

# 一种基于图像内容特征的数字水印方法

蔡翔云, 张爱英

(昆明理工大学 理学院, 云南 昆明 650093)

**摘要:** 提出了一种基于图像内容特征的数字水印新方法. 水印直接采用灰度图像, 嵌入时充分考虑图像的内容特征和人眼视觉掩蔽 (HVS) 特性, 在低中频分量嵌入水印. 先提取图像的边缘信息, 进行系数修正; 又根据小波变换后的系数特性, 有选择地调整嵌入的强度, 使鲁棒性和不可见性都得到提高. 最后用实验和攻击测试验证了该算法的有效性.

**关键词:** 数字水印; 小波变换; 图像内容

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **文章编号:** 1007-855X(2005)06-0112-05

## A Watermarking Algorithm Based on Image Content Features

CAI Xiang-yun, ZHANG Ai-ying

(Faculty of Science, Kunming University of Science and Technology, Kunming 650093, China)

**Abstract** A new watermarking method of image content features is proposed in this paper. The still color image is adopted in watermarking. According to the image content features and the characteristics of human visual systems (HVS), the watermark is embedded into the low and the intermediate frequency part. First, the image edge information is abstracted and the coefficient is modified. Then the intension of embedded image is adjusted according to the coefficient features of wavelet transforms. The robustness and the invisibility can be improved. In the end the validity of the method is proved based on the results of experiments and attack test.

**Key words** digital watermarking; wavelet transform; image content

### 0 引言

数字水印是目前国际学术界研究的一个前沿领域. 数字水印技术就是将数字、序列号、文字、图像标志等版权信息嵌入到多媒体数据中, 起到版权保护的作用. 除此之外, 数字水印还在真伪鉴别、隐藏通信、标志隐含等方面具有重要的应用价值.

近年来国际上提出了各种数字水印方案<sup>[1~4]</sup>, 利用数字水印可以有效地解决数字产品的版权保护问题. 根据数字水印加载方法的不同, 数字水印可以分为两大类: 空域数字水印和变换域数字水印. 空域数字水印是将水印直接嵌入到原始数据上, 一般比较简单, 运算效率较高, 但鲁棒性较变换域数字水印略差. 变换域数字水印是将空域进行变换, 利用变换空间的良好特性来进行水印的嵌入, 这种算法的鲁棒性较好, 但一般算法比较复杂, 实时性差.

数字水印的不可见性和鲁棒性是数字水印系统最重要的特性, 但是同时满足这两个特性很困难. 为了提高水印的不可见性, 一般利用人眼视觉系统 (HVS) 来实现频域数字水印系统. 在文献 [5] 中, 基于图像小波分解的视觉特征描述如下: 人眼对高分辨子带的噪声不敏感, 尤其对 45° 方位上的那些子带的噪声不敏感; 人眼对不同亮度具有不同的敏感性, 通常对高亮度点和低亮度点最不敏感; 人眼对高纹理区的噪声不敏感, 但对这些区域中的边缘较敏感. 在小波域中嵌入水印时, 利用以上三点 HVS 特性, 以达到很好的水印不可见性.

收稿日期: 2004-12-09

第一作者简介: 蔡翔云 (1949~), 男, 教授. 主要研究方向: 图像处理, 模式识别. E-mail km\_cxy@tom.com

# 1 嵌入方案

## 1.1 人类视觉系统对水印嵌入的要求

嵌入的水印必须是肉眼不可见的. 并且图像嵌入水印后, 经过一些非本质的变化如压缩、裁剪、滤波、旋转等操作后仍能检验出水印的存在性, 即图像嵌入水印应具备鲁棒性要求<sup>[6]</sup>.

根据人类视觉系统, 人眼对图像高频部分的噪声不敏感, 对背景亮度很亮或很暗的部位的噪声也不敏感, 因此这部分应隐藏丰富的水印信息, 而其它部分应不嵌入或嵌入较弱的水印信息. 考虑到图像压缩通常都是消弱甚至除去高频信息, 为了增强鲁棒性, 应在宿主图像的低频、高频同时嵌入水印. 一般情况下, 水印图像比宿主图像小得多, 为了解决针对图像剪裁的鲁棒性, 应在宿主图像的多区域嵌入水印, 以免图像剪裁将嵌入的水印部分裁掉, 这样只有对图像大面积的破坏才能破坏嵌入的水印.

## 1.2 图像的小波分解

小波分析不仅继承和发展了短时 Fourier 变换的局部化思想, 而且克服了窗口大小不随频率变化、缺乏离散正交基的缺点, 是一种较理想的信号分析工具, 被誉为“数学显微镜”. 对一副  $N \times N$  的图像进行尺度为  $n$  的小波分解, 低频分量  $LL_n$  是图像的一个低尺度逼近, 图像的能量绝大多数集中于此; 设  $HL_i, HH_i (i = 1, 2, \dots, n)$  分别为水平、垂直和对角方向的高频分量, 则它们分别表示了图像中的水平、垂直和对角方向的边缘、轮廓和纹理等. 这个特点说明了小波变换具有良好的空间方向的选择性, 与 HVS 特性十分吻合. 值得注意的是, 各个子带中的系数具有明确的空间位置的对应关系, 它们构成树结构, 可通过上一级系数的地址对下一级系数进行寻址<sup>[7]</sup>.

# 2 基于图像内容的小波水印算法

## 2.1 水印的嵌入

根据 DWT 的优点, 本文选择将信息嵌入到低频、中频. 设原图像  $F$  的大小为  $M \times N$ , 欲嵌入的水印为  $W$ . 目前使用较多的可视化水印是二值水印图像, 但是从信息量和识别性能来看, 灰度级水印更具有优势. 但灰度级水印包含的信息量远大于二值水印图像, 这也成为其被广泛应用的一个限制. 这里, 我们直接采用灰度级图像进行嵌入. 嵌入过程如图 1.

Step1: 对  $F$  进行  $m$  层小波分解, 分解后的低频和中高频分别为  $LL_m^F, IH_i^F, HL_i^F, HH_i^F, i = 1, 2, \dots, \Lambda, m$ ; 对  $W$  进行一层小波分解, 分解后的低高频分别为  $LL_1^W, IH_1^W, HL_1^W, HH_1^W$ .

Step2 对小波变换后的图像  $F$  中、高频提取边缘信息

$I_{IH_i^F}, I_{HL_i^F}, I_{HH_i^F}, i = 1, 2, \dots, \Lambda, m$ . 然后对提取的边缘信息进行系数修正.

Step3 对变换后的低频部分, 直接嵌入水印信息. 为了提高算法的鲁棒性和不可见性, 我们选取  $\alpha$  为系数拉伸因子.

$$LL_m = LL_m^F + \alpha \times LL_1^W \tag{1}$$

Step4 对变换后的中高频部分, 先提取图像的边缘信息, 再对边缘信息嵌入水印, 增强水印的不可见性; 根据 HVS 对高亮度和低亮度不敏感的特性, 考虑到人眼对对角线方向上的敏感度较低, 我们在对角线方向的分量上都乘以一个系数量化因子  $\sqrt{2}$

$$\left. \begin{aligned} IH_i &= IH_i^F + \beta_i \times IH_1^W \times I_{IH_i^F} \\ HL_i &= HL_i^F + \gamma_i \times HL_1^W \times I_{HL_i^F} \\ HH_i &= HH_i^F + \sqrt{2} \times \xi \times HH_1^W \times I_{HH_i^F} \end{aligned} \right\} \tag{2}$$

其中:  $i = 1, 2, \dots, \Lambda, m$ .

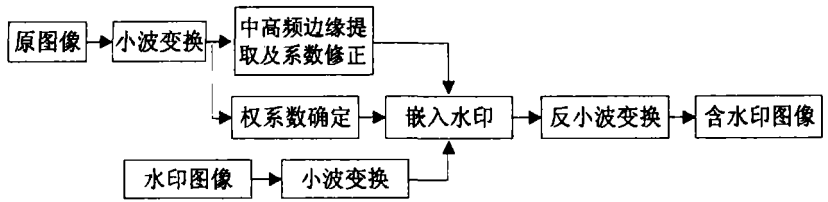


图1 水印嵌入流程图

Fig.1 Sketch of watermark embedding

Step5 对嵌入水印后的高低频分量进行逆小波变换,得到嵌入水印后的图像.

## 2.2 系数 $\alpha$ 和 $\beta_i$ 的选取

根据视觉掩蔽特征,水印的不可见性受背景纹理复杂性的影响,纹理越复杂,不可见门限就越高.这意味着在保证不可见的前提下,具有不同纹理特征的局部区域,允许叠加的信号是不同的.因此,可以根据纹理复杂度的不同,对水印的添加强度做自适应调整.拉伸因子  $\alpha$  和  $\beta_i$  的值越大,鲁棒性越好,透明性差;反之,透明性好,鲁棒性差.根据视觉纹理掩蔽特性,对  $\alpha$  和  $\beta_i$  做自适应调节.方法如下:分别计算中高频子带平方期望值:

$$\left. \begin{aligned} E \underline{HL}_i^F(x, y) &= \frac{1}{R_i^2} \sum_{(x, y) \in HL_i^F} (HL_i^F(x, y))^2 \\ E \underline{IH}_i^F(x, y) &= \frac{1}{R_i^2} \sum_{(x, y) \in IH_i^F} (IH_i^F(x, y))^2 \\ E \underline{HH}_i^F(x, y) &= \frac{1}{R_i^2} \sum_{(x, y) \in HH_i^F} (HH_i^F(x, y))^2 \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

其中,  $R_i$  表示以  $(x, y)$  为中心的  $R_i \times R_i$  邻域.

然后计算中高频子带每个系数的权值:

$$\left. \begin{aligned} Q \underline{HL}_i^F(x, y) &= (HL_i^F(x, y) - E \underline{HL}_i^F(x, y)) / \sum_{(x, y) \in HL_i^F} (HL_i^F(x, y) - E \underline{HL}_i^F(x, y))^2 \\ Q \underline{IH}_i^F(x, y) &= (IH_i^F(x, y) - E \underline{IH}_i^F(x, y)) / \sum_{(x, y) \in IH_i^F} (IH_i^F(x, y) - E \underline{IH}_i^F(x, y))^2 \\ Q \underline{HH}_i^F(x, y) &= (HH_i^F(x, y) - E \underline{HH}_i^F(x, y)) / \sum_{(x, y) \in HH_i^F} (HH_i^F(x, y) - E \underline{HH}_i^F(x, y))^2 \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

再取每一子带系数权值的最大最小值  $\max(Q \underline{HL}_i^F(x, y))$ ,  $\min(Q \underline{HL}_i^F(x, y))$ , 设  $\max(x_j)$ ,  $\min(x_j)$  是第  $j$  行中的最大值、最小值, 令

$$\beta_i = \min(Q \underline{HL}_i^F(x, y)) + \frac{x_j - \min(x_j)}{\max(x_j) - \min(x_j)} (\max(Q \underline{HL}_i^F(x, y)) - \min(Q \underline{HL}_i^F(x, y))) \quad (5)$$

拉伸因子  $\beta_i$  取  $\beta_j$  的平均值. 同理, 可求  $\gamma_i, \xi_i$ .

又  $LL_m$  反映该像素块的像素在不同精度级下的水平、垂直、对角差值信息, 故  $\alpha$  取为它所对应树枝的权系数之和.

## 2.3 水印的检测

水印的检测是水印嵌入的逆过程, 水印的检测过程如下:

Step1: 将检测图像和原图分别进行  $m$  层小波分解, 得到各自的低高频系数  $LL_m, IH_i, HL_i, HH_i, i = 1, 2, \dots, m$  和  $LL_i^F, IH_i^F, HL_i^F, HH_i^F, i = 1, 2, \dots, m$ ;

Step2 根据公式  $LL_1^{W1} = (LL_m - LL_m^F) / \alpha$  提取出水印的低频部分.

Step3 由公式

$$\left. \begin{aligned} IH_1^{W'} &= (IH_i - IH_i^F) / (\beta_i \times I_{IH_i^F}) \\ HL_1^{W'} &= (HL_i - HL_i^F) / (\gamma_i \times I_{HL_i^F}) \\ HH_1^{W'} &= (HH_i - HH_i^F) / (\sqrt{2}\xi_i \times I_{HH_i^F}) \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

其中:  $i = 1, 2, \dots, m$ , 求出  $LL_1^{W'}, IH_1^{W'}, HL_1^{W'}, HH_1^{W'}$ .

Step4 对  $LL_1^{W'}, IH_1^{W'}, HL_1^{W'}, HH_1^{W'}$  进行逆小波变换, 得到检测出的水印.

## 3 仿真试验的结果及鲁棒性检测

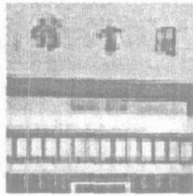
### 3.1 实验结果

实验中选用的测试图像为图 2(a)所示的  $256 \times 256 \times 8$  的 Lena 标准图像. 利用上述算法在测试图像中嵌入水印, 水印图像为图 2(b)所示的 256 级灰度图像. 实验先检测出水印, 然后模拟各种失真处理, 以

检测水印嵌入的有效性和鲁棒性. 实验结果分别如图 4~ 7. 其中, 图 3 为嵌入水印后的图像, 验证了应用本文算法实现的水印的不可见性, 从视觉效果的角度来看, 即使与原始图像放在一起进行比较, 也很难感觉到水印的存在, 而客观计算出峰值信噪比 ( $PSNR = 39.4263$ ) 也进一步说明水印具有很好的不可见性. 图 4 是未经任何攻击提取出的水印图像, 它的  $NC = 0.9993$ , 和原水印图像差别很小.



(a)原图像



(b)水印图像

图2 原图像与水印图像组

Fig.2 Group of original image and watermark image



图3 嵌入水印后的图像

Fig.3 Watermark image

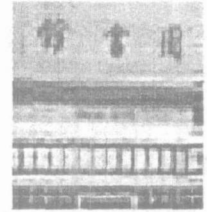


图4 提取出的水印图像

Fig.4 Extracted watermark

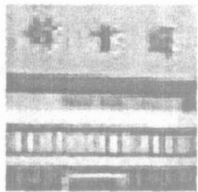


图5 旋转90° 后提取出的水印  
Fig.5 Extracted watermark of 90° Rotation

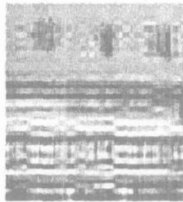


图6 放大1.2倍后提取的图像  
Fig.6 Extracted watermark of 1.2 times magnification

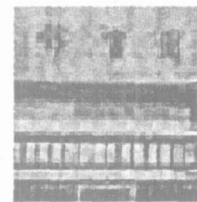


图7 JPEG压缩80%后提取的图像  
Fig.7 Extracted watermark of 80%-compressed JPEG copy

### 3.2 水印鲁棒性实验

数字水印算法的另外一个性能指标就是水印的抗干扰能力, 即当被保护的信息经过某种改动 (如混入噪声、过滤、重采样、旋转、剪切、有损压缩等) 后, 嵌入的信息应能保持其完整性, 即不能轻易被去除, 并能够以一定的正确概率被检测到. 为此, 本文对嵌入水印后的图像进行了各种鲁棒性实验, 其结果如表 1 所示.

表 1 各种攻击结果

Tab 1 The results of various attacks

	大小	NC		大小	NC	
图像施转	2°	0.817 0	加热	0.01	0.807 8	
	90°	0.825 7		0.005	0.820 0	
	180°	0.692 0		JPEG	80%	0.820 8
放大缩小	1.2倍	0.985 9	压缩	50%	0.786 1	
	1.5倍	0.974 7				
	0.8倍	0.947 1				

这里采用归一化相关系数 ( $NC$ ) 来度量提取水印与原始水印的相似性. 为简单起见, 我们用  $w(m, n)$  代表原始水印,  $w'(m, n)$  代表提取出的水印, 如果  $NC$  超过事先给定的阈值, 则说明检测到给定的水印. 更确切的水印检测条件有下式给定:

$$NC(w, w') = \frac{\sum_m \sum_n w(m, n)w'(m, n)}{\sum_m \sum_n [w(m, n)]^2} \geq NC_0 \quad (7)$$

其中,  $NC_0$  是一个事先给定的阈值.

同时采用峰值信噪比  $PSNR$  作为水印图像质量的客观评价:

$$PSNR = 10 \lg(Q^2 MSE) \quad (8)$$

$$MSE = \frac{1}{MN} \sum_{x=1}^M \sum_{y=1}^N [f(x, y) - \hat{f}(x, y)]^2 \quad (9)$$

其中,  $f(x, y)$ ,  $\hat{f}(x, y)$  分别表示原始图像和嵌入水印后的图像的数据,  $\bar{f}$  表示  $f(x, y)$  的均值,  $x, y$  为图像的平面坐标,  $M$  和  $N$  为图像的尺寸.

#### 4 结论

本文提出了一种基于图像内容特征的数字水印新方法. 该方法充分利用了小波变换后的系数特点和HVS特性, 在人眼不易察觉的高亮度、低亮度和高频部分嵌入水印, 使鲁棒性和不可见性达到很好的调节, 达到了较好的效果.

#### 参考文献:

- [1] Swanson MD, Kobayashi M, Tewfik AH. Multimedia data-embedding and watermarking technologies [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(6): 1064~1087.
- [2] Petitcolas FAP, Anderson R J, Kuhn M G. Information hiding a survey [J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1062~1078.
- [3] Hartung F, Kutter M. Multimedia watermarking technologies [J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1079~1107.
- [4] Voyatzis G, Pitas L. The use of watermarks in the protection of digital multimedia products [J]. Proceedings of the IEEE, 1999, 87(7): 1197~1207.
- [5] Bam i M, Barbolini F, Piva A. Improved Wavelet-based Watermarking Through Pixel-Wise Masking [J]. IEEE Trans on Image Processing 2000 10(5): 1~6.
- [6] Foster I, Kesselman C. Computational Grids in the Grid Blueprint for a New Computing Infrastructure. Page Chapter 1, Morgan Kaufman Publishers, 1999.
- [7] Shapiro JM. Embedded Image Coding Using Zero-trees of Wavelets Coefficients [J]. IEEE Trans on Signal Processing 1993, 41(12): 3345~3462.
- [8] 石磊, 洪帆, 胡玉平. 一种基于图像特征的小波水印 [J]. 计算机工程与科学, 2004, 26(2): 44~47.
- [9] 于景侠, 王秉中. 一种自适应图像小波域数字水印嵌入方案 [J]. 计算机工程与应用, 2003, 35: 83~85.