

基于 DWT 和 SVD 的彩色图像数字水印算法研究

梁 欣

(西安卫星测控中心 西安 710043)

摘 要 结合离散小波变换和矩阵奇异值分解优点提出基于二者的彩色图像数字水印算法,先将载体和水印图像进行颜色模型转换,对载体亮度分量进行二级小波分解,然后选择子带做奇异值分解,把水印分量嵌入到奇异值分解的对角阵中,最后进行小波反变换和格式转换得到含水印图像,同时对水印嵌入 Cb、Cr 分量时的情况进行仿真实验。通过仿真实验证明在满足不可见性条件下,算法对常见攻击表现出较强鲁棒性,对于提取水印的对角线失真现象提出改善方法且改善效果显著。

关键词 数字水印;离散小波变换;矩阵奇异值分解;鲁棒性

中图分类号 TP311 **DOI:**10. 3969/j. issn. 1672-9722. 2019. 08. 036

Study of Digital Watermark Algorithm on Color Image Based on DWT and SVD

LIANG Xin

(Xi'an Satellite Control Center, Xi'an 710043)

Abstract Combination of discrete wavelet transform and matrix singular value decomposition advantages, the color image digital watermarking algorithm is put forward based on the two. First the carrier and the watermark image are converted to the color model, then to the secondary carrier of luminance component wavelet decomposition is performed, and then the subband is selected to do singular value decomposition, and then the watermark component is embedded in the diagonal matrix of singular value decomposition. By the wavelet transformation and image format conversion, the watermark image is obtained, at the same time watermark embedding Cb, Cr component is simulated and realized. Through the simulation experiments prove that under the condition of satisfy invisibility, algorithm of common attack shows the strong robustness, to extract the watermark diagonal distortion phenomenon also puts forward improving methods and improve the effect is remarkable.

Key Words digital watermarking, discrete wavelet transform, singular value decomposition, robustness

Class Number TP311

1 引言

数字水印是保护信息安全、实现防伪溯源、版权保护的有效办法,是信息隐藏技术研究领域的重要分支和研究方向^[1]。如何解决算法的嵌入容量、不可见性和鲁棒性之间的矛盾一直是该项研究的热点和难点^[2]。水印算法根据水印嵌入的区域不同,主要分为空间域算法和变换域算法^[3],典型的时/空域数字水印方法是最低有效位方法。LSB 方法即利用秘密信息比特替换掉原始载体中不重要的部分,以达到对秘密信息进行编码的目的^[4],算

法尽管具有嵌入容量大的优势,但缺乏抗几何攻击能力^[5],而变换域算法却以其健壮性强等优点越来越得到广泛应用。在目前主要使用的变换域方法中,小波变换由于其良好的时频分解特性,以及和新一代的国际压缩标准 JPEG2000、MPEG4-7 相兼容,从而具有广阔的发展前景^[6]。

离散小波变换(简称 DWT)是进行信号分析与图像处理领域十分有用的工具^[7],奇异值分解(简称 SVD)是数值分析中的最基本、最重要的工具之一^[8],数值分析中的矩阵奇异值分解是一种将矩阵对角化的数值算法^[9]。一幅图像的奇异值表征的

* 收稿日期:2019年2月12日,修回日期:2019年3月22日
基金项目:国家青年科学基金项目“微处理器硬件木马旁路检测技术研究”(编号:61602505)资助。
作者简介:梁欣,女,硕士,工程师,研究方向:计算机应用技术。

是图像的内在性质,具有极强的稳定性,因此在图像被施加小的扰动时图像的奇异值不会有大的改变^[10]。目前图像水印技术大多考虑在灰度图像中嵌入水印,现实中,彩色图像比较常见且比灰度图像信息含量也大,将其嵌入水印进行版权保护显得更为重要。在数字水印技术中,提高水印算法的抗攻击能力是一个重要研究方向和分支^[11]。综合考虑DWT和SVD的优点,将DWT和SVD结合起来进行彩色图像水印方案的实现,并用Matlab进行仿真实验。

2 DWT&SVD 结合的彩色图像水印算法

选用原始图像和水印均为RGB彩色图像,其中原始图像尺寸为256×256,水印尺寸为64×64。首先了解一下颜色模型转换:YCbCr模型称为YUV模型,是视频图像和数字图像中常见的色彩模型。在YCbCr模型中,Y为亮度,Cb和Cr共同描述图像的色调(色差),其中Cb、Cr分别为蓝色分量和红色分量相对于参考值的坐标^[12]。首先将彩色载体图像从RGB彩色空间转换到YCrCb彩色空间,然后再对YCrCb彩色空间内图像信息实施水印嵌入。在Matlab中,可使用rgb2ycbcr函数来实现RGB模型和YCbCr模型间的转换。反之,用函数Ycbcr2rgb实现YCbCr空间到RGB空间逆转换。从线性代数的角度看,一幅灰度图像可以被看成是一个非负矩阵^[13],彩色图像则表示为三个非负矩阵,我们就用Matlab对这三个非负矩阵进行处理。具体算法描述如下。

2.1 水印嵌入算法

- 1)将原始图像和水印图像分别从RGB颜色模型转换为YCbCr颜色模型。
- 2)对原始图像的Y分量进行二级离散小波变换,得到 LL_2 、 HL_2 、 LH_2 、 HH_2 、 HL_1 、 LH_1 、 HH_1 七个子带。我们选择在 HL_2 、 LH_2 、 HH_2 三个二级子带系数中进行水印嵌入。
- 3)分别对 HL_2 、 LH_2 、 HH_2 三个子带进行矩阵奇异值分解,得到六个正交矩阵 U 和 V ,以及三个对角矩阵 S 。

4)将水印图像的Y、Cb和Cr分量分别采用加性水印公式 $WM=S+a\times W$ (a 为水印的叠加强度系数,针对不同子带采用不同的系数。 W 代表水印)叠加到上步得到的三个对角矩阵 S 上,再对新产生的 WM 进行奇异值分解,得到 U_1 、 S_1 、 V_1 。

5)将 U 、 S_1 和 V^T 相乘,得到处理后的嵌入水印的小波系数。对修改后的小波系数进行小波反变换后得到Y分量,再结合原始彩色图像的色度信息,即Cb分量和Cr分量转换到RGB颜色模型就可得到含水印图像。

2.2 水印提取算法

1)对含水印图像进行颜色模型转换,由RGB转换为YCbCr,再利用DWT对转换后的含水印图像的Y分量进行二级小波变换,得到 LL_2 、 HL_2 、 LH_2 、 HH_2 、 HL_1 、 LH_1 、 HH_1 七个子带。

2)对 HL_2 、 LH_2 、 HH_2 三个子带进行奇异值分解,利用加性水印公式 $WM=S+a\times W$ 分别求出水印的Y、Cb、Cr分量。

3)根据得到的Y、Cb、Cr分量转换到RGB色彩空间即得到原水印彩色图像。

3 嵌入Y分量时的实验结果

本文采用haar正交小波对原始图像进行二级小波分解与重构。嵌入因子为 $a_1=0.05$; $a_2=0.005$ 。 a_1 为水印Y分量嵌入时的强度因子, a_2 为水印Cb和Cr分量嵌入时的强度因子。透明性作为衡量彩色图像不可见水印的基本要求之一^[14],为衡量算法性能,对水印图像的失真程度评价采用峰值信噪比PSNR,原始水印和提取出的水印之间的相似度可通过相关系数NC来评价。

3.1 仿真试验结果及分析

将水印嵌入载体图像的Y分量时,含水印图像和原始图像从外观上看几乎没有差异,并且PSNR值为56.7686dB,从客观指标上也说明不可见性很好,没有遭受任何攻击时能完全提取出水印且无任何失真。针对常见攻击进行试验。详细攻击测试结果如图1所示。当遭受所施加的四种攻击时,由图1看出提取的水印清晰可辨,通过NC值也说明该算法鲁棒性较强。



图1 攻击测试的实验结果

3.2 比较改善水印效果

由于水印在嵌入过程中是被叠加到对角矩阵 S 上,通过实验发现提取的水印在对角线方向出现失真,可用邻域灰度均衡来减弱对角线失真,即对提取的水印 W^* 沿其对角线方向 3×3 的邻域内进行灰度均衡^[15]:

$$W^*(i,i)=\frac{1}{9}\sum_{x=i-1}^{i+1}\sum_{y=i-1}^{i+1}W^*(x,y)\tag{1}$$

彩色图像由 R、G、B 三个分量矩阵构成,具体步骤为

- 1) 在 Matlab 中将水印图像的 R、G、B 三个分量矩阵提取出来,先对 R 层分量矩阵进行处理。
- 2) 利用 for 循环,对 i 取值从 1 到 64,并用 if 语句作如下判断和处理:若像素值大于 128,置为 0;小于 128 值不变。
- 3) 用 if 语句确定水印图像矩阵边界两点值。
- 4) 对角线上其余各点的确定利用式(1)计算,可用 for 语句实现。
- 5) 对 G、B 层矩阵同样处理。
- 6) 将处理后的 R、G、B 层矩阵合成一个矩阵。

由图 2 看出采用灰度均衡处理,可以提高水印的 NC 值,也能在视觉上改善水印质量。



图2 改善后的水印图像及 NC 值

4 嵌入 Cb、Cr 分量时的实验结果

我们还可以考虑在色差分量 Cb 和 Cr 上进行水印信息的嵌入。表 1 为分别嵌入各分量时的指标值。由表 1 可以看出,当嵌入强度因子相同时,将水印嵌入 Cb 分量时的不可见性最好,说明嵌入 Cb 分量时的嵌入强度的冗余度较大。其次是 Cr 分量的冗余度较大,嵌入 Y 分量的冗余度则最小。这也正好验证了人类具有对色差的细微变化的感觉比对亮度变化的感觉迟钝的视觉特性。由于嵌入到 Cb 分量时的 PSNR 值大于 Cr 分量大于 Y 分量大于 56.7686dB,所以说明它们都极好地满足不可见性的要求,还可以有余地地增加嵌入因子的值,来提高嵌入强度。

在嵌入到 Cb、Cr 分量时并遭受相同攻击的水印提取效果以及进行灰度均衡改善的水印效果见表 2。由表 2 可以知道,将水印分别嵌入到 Cb、Cr 分量时,PSNR 值不同(嵌入因子相同时),提取出来

的水印 NC 值也有所不同。

表1 分别嵌入不同分量时的测试结果

指标	Y 分量	Cb 分量	Cr 分量
MSE	0.13684	0.018356	0.037964
SNR	50.9828dB	59.7071dB	56.5513dB
PSNR	56.7686dB	65.4929dB	62.3371dB
NC	1.0000	1.0000	1.0000

表2 改善后的水印效果及 NC 值

攻击类型	嵌入 Cb 分量	改善后	嵌入 Cr 分量	改善后
旋转攻击 60 度	NC=0.8954	NC=0.8992	NC=0.9543	NC=0.9659
剪切攻击剪切比为 16%	NC=0.9950	NC=0.9971	NC=0.9941	NC=0.9975
JPEG 有损压缩 30%	NC=0.9493	NC=0.9551	NC=0.9702	NC=0.9774
高斯噪声方差 0.01	NC=0.9269	NC=0.9325	NC=0.9462	NC=0.9531

5 结语

本文使用离散小波变换与矩阵奇异值分解相结合的方法,算法数学背景清晰,试验证明算法对常见攻击具有较强的鲁棒性。对水印对角线方向失真现象也作了修正,在一定程度上改善了水印视觉效果,同时 NC 值也得到提高。还考虑了分别在 Cb、Cr 分量嵌入水印信息的情况,并进行仿真实现与分析。另外,可以把图像置乱技术结合进去,即水印嵌入之前先对其进行置乱预处理,然后再嵌入到分解的对角矩阵中,这样可以提高水印安全性和不可见性,增加水印破译难度。

参考文献

[1] 方捷,庄冬梅. 基于数字水印技术应用于纸币真伪识别的研究[J]. 福建师大福清分校学报, 2015(5):60-67.
FANG Jie, ZHUANG Dongmei. Notes of authenticity identification based on the digital watermarking technique is applied to research[J]. Journal of fujian normal university, Fu Qing, 2015 (5): 60-67.

[2] 郑秋梅,张摇明,王风华,等. 基于 PCA 和 DWT 的强鲁棒数字水印算法[J]. 中国石油大学学报(自然科学版),2016(1):177-182.
ZHENG Qiumei, ZHANG Yaoming, WANG Fenghua, et al. Based on PCA and DWT is strongly robust digital watermarking algorithm[J]. Journal of China petroleum university (natural science edition), 2016 (1): 177-182.

[3] 张勇,赵东宁,李德毅. 数字水印技术及进展[J]. 解放军理工大学学报(自然科学版),2003,4(03):1-5.

- ZHANG Yong, ZHAO Dongning, LI Deyi. Digital watermarking technology and the progress [J]. Journal of PLA university of science and technology (natural science edition), 2003, 4 (3): 1-5.
- [4] 胡国胜,冯亚东,张国红. 信息隐藏学——一个古老又年轻的学科[J]. 科学与科学技术管理, 2003 (6): 65-68.
- HU Guosheng, FENG Yadong, ZHANG Guohong. Information hiding to learn – an ancient and young subject [J]. Journal of management science and the science and technology, 2003(6): 65-68.
- [5] 白冬慧,刘彦隆. 抗几何攻击的最低有效位数字水印算法[J]. 电视技术, 2013(5): 29-32, 48.
- BAI Donghui, HU Yanlong. Least Significant Bits Watermark Algorithm with Resisting Geometric Attacks [J]. TV technology, 2013(5): 29-32, 48.
- [6] 李春茹. 基于小波变换和HVS的数字图像水印技术[D]. 西安: 西安电子科技大学硕士学位论文, 2004: 22-24.
- LI Chunru. Based on wavelet transform and HVS digital image watermarking technology [D]. Xi'an: Master degree theses of master of Xi'an university of electronic science and technology, 2004: 22-24.
- [7] 李峰泉. 基于映射的图像多角度复小波变换[J]. 新技术新工艺, 2015(2): 43-46.
- LI Fengquan. Based on the mapping of image from the complex wavelet transform [J]. New technology and new technology, 2015 (2) : 43-46.
- [8] 李晓飞,蔡翔云. 基于DWT-SVD的图像水印算法[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2005, 27(5A): 337-341.
- LI Xiaofei, CAI Xiangyun. Image watermarking algorithm based on DWT – SVD [J]. Journal of yun nan university (natural science edition), 2005, 27 (5a): 337-341.
- [9] 田小平,吴成茂. 利用差分图像奇异值分解的置乱程度评价研究[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46 (23) : 162-165, 248.
- TIAN Xiaoping, WU Chengmao. By using difference image scrambling degree evaluation of singular value decomposition research [J]. Computer engineering and application, 2010, 46 (23) : 162-165, 248.
- [10] 刘瑞祯,谭铁牛. 基于奇异值分解的数字图像水印方法[J]. 电子学报, 2001, 29(02): 168-171.
- LIU Ruizhen, TAN Tieniu. Digital image watermarking method based on singular value decomposition [J]. Journal of electronics, 2001, 29(02): 168-171.
- [11] 武风波,汪峰. 基于HVS的小波变换数字图像水印算法, 2014(2): 254-259.
- WU Fengbo, WANG feng. The wavelet transform digital image watermarking algorithm based on HVS, 2014 (2) : 254-259.
- [12] 王丽娜,郭迟,李鹏. 信息隐藏技术实验教程[M]. 武汉: 武汉大学出版社, 2004.
- WANG Lina, GUO Chi, LI Peng. Information hiding technology experiment tutorial [M]. Wuhan: Wuhan university press, 2004.
- [13] 徐慧英,朱信忠,赵健民. 基于分块奇异值分解的数字水印算法及实现[J]. 计算机科学, 2005, 32 (08) : 110-113.
- XU Huiying, ZHU Xinzong, ZHAO Jianmin. Digital watermarking algorithm based on block singular value decomposition and implementation [J]. Journal of computer science, 2005, 32(8): 110-113.
- [14] 梁丽香,唐林海,白维维. 数字水印图像加密优化保护版权仿真研究[J]. 计算机仿真, 2017(7): 150-153.
- LIANG Lixiang, TANG Linhai, BAI Weiwei. Copyright protection digital watermark image encryption optimization simulation [J]. The computer simulation. 2017 (7) : 150-153.
- [15] 赵鹏,周容,刘城,等. 数字水印在图像中的应用[J]. 微型机与应用, 2003(7): 51-53.
- ZHAO Peng, ZHOU Rong, LIU Cheng, et al. The application of the digital watermark in the image [J]. Micro computer and application, 2003(7): 51-53.