

基于小波变换和空域的数字水印方案

周敏¹, 傅贵², 巫莉莉³

(1 华南农业大学 信息学院, 广东 广州 510642; 2 广州市交通管理科学研究所, 广东 广州 510640;
3 华南农业大学 现代教育技术中心, 广东 广州 510642)

摘要:在比较了小波数字水印技术的几种经典算法后, 总结出1种针对灰度图像, 基于小波变换和空域的数字盲水印方案. 此设想水印信息的鲁棒性是建立在分散的基础上. 试验结果表明: 该方法对剪切攻击、滤波攻击、噪音攻击有较强的鲁棒性.

关键词:数字水印; 小波变换; 分散策略; 位平面分解

中图分类号:TP309

文献标识码:A

文章编号:1001-411X(2008)03-0107-05

A New Scheme of Digital Watermark Based on Wavelet Transform and Spatial Domain

ZHOU Min¹, FU Gui², WU Li-li³

(1 College of Informatics, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China;
2 The Institute of Traffic Management, Guangzhou 510640, China;
3 Technology Center, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China)

Abstract: Several classical wavelet watermark algorithms were analyzed, and it was finally proposed that a digital blind watermark technique was based on the combination of discrete wavelet transform and spatial domain transform. The robustness of this watermark system was decided on separate tactic. The experimental results showed that this watermark system was robust enough with attacking of image cut, filtering, noise.

Key words: digital watermark; wavelet transform; separate-tactics; bit-plane decomposition

数字水印是一种有效的数字产品版权保护和数据安全维护技术, 是信息隐藏技术研究领域的一个重要分支. 它将具有特定意义的标记(水印), 利用数字嵌入的方法隐藏在数字图像、声音、文档、图书、视频等数字产品中, 用以证明创作者对作品的所有权, 并作为鉴定、起诉非法侵权的证据, 同时通过对水印的检测和分析来保证数字信息的完整可靠性, 从而成为知识产权保护 and 数字多媒体防伪的有效手段.

空域图像技术是指在图像的空间域中嵌入水印的技术. 空域数字水印技术是基于改变图像数据统计特性的水印算法. 1993年Tirkel等^[1]提出了扩张最低有效位算法. 该算法将 m 序列的伪随机信号以编码形式的水印嵌入到灰度图像数据的最低有效位中. Mataui等^[2]提出一种用于图像的水印技术. 该方法建立在对灰度级别图像进行预测编码的基础上, 用预测误差编码代替对单个灰度值编码, 得出相

邻像素点之间的相关性. Bender等^[3]提出的 Patchwork 算法, 这是一种统计算法, 即在一个载体图像中嵌入具有特定统计特性的水印. 这种算法只有水印的嵌入者能对水印进行正确检测, 攻击者无法判定图像中是否含有水印. Podilchuk等^[4]提出对 RGB 彩色空间中的蓝色成分进行修改以嵌入水印的方法, 这种算法对图像模糊、JPEG 格式压缩/解压、旋转和 2 幅图像合成等攻击具有不错的稳健性. 一般而言, 空域图像数字水印技术对信号处理和恶意攻击的稳健性较差, 在对含水印图像进行简单的滤波、加噪等处理后, 往往无法正确提取水印.

小波域的数字水印是近年来的研究热点. 小波变换的基本思想是将信号展成一组基函数的加权和, 即用一族函数来表示或逼近信号或函数, 这一族函数是通过基本函数的平移和伸缩构成的. 基于低频子带小波变换的数字水印方法, 陈青^[5]等将 1 个

收稿日期: 2008-02-28

作者简介: 周敏(1973-), 女, 讲师, 在职博士研究生, E-mail: zmfw@scau.edu.cn

基金项目: 广东省/广州市信息安全技术(密码学)实验室课题“无证书公钥密码系统的研究”

二进制随机水印信号作为量化噪音嵌入到一组按重要性选出的小波零树编码的数字图像中. Pereira 等^[6]使用 Haar 小波滤波器对非重叠 16×16 图像块进行一层分解,对嵌入信息采用差分编码,提出水印算法使用线性规划获得稳健性. 周亚训等^[7]将离散小波变换和离散余弦变换结合,将水印嵌入到中高频段 DCT 系数中. 基于细节分量的数字水印方法, Tsekeridon 等^[8]利用小波变换域的多分辨率特性,在小波分解的第 1 层和第 2 层的细节分量中嵌入一种循环自相似水印. Kundur 等^[9]通过修改载体图像同一分辨率层中 3 个不同方向的细节分量系数的幅度关系,嵌入一种二值水印. 对每一组选中的 3 个系数进行排序,对中间的系数进行量化嵌入比特 0 或 1. 马仲华等^[10]根据双正交小波具有线性相位和紧支撑特性,提出一种基于双正交小波分解的自适应数字水印技术,这种算法得到的水印具有很强的稳健性.

本文采用小波域数字水印技术和空域数字水印技术相结合,将水印信息同水印图像一起分散嵌入载体图像经小波分解后的各个频段中,提取时无需原始水印图像,实现盲水印技术.

1 小波域数字水印的实现

本文在水印的嵌入过程中将水印图像信息也一并嵌入载体图像,所以采用的载体图像的大小可以不做限制,可以是任意大小灰度图像,但考虑到并未

对试验所采用方法的效率进行优化,建议不采用大图像作为载体,一般采用 $1\,024 \times 1\,024$ 以内的图片作为载体. 水印图像要求为小于 256×256 的任意灰度图像.

考虑到对载体图像进行一级小波分解,要求水印图像的高度小于载体图像的 $1/2$,宽度也小于载体图像的 $1/2$,否则水印信息会丢失. 我们选取 424×640 的载体图像和 64×70 的水印图像(图 1).

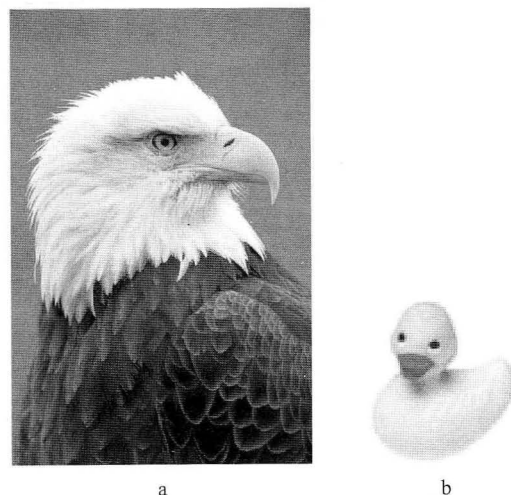


图 1 载体图像(a)和水印图像(b)

Fig. 1 Carrier image (a) and watermark image(b)

1.1 水印的嵌入

小波域的图像水印嵌入的流程如图 2 所示.

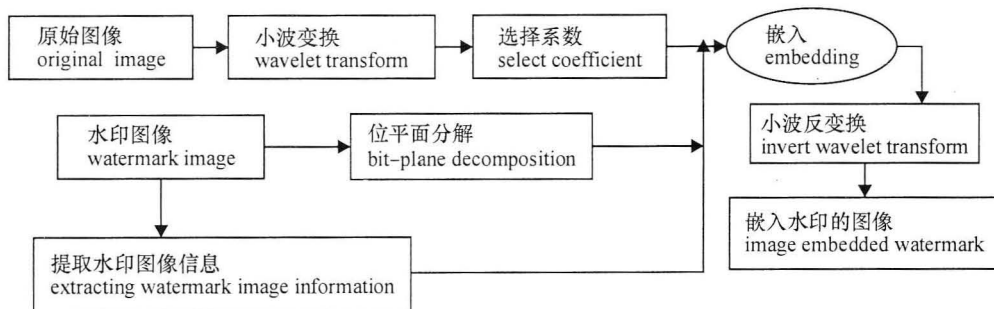


图 2 水印嵌入流程

Fig. 2 Process of embedding watermark

1.1.1 位平面分解 由于设计中所采用的水印为灰度图像,灰度值范围较大($0 \sim 255$),不利于信息隐藏,所以采用位平面分解方法,将灰度图像转化为若干个二值图像,方便在水印嵌入时做相应处理. 经过试验比较,无需将水印图像分解为 8 个平面位,当分解为 4 个平面位时(即每个平面位占 2 位比特),每个平面位所含的信息量在嵌入时对载体图像的视觉效果几乎没有影响.

1.1.2 水印嵌入位置的选择 水印嵌入位置的选择,关系到整个水印系统的性能,影响嵌入水印后图像的视觉效果和影响水印图像的鲁棒性.

本研究采用 Haar 小波分解对载体图像进行变换,得出低频子带(LL)和高频子带(HH、HL、LH).

由于灰度水印图像经平面分解后每个平面位的信息极小,所以采用一级小波变换得到的小波系数已经足够水印信息进行鲁棒不可察觉性嵌入.

对所用的载体图像进行一级小波变换后得到各频段小波系数的统计图(图 3). 由图 3 可以看出,低频子带系数(LL 系数)的大小接近,高频子带系数(HH、HL、LH 系数)则遵从拉氏分布,大部分为 0,只有少数边缘和高质地的峰值系数含有较大能量.

本研究采用的分散嵌入方法,水印的信息被分散到载体图像高频子带和低频子带,其鲁棒性是建立在分散的基础上,将水印信息平均分散到载体图像小波分解后的各个频率子带,即每个频率子带(HH、HL、LH、LL)都在某个区域嵌入 2 位比特信息.

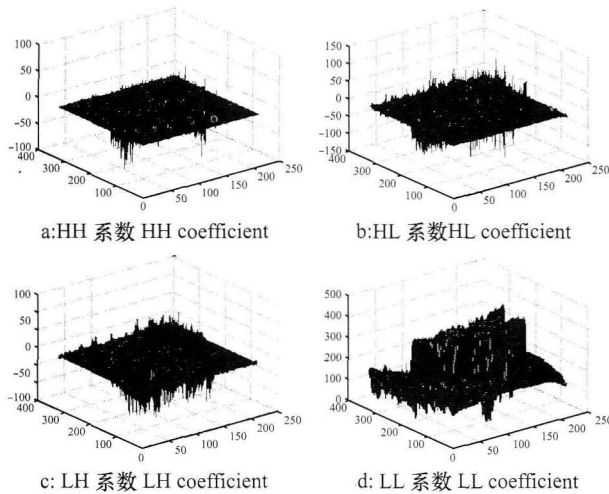


图3 4频率段小波系数的统计图

Fig. 3 Statistics of four frequencies wavelet coefficient

1.1.3 保存水印嵌入位置信息 水印的嵌入是选择一定区域嵌入,所以需要在嵌入时保存水印图像嵌入位置的信息;在提取时,则根据水印图像嵌入位置的信息提取相应系数,经过一定操作得出水印图像。

由于水印图像大小限制在 256×256 之内,水印储存位置的值用8位比特表示。为了使水印区域信息的储存不影响载体图像的视觉效果,需要对水印储存位置的值得一定处理。我们采用的方法是将水印储存位置的值得分解为4个部分,选取载体图像小波变换后的高频子带和低频子带的一组系数,在每个频段子带系数矩阵的第1、2行分别置入水印嵌入的位置信息,平均4个小波系数储存1个水印嵌入的位置信息。

1.1.4 水印的嵌入实现 (1)由于图像经小波变换后得到的系数为双精度型,且其高频系数呈正负分布,我们将其进行数字化处理。即先对所有系数加入1个较大正数,使所有系数全部为正数,将所有系数进行取整。例如1个小波系数为 $a = 388.5$,取其整

数部分 $b = 388$,同时保留小数部分 $c = a - b = 0.5$ (在水印嵌入过程的最后阶段,需要恢复完整的小波系数以获得无失真图像)。再对整数部分做分解处理,如 $b = 388$ 相应的二进制是 110000100,分为低8位二进制串 10000100 与高8位二进制串 00000001,将低8位和高8位二进制转换成相应的十进制为 $e = 132$ 和 $d = 1$ 。

(2)对应不同频率子带系数嵌入水印信息。将水印信息 $W(i)$ 嵌入相对应小波系数低8位转化得到的二进制串 f 的第 k 位中。考虑到小波系数转化得到的二进制串中的高位变换时,将会使小波系数数值改变较大,实际操作时选择将水印信息强行嵌入到小波系数转化得到的二进制串中的最低位中,使小波系数的变换不至于影响载体图像的视觉效果。

当 $W(i) = 1$ 时,则 f 的第0位改变为1;

当 $W(i) = 0$ 时,则 f 的第0位改变为0。

例如前面所得到的低8位二进制串 10000100, $e = 132$,假使此时要嵌入的水印信息为“1”;则 e 的数值改变为 $e = 133$,对应二进制串 10000101。

(3)转化得到嵌入水印信息的小波系数。如上例所举数据,将 d 左移8位得到 $d = \text{bitshift}(d, 8) = 256$,再整合低8位与小数部分,得到完整嵌入水印信息的小波系数 $a = d + e + c = 389.5$ 。

(4)对得到的小波系数进行小波逆变换,得到嵌入水印的图像。

图4为试验的2种分配方法所得到的嵌入水印的图像与原有图像的对比。图4a为未插入水印的原始图像,图4b为将水印信息平均分散嵌入到载体图像各个频段而得到的图像,图4c为将4位比特的水印信息嵌入到低频子带系数,其余4位比特分散嵌入高频子带系数而得到的图像。很明显,图4b与图4a无视觉上差异,图4c有视觉可察觉的失真,这是由于在低频子带系数中插入的信息量过大所致。

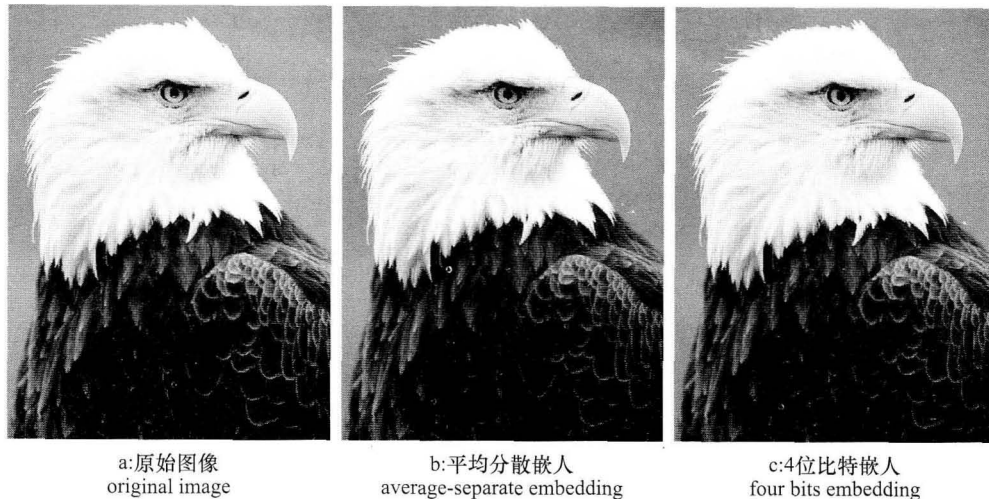


图4 嵌入水印的图像与原有图像的对比

Fig. 4 The comparison between image embedded watermark and original image

1.2 水印的提取

小波域的图像水印提取的流程如图5所示。

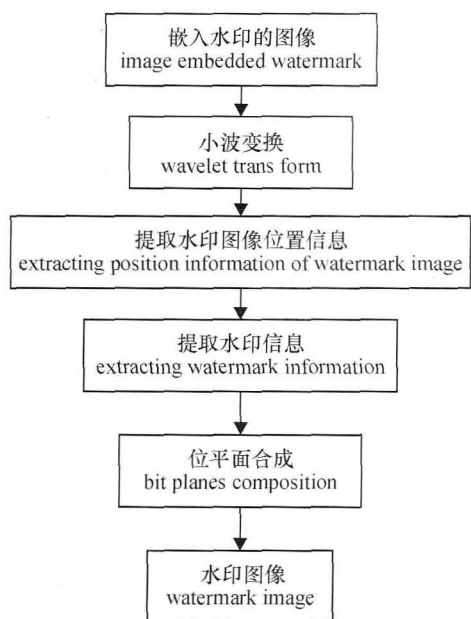


图5 水印提取流程

Fig. 5 Process of extracting watermark

图像数字水印的技术中,水印的提取算法是取决于其嵌入算法,一般为嵌入算法的逆过程。我们实现的是盲水印,嵌入水印的位置由保存在载体图像小波系数的特定位置的数值确定。水印的提取过程,首先就是确定这些数值。

(1)先对含水印的图像进行一级 Haar 小波变换,得到4个频段 HH、HL、LH、LL 的小波系数系列值。

(2)在特定的位置提取水印图像位置信息,对于每4个小波系数合成1个位置信息。由于含水印的图像可能遭受攻击,所以需要在水印图像位置信息进行确定,也就是对得到的位置信息序列进行统计。由于一般的攻击只能影响到某些位置信息,而不可能影响所有位置信息,只要对位置信息统计得出其中出现最多的数值,即为水印图像的嵌入位置。

(3)根据嵌入位置信息,可以在对应每个频段提取水印信息。由于嵌入时每个频段子带系数的低位都有2位比特的水印图像信息。在提取过程中,只要对应载体图像每个频段子带的系数提取最低2位,通过整合,就可以得到完整的水印。例如水印系数为 $a = 389.5$, 对其做取整处理,得到 $b = 389$; 提取水印信息 $c = \text{bitand}(b, 3) = 1$ (389 的二进制表示为 110000101, 3 的二进制表示为 00000011, 389 与 3 按位与之后得到 00000001, 它的十进制值就是 1)。

(4)对应于每个频段子带系数提取出4个部分的水印信息后,对其进行组合,便可恢复出原始水印

图像。原始水印与在含水印图像未遭受攻击情况下提取的水印对比见图6。图6中部分失真由于水印嵌入过程中载体图像保存时受压缩所导致。

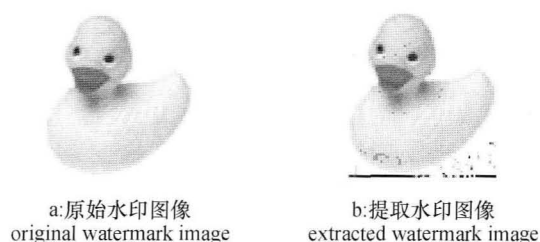


图6 水印图像对比

Fig. 6 Watermark image contrast

2 水印攻击测试

一个图像水印系统的好坏,重要的是看它的抗攻击性,要求所嵌入的水印图像在遭受有意无意的攻击(例如滤波、剪切、噪音干扰)时,具有良好的鲁棒性,在遭受攻击后,仍能提取出可供识别甚至是毫无变换的水印图像。

(1)对含水印图像进行了3种不同的剪切测试,即剪切右上方1/4、剪切中央1/4、剪切中央1/2。每种剪切之后所提取出的水印具有较强的鲁棒性。对图像剪切中央1/2后的含水印图像和提取出来的水印见图7。

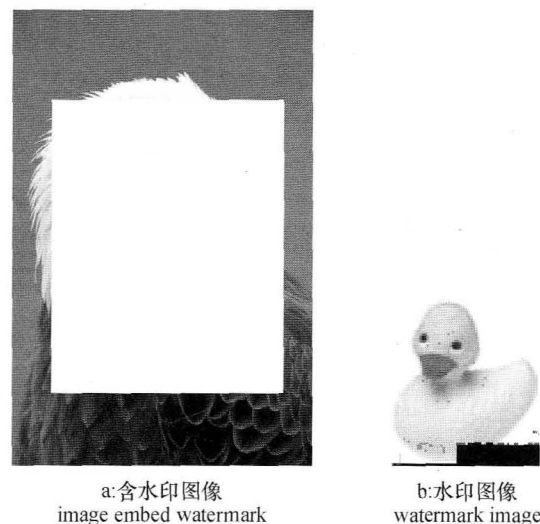


图7 剪切攻击

Fig. 7 Cut attack

(2)添加椒盐噪音后含水印图像和提取出来的水印见图8。

(3)经过低通滤波处理后的含水印图像与提取得到的水印见图9。

(4)经过高通滤波处理后的含水印图像与提取得到的水印见图10。

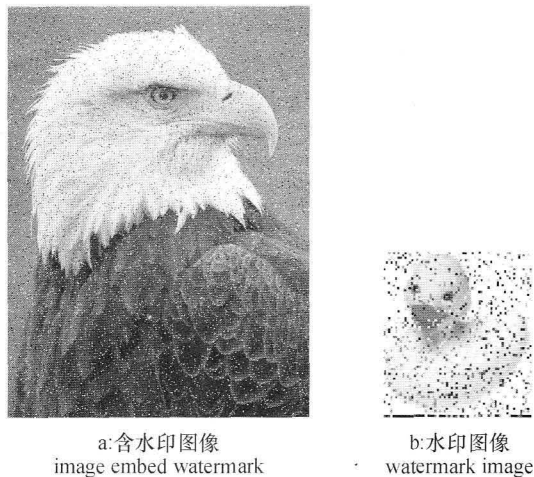


图8 椒盐噪声攻击

Fig.8 Noise attack

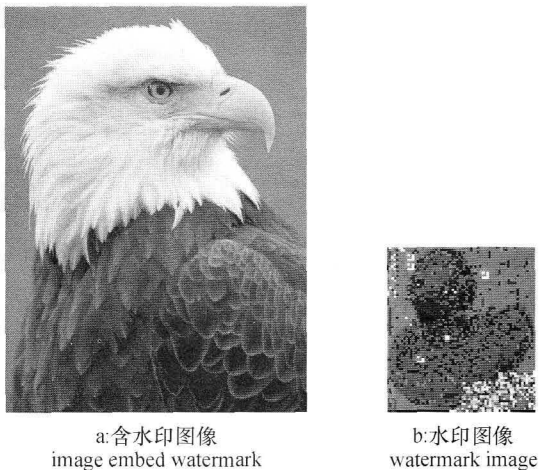


图9 低通滤波攻击

Fig.9 Low pass filtering attack

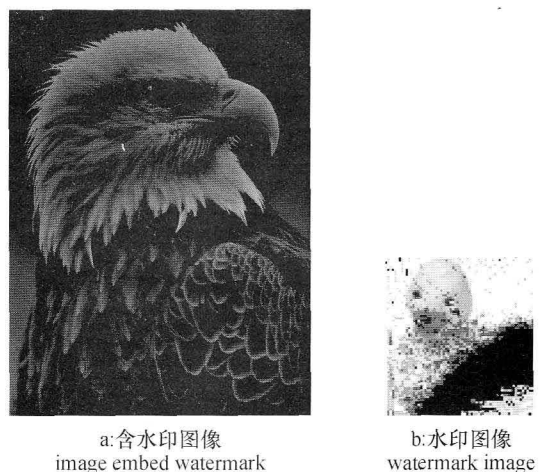


图10 高通滤波攻击

Fig.10 High pass filtering attack

3 结论

本文提出了一种结合小波域与空域技术的数字水印嵌入方法,实现一个稳健性的盲水印系统。本研

究采用位平面分解方法,将水印灰度图像转化为4个二值图像;接着采用 Haar 小波分解对载体图像进行一级小波变换得到小波低频子带系数(LL)和高频子带系数(HH、HL、LH),将水印信息平均分散到载体图像小波分解后的各个频率子带,即每个频率子带都在某个区域嵌入2位比特信息;然后将水印储存位置的值得分解为4个部分,选取载体图像小波变换后的高频子带和低频子带的一组系数,在每个频段子带系数矩阵的第1、2行分别置入水印嵌入的位置信息,平均4个小波系数储存1个水印嵌入的位置信息,这样水印信息和水印位置信息同时嵌入载体图像中。在提取时,则根据水印图像嵌入位置的信息提取相应系数,对于每4个小波系数合成一个位置信息,最终得出水印图像。试验表明:此水印系统在对抗剪切攻击、噪音攻击、滤波攻击时表现出色,有较强的鲁棒性,其鲁棒性是建立在将水印信息分散嵌入不同频段上。

参考文献:

- [1] TIRKEL A Z, RANKIN G A, SCHYNDEL R M V, et al. Electronic watermark [C] // Anon. Proceedings of Int. Conf. Digital Image Computing, Technology and Applications, Sidney: Macquarie University, 1993: 666-673.
- [2] MATAUI K, TANAKA K. Video-steganography: how to secretly embed a signature in a picture [J]. Proc IMA Intellectual Property Project, 1994, 1 (1): 187-206.
- [3] BENDER W, GRUHL D, MORIMOTO N, et al. Techniques for data hiding [J]. IBM Syst Journal, 1996, 35 (3), 313-336.
- [4] PODILCHUK C I, ZENG W J. Image-adaptive watermarking using visual model [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16 (4): 525-539.
- [5] 陈青, 苏详芳, 王延平. 采用小波变换的鲁棒隐形水印算法 [J]. 通信学报, 2001, 22 (7): 61-65.
- [6] PEREIRA S, VOLOSHYNOVSKIY S, PUN T. Optimized wavelet domain watermark embedding strategy using linear programming [J]. Wavelet Applications, 2000, 4 (7): 26-28.
- [7] 周亚训, 叶庆卫, 徐铁峰. 基于小波和余弦变换组合的图像水印方案 [J]. 电子学报, 2001, 29 (12): 1693-1695.
- [8] TSEKERIDON S, PITAS I. Embedding self-similar watermarks in the wavelet domain [C] // IEEE. Proceedings of Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Turkey: IEEE, 2000: 1967-1970.
- [9] KUNDUR D, HATZICH, INAKOS D. Digital watermarking using multiresolution wavelet decomposition Acoustics, Spe and Signal Processing [C] // IEEE. Proceeding of Int. Conf. on Acoustics, Speech and Signal Processing, Washington: IEEE, 1998: 2969-2972.
- [10] 马仲华, 余松煜. 一种基于双正交小波分解的自适应数字水印技术 [J]. 上海交通大学学报, 2002, 36 (6): 792-793.

【责任编辑 周志红】