

基于子块分割的自适应式全盲图像水印算法

刘 炜^{1,2} 程聪聪² 裴孟丽² 余 维^{1,2}

(郑州大学软件与应用科技学院 郑州 450000)¹

(郑州大学互联网医疗与健康服务河南省协同创新中心 郑州 450000)²

摘要 为了提高水印的鲁棒性,文中提出了一种基于子块分割的自适应全盲水印算法 ABWASS。在嵌入水印时,该算法根据宿主特征矩阵嵌入自适应调整后的水印图像,并使用改进的两阶段 DWT 方法在 LH2 子带中融入水印图像的关键信息,从而得到含双重水印的图像;提取水印时,首先分离水印分块方式等关键信息,并通过 DCT 变换获得特征矩阵,进而提取水印图像。由于该方法在获得含有水印的图像时,根据宿主图像对水印进行了微调,并嵌入了原始水印尺寸,因此在提取过程可以实现全盲。实验结果表明,较已有方法,所提算法能够很好地抵抗多数常规攻击和几何攻击,并且在抵抗混合攻击上其性能均得到了提高,最大提升了 2.7%;同时,其还具备较好的水印隐蔽性和实用性。

关键词 数字水印,子块区域分割,全盲检测,自适应

中图分类号 TP309.7 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2018.10.033

Adaptive Blind Watermarking Algorithm Based on Sub-block Segmentation

LIU Wei^{1,2} CHENG Cong-cong² PEI Meng-li² SHE Wei^{1,2}

(School of Software and Applied Technology, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China)¹

(Collaborative Innovation Center for Internet Healthcare, Zhengzhou University, Zhengzhou 450000, China)²

Abstract To improve the robustness of watermarking, this paper proposed an adaptive full-blind watermarking algorithm based on sub-block segmentation (ABWASS). In the embedding of watermark, it embeds the adaptive watermark according to the characteristic matrix of the host image and integrates the key information of the watermark into the LH2 sub-band by using the improved 2-phase DWT, so as to obtain the watermarked image with dual watermarks. In the process of watermark extraction, firstly it separates key information for blocking and then gets the characteristic matrix by DCT to extract the watermark. The embedding of key information for blocking makes this proposed algorithm be a full-blind watermarking. Experimental results show that the proposed algorithm performs well in most conventional attacks and geometric attacks and performs better in all mixed attacks with the maximum increment of 2.7%, and it also has good invisibility and practicability.

Keywords Digital watermarking, Sub-block region segmentation, Fully blind detection, Adaptation

1 引言

在科技快速发展的信息社会,数字信息(数字图像、数字视频和数字音频等)被肆意复制、传播和使用的现象越来越普遍,作品的原创者遭受到巨大的经济损失,由此造成的侵权问题越来越严重,因此作品的版权保护问题越来越重要。数字信息的版权保护技术主要有数字水印技术、数字指纹技术、可信时间戳技术和反盗版技术等,其中鲁棒的数字水印技术是解决数字图像版权问题的主要方法,它是在数字图像中嵌入创建者或者所有者的标识信息,如果发生版权纠纷,提取出嵌入作品

中的水印信息就能够进行版权判别,从而解决侵权问题。

一些水印算法^[1-7]为了增强算法的安全性,对水印信息进行预处理,大多算法采用 Arnold 变换置乱^[1-4]和 Logistic 加密^[3-7]来消除像素之间的空间相关性。文献[5]采用子块区域分割的方法,利用离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT)和奇异值分解(Singular Value Decomposition, SVD)从区域 1 得到水印信息,并采用 Logistic 映射对水印图像进行加密,实现了全盲的数字水印算法,其不仅能够进行版权鉴定,还实现了篡改检测的多功能水印算法,但是在提取水印时必须使用密钥才能进行解密。文献[8]采用分块思想的水印

到稿日期:2018-07-15 返修日期:2018-08-16 本文受河南省基础与前沿技术研究项目(152300410047),河南省高等学校重点科研项目(15A520028),河南省产学研合作项目(182107000053),郑州大学研究生核心学位课程项目(YJSXWKC201540),赛尔网络下一代互联网技术创新项目(NGH20160705)资助。

刘 炜(1981—),男,博士,副教授,CCF 会员,主要研究方向为信息安全、无线网状网络、互联网医疗,E-mail:wliu@zzu.edu.cn;程聪聪(1991—),女,硕士生,主要研究方向为信息安全,E-mail:cccheng@ha.edu.cn;裴孟丽(1993—),女,硕士生,主要研究方向为信息安全,E-mail:mlpei@ha.edu.cn;余 维(1977—),男,博士,副教授,CCF 会员,主要研究方向为信息安全、能源网、互联网医疗,E-mail:wshe@zzu.edu.cn(通信作者)。

算法,通过对水印图像进行 Arnold 变换和无损角度旋转使其与载体图像块达到最大程度的纹理匹配,实现了在不降低水印嵌入强度的条件下提高水印不可觉察性的水印算法;但其在对载体图像进行分块时要求每一块与水印图像的大小相同并且能够正好分块,因此其在实验中采用的是特定大小的载体图像和水印图像,该算法不具有普适性。文献[9]利用图像旋转中低频区域攻击前后 DCT 系数正负性变化较小的特点,通过修改中低频系数的正负性实现了水印的嵌入和水印的盲检测,但其水印为二进制序列,即无意义水印。

现有的自适应的水印算法^[10-14]多是利用人类视觉系统(Human Visual System, HVS)特性^[11-14],如亮度敏感性、频率敏感性、纹理掩蔽特性等,对图像块自适应分配嵌入强度,使算法达到不可感知性和鲁棒性之间的最优平衡。本文为了提高水印鲁棒性并解决用户端和水印算法之间水印图像大小不一致的问题^[8],提出了一种基于子块分割的自适应式全盲水印算法(Adaptive Blind Watermarking Algorithm Based on Sub-block Segmentation, ABWASS),即利用载体图像 DCT 域系数正负不变性的特征实现对有意义水印图像的加密,减少了解密过程中密钥的使用。该算法通过自适应的水印嵌入方法不仅提高了水印的鲁棒性,还解决了用户端和水印算法之间水印图像大小不匹配的问题。

本文第 2 节主要介绍图像水印的相关技术;第 3 节主要介绍数字水印的嵌入和提取过程;第 4 节给出本文算法的实验结果和对比分析;最后总结全文。

2 相关技术

DCT 变换考虑了人类的视觉特性^[6,15-16],图像进行 DCT 变换后得到直流系数 DC 和交流系数 AC 两部分,其中直流系数表示图像的平均亮度,交流系数包括高频系数、中频系数和低频系数。高频系数的绝对值较小;低频系数的绝对值较大,集中了图像的主要能量。人眼对低频部分比较敏感,若将水印信息嵌入到图像的低频部分,则图像的质量会大大降低;若将水印信息嵌入到图像的高频部分,虽然能够保证水印的不可见性,但是水印难以抵抗常规的处理。因此,多数算法会将水印信息嵌入到中低频部分。直流系数 DC 和交流系数 AC 的频带分布如图 1 所示。

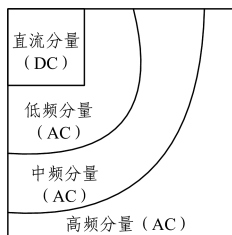


图 1 DCT 系数的频带分布图

Fig. 1 Frequency band distribution of DCT coefficient

小波变换处理图像时对图像进行多分辨率分解^[16-17],进行一级小波分解后图像被分为 4 个原图 1/4 大小的子图:低频子图 LL、水平子图 HL、垂直子图 LH 和对角子图 HH。其中,LL 含有图像的主要能量,HL, LH 和 HH 含有较少的能量,HL 是图像在水平方向的细节, LH 是图像在垂直方向的细节, HH 是图像在对角方向的细节。还可以对 LL 子图进

行多级分解得到更多的子图,如图 2 所示。

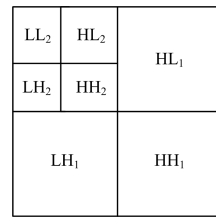


图 2 图像二维小波分解图

Fig. 2 Sub-ban decomposition using 2D-DWT

数字水印根据检测方法分为非盲水印、半盲水印、全盲水印。非盲水印是指在检测水印时需要借助原始图像和水印信息,因此它的应用范围较小;半盲水印是指在检测水印时需要借助水印信息;全盲水印是指在检测时既不需要借助原始图像也不需要借助水印信息,应用范围较广。

在对水印算法进行评估时一般包括两个方面:水印的不可感知性和鲁棒性^[18]。不可感知性是在嵌入水印后观察者的感知系统觉察不到载体信息的变化,包括使用统计方法也无法确认水印处理后的图像中水印的存在,更无法提取其中的水印信息;鲁棒性是指含水印载体在经历常规信号攻击或几何攻击后依然能够检测出水印信息的能力。水印嵌入时可以通过增大水印的嵌入强度来增强水印的鲁棒性,但是这同时降低了水印的不可感知性,因此需要平衡水印的不可感知性和鲁棒性之间的关系。数字水印按照鲁棒性可分为鲁棒水印、脆弱水印、半脆弱水印。鲁棒水印主要用于标识数字作品的著作权,向数字作品中嵌入创建者、所有者或者购买者的标识信息,当发生版权纠纷时维护版权利益;脆弱水印也叫认证水印,主要用于数据的真伪鉴别和完整性鉴定,通过鉴别水印信息的改动检验数据的完整性;半脆弱水印能够抵抗一定程度的常规处理操作,如 JPEG 压缩等,允许图像有一定的改变,能够识别恶意的篡改攻击,实现完整性检验。

评价图像不可感知性的一般准则是峰值信噪比(PSNR),其定义为:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (1)$$

其中, $MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (f'(i, j) - f(i, j))^2$, $f(i, j)$ 和 $f'(x, y)$ 分别表示原始载体图像和含水印后的图像在 (i, j) 处的像素值,一般我们认为 $PSNR = 35$ dB 时图像具有较好的不可见性。归一化相关度(Normalization Correlation, NC)用于评价图像抵抗攻击的鲁棒性,并进行版权鉴别,其定义为:

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \tilde{w}_{i,j} \times w_{i,j}}{\sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N w_{i,j}^2} \sqrt{\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \tilde{w}_{i,j}^2}} \quad (2)$$

其中, $w_{i,j}$ 表示原始版权水印图像在坐标 (i, j) 处的比特值; $\tilde{w}_{i,j}$ 表示提取出的版权水印图像在坐标 (i, j) 处的比特值。一般地, $NC \geq 0.75$ 时就可以确认版权。

本文采用 DCT 和 DWT 相结合的方法来提高水印的鲁棒性和不可感知性,实现自适应的全盲水印算法。

3 基于子块分割的自适应全盲水印算法

3.1 算法描述

本文提出一种新的基于子块分割的自适应式全盲图像水

印算法 ABWASS,该算法通过微调水印图像来实现水印的自适应嵌入。

(1)将载体图像进行不重叠分块,使得改变某一块变换域的系数时对其他块没有影响。

(2)将每个子块通过 DCT 变换到变换域,将变换域的系数矩阵分为不重叠的区域 1 和区域 2,区域 1 用来获得特征矩阵,区域 2 用来嵌入水印信息。对区域 1 进行 DCT 变换,选择其中坐标为 (x,y) 的点,如果其值大于或等于 0,则记为 1,否则记为 0。

(3)由所有子块的区域 1 得到一个值为 0 或 1 的特征矩阵,对特征矩阵和二值的版权图像进行异或加密得到加密后的嵌入信息矩阵,将该矩阵的信息对应嵌入到载体图像的每个子块的区域 2 中,嵌入后进行 IDCT 变换即得到含有水印信息的图像。

(4)因为在加密时要求特征矩阵和水印图像的大小相同,所以本文是根据水印图像的大小对载体图像进行分块的,以使得特征矩阵和水印图像的大小相同。如当载体图像大小为 512×512 ,水印图像为 64×64 时,我们对载体图像进行 $\frac{512}{64} \times \frac{512}{64}$ 即 8×8 大小的分块,最后得到 64×64 块,即得到大小为 64×64 的特征矩阵。

(5)在上述分块过程中会遇到不能恰好分块的情况,如载体图像 I 的大小为 $M \times N$,水印图像的大小为 $t_1 \times t_2$,即当 $\frac{M}{t_1}$ 或 $\frac{N}{t_2}$ 不为整数时不能恰好分块。为了解决这个问题,我们提出一种水印图像调整策略,即将 t_1 调整为 M 的约数中离 t_1 最近的值 m ,同理将 t_2 调整为 N 的约数中离 t_2 最近的值 n ,同时将 t_1 和 t_2 存储起来,用该信息将提取出的水印信息重新调整至原始大小。如当载体图像为 800×600 ,水印图像为 64×64 时,我们将调整水印图像的大小,将其长度改为 800 的约数中最接近 64 的值即 50 ,将其高度改为 600 的约数中最接近 64 的值即 60 ,最后得到大小为 50×60 的版权图像,并且将原始版权图像的大小信息 $(64,64)$ 存储起来。该信息一方面有助于将提取出的水印信息重新调整至原始大小;另一方面可用于水印提取的分块过程(利用原始水印的大小信息就能够确定子块的大小)。嵌入水印图像后我们再将原始水印图像的大小信息当作水印嵌入到载体图像的小波域中,即实现了双重水印^[19-20]。水印嵌入的过程如图 3 所示。

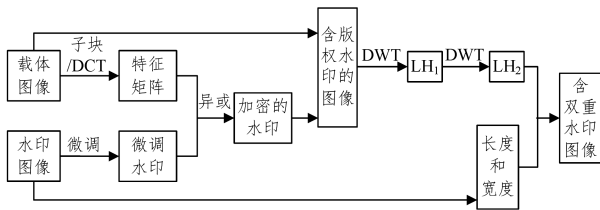


图 3 水印嵌入过程框图

Fig. 3 Block diagram of embedding watermark

以大小为 8×8 的图像子块为例,其中每个小方格表示一个像素。将图像子块分割成不重叠的区域 1 和区域 2 两部分,区域 1 的大小为 3×3 ,其余的为区域 2,如图 4 所示。分为不重叠的两部分是为了保证水印信息嵌入后对从区域 1 中

提取出的特征值不会产生影响。

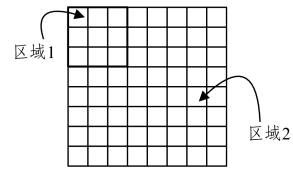


图 4 图像子块区域的分割

Fig. 4 Segmentation of sub-block

3.2 算法步骤

3.2.1 特征矩阵的产生

(1)载体图像 I 的大小为 $M \times N$,水印图像的大小为 $t_1 \times t_2$,如需调整水印大小,则按照上面的调整策略得到大小为 $m \times n$ 的水印图像,将载体图像 I 分为不重叠的大小为 $\frac{M}{m} \times \frac{N}{n}$ 的子块,每个子块记为 $I_{i,j}$,其中 $i=1,2,\dots,m,j=1,2,\dots,n$ 。

(2)对子块 $I_{i,j}$ 进行 DCT 变换得到 DCT 系数矩阵 $I'_{i,j}$, $I'_{i,j}$ 中的前 p 行 q 列组成区域 1,它由图像的直流分量和低频分量组成,剩下的为区域 2。

(3)对区域 1 进行 DCT 变换,选择其中坐标为 (p,q) 的点来得到特征值。如该点的 DCT 系数值大于或等于 0,则特征值 $L_i=1$;否则 $L_i=0$,其中 $i=1,2,\dots,m \times n$,然后将特征值序列 L 转换为大小为 $m \times n$ 的矩阵,记为特征矩阵 L' 。

3.2.2 水印加密

将二值化的版权图像记为 w ,与得到的大小相同的特征矩阵 L' 进行异或加密:

$$w'_{i,j} = w_{i,j} \oplus L'_{i,j} \quad (3)$$

其中, $i=1,2,\dots,m,j=1,2,\dots,n$ 。

3.2.3 水印的嵌入

通过以下方式将 $w'_{i,j}$ 嵌入到对应的每个 DCT 矩阵 $I'_{i,j}$ 的区域 2 中。

$$(1) \text{ 当 } \phi_1 = I'_{i,j}(s_1, r_1) - I'_{i,j}(s_2, r_2) < \beta \text{ 且 } w'_{i,j} = 0 \text{ 时, 令:} \\ I_{i,j}^*(s_2, r_2) = I'_{i,j}(s_2, r_2) - (\beta - \phi_1) / 2 \quad (4)$$

$$I_{i,j}^*(s_1, r_1) = I'_{i,j}(s_1, r_1) + (\beta - \phi_1) / 2 \quad (5)$$

$$(2) \text{ 当 } \phi_2 = I'_{i,j}(s_2, r_2) - I'_{i,j}(s_1, r_1) < \beta \text{ 且 } w'_{i,j} = 1 \text{ 时, 令:} \\ I_{i,j}^*(s_2, r_2) = I'_{i,j}(s_2, r_2) + (\beta - \phi_2) / 2 \quad (6)$$

$$I_{i,j}^*(s_1, r_1) = I'_{i,j}(s_1, r_1) - (\beta - \phi_2) / 2 \quad (7)$$

其中, β 用来控制水印的嵌入强度, s_i 和 r_i 为要嵌入水印信息点的横、纵坐标, $I_{i,j}^*(s_i, r_i)$ 为嵌入水印信息后的 DCT 矩阵中 (s_i, r_i) 处的系数, $i=1,2$,同时需要保证 $s_1 \neq s_2$ 和 $r_1 \neq r_2$ 至少有一个成立。对每个子块 $I_{i,j}^*$ 进行 IDCT 变换后得到嵌入水印后的图像子块 $I_{i,j}'$,最后得到含有水印信息的图像 I'' 。

3.2.4 关键信息的存储

(1)记原始水印图像的长、宽分别为 t_1 和 t_2 ,将其转换为二进制的形式,得到处理后的 ft_1 和 ft_2 。

(2)对 I'' 进行 Haar 小波变换得到 4 个子带 LL_1, LH_1, HL_1, HH_1 ,对 LL_1 子带再进行 Haar 小波变换得到 LL_2, LH_2, HL_2, HH_2 4 个子带,选择中低频子带 LH_2 来嵌入原始水印大小的信息。长度和宽度信息分别嵌入 9 组,记嵌入的位置坐标为 (c_1, j) 和 (c_2, j) ,其中 $c_1 \neq c_2$ 。长宽信息嵌入的位置如图 5 所示。

- 1) 当 $d_1 = LH_2(c_1, j) - LH_2(c_2, j) < \delta$ 且 $ft_{1i} = 0$ 时, 令:
 $LH_2'(c_2, j) = LH_2(c_2, j) - (\delta - d_1)/2$ (8)
 $LH_2'(c_1, j) = LH_2(s_1, r_1) + (\delta - d_1)/2$ (9)
- 2) 当 $d_2 = LH_2(c_2, j) - LH_2(c_1, j) < \delta$ 且 $ft_{1i} = 1$ 时, 令:
 $LH_2'(c_2, j) = LH_2(c_2, j) + (\delta - d_2)/2$ (10)
 $LH_2'(c_1, j) = LH_2(c_1, j) - (\delta - d_2)/2$ (11)

其中, δ 是用来控制嵌入强度的参数。

同理, 采用相同的方法实现宽度信息的嵌入。

(3) 将 LL_2, HL_2, LH_2' 和 HH_2 重构得到 LL_1^* , 再与 HL_1, LH_1, HH_1 子带一起重构得到既含有水印信息又有原始水印大小信息的图像 I^* 。

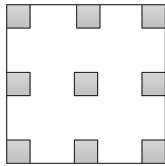


图 5 9 组嵌入的位置

Fig. 5 Nine sets of embedded positions

3.2.5 水印的提取

水印提取是水印嵌入的逆过程, 先从小波域中提取出嵌入的原始水印的长宽信息, 并根据该信息对图像进行分块和 DCT 变换, 从 DCT 域中提取出水印图像, 然后利用前面提取的原始水印的长宽信息重新调整水印大小, 从而得到提取的目标水印。水印提取的过程如图 6 所示。

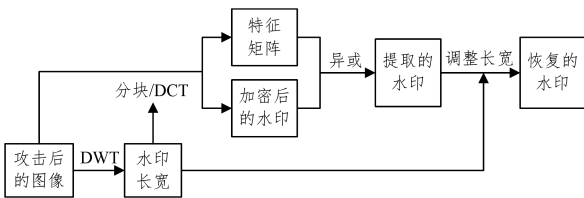


图 6 水印提取过程框图

Fig. 6 Block diagram of extracting watermark

(1) 记被攻击的图像为 G , 对其进行 Haar 小波变换得到 4 个子带 $LL_1', LH_1', HL_1', HH_1'$, 再对子带 LL_1' 进行小波变换得到 4 个子带 LL_2', LH_2', HL_2' 和 HH_2' , 选择其中的中低频子带 LH_2' 来提取水印长宽信息。记提取出的长度值为 ft_{1i}' , 则:

$$ft_{1i}' = \begin{cases} 1, & LH_2'(c_2, j) \geq LH_2'(c_1, j) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (12)$$

如果提取出的值中有 $\frac{2}{3}$ 都相同, 则确定该值为原始水印图像的长度值。同理, 得到水印的宽度值 ft_{2i}' , 并将其转换为十进制的形式 t_{1i}' 和 t_{2i}' 。

(2) 找到 G 的大小 M, N 约数中离 t_{1i}' 和 t_{2i}' 最近的值并记为 m' 和 n' , 将 G 分为不重叠的大小为 $\frac{M}{m'} \times \frac{N}{n'}$ 的子块, 每个子块记为 $G_{i,j}$, 其中 $i = 1, 2, \dots, m', j = 1, 2, \dots, n'$ 。

(3) 对子块 $G_{i,j}$ 进行 DCT 变换得到 DCT 系数矩阵 $G'_{i,j}$, $G'_{i,j}$ 中的前 p 行 q 列组成区域 1 即 $G'_{1,i,j}$, 记其余的为区域 2。

(4) 再对区域 1 进行 DCT 变换, 选择其中坐标为 (p, q) 的系数来获得特征值。如果该点的 DCT 系数值大于或等于 0, 则特征值 $L_i^* = 1$; 否则 $L_i^* = 0 (i = 1, 2, \dots, m' \times n')$, 并将特征

值序列 L^* 转换为大小为 $m' \times n'$ 的特征矩阵, 记为 $L^{*'}$ 。

(5) 从区域 2 中提取出嵌入水印:

$$w_{i,j}^* = \begin{cases} 1, & G'_{i,j}(s_2, r_2) \geq G'_{i,j}(s_1, r_1) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (13)$$

(6) 提取出版权图像:

$$w_{i,j}^c = w_{i,j}^* \oplus L_i^* \quad (14)$$

(7) 根据长 t_{1i}' 、宽 t_{2i}' 和 Matlab 中的 imresize 函数调整 w^c , 得到恢复的版权图像 W' 。

4 仿真实验与分析

本节利用 Matlab 2014b 实现了本文算法, 采用 512×512 的灰度图像 Goldhill 和 Lena, 188×49 的二值水印图像进行实验。按照图像调整策略将水印图像的大小调整为 128×64 , 如图 7 所示。将载体图像分为大小为 $\frac{512}{128} \times \frac{512}{64}$ 即 4×8 的子块, 则一共有 128×64 个子块。对每个子块进行 DCT 变换, 对于 4×8 大小的图像, 其前 4 行 4 列的坐标为 $(4, 1)$ 和 $(4, 3)$ 的点为图像的中低频部分, 选择这两个点来嵌入信息, 即 (s_1, r_1) 为 $(4, 1)$, (s_2, r_2) 为 $(4, 3)$ 。



(a) 原始水印

(b) 调整后的水印

图 7 水印图像

Fig. 7 Image of watermark

4.1 不可感知性分析

为了评估水印的不可见性, 本文选择载体图像 Goldhill 和 Lena, 如图 8 和图 9 所示。当 $\beta = \delta = 30$ 时图像的 PSNR 分别为 35.0443 和 35.7392, 实验结果表明 AFWASS 具有较好的不可见性。



(a) 原始载体图像

(b) 嵌入水印后的载体图像

图 8 Goldhill 图像

Fig. 8 Image of Goldhill



(a) 原始载体图像

(b) 嵌入水印后的载体图像

图 9 Lena 图像

Fig. 9 Image of Lena

4.2 鲁棒性分析

为检测鲁棒性, 本文测试了一些常规攻击和几何攻击。

图 10 给出了选取的一些测试攻击。图 10(a)表示窗口大小为 3×3 , $\delta=1$ 的高斯滤波;图 10(b)表示均值为 0、方差为 0.0003 的高斯噪声;图 10(c)表示剪切左上角的 1/8;图

10(d)表示随机删除两列;图 10(e)表示混合攻击(JPEG40%+中心剪切 1/16)。实验结果表明,ABWASS 能够很好地提取被攻击图像中的水印图像。



图 10 攻击后的图像、初步提取出的水印和恢复的水印

Fig. 10 Attacked image, preliminarily extracted watermark and restored watermark

4.3 实验结果分析

将本文算法与文献[3]和文献[5]的算法进行抗攻击鲁棒性比较,表 1 列出了单一攻击后提取水印和原始水印的 NC 值,表 2 列出了混合攻击后提取水印和原始水印的 NC 值。由表 1 可知,对于单一攻击,除了椒盐噪声和随机删除外,ABWASS 表现出了比文献[3]中的算法更强的鲁棒性;除了

JPEG 压缩和随即删除外,ABWASS 优于文献[5]中的算法。由表 2 可知,对于混合攻击,ABWASS 具有更好的鲁棒性。另外,本文使用从载体图像中提取的特征对水印进行加密,避免了以往水印加密过程中密钥的引入,同时也解决了基于子块水印的算法中水印图像和水印算法之间大小不匹配的问题,通用性较好,实现的有意义水印的应用范围更广。

表 1 Goldhill 图像抗单一攻击的实验结果

Table 1 Results of Goldhill anting single attack

	高斯滤波		中值滤波		高斯噪声		椒盐噪声	
	窗口大小 3×3		窗口大小 3×3		均值=0,方差=0.0001/0.0003		密度=0.001/0.003	
REN ^[3]	0.9600	0.9132	0.9920	0.9824	1.0000	0.9941	0.9941	0.9848
YE ^[5]	0.9652	0.9449	1.0000	1.0000	0.9933	0.9848	0.9968	0.9911
ABWASS	0.9723	0.9486	1.0000	0.9999	0.9968	0.9911		
	JPEG 压缩			左上角剪切		随机删除		
	80	60	40	1/16	1/8	1 列	2 列	
REN ^[3]	0.9574	—	—	0.9740	—	0.9995	0.9989	
YE ^[5]	1.0000	1.0000	1.0000	0.9756	0.9489	0.9964	0.9796	
ABWASS	0.9998	0.9994	0.9857	0.9974	0.9910	0.9854	0.9684	

表 2 Goldhill 图像抗混合攻击的实验结果

Table 2 Results of Goldhill anting mixed attacks

	JPEG40+ 中心剪切 1/16	JPEG70+ 随机删除 1 列	高斯滤波+ 椒盐噪声	高斯噪声+ 椒盐噪声
YE ^[5]	0.9676	0.9971	—	—
ABWASS	0.9875	0.9985	0.9584	0.9896

结束语 本文以 DCT 域系数的特征和分块的方法为基础,提出了一种新的基于子块分割的自适应式全盲图像水印算法。该算法采用自适应的水印嵌入方法,通过较小程度地调整水印图像实现了水印的自适应嵌入,解决了用户端和水印算法之间水印图像大小不匹配的问题,应用范围更为广泛。实验结果表明,该算法能够较好地抵抗高斯滤波、中值滤波、椒盐噪声、剪切等常见攻击,并且对混合攻击也具有较强的抵抗能力,可以有效保护版权,具有很大的实用价值。但是,水印的不可见性不太理想,今后将进行进一步的研究。

参考文献

- [1] GAUR S, SRIVASTAVA V K. Robust embedding of improved Arnold transformed watermark in digital images using RDWT - SVD[C]// Fourth International Conference on Parallel, Distributed and Grid Computing(IEEE). 2017:563-568.
- [2] DONG S, LI J, LIU S. Frequency domain digital watermark algorithm implemented in spatial domain based on correlation coefficient and quadratic DCT transform[C]// International Conference on Progress in Informatics and Computing (IEEE). 2017:596-600.
- [3] REN K Q, ZANG D D, WU F. Adaptive Robust Image Watermarking Based on DCT and Hamming Code[J]. Opto-Electronic Engineering, 2016, 43(11): 54-61. (in Chinese)
任克强, 张丹丹, 吴帆. 融合 DCT 和汉明码的自适应鲁棒图像水印[J]. 光电工程, 2016, 43(11): 54-61.

- and non-variational multigrid algorithms for the laplace-beltrami operator[J]. *Mathematics of Computation*, 2011, 81(279): 1263-1288.
- [15] REN Z H, WANG J, GAO Y L. The global convergence analysis of particle swarm optimization algorithm based on Markov Chain[J]. *Control Theory and Applications*, 2011, 28(4): 462-466. (in Chinese)
任子晖, 王坚, 高岳林. 马尔科夫链的粒子群优化算法全局收敛性分析[J]. *控制理论与应用*, 2011, 28(4): 462-466.
- [16] CLEGHORN C W, ENGELBRECHT A P, et al. Particle swarm variants: standardized convergence analysis[J]. *Swarm Intelligence*, 2015, 9(2/3): 1935-3812.
- [17] DANTAS A F O D A, MAITELLI A L, et al. A Modified Matricial PSO Algorithm Applied to System Identification with Convergence Analysis[J]. *Journal of Control, Automation and Electrical Systems*, 2015, 26(2): 149-158.
- [18] NING A P, ZHANG X Y. Convergence analysis of artificial bee colony algorithm [J]. *Control and Decision*, 2013, 28(10): 1554-1558. (in Chinese)
宁爱平, 张雪英. 人工蜂群算法的收敛性分析[J]. *控制与决策*, 2013, 28(10): 1554-1558.
- [19] KONG X Y, LIU S Y, WANG Z. Almost sure convergence of artificial bee colony algorithm: martingale method[J]. *Computer Science*, 2015, 42(9): 246-248. (in Chinese)
孔翔宇, 刘三阳, 王贞. 人工蜂群算法的几乎必然收敛性: 鞅方法[J]. *计算机科学*, 2015, 42(9): 246-248.
- [20] ZHU G, KWONG S. Gbest-guided artificial bee colony algorithm for numerical function optimization[J]. *Applied Mathematics and Conference on Computation*, 2010, 217(2): 3166-3177.
- [21] 陈爱江, 张文良. 概率论与数理统计[M]. 北京: 中国质检出版社, 2011.
- (上接第 182 页)
- [4] SU Q, CHEN B. A novel blind color image watermarking using upper Hessenberg matrix[J]. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, 2017, 78: 64-71.
- [5] YE T Y. Perfectly blind image watermarking scheme with multi-purpose based on region segment for sub-block and self-embedding technology[J]. *Journal on Communications*, 2013, 34(3): 148-156. (in Chinese)
叶天语. 基于子块区域分割和自嵌入技术的全盲多功能图像水印算法[J]. *通信学报*, 2013, 34(3): 148-156.
- [6] SINGH D, SINGH S K. DWT-SVD and DCT based robust and blind watermarking scheme for copyright protection[J]. *Multi-media Tools & Applications*, 2017, 76(1): 13001-13024.
- [7] HE H J, ZHANG J S. Chaos-based scramble self-embedding watermarking algorithm [J]. *Journal on Communications*, 2006, 27(7): 80-86. (in Chinese)
和红杰, 张家树. 基于混沌置乱的分块自嵌入水印算法[J]. *通信学报*, 2006, 27(7): 80-86.
- [8] ANDALIBI M, CHANDLER D M. Digital Image Watermarking via Adaptive Logo Texturization[J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2015, 24(12): 5060-5073.
- [9] SHANG F, WANG H Q, ZHAO M. A Watermarking Algorithm against Rotation Based on DCT [C] // *Proceedings of CIHW*. 2010. (in Chinese)
尚飞, 王慧琴, 赵敏. DCT 域抗旋转攻击水印算法 [C] // 全国信息隐藏暨多媒体信息安全学术大会. 2010.
- [10] SHI H, LI M, FANG L. A robust digital image watermarking based on adaptive multifunctional scheme[J]. *Optik-International Journal for Light and Electron Optics*, 2015, 126(7/8): 804-812.
- [11] UPADHYAY A, DAVE M. Robust and imperceptible color image watermarking for telemedicine applications [C] // *International Conference on Computing, Communication and Automation (IEEE)*. 2017: 1104-1109.
- [12] HAMID M, WANG C. A simple image-adaptive watermarking algorithm with blind extraction [C] // *International Conference on Systems, Signals and Image Processing (IEEE)*. 2016: 1-4.
- [13] LOGANATHAN A, KALIYAPERUMAL G. An adaptive HVS based video watermarking scheme for multiple watermarks using BAM neural networks and fuzzy inference system [M]. Oxford: Pergamon Press, 2016.
- [14] ZHU G, ZHANG J L. Adaptive robust watermarking algorithm based on SVD and wavelet packet transform [J]. *Application Research of Computers*, 2013, 30(4): 1230-1233. (in Chinese)
朱光, 张军亮. 基于 SVD 和小波包分解的自适应鲁棒水印算法 [J]. *计算机应用研究*, 2013, 30(4): 1230-1233.
- [15] LIU S, PAN Z, SONG H. Digital image watermarking method based on DCT and fractal encoding [J]. *Iet Image Processing*, 2017, 11(10): 815-821.
- [16] PATIL H M, RINDHE B U. Study and overview of combined NSCT-DCT digital image watermarking [C] // *International Conference on Global Trends in Signal Processing. Information Computing and Communication (IEEE)*, 2017: 302-307.
- [17] FATHIMA N K, CHITRA P. A robust encryption and digital watermarking scheme for dicom images using quaternions and DWT-SVD [C] // *Online International Conference on Green Engineering and Technologies (IEEE)*. 2017: 1-6.
- [18] WANG X Y, LI L, LI H F, et al. A Blind Watermark Decoder in DT CWT Domain using Multivariate Bessel K Form Distribution [J]. *Chinese Journal of Computers*, 2017, 40: 1-15. (in Chinese)
王向阳, 李丽, 李海芳, 等. 基于二元 BKF 统计建模的双树复数小波域数字水印检测算法 [J]. *计算机学报*, 2017, 40: 1-15.
- [19] WANG D C, TIAN C C, CHEN B J. Dual watermarking for color images based on 4D quaternion frequency domain [J]. *Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition)*, 2015, 45(4): 1336-1346. (in Chinese)
王定成, 田翠翠, 陈北京. 基于四维四元数频域的彩色图像双重水印算法 [J]. *吉林大学学报(工学版)*, 2015, 45(4): 1336-1346.
- [20] LIU X L, LIN C C, YUAN S M. Blind dual watermarking for color images' authentication and copyright protection [J]. *IEEE Transactions on Circuits & Systems for Video Technology*, 2016, PP(99): 1