

# 基于遗传算法的半脆弱水印方法研究

王祥青<sup>1</sup>, 张锋辉<sup>1</sup>, 黄震<sup>2</sup>

(1. 皖西学院, 六安 237012; 2. 天津商业大学, 天津 300134)

**摘要:** 提出了一种基于遗传算法的自适应半脆弱图像水印方法, 该方法要求水印对常见的操作具有鲁棒性, 如 JPEG 压缩, 而对其他的一些恶意操作具有脆弱性。根据图像局部区域的类型自适应地确定了水印的嵌入强度, 用 GA 来优化了水印的嵌入位置。仿真结果表明, 方法不会影响图像的主客观质量, 而且可嵌入的水印信息量大。更为重要的是, 方法可以准确确定恶意攻击的位置, 显示了相比于其他方法的优越性。

**关键词:** 半脆弱水印; 遗传算法; 鲁棒性; JPEG 压缩

中图分类号: TS865; TS853<sup>+</sup>.6 文献标识码: A 文章编号: 1001-3563(2012)23-0105-04

## Study of Semi-fragile Image Watermarking Method Based on Genetic Algorithm

WANG Xiang-qing<sup>1</sup>, ZHANG Feng-hui<sup>1</sup>, HUANG Zhen<sup>2</sup>

(1. West Anhui University, Liuan 237012, China; 2. Tianjin University of Commerce, Tianjin 300134, China)

**Abstract:** A new semi-fragile digital image watermarking method based on genetic algorithm was proposed. This method requires the watermark robust to common operations such as JPEG compression, and be fragile to other malicious actions. The embedding strength of the watermark was determined adaptively based on the type of image local region and GA was used to optimize the location of the embedded watermark. Simulation results proved that the proposed method has no influence on the objective and subjective quality of the image and the watermark can embed large amount of information; more importantly, the method proposed can exactly accurately determine the location of the malicious attacks, which demonstrates its superiority over the other methods.

**Key words:** semi-fragile watermark; genetic algorithm; robust; JPEG compression

随着信息技术的高速发展, 人们可以非常方便地进行任意编辑、修改、复制和散布数字信息, 但是也带来了信息安全和盗版等问题, 如对图像、声音和视频等信息媒体产品的恶意篡改。在包装印刷行业中, 数字水印的防伪方法是将特定的信息(如版权信息、产品信息和公司标志等)嵌入到包装印刷的图像中, 以证明原创者对产品的所有权, 进而有效地起到版权保护作用。

在数字水印技术中, 抗 JPEG 压缩一直以来就是人们的研究重点。目前关于图形水印的 JPEG 压缩算法主要分为 2 类: 一是能够容忍一定程度的 JPEG 压缩, 并能够检测信息载体中恶意篡改的半脆弱水印算

法<sup>[1-2]</sup>; 二是将水印融入到图像的压缩算法中, 在压缩的过程中嵌入水印, 在解压的过程中提取水印, 用来对 JPEG 图像进行精确认证的脆弱水印算法<sup>[3]</sup>。早期的 JPEG 图像认证水印算法为了保证嵌入水印的载体更具有透明性, 选定在 DCT 系数上嵌入水印信息, 而多数的 DCT 系数没有得到保护, 使 JPEG 压缩图像认证水印算法存在严重的安全隐患。为了增强图像认证的安全性, Li 等人提出了新的脆弱水印方案<sup>[5]</sup>。该算法利用非水印嵌入 DCT 系数生成水印信息, 然后将生成的水印信息嵌入到 DCT 系数中, 进而保护图像块的所有 DCT 系数。文献[6]报道了一种 JPEG 压缩过程中的不变参量方法, 这种方法利用小

收稿日期: 2012-09-16

基金项目: 六安市定向委托皖西学院市级研究项目(2011LW016); 安徽省高校优秀青年人才基金项目(2010SQRL185); 安徽高等学校省级自然科学研究项目(KJ2009B051)

作者简介: 王祥青(1982-), 男, 安徽六安人, 硕士, 皖西学院助教, 主要研究方向为嵌入式应用及图像处理。

波特特性来检测图像被篡改的区域,进而加以准确定位。在优化水印的嵌入位置时,Aslantas<sup>[7]</sup>提出了基于遗传算法的优化方法,该方法可以使水印性能得到明显的提高。为了提高水印算法的安全性和减少运算量,Hu 等人<sup>[8]</sup>提出基于小波变换的脆弱水印算法。本文提出了一种可以抗印刷和扫描过程的水印算法,该水印具有很强的鲁棒性,同时能够对恶意篡改脆弱性,既能保护信息载体,又证明版权归属,从而实现对包装印刷图像的防伪与版权保护。

## 1 一种自适应半脆弱图像水印算法

### 1.1 遗传算法

自然界中优胜劣汰,适者生存,遗传算法<sup>[7]</sup>(GA)就是计算机模拟这种生物的行为。遗传操作包括选择操作、交叉操作和变异操作。选择(复制):根据每个个体的适应度,按照一定的规则或方法,从第  $n$  代群体  $P(n)$  中选择出一些优良的个体遗传到下一代群体  $P(n+1)$  中;交叉:将群体  $P(n)$  内的各个个体随机搭配成对,对每一对个体,以某个概率(称为交叉概率)交换它们之间的部分染色体;变异:对群体  $P(n)$  中的每一个个体,以某一概率(称为变异概率)改变某一个或某一些基因座上的基因值为其他基因值。

遗传算法的步骤是首先计算适应度值,对其进行结束条件判断,遗传算法是否终止,取决于该结束条件,比如将适应值设置成结束条件,来控制算法的结束。结束条件如果满足,则遗传算法结束,并给出最优结果。否则继续遗传算法,进行选择、交叉和变异操作,生成下一代。接着返回到开始,从新进行循环,直到满足结束条件的新生代产生,遗传算法终止,并给出最优结果。

为了寻找优化的嵌入对策,在遗传算法的基础上提出了一种自适应半脆弱水印算法。

### 1.2 水印嵌入

设原始图像  $I$  大小为  $M \times N$ 。二值水印大小为  $M' \times N'$ 。水印图像在嵌入前首先要进行加密置乱,并且由密钥控制,从而提高了系统的安全性。然后分别对 HL2 和 LH2 进行分块,每块大小  $2 \times 2$ ,故每 4 个小波系数对应一个水印图像像素。HL2 和 LH2 子带都有  $M/4 \times N/4$  个系数,分块后变成  $M/8 \times N/8$  系数块。为了便于分析,把 HL2 子带的能量块记  $E_1(k)$ ,把 LH2 子带的能量块记  $E_2(k)$ 。令  $\Delta E(k) = |E_1(k) - E_2(k)| + \delta$ ,

则:

$$E_1(k) = A_1^2(k) + B_1^2(k) + C_1^2(k) + D_1^2(k) \quad (1)$$

$$E_2(k) = A_2^2(k) + B_2^2(k) + C_2^2(k) + D_2^2(k) \quad (2)$$

$$k = 1, 2, \dots, 64$$

其中: $\delta$  是阈值,它用于保证嵌入水印的最小修改量。水印的嵌入过程如下:

(1)将宿主图像  $I$  进行两层小波分解,采用 LH2 和 HL2 子带作为水印嵌入区域。得到的子带图像大小是  $M/4 \times N/4$ ,二值水印图像大小是  $M' \times N'$ 。

(2)把 LH2 和 HL2 分别分成  $M/8 \times N/8$  个  $2 \times 2$  的系数小块,从中选取  $M' \times N'$  个系数块位置用于嵌入水印。计算其每一小块的能量值,即  $E_1(k)$  和  $E_2(k)$ 。

$W(k)$  代表二值水印信息 0 或 1,  $k = 1, 2, \dots, 64$ 。

(3)然后比较  $E_1(k)$ ,  $E_2(k)$  的大小关系,来嵌入水印信息。嵌入规则如下:

①若  $E_1(k) - E_2(k) \geq \delta$  且  $W(k) = 1$  时,相关系数不作修改;

②若  $E_1(k) - E_2(k) < \delta$  且  $W(k) = 1$  时,修改系数;即增加 LH2 中子块的系数值,并减小 HL2 中子块的系数值。其修改公式如下:

$$A_1' = A_1(k) - A_1(k) / \sqrt{E_1(k)} (\Delta E(k) / 2) \quad (3)$$

$$A_2' = A_2(k) - A_2(k) / \sqrt{E_2(k)} (\Delta E(k) / 2) \quad (4)$$

其它相对应的系数块可按照上述公式计算得到。上述公式满足各个系数之间增加或减少比例分配,从而避免因系数修改过大而造成的图像失真。把修改过的系数值分别代入(3),(4)中,得到  $E_1'(k) > E_2'(k)$ ,  $W(i) = 1$  满足了嵌入条件。

③若  $E_2(k) - E_1(k) > \delta$  且  $W(i, j) = 0$  时,不做修改;

④若  $E_2(k) - E_1(k) < \delta$  且  $W(i, j) = 0$  时,修改系数;即减小 LH2 中子块的系数值,增加 HL2 中子块的系数值。其修改公式如下:

$$A_1' = A_1(k) - A_1(k) / \sqrt{E_1(k)} (\Delta E(k) / 2 + \delta) \quad (5)$$

$$A_2' = A_2(k) - A_2(k) / \sqrt{E_2(k)} (\Delta E(k) / 2 + \delta) \quad (6)$$

同理可以修改其它系数块,修改过的系数值分别代入式(3),(4)中,得到  $E_1'(k) > E_2'(k)$ ,  $W(i) = 0$  满足了嵌入条件。

在上述系数值的修改方法中,阈值  $\delta$  用于控制最小的修改量,而且也起到平衡鲁棒性与图像质量的作用。 $\delta$  愈大则鲁棒性愈好但会造成图像质量下降,相反, $\delta$  愈小的话可以保障图像质量但鲁棒性愈差。 $\delta$

大小可通过实验来确定。

### 1.3 水印提取

水印提取是水印嵌入的逆步骤。在数字水印提取过程中,含水印图像要先进行小波变换,然后确定水印是嵌入在哪个子带,进而根据具体算法提取水印。整个水印提取过程不需要原始载体图像,数字水印的提取步骤如下(设含水印图像  $I'$ ):

(1) 对含水印图像  $I'$  进行二级小波变换,并选取子带  $I'^{LH2}$  和  $I'^{HL2}$  用于提取水印。

(2) 将所选取的子带  $I'^{LH2}$  和  $I'^{HL2}$  划分成  $M/8 \times N/8$  个  $2 \times 2$  的图像子块,然后根据比较两个子带中的子块能量值大小关系来提取水印。设  $W'(i)$  是提取出来的水印序列。具体提取规则如下:

①若  $E_1(k) - E_2(k) \geq \delta$ , 则  $W'(i) = 1$ ; ②若  $E_1(k) - E_2(k) < \delta$ , 则  $W'(i) = 0$ 。

(3) 将得的混乱不堪的二值水印图像序列进行解密变换,即通过二维的 Arnold 变换得到二值水印图像  $W'(i, j)$ 。

### 1.4 优化嵌入位置

现有研究表明,在 DWT 域水印方法中,水印嵌入位置选取的不同会影响水印的不可见性和鲁棒性。采用 GA 为每一个图像块寻找最佳的嵌入位置。

先进行染色体编码和适应度值的选取,然后再设种群大小为  $G$ 。第  $i$  个的染色体  $P_i$  的编码如(7)式所示,它是从小波系数块 LH2 和 HL2 中任意选取  $M' \times N'$  个系数块位置作为一个染色体,对这些位置进行优化,选择满足适应值条件的位置。它由嵌入水印的  $M' \times N'$  个图像块的嵌入位置依次排列而成。

$$P_i = \{p_{i,1}, p_{i,2}, \dots, p_{i,M' \times N'}\} \quad i \in (1, 2, \dots, M/8 \times N/8) \quad (7)$$

在 GA 进化过程中,对每个染色体  $P_i$ ,根据其确定的图像块的嵌入算法,进行水印嵌入,得到含水印图像  $I'_i$ 。对含水印图像  $I'_i$  进行攻击,再分别提取每种攻击下的水印。按照下式计算此染色体的适应度值:

$$f_i = \text{PSNR}_i + \lambda \text{NC}_{\text{jpeg}} + \lambda \sum_{q=1}^Q (1 - \text{NC}_{i_q}) \quad (8)$$

其中  $f_i$  为第  $i$  个染色体的适应度值;  $Q$  为水印攻击方法的总数;  $\lambda$  为优化因子,可以适当提高适应值,使其满足进化条件。  $\text{PSNR}_i$  为原始图像和含水印图像之间的峰值信噪比,以考察水印不可见性。  $\text{NC}_{\text{jpeg}}$  为原始水印与 JPEG 压缩攻击后的提取水印之间的归一化相关系数值,以考察水印鲁棒性。  $\text{NC}_{i_q}$  为原始水

印与  $Q$  个攻击后的提取水印之间的归一化相关系数值,以表征水印脆弱性。  $\text{NC}_{\text{jpeg}}$  越大越好,  $\text{NC}_{i_q}$  越小越好,这样适度值  $f_i$  就会更大,可以满足进化的要求。

在水印嵌入后,选择的测试攻击有 25% 剪切 (CROP)、低通滤波 (LPF) 和 JPEG 压缩操作。

## 2 性能分析及实验仿真

### 2.1 水印的透明性

仿真实验使用了原始图像,所有的图像大小均为  $512 \times 512$ ,二值水印图像为  $w$ , 大小为  $32 \times 32$ 。在实验中,原始图像的所有的图像块被用来嵌入水印,每一个图像块嵌入一位水印信息。其中,  $\lambda$  值选择的不同会导致适应度函数的不同,对优化的结果影响较大。采用峰值信噪比 (PSNR) 和归一化相关系数 (NC) 对实验结果进行了考察。前者用以评价原始宿主图像与含水印图像之间的差别,后者可以定量分析提取水印与原始水印的相似度。一般地讲,较大的 PSNR 说明含水印的图像非常类似于原始载体图像,表明该方法具有较好的不可感知性;接近 1 的 NC 值则说明该方法有较好的鲁棒性。

原始载体图像和嵌入水印后的图像见图 1, PSNR



图 1 水印的嵌入与提取

Fig. 1 Embedding and extraction of watermark

为 44.10 dB。由此可见,该方法使水印具有较好的隐蔽性。提取的水印与原始水印完全相同 ( $\text{NC} = 1$ )。

### 2.2 遗传优化实验

在选择原始图像为 Photo 图时,不同  $\lambda$  值导致的优化结果见表 1。通过观察优化结果中的原始图像与

表 1  $\lambda$  值对遗传算法优化结果的影响

Tab. 1 Effect of  $\lambda$  values on GA optimization

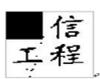
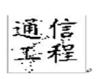
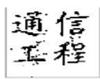
	PSNR 值	滤波 (NC 值)	剪切 (NC 值)	压缩因子 70(NC 值)	Fitness 值
$\lambda = 10$	40.12	0.85	0.79	0.89	118.11
$\lambda = 20$	40.02	0.86	0.80	0.90	124.23
$\lambda = 30$	39.49	0.90	0.88	0.93	128.26
$\lambda = 40$	39.14	0.89	0.76	0.91	127.3

嵌入水印后图像的 PSNR 值和提取水印与原始水印的 NC 值、适应度值 (Fitness), 可以看出当优化因子  $\lambda = 30$  时, 水印效果较理想。

选定  $\lambda$  值之后, 对 Lena 和 F16 图像采用前述的方法进行优化实验, 结果见表 2。

表 2 2 种图像进行遗传优化后的结果

Tab. 2 Results for two images obtained by using the GA scheme

剪切攻击水印图像	提取水印	滤波攻击水印图像	提取水印
			
Lena	NC=0.75	Lena	NC=0.90
压缩攻击水印图像	提取水印	印刷扫描水印图像	提取水印
			
F16	NC=0.86	0.9646	0.9705

这些结果表明, 在 4 种不同测试攻击下, 相似度仍然很高。其中对 JPEG 压缩的 NC 值接近于 1, 显示出对 JPEG 压缩的很好鲁棒性。因此可见, 方法对一些常见攻击具有高度敏感性, 优化后的水印性能令人满意。

### 2.3 与其它算法的比较

所提的方法与文献中所用的方法<sup>[8]</sup>进行了抗 JPEG 压缩的比较, 见表 3, 其中的  $Q$  为压缩因子, NC

表 3 两种方法抗 JPEG 压缩的比较

Tab. 3 Comparison of two methods against JPEG compression

本方法				
	$Q=70$	$Q=60$	$Q=50$	$Q=40$
	NC=0.93	NC=0.84	NC=0.78	NC=0.69
	文献 <sup>[8]</sup>			
$Q=70$		$Q=60$	$Q=50$	$Q=40$
NC=0.85		NC=0.79	NC=0.66	NC=0.45

为水印的相识度。利用遗传算法在数字水印中的应用, 优化了水印的效果, 进一步提高了抗 JPEG 压缩性能, 压缩质量因子甚至达到 40% 仍然可以辨认出水印信息。而采用 Hu 等人<sup>[8]</sup>所提出的算法, 压缩质量因子达到 40% 很难辨认出水印信息。实验结果表明本文方法优于其他方法。

## 3 结论

基于图像防伪的目的, 提出了一种自适应水印算法, 其根据数字图像的小波分解高频系数之间的能量值大小关系来进行水印的提取和嵌入。优化实验表明, 该算法能有效地抗 JPEG 压缩。在小波域的基础上引入了改进的遗传算法, 以优化水印的嵌入位置, 提高了水印对 JPEG 压缩的鲁棒性和对其他攻击的脆弱性。进一步的工作将致力于自适应脆弱水印方面的研究。

### 参考文献:

- [1] 张静, 张春田. 用于 JPEG2000 图像认证的半脆弱性数字水印算法[J]. 电子学报, 2004, 32(1): 157-160.  
ZHANG Jing, ZHANG Chun-tian. Semi-Fragile Watermarking for JPEG2000 Image Authentication[J]. Acta Electronica Sinica, 2004, 32(1): 157-160.
- [2] 孙圣和, 陆哲明. 数字水印处理技术[J]. 电子学报, 2000, 28(8): 85-90.  
SUN Sheng-he, LU Zhe-ming. Digital Watermarking Techniques[J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(8): 85-90.
- [3] BO Li, XU Tao, JI Sheng-li, et al. A New Semi-fragile Watermarking Algorithm for Image Authentication, 2008 7th World Congress on Intelligent Control and Automation, 2008: 5928-5932.
- [4] 王莉, 洪亮. 探析包装防伪印刷[J]. 包装工程, 2006, 27(5): 301-303.  
WANG Li, HONG Liang. Analysis on Counterfeit Prevention Printing of Package[J]. Packaging Engineering, 2006, 27(5): 301-303.
- [5] 李春, 黄继武. 一种抗 JPEG 压缩的半脆弱水印算法[J]. 软件学报, 2006, 17(2): 315-324.  
LI Chun, HUANG Ji-wu. A Semi-Fragile Image Watermarking Resisting to JPEG[J]. Journal of Software, 2006, 17(2): 315-324.
- [6] 姚军财. 基于人眼视觉特性的印刷图像压缩技术研究[J]. 包装工程, 2011, 32(5): 69-72.  
YAO Jun-cai. Compression Technology of Printed Image Based on Human Vision Characteristics[J]. Packaging Engineering, 2011, 32(5): 69-72.
- [7] ASLANTAS V. A Singular-value Decomposition-based Image Watermarking Using Genetic Algorithm[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2008, 62(5): 386-394.
- [8] HU J Q, HUANG J W, HUANG D R, et al. A DWT Based Fragile Watermarking Tolerant of JPEG Compression[J]. Lecture Notes in Computer Science, 2002, 2613: 179-188.