

# 抗仿射变换的扩频图像水印算法

康显桂<sup>1,2</sup>, 黄继武<sup>1</sup>, 林彦<sup>1</sup>, 杨群生<sup>1</sup>

(1. 中山大学电子与通信工程系, 广东广州 510275; 2. 模式识别国家重点实验室, 北京 100080)

**摘要:** 稳健性是数字水印算法的重要性能指标之一. 本文提出了一个抗仿射变换攻击的图像水印盲检测算法. 该算法从影响水印稳健性的因素: 嵌入策略、水印结构和水印检测的同步三个方面(特别是水印检测同步)来提高水印的稳健性. 有意义的水印经过直接序列扩频调制后与一个训练序列一起嵌入于图像 DWT 域的低频子带. 在图像 DFT 域的中频我们嵌入一个匹配模板. 检测时, 先检测匹配模板, 得到图像所受几何攻击的参数并作几何校正, 然后在 DWT 域根据训练序列作平移同步后检测水印信息. 应用所提出的算法, 我们把一个由 44 个字符构成的水印(264 bits)嵌入到一幅  $512 \times 512 \times 8$  的图像中, 实验结果表明所提出算法在隐藏数据量、对抗常规信号处理和线性几何变换的稳健性方面大大优于已报道的算法.

**关键词:** 图像水印; 稳健性; 仿射变换; 几何攻击; 模板匹配

**中图分类号:** TP391      **文献标识码:** A      **文章编号:** 0372-2112(2004)01-0008-05

## Spread-Spectrum Watermarking Resists to Affine Transformation

KANG Xiangu<sup>1,2</sup>, HUANG Jiwu<sup>1</sup>, LIN Yan<sup>1</sup>, YANG Qunsheng<sup>1</sup>

(1. Dept. of Electronic and Communication Engineering, Zhongshan University, Guangzhou, Guangdong 510275, China;

2. National Laboratory of Pattern Recognition, Beijing 100080, China)

**Abstract:** Robustness is one of the most important issues in watermarking. In this paper, a blind image watermarking algorithm robust against affine transformation is proposed. This algorithm improves the robustness in three aspects: the embedding strategy, the watermark structure and the synchronization of the watermark. In the algorithm, the spread spectrum based watermark with a training sequence are embedded in the coefficients of LL3 subband in DWT domain while a template is embedded in the middle frequency components in the DFT domain. In watermark extraction, we detect the template in the possibly corrupted watermarked image to obtain the parameters of geometric attacks and recover the image back to its original shape. Then we perform translation synchronization in the DWT domain by using the training sequence and extract the watermark. With the proposed algorithm, we hide a character string with 44 characters (264 bits) in a  $512 \times 512 \times 8$  image. Compared with other watermarking algorithms reported in the literature, the watermark thus generated is more robust, especially against geometric distortion, while having much higher bit rate.

**Key words:** image watermarking; robustness; affine transformation; geometric attacks; template matching

## 1 引言

数字水印(Digital Watermarking)技术是解决数字媒体版权保护问题的有效办法之一<sup>[1,2]</sup>. 稳健性是水印算法的关键问题之一. 现有的水印大多在经受很小的几何变形后就不能检测出来. 因而, 水印对抗几何变形的稳健性仍是件很困难的工作<sup>[3]</sup>.

目前, 水印对抗几何攻击有非盲检测<sup>[4,5]</sup>和盲检测的方法<sup>[3,6~8]</sup>. 一般来说, 盲检测水印算法的稳健性较差. 由于不需要参考图像, 它的应用范围更广, 但也更具有挑战性. 它又可分为两类: 第一类方法是水印嵌入于具有几何不变性的图像特征域, 使得几何变形不影响水印信息的提取<sup>[3,6]</sup>. 第二

类是在几何变形导致水印检测失步的情况下, 在水印检测前设法先进行几何校正以实现水印检测的重同步<sup>[7,8]</sup>. 这需要在图像中除隐藏携带用户信息的水印(信息水印)外还嵌入一个几何校正模型水印(模板水印). 到目前为止, 对抗几何攻击还存在许多问题, 包括隐藏数据量少、水印的不可见性较差、抗 JPEG 压缩和抗仿射变换能力较弱等. 另外, DFT 与 DWT (Discrete Wavelet Transform) 相比, 存在自身的弱点, 难以成为主流水印算法的基础.

由于 DWT 具有良好的空间-频率分解特性, 更符合人类视觉系统的特点, 在水印算法中得到了广泛的应用. 但由于 DWT 不具有几何不变性, 使得 DWT 域水印本身不具有抗几何攻击的能力. 解决 DWT 域水印的抗仿射变换的盲检测问题

收稿日期: 2002-07-12; 修回日期: 2003-06-20

基金项目: 国家自然科学基金(No. 60133020); 国家自然科学基金(No. 69975011, 60172067); 国家 863 计划(No. 2002AA144060); 广东省自然科学基金(No. 013164); 教育部博士点基金(No. 20020558038)

具有重要的意义。

本文提出一个对常规信号处理和仿射变换稳健的 DWT-DFT 复合域水印算法。水印由信息水印、训练序列和模板水印三部分构成。实验结果表明所提出算法在对抗常规信号处理和线性几何变换方面都具有较强的稳健性。

本文的结构如下: 第 2 节介绍所提出算法的思路, 扩频水印、训练序列及匹配模板的嵌入方法; 第 3 节介绍如何实现隐藏数据的重同步检测, 包括应用匹配模板检测几何变形、应用训练序列实现 DWT 域水印平移同步等; 第 4 节给出实验结果; 第 5 节是结论。

## 2 水印嵌入

由于 DWT 的优点, 本文选择将信息水印嵌入 DWT 域。根据文献[1, 9]的思想, 水印嵌入到 DWT 域的 LL 子带系数中, 稳健性最好<sup>[10]</sup>。在图像受到仿射变换的情况下, 由于 DWT 不具有几何不变性, 而 DFT 变换系数的幅度具有平移不变性, 为了实现信息水印检测的同步, 我们在图像的 DFT 域中频系数中嵌入一个检测图像所经历仿射变换的矩阵  $B$  的模板, 在 DWT 域的  $LL_3$  子带中再嵌入一个用于信息水印平移同步的训练序列  $T$ 。这种方法具有模板与信息水印互不干扰的优点。

$$\begin{cases}
 C'(i) = C(i) - (C(i) \bmod \alpha) + \frac{3}{4}\alpha, x_i \\
 \quad = + \&(C(i) \bmod \alpha) \geq \frac{1}{4}\alpha \\
 C'(i) = \left[ C(i) - \frac{1}{4}\alpha \right] - \left[ \left[ C(i) - \frac{1}{4}\alpha \right] \bmod \alpha \right] + \frac{3}{4}\alpha, x_i \\
 \quad = + \&(C(i) \bmod \alpha) < \frac{1}{4}\alpha \\
 C'(i) = C(i) - (C(i) \bmod \alpha) + \frac{1}{4}\alpha, x_i \\
 \quad = - \&(C(i) \bmod \alpha) \leq \frac{3}{4}\alpha \\
 C'(i) = \left[ C(i) + \frac{1}{2}\alpha \right] - \left[ \left[ C(i) + \frac{1}{2}\alpha \right] \bmod \alpha \right] + \frac{1}{4}\alpha, x_i \\
 \quad = - \&(C(i) \bmod \alpha) > \frac{3}{4}\alpha
 \end{cases}
 \quad (1)$$

水印可以看作是一个数字通信问题<sup>[11]</sup>。本文采用  $m$  序列对信息水印进行直接序列扩频 (direct sequence spread spectrum, DSSS) 编码以提高水印稳健性。为了对抗裁剪等所带来的突发错误, 引入二维交织技术 (2D interleaving)<sup>[12]</sup>。水印嵌入框图如图 1 所示。

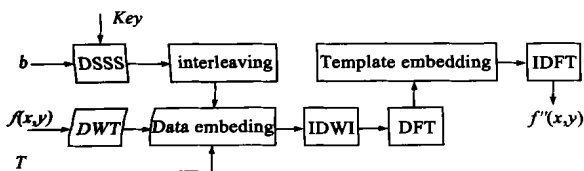


图 1 水印嵌入框图

### 2.1 水印的嵌入

DWT 域水印信息包括 127 bits 的训练序列和一个 44 个字

符 (264 bits) 构成的信息水印。应用长度为 15 的伪随机序列 (PN 码) 对信息水印  $b$  进行扩频调制。“1”调制为 PN 码 (双极性序列) 的正相序列, “0”调制为 PN 码的反相序列。15 位的 PN 码序列由一个密钥通过 PN 码序列发生器产生。这样可得到待嵌入的二进制水印数据  $W$ 。训练序列是信息水印能否实现平移同步的关键, 为尽量使其少受到图像裁剪的影响, 应将它嵌入于低频子带的中心行和中心列上。对一个  $64 \times 64$  二维矩阵的中心行和中心列位置进行二维反交织<sup>[12]</sup>, 得到的新位置上存放 127 位训练序列 (伪随机序列, 或全 1 码), 其余位置顺序存放二进制水印数据  $W$ 。对得到的二维矩阵做二维交织, 得到另一个二维矩阵, 再将它按行扫描变成一个一维数组, 记为  $X$ 。原始图像  $f(x, y)$  进行三级 DWT 分解, 把低频子带  $LL_3$  系数按行扫描变成一维数组, 记为  $C$ 。按公式 (1), 我们把二进制数据  $X$  加到低频系数  $C$  上 (data embedding, 图 1), 得到新的低频系数  $C'$ , 其中  $0 \leq i < 4096$ ,  $C(i)$ 、 $C'(i)$ 、 $x_i$  分别为  $C$ 、 $C'$ 、 $X$  的第  $i$  个元素。  $\alpha$  表示嵌入强度, 在满足不可见性的前提下, 尽可能选择最大的整数值。本文中对 Lena 和 Baboon 图像,  $\alpha$  分别取 40 和 56。mod 为模运算。值得一提的是, 这是一种改变图像质量最小而水印检测时判决范围最大的嵌入方式。因为  $C'(i)$  与  $C(i)$  的最大差值的绝对值为  $0.5\alpha$ , 而无论  $x_i$  是 +1 还是 -1, 其判决范围都达到  $0.5\alpha$ 。对嵌入数据后的小波系数进行逆离散小波变换 (IDWT), 就得到了隐藏信息水印的图像  $f'(x, y)$ 。

### 2.2 模板的嵌入

模板的嵌入 (template embedding) 分如下四个步骤:

(1) 将在 DWT 域隐藏了信息水印和训练序列的水印图像  $f'(x, y)$  ( $512 \times 512$ ) 用均值填充四周扩展至  $1024 \times 1024$ 。

(2) 作 DFT 变换, 取傅立叶系数幅度分量。在中频区域 (归一化频率为 0.40~0.45) 嵌入 28 个模板点, 均匀到分布在 DFT 域倾角为  $\theta_1$  和  $\theta_2$  的两条直线, 每条线上 14 个点, 图 2 是嵌入模板的示意图, 图中只画出上半平面 14 个模板点的情况, 下半平面关于原点对称。直线的倾角和模板点的极径由一个密钥伪随机产生。

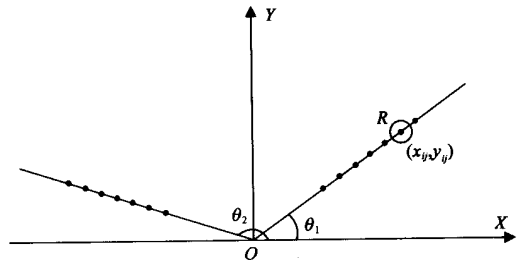


图 2 模板嵌入示意图

(3) 增大模板点处傅立叶系数的模值, 使之成为局部区域 (本文实验采用半径为  $R$  的圆形窗口, 如图 2 所示) 的极大值。改变量以不可见为标准, 一般取极大值为局部平均值加上 2~3 倍的方差。

(4) 计算傅立叶反变换 (IDFT) 得到最终的水印图像  $f''(x, y)$  (图 1)。

图3是以标准图像 Lena 和 Baboon 为例嵌入信息水印和模板的结果。



图3 DWT-DFT 域水印图像 (a) Lena; (b) Baboon

### 3 水印的检测

#### 3.1 模板检测和图像恢复

图像在空间域受到的线性变换将在 DFT 域产生相应的线性变换, 所以通过模板点位置的变换关系就可以确定图像所经历的几何形变。如果一个方形图像在空间域发生了以下的线性变换:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \rightarrow B \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \quad (2)$$

那么相当于在 DFT 域做了如下的线性变换<sup>[7]</sup>:

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \rightarrow (B^{-1})^T \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (3)$$

对于一条模板线上的模板点, 经历线性变换后, 它们还是同一条过原点直线上。新模板点的坐标(如极径  $r'$ )与原模板点的坐标(如极径  $r$ )存在一定的关系(如  $r' = Kr$ ,  $K$  为某一常数), 这可用于搜索过程的快速匹配判断。

模板检测的步骤如下:

(1) 同嵌入模板时一样, 将待测图像扩展至  $1024 \times 1024$ 。

(2) 作 DFT 变换, 以一个半径为  $R'$  ( $R' < R$ ,  $R$  为嵌入时的窗口半径)的圆形窗口在傅立叶系数幅度矩阵的上半平面中搜索, 提取所有局部极大值点。

(3) 把 DFT 系数幅度矩阵上半平面以原点为顶点划分为 360 个扇形区域, 每个扇形的顶角均为  $0.5^\circ$ 。再按角度将所有局部极大值点分别归入各个扇形区域。

(4) 在每个扇形区域中, 在  $K_{min} < K < K_{max}$  范围内搜索这样的  $K$  值: 它使得此扇区中至少有  $N_m$  个局部极大值点满足  $|r'_{ij} - Kr_{ij}| < threshold$ , 其中  $N_m$  为一个预先定义的数,  $r'_{ij}$  是局部极大值点的极径,  $r_{ij}$  是原模板点的极径,  $threshold > 0$  为一阈值。实验中我们取  $N_m = 5$ ,  $threshold = 0.002$ ,  $K_{min} = 0.5$  和  $K_{max} = 2.0$  (对应于空间域上的缩放参数为  $2 \sim 0.5$ )。如果找到这样的  $K$  值, 我们就把相应的局部极大值点坐标记录下来。

(5) 通过上述步骤, 得到可能的匹配线的集合, 称为“准匹配线”, 线上的局部极大值点称为“准匹配点”, 坐标记为  $(x'_{ij}, y'_{ij})$ 。图像上半平面相应的原模板点的坐标记为  $(x_{ij}, y_{ij})$ , 其中  $i \in \{1, 2\}$  表示第  $i$  条模板(匹配)线,  $j \in \{1, 2, \dots, 7\}$  表示第  $j$  个模板(匹配)点。对某个原模板点  $(x_{ij}, y_{ij})$  和它的“准匹配

点”  $((x'_{ij}, y'_{ij}))$ , 总可以找到这样的  $a, b, c, d$ , 使得:  $\begin{bmatrix} x_{ij} \\ y_{ij} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x'_{ij} \\ y'_{ij} \end{bmatrix}$ 。理想情况下, 模板线和匹配线上的点完全匹配, 则上式可写为(假设每条匹配线有  $l$  个匹配点):

$$\begin{bmatrix} x'_{11} & y'_{11} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x'_{1l} & y'_{1l} & 0 & 0 \\ x'_{21} & y'_{21} & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x'_{2l} & y'_{2l} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & x'_{11} & y'_{11} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & x'_{1l} & y'_{1l} \\ 0 & 0 & x'_{21} & y'_{21} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & x'_{2l} & y'_{2l} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_{11} \\ \vdots \\ x_{1l} \\ x'_{21} \\ \vdots \\ x_{2l} \\ y_{11} \\ \vdots \\ y_{1l} \\ y_{21} \\ \vdots \\ y_{2l} \end{bmatrix} \quad (4)$$

式(4)可简写为:

$$MA = N \text{ 或 } \begin{bmatrix} M_1 & 0 \\ 0 & M_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 \\ A_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} N_1 \\ N_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

我们对每条“准匹配线”各求一个  $A$ , 使得  $\|E\|^2 = \|N - MA\|^2$  取得最小值, 其中运算符  $\|\dots\|^2$  表示矩阵各元素的平方之和。则式(5)中的  $A_1, A_2$  在满足  $\|E\|^2$  最小时可由下式解得<sup>[13]</sup>:

$$M_1^T M_1 A_1 = M_1^T N_1, M_2^T M_2 A_2 = M_2^T N_2 \quad (6)$$

对每对分别对应于 2 条模板线的“准匹配线”求解, 得到一个相应的  $2 \times 2$  矩阵  $A$ , 再按式(7) 计算它们的均方误差 MSE (Mean Square Error):

$$MSE = \frac{1}{nummatches} \left\| A \begin{bmatrix} x'_{11} & y'_{11} \\ \vdots & \vdots \\ x'_{1l} & y'_{1l} \\ x'_{21} & y'_{21} \\ \vdots & \vdots \\ x'_{2l} & y'_{2l} \end{bmatrix}^T - \begin{bmatrix} x_{11} & y_{11} \\ \vdots & \vdots \\ x_{1l} & y_{1l} \\ x_{21} & y_{21} \\ \vdots & \vdots \\ x_{2l} & y_{2l} \end{bmatrix}^T \right\|^2 \quad (7)$$

其中  $nummatches$  是匹配点个数, 运算符  $\|\dots\|^2$  中是一个 2 行的误差矩阵。

(f) 将对应于模板线 1 的准匹配点加上  $180^\circ$ , 重复(e), 由最小的 MSE 值确定频域变换矩阵  $A$ 。由式(2)和(3)可得空域变换矩阵  $B = A^T$ 。

#### 3.2 DWT 域水印检测

获得空域变换矩阵  $B$  并进行图像逆变换恢复后, 可以检测信息序列和训练序列。首先进行 DWT 域的平移同步, 即确定恢复图像在原图像中的位置。根据 DWT 的二进性质, 图像平移  $8 \times n$  行(或列,  $n$  为整数), 相当于三级 DWT 分解后的  $LL_3$  子带平移  $n$  行(或列)。根据这个性质, 将逆变换后的恢复图像, 先粘贴在  $512 \times 512$  全 0 矩阵的左上角, 再做平移, 平移范围是  $8 \times 8$  的方块, 即最多做 64 次平移, 每平移一次做

DWT 分解. 按公式(8)抽取  $LL_3$  子带的二进制数据形成一个  $64 \times 64$  矩阵. 然后与原始的训练序列相关得到该次平移中具有最大相关值的  $64 \times 64$  矩阵中的行和列. 根据 64 次平移中具有最大相关值的行和列与嵌入原始训练序列时的中心行与中心列之间的偏移量, 以及恢复图像在上述  $8 \times 8$  的方块中的平移量, 即可得出恢复图像的平移参数. 这样最多只需要做 64 次 DWT 分解, 即可确定图像平移的参数, 从而实现 DWT 域信息水印的平移同步.

把 DWT 分解后的低频子带  $LL_3$  系数按行扫描变成一维数组, 记为  $C^*$ . 抽取出来的二进制数据记为  $X^*$ , 抽取公式如下:

$$x_i^* = +1, (C^*(i) \bmod \alpha) \geq \frac{\alpha}{2}; -1, \text{ otherwise} \quad (8)$$

其中  $0 \leq i < 4096$ ,  $\alpha$  为嵌入强度. 将抽取的二进制数据  $X^*$  进行二维反交织(二维交织的逆过程)恢复嵌入的二进制数据序列  $W^*$ . 然后  $W^*$  按 15 位比特进行分段, 每段与 15 bits 的 PN 码进行相关, 若相关值大于 0, 则判决嵌入信息比特为“1”, 否则判决嵌入信息比特为“0”. 解扩之后就得到信息水印内容.

## 4 实验结果

我们在 Lena 和 Baboon(均为  $512 \times 512 \times 8 \text{ bits}$ ) 的图像上分别嵌入一个包含 44 个字符的信息水印、匹配模板和训练序列, PSNR 值分别为 42.71dB 和 39.56dB, 两者都高于文献[7]的 DFT 域水印图像的 38 dB. 本文水印嵌入算法在 1.4G 的 P4 计算机(windows 平台, VC++ 语言)上需小于 5 秒时间, 而检测算法需 20 秒左右. 可以看出, 计算量并不大.

我们以  $i$  在 DFT 域  $0 \sim \pi$  的扇形区间至少有  $N_m = 5$  个匹配点; ii 检测到的两条模板线的夹角的变化值小于  $\theta_{\text{diff}} = 25^\circ$ ; iii 正确的匹配模板与原始模板的均方误差(MSE)不超过  $\text{threshold}_{\text{MSE}} = 1 \times 10^{-6}$ , 三个条件作为模板水印是否存在标准, 则模板水印出现虚警的概率是非常非常低的. 表 1 是信息水印抵抗 StirMark3.1 攻击的情况. 其中 BER(Bit Error Rate)是指误比特率. 水印对缩放(scaling)、裁剪(cropping)、旋转+裁剪(rotation+cropping)、旋转+裁剪+缩放(rotation+cropping+scaling)、一般线性变换(general linear transformation)、剪切(shearing)、jitter(combination of row and column removal)、JPEG 压缩、高斯滤波、改变长宽比(aspect ratio)、锐化等攻击具有非常好的稳健性. Baboon 水印图像在受到 StirMark3.1 的旋转+剪切+缩放的组合攻击(表 1)及如图 4 所示的旋转+剪切+缩放+平移, 都能实现无差错检测. 水印算法对剪切(小于 5%)和一般线性变换都能保持零或者接近零的检测错误概率. Lena 图像在低于 JPEG-25, Baboon 图像在低于 JPEG-20, 信息水印提取无差错. 对 Gaussian 滤波, 随机去行去列, 改变长宽比攻击, 或当图像受到裁剪(在 cropping\_20 以下)水印字符串也可无差错提取出来.

我们将本文算法与文献[7]中 DFT 域的抗几何变换水印算法一个比较(表 2). 文献[7]在相同大小的图像中嵌入 72 比特, 若错误小于 5 比特(BER 为 0.069), 则认为可进一步用 BCH 编码完全恢复 60 bits 有意义信息. 因此, 我们以 BER 小

于 0.069 为相同比较条件, 以 Lena 图像作为比较图像. 攻击测试采用 StirMark3.1. 表中的“全部”是指信息水印对 StirMark3.1 中该类的全部攻击稳健(检测出的 BER < 0.069). 从表 2 中可以看出本文算法产生的水印图像的 PSNR 比对比算法产生的水印图像高 4dB 多, 隐藏信息量是对比算法的近 4 倍. 对抗剪切的情况大大改善, 对比算法只对 0.1% 的剪切稳健, 而本文算法为 5%. 同时对抗 JPEG 压缩和一般几何变换方面的性能等方面都有较大的提高. 表明本文算法性能较之文[7]的算法有较大程度的改善.

表 1 用 StirMark 3.1 测试的结果(BER)

test functions	Lena	Baboon
jitter	0	0
aspect ratio	0	0
scale	0	0
cropping_20	0	0
cropping_25	0.02	0.01
FMLR	0.21	0.01
3x3_median_filter	0.12	0.88
shapening	0.06	0.02
Gaussian filtering	0	0
JPEG_25_90	0	0
linear_1_007_0_010_0_010_1_012	0.01	0
linear_1_013_0_008_0_011_1_008	0	0
linear_1_010_0_013_0_009_1_011	0	0
shearing_x_0(5)_y_5(0)	0	0
shearing_x_1_0_y_1_0	0.03	0.05
shearing_x_5_0_y_5_0	0.17	0.30
rotation_15_90	0	0
rotation_scale_15	0	0
rotation(-scale)_30	0.01	0
rotation_45	0.01	0
rotation_scale_45	0.02	0
stimark_random_bend	0.53	0.55

表 2 本文算法与文献[7]算法在性能上的比较

算法	PSNR(dB)	隐藏信息	JPEG(QF)	scaling	shearing
本文	> 42.7	264bits	25~100	0.5~2.0	5%
文献[7]	> 38	72bits	75~100	0.75~2.0	0.1%

## 5 结论

本文提出了一个抗几何攻击的图像隐形水印算法, 主要研究内容和结果如下:

(1) 基于扩频通信原理, 提出了一个稳健性能强的扩频数

字水印盲检测算法,从嵌入策略和水印结构两方面保证了水印算法的稳健性。

(2) 根据小波变换时频局部性质提出了一个在 DWT 域嵌入训练序列来实现 DWT 域水印的平移同步的方法。

(3) 实现了一个 DFT 域的快速匹配模板算法,提出了根据检测到的匹配模板点计算有效的仿射变换矩阵的算法。在图像 DFT 域的中频只添加模板,有意义水印避开图像的中频而嵌入在图像 DWT 域的低频子带,这种方法使模板与有意义水印互不干扰,提高了稳健性的同时,也改善了水印图像的质量。扇形区域的夹角选为  $0.5^\circ$ ,而不是  $2^\circ$ ,进一步降低了上述 1bit 水印的虚警概率。

(4) 提出一个 DFT DWT 复合域的数字水印盲检测算法,在对抗常规信号处理方面和一般线性几何变换方面都达到了较强的稳健性。实验结果表明本文算法在隐藏信息量,水印的不可见性及对几何攻击的稳健性方面都比文献[7]的算法有较大的改善。并且模板水印作为 1bit 水印,可对抵抗 StirMark3.1 中除 Random bend 以外的所有攻击。

本算法尚有许多可改善的地方,信息水印目前对抗 StirMark 的中值滤波、FMLR 和 random bending 的性能较差。通过应用自适应嵌入<sup>[14]</sup>或减少数据量以提高水印强度,可提高水印抗中值滤波、FMLR 的稳健性。

#### 参考文献:

- [ 1 ] I J Cox, J Killian, F T Leighton, T Shamoon. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [ J ]. IEEE Trans. on Image Processing, 1997, 6( 12 ): 1673- 1687.
- [ 2 ] 黄继武, 谭铁牛. 图像隐形水印综述 [ J ]. 自动化学报, 2000, 26( 5 ): 645- 655.
- [ 3 ] C-Y Lin, M Wu, J A Bloom, I J Cox, M L Miller, Y-M Lui. Rotation, scale, and translation resilient watermarking for images [ J ]. IEEE Trans. on Image Processing, 2001, 10( 5 ): 767- 782.
- [ 4 ] 刘瑞祯, 谭铁牛. 基于奇异值分解的数字图像水印方法 [ J ]. 电子学报, 2001, 29( 2 ): 168- 170.
- [ 5 ] 康显桂, 黄继武. Watermarking algorithm robust to geometric distortion [ J ]. 自动化学报, 2003, 29( 4 ): 709- 715.
- [ 6 ] J J K. ó Ruanaidh, T Pun. Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking [ J ]. Signal Processing, 1998, 66( 3 ): 303- 317.
- [ 7 ] S Pereira, T Pun. Robust template matching for affine resistant image

watermarks [ J ]. IEEE Trans. on Image Processing, June 2000, 9( 6 ): 1123- 1129.

- [ 8 ] M Kutter. Watermarking resistance to translation, rotation, and scaling [ A ]. Proc. SPIE Multimedia Systems Applications [ C ]. Published by SPIE the International Society for Optical Engineering, 1998, 3528: 423 - 431.
- [ 9 ] Jiwu HUANG, Yun Q SHI, Yi SHI. Embedding image watermarks in DC components [ J ]. IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10( 6 ): 974- 979.
- [ 10 ] 黄达人, 刘九芬, 黄继武. DWT 域图像水印嵌入对策和算法 [ J ]. 软件学报, 2002, 13( 7 ): 1290- 1297.
- [ 11 ] Ji wu HUANG, Yun Q SHI. Reliable information hiding [ J ]. IEEE Trans on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12( 10 ): 916- 920.
- [ 12 ] G F Elmasty, Yun Q SHI. 2-D interleaving for enhance the robustness of watermark signals embedded in still image [ A ]. Proc. of IEEE Int. Conf [ C ]. On Multimedia and Expo, 2000.
- [ 13 ] G W Stewart. Introduction to Matrix Computations [ M ]. Academic Press, New York, 1973.
- [ 14 ] Jiwu HUANG, Yun Q SHI. An adaptive image watermarking scheme based on visual masking [ J ]. IEE Electronics letters, 1998, 34( 8 ): 748 - 750.

#### 作者简介:



康显桂 男, 1969 年生于江西遂州, 1990 年获北京大学学士学位, 1993 年获南京大学硕士学位, 现为中山大学电子与通信工程系副教授及在职博士生, 主要研究方向为图像处理, 数据隐藏, 数字水印的研究。



黄继武 男, 1962 年生于广东揭阳, 博士, 中山大学电子与通信工程系教授、博士生导师、IEEE 高级会员、中国图像图形学报和模式识别与人工智能编委、广东省图像图形学会常务理事, 发表论文近 50 篇。主要研究方向为图像处理、图像压缩编码、数字水印技术。