

# 一种基于人眼视觉感知模型的数字水印隐藏方法

李 华,朱光喜,朱耀庭

(图像信息处理与智能控制国家教育部重点实验室,华中理工大学电信系图像教研室,武汉 430074)

**摘 要:** 水印是将身份确认信息或保密信息镶嵌于图像中的一种技术,可靠的水印会为信息的安全提供有力的保障.本文提出了一种隐藏数字水印的新方法,该方法将水印作为二值图像来处理,充分考虑了人眼视觉模型(HVS),并将其与图像的DCT变换相结合来选择位于中频区域的DCT系数,通过修改这些系数来隐藏水印图像.实验表明这种新方法可以很好地在降低原始图像变换后视觉失真和提取出的被隐藏水印图像的失真两方面都达到较好的效果.实验表明这是一种很有发展前景的新方法.

**关键词:** 数字水印; HVS模型; DCT变换; 径向频率

**中图分类号:** TN918 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2000)10-0111-03

## A Visual Model Weighted Cosine Transform for Hiding Watermark in Images

LI Hua, ZHU Guang-xi, ZHU Yao-ting

(State Education Commission Laboratory for Image Processing and Intelligent Control, Dep. of Electronics & Inform. Eng., HUST, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** Watermarking is a technique for labeling digital pictures by hiding secret information into images. Watermark embedding is a method to discourage unauthorized copying or arrest the origin of the images. In this paper, a new method is proposed. The watermark is processed as a visually recognizable pattern—binary image, which includes more information than the traditional bit streams and is “extracted” instead of only “detected” to characterize the owner. The watermark is hid in the host image by selectively modifying the middle-frequency part of the host image in conjunction with the human visual model and the image cosine transform. Experiments show that this method can survive image cropping and image compression, and get better results, and this is also a prospective method.

**Key words:** digital watermark; HVS model; DCT transform; radial frequency

### 1 引言

电子出版业的迅猛发展和网络传输技术的提高,使得大量的数据可以被方便、高效地进行传输.然而这对于防止网上侵权行为及资源所有人的身份确认等安全问题又提出了更高的要求.数字水印的出现被认为是一种为网络资源提供安全保密的有效技术.这种技术的发展为资源所有权的确认提供了有力的保障.

现代信息社会中,对数字水印的要求主要有以下几点:

- (1) 人眼视觉上对水印的不可察觉性.
  - (2) 具有水印的图像与原始图像在统计特性上的一致性.
  - (3) 水印不能被剽窃者随意删除.
  - (4) 经有损压缩编码传送后的图像中的水印不易丢失或失真度不会过大.
  - (5) 图像经一些通用的如剪切、滤波等操作处理后不会影响水印的可提取性.
  - (6) 水印图像具有明显的特征,不易与其他图像相混淆.
- 到目前为止,已经有许多文献对于水印的隐藏和提取做

过研究.在以前的文献<sup>[1]</sup>中,水印通常是一系列数字或代码,通过某些检测理论从含有水印的图像中提取出原始图像.再选择一定的门限值来比较两幅图像的不同从而得到水印.还有作者提出了将水印图像看做是一幅二值图像,再运用计算机视觉的处理方法来隐藏水印<sup>[2,3]</sup>.图像通常包含了更多的信息量,而且由于人眼对视觉图像的直观感知性,将水印作为二值图像进行处理是一种很具有发展方向的方法.

数字水印的隐藏应在满足一定的被隐藏图像质量以及提取出的水印图像质量基础上进行.一直以来,重构图像的质量主要是以信噪比(SNR)和均方误差(MSE)等数值来度量.然而人眼的视觉感观与MSE并不一致,MSE并不能完全反映视觉感知的好坏.主要原因是:人眼视觉对不同时空分布特征的响应是不同的,影响视觉响应的一些因素包括特征的空间频率、时间频率、特征方向、对比度、亮度等等.一般来说,人眼对高频信息如复杂的区域、变化剧烈的物体的敏感度低于对低频信息如平滑区域的敏感度,所以人眼对于高频区域存在的噪声或失真也不太敏感,而对低频较平滑区域的噪声或失真

却比较敏感. 这个特性可以被很好地利用来隐藏水印图像, 即如果将水印隐藏于越高频的区域, 对原始图像的影响越小, 水印越不易被人眼察觉; 但同时为了满足图像经有损压缩编码后水印不被丢失, 又希望将水印隐藏于越低频的区域越好. 这样一来, 如何恰当选择被隐藏区域就提出了一个难题. 文献 [2] 中作者提出了将水印隐藏于原始图像的 DCT 变换系数的中频区内的思想, 但只是提出了这种想法, 并没有给出具体的实现方法.

本文根据人眼视觉对图像感知的特点, 充分考虑视觉模型 (HVS), 提出了一种根据人眼视觉频率响应函数和 DCT 变换相结合来选择用于隐藏水印的 DCT 系数的方法, 实验表明这种选择方法可以很好地在降低原始图像视觉失真和经压缩变换后水印图像的失真两方面都达到较好的效果.

## 2 人眼视觉频率响应及 DCT 变换系数的选择

### 2.1 人眼视觉频率响应函数

人眼对图像信息的处理并不是逐点来进行的, 而是抽取空间、频率或色彩的特征进行神经编码. 人的视觉感知特点与统计意义上的信息分布并不一致, 即统计上需要更多信息量才能表述的特征对视觉感知可能并不重要, 从感知的角度来讲无须详细表述这部分特征. 文献 [4] 中提出了一种人眼视觉系统模型 (HVS), 并给出了视觉系统的频率响应函数

$$H(\omega) = (a + b) \exp(-c\omega) \quad (1)$$

其中  $\omega$  为视角正对的径向频率, 单位为周/度 (cycle/degree),  $a, b, c$  为决定 HVS 曲线形状的常数. HVS 曲线的形状表示式为公式 (2), 且当  $\omega = 3$  周/度时, HVS 曲线取得峰值.

$$H(\omega) = (0.2 + 0.45 \exp(-0.18\omega)) \exp(-0.18\omega) \quad (2)$$

图像信号的 DCT 变换只是 DFT 变换的一部分, 为了可以直接将视觉响应函数与 DCT 变换相结合, 文献 [4] 中对仅适用于 DFT 变换的视觉响应函数提出了如公式 (3) 所示的矫正函数:

$$|A(\omega)| = [1/4 + (\ln(2/\omega + (4\omega^2/2 + 1)^{1/2}))^2/\omega^2]^{1/2} \quad (3)$$

其中  $\omega = 11.636 \text{ 度}^{-1}$ , 这样视觉系统的响应函数  $H(\omega)$  如式 (4) 所示:

$$H(\omega) = H(\omega) |A(\omega)| = \begin{cases} 0.05 \exp(-0.554\omega), & \text{when } \omega < 7 \\ \exp(-9|\lg \omega - \lg 9|^{2.3}), & \text{when } \omega \geq 7 \end{cases} \quad (4)$$

则人眼视觉响应函数  $H(\omega)$  对应的曲线如图 1 所示:

采用文献 [5] 中给出的公式 (5):

$$\omega(\text{cycle/degree}) = \omega_d(\text{cycle/pixel}) \times s(\text{pixels/degree}) \quad (5)$$

可将二维 DCT 系数  $(u, v)$  对应的径向频率  $\omega$  的值求出.

其中  $\omega_d = (u^2 + v^2)^{1/2}/2N$ ,  $u, v = 0, 1, \dots, N-1$ ,  $s$  是依赖于观测距离的采样函数,  $N$  是 DCT 块的大小. 在本文的实验中, 参考文献 [5, 6] 中所述, 取  $s = 48$ . 下面介绍如何选择需要修改的 DCT 系数.

### 2.2 DCT 系数的选择

实验中使用的原始灰度图像的大小为  $N_1 \times N_2$ , 水印图像为  $M_1 \times M_2$  的二值图像, 将原始图像分为  $(N_1 \times N_2)/64$  个大小为  $8 \times 8$  的子块, 对每一个子块进行 DCT 编码, 这样就得到 64 个 DCT 系数. 将水印图像分为相同的子块数, 每一个子块

大小为  $(M_1 \times 8/N_1) \times (M_2 \times 8/N_2)$ . 这就需要从每个原始图像子块的 64 个 DCT 系数

中选出位于中频范围的  $(M_1 \times 8/N_1) \times (M_2 \times 8/N_2)$  个系数来隐藏每一个水印子块. 原始图像每个子块的 64 个 DCT 变换系数如图 2 所示的顺序进行排列. 按照公式 (5), 计算每一个 DCT 系数  $(u, v)$  所对应的  $\omega$  值, 这样就将图 2 变换为如图 3 所示的按值排列的频率响应图.

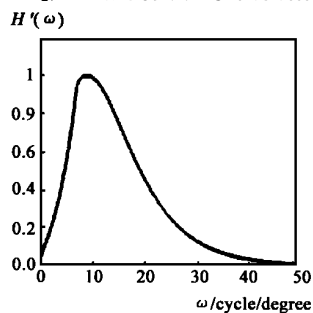


图 1 人眼视觉频率响应函数  $H(\omega)$

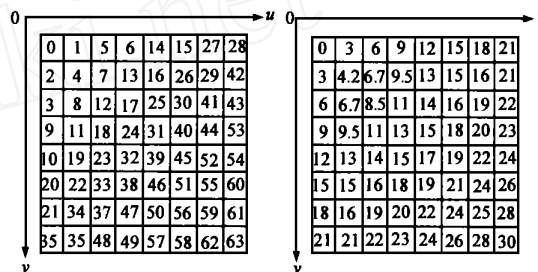


图 2 DCT 变换系数的 Zig-Zag 排列图 图 3 根据公式 (5) 将 DCT 系数变换为对应的  $\omega$  值排列图

由图 1 所示的人眼视觉响应曲线可以看出, 中频区域大致应在  $\omega$  值位于 12~22 之间的区域, 这样就可以据此选择图 3 中对应的 DCT 参数了. 由于  $\omega$  取值的不同, 所选择的参数也不一样. 可以根据实际要求和图像的特征来随意选择  $\omega$  取值.

## 3 数字水印的隐藏和提取算法

### 3.1 水印隐藏算法

本文提出的隐藏方法是基于分块 DCT 变换的, 具体算法如下:

(1) 为了防止图像剪切对于水印提取的影响, 将整幅水印图像按像素点置乱的方法随机排列顺序. 再将打乱顺序的水印图像隐藏于原始图像中. 本实验中采用文献 [7] 中提出的利用 Hilbert 空间填充曲线进行图像置乱变换的方法对水印进行置乱排序.

(2) 将分成各个子块的原始图像按子块置乱的方法随机排列顺序. 可以采用与水印图像置乱相同的方法也可用不同的方法. 本实验中采用与水印置乱相同的方法进行.

(3) 对每个  $8 \times 8$  的原始图像子块  $X$  进行离散 DCT 变换. 这样, 就得到 64 个按照锯齿状排列的变换系数.

(4) 按照第 2 节给出的结论选择  $(64 \times M_1 \times M_2)/N_1 \times N_2$  个中频系数.

(5) 参考文献 [2] 中给出的方法, 采用极性比较的方法修改选择出的中频系数, 用以隐藏水印图像.

(6) 通过反 DCT 变换获得已经隐藏有水印的原始图像.

### 3.2 水印提取算法

从被隐藏图像中提取水印基本上相当于隐藏过程的逆过程.具体处理方法如下:

(1)将没有水印的原图像  $X$  和被检测图像  $X'$  分为  $8 \times 8$  大小的子块,然后进行 DCT 变换分别得到  $Y$  和  $Y'$ .

(2)同样按照第 2 节的结论选择出  $Y$  和  $Y'$  的中频系数,参考文献 [2] 中的比较极性的方法得到置乱顺序的水印图像.

(3)将乱序水印图像按照反置乱的方法重新排序,从而得到最终的水印图像.

观察者可以通过直接观察主观的比较检测出的图像与实际水印的相似程度,但这种比较容易受到观测者的经验、实验条件等因素的影响,因此有必要选择一种客观评价的方法.为了客观地评价由上述算法获得的水印图像的质量,本实验中,采用公式 (6) 计算相似性,其中  $W$  表示大小为  $M_1 \times M_2$  的原始水印图像,  $W'$  为提取出的水印图像:

$$NC = \frac{\sum_{i=0}^{(M_1/2)-1} \sum_{j=0}^{(M_2/2)-1} W(i, j) W'(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=0}^{(M_1/2)-1} \sum_{j=0}^{(M_2/2)-1} [W(i, j)]^2}} \quad (6)$$

## 4 实验结果与讨论

实验中使用的原始图像为大小为  $256 \times 256$  的 256 级灰度 Lena 图,水印图像为  $128 \times 128$  的具有“HUST”标示的二值图像.图 4 为完整的原始图像的实验结果,图 5 是对一幅被切去了四分之一的原始图实验的结果和从经过普通分形编码方法后的图像中提取水印的实验结果.



图 4 (a) 原始灰度图; (b) 原始的要隐藏的水印; (c) 已经隐藏了水印的图像 (SNR = 39.1 dB); (d) 由提取算法提取出的水印图像 (NC = 1)

从实验结果中可以看出,图 4 中 (c) 为隐藏了水印的图像,虽然其 SNR 值比文献 [2] 中要低,但隐藏了水印的 (c) 将人眼视觉模型和 DCT 变换结合起来考虑,选择适当的 DCT 中

频系数来隐藏水印,可以很好的降低视觉失真现象,对人眼观察并没有影响,客观评价指数也可以得到很好的改善.



图 5 (a) 剪切了四分之一的原始图像; (b) 提取出的水印图像 (NC = 0.771); (c) 经普通分形压缩后的图像 (压缩比为 7.54); (d) 从被编码图像中提取出的水印图像 (NC = 0.763)

图 5 分别给出了从有剪切的原始图像和经过普通分形方法编码图像中提取水印图像的结果,试验表明也达到了较好的效果.虽然有些噪声干扰,但是水印还是清晰可见,完全可以分辨出来.

本文所提出的算法在提取被隐藏水印时需要原始图像,如何能在水印提取算法中不需要原始图像是今后的一个研究方向.

由实验结果可以看出,由于图像的最终观测者是人,而且图像所包含的信息量非常丰富,所以在水印隐藏技术中考虑人眼视觉模型以及将水印作为图像进行处理是很有发展前景的方法,对发展水印技术有着重要的意义.

### 作者简介:



李 华 1975 年出生,1994 年获华中理工大学电信系学士学位,1996 年就读于华中理工大学电信系攻读硕士学位,于 1998 年直接攻读博士学位.主要研究领域:数字水印隐藏技术,计算机视觉,多媒体通信,计算机网络应用等.



朱光喜 1945 年出生,1969 年毕业于(华中工学院)华中理工大学,现为华中理工大学电子与信息系教授,博士生导师,电子与信息工程系主任.长期从事计算机图像,图形处理,多媒体通信等领域的工作,获得多项研究成果,在国内外发表论文近百篇,现主要从事 CSCW,数字电视,多媒体通信等工作.

朱耀庭 1939 年出生,教授,曾任华中理工大学副校长,现为博士生导师.目前从事数字图像处理,计算机视觉,电子设备故障诊断专家系统等研究工作,在国内外发表论文百多篇.兼任湖北省通信学会副理事长,中国通信学会图像通信委员会副主任,国家教委科技委员会副主任.

(下转第 110 页)

者平均 PSNR 为 32.23dB,后者略有下降,但是从图 9 可见后者的图像质量要好于前者.



图 9 解码结果比较(Claire,8kbit/s,第 142 帧).

左上:基于帧的编码器解码图像;右上:左上图的脸部放大图;  
左下:OOBA 编码器解码图像;右下:左上图的脸部放大

## 7 结束语

在基于对象的视频编码中,视频对象的分割是关键技术之一.本文提出一种利用帧间差值的高阶统计特性和数学形态学算子的视频对象自动分割方法,提出一种基于查找头肩轮廓最大转折点的头肩分离算法,实验表明了上述算法的有效性.实现了一种基于 MPEG-4 的视频编码软件系统.提出一种采用面向对象带宽分配技术的极低比特率视频编码器,该编码器与传统的基于帧的视频编码器相比,能提供更佳的主观视觉质量.

### 参考文献:

- [ 1 ] Sikora T. The MPEG-4 video standard verification model [J]. IEEE Trans CSVT,1997,7(1):19-31.
- [ 2 ] Neri A et al. Automatic moving object and background separation [J]. Singal Processing,1998,66(2):219-232.
- [ 3 ] Salembier P. Morphological multiscale segment for image coding [J]. Singal Processing,1994,38(3):359-386.

(上接第 113 页)

### 参考文献:

- [ 1 ] B. M. Macq, J. J. Quisquater. Cryptology for digital TV broadcasting [J]. Proc. IEEE,1995,83(6):954-957.
- [ 2 ] C. T. Hsu, J. L. Wu. Hidden digital watermarks in images [J]. IEEE Trans. image Processing,1999,8(1):58-68.
- [ 3 ] C. T. Hsu, J. L. Wu. Multiresolution watermarking for digital images [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. II,1998,45(8):1097-1101.
- [ 4 ] N. B. Nill. A visual model weighted cosine transform for image compres-

- [ 4 ] 李海波. 模型基图像编码 [J]. 通信学报,1993,14(2):69-77.
- [ 5 ] Hu Tianjian, Cai Dejun. A method for head-shoulder segmentation and human facial feature position [J]. Journal of China Institute of Communications. 1998,19(5):28-33.
- [ 6 ] Ballard D H, Brown C M 著,王东泉,徐心平,赵经伦译. 计算机视觉 [M]. 北京:科学出版社,1987.
- [ 7 ] 李庆扬,王能超,易大义编. 数值分析 [M]. 武汉:华中理工大学出版社,1986.
- [ 8 ] 翁南钊,蔡德钧. 基于内容的视频编码系统 [J]. 无线电工程,1999,29(1):41-45.
- [ 9 ] Kauff P, Sch Üü K. Shape-adaptive DCT with block-based DC separation and DC correction [J]. IEEE Trans CSVT,1998,8(3):237-242.
- [ 10 ] Sikora T, Makai B. Shape-adaptive DCT for generic coding of video [J]. IEEE Trans CSVT,1995,5(1):59-62.
- [ 11 ] Sikora T. Low complexity shape-adaptive DCT for coding of arbitrarily shaped image segments [J]. Singal Processing: Image Communication, 1995,7(4-6):381-395.
- [ 12 ] Sikora T, Bauer S, Makai B. Efficiency of shape-adaptive transforms for coding of arbitrarily shaped image segments [J]. IEEE Trans CSVT, 1995,5(3):254-258.
- [ 13 ] Lin C, Wu J. Content-based rate control scheme for very low bit-rate video coding [J]. IEEE Trans CE,1997,43(2):124-133.

### 作者简介:



翁南钊 1975 年出生,1997 年 7 月于福州大学无线电工程系获学士学位,2000 年 6 月于华中理工大学电信系获工学硕士学位. 主要研究领域为:视频编码、图像处理、多媒体通信、无线通信等.



蔡德钧 1938 年 11 月出生,华中理工大学电子与信息工程系教授,中国电子学会高级会员,主要研究领域为随机信号处理、图像压缩及多媒体通信.

sion and quality assessment [J]. IEEE Trans. COM,1985,33(6):551-557.

- [ 5 ] S. H. Tan, K. N. Ngan. Classified perceptual coding with adaptive quantization [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. for Video Technology,1996,37(6):375-388.
- [ 6 ] 张元亮,郑南宁. 基于感知度量的分形编码 [J]. 中国图像图形学报,1998,3(9):721-726.
- [ 7 ] 丁玮,齐东旭. 数字图像变换及信息隐藏与伪装技术 [J]. 计算机学报,1998,21(9):838-843.