

# 一种彩色图像 DC 系数的自适应水印算法\*

王员根<sup>1,2</sup>, 梁凡<sup>1</sup>, 肖明明<sup>1,2</sup>

(1. 中山大学信息科学与技术学院, 广东广州 510275  
2. 仲恺农业工程学院信息学院, 广东广州 510225)

**摘要:** 提出了一种新的彩色图像 DC 系数的自适应水印算法。该算法通过简单地分析 DCT 块的两个 AC 系数将像素块分类成平滑块、边缘块和纹理块, 然后根据像素块的类型自适应设置水印的嵌入强度。并利用图像亚采样得到的 4 个子图像间的高度相关性, 将 1 比特水印嵌入在 4 个子图像块中由密钥控制的两个块的 DC 系数上, 获得了分散水印能量与增加安全性的目的, 而水印能直接在像素域中进行盲提取。同时嵌水印在 YIQ 模型的 Y 分量和 RGB 的 B 分量上, 并进行了两者的性能比较与分析。大量实验表明, 提出的水印算法取得了很高的不可见性和鲁棒性, Y 分量水印的性能优于 B 分量的。

**关键词:** 彩色图像水印; 自适应嵌入; DC 系数; 分类

中图分类号: TN391 文献标志码: A 文章编号: 0529-6579(2010)04-0043-06

## Color Image Watermarking Adaptively in DC Coefficients

WANG Yuangen<sup>1,2</sup>, LIANG Fan<sup>1</sup>, XIAO Mingming<sup>1,2</sup>

(1. School of Information Science and Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China;  
2. School of Information, Zhongkai University of Agriculture and Engineering, Guangzhou 510225, China)

**Abstract:** A new approach of watermarking adaptively in DC coefficients of color images is presented. The proposed algorithm uses two AC coefficients of DCT blocks to classify the pixel blocks into three different types, namely, smoothed, edged, and texture block. The strength of watermark is set adaptively according to the pixel block type. Four subimages from the original color image can be obtained with down-sampling. These subimages are highly correlated. Take into consideration the relationship. One bit watermark is embedded, in two DC coefficients which is selected from the subimages. The selection of DC coefficients is based on Key-controlled random numbers so as to disperse the energy of watermark and win secure watermarking. Blind extraction of watermark can be performed directly on pixel domain. Whilst the watermark is inserted into both the luminance component in YIQ model and the blue channel in RGB model, and examine and compare their performances. Extensive experimental results demonstrate that the algorithm achieves the high robustness and good quality of watermarked image, and the performance of watermarking in Y component outperforms that of B component.

**Key words:** color image watermarking, adaptively embedding, DC coefficient, classification

近 20 年来, 数字水印已经成为信号与图像处理领域最活跃的研究热点之一。在多媒体版权保护问题上, 稳健水印被认为是一种有力可行的措施<sup>[1]</sup>。目前, 从已公开出版的文献来看, 稳健图

像水印大致可分为空域和频域两大类。在空域水印方法中, 通过直接修改宿主图像的像素值本身来嵌入水印<sup>[2]</sup>。而变换域图像水印<sup>[3]</sup>, 宿主图像首先经变换(如 DFT, DCT, DWT 等)到一个新的域,

\* 收稿日期: 2009-07-01

基金项目: 广东省科技计划资助项目(2006B21001010)

作者简介: 王员根(1976年生), 男, 讲师, 博士生; 通讯作者: 梁凡; E-mail: isslf@mail.sysu.edu.cn

然后修改变换域的系数来嵌入水印, 最后应用反变换生成嵌入水印的图像。有大量的变换域图像水印算法提出, 绝大多数都嵌水印在灰度图像的中低频系数上, 当应用在彩色图像上, 则直接处理 YIQ 或 RGB 模型的某一个分量。Barni 等<sup>[4]</sup>提出在彩色图像每个分量 DCT 的低频系数上嵌水印, 由于 JPEG 压缩对彩色图像红色与蓝色分量的能量丢失较大<sup>[5]</sup>, 所以该方案不能抵抗 JPEG 压缩攻击。Huang 等<sup>[6]</sup>首次提出在 DC 系数上嵌水印能获得更强的稳健性, 因为 DC 系数比 AC 系数要大的多, 因此能提供更大的水印容量, 并且 DC 系数对 JPEG 压缩、低通滤波、亚采样等运算更不受影响。在 Huang 等的建议下, 文献 [7-8] 都利用 DC 系数来嵌入水印。文献 [7] 提出在彩色图像的 RGB 空间执行一个饱和度调整方案, 然后直接在像素域中嵌入水印。文献 [6-8] 存在的主要不足为: ①非盲检测, 水印检测过程都需要原始图像的参与, 在许多实际应用中并不能获得原始图像; ②HVS特性利用不充分, 从而不能保证水印的最大不可感知性。

## 1 DC 系数的自适应水印算法

DCT 被广泛应用在数字水印技术中, 通常它可以在整幅图像上执行, 也可以选择在不同尺寸的不重叠的块上执行, 它将一幅图像分解成一组 DC 和不同频率的 AC 系数。正反 DCT 定义如下

$$F(u, v) = \alpha_u \alpha_v \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cdot \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2M}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (1)$$

$$f(x, y) = \alpha_u \alpha_v \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u, v) \cdot \cos\left[\frac{(2x+1)u\pi}{2M}\right] \cos\left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N}\right] \quad (2)$$

式中,  $u = 0, 1, 2, \dots, M-1, v = 0, 1, 2, \dots, N-1, x = 0, 1, 2, \dots, M-1, y = 0, 1, 2, \dots, N-1$

$$\alpha_u = \begin{cases} \sqrt{1/M} & u = 0 \\ \sqrt{2/M} & 1 \leq u \leq M-1 \end{cases}$$

$$\alpha_v = \begin{cases} \sqrt{1/N} & v = 0 \\ \sqrt{2/N} & 1 \leq v \leq M-1 \end{cases}$$

当  $u = 0, v = 0$  时  $F(0, 0)$  定义为 DC 系数, 计算式如下

$$DC = \frac{1}{\sqrt{MN}} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \quad (3)$$

大多数已公开发表的文献都在空间域中使用 Can-

ny, Sobel 或 Prewitt 方法来分类宿主图像<sup>[9-11]</sup>, 然后在 DCT 域嵌入水印。我们提出仅验证两个 AC 系数 (即  $X(1, 0)$  和  $X(0, 1)$ ) 来分类图像, 彩色图像的 Y 分量或蓝色分量首先被亚采样, 分别获得 4 个一半分辨率的子图像, 然后用一个随机序列对来选择 4 个子图像中的一对 DCT 块来嵌入水印, 嵌入强度自适应块的类型, 最后将嵌入水印的块执行 IDCT, 合并 4 个子图像得到嵌水印的作品。算法流程如图 1 所示。

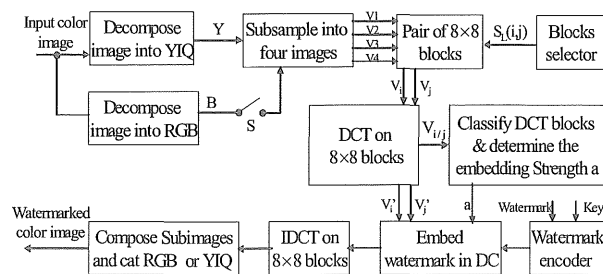


图 1 水印嵌入框图

Fig. 1 Block diagram of watermarking

### 1.1 自适应判决嵌入强度

Chang 等<sup>[12]</sup>使用表 1 中的测度值将图像的  $8 \times 8$  DCT 块分成 5 类, 分别对应不同强度的边缘, 而 Jiang 等<sup>[13]</sup>提出使用三种类型的边缘块就能完全刻画图像的视觉内容。

表 1 边缘图案的测度

Table 1 Measure of edges patterns

Edges	Measure values
No edge $\lambda$ (set by user, $\lambda = 50$ in Ref. [12])	
0	$\delta_0 =  x(1, 0) $
$\pi/4$	$\delta_{\pi/4} = \frac{3}{4} \max \left\{ \left  \frac{1}{2}(x(0, 1) + x(1, 0)) \right , \left  \frac{1}{2}(x(0, 1) + x(1, 0) - x(1, 1)) \right  \right\}$
$\pi/2$	$\delta_{\pi/2} =  x(0, 1) $
$3\pi/4$	$\delta_{3\pi/4} = \frac{3}{4} \max \left\{ \left  \frac{1}{2}(x(0, 1) - x(1, 0) + x(1, 1)) \right , \left  \frac{1}{2}(x(0, 1) - x(1, 0) - x(1, 1)) \right  \right\}$

通过研究 Jiang 的分类方法, 我们提出一种新的分类方案, 即根据 DCT 块中两个 AC 系数将像素块分成平滑块、纹理块和边缘块, 分类方案如下:

$$\gamma = \begin{cases} \text{smooth} & \text{if } \max(\delta_0, \delta_{\frac{\pi}{2}}) < \lambda_1 \\ \text{texture} & \text{if } \min(\delta_0, \delta_{\frac{\pi}{2}}) \geq \lambda_2 \\ \text{edge} & \text{others} \end{cases} \quad (4)$$

(4) 式中的  $\lambda_1, \lambda_2$  来自于经验阈值, 并设置  $\lambda_1 = 50, \lambda_2 = 65$ ,  $\delta_0$  与  $\delta_{\frac{\pi}{2}}$  的计算参考表 1。因此, 我们设计水印嵌入强度遵守式 (5) 策略。

$$\alpha = \begin{cases} \alpha_{\text{smooth}} & \text{if } \max(\delta_0, \delta_{\frac{\pi}{2}}) < \lambda_1 \\ \alpha_{\text{texture}} & \text{if } \min(\delta_0, \delta_{\frac{\pi}{2}}) \geq \lambda_2 \\ \alpha_{\text{edge}} & \text{others} \end{cases} \quad (5)$$

我们测试了 7 个  $512 \times 512$  像素的彩色图像 (包括 Lena, Peppers, Tiffany, Baboon, Opera, Watch, Lake 标准图像)。分类效果见图 2 所示。分类实验结果表明, Lena 包含大量的平滑区域和尖锐边缘; Peppers 也包含大量的平滑区, 但没有尖锐边缘; Baboon 包含大量的纹理区域。分类图中的白色区域对应平滑块, 嵌入的水印强度应尽可能的小。黑色区域对应图像的边缘与纹理, 有更大的水印能力。而大量研究表明, 复杂的纹理区域相对边缘区域有更高的掩蔽能力。因此我们的水印嵌入强度安排:  $\alpha_{\text{smooth}} < \alpha_{\text{edge}} < \alpha_{\text{texture}}$ 。并对 YIQ 模型和 RGB 模型分别设置为:  $\alpha_{\text{smooth}} = 0.01, \alpha_{\text{edge}} = 0.025, \alpha_{\text{texture}} = 0.04$ , 和  $\alpha_{\text{smooth}} = 0.07, \alpha_{\text{edge}} = 0.1, \alpha_{\text{texture}} = 0.2$ 。

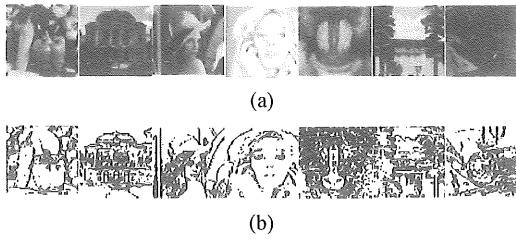


图 2 宿主图像 (a) 与分类图像 (b)  
Fig. 2 Host images (a) Classified images (b)

### 1.2 水印嵌入

彩色图像 YIQ 模型的 Y 分量描述图像的灰度信息, 而 HVS 对 RGB 模型的 B 分量更不敏感, 水印嵌入算法设计如下:

1) 二值  $N \times N$  尺寸 LOGO 水印经 Arnold 算法进行置换加密, 提高水印的安全性与分散水印嵌入对宿主图像的降级。二值水印 LOGO:  $W(x, y), 0 \leq x, y < N, W(x, y) \in \{0, 1\}$ , Arnold 置换:  $\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & b \\ c & d \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \text{mod } N$ 。一般文献令  $a = b = c = 1, d = 2$ , 而我们设计置换矩阵系数  $a = b = 1, c = 2, d = 3$

(保证  $ad - bc = 1$ ), 置换次数  $n = 20$ , 他们被当作密钥 key1。初始水印坐标  $(x, y) = (0, 0)$ 。原始水印、加密的水印及使用错误密钥解码得到的水印见图 3, Arnold 混乱方法能保证原始水印的安全性。

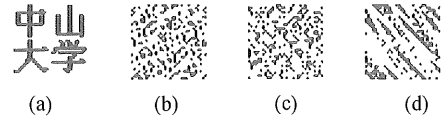


图 3 (a) 原始水印 (b) 加密的水印 (c) 和使用错误密钥解码的水印

Fig. 3 (a) Original watermark (b) Encrypted watermark (c) and (d) Decrypted watermarks from (b) using a wrong key

2) 通过亚采样  $M \times M$  像素彩色图像的 Y 分量或 B 分量获得 4 个  $M/2 \times M/2$  子图像, 如式 (6)。从 (6) 式的采样规律可得 4 个子图像具有高度的相关性。即, 对  $\forall i \neq j, (i, j) \in \{1, 2, 3, 4\}$ , 有  $f_i \approx f_j$ 。

$$\begin{aligned} f_1(x, y) &= f(2x, 2y) \\ f_2(x, y) &= f(2x, 2y + 1) \\ f_3(x, y) &= f(2x + 1, 2y) \\ f_4(x, y) &= f(2x + 1, 2y + 1) \end{aligned} \quad (6)$$

生成一个二元对随机序列  $S_L = \{(i, j) | i, j \in \{1, 2, 3, 4\}\}$ , 长度  $L$  等于水印比特的长度,  $S_L$  用于选择嵌入水印的块的位置, 它被当作另一个密钥 key2。对由密钥  $S_L$  命中的像素块执行  $8 \times 8$  的分块 DCT。

3) 嵌 1 比特水印在第二步选定的一对 DCT 块上 (即  $\{(DC_i, DC_j) | (i, j) \in S_L\}$ ) 的 DC 系数上, 策略如下: 假如  $(W_L^* = 0) \& (DC_i > DC_j)$  或者  $(W_L^* = 1) \& (DC_i < DC_j)$ , 则交换  $S_L$  中的  $i$  和  $j$ , 得到修改的  $S_L^*$ ,

$$DC_{\text{Avg}} = \frac{DC_i + DC_j}{2}, DC_{\text{Diff}} = \frac{|DC_i - DC_j|}{2},$$

$$DC_{\text{Threshold}} = \frac{DC_{\text{Diff}}}{DC_{\text{Avg}}}$$

$$DC_i^* =$$

$$\begin{cases} DC_i, & \text{if } (DC_{\text{Threshold}} > \beta) \\ DC_i + \alpha DC_{\text{Avg}}, & \text{elseif } (DC_{\text{Threshold}} \leq \beta) \& (W_L^* = 1) \\ DC_i - \alpha DC_{\text{Avg}}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

$$DC_j^* =$$

$$\begin{cases} DC_j, & \text{if } (DC_{\text{Threshold}} > \beta) \\ DC_j + \alpha DC_{\text{Avg}}, & \text{elseif } (DC_{\text{Threshold}} \leq \beta) \& (W_L^* = 0) \\ DC_j - \alpha DC_{\text{Avg}}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

式 (7), (8) 中的  $\alpha$  是嵌入强度, 它的取值根据 (5) 式自适应块的类型。算法中阈值  $\beta$  设置为  $\beta = 0.05$ ,  $DC_i^*$ ,  $DC_j^*$  为嵌入水印的 DC 系数。

4) 将嵌入水印的块执行 IDCT, 合并 4 个子图像得到嵌入水印的作品, 混乱密钥 key1 和随机选块密钥 key2 通过可靠信道传输。

### 1.3 水印提取

水印的提取是嵌入的逆过程, 对一幅经过无意或有意攻击过的嵌水印的作品经过亚采样得到 4 个子图像, 如式 (6), 使用密钥获得嵌水印块的位置, 像素块的 DC 系数可在像素域中通过 (3) 式直接求得, 不需要对整块执行 DCT, 水印提取为

$$W_L^* = \begin{cases} 1, & \text{if } DC_i^* \geq DC_j^* \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

通常, 抽取水印与原始水印的相关系数 (CC) 用来验证提取水印的正确率

$$CC = \frac{\sum_x \sum_y (W(x,y) - \bar{m}_w)(W^*(x,y) - \bar{m}_w)}{\sqrt{\sum_x \sum_y (W(x,y) - \bar{m}_w)^2} \sqrt{\sum_x \sum_y (W^*(x,y) - \bar{m}_w)^2}} \quad (10)$$

## 2 实验结果及分析

实验分两步进行, 第一步分别从主观和客观质量来评估水印算法的不可见性, 第二步是验证算法在各种攻击下的鲁棒性。嵌水印图像的 PSNR 值超过 30.00 dB 被认为图像没有任何的视觉降级<sup>[14]</sup>。因为我们设计水印的嵌入强度自适应图像的特性, 并且水印的能量被分散在 4 个高度相关的子图像中, 因此, 该算法在保证较大嵌入强度的同时, 获得了很高的不可感知性。对 7 个图像的测试结果表明, 该算法的 PSNR 都在 42 到 50 dB 之间。嵌水印图像的主观质量如图 4 所示。图 4 表明该算法取得了很高的主观效果。

为评估我们算法的鲁棒性能, 应用了软件 Stir-Mark benchmark 4.0 对嵌水印的图像进行各种攻击<sup>[15]</sup>, 包括不同质量因子的 JPEG-loss 压缩,  $7 \times 7$  中值滤波 (MF7), 均值滤波 (mean filtering,  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ ), 低通滤波 (low-pass filtering  $3 \times 3$ ,  $5 \times 5$ ,  $7 \times 7$ ), 旋转裁剪 (0.25 度, 0.75 度),  $3 \times 3$  Gaussian 滤波 (GF3), Self-similarity (SS1, SS2, SS3), 缩放 (Scaling), 剪切 (Crop), 使用 XnView 软件执行不同质量因子的 JPEG2000 压缩<sup>[16]</sup>, 和不同能量的高斯噪声等攻击, 实验结果如图 5 所示。结果表明, 对 Jpeg 压缩攻击我们

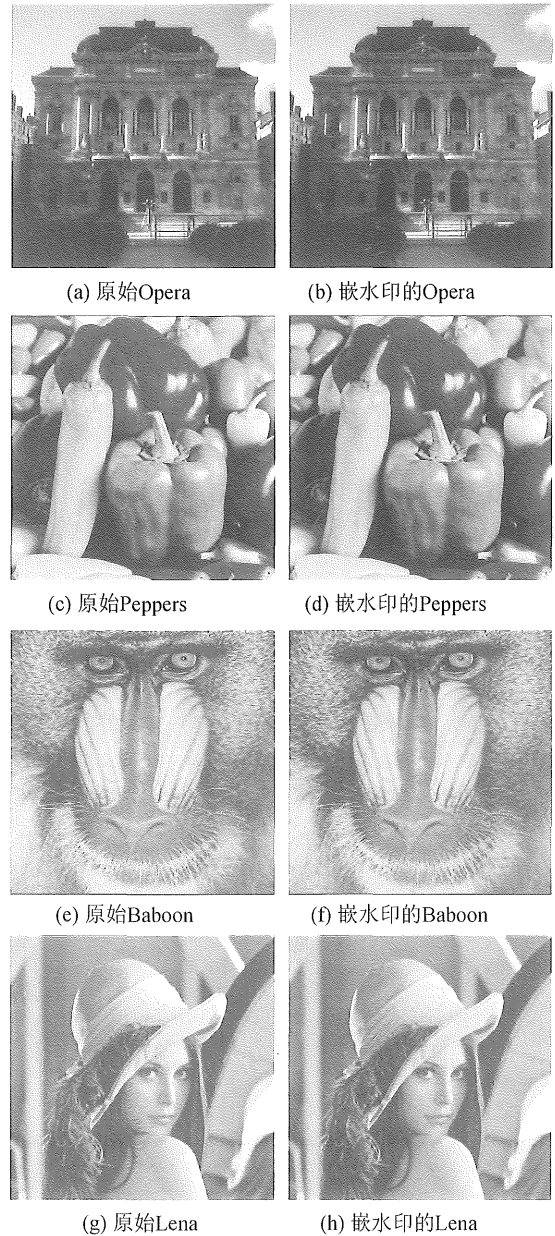


图 4 嵌水印图像的主观质量

Fig. 4 Visual quality of watermarked images

算法的性能超过了 Huang 的方法<sup>[7]</sup>。并且发现对大多数图像和攻击, YIQ 模型 Y 分量的水印比 RGB 模型 B 分量的水印更鲁棒, 如抵抗高斯噪声时, 也是如此, 并且能经受方差高达 0.7 的强度的攻击。实验结果见图 6 所示。这主要由于蓝色分量处于更高的频带范围, 而在有损压缩和高斯白噪声操作下, 这些高频通常被丢弃。图 7 列出了载体作品经篡改后抽取的水印, 结果表明, 抽取的水印视觉上可辨识, 能够达到认证版权目的。

表 2 概括了算法与 Huang [7] 算法的对比结果。结果表明, 对于测试的典型图像与典型攻击, 我们的算法都取得了优越的性能。

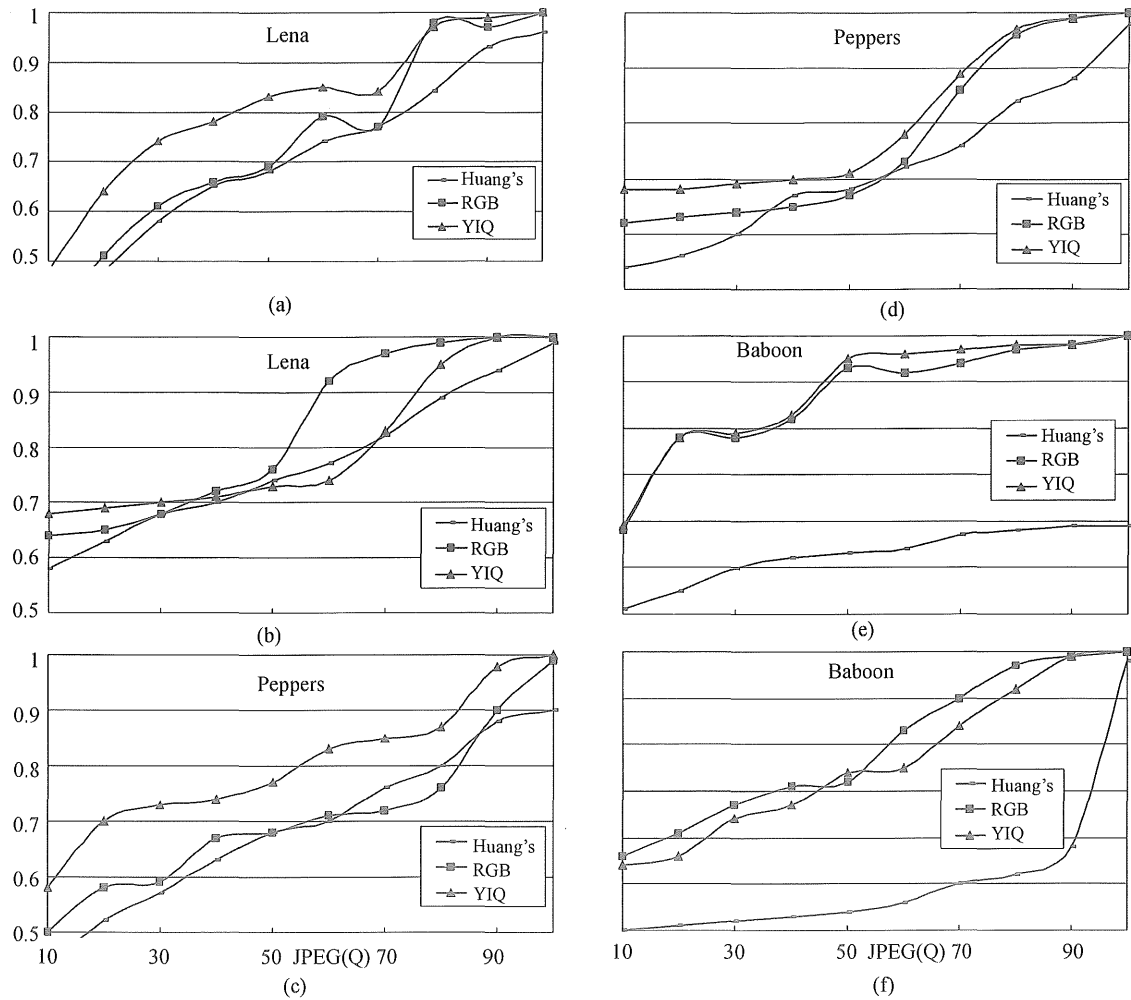


图 5 鲁棒性比较

Fig. 5 Comparison of robustness between our proposed methods and Huang's method [7]

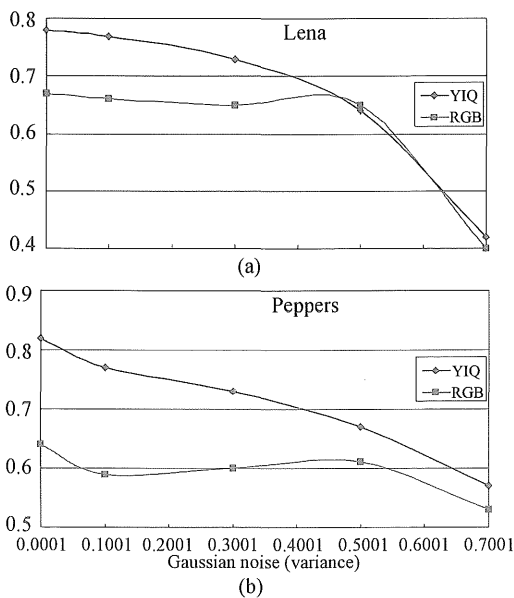


图 6 抵抗高斯噪声的鲁棒性能

Fig. 6 Robust to Gaussian noise

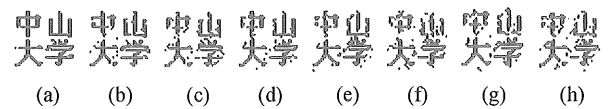


图 7 抽取的水印 (a-h 分别对应均值滤波 3×3, 5×5, 7×7, 低通滤波 3×3, 5×5, 7×7, 旋转裁剪 0.25°, 0.75°)

Fig. 7 Extracted watermarks under various attacks

### 3 结 语

本文提出了一种新的彩色图像自适应水印算法，算法通过简单地分析两个 AC 系数将图像块分成三类，水印的嵌入强度自适应块的类型。通过两层密钥保证水印的安全性，并利用亚采样图像之间的相关性，将水印信号扩散在不同子图像块的 DC 系数上，大大提高了水印鲁棒性的同时，获得了很高的水印的不可见性。水印可以直接在像素域中进行，嵌入和提取算法都具有低复杂度，适合于实时

表 2 对抗常用图像处理与几何攻击的性能比较

Table 2 Comparison between the proposed methods and Huang's under common image processing and geometric attacks

Attacks	Huang's method <sup>[7]</sup>			Proposed method					
	Peppers Baboon			Peppers		Baboon		Lena	
	Lena			RGB	YIQ	RGB	YIQ	RGB	YIQ
Jpeg100	0.90	0.59	0.96	0.99	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Jpeg50	0.68	0.53	0.68	0.68	0.77	0.93	0.95	0.69	0.83
Jpeg20	0.52	0.45	0.48	0.58	0.70	0.78	0.78	0.51	0.64
Jpeg2000 100	0.98	0.98	0.99	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
Jpeg2000 50	0.68	0.44	0.74	0.67	0.71	0.72	0.74	0.76	0.73
Jpeg2000 20	0.56	0.41	0.63	0.63	0.68	0.61	0.56	0.65	0.69
Scaling2.0	0.90	0.74	0.97	0.99	0.97	1.0	0.94	0.99	0.99
Scaling0.5	0.88	0.75	0.92	0.64	0.70	0.52	0.54	0.70	0.77
MF7	0.81	0.53	0.76	0.61	0.56	0.46	0.45	0.62	0.69
GF3	0.90	0.90	0.94	0.62	0.73	0.69	0.65	0.71	0.77
SS1	0.94	0.60	0.89	1.0	0.96	1.0	0.78	1.0	0.99
SS2	0.93	0.64	0.97	0.86	1.0	0.85	1.0	0.95	1.0
SS3	0.50	0.42	0.82	0.97	0.71	1.0	0.54	1.0	0.73
Crop25%	0.57	0.59	0.65	0.73	0.75	0.76	0.75	0.77	0.78

应用场合。并且探索了两种彩色模型下的水印性能,测试出两种模型下水印嵌入强度的经验阈值,实验结果表明,YIQ 模型 Y 分量的水印性能优于 RGB 模型 B 分量的。大量的实验结果也表明,我们的水印算法取得了很高的鲁棒性和视觉质量。

#### 参考文献:

- [1] VLEESCHOUWER C D, DELAIGLE J F, MACQ B. Invisibility and application functionalities in perceptual watermarking an overview[J]. Proc IEEE, 2002, 90 (1): 64 - 77.
- [2] WU X, GUAN Z H. A novel digital watermark algorithm based on chaotic maps[J]. Physics Letters A, 2007, 365 (5/6): 403 - 406.
- [3] REDDY A A, CHATTERJI B N. A new wavelet based logo-watermarking scheme[J]. Pattern Recognition Letters, 2005, 26(7): 1019 - 1027.
- [4] BARNI M, BARTOLINI F, PIVA A. Multichannel watermarking of color images[J]. Proc IEEE Trans on Circuit and System for Video Technology, 2002, 12 (3): 142 - 156.
- [5] LIU L, LI R H, QI G. A new watermarking method based on DWT green component of color image [C]// Proc Int Conf on Machine Learning and Cybernetics, Shanghai, China, 2004, 6: 3949 - 3954.
- [6] HUANG J W, SHI Y Q, YI S. Embedding image watermarks in dc components[J]. Proc IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10 (6): 974 - 979.
- [7] HUANG P S, CHIANG C S, CHANG C P, et al. Robust spatial watermarking technique for colour images via direct saturation adjustment[J]. IEEE Proceedings-Vision, Image and Signal Processing, 2005, 152 (5/7): 561 - 574.
- [8] ABDALLAH E E, HAMZA A B, BHATTACHARYA P. A robust block-based image watermarking scheme using fast Hadamard transform and singular value decomposition [C]//Proc 18th Int Conf on Pattern Recognition, Hong Kong, China, 2006, 3: 673 - 676.
- [9] ELLINAS J N. A robust wavelet-based watermarking algorithm using edge detection[J]. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2007, 25: 438 - 443.
- [10] QI H, ZHENG D, ZHAO J. Human visual system based adaptive digital image watermarking[J]. Signal Processing, 2008, 88(1): 174 - 188.
- [11] CHANG C, LIN P. Adaptive watermark mechanism for rightful ownership protection[J]. Journal of Systems and Software, 2008, 81(7): 1118 - 1129.
- [12] CHANG H S, KANG K. A compressed domain scheme for classification block edge patterns [J]. Proc IEEE Transactions on Image Processing, 2005, 14(2): 145 - 151.
- [13] JIANG J, QIU K. A block-edge-pattern based content descriptor in DCT domain[J]. Proc IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008, 18 (7): 994 - 998.
- [14] QI X, QI J. A robust content-based digital image watermarking scheme[J]. Signal Processing, 2007, 87 (6): 1264 - 1280.
- [15] FABIEN A, PETITCOLAS P. Watermarking schemes evaluation [EB/OL]. IEEE Signal Process Mag, 2000, 17(5): 58 - 64. <http://www.petitcolas.net/fabien/watermarking/stirmark>.
- [16] ADAMS M, KOSENTINI F, JASPER F. A software-based JPEG - 2000 codes implementation [C] // Proc IEEE Int Conf on Image Processing, Vancouver, Canada, 2000: 53 - 56.