

基于小波域的数字水印算法

王伟静¹, 赵苑苑²

(1. 洛阳理工学院 计算机与信息工程系, 河南 洛阳 471003;

2. 河南科技大学 经济与管理学院, 河南 洛阳 471003)

摘 要: 为了改善数字水印算法安全性, 增强水印算法的抗干扰性, 设计了一种基于小波域的水印算法, 算法结合了 Arnold 置乱方法和 DWT 变换多分辨率特性, 采用线性的、不同的嵌入强度的方法, 有效地提高了水印的安全性。实验结果表明, 该算法具有较好的抗压缩、抗剪切性和抗噪性。

关键词: 数字水印; Arnold 置乱; DWT; PSNR; NC

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2009)04-0122-03

A Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transformation

WANG Wei-jing¹, ZHAO Yuan-yuan²

(1. Dept. of Computer & Info., Luoyang Institute of Science and Technology, Luoyang 471003, China;

2. Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: Based on Arnold scrambling technology, making use of characteristics of DWT, the present study has designed a digital watermarking algorithm. It increases effectively safety for digital watermarking by making use of the linear and two different embedding operator. The findings of the experiment suggest that it has the fairly good resistant ability of compression, cutting and noise.

Key words: digital watermarking; Arnold scrambling transformation; DWT; PSNR; NC

0 引言

数字水印技术由于作用域的不同, 可以分为空间域水印技术和变换域水印技术。早期人们对数字水印的研究主要是基于时空域的, 算法相对简单、实时性较强, 但鲁棒性差, 经 JPEG 压缩或其他图像处理容易被去掉。目前研究的主流算法是变换域算法^[1,2], 此类算法主要有基于离散傅里叶(DFT)变换域、离散余弦变换(DCT)域^[3,4]、小波变换(DWT)域^[5,6]、哈达玛变换域等等。变换域算法通过把图像从时空域变换为频率域, 然后按照各频率段和图像之间关联性来嵌入水印, 嵌入位置一般分为低频、高频、中频。目前, 大多数研究都采用在中频段嵌入水印, 这样可以同时保证嵌入水印的安全性和不可见性。

基于离散小波变换的数字水印算法本身具有良好的空间频率特性和多分辨率表示的优点。文中正是基于小波变换的多分辨率特性实现了一种线性数字水印算法。

1 水印加密技术

置乱技术是一种图像加密技术, 它利用数字图像具有的数字阵列的特点, 搅乱图像中像素的位置或颜色使之变成一幅杂乱无章的图像, 从而达到无法辨认出原图像的目的。Arnold 变换是最常见的置乱技术, 它是通过像素坐标的改变来实现图像的置乱。

对于大小为 $N \times N$ 的图像, Arnold 变换^[7]的定义为:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \bmod N \quad (1)$$

其中 (x, y) 表示该图像矩阵的某个像素在未变换时的位置, (x', y') 表示变换后新的位置, mod 表示求余操作。把灰度值移到位置 (x', y') , 就称对像素 (x, y) 完成了 Arnold 变换。

2 基于小波域的数字水印算法

由于在各种图像处理过程中, 有损压缩对数字水印的生存打击较大, 因此数字水印在嵌入和提取过程中必须利用各种有损压缩的特点来寻求最大的鲁棒性。离散余弦变换是从图像空间到频率空间的全局变换而离散小波变换是一种局部的变换。由于离散余弦

收稿日期: 2008-08-05

基金项目: 河南省自然科学基金项目(2008A120006; 2008B520025)

作者简介: 王伟静(1980-), 女, 助教, 硕士, 研究方向为图像处理。

变换的全局本质,在变换空间中任何一个数据的误差都会影响到图像中的每一个像素。离散小波变换的特点是它具有多尺度分析的能力。利用小波变换把原始图像或原始视频序列分解成多频段的子图像,能适应人眼的视觉特性且使得水印的嵌入和检测可分多个层次进行,小波变换域数字水印方法兼具时空域方法和DCT变换域方法的优点。因此,基于离散小波变换的数字水印算法已经成为当前研究的热点和最重要的研究方向。

文中算法结合了 Arnold 置乱方法和 DWT 变换多分辨率特性,首先将原始图像用离散小波变换进行三级小波分解,将水印图像用 Arnold 变换后,再用离散小波变换进行一级小波分解。取两个嵌入强度,将分解后的水印子图分别与原始图像经过三级小波分解后的三级子图线性相加,最后对加密后图像进行逆小波变换,得到最后图像。

具体过程如下所述。

2.1 嵌入过程

水印嵌入整个过程可以描述如下:

- 1) 将原始图像用离散小波变换进行三级小波分解,得到四个子图。
- 2) 将二值水印图像用 Arnold 变换置乱。
- 3) 将置乱后的水印图像用离散小波变换进行一级小波分解,得到四个子图。
- 4) 分别对低频与高频用不同的嵌入强度进行线性嵌入:

$$I_{\text{低}} = I_{\text{低}} + a_1 * I'_{\text{低}} \quad (2)$$

$$I_{\text{高}} = I_{\text{高}} + a_2 * I'_{\text{高}} \quad (3)$$

- 5) 将产生的四个新的小波系数用离散小波逆变换进行逆变换,得到含有水印信息的图像。

2.2 提取过程

水印的提取即将包含水印信息的公开图像中的水印信息从中分离出来。水印提取过程可以描述如下:

水印提取算法是嵌入算法的逆过程。

- 1) 原始图像分解。

将原始图像用离散小波变换进行三级小波分解,得到子图。

- 2) 嵌入水印图像分解。

将嵌入水印后的图像用离散小波变换进行三级小波分解得到三级分解后的四个子图。

- 3) 利用算法 E 分别对相应的子图进行反运算:

$$I''_{\text{低}} = (I'_{\text{低}} - I_{\text{低}}) / a_1 \quad (4)$$

$$I''_{\text{高}} = (I'_{\text{高}} - I_{\text{高}}) / a_2 \quad (5)$$

- 4) 对得到的四个小波系数进行离散小波逆变换,

得到一个置乱的水印信息。

- 5) 再对得到的水印信息用 Arnold 进行周期变换,密钥为 k ,得到水印图像。

至此,水印的提取操作全部完成。

2.3 评价标准

数字水印算法性能评价的两个重要准则是透明性和鲁棒性。对水印透明性的评估可以通过主观观察或者定量度量来衡量,然而仅凭人类的主观观察来判别质量的变化是不够准确的,在某些情况下需要进行定量的失真度检测,下述方法为目前常用的失真度检测方法^[8]:

- (1) 峰值信噪比(PSNR),单位为分贝(dB),计算公式如下:

$$\text{PSNR} = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{\frac{1}{MN} \sum_{x,y} (p(x,y) - P'(x,y))^2} \right) \quad (6)$$

- (2) 相关系数(NC),即表示原始水印与检测到的水印的相似性,计算公式如下:

$$\text{NC} = \frac{\sum_{x,y} p(x,y) p'(x,y)}{\sqrt{\sum_{x,y} p^2(x,y) \sum_{x,y} p'^2(x,y)}} \quad (7)$$

其中 $p(x,y)$ 和 $p'(x,y)$ 分别表示原始图像和嵌入水印后的图像中坐标点为 (x,y) 的像素值, M, N 表示图像的行和列的数目。

3 实验结果与分析

3.1 水印嵌入

本次实验主要是针对灰度图像的水印技术进行研究。公开图像为 256×256 灰度图像(见图 1(a)),原水印图像为 64×64 的二值图像(见图 1(b)),置乱后水

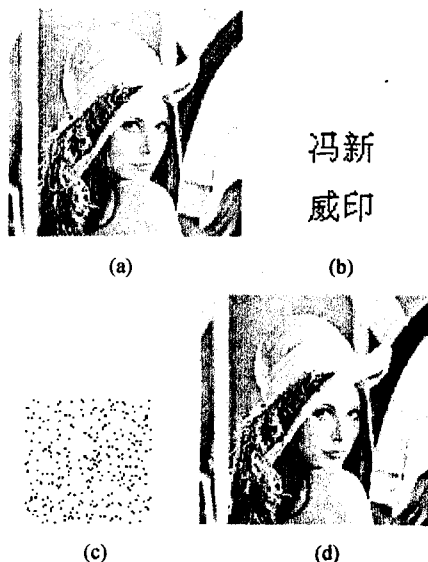


图1 水印嵌入前后

印图像(见图 1(c)),嵌入水印后图像(见图 1(d))。

下面将对嵌入水印图像进行各种抗攻击实验,以此来验证算法的可行性和有效性。

3.2 攻击测试及结果

攻击测试及结果如下:

1)给嵌入水印后的图像加方差为 0.02 的 salt 噪声,得到的结果如图 2 所示(其中,PSNR = 64.5383, NC = 0.87466)。

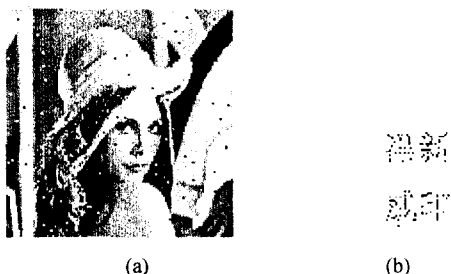


图 2 加入噪声后图像与提取水印图像

2)对嵌入水印后的图像从左上角剪掉一个 80×80 小块,得到的结果如图 3 所示(其中,PSNR = 55.0687, NC = 0.97291)。

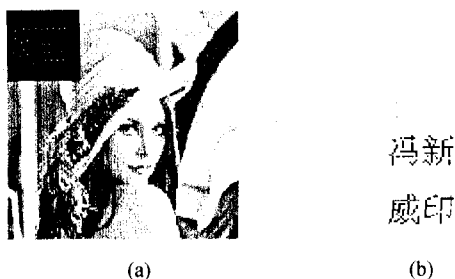


图 3 剪切后图像与提取水印图像

分析:本算法具有很强的抗剪切干扰,能够很清楚地显示出水印图像。

3)对嵌入水印后和图像进行仿真运动模糊 PSF, 参数取 31 与 11。提取水印,得到结果如图 4 所示(其中,PSNR = 57.63837, NC = 0.15063)。

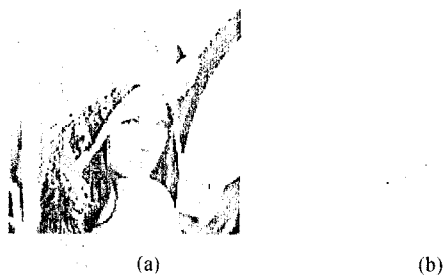


图 4 模糊后的图像与提取水印图像

分析:本算法对模糊干扰效果很差,主要因为水印嵌入在低频域,模糊后严重损坏了水印信息,所以提取

的时候得到的水印信息很少。对于抗模糊干扰本程序有很大的改进空间,需再改进算法。

4)对嵌入水印后的图像进行行程编码压缩,得到的结果如图 5 所示(其中,PSNR = 113.0373, NC = 0.98166)。

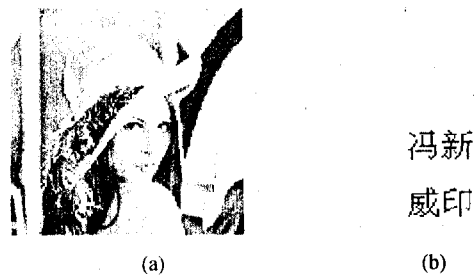


图 5 压缩后的图像与提取水印图像

分析:本算法具有很好的抗压缩干扰,压缩后能够清晰显示水印图像。

4 结束语

本算法结合了 Arnold 置乱方法和小波域的特性,并在嵌入时采用嵌入两个不同嵌入强度系数,有效地提高了水印的安全性。用加入噪声、模糊、剪切及压缩等攻击测试分别测试了本算法数字水印算法的鲁棒性,并用不同的评价标准分别对各种攻击测试作了分析与评价,验证了文中算法的可行性和有效性。

参考文献:

- [1] 杨文泉. 基于离散余弦变换图像水印算法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2003(13): 101 - 105.
- [2] 于帅珍, 沈建国. 基于 DCT 和 DWT 的彩色图像盲数字水印[J]. 计算机应用与软件, 2007, 24(8): 83 - 86.
- [3] Cox I, Kilian J, Leighton T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(12): 1673 - 1687.
- [4] Barni M, Bartolini F, Cappellini V, et al. A DCT-domain system for robust image watermarking[J]. Signal Processing, 1998, 66(3): 357 - 372.
- [5] 周亚训, 叶庆卫, 徐铁峰. 基于小波和余弦变换组合的图像水印方案[J]. 电子学报, 2001, 29(12): 1693 - 1695.
- [6] 黄达人, 刘九芬, 黄继武. 小波变换域图像水印嵌入对策和算法[J]. 软件学报, 2002, 13(7): 1291 - 1297.
- [7] 丁 玮, 闫伟齐, 齐东旭. 基于置乱与融合的数字图像隐藏技术及其应[用]. 中国图像图形学报, 2000, 5(8): 55 - 58.
- [8] 闫晓涛, 刘宏伟, 谢维信, 等. 基于 DWT 和 DCT 域的二值图像数字水印算法[J]. 计算机与数字工程, 2007, 35(3): 5 - 7.