

# 图像盲水印算法的遗传优化

方志军 罗桂华 李润午 谭亮

(江西财经大学信息管理学院, 南昌 330013)

**摘要** 为了提高数字水印的实用性,必须保证水印的鲁棒性和透明性,为此在Cox等人提出的水印稳健性理论的指导下,充分考虑人类视觉系统特性,提出了一种基于遗传算法的图像盲水印算法。通过基于小波边缘的检测,调节系数差,实现了水印透明性和鲁棒性的综合优化。实验结果表明,该算法不仅对于水印的攻击具有强鲁棒性,且兼顾载体图像的质量。

**关键词** 盲水印 遗传算法 DCT 小波变换 人类视觉系统

中图分类号:TP301.6 文献标识码:A 文章编号:1006-8961(2008)10-1934-04

## Optimizing Image Blind Watermarking Using Genetic Algorithm

Fang Zhi-jun, Luo Gui-hua, Li Run-wu, Tan Liang

(School of Information Technology, Jiangxi University of Finance and Economics, Nanchang 330013)

**Abstract** To improve the practicability of digital watermarking, watermarking imperceptibility and robustness must be ensured. Under the instruction of watermarking robust theory proposed by Cox et al, considering human vision system characteristics fully, a blind digital watermark method based on genetic algorithm is proposed. By adjusting coefficient difference based on edge detection in wavelet transformation domain, integrative optimization of watermarking imperceptibility and robustness is implemented. Experiment show that the method we proposed not only is robust to attacks, but ensures the quality of watermarking-embed image.

**Keywords** blind digital watermarking, genetic algorithm, DCT, wavelet transformation, human vision system (HVS)

## 1 引言

遗传算法(GA)是近年发展起来的一种全新的随机搜索与优化算法,它是一种基于生物遗传和进化机制的适合于复杂系统优化的自适应概率优化技术<sup>[1,2]</sup>,已在模式识别(包括汉字识别)、图像恢复、图像边缘特征提取等方面得到了应用。

数字水印分为私有水印和公有水印,私有水印检测时需要检测密码及原始图像,而公有水印则只需一个检测密码即可,这样的水印算法称为盲水印,所以后者具有更好的应用前景<sup>[3]</sup>。

根据人类视觉系统特性,使用DB2小波进行边

缘检测,根据边缘点的个数对载体图像块进行分类,采用不同的嵌入系数,使用遗传算法优化对水印的嵌入进行动态调节;同时结合水印算法,对遗传算法中多目标优化问题进行了初步的探究。

## 2 基于遗传算法的水印图像优化方法

### 2.1 多目标优化算法

实际工程中的优化问题很大一部分是多目标优化问题,各个目标之间一般都是互相矛盾的。一个多目标优化问题如果存在无穷多个非劣解,它们形成一个非劣解集<sup>[4]</sup>。在求解实际问题时,只能通过决策者的选择,将其最满意的一个非劣解作为最终解。

求解最终解主要有 3 类方法:一是先求出大量的非劣解,构成非劣解的一个子集,然后按照决策者的意图找出最终解,称为生成法;二是不先求出很多的非劣解,而是通过分析者与决策者对话的方式,逐步求出最终解,称为交互法;最后一类是事先要求决策者提供目标之间的相对重要程度,算法以此为依据,将多目标问题转化为单目标问题进行求解。这里所使用的优化方法就是最后一类方法,也就是求以下函数的近似最大(小)值<sup>[4]</sup>:

$$F(x) = \alpha_1 f_1(x) + \alpha_2 f_2(x) + \cdots + \alpha_n f_n(x) \quad (1)$$

式中,  $\alpha_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 为设定的各个目标函数权值,代表了其重要程度。

此类问题的难点是如何设置各个优化目标的权重,使其与决策者的意图一致。为了更好地处理这个问题,采用主观赋权和客观赋权相结合的方法,则式(1)可以表示成以下形式:

$$F(x) = \beta_1 w_1 f_1(x) + \beta_2 w_2 f_2(x) + \cdots + \beta_n w_n f_n(x) \quad (2)$$

这里  $\beta_i$  表示第  $i$  个目标属性的主观权值,  $w_i$  表示第  $i$  个目标属性的客观权值。( $i = 1, 2, \dots, n$ ) 根据以上分析,所要求出的是式(2)中  $w_i$ , 就可以找到与决策者的意图一致的权值。但这在实际的工程中是比较困难的,往往是通过人工智能方法或近似估计求解客观权值。

在水印算法中,主要针对的是水印的透明性和鲁棒性的优化。水印算法中设置的最小系数差用  $x$  表示(为了提高嵌入水印的稳健性对两个系数之间的差值进行调整,其调整的数值称为最小系数差)。以下是图像质量的函数以及各种攻击后水印相似度函数的近似表达式:

$$f_1(x) = a_1 x \quad (3)$$

$$f_i(x) = a_i x \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (4)$$

$a_i$  表示图像质量函数的近似变化率,  $a_i$  是根据在各种攻击的实验结果求出的函数近似变化率。为了使得各个函数的变化率处于同一水平(变化率的归一化),把客观权重的值定为

$$w_1 = |1/a_1|, w_2 = |1/a_2|, \dots, w_n = |1/a_n|$$

因最小系数差  $x$  与载体图像的质量成反比,所以,  $a_i$  是负数。将以上结果代到式(2)中,得到水印的透明性和鲁棒性的优化的加权法适应度函数:

$$F = (-1/a_1)\beta_1 Q + \sum_{i=2}^n \frac{1}{a_i} \beta_i U_i \quad (5)$$

式中,  $Q$  为嵌入水印后的图像质量,  $U_i$  为经受“1”攻

击后提取水印的相似度(“1”表示常见的水印攻击的一种,如压缩、滤波、加噪等);  $F$  值越大时,适应度越高,越接近最优解。

## 2.2 盲水印算法

### 2.2.1 盲水印的嵌入

(1)将水印图像转化为 1 维序列,产生随机数(密钥),打乱水印序列进行加密;

(2)载体图像进行 DB2 小波边缘检测,提取载体图像的边缘。

载体图像使用 DB2 小波变换后,小波系数的局部极值代表着图像上的边缘点。考虑到算法复杂度,对图像进行二级分解以后得到多尺度下的轮廓图像和细节图像,通过调节阈值,对 3 个方向上的边缘点(通过确定突变点得到)进行处理得到各自对应的边缘图像,最后将 3 幅边缘图像融合,得到最终的边缘图像。对载体图像分块  $B_k$  ( $8 \times 8$ ) 进行分类:

当  $\text{number}\{e(x,y) = 1, (x,y) \in B_k\} < T$  时

$$B_k \in S_0$$

当  $\text{number}\{e(x,y) = 1, (x,y) \in B_k\} \geq T$  时

$$B_k \in S_1$$

其中,  $S_1$  为纹理块,  $S_0$  为平滑块,  $e(x,y)$  代表从原始图像边缘检测得到的二值图像图,  $T=6$  为预先设定的边缘点数的阈值。

(3)载体图像分成  $8 \times 8$  块进行 DCT 变换,变换后的矩阵用  $D$  表示,  $D(0,0)$  表示直流分量。

(4)为了权衡水印的稳健性和不可见性,将水印嵌入到低频分量的高频部分上。这是因为直流分量代表的是块的平均灰度值,在这部分嵌入容易产生分块效应;在高频分量嵌入水印,能提高水印的透明性,但鲁棒性差;中频分量嵌入,能折中水印的两种性能,但其鲁棒性往往达不到应用的要求;在低频分量嵌入水印,虽然能提高鲁棒性,但人眼对低频部分的噪声较敏感,降低了水印的透明性。在本文算法中,把嵌入水印的位置选在  $D(3,2)$ 、 $D(4,1)$ ,它们属于低频分量的高频部分,这样可以增加水印鲁棒性,同时水印的透明性也得到了兼顾。

以下给出的是具体的嵌入过程:比较  $D(3,2)$ 、 $D(4,1)$  的大小,调整它们的位置以记录水印信息,分别用 H0 和 H1 表示嵌入 1 和 0 的两种情况:

H0:调整(互换或不变)  $D(3,2)$ 、 $D(4,1)$  数值使得  $D(4,1) > D(3,2)$

H1:调整(互换或不变) $D(3,2)$ 、 $D(4,1)$ 数值使得  $D(4,1) < D(3,2)$

根据步骤 4 的块分类结果,平滑块的最小的系数差使用遗传算法搜索得到的近似最优值  $x_1$ 。为了增加水印稳健性而对于纹理块,使用最小的系数差  $x_2(x_2 = x_1 + 4)$ 。具体算法可以表述为平滑块

$$\begin{aligned} H0: D(4,1) &= D(4,1) + x_1/2, \\ D(3,2) &= D(3,2) - x_1/2; \\ H1: D(3,2) &= D(3,2) + x_1/2, \\ D(4,1) &= D(4,1) - x_1/2; \end{aligned}$$

纹理块

$$\begin{aligned} H0: D(4,1) &= D(4,1) + x_2/2, \\ D(3,2) &= D(3,2) - x_2/2; \\ H1: D(3,2) &= D(3,2) + x_2/2, \\ D(4,1) &= D(4,1) - x_2/2; \end{aligned}$$

(5)完成水印嵌入后,进行 IDCT 得到一个嵌入水印的图像。

### 2.2.2 水印的盲检测

(1)将含水印的图像进行 DCT 变换,再对中频系数  $D(3,2)$ 、 $D(4,1)$  进行比较,按下式提取水印。

$$y_0(k) = \begin{cases} 1 & f_k(3,2) > f_k(4,1) \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

$f_k(3,2)$ 、 $f_k(4,1)$  分别为嵌入水印图像 DCT 变换后在相应位置上的系数, $y_0$  为提取的水印信号。

(2)对  $y_0$  序列通过密钥,恢复水印信号正确序列,得到水印图像。

## 3 实验结果

仿真实验以  $64 \times 64$  的二值图像作为水印,原载体图像为标准  $512 \times 512$  图像。对载体图像质量以及水印两种攻击的鲁棒性进行优化(这里对 JPEG 压缩和中值滤波的鲁棒性进行优化),在式(5)中: $n = 3$ ;  $NC_1$  取 JPEG 压缩后提取水印的相似度(压缩比为 10.0),  $NC_2$  取中值滤波后提取水印的相似度;估计客观权值,对  $x_1$  均匀采样,根据前面提到的方法求出客观权值的近似值: $a_1 = 50$ ,  $a_2 = 2.7$ ,  $a_3 = 3.5$ ;  $\beta_1$ 、 $\beta_2$ 、 $\beta_3$  分别代表水印载体图像质量、经过压缩和中值滤波后提取的水印相似度的主观权值,分别设置值为 0.3、0.5、0.2;通过遗传算法透明性和鲁棒性的优化,得到的水印嵌入最小系数差  $x_1 = 26.0$ ,  $x_2 = 30$ 。

### 3.1 抗攻击性能实验

表 1、表 2 分别为抵抗 JPEG 压缩及其他攻击的优化实验结果。

表 1 抗 JPEG 压缩优化的实验结果  
Tab. 1 The results of JPEG attack resistant

压缩比	5.29	8.69	10.00
$U$	1	0.999	0.958

表 2 抗其他攻击优化的实验结果  
Tab. 2 The results of other attack resistant

攻击	$U$
中值滤波( $3 \times 3$ 模板)	0.978 3
高斯滤波(0.5 标准偏差, $3 \times 3$ 模板)	1
拉普拉斯滤波(取反结果)	0.996
椒盐噪声(强度 0.05)	0.817
乘性噪声(强度 0.05)	0.86
泊松噪声	0.980

抗剪切的实验结果如图 1 所示。

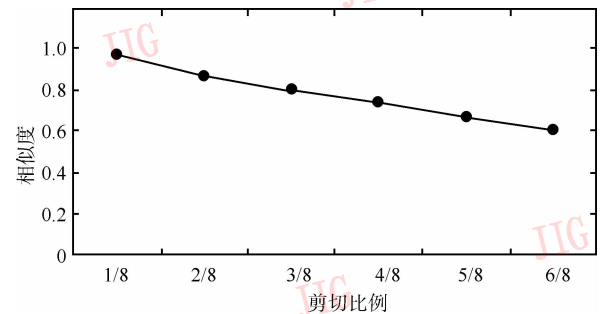


图 1 剪切不同比例得到的水印相似度  
Fig. 1 The watermark correlation according to the different cut proportion

### 3.2 与其他算法的比较

将盲水印简单优化算法(简称 Opt-emd)<sup>[5]</sup>,与本文算法(以下简称 GA-emd)进行 DCT 域盲水印算法优化比较。图 2、图 3 为水印压缩鲁棒性上的比较,是在水印图像峰值信噪比相当(GA-emd: 39.94dB, Opt-emd: 39.60dB)的情况下进行的。 $R$  为压缩比。

根据实验结果的可以看出在水印透明性相当的情况下,GA-emd 算法压缩稳健性比 Opt-emd 算法高,因此本文优化水印算法具有更好的实用性。

### 3.3 遗传算法适应度函数性能分析

采用线性加权法对多目标的问题进行优化,其

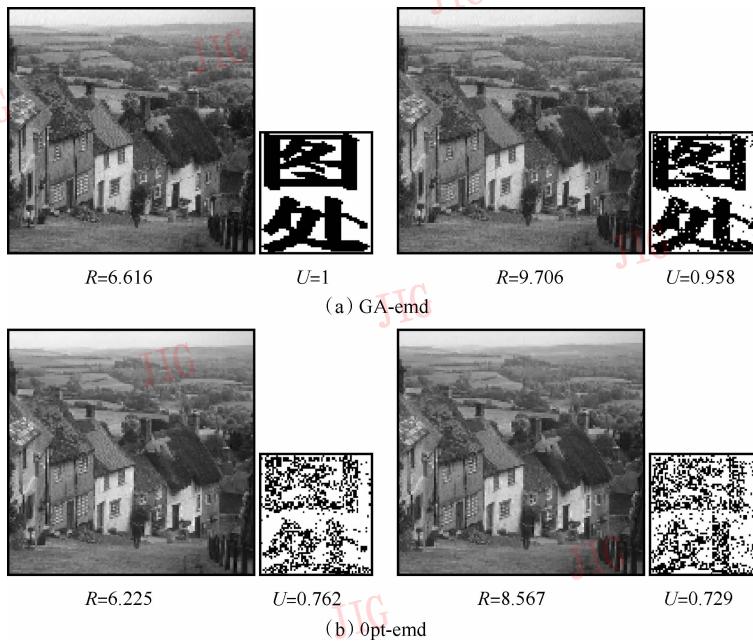


图 2 GA-emd 和 Opt-emd 在压缩鲁棒性上的比较

Fig. 2 GA-emd's compress robust compare with Opt-emd's

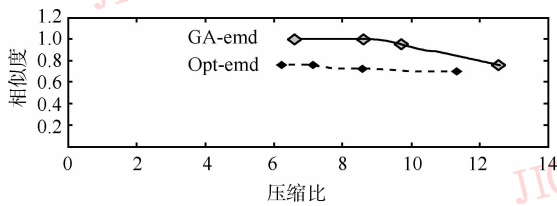


图 3 GA-emd 和 Opt-emd 压缩鲁棒性

Fig. 3 GA-emd's compress robust and Opt-emd's

实现较为简单,可控制性强,但难点是如何设置各个优化目标的权重,使其与决策者的意图较为一致。这也是构造适应度函数的必须解决的问题。根据实验观察:权值设置不当,得到最小系数差( $x_r$ )往往在设置的边界上;根据多次实验经验设置的权值,可以得到较好的水印性能,但其不一定能满足使用者对水印性能的特殊要求(与决策者的意图相近),且费时费力。

该方法可以同时多种攻击性的鲁棒性进行优化,且可以使水印算法的实际效果与使用者对不同性能要求基本保持一致性,具有很高的可控性。因此,算法的针对性很强,对于低鲁棒性要求的优化得到的最小系数差,可能在更高稳健性要求的攻击下效果不理想。所以,特别是对于压缩攻击的优化,尽量在较大压缩比下进行优化,这样可以得到实用性更强的水印图像。

### 4 结 论

从提高水印鲁棒性兼顾水印透明性的思考出发,提出了一种基于遗传算法的图像盲水印算法,实验结果表明,该算法很好地平衡了水印的透明性与鲁棒性,而且可以根据不同的应用,自适应的调整水印嵌入,从而进一步提升了水印的实用价值。

### 参考文献 (References)

- Holland J.H. Adaptation in Natural and Artificial Systems [M]. Ann Arbor, Michigan, USA: University of Michigan Press, 1975.
- Joachim S, Parallel Genetic Algorithms: Theory and Application. [M] edition. Amsterdam, The Netherlands: IOS Press, 1993.
- Zeng W, Liu B. A statistical watermark detection technique without using original image for resolving rightful ownerships of digital images [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8 ( 11 ): 1534 ~ 1548.
- Fonseca C M, Fleming P J. Genetic algorithms for discussion multiobjective optimization: formulation, and generalization [A]. In: Proceedings of the 5th International Conference on Genetic Algorithms [C], San Marco: Morgan Kaufmann Publishers, 1993:416 ~ 423.
- Prayoth Kumsawat, Kittit Attakitmongcol, Arthit Srikaew. A new approach for optimization in image watermarking by using genetic algorithms [J]. IEEE Transactions on Signal Processing, 2005, 53(12):4707 ~ 4719.