

基于提升小波变换的自适应盲水印算法

贾朱植^{1a}, 祝洪宇^{1b,2,3}, 程万胜^{1b}

(1. 辽宁科技大学 a. 高等职业技术学院; b. 电子与信息工程学院, 辽宁 鞍山 114051; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100039;
3. 中国科学院沈阳自动化研究所, 沈阳 110016)

摘 要: 提出一种基于提升小波变换的自适应盲水印算法。该算法将水印新猫变换置乱加密, 把原图像提升小波分解, 并对对应位置的 3 个高频系数排序, 将最大值和最小值分成 $2Q-1$ 个区间, 当嵌入的信息不同时, 使特征值处于不同区间。根据特征值所处的位置, 实现盲水印提取。实验结果表明, 该算法在各种攻击下具有较强的鲁棒性和可识别性。

关键词: 盲水印; 提升小波变换; 置乱

Adaptive Blind Watermark Algorithm Based on Lifting Wavelet Transform

JIA Zhu-zhi^{1a}, ZHU Hong-yu^{1b,2,3}, CHENG Wan-sheng^{1b}

(1a. School of Higher Vocational and Technology; 1b. School of Electronic and Information Engineering, Liaoning University of Science and Technology, Anshan 114051, China; 2. Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China;
3. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110016, China)

【Abstract】 This paper proposes a kind of adaptive blind watermark algorithm based on lifting wavelet transform. The watermark is encrypted through new arnold transform, and the original image is decomposed through lifting wavelet transform. Three high frequency coefficients of corresponding locations in the same level are sorted, and come into being a section between the maximum and the minimum which is divided into $2Q-1$ sub-sections. The eigenvalue is in the different sub-zone, when the information embedded is different. The watermark can be extracted according to the locations of eigenvalue. This is a kind of blind watermark extracting method. Experimental result shows that this algorithm has a good robustness and recognizable character under many kinds of assaults.

【Key words】 blind watermark; lifting wavelet transform; shuffling

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.02.049

1 概述

随着计算机技术和网络技术的迅猛发展, 数字水印技术已成为实现信息安全和版权保护的有效途径。一般的数字水印要满足不可见性、鲁棒性和可识别性 3 个要求^[1]。对数字水印技术的研究主要涉及图像水印, 而图像水印算法又集中在变换域中实现, 目前, 应用最广泛的是离散小波变换数字水印技术^[2]。

本文提出一种基于提升小波变换的自适应盲水印算法。实验表明该算法不可见性较好, 并在各种攻击下具有较强的鲁棒性和可识别性。

2 小波变换的提升

正向小波提升的过程分为 3 步^[3]: (1)分裂: 把原信号分成不相交的 2 个子集, 一般将原信号分成偶数序列和奇数序列。(2)预测: 采用预测算子, 根据偶数序列预测奇数序列, 其误差为小波系数。(3)更新: 对小波系数施加更新算子, 然后加上奇数序列得到相应的尺度系数。经以上 3 步完成一次信号提升, 相当于小波的一层分解。重构过程为信号逆向提升过程。图 1 所示为正向和逆向提升算法过程^[3]。正向提升变换如图 1 左半部分所示, 公式为:

$$(s_e, s_o) = (S(s); \gamma = s_o - P(s_e); \lambda = s_e + U(\gamma)) \quad (1)$$

其中, P 为预测算子; U 为更新算子; γ 、 λ 分别为小波系数和尺度系数。改变正向变换公式中的加减符号即得到逆向变换, 如图 1 右半部分所示。逆向变换公式为:

$$s_o = \gamma + P(s_e); s_e = \lambda - U(\lambda); s = M(s_e, s_o) \quad (2)$$

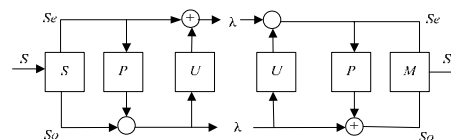


图 1 正向提升和逆向提升算法

3 图像置乱技术

图像置乱是一种信息加密技术, 也是信息隐藏的预处理过程。对水印图像置乱有 3 个用途: 避免块效应, 加入密钥以确保水印安全, 增强水印鲁棒性。本文采用新猫变换^[4]置乱水印图像, 其变换和反变换公式为:

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ k & k+1 \end{bmatrix}^n \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \bmod N \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ k & k+1 \end{bmatrix}^{-n} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \bmod N \quad (4)$$

相对于猫变换, 新猫变换具有以下优点: 恢复图像无需计算变换周期, 原图像经 N 步变换到某一状态, 则该算法能从该置乱状态用相同步数恢复出原图像; 可以恢复到图像的

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA041501); 国家重点实验室开放基金资助项目(SKLR200702)

作者简介: 贾朱植(1978-), 女, 讲师、硕士, 主研方向: 数字水印技术; 祝洪宇, 讲师、博士研究生; 程万胜, 副教授、博士

收稿日期: 2010-06-18 **E-mail:** jiazhu zhi@163.com

任意次, 恢复效率较猫变换大大提高, 节省大量时间。

4 数字水印技术

4.1 水印的嵌入

本文采用基于量化的提升小波嵌入算法, 可以提高对 JPEG2000 压缩攻击的鲁棒性^[4], 并可实现水印盲提取。本算法考虑图像某一位置同层 3 个高频系数之间的关系, 以 3 个值中最大值和最小值之间的差决定水印嵌入强度。水印强度与该差值成正比, 因此, 水印嵌入是自适应的。为提高水印鲁棒性, 本文采用水印多重嵌入方法, 即在各分辨率级的高频子图中嵌入多重水印, 增加水印冗余信息, 为水印提取提供纠错信息。具体算法如下:

(1) 水印图像 w 新猫变换, 得到置乱水印图像 w_1 。

(2) 对原图像 I 进行 3 级正向小波提升, 得到提升小波系数 $LWT(x, y)$, 其中第 l ($l \in \{1, 2, 3\}$) 层的第 k ($k \in \{HL, LH, HH\}$) 个高频子图的 (x, y) 处系数值用 $h_{k,l}(x, y)$ 表示。

(3) 将第 l 层的 3 幅子图中对应位置的系数 $h_{k1,l}(x, y)$ 、 $h_{k2,l}(x, y)$ 和 $h_{k3,l}(x, y)$ 排序^[5], 得:

$$h_{k1,l}(x, y) \quad h_{k2,l}(x, y) \quad h_{k3,l}(x, y)$$

(4) 计算 $h_{k3,l}(x, y)$ 和 $h_{k1,l}(x, y)$ 之间的差值 Δ , 即:

$$\Delta = h_{k3,l}(x, y) - h_{k1,l}(x, y)$$

(5) 将 $h_{k1,l}(x, y)$ 和 $h_{k3,l}(x, y)$ 之间平均插入 $2(Q-1)$ 个值, 每 2 个值相差 δ , $\delta = \Delta / (2Q-1)$, Q 是用户自定义变量, 本文中设 $Q=2$, $\delta = \Delta / 3$, 即把 Δ 分成 3 个区间, 如图 2 所示。定义特征值 R 为 $h_{k2,l}(x, y)$ 除以 Δ 的余数, 即:

$$R = \text{rem}(h_{k2,l}(x, y) / \Delta)$$

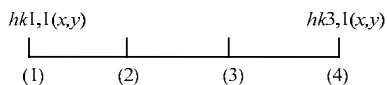


图 2 水印嵌入位置示意图

(6) 若嵌入的水印信息为 $\{0\}$, 使 R 最接近 (2) 或 (4) 的位置; 若嵌入的水印信息为 $\{1\}$, 则使 R 最接近 (1) 或 (3) 位置, 否则要修改 $h'_{k2,l}(x, y)$ 以满足上述要求, 算法为:

当 $w_1(x, y) = 0$ 时, 若 $\Delta/3 < R < \Delta/2$, 则 $h_{k2,l}(x, y) = h_{k2,l}(x, y) + \Delta/6$;

若 $\Delta/6 < R < \Delta/3$ 或 $5\Delta/6 < R < \Delta$, 则 $h_{k2,l}(x, y) = h_{k2,l}(x, y) - \Delta/6$;

当 $w_1(x, y) = 1$ 时, 若 $\Delta/2 < R < 2\Delta/3$, 则 $h_{k2,l}(x, y) = h_{k2,l}(x, y) - \Delta/6$;

若 $0 < R < \Delta/6$ 或 $2\Delta/3 < R < 5\Delta/6$, 则 $h_{k2,l}(x, y) = h_{k2,l}(x, y) + \Delta/6$ 。

其他情况, $h_{k2,l}(x, y)$ 不变。

(7) 嵌入水印后, 得到新提升小波系数, 图像逆小波提升, 得到含水印图像 I' 。

用户自定义变量 Q 是保密的, 也是一个密钥, 非法用户即使知道水印嵌入算法, 也无法提取真正的水印, 同时 Q 的大小影响水印嵌入强度。本文对提升小波系数的修改为 $\pm\delta/2$, 即 $\Delta/(2Q-1)$, 所以, Q 越大, 对系数的修改值相对越小, 水印嵌入强度越小, 反之, 水印嵌入强度越大, 而水印嵌入强度又影响其鲁棒性和不可见性, 所以, Q 的定义要兼顾水印鲁棒性和不可见性, 即 Q 不能太大或太小, 要根据不同图像进行适当调整。

4.2 水印的提取

水印提取的方法如下:

(1) 对嵌有水印的图像 I' 进行 3 层正向小波提升, 得到提升小波系数 $LWT'(x, y)$, 其中, 第 l ($l \in \{1, 2, 3\}$) 层的第 k ($k \in \{HL, LH, HH\}$) 个高频子图的 (x, y) 位置处的系数值用

$h'_{k,l}(x, y)$ 表示。

(2) 将第 l 层的 3 幅子图中对应位置的系数 $h'_{k1,l}(x, y)$ 、 $h'_{k2,l}(x, y)$ 和 $h'_{k3,l}(x, y)$ 从小到大排序。

(3) 用上述方法计算 $h'_{k3,l}(x, y)$ 和 $h'_{k1,l}(x, y)$ 之间的差值 Δ 以及特征值 R 。

(4) 若 R 最接近 (2) 或 (4) 位置, 则提取的水印信息为 $\{0\}$; 若 R 最接近 (1) 或 (3) 位置, 则提取的水印信息为 $\{1\}$ 。

5 实验结果

本文以图 3 所示 256×256 Lena 图像为例进行仿真, 采用如图 4 所示 32×32 的二值图像作水印图像, 仿真环境: Pentium4, 2.63 GHz, Windows XP, Matlab7.01, 选择 Daubechies 双正交小波族中 Db4 提升小波对图 3 分解。

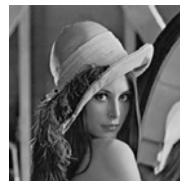


图 3 原 Lena 图像

L U
S T

图 4 水印图像

图 5 为嵌入水印的 Lena 图像, 与原 Lena 图像相比无视觉差异, 说明该方法不可见性好。图 6 为嵌入到图 3 中的置乱水印图像, 为原水印经 3 次新猫变换得到, 图 7 为从图 5 中提取出的置乱水印图像, 经 3 次新猫反变换后得到如图 8 所示水印图像。图 9 为剪切 1/4 的含水印 Lena 图像, 图 10 为从图 9 中提取的水印图像。图 11 为加高斯噪声含水印图像 (峰值信噪比=33.267 6), 图 12 为从图 11 中提取的水印图像。图 13 为 5×5 中值滤波的含水印图像, 图 14 为从图 13 中提取出的水印图像。图 15 为经 JPEG 压缩 20% 的含水印图像, 图 16 为从图 15 中提取的水印图像。图 17 为顺时针旋转 18° 并被剪切的含水印图像, 图 18 为从图 17 中提取的水印图像。

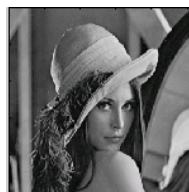


图 5 嵌入水印的 Lena 图像



图 6 置乱的水印图像



图 7 提取的置乱水印图像



图 8 提取的解密后的图像

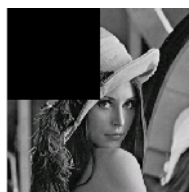


图 9 被剪切 1/4 的 Lena 图像

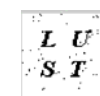


图 10 从图 9 中提取的水印图像



图 11 加高斯噪声的 Lena 图像

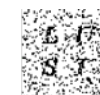


图 12 从图 11 中提取的水印图像

(下转第 147 页)