

# 小波变换域图像水印嵌入对策和算法\*

黄达人<sup>1</sup>, 刘九芬<sup>1,2</sup>, 黄继武<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(中山大学 科学计算与计算机应用系, 广东 广州 510275);

<sup>2</sup>(中国人民解放军信息工程大学 信息研究系, 河南 郑州 450002);

<sup>3</sup>(中山大学 电子与通信工程系, 广东 广州 510275)

E-mail: isshjw@zsu.edu.cn

http:// www.zsu.edu.cn

**摘要:** 稳健性是图像隐形水印最基本的要求之一. 嵌入对策、嵌入公式、嵌入强度都影响水印的稳健性. 提出了一个基于离散小波变换(DWT)的新的隐形水印嵌入对策. 根据小波图像系数的分布特点和对小波系数振幅的定性、定量分析, 水印应当首先嵌入小波图像低频系数, 若有剩余, 再按小波图像频带重要性的排序嵌入高频带. 同时指出, 水印嵌入到小波图像低频系数和高频系数需要用不同的嵌入公式. 应用该嵌入对策, 提出了一种把视觉系统掩蔽特性结合到水印编码过程中的自适应水印算法. 将小波系数组织成小波块, 采用一种新的方法将小波块分类, 并根据分类的结果将不同强度的水印分量嵌入到不同的小波系数中. 实验结果表明, 应用本算法所实现的水印不可见, 并对常见的图像处理和噪声干扰具有很好的稳健性.

**关键词:** 信息安全; 图像水印; 信息隐藏; 小波变换; 视觉掩蔽

中图法分类号: TP391 文献标识码: A

数字水印作为保护数字媒体信息安全的有效方法, 近年来引起了人们极大的兴趣与注意. 由于小波变换良好的空间 - 频率局部特性和与人眼视觉特性相符的变换机制, 在新一代静止图像压缩标准(JPEG 2000)和运动图像压缩标准 MPEG-4 中占据了重要位置. 因此研究 DWT(discrete wavelet transform)域水印算法具有十分良好的前景.

稳健性是图像隐形水印最基本的要求之一. 很明显, 嵌入对策影响水印的稳健性. 本文首先探讨基于 DWT 的水印嵌入对策.

在以前基于 DWT 的水印算法中<sup>[1,2]</sup>, 小波图像低频系数总是被明显地排除在外. 本文根据小波图像系数的分布特点和对小波系数振幅的定性、定量分析, 提出了一个新的嵌入对策: 水印应当首先嵌入小波图像低频系数, 若有剩余, 再按小波图像频带重要性的排序嵌入高频带. 同时指出, 水印嵌入到小波图像低频系数和高频系数需要用不同的嵌入公式.

水印的稳健性除了与所放置的位置有关外, 还与嵌入的水印强度有关. 提高水印稳健性的有效途径之一是充分利用视觉系统的视觉特性, 在满足不可见性的前提下, 合理分配水印信号的能量, 尽可能地提高局部嵌入水印分量的强度. 基于这一思想的自适应水印算法已经开始受到人们的重视<sup>[2-6]</sup>.

基于上述嵌入对策, 本文提出了一种把视觉系统掩蔽特性结合到水印编码过程的自适应水印算法. 为了实现自适应, 重新组织小波系数成小波块, 然后采用一种新的方法利用一个基于视觉系统纹理掩蔽特性的分类器

\* 收稿日期: 2000-10-05; 修改日期: 2001-02-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(69735020;69975011); 广东省自然科学基金资助项目(980442)

作者简介: 黄达人(1945 - ), 男, 浙江杭州人, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为小波理论及其应用, 数字水印; 刘九芬(1963 - ), 女, 河南焦作人, 博士, 副教授, 主要研究领域为小波理论及其应用, 数字水印; 黄继武(1962 - ), 男, 广东揭阳人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要研究领域为图像处理, 数字水印.

把小波块分类.根据分类的结果,不同强度的水印分量被嵌入到不同的小波图像系数中.实验结果表明,所提出的水印算法对常见的图像处理和噪声干扰具有很好的稳健性.

### 1 小波变换

选择可分离的滤波器组,对输入图像进行小波分解,产生  $LH_j, HL_j, HH_j$  三个高频带系列,一个  $LL_3$  低频带(三级分解时)(如图 1 所示).其中低频带表示由小波变换分解级数决定的最大尺度、最小分辨率下对原始图像的最佳逼近.它的统计特征和原图像相似,图像的大部分能量集中在此.高频带系列则分别是图像在不同尺度、不同分辨率下的细节信息.分辨率越低,其中有用信息的比例就越高.也就是说,经过小波分解把一个图像分成了若干级.对于同一级图像,低频子图像  $LL_j$  最重要,其次是  $HL_j$  与  $LH_j$ ,高频子图像  $HH_j$  相对最不重要.对于不同级来说,级高者重要,级低者不重要.所以,小波图像子频带按其重要性总体的排序为  $LL_k, HL_k, LH_k, HH_k, HL_{k-1}, LH_{k-1}, HH_{k-1}, \dots, HL_1, LH_1, HH_1$ (如图 1 所示).

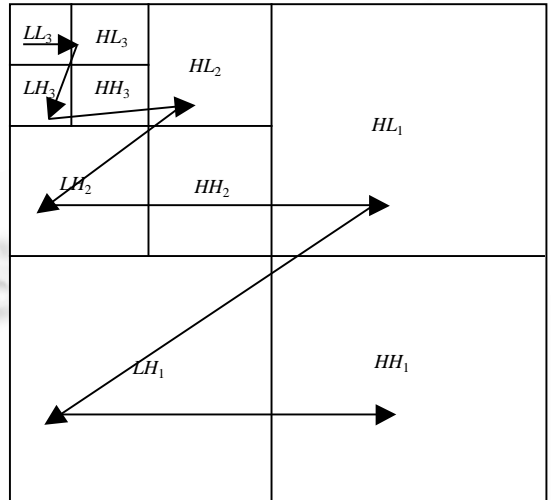


Fig.1 DWT decomposition

图 1 图像小波分解

当从多分辨分析的角度考虑小波图像的各个频带时,这些频带之间并不是纯粹无关的.对于各个高频带,由于它们是图像同一个边缘、轮廓和纹理信息在不同方向、不同尺度和不同分辨率下由粗到细的描述,它们之间存在着一定的关系:小波系数的幅值随着尺度的减小而衰减,即使图像函数有奇异点,只要在奇异点的邻域里振荡不激烈.若图像函数  $f(x,y)$

在  $(x_0, y_0)$  邻域内具有 Lipschitz  $\alpha$  连续,则尺度为  $2^j$ , 位于  $(p, q)$  的小波系数的幅值有<sup>[7]</sup>

$$|a_j(p, q)| \sim 2^{j(\alpha+1)}.$$

因此小波系数的幅值随着尺度的减小而衰减.振荡模型不具有这个性质,幸而振荡模型在实际图像中不常遇到.基于零树的编码<sup>[8]</sup>正是利用了小波系数的幅值随着尺度的减小而衰减这个性质而获得了极大成功.而且,在分解图像时,我们可以选取具有一定消失距的基本小波.它可以保证具有有限能量信号的小波系数的幅值随着尺度而快速衰减<sup>[9]</sup>:

$$|a_j(p, q)| \leq C 2^{jn},$$

$n$  是基本小波消失距的阶数.

### 2 DWT 域嵌入对策

水印应放在哪里才足够稳健?在 DWT 域,为使水印具有较好的稳健性,用来嵌入水印的小波系数应满足如下条件:(1) 在经过常见的信号处理和噪声干扰后仍能很好地保留,即小波系数不应过多地为信号处理和噪声干扰所改变.(2) 具有较大的感觉容量,以便嵌入一定强度的水印后不会引起原始图像视觉质量的明显改变.

根据这两个要求,我们对小波图像系数的分布特点和振幅进行定性、定量分析后,提出了一个新的嵌入对策:水印应当首先嵌入小波图像低频系数,若有剩余,再按小波图像频带重要性的排序嵌入高频带.

#### 2.1 水印长度较短

随机序列、有意义的文本、图像等都可以作为水印.不同类型的水印包含的数据量不同.当水印长度不大于小波图像低频系数个数时,水印应嵌入哪里?

首先, Cox 等人<sup>[10]</sup>提出,水印应放在视觉系统(human visual system,简称 HVS)感觉上最重要的分量上.这个

观点现在已被人们广泛接受.感觉上重要的分量是图像信号的主要成分,携带较多的信号能量,在图像有一定失真的情况下,仍能保留主要成分.但 Cox 等人把 DC(direct component)系数排除在外,原因在于避免加水印的图像出现方块效应.由于小波变换是全局变换,把水印加在低频系数的水印图像不会出现方块效应.同时由本文第 1 节可知,低频带是对原始图像的最佳逼近,图像的大部分能量集中在此,而高频带系列只是图像的细节信息.因此水印应当首先嵌入小波图像低频系数.

其次,水印编码可看做是在强背景(原始图像)下迭加一个弱信号(水印).只要迭加的信号低于对比度门限,视觉系统就无法感觉到信号的存在.根据 Weber 定律<sup>[11]</sup>,对比度门限和背景信号的幅值成比例.由于低频系数的幅值一般远大于高频系数,从而具有较大的感觉容量.

再次,根据信号处理理论,嵌入水印的图像最有可能遭遇到的信号处理过程,如数据压缩、低通滤波、次抽样、插值、D/A 和 A/D 转换等,对低频系数的保护比高频系数好.

因此,水印分量嵌入到 DWT 域低频系数具有足够的稳健性.

我们采用 Lena(256 × 256 × 8bits)做实验.分别利用低频和高频带(HL<sub>3</sub>)来嵌入水印.在完全相同的条件下,当 PSNR(peak signal-to-noise ratio)都为 44.4dB 时,第 1 种情况水印不可见,而第 2 种情况水印明显可见(如图 2 所示),说明低频系数具有较大的感觉容量.



Fig. 2 Comparison of invisibility

图 2 不可见性比较

在完全相同的条件下,我们也比较了两种情况水印图像在 JPEG 压缩和 Gaussian 噪声干扰下的稳健性能.图 3 表明在低频带系数嵌入水印比在 HL<sub>3</sub> 带系数嵌入水印稳健性能要好.纵轴表示从失真的水印图像中抽取的水印 W\*与原始水印 W 的相似度(similarity):

$$\rho(W^*, W) = \frac{\sum_{i=0}^{L-1} x_i^* \cdot x_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^{L-1} (x_i^*)^2}}, \quad (*)$$

其中  $x_i^*$  和  $x_i$  分别代表  $W^*$  和  $W$  的分量.

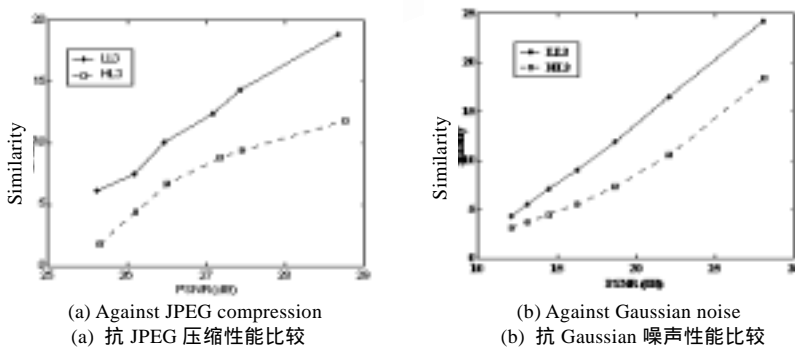


Fig.3 Robustness comparison against JPEG and noise

图 3 两种情况水印图像的稳健性能比较

把水印嵌入其他高频子带以及其他常用图像“Pepper”,“Baboon”上的实验也可得到类似结果。

综上所述,我们得到如下结论:当水印长度较短时,把水印嵌入低频带系数稳健性最好。

## 2.2 水印长度较长

当水印长度大于小波图像低频系数的个数时,除了把水印嵌入低频带系数以外,首先利用  $HL_3$ (三级分解)带的系数来嵌入水印。这是因为:(1)  $HL_3$  带在高频带系列中最重要。(2)  $HL_3$  带的系数通常比其他尺度的系数大(见本文第 1 节)。同理,接下来应利用  $LH_3$  带的系数。以此类推,我们得到如下结论:当水印长度较长时,按小波图像频带重要性的排序嵌入水印稳健性最好(如图 1 所示)。

需要说明的是,当水印分量嵌入到高频系数时,嵌入公式应为

$$F'(u,v) = F(u,v) + \alpha x_i \quad \text{if } F(u,v) = 0, \quad \alpha = 0, \quad (1)$$

其中  $\alpha$  为拉伸因子,  $F(u,v)$  为小波系数。

若嵌入公式采用

$$F'(u,v) = F(u,v)(1 + \alpha x_i), \quad (2)$$

会出现下列情况:

(1) 由于式(2)迭加的水印信号强度与系数成正比,大的系数会变更大。这样会引起小波图像重构时范围越界(超出 0~255)。为使水印图像的像素值在 0~255 之间,  $F'(u,v)$  会被改变。

(2) 这时抽取的水印分量为

$$\alpha x_i = \frac{F'(u,v) - F(u,v)}{F(u,v)}.$$

由于小波图像高频带系数符合 Laplacian 分布<sup>[12]</sup>,高频系数  $F(u,v)$  大都很小。因此,  $\alpha x_i$  对小波图像重构(以得到水印图像)和水印图像分解(以抽取水印分量)引入的误差非常敏感。

上述两种情况都将影响水印的检测。

## 3 基于 HVS 的自适应水印算法

根据视觉掩蔽特性,水印的不可见性受背景照度、背景纹理复杂性和信号频率的影响。背景越亮,纹理越复杂(或有边缘存在),不可见门限就越高<sup>[13,14]</sup>。视觉掩蔽特性暗示,具有不同局部性质的区域,在保证不可见性的前提下,可允许迭加的信号不同。

应用上述提出的嵌入对策,本节提出了一个基于 HVS 的自适应水印算法。该算法利用视觉系统的照度掩蔽和纹理掩蔽特性,根据小波块的分类结果,自适应调整水印强度。

所提出的水印算法由如以下 4 个步骤组成:(1) DWT 和小波块的组成;(2) 小波块的分类;(3) 水印的产生和嵌入;(4) DWT 反变换。

### 3.1 小波块

对原始图像进行小波变换(如图 1 所示)。空间域上的每一个像素块对应小波变换域中的几个块,分别可由一棵四叉树表示其位置关系,根据它们所在的方向分别称为水平子树、竖直子树和对角子树,总称为小波子树(如图 4 所示)。小波子树树根在低频带,对应于同一空间位置的相同方向、不同尺度的小波系数成为它的孩子,进一步的细节见文献[8]。除低频带外,若父母的位置为  $(i,j)$ ,则它 4 个孩子的位置为  $(2i,2j), (2i,2j+1), (2i+1,2j), (2i+1,2j+1)$ 。在低频带,若父母的位置为  $(i,j)$ ,则它 3 个孩子的位置为  $(i,j+N), (i+N,j), (i+N,j+N)$ ,其中  $N$  为低频带的宽度。这里假设原始图像的高和宽相等,把所有具有相同树根的 3 个不同方向的四叉小波树组织在一起形成具有固定大小的块。例如,三级小波分解是  $8 \times 8$  大小的块,四级分解是  $16 \times 16$  大小的块。所有这些固定大小的块统称为小波块(如图 4 所示)。小波块的块数为低频带系数的个数,一个低频系数对应一个小波块。小波块把空间域同一位置不同尺度、不同方向的小波系数组织在一起,从而把小波系数和它代表的空间域联系在一起。低频系数代表它所在的小波块对应的图像块的平均亮度。

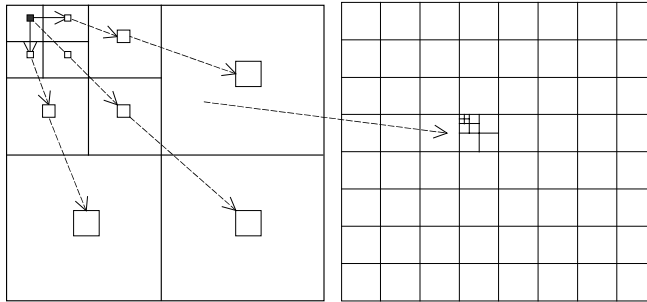


Fig.4 Wavelet trees and wavelet blocks

图 4 小波树和小波块

### 3.2 小波块分类

为了尽可能提高水印嵌入强度,我们将小波块分为两类:具有较弱纹理的为第 1 类,记为  $s_1$ ;具有较强纹理的为第 2 类,记为  $s_2$ .

大的小波系数对应着原始图像的像素突变点,因此一个小波块内大的小波系数越多,纹理就越强.即如果  $\text{number}\{|F(u,v)| > T_f, (u,v) \in W_k\} \leq T_2$ ,则小波块  $W_k \in s_1$ ;否则,  $W_k \in s_2$ ,其中  $T_f$  和  $T_2$  为预先设定的门限.根据我们的大量实验可得,  $T_f$  取 0 和  $T_2$  取 40 对不同类的图像有较好的稳健性.

值得一提的是,小波块的分类也可以在空间域里进行.每个小波块对应于空间域中一个同样大小的图像块.这些图像块互不重叠,形成了对原始图像的一个分割.由于边缘点代表图像像素的突变点,图像块内边缘点越多,纹理就越强,这时图像块对应的小波块的纹理也越强.因此可采用边缘点密度进行块分类.

### 3.3 水印的产生和嵌入

理论分析和实验<sup>[10,15]</sup>证明:Gaussian 随机序列构成的水印具有最好的稳健性.因此我们选用具有正态分布  $N(0,1)$ ,长度为  $L$  的实数随机序列为水印  $W$ ,即  $W = \{x_i, 0 \leq i < L\}$ ,其中  $L$  不大于低频带系数的个数.

我们按式(2)把水印  $W$  嵌入到低频带系数中.式(2)的优点在于,嵌入的水印强度和低频系数的幅值(代表它所在的小波块对应的图像块的平均亮度)成比例,自动利用了视觉系统的照度掩蔽特性.我们通过调整伸缩因子  $\alpha$  利用视觉系统的纹理掩蔽特性.根据 Weber 定律<sup>[11]</sup>,式(2)中  $\alpha x_i$  理论上应小于 0.02.根据对不同纹理特征的常见图像的实现,本文中取

$$\alpha = \begin{cases} 0.015, & F(u,v) \text{ 所在的小波块 } W_k \in s_2 \\ 0.006, & F(u,v) \text{ 所在的小波块 } W_k \in s_1 \end{cases}$$

对 DWT 域中调整后的图像进行 DWT 反变换,得到包含水印的图像.

水印检测采用假设检验.门限设定为 5.因若  $W^*$  与  $W$  不相关,相似度  $\rho(W^*, W) > 5$  (相似度计算公式见第 2.1 节式(\*))的概率等于具有 Gaussian 分布的随机变量超过其均值 5 倍方差的概率<sup>[10]</sup>.

## 4 实验结果

本文在  $256 \times 256 \times 8\text{bits}$  的“Lena”图像上测试本文算法的性能.水印序列长度为 1024(图像小波分解三级).图 5 证实了应用所提出算法实现的水印的不可见性.从视觉效果的角度看,嵌入水印后的图像和原始图像无感差异.

图 6 证实了水印抗压缩编码的稳健性.图 6(a)表示含有水印的图像经 JPEG 压缩后(压缩比为 35:1)PSNR=25.63 dB 的重建图像.尽管图像失真非常明显,水印仍可靠地被检测出来.这表明,对于通常所允许的失真范围的压缩编码,水印能可靠地存在.图 7 则证实了水印抗噪声干扰的稳健性.图 7(a)和(b)分别为含有水印的图像受加性正态噪声干扰后的结果(PSNR=13.78dB)和检测器的响应.尽管噪声很强,检测器的响应仍足够强.我们也测试了所实现水印抗低通滤波、次抽样和 1/4 剪裁(丢失 75%的水印信息)的稳健性.对含有水印的图像

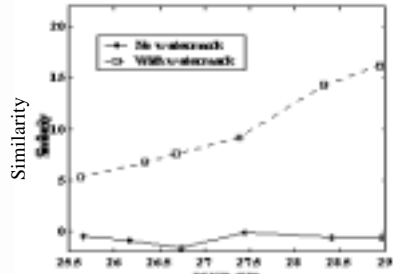
分别进行  $5 \times 5$  均值滤波、 $1/4$  剪裁及水平和垂直方向 2:1 抽样,检测器的响应为 12.36,14.28 和 22.07,均高于判决门限,证实了水印的稳健性。

对图像增强、A/D 和 D/A 的情况,尽管我们未进行测试,但由于水印嵌入图像信号能量比较集中的低频分量,可以预计,水印在这几种情况下将会有较好的稳健性。



Fig.5 Demonstration of invisibility

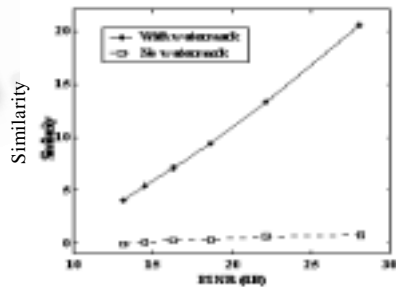
图 5 水印的不可见性效果



相似度, 无水印, 有水印。

Fig.6 Robustness against JPEG compression

图 6 水印抗压缩编码的稳健性



相似度, 有水印, 无水印。

Fig. 7 Robustness against Gaussian noise

图 7 水印抗噪声的稳健性

**References:**

- [1] Zhu, W.W., Xiong, Z.X., Zhang, Y.Q. Multiresolution watermarking for image and video. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Technology*, 1999,9(4):545~549.
- [2] Wang, H-J.M, Su, P-C., Kuo, C-C.J. Wavelet-Based digital image watermarking. *Optics Express*, 1998,3(12):491~496.
- [3] Swanson, M., Kobayashi, M., Tewfik, A. Multimedia data embedding and watermarking technologies. *Proceedings of the IEEE*, 1998,86(6):1064~1087.
- [4] Wolfgang, R., Podilchuk, C., Delp, E. Perpetual watermarks for digital images and video. *Proceedings of the IEEE*, 1999,87(7):1108~1126.
- [5] Delaigle, J., Vleechouwer, C., Macq, B. Watermarking algorithm based on a human visual model. *Signal Processing*, 1998,66(3):319~335.
- [6] Podilchuk, C., Zeng, W. Image-Adaptive watermarking using visual models. *IEEE Journal of Selected Areas on Communications*, 1998,16(4):525~539.
- [7] Shapiro, J. M. Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 1993, 41(12):3445~3462.
- [8] Zou, H., Tewfik, H. Discrete orthogonal M-Band wavelet decompositions. In: *Proceedings of the IEEE 1992 International Conferences on Acoustics, Speech, and Signal Processing*. San Francisco: IEEE Signal Processing Society, 1992. 605~ 608.
- [9] Mallat, S., Zhong, S. Characterization of signals form multiscale edges. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1992, 14(7):710~732.
- [10] Cox, J., Killian, J., Leighton, T., *et al.* Secure spread spectrum watermarking for multimedia. *IEEE Transactions on Image Processing*, 1997,6(12):1673~1687.
- [11] Gonzalez, C., Wintz, P. *Digital Image Processing*. 2nd Edition, Addison-Wesley Publishing Co/IEEE Press, 1987.
- [12] Mallat, S. Multifrequency channel decomposition of images and wavelet models. *IEEE Transactions on ASSP*, 1989,37(12):2091~2110.
- [13] Watson, B. DCT quantization matrices visually optimized for individual images. In: Allebach, J.P., Rogowitz, B.E., eds. *Proceedings of the SPIE: Human Vision, Visual Processing and Digital Display IV*. San Jose, CA: SPIE Press, 1993,1913:202~216.
- [14] Jayant, N., Johnston, J., Safranek, R. Signal compression based on model of human perception. *Proceedings of the IEEE*, 1993, 81(10):1385~1421.
- [15] Huang, Ji-wu, Shi, Yun-qing. An adaptive image watermarking scheme based on visual masking. *IEE Electronics Letters*, 1998, 34(8):748~750.

**An Embedding Strategy and Algorithm for Image Watermarking in DWT Domain\***HUANG Da-ren<sup>1</sup>, LIU Jiu-fen<sup>1,2</sup>, HUANG Ji-wu<sup>3</sup><sup>1</sup>(Department of Scientific Computation and Computer Applications, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China);<sup>2</sup>(Department of Information Research, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China);<sup>3</sup>(Department of Electronic and Communication Engineering, Zhongshan University, Guangzhou 510275, China)

E-mail: isshjw@zsu.edu.cn

<http://www.zsu.edu.cn>

**Abstract:** Robustness is one of the most basic requirements for invisible image watermarks. Embedding strategy, embedding formula and the watermark strength all affect robustness of watermarks. In this paper, a new embedding strategy for watermarking is proposed based on DWT domain. Based on the wavelet coefficient distribution and a quantitative analysis on the magnitudes of wavelet coefficients, watermarks should be embedded in the low frequency subband firstly, and the remains of the watermarks should be embedded in high frequency subbands according to the significance of subbands. Different embedding formulae should be applied on the low frequency

subband and high frequency subbands respectively. Applying this strategy, an adaptive algorithm incorporating the feature of visual masking of human vision system into watermarking is proposed. The algorithm organizes wavelet coefficients to form wavelet blocks and applies a novel method to classify these wavelet blocks. Watermark components with different strength are inserted into different wavelet coefficients based on the results of classification. The experimental results show that the watermarks generated with the proposed algorithm are invisible and robust against noise and commonly used image processing techniques.

**Key words:** information security; image watermarking; information hiding; wavelet transform; visual masking

\* Received October 5, 2000; accepted February 27, 2001

Supported by the National Natural Science Foundation of China under Grant Nos.69735020, 69975011; the Natural Science Foundation of Guangzhou Province of China under Grant No.980442

## 全国第 4 次程序设计语言发展与教学学术会议

### 征文通知

全国第 4 次程序设计语言发展与教学学术会议定于 2003 年春季在江苏扬州召开。本次会议由东南大学承办,扬州大学、南京大学、武汉大学等院校协办,现将有关事项通知如下:

#### 一、征文范围

程序设计语言历史、现状与发展,面向对象语言及相关技术,各类建模语言及其设计、实现与应用,面向网络应用的程序设计语言(XML、HTML、PERL 等),其他各种新型程序设计语言(包括逻辑型语言、函数型语言等),程序设计语言分析、评价与比较,程序设计语言语法、语义与语用以及形式化描述技术与方法,并发、并行与实时程序设计语言,软件开发过程中各类描述语言(包括软件体系结构描述语言等),第四代语言与数据库语言,程序设计语言教学、教材与课件,各类写作语言与工具,其他。

#### 二、征文要求

来稿一般不得超过 6000 字,并且未被其它会议、期刊录用或发表。为了便于正式出版论文集,来稿必须附中英文摘要、关键词与主要参考文献,注明作者姓名、工作单位、详细通讯地址(包括电子邮件地址与电话)与作者简介。欢迎电子投稿,来稿不退,请自留底稿。

#### 三、来稿地址

南京 东南大学 计算机科学与工程系 徐宝文 邮编:210096

电话:(025)3793977; E-mail:bwxu@seu.edu.cn

#### 四、重要日期

征文截止日期: 2002 年 10 月 15 日

录用通知发出日期:2002 年 11 月 15 日

修改稿截止日期: 2002 年 12 月 15 日