

文章编号:1007-6735(2010)05-0475-04

一种基于人类视觉系统的彩色图像水印算法

徐军军¹, 毛倩¹, 董德存²

(1. 上海理工大学 光电信息与计算机工程学院, 上海 200093; 2. 同济大学 交通运输工程学院, 上海 200092)

摘要: 将彩色载体图像在 YIQ 空间的 Y 分量进行三级小波分解, 将空域的水印信息的高低位分段处理, 并用伪随机序列与水印信息各位分别异或进行加密, 按照人类视觉特性分别以不同的权重嵌入载体图像的频域中. 实验结果表明, 在面对大信息量的彩色水印信息时, 使用这种方法嵌入的水印信息具有良好的不可见性和安全性, 同时鲁棒性良好, 能够抵挡常见的滤波、剪切、加噪声及压缩等攻击方式.

关键词: 伪随机序列; YIQ 颜色空间; 人类视觉系统; 小波变换; 鲁棒性

中图分类号: TN 919.81 **文献标志码:** A

Color image watermarking algorithm based on human visnal system

XU Jun-jun¹, MAO Qian¹, DONG De-cun²

(1. School of Optical-Electrical Information and Computer Engineering, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China; 2. School of Transportation Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

Abstract: The luminance Y in YIQ mode of the host image was decomposed into 3-level wavelets by discrete wavelet tranfform, the watermark information was devided into several different frequency parts, and pseudo-random sequence xor was used with each bit of the watermark information encrypted to embed the spatial domain information with different weight into the frequency domain of host image according to the human visual characteristics. Experimental results show that the color watermark embedded with the proposed method is of invisibility and security, and is robust against the common image processing such as filtering, cropping, noise addition, compression and so on.

Key words: *pseudo-random sequence; YIQ color space; human visual system; discrete wavelet transform; robustness*

实现数字水印嵌入一般是将水印信息嵌入到载体的空域或者变换域中. 变换域(如离散余弦变换(DCT)、小波变换(DWT)和快速傅里叶变换(FFT))中嵌入水印是目前应用最多的水印嵌入方法. 本文将

收稿日期: 2009-10-26

基金项目: 国家“863”高技术研究发展计划资助项目(2007AA11Z247); 上海市科学技术委员会资助项目(08201202100)

作者简介: 徐军军(1986-), 男, 硕士研究生.

毛倩(联系人), 女, 讲师. E-mail: mmcat1978@yahoo.com.cn

一副彩色图像嵌入到彩色宿主图像中,因为水印信息量丰富,故这里适合在变换域中嵌入水印^[1].若经过分块 DCT 变换后将水印信息嵌入图像的频域的某些 DCT 系数中去^[2],这种算法能抵抗多种攻击,且隐蔽性好,但对于大信息量的水印,其鲁棒性并不见佳,且对于椒盐噪声和旋转攻击的提取效果不好^[3].选择小波域是因为它的多分辨率特性能提供相对 DCT 更多的自由度,且能量比 FFT 和 DCT 更为集中.由于具有空间局部化特性和空间整体化特性,小波域嵌入的水印抗几何攻击(如剪切和放缩)特性也较好^[4].

本文采用的变换域方法继承了频域嵌入水印信息的优势.同时为了增加图像的鲁棒性,将压缩加密处理后的水印信息按照 HVS(human visual system)分成高低位不同的几部分,每部分分别以不同的权重嵌入原图像适当位置.实验证明,此方法嵌入的大信息量的彩色水印具有良好的不可见性和鲁棒性.

1 水印嵌入算法

本文提出的彩色水印算法中水印植入流程如图 1 所示.采用 $M \times M \times 24$ 位真彩色图像作为宿主图像, $N \times N \times 24$ 位真彩色图像作为水印图像.将水印信息分量的灰度值转化成二进制序列,以二进制序列的 0,1 值来对应改变宿主图像的 Y 分量信息以达到嵌入目的.

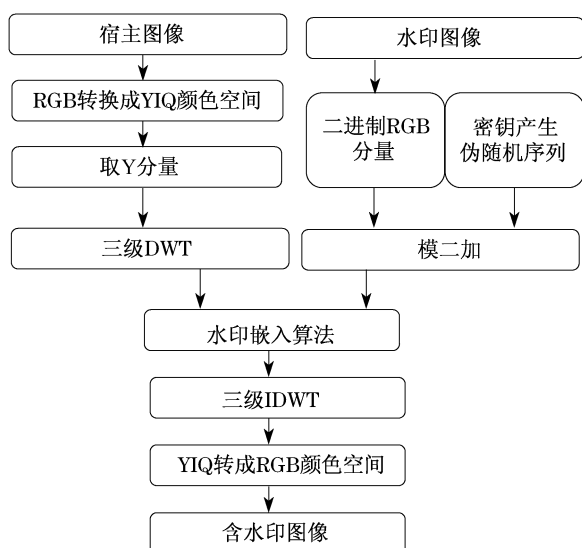


图 1 嵌入算法方框图

Fig.1 Block diagram of embedding algorithm

1.1 人类视觉系统

人类视觉系统 HVS 的光谱特性表明了人眼对不同的颜色分量的敏感程度不同,对于三原色 R、G

和 B,人眼对绿色最敏感,对蓝色最不敏感;人眼对图像亮度信息的变化比色度信息的变化要敏感得多^[5,6].在 YIQ 空间中由于 Y 分量为亮度分量,I 和 Q 分量携带颜色信息.所以,彩色图像 Y 中的嵌入水印强度可按照 HVS 特性来确定,颜色分量 I 和 Q 中的嵌入强度可由图像本身的平滑性、纹理特性和边缘性确定.

1.2 嵌入算法步骤

现介绍水印嵌入的步骤.

步骤 1 宿主图像颜色空间转换.为了获取图像的亮度信息,将 RGB 色彩空间的宿主图像转换成 YIQ 色彩空间.为平衡水印的不可见性和鲁棒性,本文仅在 Y 分量中嵌入水印信息.

步骤 2 水印信息的预处理.

a. 将水印信息的 R、G 和 B 分量的灰度值转化成一维二进制序列 seq.将绿色信息放在序列的最前端,红色高位信息次之,蓝色放最后.则 seq 为一个 $N \times N \times 3$ 行 8 列的矩阵.从第 1 列到第 8 列依次为低位到高位信息.取 1,2 列构成一维序列 w_1 ;类似地,3,4 列构成 w_2 ;5,6 列构成 w_3 ;第 7 列单独构成 w_4 .舍去第 8 列最低位信息,在尽量保证图像质量的情况下减少嵌入的信息量和保证水印的鲁棒性.信息所得 $w = (w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4)$ 为待嵌入的水印信息,这个分段过程能保证尽量多的敏感度较强的水印信息嵌入到原始图像的低频信息中去.

b. 为了增强水印信息的安全性,利用密钥 K 产生一组 8 位二进制伪随机序列(PN 序列),将密钥序列和 a 中水印信息进行模二加运算.

步骤 3 对宿主图像的 Y 分量经行 3 级小波分解,得到的系数序列按照高低频分成 4 个子带.根据对 HVS 特性的研究可知,图像的边缘和纹理部分能隐藏较大的数据量,而图像的平缓部分对噪声非常敏感.因此,考虑到水印的不可见性,水印能量应该尽量嵌入到图像的纹理和边缘等细节部分,也就是小波变换的高频子带;考虑水印信息的鲁棒性,水印主要能量应该嵌入到图像的低频部分.为平衡两者作如下处理:4 个子带序列记为 cD_4 , cD_3 , cD_2 和 cD_1 ,按照低频到高频分布.从 cD_4 到 cD_1 是从低频到高频的变化,令 $H = [cD_4 \ cD_3 \ cD_2 \ cD_1]$,则 H 为一维的从低频到高频变化的序列.将步骤 2 中的水印信息 $w = (w_1 \ w_2 \ w_3 \ w_4)$ 与 H 中某些位置对应,当 w 中信息为二进制‘1’时,对应 H 中位置的系数乘以一个权重, w 为二进制‘0’时, H 中位置的系数

除以一个权重,对于 H 中系数为零的采用加上或减去一个权重处理,嵌入公式为

$$H'(i) = \begin{cases} H(i)/W_{s_j}, w_j(i) = 0 \\ H(i) * W_{s_j}, w_j(i) = 1 \end{cases},$$

$$p_j < i < p_j + l_j, H(i) \neq 0, j = 1, 2, 3, 4 \quad (1)$$

$$H'(i) = \begin{cases} H(i) - W_{t_j}, w_j(i) = 0 \\ H(i) + W_{t_j}, w_j(i) = 1 \end{cases},$$

$$p_j < i < p_j + l_j, H(i) = 0, j = 1, 2, 3, 4 \quad (2)$$

式中, i 为嵌入 H 序列中的位置; p_1, p_2, p_3, p_4 分别为 w_1, w_2, w_3, w_4 嵌入 H 中的起始位置; l_j 为 w_j 的长度; W_{s_j}, W_{t_j} 为嵌入权重。

由于图像对低频部分数据的变化比较敏感,同时又要保证高位信息在低频部分的抗攻击性,取 W_{s_1} 为较小值,中频和高频部分类似低频 W_{s_2}, W_{s_3} 和 W_{s_4} 依次增大,如此以来,水印信息便比较均匀地以不同的权重系数嵌入到宿主图像的 Y 分量中了。

2 水印提取与检测

水印提取过程即为嵌入算法的逆过程,提取算法方框图如图 2 所示。现介绍具体步骤。

步骤 1 将原水印图像 RGB 颜色空间转换为 YIQ 空间。

步骤 2 对 Y 分量进行 3 级小波分解,分成的低频到高频分布的信息序列 cA'_3, cD'_3, cD'_2 和 cD'_1 。令 $H' = [cA'_3 \ cD'_3 \ cD'_2 \ cD'_1]$, 同时将原图像重复以上步骤得到 $H = [cA_3 \ cD_3 \ cD_2 \ cD_1]$, 为了保证图像质量在前面提供的位置信息 p_1, p_2, p_3 和 p_4 范围内,将 H 和 H' 作比较,提取公式为

$$\begin{cases} w_j(i) = 0, H'(i)/H(i) > W_{r_j} \\ w_j(i) = 1, H'(i)/H(i) < W_{r_j} \end{cases},$$

$$p_j < i < p_j + l_j, H(i) \neq 0, j = 1, 2, 3, 4 \quad (3)$$

其中

$$W_{r_j} = (W_{s_j} + 1/W_{s_j})/2$$

$$\begin{cases} w_j(i) = 0, H'(i) < 0 \\ w_j(i) = 1, H'(i) > 0 \end{cases},$$

$$p_j < i < p_j + l_j, H(i) = 0, j = 1, 2, 3, 4 \quad (4)$$

步骤 3 将所提出的二进制序列补上嵌入时舍去的第 8 列信息,利用相同的 K 产生伪随机序列,与伪随机序列模二加运算(其中嵌入时舍去的第 8 列信息由随机数 0 和 1 替代),换算成 R, G 和 B 分

量后可得到水印图像。

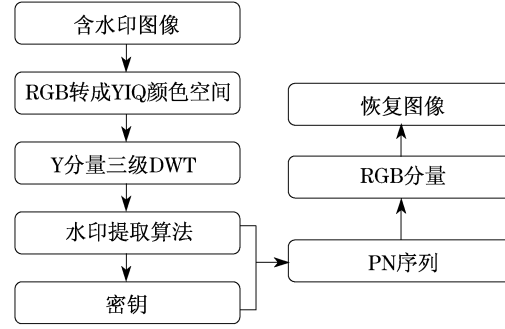


图 2 提取算法方框图

Fig.2 Block diagram of extraction algorithm

3 实验结果与性能评估分析

在本文实验中,采用 512×512 的 24 位真彩色宿主图像(Lena, Babom, Flower)、 64×64 的 24 位真彩色水印图像,4 部分的嵌入权重可根据具体要求作调整,对鲁棒性要求较高则将嵌入权重相应增大;相反,对不可见性要求较高则相应减少嵌入权重。综合权衡两者,经过大量实验测试表明,当取权重系数 $W_{s_1} = 1.011, W_{s_2} = 1.022, W_{s_3} = 1.033, W_{s_4} = 1.045$ 时,水印的不可见性和鲁棒性达到最佳平衡取值。

采用 PSNR(峰值信噪比)评价嵌入水印的不可见性,用 NC(归一化相关系数)评价提取的水印的鲁棒性。其中,NC 公式为^[7]

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} W_{a_i}(j, k) W_{a_i}'(j, k)}{\sqrt{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} [W_{a_i}(j, k)]^2} \sqrt{\sum_{i=1}^3 \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{k=0}^{N-1} [W_{a_i}'(j, k)]^2}} \quad (5)$$

式中, $W_{a_i}(j, k)$ 表示原始水印信息的各个分量的灰度值; $i = 1, 2, 3$ 分别表示 R, G 和 B 分量; j, k 表示对应分量的像素坐标。

例如,在使用真彩色 Baboon 作宿主图像、Labyrinth 作水印图像时,根据以上参数,所得含水印图像的 PSNR 为 42.3,提出的水印图像与原水印图像的 NC 值能达到 0.995 6。分别采用含高频分量较丰富的 Baboon 和 Flower 以及含低频分量较丰富的 Lena 作宿主图像,嵌入及提取效果如下页图 3 所示。

图 3 中(a)、(c)和(e)为原宿主图像;(b)、(d)和(f)为含水印图像;(g)为原始水印图像;(h)、(i)和

(j)为对应(b)、(d)和(f)中提取出的水印.更多具体参数如表 1 所示.

对以上含水印图像进行攻击测试.其中,两组攻击测试的具体数据如表 2 所示.QF 为质量因子参数,JPEQ 为联合专家小组.

从表 2 中可以看出,对同一幅宿主图像,不同的水印图像嵌入的参数差别很小,可见本文嵌入算法的稳定性很好,从 *NC* 值上分析可知,针对大部分常见攻击测试水印都有很好的鲁棒性,其中,抗剪切和椒盐噪声攻击效果突出.总的来说,对于几何攻击、

JPEG 压缩和低通滤波都有很好的抗攻击效果,但是,对于基于排序统计理论的非线性中值滤波攻击效果稍逊.

表 1 嵌入提取效果参数

Tab.1 Parameters of embedded and extraction

参数	Baboon		Lena		Flower	
	Window	Labyrinth	Window	Labyrinth	Window	Labyrinth
PSNR	42.3	42.3	42.2	42.2	43.2	43.2
NC	0.995 6	0.996 9	0.991 7	0.993 5	0.996 4	0.997 0

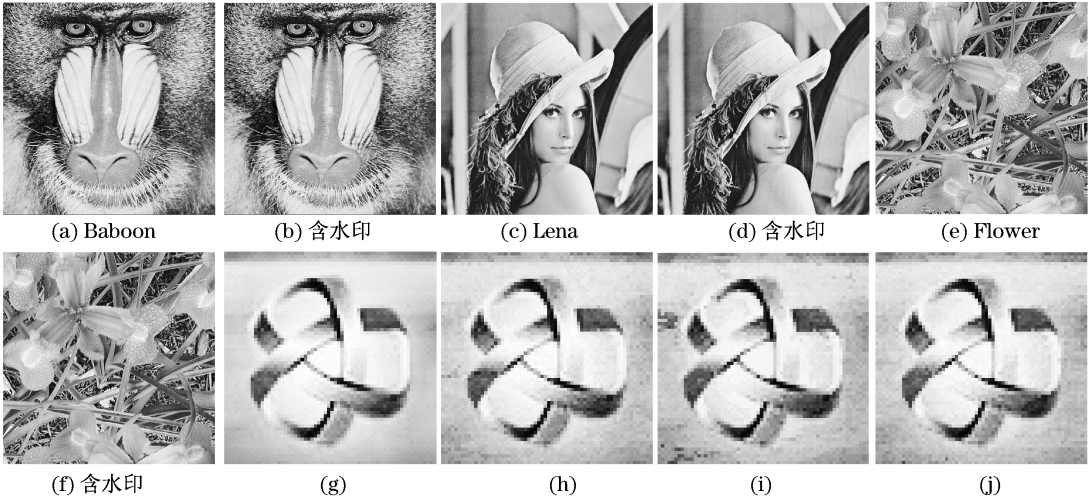


图 3 嵌入及提取效果
Fig.3 Result of embedding and extraction

表 2 攻击测试数据

Tab.2 Attack test data

攻击方式	宿主 Baboon 水印 Labyrinth		宿主 Baboon 水印 Windows		宿主 Lena 水印 Labyrinth		宿主 Lena 水印 Windows	
	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC	PSNR	NC
不受攻击	42.3	0.995 6	42.3	0.996 9	42.2	0.991 7	42.2	0.993 5
剪切	1/16	18.9	0.979 4	18.9	0.982 3	17.5	0.979 3	17.5
	1/4	10.6	0.953 0	10.6	0.961 4	12.3	0.959 7	12.3
椒盐噪声 10%	25.2	0.962 1	25.2	0.965 3	25.1	0.956 8	25.0	0.959 3
高斯噪声 10%	29.7	0.902 1	29.7	0.909 9	29.7	0.887 3	29.7	0.898 2
滤波	低通	31.1	0.931 0	31.1	0.932 5	38.6	0.908 3	38.6
	中值	23.3	0.841 6	23.3	0.856 2	34.3	0.887 3	34.3
旋转	1°	16.7	0.900 8	16.7	0.901 0	11.8	0.933 3	11.7
	90°	10.5	0.995 6	10.5	0.996 9	11.8	0.991 7	11.8
JPEG(QF)	80	29.6	0.919 8	29.6	0.926 3	31.4	0.903 9	32.3
	90	32.0	0.947 1	32.0	0.950 9	33.8	0.920 7	33.7
边缘增强	20.0	0.895 0	19.9	0.921 3	19.9	0.894 2	19.9	0.920 5

4 结 论

在宿主图像的 YIQ 颜色空间的亮度分量中嵌入水印信息,根据 HVS 特性,将经分段的空间域水印信息以不同权重嵌入亮度分量的频域中,通过调

整嵌入权重来平衡水印的鲁棒性和不可见性,各项攻击测试表明,该方法嵌入的水印具有良好的鲁棒性,尤其对于剪切攻击,在原图像丢失 1/4 的信息后依然能清晰地提取水印.

(下转第 492 页)