

基于小波变换和人类视觉系统的盲数字水印算法

赵辉,余波,陈建勋

(武汉科技大学 计算机科学与技术学院, 湖北 武汉 430081)

摘要:随着因特网的发展,数字水印技术被广泛应用于数字图像、音频、视频等多媒体产品的版权保护。按照水印检测的方式可把数字水印分为盲水印和明文水印。文中提出了一种基于小波变换和人类视觉系统的盲数字水印算法,首先将水印图像利用 Arnold 混沌映射进行置乱,对宿主图像进行小波分解,然后通过改变两个小波子带相应系数的大小关系来嵌入水印信息。其中对相应小波系数修改权值的设置,利用了基于小波域的人眼视觉系统的特点。提取水印不需要原始图像。实验表明该算法在抵抗 JPEG 压缩、剪切和盐椒噪声等攻击有比较好的鲁棒性。

关键词:小波变换;人类视觉系统;盲数字水印;Arnold 混沌映射

中图分类号:TP309.7

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2008)09-0141-04

Blind Digital Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform and Human Visual System

ZHAO Hui, YU Bo, CHEN Jian-xun

(College of Computer Science and Techn., Wuhan University of Science and Techn., Wuhan 430081, China)

Abstract: With the development of the Internet, watermarking technology has been widely used in digital image, video, audio, and other multimedia fields. As according to watermark detection, watermark was divided into blind watermark and plaintext watermark. Presents a blind digital watermarking algorithm based on wavelet transform and human visual system. The proposed scheme utilize firstly Arnold chaotic map to scramble watermark and decompose the host image through wavelet transform. Then embedding is completed by enforcing the relationship between the subband coefficients and approximate coefficients. The strength of the corresponding coefficients of watermarking by applying DWT is modified through using the human visual characteristics. The original image is not required for detecting the watermarks. The experimental results demonstrate that the proposed scheme is robust against compressed by JPEG, cropping and salt and pepper noise.

Key words: wavelet transform; human visual system; blind digital watermarking; Arnold chaotic map

0 引言

数字水印技术近年来引起了人们的高度重视,数字水印技术实质上是将水印信息隐藏在数字产品中,以便辨别数字产品的来源、创作者、发行人或被授权的使用用户等版权信息。这样便要求所嵌入的水印对于常用信号的处理有鲁棒性,同时要求嵌入水印信息后的原始数据信息不会引起图像质量的明显下降。经过多年的发展,已经出现很多水印算法,每种算法都有自己的优缺点。图像水印算法从实现过程来看可以分为空域方法和变换域方法两种。空域方法是將水印信息按某种算法叠加到宿主图像的空间域,常见的空域方

法有最低有效位(LSB)算法^[1]、Pitas 方法^[2]等。变换域方法是先将宿主图像做某种变换,然后将水印信息嵌入到宿主图像的变换域^[3-5],如 DFT 域、DCT 域、DWT 域等。

Lewis 等^[6]根据人类视觉系统(HVS)的特点建立了基于小波域的人眼视觉系统对噪声的敏感性模型,Barni 等^[7]对此模型进行了改进,并将其应用到数字水印的嵌入过程。对宿主图像进行 4 级小波分解,然后根据视觉模型对每一级小波的中高频部分的系数进行修改来嵌入水印。这样水印信息主要隐藏在图像纹理比较多、亮度比较暗的地方和图像的边缘区域,这就比较好地保证了水印图像的不可见性。

文中根据小波域的人类视觉系统对噪声的敏感性模型和文献[8]提出的基于分形的感兴趣区域水印算法的思想,提出了一个新的基于小波变换和人类视觉系统的盲数字水印算法。首先将水印图像利用 Arnold

收稿日期:2007-12-07

基金项目:湖北省教育科学技术研究项目(D200723001)

作者简介:赵辉(1982-),男,湖北襄樊人,硕士研究生,研究方向为图像处理。

混沌映射进行置乱,对宿主图像进行小波分解,然后通过改变两个小波子带相应系数的大小关系来嵌入水印信息。其中对相应小波系数修改权值的设置,利用了基于小波域的人眼视觉系统的特点。实验结果表明该算法具有很好的鲁棒性、不可见性和安全性。

1 人类视觉系统感知模型

Lewis 等在文献[6]中指出 HVS 具有如下特点:

- 人眼对高频带以及对角($\pm 45^\circ$)方向的噪声不敏感(频率掩盖);
- 人眼对很亮或很暗区域的噪声不敏感(亮度掩盖);
- 人眼对纹理丰富区域的噪声不敏感(纹理掩盖)。

根据人类视觉的这些特点, Lewis 等建立了基于小波域的人眼视觉系统对噪声的敏感性模型, Barni 等在文献[7]中对此模型进行了改进。图像经过离散小波变换,可将图像分成 4 个子带, 1 个低频子带和 3 个中高频细节子带, 低频子带还可以进一步分解。定义 I_l^θ 为第 l 层的 θ 方向的子带, 其中 $l = 0, 1, 2, 3, \theta \in \{0, 1, 2, 3\}$ 表示每层小波分解后的四个方向(低频, 水平, 垂直, 对角线), 则 I_l^θ 中 (i, j) 处系数的噪声敏感模型为:

$$q_l^\theta(i, j) = S(l, \theta) \times L(l, i, j) \times T(l, i, j)^{0.2} \quad (1)$$

式(1)中 $S(l, \theta)$ 表示 I_l^θ 子带对噪声的掩盖因子, 即

$$S(l, \theta) = \begin{cases} \sqrt{2}, \theta = 1 \\ 1, \text{其他} \end{cases} \times \begin{cases} 1.00, l = 0 \\ 0.32, l = 1 \\ 0.16, l = 2 \\ 0.1, l = 3 \end{cases} \quad (2)$$

式(1)中 $L(l, i, j)$ 表示子带 I_l^θ 中 (i, j) 处的亮度因子, 则 $L(l, i, j)$ 可由式(3)定义。

$$L(l, i, j) = 1 + \frac{1}{256} I_3^3(1 + [\frac{i}{2^{3-l}}], 1 + [\frac{j}{2^{3-l}}]) \quad (3)$$

式(1)中 $T(l, i, j)$ 为纹理掩盖效应的因子, 可用不同细节子图像局部均值的平方和低频子带的方差两部分进行表示, 其定义如式(4)所示:

$$T(l, i, j) = \sum_{k=0}^{3-l} \frac{1}{16^k} \sum_{\theta=0}^3 \sum_{x=0}^1 \sum_{y=0}^1 [I_{k+l}^\theta(y + \frac{i}{2^k}, x + \frac{j}{2^k})] * \text{Var}\{I_3^3(1 + y + \frac{i}{2^{3-l}}, 1 + x + \frac{j}{2^{3-l}})\}_{x=0,1} \quad (4)$$

$q_l^\theta(i, j)$ 值越大, 就表示人眼对噪声越不敏感。以

此作为修改系数的权重, 可达到自适应的效果。

2 水印的嵌入和提取算法

2.1 水印的嵌入算法

对宿主图像进行 4 级小波分解, $I_l^\theta(u, v)$ 为第 l 层的 θ 方向子带 (u, v) 处的系数值。 $W(i, j)$ 表示大小为 $M \times N$ 水印的像素(0 或 1)。水印的嵌入是通过修改子带 I_1^1 中的相应小波系数, 改变子带 I_1^1 与子带 I_2^3 中相应小波系数的关系, 达到嵌入水印信息的效果。水印的嵌入就是使嵌入位置的小波系数满足式(5)所示的关系:

$$\begin{cases} I_1^1(u, v) \leq s * I_2^3(m, n), \text{if } W(i, j) = 0 \\ I_1^1(u, v) > s * I_2^3(m, n), \text{if } W(i, j) = 1 \end{cases} \quad (5)$$

其中 s 值的大小由实验确定。其嵌入算法如下所述:

Step1: 对宿主图像进行 4 级小波分解, 设置变量 a, d 和 s 的值, 同时对水印图像进行 K 次 Arnold 变换, 其中 a, d 和 s 的值是由实验确定。把 s 和 K 作为密钥 Key 保存。

Step2: 在 I_1^1 子带中确定水印的嵌入位置 (u, v) , 通过改变 I_1^1 子带相应的小波系数将水印信息 $W(i, j)$ 嵌入到 I_1^1 子带中。具体步骤如下:

a. if $W(i, j) = 0$, 则按如下情况嵌入水印信息:

(1) if $I_1^1(u, v) \leq s * I_2^3(m, n)$, 根据式(1), 计算 $q_1^1(u, v)$ 的值, 然后修改小波系数 $I_1^1(u, v)$:

$$I_1^1(u, v) = I_1^1(u, v) - a * q_1^1(u, v)$$

(2) if $I_1^1(u, v) > s * I_2^3(m, n)$, 则使 $I_1^1(u, v) = s * I_2^3(m, n) - d$

b. if $W(i, j) = 1$, 则按如下情况嵌入水印信息:

(1) if $I_1^1(u, v) \leq s * I_2^3(m, n)$, 则使 $I_1^1(u, v) = s * I_2^3(m, n) + d$

(2) if $I_1^1(u, v) > s * I_2^3(m, n)$, 根据式(1), 计算 $q_1^1(u, v)$ 的值, 然后修改小波系数 $I_1^1(u, v)$:

$$I_1^1(u, v) = I_1^1(u, v) + a * q_1^1(u, v)$$

其中 $m = \text{ceil}(u/2), n = \text{ceil}(v/2)$, ($\text{ceil}(x)$ 表示对 x 上取整)。

Step3: 对嵌入水印信息后的图像进行 4 级小波反变换来合成图像, 得到嵌入水印的水印图像。

2.2 水印的提取算法

水印的提取不需要原始宿主图像, 首先对含有水印的图像进行 4 级小波变换, 获得密钥 Key, 然后根据 I_1^1 子带和 I_2^3 子带的关系, 按式(6)所示的关系提取水印, 对提取出的水印信息还需要进行 Arnold 混沌映射反变换。

$$\begin{cases} \text{if } I_1^2(u,v) \leq s * I_2^2(m,n), W(i,j) = 0 \\ \text{if } I_1^2(u,v) > s * I_2^2(m,n), W(i,j) = 1 \end{cases} \quad (6)$$

3 实验结果

以 512×512 的 8 位 Lena 图像作为宿主图像(见图 1),水印图像(见图 2)为 64×64 的二值图像。经过多次实验确定 a 、 d 和 s 的值分别取为 0.028, 11 和 0.008。对二值水印图像进行 K (20) 次 Arnold 变换。使用的小波为 Daubechies 9/7 小波,嵌入水印的图像和提取的水印图像如图 3 和图 4 所示。为定量说明算法的隐蔽性和鲁棒性,用以下两个指标来度量:

(1) 峰值信噪比(PSNR),其定义为:

$$\text{PSNR} = 10 * \lg \frac{\text{MAX}(f^2(x,y))}{\frac{1}{M * N} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N (f(x,y) - f'(x,y))^2} \quad (7)$$

用来检测水印的隐蔽性。

(2) 相关系数(NC),其定义为:

$$\text{NC} = \frac{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N w(x,y)w'(x,y)}{\sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N w(x,y)w(x,y)} \quad (8)$$

用来衡量原始水印与提取水印的相关性。



图 1 宿主图像



图 2 水印图像



图 3 嵌入水印的图像

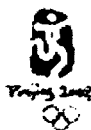


图 4 提取的图像

根据式(7),式(8)计算出嵌入水印后图像的 $\text{PSNR} = 38.2406$,提取水印的 $\text{NC} = 1$ 。

图 5 为把嵌入水印的图像剪切 1/10、1/5、3/10、2/5 和 1/2 时,从中提取出的水印。此时被剪切图像的 PSNR 和提取水印的 NC 如表 1 所示。

表 1 剪切攻击

攻击	1/10	1/5	3/10	2/5	1/2
PSNR	16.0121	12.7506	11.0093	9.6566	8.6861
NC	0.9269	0.8336	0.7216	0.6280	0.5256



(a) 剪切1/10



(b) 剪切1/5



(c) 剪切3/10



(d) 剪切2/5



(e) 剪切1/2

图 5 从被剪切嵌入水印图像中提取出来的水印图像
从表 1 中的数据 and 提取出的水印图像可以看出该算法能比较好地抵抗剪切攻击。

图 6 为把嵌入水印的图像用 StriMark Benchmark 软件进行压缩质量因子分别为 20~100 的压缩时,从中提取的水印图像。表 2 为被通过不同压缩质量因子压缩的图像的 PSNR 和分别从中提取水印的 NC。

表 2 JPEG 压缩攻击

攻击	20	30	40	50	60
PSNR	24.6213	24.7476	24.8386	24.8929	24.9403
NC	0.4206	0.7052	0.8652	0.9359	0.9746
攻击	70	80	90	100	
PSNR	25.0020	25.0670	25.1500	25.2732	
NC	0.9871	0.9936	0.9980	1	



(a) Q=20



(b) Q=30



(c) Q=40



(d) Q=50



(e) Q=60



(f) Q=70



(g) Q=80



(h) Q=90



(i) Q=100

图 6 经过压缩质量因子为 20~100 的 JPEG 压缩后的图像中提取的水印

从表 2 中的数据和从经过压缩的图像中提取出的水印图像可发现该算法有很好抵抗 JPEG 压缩攻击的能力。

图像经过 StriMark Benchmark 软件中的 ConvFilter1 处理,其亮度被提高,通过 ConvFilter2 处理的图像的亮度被减弱,这时一般的水印算法很难从经过 ConvFilter1、ConvFilter2 处理过的嵌入水印的图像中提取出水印,而本算法却能比较好抵抗这种攻击,图 7,图 9 分别为嵌入水印的图像经过 ConvFilter1, ConvFilter2 处理后的图像,图 8,图 10 分别为从它们中提取出水印,其 NC 分别为 0.4879,0.9965。

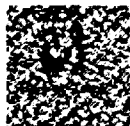


图 7 经过 ConvFilter1 处理后图像 图 8 提取的水印

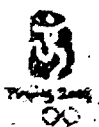
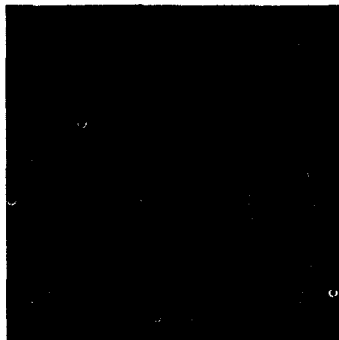


图 9 经过 ConvFilter2 处理后图像 图 10 提取的水印

该算法也能抵抗加高斯噪声和盐椒噪声的攻击,嵌入水印的图像分别加 0.005 的高斯噪声和 0.02 的盐椒噪声攻击后,从中提取水印的 NC 分别为 0.7631, 0.8102。

嵌入水印的图像用 StriMark Benchmark 软件来调节它的 PSNR 来进行攻击,该算法对这种攻击有很强的鲁棒性。从经过调整 PSNR 为 50~100 攻击后的嵌

入水印图像中提取的水印图像的 NC 如表 3 所示。

表 3 调整图像的 PSNR 攻击

攻击	PSNR50	PSNR60	PSNR70	PSNR80	PSNR90	PSNR100
NC	1	1	1	0.9997	0.9994	0.9988

4 结束语

文中提出的基于小波变换和人类视觉系统的盲数字水印算法,首先对待嵌入的水印利用 Arnold 映射进行置乱预处理,这样可使嵌入水印的保密性得到提高。在嵌入水印的过程中,对相应小波系数修改权值的设置,利用了基于小波域的人眼视觉系统对噪声的敏感性模型,可达到自适应的效果。经过实验表明该算法对很多攻击有很好的鲁棒性。

参考文献:

- [1] Nikolaidis N, Pitas I. Copyright Protection of Image Using Robust Digital Signatures[C]//Proc. of ICASSP'96. Mara, Japan:[s. n.],1996: 2168-2171.
- [2] Pitas I. A Method for signature Casting on Digital Images[C]//Proc. of IEEE International Conference on Image Processing. Lausanne, Switzerland:[s. n.], 1996: 215-218.
- [3] 曹荣,王颖,李象霖.一种自适应的 DFT 域数字水印算法[J].计算机工程与应用,2006(10):77-78.
- [4] Liu S Z, Bovid A C. Efficient DCT-domain blind measurement and reduction of blocking artifacts[J]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(12): 1139-1149.
- [5] 胡玉平,韩德志,羊四清.抗几何变换的小波域自适应图像水印算法[J].系统仿真学报,2005,17(10):2470-2476.
- [6] Lewis A S, Knowles G. Image Compression using the 2-D Wavelet Transform[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992,1(2): 244-250.
- [7] Barni M, Bartolini F, Piva A. Improved Wavelet Based Watermarking Through Pixel-wise Masking[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001,10(5):783-791.
- [8] Ni Rongrong, Ruan Qiuqi. Region of Interest Watermarking Based on Fractal Dimension[C]//Proc. of The 18th International Conference on Pattern Recognition(ICPR'06). Hong Kong, China:[s. n.], 2006:934-937.

(上接第 140 页)

- 现[J].计算机应用,2003,23:262-264.
- [3] 彭文波. MD5 算法原理及应用[J].信息网络安全,2004(5):44-46.
- [4] Interface specification between SMSC and SMS extinction entity v1.2[M]. China mobile group,2000.

- [5] 中国移动通信有限公司.中国移动通信互联网短信网关接口协[M].北京:中国移动通信有限公司,2003.
- [6] 多纳休.Java 数据库编程宝典[M].北京:电子工业出版社,2004:32-35.