

## 彩色图像多签名水印算法的研究

易翔, 王蔚然

(电子科技大学电子工程学院 成都 610054)

**【摘要】**利用小波变换多分辨率特性和人眼视觉特征,提出了一种新的彩色图像多水印算法。算法先将不同强度的签名水印扩频到彩色图像不同色块的小波域,然后进行逆小波变换生成水印图像。多个有意义的签名水印能提供更可靠的版权识别,而且多水印相互配合使水印图像同时具有很好的透明性和鲁棒性。大量实验结果表明:该算法对常见的图像处理方法和压缩具有很强的鲁棒性,并且当彩色水印图像转化为灰度图像后仍能从中提取出水印。

**关键词** 数字水印; 多签名水印; 小波变换; 鲁棒性

中图分类号 TN918; TP391 文献标识码 A

## Research on Multi-Signature Watermarking Algorithm for Color Image

YI Xiang, WANG Wei-ran

(School of Electronic Engineering, UEST of China Chengdu 610054)

**Abstract** Taking advantages of the multiresolution feature of wavelet transform and the property of human visual system, a multi-Signature watermarking algorithm for color image is presented here. With this algorithm, the multi-signature watermarks are mixed with the chaotic sequences and spread over the different wavelet domains of RGB color spaces of the image. The watermarked image is obtained by using the inverse wavelet transform. Multi-watermarking system can be a valid way of ownership identification, and can achieve good transparency and robustness. Experimental results and analysis are given to demonstrate that the proposed algorithm is extremely robust to common image processing such as noise addition, cropping, median filtering, and JPEG compression. Moreover, if the watermarked color image is converted into the gray image, the signature watermarks can still be detected.

**Key words** digital watermarking; multi-signature watermarking; wavelet transform; robustness

随着多媒体技术的迅速发展,数字产品(图像、语音、视频等)面临严峻的挑战:非法盗版和恶意篡改,因此数字产品的版权保护问题显得尤为迫切。数字水印的出现使之成为版权保护的利器,引起人们的极大关注。早期数字水印多采用伪随机序列(如m序列)或高斯噪声作为嵌入水印,检测算法只能给出有无水印的结果,不能满足版权保护的要求<sup>[1-2]</sup>。并且目前水印算法多针对灰度图像,少有的文献研究鲁棒性彩色图像多水印的嵌入与提取方法。快速发展的小波变换理论为图像处理提供了强有力的工具,选择在小波域嵌入水印,与新一代图像压缩标准JPEG2000采用的小波算法兼容<sup>[3]</sup>,使在压缩算法中加入水印算法成为可能<sup>[4]</sup>。

收稿日期:2003-07-18

作者简介:易翔(1975-),男,博士生,主要从事数字信号与图像处理、数字水印、计算机仿真方面的研究。

本文提出了一种基于小波变换的彩色图像多水印算法。该算法在彩色图像的小波变换域中加载多个有实际意义的二值签名图像水印,算法具有以下特点:1)多个签名水印能为图像提供强有力的版权证明;2)在满足透明性和普遍鲁棒性前提下,每个水印各自针对一些特定的处理方法有好的鲁棒性,这样就实现了水印算法的全面鲁棒性;3)当彩色图像转化为灰度图像时仍能提取签名水印。

## 1 水印算法的基本框架

### 1.1 彩色图像的RGB表示

彩色图像有许多表示方式,RGB表示法是最常用的表示方法:真彩色图像的一个像素用三字节R、G、B数据构成,它们分别代表红绿蓝三基色的大小<sup>[5]</sup>。bmp格式的图像文件就是采用这种表示方法。彩色图像转化成灰度图像可依据亮度方程,

$$I_{gray} = 0.299I_R + 0.587I_G + 0.114I_B \quad (1)$$

由式(1)得知,人眼对图像的绿色光成份最为敏感,其次是红色光,对图像的蓝色成份最不敏感。根据这一特点可以在不同颜色的数据中嵌入不同强度的水印信息。

### 1.2 彩色图像水印嵌入策略

对一幅图像来说,离散小波变换DWT构成了对它的多分辨率分解,图像在多个尺度下分解成不同频段的子图,

$$Y = \{ \{ Y^{LL2}, Y^{LH2}, Y^{HL2}, Y^{HH2} \}, Y^{LH1}, Y^{HL1}, Y^{HH1} \} = DWT(I) \quad (2)$$

在同级分辨率下,逼近系数是视觉的最重要成份,图像大部分能量集中在小波域的低频段逼近子图中。有损压缩和低通滤波常去掉图像的高频成份,因此在图像低频段成份(逼近系数)中加载水印,可以对有损压缩和低通滤波有较好的鲁棒性。但由于图像低频部分是信号的平滑部分,人眼对低频噪声比较敏感,所以为使水印在视觉上不可感知,水印强度不能太大。

通过以上分析得知,彩色图像有以下特点:1)在彩色图像的蓝光色块中可嵌入较大强度的水印;红光色块数据能加载中等强度的水印;绿色光色块允许嵌入的水印强度最小;2)在低频系数中可加入小强度水印,不破坏水印的透明性,且对于有损压缩和低频滤波有很好的鲁棒性;3)在中频系数中嵌入较大强度的水印,能提高水印抗噪声攻击的鲁棒性。对应的上述特点,水印算法采用以下策略:对彩色图像RGB三个色块数据分别做两级小波分解,在绿色数据块低频段逼近子图LL2的系数 $Y_G^{LL2}$ 中嵌入强度最小的水印,在红色数据块的HL2小波系数 $Y_R^{HL2}$ 中嵌入中等强度的水印,在蓝色数据块的LH2系数 $Y_B^{LH2}$ 加载较大强度的水印。算法框图如图1所示。

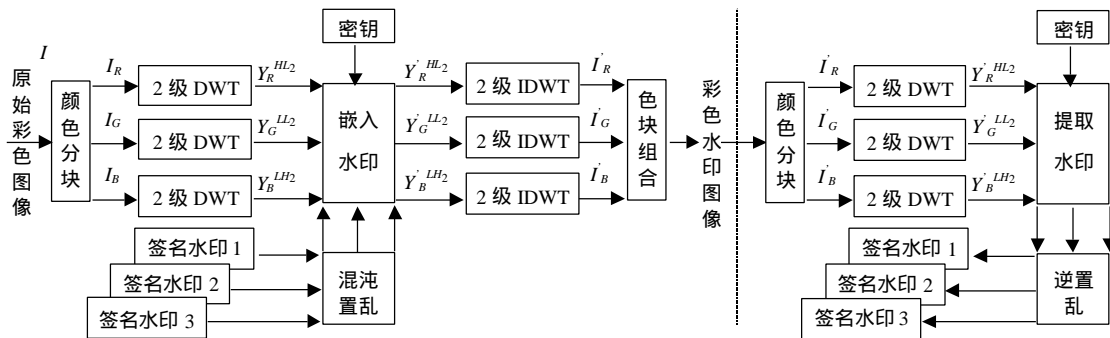


图1 彩色图像多签名水印算法框图

## 2 水印的嵌入与提取

### 2.1 二值签名图像预处理

有意义的数字水印取自二值签名图像,经Tours自同构混沌映射置乱后得到置乱水印<sup>[6]</sup>,记 $S = \{S_m \in \{0,1\}\}$ ,用一个扩展因子CR(ChipRate)对其进行位扩展为:

$$B_i = S_m, m \cdot CR \quad i < (m+1) \cdot CR \quad (3)$$

位扩展的目的是提供一定程度的信息冗余量, 冗余量越大水印鲁棒性就越好, 但对图像质量影响也越大。

## 2.2 水印的嵌入和提取

对原图像进行两级小波分解, 小波系数记为 $A_i$ (可以是 $Y_R^{HL2}$ 、 $Y_G^{LL2}$ 或 $Y_B^{LH2}$ )。根据下式添加水印:

$$A'_i = A_i + aB_iC_i \quad (4)$$

式中  $A'_i$  是加了水印的小波子图系数;  $B_i(B_i \in \{0,1\})$  为经过位扩展后的二值签名图像;  $C_i(C_i \in [-1, 1])$  是混沌序列, 它根据密钥由4阶Chebyshev混沌映射方程产生; 参数 $a$ 为水印强度因子。根据水印嵌入策略, 在 $Y_B^{LH2}$ 加载的水印强度 $a_B$ 最大,  $Y_G^{LL2}$ 的最小。即:

$$a_B > a_R > a_G \quad (5)$$

式中  $a_B$  凭经验取0.15,  $a_R$ 取0.1,  $a_G$ 取0.05。  $A'_i$  代替 $A_i$ 进行逆小波变换便得到水印图像。水印提取方法推导

如下: 令  $T_m = \sum_{i=m \cdot CR}^{(m+1) \cdot CR - 1} A'_i C_i$ ,  $F1_m = \sum_{i=m \cdot CR}^{(m+1) \cdot CR - 1} A_i C_i$ ,  $F2_m = \sum_{i=m \cdot CR}^{(m+1) \cdot CR - 1} aC_i^2$ , 有:

$$T_m = \sum_{i=m \cdot CR}^{(m+1) \cdot CR - 1} A_i C_i + S_m \sum_{i=m \cdot CR}^{(m+1) \cdot CR - 1} aC_i^2 = \begin{cases} F1_m + F2_m, & S_m = 1 \\ F1_m, & S_m = 0 \end{cases} \quad (6)$$

由式(6)得到水印提取算法为:

$$S'_m = \begin{cases} 1, & T_m - F1_m > 0.5F2_m \\ 0, & T_m - F1_m \leq 0.5F2_m \end{cases} \quad (7)$$

在实际水印嵌入操作中, 将标识(Flag)信息 $\{F1_m\}$ 保存起来。在水印检测时, 首先对待测图像进行小波分解得到系数 $A'_i$ , 其次用密钥重现 $\{C_i, F2_m\}$ , 然后求出 $\{T_m\}$ , 最后根据水印嵌入时生成的标识信息 $\{F1_m, F2_m\}$ 及 $\{T_m\}$ 使用式(7)提取二值签名数字水印 $\{S'_m\}$ 。整个检测过程不需要原始彩色图像。

## 2.3 在灰度图像中提取水印

彩色水印图像依亮度方程式(1)转化为灰度图像后, 仍可在灰度图像中提取签名水印。对灰度图像做两级小波分解, 分别在 $LL2$ ,  $LH2$ ,  $HL2$ 块系数中提取水印。以在 $HL2$ 块系数中提取水印为例, 推导如下:

$$Y'^{HL2}_i = 0.299Y'^{HL2}_R + 0.587Y'^{HL2}_G + 0.114Y'^{HL2}_B = 0.299(Y_R^{HL2} + a_R B_i C_i) + 0.587Y_G^{HL2} + 0.114Y_B^{HL2} \quad (8)$$

$$\text{令 } P_m = \sum_{i=m \cdot CR}^{(m+1) \cdot CR - 1} \left( \frac{Y'^{HL2}_i - Y^{HL2}_i}{0.299a_R} \right) C_i, \quad K_m = \sum_{i=m \cdot CR}^{(m+1) \cdot CR - 1} C_i^2, \text{ 则:}$$

$$P_m = \sum_{i=m \cdot CR}^{(m+1) \cdot CR - 1} B_i C_i^2 = S_m \sum_{i=m \cdot CR}^{(m+1) \cdot CR - 1} C_i^2 = \begin{cases} K_m, & S_m = 1 \\ 0, & S_m = 0 \end{cases} \quad (9)$$

由式(9)得到水印提取方法为:

$$S'_m = \begin{cases} 1, & P_m > 0.5K_m \\ 0, & P_m \leq 0.5K_m \end{cases} \quad (10)$$

## 3 实验结果

将三个签名水印“Arrows”、“印”、“UEST”同时嵌入测试图像, 其中“Arrows”水印嵌入图像的绿色通道数据块 $Y_G^{LL2}$ 系数中, 签名“印”嵌入图像红色块小波系数 $Y_R^{HL2}$ , 水印“UEST”嵌入图像蓝色数据小波系数 $Y_B^{LH2}$ 。水印图像质量用峰值信噪比( $PSNR$ )定量描述, 水印提取效果用误码率( $P_e$ )和归一化相关系数( $N_c$ )衡量。

### 3.1 彩色图像中水印的提取

加入三个二值签名水印后的图像见图2c,  $PSNR=42.06$  dB, 提取的三个签名图像结果 $P_e$ 均为0,  $N_c$ 均为1。从视觉效果看, 人眼很难分辨出它与原图的差别, 说明算法保证了水印透明性。

对彩色水印图像进行加噪、剪切、中值滤波、JPEG压缩等处理, 图2e~j是对彩色水印图像进行了常见图像处理检验视觉效果, 表1为水印图像经JPEG压缩后的检测结果。

### 3.2 灰度图像中水印的提取

用Photoshop软件将含有水印的彩色图像图2c转化为灰度水印图像, 仍能从中无损地提取签名水印, 此时 $PSNR = 45.17$  dB, 三个水印误码率( $P_e$ )均为0, 归一化相关系数( $N_c$ )均为1。为测试灰度图像中水印的鲁棒

性能,将含水印的灰度图像经常见的图像处理后再进行检测,实验测试数据如表2所示。



图2 彩色图像多水印嵌入与检测结果

表1 彩色图像中水印对JPEG压缩的鲁棒性

品质因子	65%	40%	20%
压缩比	16.45	24.86	40.15
PSNR (dB)	33.9414	32.8049	29.9337
提取水印			
$P_e$ (%)	1.17 2.73 7.42	1.56 14.5 17.2	6.25 31.5 24.9
$N_C$	0.98 0.95 0.90	0.98 0.78 0.75	0.90 0.58 0.69

表2 灰度图像中水印的鲁棒性实验数据

图像处理	加入椒盐噪声和高斯白噪声	低通滤波	JPEG压缩(品质因子35%)
PSNR (dB)	21.6018	31.4413	31.3452
提取水印			
$P_e$ (%)	6.23 3.91 19.9	7.03 19.5 24.1	1.56 8.59 10.6
$N_C$	0.93 0.95 0.80	0.91 0.74 0.71	0.98 0.85 0.83

## 4 结束语

由嵌入算法知,彩色水印图像中嵌入蓝色数据块小波系数 $Y_B^{LH2}$ 中的水印强度最大,灰度水印图像小波域 $HL2$ 块中嵌入的水印强度最大(对应红色数据块的水印),所以在彩色图像中签名“UEST”对噪声攻击的鲁棒性最好,在灰度水印图像中签名“印”抗噪能力最强。水印“Arrows”嵌入图像的低频段逼近系数中,所以在彩色图或灰度水印图中,其对有损压缩、低通滤波、中值滤波的鲁棒性最好。

三个签名水印经Tours自同构混沌置乱后扩频加载到图像的小波域,使得水印信息分布在图像各个像素中,含水印图像经剪切、几何破坏后仍能提取出满意可信的水印结果。另外本文的水印算法对其它诸如图像增强、锐化、平滑等处理方法也有很好的鲁棒性。

可见在保证水印不可见的同时,多签名水印相互配合,使每个水印针对一些特定的处理方法有好的检测性能,从而实现了水印算法的全面鲁棒性。而且由于嵌入的水印均为有意义的水印,使得版权识别更可靠,伪造水印和检测抵赖更为困难。并且当含水印的彩色图像转化为灰度水印图像后,水印算法仍能保证透明性和鲁棒性。

## 参 考 文 献

- [1] Zeng W, Liu B. A statistical watermarking detection technique without using images for resolving rightful ownerships of digital images[J]. IEEE Trans Image Processing, 1999, 8(11): 1534-1548
- [2] 黄继武, Elmasry G F, 程卫东, 等. 基于匹配滤波的有意义图像水印算法[J]. 电子学报, 2001, 29(4): 447-451
- [3] JPEG 2000 final committee draft[S]. Version 1.0, ISO/IEC FCD15444-1, 2000
- [4] Xia X G, Boncelet C G, Arce G R. Wavelet transform based watermarking for digital images[J]. OPTICS EXPRESS, 1998, 3(12): 497-511
- [5] Gonzalez R C, Woods R E. Digital image processing[M]. Prentice Hall Press Upper Saddle River, NJ, 2002
- [6] Voyatzis G, Pitas I. Digital image watermarking using mixing systems[J]. Computer & Graphics, 1998, 22(4): 405-410

编辑 刘文珍