

# 一种基于 PSNR 的迭加量化公开水印算法

楼偶俊<sup>1),3)</sup> 王相海<sup>1),2)</sup>

<sup>1)</sup>(辽宁师范大学计算机与信息技术学院,大连 116029) <sup>2)</sup>(南京大学计算机软件新技术国家重点实验室,南京 210093)

<sup>3)</sup>(吉林大学计算机科学与技术学院,长春 130023)

**摘要** 图像有好的视觉质量又要有高的鲁棒性是当今数字水印研究的热点与难点之一。提出了一种在确定图像质量的前提下具有高鲁棒性的公开水印算法,在其嵌入算法中,首先确定嵌入水印图像的质量——通过控制图像的峰值信噪比(PSNR)来实现,再根据图像所要达到的峰值信噪比来设计水印嵌入步长;另外,水印信号是通过权平均的方式迭加量化到图像 DCT 域的多个低中频系数上,根据人眼视觉系统(human visual system)的特性,按图像内容自适应量化嵌入,很好地解决了不可见性和鲁棒性之间的矛盾。实验结果表明,该水印算法能保证图像具有很高的视觉质量,同时对于常见的图像处理和攻击具有很好的鲁棒性。

**关键词** 峰值信噪比 DCT 迭加量化 盲提取

中图分类号: TP391 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2007)08-1333-06

## An Iterative Quantization Public Watermarking Scheme Based on PSNR

LOU Ou-jun<sup>1),3)</sup>, WANG Xiang-hai<sup>1),2)</sup>

<sup>1)</sup>(College of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

<sup>2)</sup>(State Key Laboratory for Novel Software Technology, Nanjing University, Nanjing 210093)

<sup>3)</sup>(School of Computer Science and Technology, Jilin University, Changchun 130023)

**Abstract** A good balance between image's visual quality and its robustness is one of the hotspots and difficulties in digital watermarking. This paper proposes a public watermarking scheme which can achieve high robustness on the premise of keeping a predetermined visual quality. In the watermarking embedding algorithm, the quality of the embedded image is first predetermined by controlling image peak signal-to-noise ratio (PSNR), and the embedding step is then designed according to the target PSNR. One watermarking signal is adaptively embedded by means of weight average into a few iterative quantized low or middle frequency coefficients in terms of the characteristics of human visual system (HVS) and image content, so that a good compromise between the imperceptibility and robustness is reached. The simulation results show the proposed scheme can guarantee high visual quality of embedded image, and attain at the same time a good robustness to common image processing and attacks.

**Keywords** peak signal-to-noise ratio (PSNR), DCT, iterative quantization, blind extraction

## 1 引言

数字水印技术中,水印的不可见性和鲁棒性通常构成了一对矛盾,而对于一个有效的水印算法,必

须能折衷处理这对矛盾。水印的嵌入过程可以看作是在原始信号中嵌入一定的“噪声”,一般情况下,嵌入噪声信号的能量越高,水印的不可见性越差,而鲁棒性越好。因此,如何恰当选择噪声信号的强度,是数字水印技术中要解决的关键技术之一。现有的

基金项目:国家自然科学基金项目(60372071);辽宁省自然科学基金项目(2003205);辽宁省高等学校优秀人才支持计划项目(RC-04-11)

收稿日期:2006-02-09;改回日期:2006-05-16

第一作者简介:楼偶俊(1976~),男,吉林大学计算机应用技术专业博士研究生。研究方向为数字水印技术及多媒体信息处理。

E-mail: louyul23860@163.com

通讯作者:王相海, E-mail: whwang@lnna.edu.cn

水印算法一般都是依赖反复实验来确定嵌入水印能量的大小,比如文献[1]、[2]中水印算法的基本思想都是首先将原始图像分割为互不覆盖的  $8 \times 8$  子块,对各个子块进行 DCT 变换;然后按嵌入块的特征,对图像子块进行分类,并通过反复实验确定块的拉伸因子。这些算法的局限性表现在以下 3 个方面:一是块的分类规则难于把握,分类算法不易实现;二是各类块的拉伸因子需通过反复实验才能确定,一般实验比较费时且得不到一个好的量化指标;三是它无法定量地知道具体块的嵌入水印能量是否达到最佳,这也是最重要的一点。此外,对于基于量化的水印嵌入算法,其鲁棒性主要取决于量化步长,文献[3]~[7]中提出的量化策略都是基于单个系数进行量化的,量化步长  $\Delta$  都小于 60。

本文提出了一种基于峰值信噪比 (PSNR) 的迭加量化公开水印算法,算法首先将原始图像分割成互不覆盖的  $8 \times 8$  子块,对各子块进行 DCT 变换,然后由 PSNR 确定总体量化步长,再根据块的能量自适应地调整量化步长;对各子块系数进行“之”字形扫描,选取除 DC 分量外的若干系数进行迭加量化处理。该算法的特点是可以选用较大的量化步长,并且能够最小化各种攻击影响。实验结果表明,该算法在保证图像视觉质量的同时,对常见的图像处理操作、攻击具有很好的鲁棒性。

## 2 水印嵌入算法

水印嵌入的总体过程如图 1 所示。

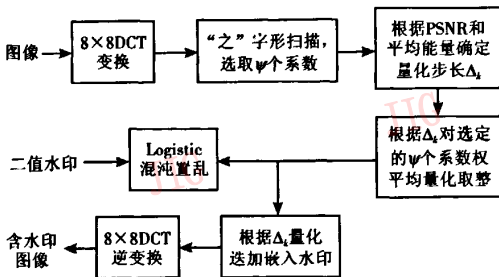


图 1 水印嵌入流程图

Fig. 1 Flow chart for embedding watermarking

### 2.1 水印混沌置乱

由于人类视觉系统对纹理具有极高的敏感性,所以所嵌入的水印信号一般不能具有纹理特性,而应该是不可预测的随机信号。本文采用 Logistic 映

射<sup>[8]</sup>将原始水印信息映射成混沌序列。Logistic 映射的定义如下:

$$X_{n+1} = \mu \cdot X_n (1 - X_n) \quad (1)$$

其中,  $X_n \in (0, 1)$ , 当  $\mu \in (3.569\ 945\ 6, 4]$  时, 该参数区间被称为混沌区域, 这时 Logistic 映射工作于混沌状态 (除去某些特殊点, 如临界点  $1/2$ )<sup>[9]</sup>, 即由不同初始状态  $X_0$  生成的两个序列是非周期、不收敛和不相关的。

设  $W = \{W(i, j) \mid 0 \leq i < m, 0 \leq j < n, W(i, j) \in \{0, 1\}\}$  为二值水印图像, 用密钥  $K$  生成长度为  $m \times n$  的 Logistic 混沌序列对  $W$  进行置乱, 置乱后的水印信息设为  $W'$ , 则  $W'$  具有不可预测性和不相关性, 从而保证了视觉对嵌入水印的不敏感性, 同时, 在不知道密钥  $K$  的前提下, 攻击者很难恢复出原始水印。

### 2.2 水印的嵌入

设  $P = \{P(i, j) \mid 0 \leq i < M, 0 \leq j < N, P(i, j) \in [0, 255]\}$  为一灰度图像, 嵌入算法的具体步骤如下:

(1) 把图像划分成  $8 \times 8$  的子块  $P(k)$ ,  $k$  为整数且  $k \in [0, (M \times N)/64]$ ;

(2) 对每个  $P(k)$  进行 DCT 变换, 按图 2 所示的“之”字形顺序, 选取  $P_0$  外的 14 个系数。因为“之”字形扫描顺序总体上体现了图像块 DCT 变换系数的能量递减规律<sup>[10]</sup>, 这样按照算法所选取的系数嵌入水印, 可以在一定程度上保证算法的鲁棒性, 并且不对 DC 系数进行修改, 也可以在一定程度上保证算法的不可见性。

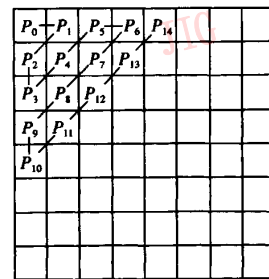


图 2  $8 \times 8$  图像子块扫描

Fig. 2 Scanning order of the  $8 \times 8$  image block

(3) 对所选出的 14 个系数进行如下的加权平均:

$$Q(k) = \sum_{l=1}^{14} R_l |P_l(k)| \quad (2)$$

其中,  $P_l(k)$  表示的是第  $k$  个  $8 \times 8$  DCT 子块“之”字扫描的第  $l$  个系数值,  $|R_l|, R_l \in \{-1, 1\}$  表示长度为 14、

数学期望等于 0 的序列,其中,  $l$  为整数且  $l \in [1, 14]$ , 根据“之”字形扫描特性,  $R_l$  的值按图 3 选取。

	1	1	-1	1			
-1	-1	1	-1				
1	-1	1					
-1	-1						
1							

图 3  $R_l$  序列取值  
Fig.3 The results of array  $R_l$

(4) 确定每  $8 \times 8$  块的量化值。对块的加权平均值  $Q(k)$  进行如下的量化取整,其结果保存在  $\bar{Q}(k)$  中。

根据  $Q(k)$  取值和  $|Q(k) - \text{round}(Q(k)/\Delta_k) \times \Delta_k|$  的情况,按如下操作:

```

if  $Q(k) > 0$ 
  if  $Q(k) - \text{round}\left(\frac{Q(k)}{\Delta_k}\right) \times \Delta_k \leq \frac{\Delta_k}{2}$  //记为情况 1
     $\bar{Q}(k) = \text{round}\left(\frac{Q(k)}{\Delta_k}\right) \times \Delta_k$ ;
  else  $\bar{Q}(k) = \text{round}\left(\frac{Q(k) + \Delta_k/2}{\Delta_k}\right) \times \Delta_k$  //记为情况 2
else if  $Q(k) < 0$ 
  if  $\left|Q(k) - \text{round}\left(\frac{Q(k)}{\Delta_k}\right) \times \Delta_k\right| \leq \frac{\Delta_k}{2}$  //记为情况 3
     $\bar{Q}(k) = \text{round}\left(\frac{Q(k)}{\Delta_k}\right) \times \Delta_k$ ;
  else  $\bar{Q}(k) = \text{round}\left(\frac{Q(k) - \Delta_k/2}{\Delta_k}\right) \times \Delta_k$  //记为情况 4
    
```

其中,  $\text{round}(\cdot)$  表示取整运算,  $\Delta_k$  是量化步长。

(5) 根据  $Q(k)$  和  $\bar{Q}(k)$ , 修改块中被选中的 DCT 系数  $P_i(k)$  的值,实现对  $8 \times 8$  块加权平均值的量化修正。  $P'_i(k)$  为量化后的 DCT 系数值。

根据 HVS 的视觉特点,人眼对图像的纹理具有可屏蔽特性,而在 DCT 变换域中,纹理的屏蔽特性通常与 AC 系数成正比的,所以可定义系数修正因子为

$$\lambda_i(k) = \frac{|P_i(k)|}{\sum_{i=1}^{14} |P_i(k)|} \quad (3)$$

利用修改因子  $\lambda_i(k)$ , 通过下面过程将对应的 DCT 系数  $P_i(k)$  修改为  $P'_i(k)$ :

对前面(4)中的情况 1、情况 4:

$$P'_i(k) = P_i(k) - R_l \times \text{sign}(P_i(k)) \times \lambda_i(k) \times (Q(k) - \bar{Q}(k))$$

对前面(4)中的情况 2、情况 3:

$$P'_i(k) = P_i(k) - R_l \times \text{sign}(P_i(k)) \times \lambda_i(k) \times (\bar{Q}(k) - Q(k))$$

其中,

$$\text{sign}(x) = \begin{cases} 1 & x \geq 0 \\ -1 & x < 0 \end{cases}$$

通过上述算法修改块中 14 个被选定的 DCT 系数的值,实现对  $8 \times 8$  块加权平均值的量化修正,且对每点的绝对修改量  $|\lambda_i(k)(Q(k) - \bar{Q}(k))| < |P_i(k)|$ ,具体过程如下(以情况 1 为例,其他情况与之类似):

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^{14} R_l |P'_i(k)| &= \sum_{i=1}^{14} R_l | [P_i(k) - R_l \text{sign}(P_i(k)) \lambda_i(k) \times (Q(k) - \bar{Q}(k))] | \\ &= \sum_{i=1}^{14} R_l |P_i(k)| - \sum_{i=1}^{14} \frac{|P_i(k)|}{\sum_{i=1}^{14} |P_i(k)|} (Q(k) - \bar{Q}(k)) \end{aligned} \quad (4)$$

(6) 根据要嵌入的经混沌置乱的水印  $W_i(i)$  和对应块加权平均值  $\bar{Q}(k)$  的符号,按如下过程嵌入水印,其中,  $P''_i(k)$  是嵌入水印后的 DCT 系数值。

```

if  $W_i(i) = 1$ 
  if  $\bar{Q}(k) \geq 0$ 
     $P''_i(k) = P'_i(k) + R_l \times \text{sign}(P_i(k)) \times \lambda_i(k) \times \frac{\Delta_k}{4}$ 
  else
     $P''_i(k) = P'_i(k) + R_l \times \text{sign}(P_i(k)) \times \lambda_i(k) \times \frac{\Delta_k}{4}$ 
if  $W_i(i) = 0$ 
  if  $\bar{Q}(k) > 0$ 
     $P''_i(k) = P'_i(k) + R_l \times \text{sign}(P_i(k)) \times \lambda_i(k) \times \frac{\Delta_k}{4}$ 
  else if  $\bar{Q}(k) < 0$ 
     $P''_i(k) = P'_i(k) + R_l \times \text{sign}(P_i(k)) \times \lambda_i(k) \times \frac{\Delta_k}{4}$ 
  else
     $P''_i(k) = P'_i(k) + R_l \times \text{sign}(P_i(k)) \times \lambda_i(k) \times \frac{3\Delta_k}{4}$ 
    
```

### 3 量化步长的确定

传统的水印算法都是依据 HVS 模型对图像分类,通过反复实验,再依据嵌入水印图像的质量定量分析(比如 PSNR)来确定量化步长,其缺点是无法定量地分析具体某一子块的嵌入能量是否恰当。本文采用了一种新颖的确定水印嵌入强度的算法,即

根据要实现的图像峰值信噪比来确定水印嵌入强度,避免了反复实验。

峰值信噪比的定义如下:

$$PSNR = 10 \lg \left( \frac{255^2 \times M \times N}{\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (x^*(i, j) - x(i, j))^2} \right) \quad (5)$$

进一步分析,可以把图像看成一系列  $8 \times 8$  的图像块组合而成,所以确定了每一  $8 \times 8$  分块的峰值信噪比也就确定了整幅图像的峰值信噪比。分析  $8 \times 8$  分块可得:

$$PSNR = 10 \lg \left\{ \frac{255^2 \times 8 \times 8}{\sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 (x^*(i, j) - x(i, j))^2} \right\} \quad (6)$$

由上式分析可知,决定图像峰值信噪比的是  $\sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 (x^*(i, j) - x(i, j))^2$ ,也就是对块的系数修改幅度决定了块的峰值信噪比。

由 2 维 DCT 的逆变换可得:

$$x^*(i, j) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} a(u) a(v) P^*(u, v) \cdot \cos \frac{(2i+1)u\pi}{2M} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{2N} \quad (7)$$

$$x(i, j) = \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} a(u) a(v) P(u, v) \cdot \cos \frac{(2i+1)u\pi}{2M} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{2N} \quad (8)$$

其中, 
$$a(u) = \begin{cases} \sqrt{1/M} & u=0 \\ \sqrt{2/M} & 1 \leq u < M \end{cases}$$
 
$$a(v) = \begin{cases} \sqrt{1/N} & v=0 \\ \sqrt{2/N} & 1 \leq v < N \end{cases}$$

则有:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (x^*(i, j) - x(i, j))^2 \\ &= \sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} \left[ \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} a(u) a(v) (P^*(u, v) - P(u, v)) \cdot \cos \frac{(2i+1)u\pi}{2M} \cos \frac{(2j+1)v\pi}{2N} \right]^2 \leq \\ & 2 \sum_{u=0}^M \sum_{v=0}^N (P^*(u, v) - p(u, v))^2 \end{aligned} \quad (9)$$

将  $\sum_{i=0}^{M-1} \sum_{j=0}^{N-1} (x^*(i, j) - x(i, j))^2$  设为  $2\Psi\xi^2$ ,其中  $\xi$  表示 DCT 系数的改变量,  $\Psi$  表示被修改的系数个数,所以对  $8 \times 8$  块分析可得:

$$PSNR = 10 \lg \left( \frac{255^2 \times 8 \times 8}{2\Psi\xi^2} \right) \quad (10)$$

设算法总体量化步长为  $\Delta$ ,从前面的嵌入算法可知,对  $8 \times 8$  子块的权平均值修改范围是  $[0, 3\Delta/4]$ ,这样从统计角度分析其平均改变量为  $3\Delta/8$ ,故不妨取

$$PSNR = 10 \lg \left\{ \frac{255^2 \times 8 \times 8 \times \psi}{2 \left( \frac{3}{8} \Delta \right)^2} \right\} \quad (11)$$

$$\text{从而可得: } \Delta = \frac{255 \times 64}{3} \sqrt{\frac{\psi}{2 \times 10^{PSNR/10}}}$$

实验中假定  $PSNR = 40\text{dB}$ ,则求得  $\Delta = 143.9$ ,可见算法在满足一定视觉质量的条件下,能够取得很大的量化步长。

尽管 PSNR 能够在客观上衡量图像的质量,但它的衡量标准与人眼对不同背景的可视性的敏感性却不尽相同。根据 HVS 的视觉特点,人眼对图像的中间亮度区域的畸变最敏感,且对亮度的敏感性随着亮度的增加或减少向两端呈抛物线状下降。而在 DCT 域中,DC 系数的大小能够反映图像块的平均亮度,所以可以依据 DC 系数的大小自适应地调整量化步长,通过实验可知,对于平均亮度为 65 的  $8 \times 8$  块,经过 DCT 变换后,其 DC 系数为 536;而对于平均亮度为 190 的块,它的 DC 系数是 1512。所以本文在前面确定总体量化步长的基础上,再跟据图像块的具体情况,按如下过程自适应调整量化步长:

$$\beta_k = \begin{cases} 1 & P_0 \leq 536 \\ 0.83 & 536 < P_0(k) < 1512 \\ 1 & P_0 \geq 1512 \end{cases} \quad (12)$$

对于具体  $8 \times 8$  块,量化步长  $\Delta_k = \beta_k \Delta$ ,在实验中  $\Delta = 120$ 。

### 4 水印提取

水印提取过程基本上是水印嵌入的逆过程,具体提取过程如下:

- (1) 将含水印的图像进行  $8 \times 8$  分块 DCT 变换。
- (2) 根据块中的 DC 系数确定量化步长  $\Delta_k$ 。
- (3) 基于“之”字形扫描选取除 DC 系数外的前 14 个系数,根据其加权平均  $Q^*(k)$  与  $\Delta_k$  的关系,按如下过程提取出水印:

$$\text{当 } |Q^*(k) - \text{round}(Q^*(k)/\Delta_k)\Delta_k| \leq \frac{\Delta_k}{2} \text{ 时, } W_i = 1;$$

$$\text{当 } |Q^*(k) - \text{round}(Q^*(k)/\Delta_k)\Delta_k| > \frac{\Delta_k}{2} \text{ 时, } W_i = 0;$$

$$\text{其中, } Q^*(k) = \sum_{i=1}^{14} R_i |P_i^*(k)|。$$

(4) 用密钥  $K$  生成 Logistic 映射的  $m \times n$  混沌矩阵,恢复出二值水印  $W'$ 。

## 5 实验与讨论

为了验证本文算法的高效性,下面给出灰度测试标准图像 Lena (512 × 512) 的实验结果。实验中,数字水印选用了 64 × 64 的二值图像,采用 NC 定量分析提取出的水印与原始水印的相似度,同时采用峰值信噪比评价原始图像与含水印图像之间的差别。

### 5.1 相关性检测

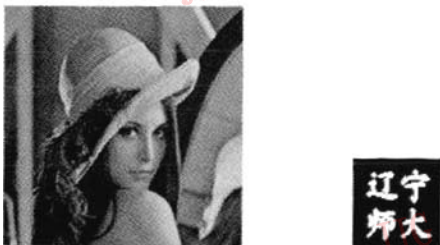
由于嵌入水印后的图像可能存在失真,特别是对图像进行各种攻击后,会导致提取出的水印在一定程度上与原始水印有所不同,为了确定图像中是否含有水印,可采用归一化相关系数 NC (normalized cross-correlation, NC)<sup>[11]</sup> 对提取出的水印和原始水印的相似性进行定量检测,NC 的定义为

$$NC(W', W) = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} W(i, j) W'(i, j)}{\sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} W(i, j)^2} \quad (13)$$

其中,  $W'(i, j)$  表示提取出的水印,  $W(i, j)$  为原水印。选取合适的阈值  $\tau$ , 水印存在与否的判定标准为若  $NC > \tau$ , 可以判定被测图像中含有水印的存在; 否则, 不含水印。  $\tau$  的选择要考虑虚警概率和漏警概率, 实验统计表明, 在未含水印的图像中提取的水印平均相似度是 0.08 左右。为了减少虚警的概率, 实验中取相似度门限  $\tau = 0.6$ 。

### 5.2 水印嵌入和提取的实验结果

图 4 分别为原始灰度图像和嵌入水印后的图像; 图 5 分别为二值水印图像和提取出的二值数字水印。实验结果表明, 本文水印算法具有很好的不可见性。



(a) 原始 Lena 图像 (b) 水印图像

图 4 原始图像与水印图像

Fig. 4 The original host image and the watermarking image



(a) 含水印图像 (PSNR = 44.5dB) (b) 提取出水印 (NC = 1.00)

图 5 含水印图像及提取结果

Fig. 5 The effect of watermarking embedding and distilling

### 5.3 抗攻击实验

对含水印图像采用了叠加噪声、JPEG 压缩、中值滤波、几何剪切、图像增强、重采样等攻击方式, 表 1 给出了实验结果, 实验中对含水印图像的攻击是利用 Photoshop7.0 中的图像处理工具完成的。

表 1 攻击结果

Tab. 1 Attacks result

攻击方式	提取的水印图像	受攻击图像的 PSNR (dB)	提出水印的 NC
二次模糊		32.3	0.943
高斯噪声 (2%)		30.5	0.964
锐化		33.6	0.984
中值滤波 3 × 3		31.7	0.914
剪切 1/4		11.5	0.885
重采样 4 : 1		25.7	0.935
JPEG 压缩 20 倍		37.8	0.999

### 5.4 讨论

基于峰值信噪比的迭加量化盲水印算法具有以下特点:

(1) 算法是基于 DCT 变换域的, 根据 Cox 的观点<sup>[12]</sup>, 水印应该嵌入在重要系数上, 但是如果修改 DC 系数, 会导致重构图像产生块效应, 影响视觉效果。因此把水印嵌入在最重要的 14 个低中频系数上, 可以保证水印算法对诸如 JPEG 压缩等攻击的鲁棒性; 同时 DCT 变换又能够将嵌入的水印能量较好地分布到重构图像的各个系数上, 满足了不可见性。

(2) 基于量化的水印策略, 其鲁棒性是与量化步长成正比的。从文献[13]中可以知道, 对于一般基于 DCT 的量化水印策略, 当量化步长  $\Delta = 60$  时, 图像的 PSNR 就小于 40dB 了; 而本文的基于权平均的迭加量化策略, 当  $\Delta = 140$  时, 图像的 PSNR 还大于 40dB。所以该策略能选用较大的量化步长, 确保了图像的高鲁棒性。

(3) 图像受到某一些攻击(诸如随机噪声等), 利用迭加量化策略可以很好的最小化攻击效果。比如, 对于

$$\begin{aligned} Q(k) &= \sum_{i=1}^{14} R_i (|P_i(k)| + \delta_i(k)) \\ &= \sum_{i=1}^{14} R_i |P_i(k)| + \sum_{i=1}^{14} R_i \delta_i(k) \end{aligned}$$

因为  $R_i$  是均值为 0 的二值随机即序列, 所以  $\sum_{i=1}^{14} R_i \delta_i(k)$  近似为 0。由于在实验中所选序列过短, 所以  $\sum_{i=1}^{14} R_i \delta_i(k)$  只能趋于 0。为了使  $\sum_{i=1}^{14} R_i \delta_i(k)$  达到最小化, 考虑到各种攻击对 DCT 系数的影响, 实验中按图 3 选定  $R_i$  值。

(4) 采用基于 PSNR 的方法确定总体量化步长, 可以充分利用图像的冗余, 实现嵌入水印能量和不可见性的较好协调, 同时又考虑了 HVS 特性, 根据被嵌 DCT 系数块的能量, 自适应地调整量化步长。

(5) 经过 Logistic 混沌置乱后的水印图像, 即使被攻击者正确提取出来, 在不知道密钥  $K$  的前提下, 提取出的只是一个随机噪声图像, 所以进一步确保了水印的抗攻击性。

(6) 嵌入的水印是一幅有意义的可视图像, 并且可实现无源提取, 因此算法具有较好的实用性。

(7) 与文献[3]~[7]所提出的量化算法相比, 本文算法由于采用了迭加的量化策略, 量化步长较大, 所以具有更好的鲁棒性。

## 6 结 论

提出了一种基于峰值信噪比的迭加量化公开水

印算法。该算法把水印能量量化嵌入到 DCT 域的多个低中频系数上, 然后依据迭加步长提取水印。这样, 从总体量化值来看, 量化步长很大, 确保了算法的高鲁棒性; 此外, 算法是首先根据 PSNR 来确定总体量化步长, 然后又根据 HVS 的特点, 自适应地调整相应量化步长, 所以该算法较好地解决了不可见性和鲁棒性之间的矛盾, 并且水印的提取无需原始图像, 实现了盲水印提取。实验结果表明, 该算法对于噪声、JPEG 压缩、中值滤波、几何剪切、锐化等攻击都具有很好的鲁棒性。

## 参考文献 (References)

- 1 Xing W, Lu Z M. Multipurpose image watermarking based on vector quantization in DCT domain [A]. In: The 5th International Symposium on Test and Measurement (ISTM'2003) [C], Shenzhen, China, 2003: 2057~2061.
- 2 Chen B, Wornell G W. Quantization index modulation methods for digital watermarking and information embedding of multimedia [J]. Journal of VLSI Signal Processing, 2001, 27:7~33.
- 3 Wang S Z, Zhang X P, Ma T. Image watermarking using dither modulation in dual-transform domain [J]. Journal of the Imaging Society of Japan, 2002, 41(4): 398~402.
- 4 Eggers J J, Girod B. Quantization watermarking [J]. Proceedings of SPIE, 2000, 3971: 1~12.
- 5 Chen B, Wornell G W. Dither modulation: a new approach to digital watermarking and information embedding [J]. Proceedings of SPIE, 1999, 3657: 342~353.
- 6 Zhang X, Zhang K, Wang S. Multispectral image watermarking based on KLT [J]. Proceedings of SPIE, 2001, 4551: 107~114.
- 7 Chen B, Wornell G W. Quantization index modulation: a class of provably good methods for digital watermarking and information embedding [J]. IEEE Transactions on Information Theory, 2001, 47: 1423~1443.
- 8 Hao Bai-lin. Staring with Parabolas: An Introduction to Chaotic Dynamics [M]. Shanghai: Scientific and Technological Education Publishing House, 1993.
- 9 Wang Dong-sheng, Chao Lei. Chaos, Fractal and its Application [M]. Hefei: Press of Science and Technology of China, 1995. [王东生, 曹磊. 混沌、分形及其应用 [M]. 合肥: 中国科学技术出版社, 1995.]
- 10 Pennebaker W B, Mitchell J L. JPEG Still Image Data Compression Standard [M]. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992.
- 11 Swanson M D, Kobayashi M, Tewfik A H. Multimedia data embedding and watermarking technologies [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(6): 1064~1087.
- 12 Cox I J, Kiliian J, Leighton T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1997, 6(12): 1673~1687.
- 13 Chui Guo-hua, Yuan Juan. An analysis of the quantization model of watermark in transform domain [J]. Computer Engineering and Applications, 2005, 41(36): 111~113. [崔国华, 袁爽. 变换域水印的量化模型分析 [J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(36): 111~113.]