

# 一种基于视觉掩盖模型的数字水印技术<sup>\*</sup>

## A Digital Watermark Technology Based on Visual Masking Model

文志强<sup>1</sup>      李陶深<sup>1</sup>      张增芳<sup>2</sup>

Wen Zhiqiang    Li Taoshen    Zhang Zengfang

(1. 广西大学计算机与信息工程学院 南宁 530004;

2. 广西工学院计算机科学系 柳州 545006)

(1. Coll. of Comp. & Info. Engi., Guangxi Univ., Nanning, 530004;

2. Dept. of Comp. Sci., Guangxi Univ. of Tech., Liuzhou, 545006)

**摘要** 通过分析人的视觉特性提出一种视觉掩盖模型,得到该模型水印嵌入算法和水印检测算法。在 DCT 系统低频域上给典型的“Lena”图像嵌入水印后,进行压缩、加高斯噪声污染、滤波等试验,测试水印的稳健性。结果发现:水印输出响应非常高,有很好的鲁棒性,嵌入水印后的图像经一定的压缩、噪声污染、滤波等处理后仍可被检测到。

**关键词** 视觉掩盖模型 数字水印 DCT

中图法分类号 TP301.6

**Abstract** A visual masking model is presented by analyzing the human visual characteristics, then embeds watermark in the typical image of “Lena” by low frequency coefficient of DCT. The robustness of watermark is tested by the experiments such as condensation, Gaussian pollution and filter. The results of experiment proved that embedded watermark has good robustness and is invisible by using this model.

**Key words** visual masking model, digital watermark, DCT

数字水印技术是指在宿主数字媒体(图像、声音、视频等)中嵌入一定量的数字信息,例如作者的电子签名、日期、公司商标等,用以证明作品的所有权,并可作为起诉非法侵权的证据,从而保护作品原创者的合法权益。数字水印技术不同于传统的数据加密,其目的不是限制对数据的存取,而是保证嵌入的数据不可侵犯。嵌入的水印不应该明显更改图像,对任何更改(如各种图像处理技术)都应该是强壮的。

1995 年, Cox 等提出了“扩展频谱”数字水印算法,将水印信息隐藏在图像的 DCT 变换域中<sup>[1,2]</sup>。这种 DCT 变换域数字水印方法不仅具有隐蔽性好和鲁棒性好的特点,而且易于兼

容 JPEG、MPEG 等压缩标准, 逐渐成为数字水印研究领域的主流. 后来, 人们开始研究基于视觉特性的水印算法, 文献 [3, 4] 提出了一种块分类确定拉伸因子的方法, 指出水印信号应以不同强度嵌入到图像块的 DCT 低频系数中. 他们把 DCT 块分为 3 类: (1) 照度低且纹理简单的块; (2) 照度高且纹理复杂的块; (3) 其他情况. 块的分类由对比门限来确定, 根据不同的块类确定它们的拉伸因子, 但块的分类和拉伸因子都只能由实验确定, 文献中没有提出具体的解决办法. 本文提出一种视觉掩盖模型, 然后根据这个模型实现自适应图像水印技术.

## 1 视觉掩盖模型

### 1.1 一般的水印嵌入技术

设原图为  $x(i, j), 0 \leq i \leq M, 0 \leq j \leq N$ , 水印为伪随机序列  $w(n), 0 \leq n \leq K, K < \frac{M}{8} \times \frac{N}{8}$ ,  $X_n(i, j)$  为第  $n$  块 DCT 变换后的 DCT 系数,  $X'_n(i, j)$  为嵌入水印后第  $n$  块的 DCT 系数,  $w_n(i, j)$  为第  $n$  块 DCT 变换后系数嵌入的水印值. 由下式得到了水印嵌入方式:

$$X'_n(i, j) = X_n(i, j) + \alpha \times w_n(i, j), \quad (1)$$

式中,  $\alpha$  为嵌入因子, 它决定了水印嵌入的深度,  $\alpha$  越大嵌入的水印越深, 水印的鲁棒性越好, 可见性越差; 反之, 可见性越好, 鲁棒性越差. 根据人的视觉特性, 人眼对不同亮度变化的敏感性不同, 水印嵌入的深度也应不同. 为此, 下面提出一种确定不同块的  $\alpha$  视觉模型.

### 1.2 视觉掩盖模型

把(1)式给出的嵌入方法作如下修改:

$$X'_n(i, j) = X_n(i, j) + \alpha_n \times w_n(i, j), \quad (2)$$

其中,  $\alpha_n$  为第  $n$  块的嵌入因子, 且  $\alpha_{\min} \leq \alpha_n \leq \alpha_{\max}, w_n(i, j) \in (-1, 1)$  是均值为 0 的伪随机序列. 分析这一视觉掩盖模型, 不难看出:

(I) 人类视觉系统对光滑区域的变化非常敏感<sup>[5]</sup>, 所以在平滑块里应尽量减少修改系数的量以避免图像信息的视觉歪曲, 这意味着  $\alpha_n$  接近于  $\alpha_{\max}$ .

(II) 人类视觉系统对图像纹理和边缘区域的变化不敏感<sup>[5]</sup>, 所以我们可以纹理块或边缘块里嵌入更多的水印信息,  $\alpha_n$  接近于  $\alpha_{\min}$ .

(III) 假设每一图像块的均值为  $\mu_n$ , 图像的均值为  $\mu$ ,  $\mu_n = \mu$  的块比  $\mu_n > \mu$  和  $\mu_n < \mu$  的块对噪声敏感. 当  $\mu_n > \mu$  时, 逐渐减少  $\alpha_n$  且当  $\mu_n < \mu$  时, 逐渐减少  $\alpha_n$ . 为了方便, 把  $\alpha_n$  和  $\mu_n$  看成满足一定关系的函数.

根据上面的分析, 用下式确定  $\alpha_n$ :

$$\alpha_n = \lambda \sigma_n^\gamma (1 - \exp(-(\mu'_n - \mu')^2)), \quad (3)$$

其中  $\alpha_{\min} \leq \alpha_n \leq \alpha_{\max}, \mu'_n = \frac{\bar{x}_n}{\sigma_{\max}}, \mu' = \frac{\bar{x}}{\sigma_{\max}}, \sigma_n = \frac{1}{64} \sum_{n,i=0}^8 \sum_{n,j=0}^8 (x_n(i, j) - \bar{x})^2, \bar{x}_n = \frac{1}{64} \sum_{n,i=1}^7 \sum_{n,j=0}^7 x_n(i, j), \sigma_{\max} = \max(\sigma_n), \sigma'_n = \frac{\sigma_n}{\sigma_{\max}}$ .  $x_n(i, j)$  为第  $n$  块的像素值.  $\gamma$  的值由实验确定, 本文采用  $\gamma = 0.5$ .

## 2 水印嵌入算法和检测算法

水印嵌入算法的步骤如下:

步骤 1 将图像分成 DCT  $8 \times 8$  块，每块进行 DCT 变换；

步骤 2 从所有 DCT 块中选择  $\frac{K}{4}$  块作为嵌入水印序列的 DCT 块；

步骤 3 根据(3)式计算每一个选择块的嵌入因子  $\alpha_n$ ；

步骤 4 在选择块中选择 4 个 DCT 低频系数 (DC 系数除外) 构成  $X_n(i, j)$  序列，在这些系数中根据 (2) 式嵌入水印；

步骤 5 对每一块作 DCT 反变换，恢复原图像。

水印检测算法的步骤如下：

步骤 1 根据水印嵌入算法的步骤 1、步骤 2 对原图像和嵌入水印图像进行 DCT 变换和选择被嵌入的图像块；

步骤 2 根据(3)式计算原图像选择块的嵌入因子  $\alpha_n$ ；

步骤 3 根据下式对水印进行检测：

$$w_n(i, j) = \frac{X_n^*(i, j) - X_n(i, j)}{\alpha_n}, \quad (4)$$

其中  $X_n^*(i, j)$  为被检测图像第  $n$  块的 DCT 系数。

步骤 4 根据下式计算相似性：

$$sim = \frac{w' \cdot w}{\sqrt{w' \cdot w'}}, \quad (5)$$

式中  $w, w'$  为水印和检测到的水印向量； $\cdot$  为向量的内积运算。通过设置一个阈值  $le$ ，当相似性  $sim \geq le$  时，认为检测到水印，否则没检测到水印。

### 3 实验结果

在实验过程中，以著名的“lena”图为例（见图 1 (a)），对水印的稳健性进行测试。首先将测试图像进行  $8 \times 8$  分块 DCT 变换，取其中每一子块按“之”字形扫描顺序的前  $2 \times 2$  个低频系数（除 DC 系数外）构成宿主序列  $\{X_n(i, j)\}$ 。采用文献[6]提出的方法产生 1000 个  $64 \times 64$  的水印序列  $W_i (i = 1, 2, \dots, 1000) \in (-1, 1)$ ，其中  $W_{760}$  作为数字水印，并将  $W_i$  水印序列分成  $2 \times 2$  的块构成  $\{W_n(i, j)\}$  序列，根据上面嵌入水印算法使水印序列嵌入图像中。在实验过程中发现  $\alpha_n$  的值可能为零，为了避免零的产生，设当  $\alpha_n \leq 0.05$  时认为  $\alpha_n$  为 0.05。图 1 (b) 嵌入了水印的图像，从图可以看出，DCT 变换域数字水印算法具有较高的隐蔽性，肉眼很难察觉水印的存在。根据上面的水印检测算法分别用水印序列  $W_i (i = 1, 2, \dots, 1000)$  检测图像水印。在无攻击情况下检测水印的输出响应见图 1 (f)。下面验证水印对图象处理的鲁棒性。

#### 3.1 抗 JPEG 压缩

JPEG 压缩处理后的图像如图 1 (c)，其压缩比为 21.9%，对其进行水印检测的输出响应如图 1 (g)。

#### 3.2 抗噪声及滤波处理

对图 1 (c) 加均值为 0.04 的高斯噪声，然后进行窗口大小为  $3 \times 3$  的均值滤波。加噪声图像如图 1 (d)，对其进行水印检测的输出响应如图 1 (h)。滤波后的图像如图 1 (e)，对其进行水印检测的输出响应如图 1 (i)。

#### 3.3 与其它相近的算法进行性能比较

将文献 [1] 中的嵌入方法与本文提出嵌入方法进行比较。在  $W_{760}$  的输出位置上，文献

[1] 方法和本文提出的方法的输出响应都形成了峰值,但文献 [1] 方法的检测器输出的峰值相对较低,其检测阈值的选择空间很小,所以本文提出方法嵌入水印的性能要比文献 [1] 方法嵌入的水印性能要好.具体比较如表 1 (表中数字表示在  $W_{760}$  的输出位置上输出响应峰值).

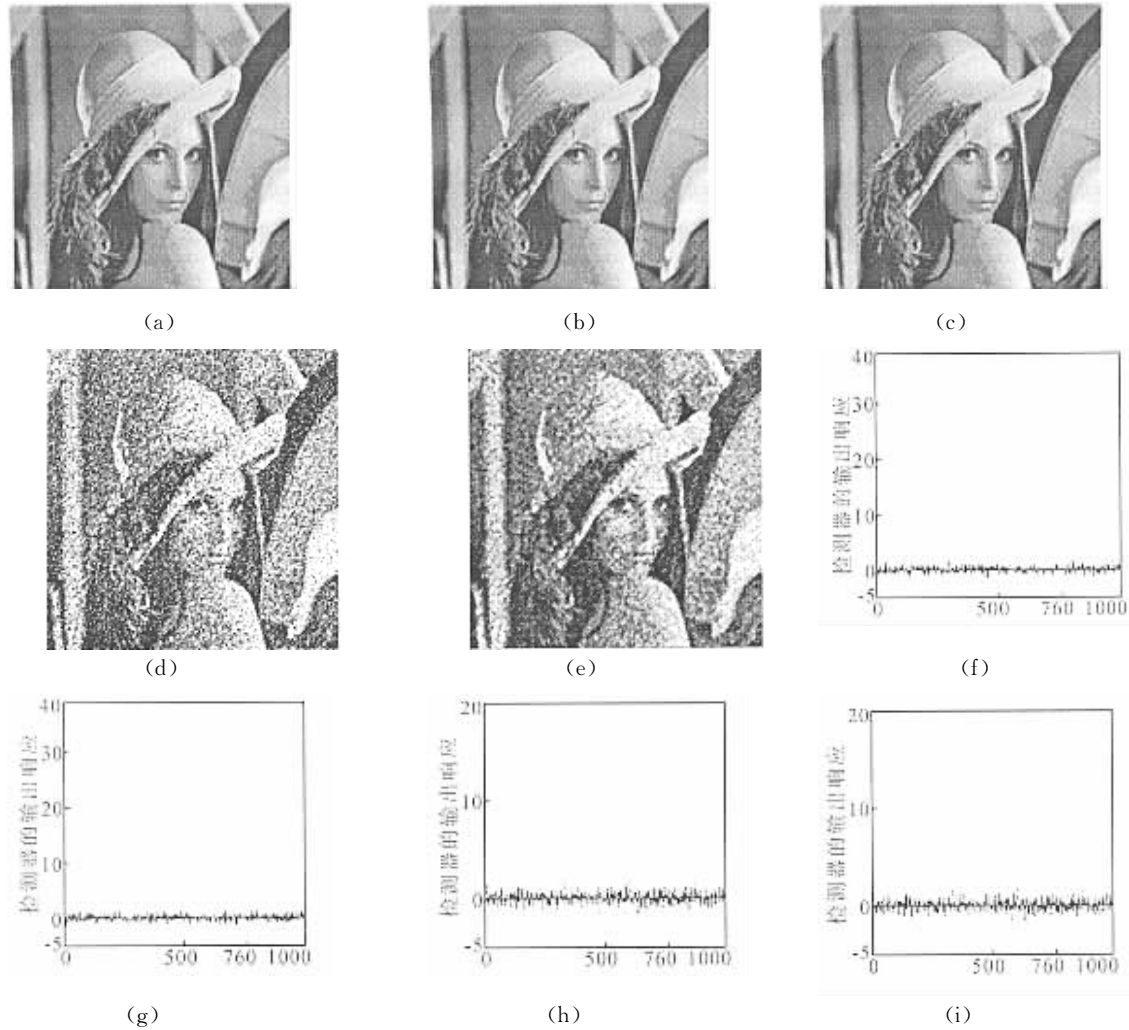


图 1 实验结果

(a) 原图; (b) 加水印; (c) 压缩后图像; (d) 加高斯噪声后图像; (e) 滤波后图像; (f) 无攻击情况下检测输出响应; (g) 压缩后的检测输出响应; (h) 加噪后的检测输出响应; (i) 均值滤波后的检测输出响应。

上面得出的实验说明: 水印输出响应非常高, 有很好的鲁棒性, 嵌入的水印经

表 1 两种嵌入水印方法的性能比较

检测方法	无攻击检测检测	JPEG 压缩检测	噪声污染检测	平滑滤波检测
文献 [1] 方法	32.06	41.73	6.27	4.58
本文方法	40.92	42.98	8.26	6.63

一定的压缩、噪声污染、滤波等处理后还能检测出来。

## 4 结束语

水印嵌入是数字水印技术的关键技术之一,本文提出的基于视觉掩盖模型的数字水印技术是根据人的视觉特性实现水印的嵌入,其易实现性比Cox提出的算法性能要好.但提出的模型不能与人的视觉特性完全吻合,这有待进一步探索.

### 参考文献

- 1 Cox I J, Kilian J, Leighton T et al.. Secure spread spectrum watermarking for multimedia. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 12(6): 1673~1678.
- 2 Cox I J, Kilian J, Leighton T et al.. Secure spread spectrum watermarking for multimedia. NEC Research Institute, 1995.
- 3 黄继武, Shi Y Q, 姚若河. 基于块分类的自适应图像水印算法. 中国图象图形学报, 1999, 4(8): 640~643.
- 4 易开祥, 王 铁, 石教英. 基于 DCT 域的自适应二维数字水印系统. 计算机应用, 2000, 20(增刊): 12~14.
- 5 Ruanaidh J, Dowling W, Boland F et al.. Phase watermarking of digital images. Proc ICIP'96, 1996, 3: 239~242.
- 6 王慧琴, 李人厚, 王志雄. 基于混沌加密的频率域数字图像水印算法. 计算机应用研究, 2002, 19(1): 71~73.

(责任编辑:黎贞崇)

(上接第 233 页)

免费的或者是共享的,同时流媒体服务器能节省带宽,即使通过拨号接入,也能进行高质量图像传输,特别适合在中应用,具有很强的实用性。VOD 可以应用到带图片的广播、流视频输出、远程教学或远程会议、提供收费电视等方面。

### 参考文献

- 1 吴朝相. 流媒体技术的应用. Http://www.souxin.com/cai-new/stream-base.htm. 2000-05-12.
- 2 林柏青. 流媒体的兴起及介绍. Http://www.souxin.com/cai-new/stream-begin.htm. 2001.
- 3 Litterone. 幕后台前流媒体. Http://www.5dmedia.com/5dmedia/multimedia/00001993.htm, 2002-10-31.
- 4 陈 辉. 流媒体技术在网络上的应用. Http://www.yufeng21.com/webmedia/mmedia/media.htm, 2000-04-08.
- 5 吴朝相. 视频格式解说. Http://www.souxin.com/mpeg4/txt/format.htm. 2000-05-12.
- 6 Ralf Steinmetz, Klara Nahrstedt. Multimedia Computing Communication & Applications. 北京:清华大学出版社, 2001. 20~60.

(责任编辑:黎贞崇)