

# 基于 DWT-SVD 与量化相结合的盲水印算法

王忠

(武汉工程大学 计算机科学与工程学院, 湖北 武汉 430073)

**摘要:** 提出了一种新的盲鲁棒水印算法,它充分利用了小波变换的多分辨特性和矩阵奇异值分解的能量稳定特性,通过量化的方法将二值水印嵌入到原始图像的低频区域中,在水印的提取过程中不需要原始图像参与。实验证明,该水印算法的鲁棒性较好,具有不可见性,比 Sun 算法的性能有所提高。

**关键词:** 盲水印 离散小波变换 奇异值分解 量化 鲁棒性

随着数字多媒体技术和网络技术的迅速发展及广泛应用,多媒体数字产品的版权保护便成为迫切需要解决的问题。于是,采用数字水印技术实现版权保护的办

法,就成为了多媒体信息安全领域研究的热点。近几年,关于奇异值分解 SVD(Singular Value Decomposition)的水印方案引起了人们的关注。2002 年 Liu<sup>[1]</sup>首先提出了基于 SVD 的数字水印算法,随后一些文献<sup>[2-7]</sup>按照此方法提出了一些相近的算法。然而参考文献<sup>[8]</sup>对 Liu 的算法进行了评论,认为这类算法存在严重的缺陷,主要问题是水印提取过程中需要的左右奇异矩阵与提取的水印之间存在很大的相关性。2002 年 Sun<sup>[9]</sup>提出了基于量化的奇异值分解的水印算法。这两类方法基本上代表了目前基于 SVD 的水印算法,但仍然有不足之处。本文提出的盲水印算法结合小波变换(DWT)的多分辨特性和矩阵奇异值分解(SVD)的能量稳定特性,通过量化的方法实现水印嵌入,提取过程中不需要原始图像和其他信息。实验结果表明,该算法对常用的图像处理操作具有鲁棒性和不可见性,与 Sun 算法相比性能有所改善。

## 1 理论背景

### 1.1 DWT 和 SVD

小波变换是近年来兴起的一个崭新的信息分析理论。它是一种信号的空间(时间)尺度分析方法,具有多分辨率分析的特点,很好地表现了信号的时(空)频域局部特性。利用小波变换可提高水印在视觉上的隐蔽性和稳健性。

矩阵奇异值分解是矩阵所固有的特性。设矩阵  $A \in R^{n \times n}$ ,则矩阵  $A$  的奇异值分解定义如下:

$$A=UDV^T$$

$$=[u_1, u_2, \dots, u_n] \begin{bmatrix} \sigma_1 & & & \\ & \sigma_2 & & \\ & & \dots & \\ & & & \sigma_n \end{bmatrix} [v_1, v_2, \dots, v_n]^T = \sum_{i=1}^n \sigma_i u_i v_i^T$$

式中,  $U=[u_1, u_2, \dots, u_n] \in R^{n \times n}$  和  $V=[v_1, v_2, \dots, v_n] \in R^{n \times n}$  是正交矩阵,其列向量分别是  $u_i$  和  $v_i$ ,  $U$ 、 $V$  分别称为矩阵  $A$

的左奇异矩阵和右奇异矩阵; $D$  是对角矩阵,满足  $\sigma_1 \geq \dots \geq \sigma_r \geq \sigma_{r+1} \geq \dots \geq \sigma_n \geq 0$ ; 矩阵  $A$  的奇异值是  $AA^T$  或  $A^T A$  的特征值  $\lambda_i$  的正平方根。矩阵奇异值具有很好的稳定性,当矩阵  $A$  有微小振动时,其奇异值的改变不会大于振动矩阵的 2-范数。基于奇异值分解的水印方案多数都是将水印嵌入到最大的奇异值上。

### 1.2 本算法的理由

现有的基于奇异值分解的水印算法可以分为两大类,一类算法是 Liu 提出的,另一类算法是 Sun 提出的。Liu 算法的特点是将水印矩阵叠加在奇异值矩阵中,在水印提取过程中需要提供奇异值分解中的左、右奇异矩阵。Zhang<sup>[8]</sup>对 Liu 的算法进行了评论,认为这类算法存在严重的缺陷,主要问题是水印提取过程中需要的左右奇异矩阵与提取的水印之间存在很大的相关性,说明这类算法基本上行不通。Sun 的算法是基于量化嵌入的盲水印算法,将原始图像进行  $8 \times 8$  分块,然后进行奇异值分解,将水印嵌入到量化的最大奇异值上,这类算法在提取水印时不需要原始图像,但仍有不足之处,应该是未来研究的重点。

通过实验发现,原始图像经过小波分解后,其低频区的数值相对原图像来说略大一些,经过奇异值分解的最大奇异值也比直接对原图像进行奇异值分解的最大奇异值要大。本文选择基于 DWT-SVD 的方法的主要理由是:

(1)大的奇异值对于量化嵌入水印具有更好的鲁棒性。

(2)小波分解后选择低频区域嵌入水印更有利于提高水印的鲁棒性。

本文充分利用小波变换的低频系数与 SVD 的最大奇异值的能量稳定特性来嵌入水印,嵌入过程采用量化的嵌入方法,使水印的鲁棒性增强。由于采用了量化的嵌入方法,在提取水印过程中不需要原始载体图像和水印,是一种盲水印算法。

## 2 水印算法

### 2.1 水印的嵌入

嵌入算法如下:

- (1) 将原始载体图像分成互不重叠的  $8 \times 8$  子块。
- (2) 对子块进行一层小波分解, 分成  $LL$ 、 $LH$ 、 $HL$  和  $HH$  四个子块, 各个子块的大小为  $4 \times 4$ 。
- (3) 对  $LL$  子块进行 SVD 分解,  $LL = UDV^T$ 。
- (4) 选择奇异值矩阵中最大的奇异值 ( $\sigma_1$ ) 进行量化嵌入, 量化步长  $Q$  为水印算法的强度因子, 其值越大, 水印算法的鲁棒性越强; 否则水印图像的不可见性越差。设  $Z = \text{mod}(\sigma_1, Q)$  为取余运算,  $w$  为嵌入的水印信息位, 具体量化方法如下:

$$\text{当 } w=1 \text{ 时 } \begin{cases} \sigma_1' = \sigma_1 - Z - Q/4 & \text{若 } Z < Q/4 \\ \sigma_1' = \sigma_1 - Z + 3Q/4 & \text{若 } Z \geq Q/4 \end{cases}$$

$$\text{当 } w=0 \text{ 时 } \begin{cases} \sigma_1' = \sigma_1 - Z + Q/4 & \text{若 } Z < 3Q/4 \\ \sigma_1' = \sigma_1 - Z + 5Q/4 & \text{若 } Z \geq 3Q/4 \end{cases}$$

- (5) 将修改后的奇异值矩阵进行  $LL' = UD'V^T$  换算, 将  $LL'$ 、 $LH$ 、 $HL$  和  $HH$  进行逆小波变换, 得到新的图像子块;

- (6) 重复上述过程直到嵌入所有水印信息位为止。

### 2.2 水印的提取

水印的提取过程是嵌入过程的逆过程。具体的提取算法如下:

- (1) 将水印图像分成互不重叠的  $8 \times 8$  子块。
- (2) 对子块进行一层小波分解, 分成  $LL$ 、 $LH$ 、 $HL$  和  $HH$  四个子块, 各个子块的大小为  $4 \times 4$ 。
- (3) 对  $LL$  子块进行 SVD 分解,  $LL = UDV^T$ 。
- (4) 根据奇异值矩阵中最大的奇异值 ( $\sigma_1$ ) 进行量化, 提取水印信息。设  $Z = \text{mod}(\sigma_1, Q)$ , 具体量化方法如下:

$$w = \begin{cases} 1 & \text{若 } Z \geq Q/2 \\ 0 & \text{若 } Z < Q/2 \end{cases}$$

- (5) 重复上述过程直到提取所有水印信息位。

为了客观评价数字水印算法, 采用了峰值信噪比 ( $PSNR$ )、归一化相关系数 ( $NC$ ) 两个指标评价水印的质量及水印对图像的影响程度, 并定义如下:

$$PSNR = 10 \log_{10} = \frac{M \times N \times (255)^2}{\sum_{M,N} [I(i,j) - I'(i,j)]^2} \quad (1)$$

$$NC = \frac{\sum_{P,Q} w(i,j)w'(i,j)}{\sum_{P,Q} w^2(i,j)} \quad (2)$$

式中,  $I$  和  $I'$  分别为原始载体图像和水印图像, 图像大小为  $M \times N$ ;  $w$  和  $w'$  分别为原水印图像和提取的水印图像, 图像大小为  $P \times Q$ 。

## 3 实验结果

实验采用的原始载体图像是  $512 \times 512$  大小的 Lena 灰度图像, 如图 1 所示; 水印是  $64 \times 64$  大小的二值图像, 如图 2 所示。

本实验取量化步长  $Q=50$ , 嵌入水印后图像的  $PSNR=$



图 1 载体图像

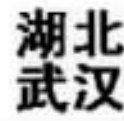


图 2 水印

44.4462dB, 如图 3 所示, 水印如图 4 所示。针对 Sun 的算法 (重新编程) 进行了比对, Sun 算法嵌入水印后图像  $PSNR=42.4391\text{dB}$ 。可以看出, 本文的算法嵌入水印后对图像的品质影响较小, 不可见性较好。



图 3 水印图像

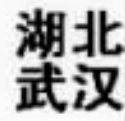


图 4 提取水印

通过表 1 的数据可以看出, 在一些常用的攻击条件下, 提取水印的  $NC$  值较大, 说明该算法的鲁棒性较好; 同时在相同的攻击条件下, 本文算法提取的水印与 Sun 算法相比提取水印的相似度略高, 说明本算法的性能优于 Sun 的算法。

表 1 攻击实验数据

	NC (本文方案)	NC (Sun 方案)
JPEG ( $Q=70$ )	1	1
JPEG ( $Q=30$ )	0.8994	0.8855
中值滤波	0.9582	0.9524
维纳滤波	0.9945	0.9836
高斯滤波	0.9556	0.9450
椒盐加噪	0.8379	0.8267
旋转 $10^\circ$	0.8646	0.8514

本文提出利用小波变换的多分辨特性和矩阵奇异值分解的能量稳定特性, 并结合量化技术的嵌入方法, 增强水印的鲁棒性; 提取水印过程不需要原始载体图像和水印。通过实验表明, 该算法对常用的图像处理具有较好的鲁棒性和不可见性, 与 Sun 算法相比性能有所改善。

### 参考文献

- [1] LIU Rui Zhen, TAN Tieniu. An SVD-based watermarking scheme for protecting rightful ownership[J]. IEEE Transac-

- tions on Multimedia, 2002,4(1):124-128.
- [2] LIU Quan, QINGSONG A I. A combination of DCT-based and SVD-based watermarking scheme[J]. IEEE Transactions on Multimedia. 2002,4(1):121-128.
- [3] WU Yong Dong. On the security of an SVD-based ownership watermarking[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2005,7(4):624-627.
- [4] CHUNG Y D, KIM C H. Robust image watermarking against filtering attacks[J]. SICE 2003 Annual Conference, 3:3017-3020.
- [5] TANG Xiang Hong, YANG Lian Jie, LI Lu, etc. Study on multifunction watermarking algorithm[M]. [S.l.]:[s.n], 2004:848-852.
- [6] TANG Xiang Hong, YANG Lian Jie, YUE Heng Li. A watermarking algorithm based on the SVD and Hadamard Transform[M]. [S.l.]:[s.n], 2005,874-877.
- [7] HUANG Fang Jun, GUAN Zhi Hong. A hybrid SVD-DCT watermarking method based on LPSNR[J]. Pattern Recognition Letters, 2004,25(15):1769-1775.
- [8] ZHANG Xiao Ping, LI Kan. Comments on An SVD-based watermarking scheme for protecting rightful Ownership[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2005,7(3):593-594.
- [9] SUN Rui, SUN Hong, YAO Tian Ren. A SVD-and quantization based semi-fragile watermarking technique for image authentication[C]//Signal Processing, 2002 6th International Conference, Volume 2. [S.l.]:[s.n], 2002: 1592-1595. (收稿日期:2006-09-26)