

一种基于视觉模型的 DCT 域公开水印算法

刘红军^{1,2} 杨 胜¹ 夏太武²

(湖南大学计算机与通信学院 长沙 410082)¹ (邵阳学院信息工程系 邵阳 422000)²

摘 要 提出了一种基于视觉模型的 DCT 域公开水印算法。算法在充分考虑人类视觉系统屏蔽特性的基础上,通过改变 DCT 分块内 DC 分量与低频 AC 分量之间的大小关系以自适应嵌入水印,水印提取不需要原图像。实验结果表明,算法保证水印不可见的同时,对有损压缩和一些通常的图像处理操作是鲁棒的。

关键词 有损压缩,离散余弦变换,数字水印,人类视觉系统

DCT Based Public Watermarking Algorithm with Visual Model

LIU Hong-jun^{1,2} YANG Sheng¹ XIA Tai-wu²

(School of Computer and Communication, Hunan University, Changsha 410082, China)¹

(Department of Information Engineering, Shaoyang University, Shaoyang 422000, China)²

Abstract A lossy compression-resisting public watermarking technique was presented. A watermark with visually recognizable pattern was embedded into the host image by modifying the polarity between DC value and low-frequency AC value in each 8×8 DCT block, and the watermark was adapted to the image by utilizing the masking characteristics of the human visual system(HVS), watermark extraction processes don't need the original image. The algorithm provides very good results both in terms of image transparency and robustness. The experimental results show that the proposed technique successfully survives lossy compression and common image processing operations.

Keywords Lossy compression, DCT, Digital watermark, Human visual system

1 引言

近年来,随着互联网的飞速发展,网络给人们带来了极大的方便。但同时也带来许多安全问题,作品侵权更加容易,篡改更加方便。因此,如何有效地保护数字作品的版权问题已成为一个极为迫切的问题,也是数字水印技术研究的主要推动力。近年来,数字水印作为解决数字产品版权保护问题的有效手段,得到了广泛的研究和应用。数字水印亦该满足以下几个基本要求:①不可见性:即水印的嵌入不会导致原始信息的可感知的降质与变形,亦称透明性;②鲁棒性:指水印系统在经历一些外界有意或无意的处理攻击使得图像产生一定失真的情况下,应仍能保证自身的完整性和对其检测、抽取的准确性;③安全性:指水印不易被非法复制和伪造的能力,且水印亦不易通过反复实验等不正当方法而被轻易检测、恢复。

本文研究的是基于分块 DCT 的水印算法,同类算法有文献[1,2]。文献[1]中, C. T. Hsu 利用 DCT 分块内中频系数与 DC 分量间大小关系嵌入水印,但其提取水印时需原图像。文献[2]中牛夏牧等利用静态图像压缩编码技术,通过调整 DCT 分块内中频系数与 DC 分量间大小关系,将彩色数字水印嵌入到原图像中去,水印提取不需原图像,但没有考虑人类视觉系统特性,其透明性与鲁棒性有限,且水印嵌入时需要一用户待定系数 F 。本文在充分考虑人类视觉系统屏蔽特性的基础上,通过改变 DCT 分块内低频系数与 DC 分量之间的

小关系以嵌入水印,很好地解决了水印透明性与鲁棒性之间的矛盾,且水印提取时无需原图像参加,算法复杂度低。实验结果表明,算法对于有损压缩与一些常见图像处理操作是鲁棒的。

2 对人类视觉屏蔽特性的考虑

从信号处理的角度看,嵌入水印可看作是在强背景上叠加一个弱信号,只要信号低于对比度门限,人眼就无法感觉到水印的存在。我们可以利用 HVS 的 3 个特性^[3]:人眼对图像平滑区噪声敏感而对纹理区噪声不敏感;边缘对于人眼非常重要,因而必须保证边缘改变不大;人眼对不同灰度具有不同的敏感性,通常对中等灰度最为敏感,在中等灰度很宽的范围中 Weber 比保持常数 0.02,向低灰度和高灰度两个方向非线性下降,如图 1 所示(实验中我们粗略地假设这种非线性为关于亮度的二次曲线,且对比灵敏度最大不超过 β)。设当前块在原图中位置为 (u, v) , 记为 B_k , 块均值记为 ave , 则其对比灵敏度因子 ω 可表示为式(1)所示:

$$\omega(u, v) = \begin{cases} \frac{(\beta - 0.02) [ave(u, v) - I_1]^2}{I_1^2} + 0.02, & \text{if } ave(u, v) \leq I_1 \\ 0.02, & \text{if } I_1 < ave(u, v) \leq I_2 \\ \frac{(\beta - 0.02) [ave(u, v) - I_2]^2}{(255 - I_2)^2} + 0.02, & \text{if } ave(u, v) > I_2 \end{cases} \quad (1)$$

到稿日期:2008-12-02 返修日期:2009-01-14 本文受国家自然科学基金项目(60603053)资助。

刘红军(1972-),男,硕士研究生,讲师,主要研究方向为数据库技术、网络与信息安全;杨 胜(1977-),男,博士,副教授,主要研究方向为机器学习、数据挖掘;夏太武(1971-),男,硕士研究生,讲师,主要研究方向为管理信息系统、多媒体技术。

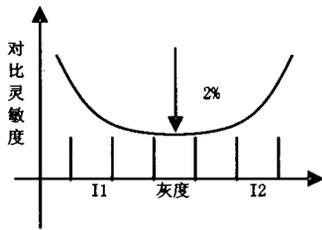


图1 对比灵敏度

然后计算出块熵值 ent 和均方差 var , 熵值较小的对应平滑区, 熵值较大的对应纹理区或边缘, 纹理对应的方差较小, 而边缘对应的方差较大。那么块 B_k 对应的视觉因子可大致表示如下:

$$r'(u, v) = \bar{w}(u, v) \times \frac{ent}{(var + \Delta)} \quad (2)$$

其中“ Δ ”是为了防止均方差 var 为零。再将 r' 归一化到区间 $[a, b]$ 上, 如式(3)所示:

$$r(u, v) = \frac{b-a}{\max(r') - \min(r')} [r'(u, v) - \min(r')] + a \quad (3)$$

3 水印嵌入与提取

3.1 水印嵌入

算法基本思想是根据各 8×8 分块的视觉因子, 通过不同强度改变 DCT 分块内 DC 分量与低频 AC 分量之间的大小关系以自适应嵌入水印。水印嵌入过程如图 2 所示。

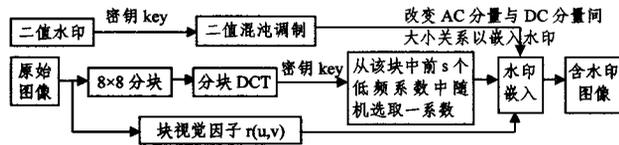


图2 水印嵌入过程

①水印信号生成: 首先从二值水印图像获得二维矩阵 $W, W = \{W(i, j), 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n\}, W(i, j) \in \{0, 1\}, m \times n$ 为水印图像大小, 然后按行扫描将其转换成一维向量 W_t , 并将其中“0”替换成“-1”。为进一步增强水印系统鲁棒性与安全性, 再对 W_t 进行二值混沌调制^[4], 得最终待嵌入水印信号 $W_1, W_1 = \{W_1(t), 1 \leq t \leq m \times n\}, W_1(t) \in \{-1, 1\}$ 。

②水印嵌入位置选取: 先对原始图像进行 8×8 分块 DCT, 为增强水印嵌入的稳健性与安全性, 用密钥 key 利用混沌序列伪随机选取一 8×8 DCT 分块 B_k ; 然后在该块中按“Z”字形扫描顺序选取前 S 个低频系数, 并将其映射到一维向量 D 中, $D = \{D(i), 1 \leq i \leq S\}$ 中, 再从 D 中伪随机选取(由密钥 key 控制)一低频系数 $D(i)$ 以进行水印嵌入。

③DCT 低频系数的修改: 嵌入水印是通过修改每块的低频系数 $D(i)$ 与该块直流分量 $B_k(0, 0)$ 之间的关系来实现的。记当前选定块 B_k 的视觉因子为 $r(u, v)$, 先按式(4)计算出直流分量 $B_k(0, 0)$ 与低频系数 $D(i)$ 间的比例因子 F 。

$$F(k, i) = \text{round}\{[B_k(0, 0) + \delta] / [|D(i)| + \delta]\}, k = 1, 2, \dots, m \times n / 64; i = 1, 2, \dots, s \quad (4)$$

其中“ δ ”是为防止分母 $D(i)$ 为“0”。具体嵌入规则如下:

if $W_1(t) = -1$ //使 $B_k(0, 0) > F(k, i) \times D(i)$

$$\text{dif} = B_k(0, 0) - F(k, i) \times D(i)$$

if $\text{dif} < F(k, i) \times \mu \times r(u, v)$ // μ 为视觉加权因子

$$D(i) = D(i) - (\mu \times r(u, v) - \text{dif} / F(k, i))$$

if $W_1(t) = -1$ //使 $F(k, i) \times D(i) > B_k(0, 0)$

if $D(i) \geq 0$

$$\text{dif} = F(k, i) \times D(i) - B_k(0, 0)$$

if $\text{dif} < F(k, i) \times \mu \times r(u, v)$

$$D(i) = D(i) + (\mu \times r(u, v) - \text{dif} / F(k, i))$$

if $D(i) < 0$

$$F(k, i) = (-1) \times (F(k, i) + 1) \text{ //使 } F \text{ 为负数}$$

$$\text{dif} = F(k, i) \times D(i) - B_k(0, 0)$$

if $\text{dif} < (-1) \times F(k, i) \times \mu \times r(u, v)$

$$D(i) = D(i) - (\mu \times r(u, v) + \text{dif} / F(k, i))$$

然后对各 DCT 块分别执行离散余弦逆变换, 即得到嵌入水印后的图像。

3.2 水印提取

①水印信号提取: 首先按水印嵌入步骤②确定一 8×8 DCT 块 B_k , 并进一步找到水印嵌入位置 $D(i)$ 。则水印提取公式可表示如下:

$$W_1'(t) = \begin{cases} 1, & \text{if } B_k(0, 0) \geq F(k, i) \times D(i) \\ -1, & \text{if } F(k, i) \times D(i) > B_k(0, 0) \end{cases} t = 1, 2, \dots, m \times n \quad (5)$$

其中 F 与水印嵌入时所用相同。

②水印图像恢复: 首先对 W_1' 进行解调制得序列 W_t' , 再将 W_t' 映射成二维向量 W' , 并将其中“-1”替换成“0”, 于是有 $W' = \{W'(i, j), 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n\}, W'(i, j) \in \{0, 1\}, W'$ 即为恢复水印信号。恢复水印客观质量评价采用式(6)^[3]:

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n w'(i, j) \oplus w(i, j)}{m \times n} \quad (6)$$

其中“ \oplus ”表示“同或”。

4 水印透明性与鲁棒性实验

算法在 Matlab6.1 平台上实现, 实验平台采用 Photoshop6.0, 仿真实验以 256×256 的 256 级“man”灰度图作为原始图像, 水印为一 64×64 的二值图像。式(1)中 β, I_1, I_2 分别取值 20%, 30, 210, 式(2)中“ Δ ”取值 2, 式(3)中 a, b 分别取值 4, 7, 式(4)中“ δ ”取值 0.005, 视觉加权因子 μ 取值 3, 在每个 8×8 DCT 块中选取前 4(即 $S=4$) 个低频系数进行水印嵌入。实验结果如图 3 所示。

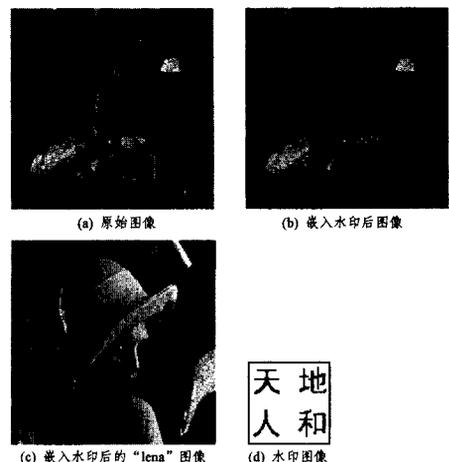


图3 水印透明性实验

图 3(a)是原图像“man”, 图 3(b)是在图 3(a)中嵌入水印后的含水图像, 峰值信噪比 PSNR 为 39.84dB; 图 3(c)是在

“lena”标准灰度图像中加入水印后图像,其 PSNR 为 40.78dB;水印嵌入前后两图像没有什么差别,人眼很难感觉到水印的存在;图 3(d)是二值水印图像。

图 4 是对嵌入水印后图像图 3(b)分别进行质量因子为 90,60,30,10 的 JPEG 压缩后再提取水印,其 NC 值分别为 0.9998,0.9402,0.8511,0.7668,可见算法对 JPEG 有损压缩有较强的鲁棒性。

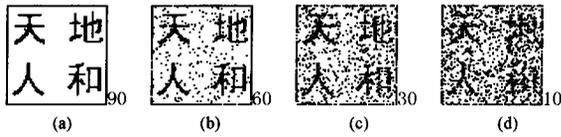


图 4 JPEG 压缩

图 5(a),(b),(c),(d),(e)是对图 3(b)进行压缩比为 5:1,10:1,13:1,15:1 的小波压缩后提取出的水印(压缩采用程序为 LuraTech 公司的 LuraWave SmartCompress Free-ware),其相似值分别为 0.9919,0.9045,0.7795,0.6841,可以看出本文算法能抵抗一定程度的小波压缩。

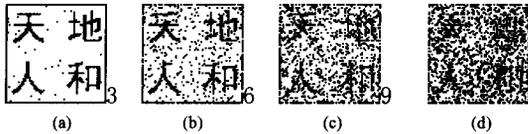


图 5 小波压缩

图 6(a),(b),(c),(d)分别是对图 3(b)叠加 10%均匀噪声,5%均匀噪声,5%高斯噪声,3%颗粒噪声后再进行水印提取,其 NC 值分别是 0.8374,0.9341,0.8843,0.7368;图 6(e),图 6(f)分别是经 2×2 马赛克,3×3 马赛克处理后提取水印,NC 值分别为 0.9221 和 0.7253。

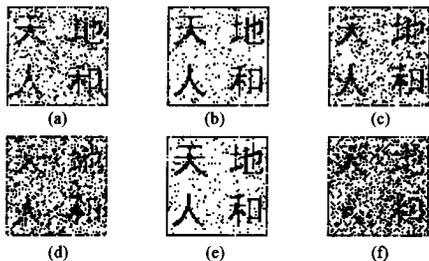


图 6 噪声与马赛克攻击

图 7(a),(b),(c)分别是图 3(b)经中值滤波、平均滤波和高斯滤波处理后恢复出的水印,相似值 NC 分别为 0.8071,0.8462,0.9001;图 7(d),图 7(e)分别是对含水印图像图 3(b)进行 3 像素运动模糊和高斯模糊(radius=1)后再提取水印,NC 值分别为 0.8110 和 0.7588;(f)为向图 3(b)再次加入 Digimarc 水印后再进行水印提取,其 NC 值高达 0.9614。

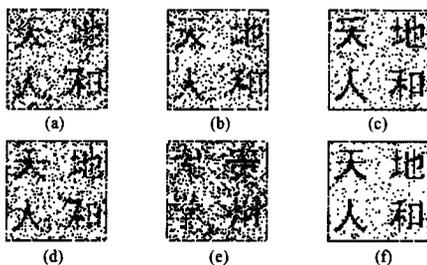


图 7 滤波、模糊等攻击实验

图 8(a),(b),(c)分别为图 3(b)经锐化、3 次锐化和 2 次边缘锐化后提取水印,NC 值分别为 0.9470,0.7708,0.8877;图 8(d),(e),(f)分别是对图 3(b)进行亮度增强 20%、对比度增强 30% 和直方图均衡处理后提取水印,相似值分别是 0.7988,0.8650,0.8806。

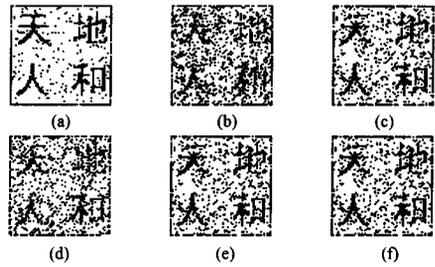


图 8 信号增强

图 9 是一些几何变换实验。其中图 9(a)是截取图 3(b)左上角 1/4(截去部分用白像素替代)后提取水印,NC=0.8589;图 9(b)是将含水印图像旋转 3°,但经校正后再提取水印,NC=0.7087;图 9(c),(d)分别是对图 3(b)进行旋转扭曲 15°和挤压 10%处理后提取水印,NC 值分别为 0.7450,0.7886;图 9(e)是将图 3(b)放大 3 倍,再缩小至原图像大小后提取水印,NC 值高达 0.9775;而图 9(f)是先把图 3(b)缩小为 180×180,再用双三次插值放大至原图像大小后进行水印提取,其 NC 值为 0.7681。

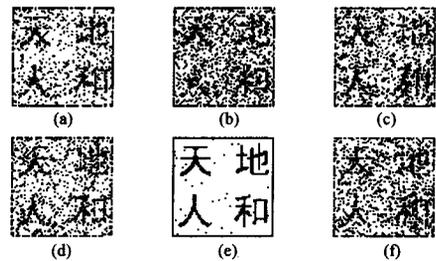


图 9 几何变换

结束语 数字水印技术是 20 世纪 90 年代以后才发展起来的一门新兴技术,近年来由于其数字产品版权保护方面显示出了巨大的潜力而受广大研究人员的关注。本文提出了一种基于视觉模型的 DCT 域公开水印方案,算法在充分考虑人类视觉系统屏蔽特性的基础上,通过改变 DCT 分块内低频系数与 DC 分量之间的大小关系以嵌入水印。使用该算法嵌入的水印有较好的透明性,且水印提取时不需要原始图像,同时视觉因子的计算在空域进行,算法复杂度低。实验结果表明,该算法对于有损压缩与一些常见图像处理操作是鲁棒的。

参考文献

- [1] Hsu C T, Wu J L. Hidden digital watermarks in images[J]. IEEE Transactions on Image Processing, 1999, 8(1): 58-68
- [2] 牛夏牧,陆哲明,孙圣和. 彩色数字水印嵌入技术[J]. 电子学报, 2000, 28(9): 10-12
- [3] 杨恒伏,陈孝威. 一种新的图像空域公开水印技术[J]. 计算机工程与应用, 2003, 39(23): 102-104
- [4] 易开祥. 数字图像加密与数字水印技术研究[D]. 杭州:浙江大学, 2001