

抵抗仿射变换攻击的多比特图像水印^{*}

杨文学 赵耀

(北京交通大学信息科学研究所, 北京 100044)

摘要: 目前, 大多数鲁棒图像水印所面临的最大问题就是几何攻击, 而几何攻击又以仿射变换为主, 攻击者只需对目标图像做轻微的几何形变就可以使嵌入其中的水印信息失效。本文在 Ping Dong 等人提出的基于图像归一化方法的抵抗任意仿射变换攻击的鲁棒数字水印的基础上^[1], 改进了原有的归一化方法, 去掉了归一化过程中的约束条件, 简化了归一化的过程。并且在此基础上提出一种新的水印嵌入方案, 克服了文献[1]中水印方案水印不可见性较差的问题。实验证明, 本文提出的方案对仿射变换攻击具有很好的鲁棒性, 嵌入的水印容量较大且水印图像的质量较高。

关键词: 图像归一化; 仿射变换; 数字水印; 离散傅立叶变换

Multi-bits image watermarking resistant to affine transformations based on normalization

Yang Wenxue Zhao Yao

(Institute of Information Science, Beijing Jiaotong University, Beijing, 100044, China)

Abstract: Geometric attacks are the challenging problems that most robust image watermarking systems face today. Most Geometric attacks are affine transformations, and even imperceptible geometric transformation can defeat the detection process although the watermarking information still exists in the image. A modified image normalization method and a new multi-bits watermarking imbedding algorithm are proposed in this paper based on the scheme resistant to affine transformation attacks proposed by Ping Dong^[1]. Image normalization process is simplified and a new multi-bit watermarking embedding scheme is proposed to overcome the disadvantage of low imperceptibility. Experiments indicate that the scheme proposed in this paper is very robust to affine transformation, and has large capacity and good image quality.

Key words: image normalization; affine transformation; digital watermark; discrete fourier transformation (DFT)

1 引言

近年来鲁棒图像水印技术的研究与应用取得了很大进展, 但在抵抗几何攻击方面仍然是这个领域所面临的最大困难, 也是研究的热点之一。攻击者即使只对目标图像做轻微的几乎不可察觉的几何攻击如旋转、缩放、变换等, 虽然水印信号还留存在水印图像里, 但版权所有者却不能从水印图像中正确提取水印信息^[2]。几何攻击破坏了待检测水印图像与嵌入水印图像之间的同步关系, 从而使水印信息不能被正确提取。如果需要在图像中嵌入多比特水印信息, 这个问题

显得更为突出。

基于矩的图像归一化技术是计算机视觉与模式识别领域常用的方法^[3]。图像归一化技术的主要思想就是利用图像的不变矩寻找一组参数使其能够消除其他变换函数对图像变换的影响。也就是说图像归一化过程是根据图像的矩来寻找一些合适的变换参数, 将原始图像变换到其唯一的标准形式, 而且即使原始图像经过某种不可预测的几何仿射变换, 仍然能够利用这些矩来确定变换参数把经过仿射变换的图像归一化到原始图像的标准归一化图像。这样, 如果在这个标准归一化图像中嵌入水印信号, 那么从理论上来说这种水

收稿日期: 2004年1月5日; 修回日期: 2004年3月11日

^{*}本文得到了国家自然科学基金项目(No.60172062, No.60373028), 霍英东青年教师基金项目(No.81053)和留学归国人员科研启动基金的资助

印嵌入方式应该能抵抗一般几何仿射变换的攻击。

Ping Dong 等人利用文献[3]提出的归一化技术对几何仿射变换具有不变性的特点,提出了一种基于归一化的图像水印算法,先把原始图像进行归一化处理得到其标准归一化图像,然后在标准归一化图像 DCT 的中频域嵌入 CDMA 水印信号。这种算法不足之处在于:在图像的归一化过程中,需要附加约束条件来唯一确定归一化图像的位置。约束条件一般通过计算图像的高阶矩来满足,这不仅增加了计算的开销,而且这种强加的约束条件是根据经验得到的,缺乏足够的理论支持;原始水印通过 CDMA 扩谱之后才嵌入到归一化的图像中,嵌入容量较低,且水印的不可见性较差;而且,对某些仿射变换攻击不够鲁棒。

本文针对这些不足之处,提出了一种改进的归一化方法,避免了约束条件的计算,简化了图像的归一化过程。在此基础上,提出了一种新的水印嵌入方案,有效地提高了水印的嵌入容量,大大改善了水印的不可见性,简化了水印的检测过程,系统框图如图1所示。

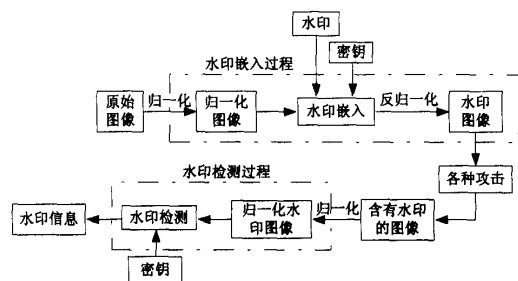


图1 水印系统框图

本文将分为六个部分作进一步的阐述:第二部分简单介绍改进前的归一化技术,第三部分从实验以及理论进行详细证明改进的归一化方法,在第四部分讲述了水印信号的嵌入算法,第五部分是水印的检测过程,第六部分是本文实验分析及其结果,在第七部分做了简要的总结。

2 改进前的归一化技术

图像归一化方法是计算机视觉和模式识别领域中常用的方法,Ping D.等人第一次把这种方法引入到数字水印方案设计中,用来抵抗任意仿射变换的攻击。但这种归一化方法有一个缺点就是在归一化过程中需要计算约束条件来唯一确定归一化图像的位置。

假设图像是定义在整数笛卡尔坐标网格上的实值函数 $f(x, y)$, 其中 $0 \leq x < N_1$, $0 \leq y < N_2$, 那么分别把图像的笛卡尔矩 m_{pq} 和中心矩 μ_{pq} 定义如下:

$$m_{pq} = \sum_{x=0}^{N_1-1} \sum_{y=0}^{N_2-1} x^p y^q f(x, y) \quad (1)$$

和

$$\mu_{pq} = \sum_{x=0}^{N_1-1} \sum_{y=0}^{N_2-1} (x - \bar{x})^p (y - \bar{y})^q f(x, y) \quad (2)$$

这里

$$\bar{x} = \frac{m_{10}}{m_{00}}, \quad \bar{y} = \frac{m_{01}}{m_{00}} \quad (3)$$

通常将图像 $f(x, y)$ 的仿射变换图像定义为 $f(x_a, y_a)$,

其中:

$$\begin{pmatrix} x_a \\ y_a \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} d_1 \\ d_2 \end{pmatrix} = A \cdot \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} + d \quad (4)$$

在文献[1]中, Ping Dong 等人把图像归一化方法分为四步:

第一步:中心化

如果把经过仿射变换的图像按照式(5)进行中心化,那么可以消除仿射变换中平移变换对归一化过程的影响,即实现了对平移变换的归一化。

$$x_c = x_a - \bar{x}_a, \quad y_c = y_a - \bar{y}_a \quad (5)$$

为了使接下来的归一化过程的计算简单化,把消除了平移影响的仿射变换矩阵分解为三个简单变换矩阵相乘的形式:

$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \phi & \sin \phi & 0 & 0 \\ -\sin \phi & \cos \phi & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & \beta \\ 0 & \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} \quad (6)$$

这里 $\alpha, \beta, \delta \in \mathbb{R}$, $\phi \in (0, 2\pi]$, 为了保证分离的唯一性,必须满足 $a_{11}^2 + a_{21}^2 \neq 0$ 。从右到左,分别把三个变换矩阵称之为图像的 x -shearing 变换, 缩放变换, 旋转变换, 对这三个变换的归一化前后相互关联, 故顺序不可改变。

第二步: x -shearing 归一化

x -shearing 的归一化参数 β 可以通过令 $\mu_{11}^{sh} = 0$ 解出变换参数 β :

$$\mu_{11}^{sh} = \mu_{11}^c + \beta \mu_{02}^c = 0 \Rightarrow \beta = -\frac{\mu_{11}^c}{\mu_{02}^c} \quad (7)$$

那么经过 x -shearing 归一化的图像的坐标支撑集为:

$$\begin{pmatrix} x_{sh} \\ y_{sh} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & \beta \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c \\ y_c \end{pmatrix} \quad (8)$$

第三步: 缩放归一化

缩放归一化的参数 α 和 δ 可以通过令方程组(9)式成立求得。

$$\begin{cases} \mu_{20}^{sc} = \alpha^2 \mu_{20}^{sh} = 1 \\ \mu_{02}^{sc} = \delta^2 \mu_{02}^{sh} = 1 \end{cases} \quad (9)$$

解得

$$\alpha = \pm \sqrt{\frac{1}{\mu_{20}^{sh}}}, \quad \delta = \pm \sqrt{\frac{1}{\mu_{02}^{sh}}} \quad (10)$$

通过式(9)求得的缩放归一化参数有多个解, 不同解之间直接对应着不同的归一化图像, 这样, 会导致归一化图

像位置的不确定而使水印方案失效。这时, 需要采用约束限制条件来选择合适的解作为归一化参数。在文[1]中, 通过计算 $\mu_{50}^{sc} > 0$ 和 $\mu_{05}^{sc} > 0$ 来选择缩放归一化参数的解。这样, 缩放归一化后的图像的坐标支撑集为:

$$\begin{pmatrix} x_{sc} \\ y_{sc} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \delta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{sh} \\ y_{sh} \end{pmatrix} \quad (11)$$

第四步: 旋转归一化

旋转归一化参数可以通过使下面方程式等于 0 解出:

$$\mu_{30}^r + \mu_{12}^r = 2(\mu_{30}^{sc} + \mu_{12}^{sc})\cos\phi + 2(\mu_{03}^{sc} + \mu_{21}^{sc})\sin\phi = 0 \quad (12)$$

解得

$$\phi_1 = \arctan\left(-\frac{\mu_{30}^{sc} + \mu_{12}^{sc}}{\mu_{03}^{sc} + \mu_{21}^{sc}}\right) \quad \text{和} \quad \phi_2 = \phi_1 + \pi \quad (13)$$

这样得到的参数解并不唯一, 两个解中的任何一个都可以作为归一化参数中的解, 这会对应着两个不同的标准的归一化图像。在文[1]中, 采用下面的约束条件来选择其中的一个作为归一化参数的解。

$$\mu_{03}^r + \mu_{21}^r > 0 \quad (14)$$

最后, 得到的归一化图像的坐标支撑集为:

$$\begin{pmatrix} x_n \\ y_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\phi & \sin\phi \\ -\sin\phi & \cos\phi \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{sc} \\ y_{sc} \end{pmatrix} \quad (15)$$

3 改进后的归一化方案

上述归一化方法需要两个约束条件来唯一确定归一化图像的标准位置, 这种约束条件一般通过计算图像的高阶矩来获取, 而图像的高阶矩的计算非常耗时。在本文改进的归一化方法中成功地避免了这种约束条件的计算。

改进后的归一化方法在前两步与改进前的方法一样, 在第三步, 我们仅仅认为 (16) 是缩放归一化参数的唯一解。

$$\alpha = \frac{1}{\sqrt{\mu_{20}^{sh}}}, \quad \delta = \frac{1}{\sqrt{\mu_{02}^{sh}}} \quad (16)$$

式 (10) 中的其它解可以用下式来表达:

$$\begin{pmatrix} \alpha & 0 \\ 0 & \delta \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} |\alpha| & 0 \\ 0 & |\delta| \end{pmatrix} \begin{pmatrix} (-1)^l & 0 \\ 0 & (-1)^m \end{pmatrix} \quad (17)$$

其中, $\alpha \cdot \delta \neq 0$, $l, m \in \{0, 1\}$, $l \cdot m \neq 0$ 。

第四步, 与第三步类似, 我们仅仅认为式 (18) 是旋转归一化参数的唯一解, 那么另一个解与 (18) 的关系可以用式 (19) 来表示:

$$\phi = \arctan\left(-\frac{\mu_{30}^{sc} + \mu_{12}^{sc}}{\mu_{03}^{sc} + \mu_{21}^{sc}}\right) \quad (18)$$

$$\begin{pmatrix} \cos\phi_2 & \sin\phi_2 \\ -\sin\phi_2 & \cos\phi_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \cos\phi & \sin\phi \\ -\sin\phi & \cos\phi \end{pmatrix} \quad (19)$$

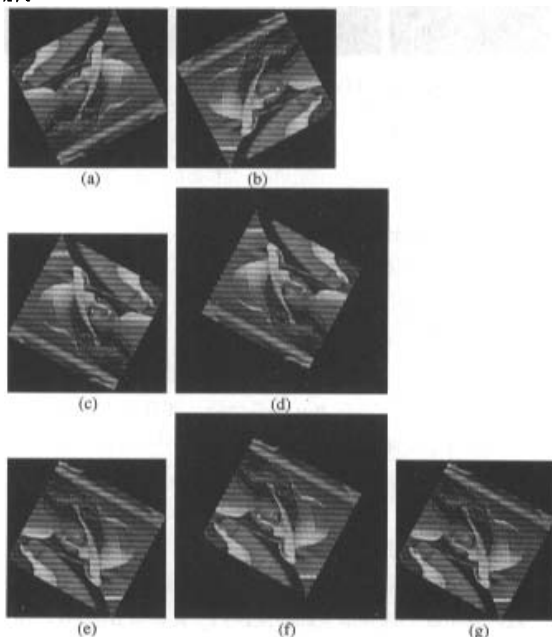
而出现在水平方向的翻转变换可以表示为:

$$\begin{pmatrix} x_f \\ y_f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{org} \\ y_{org} \end{pmatrix} \quad (20)$$

类似的, 发生在垂直方向的翻转变换可以表达为:

$$\begin{pmatrix} x_f \\ y_f \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_{org} \\ y_{org} \end{pmatrix} \quad (21)$$

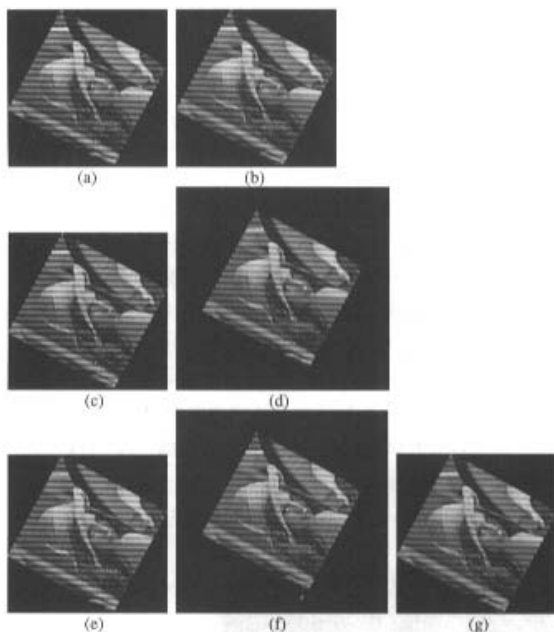
这样, 从式 (16) 到 (21) 我们能得出这样的结论: 把式 (16) 与 (18) 分别选定为缩放归一化参数和旋转归一化参数的唯一解会引入一个问题: 有一些经过仿射变换的图像在经过归一化处理后, 是原始图像的归一化图像经过水平翻转变换、垂直翻转变换或者水平翻转变换加上一个垂直翻转变换后的图像。这种情况如图 2 所示。值得注意的是: 图 2 中得到的结果是改进方案在第三步与第四步同时引入的误差的结果。因为在第五步增加了一个翻转归一化的过程, 可以纠正第三步和第四步人为引入的误差。因此, 可以把式 (16) 和 (18) 分别定位缩放归一化参数和旋转归一化参数的唯一解。



(a) 水平方向翻转变换 (b) 垂直方向翻转变换 (c) 90 度旋转变换 (d) 135 度旋转变换 (e) 180 度旋转变换 (f) 225 度旋转变换 (g) 270 度旋转变换

图 2 翻转归一化前的归一化图像

图 2 表明: 实验结果符合之前的理论分析, 在人为规定归一化参数的取值范围之后, 仿射变换图像的归一化位置可能会发生一些变化, 但这种变化仅仅是一个水平翻转变换、垂直翻转变换或者水平翻转变换加上一个垂直翻转变换。这样, 我们只需增加第五步所述的翻转攻击归一化的过程就可解决这个问题。



(a)水平方向翻转攻击 512×512 (b)垂直方向翻转攻击 512×512 (c)旋转 90 度攻击 512×512 (d)旋转 135 度攻击 676×654 (e)旋转 180 度攻击 512×512 (f)旋转 225 度攻击 676×654 (g)旋转 270 度攻击 512×512

图 3 经过翻转变换归一化后的归一化图像 $\bar{\mu}_{10} > 0$, $\bar{\mu}_{01} < 0$

第五步: 翻转归一化

首先定义图像的几何中心矩如下:

$$\bar{\mu}_{pq} = \sum_{x=0}^{N_1-1} \sum_{y=0}^{N_2-1} (x-x_0)^p (y-y_0)^q f(x,y) \quad (22)$$

其中, $p, q = 0, 1, \dots, \infty$, (x_0, y_0) 是图像的几何中心。这里值得注意的是: 矩 $\bar{\mu}_{10}$ ($\bar{\mu}_{01}$) 总会随着图像水平 (垂直) 方向的翻转变换而改变其符号, 这样, 水平 (垂直) 翻转变换的归一化就可以通过使 $\bar{\mu}_{10}$ ($\bar{\mu}_{01}$) 大于 0 或者小于 0 来实现。如果通过式 (22) 求得的 $\bar{\mu}_{10}$ ($\bar{\mu}_{01}$) 小于 0 或者大于 0, 只需在水平 (垂直) 方向做一次翻转变换就实现了翻转归一化的过程。在我们的实验中, 为了保持与原文献的实验结果一致, 这里我们选择水平翻转变换归一化参数 $\bar{\mu}_{10} > 0$, 而垂直翻转变换归一化参数 $\bar{\mu}_{01} < 0$ 。

经过翻转归一化之后, 去除了图 2 所示的人为引入的误差, 如图 3 所示。本文通过引入一个简单的翻转归一化过程, 成功地去除了原有方案中所需要的约束条件, 同时保证图像经过任何的仿射变换之后, 变换后的图像的归一化位置与原始图像的归一化位置完全一样。

4 水印嵌入

水印嵌入过程如图 1 所示。先把原始图像经过归一化处理得到归一化图像, 如果把水印信号直接嵌入到整个归一化

图像中, 那么在反归一化的时候就会有一部分水印信息的丢失, 而且, 不同仿射变换攻击后的图像的归一化图像大小也不一样, 但有图像内容的部分是一样的, 因此, 水印信号的嵌入区域只能在归一化图像中有内容的部分选取。嵌入区域的选取方式有很多种, 本文考虑了水印检测时的鲁棒性与简洁性, 以归一化图像的重心为参考点选取一个固定大小的方形区域作为水印信号的嵌入区。

在图像 DFT 域的低频系数上嵌入水印信号, 会降低水印图像的质量, 而在高频分量上嵌入的水印信号又很容易被 JPEG 压缩、低通滤波等常用图像处理操作所破坏。因此, 本文选择在图像 DFT 域的中频系数上嵌入水印信号。在图像的 DFT 域中, 可以把与变换中心距离为 $dis \in (f_{w1}, f_{w2})$ 的点所属的区域看成是图像的中频区, 其中 $dis = \sqrt{u^2 + v^2}$, u 和 v 为整数, $f_{w1} < f_{w2}$, 这里把 f_{w1} 、 f_{w2} 分别称之为内环半径和外环半径, 如图 4 所示。

假设原始水印信息为二进制序列 $m = (m_1, m_2, \dots, m_M)$, 其中 $m_i \in \{0, 1\}$ 。嵌入水印信息时, 首先在密钥的控制下从图 4 所示坐标轴的第一象限内随机选择一组坐标点 $(u_1, v_1), (u_2, v_2), \dots, (u_{M_c}, v_{M_c})$, 这里 u_i, v_i 必须满足 $f_{w1} < \sqrt{u_i^2 + v_i^2} < f_{w2}$ 。对于水印序列中的每一比特信息 $m_i \in \{0, 1\}$, 采用文献[4]的方案, 同时修改坐标点 (u_i, v_i) 以及坐标点 $(-v_i, u_i)$ 的 DFT 系数的幅度值, 即修改两个成 90° 角的系数的幅度值:

$$\begin{aligned} |F'(u_i, v_i)| - |F'(-v_i, u_i)| &\geq \alpha & \text{如果 } m_i = 1 \\ |F'(u_i, v_i)| - |F'(-v_i, u_i)| &\leq -\alpha & \text{如果 } m_i = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

这里 α 为域值门限, 一般根据经验得出。域值门限越高, 则嵌入的水印信号越鲁棒但水印的不可见性越差, 反之亦然。因此在选择域值门限 α 时, 必须在水印的鲁棒性和不可见性之间进行折中。本文根据每一比特水印信息 m_i 对坐标点 (u_i, v_i) 和 $(-v_i, u_i)$ 上的系数的幅度值做如下处理:

第一步: 求出两坐标点 (u_i, v_i) 和 $(-v_i, u_i)$ 的系数幅度值之差 Δ

$$\Delta = |F(u_i, v_i)| - |F(-v_i, u_i)| \quad (24)$$

第二步: 如果 m_i 等于 1, 判断 Δ 是否大于 α , 如果是, 不需修改两点系数幅度值, 进行第六步处理。

第三步: 如果 m_i 等于 1 且 Δ 小于 α , 按照式 (25) 修改两点的幅度值, 然后进行第六步处理。

$$\begin{aligned} |F'(u_i, v_i)| &= |F(u_i, v_i)| + \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\Delta}{2}\right) \\ |F'(-v_i, u_i)| &= |F(-v_i, u_i)| - \left(\frac{\alpha}{2} - \frac{\Delta}{2}\right) \end{aligned} \quad (25)$$

第四步: 如果 m_i 等于 0, 判断 Δ 是否小于 $-\alpha$, 如果是, 不需修改两点系数幅度值, 进行第六步处理。

第五步：如果 m_i 等于 0 且 Δ 大于 $-\alpha$ ，按照式 (26) 修改两点的幅度值，然后进行第六步处理。

$$\begin{aligned} |F'(u_i, v_i)| &= |F(u_i, v_i)| - \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\Delta}{2}\right) \\ |F'(-v_i, u_i)| &= |F(-v_i, u_i)| + \left(\frac{\alpha}{2} + \frac{\Delta}{2}\right) \end{aligned} \quad (26)$$

第六步：读入下一比特水印信息 m_{i+1} ，重复上述过程，直到所有水印序列全部嵌入在归一化图像的中频系数上。

需要说明的是图像的 DFT 系数的幅度值是关于原点对称的，为了使经过 DFT 反变换得到的是实数矩阵，必须对另一个半平面的系数进行同样的修改，即修改相应系数的幅度值使之满足 (27) 式

$$\begin{aligned} |F'(-u_i, -v_i)| &= |F'(u_i, v_i)| \\ |F'(v_i, -u_i)| &= |F'(-v_i, u_i)| \end{aligned} \quad (27)$$

这样，待水印信息全部嵌入后，经过 DFT 的反变换和反归一化过程便可得到水印图像。

5 水印信号检测

本文提出的水印方案是一种盲检测的多比特水印算法，检测时不需要原始图像和原始水印，使得检测过程简洁高效。检测过程如下：

第一步：按照改进的归一化方法把水印图像变换到其标准归一化图像。值得注意的是，水印图像的归一化图像与原始图像的归一化图像大小并不一定相同，但是有图像内容的部分是一样的。

第二步：以归一化图像的重心为参考点取出含有水印的方形图像，大小与嵌入水印时的大小相同。

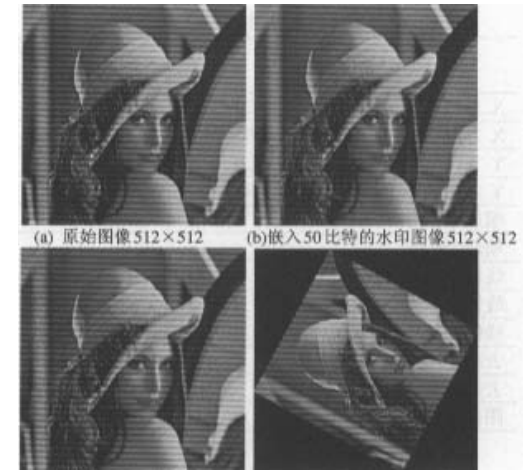
第三步：对第二步得到的图像进行二维离散傅立叶变换，在密钥控制下在嵌入水印的位置根据下式提取出水印信息。

$$|F''(u_i, v_i)| - |F''(-v_i, u_i)| \begin{cases} \geq 0 & \hat{m}_i = 1 \\ < 0 & \hat{m}_i = 0 \end{cases} \quad (28)$$

这里 $F''(u, v)$ 是水印图像的傅立叶变换系数， $\hat{m}_i$ 是嵌入在图像中水印信号的估计值。

6 实验结果

本文实验中使用的原始图像是 512×512 大小的“lena.bmp”，如图 5 (a) 所示。中频域的内环半径和外环半径分别为 $f_{w1} = 16$ 和 $f_{w2} = 96$ ，嵌入门限 $\alpha = 1.2 \times 10^4$ ，在嵌入水印信息容量为 450 比特时，水印图像峰峰信噪比 $PSNR = 35.4\text{dB}$ ，比文献[1]的水印嵌入容量提高了 8 倍。如果嵌入的水印信息大小为 50 比特时，水印图像峰峰信噪比 $PSNR = 38.4\text{dB}$ ，这比文献[1]的水印图像峰峰信噪比提高了 3.4dB。原始图像的归一化图像如图 5 (d) 所示。



(c) 嵌入 450 比特的水印图像 512×512 (d) 归一化图像 512×512
图 5

为了测试本文提出的水印方案的鲁棒性，本文对嵌入 50 比特的水印图像进行了 stirmark3.1 攻击^[5]。各种不同 JPEG 压缩因子对水印系统鲁棒性的影响见图 6，各种常见滤波对水印系统的影响如表 1 所示。从图 6 与表 1 可以看出，改进后的方案在抵抗 JPEG 压缩性能方面略胜于改进前的方案，经过 3×3 的中值滤波的检测性能不如改进前的方案，其它的滤波处理对两者的影响相当。从总体上来说，改进后的方案与改进前的方案的鲁棒性能相当。

各种仿射变换攻击的检测结果如表 2 所示，很明显，改进后的方案在抵抗仿射变换攻击的鲁棒性能更优越，尤其是线性变换攻击的鲁棒性能提高最大。也就是说，改进后的方案在抵抗仿射变换几何攻击上普遍具有更好的鲁棒性。这得益于水印嵌入区域的选取，因为水印嵌入以归一化图像的重心为参考点选择的方形区域，从理论上讲，重心并不会随着仿射变换而改变。因此，改进后的方案在抵抗仿射变换攻击方面具有更好的鲁棒性能。

表 3 中是几种联合攻击后的比较结果，表中的数据说明了两种方案对有图像内容损失的攻击都是不具有鲁棒性的。

表 4 中所列举的这几种典型的旋转攻击，目的是以此为例证明改进的归一化方法是正确的。因为这几种攻击可能会影响归一化图像位置上的变化，如图 2 所示。表 4 中的检测结果表明改进的归一化方法是正确的。

表 1 一般信号处理（无意攻击）		
攻击类型	改进前的 BER	改进后的 BER
高斯滤波 3×3	0.04	0
尖锐化 3×3	0	0
中值滤波 4×4	0.08	0.1
中值滤波 3×3	0	0.14
中值滤波 2×2	0.04	0

表 2 一般几何攻击（恶意攻击）

攻击类型	改进前的 BER	改进后的 BER
X 方向放大至原来图像的 1.20 倍	0	0
X 方向缩小至原来图像的 0.80 倍	0	0
Y 方向放大至原来图像的 1.20 倍	0	0
Y 方向缩小至原来图像的 0.80 倍	0	0
缩放 0.5 倍	0.04	0
缩放 2.0 倍	0	0
线性变换[1.013, 0.008; 0.011, 1.008]	0.1	0
线性变换[1.010, 0.013; 0.009, 1.011]	0.12	0
线性变换[1.007, 0.010; 0.010, 1.012]	0.1	0
去除 17 行 5 列	0.02	0
去除 5 行 17 列	0.02	0
图像翻转	0.04	0

表 3 几种联合攻击

攻击类型	改进前的 BER	改进后的 BER
旋转 0.25 度加剪切	0.04	0.02
旋转 0.5 度加剪切	0.1	0.38
旋转-0.5 度加剪切	0.16	0.4
旋转-0.25 度加剪切	0	0.04
shearing_x_0.00_y_1.00	0.08	0.28
shearing_x_1.00_y_0.00	0.18	0.12

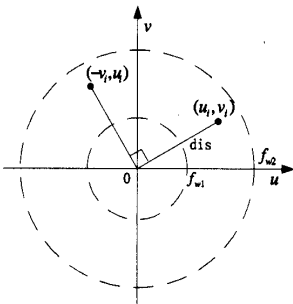


图 4 中频区示意图

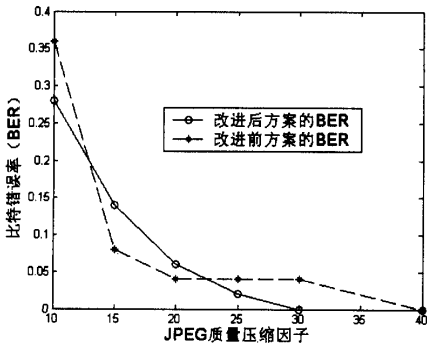


图 6 JPEG 压缩的比特错误率比较

表 4 特殊攻击检测结果

攻击类型	水平翻转	垂直翻转	旋转 90 度
改进后的 BER	0	0	0
攻击类型	旋转 135 度	旋转 180 度	
改进后的 BER	0	0	
攻击类型	旋转 225 度	旋转 270 度	
改进后的 BER	0	0	

7 总结

本文中，通过分析前人提出的基于归一化方法的抵抗仿射变换的鲁棒图像水印算法，发现了其中的不足之处：在图像的归一化过程中，需要附加强制性的约束条件才能唯一确定归一化图像的位置，而这种约束条件的计算开销较高。本着简化归一化方法的目的，通过在原有的归一化步骤后加入一个翻转归一化的过程可以去掉约束条件的限制，实现了在没有约束条件限制下的归一化位置的唯一确定性。这样，简化了图像归一化的过程。

针对前人提出 CDMA 水印嵌入算法具有水印不可见性较差的缺点，我们借用了文献[4]提出的一种水印嵌入方案，通过在归一化图像的中频域修改两个成 90° 坐标点的 DFT 系数幅度值，使其幅度值之差满足一定的关系，从而达到嵌入水印信号的目的。实验证明我们的方案在不降低改进前的方案的鲁棒性能的前提下。明显改善了水印的不可见性。

参考文献

[1] Ping Dong and Galatsanos N P. Affine transformation resistant watermarking based on image normalization [J]. Image Processing. 2002. Proceedings. 2002 International Conference on, vol. 3 pp. 24~28 June 2002.

[2] Petitcolas F A P, Anderson R J and Kuhn M G. Attacks on copyright marking systems [J]. in workshop on Information Hiding Portland, OR, 15~17 April, 1998

[3] Rothe I, Susse H, Voss K. The Method of Normalization to Determine Invariants [J]. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transaction on, Volume: 18, Issue: 4, pp. 366~376, April 1996

[4] Pereira S and Pun T. Robust template matching for affine resistant image watermarks [J]. in IEEE trans. On image processing, vol. 9, no. 6, pp. 1123~1129, June, 2000

[5] Fabien A P Petitcolas and Markus G Kuhn, <http://www.cl.cam.ac.uk/fapp2/watermarking/stirmark>.

作者简介

杨文学，北京交通大学信息所。研究方向为基于 Tmbo 码的鲁棒数字水印的研究。

作者: 杨文学, 赵耀
作者单位: 北京交通大学信息科学研究所, 北京, 100044
刊名: 信号处理 **ISTIC PKU**
英文刊名: SIGNAL PROCESSING
年, 卷(期): 2004, 20(3)
被引用次数: 11次

参考文献(5条)

- 1.Fabien A P Petitcolas and Markus G Kuhn
- 2.Pereira S;Pun T Robust template matching for aflme resistant image watermarks[外文期刊] 2000(06)
- 3.Rothe I;Susse H;Voss K The Method of Normalization to Determine Invariants[外文期刊] 1996
- 4.PETITCOLAS F A P;Anderson R J;Kulm M G Attacks on copyright marking systems 1998
- 5.Ping Dong;Galatsanos N P Affine transformation resistant watermarking based on image normalization [外文会议] 2002

本文读者也读过(10条)

1. 肖振, 冯玉田, XIAO ZHEN, FENG YUTIAN 抵抗仿射变换攻击的图像归一化方法研究[期刊论文]-微计算机信息 2007, 23(15)
2. 周时莹, 秦贵和, 赵耀, 王国强, Zhou Shiyong, Qin Guihe, Zhao Yao, Wang Guoqiang 一种基于时间分配的电压协变编码方法及应用[期刊论文]-仪器仪表学报2009, 30(6)
3. 宋琪, 罗航建, SONG Qi, LUO Hang-jian 基于归一化图像的抗仿射变换攻击的水印算法[期刊论文]-信号处理 2008, 24(3)
4. 彭欢, 蒋天发, PENG Huan, JIANG Tian-fa 基于几何不变性的图像水印[期刊论文]-信息安全2009(4)
5. 赵耀, 赵晓东, 核苷酸序列测定法定量评价病毒相对适合度[期刊论文]-重庆医科大学学报2009, 34(7)
6. 杨文学, 桑茂栋, 赵耀 软判决检测的鲁棒图像水印方案[期刊论文]-铁道学报2005, 27(1)
7. 赵耀, 王红星, 袁保宗, ZHAO Yao, WANG Hong-xing, YUAN Bao-zong 一种吸引子图像编码的快速算法[期刊论文]-铁道学报2000, 22(2)
8. 薛钢, 陆佩忠, XUE Gang, Lu Pei-zhong 抗几何攻击的双层隐秘通信体制[期刊论文]-计算机工程与科学 2005, 27(7)
9. 周立, 蒋天发, Zhou Li, Jiang Tianfa 彩色图像中基于几何不变性的数字水印[期刊论文]-武汉理工大学学报 (交通科学与工程版) 2009, 33(2)
10. 李冠华, 赵耀 基于分形图像编码的数字水印技术的研究[期刊论文]-铁道学报2001(4)

引证文献(11条)

1. 曾勇, 孙树森, 夏爱军 基于图像归一化和DCT的感知图像哈希算法[期刊论文]-浙江理工大学学报 2012(1)
2. 王鑫, 鲁志波 基于图像归一化方法的抗仿射变形盲水印框架[期刊论文]-信息工程大学学报 2009(4)
3. 王鑫, 鲁志波 基于图像归一化方法的抗仿射变形盲水印框架[期刊论文]-信息工程大学学报 2009(4)
4. 袁大洋, 肖俊, 王颖 数字图像水印算法抗几何攻击鲁棒性研究[期刊论文]-电子与信息学报 2008(5)
5. 宋琪, 罗航建 基于归一化图像的抗仿射变换攻击的水印算法[期刊论文]-信号处理 2008(3)
6. 袁大洋, 王颖 基于边信息抗仿射变换的数字图像水印算法[期刊论文]-中国科学院研究生院学报 2007(1)
7. 肖振, 冯玉田 抵抗仿射变换攻击的图像归一化方法研究[期刊论文]-微计算机信息 2007(15)

8. [侯迎坤](#), [陶常利](#), [陈涛](#) [基于小波变换抗随机弯曲攻击的图像水印算法](#)[期刊论文]-[计算机工程与应用](#) 2006(31)
9. [黄丹](#), [卢正鼎](#), [凌贺飞](#), [余艳玮](#) [一种基于不变质心的抗几何攻击的盲图像水印方案](#)[期刊论文]-[计算机研究与发展](#) 2006(z2)
10. [李晓强](#) [基于格的灰度级水印技术](#)[期刊论文]-[电子学报](#) 2006(z1)
11. [郑爱彬](#), [张明](#) [一种基于特征点的双数字水印方案](#)[期刊论文]-[南京师范大学学报（工程技术版）](#) 2005(1)

本文链接: http://d.g.wanfangdata.com.cn/Periodical_xhcl200403006.aspx