

包装印刷

一种新的基于标志区的抗旋转盲水印算法

陈青, 周广州, 王飞, 夏剑峰

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 提出一种新的基于标志区的抗旋转盲水印算法。**方法** 将载体图像嵌入旋转标志区和水印区域标志区, 旋转标志区用来检测图像的旋转角度, 水印区域标志区用来寻找水印嵌入的区域; 标志区的宽度大于 10, 防止旋转对空域系数的改变影响到检测标志区的位置及角度, 该算法中标志区宽度选为 12。对载体图像进行三级小波分解, 确保能量的集中, 减小因旋转对水印信息的影响。利用图像相邻像素的特征平均值, 将水印信息嵌入到三次小波分解后的低频逼近子带中。**结果** 旋转攻击从 $0^\circ \sim 45^\circ$ 或 $90^\circ \sim 135^\circ$, 随着角度的增加, NC 值减小; 在 $45^\circ \sim 90^\circ$ 或 $135^\circ \sim 180^\circ$ 时, 随着角度的增加, NC 值是增大的; 在受到旋转 45° 和 135° 攻击后, 提取不出水印信息。平移攻击和常规的信号处理攻击后 NC 值均大于 0.8。**结论** 鲁棒性仿真实验表明该算法能很好地抵抗旋转攻击和平移攻击, 并对常规的信号处理攻击具有很好的鲁棒性。

关键词: 标志区; 小波; 旋转攻击; 平移攻击; 信号处理攻击

中图分类号: TS801.8; TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)17-0192-04

A New Rotation Resistant Image Watermarking Based on Logo Band

CHEN Qing, ZHOU Guang-zhou, WANG Fei, XIA Jian-feng

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a new rotation resistant image watermarking based on logo brand. First carrier images were embedded into rotary logo band and watermarking logo band. The rotary logo band was used to measure the rotation angle, and the watermarking logo band was used to search the watermarking embedded region. The width of the logo band was more than 10 to prevent the changed airspace coefficient caused by the rotation from affecting the detection logo position and angle. The logo band width was 12 in this algorithm. Then the three level wavelet decomposition of carrier image was carried out to ensure concentration of energy and reduce the influence on the watermark extraction. Finally, by the average of adjacent pixels of the image, watermarking information was embedded into low-frequency sub-band after three level wavelet decomposition. When the rotation attack was at $0^\circ \sim 45^\circ$ or $90^\circ \sim 135^\circ$, NC value decreased with the increase of angle; at $45^\circ \sim 90^\circ$ or $135^\circ \sim 180^\circ$, NC value increased with the increase of angle; After being attacked at 45° or 135° , the watermark couldn't be extracted. After translation attack and conventional signal processing attack, NC value was greater than 0.8. In conclusion, experimental results show that the proposed watermarking algorithm is robust to rotation attacks and translation, as well as common signal processing attacks.

KEY WORDS: logo band; wavelet; rotation attack; translation attack; signal processing attack

随着网络通信与多媒体技术的迅速发展, 数字产品的版权保护已成为迫在眉睫的问题, 数字水印

收稿日期: 2016-01-07

基金项目: 国家 863 计划 (2012AA050206); 上海自然科学基金 (12ZR1420800); 上海理工大学国家级项目培育基金 (16HJPY-MS06)

作者简介: 陈青 (1962—), 女, 湖北武汉人, 博士, 上海理工大学副教授, 主要研究方向为信号处理。

技术作为信息隐藏的重要分支是目前版权保护的有效手段^[1]。在数字水印嵌入中，在空间域和变换域嵌入数字水印是最常用的 2 种方法，变换域嵌入水印的方法鲁棒性强，是目前较为流行的方法^[2]。小波变换因为具有良好的局部时频分析特性，现已成为频域水印的主流方法^[3]。小波变换不具有几何不变性，只需旋转小角度即可达到破坏水印的目的^[4]。因此，设计能够抵抗旋转攻击的水印算法已成为水印研究的一个新的热点^[5]。

Alghoniemy 和 Tewfik^[6]提出了利用原始图像中具有几何不变性的量来嵌入水印，实验证明，该算法对几何攻击具有很好的鲁棒性，并能抵抗高斯、椒盐、剪切等攻击。谭玉玺等人^[7]提出了通过循环嵌入水印的方法，鲁棒性实验证明该算法能够很好地抵抗旋转攻击。陈青和翁旭峰^[8]提出了基于伪 Zernike 矩的图像盲水印算法，选取部分适合的矩，通过量化调制嵌入水印信息，对于抗几何攻击，尤其是旋转攻击具有很好的鲁棒性。针对抵抗旋转攻击的水印算法，提出了一种新的基于标志区的抗旋转盲水印算法。该算法在空域嵌入旋转标志区和水印区域标志区，这两种标志区在算法中起到了检测图像旋转角度和寻找嵌入域的作用；标志区的宽度大于 10，防止旋转对空域系数的改变影响到检测标志区位置及角度；该算法中标志区宽度选为 12。对载体图像进行三级小波分解，在低频逼近子带中，利用四邻域像素值的特征平均值嵌入水印。提取水印时，首先找到标志区，得到旋转角度，调整要提取水印的图像角度，得到原始角度状态的含水印图像；然后通过水印区域标志区，找到嵌入水印的区域，最后对得到的水印区域进行提取水印。

1 标志区

1.1 旋转标志区

当嵌入水印的图像旋转一定的角度后，因为角度未知，因此对于普通的水印算法，水印信息是不能成功提取的。如果角度已知，可以把图像旋转回原来得角度状态，然后成功地提取水印信息。由此，该算法在嵌入水印前先根据式(1)嵌入旋转标志区^[9]：

$$f(i, j) = \begin{cases} f(i, j), \text{mod}(f(i, j), 2) \neq 0 \\ f(i, j) + 1, \text{mod}(f(i, j), 2) = 0 \end{cases} \quad (1)$$

式中： f 为载体图像信息； $\text{mod}(f(i, j), 2)$ 为取 $f(i, j)$ 除以 2 的余数。修改旋转标志区上的像素值，使其不能被 2 整除，算法中标志区的宽度取值为 12。

嵌入旋转标志区的图像受到旋转攻击后，可以通过以下方法来找到旋转标志区，并把图像旋转回原来的角度：对图像依次进行二值化、删除小面积对象、膨胀、取反、删除小面积对象，可得到旋转标志区的位置；利用霍夫变换^[10]求得旋转标志区与水平方向的夹角；把图像旋转回原来角度。

1.2 水印区域标志区

由上文可知，图像旋转回原来状态后会变大，比如原来载体图像大小像素为 512×512 ，经过旋转变化后可能会变成 513×513 。为了能够准确定位嵌入水印区域，该算法提出了水印区域标志区，在嵌入水印之前，对载体图像嵌入水印区域标志区，根据式(1)嵌入水印区域标志区。

图像嵌入旋转标志区和水印区域标志区，经过 Matlab 处理后显示出的 2 种标志区见图 1a。经过旋转攻击后，显示出两种旋转标志区，见图 1b。受到旋转攻击的图像经过二值化、膨胀腐蚀、删除小面积对象等处理找到旋转标志区后，图像旋转回原来状态后显示出的 2 种标志区见图 1c，其中竖直的水印区域标志区的作用是在 x 轴方向上定位嵌入水印区域的范围，水平的水印区域标志区的作用是在 y 轴方向上定位嵌入水印区域的范围。根据水印区域标志区得到的嵌有水印的区域见图 1d。

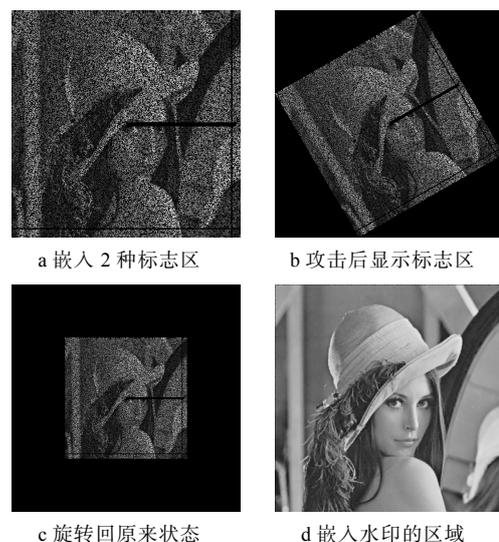


图 1 算法中的 4 个阶段
Fig.1 The four stages of the algorithm

2 水印算法描述

2.1 水印的嵌入算法

1) 嵌入旋转标志区和水印区域标志区.利用式(1)对载体图像嵌入2种标志区。

2) 对载体图像进行三级小波分解,得到低频逼近子带,其中低频逼近子带系数记作 $M^{[11]}$ 。

3) 分别计算 $M(2p,2q)$ 该小波系数附近4邻域 $M(2p-1,2q),M(2p+1,2q),M(2p,2q-1),M(2p,2q+1)$,且取其均值 $T(2p,2q)^{[12]}$ 。

4) 通过比较 $T(2p,2q)$ 和 $M(2p,2q)$ 的大小,修改 $M(2p,2q)$ 的小波系数为 $M^*(2p,2q)$,其计算公式:

$$M^* = \begin{cases} T - \alpha |M|, & W = 0 \text{ 且 } M \geq T \\ T + \alpha |M|, & W = 1 \text{ 且 } M < T \\ M, & \text{其他情况} \end{cases} \quad (2)$$

式中: α 为嵌入强度; M 为 $M(2p,2q)$; T 为 $T(2p,2q)$ 。

5) 小波系数修改结束后,通过小波逆变换,重建图像,得到含水印图像。

2.2 水印的提取算法

1) 寻找到旋转标志区,其计算公式:

$$f(i,j) = \begin{cases} f(i,j), & \text{mod}(f(i,j),2) = 0 \\ 1, & \text{mod}(f(i,j),2) \neq 0 \end{cases} \quad (3)$$

2) 计算旋转角度 θ ,通过对图像二值化、膨胀腐蚀、删除小面积对象等预处理,得到只有旋转标志区、黑色背景的图片。通过雷登变换求得旋转角度 θ ,并对图像反向旋转 θ 度。

3) 寻找水印嵌入区域,通过式(1)寻找到水印区域标志区,根据标志区和水印区域的关系,准确找到水印嵌入的区域 f_1 。

4) 对 f_1 进行3次小波变换,得到低频逼近子带,其中低频逼近子带系数记作 M_1 。

5) 分别计算 $M_1(2p,2q)$ 该小波系数附近四邻域 $M_1(2p,2q-1),M_1(2p,2q+1),M_1(2p-1,2q),M_1(2p+1,2q)$,且取其均值 $T_1(2p,2q)$ 。

6) 比较 $M_1(2p,2q)$ 和 $T_1(2p,2q)$ 的大小,提取水印信息。当 $M_1(2p,2q)$ 大于等于四邻域均值 $T_1(2p,2q)$ 时,水印信息提取为0,否则,水印信息为1,如式(4):

$$W(p,q) = \begin{cases} 0, & \text{如果 } M_1(2p,2q) \geq T_1(2p,2q) \\ 1, & \text{其他情况} \end{cases} \quad (4)$$

3 实验结果

实验采用像素为 1024×1024 的灰度图像 Lena 作为原始图像,像素为 32×32 的二值图像作为水印图像,取 α 为 0.01,对嵌入水印后的图像进行旋转攻击并提取水印信息,结果见表 1^[13]。

表 1 旋转攻击后实验结果
Tab.1 Experimental results after rotation attack

攻击	提取的水印	NC
未受攻击		1
旋转 10°		0.8894
旋转 30°		0.7995
旋转 40°		0.7017
旋转 45°	提取失败	—
旋转 50°		0.7459
旋转 60°		0.8053
旋转 80°		0.9025
旋转 90°		1
旋转 120°		0.8453
旋转 135°	提取失败	—
旋转 150°		0.7341
旋转 180°		1

由表 1 可知,该算法对旋转 45° 攻击和旋转 135° 攻击比较敏感,以 45° 和 135° 为分界线向两边的角度变化时,提取的 NC 值是变大的,也就是说,从 0° ~45° 或 90° ~135°,随着角度的增加,NC 值减小;在 45° ~90° 或 135° ~180° 时,随着角度的增加,NC 值增大;在受到旋转 45° 和 135° 攻击后,提取不出水印信息。

嵌入水印^[14]的图像对一些常见信息处理攻击和图像平移攻击的实验结果见表 2。由表 2 可知,该算法对常见的信息处理攻击具有很好的鲁棒性,

且该算法也可抗击图像平移攻击。提取受到图像平移攻击的图像水印时，只需要用水印区域标志区寻找到嵌入水印的区域，然后提取水印即可。

表 2 信息处理攻击和图像平移攻击后实验结果

Tab.2 Experimental results after translation and common signal processing attacks

攻击	提取的水印	NC
剪切攻击 1/16		0.9685
JPEG 30%		0.9578
提高亮度 50%		0.9872
降低亮度 50%		0.9825
椒盐		0.8033
高斯低通滤波		0.9170
图像平移		0.8453

4 结语

文中在空域中嵌入旋转标志区，来计算图像旋转的角度对其校正；并嵌入水印区域标志区，用来寻找旋转攻击或平移攻击后嵌入水印的区域。结合三次小波分解，在频域中嵌入水印，来减小提取的水印信息受到因旋转攻击或平移攻击对图像像素值改变而产生的影响^[15]。由实验结果可得出该算法的可行性，但该算法对旋转 45° 和 135° 攻击和缩放攻击比较敏感。

参考文献：

- [1] 桑茂栋, 赵耀. 基于几何矩的抵抗 RST 攻击的数字图像水印[J]. 电子与信息学报, 2007(1): 76—80. SANG Mao-dong, ZHAO Yao. Moment Based Multibit Digital Image Watermarking Resisting to RST Attacks[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2007(1): 76—80.
- [2] 丁莹, 袁源, 袁道华, 等. 基于频域线性拟合的数字水印算法[J]. 计算机应用研究, 2006(3): 79—81. DING Ying, YUAN Yuan, YUAN Dao-hua, et al. Rotation Resilient Watermarking Algorithm Based on Frequency Domain[J]. Application Research of Computers, 2006(3): 79—81.
- [3] ZHOU J, NIAN G J, WEN Q, et al. A Grayscale Watermarking Blind Algorithm Resistant to Geometric Attacks Based on the Lifting Wavelet Transform[J]. International Congress on Image and Signal Processing, 2013(1): 496—500.
- [4] TANG Z J, ZHANG X Q, ZHANG S C. Robust Perceptual Image Hashing Based on Ring Partition and NMF[J]. IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, 2014, 24(3): 711—724.
- [5] 王永玉, 孙衢, 王琪. 旋转、缩放、位移不变的小波域图像水印算法[J]. 计算机应用研究, 2008(3): 942—944. WANG Yong-yu, SUN Qu, WANG Qi. Rotation, Scaling, and Translation Invariant Digital Image Watermarking in DWT Domain[J]. Application Research of Computers, 2008(3): 942—944.
- [6] ALGHONIEMY M, TEWFIK A H. Geometric Invariance in Image Watermarking[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(2): 145—153.
- [7] TAN Yu-xi, TANG Lei, GAO Zhi-nian, et al. A Rotation Resistant Image Watermarking Algorithm via Circle[J]. Eighth International Conference on Computational Intelligence and Security, 2012(6): 461—463.
- [8] 陈青, 翁旭峰. 一种新的基于伪 Zernike 矩的图像盲水印算法[J]. 计算机应用研究, 2016(9): 1—5. CHEN Qing, WENG Xu-feng. Novel Blind Image Watermarking Based on Pseudo Zernike Moments[J]. Application Research of Computers, 2016(9): 1—5.
- [9] 张光会, 张广路. 基于形殊点抗局部非线性几何攻击水印算法[J]. 计算机应用研究, 2012(2): 661—663. ZHANG Guang-hui, ZHANG Guang-lu. Watermarking Algorithm Resist Local Nonlinear Geometric Attacks Based on Reference Points Extraction[J]. Application Research of Computers, 2012(2): 661—663.
- [10] LIN Y T, HUANG C Y, LEE G C. Rotation, Scaling, and Translation Resilient Watermarking for Images[J]. Image Processing, 2011, 5(4): 328—340.
- [11] OWALLA F O, MWANGI E. A Colour Image Watermarking Technique Resistant to Affine Geometric Attacks[J]. Africon, 2013(1): 1—5.
- [12] OWALLA F O, MWANGI E. A Robust Image Watermarking Scheme Invariant to Rotation, Scaling and Translation Attacks[J]. Electrotechnical Conference, 2012(1): 379—382.
- [13] NARAWADE N S, KANPHADE R D. Geometric Distortion Correction in Images Using Proposed Spy Pixel and Size[J]. International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, 2014(1): 1413—1417.
- [14] 周中原, 孙刘杰, 唐波, 等. 一种抗旋转的全息水印算法[J]. 包装工程, 2013, 34(19): 95—100. ZHOU Zhong-yuan, SUN Liu-jie, TANG Bo, et al. An Anti-rotation Holographic Watermarking Algorithm[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 95—100.
- [15] 汪祖辉, 孙刘杰, 蒋哲薇, 等. 一种抗几何攻击的小波域水印算法[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 102—107. WANG Zu-hui, SUN Liu-jie, JIANG Zhe-wei, et al. A Watermarking Algorithm Against Geometric Attack in DWT Domain[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 102—107.