

文章编号:1009-0193(2004)03-0059-04*

基于小波变换域的数字图像水印算法的研究

李 鑫,余生晨,薛 阳

(北方工业大学信息工程学院,北京 100041)

摘 要:利用遗传算法来快速地计算嵌入水印的最佳能量,提出了一种新的小波域数字图像水印算法,进行信息的嵌入,实验结果表明使用这种方法能更好的保证水印图像的不可见性与鲁棒性达到平衡。

关键词:版权保护;数字水印;小波变换;遗传算法

中图分类号:TP334 **文献标识码:**A

0 引 言

随着计算机网络的普及和多媒体技术发展的日趋成熟,数字化信息可以以各种形式在网络上迅速便捷地传输,图像方式比语言、文字蕴涵更大的信息量,因而成为人类在信息利用方面的重要手段。然而,由于制作数字媒体(数字图像、数字音频、数字视频等)的完美拷贝非常地容易,从而可能会导致大规模非授权拷贝,于是如何保护数字媒体的版权便显得日益重要。由于数字水印(digital watermarking)是实现版权保护的有效办法,因此如今它已成为多媒体信息安全研究领域的一个热点,也是信息隐藏技术研究领域的重要分支。

嵌入数字多媒体作品中的数字水印必须具备以下特性:

不可见性或隐藏性不易被察觉,不会引起原来数字作品明显的图像质量下降,即看不到数字水印的存在。

鲁棒性 也称稳健性,即当被保护的信息经过某种改动后,比如在传输、压缩、滤波,图像的几何变换如平移、伸缩、旋转、剪裁等处理下,数字水印不容易被破坏。

低复杂性 水印算法容易实现。

秘密性 嵌入过程是秘密的,水印是统计上不可检测的,如果用户试图删除水印,对原始数字产品的质量将产生巨大的破坏。

其中不可见性与鲁棒性为图像水印的最基本要求,我们可以看出这两个特性是相互冲突的。对于一个特定的水印算法,必须折中考虑不可见性和鲁棒性,这实际上是一个如何确定水印的嵌入能量的问题(对于前者,水印能量越低越好,而对于后者,则正好相反)。因此如果给定图像质量的某种评价准则(常用信噪比 SNR 和峰值信噪比 PNSR),水印算法应能确定水印的最优嵌入能量。当前的水印算法大都是依赖实验来确定需嵌入的水印的容量和叠加强度,即算法先给定一个水印的初始叠加值并得到带水印的图像,重复过程直到得到的水印图像同时满足不可见性和鲁棒性为止。这样的实验过程冗长费时并且往往都达不到最佳效果。

本文提出了一种利用遗传算法来获取嵌入水印的最佳能量的小波域水印算法,给定图像的评价准则,可以自动计算出嵌入水印强度的最佳大小,这种算法能够比较满意地解决水印图像的不可见性和鲁棒性的均衡问题。

1 遗传算法

遗传算法是模拟达尔文的遗传选择和自然淘汰的生物进化过程的计算模拟,它是由美国 Michigan 大学

* 收稿日期:2004-03-15

基金项目:北京市教委科研项目(北京市教委:2004-NCUT-02)

的 J. Holland 教授于 1975 年首先提出的。遗传算法是模拟生物进化过程的计算模型,它作为一种新的全局优化搜索算法,以其简单通用、鲁棒性强、适于并行处理以及应用范围广等显著特点,奠定了它作为 21 世纪关键智能计算之一的地位。遗传算法是具有“生成 + 检测”的叠代过程的搜索算法,它的基本处理流程如图 1 所示。

2 图像的小波变换与数字水印算法

2.1 小波变换

小波变换的理论是近年来兴起的新的数学分支,它是继 1822 年法国人傅立叶提出傅立叶变换之后又一里程碑式的发展,解决了很多傅里叶变换不能解决的困难问题。小波变换可以被看作是傅里叶变换的发展,即它是空间(时间)和频率的局部变换。

一个二维信号 X 的离散小波变换(DWT)可以看作是一个分级的四通道滤波运算,分别对行和列进行高通和低通滤波的不同组合,可以得到 X 在三个高频子带 LH1、HL1、HH1 和一个低频子带 LL1 上的变换系数,对子带 LL1 继续进行分解,直到达到需要的级数为止。其中低频带表示由小波变换分解级数决定的最大尺度、最小分辨率下对原始图像的最佳逼近。它的统计特征和原图像相似,图像的大部分能量集中在此。高频带系列则分别是图像在不同尺度、不同分辨率下的细节信息。分辨率越低,其中有用信息的比例就越高。也就是说,经过小波分解把一个图像分成了若干级,对于同一级图像,低频子图像 LL_j 最重要,其次是 HL_j 与 LH_j,高频子图像 HH_j 相对不重要。对于不同级来说,级高者重要,级低者不重要。所以,小波图像子频带按重要性总体的排出为 LL_k,HL_k,LH_k,HH_k,HL_{k-1},LH_{k-1},HH_{k-1},...,HL₁,LH₁,HH₁。小波系数的三级分解如图 2 所示^[1]。

2.2 数字水印算法

数字图像水印算法的一般过程包括水印的嵌入和水印的检测算法,基本框图如图 3 和图 4 所示。特定的水印方案其加载和检测过程并不完全一样,因此可能有一些水印算法的嵌入和检测过程和图示不同。水印的嵌入对策有很多,从实现角度看可分为两类:空域方法和变换域的方法。早期的水印技术在图像的空域进行,但是这种技术缺乏鲁棒性^[2]。研究表明,由于人类视觉对于图像的各种成分具有不同的敏感性,为了提高水印的鲁棒性,应把水印加在图像的视觉重要部分,比如低频部分。这一结果导致了变换域水印技术的发展,目前研究的水印技术绝大部分集中在变换域。在图像的水印算法中,有离散傅立叶变换、离散余弦变换、分形变换、小波变换等。2000 年,静止图像压缩编码标准 JPEG2000^[3] 公布并开始实行,它采用离散小波变换并考虑了版权问题,使得小波域水印算法越来越引人注目。近年来,基于小波变换域的数字水印算法已成为学术界研究热点之一。

3 基于小波变换域的数字水印算法

小波域水印算法往往把水印嵌入到图像小波变换后的某些子带。Cox 等人^[4]提出,水印应放在视觉系统感觉上最重要的分量上。这个观点已被人们广泛接受。感觉上最重要的分量是图像信号的主要成分,携带较多的信号能量。由本文第 2.1 节可知,图像经过小波分解后生成的小波图像,能量主要集中在低频部分,即低频部分是图像的主要部分,也是视觉重要部分;而图像的高频部分只是图像的细节部分。因此我们选择将水印嵌入小波图像低频系数中。但是,研究者对人类的视觉特性进行研究后表明,人眼对图像中平滑区域的变化一般比较敏感,在这一部分嵌入水印可能会引起原始图像质量下降。而以往的小波域水印算

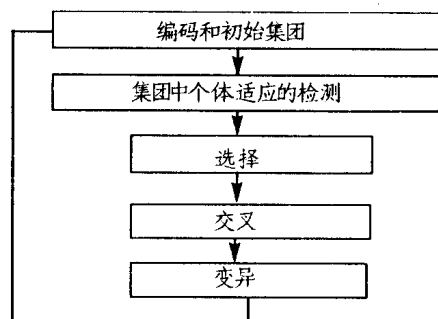
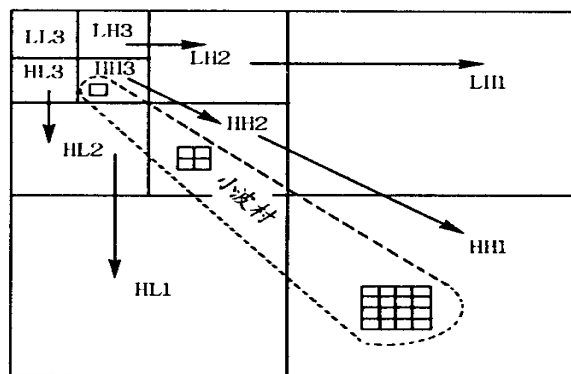


图 1 遗传算法的基本流程



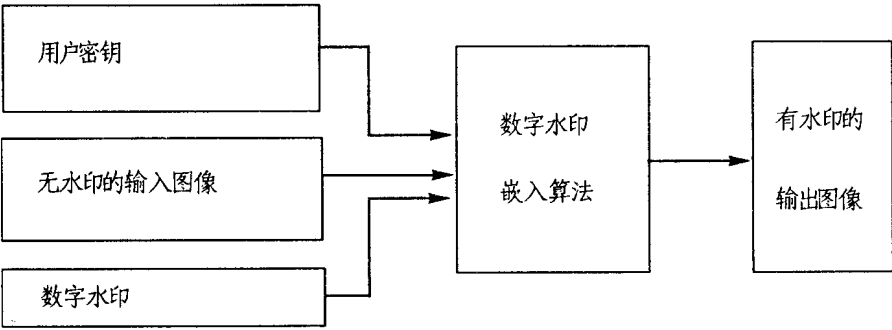


图 3 数字水印嵌入过程

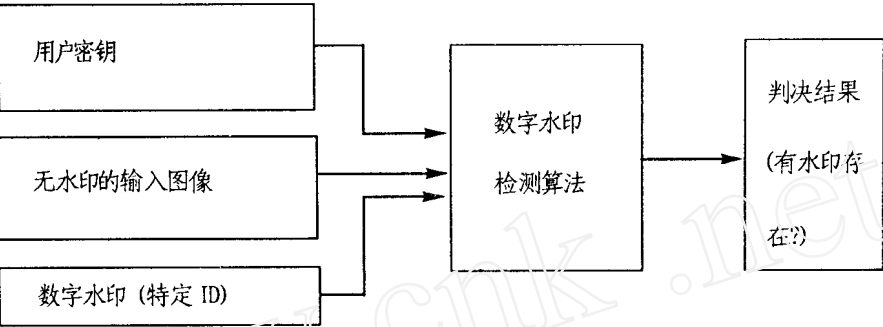


图 4 数字水印检测过程

法没有很好地考虑嵌入水印的能量,只是根据实验结果来判断所选择的水印强度是否合适,如果选取的初始值不合适就必须重新选取初值对整个算法重新进行测试,其过程非常繁琐而且也很难找到最佳值,使水印的不可见性与鲁棒性达到平衡。本文采用的遗传算法能比较好地解决一问题,具体水印嵌入与检测算法过程如 3.1、3.2 所述。

3.1 水印嵌入

(1) 选择待嵌入的二值数字水印图像,对其进行“之”字形扫描将其转化为一维数据,那么可以将它看作一个二进制水印序列。

(2) 对原始图像进行三级小波分解,得到不同分辨率级下的细节子图 LH_j、HL_j、HH_j (分别代表 j 分辨率级下的水平方向、垂直方向和对角线方向的三个细节子图) 和一个逼近子图 LL₃。

(3) 我们按如下的公式将水印序列嵌入到低频子带 LL₃ 的小波系数中,

$$b_{ij} = a_{ij} (1 + X_i)$$

设原图像 $A = \{a_{ij}\} \quad F^M \times N$, $B = \{b_{ij}\} \quad F^M \times N$, 其中, A, B 分别表示原始图像像素 (或从原始图像中提取的特征) 和嵌入水印的图像像素 (或改变后的图像特征); X_i 为印信号分量, 即 $W = \{X_i\}, 0 < i < k, k$ 为水印序列的长度; 为拉伸原子, 用于控制嵌入水印强度, 在水印的不可见性和鲁棒性之间进行折衷。

我们利用遗传算法来确定 的最佳值, 使用图像和视频编码及压缩中常用的一个评测指标——峰值信噪比 (PSNR: Peak Signal to Noise Ratio), 将其作为评估函数进行检测,

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{b_m}{\sqrt{\frac{1}{M \times N} \sum_i \sum_j (a_{ij} - b_{ij})^2}}$$

图中 b_m 为图像像素所能取的最大值。

根据 Weber 定律^[5], 理论上应小于 0.01. 将 编码, 给定群体大小, 在 阈值内, 随机产生一个初始群体, 计算初始群体中每个个体对应的函数值, 比较它们的函数值; 根据适者生存原则, 保留适应度高的潜在解, 按一定比例淘汰那些适应度低的解; 接着, 按照突变原则, 随机地改变个体中的一些位, 使它变成另外的个体; 然后进行交叉变异, 成对地选择一些个体, 交换它们的一些位, 形成新的个体。由于可以求得 的最

优解或近视最优解。

(4) 对修改后的小波系数进行小波反变换,便得到含有水印信息的图像。

3.2 水印检测

(1) 对原始图像和待检测图像分别进行小波变换,得到它们的小波分析图像。

(2) 通过计算处理得到 X_i 信息。

(3) 将检测出的水印图像 W 与原水印 W 进行比较,可以判别水印的真伪。

4 实验结果

为了验证以上算法,我们采用 256 ×256 的 256 级灰度 Couple 图作为原始图像、32 ×32 的二值“ncut”图作为原始水印进行测试。图 5 为水印不可见时 PSNR 达到最大值时嵌入水印后的 Couple 图的实验结果。由于时间关系,我们只对图像进行了剪切、JPEGL 压缩,实验如图 6 所示,均可以获得比较清晰的水印的恢复图像。表 1 为水印的扩攻击实验结果,从表 1 可以看出,生成的水印对常见的图像处理的攻击具有较强的抵抗能力。

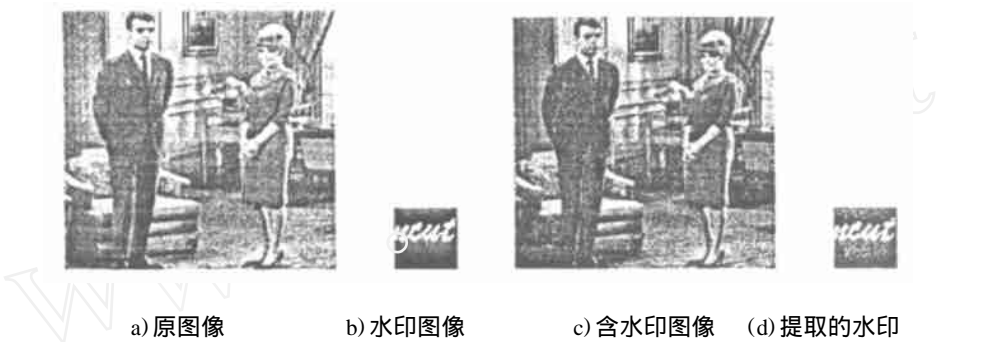


图 5 Couple 图像实验结果

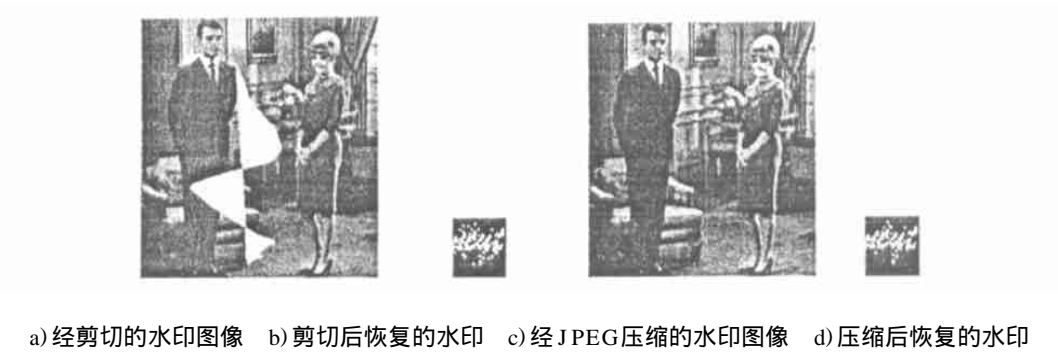


图 6 含水印图像的攻击实验结果图

表 1 抗攻击的实验结果

攻击方法	原始水印与恢复水印峰值信噪比/ dB
剪切	27.4
JPEGL 压缩	33.5

以上实验结果表明,利用遗传算法能很快并且比较准确地确定嵌入水印的最佳能量,能自动并智能化地选择出适合特定图像的水印的嵌入强度,使其达到不可见性与鲁棒性之间的平衡。

(下转 71 页)

参考文献:

- [1] 韩 敏. 基于神经网络的建筑行业的投标报价研究[J]. 系统工程学报, 2003, 18(4): 349 - 355.
- [2] 朱祖平. 基于BP神经网络的企业技术创新成果的模糊综合评价[J]. 系统工程理论与实践, 2003, (9): 16 - 21.
- [3] 何海龙. 神经网络在装备保障性评估中的应用[J]. 系统工程理论与实践, 2003, (9): 111 - 116.
- [4] 程相君, 等. 神经网络原理及应用(第一版)[M]. 北京: 国防工业出版社, 1995.
- [5] 高仁祥, 等. 基于神经网络的变量选择方法[J]. 系统工程学报, 1998, 13(2): 32 - 37.
- [6] 许 东, 吴 铮. 基于 MATLAB6. X 的系统分析与设计——神经网络[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2002.
- [7] 张吉军. 模糊一致判断矩阵3种排序方法的比较研究[J]. 系统工程与电子技术, 2003, (11): 1370 - 1372.

The Research of AHP Based on BP Arithmetic

HUANG Dong-min, DUAN MU Jing-shun

(Engineering college, Air Force Engineering University, Shaanxi, Xi'an 710038, China)

Abstract: When we evaluate the systems and decide which one is best, it is difficult to make sure of the relation of the system target and the evaluating targets using the traditional AHP, and there are many artificial factors in the course of evaluation, which affect the accuracy and objectivity of the evaluation, and then affect the decision. The AHP based on the BP arithmetic make use of the neural network's function of self-studying, self-adapting and self-organizing, constantly accumulates knowledge and experience, and revise its knowledge from learning continuously, namely revise the conjunction power of the neural network. The network will export the parameter of system's target after the input of evaluating target, by the giving algorithm and prompting function. With the operation output, we can attain the target of evaluation and decision accurately.

Key words: BP Arithmetic; Evaluation; AHP

(上接 62 页)

参考文献:

- [1] 陈武凡. 小波分析及其在图像处理中的应用[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- [2] 郭 磊, 郭宝龙. 小波域数字图像水印算法的研究[J]. 计算机工程与应用, 2002, 13(2): 6 - 8.
- [3] version 1.0, ISO/IEC FCD15444-1, 2000. JPEG2000 final committee draft[S].
- [4] Cox J., Killian J., Leighton, T., et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Transactions on Image Proceedings, 1997, 6(12): 1673 - 1687.

Digital Image Watermarking Based On Wavelet Transform Domain

LI Xin, YU Sheng-chen, XUE Yang

(College of Informational Technology, North China University of Technology)

Abstract: In this paper, we use GA to compute the best energy quickly, and propose a new arithmetic. The experimental result shows that through this arithmetic the unobtrusiveness and the robustness of the image embedded a watermark we get is more balanceable than other arithmetic.

Key words: copyright protection; digital watermarking; DWT (Discrete Wavelet Transform); GA (Genetic Algorithm)