

# 基于图像内容的非对称数字水印

钟绍辉, 王志刚

ZHONG Shao-hui, WANG Zhi-gang

湖南师范大学 数学与计算机科学学院, 长沙 410081

Maths and Computer Science College, Hunan Normal University, Changsha 410081, China

ZHONG Shao-hui, WANG Zhi-gang. Asymmetric digital watermarking based on content of image. *Computer Engineering and Applications*, 2008, 44(14): 94-95.

**Abstract:** In this paper, a new asymmetric watermarking technique is proposed based on discrete wavelet transform firstly, the SOBEL operator is utilized to extract feature point in low-frequency components through wavelet transform, secondly the watermarking is encoded by public-key functions, at last, the watermarking is embedded into the feature point. The result of experiment has proved the arithmetic is robust and invisible. The MATLAB engineer and its tool box are utilized to encode in VC++.

**Key words:** wavelet transform; extracting the edge of image with SOBEL; based on content of image; asymmetric watermarking

**摘要:** 在小波变换的基础上, 提出了一种基于图像内容的非对称数字水印。首先, 利用 SOBEL 算子提取经过小波分解后的低频区域中的图像的边缘特征的系数, 存储在一向量中, 利用非线性函数对水印加密, 并将水印嵌入图像的边缘系数中。实验结果表明该算法具有极强的鲁棒性和不可见性。在实验过程中, 利用 MATLAB 的引擎, 在 VC++ 中实现调用 MATLAB 的工具箱, 快捷的编写了简洁的原代码。

**关键词:** 小波变换; SOBEL 算子提取边缘; 基于图像的内容; 非对称水印

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2008.14.026 文章编号: 1002-8331(2008)14-0094-02 文献标识码: A 中图分类号: TP393

## 1 引言

随着信息技术和多媒体技术的发展, 大量的信息可以在网上传输和发布, 数字媒体的版权保护和身份鉴别成为一个迫切需要解决的重要问题, 数字水印是解决这个问题的有效方法, 所谓数字水印是指向欲保护的多媒体数据嵌入某种信息(水印)以保护所有者的权益。目前图像水印嵌入方式可以分为空间域技术和变换域技术: 空间域技术是指将水印直接嵌入到图像的亮度分量上; 变换域技术是指先将图像进行某种数学变换, 然后将水印嵌入到变换域的系数中。目前变换域的方法正变得日益普遍, 一般的变换域方法有离散余弦变换, 离散的傅里叶变换和离散的小波变换。

一般而言, 数字水印应该满足两个基本特征: (1) 不可见性(透明性): 即添加水印后的图像或文档对人体的感觉器官应该是一样的。(2) 鲁棒性: 指水印信息有能抵抗各种无意(如压缩、噪音、滤波等)和有意(变换、剪切等)攻击的能力。

目前, 许多论文提出的算法, 只考虑嵌入的信息量和水印嵌入的整体区域, 同时水印的选择一般和图像的内容无关, 没有考虑图像的边缘是图像的重要的基本特征。有的即使考虑到, 但算法过于繁琐。这些算法在水印的选择和嵌入的系数上没有做特定的选择, 这不利于水印的安全性和鲁棒性, 因为当水印受到如上文所讲的两种攻击的时候, 如果嵌入的水印和图像的内容无关时, 攻击者往往可以很容易的在不破坏图像的基本质量的情况下去掉水印, 然而当水印是基于图像的

内容并且实现了和图像重要的边缘特征向量的绑定后, 则水印在被破坏的同时, 图像的基本特征也同时被破坏了, 图像就没有任何价值了。

本文正是充分考虑到上面的因素提出来的。本文的创新之处在于: (1) 水印的产生是基于原图像的, 并且经过了加密; (2) 将水印嵌入到小波变换的低频分量中; (3) 水印嵌入的系数是经过选择的。实验证明, 本算法比一般的算法在水印的不可见性和鲁棒性方面具有更好的性能。

## 2 算法的基本理论

(1) 图像塔式小波的分解

$\psi_{a,b} = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right)$ ,  $a, b$  为实数, 且  $a \neq 0$ , 则函数  $f(x)$  的小

波变换为  $w_f(a,b) = \langle f, \psi_{a,b} \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt$ 。

MALLAT 提出的求解小波系数的塔式算法, 使离散的小波变换可以以数字滤波器组的形式出现, 这样多分辨率分析的小波分解的公式为:

$$W_{2n}(x) = \sqrt{2} \sum_k h(k) w_n(2x - k)$$

$$W_{2n+1}(x) = \sqrt{2} \sum_k h(k) w_n(2x - k)$$

$k \in z, n \in N$ , 其中  $w_0(x)$  为事先定义的尺度函数  $\varphi$ ,  $w_1(x)$  为由尺度函数生成的小波母函数  $\psi$ , 在实际的应用中, 通过水

平和垂直的滤波, 二维离散小波变换将图像分为 4 个子带,  $LL, LH, HL$  和  $HH$ , 其中  $LL$  为垂直和水平方向的低频子带, 其余的为高频子带, 其中  $LL$  是原图的近似子图, 包含了原图的重要特征信息, 塔式小波变换就是递归的对低频子带  $LL$  进行分解, 从而实现图像的多级的分解, 如图 1 所示。

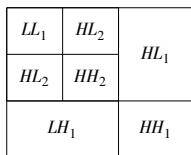


图 1 二维离散小波变换

(2) SOBEL 算子检测图像的边缘

SOBEL 算法是在图像空间利用两个方向模板与图像进行邻域的卷积来完成, 两个方向一个是检测水平边缘, 一个是检测垂直边缘, SOBEL 算子的表达式如下:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

算法的原理: 图像边缘附近的亮度变化较大, 所以可以把那些在领域内, 灰度超过某个阈的像素点作为边缘。详细的步骤参见文献[1]。

### 3 水印的生成

基于图像内容的水印必须要满足的条件是: 无论何时, 只要两个图像不同, 它们生成的水印不相关。无论何时, 只要两个图像相同, 他们生成的水印相关。无论何时, 只要密钥不同他们生成的水印不相关。为此, 按照以下步骤生成水印序列  $W$ :

(1) 输入将要嵌入水印的图像, 将它进行 3 级小波分解, 得到分解后的  $LL_3$ , 再利用 SOBEL 算子提取这个区域的边缘, 得到边缘的特征向量为  $S = \{S_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ 。并记录下每个数据在图像中的位置  $P(x_i, y_i)$ 。

(2) 利用公式(4)计算每个特征分量的  $S_i$  的掩蔽参数  $C_i$  (该参数反映了  $LL_n$  中对应位置的原始图像区域的边缘及纹理信息的相对强度)。根据小波系数的渐进传输发现, 各个子带中的系数有明显的空间位置对应关系, 它们构成树状结构, 可通过上级系数的地址来对下一级系数进行寻址, 如果对一副  $M * N$  的图像作  $N$  级小波分解, 就产生如上文所讲的分解图。设  $p_n, q_n$  为子带系数的带内坐标, 则具体的结构为:

$$tree(LL_n(p_n, q_n) = \bigcup_{d \in \{LH, HL, HH\}} tree(p_n, q_n) \quad (1)$$

$$tree(d_i(p_i, q_i) = \bigcup_{i=0}^l \bigcup_{j=0}^l tree(d_{i-1}(2p_i + i, 2q_i + j) \quad (2)$$

$$\bar{d}_u(p_u, q_u) = \frac{(d_u(p_u, q_u) - E(d_u))^2}{\sum_{i,j=0}^{(N-2^u)/2^u} (d_u(i, j) - E(d_u))^2} \quad (3)$$

$LL_n(p_n, q_n)$  是每个像素块的平均值,  $E(d_u)$  为第  $u$  级的高频子带  $d_u$  中系数的期望值,  $p_n, q_n$  为  $u$  级子带系数的带内坐标。由此可得出:

$$C(p_n, q_n) = \sum_{d \in \{LH, HL, HH\}} \sum_{U=1}^n \sum_{p_n, q_n} \bar{d}_u(p_n, q_n) \quad (4)$$

对小波树中除根节点外的所有的权值求和, 将  $C(p_n, q_n)$  称为  $tree(LL_n(p_n, q_n))$  的掩蔽参数。  $C(p_n, q_n)$  反映了

$tree(LL_n(p_n, q_n))$  对应的原始图像区域边缘的纹理信息的相对强度。

(3) 将水印图像预处理: 经过用 AROLD 置换的预处理, 将二维的图像数据转换为一维的数据序列  $w = \{w_i, i = 1, 2, \dots, M\}$ 。

(4) 如果水印数据的个数  $M$  大于图像特征数据的  $N$ , 则在经过 3 级分解的要嵌入水印的图像的  $HL_3$  区域中提取  $M - N$  个大特征值的小波系数  $S_1 = \{s_i, i = 1, 2, \dots, M - N\}$ , 令  $C_1 = \{c_i | c_i = lb_2^i, i = 1, 2, \dots, M - N\}$ 。

(5) 利用非线性函数对水印进行加密处理: 本文选用了 RSA 密码算法对其进行加密, 选择两个大的素数  $p, q, \vartheta(x) = (p - 1) * (q - 1)$ , 找一个数  $e$ , 使得  $e$  和  $\vartheta(x)$  互为素数。  $w_1 = w^e \bmod \vartheta(x)$ ; 对嵌入到  $LL_n$  区域的水印再经过运算得到  $w_2, w_2 = w_1 * C$ ; 对嵌入到  $HL_3$  区域的水印经过运算得到  $w_3, w_3 = w_1 * C_1$  将运算算法和  $w_2, w_3$  公开, 构成用户的公钥检测器 (如何检测另再行文, 并附带在数字产品中, 将  $w_1$  作为私钥, 由版权所有者的保密。由于  $w_2, w_3$  和图像的内容有关, 不同的图像对应不同的公钥。

### 4 水印的嵌入

(1) 输入将要嵌入水印的图像, 将它做 3 级小波分解, 得到分解后的  $LL_3$ , 在这个区域利用 SOBEL 算子提取这个区域的边缘, 得到边缘的特征向量为  $S = \{S_i | i = 1, 2, \dots, N\}$ 。并记录下每个数据在图像中的位置  $(x_i, y_i)$ 。在  $HL_3$  区域中根据一个阈值  $T$  取出  $M - N$  个大特征值的小波系数  $s_1 = \{s_i, i = 1, 2, \dots, M - N\}$ 。

(2) 将水印嵌入到提取的系数中: 在  $LL_3$  中:  $S = S + \alpha w_2$ , 在  $HL_3$ :  $S = S + \alpha w_3$ ,  $S$  为变换后的小波系数,  $\alpha$  为嵌入的强度,  $\alpha = (001 * A) / 127$ , 其中  $A$  为  $LL_3$  和  $HL_3$  中所有小波系数的平均值。

(3) 然后做逆小波变换, 得到嵌入水印后的图像。

### 5 水印的提取

水印的提取是嵌入水印过程的逆过程, 主要步骤有:

- (1) 将原图像和嵌入水印后的图像作三级小波分解;
- (2) 利用 SOBEL 算子分别在原图像和嵌入水印后图像的  $LL_3$  区域提取其边缘特征值, 计算原图像每个特征值的掩蔽参数  $C_i$ ;
- (3) 将水印图像的经过用 AROLD 置换的预处理, 将二维的图像数据转换为一维的数据序列  $w = \{w_i, i = 1, 2, \dots, M\}$ ;
- (4) 比较特征值的个数  $M$  和水印值的个数  $N$  确定在  $HL_3$  区域中是否嵌入有数据;
- (5) 根据掩蔽参数和特征值得求加密后的水印;
- (6) 利用公钥求得嵌入在图像中的水印序列  $W'$ , 经过变换后得到嵌入在图像中水印图像;
- (7) 在假设概率的基础上利用下面的公式计算相似度:

$$p = \frac{\sum_{i=1}^n w w'}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (w')^2}}$$

(8) 其中  $n$  表示水印序列的长度, 预设一合适的门限值  $p'$ , 如果计算所得的系数  $p$  大于  $p'$ , 则判定被检测图像含有水印。本文取  $p' = 5$ 。