

文章编号: 1009-2269(2005)04-0025-04

一种彩色图像处理的水印新算法*

蔺鹏^{1,2}, 张永¹, 鲁江¹

(1. 兰州理工大学 计算机与通信学院, 甘肃 兰州 730050;

2. 兰州工业高等专科学校 计算机工程系, 甘肃 兰州 730050)

摘要: 提出一种基于色彩空间变换和离散小波变换(DWT)的彩色图像水印算法. 算法首先将彩色原始图像和彩色水印图像从RGB模式转换到YIQ模式, 然后将彩色水印图像的Y, I, Q分量分别嵌入到彩色原始图像Y, I, Q分量的DWT变换系数中. 该算法的特点是方法简洁, 嵌入水印信息量大, 提取的水印可视效果良好. 通过大量实验表明, 该算法对常见的攻击具有较强的鲁棒性.

关键词: 彩色数字图像; 水印算法; 色彩空间; 离散小波变换

中图分类号: TN 911.73

文献标识码: A

随着数字信息技术的不断进步, 使得数字媒体产品(数字图像、数字视频、数字音频)的应用迅速增长, 因此, 数字产品的版权保护技术的研究显得非常迫切和重要. 数字水印技术是解决该问题的一种有效方法. 它与传统的版权保护技术——加密技术不同, 信息加密是隐藏信息的内容, 而数字水印技术是隐藏版权信息. 由于使用者对媒体内容的访问是透明的, 不容易引起攻击者的注意, 所以后者具有更广阔的应用前景. 数字水印技术就是在数字媒体中嵌入有意义的数据信息, 但嵌入后并不影响使用者对数字媒体在感官(视觉、听觉)上的认知. 因此对加入的数字水印有3个基本要求: ① 不可察觉性(Imperceptibility), 加入原始数字媒体中的水印信号从感官上是不可察觉的; ② 鲁棒性(Robustness), 加入水印后的数字媒体遭到有意或无意的攻击后, 水印信息还能够被有效和完整地提取出来; ③ 安全性(Security), 未授权的用户对水印信息不能检测、阅读和修改(主要针对版权保护水印来讲).

对数字媒体的应用来说, 数字图像是一个重要的应用领域, 其中彩色图像应用占据主导地位, 因此许多学者对彩色数字图像中加入水印信息的方法进行了不断的研究和探索. 如在彩色原始图像的YIQ色彩空间的Y分量的DWT系数中嵌入二值图像水印方法^[1]; 将彩色水印的R, G, B分量的DWT变换系数以不同的嵌入强度嵌入到彩色原始图像的R, G, B分量的DWT变换系数中的研究^[2]. 由于DWT变换具有良好的时间-频率分析特性, 不仅可以较好地匹配HVS(Human Visual System), 而且与JPEG2000、MPEG4压缩标准兼容, 因此基于DWT变换的数字水印技术具有良好的应用前景. 本文提出一种基于色彩空间变换和DWT变换的双彩色数字水印算法, 首先将彩色原始图像和彩色水印图像进行色彩空间变换(RGB模式转换到YIQ模式), 然后将彩色水印的Y, I, Q分量分别嵌入到彩色原始图像Y, I, Q分量的DWT变换系数中. 通过大量实验, 结果表明, 该算法嵌入的水印信息不可见性好, 并且对常见的攻击鲁棒性好.

1 彩色图像水印嵌入算法

CIE-RGB模型是国际照明委员会制定的第一个彩色色度学模型. 它将红色、绿色、蓝色作为3种基本

* 收稿日期: 2005-06-28

作者简介: 蔺鹏(1973-), 男, 甘肃平凉人, 工程师, 硕士.

色,通过这三种色彩的不同组合得到自然界中大部分色彩.这种模型是颜色显示空间,对目标物体的颜色模式描述复杂,各个分量之间冗余信息多并且对彩色图像进行某些处理时容易失真,常应用在彩色监视器和彩色摄像机等领域^[3],而 YIQ 彩色模型则常用于电视图像传输, Y 表示明亮度(Luminance); I 和 Q 表示的是色度(Chroma),其作用是描述色彩及饱和度,用于指定像素的颜色.YIQ 模型的主要优点是去掉了亮度(Y)和颜色信息(I 和 Q)间的紧密联系,在图像处理过程中可减少分量之间的相互影响,所以在 YIQ 空间下进行图像处理是一种比较好的选择.

另外,根据 HVS(Human Visual System),图像的整体比细节更为重要,若一幅图像经过处理后视觉效果改变不大,则其低频分量必定改变程度不大^[4].

基于以上两点,本文提出的算法首先将彩色原始图像和彩色水印图像由 RGB 色彩空间转换到 YIQ 空间,然后将彩色水印图像的 Y, I, Q 分量分别嵌入到经过两级 DWT 变换且绝对值排序后的彩色原始图像 Y, I, Q 的低频小波系数中,然后通过 DWT 逆变换得到新的 Y, I, Q 分量,再从 YIQ 空间转换到 RGB 空间,最终得到嵌入水印后的图像.

RGB 和 YIQ 相互转换定义为:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = T \times \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = T^{-1} \times \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix}$$

式中

$$T = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & -0.311 \end{bmatrix} \tag{1}$$

设彩色原始图像为 $C(i, j)$,彩色水印图像为 $W(m, n)(m < i, n > j)$,嵌入公式表示如下:

$$\begin{cases} C'_{ya2}(i, j) = C_{ya2}(i, j) + \alpha \cdot W_y(m, n) \\ C'_{ia2}(i, j) = C_{ia2}(i, j) + \alpha \cdot W_i(m, n) \\ C'_{qa2}(i, j) = C_{qa2}(i, j) + \alpha \cdot W_q(m, n) \end{cases} \tag{2}$$

式中, $C'_{ya2}(i, j)$, $C'_{ia2}(i, j)$, $C'_{qa2}(i, j)$ 分别表示彩色原始图像的 Y, I, Q 分量经过两级 DWT 变换且绝对值由大到小排序后的低频系数; $W_y(m, n)$, $W_i(m, n)$, $W_q(m, n)$ 表示彩色水印图像的 Y, I, Q 分量; $C'_{ya2}(i, j)$, $C'_{ia2}(i, j)$, $C'_{qa2}(i, j)$ 表示将水印图像的 Y, I, Q 分量分别嵌入到彩色原始图像 Y, I, Q 分量的 DWT 系数中的值. α 表示水印嵌入强度,经过实验反复尝试, $\alpha = 0.2$ 时效果比较理想.图 1 中阴影部分即为加入水印的低频系数区域.

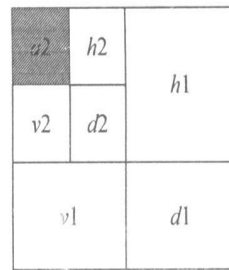


图 1 彩色原始图像 Y, I 或 Q 二级 DWT

2 彩色图像数字水印提取算法

本算法的水印提取过程是嵌入的逆过程,将嵌入水印后的彩色图像经色彩空间转换和 DWT 变换得到的二级低频小波系数减去原始彩色图像经过相应变换后的系数,得到数字水印图像的 Y, I, Q 值,最后再将 Y, I, Q 值转换到 RGB 空间得到彩色水印图像.实现过程如下所示:

$$\begin{cases} W'_y(i, j) = (C'_{ya2}(i, j) - C_{ya2}(m, n)) / \alpha \\ W'_i(i, j) = (C'_{ia2}(i, j) - C_{ia2}(m, n)) / \alpha \\ W'_q(i, j) = (C'_{qa2}(i, j) - C_{qa2}(m, n)) / \alpha \end{cases} \tag{3}$$

$W'_y(i, j)$, $W'_i(i, j)$, $W'_q(i, j)$ 分别为提取出的水印图像的 Y, I, Q 分量.

对于水印后的彩色图像和提取的水印除了主观评价外,还通过互相关值 NC 和峰值信噪比 $PSNR$ 来客观评价图像的质量^[5],即

$$NC = \frac{\sum_m \sum_n W(m, n) W'(m, n)}{\sum_m \sum_n [W(m, n)]^2} \quad (4)$$

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (5)$$

其中, $W(m, n)$ 为彩色水印图像, $W'(m, n)$ 为提取的水印图像, 均方差为

$$MSE = \frac{\sum_i \sum_j [C(i, j) - C'(i, j)]^2}{i \cdot j}$$

其中, $C(i, j)$ 为原始图像; $C'(i, j)$ 为重构后的图像.

3 实验结果分析

实验中使用的彩色原始图像为 $256 \times 256 \times 24\text{bit}$ 的 peppers 真彩色图像, 如图 2 所示; 彩色水印图像是 $64 \times 64 \times 24\text{bit}$ 的 airplane 真彩色图像, 如图 3 所示.

3.1 水印的嵌入和提取

图 4 和图 5 分别是嵌入水印后的图像和提取出的水印图像. 可以看到图 4 和图 2、图 5 和图 3 在视觉上并没有明显差异, 同时通过客观评价标准得出嵌入水印后图像的 $PSNR = 35.79$, $NC = 1.06$; 提取出的水印 $PSNR = 47.09$, $NC = 1$.



图 2 彩色原始图像



图 3 彩色水印图像



图 4 水印后图像



图 5 加入水印后提取的水印图像

3.2 对噪声攻击的鲁棒性检测

图 6(a) 和图 6(c) 是图 4 加入高斯噪声和椒盐噪声后的图像, 提取出的水印分别为图 6(b) 和图 6(d). 从图中可看到提取的水印受到了一定的影响, 但与原始水印相比具有很大相似性. 图 6(b) 的 $NC = 0.95$, 图 6(d) 的 $NC = 0.96$.



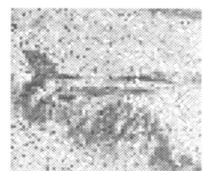
(a) 加入高斯噪声



(b) 加入高斯噪声后提取的水印



(c) 加入椒盐噪声



(d) 加入椒盐噪声后提取的水印

图 6 噪声攻击后提取的水印

3.3 对图像压缩和剪切的鲁棒性检测

图 7(a) 是图 4 经过 JPEG 压缩后的图像, 压缩质量为 60%, 图 7(b) 是提取的水印, 可以看到水印的分辨性很好, $NC = 0.98$, 所以该算法对 JPEG 压缩具有良好的鲁棒性. 图 7(c) 是图 4 经过 1/16 剪切后的图像, 图 7(d) 是提取的水印, 可以看到水印质量明显下降, 但仍具有一定的分辨性, $NC = 0.90$.

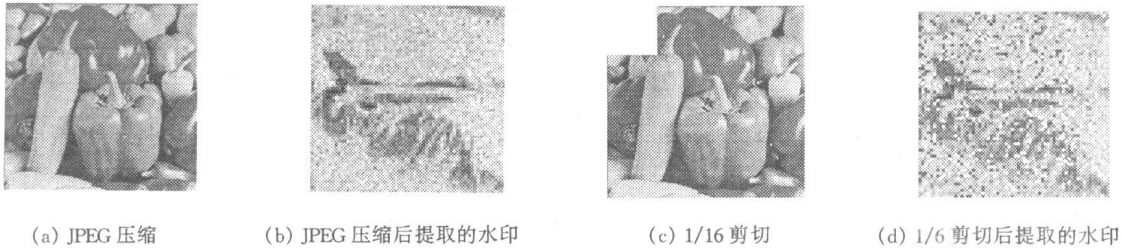


图 7 从压缩和剪切后的图像中提取水印

实验表明,本算法对于常见的图像处理操作具有较好的鲁棒性,提取出的水印具有较好的分辨性.

4 结束语

本文利用色彩空间变换和 DWT 变换,提出一种将彩色水印图像嵌入到彩色原始图像中的算法.该算法与文献[1]提出的算法比较,由于嵌入的是彩色水印信息,因而具有包含信息量大,提取的水印可视性好等优点;与文献[2]相比具有嵌入算法简洁,运算量小等优点.

参考文献:

[1] 王慧琴. 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, (2): 299~302.
 [2] 刘挺. 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, (3): 115~117.
 [3] 阮秋琦. 数字图像处理学[M]. 北京: 电子工业出版社, 2001.
 [4] Cox I J, Killian J, Leighton F.T, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Trans Image Processing, 1997, 6(12): 1673~1687.
 [5] M.kutter, F.A.P. peticolas. A fair benchmark for image watermarking systems[J]. Proc. of SPIE, 1999, (3657): 219~239.

A New Watermarking Algorithm for Color Image Processing

LIN Peng^{1,2}, ZHANG Yong¹, LU Jiang¹

(1.The Computer and Communication College of Lanzhou University of Technology, Lanzhou 730050, China;

2.The Computer Engineering Department of Lanzhou Polytechnic College, Lanzhou 730050, China)

Abstract: A color image watermarking algorithm based on color spatial conversion and DWT is proposed. In this paper, firstly, the color original image and color watermark image are converted from RGB mode to YIQ mode, then Y, I and Q of color watermark are embedded into coefficients respectively which Y, I and Q of the color original image use DWT. The characters of this algorithm are simple, much more watermark information embedded and good visual quality to detected watermark. By a lot of experiments testifying, the algorithm has strong robustness to some common attacks.

Key words: color digital image; watermarking algorithm; color spatial; discrete wavelet transform