,系统存在优化的嵌入参数。

选取  $\omega = 0.2$  可提高提取出的隐藏图像质量,同时保证宿主图像好的视觉效果。其藏有信息的宿主图像和提取出的隐藏图像分别如图3(a),(b)所

示。

对文献[10,11]中复值加密图像的隐藏技术进行了数值模拟,以便于与提出的方法进行比较。表2是不同的嵌入权重因子  $\omega$  情况下,藏有信息的宿主图像和宿主图像之间的相关度  $r'_h$  以及提取出的隐藏图像与隐藏图像之间的相关度  $r'_e$ 。

由表2可见,直接在宿主图像空域中嵌入隐藏图像,将会影响藏有信息的宿主图像的质量,其与宿主图像间的相关度  $r'_h$  随着嵌入权重因子  $\omega$  的增大而减小,提取出的隐藏图像与隐藏图像之间的相关度  $r'_e$  虽有所增大,但其值总小于0.9。当  $\omega = 0.4$  时,藏有信息的宿主图像和提取出的隐藏图像分别如图4(a),(b)所示。



图3 编码与解码结果。(a) 藏有信息的宿主图像;  
(b) 提取出的隐藏图像

Fig.3 Results acquired by encoding and decoding. (a) host image with hidden information; (b) extracted hidden image

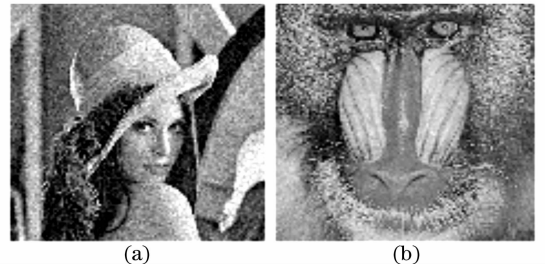


图4 采用文献[10,11]中的方法编码与解码结果  
(a) 藏有信息的宿主图像;(b) 提取出的隐藏图像  
Fig.4 Results acquired by encoding and decoding with methods in Refs. [10,11]. (a) host image with hidden information; (b) extracted hidden image

### 3.2 藏有信息的宿主图像的剪切对隐藏图像提取的影响

实验中仍然取  $\omega = 0.2$ , 不同剪切情况下隐藏图像的提取结果如图 5 所示。

图 5(a1)~(a3)为将藏有信息的宿主图像 1/4, 1/2, 3/4 像素区域剪切后得到的图像, 图 5(b1)~(b3)分别为与之对应的隐藏信息图像, 各提取出的隐藏信息图像与原图像之间的相关度分别为 0.9421, 0.9020, 0.8705。可见, 该隐藏技术具有很好的抗剪切能力。

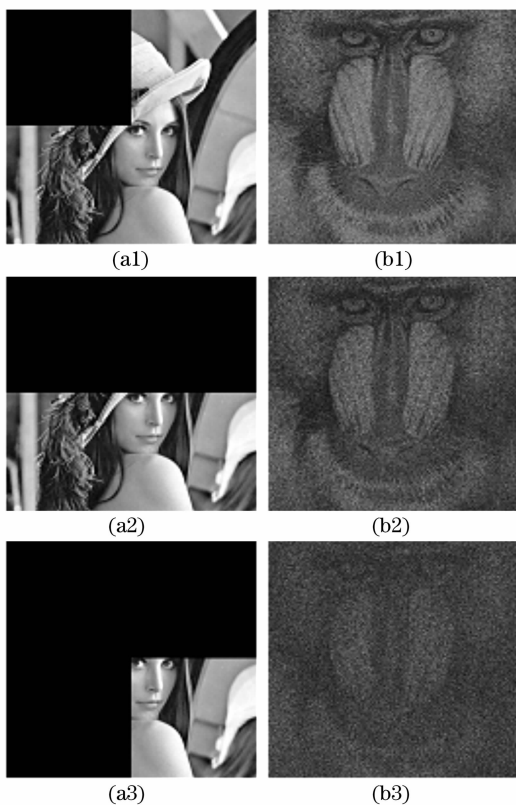


图 5 1/4 像素区域(a1), 1/2 像素区域(a2), 3/4 像素区域(a3)剪切后藏有信息的宿主图像及其提取出的隐藏图像(b1), (b2), (b3)

Fig. 5 Host images with hidden information cut by one quarter occlusion (a1), one half occlusion (a2), three-fourth occlusion (a3) and extracted hidden images (b1), (b2), (b3), respectively

### 3.3 基于数字全息的三维物体信息隐藏

隐藏的复值数据是某物体衍射场的复振幅, 则数据解密后便能通过数字全息波面重建技术得到物体的三维信息。实验中仍然取  $\omega = 0.2$ , 图 6(a), (b), (c)分别为利用四步相移法从数字全息图中获得的三维物体衍射场的振幅、相位和三维物体再现图, (d), (e), (f)分别为从藏有信息的宿主图像中提

取出的三维物体衍射场的振幅、相位以及通过菲涅耳近似法获得的再现图。与原再现图比较, 相关系数为 0.9987。

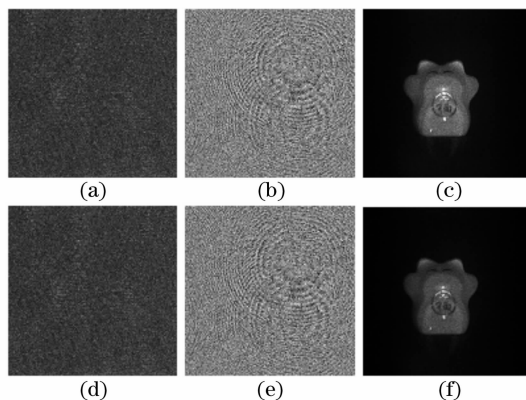


图 6 从数字全息图获得的三维物体衍射场的振幅(a), 相位(b)和三维物体再现图(c)及从宿主图像中提取出的三维物体衍射场的振幅(d), 相位(e)和三维物体再现图(f)

Fig. 6 Amplitude (a) and phase (b) of three-dimensional object diffractive field based on digital holography and reconstructed three-dimensional object image (c), extracted amplitude (d) and phase (e) of three-dimensional object diffractive field and reconstructed three-dimensional object image (f)

## 4 结 论

提出了一种基于宿主图像离散余弦变换的复值加密图像隐藏技术, 实现了在宿主图像中图像信息的隐藏和提取。研究表明, 图像隐藏系统存在优化的嵌入参数, 抗剪切能力强, 保密性好。该图像隐藏技术不但能隐藏实值图像信息, 同时也能隐藏物体衍射场的复振幅信息, 可实现物体三维信息的隐藏。

### 参 考 文 献

- 1 W. Bender, D. Gruhl, N. Morimoto *et al.*. Techniques for data hiding [J]. *IBM Syst. J.*, 1996, **35**:313~336
- 2 J. Rose, B. Javidi. Hidden images in halftone pictures [J]. *Appl. Opt.*, 2001, **40**(20):3346~3353
- 3 Zhang Jinguan, Shi Yisi, Situ Guohai. A survey on optical information hiding [J]. *Journal of the Graduate School of the Chinese Academy of Sciences*, 2006, **23**(3):289~296  
张静娟, 史祎诗, 司徒国海. 光学信息隐藏综述[J]. *中国科学院研究生院学报*, 2006, **23**(3):289~296
- 4 R. G. van Schyndel, A. Z. Tirkel, C. F. Osborne. A digital watermark [C]. *IEEE Int. Conf. on Image Proc.*, 1994, **2**:86~90
- 5 Chiouting Hsu, Jaling Wu. Hidden digital watermarks in images [J]. *IEEE Trans. Image Proc.*, 1999, **8**(1):58~68
- 6 Nobukatsu Takai, Yuto Mifune. Digital watermarking by a

- holographic technique [J]. *Appl. Opt.*, 2002, **41**(5):865~873
- 7 Liujie Sun, Songlin Zhuang. Watermarking by encrypted Fourier holography [J]. *Opt. Eng.*, 2007, **46**(8):005801
- 8 Yuchi Liang, Gu Jihua, Liu Wei *et al.*. An image digital watermark technique based on digital holography and discrete cosine transform [J]. *Acta Optica Sinica*, 2006, **26**(3):355~361
- 尉迟亮,顾济华,刘 薇 等. 基于数字全息及离散余弦变换的图像数字水印技术[J]. *光学学报*, 2006, **26**(3):355~361
- 9 Hsuan T. Chang, Chung L. Tsan. Image watermarking by use of digital holography embedded in the discrete-cosine-transform domain [J]. *Appl. Opt.*, 2005, **44**(29):6211~6219
- 10 X. Zhou, J. G. Chen. Information hiding based on double-random phase encoding technology [J]. *J. Mod. Opt.*, 2006, **53**(12):1777~1783
- 11 X. Zhou, D. Lai, S. Yuan *et al.*. A method for hiding information utilizing double-random phase-encoding technique [J]. *Opt. & Laser Technol.*, 2007, **39**(7):1360~1363
- 12 Philippe Refregier, Bahram Javidi. Optical image encryption based on input plane and Fourier plane random encoding [J]. *Opt. Lett.*, 1995, **20**(7):767~769
- 13 Sherif Kishk, Bahram Javidi. Information hiding technique with double phase encoding [J]. *Appl. Opt.*, 2002, **41**(26):5462~5470
- 14 Sun Liujie, Zhuang Songlin. Anti-fake technique by double dandom phase encrypted holographic mark [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(1):31~34
- 孙刘杰,庄松林. 双随机相位加密全息标识防伪技术研究[J]. *光学学报*, 2007, **27**(1):31~34
- 15 Sun Liujie, Zhuang Songlin. Forgery prevention based on in-line Fourier holographic watermark with double random phase encryption [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(4):621~624
- 孙刘杰,庄松林. 双随机相位加密同轴傅里叶全息水印防伪技术[J]. *光学学报*, 2007, **27**(4):621~624
- 16 Wei Hengzheng, Peng Xiang, Zhang Peng *et al.*. Chosen-plaintext attack on double phase encoding encryption technique [J]. *Acta Optica Sinica*, 2007, **27**(5):824~829
- 位恒政,彭 翔,张 鹏 等. 双随机相位加密系统的选择明文攻击[J]. *光学学报*, 2007, **27**(5):824~829
- 17 H. Zhang, L. Z. Cai, X. F. Meng *et al.*. Image watermarking based on an iterative phase retrieval algorithm and sine-cosine modulation in the discrete-cosine-transform domain [J]. *Opt. Commun.*, 2007, **278**(2):257~263
- 18 Yang Xiaoping, Zhai Hongchen, Wang Mingwei. Gray-image information hiding based on kinoform [J]. *Acta Physica Sinica*, 2008, **57**(2):847~852
- 杨晓苹,翟宏琛,王明伟. 一种应用相息图对灰度图像信息进行隐藏的方法[J]. *物理学报*, 2008, **57**(2):847~852