

一种鲁棒的自适应 DCT 域数字水印算法

A New Robust Image Watermarking Algorithm in DCT-Domain

(1.同济大学 CAD 研究中心;2.徐州师范大学) 王树梅^{1,2} 赵卫东¹ 王志成¹

WANG Shu-mei ZHAO Wei-dong WANG Zhi-cheng

摘要:离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT)是数字信号处理技术中最常用的频域变换之一,本文的数字水印算法就是基于离散余弦变换域的算法。本算法以有意义图像作为水印信息,置乱后自适应嵌入到 DCT 变换后的载体图像,通过计算每块图像的方差确定嵌入信息的块;根据水印信息量的大小决定嵌入块的数量;由密钥产生嵌入的位置。实验证明本算法具有很好的鲁棒性,安全性和不可见性,不失为一优良的数字水印算法。

关键字:离散余弦变换;数字水印;嵌入强度;自适应

中图分类号:TP391

文献标识码:A

Abstract: The Discrete Cosine Transform (DCT) is one of most commonly used digital signal processing technology. In this paper, A robust digital watermarking algorithm is presented in DCT domain, and the image with special meaning is used as watermarking, which is set chaotically to obtain last digital watermarking signal embedded into host image DCT domain. What is more, the variance of every block is calculated to determine which block is used to embed watermarking signal. Else, the number of block is determined by the number of watermarking signal; Last, the positions, in which the watermarking is embedded, are marked by random sequence produced through the key. Many experiments are the best proof for robustness, the security and invisibility, so we can say that this algorithm is a fine digital watermark one.

Key Words: Discrete Cosine Transform; Digital watermarking; Scale parameter; Auto-adapted

技术创新

1 引言

多媒体数据的数字化为多媒体信息的存取提供了极大的便利,同时也提高了信息表达的效率和准确性。随着 Internet(因特网)的日益普及,多媒体信息的交流已达到了前所未有的深度和广度,其发布形式也愈加丰富。人们可以通过 Internet 发表自己的作品、重要信息和进行网络交易等,但是数字作品的便利性和不安全性并存的,它可以低成本、高速度地被复制和传播,为发布者和使用者都提供了很大的便利,同时也为不法盗取别人信息的人提供了较大的行为空间。

数字水印技术的研究就是在这种应用要求下迅速发展起来的。数字水印技术是一种有效的数字产品版权保护和数据安全维护技术,是信息隐藏技术研究领域的一个重要分支。其含义是将具有特定意义的标记(水印),利用数字嵌入的方法隐藏在数字图像等数字产品中,用以证明创作者对其作品的所有权,并作为鉴定、起诉非法侵权的证据,同时通过对水印的检测和分析来保证数字信息的完整可靠性,从而成为知识产权保护 and 数字多媒体防伪的有效手段。它具有有效性、逼真度、安全性和鲁棒性等特点。

本文提出一种鲁棒性和安全性较好的自适应 DCT 变换域的数字水印嵌入算法。该算法首先对载体图像分块,通过计算每块的方差选出方差较大的若干块,块的数量由嵌入水印信息的数量来决定。然后再计算出嵌入块的嵌入强度,自适应地将

置乱后的水印信息嵌入到纹理比较大的块中,从而可以使水印鲁棒性得到保证。

2 离散余弦变换(DCT)

离散余弦变换是基于实数的正交变换,具有较好的能量压缩能力和去相关能力,因此在数字水印技术处理中受到了普遍的重视。在这里重点讨论离散余弦变换在图像数字水印技术中的应用。

2.1 离散余弦变换定义

设 $A = \{f(x, y) | x = 0, 1, 2, \dots, (M-1); y = 0, 1, 2, \dots, (N-1)\}$; $B = \{F(u, v) | u = 0, 1, 2, \dots, (M-1); v = 0, 1, 2, \dots, (N-1)\}$; A 为原矩阵, B 为变换后的矩阵。其变换形式如下:

$$F(u, v) = \frac{2}{\sqrt{MN}} K(u) K(v) \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2M} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right]$$

其中 $u = 0, 1, 2, \dots, M-1; v = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 。其反变换是:

$$f(x, y) = \frac{2}{\sqrt{MN}} \sum_{u=0}^{M-1} \sum_{v=0}^{N-1} K(u) K(v) F(u, v) \cos \left[\frac{(2x+1)u\pi}{2M} \right] \cos \left[\frac{(2y+1)v\pi}{2N} \right]$$

其中 $x = 0, 1, 2, \dots, M-1; y = 0, 1, 2, \dots, N-1$ 。

2.2 离散余弦域的数字水印算法

由于离散余弦变换是一个实变换,水印嵌入时可以考虑对分块(段)或整幅图像 DCT 变换系数进行改动。典型的 DCT 域算法是由 Cox 等人提出的一种基于 DCT 变换的扩频水印技术。它将满足正态分布的伪随机序列加入到图像的 DCT 变换后视觉最重要的系数中,它利用了序列扩频技术(SS)和人类视觉系统特性(HVS)。算法原理为先选定重要系数,再进行修改。Plodilchuk 等提出了可感知水印的方法。他们使用从视觉模型导出的 JND(Just Noticeable Difference)来确定在图像的各个部分所能容忍的水印信号的最大强度,从而避免水印信号对视觉质量的破坏。

Barni 等提出一种利用 HVS 掩蔽特性的基于 DCT 的水印算法。其主要思想是,在水印嵌入阶段,对的 $N \times N$ 图像进行 $N \times N$

王树梅: 讲师 博士研究生

基金项目: 国家 863 高技术研究发展计划基金

项目(2005AA414020); 上海市科学技术委员会科

研计划项目(052912065)

的 DCT 变换。对 DCT 系数按 Zig-Zag 扫描重新排列为二维向量,如图 1(a)所示。留下向量中开始的 L 个系数不作修改,对第 L 个系数后面的 M 个系数嵌入水印序列。Barni 是第一个提出对图像 DCT 系数变为二维向量的,为 DCT 域数字水印技术开辟了一片广阔的前景,但是这种算法比较复杂,因为它不是按照计算机存储矩阵的顺序(如图 1(b)所示)进行扫描排序的,因而得到的一维向量不是单调有序的,仅仅表现在整体有序,因而水印的鲁棒性不能得到很好的保证。

欧阳琦等提出对图像 DCT 变换,分成互不重叠的图像块,每块的大小为 8×8 。然后对每块按照灰度的大小选择嵌入系数的位置进行嵌入水印。这种算法实现起来比较容易,算法思想比较清楚。但不能保证在最重要的位置嵌入水印,所以抗攻击性较弱。

贾小军提出先对 DCT 变换后的图像矩阵利用 MATLAB 里的 sort 命令排序,然后从矩阵最后一个元素开始嵌入水印。这种方法的实现在寻找嵌入水印位置上有了改进,但是还不彻底,通过 sort 命令排序后的矩阵仅仅是局部有序,即每列元素是有序的,但整体还是无序的,所以就不能保证把水印嵌入到能量最大的 DCT 系数里去。胡睿等提出一种分块的 DCT 域算法,但本算法欠缺的是嵌入的块的选择没有针对性,缺少自适应性。本文所采取的嵌入方法较好地符合了载体图像本身的特点,对分块的方差排序,选择方差较大的块用来嵌入水印,且嵌入强度自适应于嵌入块。这样做法保证了把水印信息嵌入到整体范围纹理较大的块中,从而使得水印信息的鲁棒性和不可见性得以增强。

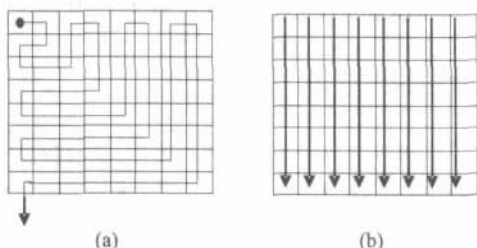


图 1 矩阵三种扫描顺序(a)Zig_Zag 扫描顺序(b)sort 命令的扫描顺序

3 一种基于 DCT 域的数字水印算

3.1 水印嵌入

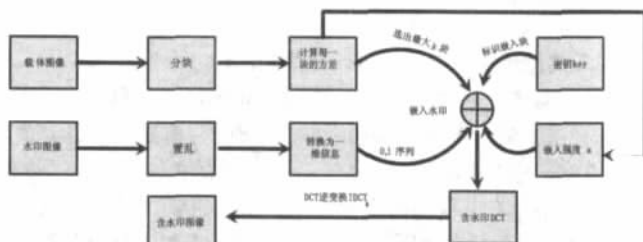


图 2 水印嵌入过程

本算法先将载体图像 $f(x,y)$ 分为互不覆盖的 $d \times d$ 子块,并按照各块的方差大小选出较大的块,记为 $f_k(x',y')$,对应的 DCT 域块为 $F_k(u',v')$ 。这里 d 的大小由水印信息量和载体图像信息量共同决定,一般情况下, d 取 8, k 为选出块的数量。水印嵌入过程如图 2 所示,具体算法如下:

1)将置乱后的水印图像转变为一维行向量 M , M 由 0,1 组成。

2)设置 MATLAB 随机数生成器状态 S 作为系统密钥 Key ,并根据当前的随机数生成器状态 S 生成 0,1 的伪随机序列。

3)对宿主图像进行 8×8 分块变换;计算载体图像每一块的方差,然后取出方差最大的前 k 块, k 的大小由水印信息量大小来决定,即为水印图像比特位数量。

4)计算选出的每个嵌入块的嵌入强度。

$$\text{根据信噪比 SNR 公式: } SNR_k = 20 \lg \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d F_k(i,j)}}{\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d (F_k(i,j) - F_k(i,j))^2}} \quad (3)$$

$$\text{而根据加性嵌入规则: } F_k(u',v') = F_k(u',v') + \alpha_k W_k \quad (4)$$

$$\text{所以有: } SNR_k = 20 \lg \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d F_k(i,j)}}{\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d (\alpha_k M_i)^2}} = 20 \lg \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d F_k(i,j)}}{\alpha_k \sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d (M_i)^2}} \quad (5)$$

$$\text{可以得到: } \alpha_k = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d F_k(i,j)}}{\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d (M_i)^2}} \cdot 10^{-SNR_k/20} \quad (6)$$

一般情况下,人类视觉系统主观观可以容忍的图像信噪比值都在 20dB 以上,所以有:

$$\alpha_k = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d F_k(i,j)}}{10 \sqrt{\sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^d (M_i)^2}} \quad (7)$$

5)在方差最大的前 k 块并且被标示的水印信息为 0 的块在其 DCT 中频系数自适应嵌入伪随机序列;嵌入完成后进行分块 DCT 反变换。

6)生成并输出嵌入水印后的图像,计算峰值信噪比并保存。

3.2 水印提取

水印提取过程需要用到原始图像,因此不是盲提取。具体提取过程如下:

(1)设置与嵌入时相同的随机数生成器状态 S 作为检测时的系统密钥 Key ,并生成相同的伪随机序列。

(2)原始宿主图像和待测图像分别分块 DCT 变换,并在 DCT 域进行求差运算,比较其相关性。

(3)确定序列 seq ,如果相关性大于 0.5 则嵌入 0,否则表示曾经被嵌入过,置 1。

(4)根据图像方差值的大小,确定纹理块,从而确定水印曾经嵌入的位置。

(5)与嵌入时的步骤相似,根据序列 seq 以及纹理块复杂度的次序形成一维水印序列。

(6)将水印序列重新组成二维的嵌入图像,反置乱后生成水印图像。

4 实验结果

在这里采用 lena(256×256)图像作为载体图像,同济大学(64×64)图像作为水印图像如图 3。



图 3 原始图像和水印图像

实验 1:对 lena 图像进行水印嵌入和提取实验,得到的结

果如图 4 所示, 其图像的峰值信噪比 PSNR 的值为 33.032, 因此该嵌入算法保证了水印嵌入的不可视性。

$$PSNR = 10 \lg \left[\frac{M \times N \times \max(F(i, j))^2}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N [F'(i, j) - F(i, j)]^2} \right] \quad (8)$$



同济
大学

图 4 含水印图像和提取出的水印

实验 2: 图 5 是对含水印图像进行中值过滤、高斯噪声、旋转、压缩、剪切攻击, 实验结果证明本算法有将好的抗攻击性。



同济
大学



同济
大学

(a)中值滤波攻击与提取的水印 (b)高斯噪声攻击与提取的水印



同济
大学

(c)旋转 45 度攻击与提取的水印



同济
大学

(d)压缩 90%攻击与提取的水印



同济
大学

(e)剪切四分之一攻击与提取水印

图 5 各种攻击与提取出的水印

5 结束语

本文提出了一种鲁棒性较强的自适应 DCT 域数字水印算法, 该算法采用有意义图像作为水印。本算法充分利用了载体图像的特征来确定嵌入水印的块和嵌入强度, 又利用了密钥以产生随机序列用来标识嵌入水印的块, 提高水印系统的安全性。通过对嵌入水印后的图像实施旋转、压缩、改变大小和剪切等攻击实验, 结果证明, 该算法具有较好的鲁棒性和稳健性。

该算法需要改进的地方: 由于在本算法在水印提取过程中使用了原始图像, 降低了提取的效率, 限制了水印技术的推广。

本文作者创新点 1. 提出了利用载体图像的统计特征- 方差来决定嵌入水印的区域, 这样做的优点在于将水印嵌入到纹理比较强的块中, 提高了水印的不可见性。2. 提出了自适应嵌入方法, 即首先根据载体信息和水印信息计算出嵌入强度, 然后再有针对性地嵌入水印, 这样做的优点在于能够最大限度的嵌入水印, 增强了水印的鲁棒性, 而且保证水印的不可见性。3. 利用了密钥来产生随机序列来表示嵌入水印的位置, 当提取水印

时, 只有在已知密钥的前提下才能知道哪些块嵌入了何种水印信息, 从而正确将水印提取出来。

参考文献

- [1]孙圣和 陆折明 牛夏牧等著. 数字水印技术及应用[M] 科学出版社
- [2]Cox I. J. et al. A secure, Robust Watermark for Multimedia[J] Workshop in Information Hiding, Cambridge, UK, 1996, Number 1174 in Lecture Notes in Computer Science. Springer- Verlag, 185- 206
- [3]Podilchuk C I, Zeng W J, Image- adaptive Watermarking Using Visual Models [J]IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16, 4: 525- 539
- [4]Mauro Barni et al. A DCT- domain system for robust image watermarking[J]Signal Processing 1998. 66: 357- 372
- [5]胡睿, 徐正光. 一种基于分块 DCT 变换和水印置乱的嵌入算法[J]微计算机信息 2005. 1, 06Z: 29- 31
- [6]欧阳琦, 李炳炎, 林春蕾, 庞坚, 高东妮. 基于 DCT 域的图像数字水印技术[J]信息技术 2005. 9;
- [7]贾小军. 基于 DCT 变换的数字水印技术研究[J]嘉兴学院学报 2005. 17, 3;
- [8]王炳锡, 陈琦, 邓峰森编著. 数字水印技术[M]西安电子科技大学出版社 2003. P33- P40
- [9]王颖, 肖俊, 王蕴红. 数字水印技术原理与技术[M]. 科学出版社 2007. 3

作者简介: 王树梅(1972-), 女(汉), 山东单县人, 徐州师范大学计算机学院讲师, 博士研究生, 主要研究领域为数字水印技术与图像处理等; 赵卫东(1964-), 男(汉), 山东青岛人, 同济大学 CAD 中心研究员, 博士, 主要研究领域为 CAD 及企业信息化; 王志成(1975-), 男(汉), 江苏泰州人, 同济大学 CAD 中心博士, 研究方向为图像处理域智能控制。

Biography: Wang Shumei (1972 -), Female (Chinese), Shandong, Shanxian, Xuzhou Normal University Computer Institute, Lecturer, Doctor graduate student, Research area: Digital watermarking technology and image processing and so on;

(201804 上海同济大学 CAD 研究中心) 王树梅 赵卫东 王志成 (221116 江苏 徐州师范大学计算机学院) 王树梅

通讯地址: (201804 上海 上海市嘉定区曹安路 4800 号同济大学 13- 436) 王树梅

(收稿日期: 2008. 4. 23)(修稿日期: 2008. 6. 05)

变频器与软启动器应用 200 例》

凡有电机的地方, 均需要软启动器与变频器, 一是安全、二是节能、三是环保。冶金、石化、化工企业的大设备运行, 港口、码头、矿山的装载机械、掘进机械、水泥厂的窑炉动力机械、破碎机械、机床厂的各种设备与产品, 电力(发电与运行)机械, 铁路行业的电力机车、内燃机车与货场的行车, 轻工动力机械、造纸机械、印刷机械、大厦中的电梯、中央空调装置、恒压供水装置, 各种窑炉的控制设备、大型闸门起吊设备, 各种伺服阀门、大型雷达动力驱动系统, 有轨、无轨城市电车……。电机无处不在, 变频器与软启动器的应用无所不在。高压变频、中低变频、直流调速、交流变频、变频、伺服驱动、各种启动、励磁、电源解决均在本书之中, 既符合设计使用人员查阅, 又适合采购主管人员查询。好书大家拥有, 200 个实用案例与大量的广告总会有您适应您的一款。

本书已出版。大 16 开, 每册定价 110 元(含邮费)。预购者请将书款及邮费通过邮局汇款至

地址: 北京海淀区皂君庙 14 号院鑫雅苑 6 号楼 601 室

微计算机信息

邮编: 100081

电话: 010-62132436

010-62192616(T/F)

http://www.autocontrol.com.cn

http://www.autocontrol.cn

E-mail: editor@autocontrol.com.cn;

E-mail: control-2@163.com