

一种基于特征的抗剪裁盲水印算法

韩亚丹 闫德勤

(辽宁师范大学计算机与信息技术学院, 大连 116029)

摘要 为了提高水印抗剪裁攻击的鲁棒性,提出了一种基于特征的方法,用来辅助决定水印的嵌入和提取的位置,并根据人类视觉的掩蔽特性,在较复杂的块增加嵌入量,而在DCT域的中低频带嵌入二值图像水印,并通过标志位的嵌入来辅助水印的提取,该算法除了对JPEG、模糊等图像操作具有很好的抵抗能力外,同时对剪裁也具有很好的鲁棒性。目前在许多水印嵌入算法中,当对剪切图像进行水印提取时,图像的大小和像素相对坐标均未发生改变;而本文对剪裁后的图像所进行的水印提取则是在图像的大小和像素的相对坐标均是未知的情况下进行的。实验结果证明,该算法是一种行之有效的盲水印算法。

关键词 数字水印 DCT变换 基于特征 同步 标志位

中图法分类号: TP309 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006-8961(2007)04-0574-07

A Crop-resisting Watermarking Scheme Based on Feature

HAN Ya-dan, YAN De-qin

(College of Computer and Information Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029)

Abstract As an effective technique of copyright protection, digital watermarking techniques have become a new focus of interest in recent years. A useful watermark scheme should be visually imperceptible and must be robust to various attacks. In this paper, a feature-based algorithm is proposed, which embedded a binary image as watermark in DCT domain by taking into account the feature of gradient and intensity of each block. Especially we embed marker bits to locate the original block of cropped image. The proposed technique could actually survive several kinds of image processing such as image cropping, shifting, blurring, noise, sharpening and JPEG lossy compression etc. The algorithm doesn't need the original image for watermark extraction and the simulation results prove its effectiveness.

Keywords digital watermarking, discrete cosine transform(DCT), feature-based, synchronize, marker bits

1 引言

近年来,随着多媒体技术与网络技术的飞速发展,人们获取信息也变得越来越方便快捷,然而网络的发展在给人们带来方便的同时,也出现了许多迫切需要解决的问题,如在网络上传输数据文件或作品时,有恶意的个人或团体,有可能在没有得到作品所有者的许可下,能够十分容易的拷贝和传播有版权的内容。所以,多媒体技术与网络技术在给社会带来进步的同时,也使得它的知识产权保护成为一

个迫切需要解决的问题^[1]。作为一种有效的保护手段,数字水印技术逐渐成为多媒体信号处理领域的一个研究热点^[2]。

一个完善的数字水印应该满足稳健性和不可见性两个条件,但由于这两者是互相矛盾的,因此在嵌入水印的时候要充分利用图像的感知容量,以便在保证水印的不可见性的同时,还能得到稳健的水印。也就是说,一个良好的数字水印系统应该是稳健性与不可见性的一个最佳的折衷。目前已经提出了许多的数字水印算法,但很多算法对图像的几何变换(如剪裁、像素漂移、旋转等操作)具有鲁棒性的水

基金项目:国家自然科学基金项目(60372071);辽宁省教育厅高等学校科学研究基金项目(2004C031)

收稿日期:2005-06-15;**改回日期:**2006-01-23

第一作者简介:韩亚丹(1979~),女,硕士研究生。研究方向为数字图像处理、数字水印技术。E-mail:ydanhan@163.com。

印很少。通常许多算法所做的裁剪实验也只是在像素坐标没有发生改变的情况下进行的,可是大多数操作中(如裁剪、旋转)通常像素坐标都会发生改变^[3]。本文算法采用了基于特征的方法来辅助水印的嵌入和提取,并根据人类视觉的掩蔽特性,在较复杂的块增加嵌入量,在 DCT (discrete cosine transform) 域的中低频带嵌入水印,并通过嵌入标志位来辅助水印的提取。实验结果表明,算法对图像剪裁具有很好的鲁棒性,同时对 JPEG、模糊、锐化、叠加噪等图像操作 also 具有很好的抵抗能力。

2 基于特征的抗剪裁水印嵌入策略

所谓基于特征水印的方案,就是通过图像本身某些稳定的特征来辅助水印的嵌入和提取,并使用空域图像的特征,使之与水印形成一定的对应关系,之后在频域中嵌入和提取水印。

基于分块的 8×8 小图像其块平均梯度和块平均灰度是分块图像的两个比较稳定的特征,由于这两个特征对于 JPEG 压缩和一些常规的图像操作改变量都很小,所以可以对其做相应的量化,使之与水印图像各点坐标相关联,以辅助水印的嵌入和提取。

已经有研究者提出了基于特征的抗漂移的数字水印方案,如文献[4]中利用梯度和平均灰度相对稳定的特征对其进行量化,以辅助水印的嵌入和提取。在水印嵌入过程中,采用标志位的嵌入方法来定位原始嵌入水印的 8×8 块,以便更准确地提取水印。文献[4]算法的不足在于:由于相邻块的复杂度和平均灰度相近,所以量化出的结果中相同的数值很多,即对应的水印图像中坐标相同的像素点也很多,也就是说,代表对应同一坐标的点可能做了多次嵌入,而有的点则可能从未做过嵌入。针对这一不足,本文对其量化方法进行了改进,即采取了不均匀量化的方法,通过调节因子来自适应地调节量化参数,这就增多了嵌入的水印信息量。本文同时提出了新的水印嵌入提取方法,即利用块的中频带系数来自适应地调整对 DC 系数量化的步长,以提高水印的鲁棒性。实验证明,本算法在保证高不可见性的同时,对常规的图像操作均具有很好的鲁棒性。

3 水印嵌入方法

本文算法是在 DCT 变换的中频带嵌入水印,并

实现了水印的盲提取。例如,假定待嵌入水印的灰度图像为 X , 尺寸为 $M \times M$, 其中 $M = 2^n$, $X = \{x(i, j) \in \{0, 1, 2, \dots, 255\}, 0 \leq i < M, 0 \leq j < M\}$; 水印图像为二值图像 W , 尺寸为 $N \times N$, 可表示为 $W = \{w(i, j) \in \{0, 1\}, 0 \leq i < N, 0 \leq j < N\}$ 。嵌入水印时,先将图像 X 做 8×8 大小的分块^[6,7], 分块表示为 $B = \{b(p, q), 0 \leq p < M/8, 0 \leq q < M/8\}$ 。

3.1 计算块的平均梯度值

水印嵌入时,首先将图像分成 8×8 互不重叠的小块,这是为了适应人类的视觉系统的需要,由于比较复杂的图像块具有较好的视觉掩蔽特性,且在复杂的块中嵌入水印,视觉变化不是特别明显,因此在较复杂的块中水印量可以嵌入多一些,在相对不复杂的块中嵌入量少一些。目前,有许多方法可以计算块的复杂度,在图像特征提取中,通常可用纹理特征、边缘特征来表征图像的复杂度,若纹理越复杂、边缘越多,则说明图像复杂度越高,视觉掩蔽效果越好,这种情况可以嵌入的水印量就越多。通过计算图像梯度的平均值来表征纹理复杂度是常用的一种方法,因为通常梯度平均值越高,纹理特征越明显,块的复杂度就越大。同样图像的梯度也可以表征图像的边缘特征,由于通常围绕边界周围的区域,边界陡度越大,计算出的梯度值越大,因此块平均梯度值越大,其代表包含的边缘可能就越多。反推也同样成立,即平均梯度值越大,则说明块中包含了很多边缘或者是具有较复杂的纹理特征,或者二者兼而有之。因此本文选择通过计算块的平均梯度值来决定块的复杂度。

记 X 方向和 Y 方向的梯度为

$$E(i, j) = \nabla I = \begin{pmatrix} \frac{\partial I}{\partial x} \\ \frac{\partial I}{\partial y} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} s_x \\ s_y \end{pmatrix} \quad (1)$$

梯度幅值为

$$|E(i, j)| = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad (2)$$

在这里,本文使用 Sobel 边缘检测算子来计算梯度幅值。Sobel 算子表示如下:

$$\begin{pmatrix} 1 & 2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad \begin{pmatrix} 1 & 0 & 1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{pmatrix}$$

x 方向 y 方向

这里块 (p, q) 的平均梯度幅值表示为

$$M(p, q) = \frac{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 |E(8p + i, 8q + j)|}{64} \quad (3)$$

如果 $M(p, q)$ 的值大于某一阈值 T_1 时,那么就认为该块比较复杂,这里选择 $T_1 = 100$,以便可以选择在较复杂的块中嵌入较多量的信息。本文将标志位信息嵌入在了复杂块中,这样在进行一些常规的图像处理操作的时候,也能够保证图像的标志位的准确提取。

3.2 水印嵌入位置的选取

本文算法是根据图像的特征来选取水印的嵌入位置,以增强图像的鲁棒性。文献[4]的实验证明:图像在受到 JPEG 压缩和常规图像处理的时候,由于其 8×8 分块图像的块平均梯度和块平均灰度值的改变量很小,也就是说,块平均梯度和块平均灰度值是图像的两个相对稳定的特征,因此,本文采用 8×8 的平均梯度和灰度来作为参照,将其分别量化成水印的垂直和水平两个方向的相对坐标,以便通过确定其与水印图像的相互关系来嵌入水印。

平均梯度幅值表达如式(3)所示,平均灰度表达如式(4)所示:

$$\bar{I}(p, q) = \frac{\sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^8 I(8p + i, 8q + j)}{64} \quad (4)$$

由于图像相邻块或不同块间可能存在着类似的复杂度和灰度值,这样就会使量化后得到的水印位置有多次重复的现象,也就出现有的水印位多次嵌入,而有的水印位从未嵌入过的情况发生。为了弥补这种不足,本文采用调节因子 K_1, K_2 来自适应地调节量化步长,由于实现了对平均梯度和平均灰度值的不均匀量化,从而也实现了尽可能多的水印位的嵌入,具体过程如下:

将块平均灰度量化成对应水印的水平方向坐标记为 $P_x(p, q)$,其表示如下:

$$P_x(p, q) = \bar{I}_i(p, q) / (l_x / K_1) \quad (5)$$

如果 $P_x(p, q)$ 大于 N ,则令 $P_x(p, q) = N$; l_x 是 x 方向的量化步长。 K_1, K_2 是一个根据块平均灰度和平均梯度幅值确定的调节因子(函数),可使用这个调节因子来自适应地调整量化步长,使得得出的对应于水印的水平和垂直坐标值能够相对均匀分布于水印图像中,以便水印嵌入时,水印像素能够均匀取得较好的效果。

K_1 的表示如式(6)所示:

$$K_1 = \begin{cases} \frac{(\bar{I}(p, q) - 180) \times 256}{((\max(\bar{I}(p, q)) - 180) \times \bar{I}(p, q))} & \bar{I} \geq 180 \\ \frac{(\bar{I}(p, q) - 100) \times 256}{(80 \times \bar{I}(p, q))} & 200 > \bar{I} \geq 100 \\ \frac{(\bar{I}(p, q) - \min(\bar{I}(p, q))) \times 256}{((100 - \min(\bar{I}(p, q))) \times \bar{I}(p, q))} & \bar{I} < 100 \end{cases} \quad (6)$$

将块平均梯度量化成对应水印的垂直方向坐标,记为 $P_y(p, q)$,其表示如式(7)所示:

$$P_y(p, q) = M(p, q) / (l_y / K_2) \quad (7)$$

K_2 的表示如式(8)所示:

$$K_2 = \begin{cases} \frac{(M(p, q) - T_2) \times \max(M(p, q))}{((\max(M(p, q)) - T_2) \times M(p, q))} & M \geq T_2 \\ \frac{(M(p, q) - T_3) \times \max(M(p, q))}{(T_2 - T_3) \times M(p, q)} & T_2 > M \geq T_3 \\ \frac{M(p, q) \times \max(M(p, q))}{(T_3 \times M(p, q))} & M < T_3 \end{cases} \quad (8)$$

其中阈值 T_2, T_3 选择如下:

$$T_2 = 2 \max(M(p, q)) / 3 \quad (9)$$

$$T_3 = \max(M(p, q)) / 3 \quad (10)$$

其中, l_x, l_y 是根据块平均梯度和块平均灰度的最大值来确定,其计算式如下:

$$l_x = \text{round}\left(\frac{\max(\bar{I}(p, q))}{N}\right) + 1 \quad (11)$$

$$l_y = \text{round}\left(\frac{\max(M(p, q))}{N}\right) + 1 \quad (12)$$

这里 $\text{round}(\cdot)$ 为取整运算, N 为水印的宽度和高度。

块与水印之间的对应关系如图 1 所示。

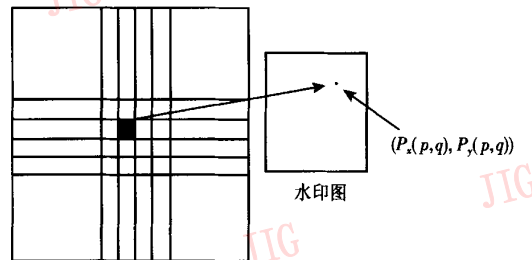


图 1 分块图像的块特征与水印之间的对应关系

Fig. 1 The relation between features of block and watermark

图 1 中,黑色块是坐标为 (p, q) 的块, $M(p, q)$ 、 $\bar{I}(p, q)$ 分别为块的平均梯度幅值和平均灰度值, $(P_x(p, q), P_y(p, q))$ 为将要嵌入到坐标为 (p, q) 块中的像素点的坐标。

通过自适应的调整量化步长实现不均匀量化方法^[5,6],能够从很大程度上增加水印的嵌入量,但也不能完全避免有的水印比特从未嵌入的情况发生。为了能有更好的提取效果,我们在较复杂的块中按照水印坐标为 $(P_x(p,q), N-P_y(p,q)), (N-P_x(p,q), P_y(p,q)), (N-P_x(p,q), N-P_y(p,q))$ 的顺序来增加水印嵌入量。当 $M(p,q) > T_3$ 时嵌入一位,即坐标为 $(P_x(p,q), N-P_y(p,q))$ 的水印位, $M(p,q) > T_2$ 时候,嵌入2位,即坐标为 $(N-P_x(p,q), P_y(p,q)), (N-P_x(p,q), N-P_y(p,q))$ 的水印位。

3.3 水印嵌入过程

为了实现水印的不可见性与鲁棒性的折衷,本文选择在中低频带嵌入水印,因为在DCT域的高频编码易于被各种信号处理方法所破坏,而在低频编码则由于人的视觉对低频分量很敏感,从而对低频分量的改变特别容易被察觉,因此本文选择在中低频带嵌入^[7],通过修改中低频带中的AC系数来嵌入水印。中低频带系数的选取如图2所示。

	1	5	6	14	15		
2	4	7	13	16			
3	8	12	17				
9	11	18					
10	19						
20							

图2 DCT系数示意图

Fig. 2 Sketch of DCT coefficients

图2中,1~20为AC系数 $AC_1 \sim AC_{20}$,阴影部分为本文算法中所选取的中低频区域。

由于DC系数是DCT变换中最稳定的系数,它对于JPEG压缩和其他的一些图像处理操作的改变量都很小^[8,9],因此,将DC系数量化成 $\hat{DC}$,通过比较选定的AC系数和 $\hat{DC}$ 之间的关系来对水印进行嵌入,这里DC系数的量化过程如下:

$$\hat{DC} = DC/\bar{l} \quad (13)$$

其中,

$$\bar{l} = \text{abs}\left(\text{round}\left(\frac{1}{18} \sum_{i=3}^{20} AC_i\right)\right) \quad (14)$$

之后选择适当的AC系数与之做比较的方法来嵌入水印。嵌入过程如下:当嵌入水印比特位值为

1时,如果不满足条件 $|AC| > |\hat{DC}|$,则按照式(15)来修改AC系数;当嵌入水印比特位值为0时,如果不满足条件 $|AC| < |\hat{DC}|$,则按照式(15)来修改AC系数,式(15)描述如下:

$$\begin{aligned} \text{嵌入水印 bit 为 1 时,并且} \quad & \begin{cases} AC = AC + S & \text{if } (AC \geq 0) \\ AC = -AC - S & \text{if } (AC < 0) \end{cases} \\ \text{if } (|AC| < |\hat{DC}|) \\ \text{嵌入水印 bit 为 0 时,并且} \quad & \begin{cases} AC = AC - S & \text{if } (AC \geq 0) \\ AC = -AC + S & \text{if } (AC < 0) \end{cases} \\ \text{if } (|AC| \geq |\hat{DC}|) \end{aligned} \quad (15)$$

通过嵌入深度因子 S 调节修改AC系数,这里 $S > ||AC| - |\hat{DC}||$, S 的选取也会影响到图像的质量, S 值越大,图像的视觉降质越明显; S 值越小,则水印的鲁棒性越差,因此应该选取一个合适的 S 值,以达到视觉质量与鲁棒性的折衷。根据多次实验比较,本文在Baboon和Barb图中选取 $S=4$,Peppers和Lena图中选取 $S=3$ 。

3.4 标志位的嵌入

一旦图像受到剪切等操作后,图像的 8×8 分块可能也随之发生了变化,这样,找到原始的 8×8 分块对水印的提取就至关重要,因此可采用文献[4]中嵌入标志位的方法,通过标志位的提取来确定水印的原始嵌入块。嵌入位置选择了较复杂块的DCT域。提取的时候先进行 8×8 次的标志位提取,随后对提取出的标志位与原始嵌入的标志位做NC值计算,即相关性的计算,再将得到 8×8 个NC值的结果存放于 8×8 数组里,以找到NC值最大的结果,其两个下标就是原始嵌入水印的块水平和垂直坐标分别产生的位移,从而就可以确定原始嵌入水印的块,以便进行随后的提取工作。

这里水印的标志位的嵌入块,应该选择较复杂的块来做嵌入,因为这样可以提高标志位提取的准确率。本文选定DCT块的特定的位置来嵌入标志位,即在每个复杂块的DCT中频带选取了3个特定位置来嵌入标志位,第1位嵌入bit为1,第2位为0,第3位为0,因此,原始嵌入的标志位应该是一串100100……的二进制码,这里标志位的嵌入和水印嵌入采用了相同的嵌入方法。

4 水印提取方法

4.1 标志位提取

如果图像被做的剪切操作,需要在提取水印之前对图像进行标志位的提取,找到 8×8 原始块的位

置,以便水印的正确提取。在提取水印的时候,可先随机挑选一定数量的复杂块(本文选取 20 个复杂度较大的块),再对其进行 8×8 次移位提取(即从 1~8 行和 1~8 列分别移位遍历提取标志位),每次提取都会得到一个二进制的序列,并能够计算出一个提取出的标志位 $\tilde{W}$ 与原来 100100……序列码 W 的相关值。这样在 8×8 次的提取中,一定有一次会和嵌入水印的原始块是相一致的,即相关值最大的提取结果,从而能够确定水平与垂直位置发生了怎样的位移,这样,就可以找到水印嵌入的原始块。

标志位的具体提取方法与水印的提取相同,详见式(17)。相关值计算如式(16)所示:

$$NC = \frac{\sum W\tilde{W}}{\sum W^2} \quad (16)$$

这里当归一化相关系数(normalization correlativity, NC)值大于阈值 T_4 时,则视为图像中含有水印,否则,不予提取,本文中 $T_4 = 0.7$ 。

4.2 提取水印

水印的提取过程就是在 DCT 域中找到嵌入水印的位置,提取出相应的水印位,之后再将其放回到正确的水印位置的过程。如果要检测出水印,则必须找到原始的嵌入水印的 8×8 的 DCT 块。如果确定即将提取水印的块和原嵌入块相一致了,那么就可以提取出正确的水印了。因此可首先要通过提取标志位来确定嵌入水印原始块的位置,及确定是否发生过位移,究竟发生了多少位移。一旦找到了原始嵌入水印的 8×8 块,那么就可以提取水印比特,然后就可比较 DCT 域中的 AC 系数与量化的 DC 系数 $\hat{DC}$ 之间的关系。

在水印提取阶段,我们也是要先计算图像的块平均梯度和灰度值,并且按照嵌入时的量化方法,找到图像块和水印的对应关系,之后按照式(17)来提取水印。

$$W(p, q) = \begin{cases} 1 & \text{if } (|AC| > |\hat{DC}|) \\ 0 & \text{if } (|AC| < |\hat{DC}|) \end{cases} \quad (17)$$

5 实验结果

实验中选用 256 灰度级的 Baboon 标准图像(对于其他图像亦具有类似的结果),实验平台采用 PhotoShop7.0 对水印图像进行了一系列的攻击,图 3 是几种攻击所提取出水印结果。

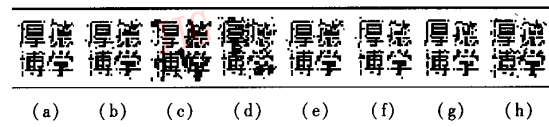


图 3 攻击后所提取出的水印结果

Fig. 3 The results after image processing

图 3(a) 为品质为 10 的 JPEG 压缩, $NC = 0.9698$, $PSNR = 41.1604$ dB; 图 3(b) 品质为 8 的 JPEG 压缩, $NC = 0.9499$, $PSNR = 39.3456$ dB; 图 3(c) 为品质为 6 的 JPEG 压缩, $NC = 0.8924$, $PSNR = 36.6183$ dB; 图 3(d) 为品质为 5 的 JPEG 压缩, $NC = 0.7890$, $PSNR = 34.6753$ dB; 图 3(e) 为半径为 0.2 的高斯模糊, $NC = 0.9612$, $PSNR = 39.7079$ dB; 图 3(f) 为边缘锐化, $NC = 0.9678$, $PSNR = 36.2736$ dB; 图 3(g) 为数量 30% 半径 1.0 的 USM 锐化, $NC = 0.9782$, $PSNR = 38.5671$ dB; 图 3(h) 为添加数量为 2% 的平均噪声 $NC = 0.9344$, $PSNR = 38.5988$ dB。

以下图 4、图 5、图 6 是分别对 Baboon, Barb, Peppers, Lena 4 幅图像从不同方位进行剪切后的图像及提取水印的效果:

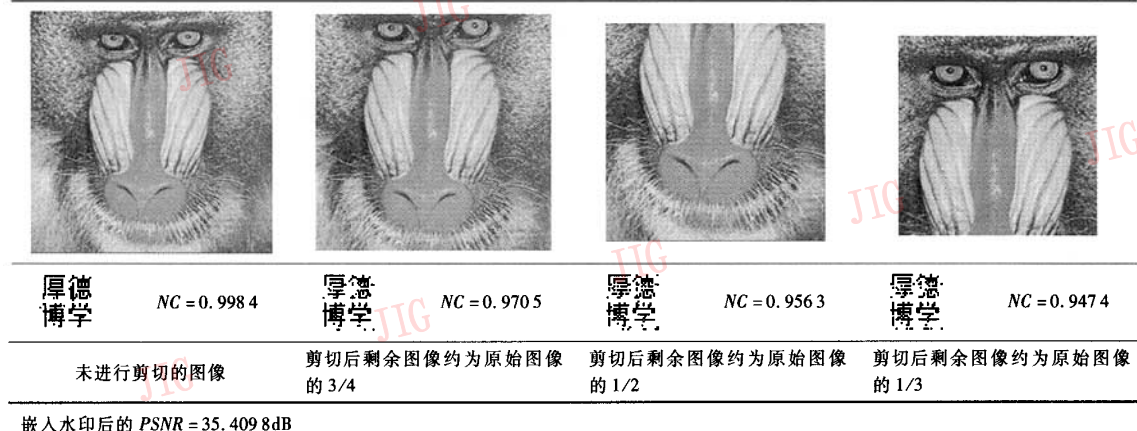


图 4 对 Baboon 图进行剪裁测试

Fig. 4 Cropping testing on Baboon

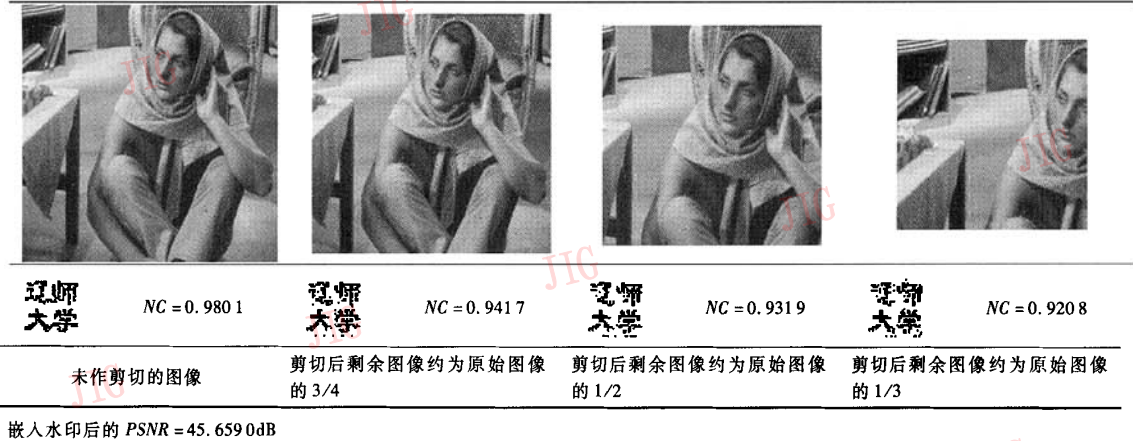


图 5 对 Barb 图进行剪裁测试
Fig. 5 Cropping testing on Barb



图 6 对 Peppers 图和 Lena 图进行剪裁测试
Fig. 6 Cropping testing on Peppers and Lena

6 结 论

本文采用基于特征的方法来同步水印的嵌入与提取,算法很好的实现了水印的鲁棒性和不可见性的折衷。除了具有抗常规的图像处理攻击的特征以外,同时对图像剪切和像素漂移也具有很好的鲁棒性。在本文的方案里,主要采取以下几个关键步骤:

(1) 利用块平均梯度和块平均灰度值两个特征来辅助水印的嵌入和提取。

(2) 量化过程采用了调节因子 K 自适应的调整量化步长,实现了不均匀量化,从而扩大了嵌入的水印坐标的覆盖范围。

- (3) 通过嵌入标志位来寻找 8×8 块的起始位置,从而确定原始嵌入水印的块。
- (4) DCT 域水印嵌入,对直流系数进行自适应量化,并参照其量化结果进行嵌入。
- (5) 嵌入的水印是一幅有意义的可视图像,并用实现了盲提取,因此算法具有较好的实用性。
- (6) 嵌入位置的选取和文献[4]提出的方法相比,本文算法根据块平均梯度和平均灰度特征自适应的调整量化步长,适用范围更广一些。
- 实验证明,算法对图像的裁剪操作具有很好的鲁棒性,同时对 JPEG 压缩、模糊、加噪等常规的图像处理具有很好的抵抗能力。但如果图像有未知角度的旋转,本算法不能检测到旋转的存在以及旋

转的角度,从而无法提取到水印。实验中,对图像分别从不同的部位进行了不同大小的剪切操作,剪切的幅度也比较大,水印的提取效果仍然比较理想;从图4、5、6中,可以看出,对于复杂度较高的图像,提取的水印效果相对要优于复杂度较低的图像的提取效果。另一个缺陷是遭受到剪切的图像如果经过过度压缩或滤波处理,可能造成同步标志位提取出现偏差,从而影响到水印的最终提取。可以从以下几个环节提高水印的鲁棒性:

(1) 寻找更稳定的特征来决定水印的嵌入位置;

(2) 找到更合适的量化参数来扩大水印坐标的覆盖范围;

(3) 找到更合适、更稳定的嵌入水印的算法。

今后的工作就是改善算法中所存在的不足,进一步完善水印方案,以对图像达到更好的保护作用。

参考文献 (References)

- 1 Hsu C T, Wu J L. Hidden digital watermarks in images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8(1): 58 ~ 68.
- 2 Yi Kai-xiang, Shi Jiao-ying, Sun Xin. Digital watermarking techniques: An introductory review[J]. Journal of Image Graphics, 2001, 6(2): 111 ~ 117. [易开祥,石教英,孙鑫. 数字水印技术研究进展[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(2): 111 ~ 117.]
- 3 Hua Xian-sheng, Shi Qing-yun. Localized watermarking scheme[J]. Journal of Image and Graphics, 2001, 6(7): 642 ~ 647. [华先胜,石青云. 局部化数字水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2001, 6(7): 642 ~ 647.]
- 4 Chen D Y, Ouhyoung M, Wu J L. A Shift-resisting public watermark system for protecting image processing software [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000, 46(3): 404 ~ 414.
- 5 Huang Ji-wu, Shi Yun Q, Yao Re-he. Adaptive image watermarking algorithm based on classified block [J]. Journal of Image and Graphics, 1999, 4(8): 640 ~ 643. [黄继武, Yun Q. Shi, 姚若河. 基于块分类的自适应图像水印算法[J]. 中国图象图形学报, 1999, 4(8): 640 ~ 643.]
- 6 Zhang Xin-peng, Wang Shuo-zhong, Zhang Kai-wen. Quantization scheme based on HVS for multi-bit watermarking [J]. Journal of Optoelectronics · Laser, 2003, 14(11): 1179 ~ 1182. [张新鹏, 王翔中, 张开文. 基于视觉特性的多比特量化水印方案[J]. 光电子 · 激光, 2003, 14(11): 1179 ~ 1182.]
- 7 Yan De-qing, Han Ya-dan, Gao Yan. A novel watermarking method with DCT [J]. Journal of Computer Engineering and Applications, 2005, 41(2): 65 ~ 66. [闫德勤, 韩亚丹, 高燕. 一种 DCT 中频水印嵌入与提取方法[J]. 计算机工程与应用, 2005, 41(2): 65 ~ 66.]
- 8 Lin Shin-feng D, Chen Chin-feng. A robust DCT-based watermarking for copyright protection [J]. IEEE Transactions on Consumer Electronics, 2000, 46(3): 413 ~ 421.
- 9 Huang Ji-wu, Shi Yun-Q, Cheng Wei-dong. Image watermarking in DCT: An embedding strategy and algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2000, 28(4): 57 ~ 60. [黄继武, Yun Q. Shi, 程卫东. DCT 域图像水印: 嵌入对策和算法[J]. 电子学报, 2000, 28(4): 57 ~ 60.]