

文章编号:1001-9081(2005)02-0412-02

## 基于图像置乱与重复嵌入的鲁棒水印技术

陈鹤峰,曾文曲,聂笃宪

(广东工业大学 应用数学学院,广东 广州 510090)

(chenhefeng929@hotmail.com)

**摘 要:**从嵌入、提取两方面对水印技术加以改进,提出了数字水印的重复嵌入算法,即将一位水印信息多次重复嵌入到原始图像 DCT 系数的直流、中频和低频系数中。提取水印时,不是简单的求多个提取值平均值,而是采用一种自学习的提取方法,更好满足了水印的要求。

**关键词:**数字水印;DCT;置乱;重复嵌入

**中图分类号:**TP393.08 **文献标识码:**A

## Robust watermark technology based on scrambling and multi\_embedding

CHEN He-feng, ZENG Wen-qu, NIE Du-xian

(Mathematics Department, Guangdong University of Technology, Guangzhou Guangdong 510090, China)

**Abstract:** A watermark algorithm was improved in embedding and extracting. One watermark pixel was embedded many times into DC, mid-frequency and low-frequency coefficients of the same DCT block. What it dose was not averaging watermark values extracted from one block, but applied a self-studying method to get the last watermark. The watermark system is more preferable.

**Key words:** digital watermarking; DCT; scrambling; multi\_embedding

### 0 引言

数字水印技术成为用来解决数字多媒体中版权问题和内容认证的主要工具。它是利用数字作品中普遍存在冗余数据与随机性,将版权信息嵌入数字作品本身中,从而起到保护数字产品版权或完整性一种技术。

本文从水印嵌入与水印提取两方面改进了传统的水印算法,提出了一种新的鲁棒水印方案。

### 1 数字水印嵌入算法

设  $X$  为待鉴别的  $N_1 \times N_2$  宿主图像,  $X = \{x(i, j) : 0 \leq i \leq N_1 - 1, 0 \leq j \leq N_2 - 1\}$ ,  $x(i, j)$  为灰度值,水印嵌入流程图如下:

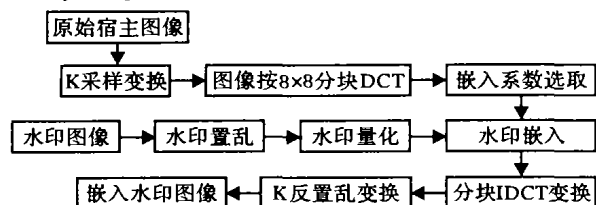


图1 水印嵌入流程

先对原始宿主图像  $X$  进行  $K$  采样变换<sup>[1]</sup> 得  $X_k$ , 由于  $K$  采样变换收敛周期非常短,变换后形成原始图像的多个缩小图像,以这些缩小图像作为自然分块,比直接对宿主图像分块更能保留原始图像的信息。按  $8 \times 8$  块分块 DCT(离散余弦变换),  $Y_k = DCT(X_k)$ ,  $Y_k$  中每一个  $8 \times 8$  的分块,按视觉正对径向频率  $w$  排列如图 2(a)<sup>[2]</sup>。

根据视觉系统的特性,人眼对  $8 < w < 12$  之间的区域最

敏感,对此区域的图像像素即使作很小的改动,也会引起原图像可感知的变化。另一方面,由 JPEG 压缩原理, JPEG 压缩将消除高频分量。所以水印信息也不能嵌入高频分量中。 $14 < w < 21$  的区域为中频区域,在此区域对应的 DCT 变换系数中嵌入水印信息,既能保证水印信息的鲁棒性,又能保证其隐蔽性。在中频系数上嵌入水印已成为大多数信息隐藏学者的共识。文献[3]提出了 DCT 域的 DC 直流系数中也可以嵌入水印信息的观点,并用实验给出了有力的证明。 $0 \leq w \leq 6$  的区域为 DCT 的 DC 和低频区域,该区域并非视觉敏感区域,也可被选做水印嵌入位置。选取位置如图 2(b)。

0	3	6	9	12	15	18	21	*	*	*			*	*		
3	4	7	10	13	15	16	21	*	*				*	*		
6	7	9	11	14	16	19	22	*					*	*		
9	10	11	13	15	18	20	23						*	*	*	
12	13	14	15	17	19	22	24				*	*	*	*		
15	15	16	18	19	21	24	26	*	*	*	*	*	*	*		
18	16	19	20	22	24	25	28	*	*	*	*					
21	21	22	23	24	26	28	30									

(a) 对应的 DCT 排序

(b) 水印嵌入位置

图2 视觉正对径向频率  $w$  排列

水印图像采用 Arnold 置乱为  $W = \{w_k\}$  对其量化,  $W' = \{w_k' \mid w_k' = w_k/N\}$ ,  $N$  为量化参数。在选取的 DCT 系数上,按下式嵌入水印:

$$Y_k' = \begin{cases} Y_k \times \{1 + \alpha \times w_k'\} & 14 < w < 21 \text{ \& } 0 \leq w \leq 6 \\ F_k(u', v') & \text{其他} \end{cases}$$

收稿日期:2004-07-15;修订日期:2004-10-08 基金项目:广东省基金项目(200332475)

作者简介:陈鹤峰(1974-),男,湖北松滋人,硕士研究生,主要研究方向:水印技术、图像处理和模式识别; 曾文曲(1951-),男,福建人,教授,主要研究方向:分形理论、分形图像处理; 聂笃宪(1974-),男,硕士研究生,主要研究方向:图像处理。

$\alpha$  为嵌入强度,不同的区域水印嵌入强度也不同。DCT 域的 DC 系数,低频系数( $2 < w < 13$ ),中频系数( $w > 12$ ) 中的嵌入强度分别记为  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ , 然后 IDCT 以及 K 反变换即得嵌入水印后得图像。

## 2 数字水印提取算法

水印的提取是水印的嵌入的逆过程,水印提取框图如下:



图3 水印提取方法

按照嵌入时的逆向算法,依次 K 变换,分块 DCT 变换,再与原始图像 DCT 变换相减即可提取水印(需要原始图像是该算法的主要缺点)。水印提取公式如下:

$$w_i = (Y_k' / Y_k - 1) / \alpha, \quad 14 < w < 21 \text{ \& } 0 < w < 6$$

本文选做的水印是灰度图像,信息量大。嵌入时采用多个 DCT 系数嵌入一个水印像素,如果提取时直接用多个差值的和平均作为一个提取的水印值,在嵌入水印后图像受到攻击,造成提取水印像素值误差的概率较大。本文利用 DCT 系数差值,自学习提取水印。

对每一个  $8 \times 8$  DCT 块,设  $w_1, w_2, \dots, w_n$  为该块中提取的同一个水印像素的多个值,  $n$  为该块中选取的 DCT 系数的个数。对于每个  $w_i (i = 1, 2, \dots, n)$  计算满足  $w_i - \delta \leq w_k \leq w_i + \delta$  的  $w_k$  的个数  $n_i (i = 1 \dots n)$ ,  $w_k$  在  $w_1, w_2, \dots, w_n$  中选取,  $\delta$  为一个较小的实数。如果存在一个  $n_i$  比其他  $n-1$  个的值大,说明  $w_i$  的  $\delta$  邻域内近似相等像素最多,  $w_i$  为水印实际值的概率较大。如果有多个  $n_i$  的值等,选择靠近 DCT 低频中提取的  $w_i$ , 因为图像攻击对低中频系数影响较小。最终的水印值是最大  $n_i$  所对应  $w_i - \delta \leq w_k \leq w_i + \delta$  范围内所有提取  $n_i$  个  $w_k$  的平均值。

## 3 仿真结果及分析

为了度量嵌入水印后的图像和原始图像的差别,采用峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR):  $PSNR = 10 * \log \frac{255 * 255}{MSE}$ ,  $MSE = \frac{1}{MN} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M (f(i, j) - f'(i, j))^2$ ; 采用相似

性函数(Similarity Function):  $Sim = \frac{\hat{W} * W}{(\hat{W} * \hat{W})^{\frac{1}{2}}}$ ; \* 表示内积

操作,  $W, \hat{W}$  分别是原始水印和检测出的水印。

本文使用原始宿主图像为  $512 \times 512$  的灰度 Lena 图像, 水印图像为  $64 \times 64$  的灰度图像(广东工业大学的校徽标志), 利用本文算法, 参数选取为:  $\alpha_1 = 0.004, \alpha_2 = 0.02, \alpha_3 = 0.05, N = 64$ 。

### 3.1 JPEG 压缩攻击

JPEG 压缩是图像攻击中最重要的也是广泛运用的一种攻击方式,用不同的压缩因子对水印图像进行压缩。如图 4 所示。

### 3.2 高斯噪声攻击

高斯噪声是通讯系统中最常见的干扰方式。在嵌入水印后图像中加入均值为 0, 不同方差的高斯噪声。效果如图 5。

当高斯噪声方差为 0.006 时,此时已不能提取可视水印, 但 Sim 值仍然较大,可以证明水印的有效性。

水印嵌入强度参数  $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$  可自主调节,确保隐蔽性。由于图像受到攻击后,对少部分系数有较大的损害,但绝大部分系数受到损害的程度较小,本文水印提取算法正好可以将这少部分受损较大的系数排除在外,确保鲁棒性。实验数据证明,本文算法比文献[2]、[4]的 DCT 域水印算法更具有隐蔽性和抵抗攻击的鲁棒性。

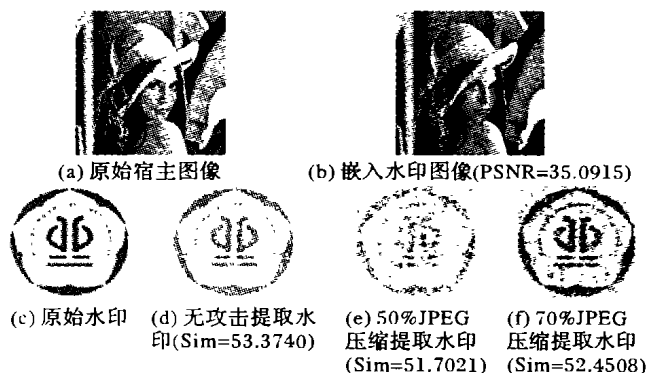


图4 用不同压缩因子对图像进行压缩的效果图

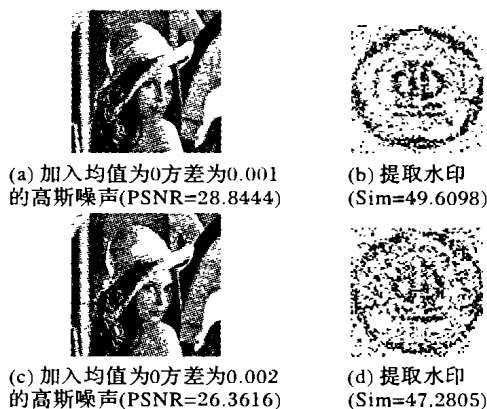


图5 在图像中加入均值后的效果图

## 4 结语

本文在空间域置乱变换,提高水印隐蔽性。即使非法持有者侥幸获得水印算法,但是无法得到置乱控制参数,从而无法恢复出有意义的水印图像。对原始宿主图像置乱,避免了为区分不同特性的嵌入块而进行的复杂的计算。

在水印提取时,首先统计落在每个提取值很小领域的所有提取值的个数,将有某些偏离很大提取值排除在外,起到了过滤提取水印值的作用。比起直接对提取的  $n_i (i = 1, 2, \dots, n)$  个水印值求平均作为最终水印鲁棒性更强。

实验证明,本算法在合适选择嵌入强度  $\alpha$ , 提取邻域  $\beta$  的前提下,较好的满足水印的隐蔽性和鲁棒性。

### 参考文献:

- [1] 易开祥. 数字图像加密与数字水印技术研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2001.
- [2] 张玉双. 数字水印及其在静止图像中的应用[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2002.
- [3] 黄继武, YUN QS, 程卫东. DCT 域图像水印: 嵌入对策和算法[J]. 电子学报, 2000, 28(4): 72-76.
- [4] COX IJ, KILIAN J, LEIGHTON T, et al. Secure Spread Spectrum Watermarking for Multimedia[R]. Nec Research Institute Technical Report, 1995.
- [5] 孙兆林. MATLAB 6.x 图像处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002.