

# 基于小波变换的可见可逆数字水印算法

崔得龙

(茂名学院 计算机与电子信息学院, 广东 茂名 525000)

**摘要:** 提出了一种可无损恢复的小波域可见数字水印算法。算法采用视觉对比模型和人类视觉系统特性计算水印拉伸系数, 并由用户密钥生成随机模板确定水印信息的嵌入位置。实验结果表明本算法具有很好的可见性和鲁棒性。

**关键词:** 可逆水印; 可见水印; 小波变换; CSF

中图分类号: TP391

文献标识码: A

## Removable visible watermark algorithm based on wavelet transform

CUI De Long

(College of Computer and Electronic Information, Maoming University, Maoming 525000, China)

**Abstract:** This paper proposes a reversible visible watermark algorithm based on wavelet transform. For our removable visible watermark algorithm, we compute composite coefficients using characteristics of the contrast sensitivity function(CSF)and human visual system (HVS) in the discrete wavelet transform (DWT) domain. The visible watermark is securely by employing a use-key-controlled embedding mechanism. The numerous tests and the results obtained the superior visibility and robust of the proposed approach.

**Key words:** removable watermark; visible watermark; wavelet transform; CSF(contrast sensitivity function)

随着计算机和网络技术的飞速发展, 数字图像、音频、视频等数字产品越来越需要一种有效的版权保护方法, 数字水印在技术上为保护多媒体信息和保证其安全使用提供了一种新的解决思路, 已成为多媒体信息安全研究领域的一个热点。

根据水印的可见性, 分为可见水印和不可见水印两大类。可见水印主要有以下几个重要的特性: (1)水印添加后, 能够用肉眼观察出水印的存在, 并且图像中的不同区域具有一致的视觉突出效果; (2)添加水印后的图像的细节不易遭到严重破坏; (3)水印算法要具备很强的鲁棒性, 能够避免各种恶意攻击, 若水印遭到破坏, 图像质量会遭到严重损坏。

本文提出了一种基于小波变换的可见可逆数字水印算法, 其创新之处主要在于: (1)实现了水印的自适应嵌入, 即在充分考虑人眼的亮度感觉及对比灵敏度阈值等人类视觉系统特性的基础上, 通过计算各个局部块的水印嵌入强度因子来嵌入水印, 水印嵌入强度因子能够根据宿主图像特征动态地调整, 并能兼顾水印的可见性和鲁棒性; (2)

根据用户密钥生成随机嵌入模板, 嵌入位置取决于嵌入模板, 从而保证算法的安全性和水印去除的完全性。

### 1 CSF视觉模型(Contrast Sensitivity Function)及CSF视觉掩模分析

#### 1.1 CSF视觉模型

Mannos和Sakrison最先提出了CSF视觉模型, 用它描述人眼对空间频率的敏感特性。Mannos和Sakrison提出的CSF视觉模型如下<sup>[1, 2]</sup>:

$$H(f) = 2.6 \times (0.192 + 0.114 \times f) \times e^{-(0.114 \times f)^{1.1}} \quad (1)$$

式(1)中,  $f$ 为与视角正对应的径向频率,  $f = (f_x^2 + f_y^2)^{0.5}$ 单位为周/度(cycles/degree),  $f_x$ 和 $f_y$ 分别为水平和垂直方向的空间频率。

#### 1.2 CSF视觉掩模

CSF对不同空间频率的对比敏感性不同, 相当于一个带通滤波器, HVS(Human Visual System)在频率0.03~0.23之间最敏感, 在其他频率处HVS的敏感性会随频率的增加或减少而降低, 小波域6权重CSF掩模如表1所示<sup>[3]</sup>。

表1 6权重CSF视觉掩膜

LL5	LH5, HL5, HH5	LH4, HL4, HH4
1.17	2.35	2.87
LH3, HL3, HH3	LH2, HL2, HH2	LH1, HL1, HH1
3.16	2.56	1

## 2 小波域嵌入强度计算

为了保证水印具有良好的可见性和自适应性, 水印的强度要结合人眼视觉敏感特性。本算法水印的嵌入强度基于CSF视觉模型及HVS特性, 主要利用了HVS的以下特性<sup>[4-5]</sup>:

(1)人眼对不同亮度区域的噪声的视觉敏感性不同, 通常对中等灰度最为敏感, 在中等灰度 $[I_1, I_2]$ 很宽的范围中Weber比保持常数0.02, 向低灰度和高灰度两个方向呈非线性下降。记当前块为 $B_{u,v}$ , 它在原始图像中对应位置为 $(u,v)$ , 块均值为 $ave(u,v)$ , 设不同亮度区域水印嵌入强度为 $w(u,v)$ , 则 $w(u,v)$ 可表示如下:

$$w(u,v) = \begin{cases} 0.98 - \frac{(\beta - 0.02)[ave(u,v) - I_1]^2}{I_1^2} & ave(u,v) \leq I_1 \\ 0.98 & I_1 \leq ave(u,v) \leq I_2 \\ 0.98 - \frac{(\beta - 0.02)[ave(u,v) - I_1]^2}{(255 - I_2)^2} & ave(u,v) \geq I_2 \end{cases} \quad (2)$$

(2)人眼对图像平滑区噪声较敏感而对纹理区噪声则不太敏感。由于熵值较小的块对应平滑区, 而熵值较大的块对应纹理区, 因此可用熵来区分图像分块的属性。记块 $B_{u,v}$ 的熵值为 $H'(u,v)$ , 为增强水印在纹理区域的可见性, 通过式(3)将熵归一化到区间 $[a,b]$ 上,  $H(u,v)$ 即为所得不同纹理区域嵌入强度:

$$H(u,v) = \frac{b-a}{\max(H') - \min(H')} [H'(u,v) - \min(H')] + a \quad (3)$$

综上所述, 图像分块 $B_{u,v}$ 的可见水印强度调节因子可用式(4)表示为:

$$\alpha^{(k)}(u,v) = w(u,v) \times H(u,v) \times r^{(k)} \quad (4)$$

式中,  $r^{(k)}$ 为6权重CSF掩膜。

## 3 多分辨率可见水印嵌入的框架

使用图像融合的方法将宿主图像和水印图像进行叠加, 可见水印嵌入公式为<sup>[6]</sup>:

$$y^{(k)}(u,v) = \alpha^{(k)}(u,v)x^{(k)}(u,v) + \beta^{(k)}(u,v)w^{(k)}(u,v) \quad (5)$$

式中,  $\alpha^{(k)}(u,v)$ 和 $\beta^{(k)}(u,v)$ 分别为原始图像和水印图像对应区域的拉伸系数。  $x^{(k)}(u,v)$ 和 $w^{(k)}(u,v)$ 分别为宿主图像和水印图像的小波变换系数,  $1 \leq k \leq 5$ 为小波分解级数,  $y^{(k)}(u,v)$ 表示含水印图像的小波变换系数。

### 3.1 低频子带的拉伸系数

低频子带是原始图像的低分辨率表示形式, 与原始图像有相似的直方图特征, 但空间分布更加平坦。在低频子带上, 任一像素点与原始图像的多个像素点相对应,

所以, 很小的量化误差都会在重构时放大。因此, 修改低频子带系数应非常小心。本算法中低频子带的拉伸系数 $\alpha_l(u,v)$ 和 $\beta_l(u,v)$ 的取值范围被分别限定在 $[0.90, 0.95]$ ,  $[0.05, 0.1]$ 的区间内。

对于宿主图像而言, 变换系数的嵌入加权值最大为0.95, 换句话说, 在低频子带上水印信号的最低嵌入加权值为0.05。这样处理, 在保证对原始图像的视觉真实度破坏不大的情况下, 使结果图像中的水印具有良好的可见性。

### 3.2 高频子带的拉伸系数

在高频子带上对于处于第 $k(k=1, \dots, 5)$ 级且频率方向为HL、LH、HH的某一高频子带, 任一小波系数所对应的拉伸系数 $\alpha_h(u,v)$ 和 $\beta_h(u,v)$ 的变化范围被限定在 $[0.90, 0.95]$ ,  $[0.1, 0.3]$ 的区间内。将 $\beta_h(u,v)$ 的值调整到更大的范围内会使水印在结果图像上可见性更好, 且更鲁棒, 但宿主图像的细节损失也将更多。

## 4 算法的安全性

现以任一用户 $S_i$ 为例来说明本算法的安全性, 用户 $S_i$ 唯一对应一个密钥 $k(s_i)$ , 密钥 $k(s_i)$ 生成一个随机嵌入模板 $T(s_i)$ ,  $T(s_i)$ 由元素 $\{0,1\}$ 组成并服从均匀分布, 设计的算法规定在模板中与元素“1”对应的位置的小波系数才会被修改。因此, 密钥 $k(s_i)$ 可用于区分不同用户, 产生水印图像的不同版本。水印提取时, 也要根据密钥 $k(s_i)$ 来实现水印的完全去除。本算法水印嵌入流程图如图1所示, 水印的去除是嵌入过程的逆过程。

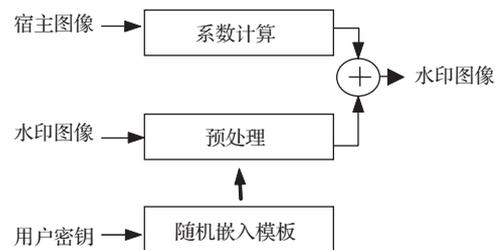


图1 水印嵌入流程图

## 5 实验结果

实验中采用的水印如图2(a)所示。不同用户密钥 $s_i$ 产生不同版本的水印图像, 如图2(b)、(c)所示。从表面上看, 两副图像非常相似; 图2(d)显示了两副图像的差值图像(经过了二值化处理), 可以看出, 用户密钥不同, 水印的嵌入位置也不同。

错误用户密钥下恢复的图像如图3所示, 从图中可以明显看到非法用户不能在保证图像质量的前提下有效去除水印。

将本算法与参考文献[7]相比较, PSNR计算结果如表2所示, 表中 $s_i$ 为不同用户。

从表2中可以看到, 在错误用户密钥下本章算法所恢复图像比参考文献[7]的PSNR平均要低13 dB, 这说明本算法更能满足可见水印算法的要求。



(a) 水印图像



(b) 含水印图像



(c) 含水印图像

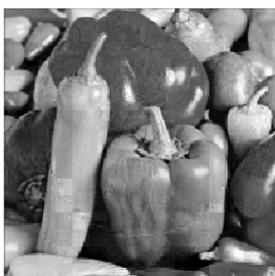


(d) 差值图像

图2 不同版本含水印图像及其差值图像



(a) Lena



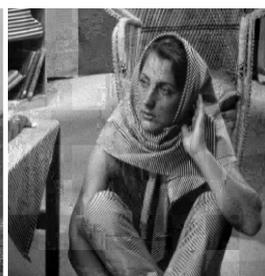
(b) Peppers



(c) F-16



(d) Sailboat



(e) Girl

图3 错误用户密钥下恢复的图像

本文提出的基于小波域的自适应可见可逆水印算法，水印的嵌入充分利用水印图像的特征和冗余性，约束了水印能量和容量的输入，很好地保持了宿主图像的细节，使水印的嵌入程度满足了对可见性的要求；同时，由于并不明显影响水印图像最具特征的系数嵌入，结果图像中的水印具有良好的视觉质量。实验结果表明，该算法在视觉质量上极大地优于以往的算法。

### 参考文献

- [1] IMGEUN L, JONGSIK K. Wavelet transform image coding using human visual system[J]. IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems. 1994: 619-623.
- [2] MILOSLAVSKI M, YO-SUNG H. Zerotree wavelet image coding based on the human visual system model[J]. IEEE Asia-Pacific Conference on Circuits and Systems. 1998: 57-60.
- [3] BEEGAN A.P., IYER, L.R.B.. Design and evaluation of perceptual masks for wavelet image compression[J]. Digital Signal Processing Workshop, 2002 and the 2nd Signal Processing Education Workshop. 2002: 88-93.
- [4] 曹华. 图像和视频水印嵌入新方法研究[D].2006: 64-78.
- [5] 施化吉. 基于小波变换和HVS的图像数字水印的研究[J].

表2 错误密钥下图像PSNR

单位: dB

		$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$
Lena	PSNR	38.34	38.25	38.15	33.15
	本章算法	24.07			
Peppers	PSNR	38.05	37.94	37.88	38.04
	本章算法	24.11			
F-16	PSNR	37.89	37.78	37.77	37.91
	本章算法	24.07			
Sailboat	PSNR	36.85	36.82	36.70	36.83
	本章算法	24.07			
Girl	文献 <sup>[7]</sup>	38.79	38.60	38.68	38.57
	本章算法	27.78			

微计算机信息, 2007,9(3): 80-82.

- [6] CUI De Long, HUANG Wen Pei. A novel removable visible watermarking algorithm based on luminance contrast sensitivity function[J]. IC-BNMT07. 2007: 150-153.
- [7] YONG Jian Hu, SAM K, JI Wu Huang. An algorithm for removable visible watermarking[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology. 2006, 16(1): 129-133.

(收稿日期: 2008-12-16)