

# 基于 HVS 和小波变换的彩色图像水印算法

汤晓明, 王丽君

(辽宁科技大学 软件学院, 辽宁 鞍山 114051)

**摘要:** 提出了一种将彩色水印图像嵌入到原始彩色图像中的数字水印算法。该算法对水印的加密采取了 Arnold 结合矩阵变换的方法, 并利用人类视觉系统特性, 将水印信息嵌入到载体图像多级小波分解后的中低频奇数行奇数列系数中。实验结果表明, 该算法在对嵌入水印后的图像进行剪切、不规则色块污染、添加各种噪声等处理后, 提取的水印表现出良好的鲁棒性, 且主观视觉失真较小。

**关键词:** 彩色数字水印; 人类视觉系统; 小波变换

中图分类号: TP309.2

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2010)10-0049-04

## Digital watermarking algorithm for color images based on HVS and DWT

TANG Xiao Ming, WANG Li Jun

(College of Software Engineering, Liaoning University of Science and Technology, Anshan 114051, China)

**Abstract:** A digital watermark algorithm by embedding a color digital watermark into an original color image was discussed. The algorithm inserted the watermarks into the middle-low frequency subbands in odd rows and columns after DWT according to HVS. The method was tested with attacks such as cropping, polluting and noise adding, obtaining results of good robustness and low visual distortion.

**Key words:** color digital watermark; HVS; DWT

目前数字水印技术已成为解决媒体版权保护问题的有效方法。在实际应用中, 彩色图像占主导地位, 因此, 研究彩色图像的数字水印技术更具有现实意义, 这就促使了彩色数字水印算法的产生。参考文献[1]提出了一种将彩色数字水印图像嵌入到原始彩色数字图像中的算法, 通过将水印多次嵌入到 DWT 变换后相应的频段来增强鲁棒性。本文则提出了一种新的嵌入思想, 将水印嵌入到载体图像多级小波分解后的中低频奇数行奇数列系数中。

### 1 人类视觉系统

对于图像来说, 人类视觉系统 HVS (Human Visual System) 的主要特性一般表现在 3 个方面: 亮度特性、频域特性和图像类型特性。其中, 亮度特性是 HVS 特性中最基本的一种。一般来说, 人眼对于高亮度的区域所附加的噪声敏感性较小, 这就意味着, 如果图像的背景亮度越高, 它所能嵌入的附加信息就越多。对于频域特性来说, 如果将图像从空域变换到频域, 那么, 频率越高, 人眼的分辨能力就越低; 频率越低, 人眼的分辨能力就越高, 即人眼对高频的内容其敏感性较低。从图像类型特性来说, 图像可分为大块平滑区域和纹理密集区域,

HVS 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, 其所能嵌入的信息就越多。

HVS 对于不同的颜色敏感性也各有不同, 该特性对于彩色图像的数字水印研究很有意义。对于彩色图像来说, 其每一个像素都可分为 R、G、B 三种基色, 在向彩色图像嵌入水印时, 根据人眼对不同颜色的敏感性的不同调整水印的嵌入能量, 使嵌入水印后的图像有较好的质量。从亮度方程  $Y=0.299R+0.587G+0.114B$  可知, 人眼对于各种颜色的敏感性不同, 其中, 人眼对于绿色(G)最为敏感, 对于红色(R)其次, 对于蓝色(B)最不敏感。可见, 在向彩色图像的不同基色中嵌入水印信息时, 可依据人眼视觉系统对颜色的感知特性来调整水印的加权系数。实验表明, 当加权比例选取为  $R:G:B=2:1:4$  时, 对于保证图像质量最为有利<sup>[2]</sup>。

### 2 彩色图像数字水印的嵌入算法

#### 2.1 水印图像处理

本文针对彩色图像的水印嵌入, 不仅原始图像是彩色的, 而且水印也采用彩色图像。对于彩色水印(W)的置乱采取如下方法进行。

(1) 将彩色水印图像 W 进行三色分离, 分解为  $W_R$ 、

$W_G$ 、 $W_B$  三个基色分量;

(2) 对  $W_R$ 、 $W_G$ 、 $W_B$  进行  $m$  次 Arnold 变换,  $m$  为变换的次数。Arnold 变换俗称“猫脸变换”(cat mapping)<sup>[3]</sup>, 它具有环形自同构的特性。简单地讲, 就是 Arnold 变换具有周期性, 即通过对目标图像进行若干次迭代变换, 图像又会恢复到原始的面貌。Arnold 变换的公式如下:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \bmod N \quad (x, y) \in (0, 1, \dots, N-1)$$

通过变换, 将原来点  $(x, y)$  处像素对应 R、G、B 颜色值移至变换后的点  $(x', y')$  处。N 代表图像矩阵的阶数。由此可以看出 Arnold 变换一般适用于方阵。经过 Arnold 变换后, 得到水印变换之后的图像  $W_{R1}$ 、 $W_{G1}$ 、 $W_{B1}$ 。在 Arnold 变换中, 式中的  $m$  与次数  $N$  构成数对  $(N, m)$  正好可以成为置乱的密钥;

(3) 分别对  $W_{R1}$ 、 $W_{G1}$ 、 $W_{B1}$  进行矩阵左右翻转、上下翻转变换。首先,  $W_{R1}$ 、 $W_{G1}$ 、 $W_{B1}$  的第 1 行和第 N 行交换, 第 2 行和第 N-1 行交换……依此类推直至结束, 得到变换之后的图像矩阵  $W_{R2}$ 、 $W_{G2}$ 、 $W_{B2}$ ; 其次, 将  $W_{R2}$ 、 $W_{G2}$ 、 $W_{B2}$  的第 1 列和第 N 列交换, 第 2 列和第 N-1 列交换……依此类推直至结束, 得到变换之后的图像矩阵  $W_{R3}$ 、 $W_{G3}$ 、 $W_{B3}$ 。

通过以上处理, 最终得到加密后的水印图像。攻击者在不知道水印置乱算法的前提下, 很难提取出水印图像。本文采用了将水印信息进行 Arnold 变换之后, 再进行行列翻转变换的方法, 大大提高了水印的保密性。

### 2.2 图像小波变换

小波变换用于图像处理是小波变换应用效果比较突出的领域之一, 其基本思想就是把数字图像进行多分辨率分解, 分解成不同空间、不同频率的子图像, 然后再根据各个子图像的特点有针对性地进行处理。

本文提出的算法是基于离散小波变换 DWT 的。对于二维的图像信号来说, 经过一次 DWT 变换后, 把图像分解为 4 个频带: 水平(H)、垂直(V)、对角(D)和低频(A), 其中低频(A)部分还可以进行下一级的分解, 从而构成了小波的塔式分解。一幅图像的三级 DWT 分解示意图如图 1 所示。

一幅图像经过分解之后, 图像的能量集中于低频部分, 这也是视觉的重要部分; 而图像的高频部分即图像的细节部分所含能量较少, 分布在 H、V、D 三个子图中, 主要包含了原图的边缘和纹理部分信息。基于小波分析的数字水印算法的基本思想是: 把水印嵌

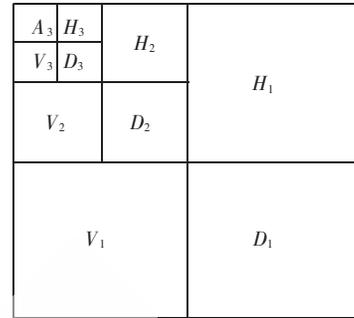


图 1 三层小波分解示意图

入到图像小波变换后的低频子带或高频子带系数中。图像的低频子带携带了图像的大部分信息, 因此可以嵌入更多的水印信息, 使水印鲁棒性提高, 但同时也产生了问题, 即图像低频子带的变化容易导致较大的图像失真。相反, 高频子带携带的是图像的边缘和纹理信息, 人眼对这部分信息不敏感, 因此, 在这部分中嵌入水印可以避免引起图像失真, 但同时水印容易遭到破坏(如有损压缩等)。因此, 一个有效的小波域水印算法必须在鲁棒性和图像的失真度之间取得平衡。

### 2.3 水印的嵌入

本文所采用的水印嵌入方法流程如图 2 所示, 描述如下:

- (1) 将彩色载体数字图像  $C$  分解为 3 个基色分量  $C_R$ 、 $C_G$ 、 $C_B$ , 分别对该 3 个基色分量作 3 层小波分解;
- (2) 将彩色数字水印同样分解为  $W_R$ 、 $W_G$ 、 $W_B$  3 个基色分量, 分别对其进行水印加密处理;
- (3) 将彩色数字水印的三基色分解系数分别对应嵌入到原始彩色图像的三基色分解系数的奇数行奇数列中, 嵌入公式如式(1)所示。

$$\begin{cases} C_{R(G,B)}A_3(2 \times i - 1, 2 \times j - 1) = C_{R(G,B)}A_3(2 \times i - 1, 2 \times j - 1) + \alpha_{r(g,b)} \times W_{R(G,B)}A_1(i, j) \\ C_{R(G,B)}H_2(2 \times i - 1, 2 \times j - 1) = C_{R(G,B)}H_2(2 \times i - 1, 2 \times j - 1) + \alpha_{r(g,b)} \times W_{R(G,B)}H_1(i, j) \\ C_{R(G,B)}V_2(2 \times i - 1, 2 \times j - 1) = C_{R(G,B)}V_2(2 \times i - 1, 2 \times j - 1) + \alpha_{r(g,b)} \times W_{R(G,B)}V_1(i, j) \\ C_{R(G,B)}D_2(2 \times i - 1, 2 \times j - 1) = C_{R(G,B)}D_2(2 \times i - 1, 2 \times j - 1) + \alpha_{r(g,b)} \times W_{R(G,B)}D_1(i, j) \end{cases} \quad (1)$$

式中,  $C_{R(G,B)}A_3(2 \times i - 1, 2 \times j - 1)$  表示彩色载体图像的低频区域中第  $(2 \times i - 1, 2 \times j - 1)$  个系数嵌入水印后的值;  $C_{R(G,B)}A_3(2 \times i - 1, 2 \times j - 1)$  表示彩色载体图像的低频区域中第  $(2 \times i - 1, 2 \times j - 1)$  个系数的值,

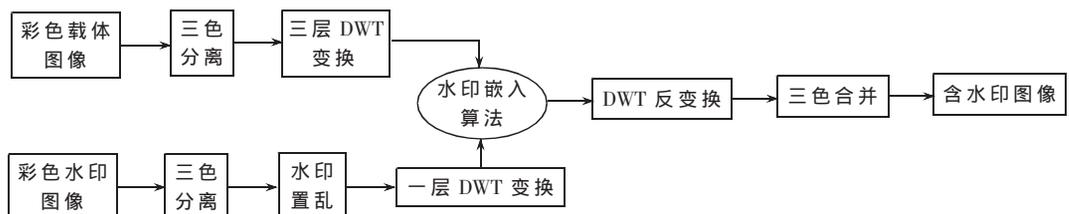


图 2 水印的嵌入过程

图形、图像与多媒体

Image Processing and Multimedia Technology

表示彩色水印图像的红色分量  $R$  (或  $G$ 、 $B$ ) 经过加密处理之后,再小波一次分解后的低频区域中第  $(i,j)$  个系数的值,其余类推。

另外,  $\alpha_r:\alpha_g:\alpha_b=2:1:4$ , 三者的取值要合适。取值过大,则透明性不好;过小,则提取过程中会产生较大的误差。

(4) 进行小波反向变换,恢复出嵌入水印后得到的三基色;

(5) 将三基色合成,得到嵌入水印之后的彩色图像  $C'$ 。

3 彩色图像数字水印的提取算法

水印提取过程是水印嵌入过程的逆过程,需要用到彩色载体图像  $C$ 。对嵌入了水印的彩色图像的提取过程如下:

- (1) 将  $C$  和  $C'$  进行三层小波分解;
- (2) 用嵌入了水印的彩色图像的小波系数相应地减去彩色载体图像的小波系数,即:

$$\begin{cases} W_{R(G,B)}A_1(i,j)=(C_{R(G,B)}A_3(2\times i-1,2\times j-1)-C'_{R(G,B)}A_3(2\times i-1,2\times j-1))/\alpha_{r(g,b)} \\ W_{R(G,B)}H_1(i,j)=(C_{R(G,B)}H_2(2\times i-1,2\times j-1)-C'_{R(G,B)}H_2(2\times i-1,2\times j-1))/\alpha_{r(g,b)} \\ W_{R(G,B)}V_1(i,j)=(C_{R(G,B)}V_2(2\times i-1,2\times j-1)-C'_{R(G,B)}V_2(2\times i-1,2\times j-1))/\alpha_{r(g,b)} \\ W_{R(G,B)}D_1(i,j)=(C_{R(G,B)}D_2(2\times i-1,2\times j-1)-C'_{R(G,B)}D_2(2\times i-1,2\times j-1))/\alpha_{r(g,b)} \end{cases}$$

(3) 将经过上述处理后得到的  $W_{R(G,B)}A_1(i,j)$ 、 $W_{R(G,B)}H_1(i,j)$ 、 $W_{R(G,B)}V_1(i,j)$ 、 $W_{R(G,B)}D_1(i,j)$  分别作一级小波重构,得到加密的水印三基色分量图像  $W_R$ 、 $W_G$ 、 $W_B$ ;

(4) 解密  $W_R$ 、 $W_G$ 、 $W_B$  三基色分量图像。将  $W_R$ 、 $W_G$ 、 $W_B$  矩阵上下、左右翻转后,得到  $W_{Rt}$ 、 $W_{Gt}$ 、 $W_{Bt}$ , 再进行 Arnold 变换。根据水印嵌入时设置的置乱次数  $m$ , 并根据水印图像的尺寸  $N$  求得置乱周期  $T$ , 对  $W_{Rt}$ 、 $W_{Gt}$ 、 $W_{Bt}$  进行  $T-m$  次 Arnold 变换,最终得到提取出的水印三基色图像  $TW_R$ 、 $TW_G$ 、 $TW_B$ ;

(5) 对  $TW_R$ 、 $TW_G$ 、 $TW_B$  进行三基色合成,即获得了提取出的彩色数字水印图像。

4 实验结果

除了主观地辨别提取出的水印质量外,本文采用峰值信噪比 (PSNR) 和归一化的相关系数 (NC) 来进行客观评价。用 PSNR 来衡量原始彩色图像与加入水印后的彩色图像之间的变化程度,其值越高,说明原始图像失真度越小。用 NC 来描述提取出的水印与原始水印之间的相似性,  $NC=1$  时,表明无变化。

峰值信噪比 (PSNR) 的计算公式如下:

$$PSNR(C,C')=10\times\lg((M\times N)\times 255^2/\sum_{i=1}^M\sum_{j=1}^N(C'(i,j)-C(i,j))^2) \quad (3)$$

式中,  $C$  为原始载体彩色图像,  $C'$  为嵌入水印之后的彩色图像。  $M$  为  $C$  的行数,  $N$  为  $C$  的列数。

归一化的相关系数 (NC) 的计算公式如下:

$$NC(W,W')=[\sum_{i=1}^N\sum_{j=1}^N(W(i,j)-\bar{W})(W'(i,j)-\bar{W}')]/[\sum_{i=1}^N\sum_{j=1}^N(W(i,j)-\bar{W})^2\sum_{i=1}^N\sum_{j=1}^N(W'(i,j)-\bar{W}')^2]^{1/2} \quad (4)$$

式中,  $W$  为原始水印图像,  $W'$  为提取出来的水印图像,  $\bar{W}$  为图像  $W$  的平均值,  $\bar{W}'$  为图像  $W'$  的平均值。

本文的实验结果是基于 Matlab 仿真得到的,采用 512x512 的标准 Lena 彩色图像作为原始彩色图像,如图 3(a) 所示。水印图像为 128x128 的彩色图像,如图 3(b) 所示。



图 3 原始载体图像和原始水印图像

(2) 水印嵌入之后载体图像和提取出来的水印图像如图 4 所示。



图 4 嵌入水印后载体图像和提取的水印 (PSNR=24.1479)

图 4 嵌入水印后载体图像和提取的水印

剪切攻击和色块污染攻击如图 5 所示,攻击实验结果如表 1 所示。

本文将人类视觉系统 (HVS) 结合离散小波变换 (DWT) 应用于数字水印技术的研究中,提出了一种基于



图 5 剪切和色块污染后的图像

表 1 实验结果

攻击	0.03 椒盐攻击	随机剪切处理	喷溅处理 喷溅半径为 6	进一步模糊处理	添加高斯分布杂色 数量为 10%	色块污染
提取水印						
NC	0.587 0	0.442 7	0.673 6	0.523 4	0.429 5	0.610 7

DWT 和 HVS 的彩色数字水印嵌入算法, 将真彩色图像作为数字水印嵌入到真彩色图像中。实验表明, 本文的算法对于常见的图像处理和噪声干扰具有较好的鲁棒性, 且提取出的水印在主观视觉上的可辨认性较好。如何在提取彩色数字水印时不使用原始图像, 同时在彩色数字图像中嵌入多个水印实现多种目的, 并能抵抗几何等更多的攻击, 仍需要进一步研究。

## 参考文献

- [1] 刘挺, 尤韦彦. 一种基于离散小波变换和 HVS 的彩色图像数字水印技术[J]. 计算机工程, 2003, 29(4):115-117.
- [2] 刘利田, 常建平. 一种基于 HVS 的彩色图像水印算法[J]. 计算机工程, 2007, 33(24):144-145.
- [3] 陆宇光, 龚声蓉. 基于 DWT 域的图像数字水印算法[J]. 电脑知识与技术, 2008, 4(1):190-192.

(收稿日期: 2010-01-20)

## 作者简介:

汤晓明, 女, 1984 年生, 在读硕士, 主要研究方向: 密码学、信息安全。

王丽君, 女, 1952 年生, 教授, 主要研究方向: 密码学、信息安全。

电子技术应用网  
APPLICATION OF ELECTRONIC TECHNIQUE  
www.chinaAET.com