

基于小波变换和奇异值分解的数字水印算法

刘泊¹, 吕鑫磊², 王杰¹

(1. 哈尔滨理工大学 测控技术与通信工程学院, 黑龙江 哈尔滨 150080;

2. 中国石油天然气股份有限公司 大庆石化分公司, 黑龙江 大庆 163714)

摘要: 数字水印技术是一种新的数字媒体保护措施, 它是将特定的信息嵌入到图像、语音、视频及文本文件等各种数字媒体中, 以达到标识、注释及版权保护等目的. 本文提出一种基于 DWT 和 SVD 相结合的数字水印算法, 首先对混沌置乱后的水印奇异值分解, 然后将水印的奇异值嵌入到原始图像的小波变换系数中. 实验结果显示: 其对一般的常见攻击和几何攻击等均具有良好的鲁棒性.

关键词: 数字水印; 离散小波变换; 奇异值分解; 混沌置乱

中图分类号: TP391.41 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2010)04-0006-04

A New Digital Watermarking Algorithm Based on DWT and SVD

LIU Bo¹, LÜ Xin-Lei², WANG Jie¹

(1. School of Measure-control Technology and Communication Engineering, Harbin University of Science and Technology, Harbin 150080, China;

2. PetroChina Company Limited, Daqing Petrochemical Company, Daqing 163714, China)

Abstract: Digital watermark technology is a new kind of protection measure of digital media, which inserts special information into some digital medium such as image, voice, video and text files in order to protect identifier, remark and copyright. This paper proposed a watermarking algorithm based on discrete wavelet transform (DWT) of image and singular valued composition (SVD). The original image is decomposed with DWT, the watermarking image is decomposed with SVD after chaotic scrambling, and then the singular values of watermarking are embedded into some coefficients of decomposed original image. Experiment results confirm that the proposed watermarking algorithm is robust to common attack and geometric attack, etc.

Key words: Digital watermarking; DWT; SVD; Chaotic scrambling

0 引言

随着多媒体技术的迅猛发展,为了解决多媒体数据的盗版侵权问题,数字水印技术应运而生,并得到了高度重视,且已成为一种有效的数字产品版权保护和数据认证技术.

近年来鲁棒图像水印技术的研究与应用取得了

很大进展,但在抵抗几何攻击方面仍面临着很大的困难,因此也是研究的热点之一. 目前,人们研究的抗几何攻击水印技术主要集中在抗旋转、缩放和平移(简称 RST)等方面,先后提出了一些算法. 文 [1] 从理论上证明了图像的奇异值对于几何失真(旋转、镜像、旋转、放大、平移)具有不变性,可以用来嵌入水印,但该算法在抵御其他一些攻击上效果不是很理想,如噪声攻击和 JPEG 压缩等. Emi 等 [2] 将

收稿日期: 2009-01-05

作者简介: 刘泊(1961—),男,教授,硕士生导师, E-mail: lb0303@263.com;

王杰(1983—),女,硕士研究生.

离散小波变换(DWT)与奇异值分解(SVD)结合起来,对小波变换系数进行奇异值分解,在4个子带中分别嵌入水印,取得了较好的效果。

本文同样采用DWT和SVD相结合的方法,首先将水印信息混沌置乱加密,然后将水印的奇异值信息嵌入到载体图像中。该方法可减少水印信息,使大幅图像作为水印图像成为可能。

1 水印嵌入算法

1.1 嵌入区域的选择

本文选择具有良好的频率局部化特征和与人眼视觉特性相符的离散小波变换(DWT)图像,经小波分解后,产生 LH_j 、 HL_j 、 HH_j 三个高频带系列,一个 LL_j 低频带($j=1,2,\dots,n$;为分解级数)。其中低频带表示由小波变换分解级数决定的最大尺度、最小分辨率下对原始图像的最佳逼近。它的统计特征和原图像相似,图像的大部分能量集中在此。高频带系列则分别是图像在不同尺度、不同分辨率下的细节信息。图1为 512×512 灰度级Lena图像,图2是Lena图像的三级小波分解图像。

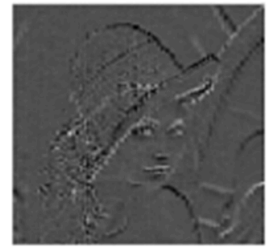


图1 Lena的图像

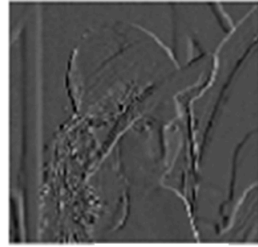
稳健性是图像隐形水印最基本的要求之一。在DWT域,不同的小波系数作为水印载体有不同的稳健性。根据文[3-4]所述,在DWT域,水印分量嵌入到DWT域低频系数稳健性最好。因为小波系数的分布特点是越往低频,子带系数值越大,包含的图像信息及能量越多。即使在数值相同的情况下,由于低频子带反映的是图像的低频信息,对视觉比较重要。因此在低频系数中嵌入水印,可以保证水印的稳健性[5]。另外,不同的小波基具有不同的性质,从而导致小波系数的不同分布特征,最终使得它们对应的水印有不同的稳健性,本文选用具有紧支性、双正交性和正则性的小波函数db4作为小波基,同时将水印信息嵌入DWT域的低频系数中以增强算法的稳健性。



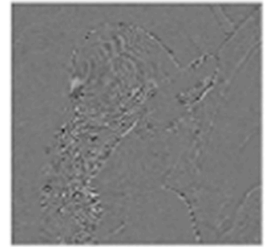
(a) 低频逼近子图 LL_3



(b) 水平方向的细节子图 HL_3



(c) 垂直方向的细节子图 LH_3



(d) 对角线方向的高频细节子图 HH_3

图2 Lena的三级小波分解

1.2 水印的奇异值分解

数值分析中的奇异值分解(SVD)是一种将矩阵对角化的数值算法,从线性代数的角度来看,一幅数字图像可以看成是由一个许多非负标量项组成的矩阵。用 $A \in \mathbb{R}^{M \times N}$ 来表示图像矩阵,其中 $\mathbb{R}$ 表示实数域,假设其大小为 $M \times N$,这样 A 就可以表示成:

$$A = U \Sigma V^T \quad (1)$$

其中, $U \in \mathbb{R}^{M \times N}$ 和 $V \in \mathbb{R}^{M \times N}$ 都是正交阵, $\Sigma \in \mathbb{R}^{M \times N}$ 是一个非对角线上的项都是0的矩阵,其对角线上的元素满足

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r > \sigma_{r+1} = \dots = \sigma_M = 0 \quad (2)$$

其中, r 是 A 的秩,它等于非零奇异值的个数,所以有

$$\Sigma = \begin{pmatrix} \sigma_1 & & 0 \\ & \ddots & \\ 0 & & \sigma_M \end{pmatrix} \quad (3)$$

σ_i 是由该分解所唯一确定的,叫做 A 的奇异值。它是 AA^T 特征值的平方根。分解式 $U \Sigma V^T$ 称作 A 的奇异值分解。

从图像处理的角度来看,奇异值分解具有以下主要特性:一幅图像的奇异值具有相当好的稳定性,即图像受到轻微的扰动时,它的奇异值不会发生剧烈的改变,奇异值能够表现出图像内在的代数特性。所以,基于奇异值分解(Singular Valued Compositions, SVD)的图像数字水印算法,对转置、镜像、旋转、放大和平移等的几何失真是稳健的[6]。

1.3 水印的混沌置乱加密

本文使用具有一定意义的、可包含版本信息的

二值图像作为水印,并利用 Logistic 混沌序列对水印置乱加密. Logistic 映射是典型的、广泛应用的一维混沌模型,其函数如下

$$x_{k+1} = \mu_{x_k} (1 - x_k) \quad (4)$$

式中分支参数 $\mu \in [0, 4]$, $x_k \in (0, 1)$, 当 $3.569\ 945 < \mu \leq 4$ 时, Logistic 映射工作处于混沌状态. 混沌序列具有易于生成、伪随机、长期不可预测、类似白噪声以及对初值敏感的优势. 由文 [7] 可知, 利用 Logistic 混沌序列在不增加水印信息量的前提下置乱水印, 具有很好的非相关性和保密性. 即使盗版者提取出了水印, 在不知道密钥的前提下也很难恢复出原始水印信息. 具体方法如下:

1) 输入密钥 $K(\mu, x_0)$, 产生混沌序列 X , 将 X 按升序排列, 即 $[X', l] = \text{sort}(X)$, A_n^* , X' 为升序排列的混沌序列, l 为索引序列;

2) 将索引序列 l 按列转换成二维矩阵 L ;

3) 按置乱索引矩阵 L 重排二值水印 W , 得到置乱的水印 W' .

解密算法是置乱加密的逆过程. 图 3 为原始二值水印图像和置乱水印图像.



图3 二值水印图像混沌置乱

1.4 水印的嵌入算法

1) 首先根据前文所述的图像混沌置乱方法对水印图像置乱, 并产生密钥 K , 应用奇异值分解 SVD, 对置乱后的水印图像进行分解: $W = U_W \Sigma_W V_W^T$, $i = 1, \dots, n$ 为 Σ_W 的奇异值元素.

2) 将原始图像 A 进行三级小波分解, 得到一个低频逼近子图系数矩阵, 和不同分辨率级别下的水平边缘分量, 垂直边缘分量和对角边缘分量, 分别记 $LL_\lambda, LH_\lambda, HL_\lambda, HH_\lambda$, $\lambda = 1, 2, 3$, 然后取第三层低频逼近子图 LL_3 系数矩阵对其进行升序排列, 取前 n 位最大值 A_n .

3) 利用式(5)来修改低频系数矩阵, 把水印奇异值嵌入到载体图像中. 其中 α 是水印嵌入比例因子, 用来调节水印嵌入图像的程度, 本文取 $\alpha = 0.1$.

$$A_n^* = A_n + \alpha \times \Sigma_w \quad (5)$$

4) 用 A_n^* 代替原来的 A_n 产生新的 LL_3 系数矩阵, 然后对载体图像矩阵进行 IDWT 变换, 得到嵌入水印的图像矩阵 A^* .

1.5 水印的提取算法

1) 利用 DWT 分解嵌入水印图像 A^* , 得到三级 DWT 分解低频系数 LL_3 并取其前 n 位最大值 A_n^* .

2) 利用公式(6)提取出水印图像的奇异值, 即

$$\Sigma_w^* = 1/\alpha (A_n^* - A_n) \quad (6)$$

3) 利用式(7)构造提取出的水印图像 W^* , 有

$$W^* = U_W \Sigma_w^* V_W^T \quad (7)$$

根据密钥 K , 对 W^* 进行混沌逆置乱, 最终得到提取出的水印图像 W^* .

2 实验结果分析

在 Matlab6.5 环境下对水印算法进行仿真实验. 实验采用 512×512 灰度级图像 Lena 作为原始图像, 水印采用 64×64 的二值图像. 利用峰值信噪比(PSNR)作为图像质量的客观评价标准, 采用相关系数(NC)作为提取出的水印与原水印的相似性的评价标准. 当嵌入强度 α 为 0.1 时, 嵌入水印后的图像(见图 6)与原始图像(见图 4)之间的峰值信噪比(PSNR)为 42.627 7, 基本无视觉差异. 在未受到任何攻击时, 提取构造出的水印图像图 5, 对嵌入水印图像进行攻击测试实验, 部分攻击后图像显示如图 7~9, 提取水印图像结果如表 1 所示, 可见, 本算



图4 原始图像



图5 水印图像

法对于抵抗 JPEG 压缩,高斯噪声,几何操作,低通滤波等攻击效果显著.



图 6 嵌入水印后图像



图 7 椒盐噪声攻击



图 8 旋转 20°攻击



图 9 JPEG 压缩攻击

表 1 水印图像攻击测试结果

处理	提出水印	NC 值	处理	提出水印	NC 值
高斯噪声(0.3)		0.961 1	乘性噪声		0.959 1
JPEG(30%)		0.954 1	椒盐噪声		0.968 8
旋转(20°)		0.938 9	高斯低通滤波		0.936 2
直方图均衡化		0.977 1	剪切		0.830 1

3 结 语

本文把具有良好的多分辨率表示,时频局部分析特性的离散小波变换 DWT 与代表图像内在代数特性的奇异值分解 SVD 相结合,将水印的奇异值嵌入到载体图像的三级小波分解的低频系数矩阵中.实验结果显示:对于抵抗 JPEG 压缩,高斯噪声,几何操作,低通滤波等攻击效果显著,该方法对一些常见的图像攻击及几何变换等均具有较好的鲁棒性,是一种行之有效的算法.

参 考 文 献:

[1] ZHOU B,CHEN J. A Geometric Distortion Resilient Image Watermarking Algorithm Based on SVD [J]. Image and Graphics,2004, 9(4) :506 – 512.

[2] EMIR Ganic,AHMET M Eskicioglu. Robust DWT-SVD Domain Image Watermarking: Embedding Data Inallfrequencies [C] //Proceedings of the 2004 Workshop on Multimedia and Security. Magdeburg, Germany: ACM Special Interest Group on Multimedia, 2004: 166 – 170.

[3] 刘九芬. 小波理论及其在图像压缩和数字水印中的应用 [D]. 杭州: 浙江大学,2003.

[4] 师晶,林克正,秦丽萍. 基于 DWT 和 SVD 的改进分块图像水印算法 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2009, 14(5) :35 – 39.

[5] 裴树军,王宇,石福斌. 一种鲁棒性水印和易损性水印符合算法 [J]. 哈尔滨理工大学学报, 2008, 13(2) :57 – 59.

[6] 杨俊,张贵仓,魏伟一. 基于小波变换和奇异值分解的数字水印算法 [J]. 长春理工大学学报, 2005, 28(4) :0081 – 0034.

[7] 刘新,王英. 一种混沌置乱的 DCT 域数字水印算法 [J]. 科学技术与工程, 2007, 7(19) :5131 – 5133.

(编辑: 付长纓)