

基于 Harris 角点的抗几何攻击数字水印算法研究

陈青, 孙彦飞, 郭功勋
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: **目的** 针对第 2 代数字水印算法具有良好的抗几何攻击能力, 提出一种基于 Harris 提取特征区域并结合标志区的新算法, 可有效抵抗几何攻击。**方法** 首先对载体图像进行预处理, 得到标准图 Harris, 提取并筛选特征点, 要求特征点稳定集中, 再根据水印大小确定嵌入水印的特征区域, 筛选特征区域并进行小波分解; 最后根据变换后子带的系数均值及调制因子调整小波系数, 水印信息被分块后依次嵌入特征区域分解后的子带。**结果** 实验显示文中算法的不可见性好, 提取水印的相似度高, PSNR 值均在 65 dB 之上, NC 值均大于 0.8。**结论** 该算法水印的提取不需原图的参与, 具极强的鲁棒性, 可有效抵抗常见信号处理攻击。

关键词: Harris 检测算子; 特征点; 特征区域; 离散小波变换

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)13-0188-06

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.13.031

Digital Watermarking Algorithm Resistant to Geometric Attacks Based on Harris Corner

CHEN Qing, SUN Yan-fei, GUO Gong-xun
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: The work aims to propose a new algorithm that can effectively resist the geometric attacks based on Harris extracting feature region combined with landmark region, with respect to the good anti-geometric attack ability of the second generation digital watermarking algorithm. Firstly, the carrier image was pre-processed to obtain Harris from the standard image. The feature points were extracted and screened, and they should be stable and concentrated. Secondly, the feature region to embed in the watermark was determined according to the watermark size, and then the feature region was screened and subject to wavelet decomposition. Finally, the wavelet coefficients were adjusted according to the subband coefficient mean and modulation factor. The blocked watermark information was respectively embedded into the sub-bands after the decomposition of the feature region. Experiments showed that the proposed algorithm had good invisibility, and the extracted watermarks were of high similarity. The PSNR values were all more than 65 dB and the NC values were all greater than 0.8. The watermark extraction of the proposed algorithm does not require original images but is of extremely robustness, which can effectively resist the attacks of the common signal processing.

KEY WORDS: Harris detection operator; feature points; feature regions; DWT

现今, 数字化信息时代早已到来, 多媒体技术发展迅速, 能否有效保护互联网的信息安全以及众多产品数字化印刷的版权现已变成研究者们研究的热点之一^[1-2]。数字图像水印抗几何攻击能力的鲁棒性

还有待提升, 几何攻击会对在水印的提取、嵌入的同步性上产生一定影响, 即便微小的攻击都会使得水印遭受破坏, 导致提取失败^[3], 因此, 能够找到一种抵抗几何攻击性能良好的嵌水印的方法尤为重要。

收稿日期: 2018-03-20

基金项目: 国家 863 计划基金 (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, 博士, 上海理工大学副教授, 主要研究方向为信号处理。

水印嵌入的众多方法中最为常见的是在空间域和变换域中嵌入水印,但大量实验结果证明变换域加密算法的鲁棒性好^[4-5]。传统的方法在小波域上嵌水印通常是直接修改小波域的系数,这类方法虽然能保证水印较好的不可见性,但在图像的压缩变换时易受到阈值的影响从而导致水印信息遭受破坏。Kutter 等^[6]嵌水印的基本思想是尽可能的利用图像的内在特征,众多特征中特征点有几何不变的优良特性,如此操作能有效抵抗一定强度的几何攻击。Tang 等^[7]根据墨西哥帽小波的尺度交互性提取特征点,筛选特征区域是将特征点分至不同圆形区域中,最后在已选圆形区域中嵌水印。Alghoniemy 等^[8]做了在基于图像几何不变性等内在特性的基础上嵌入水印的工作。陈青等^[9-10]提出一种将载体图像嵌入旋转标志区和水印标志区的方法,此算法对旋转任意角度对攻击以及平移攻击都有很好的鲁棒性,使用 Harris 算子^[11-12]仅需用到灰度一阶差分,高效率、易计算,通过对图像兴趣值^[13]的计算,临域内可取最优点,它既能保证提取的合理性又易于实现。通过对已有文献的研读及对上述算法的结果分析,文中利用 Harris 算子并结合对载体图像嵌标志区的算法进行改进,提出抗几何攻击性能更为优良的盲水印算法。

文中算法对载体图像嵌入的标志区分别是旋转标志区和水印标志区,旋转标志区检测旋转角度、水印区域标志区寻找水印嵌入的区域,通过对标志区位置的调整、角度的矫正以来抵抗旋转攻击和平移攻击。文中完成图像预处理后使用 Harris 算子提取特征点,筛选稳定的特征点按步骤划分成不同的小矩形区域,然后按水印信息大小要求筛选的特征区域的大小及数量,再对相对应的水印图像分块,选择匹配其水印信息的特征区域小波变换后嵌入水印,增强算法的抗剪切攻击的鲁棒性。

1 筛选特征区域

1.1 Harris 算子

Harris 算子作为一种特征提取算子,既合理有效又易于实现,检测基本思想描述为:选取一个小的矩形窗口,假设目标像素点为矩形窗口中心,使该窗口沿各方向作微小移动,使用解析表达式来表示灰度变化量。假设以 (x, y) 为中心的小窗口沿 x 方向移 u ,沿 y 方向移动 v ,其灰度变化量解析式表示为:

$$E(x, y) = \sum \omega_{x,y} (I_{x+u,y+v} - I_{x,y})^2 = \sum \omega_{x,y} (u \cdot \frac{\partial I}{\partial X} + v \cdot \frac{\partial I}{\partial Y} + o(\sqrt{u^2 + v^2}))^2 \quad (1)$$

其中: $E(x, y)$ 为窗口灰度变化量;一般定义 $\omega_{xy} = e^{-(x^2+y^2)/\sigma^2}$ 为窗口函数; I 为图像灰度函数;化

简略去无穷小项:

$$E_{x,y} = \sum \omega_{x,y} [u^2 (I_x)^2 + v^2 (I_y)^2 + 2uv I_x I_y] = Au^2 + 2Cuv + Bv^2 \quad (2)$$

式中: $A = (I_x)^2 \otimes \omega_{x,y}$; $B = (I_y)^2 \otimes \omega_{x,y}$; $C = (I_x \cdot I_y) \otimes \omega_{x,y}$ 。

$E_{x,y}$ 二次型表示有:

$$[E]_{x,y} = [u \ v] M \begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} \quad (3)$$

式中: M 为实对称矩阵:

$$M = \omega_{x,y} \begin{pmatrix} I_x^2 & I_x I_y \\ I_x I_y & I_y^2 \end{pmatrix} \quad (4)$$

式中: I_x 为图像 I 沿 x 方向的梯度; I_y 为图像 I 沿 y 方向的梯度。角点响应函数为 CRF , 根据实对称矩阵 M , 定义表示为:

$$CRF = \det(M) - k \cdot \text{trace}^2(M) \quad (5)$$

式中: $\det(M)$ 为矩阵 M 的行列式; $\text{trace}(M)$ 为矩阵的迹; k 为常数,一般取 0.04~0.06。比较响应值 CRF 与阈值 T_h 的大小,根据结果检测出特征点的位置。在实验的一般情况下,要使得 Harris 角点检测取得的特征点数量少,就要把阈值设定值设置的大一些。除此之外,响应值 CRF 越大表示与之对应的特征点的鲁棒性越好。

文中 Harris 角点检测验证实验所使用的是标准测试图 Lena 图和 Peppers 图,使用平台是 Matlab2015b,实验检测结果图参见图 1。图 1 中从提取结果可直观看出,特征点主要集中分布在在纹理复杂区域和灰度变化明显的位置,该算法选取响应值 CRF 较大的特征点。

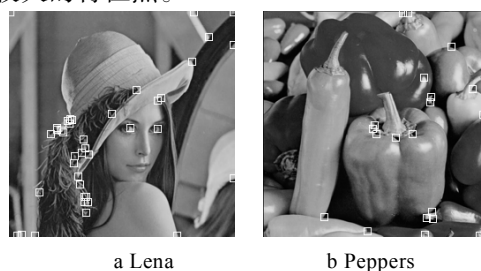


图 1 Harris 特征点检测的结果

Fig.1 Results of Harris feature point detection

合理地筛选特征区域需要考虑多方面的因素,正如不同特征区域内可能会含有相同的特征点,若筛选方法不得当不仅会导致特征区域重叠反复,还容易导致水印信息的交错相互影响,因此还需要进一步筛选,使得到的特征区域不但包含稳定的特征点又互不重叠。

1.2 特征区域筛选

1) 标记载体图像的中心位置 $I(c_x, c_y)$ 。分布在 I

左上、右上、左下、右下4片区域的特征点,在特征点的左上、右上、左下、右下取其紧挨着特征点的矩形特征区域的位置。

2) 把通过 Harris 检测得出的所有特征点依次提取出来,将这些特征点记作集合 Ω_1 ,然后再从集合 Ω_1 中逐一地筛选出那些响应值^[14]较大的特征点,记作 P_0 。

3) 从 Ω_1 中删掉 P_0 以外的特征点对应的小矩形特征区域存在有重叠部分的特征点,保存并记作集合 Ω_2 。

4) 将 P_0 从集合 Ω_1 去除;判断 Ω_1 中余下的特征点对应的矩形特征区域是否还有互相叠加的现象,若有叠加特征区域则重复执行以上步骤。

5) 在上述步骤已得到的集合 Ω_1 中,分割载体图像,分块后把所有小区域内含有的特征点的中心点 h_i 到 l 的距离记作集合 Ω_2 并排序。

6) 特征区域的大小和个数,取决于嵌入的水印图像的大小,特征区域选择的大小和个数要求与水印信息相适应匹配。按照步骤 5) 中 Ω_2 从大到小的次序选取对应的特征点所在的特征区域作为嵌入水印的位置,这样可以有效保证筛选时特征区域靠近载体图像的中心位置。

2 水印算法

2.1 水印嵌入的算法

水印嵌入流程参见图 2。

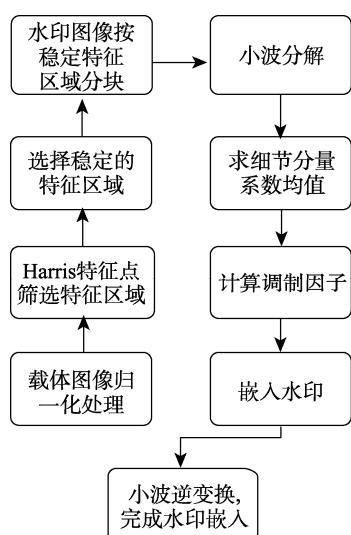


图2 水印嵌入

Fig.2 Watermarking embedding

1) Harris 特征点提取并筛选。首先对载体图像 $f(x, y)$ 预处理,处理后对标准图像 $f(x/\alpha, y/\alpha)$ 提取 Harris 特征点。其中 $\alpha = (\delta/m_{00})^{1/2}$, δ 为预设值, m_{00} 为图像的零阶矩。参见 1.2 节所描述特征区域筛选方法中的

6个步骤,逐一筛选稳定性高、矩形区域互不影响互不重叠的特征点,记作集合 Ω_1 。在集合 Ω_1 的矩形区域内把所有特征点的中心点 h_i 到原始图像中心位置 l 的距离记作集合 Ω_2 ,对 Ω_2 按大小排序。

2) 选定特征区域。文中实验从 Ω_2 中自上而下选取4个对应的特征点的中心点嵌入水印,即择优选择4个靠近载体图像中心位置的特征区域。



图3 特征区域筛选结果

Fig.3 Results of feature region screening

3) 水印图像分块。对 32×32 水印图像按照特征区域个数及大小进行分块。文中将实验水印图像分作4小块,像素值均为 16×16 ,见图 4。

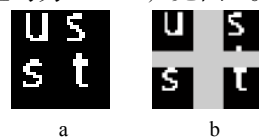


图4 原始水印图像分块

Fig.4 Blocking of original watermark image

4) 小波变换。将选定出的特征区域的矩形块进行一次小波分解,对 LL 子带进行 $h \times h$ 不重复分块。

5) 均值求解。求解每个细节分量的系数均值以及每个 LL 子带系数的均值。

$$E(i, j) = \frac{1}{M} \left(\sum_{(a, b) \in S_{Di}} c^{(i, j)}(a, b) \right) \quad (6)$$

式中: M 为 $h \times h$ 子块中小波系数的个数; S_{Di} 为 $h \times h$ 的子块; $c^{(i, j)}(a, b)$ 为第 (i, j) 块的小波系数。

6) 计算调制因子。计算调制因子如下:

$$P(i, j) = A + B * T(i, j) \quad (7)$$

其中, $T(i, j)$ 的定义如下:

$$T(i, j) = \sqrt{S(i, j)}^\beta \quad (8)$$

$$S(i, j) = \sum_{(a,b) \in S_{Di}} (c^{(i,j)}(a,b) - E(i, j)) \quad (9)$$

其中用 A, B 表示强度因子, β 为常数, $T(i, j)$ 趋于 0 的状态下仍可嵌入一定强度的水印。

7) 嵌入水印。

水印信息 $W(i, j)=1$ 时, 调整小波系数:

$$c^{(i,j)}(a,b) = c^{(i,j)}(a,b) - E(i, j) \quad (10)$$

水印信息 $W(i, j)=0$ 时, 调整小波系数:

$$c^{(i,j)}(a,b) = c^{(i,j)}(a,b) - E(i, j) + P(i, j) \quad (11)$$

8) 小波逆变换。对含嵌入水印的子带小波逆变换恢复至原图大小, 得含有水印信息的图像。

2.2 水印提取算法

水印的提取过程是水印嵌入算法的逆过程, 具体流程见图 5。

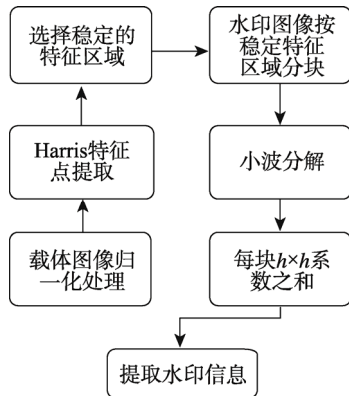


图 5 水印提取

Fig.5 Watermarking extraction

1) 归一化处理。对含水印信息的图像统一作预处理即图像归一化, 归一化处理可排除一定的图像缩放等带来不必要影响。

2) Harris 特征点提取。若含水印图像遭受到几何攻击, 对被攻击图像继续 Harris 角点检测, 稳定特征点仍会保留。

3) 筛选特征区域。对已嵌入水印的图像用 1.2 节介绍的相同方法选定特征区域。

4) 小波变换。将筛选完成的特征区域进行一级小波变换, 在此基础上将其 LL 子带 $h \times h$ 分块。

5) 求和。求每块的系数和, 将每个 $h \times h$ 小块的系数相加, 计算总和:

$$s_{um} = \sum_{(a,b) \in S_{Di}} (c^{(i,j)}(a,b)) \quad (12)$$

6) 水印提取。当嵌入的 $W(i, j)=1$ 时, 小块的系数和 s_{um} 近似于 0, 当嵌入的 $W(i, j)=0$ 时, 小块的系数和 s_{um} 近似于 $M \times P(i, j)$ 。 $h \times h$ 的小波块系数的个数用 M 来表示, 此步骤运用 1.1 节中提到的阈值 T_h 。

$$c(i, j) = \begin{cases} 1, & \text{if } s_{um} < T_h \\ 0, & \text{else} \end{cases} \quad (13)$$

3 实验结果及分析

通常用峰值信噪比 (PSNR) 来衡量水印的不可见性^[15], PSNR 越大, 嵌入水印的不可见性越好; 用归一化相关系数 (NC) 衡量被水印攻击后的鲁棒性, NC 越大, 水印鲁棒性越好。

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2 M \times N}{\frac{1}{m \times n} \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [I(i, j) - I'(i, j)]^2} \quad (14)$$

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (W(i, j) \times W'(i, j))}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n (W(i, j))^2} \quad (15)$$

式中: $I(i, j)$ 为原图像; $I'(i, j)$ 为嵌入水印后的图像; $M \times N$ 为图像大小; $W(i, j)$ 是原始水印; $W'(i, j)$ 为提取的水印。

实验中采用了像素值为 1024×1024 的 Lena 灰度图作为载体图像, 像素值为 32×32 的二值图像作水印图像, 见图 6, 实验使用 Matlab2015b 作为验证平台。水印嵌入、提取使用参数为: $\beta=0.318$, $A=7$, $B=1$, $T_h=13.8$ 。



a 原始图像



b 含水印图像 (PSNR=72.95)

图 6 原始图像和嵌入水印图像
Fig.6 Original images and watermark image



a 原始水印



b 提取的水印 (NC=1)

图 7 原始水印和提取的水印
Fig.7 Original watermark and extracted watermark

文中实验将分成4小块像素值为 16×16 的水印信息依次嵌入到筛选的4个特征区域内。该算法水印嵌入量可观,其水印信息的最大嵌入量取决于特征区域的个数。水印信息分块仅要求分成小块像素小于矩形特征区域的像素,水印分块数量不超过已筛选出的特征区域数量,根据水印信息分块的数量,可自上而下依次选择与水印块数量等同的小矩形特征区域块与之匹配。特征区域的数量受载体图像的大小、纹理复杂程度、灰度变化等影响,所以实验中尽可能把载体图像选大些,水印图像选小些,方可保证水印信息的完全嵌入。

完成水印嵌入的操作后,对嵌有水印的图像分别进行表1、2中的8种常规攻击,将这些图像视为目标图像,对目标图像进行水印提取的性能仿真实验,水印图像、NC及PSNR参数见表1、2。分析表中数据各值:对于常规图像信号攻击,提取水印鲁棒性检测实验对于旋转、平移、椒盐攻击NC值大于0.8033,对于其他常规信号攻击NC值大于0.9170,未受攻击、旋转 90° 、 180° 时NC值为1,可见受到不同攻击提取的水印仍然清晰可见。透明性检测实验得到的PSNR均超过66.024 dB,PSNR值大表示该算法水印嵌入的不可见性极好。从各种攻击下提取水印的NC值PSNR值充分证明了文中提出的新型图像数字盲水印算法针对于旋转、平移、剪切、椒盐噪声和JPEG压缩等常规数字图像处理攻击呈现出很好的鲁棒性、不可见性。

表1 旋转攻击后提取的实验
Tab.1 Experiment extracted after rotation attack

攻击	提取水印	NC	PSNR
未受攻击		1	72.957
旋转 10°		0.8893	66.645
旋转 30°		0.8998	66.043
旋转 60°		0.8053	66.024
旋转 90°		1	66.893
旋转 120°		0.8453	66.047
旋转 180°		1	66.826

表2 其他几何攻击实验结果
Tab.2 Experimental results of other geometric attacks

攻击	提取水印	NC	PSNR
图像平移		0.8453	72.957
椒盐		0.8033	66.645
JPEG30%		0.9578	66.043
剪切攻击 1/16		0.9685	66.024
高斯低通滤波		0.9170	66.893
提高亮度 50%		0.9872	66.047
降低亮度 50%		0.9825	66.826

4 结语

文中提出了基于 Harris 角点的抗几何攻击数字水印算法,该算法在空域嵌入旋转标志区计算图像旋转角度,能对其反旋转进行校正,通过巧妙地筛选特征区域,在特征区域的小波域嵌入水印。该算法的解码过程不需要原始图像,并且该算法水印嵌入量大,抗旋转鲁棒性较好,对剪切攻击、常规信息处理攻击的鲁棒性都很好。考虑到水印信息嵌入量受特征区域个数的限制,因此尽量选择稍大些的载体图像,较小些的水印信息图像。

参考文献:

- [1] PARAH S A, SHEIKH J A, LOAN N A, et al. Robust and Blind Watermarking Technique in DCT Domain Using Inter-block Coefficient Differencing[J]. Digital Signal Processing, 2016, 53(C): 11—24.
- [2] MARDANPOUR M, CHAHOOKI M A Z. Robust Transparent Image Watermarking with Shearlet Transform and Bidiagonal Singular Value Decomposition[J]. AEU-International Journal of Electronics and Communications, 2016, 70(6): 790—798.
- [3] ALI M, CHANG W A, PANT M, et al. An Image Watermarking Scheme in Wavelet Domain with Optimized Compensation of Singular Value Decomposition Via Artificial Bee Colony[J]. Information Sciences, 2015, 301(C): 44—60.

- [4] 刘玄玄, 王晓红. 基于视觉显著图的数字水印算法[J]. 光学技术, 2016, 42(3): 260—263.
LIU Xuan-xuan, WANG Xiao-hong. Digital Water-marking Algorithm Based on Visual Saliency Map[J]. Optical Technology, 2016, 42(3): 260—263.
- [5] ALI M, CHANG W A. An Optimized Watermarking Technique Based on Self-adaptive DE in DWT-SVD Transform Domain[J]. Signal Processing, 2014, 94(1): 545—556.
- [6] KUTTER M, BHATTACHARJEE S K, EBRAHIMI T. Towards Second Generation Watermarking Schemes [C]// Proceedings of International Conference on Image Processing, 1999(1): 320—323.
- [7] TANG C W, HANG H M. A Feature-based Robust Digital Image Watermarking Scheme[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 51(4): 950—959.
- [8] ALGHONIEMY M, TEWFIK A H. Geometric Invariance in Image Watermarking[J]. IEEE Transactions on Image Processing A Publication of the IEEE Signal Processing Society, 2004, 13(2): 145—153.
- [9] 陈青, 周广州, 王飞, 等. 一种新的基于标志区的抗旋转盲水印算法[J]. 包装工程, 2016, 37(17): 192—195.
CHEN Qing, ZHOU Guang-zhou, WANG Fei, et al. A New Rotation Resistant Image Watermarking Based on Logo Band[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(17): 192—195.
- [10] 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. A Holographic Watermarking Algorithm of Anti-rotation [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(19): 95—100.
- [11] QI X, QI J. A Robust Content-based Digital Image Watermarking Scheme[J]. Signal Processing, 2007, 87(6): 1264—1280.
- [12] HARRIS C. A Combined Corner and Edge Detect- or [J]. Proc Alvey Vision Conf, 1988(3): 147—151.
- [13] KESHAVARZIAN R, AGHAGOLZADEH A. ROI Based Robust and Secure Image Watermarking Using DWT and Arnold Map[J]. AEU-International Jo-urnal of Electronics and Communications, 2016, 70(3): 278—288.
- [14] MONIRUZZAMAN M, HAWLADER M A K, HOSSAIN M F. Robust RGB Color Image Water-marking Scheme Based on DWT-SVD and Chaotic System[C]// International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications IEEE, 2015: 1—6.
- [15] ALI M, CHANG W A, PANT M. A Tobust Image Water-marking Technique Using SVD and Differential Evolution in DCT Domain[J]. Optik-international Journal for Light and Electron Optics, 2014, 125(1): 428—434.