

基于小波变换的多功能数字水印

张旭, 张贵仓, 杜跃

(西北师范大学数学与信息科学学院, 兰州 730070)

摘要: 提出一种基于小波域的多功能数字水印算法, 根据人类视觉特性和原始图像的自身内容确定可见水印在低频子带和各高频子带的拉伸系数。对嵌入可见水印图像的低频小波系数进行量化, 并将合适的量化步长嵌入不可见水印。实验结果表明, 该算法生成的水印图像满足可见水印的要求, 且不可见水印对一般的图像处理和攻击具有很好的鲁棒性, 可以同时实现版权通知和版权保护。

关键词: 可见水印; 小波变换; 人类视觉特性

Multi-function Digital Watermark Based on Wavelet Transformation

ZHANG Xu, ZHANG Gui-cang, DU Yue

(College of Mathematic and Information Science, Northwest Normal University, Lanzhou 730070)

【Abstract】 This paper proposes a multi-function digital watermark algorithm based on Discrete Wavelet Transformation(DWT), where the visible watermark's scaling factors of low frequency and each high frequency are determined by Human Visual System(HVS) and the host image features. Low frequency coefficients of the image embedded with visible watermark are selected to embed invisible watermark using quantization method by appropriate quantifying step size. Experimental results show that the watermarked image generated by the algorithm meets the requirements of visible watermark and the invisible watermark is robust against normal image processing and attacks. The algorithm can realize copyright informed and copyright protected together.

【Key words】 visible watermark; wavelet transformation; Human Visual System(HVS)

1 概述

互联网的普遍应用要求人们用新的方法来保护数字图像与视频的知识版权, 维护多媒体数据安全。数字水印技术根据水印性质的不同, 分为可见水印和不可见水印。不可见水印处理主要用于版权保护、认证及隐蔽通信; 可见水印处理是有目的地嵌入可见信息, 更适合于明确标识版权^[1-2]。根据人类视觉系统和原始图像的自身内容提出一种多功能的数字水印。在原始图像的低频子带, 根据人类视觉系统逐点确定水印嵌入的拉伸系数; 在原始图像的各高频子带, 对各高频子带进行分类, 逐块确定水印的拉伸系数。在含有可见水印的图像中采用量化的方法嵌入不可见水印, 实现了版权保护。

2 人类视觉模型

2.1 亮度掩膜

用低频子带系数近似地表示所对应空间域图像的背景亮度^[3]。根据人类视觉系统的研究成果, 人眼对于图像中间亮度区域的畸变最为敏感, 且对于亮度的敏感性随着灰度值的增加或减小向两端呈抛物线状下降^[4]。因此, 提出图像的亮度掩膜如下:

$$L(i, j) = 1 - \left(\frac{c_{i,j} - c_m}{c_{\max}} \right)^2 \quad (1)$$

其中, $c_{i,j}$ 表示低频子带的一小波系数; c_m 和 c_{\max} 分别表示低频子带全体小波系数的平均值和最大值。

2.2 亮度对比度敏感性函数

研究表明人类视觉具有带通特性, 即人眼对不同的空间频率敏感性不同。Mannos 和 Sakrison 最先提出了亮度对比度敏感性函数(CSF), CSF 相当于一个带通滤波器: 人类视觉特

性(Human Visual System, HVS)在频率为 0.15 Hz~0.25 Hz 之间最敏感, 其他频率的 HVS 敏感性会随频率的增加或减少而降低。文献[5]提出了几种计算 CSF 掩膜的方法, 可以确定小波分解系数的 CSF 掩膜权重值, 可以进一步获得小波域中各频率子带的视觉权重值。

3 多分辨率的可见水印嵌入

3.1 低频子带的拉伸系数

本文低频子带的拉伸系数 $\alpha_{i,j}, \beta_{i,j}$ 直接由原始图像低频子带的亮度掩膜函数确定:

$$\alpha_{i,j} = L'(i, j) \quad (2)$$

$$\beta_{i,j} = 1 - L'(i, j) \quad (3)$$

其中, $L'(i, j)$ 为调整后的亮度掩膜值, 其变化被限定在 0.90~0.95 的范围内, 目的是在保证对原始图像视觉真实度破坏不大的情况下, 使水印具有良好的可见性。

3.2 高频子带的拉伸系数

人眼对图像边缘的改变很敏感, 图像的边缘区域是最重要的视觉信息。在高频子带上, 由于图像的某个区域对修改的敏感程度与图像本身具有的特征有关, 因此本文考虑了亮度对比度对人眼视觉感受的影响和图像的自身内容。

3.2.1 图像子块分类

根据人类视觉特性, 人眼对不同区域变化的敏感性不同,

基金项目: 教育部重点技术研究基金资助项目(204143); 甘肃省科技攻关基金资助项目(203520522011)

作者简介: 张旭(1981-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 图形图像处理; 张贵仓, 教授、博士; 杜跃, 硕士研究生

收稿日期: 2007-10-28 **E-mail:** zhangxu21cn@163.com

可以将图像高频区域划分为平滑块、边缘块和纹理块 3 类。分类后，每个图像子块属于其中的一类，水印的嵌入强度与这个分类信息具有一定相关性。可以用图像块的熵和方差对图像块进行分类，具体划分过程见文献[6]。

3.2.2 CSF 模型和空间特性与高频子带拉伸系数的关系

CSF 模型计算了小波系数的视觉重要性权重值，不同的频率具有不同的视觉重要性权重。为了避免图像发生明显的扭曲，对边缘块进行保护就能较好地保持原图像的视觉质量，因此在边缘块只能加很少的水印能量。因为人眼对纹理块的变化不敏感，所以可以在纹理块加入更多的水印能量。为了更好地达到可见水印理想的要求，对每一块进行分类后，给每一类确定一个敏感系数 D_i , $D_i \in \{0.01, 0.02, 0.03\}$ ($i=1, 2, 3$), D_i 的值越小表示块的修改敏感性越低，分别代表边缘块、平滑块和纹理块。本文在高频各子带逐块确定拉伸系数 α 和 β ，可用数学公式描述如下：

$$\alpha = 0.99 - \frac{(7.20 - r^k)^2}{6 \times 7.20^2} + D_i \quad (4)$$

$$\beta = 0.01 + \frac{(7.20 - r^k)^2}{6 \times 7.20^2} + 2D_i \quad (5)$$

其中， r^k 是各个分解层次，各个方向小波系数高频子带的视觉重要性权重值。

可见水印的嵌入步骤如下：

(1) 将水印图像调整到与原始图像大小一致，分别对原始图像和水印图像进行 4 级小波分解。

(2) 计算低频子带系数所对应的拉伸系数。

(3) 把各高频子带划分为 8×8 互不重叠的子块，判断各子块的属性，确定高频子带各块的拉伸系数。

(4) 按照式(6)进行可见水印的嵌入，将所得到的变换图像进行 DWT 反变换，得到重构后的合成图像。

$$c'(i, j) = \alpha_{i,j} \times c(i, j) + \beta_{i,j} \times W(i, j) \quad (6)$$

其中， $\alpha_{i,j}$ 和 $\beta_{i,j}$ 分别为原始图像和水印图像的拉伸系数。 $c(i, j)$ 和 $W(i, j)$ 分别表示原始图像和水印图像的变换系数， $c'(i, j)$ 表示嵌入水印后结果图像的变换系数。

4 多分辨率的不可见水印嵌入

含可见水印的图像可能会遭到攻击，因此，有必要采取更有效的方法来进行版权保护。可在图像中嵌入不可见二值水印，嵌入过程如下：

(1) 将不可见二值水印调制为双极性水印， $w_i = \{1, -1\}$ 。

(2) 对含可见水印的图像进行 3 级小波分解，依据密钥

Key 选择低频子带的部分作为不可见水印的嵌入位置。

(3) 基于量化的方式嵌入水印信息，并修改小波系数：

$$\begin{aligned} & \text{if } (L(i, j) / \text{quan}) \bmod 2 = 0 \quad d = -1 \\ & \text{else} \quad d = 1 \\ & \text{if } w_i = d \\ & \quad \text{if } L(i, j) - (L(i, j) / \text{quan}) \times \text{quan} > \text{quan} / 2 \\ & \quad \quad LL(i, j) = (L(i, j) / \text{quan}) \times \text{quan} + 3 \times \text{quan} / 2; \\ & \quad \text{else} \end{aligned}$$

$$LL(i, j) = (L(i, j) / \text{quan}) \times \text{quan} - \text{quan} / 2;$$

其中， $L(i, j)$ 为要嵌入水印的小波系数； $LL(i, j)$ 为嵌入水印后的小波系数； quan 为量化步长。

(4) 对嵌入水印后的图像数据做 3 级小波逆变换，得到合成图像。

不可见水印的提取是水印嵌入的逆过程：对含水印的图像进行三级小波变换，通过密钥 Key 确定水印的嵌入位置；

依照下列公式从嵌入位置提取双极性水印信息：

$$w' = \begin{cases} -1, & \text{if } (LL(i, j) / \text{quan}) \bmod 2 = 0 \\ 1, & \text{if } (LL(i, j) / \text{quan}) \bmod 2 = 1 \end{cases} \quad (7)$$

将提取出的双极性水印信息调制为二值水印，即得到原始水印信息。

5 实验及结论

在实验中，采用 256×256 Lena 图像作为原始图像，可见水印大小为 256×256 ，不可见水印大小为 32×32 ，原始图像如图 1 所示。



图 1 原始图像

各频率子带视觉权重值 r^k 分别取 $r^k | p = \{2.53, 2.53, 1.00; 4.78, 4.78, 3.75; 5.10, 5.10, 7.20; 3.55, 3.55, 3.68\}$, $k=1, 2, 3, 4$ 表示小波分解的层数， p 表示小波分解的方向，依次为水平、垂直和对角线方向。在不可见水印的嵌入过程中，利用峰值信噪比 PSNR 作为水印图像的客观评价标准，采用相关系数 NC 作为提取水印与原水印的相似性评价标准，其定义为

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^L w(i)w^*(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^L w^2(i)} \sqrt{\sum_{i=1}^L w^{*2}(i)}} \quad (8)$$

在量化处理过程中，所采取的量化步长越小，对图像质量的影响就越小，但水印的鲁棒性也越差，甚至检测不到水印的存在；而量化步长越大，水印的鲁棒性越好，但对图像质量的影响也越大。当量化步长 $\text{quan}=18$ 时，实验生成的合成图像与原图间的峰值信噪比 $PSNR=40.6382$ dB，基本无视觉差别，在无任何攻击下，提取出的水印与原水印相关系数 $NC=1.00$ ，如图 2 所示。



图 2 合成图像

图 3(a)和图 3(b)分别为图像嵌入水印前后的灰度直方图。可以看出，直方图分布变化不大，攻击者若想破坏或移走可见水印，又不损坏原图的使用质量是很困难的，很好地满足了可见水印性质的要求。

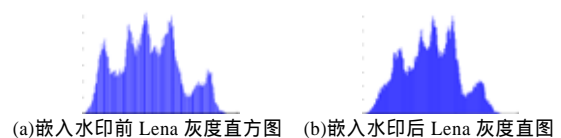


图 3 图像直方图

为了检验不可见水印的鲁棒性，对含水印图像进行以下攻击，实验结果如图 4 所示，图 4(a)为 $QF=90\%$ 的 JPEG 压

(下转第 173 页)