

一种基于 Harris 特征点和 DWT-SVD 的图像盲水印算法

周广州, 陈青, 熊蒙, 夏剑峰, 柯婷婷
(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 目的 针对第 2 代数字水印技术, 提出一种基于 Harris 特征点和 DWT-SVD 的图像盲水印算法。方法 提取归一化图像的 Harris 特征点; 选取部分稳定特征点来确定要嵌入水印的特征区域; 将特征区域作一次小波分解得到的低频子带, 对低频子带进行分块, 并对每一块进行奇异值分解, 通过对每块中最大奇异值进行加权的方法来嵌入水印信息。结果 PSNR 值均大于 45 dB, NC 值接近于 1, 说明该算法具有可行性。结论 该算法对剪切攻击具有很好的鲁棒性, 同时该算法也能很好地抵抗噪声、中值滤波攻击、提高亮度攻击、降低亮度攻击、基本图像处理操作的攻击。

关键词: 特征点; Harris 检测算子; 特征区域; 奇异值分解; 离散小波变换; 鲁棒性

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2016)19-0191-04

An Image Watermarking Algorithm Based on Harris Feature Points and DWT-SVD

ZHOU Guang-zhou, CHEN Qing, XIONG Meng, XIA Jian-feng, KE Ting-ting
(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

ABSTRACT: For the second generation of digital watermarking technology, this paper proposes a DWT image watermarking algorithm based on Harris feature points and singular value decomposition. First the Harris detector was utilized to extract steady feature points from the standard image. Then wavelet decomposition was conducted for the local feature regions to obtain low frequency sub-bands. These sub-bands were then divided into blocks. Singular value decomposition was conducted for each block. The watermark information was embedded by weighing the maximal singular value in each block. PSNR was not less than 45 dB and NC value closed to 1, indicating that the method was feasible. In conclusion, the algorithm has very good robustness to shear attacks. Meanwhile it can resist common signal processing attacks, such as noise, median filter, improved the brightness, reduced the brightness, and JPEG compression.

KEY WORDS: feature points; Harris detector; feature regions; singular value decomposition; DWT; robust

在小波域水印的研究中, 大多数方法是直接对小波域系数进行修改来嵌入水印。在小波系数上嵌入水印保证了水印良好的不可见性, 但是在压缩时, 由于阈值的影响, 水印信息会遭到破坏。Gorodetski 等^[1]通过奇异值量化的方法把水印信息嵌入到载体图像中, 实现了很好的不可见性和鲁棒性。付文

亭等^[2]将水印信息嵌入到载体图像的小波系数的奇异值中, 实验表明, 该算法具有较好的透明性, 对常规的信号处理攻击具有较强的鲁棒性。传统的数字水印算法缺点是水印信息嵌入的位置不是数据最重要的部分。Kutter 等^[3]提出所谓第 2 代数字水印概念, 利用具有几何不变性的特征点, 嵌入水

收稿日期: 2016-01-07

基金项目: 上海理工大学国家级项目培育基金 (16HJPY-MS06)

作者简介: 周广州 (1990—), 男, 山东菏泽人, 上海理工大学硕士生, 主攻图像水印。

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

印信息,该方法对几何攻击具有很好的鲁棒性。Bas等^[4]给出一种基于图像特征点的数字图像水印算法,该算法首先提取出特征点,然后对特征点进行三角剖分,得到抗几何攻击的特征区域,最后把水印信息嵌入到三角形区域中。Tang等^[5]提出另一种比较经典的基于图像特征点的抗几何攻击水印算法,该算法利用墨西哥帽小波的尺度交互特性提取特征点,利用稳定特征点生成圆形特征区域,然后对特征区域进行离散傅里叶变换,最后嵌入水印,该算法具有很强的鲁棒性。

文中提出一种基于Harris特征点与DWT-SVD的高鲁棒性水印算法。该算法利用Harris算子提取出归一化图像的特征点,利用部分最稳定的特征点选取矩形的特征区域,对要嵌入的水印图像按特征区域的个数及大小进行分块;对每个特征区域进行一级小波分解,得到 LL_1 子带,对 LL_1 子带进行分块奇异值分解;对每块中最大的奇异值进行加权来嵌入水印信息。实验结果表明,该算法对于剪切攻击与常规的信号处理攻击(JPEG、JPEG2000压缩、噪声、滤波等)均具有良好的鲁棒性。

1 筛选特征区域

用Harris算子^[6]提取图像的特征点,标准图像Lena和Peppers进行Harris特征点检测的结果见图1,可以看出,特征点的分布区域^[7]主要在复杂纹理和灰度变化明显的位置。并不是所有的特征点都适用于嵌入水印,该算法选取响应 R_H 较大的特征点,确定特征区域,特征区域中可能含有其他的特征点,以免水印信息互相影响,需要再次筛选出部分稳定特征点来确定最佳的嵌入水印的位置。筛选的步骤如下所述。

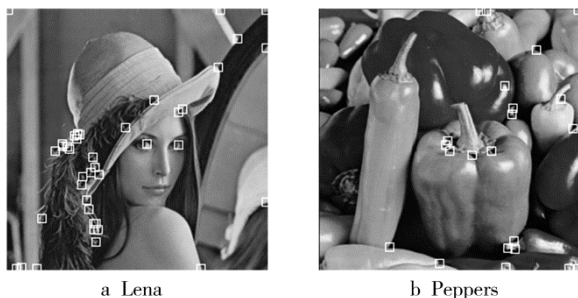


图1 Harris特征点检测的结果

Fig.1 Results of Harris feature points detection

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、右下区域的特征点,取其矩形特征区域的位置紧挨着特征点,分别在特征点的左上方、右上方、左下方、右下方。

2) 对于所有检测出的Harris特征点记作集合 Ω_1 ,从 Ω_1 中筛选部分特征点记作 P_0 ,这部分特征点响应值最大^[8]。

3) 从 Ω_1 中删掉 P_0 以外的特征点对应的矩形特征区域存在有重叠部分的特征点,并保存 P_0 为 Ω_2 。

4) 将 P_0 从集合 Ω_1 去除。

5) 判断 Ω_1 中余下的特征点对应的矩形区域是否还有互相重叠的现象,如果有重叠的特征区域则重复执行步骤2), 3), 4), 否则执行步骤5)。

6) 集合 Ω_1 中每个特征点 h_i 到 l 的距离记作集合 Ω_2 ,对 Ω_2 从小到大排序。

7) 根据水印图像的大小,选择特征区域的大小和个数,依次按照 Ω_2 中的顺序取对应的特征点及特征区域作为嵌入水印的位置,保证了特征区域靠近载体图像的中心。

2 水印算法描述

2.1 水印的嵌入算法

1) 水印图像分块。对水印图像(32×32)按照特征区域个数及大小进行分块。实验中把水印图像分成了4块,见图2。



图2 原始水印图像分块

Fig.2 The original watermark image was divided into blocks

2) 筛选特征区域。对原始图像 $f(x, y)$ 进行归一化处理以消除图像缩放的影响,得到标准图像 $f_s(x/\alpha, y/\alpha)$,其中 $\alpha = \sqrt{\delta / m_{00}}$, δ 是一个预设值, m_{00} 是图像的零阶矩^[9]。然后对标准图像进行Harris特征点提取,按照1.1中所述方法筛选出一组稳定性良好并且矩形区域互不重叠的特征点,记作集合 Ω_1 。 Ω_1 中每个特征点 h_i 到载体图像中心位置 l 的距离记作集合 Ω_2 ,对 Ω_2 从小到大排序。

3) 选定特征区域。文中实验从 Ω_2 中选取前4个元素对应的特征点嵌入水印,即选择4个最靠近载体图像中心位置的特征区域^[10]。

4) 小波分解。将矩形特征区域进行一次小波分解, 对 LL_1 子带进行 $h \times h$ 不重复分块^[11]。

5) 奇异值分解。将每个分块进行奇异值分解, $A=USV^T$, 计算 $Q_{ij}=\text{round}(S(i,j)/q)$, 式中 $S(i,j)$ 为每块最大的奇异值, q 为嵌入强度, round 为四舍五入运算^[12]。

6) 嵌入水印。计算 $T_i=\text{mod}(Q+W_i, 2)$ 的值, 把分块后的水印信息分别嵌入到每块的最大奇异值中。

$$S'(i,j)=\begin{cases} (Q-0.5) \times q & T_i=1 \\ (Q+0.5) \times q & T_i=0 \end{cases} \quad (1)$$

7) 奇异值分解逆运算。将修改后的奇异值做变换 $A'=US'V^T$, 得到嵌入水印的矩阵 A' 。

8) 小波逆变换重构含有水印的特征区域。把含有水印信息的特征区域放回原载体图像的相应位置, 得到完整的嵌入水印的图像。

2.2 水印的提取算法

1) 对含有水印的图像进行尺度归一化, 消除图像缩放带来的影响。

2) 进行 Harris 特征点提取。如果含有水印的图像受到信号处理攻击或者剪切攻击, 较稳定的特征点会保留下来。

3) 对含水印图像, 用 2.1 中步骤 2) 和 3) 同样的方法, 选定要提取水印的特征区域。

4) 选取的特征区域进行一级小波变换, 将其 LL_1 子带进行 $h \times h$ 的分块。

5) 对每个子块进行奇异值分解 $A'=US'V^T$, 并且计算 $d=\text{floor}(S'(i,j)/q)$, 其中 floor 为向下取整, $S'(i,j)$ 为每个子块的最最大的奇异值。

6) 计算 $\text{mod}(d, 2)$ 的值^[13], 并采用奇偶判别, 提取每块的水印信息, 见式(2)。

$$W_i'=\begin{cases} 1 & \text{mod}(d, 2)=1 \\ 0 & \text{mod}(d, 2)=0 \end{cases} \quad (2)$$

7) 将每个特征区域提取的水印信息重组为灰度图像, 从而得到检测的水印图像。

3 实验结果

实验使用 Matlab7.0 作为验证平台, 分别给出检测性能测试、抗攻击测试的实验结果。试验中, 所采用的原始载体图像分别为 1024×1024 的灰度图像 Lena, Peppers, gold hill, woman blond, 采用

32×32 的水印图像, 实验设置如下: $h \times h$ 分块为 2×2 , 水印嵌入强度 q 可设置范围为 $4 \sim 15$ ^[14]。原始图像以及未受到攻击时对含水印图像的检测结果见图 4—5。



图 4 载体图像和水印图像

Fig.4 Original carrier images and original watermark images



图 5 含水印图像及其提取的水印

Fig.5 Watermarked images and extracted watermarks

对比原始图像和嵌入水印图像无明显视觉差别, PSNR 分别为 47.6649 dB(Lena), 45.5163 dB(Peppers), 46.5734 dB(gold hill), 45.0081 dB(woman blond), 表明该算法具有很好的不可见性, 且提取的水印信息与嵌入的水印信息一致。算法的鲁棒性测试结果为: 经过鲁棒性试验, 水印图像未受到攻击时, 提取的水印 NC 值为 1; 受到均值为零方差 0.05 的高斯噪声攻击时, 提取的水印 NC 值为 0.7962; 受到均值为零方差 0.05 的椒盐噪声攻击时, 提取的水印 NC 值为 0.8415; 受到 30% 的 JPEG 攻击时, 提取的水印 NC 值为 0.9246; 受到中值滤波攻击时, 提取的水印 NC 值为 0.8765; 提高嵌有水印图像 50% 的图像亮度时, 提取的水印 NC 值为 0.9454; 降低嵌有水印图像 50% 的图像亮度时, 提取的水印 NC 值为 0.9563; 剪切攻击第 1 块特征区域, 提取的水印 NC 值为 0.8314; 剪切攻

击第 2 块特征区域,提取的水印 NC 值为 0.8314;剪切攻击第 3 块特征区域,提取的水印 NC 值为 0.8674;剪切攻击第 4 块特征区域,提取的水印 NC 值为 0.8724

从各种攻击下提取的水印的 NC 值可以看出,该算法在抵抗剪切攻击的能力上具有很好的鲁棒性,同时也能很好地抵抗常规的信号处理攻击。

4 结 语

以 Harris 算子和 DWT-SVD 为理论基础,提出一种有效抵抗剪切攻击的第 2 代数字水印算法。该算法为了改进第 2 代数字水印算法的不可见性,采用在稳定的特征区域的小波域嵌入水印,并利用分块奇异值分解法提高水印的鲁棒性。该算法解码过程不需要原始图像,但是水印的嵌入量受到特征区域的限制,并对旋转、缩放攻击比较敏感。如何增大嵌入水印的信息量,加强抗旋转、缩放攻击的能力是今后要研究的一个重要方向^[15]。

参考文献:

- [1] GORODETSKI V I, POPYACK L J, SAMOILOV V, et al. SVD-Based Approach to Transparent Embedding Data into Digital Images[C]//International Workshop on Information Assurance in Computer Networks: Methods, Models, and Architectures for Network Security. Springer-Verlag, 2001: 263-274.
- [2] 付文亭, 邓体俊, 陈海生. 小波变换系数奇异值分解数字水印防伪算法[J]. 包装工程, 2015, 36(21): 128—132.
FU Wen-ting, DENG Ti-jun, CHEN Hai-sheng. A Watermarking Algorithm for Security Based on Discrete Wavelet Transform and Singular Value Decomposition[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(21): 128—132.
- [3] KUTTER M, BHATTACHARJEE S K, EBRAHIMI T. Towards Second Generation Watermarking Schemes [C]//Proceedings of International Conference on Image Processing, 1999(1): 320—323.
- [4] BAS P, CHASSERY J M, MACQ B. Geometrically Invariant Watermarking Using Feature Points[J]. IEEE Trans on Image Processing, 2003, 11(9): 1014—1028.
- [5] TANG C P, HANG H M. A Feature Based Robust Digital Image Watermarking Scheme[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2003, 51(4): 950—958.
- [6] 王向阳, 邬俊, 侯丽敏. 一种基于图像特征点的数字水印嵌入方法[J]. 电子学报, 2007, 35(7): 1318—1322.
WANG Xiang-yang, WU Jun, HOU Li-min. Feature-based Digital Image Watermarking Scheme Robust to Geometric Attacks[J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 35(7): 1318—1322.
- [7] WANG Xiang-yang, YANG Yi-ping, YANG Hong-ying. Invariant Image Watermarking Using Multi-scale Harris Detector and Wavelet Moments[J]. Computers and Electrical Engineering, 2010, 36(1): 31—44.
- [8] MONIRUZZAMAN M, HAWLADER M A K, HOSSAIN M F. Robust RGB Color Image Watermarking Scheme Based on DWT-SVD and Chaotic System[C]//International Conference on Software, Knowledge, Information Management and Applications, IEEE, 2015.
- [9] CARONNI G. Walking the Web of Trust[C]//Proc of the 9th IEEE International Workshops on Enabling Technologies: Infrastructure for Collaborative Enterprises. Washington DC: IEEE Computer Society, 2000: 153—159.
- [10] 轩春青, 轩志伟, 张霞, 等. 基于小波变换与奇异值分解的图像盲水印算法[J]. 测试科学与仪器, 2014(2): 31—35.
XUAN Chun-qing, XUAN Zhi-wei, ZHANG Xia, et al. An Image Blind Watermarking Algorithm Based on Wavelet Transform and Singular Value Decomposition[J]. Journal of Measurement Science and Instrumentation, 2014(2): 31—35.
- [11] 张雷洪, 唐波, 李碧程, 等. 基于 DWT-SVD 的强鲁棒全息水印算法研究[J]. 包装工程, 2013, 34(21): 105—109.
ZHANG Lei-hong, TANG Bo, LI Bi-cheng, et al. Strong Robustness Holographic Watermarking Algorithm Based on DWT-SVD[J]. Packaging Engineering, 2013, 34(21): 105—109.
- [12] 孙刘杰, 李晨璐. 基于图像特征区域的加密全息水印算法[J]. 包装工程, 2013, 34(15): 109—113.
SUN Liu-jie, LI Chen-lu. Encrypted Holographic Watermark Algorithm Based on Image Feature Area [J]. Packaging Engineering, 2013, 34(15): 109—113.
- [13] PATEL P, PATEL Y. Secure and Authentic DCT Image Steganography Through DWT-SVD Based Digital Watermarking with RSA Encryption[C]//International Conference on Communication Systems & Network Technologies, IEEE, 2015.
- [14] KAKKIRALA K R, CHALAMALA S R, DHILLON J. A Robust Image Watermarking Using DWT, SVD and Torus Automorphism[C]//IEEE International Conference on Computational Intelligence and Cybernetics, IEEE, 2013: 160—163.
- [15] 沈士喆, 张小龙, 衡伟. 一种自适应阈值的预筛选 Harris 角点检测方法[J]. 数据采集与处理, 2011, 26(2): 207—213.
SHEN Shi-zhe, ZHANG Xiao-long, HENG Wei. Improved Harris Corner Detection Algorithm Based on Auto-adaptive Threshold and Pre-selection[J]. Journal of Data Acquisition & Processing, 2011, 26(2): 207—213.