

# 基于中值滤波的小波域水印算法

温泉秀, 杨建伟

(南京信息工程大学数理学院, 南京 210044)

**摘要:** 提出一种小波域鲁棒图像水印算法, 水印信息被嵌入小波变换的低频子带。为检测对视觉不敏感的离散小波变换低频系数, 将小波变换的低频子带进行中值滤波, 并与原小波变换低频子带的小波变换系数比较, 对变化程度小的系数嵌入水印信息。实验结果表明, 该算法与基于小波低通滤波的水印算法相比, 保证不可见性, 对压缩、中值滤波、剪切、锐化等具有更强的鲁棒性。

**关键词:** 数字水印; 离散小波变换; 中值滤波; 低频子带

## Wavelet Domain Watermark Algorithm Based on Median Filtering

WHEN Quan-xiu, YANG Jian-wei

(College of Mathematic and Physics, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044)

**【Abstract】** This paper proposes a robust digital watermark algorithm based on Discrete Wavelet Transform(DWT) to embed digital watermark into low frequency sub-image. In order to detect low frequency coefficients of DWT which insensitive to visibility, it makes low frequency sub-band median-filtered and compared with original low frequency, and embeds the watermark into small changes of the coefficients. The paper compares the proposed algorithm with the watermark algorithm based on the low-pass filtering. Experimental results shows that the algorithm not only ensures the invisibility but also ensures the stranger roust to compress, median-filter, crop, sharpen, etc.

**【Key words】** digital watermark; Discrete Wavelet Transform(DWT); median filtering; low frequency area

### 1 概述

数字水印作为保护数字媒体信息的有效方法, 近年来引起人们的广泛关注。与时间域水印算法相比, 变换域的水印算法对常见的图像处理具有更强的鲁棒性, 而在变换域水印算法中, 由于小波变换良好的时频局部特性和与人眼视觉特性相符的变换机制, 因此小波域的水印算法引起人们更多的关注。

水印编码可看作是在强背景(原始图像)下迭加一个弱信号(水印)。只要迭加的信号低于对比度门限, 视觉系统就无法感觉到信号的存在。由于小波变换低频系数的幅值一般远大于高频系数, 因此具有较大的感觉容量。另一方面, 嵌入水印的图像最可能遭遇的信号处理过程, 如数据压缩、低通滤波等, 对低频系数的保护比高频系数好<sup>[1]</sup>。因此, 文献[2]提出应将水印首先嵌入到离散小波变换的低频系数中。

然而, 小波变换的低频子带是小波变换能量集中的部分, 系数的变动会引起图像视觉质量的明显改变。因此, 目前的小波域水印算法大多将水印嵌入小波变换的中频子带, 小波图像低频系数总是被明显地排除在外<sup>[3]</sup>。如何将水印嵌入小波变换的低频子带, 又保持图像的不可见性, 是一个值得研究的问题。

文献[4]提出了一种结合人类图像主观感知度的小波低频水印算法, 但该算法在实现过程中通过考虑人类图像主观感知度来确定水印嵌入强度, 同时又对宿主图像进行奇、偶抽样及小波变换确定水印嵌入区域, 利用边缘掩蔽条件来嵌入水印, 整个算法实现比较复杂。文献[5]提出一种将水印嵌入小波低频子带的图像水印算法, 该算法将低频子带又进行一次离散小波变换(低通滤波), 以确定对视觉不敏感的小波变换系数。该算法与文献[6]提出的算法相比具有较强的鲁棒

性。然而, 再一次的小波变换使小波变换低频子带的小波系数改变范围幅度较大, 对视觉不敏感小波系数的检测不够理想。文献[7]也提出了小波低频水印算法, 该算法分别对宿主图像和水印图像进行小波变换, 将分解水印后得到的4个子带匹配的嵌入宿主图像分解后的低频子带中。后来文献[8]又将文献[5]算法和的文献[7]算法进行比较, 得出文献[5]算法较好。

本文提出一种基于中值滤波的小波域水印算法, 将小波变换的低频子带进行中值滤波, 并与原低频子带比较, 变化程度小的系数确定为对视觉不敏感的位置, 在这些位置的小波变换系数中嵌入水印。实验表明, 该算法对常见的图像处理具有强的鲁棒性。与文献[5]算法相比, 基于中值滤波的水印算法对 JPEG 压缩、中值滤波、剪切、锐化等具有更强的鲁棒性, 特别地, 在压缩质量为 5% 时, 文献[5]的检测效果比较差, 而采用本文的方法则具有较好的检测效果。

### 2 基于中值滤波的水印算法

#### 2.1 水印的嵌入

本文将水印嵌入小波变换的低频子带。为检测低频子带中对视觉不敏感的小波系数, 将小波变换后的低频子带进行中值滤波。具体的嵌入过程如下:

##### (1) 图像分解

对原始图像进行离散小波变换, 得到低频带  $LL_n$  以及其

**基金项目:** 江苏省高校自然科学基金基础研究基金资助项目(08KJB520004); 南京信息工程大学基金资助项目(JG032006J03)

**作者简介:** 温泉秀(1981-), 女, 硕士研究生, 主研方向: 小波分析及其应用; 杨建伟, 教授、博士

**收稿日期:** 2009-05-17 **E-mail:** 2008quanxiu@163.com

他子带  $LH_n, HL_n, HH_n, LH_{n-1}, HL_{n-1}, HH_{n-1}, \dots, LH_1, HL_1, HH_1$ 。本文实验中  $n$  取 3。

### (2) 确定视觉不敏感的低频子带小波系数

将分解得到的低频子带  $LL_n$  进行中值滤波得到  $LL_n'$ ，比较  $LL_n$  与  $LL_n'$  中对应的小波系数。首先将  $LL_n$  与  $LL_n'$  按行扫描成一维向量，再将  $|LL_n - LL_n'|$  从小到大排序，记录排序后系数的原来位置信息，构成序列  $idx_k$ ，如图 1 所示。

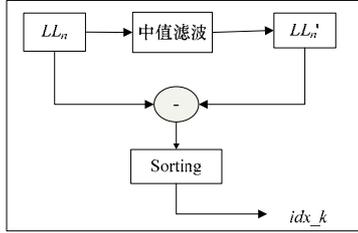


图 1 获取水印嵌入位置

### (3) 水印的嵌入

由一种子(seed)生成伪随机序列  $W(i) = \{-1, +1\}$ ,  $1 \leq i \leq wm\_length$ ，其中， $wm\_length$  表示水印长度，利用上一步得到的位置信息  $idx_k$ ，在低频子带  $LL_n$  嵌入水印，设  $LL_n$  为逼近子图系数， $LL_n'$  为逼近子图中值滤波后的系数，以如下方式嵌入水印：

```

for i=1:1:wm_length
    if (W(i)==1)
        if(LL_n(idx_k(i)) < LL_n'(idx_k(i))+K)
            LL_n(idx_k(i))= LL_n'(idx_k(i))+K
        end
    else if (W(i)==-1)
        if(LL_n(idx_k(i)) > LL_n'(idx_k(i))-K)
            LL_n(idx_k(i))= LL_n'(idx_k(i))-K
        end
    end
end
end

```

这里  $K$  确定嵌入水印的强度，本文算法中  $K$  取 10。

### (4) 图像重构

利用嵌入水印的低频子带和原来的  $LH_n, HL_n, HH_n, \dots, LH_1, HL_1, HH_1$  进行离散小波逆变换，得到重构图像。

注意到重构图像的小波变换低频带已经改变(由于嵌入水印)，因此，可对重构图像重复上述的水印嵌入过程，以增强算法的鲁棒性。

## 2.2 水印的检测

这里的检测方法 与文献[5]中方法相同。

首先对原始图像和待检图像进行与嵌入过程相应的小波分解，然后提取水印，比较分解得到的低频子带  $LL_n$  及待检图像小波分解后的低频子带  $\overline{LL_n}$ ，令

$$\tilde{W}(i) = \begin{cases} 1 & \text{如果 } \overline{LL_n}(idx\_k(i)) > LL_n(idx\_k(i)) \\ -1 & \text{如果 } \overline{LL_n}(idx\_k(i)) < LL_n(idx\_k(i)) \end{cases}$$

其中，参数  $i$  表示水印序列号； $idx_k$  水印位置，最后进行相关性检测，检测公式为

$$Sim(W, \tilde{W}) = \frac{W \cdot \tilde{W}}{\sqrt{\tilde{W} \cdot \tilde{W}}}$$

其中， $W$  为原始水印； $\tilde{W}$  为待检图像提取的水印。

## 3 实验结果

实验结果都是基于 Matlab 6.5 仿真得到的，均以  $512 \times 512$  的标准灰度图像作为载体图像，实验中所用水印以 500 作为

seed，长度为 1 000 的二值伪随机序列。水印强度常数  $K$  取 10。

### 3.1 不可见性

本文对原始图像进行三级小波分解，利用上面算法嵌入水印，嵌入过程重复 10 次。图 2(a)显示原始 lena 图像，图 2(b)是加水印的 lena 图像，其峰值信噪比为 42.96 dB，可以看出 2 幅图像基本无差别。



图 2 原图像与嵌入水印后图像

### 3.2 鲁棒性

图 3(a)给出的是 1 000 个随机生成的不同伪随机序列的检测响应，图中曲线显示的是不同伪随机序列和它们的检测响应(纵轴表示相关性)，只有 1 个(500 处)是图 2(b)中水印的检测响应(横轴表示随机序列)，可以看出正确的水印检测响应比不正确的伪随机序列要高很多。

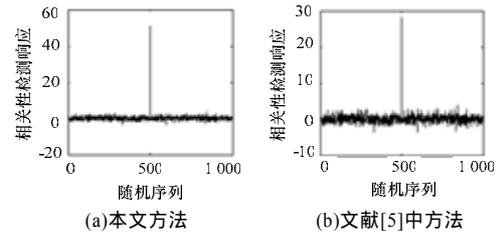


图 3 未攻击时 2 种方法的检测效果响应

为检测算法对 JPEG 压缩的响应，以递增的 JPEG 压缩质量对加水印的图像进行压缩，图 4 中实线显示了实验结果，可以看出，即使对于较小的压缩质量，基于中值滤波的水印算法也有较好的检测响应。

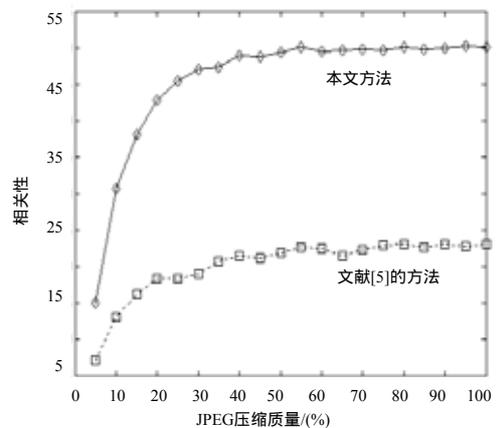


图 4 2 种方法对不同 JPEG 压缩比率的检测效果

另外检测了提出的算法对剪切、锐化、中值滤波的鲁棒性，表 1 列出了部分结果，可以看出该算法对以上操作具有鲁棒性。这里的剪切 1 和剪切 2 分别指将原图像剪切只剩中间的 1/4 和只剩上面 1/2。

表 1 中值滤波、椒盐噪声、剪切、锐化攻击的检测效果

图像	方法	中值滤波	椒盐噪声	剪切 1	剪切 2	锐化
Lena 图像	本文方法	47.68	23.20	9.96	23.34	42.88
	文献[5]方法	21.86	12.16	3.26	16.04	21.74
Boat 图像	本文方法	37.72	20.30	9.92	22.82	36.10
	文献[5]方法	17.38	9.16	3.24	13.96	18.92
goldhill 图像	本文方法	37.90	18.16	7.54	21.48	34.10
	文献[5]方法	15.30	8.44	3.66	11.40	15.48
mandrill 图像	本文方法	25.46	18.14	10.02	16.38	27.52
	文献[5]方法	11.04	7.04	5.14	7.82	11.36
peppers 图像	本文方法	48.80	24.34	10.14	20.86	42.64
	文献[5]方法	18.70	10.20	5.46	10.52	20.42

### 3.3 与文献[5]方法的比较

文献[5]所述的结果显示,基于小波低通滤波的算法比文献[6]的算法具有更强的鲁棒性,将本文的算法与文献[5]的算法进行比较。图 3(b)给出了文献[5]中方法对加水印的 lena 图像在没有任何攻击时的检测响应,正确水印的检测值为 27.9,而本文方法的检测值为 49.3(图 3(a))。

图 4 中虚线给出了文献[5]中方法对不同 JPEG 压缩质量的检测值,与图中实线(本文方法的检测值)对比可以看出本文提出的方法对 JPEG 压缩具有更强的鲁棒性,特别地,在压缩质量为 5%时,文献[5]的检测效果比较差(图 5(b)),而采用本文的方法具有较好的检测效果(图 5(a))。

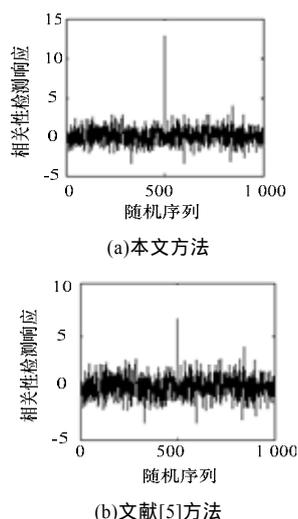


图 5 JPEG 压缩 5%时 2 种方法的检测响应

表 1 也将本文方法与文献[5]方法的剪切、锐化、直方图

均衡化等进行了对比,从结果可以看出,本文方法具有更强的鲁棒性。

### 4 结束语

相对于传统的基于小波的数字水印算法。本文的算法提出最优嵌入位置选择策略。通过对低频子带采用中值滤波的方式选择水印嵌入位置提高了透明性和鲁棒性。经过抗压缩、噪声、图像剪切等一系列实验结果证明该算法具有较好的安全性。使得水印不易被外界的各种攻击所破坏,本文攻击的鲁棒性要好于文献[5]的算法,尤其是在对抗剪切和 JPEG 压缩时,本文提出的算法要优于文献[5]的算法,实现了对该算法的改进;最近提出的类似算法<sup>[4]</sup>则比较简单,在计算及实施过程中不需要对现实的人群作试验来确定水印嵌入强度,这对于算法的实现来说相对简单。对于本文方法,以后将要实现有意义的 logo 图像的嵌入,从可视性和相关性 2 个方面进一步研究,探索水印的盲提取方法。

#### 参考文献

- [1] Wang Yiwei, Doherty J F, Dyck R E V. A Wavelet-based Watermarking Algorithm for Ownership Verification of Digital Image[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 2002, 11(2): 77-88.
- [2] 黄达人, 刘九芬, 黄继武. 小波变化域图像水印嵌入对策和算法[J]. 软件学报, 2002, 13(7): 1290-1297.
- [3] 李娜, 郑晓势, 李士峰. 一种基于小波变换的自适应图像水印算法[J]. 计算机工程, 2006, 32(9): 167-169.
- [4] Moon H S, You Taewoo, Sohn M H, et al. Expert System for Low Frequency Adaptive Image Watermarking: Using Psychological Experiments on Human Image Perception[J]. Expert Systems with Applications, 2007, 32(3): 674-686.
- [5] Joo Sanghyun, Suh Youngho, Shin Jaeho, et al. A New Robust Watermark Embedding into Wavelet DC Components[J]. ETRI Journal, 2002, 24(5): 401-404.
- [6] Cox I J, Killian J, Leighton T, et al. Secure Spread Spectrum for Multimedia[J]. IEEE Trans. on Image Processing, 1997, 6(12): 1673-1687.
- [7] Dote Y, Shaikh M S. A Robust Watermarking Method for Copyright Prot. of Digital Images Using Wavelet Transformation[J]. Trans. on Institute of Electrical Engineering, 2003, 123(2): 262-266.
- [8] Hameed K, Mumtaz A, Gilani S A M. Digital Image Watermarking in the Wavelet Transform Domain[J]. International Journal of World Academy of Science, Engineering and Technology, 2005, 1(1): 23-26.

编辑 索书志

(上接第 150 页)

#### 参考文献

- [1] 朱建海, 杨树堂, 倪佑生. PKI 多级混合信任模型及其信任路径构建[J]. 计算机工程, 2005, 31(14): 138-140.
- [2] Satizabal C, Paez R, Forne J. PKI Trust Relationship from a Hybrid Architecture to a Hierarchical Model[C]//Proceedings of the 1st International Conference on Availability, Reliability and Security. Vienna, Austria: [s. n.], 2006: 563-570.
- [3] Wright R N, Lincoln P D, Millen J K. Efficient Fault-tolerant

Certificate Revocation[C]//Proceedings of the 7th ACM Conference on Computer and Communications Security. [S. l.]: ACM Press, 2000: 19-24.

- [4] Elley Y, Anderson A, Hanna S, et al. Building Certification Paths: Forward vs. Reverse[C]//Proceedings of the 10th Annual Network and Distributed Systems Security Symposium. NY, USA: [s. n.], 2001.

编辑 索书志