

# 基于块分类的自适应图象水印算法\*

黄继武<sup>1)2)</sup> Yun Q. Shi<sup>3)</sup> 姚若河<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(汕头大学电子工程系, 汕头 515063)

<sup>2)</sup>(中国科学院自动化研究所模式识别国家重点实验室, 北京 100080)

<sup>3)</sup>(Department of ECE, New Jersey Institute of Technology, Newark, NJ 07102, USA)

**摘要** 提出了一个基于频域块分类的 DCT 域自适应水印算法。为了实现自适应, 将原始图象分块并利用视觉掩蔽特性对图象块进行分类。根据分类的结果, 不同强度的水印分量被嵌入到图象块的 DCT 低频系数中。实验结果表明, 应用所提出的算法实现的水印对常见图象处理和噪声干扰具有很好的稳健性。

**关键词** 图象水印 数字水印 视觉掩蔽 块分类 DCT

## 0 引言

数字媒体的版权保护已逐步成为一个迫切需要解决的问题。作为传统加密系统的有效补充办法<sup>[1,2]</sup>, 数字水印技术正在起着越来越重要的作用。

图象水印是一种最常用的数字水印, 分可见(visible watermarks)和隐形(invisible watermarks)2种<sup>[3]</sup>。本文探讨隐形水印问题。

不可见性和稳健性是对隐形水印的2个基本要求, 也是一对互相矛盾的因素。在一些水印算法<sup>[4,5]</sup>中, 水印被嵌入图象空域中某些象素的LSB(Least

Significant Bits)或频域的高频成分中, 以保证不可见性。然而, 其稳健性较差。以后, 水印的稳健性问题被提出<sup>[6]</sup>。有些学者从稳健性的角度出发, 提出水印应放在视觉系统感觉上较重要的地方<sup>[1]</sup>, 这种提法的理由是感觉上重要的分量对水印稳健性比较有利。由于感觉重要的分量的改变较有可能影响到视觉效果, 一些算法便采取了折衷的办法<sup>[7,8]</sup>, 把水印嵌入中频分量中。实质上, 水印的稳健性既跟水印的嵌入位置有关, 也跟水印强度有关。解决这一问题的有效途径是利用人眼的视觉特性实现自适应<sup>[9]</sup>。

本文提出了一个利用块分类的 DCT (Discrete Cosine Transform) 域自适应图象水印算法(如图1)。

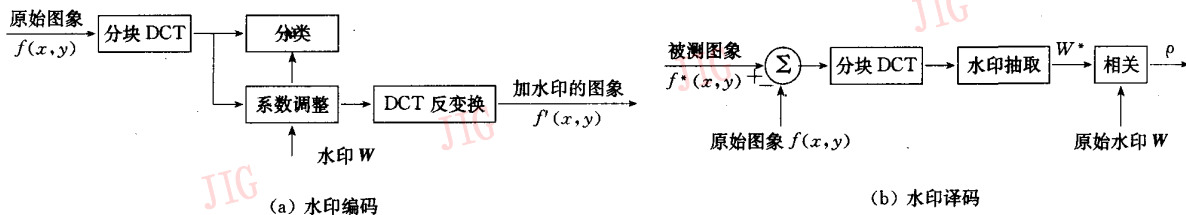


图1 所提出水印算法的框图

该算法利用了视觉系统(HVS)的照度掩蔽特性(luminance masking)和纹理掩蔽特性(texture masking)。首先, 我们把原始图象分裂为 $8 \times 8$ 块进行DCT。在DCT域, 每个图象块的照度和纹理复杂性被估计。基于这种估计, 图象块被分为三类: 照度较低(暗)且纹理简单的为第1类( $S_1$ ); 照度较高(亮)且纹理复杂的为第3类( $S_3$ ); 余下的为第2类( $S_2$ )。水印由

一个具有正态分布的随机实数序列构成。该序列也被分割为许多段(每段含3个数据)。每段以不同的强度嵌入到每个图象块的三个DCT低频交流系数中。在各图象块的DCT系数被调整后, 对图象块进行DCT反变换, 得到包含水印的图象。当检测某幅图象是否含有水印时, 将该图象与原始图象相减, 得到差值图象。差值图象分块做 $8 \times 8$ DCT。由嵌入水印信号的DCT系

\* 本文研究受广东省自然科学基金项目(No. 980422)资助

收稿日期: 1998-03-19; 收到修改稿日期: 1998-12-08

数的位置,可抽取待证实的序列。将该序列与原始水印进行相关运算。若相关检测器的响应足够大,则判定水印存在;否则,水印不存在。实验结果表明,所提出的水印算法对常见图象处理和噪声干扰具有良好的稳健性。

## 1 水印编码

水印编码过程由如下 4 个步骤组成:

### (1) 图象分块 DCT

为了与国际压缩标准兼容,以便算法可以在压缩域中实现,我们将原始图象  $f(x, y)$  分割为互不覆盖的  $8 \times 8$  子块,记为  $f_k(x', y')$ ,  $k=0, 1, \dots, K-1$ 。即

$$f(x, y) = \bigcup_{k=0}^{K-1} f_k(x', y'), \quad 0 \leq x', y' < 8$$

对图象块  $B_k$  进行 DCT 变换,得到

$$F_k(u', v') = \text{DCT}\{f_k(x', y'), 0 \leq x', y' < 8\}, \\ 0 \leq u', v' < 8$$

### (2) 基于视觉掩蔽特性的块分类

水印编码过程可看为在强背景(原始图象)上迭加一个弱信号(水印)。只要信号低于 HVS 的对比度门限(contrast sensitivity threshold),HVS 就无法感觉到信号的存在<sup>[10]</sup>。根据 HVS 的对比度特性,该门限值受背景照度、背景纹理复杂性和信号频率的影响。背景越亮,纹理越复杂,门限就越高<sup>[11,12]</sup>。

$$F'_k(u', v') = \begin{cases} F_k(u', v') + \alpha \cdot x_i, & 3 \cdot k \leq i < 3(k+1), \quad (u', v') \in \{(0,1)(1,0), (1,1)\} \\ F_k(u', v'), & \text{otherwise} \end{cases}$$

其中  $\alpha$  为拉伸因子,根据块的类别而改变。 $\alpha$  可由实验确定。对应  $S_1-S_3$ ,本文取  $\alpha$  分别为 2, 6, 9。分析和实验表明,其值对不同图象具有较好的适应性。

### (3) 水印产生和嵌入

我们仅利用三个 DCT 低频系数来嵌入水印。这是因为:

① 低频系数集中了信号大部分能量,对信号较为重要。水印嵌入于此具有足够的稳健性。

② 通常低频系数具有较大的值,水印信号相对较弱,嵌入后对图象影响较小,有利于保证不可见性。

③ 直流系数代表了块的平均亮度,对直流系数的改变容易导致块效应(block effects)。

④ 改变更多的交流系数或者对不可见性不利(强度不变),或者影响稳健性(降低强度)。

### (4) 分块 DCT 反变换

这种现象称为照度掩蔽和纹理掩蔽。视觉掩蔽特性暗示,具有不同局部性质的区域,在保证不可见性的前提下,可允许迭加的信号不同。为此,我们把图象块分为 3 类,以便迭加不同强度的水印分量。第 1 类照度较低,且纹理简单,HVS 对其中象素值的改变较为敏感,迭加的水印分量的强度应最小;第 3 类照度较高,且纹理复杂,HVS 对其中象素值的改变敏感性最弱,迭加的水印分量的强度应最大。

通过估计空间频率分布可间接估计纹理复杂度。首先采用 JPEG 算法的量化表对图象块 DCT 系数进行量化,以考虑 HVS 对不同空间频率成分有不同的敏感程度。然后计算量化后非零系数的个数。该数值越大,表明该图象块高频成分越丰富,纹理越复杂。背景的亮度信息则隐含在 DCT 直流系数中。

块分类器可描述如下:

如果  $F_k(0,0) < T_1$  且  $\text{number}\{\text{int}(F_k(u', v')/Q(u', v')) \neq 0, (u', v') \in B_k\} < T_2$ , 则  $B_k \in \mathcal{S}_1$ ;

如果  $F_k(0,0) > T_3$  且  $\text{number}\{\text{int}(F_k(u', v')/Q(u', v')) \neq 0, (u', v') \in B_k\} > T_4$ , 则  $B_k \in \mathcal{S}_3$ ;

如果上述二种情况均不满足,则  $B_k \in \mathcal{S}_2$ 。

其中,  $\text{int}()$  为取整函数,  $Q(u', v')$  为 JPEG 的量化系数,  $T_1-T_4$  为门限。

水印  $W$  为具有正态分布  $N(0, 1)$ 、长度为  $n$  的实数随机序列,即  $W = \{x_i, 0 \leq i < n\}$ ,  $n = 3K$ 。水印分量采用如下办法嵌入图象块的 DCT 系数中。

最后,对 DCT 域中调整后的图象块进行 DCT 反变换,得到包含水印的图象为:

$$f'(x, y) = \bigcup_{k=0}^{K-1} \text{DCT}\{F'_k(u', v')\}$$

## 2 水印译码

水印的检测采用假设检验:

$$H_0: E = F^* - F = N \quad (\text{无水印})$$

$$H_1: E = F^* - F = W^* + N \quad (\text{有水印})$$

其中,  $F^*$  和  $F$  分别代表待测试图象和原始图象;  $W^*$  为待测试的序列;  $N$  为噪声。

正确的假设通过计算  $E$  和原始水印  $W$  的相关来得到。待测试图象  $f^*(x, y)$  与原始图象的差值为:

$$e(x, y) = f^*(x, y) - f(x, y) \\ = \bigcup_{k=0}^{K-1} e_k(x', y'), \quad 0 \leq x', y' < 8$$

对  $e_k(x', y')$  进行 DCT, 可抽取待测试序列:

$$E_k(u', v') = DCT\{e_k(x', y')\}, \quad 0 \leq u', v' < 8$$

$$W_k^* = \{x_i^*, 3 \cdot k \leq i < 3(k+1)\}$$

$$= E_k(u', v') \Big|_{(u', v') \in \{(0,1), (1,0), (1,1)\}}$$

$$W^* = \{x_i^*, 0 \leq i < n\} = \bigcup_{k=0}^{K-1} W_k^*$$

如果  $f^*(x, y)$  中含有水印, 则  $W^*$  应与  $W$  足够相似。 $W^*$  与  $W$  的相似度采用下式计算:

$$\rho(W^*, W) = \frac{\sum_{i=0}^{n-1} x_i^* \cdot x_i}{\sqrt{\sum_{i=0}^{n-1} (x_i^*)^2}}$$

若  $\rho(W^*, W) > T_5$ , 可以判定被测图象中有水印  $W$  存在; 否则, 没有水印  $W$ 。 $T_5$  的选择要同时考虑虚警概率和漏警概率。 $T_5$  减小, 漏警概率降低而虚警概率提高;  $T_5$  增大, 则虚警概率降低而漏警概率提高。根据文献 [1], 若  $W^*$  与  $W$  不相关,  $\rho(W^*, W) > T_5$  的概率等于具有 Gaussian 分布的随机变量超过其均值  $T_5$  倍方差

的概率。所以,  $T_5$  被设定为 5。

### 3 实验结果和结论

为了测试算法的性能, 我们利用“Lena”图象 (256 × 256 × 8) 对所实现水印的稳健性进行了测试。图 2(a) 为原始图象, 图 2(b) 为嵌入水印后的图象。主观视觉效果证实了应用所提出算法实现的水印的不可见性。图 3 证实了水印的稳健性。图 3(a) 为相关检测器输出与 JPEG 压缩后重建图象质量 (PSNR) 的关系。可以看到, 当含有水印的图象经 JPEG 压缩后的 PSNR 低达 26dB 时, 相关检测器的输出仍足够强 (高于门限值), 即水印尚未丢失。这表明, 对于通常所允许的失真范围内的压缩编码, 水印具有足够的稳健性。图 3(b) 为相关检测器输出随 PSNR 的变化和含有水印的图象被加性 Gaussian 噪声干扰后的结果。证实了水印抗噪声干扰的稳健性。

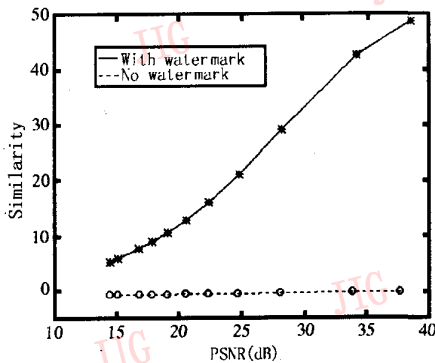


(a) 原始的“Lena”图象

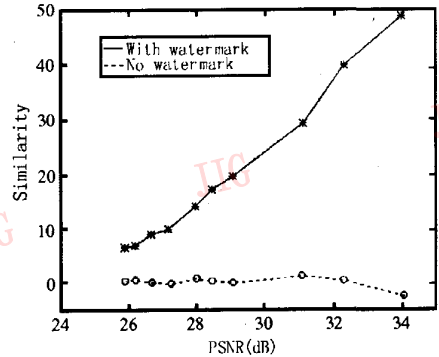


(b) 嵌入水印的图象

图 2 水印的不可见性效果



(a) 抗压缩编码的稳健性



(b) 抗噪声的稳健性

图 3 所实现水印的稳健性

对于其它的信号处理过程(如滤波、裁剪、次抽样等)所实现的水印也表现了足够好的稳健性。

本文将视觉掩蔽特性应用于图象隐形水印编码中,提出了一个基于块分类的自适应图象水印算法,所实现的水印具有如下优点:

(1)采用自适应方法,将 HVS 的视觉掩蔽特性引入到水印算法中,抗图象处理和噪声干扰的稳健性非常好。

(2)算法简单,易于实现。

(3)便于在压缩域中实现。

### 参 考 文 献

- 1 Cox I J, Killian J, Leighton F T *et al.* Secure spread spectrum watermarking for multimedia. *IEEE Trans Image Processing*, 1997, 6(12): 1673~1687.
- 2 Macq B M, Quisquater J-J. Cryptology for digital TV broadcasting. In: *Proc of IEEE*, 1995, 83(6): 944~957.
- 3 Mintzer F, Braudaway G W, Yeung M M. Effective and ineffective digital watermarks. In: *Proc of ICIP'97*, 1997, 1: 9~12.
- 4 Van Schyndel R G, Tirkler A Z, Osborne C F. A digital water-

mark. In: *Proc. of ICIP'94*, 1994, 2: 86~89.

- 5 Fleet D J. Embedding invisible information in color images. In: *Proc of ICIP'97*, 1997, 1: 532~535.
- 6 Koch E, Zhao J. Towards robust and hidden image copyright labelling. In: *Proc of IEEE Workshop on Nonlinear Signal Processing*, 1995, 452~455.
- 7 Piva A. DCT-based watermark recovering without resorting to the uncorrupted original image. In: *Proc of ICIP'97*, 1997, 1: 520~523.
- 8 Hsu C-T, Wu J-L. Hidden signature in images. In: *Proc of ICIP'96*, 1996, 3: 223~226.
- 9 Tewfik A H, Swanson M. Data hiding for multimedia personalization, interaction, and protection. *IEEE Signal Processing Magazine*, 1997, (7): 41~44.
- 10 Gonzalez R C, Woods R E. *Digital Image Processing*. Addison-Wesley Publishing Co., 1992.
- 11 Watson A B. DCT quantization matrices visually optimized for individual images. *SPIE; Human Vision, Visual Processing and Digital Display IV*, 1993, 1913: 202~216.
- 12 Jayant N, Johnston J, Safranek R. Signal compression based on model of human perception. In: *Proceedings of the IEEE*, 1993, 81(10).



**黄继武** 1962 年出生。1982 年 1 月本科毕业于西安电子科技大学电子对抗专业, 1987 年 12 月研究生毕业于清华大学通信与电子系统专业。现任汕头大学电子工程系副教授。主持完成多项研究课题, 发表论文 30 多篇。目前主要研究方向为图象处理、图象数据压缩和图象水印技术。



**姚若河** 1961 年出生。1982 年 1 月毕业于中山大学无线电物理专业。现任汕头大学物理系副教授。主持和参加多项研究课题, 发表论文 20 多篇。目前主要从事电子学和信息处理的研究。

## Adaptive Image Watermarking Based on Block Classification

Huang Jiwu<sup>1)2)</sup>, Yun Q. Shi<sup>3)</sup> and Yao Ruohu<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup>(Department of Electronic Engineering, Shantou University, Shantou 515063)

<sup>2)</sup>(National Lab. of Pattern Recognition, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

<sup>3)</sup>(Department of ECE, New Jersey Institute of Technology, University Heights, Newark, NJ 07012, USA)

**Abstract** In this paper, an adaptive image watermarking algorithm in DCT domain based on the block classification is proposed. By exploiting the visual masking features of HVS, the algorithm splits the original image into blocks and classifies these blocks. Watermark components with different strength are inserted into some low-frequency coefficients adaptively according to the classification. The experimental results demonstrate that the watermarks generated with the proposed algorithm are invisible and robust against noise and commonly used image processing techniques.

**Keywords** Image watermarking, Digital watermarking, Visual masking, Block classification, DCT