

# 一种旋转、尺度变换和平移鲁棒水印算法

俞龙江, 牛夏牧, 孙圣和

(哈尔滨工业大学信息对抗技术研究所, 黑龙江哈尔滨 150001)

**摘 要:** 几何攻击是目前困扰数字水印领域发展的问题, 现有的抗几何攻击的水印技术存在诸多缺陷和不足. 本文提出一种基于时域的抗几何攻击水印技术, 利用边框这一简单的图形通过对它检测和提取, 完成对几何失真参数的检测. 考虑到实际应用中存在噪声的影响, 用中值滤波和锐化增加了几何参数估计的鲁棒性. 利用检测获得的几何失真参数对图像进行校正, 使图像基本恢复原图从而无失真地提取水印. 同时本文探讨了诸多文献尚未提及的几何失真恢复问题, 提出一种模板匹配的方法恢复图像. 仿真实验证明, 该方法在含水印图像受到几何攻击后, 仍可无失真地提取水印.

**关键词:** 旋转; 尺度变换; 剪切; 几何校正; 数字水印

**中图分类号:** TN919 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2003) 12A-2071-03

## A Robust Image Watermarking Algorithm against Rotation, Scaling and Translation

YU Long-jiang, NIU Xia-mu, SUN Sheng-he

(Information Countermeasure Technique Institute, Harbin Institute of Technology, Harbin, Heilongjiang 150001, China)

**Abstract:** Geometric attack is an open problem to digital watermark. Current techniques could not solve it effectively, especially for block-based watermarking. In this paper, a new method is proposed to provide an easy-use and robust detection to geometric transform parameters. A rectangle frame in an image is utilized to estimate the coefficients of geometric attack and locate watermarking. Median filtering and sharpening on the rectangle frame are used to enable a more accurate estimation. Cropping attack is also detected by the method. The geometric distortion's correction based on the estimation results is performed to make watermark synchronized by the template matching. Experimental results verify that this method provides an accurate estimation and a nearly lossless restoration of watermark.

**Key words:** rotation; scaling; crop; geometric correction; digital watermarking

### 1 引言

随着计算机、多媒体及网络技术迅猛发展, 数字产品包括图像、音频、视频、文本和软件极大丰富, 并轻而易举地就可通过网络获得. 这种情况下带来的问题就是, 数字产品不受任何控制的情况下就会被轻易拷贝、操作和改动. 数字水印技术的出现, 就是在不影响产品内容的前提下嵌入不易被察觉的信息, 从而达到保护数字产品的目的<sup>[1]</sup>.

几何攻击是目前对数字水印特别是易碎水印构成致命威胁的攻击手段之一, 几乎所有水印算法经过几何攻击后都无法幸免. 已提出的解决方法包括: 相关检测<sup>[2]</sup>、模板插入<sup>[3]</sup>、不变域插入<sup>[4]</sup>以及利用原图<sup>[5]</sup>. 这些方法都存在各自的缺点和不足: 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; 在不变域插入模板或嵌入水印, 嵌入和提取变得相当复杂, 嵌入容量小并增加了误

差; 利用原图的非盲水印技术增加了开销, 降低了安全性, 基本上失去实用价值.

本文提出一种基于时域的抗几何攻击的水印技术, 该方法的创新在于: (1) 在时域进行, 利用许多图像皆有的边框, 对几何失真参数进行检测并可获得精确的几何失真参数; (2) 提出一种几乎无失真恢复图像水印信息的方法, 并具有鲁棒性, 在估计结果存在一定误差的情况下仍可恢复几何失真.

### 2 几何失真检测与恢复算法

本算法分为三个步骤: 预处理阶段、检测阶段和校正阶段.

#### 2.1 预处理阶段

**2.1.1 检测标志的添加** 目前处理的不少文档如个人简历等以及各种证件如身份证等, 都存在一个黑色的矩形框作为贴照片处, 如图 1 所示. 对没有这种标志的图像, 可以人为添加, 如图 2 所示. 本算法利用图像已有的这种矩形框, 或添加



图1 存在矩形框的媒体 图2 检测标志的添加:(a)原图;  
(b)添加边框后的图像

类似的矩形框作为几何失真的检测标志.本算法要求该边框与照片之间空出一段相对较小的距离以避免二者互相影响.

**2.1.2 边缘分割** 利用边缘分割算法获得包含边框的图像的轮廓特征,去除不需要的冗余数据,得到二值轮廓图以便检测几何失真.

边缘分割算子利用图像像素与特定模板的卷积寻找边缘.目前常用的边缘分割算子有 Roberts、Sobel、Prewitt、Gaussian-Laplacian、Canny 算子<sup>[6]</sup>.Roberts 算子在噪声图像中检测效果不佳,Gaussian-Laplacian 算子和 Canny 算子能够分离出微细的边缘,是公认最好的边缘分割算子.然而,这里待提取的边框线条较粗,不需要高质量的算子,因此选择 Sobel 算子或 Prewitt 算子即可.

Sobel 算子的模板为

-1	-2	-1
0	0	0
1	2	1

Prewitt 算子的模板为

-1	-1	-1
0	0	0
1	1	1

**2.1.3 噪声消除** 图像在传播过程中不可避免的引入噪声,对于高斯噪声等加性噪声,水印本身具有一定的抵抗能力,并易于消除.对于颗粒噪声、脉冲噪声等乘性噪声,采取按边缘进行中值滤波并对滤波结果进行锐化,可改善图像质量从而有利于几何失真的检测与校正.本算法利用 3×3 中值滤波和拉普拉斯锐化已可满足处理要求.

**2.2 检测阶段**

利用基于形态学的轮廓提取算法得到边框和图像的轮廓,利用基于形态学的轮廓跟踪算法得到边框最外层边界,再对获得的两个结果图像作差,得到的差图进行轮廓跟踪得到边框的内层边界,从而完成图像和边框的分离以及边框的检测与提取.这实质上是一种差影检测方法.通过提取的边框内外边界之间的平均距离,以及平均长度,可测算出缩放失真参数.通过边界的倾斜角度,可测算出旋转角度.通过边框所在位置及图像尺寸,以及已测算的缩放和旋转失真的参数,可检测出图像的剪切和平移失真.

几何失真参数检测原理如图 3 所示.一幅添加了边框的图像在媒体上如身份证上的位置可以通过对该边框的检测来定位,因此可解决平移失真.无论发生平移、旋转、缩放或剪切失真,由于这些都属于仿射变换,因此通过测量边框与图像间的距离可以估计缩放失真参数.将测得的边框与图像间的距离  $l$  除以原始媒体边框与图像间的距离  $l_0$ ,就可求得缩放比例.通过测量边框与媒体人为设定的坐标轴夹角  $\alpha$ ,就可求得旋转角度.利用已知的平移、缩放和旋转失真参数,计算媒体几何变换后的尺寸并与实际尺寸比较,尺寸不同则表示发生

剪切失真.

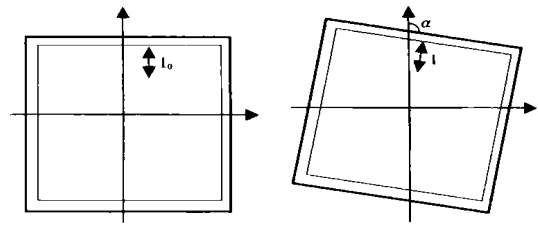


图3 几何参数检测原理

**2.3 校正阶段**

**2.3.1 参考模板的构造** 在水印提取阶段,由于几何失真的存在使得水印嵌入位置的确定变得困难,即存在同步化问题.由于缩放、旋转和剪切使图像原有的像素发生改变,并增加新的像素,因此,几何失真的校正,绝不仅仅是坐标位置的转换.

旋转是对水印威胁较大的一种几何失真,多数水印经过旋转攻击后无法幸免.图像旋转的变换矩阵为<sup>[7]</sup>

$$T_r = \begin{bmatrix} \cos & \sin & 0 \\ -\sin & \cos & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

其中,  $\alpha$  为旋转角度,逆时针为正,顺时针为负.

经坐标变换后,原整数坐标的图像变换为实数坐标,需要重新进行取整,例如(5.4,9.6)的点取整后其坐标变为(5,10).因此,利用检测阶段获得的几何失真参数,对图像坐标系进行空间变换,通过坐标转换矩阵将原图坐标系转换到旋转后的图像坐标系,从而使原图像素与旋转图像的像素一一对应,完成参考模板图像的构造.

**2.3.2 插值点搜索和非插值点搜索** 发生旋转失真的图像,势必增加原图中没有的新的像素点,需要利用周围已知像素点进行插值,这种操作和在图像放大时进行的相同.不同的是,图像放大时插值点有规律地间隔出现,只要按该放大比率的倒数缩小即可去除插值点使图像无失真恢复到原图大小;图像旋转时插值点分布是无规律的,按旋转角度往相反方向旋转并不能去除插值点,相反会出现更多插值点加剧图像失真.因此,要恢复旋转失真,必须先将插值点去除.在已知原始图像大小及测得旋转角度的前提下,根据构造的参考模板图像(不含插值点)搜索原图像素,即将坐标对应的旋转图像坐标处的像素取出,从而获得不含插值点的旋转图像,这是非插值点搜索;还可以查找参考模板图像中没有的旋转图像中的像素坐标,这是插值点搜索.理想情况下,两种搜索结果应当是相同的,然而坐标点取整的量化误差以及噪声的存在,使二者存在一定的差异,因此,综合两种搜索结果的结果再进行去噪声处理,可获得更好的校正结果.

**2.3.3 图像规整化** 由于噪声和模糊失真的存在,以及预处理和坐标变换产生的误差,无论是插值点搜索还是非插值点搜索的结果图像,都存在像素间的交错失真.利用两种搜索结果,对图像进行规整化,可得到便于水印提取的几何失真校正图像.图像规整化的思想为:按待处理图像外围边界逐行(列)进行扫描,当扫描到的像素值为背景像素值,则其坐标不予记录,将该行(列)标为待规整行(列),否则将该像素点坐标记录

下来,当一行(列)扫描完成,取坐标记录平均值作为规整坐标,通过每行(列)平移到规整坐标,待规整行(列)去除背景像素并平移完成规整化.图4是本算法总体流程图.

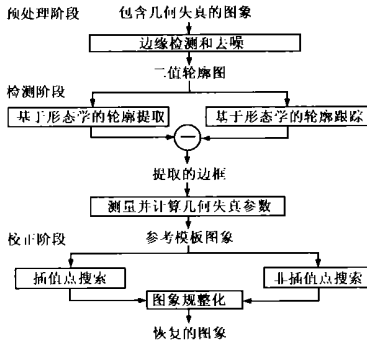


图4 几何失真检测及校正算法总体流程图

### 3 仿真实验及结果

本文水印嵌入采取基于  $8 \times 8$  分块 DCT 方法<sup>[8]</sup>,利用水印标准评价平台 Stimark<sup>[9]</sup>对  $512 \times 512$  的 lena 图像进行包括旋转、缩放、平移、剪切等一系列几何攻击,采取本文提出的几何失真检测算法可测得相当精确的结果.然而,利用精确的几何失真参数直接作几何变换的逆变换,例如获得旋转角度便对旋转失真的图像直接旋回,并不能获得满意的结果,这是因为:直接利用失真参数旋转相反角度,由于旋转时人为添加了若干插值点,造成图中出现所谓的 Artifact,影响了图像质量.在旋转相反角度时,这些插值点并未去除,相反图中插值点进一步增加,即旋转 5 度再旋转 - 5 度并不能得到原图,而得到存在众多 Artifact 的失真版本,因为旋转了两次.图 5(a) 是旋转 5 度的 lena 图,图 5(b) 是按 5 度直接旋回的 lena 图,从图中可清晰观察到失真.因此,本算法有效的分离了插值点与非插值点,无失真再现了原图的大部分像素.图 6 是利用本算法恢复图 5(a) 的结果,从图中可看出其图像质量明显好于图 5(b).



图5 旋转并直接旋回的 lena 图:(a) 旋转 5 度;(b) 按 5 度旋回

表1 旋转失真的参数估计、校正及水印提取结果

旋转角度	估计角度	PSNR(恢复图像) (dB)		NC(水印提取)	
		直接旋回	本算法	直接旋回	本算法
0.5°	0.492	35.701246	65.430225	9.76 %	100 %
1°	0.984	35.610416	64.307658	9.86 %	100 %
2°	1.966	35.631947	60.053040	9.87 %	100 %
3°	2.956	35.658474	57.568360	9.88 %	100 %
5°	4.972	35.606977	53.191461	9.78 %	100 %
10°	9.988	32.422467	48.881270	7.21 %	100 %
15°	15.011	35.657721	46.028841	9.74 %	94.19 %
30°	29.932	35.655577	42.111036	9.59 %	91.02 %

水印提取结果如表 1 所示,可以看到本算法恢复图像效果明显优于直接旋回,恢复后水印基本可实现无失真提取.



### 4 结论

通过仿真实验结果,可充分证明本文提出的方法对于解决几何攻击的有效性.实际应用表明,该方法能在 ID 证卡经过打印和扫描过程后实现水印的正确提取,具有一定的实用性.本文的工作已申请专利(专利号:03132513.0).

图6 利用本算法几何校正结果应用表明,该方法能在 ID 证卡经过打印和扫描过程后实现水印的正确提取,具有一定的实用性.本文的工作已申请专利(专利号:03132513.0).

### 参考文献:

- [1] I J Cox, M L Miller, J A Bloom. Digital Watermarking[M]. USA: Morgan Kaufman Publisher, 2002.
- [2] M Kutter. Watermarking resisting to translation, rotation and scaling [A]. Proc. SPIE [C]. USA: SPIE, 1998.
- [3] S Pereira, T Pun. Fast robust template matching for affine resistant image watermarking [A]. International Workshop on Information Hiding, Lecture Notes in Computer Science [C]. Berlin, Germany: Springer-Verlag, Sept. 1999.
- [4] C Y Lin, J A Bloom, I J Cox, M L Miller, Y M Lui. Rotation-, scale-, and translation-resilient public watermarking of images [A]. Proc. SPIE [C]. USA: SPIE, 2000.
- [5] F Davoine, P Bas, P A Hebert, J M Chassery. Watermarking et résistance aux déformations géométriques [A]. Coresa99. Sophia Antipolis, France, June 1999.
- [6] K R Castleman. Digital Image Processing [M]. USA: Prentice Hall, 1995.
- [7] J D Foley. Computer Graphics: Principles and Practice [M]. USA: Addison-Wesley, 1995.
- [8] E Köch, J Zhao. Towards Robust and Hidden Image Copyright Labeling [A]. Proc. of 1995 IEEE Workshop on Nonlinear Signal and Image Processing [C]. USA: IEEE, 1995.
- [9] F A P Petitcolas, R J Anderson, M G Kühn. Attacks on copyright marking systems [A]. Information Hiding: Second International Workshop, Lecture Notes in Computer Science [C]. Berlin, Germany: D Auerbach, Ed. Springer-Verlag, 1998.

### 作者简介:



俞龙江 男,博士研究生,1976 年 10 月 21 日出生于黑龙江省哈尔滨市,1999 年获得哈尔滨工业大学自动化测试与控制专业学士学位,2001 年获得哈尔滨工业大学测试计量技术学科硕士学位,硕士研究生工作为 VXi 总线舰空导弹自动测试模拟系统研究,2001 年 9 月至今攻读哈尔滨工业大学仪器科学与技术学科博士学位,研究领域包括数字水印、信息安全、图像处理和计算智能,目前赴德国 Fraunhofer IGD 从事数字水印对抗技术研究工作.