

文章编号:1001-9081(2008)07-1792-03

基于小波域的自适应盲检彩色水印算法

刘志军

(沧州师范专科学校 计算机系, 河北 沧州 061001)

(lzhijun988@163.com)

摘要:提出了一种新颖的基于小波域对比度与 HVS 特性自适应盲检彩色水印算法。主要包括根据小波对比度和 HVS 特性对嵌入强度因子的自适应计算;彩色水印的嵌入与盲提取算法(采用了 Arnold 变换置乱,交织和 BCH 编码技术)。利用 Matlab 6.5 平台进行了算法的攻击与无攻击实验。实验结果表明:该算法在无攻击的情况下具有较强的透明性和鲁棒性;而在添加噪声、中值滤波、剪切、JPEG 压缩攻击等的情况下具有较好的鲁棒性,在保护多媒体数据版权方面具有较高的实用价值。

关键词:小波对比度;HVS 特性;小波变换;彩色水印

中图分类号: TP391 **文献标志码:**A

Blind color watermarking algorithm based on self-adaptation of wavelet domain

LIU Zhi-jun

(Department of Computer Science and Technology, Cangzhou Teaching College, Cangzhou Hebei 061001, China)

Abstract: This paper proposed a novel blind color watermarking algorithm based on self-adaptation of wavelet contrast and HVS speciality. It mainly includes the self-adaptation calculation of the factor of embedding intensity on the basis of wavelet contrast and HVS speciality; color watermarking embedding and blind extracting algorithm (using Arnold transform, interweaving and BCH coding technology). Experiments of attack and non-attack were carried out in the Matlab 6.5. The experimental results show that the algorithm has stronger invisibility and robustness on non-attack. It has better robustness on the common watermarking attack such as noise adding, middlefilter, cropping, JPEG compression and so on; it has higher value on the multimedia copyright protection.

Key words: wavelet contrast; Human Visual System (HVS) speciality; wavelet transform; color watermarking

0 引言

数字水印技术是实现多媒体数据版权保护的有效办法,也是多媒体信息安全研究领域的一个热点。目前的数字水印算法载体图像多集中在研究灰度图像,水印集中研究二值图像,专门研究载体和水印都是彩色图像的较少。而目前的互联网中广泛应用的是彩色图像,因此研究彩色水印更有实用价值。

近年来,图像数字水印技术的研究取得了很大的进展,特别是灰度图像中的应用研究已提出了如空域、变换域、压缩域、基于统计学、基于生理模型等多种数字水印算法^[1]。文献[2]充分考虑了人类视觉系统的特点,采用 YCbCr 色空间,也是灰度图像水印嵌入到亮度分量 Y 的中低频系统通道中。文献[3-4]是根据图像区域特性调整水印嵌入强度,文献[5]是通过选择更为鲁棒性的小波系数来进行嵌入,但都不能实现盲检测。文献[6]提出了一种基于人眼视觉系统的自适应的水印算法,该算法利用视觉系统的亮度掩蔽和纹理掩蔽特性,能够调整水印强度,但未考虑频域掩蔽特性和小波对比度对水印强信号的影响。

本文提出了一种新颖的基于小波域对比度与 HVS 特性自适应盲检彩色水印算法。主要包括根据小波对比度和 HVS 特性(即亮度敏感性、纹理敏感性、对比度敏感性和熵敏感性)对嵌入强度因子的自适应计算;彩色水印的嵌入与盲

提取算法。载体图像和水印图像都是彩色的,并利用 Matlab 6.5 平台进行了算法的攻击与无攻击实验,实验结果表明该算法在无攻击的情况下具有较强的透明性和鲁棒性;而在添加噪声、中值滤波、剪切、JPEG 压缩攻击等的情况下也具有较好的鲁棒性。

1 自适应算法

对原始载体图像 c_i 实施一级小波变换,得到一个逼近子图 LL 和三个细节子图 LH (水平)、 HL (垂直) 和 HH (对角)。其中,逼近子图是原始图像的逼近,而细节子图则是原始图像中边缘、轮廓和纹理等细节信息的体现。实验表明逼近子图 LL 具有比较强的抵抗外来影响能力,其水印的透明性较差;细节子图 HH 容易受到外来噪声、常规图像处理等攻击的干扰,其鲁棒性较差,但允许更高的水印强度。为了保证数字水印透明性与鲁棒性之间的良好平衡,本文选择取细节子图 LH 和 HL 作为数字水印嵌入区。

1.1 小波对比度自适应

结合人眼视觉的特点,细节子图 LH 和 HL 的小波对比度定义如下^[7]:

$$\text{水平对比度: } CH_{k+1} = LH_{k+1}/LL_{k+1}$$

$$\text{垂直对比度: } CV_{k+1} = HL_{k+1}/LL_{k+1}$$

其中: LL_{k+1} 、 LH_{k+1} 和 HL_{k+1} 分别表示图像在尺度 $k+1$ 上低频近似量、水平和垂直高频细节分量。 CH_{k+1} 和 CV_{k+1} 分别体现了图

像不同方向的高频及其相应的低频分量(背景亮度)的对比度,同时考虑了前景和背景的对比情况,从而反映了图像的各点在视觉上的差别。小波对比度可以反映前景与背景的对比关系,因此,利用小波对比度可以在满足不可见的条件下,最大强度地嵌入水印,对比度越大,嵌入的水印强度越大;对比度越小,嵌入的水印强度越小,更加适合HVS特性^[8]。水平对比度和垂直对比度作为水印的嵌入强度因子 $\mu_0 = r_0 CH_{k+1}$ 或 $\mu_0 = r_0 CV_{k+1}$ 。其中, r_0 是水印的嵌入强度系数, r_0 是根据试验选定的值, r_0 的选择是非常重要的,太大则视觉效果不好,太小则算法的鲁棒性不高。在不影响视觉效果的前提下, r_0 可以尽可能地取大些。

1.2 HVS特性自适应

研究表明^[9-11]:对于图像来说,人眼视觉系统的感知特性主要表现在四个方面,即亮度敏感性、纹理敏感性、对比度敏感性和熵敏感性。其中亮度敏感性是最基本的一种,主要关于人眼对亮度变化的敏感性。一般说来,人眼对高亮度区域所附加的噪声的敏感性较小,这意味着如果图像的背景亮度越高,那么它所能嵌入的附加信息就越多。而从纹理敏感性角度来说,图像可分为平滑区域和纹理区域。人眼的视觉系统对于平滑区域的敏感性要远高于纹理密集区域,也就是说,图像中的纹理越密集,其所能够嵌入的信息就越多。下面以人眼视觉感知特性及图像局部相关性为基础,给出图像子块的特征度量。

1) 亮度敏感值,指图像子块 B_k 所包含 $n \times n$ 个小波系数的平均值。

$$s = \sum_{i=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} \sum_{j=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} f(i,j)/(n \times n) \quad (1)$$

2) 纹理敏感值,指图像子块 B_k 所包含 $n \times n$ 个小波系数的方差。

$$t = \sum_{i=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} \sum_{j=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} |f(i,j) - s| \quad (2)$$

3) 对比度敏感值,指图像子块 B_k 所包含 $n \times n$ 个小波系数的最大距离。

$$c = \max(B_k) - \min(B_k) \quad (3)$$

(4) 熵敏感值,指图像子块 B_k 所包含 $n \times n$ 个小波系数的熵值。

$$h = - \sum_{i=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} \sum_{j=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} p(i,j) \lg p(i,j) \quad (4)$$

$$p(i,j) = f(i,j) / \left(\sum_{i=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} \sum_{j=-(n-1)/2}^{(n-1)/2} f(i,j) \right) \quad (5)$$

其中: $f(i,j)$ 是图像子块中 (i,j) 处小波系数。根据以上四个敏感性自适应地构成水印嵌入强度因子 μ_1 。

$$\mu_1 = r_0 (\lambda_1 s + \lambda_2 t + \lambda_3 c + \lambda_4 h) \quad (6)$$

其中: r_0 是水印的嵌入强度系数, $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 是不同敏感性的权重。 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \lambda_4$ 由实验确定。

2 水印的嵌入与提取算法

2.1 水印嵌入算法

1) 水印 wm 为 32×32 的24位彩色图像,首先进行二维Arnold变换置乱像素的位置,然后每8像素分成一组进行交织处理,以提高水印抗突发干扰和剪切攻击的能力。 $wm(x,y,z)$ 经过置乱后再转换成“0”、“1”序列 $w(k)$ 。Arnold的置乱次数 C_0 作为恢复水印时所需的密钥。

2) 将序列 $w(k)$ 每7位分成一组,对每组进行BCH(15,7,5)编码,将每7位信息编织成15位的BCH码,使水印具有纠正2位错误的能力,以提高水印的鲁棒性。

3) 载体图像 c_i 为 1024×1024 的24位彩色图像,把 c_i 转换到 $c_i(a,b,c)$ 中,即分别保存红色CR、绿色CG和蓝色CB的信息。对 c_i 的红绿蓝分别进行二层二维离散haar小波分解,得到 $LL_2, LH_2, HL_2, HH_2, LH_1, HL_1, HH_1$ 。

4) 分别把红绿蓝的 LH_2, HL_2, LH_1, HL_1 分成 3×3 块 B_k ,计算 B_k 块中心位置的嵌入强度因子 μ_0 和 B_k 块的嵌入强度因子 μ_1 ,水印的嵌入方法为:

```
if  $w(k) = 1$   $x(i,j) = mean(B_k) + (\mu_0 + \mu_1)$ 
else  $x(i,j) = mean(B_k) - (\mu_0 + \mu_1)$ 
```

其中: $x(i,j)$ 是水印的嵌入位置,也是 B_k 块的中心位置, $mean(B_k)$ 是 B_k 块的小波系数平均值,水印嵌入强度为 $\mu_0 + \mu_1$ 。

5) 重复上述步骤,直到嵌入完水印数据后,再进行IWDT变换,即生成含有水印的载体图像 Clw 。

其水印的嵌入算法流程如图1所示。

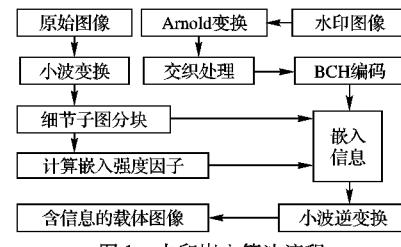


图1 水印嵌入算法流程

2.2 水印提取算法

提取水印过程是嵌入水印过程的逆过程。为了提取水印必须具有水印的置乱次数 C_0 。

1) 将载体图像 Clw 转换到 $Clw(a,b,c)$ 中,即分别保存红色CR、绿色CG和蓝色CB的信息。对 Clw 的红绿蓝分别进行二层二维离散haar小波分解,得到 $LL_2, LH_2, HL_2, HH_2, LH_1, HL_1, HH_1$ 。

2) 分别把红绿蓝的 LH_2, HL_2, LH_1, HL_1 分成 3×3 块 B_k ,计算 B_k 块的平均值 $mean(B_k)$ 来提取水印信息,其方法为:

```
if  $x(i,j) > mean(B_k)$   $W(k) = 1$ 
else  $W(k) = 0$ 
```

3) 重复上述步骤,直到提取完所有的水印数据。将序列 $w(k)$ 每15位分成一组,对每组进行BCH解码,将每15位信息编织成7位的BCH码。然后把 $W(k)$ 转换到三维数组 $WM(x,y,z)$ 中。

4) 对提取的水印信息 $WM(x,y,z)$ 进行解交织处理。然后进行Arnold变换,根据水印图像置乱变换次数 C_0 进行 $T_N - C_0$ 次Arnold变换或进行 C_0 次Arnold反变换可恢复到置乱前的水印信息。

3 实验结果

本文以Matlab6.5为实验平台,载体图像为 1024×1024 的24位cat和desert彩色图像、水印为 32×32 的24位sy彩色图像进行算法实验。载体图像和彩色水印如图2所示。

引用含水印载体图像和原载体图像的峰值信噪比(PSNR)来定量地描述算法的不易觉察性,PSNR越大,不易察觉性越高。引用提取水印与原嵌入水印之间的相似度(NC)来客观定量描述算法的鲁棒性,NC越大,则鲁棒性越强。

从表1实验结果分析可知,嵌入水印后的图像红色R、绿色G和蓝色B在无攻击的情况下PSNR值较高,cat和desert彩色图像的不易觉察性很好。但是对于不同的图像来说PSNR的值是不同的。互相关系数NC都为1.0000完全能够实

现盲提取，并具有较强的鲁棒性。下面对于水印攻击实验都是采用 desert 进行的。

表 2 是对嵌入水印图像添椒盐噪声、乘积噪声和中值滤波攻击后的 PSNR(dB)/NC 值，从表中分析可知，算法具有较强的鲁棒性。

表 1 水印无攻击实验

图像名称	PSNR/NC-R	PSNR/NC-G	PSNR/NC-B
Cat	43.2243/1	43.4364/1	43.2336/1
Desert	45.5790/1	45.6923/1	45.3186/1

表 2 水印攻击实验

名称	PSNR/NC-R	PSNR/NC-G	PSNR/NC-B
椒盐噪声 1%	24.8145/0.9165	24.7103/0.9317	24.7899/0.9598
椒盐噪声 2%	21.9271/0.8244	21.7114/0.8403	21.8624/0.9452
乘积噪声 1%	26.3166/0.8613	26.5164/0.8830	26.8948/0.9180
乘积噪声 2%	23.4142/0.7969	26.1341/0.8220	26.0087/0.9767
中值滤波[2,2]	34.5348/0.9844	35.8129/0.9842	36.3818/0.9926
中值滤波[3,3]	31.1881/0.8609	30.0692/0.8655	30.6484/0.9683

表 3 为剪切 1/32、1/16、1/4 和 1/2 的载体图像后彩色水印提取结果的互相关系数 NC。容易得出结论，本算法对于图像的剪切攻击具有较强的鲁棒性。这是由于对水印图像进行了 Arnold 置乱、交织和 BCH 编码的结果。

表 3 算法抗剪切性攻击试验

名称	剪切 1/32	剪切 1/16	剪切 1/4	剪切 1/2
NC-R	0.9885	0.9529	0.8932	0.7011
NC-G	0.9885	0.9529	0.8917	0.7984
NC-B	0.9981	0.9310	0.8966	0.7193

从表 4 分析可知，随着 JPEG 压缩比的降低，图像的质量增加，PSNR 值随着增加，提取的水印的质量也增加。对于 JPEG 的压缩攻击，本算法具有较好的鲁棒性。

表 4 水印 JPEG 压缩攻击实验

名称	PSNR/NC-R	PSNR/NC-G	PSNR/NC-B
20%	31.9536/0.5840	32.6001/0.6512	31.5432/0.6381
40%	34.2731/0.6879	34.8555/0.7016	34.0584/0.8046
60%	35.7072/0.8489	36.3534/0.8677	35.4207/0.8916
80%	38.6975/0.9474	39.4812/0.9843	38.4292/0.9163
100%	42.6938/0.9991	42.9972/1.0000	43.1745/1.0000

4 结语

本文提出了一种新颖的基于小波域对比度与 HVS 特性自适应盲检彩色水印算法。主要包括根据小波对比度和小波细节子图分块的 HVS 特性自适应的计算嵌入强度因子；彩色水印的嵌入与盲提取算法。利用 Matlab 平台进行了算法实验，实验结果表明该算法对于添加噪声、中值滤波、剪切、JPEG 压缩攻击具有较好的鲁棒性。除对 cat 和 desert 进行了算法的实验外，还选择了 50 多张图像进行了测试；攻击实验还进行了图像的锐化、缩放、旋转(0.5° 和 1°)等实验都具有较好的鲁棒性。因此算法是可行的。

本文的特点：1) 采用 Arnold 变换置乱，交织和 BCH 编码技术，以提高算法抗剪切攻击的能力和增强鲁棒性。2) 根据小波对比度与 HVS 特性自适应的计算嵌入强度因子。3) 设计了一种新颖的嵌入和盲提取的算法，并实现了彩色水印技术，拓宽了水印的应用范围。

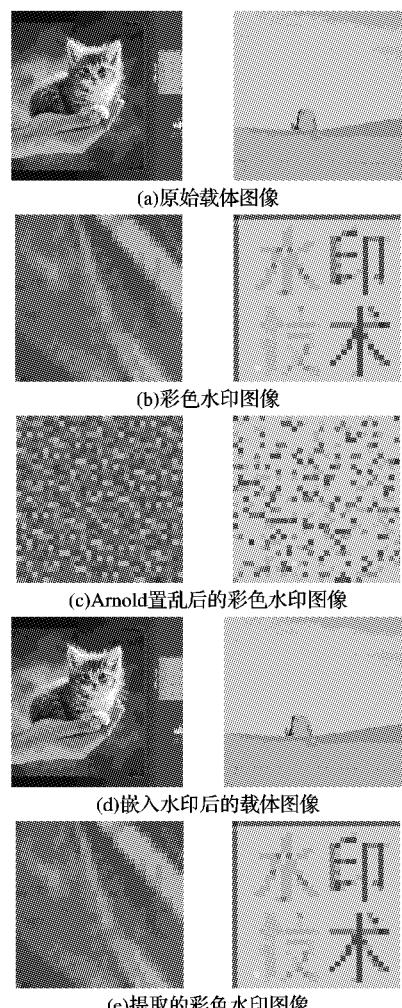


图 2 水印嵌入与提取结果

参考文献：

- [1] PODICHUK C I, DELP E J. Digital watermarking: Algorithms and applications[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2001, 18(4): 33–46.
- [2] 王向阳, 杨红颖. DCT 域自适应彩色图像二维数字水印算法研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2004, 16(2): 243–247.
- [3] LUMINI A, MAIO D A. A wavelet-based image watermarking scheme[C]// Proceedings of 2000 International Conference Information Technology: Coding and Computing. Las Vegas: IEEE Signal Processing Society, 2000: 122–127.
- [4] KAEWKAMNERD N, RAO K R. Wavelet based image adaptive watermarking scheme[J]. Electronics Letters, 2000, 36(2): 312–313.
- [5] KIM J R, MOON Y S. A robust wavelet - based digital watermark thresholding[C]// Proceedings of 1999 International Conference Image Processing. Kobe Japan: IEEE Signal Processing Society, 1999, 2C: 202–204.
- [6] 黄达人, 刘九芬, 黄继武. 小波变换域图像水印嵌入对策和算法[J]. 软件学报, 2002, 13(7): 1290–1297.
- [7] 蒲恰, 方庆吉, 倪国强. 基于对比度的多分辨图像融合[J]. 电子学报, 2000, 28(12): 116–118.
- [8] GONZALEZ C, WINTZ P. Digital image processing[M]. 2nd ed. Boston: Addison-Wesley Publishing Co/IEEE Press, 1987: 30–35.
- [9] 董敏, 王向阳. 基于模糊聚类的小波域数字图像水印算法[J]. 计算机应用研究, 2007, 24(6): 194–196.
- [10] GILANI S A M, KOSTOPOULOS I, SKODRAS A N. Color image-adaptive watermarking[C]// Proceedings of the 14th International Conference On Digital Signal Processing(DSP2002). Santorini: [s. n.], 2002, 2C: 721–724.
- [11] KANKANHALLI M S, RAMAKRISHNAN K R. Content based watermarking of images[C]// Proceedings of the 6th ACM Multimedia 98-Electronic. New York: ACM Press, 1998: 61–70.