

不变小波域内基于 DWT 的图像数字水印*

黄欣阳¹, 蔺大正², 谭敏生¹, 罗 扬¹

(1. 南华大学 计算机科学技术学院, 湖南 衡阳 421001; 2. 西华大学 数学与计算机学院, 四川 成都 610039)

摘要: 面对各种几何攻击, 现有数字水印算法露出各种缺陷, 到目前为止还没有发现真正能抵抗各种攻击特别是几何攻击的算法. 利用具有旋转、伸缩、平移不变性的 RST 不变小波变换设计了一种新颖的基于量化边通信模型的 DWT 盲数字水印算法. 实验表明, 这种新颖算法对于旋转、伸缩、平移等普通几何攻击以及滤波与噪声等多种攻击具有较好的鲁棒性, 但该算法对局部几何攻击具有一定的敏感性.

关键词: RST; 不变小波; 几何攻击; 数字水印; DWT

中图分类号: TP 309. 7; TP 391. 41 **文献标识码:** A **文章编号:** 0258- 7971(2007) 05- 0470- 07

计算机、多媒体及网络技术迅猛发展使得数字产品如图像、音频、视频等极大丰富, 并可轻易地通过网络获得, 这样带来了版权问题: 数字产品在不受任何控制的情况下会被轻易拷贝、操作和改动. 数字水印技术就是在不影响产品内容的前提下嵌入不易被察觉的信息, 来达到保护数字产品的目的^[1]. 几何攻击对所有水印算法提出了挑战, 几乎所有水印算法经过几何攻击后都无法幸免. 抗几何攻击的水印技术主要有: ① 利用几何不变量如几何矩及 FFT, Merllin 变换等理论来抗几何攻击^[2~7]. 这些算法大多不抗纵横比例改变的攻击; ② 抗 RST 攻击的非对称性水印^[8], 但这种方法只能嵌入 1 bit 水印, 且抗纵横比攻击性能不佳; ③ 相关检测^[9]、模板插入^[10, 11], 以及利用原图^[2], 这些方法都存在各自的缺点和不足, 且大多是排盲水印: 相关检测和模板插入都需要重复多次嵌入水印或模板, 对图像质量造成了影响, 并可能被察觉. 但到目前为止, 笔者还没有看到在不变小波基础上设计的水印算法.

本文主要讨论利用不变小波的仿射不变性来设计抗 RST 等几何攻击的 DWT 盲水印算法. 文章先介绍了用于数字水印的不变小波理论, 然后利用 DWT 域的 Jayant^[12, 13] 及 Watson 视觉模型^[14] 设计了基于局部量化及边通信理论的盲 DWT 图像水印. 最后, 用实验验证了算法的抗攻击特别是抗几何攻击能力.

1 不变小波理论

1.1 平移及伸缩不变小波基本理论 文献[15] 利用具有最小支撑的 Daubechies 小波函数得出了具有伸缩及平移不变小波变换的快速算法. 文献[16] 在文献[15] 的基础上提出了能应用于数字水印的不变小波算法.

假设 $\phi(x)$ 是正交小波函数, $\varphi(x)$ 是相应的尺度函数, 非 0 值连续函数 $f(x) \geq 0$,

$$\left\{ \begin{aligned} m_f &= \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx, & \mu_f &= \frac{1}{m_f} \int_{-\infty}^{+\infty} xf(x) dx, \\ \sigma_f^2 &= \frac{1}{m_f} \cdot \int_{-\infty}^{+\infty} (x - \mu_f)^2 f(x) dx, \\ \overline{\Psi}_{j, k}(x) &= \frac{2^{j/2}}{\sqrt{\sigma_f}} \cdot \phi\left(2^j \frac{x - \mu_f}{\sigma_f} - k\right), \\ \overline{\Phi}_{j, k}(x) &= \frac{2^{j/2}}{\sqrt{\sigma_f}} \cdot \varphi\left(2^j \frac{x - \mu_f}{\sigma_f} - k\right), \end{aligned} \right. \quad (1)$$

* 收稿日期: 2006- 10- 25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60572137); 湖南省科技计划资助项目(2006GK3084).

作者简介: 黄欣阳(1971-), 男, 硕士, 讲师, 主要从事图像信息安全及密码学方面的研究.

$$\overline{V}_j^f = \overline{\text{span}\{\overline{\varphi}_{j,k}^f(x), j, k \in Z\}}, \quad \overline{W}_j^f = \overline{\text{span}\{\overline{\psi}_{j,k}^f(x), j, k \in Z\}}.$$

命题 1^[15] $f(x)$ 的分解重构为

$$f(x) = \sum_{j \geq j_0} \overline{d}_{j,k}^f \overline{\psi}_{j,k}^f(x) + \sum_k \overline{c}_{j_0,k}^f \overline{\varphi}_{j_0,k}^f(x), \quad (2)$$

其中

$$\overline{c}_{j,k}^f = \langle f, \overline{\varphi}_{j,k}^f \rangle = \sqrt{\sigma_j} \int_{-\infty}^{\infty} f(\sigma_j x + \mu_j) \varphi_{j,k}(x) dx,$$

$$\overline{d}_{j,k}^f = \langle f, \overline{\psi}_{j,k}^f \rangle = \sqrt{\sigma_j} \int_{-\infty}^{\infty} f(\sigma_j x + \mu_j) \psi_{j,k}(x) dx.$$

定理 1 设 $f(x) \geq 0$, $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx < +\infty$, 且 σ_j, μ_j 存在, $g(x) = f(ax + b)$ ($a \geq 0, b \in R$), 那么

$$\overline{c}_{j,k}^f / \sqrt{\sigma_j} = \overline{c}_{j,k}^g / \sqrt{\sigma_g}, \quad \overline{d}_{j,k}^f / \sqrt{\sigma_j} = \overline{d}_{j,k}^g / \sqrt{\sigma_g}, \quad \text{其中}$$

$$\overline{c}_{j,k}^g / \sqrt{\sigma_g} = \int_{-\infty}^{\infty} f(\sigma_j x + \mu_j) \varphi_{j,k}(x) dx. \quad (3)$$

证明见文献[15], 我们称这些小波系数为矩不变小波系数, 简称不变小波系数.

定义 1 对于统计特征为 (μ_j, σ_j) 的非负信号 $f(x)$, 我们称

$$f_s(x) = f\left(\frac{\sigma_j}{2^{j_0}}x + \mu_j\right) \quad (4)$$

为从函数空间 $V_{j_0}, V_{j_0} = \overline{\text{span}\{\varphi_{j_0,k}(x), j_0, k \in Z\}}$ 还原的规范化信号, 简称 V_{j_0} 的规范化信号.

根据小波逼近理论只要将连续函数 $f(t)$ 投影到合适的 V_j , 则可以得到误差很小的逼近. 忽略(2) 式等号右边第 1 部分, 只取 $f(t)$ 在 V_{j_0} 上的投影, 则有:

定理 2 设 $f(x), 0 < \int_{-\infty}^{\infty} f(x) dx < +\infty$, 统计特征为 (μ_j, σ_j) , 则由 $f(x)$ 的不变小波系数

$\overline{c}_{j_0,k}^f / \sqrt{\sigma_j}$ 重构的函数

$$f_s(x) = \sqrt{2^{j_0}} \sum_k \frac{\overline{c}_{j_0,k}^f}{\sqrt{\sigma_j}} \varphi_{0,k}(x) \quad (5)$$

就是 V_{j_0} 的规范化信号.

证明 根据定理 1 有

$$\frac{\overline{c}_{j,k}^f}{\sqrt{\sigma_j}} = 2^{j/2} \int_{-\infty}^{\infty} f(\sigma_j x + \mu_j) \varphi(2^j x - k) dx = \frac{1}{2^{j/2}} \int_{-\infty}^{\infty} f\left(\frac{\sigma_j}{2^j}x + \mu_j\right) \varphi(x - k) dx. \quad (6)$$

$\varphi_{0,k}(x)$ 是 V_0 的正交基并根据式(6), 用不变小波系数 $\overline{c}_{j_0,k}^f / \sqrt{\sigma_j}$ 及尺度函数 $\varphi_{0,k}(x)$ 对函数 $f\left(\frac{\sigma_j}{2^{j_0}}x + \mu_j\right)$ 的逼近为

$$f\left(\frac{\sigma_j}{2^{j_0}}x + \mu_j\right) = \sqrt{2^{j_0}} \sum_k \frac{\overline{c}_{j_0,k}^f}{\sqrt{\sigma_j}} \varphi(x - k).$$

这表明 V_{j_0} 的规范化信号 $f_s(x)$ 可按定理 1 进行不变小波分解并可由式(5) 近似地重构.

推论 1 $W_{f_s}(x) = \sqrt{2^{j_0}} \frac{\overline{c}_{j_0,k}^f}{\sqrt{\sigma_j}}$ 也是不变小波系数(称为 AWIM), 且 $f_s(x) = \sum_k W_{f_s}(x) \varphi_{0,k}(x)$.

当然, 在定理 2 中也可以考虑 V_{j_0} 中的小波系数, 或增大 j_0 的值以减少逼近误差. 以上理论考虑的是一维连续信号的不变小波变换, 应用到图像处理时, 分别按 X 轴、 Y 轴 2 个方向对图像应用以上理论即可. 实践中, 由于数字图像是离散信号, 故先要通过小波域插值得到连续信号后才可进行以上的变换(快速算法见文献[15, 16]), 定理 1 在对数字图像进行分解和重构时都进行了非整数点插值, 故误差较大. 因此, 在

应用于数字水印领域时, 我们使用对规范化信号重构误差较小的定理 2 及推论 1.

按照定理 1 进行小波分解, 按推论 1 得到不变小波系数及按推论 1 重构规范化信号的理论称为矩不变小波 MIW(Moment Invariant Wavelet), 简称不变小波.

1.2 RST 不变小波 先对图像进行二值化及提取边缘再应用 Hough 变换能很好地确定旋转角度. 用这种方法, 文献[16]改进了文献[15]中的快速算法得到了能应用于数字水印的伸缩、平移、旋转几何不变小波 RST MIW.

2 DWT 盲水印算法设计

2.1 Costa 边通信理论 Costa^[17] 给出的纯理论通信模型为 $m \in \{1, 2, \dots, M\}$, $\mathbf{w} = [w_1, w_2, \dots, w_N]$, $\mathbf{x} \sim N(0, \sigma_x^2 I_N)$, $\mathbf{v} \sim N(0, \sigma_v^2 I_N)$. 信息 m 依靠能量有限的编码信号 \mathbf{w} 传输, 解码端不知道高斯噪声信号 \mathbf{x} , \mathbf{v} , 但编码端知道信号 \mathbf{x} . 如果将 \mathbf{x} 视为原始宿主信号而 \mathbf{v} 为加性高斯白噪声, 这个问题类似于盲水印问题.

2.2 基于格结构码本的 SCS 体制 参照 Costa^[17] 的理论 Eggers^[18] 提供了 1 个次优的基于格结构码本的实践上可行的体制 Scalar Costa System(SCS) (见图 1). 该体制与宿主信号的分布无关, 一般来说, 能够用于图像水印.

2.2.1 使用统一标量量化的水印嵌入 假定水印信息 m 的二进制编码为 $\mathbf{d} = [d_1, d_2, \dots, d_n, \dots, d_N]$, $d_n \in D = \{0, 1\}$, 即 $m = \mathbf{d}$.

为了嵌入水印 bit 序列 \mathbf{d} , 在信道中被传送的水印信号是

$$\mathbf{w} = \alpha \mathbf{e} \quad (7)$$

其中, 向量 \mathbf{e} 中的任意元素

$$e_n = Q_{\Delta} \left[x_n - \Delta \frac{d_n}{2} \right] - \left[x_n - \Delta \frac{d_n}{2} \right] \quad (8)$$

为用码本 u_d^N/α (即 $u^N = u^1 \circ u^1 \circ \dots \circ u^1$, 其中 $u^1 = \left\{ k\alpha\Delta + d \frac{\alpha\Delta}{2} \mid d \in \{0, 1\}, k \in Z \right\}$ 可传送 0 或 1) 对宿主信号 x 进行量化时产生的误差, $Q_{\Delta}(\cdot)$ 表示码本 u^N 的量化器, 它用统一的步长 Δ 进行量化.

2.2.2 基于统一标量量化的水印检测^[18, 19] 在 SCS 体制中, 解码行为就是量化接收到的信号 $\mathbf{r} = \mathbf{x} + \mathbf{w} + \mathbf{v}$ 到最接近的码元. 以逐个方式解码, 这实质上是求量化误差

$$y_n = Q_{\Delta}(r_n) - r_n, \quad (9)$$

容易知道 $|y_n| \leq \Delta/2$. 如果噪声 v_n 没有造成传输错误, 则当 $d_n = 0$ 被传送时, y_n 应该接近 0; 而当 $d_n = 1$ 被传送时, 则 y_n 应该接近 $\pm \Delta/2$.

2.2.3 基于局部标量量化的 SCS 水印体制 Eggers^[18] 设计的 SCS 体制使用统一量化步长 Δ 是基于如下理由: 水印 \mathbf{w} 各元素在信道 \mathbf{x} 中受到的高斯噪声攻击是一致的, 即 \mathbf{w} 是通过同一信道传送的. 实际上, 在考虑图像水印体制时, 同样的攻击如 JPEG 压缩对图像数据 x_n 和 x_k ($k \neq n$) 产生的噪声往往是不同的, 它们所经受的攻击程度也是不同的, 也就是说 x_n 和 x_k 是处在不同的信道. 因此, 我们考虑对于不同的信道 x_n 使用不同的量化步长 Δ_n (本文采用文献[12, 13] 提供的 Jayant 视觉模型或用文献[14] 的 Watson 灰度量量化矩阵确定的 JND (Just Noticeable Difference) 作为不同信道 x_n 的量化步长 Δ_n) 是对 SCS 体制的 1 个合理改进.

2.3 基于不变小波及 DWT 的 SCS 水印算法 本文的水印算法模型见图 2 (其中的粗黑箭头为攻击信道). 嵌入水印的基本思想是: 对一幅规范图像作不变小波分解后, 选择一特定块作二层或三层 DWT 变换, 然后根据

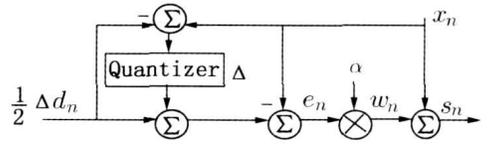


图 1 一个码元的 SCS 水印嵌入体制

Fig. 1 Watermarking embedding for Costa's scheme with a scalar component CB

DWT 系数用本文 2.2.3 节提到的方法求得 SCS 的局部 Δ_n (即 JND) 后按 SCS 算法嵌入水印, 最后作相应的逆 DWT 和逆不变小波变换 IMIW 后即可得到嵌入水印的规范图像. 而提取水印的思想是: 对待检测图像作 RST 不变小波分解 RSTMIW 及 DWT 变换后, 计算局部量化步长并按 SCS 算法提取水印.

算法 1 水印嵌入算法

输入参数: $f_s(x, y)$ ^① 及其二阶矩 σ_x^2, σ_y^2 , 水印 $d, d_n \in \{0, 1\}, 1 \leq n \leq N_d$, 水印嵌入重数 K , 规则 S ^②, 块大小 $u \times v$, 最大层 $L \leq 3$.

输出结果: 已经嵌入水印 d 的图像 $f_d(x, y)$.

(1) 用 MIW 分解算法^[16] 对信号 $f_s(x, y)$ 进行不变小波变换得到 $W_{f_s}(x, y)$, 然后从 $W_{f_s}(x, y)$ 中选取一矩形块 $f_0(x, y)$;

(2) 用 2-D DWT 分解信号 $f_0(x, y)$ 得到小波系数

$$f_1(x, y) = \bigcup_l J^{l,s}(x, y), l = 1, 2, \dots, L, s \in S = \{LL, LH,$$

$HL, HH\}$, 从 $f_1(x, y)$ 中选择 K 个频带另记为 $I^{k,l,s}, k = 1, 2, \dots, K$ 用于嵌入水印. 将每一 $I^{k,l,s}$ 分成不重叠的大小为 $(2^{3-l}u) \times (2^{3-l}v)$ 的块 $I_b^{k,l,s}(x, y), 1 \leq b \leq N_{l,s}^k$ (设有 $N_{l,s}^k$ 块且 $\min(N_{l,s}^k, 1 \leq l \leq L, 1 \leq k \leq K, s \in S) \geq N_d$, 为简单起见不妨设 $\min(\{N_{l,s}^k\}) = N_d$), 得 $I^{k,l,s}(x, y) = \bigcup_{b=1}^{N_{l,s}^k} I_b^{k,l,s}(x, y)$;

(3) 用规则 S 使种子水印 d 生出 K 个长度为 N_d 的 0/1 二值随机水印 $d^k, k = 1, 2, \dots, K$;

(4) 对 $I^{k,l,s}, k = 1, 2, \dots, K$ 中的系数块 $I_b^{k,l,s}(x, y), 1 \leq b \leq N_d$ 作如下处理:

① 按 2.2.3 节计算块中每一系数 $I_b^{k,l,s}(x, y)$ 的 JND 后, 可得到 1 个 JND 矩阵 $J_b^{k,l,s}$ 及

$$\Delta_b^{k,l,s} = \sum_{x,y} J_b^{k,l,s}(x, y), \tag{10}$$

$$p_b^{k,l,s}(x, y) = \text{sign}(I_b^{k,l,s}(x, y)) \cdot \frac{J_b^{k,l,s}(x, y)}{\Delta_b^{k,l,s}}, \tag{11}$$

其中, $\Delta_b^{k,l,s}$ 为式(8)中的局部量化步长, $J_b^{k,l,s}(x, y)$ 为矩阵元素, $\text{sign}(\cdot)$ 为符号函数, $p_b^{k,l,s}$ 为权值矩阵;

② 将 $\Delta = \Delta_b^{k,l,s}, d_n^k$ 及 $x_n = \sum_{x,y} |I_b^{k,l,s}(x, y)|$ 代入式(8)得 e_n 及 $w_n = \alpha_n e_n, n = b$;

③ 计算 $I_b^{k,l,s}(x, y) \leftarrow I_b^{k,l,s}(x, y) + p_b^{k,l,s}(x, y) \cdot w_n (x = 1, 2, \dots, 2^{3-l}u, y = 1, 2, \dots, 2^{3-l}v)$ 得到 $IW_b^{k,l,s}(x, y)$;

(5) 令所有已经嵌入水印的频带及未嵌入水印的频带为 $f'_1(x, y)$, 对 $f'_1(x, y)$ 进行 2-D DWT 重构得 $f_1^w(x, y) = IDWT(f'_1(x, y))$;

(6) 用 $f_1^w(x, y)$ 替换 $W_{f_s}(x, y)$ 中的 $f_0(x, y)$ 得到 $W_{f_s}^w(x, y)$ 后, 按算法 MIW^[16] 重构得到嵌入水印的图像 $f_d(x, y)$.

算法 2 水印提取算法

输入参数: 待检测图像 $f(x, y)$, 水印 $d, d_n \in \{0, 1\}, 1 \leq n \leq N_d, \sigma_x^2, \sigma_y^2$, 规则 S , 嵌入重数 K , 块大小 $u \times v$, 最大层 $L \leq 3$.

输出结果: 预测水印 d 及它与 d 的相关性

(1) 按算法 1 的步骤 1 对 $f(x, y)$ 进行处理得到 $f_0(x, y)$;

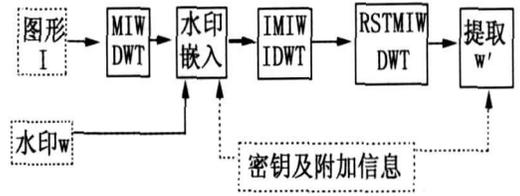


图 2 不变小波域内的 DWT 数字水印系统模型

Fig. 2 DWT watermarking system model in RSYMIW field

① 为 V_{i_0} 的规范化二维图像信号.

② 规则 S 可认为是某适合的加密算法, 用于控制嵌入和提取过程.

(2) 按算法 1 的步骤 2 对信号 $f_0(x, y)$ 进行处理得到 $I^{k, l, s}(x, y) = \bigcup_{b=1}^{N_d} I_b^{k, l, s}(x, y)$;

(3) 对 $I^{k, l, s}$, $k = 1, 2, \dots, K$ 中的系数块 $I_b^{k, l, s}(x, y)$, $1 \leq b \leq N_d$ 作如下处理:

① 按式(10) 计算 $\Delta_b^{k, l, s}$;

② 将 $\Delta = \Delta_b^{k, l, s}$ 及 $r_n = \sum_{x, y} |I_b^{k, l, s}(x, y)|$ 代入式(9) 得 y_n , $n = b$;

③ 如果 $|y_n|$ 靠近 0, 则 d'_n , 否则 $|y_n|$ 更靠近 $\Delta/2$, 有 $d'_n = 1$;

(4) 将规则 S 的逆运算应用于提取的 K 个水印 d'_n 得到 d^k , $k = 1, 2, \dots, K$, 然后计算向量 \mathbf{a}^{K+1} , \mathbf{a}_n^{K+1}

$$= \text{round}\left(1/K \cdot \sum_{k=1}^K d_n^k\right);$$

(5) 计算 \mathbf{a}^k , $k = 1, 2, \dots, K+1$ 与 \mathbf{a} 的相关性, 取相关性最大的为预测水印 \mathbf{a} , 最后根据判断阈值确定 $f(x, y)$ 是否嵌入水印.

3 DWT 水印算法的实验设计与实验结果

3.1 实验设计 根据定理 2, 用 MIW 对某图像分解并重构的结果作为规范图像, 即原始图像. 按该方法得到一个 $256 \times 256 \times 8$ 的 V6 空间 Lena 规范图像 $f_s(x, y)$, 其有效嵌入面积, 即算法 1 步骤 1 中的块 $f_0(x, y)$ 约为 216×218 .

水印 \mathbf{a} 由 0/1 二值随机序列组成, 当然, 也可以使用一幅二值图像与二值随机序列的异或. 为简单起见, 在本实验中水印 \mathbf{a} 是长度为 210 bits 的二值随机序列, $\alpha_n = 1$, 因为 $\alpha_n \neq 1$ 时就已经产生了噪声.

我们在同 1 个水印体制中使用了 2 个不同的 HVS 模型, 对不同的的小波层系数分别用不同的模型确定量化步长 Δ , 这样保证了更好的鲁棒性与很好的视觉质量.

3.2 各种实验

实验 1 见图 3(a) ~ (b), 为水印嵌入的不可见性实验. 由 2 幅图像的比较可知, 水印的透明性是很好的, 嵌入水印后(b)图像的 PSNR= 44.12 (按有效嵌入面积计算).

实验 2 本组实验主要测试水印算法的鲁棒性. 本文只列出了部分测试图像见图 3(c) ~ (h), 而测试方法及测试结果见表 1.

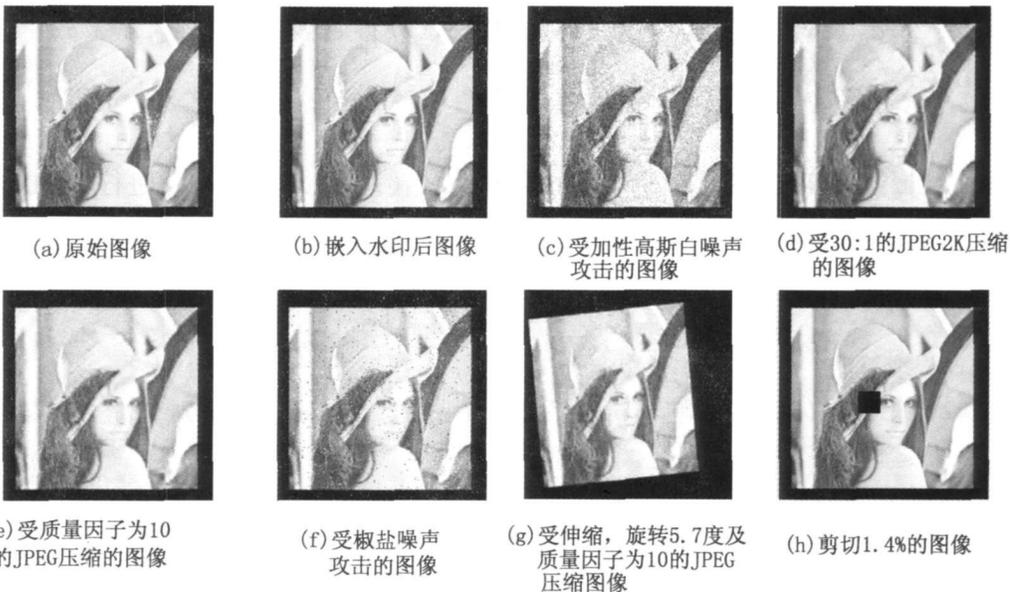


图 3 在实验 1 及 2 中用到的部分图

Fig. 3 Some images in the testing experiment 1 & 2

表 1 DWT 水印测试结果

Tab. 1 Testing results for DWT watermarking

| 处理 | I | II | III | IV | V | VI | VII | VIII |
|--------|-------------------|-------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| None | None/ 0.98 | | | | | | | |
| Rot | 5.7/ 0.91 | | | 5.7 | 42.7 | 5.7 | 5.7 | 5.7 |
| Scal | [240, 220]/ 0.71 | [142, 142]/ 0.56 | | [240, 220] | [200, 200] | [240, 220] | [240, 220] | [240, 220] |
| Trans | (10, 12)/ 0.97 | | | (6, 3) | (30, 20) | (6, 3) | (6, 3) | (6, 3) |
| JPEG | 75/ 0.90 | 30/ 0.73 | 10/ 0.55 | | | 75 | 30 | 10 |
| AGWN | (0, 0.01)/ 0.55 | | | | | | | |
| * S&P | 0.01/ 0.74 | 0.02/ 0.77 | | | | | | |
| MF | (3* 3)/ 0.75 | (5* 5)/ 0.56 | | | | | | |
| LPF | h/ 0.65 | | | | | | | |
| Crop | 0.014/ 0.60 | | | | | | | |
| JPEG2K | 10: 1/ 0.80 | 20: 1/ 0.60 | 30: 1/ 0.58 | | | | | |
| Ratio | - | - | - | 0.74 | 0.61 | 0.70 | 0.60 | 0.58 |

1: 表中的分子表示操作参数, 分母表示完成该操作后水印的正确率; 2: “ I ~ III” 列中的实验结果为各种操作单独作用的结果, 而其它列是共同操作后提取水印的正确比率; 3: 中值滤波“ MF” 是非线性的; 4: “ * S&P” 表示加入椒盐噪声后, 在提取水印前用(3* 3) 中值滤波器进行中值滤波后的水印提取结果; 5: “ Crop” 中的分子表示剪切的是非 0 值图像部分的比例. 6: 其它符号的含义为: None(无任何处理)、Rot(旋转度)、Scal(纵横缩放到 M, N 大小)、Trans(平移到位置 (X, Y))、JPEG(质量因子为 N)、Gauss Noise(高斯噪声 σ 为标准方差)、MF(中值滤波)、JPEG2K(JPEG200 压缩比例)、Ratio(综合提取水印比率)。

3.3 实验分析与结论 由表 1 中的数据可以知道: ① 本文的盲水印算法具有较好的鲁棒性, 能够抵抗多种图像攻击: 对于各种噪声、传统的 JPEG 压缩、最新的 JPEG2000 具很好的鲁棒性. 特别对于 RST 攻击是鲁棒的; ② 尽管提供了对 Crop 操作的测试数据, 但实际上本算法对此操作是敏感的.

我们认为, 基于不变小波的水印算法是一个新的值得大家关注和研究的水印发展方向.

参考文献:

[1] COX I J, MILLER M L, BLOOM J A. Digital watermarking[M]. USA: Morgan Kaufman Publisher, 2002.
 [2] O' Ruanaidh J J K, PUN T. Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking[J]. Signal Processing, 1998, 66(3): 303-317.
 [3] WU M, MILLER L M, BLOOM J A, et al. A Rotation, scale, and translation resilient public watermark[C/ OL]. In Proc. IEEE Int. Conf. Acoustics, Speech, and Signal Processing 1999(ICASSP' 99), Phoenix, AZ, 1999. http://www.assuredigit.com/tech_do/more/Cox-Rotation-scaling-translation-resilient-public-watermark.PDF
 [4] LIN C Y, WU M, BLOOM J A, et al. Rotation, scale, and translation resilient watermarking for images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2001, 10(5): 765-782.
 [5] Stefan Katzenbeisser, Fabien A P Petitcolas. Information hiding techniques for steganography and digital watermarking[M]. Boston London: Artech House, 2000.
 [6] ALGHONIEMY M, TEWFIK A H. Geometric distortion correction through image normalization[C]//in Proc. Int. Conf. Multimedia Expo, 2000, 3: 1291-1294.
 [7] 张艳, 刘兵. 抗剪裁的盲图像水印算法[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2005, 27(3): 206-210.
 [8] Masoud Alghoniemy, AHMED H Tewfik. Geometric invariance in image watermarking[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(2): 145-153.
 [9] 刘九芬, 王振武, 黄达人. 抗几何攻击的小波变换域图像水印算法[J]. 浙江大学学报: 工学版, 2003, 37(4): 386-392.

- [10] JOHNSON N F, DURIC Z, JAJODIA S. Recovery of watermarks from distorted images[C] // In Proc. 3Td Int. Information Hiding Workshop, Dresden, Germany, 1999: 361-375.
- [11] KANG X G, HUANG J W, SHI Y Q. An image watermarking algorithm robust to geometric distortion[C] // Lecture Notes in Computers Science: Proc. of IWDW 2002, Springer Verlag, 2002, 2 613: 212-213.
- [12] LEWIS A S, KNOWLES G. Image compression using the 2-D wavelet transform[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1992, 1(2): 244-250.
- [13] 杨树国. 鲁棒图像数字水印技术的研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学, 2003.
- [14] WATSON A B, YANG G Y, SOLOMON J A, et al. Visual thresholds for wavelet quantization error[C] // SPIE Proceedings, 1996, 2657 per # 44, Human Vision and Electronic Imaging, B. Rogowitz and J. Allebach, Ed., The Society for Imaging Science and Technology, 1996, 382-392.
- [15] XIONG Hui lin, ZHANG Tian xu, MOON Y S. A translation and scale invariant adaptive wavelet transform[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2002, 9(12): 2100-2108.
- [16] 黄欣阳. 不变小波域稳健性图像数字水印研究[D]. 成都: 西华大学, 2005.
- [17] COSTA M H M. Writing on dirty paper[J]. IEEE Transactions on Information Theory, 1983, 29(3): 439-441.
- [18] EGGERS J J, SU J K. A blind watermarking scheme based on structured codebooks[C] // Proc of Iee Secure Images and Image Authentication London, UK, 2000. 16.
- [19] EGGERS J J, Robert Bauml, Roman Tzschoppe, et al. Scalar Costa scheme for information embedding[J]. IEEE Transaction on Signal Processing, 2003, 51(4): 1003.

An image digital watermarking based on DWT in invariant wavelet domain

HUANG Xir yang¹, LIN Da zheng², TAN Mir sheng¹, LUO Yang¹

(1. School of Computer Science and Technology, University of South China, Hengyang 421001, China;

2. School of Computers and Mathematical Science, Xihua University, Chengdu 610039, China)

Abstract: In the face of geometrical attacks, all shortcomings of the almost all digital watermarking algorithms have been exposed. Perhaps there is no algorithm against every attack especially geometrical attacks. It is designed a novel blind image watermarking algorithm of Scalar Costa System based on the DWT transformation in the Rotation and Scale and Translation (RST) Moment Invariant Wavelet, i. e. RSTMIW domain. The experiments show that this novel algorithm is robust against RST geometrical, filter and noise attacks, however, sensitive to some local geometrical attacks.

Key words: Rotation Scaling Translation (RST); invariant wavelet; geometrical attack; digital watermarking; DWT