

彩色图像 DWT 变换下的块 SVD 零水印

潘黄琼, 陈光喜, 丁 勇, 李 峰

(桂林电子科技大学 数学与计算科学学院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 为了提高水印技术的鲁棒性, 提出了彩色图像离散小波变换(DWT)下的块奇异值分解(SVD)的零水印. 首先对原始载体图像进行离散小波变换, 然后选择低频子带进行分块, 且对每一块进行奇异值分解, 水印则由分解得到的最大前 m 个奇异值产生. 实验结果表明, 算法对各种攻击有较强的鲁棒性.

关键词: 奇异值分解; 离散小波变换; 零水印; 鲁棒性

中图分类号: TP301

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)05-0050-04

A Zero-watermarking Algorithm of Color Image Based on SVD and DWT

PAN Huang-qiong, CHEN Guang-xi, DING Yong, LI Feng

(School of Mathematics and Computing Science, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: In order to enhance the robustness of watermark technology, a zero-watermark is proposed based on color image using block singular value decomposition (SVD) under the discrete wavelet transformation (DWT). It conducts DWT with the original image, divides its low frequency band into blocks, and conducts SVD with every block. Zero-watermark is generated by the decomposition of the former largest singular values of m of the block matrix. Experiments show that the proposed algorithm has strong robustness against various attacks.

Key words: singular value decomposition; discrete wavelet transformation; zero-watermark; robustness

1 引言

目前的数字水印算法大致可分为两种类型: 一种是空间域算法, 另一种是变换域算法. 前者是将水印信息直接嵌入到图像的像素值中; 后者则先将原始图像做相应的变换(如 DFT, DCT, DWT 等变换), 然后再嵌入水印信息.

虽然在空域或频域中嵌入水印都可以抵抗一般的攻击, 但是它也会或多或少的改变宿主图像的一些信息, 使提取水印后并不能完全恢复到原有的图像. 因此在 2003 年温泉等人提出了利用图像的某些重要特征来构造水印信息, 而不是修改图像的某些特征的一种新的数字水印技术——零水印^[1]. 虽然零水印技术很好地解决了数字水印的不可感知性和

鲁棒性之间的矛盾, 但是也存在一些技术上的难点, 如: 如何构造比宿主媒体小得多的水印来标识该媒体的版权以及如何解决被篡改媒体的认证问题等. 零水印构造的方法目前还处于探索阶段, 至今主要有以下几种算法: (1) 利用高阶累加量构造零水印^[1]; (2) 在 DCT 变换域和 DWT 变换域中构造零水印^[2]; (3) 利用小波变换或小波包来构造零水印^[3]; (4) 利用小波变换和混沌变换构造零水印^[4]. 这些方法都能很好的解决了媒体的认证和版权问题, 对一般的攻击都有很好的免疫能力. 但是它们也存在一些不足, 比如计算量大, 抖动、对比度增强、几何攻击的免疫力较差以及只考虑提取图像的低频域特征点系数.

本文根据离散小波变换和奇异值分解的特性,

收稿日期: 2011-09-02; **修回日期:** 2011-10-05

基金项目: 国家自然科学基金项目(60963024); 广西教育厅基金项目(200807LX112); 广西学位与研究生教育改革和发展专项课题(200910595R06)

首先将原始图像进行离散小波变换,然后对低频部分分块且对每一块进行奇异值分解,最后由分解得到的最大前 m 个奇异值来构造水印.实验表明,这种方法对抗各种攻击具有较强的鲁棒性.

2 相关技术

2.1 离散小波变换

离散小波变换(DWT)^[5]是一种空域——频域的分析方法,并且在时频两域都有表征信号局部特征的能力.它主要就是把图像进行多分辨率分解,从而图像被分解成不同空间、不同频率的子图像,然后再对子图像的系数进行处理.高频区域表征了图像的细节信息,人类对高频区域信息的敏感度低于对低频区域信息的敏感度,因此,当水印所嵌入的区域频率越高,它所具有的透明性越好,但对于各种噪声,压缩等攻击的抵抗能力就越差.而低频区域,集中了图像的大部分能量,是视觉上最重要的成分,其系数在各种变换中是最为稳定,因此,选择在其中嵌入水印信息,可以保证水印的鲁棒性.

2.2 奇异值分解

奇异值分解主要从以下两个角度进行描述:

首先从线性代数的角度来看,一幅数字图像可以看成是由许多非负标量组成的矩阵,若用 $A \in R_{M \times M}$ (R 表示实数域)来表示一个图像矩阵,则 A 的奇异值分解^[6]可以表示为:

$$A = USV^T \quad (1)$$

其中: $U \in R_{M \times M}$, $V \in R_{M \times M}$, 且都是正交矩阵, $S \in R_{M \times M}$ 是一个非对角线上元素都是 0 的矩阵,其对角线上的元素满足^[7]: $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r > \sigma_{r+1} = \dots = \sigma_m = 0$, 其中 r 是 A 的秩,它等于非负奇异值的个数. σ_i ($i=1, 2, \dots, m$) 就叫做矩阵 A 的奇异值,是 AA^T 特征值的平方根.式(1)就称为矩阵 A 的奇异值分解.

其次从图像处理的角度来看,奇异值分解有以下几个特性^[8-9]: (1) 当给图像施加较小的扰动时,它的奇异值也不会发生很大变化,即说明图像奇异值的稳定性好; (2) 奇异值对应于图像的亮度特性,反映的是图像矩阵元素之间的关系; (3) 图像的奇异值对几何失真具有不变性.

3 水印构造和检测算法

3.1 水印的构造

(1) 对原始图像 I 进行 2 层离散小波变换,提取低频系数矩阵 LL_2 ;

(2) 把低频系数矩阵 LL_2 分成互不重叠的 $n \times$

n 块,对每块进行奇异值分解,记奇异值为 $\sigma_j^i \in R$, $j=1, 2, \dots, n$.

(3) 找出所有奇异值中最大的前 m 个,由这 m 个值构成一个序列,记为 D ;

(4) 根据密钥种子 seed 随机产生一个长度为 m 的序列 S (且该序列可以根据种子再现);

(5) 由序列 D 与序列 S 索引产生一个序列 E ;

(6) 如果 E 中的第 i 个元素为正数,则水印 $W=1$, 否则 $W=-1$;

(7) 把所产生的零水印注册到负责维护一个水印数据库来验证数字产品的所有权的 IPR 信息数据库.零水印一旦注册成功,就可以认为原图像已受水印技术的保护.

3.2 水印检测算法

在网络传输的过程中,原图像 I 一般都会受到一些无意或恶意的攻击,最后的待检测图像 I' 则可能是原图像经过一定扭曲和损伤后的图像,若怀疑原图是受零水印保护,则可用零水印算法来提取水印信息并和在 IPR 水印数据库中注册过的水印进行验证.具体过程如下:

(1) 对待检测图像 I' 进行 2 层离散小波变换,得出低频系数矩阵 LL_2' ;

(2) 将低频系数矩阵 LL_2' 分成互不重叠的 $n \times n$ 块,对每一块进行奇异值分解,找出前面最大的前 m 个值所在位置,并把这 m 个位置所对应的数构成一序列,记为 D' ;

(3) 根据前面产生水印时的密钥 seed,随机产生一个长度为 m 的序列 S' ;

(4) 由序列 D' 和序列 S' 索引产生的一序列 E' , 如果 E' 中的第 i 个值为正,则 $W'=1$, 否则 $W'=-1$;

由于在多数情况下提取的水印并不能保证与注册水印完全相同,实际水印检测时,可通过计算水印的相似度是否大于指定的阈值来验证,相似度的计算公式为:

$$S = \frac{\sum_{i=1}^L W(i)W'(i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^L W(i)^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^L W'(i)^2}} \quad (2)$$

其中 $W(i)$ 和 $W'(i)$ 分别表示原始注册水印序列和检测时提取的水印序列的第 i 位值, L 为水印序列的长度.用式(2)表示检测提取出来的水印和原水印的客观相似性,为了使虚警概率和误判概率都达到最小以及多次实验的结果,则得出给定的阈值为 0.7, 如果检测值大于给定的阈值 0.7, 就可认为

有水印的存在.

4 实验结果

本文用 matlab 对常见攻击进行仿真实验,采用的仿真软件为 matlab7.11,实验中用到的参数,如没特别说明都是 matlab 里用的参数.

实验用图为 256×256 大小的 lena 图(如图 1 所示),实验结果主要用原始零水印与提取的零水印间的相似度 S 和峰值信噪比 PSNR 来衡量抵抗攻击的鲁棒性.

(1) 添加高斯噪声和椒盐噪声

对原始图像添加高斯噪声和椒盐噪声,如图 2 和图 3,噪声方差、原始图像与攻击图像间的峰值信噪比(PSNR)以及 2 个水印间的相似度 S 如表 1 所示.

表 1 添加高斯和椒盐噪声

噪声类型	PSNR/S	
	噪声方差 0.01	噪声方差 0.001
高斯噪声	23.1817/0.8177	33.4432/0.8723
椒盐噪声	28.0263/0.8701	34.8417/0.7899

(2) 中值滤波

对原始图像做中值滤波,具体的实验结果如表 2 所示.

表 2 中值滤波

PSNR/S		
窗口大小 3×3	窗口大小 5×5	窗口大小 7×7
31.6825/0.8633	28.0739/0.8049	26.0725/0.8864

(3) JPEG 压缩

对原始图像进行 JPEG 压缩,具体的实验结果如表 3 所示.

表 3 JPEG 压缩

PSNR/S				
质量因子 10	质量因子 30	质量因子 50	质量因子 70	质量因子 90
28.2427/ 0.8637	31.9957/ 0.8504	33.8927/ 0.8727	36.1203/ 0.9334	49.8139/ 0.8797

(4) 模糊处理

对原始图像做模糊处理,具体的实验结果如表 4 所示.

表 4 模糊处理

PSNR/S		
模糊次数 5	模糊次数 10	模糊次数 20
23.4728/0.8696	21.9312/0.8772	20.5068/0.9399

(5) 剪切以及旋转

对原始图像做剪切和旋转,如图 4、图 5,具体的实验结果如表 5、表 6 所示.

表 5 剪切

PSNR/S			
剪切 1/4	剪切 1/9	剪切 1/16	剪切 1/25
18.8513/ 0.8496	22.1483/ 0.8118	24.4729/ 0.8118	26.1152/ 0.8118

表 6 旋转

PSNR/S					
旋转 10°	旋转 30°	旋转 40°	旋转 50°	旋转 60°	旋转 70°
9.7786/ 0.7470	8.0048/ 0.8554	7.8276/ 0.8702	7.8355/ 0.7671	7.9927/ 0.9334	8.4548/ 0.7523

从表 2~表 6 可以看出,本文算法对旋转的攻击效果略差外,对于其它的攻击,两者的水印有较高的相似度,而且峰值信噪比也较高.与其它的水印技术相比^[1-4],本文算法则有较强的鲁棒性.



图 1 原始图像



图 2 添加高斯噪声图像



图 3 添加椒盐噪声图像



图4 剪切原图像的1/4



图5 原图像旋转10°

5 结束语

本文利用 DWT 低频区域集中了图像大部分的能和奇异值的稳定性,提出一种基于 SVD 和 DWT 彩色图像的零水印算法.该零水印算法没有对原始载体图像做任何改变,拥有良好的不可见性.实验结果表明,该零水印算法对一般的攻击具有较强的鲁棒性.

参考文献:

- [1] 温泉,孙铨锋,王树勋.零水印的概念与应用[J].电子学报,2003,31(2):214-216.
- [2] 江玉珍,杨群生.基于 DCT 域和 DWT 域的图像零水印算法的研究[J].电脑开发与应用,2005,18(6):12-14.
- [3] 欧阳迎春,江玉珍,杨群生.基于四叉树的小波域图像零水印算法[J].江西师范大学学报:自然科学,2005,

29(6):471-474.

- [4] Cao Hanqiang, Xiang Hua, Li Xutao, Liu Miao, Yi Sheng, Wei Fang. A Zero-watermarking Algorithm based on DWT and Chaotic Modulation[J]. Journal of Images and graphics, 2006, 11(5): 720-724.
- [5] 杨树国,李春霞,孙枫,等.小波域内图像零水印技术的研究[J].中国图象图形学报,2003,8(6):664-669.
- [6] Andrew sH, PatterIson C. Singular value decomposition(SVD) image coding[J]. IEEE Transactions on Communications, 1976, 24(4): 425-432.
- [7] 方保镕,周继东,李医民.矩阵论[M].北京:清华大学出版社,2004,320-322.
- [8] 刘俊景,蒋华.一种基于离散余弦变换与奇异值分解的数字图像水印算法[J].微电子学与计算机,2007,24(10):111-114.
- [9] 蒋华,张敏.一种新的 LWT 和 SVD 的灰度图像水印[J].计算机工程与应用,2010,46(11):104-108.

作者简介:

潘黄琼 女,(1987—),硕士研究生.研究方向为数字水印、信息安全.

陈光喜 男,(1971—),博士,教授.研究方向为信息安全、符号计算、智能软件与算法.

丁勇 男,(1975—),博士,教授.研究方向为密码学与信息安全、无线网络安全.

李峰 男,(1986—),硕士研究生.研究方向为数字水印、信息安全.

(上接第49页)

- [3] 郑伟,姚庆栋,张明,等.一种低功耗 Cache 设计技术的研究[J].电路与系统学报,2004,9(5):21-24.
- [4] 马志强,季振洲,胡铭曾.基于分类访问的低功耗联合式 Cache 方案[J].哈尔滨工程大学学报,2007,28(1):21-25.
- [5] 郇丹丹,李祖松,胡伟武,等. Cache 自适应写分配策略[J].计算机研究与发展,2007,44(2):348-354.
- [6] 梅魁志,李国辉,张斌.一种面向写穿透 Cache 的写合并设计及验证[J].西安交通大学学报,2010,44(4):1-4.
- [7] 文良,靳荣利,吴龙胜,等.基于 AHB 总线接口的可重用性验证环境的实现[J].微电子学与计算机,2011,28(7):202-204.
- [8] Guthaus M, Ringenberg J, Ernst D, et al. Mibench: a

free, commerc-ally representative embedded benchmark suite [C]// Fourth IEEE Int. Workshop on Workload Characteristics. Aastin, 2001:3-14.

- [9] GB/T200090.2-2006. 信息技术先进音视频编码第二部分:视频[S].中国:中国国家标准化管理委员会.

作者简介:



朱伟成 男,(1986—),硕士研究生.研究方向为多媒体 SOC.