

抗剪切鲁棒图像数字水印的研究与实现

彭波 王平

(中国农业大学 信息与电气工程学院, 北京 100083)

摘要 数字水印是解决信息安全和版权保护的有效方法,为增强其鲁棒性,提出一种结合离散余弦和离散小波的数字图像水印算法:对原始灰度图像进行小波分解,对得到的 LL 图像按照一定大小进行分块;对每一块进行离散余弦变换,把水印图像经过 Arnold 置乱后的值嵌入到变换后的系数上;进行逆变换。实验结果表明,该算法能够经受住中值滤波、剪切等的攻击,具有很强的鲁棒性。

关键词 水印; 离散小波变换; 离散余弦变换; Arnold 变换

中图分类号 TP 309.7

文章编号 1007-4333(2006)04-0105-04

文献标识码 A

Research and implementation of image watermarking algorithm robust to image cutting

Peng Bo, Wang Ping

(College of Information and Electrical Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract Abstract Digital watermarking is an effective approach for information security and copyright protection. It has been a hot technology in the field of multimedia information security. In this paper, a watermarking algorithm for digital image based on DWT and DCT is introduced. This algorithm manipulates the original image by DWT, then adds watermark through Arnold transform onto the important wavelet coefficients located at the low frequency sub-band, which is split into blocks and manipulated by DCT. The test based on this algorithm demonstrates that the watermarking is robust to the common signal processing techniques including medium filtering and cutting.

Key words watermarking; discrete wavelet transform; discrete cosine transform; Arnold transform

随着计算机及网络通讯技术的发展,多媒体信息(如图像、音频、视频)交换和传输的安全与版权保护问题变得日益严重。数字水印技术(digital watermarking)作为一种潜在的解决方案成为国际学术界一个前沿研究领域。

依据载体不同,数字水印主要可以分为图像水印、视频水印、音频水印和文本水印,其中图像水印是数字水印技术的主要研究内容。早期的数字水印算法研究主要集中在空域上,即水印信息直接加载在图像数据上。空域算法抵抗图像几何变形、噪声和图像压缩的能力较差,但计算速度快,而且隐藏的信息量大。近期的研究则主要集中于在变换域(如离散傅里叶变换 DFT、离散余弦变换 DCT 和离散小波变换 DWT)中实现。在变换域中嵌入水印,信

号能量可以扩展到空间域所有像素上,有利于保证水印的不可见性,同时变换域的方法可以与现有的数据压缩标准兼容。例如,基于 DCT 的方法可以与 JPEG 压缩方法兼容,基于 DWT 的方法可以与 JPEG2000 兼容等。

小波变换之后,纹理和边缘特征一般集中在高频子带 LH1、HL1 和 HH1 中,如果把水印信息加在这些子带幅值较大的系数上,则人眼不易察觉,可以加大水印的嵌入量^[1];但是经过一般的图像处理以后,高频上的信息容易丢失,所以水印鲁棒性不够强,而且一般情况下嵌入的水印信息量较小。当嵌入的水印信息量较小时,把水印信息嵌入低频幅值较大的系数上可使水印的鲁棒性大大增强。为此,本文中提出一种结合离散余弦变换和离散小波变换

收稿日期: 2005-09-23

作者简介: 彭波,教授,主要从事计算机应用研究, E-mail: pengbo_cau@sina.com

的数字图像水印算法。

1 离散余弦变换原理

离散余弦变换 (discrete cosine transform, DCT) 是一种实数域变换, 其变换核为实数的余弦函数。利用傅里叶变换的对称性, 采用图像边界褶翻操作将图像变换为偶函数形式, 然后对这样的图像进行二维离散傅里叶变换, 变换后的结果将仅包含余弦项, 因此称为离散余弦变换。对一幅图像进行的 DCT 具有以下性质: 许多有关图像的重要可视信息都集中在 DCT 的一小部分系数中, 因此, DCT 是有损图像压缩 JPEG 的核心, 同时也是“变换域信息隐藏算法”的主要“变换域(DCT域)”之一。

一个 $M \times N$ 矩阵 A 的二维 DCT 定义如下:

$$B_{pq} = a_p a_q \sum_{m=0}^{M-1} \sum_{n=0}^{N-1} A_{mn} \cos \frac{(2m+1)p}{2M} \cos \frac{(2n+1)q}{2N} \quad (0 \leq p \leq M-1, 0 \leq q \leq N-1)$$

式中:

$$a_p = \begin{cases} 1/\sqrt{M} & p=0 \\ \sqrt{2/M} & 1 \leq p \leq M-1 \end{cases} \quad a_q = \begin{cases} 1/\sqrt{N} & q=0 \\ \sqrt{2/N} & 1 \leq q \leq N-1 \end{cases}$$

数值 B_{pq} 称为矩阵 A 的 DCT 系数。逆 DCT 变换定义如下:

$$A_{mn} = \sum_{p=0}^{M-1} \sum_{q=0}^{N-1} a_p a_q \cos \frac{(2m+1)p}{2M} \cos \frac{(2n+1)q}{2N} \quad (0 \leq m \leq M-1, 0 \leq n \leq N-1)$$

图像二维 DCT (M, N 取 8 或 16) 有如下优点:

图像信号经过变换后, 变换系数几乎不相关, 经过反变换重构图像, 信道误差和量化误差将像随机噪声一样分散到块中的各个像素中去, 不会造成误差累积; 并且变换能将数据块中的能量压缩到为数不多的部分低频系数中去 (即 DCT 矩阵的左上角)。

2 离散小波变换原理

小波变换在图像处理中的基本思想是通过多分辨率分解将图像分解成不同空间和独立频率带的子图像, 然后对子图像系数进行处理。根据 Mallat 的塔式分解算法, 图像经过 DWT 变换后分解成 4 个 $1/4$ 大小的子图: 水平方向、垂直方向和对角线方向的中高频细节子图和低频逼近子图, 每个子图通过间隔抽样滤波得到; 低频部分还可以继续分解。对图像进行小波分解后产生水平低通垂直高通、水平

高通垂直低通、水平高通垂直高通 3 个高频带系列, 即 $LH_i, HL_i, Hh_i (i=1, 2, 3)$ 系列和一个水平低通垂直低通的 LL_3 低频带 (图 1); 其中, 低频带表示由小波变换分解级数决定的最大尺度, 最小分辨率下对原始图像的最佳逼近, 高频带部分代表图像的边缘及纹理。

LL3	HL3	HL2	HL1
LH3	HH3		
LH2		HH2	
LH1			HH1

图 1 图像的 3 级小波分解

Fig. 1 Three-level wavelet decomposition for image

3 数字水印算法

3.1 水印的嵌入

1) 对原始灰度图像 J (512 像素 \times 512 像素) 进行一级小波分解, 取分解后得到的 LL_1 低频系数组成的矩阵 C_A (256 像素 \times 256 像素)。

2) 对水印信号为 32 像素 \times 32 像素的二值图像进行 Arnold 变换 k 次 (k 为置乱次数, 且 $k < 24$)。Arnold 变换具有周期性, 即矩阵经反复 Arnold 变换, 一定会出现原矩阵, 当 $N=32$ 时, 其周期为 24。

$$I = (I(k, l), l \in \{k, 32-k, 0, l, 32\}) \quad (1)$$

$$(k, l)^T = A \times (k, l)^T \quad (2)$$

其中 $A = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix}$ 为二维 Arnold 矩阵。

3) 将原始图像的低频系数矩阵 C_A (256 像素 \times 256 像素) 经 8 像素 \times 8 像素分块 DCT 后, 得到变换域图像描述 D , 即 C_A 的 DCT。因 $256/8=32$, 从而可取 D 中每一子块的某一中低频系数 $V_{\text{random}}(k_1, k_2)$ 与对应的 $I(k, l)$ 相加得到嵌入水印的图像频谱。考虑到 JPEG 压缩标准, 取 $k_1=2, k_2=3^{[2]}$ 。

$$V(k_1, k_2) = V_{\text{random}}(k_1, k_2) \times (1 + I(k, l) \times) \quad (3)$$

式中: 为嵌入深度, 一般取 $0.005 \sim 0.05$; k_1 和 k_2 视为私钥。

4) 重复 1) ~ 3) 直到嵌入所有水印信息, 然后对每一个 8 像素 \times 8 像素的块作离散余弦逆变换, 得到低频系数矩阵 C_A 。

5) 对改变后的小波系数进行重构得到嵌入水印的灰度图像 J 。

3.2 水印提取算法

1) 取嵌入水印的灰度图像 I (512 像素 \times 512 像素), 对其进行一级小波分解, 得到 LL 低频系数组成的矩阵 C_I (256 像素 \times 256 像素)。

2) 取原始灰度图像 R (512 像素 \times 512 像素), 对其进行一级小波分解, 得到 LL 低频系数组成的矩阵 C_R (256 像素 \times 256 像素)。

3) 分别对矩阵 C_I 和 C_R 按照 8 像素 \times 8 像素大小进行分块, 然后对每一块进行 DCT, 比较原图像系数 $V(2, 3)$ 和水印图像系数 $V(2, 3)$ 大小, 计算出 W 。

$$W(p, q) = \begin{cases} 1 & V > V \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$

4) 对得到的 W 继续进行 Arnold 变换 ($k = 24$ 次), 从而得到可能的水印图像数据存储矩阵 W 。

4 仿真实验结果

利用 Matlab 6.5 进行实验仿真, 原始图像为灰度 256 级, 512 像素 \times 512 像素的 *angie* 图像, 所要嵌入的水印为 32 像素 \times 32 像素的二值图像。按照本文中提出的水印嵌入算法和水印提取算法进行实

验, 结果见图 2 和 3。

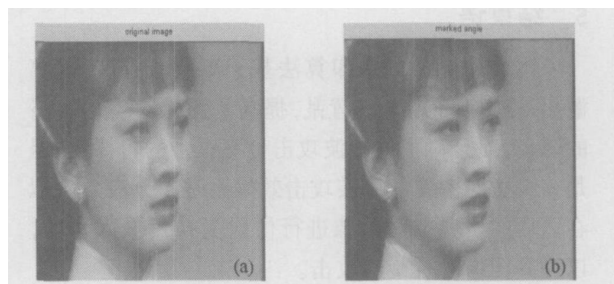


图 2 原始图像 (a) 和嵌入水印后的图像 (b)
Fig. 2 Original image (a) and embedded image (b)

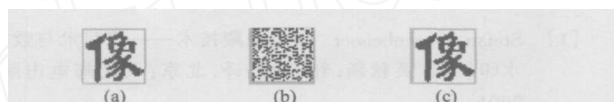


图 3 原始水印 (a)、经 Arnold 置乱的水印 (b) 和提取的水印 (c)

Fig. 3 Original watermark (a), watermark through Arnold transform (b) and extracted watermark (c)

为了验证本算法的鲁棒性, 仿真实验时对利用本算法嵌入水印后的原始图像用中值滤波、剪切和擦花等方式进行攻击, 然后用本中提出的水印提取算法进行提取, 结果见图 4 和 5。

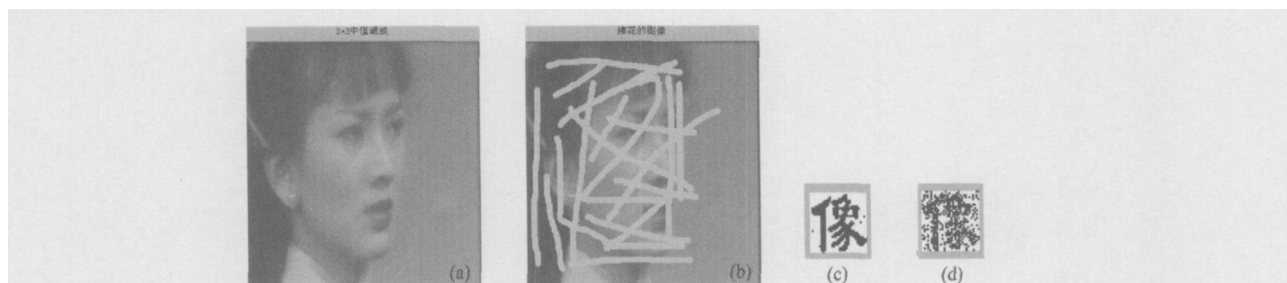


图 4 经过 3×3 中值滤波攻击的图像 (a) 和经过擦花的图像 (b) 以及从 (a) 中提取的水印 (c) 和从 (b) 中提取的水印 (d)

Fig. 4 Image attacked by 3×3 medium filter (a), by scrawl (b), watermark extracted from (a) and from (b)

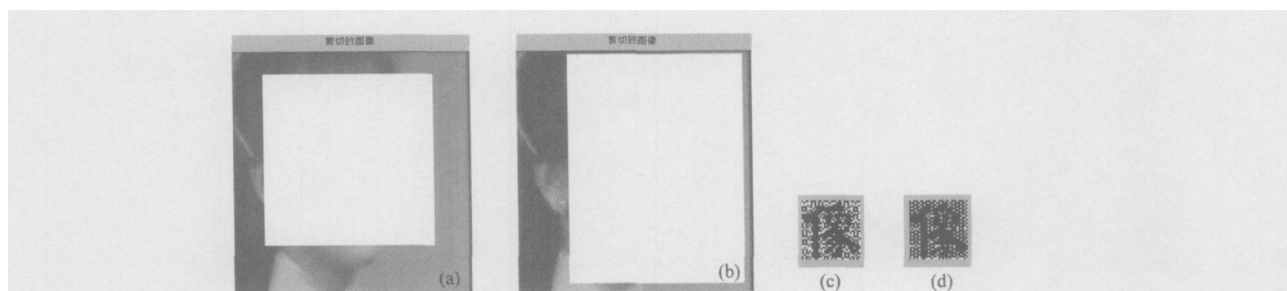


图 5 剪切攻击的图像 (a)、(b) 以及从 (a) 中提取的水印 (c) 和从 (b) 中提取的水印 (d)

Fig. 5 Image attacked by cutting (a) and (b), watermark extracted from (a) and from (b)

5 结束语

本文中提出的水印算法基于离散余弦变换、离散小波变换和 Arnold 置乱,提高了图像对剪切攻击的防御,而且对均值滤波攻击也有很强的鲁棒性;但是该算法对图像的旋转攻击效果不是十分有效。拟在以后的研究中对图像进行仿射变换后嵌入水印,以提高图像的抗旋转攻击。

参 考 文 献

- [1] Stefan Katzenbeisser. 信息隐藏技术——隐写术与数字水印[M]. 吴秋新, 纽心忻, 译. 北京: 人民邮电出版, 2001
- [2] 刘良文, 徐铭政, 汪亚顺, 等. 一种健壮的数字水印算法及其 Matlab 实现[J]. 南昌大学学报, 2005, 27(1): 20-22
- [3] 张鸿宾, 张帆. 数字水印的性质及性能评测[J]. 计算机科学, 2003, 30(8): 59-63
- [4] 孙锐, 孙洪, 姚天任. 基于奇异值分解的半易损水印算法[J]. 电路与系统报, 2002, 7(3): 63-65
- [5] Derrick Grover Data. Watermarking-steganography and watermarking of digital data[J]. Computer Law & Security Report, 2001, 17(2): 101-104
- [6] Cox I J, Kilian J, Leighton F T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia [J]. IEEE Trans Image Processing, 1997, 6(12): 1673-1687

www.cnki.net