

# 基于小波变换的数字水印及 Matlab 实现

傅德胜, 黄伟

(南京信息工程大学 计算机与软件学院, 江苏 南京 210044)

**摘要:** 数字水印技术作为一门有效的多媒体版权保护技术受到越来越多的关注。提出了一种基于小波变换的图像数字水印算法。依据人眼视觉特性, 将数字水印信息嵌入到经过小波变换后的图像的高频子带纹理区内, 人眼不易察觉, 再利用含水印图像和原始图像提取出嵌入的水印。采用多幅图进行实验, 结果表明, 该数字水印算法具有较好的隐蔽性, 而且对常见的图像处理操作攻击具有较好的鲁棒性。

**关键词:** 数字水印; 小波变换; 人眼视觉; 高频子带; 纹理子块

**中图分类号:** TP309 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7024 (2008) 04-1004-03

## Digital watermarking based on wavelet transformation and its realization on Matlab

FU De-sheng, HUANG Wei

(College of Computer and Software, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

**Abstract:** As an effective technique for multimedia copyright protection, digital watermarking technique has drawn more and more attention. An algorithm of image digital watermarking which based on wavelet transformation is proposed. According to the characters of human vision, this algorithm puts the information of digital watermarking into the high frequency district of the image which has been wavelet transformed, so the watermarking can't be easily found, then distills the digital watermarking with the help of the original image and the watermarking image. According to the experiment of several images, this watermarking scheme is invisible and has good robustness for some common image processing operations.

**Key words:** digital watermarking; wavelet transformation; human vision; high frequency land; streak block

## 0 引言

信息技术和计算机网络的迅速发展, 使包括图像在内的数字式多媒体信息的交流达到了前所未有的深度和广度, 与此同时, 也使得在网上传播的图像的版权保护和服务认证面临着日益严峻的挑战。当传统的加密技术不能满足人们需要的时候, 数字水印技术便应运而生。数字水印技术就是将标识信息嵌入到数字媒体中, 用以辨识数据的版权、交易过程和合法所有者。嵌入的水印应当不降低原数据的质量, 不易被感知, 能经受常用的信息处理以及恶意攻击而不被消除<sup>[1-3]</sup>。目前数字水印的嵌入方法大致可以分为空间域和变换域两类。综合水印的隐蔽性和鲁棒性要求来看, 变换域的算法性能更加优越, 成为主流的研究方向<sup>[4]</sup>。

小波变换有着良好的能量压缩特性和多分辨率分解特性, 且与新一代的媒体压缩标准 JPEG 兼容。分层小波变换对于图像频率的分解过程与人类视觉系统对信号的处理过程相似, 可以充分利用分层小波变换的特性来达到水印的隐蔽性与鲁棒性的均衡, 成为嵌入变换域水印的主要选择。本文研

究基于小波变换的数字水印及 Matlab 实现。

## 1 图像小波变换

小波变换在图像处理中的基本思想是把图像进行多分辨率分解, 生成不同空间和独立频带的子图像, 然后对子图像的系数进行处理。图像是二维信号, 需要在行和列上分别进行一维小波变换<sup>[5]</sup>。图像经过一次小波变换后, 被分解成 4 个子带, 即 1 个低频子带(LL)与 3 个高频子带(LH、HL、HH), 对于低频子带进一步实施小波变换, 从而被分解成下一级 4 个子带。图 1 为一幅 256×256 灰度图像进行 2 级小波变换前后的示意图。

可以看出, 小波图像的各个子带分别对应了原图像在不同尺度和不同分辨率下的细节。最低频子带 LL2 是原图像的逼近, 原图像的主要内容都体现在这个子带的数据中。小波图像的各个高频子带是原图像中边缘、轮廓和纹理等细节信息的体现, 并且各个子带所表示的边缘、轮廓等信息的方向是不同的, 其中 HL 子带表示垂直方向, LH 子带表示水平方向, 而对角方向则集中体现在 HH 子带中。

根据人类的视觉特性, 人眼对图像中平滑区域的变化较

收稿日期: 2007-03-05 E-mail: hwmml122@163.com

基金项目: 江苏省高新技术产业发展基金项目 (苏发改投资发 [2004] 674 号)。

作者简介: 傅德胜 (1950—), 男, 江苏靖江人, 教授, 研究方向为信息安全; 黄伟 (1984—), 女, 江苏仪征人, 硕士研究生, 研究方向为信息安全。

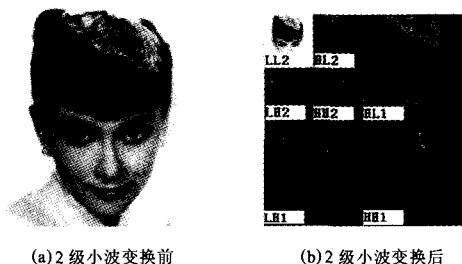


图1 2级小波变换前后

敏感,而对边缘、轮廓和纹理等区域的微小变化不太敏感。因此,应该把水印信息嵌入到小波图像高频子带中幅值较大的系数中,这样人眼不易察觉,可以加大水印的嵌入量,改善数字水印的隐藏效果<sup>[6]</sup>。

## 2 数字水印的嵌入

设原始图像为

$$X = \{x(i,j), 1 \leq i \leq M, 1 \leq j \leq N\} \quad (1)$$

二值水印图像为

$$W = \{w(i,j), 1 \leq i \leq P, 1 \leq j \leq Q\} \quad (2)$$

则数字水印的嵌入过程如图2所示。

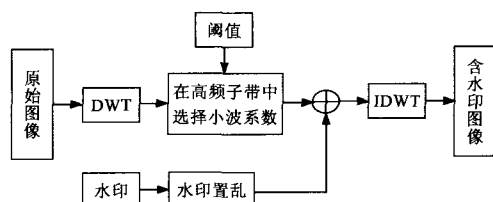


图2 水印嵌入过程

(1)水印的随机置乱与降维。为了消除二值水印图像的像素空间相关性,提高数字水印算法的鲁棒性,确保图像某一部分受到破坏后仍能全部或部分的恢复水印,首先应对二值水印图像进行置乱变换。将置乱后的水印图像利用行扫描形成一维向量,并依次标号为 $1 \sim P \times Q$ ,从而得到由原二值水印图像 $X$ 转换而来的一维数字水印序列

$$V = \{v(k), 1 \leq k \leq P \times Q, v(k) \in \{0,1\}\} \quad (3)$$

(2)离散小波变换。对原始图像 $X$ 实施 $L$ 级小波变换,得到一个逼近子图(最低频子带)和 $3L$ 个细节子图(高频子带)。小波变换级数 $L$ 的确定取决于原始图像的大小和待嵌入数字水印信息的长度,小波变换级数越大,嵌入水印的隐藏效果就越好。

(3)选取纹理子块。将小波图像的高频子带划分成大小为 $2 \times 2$ 的图像子块 $B_k$ 。计算每一个图像子块 $B_k$ 的熵值和方差。熵值较小的图像子块应该是平滑块,而熵值比较大的图像子块是纹理块或边缘块。纹理子块对应的方差较小,边缘子块对应的方差比较大。选取合适的熵阈值和方差阈值,便可以得到纹理子块 $U_k (k=1,2,\dots,P \times Q)$ 。

(4)水印嵌入。修改所选择的纹理子块 $U_k$ 内的小波系数的值 $C_k$ ,以完成数字水印的嵌入。其嵌入公式为

$$C'_k = C_k + \alpha \cdot v_k, k=1,2,\dots,P \times Q \quad (4)$$

式中: $C_k$ ——纹理子块 $U_k$ 内的原小波系数值, $v_k$ ——一维数字

水印序列 $V$ 的第 $k$ 个分量, $C'_k$ ——嵌入水印后纹理子块 $U_k$ 内的小波系数值, $\alpha$ ——数字水印嵌入的固定深度。

(5)将修改过的高频子带结合最低频子带进行小波逆变换,得到嵌入有数字水印的含水印图像。

## 3 数字水印的检测

数字水印的检测过程如图3所示。

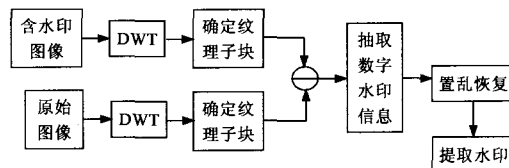


图3 水印检测过程

(1)离散小波变换。选择嵌入过程所采用的小波基,对原始图像和含水印图像实施 $L$ 级小波变换,以得到各自的最低频子带和高频子带。

(2)确定纹理子块。将原始图像和含水印图像的小波图像高频子带划分成大小为 $2 \times 2$ 的图像子块。从原始图像的小波图像高频子带中确定纹理子块集 $U$ ,并以这些纹理子块的地址作为索引,从含水印图像的小波图像高频子带中选择相应的子块作为待测纹理子块集 $U'$ 。

(3)抽取数字水印信息 $V'$ 。计算纹理子块 $U_k$ 和 $U'_k$ 的熵值 $H(U_k)$ 和 $H(U'_k)$ ,并求得二者的熵值之差 $H(U_k) - H(U'_k)$ 。当两者相应熵值之差大于某个阈值时,则认为含水印图像的该纹理子块 $U'_k$ 内有水印分量存在,其值为1,否则为0。

(4)水印的逆随机置乱。按照水印置乱的反向操作计算出待测二值水印图像 $W'$ 。

水印算法的评价包括隐蔽性评价和鲁棒性评价两部分。隐蔽性的评价在原始图像和含水印图像间进行。定量客观的评价隐蔽性常采用信号处理中的峰值信噪比 $PSNR$ ,其定义为

$$PSNR(X,W) = 10 \log_{10} \left[ \frac{\max_{m,n} \sum_{i,j=1}^Q X^2(i,j)}{\frac{1}{M \times N} \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q ((X(i,j) - W(i,j))^2)} \right], (0 < i,j \leq N) \quad (5)$$

单位是 $dB$ , $PSNR$ 值越大,水印隐蔽性越好。水印鲁棒性的评价在原始水印 $W$ 与提取水印 $W'$ 间进行。通常采用归一化相关系数 $\rho$ 对水印和提取水印的相似性进行定量评价,它定义为

$$\rho(W,W') = \frac{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q w(i,j) \cdot w'(i,j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q w^2(i,j)} \sqrt{\sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q w'^2(i,j)}} \quad (6)$$

相关系数值在 $0,1$ 之间,相关系数越大,水印鲁棒性越好<sup>[7-8]</sup>。

## 4 实验结果

为了验证本算法,采用几幅灰度图像在Matlab下进行实验。水印图像为 $64 \times 64$ 的二值图像。选取Haar小波基,并对原始图像进行3级小波变换。

### 4.1 检测性能测试

在本实验中,选取多幅bmp位图图片进行实验仿真(水印信息为5.05 K的文本图像),图4为实验结果。

原始载体图像和嵌入水印后图像的大小、亮度、灰度范

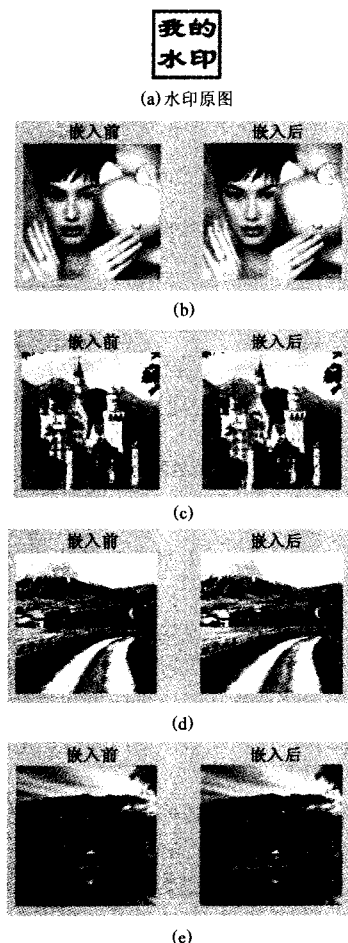


图4 水印原图和各图像及其嵌入后结果

围、熵等性能参数如表1、表2所示。水印嵌入前后图像的大小、亮度、灰度、熵的变化如表3所示(其中, $\Delta V$ 、 $\Delta I1$ 、 $\Delta I2$ 、 $\Delta G$ 、 $\Delta T$ 分别表示隐藏前、后图像的大小、亮度、灰度、熵的变化)。

从表3可以看出,嵌入水印前和嵌入后的图像在体积上没有任何变化( $\Delta V=0$ );图像的亮度值以及灰度分布范围也没有明显的变化,本例中,图像亮度均值相对误差位于0.6%~2.6%之间,而灰度相对误差在0.8%~7.6%之间,所以该算法对图像的视觉效果没有明显的改变。熵值变化相对误差在4.3%~6.7%之间,平均相对误差为5.5%。

表4为各幅图像的PSNR值。

#### 4.2 抗攻击能力测试

为了检测水印的鲁棒性,对含水印图像进行一些攻击。常见的攻击方式包括叠加噪声、几何剪切、JPEG压缩、平滑滤

表1 嵌入前各图像属性值

图像	属性				
	嵌入前				
	大小/K	亮度		灰度范围	熵
		均值	标准差		
a	61.3	180.72	55.18	46~252	7.71
b	52.7	145.42	41.82	7~248	7.16
c	83.1	120.26	78.17	6~250	7.81
d	65.0	103.52	61.26	2~253	7.69

表2 嵌入后各图像属性值

图像	属性				
	嵌入后				
	大小/K	亮度		灰度	熵
		均值	标准差		
a	61.3	182.40	53.70	48~254	7.24
b	52.7	146.35	41.16	8~250	6.85
c	83.1	123.42	77.93	8~253	7.43
d	65.0	104.87	60.89	3~254	7.17

表3 嵌入前后图像属性变化量

图像	属性				
	$\Delta W = W_{\text{前}} - W_{\text{后}}$				
	$\Delta V$	$\Delta I$		$\Delta G$	$\Delta T$
		$\Delta I1$	$\Delta I2$		
a	0	-1.68	1.48	-2~-2	0.47
b	0	-0.93	0.66	-1~-2	0.31
c	0	-3.16	0.24	-2~-3	0.38
d	0	-1.35	0.37	-1~-1	0.52

表4 各图像的PSNR值

属性	图像			
	a	b	c	d
PSNR	42.37	41.89	41.72	42.53

波、旋转复位、图像增强等。表5给出其中一幅含水印图像受攻击后的水印的相关系数值。由表5可见,除几何剪切攻击外,其它攻击发生时,相关系数均大于90%。而且,在63%的情况下,相关系数均大于96%。这说明,基于人眼视觉特性的小波变换数字水印算法具有理想的鲁棒性。

表5 水印的鲁棒性测试

攻击方式	参数	相关系数 $\rho$
叠加噪声	随机分布	0.9892
	均匀分布	0.9934
几何剪切	剪去1/4	0.8751
	剪去1/8	0.9420
JPEG压缩	质量系数为60%	0.9078
	质量系数为80%	0.9654
平滑滤波	低通滤波	0.9662
	中值滤波	0.9375
图像增强	锐化	0.9987
	边缘锐化	0.9986
旋转复位	旋转3次	0.9869

## 5 结束语

本文提出了一种基于人眼视觉特性的小波变换数字水印算法,该算法能够依据人眼视觉特性,将水印信息嵌入到小波变换域中,从而提供不同的空间支持区域,实现局部水印和全局水印之双重目的。实验结果表明,本文提出的数字水印不仅具有较好的透明性,而且可有效抵抗常见的图像处理及外

(下转第1010页)

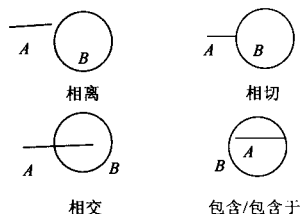


图5 线/形拓扑关系

$$A \text{ touch } B \Leftrightarrow (A \cap B = \text{Ver}(A)) \text{ and } (A \cap B \text{ in } E(B))$$

$E(A)$ : 图元的边界点集合, 具体算法根据图元类型有关。

相交

$$A \text{ touch } B \Leftrightarrow (A \cap B \neq \emptyset) \text{ and } (A \cap B \neq \text{Ver}(A)) \text{ and } (A \cap B \text{ in } E(B))$$

包含于

$$A \text{ contain } B \Leftrightarrow A \text{ in } I(B)$$

$I(B)$ : 图元内部的点集。

## 4.2 形/形关系

形/形之间的基本关系主要有8种(图6中以圆形之间的关系举例)。

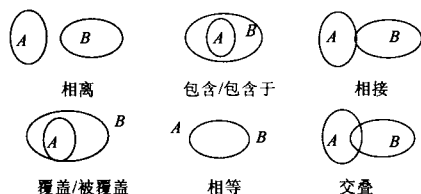


图6 形/形拓扑关系

相离

$$A \text{ disjoint } B \Leftrightarrow (A \cap B = \emptyset) \text{ and } (A \text{ not in } I(B)) \text{ and } (B \text{ not in } I(A))$$

交叠

$$A \text{ overlap } B \Leftrightarrow (E(A) \cap E(B) \neq \emptyset) \text{ and } (I(A) \cap I(B) \neq I(A)) \text{ and } (I(A) \cap I(B) \neq I(B))$$

相接

$$A \text{ touch } B \Leftrightarrow (I(A) \cap I(B) = \emptyset) \text{ and } (E(A) \cap E(B) \neq \emptyset)$$

包含于

$$B \text{ in } A \Leftrightarrow (B \cap A = E(B)) \text{ and } (E(A) \cap E(B) = \emptyset)$$

相等

$$A \text{ equal } B \Leftrightarrow A \cap B = A \text{ and } A \cap B = B$$

覆盖

$$A \text{ cover } B \Leftrightarrow (I(A) \cap I(B) = I(A)) \text{ and } (E(A) \cap E(B) \neq \emptyset)$$

## 5 结束语

本文通过对作业图形的基本特定进行了分析, 得出了以下基本结论: ①作业图形具有“无固定起点、无精确尺寸、无统一比例”的“三无”特点; ②作业图形的识别具有模糊性, 学科独立性, 数理逻辑相关性; ③作业图形本身的独特性和识别过程涉及的特殊性, 使得作业图形的识别方法不同于精确图形的识别方法, 只能从图形的几何拓扑关系和相对位置关系进行定性识别, 而恰当地提取作业图形的特征和选择有效的知识表示方法是正确识别作业图形的重要基础。

本文对作业图形的基本属性、拓扑关系和位置关系进行了分析和研究, 在此基础上提出了一种作业图形的特征描述法, 为作业图形的相似识别提供了基础。

## 参考文献:

- [1] 谢君华. 基础力学作业图形识别技术的研究[D]. 西南交通大学, 2005.
- [2] 谭建荣, 岳小莉. 图形相似基本原理与应用[J]. 计算机学报, 2002, 25(9): 1-9.
- [3] 葛友华, 安鲁凌. 基于工程图形的特征识别方法[J]. 江苏理工大学学报, 2001, 22(6): 50-53.
- [4] 吕秀琴, 吴凡. 多尺度空间对象拓扑相似关系的表达与计算[J]. 测绘信息与工程, 2006, 31(2): 29-31.
- [5] 周美立. 相似工程学[M]. 北京: 机械工业出版社, 1998: 112-150.
- [6] 苗雪兰. 图形对象的特征点描述法[J]. 河南大学学报, 1999(1): 48-50.
- [7] 曹茜, 陈军. 方向关系与距离关系的定性描述与推理[J]. 西安石油学院学报, 2001, 16(1): 69-72.
- [8] 闫浩文, 郭仁忠. 空间方向关系基础性问题研究[J]. 测绘学报, 2002, 31(4): 358-360.
- [9] 闫浩文, 郭仁忠. 空间方向关系形式化描述模型研究[J]. 测绘学报, 2003, 32(2): 41-46.
- [10] 丁虹. 空间相似性理论与计算模型的研究[D]. 武汉大学, 2004.

(上接第1006页)

来噪声干扰, 具有理想的水印鲁棒性。当然, 本算法还有值得改进的地方, 比如如何进一步提高自适应性, 如何更充分地利用人类视觉系统模型来嵌入高强度水印能量, 如何扩展到保护需求更高的视频中去等。

## 参考文献:

- [1] Yen Jui-Cheng. Watermarking embedded in permuted domain[J]. Electronics Letters, 2001, 37(2): 80-81.
- [2] Frank Hartung, Martin Kutter. Multimedia watermarking techniques[J]. Proceeding of the IEEE, 1999, 87(7): 1079-1094.
- [3] Kaewkamnerd N, Rao K R. Wavelet based image adaptive water-

marking scheme[J]. Electronics Letters, 2000, 36(2): 312-313.

- [4] 蒋天发, 周熠. 图像数字水印技术[J]. 武汉理工大学学报, 2003, 27(5): 711-714.
- [5] 杨红颖, 王向阳, 赵岩. 基于纹理子块的小波变换数字水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2004, 21(7): 106-109.
- [6] 王向阳, 杨红颖, 陈利科. 基于人眼视觉系统的自适应量化数字水印算法研究[J]. 小型微型计算机系统, 2005, 26(9): 1525-1529.
- [7] 黄达人, 刘九芬, 黄继武. 小波变换域图像水印嵌入对策和算法[J]. 软件学报, 2002, 13(7): 1290-1295.
- [8] 钮心忻, 杨义先. 基于小波变换的数字水印隐藏与检测算法[J]. 计算机学报, 2000, 23(1): 21-27.