

一种基于 DCT 中频的数字水印算法

姚磊, 王冰

(西北大学 信息科学与技术学院, 陕西 西安 710127)

摘要:随着 Internet 和多媒体技术的发展, 数字水印在数字产品的版权保护、安全传输和保密通信等方面有巨大应用前景。提出了一种新的选取嵌入水印块的方法, 即根据宿主图像的纹理复杂度选取复杂度高的那些块作为嵌入水印的地方; 然后利用置乱的方法将水印嵌入到这些子块的 DCT 中频分量中。实验结果表明, 该算法具有较好的安全性和鲁棒性。

关键词:数字水印; DCT; 鲁棒性; 置乱

中图分类号: TP301.6; TP393.08 **文献标识码:** A

文章编号: 1673-629X(2008)01-0192-04

A Digital Watermarking Algorithm Based on DCT Middle Frequency

YAO Lei, WANG Bing

(College of Information Science & Technology, Northwest University, Xi'an 710127, China)

Abstract: With the development of Internet and multimedia technology, the digital watermarking has already been widely used in copyright protection, secure transmission and confidential communication. In this paper, a new technique is proposed to choose parts of the image to embed watermarking, which chooses relatively complex parts of the image to embed watermarking in light of the complication of the original image. Then watermarking is embedded in light of stochastic sequence in DCT middle frequency of those parts by scrambling. Experimental results demonstrate that the watermarking is invisible and robust against common image compression and noise.

Key words: digital watermarking; DCT; robust; scrambling

0 引言

随着计算机网络通讯技术的发展, 数据的交换和传输变成了一个相对简单的过程, 人们借助于计算机、数字扫描仪、打印机等电子设备可以方便、迅速地将数字信息传输到所期望的地方。随之而来的副作用是这些数字形式的数据文件或作品使有恶意的个人和团体有可能在没有得到作品所有者的许可下拷贝和传播有版权的内容, 因此数字媒体的版权保护越来越引起人们的重视。数字水印技术通过在图像、音频和视频中加入一定的信息, 使人们很难分辨出加密后的资料与原始资料的区别, 并可通过对专门的检验步骤提取出所加信息, 以此证明原创者对数字媒体的版权。因此, 数字水印技术作为版权保护的一种有效手段, 近年来引起高度重视, 并逐渐成为国内外信号处理领域的研究热点。

数字水印算法根据实现过程的不同, 主要分为

空域方法和变换域方法(DCT、DFT 和 DWT), 它们分别通过改变空间域的某些像素的灰度或变换域的一些系数的值来嵌入水印。相比较而言, 变换域方法具有如下优点: 不可感知性强、鲁棒性好和与国际数据压缩标准兼容。因此, 变换域算法成为了图像水印算法研究的重点。

在变换域方法中, Langelaar 等^[1]主张把水印嵌入频域的高频分量中; Cox 等^[2]提出应把水印放在视觉上最重要的地方, 即频域的低频分量中; Hsu 和 Wu^[3]先将载体图像进行 8×8 DCT(离散余弦变换), 然后将二值水印信息嵌入 DCT 的中频系数中; 文献[4]提出将水印信号嵌入到原始图像块 DCT 域的 AC 分量和 DC 分量中; 文献[5]提出利用人类视觉掩蔽特性对图像块进行分类, 然后把水印信号以不同强度嵌入到低频分量中; 在利用人类视觉系统(HVS)中, 大多数算法是设置一个阈值确定水印的嵌入块。文中提出了一种新的选取嵌入水印块的方法, 即根据宿主图像的纹理复杂度选取复杂度高的那些块作为嵌入水印的地方, 然后根据图像的纹理复杂度, 越大的嵌入水印信息量就越大; 为了使非法使用者无法破译图像内容的目的, 对水印图像采用置乱的方法。通过实验证明, 本算法

收稿日期: 2007-03-14

基金项目: 陕西省科技攻关基金资助项目(2004K05-G25)

作者简介: 姚磊(1982-), 男, 河南洛阳人, 硕士研究生, 研究方向为信息隐藏、数字水印、图像处理; 王冰, 教授, 硕士生导师, 研究方向为信息隐藏、数字水印、图像处理。

具有隐藏效果好、能够经受噪音干扰、一定量的图像裁剪和适度的 JPEG 压缩编码等优点,具有很好的鲁棒性。

1 水印的嵌入算法

1.1 水印的嵌入过程

算法的基本思想是先把宿主图像按 8×8 分块,然后计算所有子块的方差值,并选择方差值最大的前 n 块,然后把水印图像进行置乱变换,把置乱后的水印信息嵌入到宿主图像,最后通过 DCT 逆变换生成含水印的图像。水印嵌入的基本流程如图 1 所示。

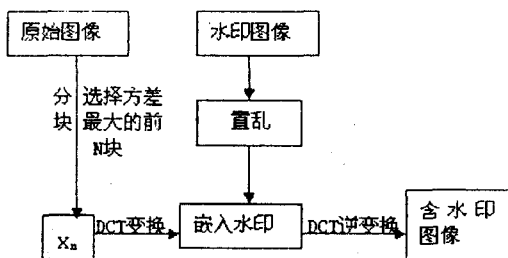


图 1 水印嵌入流程图

1.2 分块 DCT 变换

1) DCT 正、逆变换定义如下:

$$F(u_1, \dots, u_n) = \sqrt{\frac{2^n}{N_1 \dots N_n}} c(u_1) \dots c(u_n) \sum_{t_1=0}^{N_1-1} \dots \sum_{t_n=0}^{N_n-1} X(t_1, \dots, t_n) \cos \frac{(2t_1+1)u_1\pi}{2N_1} \dots \cos \frac{(2t_n+1)u_n\pi}{2N_n} \quad (1)$$

$$X(t_1, \dots, t_n) = \sqrt{\frac{2^n}{N_1 \dots N_n}} c(u_1) \dots c(u_n) \sum_{t_1=0}^{N_1-1} \dots \sum_{t_n=0}^{N_n-1} F(u_1, \dots, u_n) \cos \frac{(2t_1+1)u_1\pi}{2N_1} \dots \cos \frac{(2t_n+1)u_n\pi}{2N_n} \quad (2)$$

其中, $c(0) = \frac{1}{\sqrt{2}}$, 其他 $c(\cdot)$ 为 1; N_1, \dots, N_n 为相应维的大小。通常大小为 $N \times N$ 像素的 2 维图像, 其 DCT 的各行(列)基矢量均是归一正交的。

2) 把 $N \times N$ 的宿主图像 $f(x, y)$ ($(x, y) = 0, 1, \dots, N-1$) 的亮度分量 Y 矩阵 $f_Y(x, y)$ 分割成 $L \times L$ 个互不重叠的块组 ($N = n \times L, n \in N$), 分块后的图像记为 $f_{Yk}(x', y')$ ($k = 0, 1, \dots, (L-1) \times (L-1)$), 下标 Y 表示亮度分量。即:

$$f_Y(x, y) = \sum_{k=0}^{(L-1) \times (L-1)} f_{Yk}(x', y') \quad (3)$$

其中, $x', y' = 0, 1, \dots, n-1$ 。

在这里选择 $n = 8$ 。水印图像为 $M \times M$ 的图像 $h(x, y)$ ($(x, y) = 0, 1, \dots, M-1$)。

3) 对 $N \times N$ 的宿主图像 $f(x, y)$ 进行 8×8 块 DCT 变换, 变换后每块的系数为 $P_{w,l}(i, j)$:

$$P_{w,l}(i, j) = (\text{DCT})(f_{Yk}(x', y'))$$

其中, $w, l = 0, 1, \dots, N/8 - 1; i, j = 0, 1, \dots, 7$ 。

(4)

1.3 基于纹理掩蔽特性的块分类

根据人类视觉系统(HVS)的照度掩蔽性和纹理掩蔽性^[6]可知:背景的亮度越复杂,纹理越复杂,人类视觉对其轻微的变换就愈不敏感。因此,为了实现原始图像和嵌入水印后的图像之间的感知相似性,应该将水印信号尽可能地嵌入到图像中纹理较复杂的子块。此处将子块的方差值 σ^2 作为衡量子块纹理的复杂程度。

计算子块的平均灰度 m 和方差 σ^2 , 公式如下:

$$m = \frac{1}{n^2} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} P_{w,l}(i, j) \quad (5)$$

其中, $w, l = 0, 1, \dots, N/8 - 1; i, j = 0, 1, \dots, 7$ 。

$$\sigma^2 = \frac{1}{n^2} \sum_{i=0}^{n-1} \sum_{j=0}^{n-1} [P_{w,l}(i, j) - m]^2 \quad (6)$$

其中, $w, l = 0, 1, \dots, N/8 - 1; i, j = 0, 1, \dots, 7$ 。

方差 σ^2 的大小反映了块的平滑程度。当 σ^2 较小时,认为块比较均匀,反之,则认为块包含着较为复杂的纹理或边缘。

1.4 水印图像置乱

图像置乱就是利用某种算法将一幅图像各像素的次序打乱,但像素的总个数不变,直方图不变。已提出的图像置乱方法有 Fass 曲线、Gray 代码、Arnold 变换等。文中选择 Arnold 变换^[7]作为水印嵌入的预处理方法。Arnold 变换又称猫脸变换(Arnold's cat map)。

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \left[\begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \right] \bmod M \quad (7)$$

其中, $(x, y) \in \{0, 1, \dots, M-1\}$ 。

利用上式,逐一对图像中的像素点坐标做变换,当遍布了图像所有像素点之后,便产生了置乱后的图像。另外,对该图像还可做反复迭代,以产生不同结果的图像,直到达到要求为止。Arnold 变换具有周期性,即当迭代到某一步时,将重新得到原始图像。

1.5 水印信息的嵌入

为了兼顾嵌入信息的不可感知性和鲁棒性,该算法将水印信息嵌入宿主图像的 DCT 块的中频部分;其次,为了保证嵌入水印之后的载体图像效果,取 $f_Y(x, y)$ 划分的 $L \times L$ 个 8×8 子块中方差 σ^2 最大的前 n ($n = M \times M$) 块作为水印信息的嵌入块。每一块设置标记值为 1, 组成数组 B , 然后再把水印信息(水印图像转换的有 0, 1 组成的一维向量)赋给数组 B ; 最后根据

数组 B 中的值, 如果 $B(k) = 0 (k = 0, 1, \dots, n)$ 选择相应的块, 给其 DCT 中频嵌入随机序列 $pn_sequence_zero$, 即:

if $B(k) = 0$

$P'_{w,l}(i, j) = P_{w,l}(i, j) + pn_sequence_zero \times k$

else $P'_{w,l}(i, j) = P_{w,l}(i, j)$

其中 k 为设置的水印强度(提高提取水印的水平)。方差 σ^2 越大的 8×8 块嵌入的信息量也就越大, 相应的水印强度 k 值就越大, k 值根据 σ^2 的大小进行改变。

1.6 形成新载体图像

用 $P'_{w,l}(i, j)$ 替换 $P_{w,l}(i, j)$ 作分块 IDCT, 得到嵌入水印信息后的图像亮度分量 Y 矩阵 $f'(x, y)$, 即得到新的载体图像。

2 水印的提取

水印的提取基本上是水印嵌入的逆过程:

Step1: 宿主图像和新载体图像在每一块的 DCT 域进行求差运算, 比较相关性, 如果有则该块的标记值为 1, 反之标记为 0, 然后把这些标记值组成序列 $message_vector$ 。

Step2: 根据宿主图像块的方差值的大小, 确定纹理块, 从而确定水印曾经的嵌入位置。

Step3: 与嵌入时的过程相似, 根据序列 $message_vector$ 以及纹理块复杂度的次序形成一维水印序列。

Step4: 将水印序列重新组成二维水印矩阵。

Step5: 利用 Arnold 变换具有周期性的特点对提取的二维水印矩阵进行反变换, 就得到水印图像。

3 实验结果与分析

文中以 384×384 像素的 256 色标准 Lena 图像为原始宿主图像(如图 2(a)所示), 对该算法的不可感知性和鲁棒性进行测试。水印图像为带有“cs”字样的 40×40 像素的二值图像(如图 2(b)所示)。

对于嵌入水印后的新载体图像, 采用峰值信噪比 PSNR 评价其嵌入性能; 而对提取出的水印图像, 采用相关系数 NC 评价其提取性能。峰值信噪比 PSNR 和相关系数 NC 的表达式如下:

$$PSNR = 10 \log_{10} \frac{(M \times N)^2}{\frac{1}{N \times M} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [A(i, j) - A'(i, j)]^2} \quad (8)$$

$NC =$

$$\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i, j) \cdot B'(i, j)}{\sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B(i, j) \cdot B(i, j)} \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N B'(i, j) \cdot B'(i, j)}}$$

其中 M, N 为图像长和宽; A, A' 分别表示 $f(x, y)$ 和 $f'(x, y)$; B, B' 分别表示 $h(x, y)$ 和 $h'(x, y)$ 。



(a) 宿主图像



(b) 水印图像



(c) 嵌入水印后的图像



(d) 提取的水印

图 2 Lena 图像与“cs”字样二值图像效果图

图 2(c) 为嵌入水印后的新载体图像, 它和宿主图像(图 2(a))从视觉上没有什么变化, 即很难感觉到嵌入的水印痕迹, 很好地满足了水印的不可感知性要求。由实验可知, 嵌入水印后的新载体图像具有的峰值信噪比(37.1737), 说明该算法具有很好的性能。

为检测算法的鲁棒性, 下面对水印载体图像进行了诸如裁剪攻击、低通滤波、噪声攻击、JPEG 压缩等多种实验。

(1) 裁剪攻击。

对图 3(a) 载体图像进行 25% 的剪切, 提取出的水印如图 3(b) 所示, 对提取水印和原始水印图像图 2(b) 计算相关系数 $NC = 0.8536$ 。



(a) 载体图像



(b) 提取的水印图像

图 3 裁剪攻击

(2) 低通滤波。

对图 4(a) 载体图像使用 3×3 的滤波器对载体图像进行低通滤波, 提取出的水印如图 4(b) 所示。对提取水印和原始水印图像图 2(b) 计算相关系数 $NC = 0.9945$ 。



(a)载体图像

CS

(b)提取的水印图像

图4 低通滤波

(3)噪声攻击。

对图5(a)载体图像加入 Gauss 噪声,对于一定功率下的噪声,这种分布的干扰效果最为严重。对载体图像加入均值为0,方差为0.003的 Gauss 噪声,提取出的水印如图5(b)所示。对提取水印和原始水印图像图2(b)计算相关系数 $NC = 0.8620$ 。



(a)载体图像

CS

(b)提取的水印图像

图5 Gauss 噪声

(4)JPEG 压缩。

对图6(a)载体图像进行压缩质量因子为50的压缩,提取出的水印图像如图6(b)所示。对提取水印和原始水印图像图2(b)计算相关系数 $NC = 0.9872$ 。



(a)载体图像

CS

(b)提取的水印图像

图6 JPEG 压缩

由实验可知,水印图像经过置乱和在图像不同的纹理度添加不同的信息量,提取出的水印的效果还是很好的,鲁棒性很不错。

其他算法的有关功能为:

①抗剪切能力方面:文献[8]中,剪掉1/4时, $NC = 0.7100$,文献[9],大约剪掉1/5, $NC = 0.89$;

②抗压缩能力方面:文献[9],压缩75%时, $NC = 0.94$;文献[10],压缩因子 $Q = 70$ 时, $NC = 0.90$, $Q = 80$ 时, $NC = 0.95$;文献[11], $Q = 70$ 时, $NC = 0$ 。

56, $Q = 80$ 时, $NC = 0.67$;

③抗噪性方面:文献[12], $NC = 0.8426$ 。

由此可见文中算法的抗剪切和抗 JPEG 压缩的能力很强。

4 结束语

提出了基于人类视觉系统(HVS)的照度掩蔽性和纹理掩蔽性,选择图像中纹理比较复杂的块作为嵌入水印的地方,根据不同块的纹理复杂度决定该块嵌入信息量的大小,然后再利用置乱变换的方法对水印置乱,这样使整个算法的鲁棒性得到很大的提高。实验表明,该算法很好地满足了水印系统必须满足的透明性、鲁棒性要求,并且能有效抵抗噪声、裁剪攻击、低通滤波、JPEG 压缩等攻击,是一种可行有效的算法。以后将对其抵抗旋转等一些几何变形攻击的能力作进一步的研究和验证。

参考文献:

- [1] Langelaar G C, Der Lubbe J C A V, Lagendijk R L. Robust labeling methods for copy protection of images[C]// In Proc. SPIE3022: EI'97, Storage and Retrieval for Image and Video Database. San Jose: SPIE, 1997: 298-309.
- [2] Cox I J, Killian J, Leighton F T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(12): 1673-1687.
- [3] Hsu C-T, Wu J-L. Hidden signature in images[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1999, 8(1): 58-68.
- [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[J]. 计算机应用, 2000, 20(增刊): 12-14.
- [5] 余燕忠, 王新伟, 刘建华. DCT域水印嵌入新策略和算法[J]. 计算机应用与软件, 2004(1): 12-13.
- [6] 龚声蓉, 刘纯平, 王强. 数字图像处理与分析[M]. 北京: 清华大学出版社, 2006.
- [7] 丁玮, 闫伟齐, 齐东. 基于Arnold变换的数字图像置乱技术[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2001, 13(14): 338-341.
- [8] 潘蓉, 高有行. 基于小波变换的图像水印嵌入方法[J]. 中国图像图形学报, 2002, 7(7): 667-671.
- [9] 张志明, 王磊. 基于混沌加密的DCT域图像水印算法[J]. 计算机工程, 2003, 10(17): 9-10.
- [10] 张军, 王能超. 数学图像的自适应公开水印技术[J]. 计算机学报, 2002, 25(12): 1371-1379.
- [11] 钟桦, 焦李成. 自适应灰度级数字水印技术[J]. 计算机学报, 2002, 25(2): 1364-1370.
- [12] 王庆梅, 汪春生, 刘凤玉. 基于DCT与双随机矩阵的图像数字水印方案[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004(8): 1127-1133.