

# 图像版权保护与认证的双水印算法

吴 柯

(湖南理工学院 计算机与信息工程系, 湖南 岳阳 414000)

**摘 要:**为了实现数字图像的版权保护与认证,设计了一种基于离散余弦变换(DCT)和离散小波变换(DWT)的双数字水印算法,一个水印鲁棒性强,用于版权保护,另一个是脆弱水印,用于图像认证。水印同时嵌入,不需要考虑嵌入顺序,根据验证目的的不同水印可以同时或单独提取。通过将原始灰度图像像素矩阵经离散小波变换,在低频子图中嵌入鲁棒水印一,对水平细节子图再进行离散余弦变换,在中频系数中嵌入脆弱水印二。该算法实现简单,计算量小,隐蔽性好,可实现对恶意篡改的块定位。

**关键词:**数字水印;版权保护;图像认证;离散余弦变换;离散小波变换

**中图分类号:**TP391.41

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2009)09-0136-04

## Dual Watermarking Algorithm of Image Copyright Protection and Authentication

WU Ke

(Department of Computer and Information Engineering,  
Hunan Institute of Science and Technology, Yueyang 414000, China)

**Abstract:** In order to achieve digital image copyright protection and authentication, designed double-digital watermarking algorithm based on discrete cosine transform (DCT) and discrete wavelet transform (DWT), a robust watermark for copyright protection, and the other is fragile watermark for image authentication. Two watermark embedded at the same time, embedded in the order do not need to consider, in accordance with the purpose of different verification watermarks can be extracted at the same time or separately. Original pixel matrix by DWT, in the low-frequency sub-image to embed a robust watermark, the level of details sub-image by the discrete cosine transform, fragile watermark embedded in the mid-frequency coefficient. The algorithm is simple, computation of small, well hidden. It can recognise malicious tampering block positioning.

**Key words:** digital watermarking; copyright protection; image authentication; discrete cosine transform; DWT

## 0 引 言

随着计算机网络和通信技术的飞速发展,数字媒体(包括数字图像、数字视频、数字音频)已得到广泛的应用,随之而来的数字媒体的安全、知识产权的保护和认证等问题也变得日益突出。数字图像的安全问题是多媒体信息安全的重点,具有广泛的代表性,数字图像安全偏重于版权保护和图像内容的完整性及可信认证。数字水印技术作为媒体作品知识产权保护的一种有效手段,得到了广泛的关注。数字水印是嵌在宿主数据中具有可鉴别性的数字信号或模式(文字、标识、序列号或徽标等),而且并不影响宿主数据的可用性,

被嵌入的信息通常是不可见或不易察觉的,但是通过一些操作可以被检测或被提取。实现版权保护和内容认证是数字水印的两个最主要功能<sup>[1]</sup>。

数字水印按特性可分为鲁棒型水印、脆弱型水印、半脆弱水印<sup>[2]</sup>。鲁棒型水印主要用于数字产权的版权保护,它必须保证对原始版权的准确无误的标识,在载体图像可能发生的各种失真变换下,以及各种恶意攻击下都具备很强的抵抗能力。脆弱水印是一种在数字图像作品发生任何形式的改变时都会损坏的水印;半脆弱水印一般指能承受图像进行诸如 JPEG 压缩、加少量噪声的偶然修改,但会被图像内容的恶意篡改损坏的水印。基于数字水印的多媒体认证技术用来解决数字作品的真实性问题,主要包括篡改检测和篡改定位<sup>[3,4]</sup>,根据篡改检测的类型,认证技术分为精确认证和选择认证<sup>[5]</sup>。精确认证的主要任务是确认作品是否受到任何的改变,可用脆弱水印来实现。通过鉴别

收稿日期:2009-01-15;修回日期:2009-03-15

基金项目:湖南省教育科研基金项目(08C389)

作者简介:吴 柯(1964-),男,湖南澧县人,讲师,硕士,研究方向为多媒体技术、信息安全。

水印信息的改动,达到对原始数据完整性检验的目的。与鲁棒型水印不同的是脆弱型水印应随宿主信号的变动而做出相应的改动,要体现出脆弱性。

图像篡改认证根据其对篡改的定位能力可以分为三种<sup>[6]</sup>:一种是像素级的定位,即可以确定每一个像素是否被篡改过,这种认证也称为单像素认证;另一种是分块级的定位,即被篡改的最小单元是一个图像块,这种认证也称为分块认证,为了尽可能定位准确,分块应尽可能小;第三种没有任何篡改定位能力,只能简单确定图像是否被篡改,这种认证称为无分割认证。像素级篡改定位能确定到每一个像素是否被篡改,因此定位能力最强,并且在受到篡改时能容易区分是有意篡改还是在传输过程中受到了干扰,但相对来说要实现也是最困难的。

文中设计了一种基于离散余弦变换(DCT)和离散小波变换(DWT)相结合的图像数字水印方案,在同一幅灰度图像中嵌入两个不同的二值水印图像:一个水印鲁棒性强,用于版权保护;另一个是鲁棒性弱,用于图像认证。

对图像进行一级离散小波变换分解,可以将图像分成4个子图,即一个低频子图(LL)和3个高频子图(HL, LH, HH),如图1所示。低频子图(LL)为逼近子图,它是图像的最佳逼近,其统计特征和原始图像相似,并且集中了图像的大部分能量<sup>[7,8]</sup>。高频子图(HL, LH, HH)为细节子图,代表了图像在不同尺度、不同分辨率下的细节信息。分辨率越高,其中有用的信息的比例就越高。对LL子图还可以进行小波分解,即可得到多级小波分解子图,图2是对图像进行三级离散小波变换后的子图信息,该图能量向左上角集中,即向低频部分集中。文中对图像进行一级小波分解,选择低频系数嵌入水印,以保证水印的鲁棒性。根据嵌入容量的不同选择小波变换的级数。

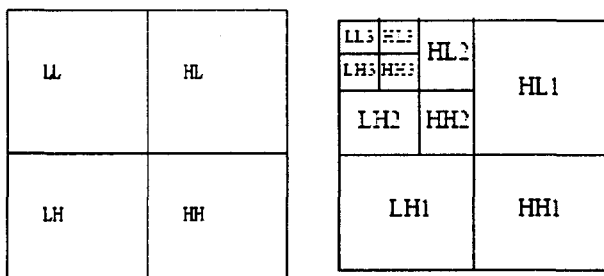


图1 一级小波分解子图 图2 三级小波分解子图

离散余弦变换(Discrete Cosine Transform)是基于实数的正交变换,常被认为是对语音和图像信号处理的准最佳变换,同时DCT计算简单,较易在数字信号处理器中快速实现,因而被许多算法采用<sup>[9]</sup>,DCT公式是:

$$F(i, j) = \frac{2}{N} C(i) C(j) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} f(x, y) \cos \left[ \frac{(2x+1)i\pi}{2N} \right] \cos \left[ \frac{(2y+1)j\pi}{2N} \right]$$

$$C(i), C(j) = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}}, & \text{当 } i, j = 0 \\ 1, & \text{其他} \end{cases}$$

其中 $f(x, y)$ 是待变换的实数矩阵, $F(i, j)$ 是变换后的系数矩阵。公式表明:DCT对一个 $N * N$ 的方阵进行处理,得到一个 $N * N$ 的频率系数方阵 $F$ 。

分块DCT域嵌入水印可以根据水印像素的变化映射出原图像中被篡改图像块的位置。因此文中的脆弱水印选择在DCT域嵌入,先对原始图像进行一级小波分解,在低频子图中嵌入鲁棒水印一,再将水平细节子图进行分块DCT变换,在中频系数中嵌入脆弱水印二。

## 1 算法描述

### 1.1 水印嵌入

Step1:设原始载体图像为 $F = \{f(x, y), 1 \leq x \leq M_1, 1 \leq y \leq M_2\}$ ,其中 $f(x, y)$ 表示原始图像在 $(x, y)$ 位置处的像素值, $M_1$ 和 $M_2$ 为整数。两个数字水印二值图像矩阵分别记为

$$W_1 = \{w_1(i, j), 1 \leq i, j \leq N\}, W_2 = \{w_2(i, j), 1 \leq i, j \leq N\}$$

Step2:对 $F$ 进行一级小波分解,得到 $[cA1, cH1, cV1, cd1]$ ,分别表示低频、水平、垂直和对角线子图的小波系数。在一级小波分解的低频系数 $cA1$ 中按下法嵌入水印一:

当 $w_1(i, j) = 1$ 时,

$$cA1'(i', j') = \text{floor}(cA1(i', j')) - \text{floor}(cA1(i', j')) \bmod 2^{m_1} + 2^{m_1-1} - 1$$

$$\text{当 } w_1(i, j) = 0 \text{ 时, } cA1'(i', j') = \text{floor}(cA1(i', j')) - \text{floor}(cA1(i', j')) \bmod 2^{m_1}$$

其中 $i' = i + p, j' = j + q$ 。

Step3:对系数 $cH1$ 进行 $8 * 8$ 分块DCT变换,得到矩阵 $BLOCK_{k_1}$ 。对每个 $BLOCK_{k_1}$ 按下法嵌入水印二:

当 $w_2(i, j) = 1$ 时,

$$BLOCK_{k_1}(4, 4) = \text{floor}(BLOCK_{k_1}(4, 4)) - \text{mod}(\text{floor}(BLOCK_{k_1}(4, 4)), 2^{m_2}) + 2^{m_2-1} - 1$$

当 $w_2(i, j) = 0$ 时,

$$BLOCK_{k_1}(4, 4) = \text{floor}(BLOCK_{k_1}(4, 4)) - \text{mod}(\text{floor}(BLOCK_{k_1}(4, 4)), 2^{m_2}), \text{其中 } k_1 = (i-1) \times N + j。$$

Step4:对每个 $BLOCK_{k_1}$ 进行IDCT变换得到

$cH1'$ 。

Step5:对  $cA1'$ ,  $cH1'$ ,  $cV1$ ,  $cd1$  进行 IDWT 变换得到含水印的图像 TF。

## 1.2 水印的提取

对 TF 进行一级小波分解, 得到  $cA2$ ,  $cH2$ ,  $cV2$ ,  $cd2$ , 再对  $cH2$  进行  $8 \times 8$  分块 DCT 变换, 得到矩阵  $BLOCK_{k_2}$ , 求:

$$a = \text{mod}(\text{floor}(cH2(i', j')), 2^{m_1}), \text{当 } a > \frac{2^{m_1} - 1}{4}$$

或  $a < \frac{3(2^{m_1} - 1)}{4}$ ,  $TW1(i', j') = 1$ , 否则,  $TW1(i', j') = 0$ 。

$b = \text{mod}(\text{floor}(BLOCK_{k_2}(4, 4)), 2^{m_2}), \text{当 } b > \frac{2^{m_2} - 1}{4}$  或  $b < \frac{3(2^{m_2} - 1)}{4}$ ,  $TW2(i', j') = 1$ , 否则,  $TW2(i', j') = 0$ , 其中  $k_2 = (i - 1) \times N + j$ 。

用  $TW1$  和  $TW2$  构成二值图像水印一和水印二。

## 1.3 篡改定位

对含水印的图像进行区域篡改, 从提取出来的水印图像可以确定被修改的区域, 将提取出来的水印与原始水印异或, 得到水印被修改了的位置<sup>[10]</sup>, 可根据分块大小映射到原始图像的图像块。一个水印像素对应水平细节子图中一个  $8 \times 8$  的块。

## 2 实验结果

原始图像分别采用  $256 \times 256$  的 lena、peppers、house 灰度图像, 使用 matlab6.5.1 进行实验, 水印图像是两个  $16 \times 16$  的二值图像, 选取  $m_1 = 4$ ,  $m_2 = 4$ ,  $p = q = 5$ , 小波基 db1, 部分实验结果如图 3 所示。其中图 3(e)、(f) 是无攻击时提取的水印。

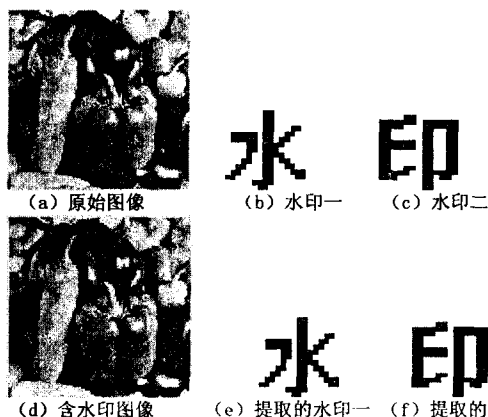


图 3 peppers 图像的实验结果

采用相似度(NC)对提取的水印和原始水印的相似性进行定量的评价<sup>[11]</sup>, 其定义为:

$$NC = \frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N W(i, j) \otimes W'(i, j)$$

其中  $\otimes$  表示异或,  $W$  为原始水印,  $W'$  为提取的水印,  $0 \leq NC \leq 1$ , 若  $NC$  为 1, 表明提取的水印图像和原水印  $T$  图像相同。实验数据如表 1 所示。

表 1 peppers 图像双水印实验结果

攻击方法	PSNR(dB)	水印一 NC	水印二 NC
无攻击	45.8788	1	1
椒盐噪声 0.005	28.0300	0.9766	0.6406
JPEG 压缩 90	38.7563	1	0.7695
JPEG 压缩 70	34.8507	0.9570	0.5117
中值滤波	32.0884	0.7891	0.4492
中心裁剪 1/4	11.6276	1	0.8436

从表 1 可以看出, 水印一鲁棒型好, 可用于版权保护, 水印二用于图像认证。当图像受到攻击时, 水印二会有相应的变化, 当图像受到恶意篡改时可进行篡改定位。如果提取的水印与原始水印位相同, 将其对印的图像块变为黑色, 如果提取的水印位与原始水印位不同, 将其对印的图像块变为白色。采用原图像的  $64 \times 64$  的块旋转  $180^\circ$  作为恶意篡改的内容, 提取水印进行篡改定位, 实验结果如图 4 所示。对原始图像互不重叠的  $64 \times 64$  的块进行上述篡改定位实验, 按行优先记块的位置得到 16 个位置号, 定义虚警像素比为  $P$ :



图 4 篡改定位结果

$$P = \frac{\text{篡改区域外的虚警像素和}}{\text{篡改区域外的像素总和}}$$

得到虚警像素比和位置关系的曲线结果如图 5 所示。

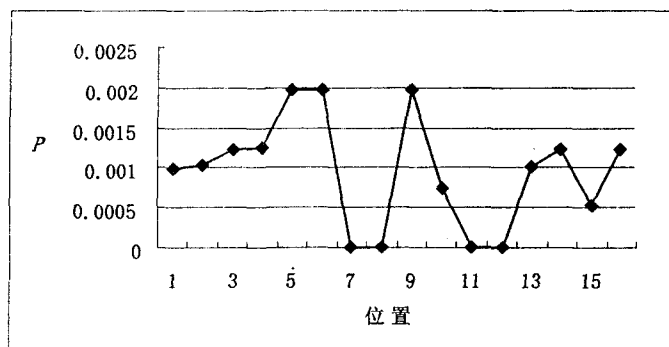


图 5 篡改不同位置的虚警像素比

## 3 结束语

数字水印技术为图像的真实性与完整性认证、篡改检测提供了一个简便的工具。与传统的基于数字签名的数据认证相比, 水印信息离散地分布到数字媒体

的各个部分,不是附加在数字图像的后面,从而提高了攻击难度,增加了安全性。利用数字水印进行图像认证,不需要额外的附加认证信号。文中采用两种不同的变换,在同一幅图像中嵌入两个不同的二值水印图像:一个用于版权保护,另一个用于图像认证。水印同时嵌入,不需要考虑嵌入顺序,根据验证目的的不同水印可以同时或单独提取。算法实现了水印的盲检测,从嵌入水印后载体图像的 PSNR 值判断,该算法完全满足了水印信息不可见的要求,从实验结果可以看出,算法能有效地检测出恶意篡改的区域。对恶意篡改部分实现图像重建是进一步要研究的内容。

#### 参考文献:

- [1] 张 永,杨永锋,李敬明.基于数字水印的图像版权保护和内容认证方案[J].计算机工程与应用,2007,43(36):223-225.
- [2] Zhao Yang, Campisi P, Kundur D. Dual Domain Watermarking for Authentication and Compression of Cultural Heritage Images[J]. IEEE transactions on image processing, 2004, 13(3):430-448.
- [3] Celik M, Sharma G. Hierarchical watermarking for secure image authentication with localization[J]. IEEE Transactions

on Image Processing, 2002, 11(6):585-594.

- [4] Lin P, Hsieh C. A hierarchical watermarking method for image tamper detection and recovery[J]. Pattern Recognition, 2005, 38(2):2519-2529.
- [5] 朱洁娜,刘晓霞,郭晓艳.小波编码半脆弱水印在图像认证中的应用[J].微机发展(现更名:计算机技术与发展), 2005, 15(5):106-110.
- [6] 谢建全,阳春华.一种像素级的图像篡改认证算法[J].计算机应用,2007,27(6):1337-1339.
- [7] 高丕莲,侯德文,李 鹏.基于小波域的彩色图像双水印算法[J].计算机工程与设计,2008,29(1):31-33.
- [8] 张新法,秦茂玲.基于人类视觉特性 HVS 和 DWT 的数字水印算法[J].计算机技术与发展,2007,17(7):135-138.
- [9] Hermans J R, Amado M, Perezgonzales F. DCT-Domain Watermarking Techniques for Still Images: Detector Performance Analysis and a New Structure[J]. IEEE Transaction on Image Processing, 2000, 9(1):55-68.
- [10] 王国栋,刘粉林,汪 萍,等.一种篡改检测与篡改定位分离的图像认证方案[J].计算机学报,2007,30(10):1880-1887.
- [11] 王树梅,赵卫东,王志成,等.离散余弦变换域图像数字水印技术[J].计算机工程与设计,2007,28(21):5170-5173.

(上接第4页)

#### 参考文献:

- [1] 国家环保局科技标准司. GB/T13201-91. 制定地方大气污染物排放标准的技术方法[S]. 北京:国家环保局,1991.
- [2] Spijkerboer H P, Beniers J E, Jaspers D, et al. Ability of the Gaussian plume model to predict and describe spore dispersal over a potato crop[J]. Ecological Modeling, 2002, 155(1):1-18.
- [3] 蒋维楣,孙鉴泞,王雪梅,等.空气污染气象学[M].南京:南京大学出版社,2003.
- [4] Papazoglou I A, Aneziris O N. Uncertainty quantification in the health consequences of the boiling liquid expanding vapour explosion phenomenon[J]. Hazardous Materials, 1999, A67:217-235.
- [5] Putock J S, Blackmore D R. Field experiments on dense gas dispersion[J]. Journal of Hazardous Materials, 1982, 6:13-14.
- [6] 刘诗飞,詹予忠.重大危险源辨识及危害后果分析[M].北京:化学工业出版社,2008.
- [7] 董长虹. Matlab 接口技术与应用[M]. 北京:国防工业出版社,2004.
- [8] 王 毅,樊 明,何 联.基于 Matcom 的 Matlab 与 VC++ 混合编程分析[J].哈尔滨商业大学学报,2007(6):311-314.
- [9] 苏金明,黄国明,刘 波. Matlab 与外部程序接口[M]. 北京:电子工业出版社,2004.
- [10] 牟或清,王汝霖,李国新. Matlab 与 VC 接口技术研究[J]. 微计算机信息,2006,7(3):275-277.
- [11] 《电脑编程技巧与维护》编辑部. Visual C/C++ 图形图象与游戏编程[M]. 北京:电脑编程技巧与维护出版社,2006.
- [12] 李海涛,邓 樱. Matlab 程序设计教程[M]. 北京:高等教育出版社,2005.
- [13] 肖建明,陈国华,张瑞华. 高斯烟羽模型扩散面积的算法研究[J]. 计算机与应用化学,2006(6):559-564.
- [14] 飞思科技产品研发中心. Matlab 应用接口编程[M]. 北京:电子工业出版社,2003.
- [15] 吕延庆,朱坚民,周福章,等. 基于 VC++ 和 Matlab 联合编程方法的研究[J]. 计算机应用研究,2000(11):101-103.
- [16] 张瑞华,陈国华,颜伟文,等. 基于 Matlab 技术的 LPG 储罐重大事故动态模拟评价系统开发与应用[J]. 工程设计学报,2007(6):220-225.
- [17] Math Works. Matlab C Math Library User's Guide[M]. US: Math Works Press,1999.
- [18] Works M. Matlab C Math Library Reference[M]. US: Math Works Press,1998.