

菲涅耳数字全息在图像加密中的应用

陈木生

(泉州师范学院物理系,福建 泉州 362000)

摘要:基于小波变换和光学菲涅耳变换原理,提出一种新的数字水印算法。首先,原始的水印图像经过离散菲涅耳变换转化成数字全息图,并对数字全息图进行灰度变换;再对宿主图像进行一层小波分解;最后将变换后的数字全息图嵌入到宿主图像较大的小波系数中。实验结果表明,该水印算法具有较强的鲁棒性,能抵抗较大的剪切、有损压缩和滤波等攻击。

关键词:小波变换;数字全息;菲涅耳衍射;数字水印

中图分类号:TP309;TN26 **文献标识码:**A

Application of Fresnel digital holography in image encryption

CHEN Mu-sheng

(Department of Physics, Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000, China)

Abstract: A new digital watermark technique based on digital holography and discrete wavelet transform is presented. Firstly, the secret image is transformed into a digital hologram image by the means of discrete Fresnel diffraction. By one level wavelet transform, the host image can be presented by one low frequency approximation and three high frequency details. Lastly, the digital hologram image is embedded into the large wavelet coefficients. The experimental results show that the method is robust to the attack of the JPEG lossy compression, cropping and average filter.

Key words: wavelet transform; digital holographic; Fresnel diffraction; digital watermark

1 引言

数字水印作为数字媒体版权的强有力保护手段,已成为目前信息安全领域研究的热点,其成果已在网络数字产品、电子商务、银行、出版印刷等领域得到广泛应用。近年来,信息光学理论被引入到信息隐藏与数字水印领域并显示出极大的潜力,有不少作者研究^[1-2]。其中日本学者 Nobukatsu Takai 和 Yuto Mifune 于 2002 年提出最初的数字全息法,并成功地将二维水印信号以全息图的形式嵌入到原始图像中^[3];2005 年,Chang 等人改进了 Takai 等人的方法,提出一种基于离散余弦变换的数字全息水印技术^[4];最近,国内学者尉迟亮等在上述工作的基础上提出了基于 JPEG 模型的嵌入方法^[5]。本文在上述思想的基础上,提出一种基于菲涅耳数字全息和小波变换的水印方法。实验结果表明,对含水印图像进行较大剪切、较大有损压缩和滤波时,本文算

法能够正确地提取出水印信息。

2 全息图的制作和再现^[5-7]

2.1 全息图的制作

基于菲涅耳变换的数字全息图的制作原理如图 1 所示。图 1 中, $m(x, y)$ 是要嵌入的原始水印信息, λ 为入射波长, $m(x, y)$ 在离 z 轴距离 d 处的菲涅耳衍射图与参考光波 $R(x, y')$ 干涉,生成数字全息图 $H(x', y')$ 。

设原始水印信息 $m(x, y)$ 经传播距离 d 后的复振幅为 $O(x', y')$, 则:

基金项目:省教育厅科技项目(No. JA08214);市科技局项目(No. 2009Z53)资助。

作者简介:陈木生(1981-),男,硕士,讲师,主要从事小波变换,数字水印,数字全息,图像融合等图像处理。E-mail: mushengchen@163.com

收稿日期:2009-08-11

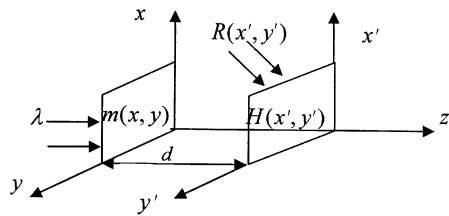


图1 数字全息的制作原理

$$O(x', y') = \frac{\exp(jkd)}{j\lambda d} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} m(x, y) \cdot \exp\left[jk \frac{(x-x')^2 + (y-y')^2}{2d}\right] dx dy \quad (1)$$

其中, $k = 2\pi/\lambda$ 。

设参考光波 $R(x', y') = \exp(j2\pi\alpha x')$, 其中, $\alpha = \sin A/\lambda$ 为参考波的载频系数, A 为参考光波与 z 轴方向的夹角。

$O(x', y')$ 与 $R(x', y')$ 在 $x'y'$ 平面相干涉, 生成数字全息图, 其光强分布可表示为:

$$\begin{aligned} H(x', y') &= |O(x', y') + R(x', y')|^2 \\ &= |O^2(x', y')| + |R^2(x', y')| + \\ &\quad O^*(x', y')R(x', y') + \\ &\quad R^*(x', y')O(x', y') \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $O^*(x', y')$, $R^*(x', y')$ 分别是 $O(x', y')$, $R(x', y')$ 复共轭函数, 第一、二项是全息图的晕轮光, 对再现像的影响较大, 可通过滤波将其去除。

2.2 全息图的再现

基于菲涅尔变换的数字全息图的再现原理如图2所示。

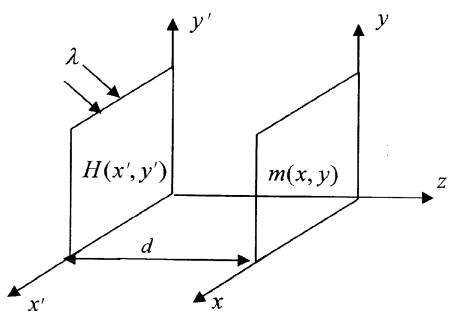


图2 全息图的再现原理

设参考光的共轭光 $R^*(x', y') = \exp(-j2\pi\alpha x')$ 作为照明光, 则全息图经照明光照明后, 其复振幅分布为 $U(x', y') = H(x', y')R^*(x', y')$, 并且有:

$$U \propto O^*OR^* + RR^*R^* + O^*RR^* + OR^*R^* \quad (3)$$

式中, 第1项是物体的自相关像, 第2项为直透分量, 由这2项组成零级衍射像; 第3项是物体共轭像; 第4项是物体的原始像。根据光路是可逆的, 当照明光波的载频系数、波长与参考光相同时, 全息图

再现才能得到较好的效果, 因而这些参数可当作密钥, 可提高数字水印的安全性。

3 基于离散小波变换的数字全息图水印算法

将原始水印图像转变为数字全息图后, 嵌入的方法也很重要, 为了提高数字全息图水印的抗压缩、抗剪切、抗滤波等性能, 本文研究基于数字全息和小波变换的数字水印技术。小波分析是将信号在不同尺度下进行多分辨率分解, 并将各种频率交织在一起组成的混合信号分解成不同频段的子信号, 能对信号按频带进行处理。小波变换具有一种“集中”能力, 它能将信号的能量集中到少数小波系数上。根据小波变换和数字全息图的特点, 我们将数字全息图直接嵌入到较大的小波系数中, 这样有利于提高水印算法的鲁棒性。

3.1 数字全息图水印的嵌入方法

设宿主图像为 X , 大小为 $M_1 \times N_1$, 原始水印图像为 f , 其数字全息图为 Y , 它们的大小为 $M_2 \times N_2$, 并且 $M_2 < M_1, N_2 < N_1$ 。

数字全息图的水印嵌入过程如下:

1) 将宿主图像进行一层小波分解, 得到一个低频子图像 L 和水平、垂直、对角三个方向的高频子图 H, V, D , 根据小波子图像的特点, 从 L, H, V 三分量中提取出 $M_2 \times N_2$ 个最大的小波系数 $W_k(i, j)$ 。

2) 对待嵌入的数字全息图像 Y 进行灰度调整得到 Y' , 其方法如下:

$$Y'(i, j) = \begin{cases} Y(i, j) - \text{thr} & \text{if } Y(i, j) \geq \text{thr} \\ Y(i, j) & \text{else} \end{cases} \quad (4)$$

其中, $\text{thr} = a1 + a2$, $a1, a2$ 分别代表数字全息图像的灰度平均值和标准偏差, 这样有利于提高水印嵌入的强度, 增强水印图像提取的效果。

3) 利用下式将 Y' 嵌入到 $W_k(i, j)$, 得到含水印图像的小波系数 $W'_k(i, j)$ 。

$$W'_k(i, j) = W_k(i, j) + \omega Y_k(i, j) \quad (5)$$

其中, ω 为嵌入系数, 大小为 5% ~ 50%, 其值选取要适中, 若太大会影响含水印图像的质量; 太小会影响水印图像的提取效果。

4) 对 $W'_k(i, j)$ 进行小波逆变换, 可得含水印的图像。

3.2 数字全息图水印的提取

1) 将原始图像和含水印图像进行一层小波分解, 获得分解后的小波系数, 并提取出加入水印点的系数 $W_k(i, j), W'_k(i, j)$ 。

2) 根据式(5)的逆变换获得嵌入的数字全息图。

3) 通过数字全息的再现方法获得原始水印图像。

4 实验结果与分析

我们使用大小为 128×128 像素,灰度级为 256 的图 3(c)作原始水印图像,首先根据全息图制作的方法将原始水印图像制作成数字全息图图 3(d);大小为 512×512 像素,灰度级别 256 的图 3(a)作为宿主图像。在仿真实验中,选取入射波长 $\lambda = 630 \text{ nm}$,衍射距离 $d = 30 \text{ cm}$,入射光与 z 轴的角度为 $\pi/6$,嵌入强度 $\omega = 0.15$ 。

利用本方法将数字全息图嵌入到原始图像中,结果如图 3(b)所示,含水印图像与宿主图像的相似度为 1,峰值信噪比为 59.48 dB,在视觉上分辨不出两图像的区别,即水印具有较强的不可见性。图 3(e)为从含水印图像中提取的水印图像,其与原始水印图像的相似度为 0.95,峰值信噪比为 29.3 dB,能够清楚地辨别水印信息。

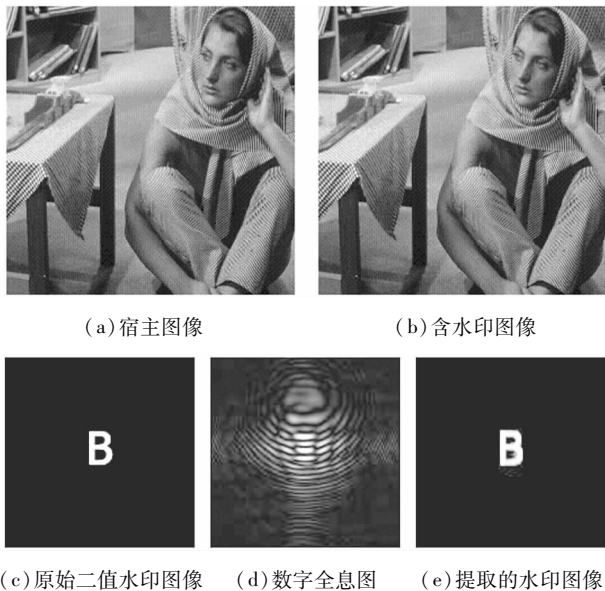


图 3 无攻击时提取的水印

4.1 剪切操作对隐藏图像再现的影响

作为密图的图像是待隐藏图像的全息变换图,由于全息图本身的特点,切割出任一部分均可再现出原来的图像,只是图像对比度会降低。为了验证本文方法的有效性,对含水印图像图 3(b)从中间开始剪切,剪切掉部分以黑色填充,然后提取水印,实验结果如图 4 所示。从图 4 可以看出,从中间剪切掉 50% 如图 4(a)所示,此时整幅图像已被破坏较

严重,但提取的水印图像图 4(b)和原始水印图像的相似度为 0.93,峰值信噪比为 27.95 dB,能够清楚辨别;当从中间剪切掉 60% 时提取的水印也清晰可见如图 4(c)所示,此时原始水印图像和提取的水印图像的相似度为 0.88,峰值信噪比为 25.54 dB。上面的结果表明该算法具有很强的抗剪切能力。

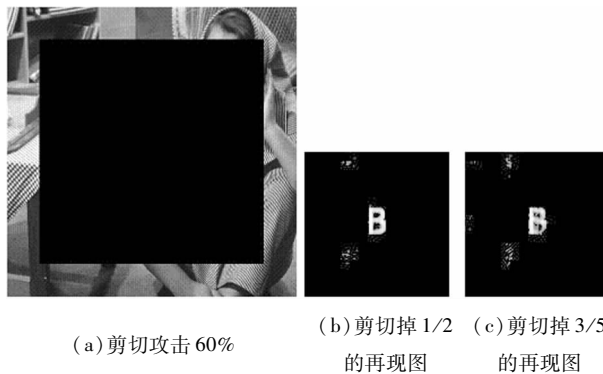


图 4 剪切攻击时提取的水印

4.2 JPEG 有损压缩对隐藏图像再现的影响

为了验证算法具有较好的抗压缩能力,对图 3(b)先进行 JPEG 有损压缩,压缩质量 compression quality (cq) 越高,相应的图像越好,压缩比越低,图像文件越大。在压缩质量为 $cq = 30$ 时得到图 5(a),此时提取的水印图像 5(b)还能够清晰、正确地辨别, $cq = 20$ 时,依稀可以看清水印图像。结果表明本算法也有很好的抗有损压缩能力。

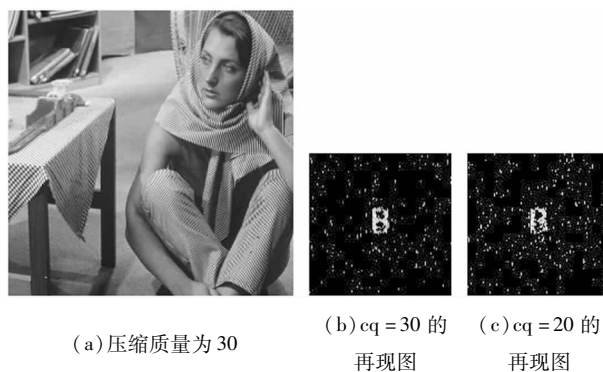
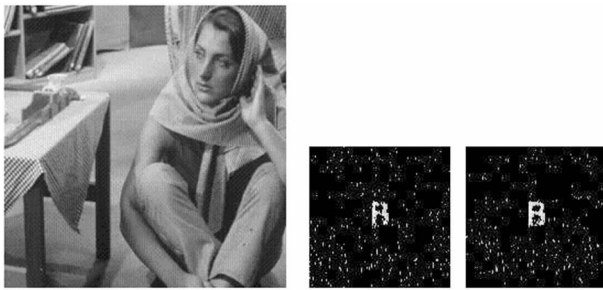


图 5 压缩攻击时提取的水印

4.3 滤波对隐藏图像再现的影响

理想的含水印图像 3(c)经过的均值滤波后得到图 6(a),峰值信噪比为 25.24dB,图像其存在一定的模糊。从滤波图像中提取的水印图像 6(b)还能清楚、正确地辨别,图 6(c)是对含水印图像进行中值滤波所提取的水印图像。结果表明,算法对于均值滤波、中值滤波都能得到效果较好的水印图像。



(a) 均值滤波的含水印图像 (b) 均值滤波 (c) 中值滤波

图6 滤波攻击时提取的水印

以上仿真结果显示,算法具有较好的稳健性,对含水印图像进行压缩、剪切、滤波后能得到较好地提取出水印图像。

5 结论

结合小波变换和数字全息的特点,提出一种新的数字水印算法。仿真结果表明,该水印方法具有较强的鲁棒性,具有较强的抗剪切、JPEG有损压缩和均值滤波等干扰能力。

参考文献:

- [1] 黄清龙,刘建岚. 基于光学菲涅耳衍射的盲数字水印技术[J]. 光学学报,2006,26(8):1145-1149.
- [2] 位恒政,彭翔,张鹏. 基于菲涅耳数字全息的水印技术[J]. 系统仿真报,2007,19(22):5351-5354.
- [3] N Takai, Y Mifune. Digital watermarking by a holographic technique[J]. Appl. Opt,2002,41(5):865-873.
- [4] H Chang, C Tsan. Image watermarking by use of digital holography embedded in the discrete-cosine-transform domain[J]. Appl. Opt. (S0003-6935), 2005, 44(29): 6211-6219.
- [5] 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.
- [6] 赵雅晶. 全数字全息术在信息安全方面的应用[D]. 广州:暨南大学,2005:8.
- [7] 刘薇,顾济华,尉迟亮,等. 一种基于数字全息技术的盲音频水印算法[J]. 光子学报,2006,35(11):1788-1791.