

一种新的 DWT 域彩色图像数字水印算法及其实现

李孟涛, 孙刘杰

(上海理工大学, 上海 200093)

摘要: 提出了一种基于 DWT 域的彩色图像数字水印算法, 选取离散小波变换的中低频系数进行了水印的嵌入。选择了一种具有实际意义的二值图像作为水印图像, 然后根据水印图像的不同值, 在中频系数的不同方向上, 改变系数 2 次嵌入了数字水印, 以提高其鲁棒性。实验结果表明: 该算法具有很好的隐蔽特性, 并且对椒盐噪声、高斯噪声、中值滤波、图像旋转、图像缩放和 JPEG 压缩处理等操作具有很强的鲁棒性。

关键词: 离散小波变换(DWT); 人类视觉系统; 彩色图像; 数字水印

中图分类号: TS865 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2011)19-0105-03

A New Color Image Watermarking Algorithm and Its Implementation in DWT Domain

LI Meng-tao, SUN Liu-jie

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: A new color image watermarking algorithm was proposed based on DWT domain and mid frequency coefficients were select to embed watermark. A meaningful binary image was chosen as watermark image and then according to watermark image value, the watermark was embedded two times by modifying the intensity in the middle frequency coefficients of the two different directions. Experimental results showed that the proposed algorithm has better imperceptibility, robustness to salt and pepper noise, additive Gaussian noise, median filtering, image rotate, image scaling and JPEG compression processing operation etc.

Key words: discrete wavelets transform; human visual system; color image digital watermarking

随着 Internet 和多媒体技术的飞速发展, 整个社会进入了信息时代, 网络和信息系统在人们生活中发挥的作用越来越大, 使得作品侵权变得越来越容易, 对数字产品的知识产权保护问题亟需解决。数字水印技术为解决版权保护问题提供了有效的方法, 彩色图像在各种媒体中广泛传播, 因此对彩色图像的数字水印技术是研究重点, 正逐渐引起人们的关注^[1]。

目前水印技术主要的研究方向是频率域嵌入水印, 空间域方法^[2]嵌入水印的鲁棒性差, 嵌入容量大; 然而变换域方法先将图像数据做某种变换, 然后通过改变变换系数来嵌入水印^[3-7]。常见的变换域方法有离散余弦变换(DCT)、离散傅里叶变换(DFT)和离散小波变换^[8](DWT)等。变换域方法嵌入水印的鲁棒性高, 不可见性好, 具有较好地保护水印的安全性。

1 水印嵌入位置的分析

选择在中低频带嵌入水印, 因为鲁棒性和不可见性存在矛盾。图像的全局信息对应于低频部分, 低频部分是对原图像最小分辨率, 最小尺度的最佳逼近; 水印嵌在图像的低频部分可以有效地防止对图像水印的攻击等操作。视觉对高频部分比较敏感, 一般不做为水印的嵌入位置, 综合考虑频率带对鲁棒性和不可见性的影响, 在中低频带嵌入水印较好。

2 水印的嵌入和提取算法

2.1 水印的嵌入算法

选择有实际意义的 64×64 大小的二值图像作为

收稿日期: 2011-06-23

基金项目: 上海市研究生教育创新计划资助项目

作者简介: 李孟涛(1986—), 男, 河南周口市人, 上海理工大学硕士生, 主攻数字水印、图像处理等方面的研究。

水印信息进行嵌入,步骤如下。

1) 为了加强水印的安全性和保密性,读入水印信息后,利用密钥 key 产生的伪随机序列对水印信息进行加密处理。

2) 读入 RGB 图像,并根据人眼对蓝色分量不太敏感的特性,提取蓝色分量后,并对其进行 2 级小波分解,得到 7 幅子图,记为:LL2,HL2,LH2,HH2,HL1,LH1,HH1。

3) 选择中频系数 HL2 和 LH2,并对其先进行取绝对值,然后进行从大到小的排序,分别记录下其索引值 index1 和 index2,根据加密后的水印信息,对这 2 个子图的系数进行从大到小排列,取前 $N \times N$ 个系数进行嵌入,嵌入式为:

$$\text{当 } W(x,y)=1 \text{ 时, } I_w(x,y)=I(x,y)+\lambda_1 \quad (1)$$

$$\text{当 } W(x,y)=0 \text{ 时, } I_w(x,y)=I(x,y)-\lambda_2$$

式中: $I_w(x,y)$, $I(x,y)$ 分别为嵌入前后的小波系数; $W(x,y)$ 表示加密后的水印信息; λ_1 和 λ_2 分别表示不同的嵌入强度。

4) 对修改后的小波系数进行 2 级逆小波变换得到蓝色分量值,再和 R,G,B 3 通道分量组成 RGB 图像。

2.2 水印的提取算法

1) 读入原始载体图像和嵌入水印后的图像,并分别提取出蓝色分量 B,对其进行 2 级小波分解,得到中频子带 HL2 和 LH2。

2) 根据嵌入时的索引值进行水印的提取,式子如下:

若 $LH_2'(i,j) > HL_2'(i,j)$,并且 $LH_2(i,j) > LH_2(i,j)$,则 $Wbit(i,j)=1$;否则 $Wbit(i,j)=0$ 。

3) 利用密钥 Key 对 $Wbit(i,j)$ 进行解密,提取出正确的水印图像。

3 实验结果分析

采用峰值信噪比 PSNR 对水印质量进行客观的评价;采用相似度 NC 评价原始彩色图像与含水印彩色图像之间的差别,并定量分析原始水印与提取水印之间的相似度。

1) 彩色图像的峰值信噪比 PSNR 的计算式^[9]为:

$$PSNR=10 \lg \frac{255^2}{[MSE(R)+MSE(G)+MSE(B)]/3} \quad (2)$$

$$MSE=\frac{1}{N \times N} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N [X^*(i,j)-X(i,j)]^2$$

式中: $X^*(i,j)$ 表示嵌入水印后图像的 R,G,B 分量的像素值; $X(i,j)$ 表示原水印图像的 R,G,B 分量的像素值。

2) 相似度其计算式为:

$$NC=\frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M W(i,j)W'(i,j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M W(i,j)^2} \quad (3)$$

式中: W 为原始水印信号; W' 为提取出的水印图像。在 MATLAB7.1 环境下,分别对 512×512 真彩色图像 lena 和 autum 进行水印嵌入后的各种攻击实验和水印的提取,见图 1~3,对 Lena 和 autumn 图像进行各种攻击后的实验结果,见表 1。



图 1 原始图像及其嵌入水印后图像和提取的水印图像
Fig. 1 Original image, the watermarked image, and the extracted watermark



图 2 受噪声攻击的图像和提取的水印
Fig. 2 The images attacked by noises and the extracted watermark



图 3 受格式更改攻击的图像和提取的水印
Fig. 3 The images attacked by format changes
and the extracted watermarks

表 1 对 lena 和 autumn 图像进行各种攻击后的实验结果
Tab.1 The experimental results of lena and
autumn images after various attacks

攻击	Lena		autumn	
	NC	PSNR	NC	PSNR
Salt & pepper 1%	0.994 3	24.863 1	0.997 7	24.347 2
Salt & pepper 2%	0.990 6	21.774 0	0.988 4	21.618 2
Salt & pepper 4%	0.974 5	18.852 5	0.967 6	18.567 5
Salt & pepper 20%	0.833 4	11.831 0	0.816 6	11.590 6
Gaussian noise (0,0.01)	0.933 3	20.350 9	0.934 7	20.569 0
Gaussian noise (0,0.04)	0.898 1	14.945 8	0.891 0	15.229 2
Gaussian noise(0,0.1)	0.789 7	11.740 6	0.792 8	11.932 6
Median filter 3×3 1%	0.990 1	44.320 9	0.976 7	38.838 9
Median filter 3×3 2%	0.989 8	42.621 8	0.973 9	38.412 1
Median filter 3×3 20%	0.955 2	28.973 1	0.933 6	28.501 2
Rotation ($\alpha=2^\circ$)	0.996 3	20.808 2	0.996 0	21.085 6
Rotation ($\alpha=4^\circ$)	0.988 6	17.921 5	0.991 5	18.117 6
Rotation ($\alpha=35^\circ$)	0.910 3	10.894 3	0.922 5	11.428 6
Scale_2	1.000 0	57.553 1	1.000 0	53.007 7
Scale_0.5	0.995 7	47.242 3	0.982 7	38.467 6
Cropping1/4	0.927 1	8.451 1	0.940 4	8.172 9
Cropping3/4	0.727 2	5.127 3	0.807 0	6.362 9
JPEG_80	0.865 2	40.541 6	0.868 3	36.126 0
JPEG_60	0.828 3	38.722 5	0.809 8	34.563 1
JPEG_40	0.791 9	37.065 0	0.770 4	33.527 5

4 结论

在变换域的不同方向上,通过改变不同的中频系数 2 次嵌入水印来提高其鲁棒性。实验结果表明,该算法具有非常好的视觉特性,并且对高斯噪声、椒盐噪声、中值滤波、剪切、缩放、旋转、JPEG 压缩等处理具有较强的鲁棒性。

参考文献:

[1] CHO J S,SHIN S W,LEE W H,et al. Enhancement of Robustness of Watermarks into Color Images Base on WT and DCT[C]//In: International Conference on Information Technology:Coding and Computing,San Jase, Las Vegas,USA,2000:483—488.

[2] HUANG P S,CHANG C S,CAHNG C P,et al. Robust Spatial Watermarking Technique for Color Image Via Direct Saturation Adjustment[J]. Vision,Image and Signal Processing,IEE Proceedings,2005,152:561—574.

[3] PARTHASARATHY Arvind Kumar,KAK Subhash. An Improved Method of Content Base Image Watermarking[J]. IEEE Transaction on Broadcasting,2007,53 (2):468—479.

[4] TEMI Chirawat,CHOOMCHUAY Somsak,LASAKU Attasit. A Robust Image Watermarking Using Multiresolution Analysis of Wavelet [C]. Proceedings of ISCIT2005:603—606.

[5] RAMANA REDDY P,PRASAD Munaga V N K,RAO D SREENIVASA. Robust Digital Watermarking of Color Image under Noise Attacks[J]. Internation Journal of Recent Trends in Engineering,2009,1(1):334—338.

[6] DORAIRANGASWAMY M A. A Novel Invisible and Blind Watermarking Scheme For Copyright Protection of Digital Images[J]. Internationnal Journal of Computer Science and Network Security,2009,9(4):71—78.

[7] 王慧琴,李人厚. 一种基于 DWT 的彩色图像数字水印算法[J]. 小型微型计算机系统,2003,24(2):299—302.

[8] 黄惠芬. 分形与小波相结合的鲁棒性数字水印算法[J]. 包装工程,2010,31(11):31—33.

[9] 刘真,丁盈盈. 一种优化的基于 DWT 的抗打印扫描的数字水印算法[J]. 包装工程,2011,32(11):93—99.