

文章编号: 1004-4353(2017)02-0179-05

基于图像归一化与扩频技术的 DCT 零水印算法

杨振仁, 李德*

(延边大学工学院 计算机科学与技术学科 网络与信息安全研究室, 吉林 延吉 133002)

摘要: 提出了一种基于图像归一化技术和扩频技术的离散余弦变化零水印方案. 首先, 分别采用 Arnold 置乱技术和扩频技术对零水印图像进行处理, 以提高水印图像的安全性和鲁棒性; 其次, 使用图像归一化技术对载体图像进行处理, 将处理后的载体图像分成若干块, 并对每个小块进行 DCT 变换; 最后, 把由每个小块的第一个 DCT 系数所组成的系数矩阵作为零水印嵌入位置. 实验表明, 本文提出的算法对仿射变换、JPEG 压缩、噪声和图像亮度变化等攻击具有很好的鲁棒性.

关键词: 零水印; 数字图像归一化; 扩频技术; DCT 变换

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

A DCT zero-watermark scheme based on image normalization and spread spectrum

YANG Zhenren, LI De*

(*Network and Information Security Lab., Dept. of Computer Science & Technology,
College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China*)

Abstract: This paper proposes a DCT zero-watermark scheme based on image normalization and spread spectrum technology. First, using Arnold scrambling technology and spread spectrum technology to process the zero-watermark image. Second, using image normalization technology to process the carrier image and dividing it into several blocks, DCT transform will be performed on each block. Third, choosing the first DCT coefficient of each block, which can consist of a coefficient matrix, to be the position of embedding zero-watermark image. Experiment results show that the algorithm is robust to affine transform, noising attack, intensity roughness and JPEG compression attacks.

Keywords: zero-watermark; image normalization; spread spectrum; discrete cosine transform

0 引言

随着信息技术和多媒体技术的飞速发展, 数字多媒体产品的版权保护变得越来越重要. 在数字图像版权保护的相关技术中, 数字水印技术是一种有效的方法之一. 数字水印是一种把作者的水印信息隐藏到载体(如图像)中的技术, 隐藏的

水印信息能够证明图像的归属问题. 传统水印算法大致分为两类: 频域水印算法和空域水印算法. 为达到嵌入水印的目的, 这两类的算法或多或少都需要对载体图像的频域或空域信息进行修改, 如果修改的强度过大, 会导致水印的不可感知性降低; 如果修改的强度过小, 则会导致水印的鲁棒性降低. 针对这一问题, 温泉等^[1]提出了零水印技

收稿日期: 2016-12-23

* 通信作者: 李德(1972—), 男, 博士, 教授, 研究方向为信息安全、版权保护.

术,该技术不修改图像的任何数据,只是利用图像的特征来产生水印信息,因此零水印技术具有很强的不可感知性和鲁棒性. 目前,零水印技术仍处在探索的阶段,现有的技术难点主要有: ① 如何产生比载体媒体更小的水印来证明媒体的版权; ② 如何才能使水印具有更高的鲁棒性; ③ 如何提高水印的唯一辨识度. 2010 年赵星阳等^[2]提出的基于 SIFT 特征的数字图像零水印算法,2009 年何冰等^[3]提出的基于 Contourlet 变换的抗旋转攻击零水印算法,这两种算法都较好地解决了水印的鲁棒性与不可感知性之间的矛盾. 基于前人研究,本文提出一种基于 DCT 变换的零水印算法,并在水印的图像处理上应用了图像置乱技术和扩频技术,实验结果表明该算法具有较强实用性,且在唯一性和鲁棒性方面表现良好.

1 相关理论分析

1.1 图像归一化技术

图像归一化^[4]是利用图像的不变矩寻找一组参数,使其能够消除其他变换函数对图像变换的影响,将待处理的载体图像转换成相应的唯一标准形式,该标准形式的图像对平移、旋转、缩放等仿射变换具有不变特性. 图像不变矩的描述如下:

一副数字图像 $f(x,y)$ 的二维 $(p+q)$ 阶矩定义为 m^{pq} :

$$m^{pq} = \sum_x \sum_y x^p y^q f(x,y), \tag{1}$$

其中 $p,q=0,1,2,\cdots$. 相应图像的中心矩定义为

$$\mu^{pq} = \sum_x \sum_y (x-\bar{x})^p (y-\bar{y})^q f(x,y), \tag{2}$$

其中 (\bar{x},\bar{y}) 是图像的质心, $\bar{x}=\frac{m_{10}}{m_{00}}$, $\bar{y}=\frac{m_{01}}{m_{00}}$. 归一化 $(p+q)$ 阶中心矩定义为

$$\eta_{pq} = \frac{\mu_{pq}}{\mu_{00}^\gamma}, \tag{3}$$

其中 $\gamma=(p+q)/2+1$. 本文构造了两个对正交变换具有不变性的矩:

$$\varphi_1 = (\eta_{2,0} - \eta_{0,2})^2 + 4\eta_{1,1}^2, \tag{4}$$

$$\varphi_2 = (\eta_{3,0} - 3\eta_{1,2})^2 + (\eta_{0,3} - 3\eta_{2,1})^2. \tag{5}$$

由于缩放变换、旋转变换和翻转变换都可以被看作是正交变换,所以 φ_1 和 φ_2 对这 3 种几何变换均有不变性. 图像归一化处理前后的图像如图 1 所示.



(a)原图像 (b)归一化后的图像

图 1 原图像和归一化后的图像

1.2 Arnold 置乱

数字图像置乱^[5]是根据某一规则、某些特定变换及一些数学性质对图像进行扰乱,以改变像素的排序或者颜色分布等,即把原图像变成一幅新的图像,这个新的图像看起来和原图像毫无关联. 数字图像置乱有其逆过程,即可以把置乱后的图像恢复成原图像,因此数字图像置乱可应用在水印中^[6]. Arnold 变换^[7]是一种常用的图像变换技术,又被称作猫脸变换,它可以把图像中各像素点的位置进行置换,使其达到加密的目的. 由于该方法具有置乱程度高、易于实现等优点,因此本文采用 Arnold 变换技术对水印图像进行处理^[8]. 一副 $N\times N$ 的数字图像的二维 Arnold 变换可写为

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \pmod{N}, \tag{6}$$

其中 $x,y\in\{0,1,2,\cdots,N-1\}$ 表示变换前像素的位置, x',y' 表示变换之后的像素位置, mod 为模运算. 经过 Arnold 变换之后图像的像素位置会重新排列,这样图像会显得杂乱无章. 恢复原图像 (Arnold 逆变换) 的公式为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} \pmod{N}, \tag{7}$$

其中 x,y 表示变换前像素的位置, x',y' 表示变换之后的像素位置, mod 为模运算. 变换前后的图像如图 2 所示.



(a)原图像 (b)置乱后的图像

图 2 原图像和置乱后的图像

1.3 扩频技术

扩频技术^[9]是用以信道的带宽来换取信噪比,即把信号能量扩展到一个很宽的频带内,从而得到很低的信噪比,这样就使得信号的检测、解释或干扰变得困难,该技术能大大增强水印的鲁棒性.常用的扩频技术为直接序列扩频编码^[10],该方法是用一个已知速率的最大长度码片乘以源信号来扩大源信号,并在扩频信息的编码过程和解码过程中使用相同的密钥.直接序列系统如图 3 所示.扩频时,用密钥(如图 4(b)所示)把信源(如图 4(a)所示)调制成扩频序列(如图 4(c)所示).

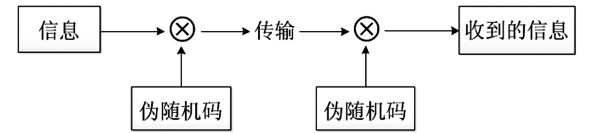


图 3 直接序列系统框图

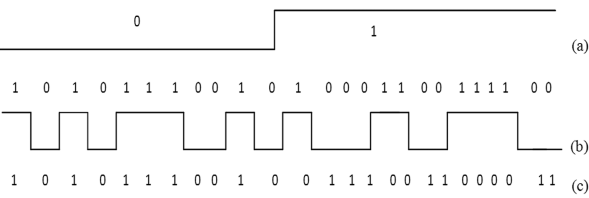


图 4 直接序列扩频示意图

2 算法设计

本文的水印图像为 32×32 的二值图像.设计算法时,首先对水印图像进行 Arnold 置乱,然后选择合理参数和初始值将其扩频成 64×64 的矩阵,如图 5 所示.

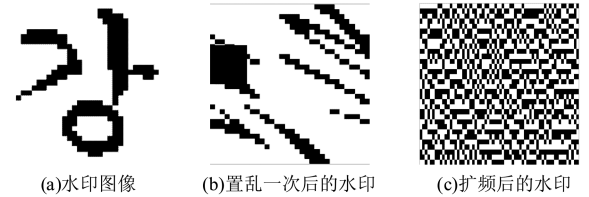


图 5 水印预处理

采用图像归一化技术对载体图像进行处理,然后把处理后的载体图像分成 64×64 个小块,并对每个小块进行 2D-DCT 变换.由图像 DCT 变换的特性知,DCT 变换后的第一个系数所代表的特征最为突出,所以取每个小块的第一个 DCT 系数组成一个新的 64×64 系数矩阵.载体图像特

征提取如图 6 所示.

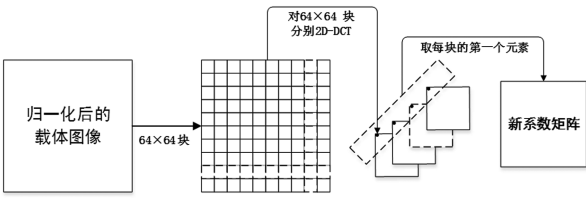


图 6 载体图像特征提取

2.1 水印嵌入过程

水印的嵌入过程主要分为两部分,即分别对载体图像和水印图像进行处理,如图 7 所示.水印嵌入的具体步骤如下:

步骤 1 水印图像预处理.①选取 32×32 像素的二值图像用作水印;②对水印图像进行 Arnold 置乱,然后将矩阵转换为序列;③选择合适的参数和初值来产生一个混乱序列,并将其元素转换成 0 或 1;④把②产生的序列与③产生的混沌序列进行异或运算产生一个新的序列;⑤把④的结果进行扩频调制,并将其转换为 64×64 阶的矩阵.

步骤 2 载体图像预处理.①选取一个 512×512 像素的灰度图像作为载体图像;②将载体图像分成 64×64 个小块,将每个小块 DCT 变换后的第一个系数组成一个 64×64 新矩阵,并将其平均零一化,由此生成特征矩阵.

步骤 3 水印嵌入.把步骤 1 的结果与步骤 2 的结果进行异或运算即可产生零水印,然后将水印在 IPR 信息数据库注册.

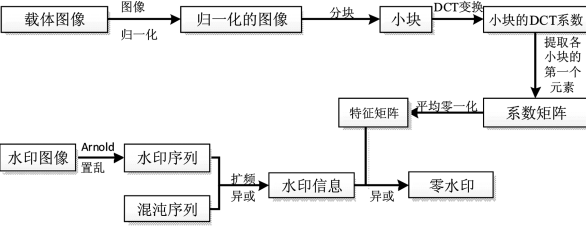


图 7 水印的嵌入过程

2.2 水印提取过程

水印提取过程其实就是水印嵌入过程的逆过程,如图 8 所示.水印提取的具体步骤如下:

步骤 1 目标图像的预处理.将目标图像分成 64×64 个小块,DCT 变换处理每一块后,提取每个小块的第一个系数组成新的矩阵,最后将其

平均零一化,由此生成特征矩阵.

步骤 2 水印提取. ①把零水印与步骤 1 得到的特征矩阵进行异或运算,得到新的矩阵,然后将其转换成序列;②把步骤 1 的结果与混沌序列进行异或运算产生水印序列;③将水印序列进行 Arnold 逆变换处理,由此得到水印.

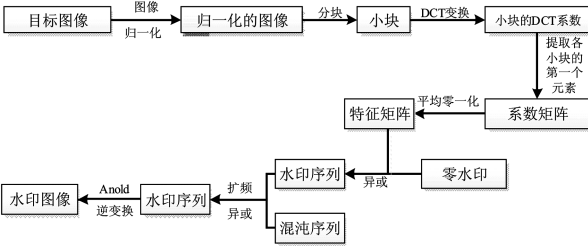


图 8 水印提取过程

3 实验结果及分析

仿真实验的平台为 Windows10,程序开发环境为 Matlab 2014a,水印图像为一个 32×32 的二值图像,载体图像为 512×512 的 lena 灰度图像,如图 9 所示. 由于本文采用扩频技术来处理水印图像,故采用误比特率 BER 来衡量水印的提取质量.

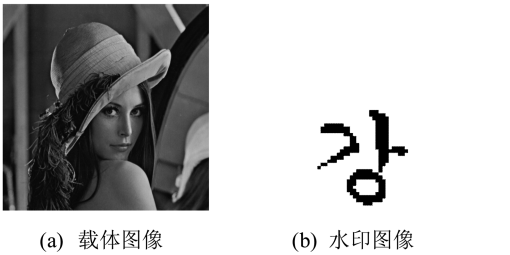


图 9 载体图像和水印图像

3.1 仿射变换攻击

分别对载体进行旋转攻击和缩放攻击,如表 1 所示. 从表 1 可看出,旋转攻击和放大 2 倍后的 BER 为 0,缩小到 0.125 倍后的 BER 为 0.003 9,但仍然能够很清晰地识别出水印图像,这表明该算法具有很强的抗旋转攻击能力和较强的抗缩放攻击能力.

3.2 JPEG 压缩攻击

选择不同的质量因子对目标图像进行压缩,如表 2 所示. 从表 2 可看出,除质量因子为 0 的压缩攻击之外,其余皆无影响,这表明该算法具有较强的抗 JPEG 压缩攻击能力.

表 1 仿射变换攻击

	旋转攻击		缩放攻击	
	逆时针旋转 30°	逆时针旋转 90°	放大 2 倍	缩小到 0.125 倍
攻击后的图像				
提取出的水印	강	강	강	강
BER	0	0	0	0.003 9

表 2 JPEG 压缩攻击

压缩选用的质量因子	70	50	30	10	0
BER	0	0	0	0	0.002

3.3 剪切攻击

对载体图像进行不同程度的剪切攻击,如表 3 所示. 从表 3 可看出,随着剪切幅度的增大,BER 越来越大,水印图像辨识度随之降低,这表明该算法具有一定的抗剪切攻击能力.

3.4 噪声攻击

对载体图像分别进行不同程度的噪声攻击和椒盐噪声攻击,如表 4 所示. 从表 4 可看出,两种噪声攻击对水印图像的影响较低,BER 值都很小,这

表明该算法具有较强的抗噪声攻击的能力.

表 3 剪切攻击

攻击程度	剪切 10%	剪切 20%	剪切 30%
攻击后的图像			
提取出的水印	강	강	강
BER	0.043 9	0.105 5	0.184 6

3.5 图像亮度变化攻击

对载体图像进行亮度变化攻击,结果如表 5 所示.从表 5 可看出,图像的亮度变化对水印的提

取有一定影响,但影响很小,仍然能很清晰地辨别水印图像,这表明该算法具有较好的抗亮度变化的能力.

表 4 噪声攻击













	高斯噪声		椒盐噪声	
	0.05	0.1	0.05	0.1
攻击后的图像				
提取出的水印				
BER	0.006 8	0.008 8	0	0.002 9

表 5 图像亮度变化攻击

攻击类型	变暗	变亮
攻击程度	-30	30
攻击后的图像		
提取出的水印		
BER	0.012 7	0.011 7

4 结论

本文提出了一种基于图像归一化技术和扩频技术的离散余弦变化零水印方案.实验表明,本文提出的算法对仿射变换、JPEG 压缩、噪声和图像亮度变化等攻击具有很好的鲁棒性,但在抵抗剪切攻击方面稍有不足,仍需要进一步研究解决,以完善本文算法.

参考文献:

[1] 温泉,孙锁锋,王树勋. 零水印的概念与应用[J]. 电子学报,2003,2(2):214-216.
[2] 赵星阳,孙继银. 一种基于 SIFT 特征的数字图像零

水印算法[J]. 计算机应用研究,2010,27(4):1517-1520.
[3] 何冰,王晖,赵杰,等. 基于 Contourlet 变换的抗旋转攻击零水印算法[J]. 计算机应用,2009,29(3):128-129.
[4] 杨政武,方涛. 基于 Zernike 矩的图像归一化技术的研究[J]. 计算机工程,2004,30(12):34-36.
[5] 邵利平. 数字图像置乱技术[M]. 北京:科学出版社,2016.
[6] 邹长华,谭世恒,林土胜,等. 基于混沌置乱和混沌加密的 DCT 域数字水印算法[J]. 微电子学与计算机,2011,28(5):58-62.
[7] 丁玮,闫伟齐,齐东旭. 基于 Arnold 变换的数字图像置乱技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报,2001,13(4):338-341.
[8] Wang H Q, Hao J C, Cui F M. Colour image watermarking algorithm based on the Arnold transform[J]. IEEE, 2010,1:66-69.
[9] 吴胜兵,张定会,李兴林. 基于扩频调制和多水印的非对称水印算法[J]. 数据通信,2015,2(2):34-37.
[10] Li X, Yu C, Hizlan M, et al. Physical layer watermarking of direct sequence spread spectrum signals [C]//Military Communications Conference (MILCOM), San Diego, 2013:476-481.