

文章编号:1004-1478(2011)05-0048-05

# 一种基于 Arnold 和量化的 DCT 域盲水印算法

宋苏宇<sup>1</sup>, 何振<sup>2</sup>, 吕书林<sup>2</sup>

(1. 河南省信息中心, 河南 郑州 450001;  
2. 郑州轻工业学院 计算机与通信工程学院, 河南 郑州 450002)

**摘要:**提出了一种基于 Arnold 和量化的 DCT 域盲水印算法:水印嵌入前先进行 Arnold 混沌置乱,以减少像素间的相关性并提高水印的安全性;嵌入时,根据待嵌入的水印位的值而采用不同的方法对子块中频系数进行量化;提取时,根据嵌入水印的系数的特性,提取出水印,水印提取过程不需要原始图像的参与,实现了盲提取.实验证明,该算法对于常见的攻击具有很好的鲁棒性和不可见性.

**关键词:**Arnold 置乱;DCT 域;盲水印算法

**中图分类号:**TP309.2 **文献标志码:**A

## A DCT domain blind watermarking algorithm based on Arnold and quantification

SONG Su-yu<sup>1</sup>, HE Zhen<sup>2</sup>, LV Shu-lin<sup>2</sup>

(1. He'nan Infor. Center, Zhengzhou 450001, China;  
2. College of Comp. and Com. Eng., Zhengzhou Univ. of Light Ind., Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** A DCT domain blind watermarking algorithm was proposed based on Arnold and quantification. Firstly Arnold chaotic scrambling to the watermarking is conducted before the embedding to reduce the correlation between pixels and improve the security of the watermarking; then according to the bit values of watermarking which is to be embedded, different methods are used to quantize the frequency coefficient of each sub-block; and then based on the coefficient characteristics of embedding watermarking, the watermarking is extracted in which the watermarking extraction process does not require the original image so as to achieved the blind extraction. Numbers of experiments show that the algorithm has good robustness and transparency in cope with common attacks.

**Key words:** Arnold scrambling; DTC domain; blind watermarking algorithm

## 0 引言

随着计算机技术和网络技术的飞速发展,数字作品的信息安全和版权保护成为迫切需要解决的

实际问题.作为对数字作品提供有效保护的重要手段,数字水印技术成为学术界的研究热点之一<sup>[1]</sup>.数字水印<sup>[2]</sup>是一种信息隐藏技术,它可在网络开放的环境下实现数字产品的版权保护、跟踪盗版行

收稿日期:2011-04-20

基金项目:国家科技支撑计划项目(2006BAK01A38);河南省科技计划项目(102102310030)

作者简介:宋苏宇(1963—),男,河南省郑州市人,河南省信息中心高级工程师,主要研究方向为图像处理、计算机网络.

为. 数字水印通过特殊的算法在数字图像、音频和视频等数字产品中嵌入一定的秘密信息,再通过一定的技术提取标志性信息,从而达到防伪或验证版权的目的.

目前,数字水印方面已提出了很多优秀的算法,按嵌入区域的不同,可分为时空域算法和变换域算法<sup>[3]</sup>. 时空域算法嵌入的信息量小,鲁棒性差,因此近年来的水印研究大都集中在变换域算法上. 常用的变换域有离散傅里叶变换(DFT)、离散余弦变换(DCT)以及离散小波变换(DWT)等. 在这几种变换中,二维 DCT 变换是目前最常用的有损数字图像压缩系统 JPEG 的核心,其技术成熟,在 DCT 域嵌入水印,对 JPEG 和 MPEG 压缩有较强的健壮性<sup>[4]</sup>. 数字水印算法根据提取时是否需要原始载体图像的参与,又可分为非盲水印算法和盲水印算法. 盲水印算法因为具有提取水印简单且鲁棒性强等优点,是目前研究的热点<sup>[5]</sup>. 数字水印算法根据水印嵌入方式的不同,又可区分为加性算法、乘性算法、位平面算法、统计特性算法、半色调算法、量化算法、替换算法、基于关系的算法、自适应算法和非自适应算法<sup>[6-14]</sup>等. 本文拟根据大量文献所提技术的特点和 Arnold 混沌置乱的优势,提出一种基于 Arnold 和量化的 DCT 域盲水印算法,以增强数字水印的安全性、鲁棒性和不可见性.

## 1 基于 DCT 域的盲水印算法

### 1.1 水印的产生

当含水印的图像受到攻击时,图像的某一部分通常会遭到损坏或丢失(例如剪切),所嵌入的水印图像也可能遭到损坏或丢失. 为了增强嵌入水印的鲁棒性,需对原始二值图像先进行置乱处理. 本算法使用 Arnold 置乱<sup>[15]</sup>,水印图像经 Arnold 置乱处理后再嵌入到载体图像中,当对提取出的水印图像进行反置乱处理之后,损坏或丢失的信息就会分散到整幅图像中,从而减少其对入眼视觉的影响,相应地提高水印的鲁棒性. 此外,Arnold 变换还具有周期性,所以可以找到一个相对的最佳置乱度,并将最佳置乱度作为水印提取时的密钥以增加水印的安全性. 设原始水印为  $M \times M$  的数字图像,Arnold 矩阵的变换公式为

$$\begin{pmatrix} x_{i+1} \\ y_{i+1} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 11 \\ 12 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix} \pmod{M} \quad (1)$$

其中, $x_i$  和  $y_i$  分别表示原始水印图像中像素的横坐标和纵坐标, $x_{i+1}$  和  $y_{i+1}$  分别表示置乱后图像相应像素所在的横坐标和纵坐标.

Arnold 变换具有周期性<sup>[5]</sup>,即存在一个正整数  $T$  满足

$$A^T r_i \pmod{M} = r_i \quad (2)$$

式中, $A = \begin{bmatrix} 11 & \\ & 12 \end{bmatrix}$ ,称为二维 Arnold 矩阵; $r_i = \begin{pmatrix} x_i \\ y_i \end{pmatrix}$ ;

$T$  为原始图像进行 Arnold 变换的周期,即原始图像经过  $n = \{n | 0 \leq n \leq T\}$  次 Arnold 变换后将得到 1 个混乱的图像,再经过  $T - n$  次变换恢复到原始图像.

### 1.2 水印的嵌入

水印的嵌入是整个算法的关键,它决定着算法的鲁棒性和不可见性. 水印的嵌入区域选在载体图像进行  $8 \times 8$  分块后的各字块的中频区域. 因为载体的低频反应了载体的主要轮廓,不应有较大的失真,水印的嵌入将影响不可见性;而载体的高频是人类感知系统不敏感的信息,但是容易被压缩技术剔除,水印嵌入该区域将影响鲁棒性. 所以嵌入在中频可同时满足不可见性和鲁棒性<sup>[16]</sup>. 水印的嵌入采用量化技术,该方法对嵌入系数的改变量小,能最大限度满足不可见性. 具体嵌入过程如下.

1) 嵌入前,将水印图像按照公式①进行  $n$  次 Arnold 置乱,然后对该置乱的图像进行一维转化,得到置乱后的数字水印一维序列  $P$ .

2) 首先将大小为  $N_x \times N_x$  的原始载体图像分割成  $8 \times 8$  的互不覆盖的子块,用  $B_{cd}$  ( $0 = c = N_x/8, 0 = d = N_x/8$ ) 表示. 然后均匀地选中待嵌入水印的块(本算法选用的是偶数块),对每一子块  $B_{cd}$  进行 DCT 变换,选择中频系数  $DCT'_{ij}$ ,再将置乱后水印一维序列  $P = \{p(i), 0 \leq i \leq (M \times M - 1)\}$  顺序嵌入.

3) 水印嵌入时,待嵌入的中频系数按照公式③和④进行量化<sup>[17]</sup>:

若  $P(i) = 1$ ,则

$$DCT'_{ij} = \begin{cases} k \times step - \frac{1}{2} \times step & \text{若 } \text{mod}(DCT'_{ij}, step) \geq \frac{step}{2} \\ k \times step + \frac{1}{2} \times step & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

若  $P(i) = 0$ , 则

$$DCT'_{ij} = k \times step \quad (4)$$

式中,  $k = \text{round} \left[ \frac{DCT'_{ij}}{step} \right]$ ,  $step$  表示量化步长,  $\text{round}$  表示四舍五入,  $DCT'_{ij}$  表示嵌入水印后的中频系数.

4) 对每个子块作逆离散余弦变换 (IDCT), 生成嵌有水印的图像  $G$ . 具体嵌入流程如图 1 所示.

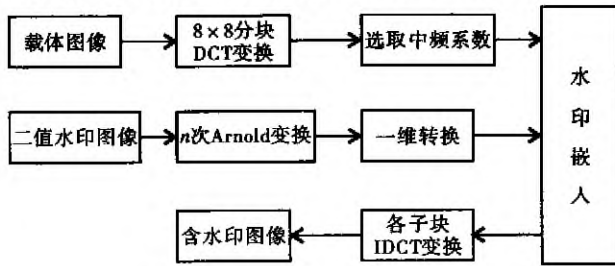


图 1 水印嵌入流程

### 1.3 水印的提取

水印的提取过程与嵌入过程正好相反, 且方法很简单, 不需要原始图像的参与, 具体步骤如下.

1) 将嵌入水印后的载体图像  $G$  按  $8 \times 8$  大小分割为互不覆盖的子块, 用  $Z_{cd}$  ( $0 = c = N_x/8, 0 = d = N_y/8$ ) 表示. 对每个子块进行 DCT 变换, 然后提取每个子块中嵌入水印的中频系数进行水印位提取. 具体判断方法如公式⑤⑥所示:

$$s(i) = \text{round} \left[ \frac{DCT'_{ij}}{step/2} \right] \quad (5)$$

$$T(i) = \begin{cases} 0 & \text{mod}(s(i), 2) = 0 \\ 1 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中,  $T(i)$  表示提取的水印位.

2) 将提取出的水印一维序列  $T$  转换为  $M \times M$  的二维矩阵, 得到一个置乱的水印图像, 对该图像进行  $T-n$  次 Arnold 变换, 得到最终提取的水印图像  $w$ . 具体的提取流程如图 2 所示.

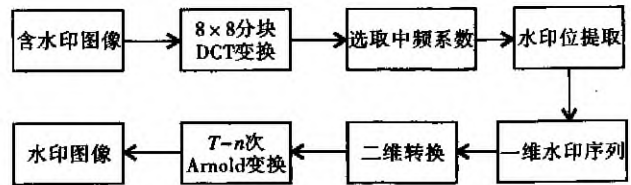


图 2 水印提取流程

## 2 仿真实验及分析

利用 Matlab 7.0 进行仿真实验, 载体图像选用  $512 \times 512$  的标准测试图像, 水印图像选用  $32 \times 32$  的二值图像, 为了更清楚地体现算法的有效性, 所有的实验图片均未进行缩放处理. 实验中, 对水印进行 Arnold 置乱, 置乱次数为 11, 量化步长为 72,

### 2.1 透明性实验分析

从图 3 之 a) 和 d) 中可以发现, 两者没有明显的区别. 含水印的载体图像在没有受到攻击的时候, 提取出的水印的相关系数  $NC$  值为 1, 即提取的水印跟原始水印一样, 实现了完全提取, 所以不管从客观上说还是从主观上说, 改进算法具有很好的不可见性.

### 2.2 鲁棒性实验分析

为检验该算法的鲁棒性, 进行椒盐噪声攻击、高斯噪声攻击、剪切攻击和压缩攻击等常见的几何攻击实验.

1) 噪声攻击. 噪声攻击后的含水印图像和提取的水印图像如图 4 和图 5 所示. 用肉眼能直接观察到攻击后的载体图像质量良好, 提取出的水印失真比较小.

当噪声攻击分别为 0.001 椒盐噪声攻击、0.005 椒盐噪声攻击和 0.001 高斯噪声攻击时, 提取水印的  $NC$  值分别为 0.982 68, 0.920 82, 0.963 86, 接近于 1, 这说明该算法的抗噪声攻击的效果比较好.



图 3 载体图像和水印图像

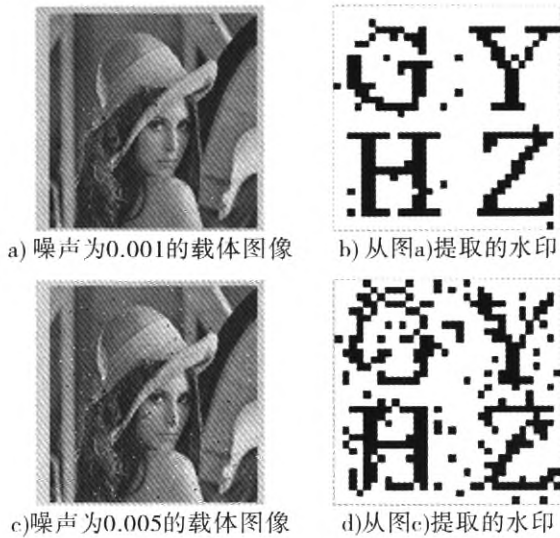


图4 椒盐噪声攻击的含水印图像和提取的水印图像

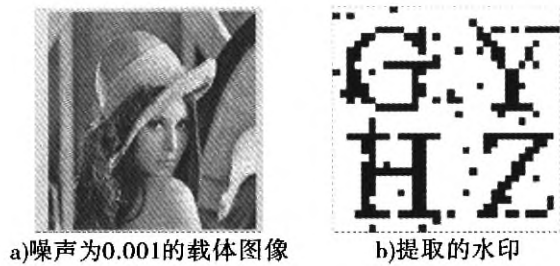


图5 高斯噪声攻击的含水印图像和提取的水印图像

2)剪切攻击. 试验对含水印的载体图像分别从左上、左下、右上、右下和中间进行剪切攻击. 从图6 b)可以看出提取的水印很清晰,质量很高. 此外,上述5种剪切攻击提取水印的  $NC$  值分别为0.956 73, 0.968 21, 0.958 66, 0.967 57, 0.944 47, 均接近1. 因此该算法的抗剪裁攻击效果良好. 这是由于算法中采用了置乱技术,削弱了水印图像像素间的相关性,增强了抗剪切攻击的能力.

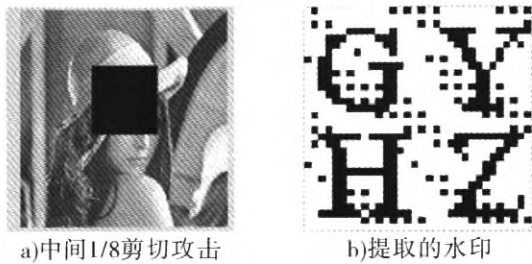


图6 剪切攻击的含水印图像和提取的水印图像

3)JPEG 压缩攻击. JPEG 压缩攻击的含水印图像和提取的水印图像如图7所示,在压缩比为30%~90%时,  $NC = 1$ , 水印可以实现完全提取;当压缩比为20%时,  $NC = 0.945 4$ , 提取的水印依然清晰可见;当压缩比15%时,  $NC = 0.769 02$ , 提取的水印肉眼能观察出来,但是质量比较差. 因此,当 JPEG 攻击压缩比不小于20%时,本算法的抗压缩攻击比较好.



图7 JPEG 压缩攻击的含水印图像和提取的水印图像

文献[18]也是基于 DCT 域的盲水印算法,水印嵌入在直流系数中. 表1给出了本算法与文献[18]中的算法对抗攻击实验的比较结果.

表1 算法参数对比

各种攻击	文献[18]算法 $NC$	本算法 $NC$
0.005 椒盐噪声	0.898 8	0.920 82
0.001 高斯噪声	0.918 3	0.963 86
80% JPEG 压缩	0.998 9	1
70% JPEG 压缩	0.982 5	1
50% JPEG 压缩	0.997 2	1
30% JPEG 压缩	0.971 6	1
20% JPEG 压缩	0.702 5	0.945 40

### 3 结论

本文提出了一种基于 Arnold 和量化技术的 DCT 域盲水印算法. 该算法采用 Arnold 技术对水印图像进行置乱, 不仅能降低像素间的相关性, 而且能增强水印的安全性; 嵌入采用量化抖动调制技术, 对原始图像改变小, 同时可方便调整鲁棒性和不可见性. 该算法的水印提取简单, 不需要原始图像的参与, 实现了盲提取. 实验结果表明, 该算法具有很好的鲁棒性和不可见性.

然而, 对比较强的噪声攻击本文算法鲁棒性较弱. 因此, 今后的工作重点将放在抵抗强噪声攻击上, 同时展开对 DCT 域脆弱水印的研究.

#### 参考文献:

- [1] Barnett R. Digital watermarking: applications, techniques and challenges [J]. *Electr & Com Eng J*, 1999, 11(4):173.
- [2] Voyatzis G, Pitas I. The use of watermarks in the protection of digital multimedia products [J]. *Proceedings of the IEEE*, 1999, 87(7):1197.
- [3] 金聪. 数字水印理论与技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2008.
- [4] 郑融, 金聪, 魏文芬, 等. 一种基于混沌加密的 DCT 域数字图像水印算法 [J]. *计算机应用*, 2005, 25(33):2365.
- [5] Cox I J, Miller M L, Bloom J A. *Digital Watermarking* [M]. 王颖, 黄志蓓, 译. 北京: 电子工业出版社, 2003.
- [6] Yalcin M T E, Vandewalle J. Fragile watermarking and unkeyed hash function implementation for image authentication on CNN-UM [C]//*Proce of the 2002 7th IEEE Int Workshop on Cellular Neural Networks and Their Applications, Frankfurt*: [s. n. ], 2002:399.
- [7] Braudaway G W. Protecting publicly-available image with an invisible image watermark [C]//*Int Conf on Image Proc, Snata Barbara*: [s. n. ], 1997:524.
- [8] Liu J C, Chen S Y. Fast two-layer image watermarking without referring to the original image and watermark [J]. *Image Vision Computer*, 2001, 19(14):1083.
- [9] Pei S C, Guo J M. Hybrid pixel-based data hiding and block-based watermarking for error-diffused Halftone image [J]. *IEEE Trans on Circuits and Syst for Video Tech*, 2003, 13(8):867.
- [10] Chen B, Wornell G W. Quantization index modulation: A class of provably good methods for digital watermarking and information embedding [J]. *IEEE Trans on Infor Theory*, 2001, 47(4):1423.
- [11] Fu M S, Au O C. Data hiding watermarking for Halftone images [J]. *IEEE Trans on Image Proc*, 2002, 11(4):477.
- [12] 杜高峰, 王慧琴, 白梅. 基于关系的 DCT 域盲水印算法 [J]. *中国图像图形报*, 2007, 12(11):11.
- [13] Gunesel B, Uludag U, Tekalp A M. Robust watermarking of fingerprint images [J]. *Pattern Recognition*, 2002, 35(12):2739.
- [14] 尚东方, 朱小柯, 陈小潘. 基于混沌和图像融合的自适应数字水印算法 [J]. *郑州轻工业学院学报: 自然科学版*, 2008, 23(6):112.
- [15] 刘芳, 贾成, 袁征. 一种基于 Arnold 变换的二值图像水印算法 [J]. *计算机应用*, 2008(6):1404.
- [16] 孙圣和, 陆哲明, 牛夏牧. *数字水印技术及应用* [M]. 北京: 科学出版社, 2004:75-169.
- [17] Saravanan V, Bora P K, Dghosh. Oblivious image-a daptive watermarking using quantizationIndex modulation [C]//*The Eighth Natioal Conf On Com, Mumbai: Indian Inst of Tech Bombay*, 2002:26-27.
- [18] 关晓宇. 基于 DCT 域量化技术的数字图像水印算法的研究 [D]. 大连: 大连海事大学, 2008.