

文章编号:1000-582X(2005)06-0064-04

# 一种基于视觉掩盖的数字图像水印技术\*

曹岭<sup>1</sup>,杨小帆<sup>1</sup>,柏森<sup>2</sup>

(1. 重庆大学 计算机学院,重庆 400030; 2. 重庆通信学院 研究生管理大队,重庆 400035)

**摘要:**随着计算机通信技术的迅速发展,数字水印技术在数字产品的版权保护领域发挥着越来越重要的作用,数字水印技术的研究也成为了一个重要的研究领域.笔者提出了一种基于原图像的基本特征的视觉掩盖水印嵌入及提取检测算法.将原图像进行8×8的分块,再将分块进行DCT变换.对每分块的DCT系数进行图像特征量的计算,对图像变化剧烈的地方加重水印强度,反之减轻水印的加入强度.最后根据HVS空域掩盖特性,对加入水印后的中间图像进行自适应掩盖,得到最终的水印图像.实验表明该算法具有良好的水印不可见性和鲁棒性,尤其是本算法对抗JPEG压缩攻击有很好的效果.

**关键词:**数字水印算法;人类视觉系统;DCT变化  
**中图分类号:**TP391.41

**文献标识码:**A

随着计算机通信技术的迅速发展,多媒体存储和传输技术的进步使存储和传输数字化信息成为可能,然而,这也使盗版者能以低廉的成本复制及传播未经授权的数字产品内容,出于对利益的考虑,数字产品的版权所有人迫切需要解决知识产权(Intellectual Property Rights)的保护问题.密码学的加解密技术是保护数字产品的一种方法,它能够保护数字产品安全传输,并可作为存取控制和征收费用的手段,但它不能保证数字产品解密后的盗版问题.因此,1995年,人们提出了信息伪装技术,其中,数字水印就是近年来比较热门的数字产权保护技术.

数字水印技术是将一些标志性信息直接嵌入到多媒体内容中,目前大多数水印制作方案都采用密码学中的加密(包括公开密钥、私有密钥)体系来加强,在水印的嵌入<sup>[1-3]</sup>和提取时采用一种密钥,甚至几种密钥的联合使用.水印的嵌入和提取方法如图1、图2所示:

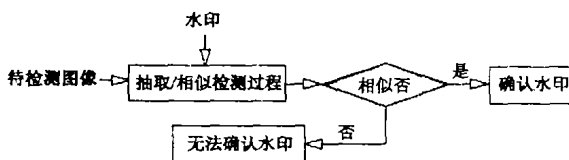


图1 数字图像水印嵌入过程

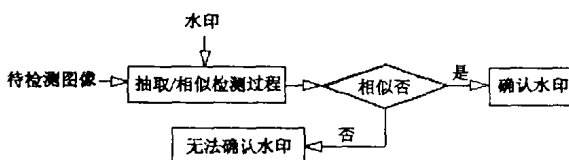


图2 数字图像水印检测/抽取过程

## 1 图像基本特征提取技术和基于HVS的视觉掩盖技术

### 1.1 图像基本特征提取技术

图像的基本特征包括图像的纹理、背景、边界等.而图像的边界是图像最基本特征之一,因此以图像的边界为基本特征进行提取计算.物体的边界是由灰度的不连续性所致,考察图像每个像素在某个邻域内灰度的变化,利用边缘邻近一阶或二阶方向导数变化规律即可检测图像边缘<sup>[4-5]</sup>.边缘检测算子检查每个像素的领域并对灰度变化率进行量化,也包括方向的确定,大多数使用基于方向导数掩模求卷积的方法.常用的边缘检测方法有:差分边缘检测,梯度边缘检测,Roberts边缘检测算子,Sobel边缘检测算子,Prewitt边缘检测算子,Laplace边缘检测算子等<sup>[6]</sup>.笔者选用Sobel算子.对于数字图像 $\{f(i,j)\}$ ,常规的Sobel算子的定义如下:

$$A = (f(i-1,j-1) + 2f(i-1,j) + f(i-1,j+1)) - (f(i+1,j-1) + 2f(i+1,j) + f(i+1,j+1)),$$
$$B = (f(i-1,j-1) + 2f(i,j-1) + f(i+1,j-1)) - (f(i-1,j+1) + 2f(i,j+1) + f(i+1,j+1)),$$

则  $S(i,j) = \max(A,B)$  或  $S(i,j) = A + B$ .

适当选取门限  $TH_s$ , 作如下判断:若  $S(i,j) > TH_s$ , 则  $(i,j)$  为边缘点.  $\{S(i,j)\}$  为边缘图像,由于数据溢出的关系,这种边缘图像通常不直接使用而使用的则是由边缘点与背景点构成的图像,故它为两值图像.

\* 收稿日期:2004-11-17

基金项目:受到重庆市应用基础研究基金项目资助(8028)

作者简介:曹岭(1972-),男,重庆人,现在瑞典皇家工学院攻读硕士学位,研究方向:图像处理.

### 1.2 基于人的视觉系统(HVS)的视觉掩盖技术

水印其实就是在强信号(图像)之下添加一些代表私有信息的弱信号,只要添加的信号小于某个门限,人眼就无法感觉到不同.根据HVS的特性<sup>[7]</sup>,该门限随着区域的不同而不同.而实际上在DCT系数中加入一系列的水印后,对DCT系数的修改将分布于整个图像,这时在门限小的地方(纹理单一区)水印信息就不能更好的被掩盖<sup>[8-10]</sup>.所以,将视觉系统HVS的空域掩盖特征引入,对水印图像进行自适应掩盖可以很好地提高水印的不可见性.其方法为可将加入水印中间图像 $I'$ 与原始图像 $I$ 用自适应的系数进行加权,得到最终图像 $I''$ .其加权方法可用式(1)对图像每个点 $(i, j)$ 进行.

$$I''(i, j) = I(i, j)(1 - \beta(i, j)) + I'(i, j)\beta(i, j) \quad (1)$$

其中: $I(i, j)$ 为原始图像 $I$ 的点 $(i, j)$ 处的灰度值;  
 $I'(i, j)$ 为加入水印的中间图像 $I'$ 的点 $(i, j)$ 处的灰度值;  
 $I''(i, j)$ 为最终图像 $I''$ 的点 $(i, j)$ 处的灰度值;  
 $\beta(i, j)$ 是根据HVS特性计算而得的归一化的噪声敏感度系数,噪声敏感度较小的区域, $\beta(i, j) \approx 1, I'' \approx I'$ ;  
 水印强度不变,而在噪声敏感度较大的区域, $\beta(i, j) \approx 0, I'' \approx I$ .

## 2 水印的嵌入策略

- 1) 选取一个二值图像作为水印;
- 2) 用Sobel算子检测原始图像的边缘并生成边缘图;
- 3) 把原始图像分成 $8 \times 8$ 的块,对每个分块进行DCT变换,求得其DCT系数;
- 4) 对每个分块所含图像边界信息进行检测和计算,其方法为对分块中的每个点所对应边缘图中的每个点的灰度值求和,并记其和为 $T_i$ ;
- 5) 对每个分块加入水印,按式(2)进行:

$$I'_i = I_i(1 + \alpha W_i), \quad (2)$$

其中 $I_i$ 为第 $i$ 分块的DCT系数; $W_i$ 为第 $i$ 分块加入的原始水印; $I'_i$ 为第 $i$ 分块加入水印的DCT系数; $\alpha$ 为水印加入的加权系数.通过 $\alpha$ 来控制水印强度,对所含图像边界信息量大于预先选定阈值 $T_1$ ( $T_1 = 3$ )的分块加大水印的加入强度,反之减弱水印的加入强度.其关系为:

$$\alpha = \begin{cases} 0.04 & (T > T_1) \\ 0.02 & (T < T_1) \end{cases}$$

6) 将每个分块做IDCT变换,得到中间水印图像 $I'$ ;

7) 根据HVS空域视觉掩盖特性,对中间水印图像按式(1)进行自适应掩盖.其中以下列式子定义 $\beta'(i, j)$ 作为点 $(i, j)$ 对噪声的敏感度.

$$\beta'(i, j) = \frac{\sum_{(k, l) \in K_{i, j}} (I(k, l) - m_{i, j})^2}{n}, \quad (3)$$

其中 $K(i, j) = K_{i, j}; m(i, j) = m_{i, j}; \beta'(i, j)$ 归一化后得 $\beta(i, j)$ .

$K(i, j)$ 是以点 $(i, j)$ 为中心的 $(9 \times 9)$ 的点集, $m(i, j)$ 是 $K(i, j)$ 各个像素的平均灰度值, $n = 9, r \in (1, 2)$ ,为一个校正系数.当 $r = 1$ 时 $\beta'(i, j) = 0$ 没有进行掩盖,当 $r = 2$ 时, $\beta'(i, j)$ 表示了点 $K(i, j)$ 的方差.最后将所有点的敏感度归一化得到归一化敏感度 $\beta(i, j)$ .

8) 由式(1)得最终水印图像 $I''$ .

## 3 水印的检测

### 3.1 水印的提取

水印的提取和水印的嵌入相反.由最终水印图像 $I''$ 和式(1)得到中间水印图像 $I'$ .对中间水印图像 $I'$ 进行 $8 \times 8$ 的分块,对每块进行DCT变换.再根据分块中所含图像边界信息量大小计算出水印加权系数 $\alpha$ .最后提取出水印 $W'$ .

### 3.2 水印的相关性检测

由原始水印 $W$ 和提取出的水印 $W'$ 按式(4)计算水印的相关性.

$$\text{sim}(W, W') = \frac{W' \times W}{\sqrt{W^T \times W}}. \quad (4)$$

通过比较这个相关系数与预先选定的阈值 $S_z$ (本文选定 $S_z = 0.23$ )就可以确定是否存在水印.如果 $\text{sim}(W, W')$ 的值大于给定阈值 $S_z$ 就说明被检测图像含有水印,否则说明不含水印.

## 4 实验结果

### 4.1 在原始图像中嵌入水印

为验证算法的有效性和可靠性,做了以下的仿真实验.原始宿主图像是 $256 \times 256$ 的lena标准灰度测试图像,如图3(a)所示.同时产生了100个 $32 \times 32$ 的二值图像为实验用图,并选取第10个(如图3(b))为实验采用的水印的二值图像.



(a) 原图像



(b) 水印



(c) 嵌入水印后的图像

图3 仿真实验图

### 4.2 在缩放攻击的情况下水印的嵌入和检测

在把水印图像缩小为原来的 0.8 倍的缩放攻击情况下,水印仍然能清晰的提取出来,而且相关性检测中仍然能正确响应。

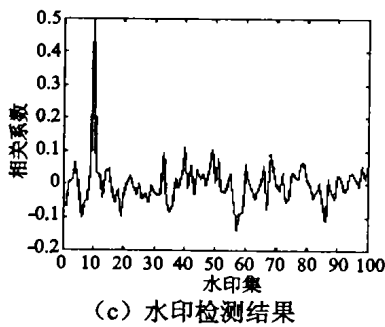
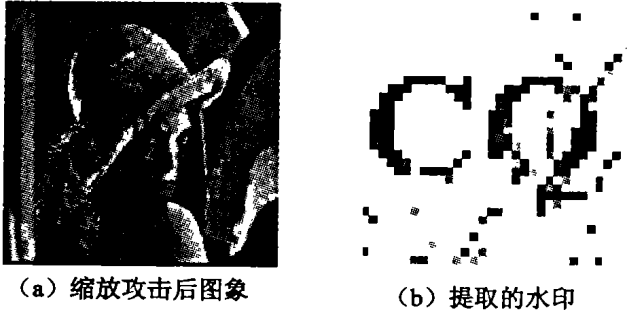


图 4 缩放攻击实验

攻击情况下,提取的水印虽然遭到破坏但仍然能识别出来,而且相关性检测中第 10 号水印仍然能正确响应。

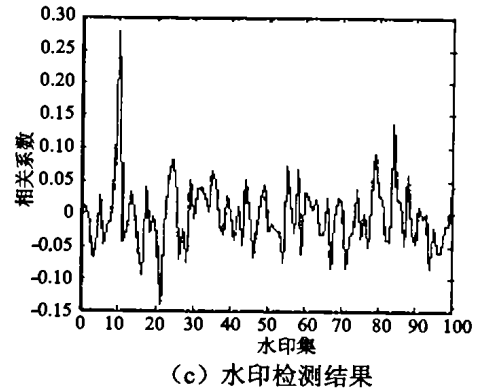
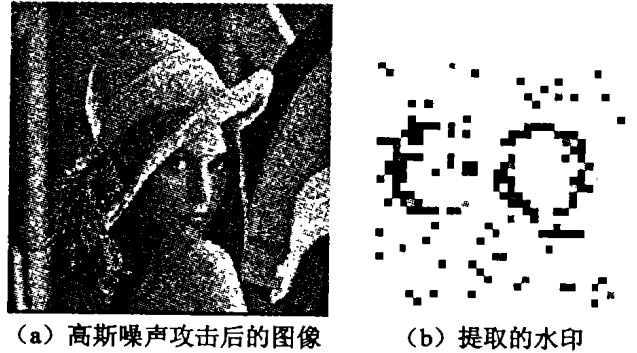


图 6 高斯噪声攻击实验

### 4.3 在中值滤波攻击的情况下水印的嵌入和检测

采用  $3 \times 3$  窗口的中值滤波对水印图像进行攻击情况下,水印仍然能清晰的提取出来,而且相关性检测中第 10 号水印仍然能正确响应。

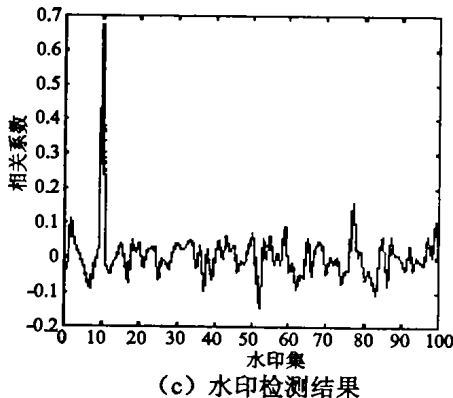
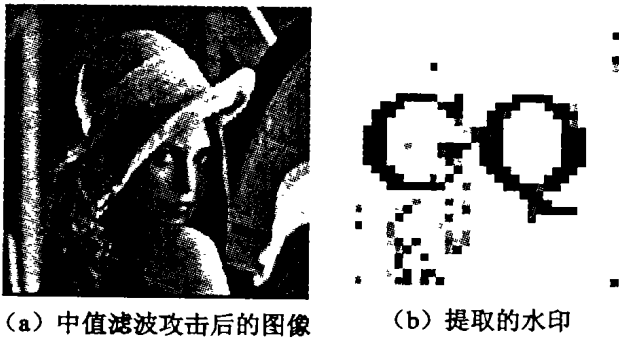


图 5 中值滤波攻击实验

### 4.5 在 JPEG 压缩攻击的情况下水印的嵌入和检测

在对水印图像进行质量因子为 30 的 JPEG 压缩攻击情况下,水印仍然能清晰的提取出来,而且在相关性检测中仍然能正确响应。

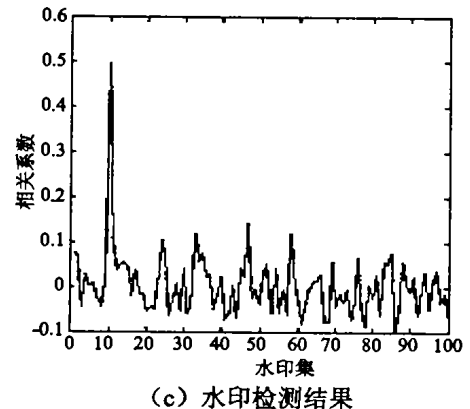
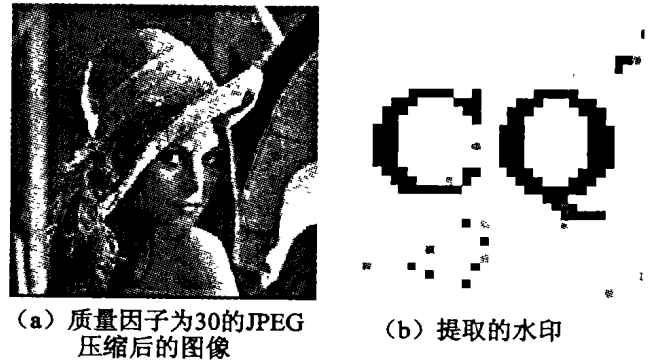


图 7 JPEG 压缩攻击实验

### 4.4 在高斯噪声攻击的情况下水印的嵌入和检测

采用方差为 0.008 的高斯噪声攻击水印图像进行

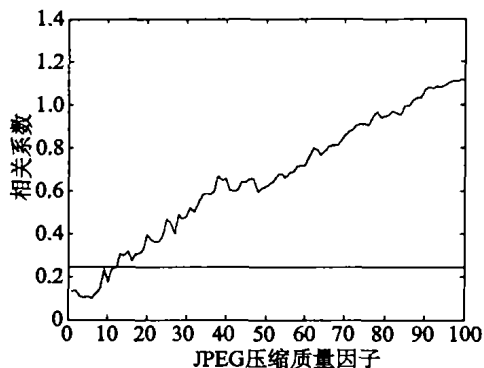


图8 JPEG压缩质量因子和相关系数之间的关系

从图8中不难看出只有当保持小于12%的质量进行JPEG压缩的时候,原始水印和提取出的水印的相关系数才小于阈值,才无法确认是否嵌入了原始水印.但此时原图像已经遭到严重破坏.故本算法有很强的抗JPEG压缩的能力.

## 5 结 论

笔者研究了一种新的视频水印方法,通过把原始图像的基本特征和基于HVS的视觉掩盖技术有效的结合起来,解决了压缩视频中水印嵌入、检测算法设计中的技术关键.该方法不但可以完成压缩视频中水印的快速嵌入及正确检测,而且能够有效的抵御常见图像处理,非线性滤波和恶意攻击,取得了良好的实验效果.怎样提高算法对于噪声攻击的鲁棒性,将是进一步研究的课题.

## 参考文献:

- [1] BAUDRY S, NGUYEN P, MAITRE H. Optimal Decoding for Watermarks Subject to Geometrical Attacks[J]. Signal Processing, 2003, 18(4): 297 - 307.
- [2] KIM B. Robust Digital Image Watermarking Method Against Geometrical Attacks[J]. Real-time Imaging, 2003, 9(2): 139 - 149.
- [3] HE XIAO-FAN. Using the Wavelet as the Private Key for Encrypting the Watermark[J]. Journal of Chongqing University, 2002, 1(1): 16 - 20.
- [4] MARR D, HILDRETH E. Theory of Edge Detection[A]. Proc R Soc London B, 1980. 187 - 217.
- [5] SIUZDAK J. A Single Filter for Edge Detection[J]. Pattern Recognition, 1998, 31: 1 681 - 1 686.
- [6] RAMESH J. Machine Vision, McGraw Hill Series in Computer Science, 1995.
- [7] PIVA. DCT-based Watermark Recovering Without Resorting to Uncorrupted Original Image[J]. IEEE Int Conf Image processing, 1997, 1: 520 - 523.
- [8] 吴晓芸,张太怡,张双腾.一种新的快速离散余弦变换算法[J].重庆大学学报(自然科学版),1994,17(4): 29 - 34.
- [9] G BORS A, PITAS I. Image Watermarking Using DCT Domain Constraints[A]. Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Image Processing (ICIP96)[C]. Lausanne, Switzerland, II - 231 - II - 234, Sep. 1996.
- [10] G BORS A, PITAS I. Image Watermarking Using Block Site Selection and DCT Domain Constraints[J]. Optics Express, 1998, 3(12): 512 - 522.

# An Image Watermarking Technology Based on Visual Concealment

CAO Ling<sup>1</sup>, YANG Xiao-fan<sup>1</sup>, BAI Sen<sup>2</sup>

(1. College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400030, China;

2. Graduate Education Division, Chongqing Communication Institution, Chongqing 400035, China)

**Abstract:** A new image watermarking scheme is proposed, which is based on the visual concealment technique. This scheme consists of three stages: at the first stage, the original image is divided into  $8 \times 8$  blocks and then the DCT transform is conducted on each block; at the second stage, the features of the original image are extracted by considering the distribution of the obtained DCT coefficients; while at the third stage, the watermark is embedded into the original image with the watermark strength adaptive to the textures. Experimental results show that this method is robust against the common geometrical attacks and signal processing attacks.

**Key words:** digital watermarking system; human visual system; DCT transformation