

灰度图像水印的自适应二维数字水印算法

A adaptive digital watermarking method for gray-level image watermarking in DCT

(上海大学)茅时群 高 健

Mao, Shiqun Gao, Jian

摘要: 本文提出了一种采用可视灰度图像作为水印信号, 根据人类视觉掩体特性进行分类, 并结合系数自身的特点, 通过修改 DCT 域中低频和次低频系数来嵌入不同强度水印的算法。实验结果表明, 应用所提出的算法实现的水印对常见图像处理和噪声干扰具有很好的稳健性。

关键字: 数字水印; DCT 域; 视觉掩体特性; 灰度图像水印

中图分类号: TN915.08

文献标识码: A

abstract: In the paper a new digital watermarking method based on human visual system and characters of coefficient of DCT is proposed. The gray-level image watermarking with different strength are embedded into low and sub-low frequency in DCT. The experimental results show that the watermarks generated with proposed method are invisible and robust against noise and commonly used image processing techniques.

keyword: digital watermarking; DCT; HVS; gray-level image watermarking

引言

随着因特网的迅猛发展, 各种形式的多媒体数字作品纷纷以网络形式发表, 但是网络在给人们带来便利的同时也暴露出越来越重要的安全问题: 如媒体作品的版权侵犯和篡改等。如何在利用网络便利的同时, 又能有效的保护知识产权, 已受到了人们的高度重视。用于数字作品版权保护的数字水印 (digital watermarking) 技术应运而生, 并成为近年来多媒体信息安全领域研究的一个热点。它通过在原始数据中嵌入秘密信息- 水印来证实该数据的所有权, 被嵌入的水印可以是一段文字、标识、序列号等。

大多水印算法为了水印有较好的稳健性, 通常以伪随机序列作为水印, 这只能给出有或没有的结论, 这样隐藏的信息量太少, 无法给出有意义的可视化信息, 如二维的商标、印签等标识。目前对于这种二维水印信息, 尤其是 8 位灰度水印信息的研究不多。这主要是其数据量太大, 且对于嵌入信息的鲁棒性要求高。

本文基于人类视觉特性, 并结合嵌入系数自身特点, 提出了一种自适应的二维图像数字水印算法, 实验结果表明, 该方法对常见的图像处理和噪声干扰具有很好的稳健性。

文章在第一节介绍了 DCT 域水印技术的一些基本方法。第二节概述了算法思想。第三节介绍了块分类思想, 并提出求取嵌入强度的方法。第四节描述了本文的水印嵌入和提取方法。第五节给出了实验及其

结果。

1 传统的基于 DCT 的图像水印算法分析

目前, 国际上出现了很多数字水印方案, 根据水印实现的方法不同, 可分为空间域方法和变换域方法。空域方法中, 最早最具有代表性的是 Tirkel 等人提出的最低有效位方案, 算法简单, 但是抗干扰能力差, 此后, Kutter 等提出了一种对 RGB 彩色空间中蓝色成分进行修改的嵌入方案, 是空域嵌入比较成功的案例。随着图像压缩技术的发展, 变换域方法已经成为数字水印技术的主流。而 DCT 以其自身特有的优点成为目前众多算法中研究最多的一种。原因有二: (1) 计算简单、易实现。(2) 与目前流行的国际压缩标准 (JPEG、MPEG、H.261 等) 兼容, 对于各种攻击具有很好的稳健性。最典型的 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 变换后的视觉最重要系数中, 它利用了序列扩频技术 (SS) 和人类视觉特性 (HVS)。在此基础上, 众多学者专家就水印嵌入 DCT 域的位置和嵌入强度进行了大量的研究工作, 并取得了很多研究成果。一般算法都是将水印信息放在 DCT 的 AC(交流)分量上, 这样处理是为了避免嵌入了水印图像出现块效应现象。一般认为低频系数的稳健性较好。也有少数学者在 DC(直流)分量进行了嵌入水印的研究。根据 weber 定理和人类视觉特性提出了块分类理论, 有效的提高了嵌入水印的稳健性。块分类的原则是, 背景越亮, 纹理越复杂 (或者说边缘丰富),

茅时群: 硕士生

HVS对其中像素的改变敏感性最弱,叠加的水印分量的强度就最强,一般将图像块分为三类。文献中定义了衡量块均匀度的参数,通过判断块均匀度和灰度均值进行图像块分类。

本文针对有意思数字水印信息量大,要求嵌入水印信息鲁棒性高的现象,提出了一种低频与次低频相结合的自适应二维数字水印算法。该算法基于人类视觉特性,并结合了嵌入系数自身的特点。

2 算法概述

水印嵌入先将原图像进行分块 DCT 变换,对于原始可视灰度水印,选定密钥 key,对水印进行伪随机化,再进行位分解,根据每块嵌入的信息量,从所得的 DCT 系数中选取低频和次低频系数,根据掩体特性及系数本身特点修改相应系数。

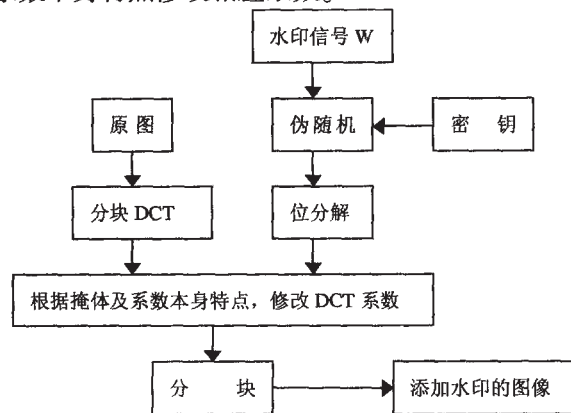


图1 水印嵌入方案图

水印的提取在 DCT 域进行,对待测图像和原图像分别进行分块 DCT 变换,提取出相应的系数,比较二者间的大小,得到信号进行位合成,对其进行反随机化,就得到了所需的可视水印信号。

3 HVS 特性及嵌入参数强度的确认

水印嵌入可看为在强背景(原始图像)下叠加一个弱信号(水印)。只要叠加的信号低于对比度门限,视觉系统就无法感觉到信号的存在。根据 HVS 特性,该对比度门限与边缘、区域平滑性、纹理特性、亮度敏感性有关。一幅图像的背景越亮,边缘丰富,纹理越复杂,所携带的能量值就大,对比度门限就越高。这就暗示具有不同局部性质的区域在保证不可见性的前提下,可允许叠加的信号强度不同。对于一幅图像,各个块的能量可以用时域的块方差和 DCT 域的 AC 能量来衡量,第 k 个块方差可表示如下:

$$A_k = \frac{\sum_{i=1}^n (\mu_k - x_k(i))^2}{n-1} \quad (2.1)$$

式中: μ_k 为块平均值, $x_k(i)$ 为块 k 中第 i 个数的像素值。

DCT 域的 AC 能量表示如下:

$$A_k = \frac{\sum_{i=1}^n F_k^2(i) - F_k^2(1)}{n} \quad (2.2)$$

式中: $F_k^2(1)$ 块 k 的直流分量。

根据照明掩蔽和纹理掩蔽特性,将图像块 B_k 分为三类,第一类(R_1)亮度低,纹理少。第三类(R_3)亮度高,纹理复杂。其余为第二类(R_2)。分类器表述如下:

- 如果 $\mu_k < T_1$ 且 $\log_{10}(A_k) < T_2$ 则 $B_k \in R_1$
- 如果 $\mu_k > T_3$ 且 $\log_{10}(A_k) > T_4$ 则 $B_k \in R_3$
- 其余 $B_k \in R_2$

式中: \log_{10} 是为了缩小范围,并保持单调, T_1, T_2, T_3, T_4 为阈值,由实验所定。

本文通过实验数据比较,发现水印信号的鲁棒性不光和块分类有关,同时还和块中系数的自身数值有关。载有水印的图像在遭受各种攻击时,各 DCT 系数的抗干扰能力是不同的,绝对值大的数值运用乘法准则可以获得很好的鲁棒性,然而对于绝对值较小的数值,它的相对变化很大,单纯的用乘法准则很难保证它的鲁棒性,若我们是以伪随机序列作为水印,检测结果只须告诉有或者没有水印,个别信号没有被检测出来是不会影响检查结果的,而采用可视化的信息作为水印信号,就会明显影响到显示效果,尤其是灰度图像水印,若那些位高权重的信息检测出错,就会严重破坏显示效果。

因此为了加强水印信号的鲁棒性,引进了修正系数 k 。嵌入公式如下:

$$F'_k(\mu, \nu) = F_k(\mu, \nu) + \alpha(\text{abs}(F_k(\mu, \nu)) + k) \times x_i \quad (2.3)$$

式中: $x_i \in (1, -1)$ α 为强度因子,本文对 1, 2, 3 类 α 分别取 0.05, 0.1, 0.2。 k 的选取与系数的大小有关,绝对值小的系数选取的 k 要大,本文按照分段进行处理,根据实验结果段分的越细,越有利于鲁棒性和不可见性的结合。本文中,对于绝对值大于 50 的可不加修正系数,系数绝对值在 50~10 之间,10~1 之间和小于 1 的修正系数分别为 k_1, k_2, k_3 。修正值由实验定。

4 水印的嵌入和提取

首先对大小为 $M \times N$ 的原始图像 $f(x, y)$ 进行分块,每块的大小为 8×8 。并根据上述方法进行块分类。原始图像可表示为:

$$f(x, y) = \bigcup_{k=0}^{K-1} B_k = \bigcup_{k=0}^{K-1} f_k(i, j), \quad 0 \leq i, j < 8 \quad 0 \leq k < K \quad (3.1)$$

式中: K 为 $M \times N / 64$, 再进行分块 DCT 变换。

$$F_k(u, v) = DCT\{f_k(i, j)\}, 0 \leq u, v < 8 \quad (3.2)$$

采用的水印为一包含版权信息的灰度图像,考虑到水印信息的隐蔽性,首先对灰度值进行伪随机化,本文采用自然进制来产生伪随机全排列的码控位交换法进行伪随机化。为了实现灰度水印的嵌入,必须对灰度图像进行分解,有学者采用 DCT 域分解法进行灰度水印的嵌入。本文采用位分解法。

设 $X(m,n)$ 是一幅大小为 $M_1 \times N_1$, 灰度级为 2^L 的伪随机化后的灰度图像 ($1 \leq m \leq M_1, 1 \leq n \leq N_1$ 其中 M_1, N_1, L 为正整数), $X_p(m,n)$ 是该图像的一个像素, 则图像 $X(m,n)$ 的位分解可定义为:

$$x^i(m,n) = B^i(X_p(m,n)) = \begin{cases} 1 & (\text{Integer}[X_p(m,n)]/2^i) \bmod 2 = 1 \\ 0 & (\text{Integer}[X_p(m,n)]/2^i) \bmod 2 = 0 \end{cases} \quad (3.3)$$

式中, $B(\cdot)$ 代表图像的位分解操作。生成二值水印信号为:

$$w(i) = \{x^i(m,n) | i = 1, 2, \dots, M_1 \times N_1 \times L\} \quad (3.4)$$

本文采用 $64 \times 64 \times 8$ 的灰度图像作为水印图像, $512 \times 512 \times 8$ 的灰度图像作为水印载体, 每一个块嵌入的信息正好是一个 8 位灰度值, 灰度值的低位信息不影响显示效果, 因此只选择 7 位高位信息, 也可选者 6 位信息。为了防止嵌入信息过于集中, 同时确保水印的鲁棒性, 采用低频与次低频结合的嵌入方法, 并将灰度值的高位信息放在低频。选用公式 (2.3) 进行水印嵌入, 最后分块 DCT 反变换得到嵌有水印信息的图像

$$f(x,y) = \bigcup_{k=0}^{K-1} IDCT\{F_k(u,v)\} \quad (3.5)$$

0	1	5	6	14	15	27	28
2	4	7	13	16	26	29	42
3	8	12	17	25	30	41	43
9	11	18	24	31	40	44	53
10	19	23	32	39	45	52	54
20	22	33	38	46	51	55	60
21	34	37	47	50	56	59	61
35	36	48	49	57	58	62	63

图2 嵌入位置示意图

水印提取为上述算法的逆过程, 将提取出来的水印进行位合成, 再将灰度图像反伪随机化。得到灰度水印图像。

5 实验结果

本文选取的水印载体为 $512 \times 512 \times 8$ 的 lena 和 peppers 图像, 水印图像选取了一幅 $64 \times 64 \times 8$ 的人脸图。水印嵌入后, 人的眼睛是很难感觉出嵌入水印后图像的变化, 本文采用了峰值信噪比 PSNR 对嵌入前后的图像进行了客观评价, 两幅图像的 PSNR 分别为 37.12 和 36.80。同时对含水印图像进行了一系列攻击实验, 其结果如图 4, 图 5, 图 6 所示。图 4 为压缩和锐化处理的实验结果。(a) 为进行 30% 压缩处理的结果, (b) 为进行 60% 压缩处理的结果, (c) 为进行 90% 压缩处理的结果, (d) 为锐化处理的实验结果。图 5 为噪声添加处理的实验结果。(a) 为添加 2% 平均噪声的实验结果, (b) 为添加 5% 平均噪声的实验结果, (c) 为添加 2% 高斯噪声的实验结果, (d) 为添加 5% 高斯噪声的实验结果。

图 6 为滤波和裁剪处理后的实验结果。(a) 为一般模糊处理的实验结果, (b) 为高斯滤波 (半径为 0.5) 的实验结果, (c) 为高斯滤波 (半径为 1.0) 的实验结果, (d) 为马赛克攻击后的实验结果 (单元格大小为 2×2), (e) 为裁减 25% 后的试验结果, (f) 为裁减 50% 后的试验结果。这些处理中有些已经可以明显感觉出图像质量遭到了破坏。对于攻击后的图像同样进行了 PSNR 的客观评价, 30%, 60%, 90% 的压缩, 马赛克, 5% 平均噪声, 2%, 5% 的高斯噪声, 半径 0.5、半径 1 的高斯滤波后的 PSNR 值分别为 34.30、35.55、39.10、31.10、30.00、33.86、25.69、35.89、31.73。

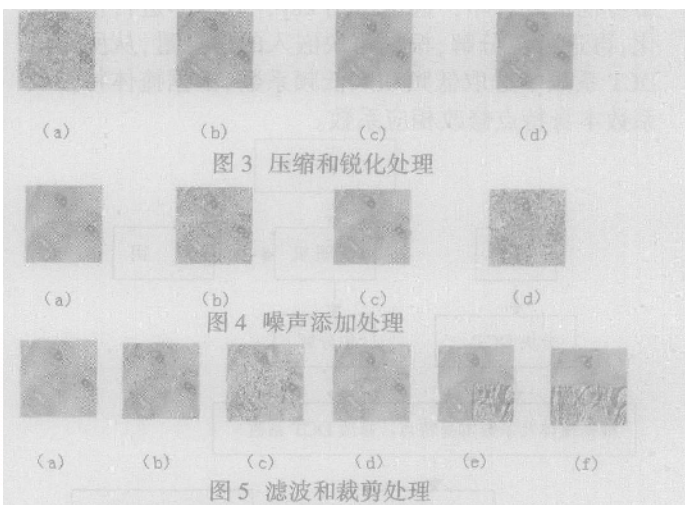


图3 压缩和锐化处理

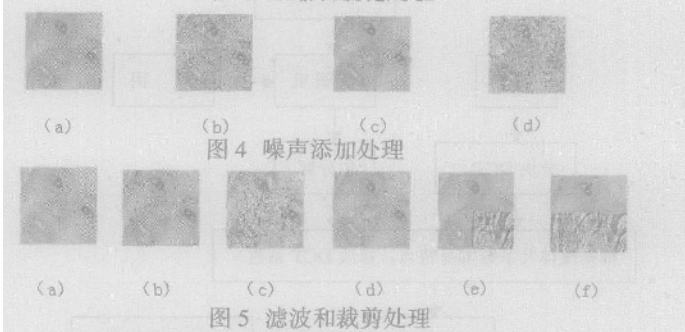


图4 噪声添加处理

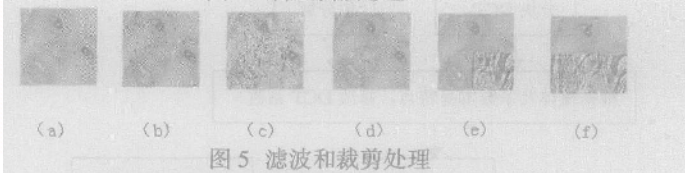


图5 滤波和裁剪处理

实验结果显示水印算法对于压缩, 锐化, 滤波和剪切处理这些常见的信号处理有较强的稳定性, 并且算法简单容易实现。虽然肉眼是无法感知载体图像加水印后有什么变化, 但是它的客观评价参数不是很高。

6 结论

本文提出了一种基于 DCT 域的自适应二维数字水印算法, 实现了对灰度图像水印的嵌入。该水印算法利用了人类视觉特性和系数本身的特点, 提高了算法的鲁棒性, 在各种常见的图像攻击下, 仍能很好的提取出水印信息。但是由于嵌入的信息量是比较多的, 因此它的客观评价参数 PSNR 不是很高, 这方面还需进一步改进。这点可以考虑从减少嵌入水印的信息量角度考虑, 如先对水印图像进行缩小再嵌入。

参考文献

- [1] Tirkel A Z, et al. Electronic watermark [J]. Digital image computing Technology and Application (DICTA '93), 1993, Macquarie University, 663-673.
- [2] Kutter M, Jordan F, Bossen F. Digital signature of color images using amplitude modulation [J]. Preceeding of SPIE, storage and retrieval for image and video databases, 1997, 3022: 518-526.
- [3] Cox I J, et al. A Secure Robust Watermarking for Multimedia [J]. Workshop on Information Hiding, Cambridge, UK, 1996, Number 1174 in Lecture Notes in Computer Science, Springer-Verlag, 185-206.
- [4] 朱磊, 陆亨立. 基于 ASC 设计的图像采集系统的实现 [J]. 微计算机信息, 2005, 2: 160-162 (见第 195 页)

存放在同一文件夹中就可以形成“金字塔”式存储结构。

2.3 地图的实时显示

根据上面的介绍, 我们知道实现地图显示只需依据缩放比例将对应于该比例的图像层数据取出并按顺序显示出来就可以了。实际上, 这种方法会产生“夹缝现象”, 它是由拼接小地图引起的, 如图 5 所示。若对地图进行平移, 则这种现象将更加明显。因此我们需要建立屏幕相关内存以消除这种现象。

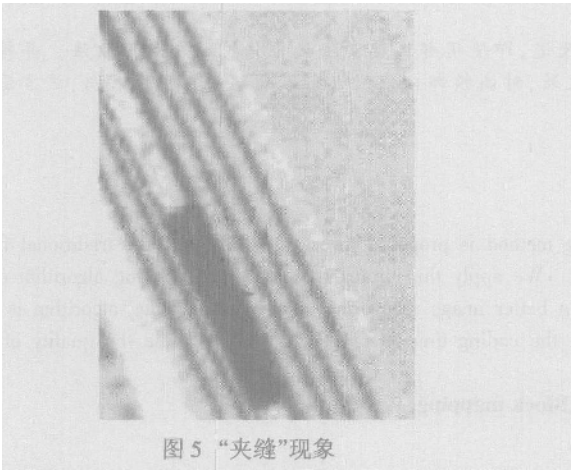


图 5 “夹缝”现象

2.3.1 屏幕相关内存

屏幕相关内存即是申请屏幕大小的一块内存空间, 用于存放此时需要显示的图像数据。过程如下:

- * 依据缩放比例找到对应于该比例的图像数据层;
- * 根据图像左上角点坐标判断应取的小图片名称;
- * 依次读取图片, 并将所需显示的图像数据重新组织并存储到屏幕相关内存中;
- * 将屏幕相关内存中的图像数据绘制成新位图并显示。

2.3.2 擦除屏幕

需要说明的是当地图缩小到一定比例时, 地图大小将小于屏幕大小, 此时平移地图则需要擦除屏幕。如果我们每次都擦除整个屏幕, 屏幕将不停的闪动。我们可以通过仅仅擦除除图像外的屏幕部分来解决这个问题。

3 结束语

本文提出了一种基于大地图的缩放方法, 该方法已经在 Windows 平台上用 VC++ 编程实现, 其中用于缩放的图源是一副 5938 × 4044 的 24 位色郑州市地图。下表列出了地图分别放大 1/8、1/4、1/2、2、4 倍所用的时间。

放大倍数	1/8	1/4	1/2	2	4
所用时间	2.8"	1.7"	1.2"	2"	3.7"

实验证明应用该方法可以完成大地图的快速缩放, 并完全消除“夹缝”现象实现大地图的实时显示。

参考文献:

[1] Donald Hearn, M. Pauline Baker. 蔡士杰等译. 计算机图形学. 北京: 电子工业出版社, 1998-03
[2] 向世明. Visual C++ 数字图像与图形处理. 北京: 电子工业出版社, 2002-03
[3] 李将云, 杨勋年, 汪国昭. 图像缩放的分片连续算法. 浙江: 浙江大学学报(理学版), 2002-09
[5] 朱磊, 陆亨立. 基于 ASC 设计的图像采集系统的实现[J]. 微计算机信息, 2005, 2: 160-162
[4] DURAND C X, FAGUY D. Rational zoom of bit maps using b-spline interpolation in computerized 2-D animation[J]. Computer Graphics Forum, 1990-09

作者简介: 张妍, 女, 出生年: 1982, 在读硕士研究生, 主研方向: 嵌入式系统。岳春生, 男, 出生年: 1966, 教授, 硕士生导师, 主研方向: 嵌入式系统。e-mail: rofzy@163.com

Author brief introduction: Zhang Yan, female, born in 1982, post graduate, Major: embedded system. Yue Chunsheng, male, born in 1966, professor, Research orientation: embedded system.

(450002 解放军信息工程大学) 张妍 奚玲
通信地址:

(450002 河南省郑州市 1001 信箱 006-5) 张妍

(投稿日期: 2005.6.25) (修稿日期: 2005.7.5)

(接第 186 页)

[5] Azriel Rosenfeld, Avinash C Kak. Digital Picture Processing[M]. New York San Francisco, London: Academic Press, 1976: 46-48
[6] Torres, M Kunt. Video Coding. The Second Generation Approach[M]. Kluwer Academic Publishers, 1995
[7] J Johnston, N Jayant, R safranek. Signal compression based on models of human perception[J]. proceedings of IEEE, 1993: 81(10): 1385-1422
[8] Choong-Hoon Lee; Hwang-Seok Oh; Yunju Baek; Heung-Kyu Lee; Adaptive digital image watermarking using variable size of blocks in frequency domain [J]. Proceedings of the IEEE Region 10 Conference Volume 1999 Page(s): 702 - 705 vol. 1

作者简介: 茅时群(1977-), 男, 浙江湖州人, 上海大学硕士生, 主要研究方向为视频图像处理, 包括数字水印, 图像编码等。电子邮件: maoshiqun@sina.com.cn; 高健(1961-), 男, 湖北武汉人, 华中科技大学博士生, 上海大学教授, 硕士生导师, 主要研究方向为视频图像处理, 包括图像编码, 图像缩放, 视频插帧等;

(200072 上海大学纽带亚联合媒体研究中心) 茅时群 高健

(School of Mechatronical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China) Mao, Shiqun Gao, Jian

联系方式:

(200072 上海市延长路 149 号上海大学自动化楼 308 室) 茅时群

(投稿日期: 2005.6.24) (修稿日期: 2005.7.2)