

基于 SVD 分解的小波数字水印算法的研究

夏菽兰¹, 王吉林¹, 赵 力²

(1 盐城工学院, 实验教学部, 江苏 盐城 224051; 2 东南大学 信息科学与工程学院, 江苏 南京 210096)

摘 要: 提出了一种基于 SVD 分解与小波分解的小波隐形水印算法. 通过奇异值分解实现盲提取, 把水印图像嵌入小波分解的中频子带, 最后运用归一化互相关函数(NC)和峰值信噪比(PSNR)进行定量分析, 验证该算法有很好的不可见性与鲁棒性.

关键词: 数字水印; Arnold 变换; SVD 分解; 小波变换; 鲁棒性

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)06-0128-03

Research on Wavelet Digital Watermarking Algorithm on the Basis of SVD Decomposition

XIA Shu-lan¹, WANG Ji-lin¹, ZHAO Li²

(1 Yancheng Institute of Technology, College of Information Engineering, Yancheng 224051, China;

2 College of Information Science and Engineering, Southeast University, Nanjing 210096, China)

Abstract: Based on SVD decomposition, an digital watermarking algorithm with the method of wavelet transform is proposed. By means of singular value decomposition to realize blind extracting, the watermarking image is embedded into intermediate frequency sub bands of wavelet composition. Finally, applying normalized cross-correlation function (NC) and peak signal to noise ratio (PSNR), it has proved that this algorithm has better invisibility and robustness.

Key words: digital watermarking; Arnold transform; SVD decomposition; wavelet transform; robustness

1 引言

随着数字媒体的广泛应用,其版权保护也已成为迫切需要解决的问题. 数字水印算法将一个版权识别代码序列(水印信号)嵌入到图像(空域或变换域)中,利用它可以跟踪数字产品拷贝的非法销售和使用. 有效的数字水印算法必须考虑水印的不可见性和鲁棒性,而这两个特性是相互矛盾的,如何在这个两个特性间进行权衡,也就是如何确定水印的嵌入能量,是设计数字水印算法过程中必须解决的问题. 对于不可感知性要求,水印嵌入的能量越低越好,对于鲁棒性要求,则正好相反^[1]. 小波变换具有良好的时频局部特性,小波域水印有比其它频域水印更多的优点,可以很好地控制水印的嵌入位置和

强度,控制水印在载体中的分布,更好地解决鲁棒性和不可见性之间的矛盾. 因而小波变换在数字图像水印技术中得到了广泛地应用. 文中主要研究数字图像的小波域有意义水印技术,在小波基的选择、小波域灰度级水印、结合图像小波编码的标志符水印等方面展开研究.

2 相关技术

2.1 图像置乱和 Arnold 变换

图像置乱技术^[2]可作为数字水印图像的预处理和后处理,消除了图像像素点之间或图像分块之间的相关性,置乱后的图像把原先相对集中的像素分散开来,提高水印图像的隐蔽性和安全性,增强了水印抵抗恶意攻击的能力.

收稿日期: 2009-05-31; 修回日期: 2009-09-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(60472058)

Arnold 变换是 Arnold 在遍历理论研究中提出的一种变换,是一种传统的混沌系统.对于一幅的二值图像,基于像素点坐标离散化的 Arnold 变换图像置乱定义为:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \pmod{N} \quad (1)$$

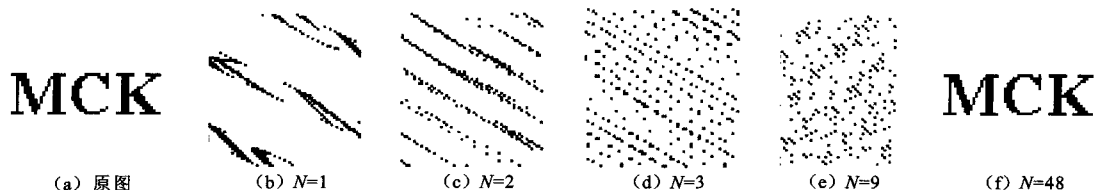


图1 N 次迭代图像置乱

2.2 图像的小波分解

小波变换基本思想就是对原图像进行细致的频率分离即多分辨率分解.

对图像信号进行小波分解,设给出平方可积的二维图像信号 $\{x_{m,n}\}$, $m, n \in \mathbb{Z}$ 令 $C_{0,m,n} = x_{m,n}$, 则二维小波图像的分解公式为^[3]:

$$\begin{cases} C_{j,m,n} = \sum_{k_1 \in \mathbb{Z}} \sum_{k_2 \in \mathbb{Z}} h_{k_1-2m} h_{k_2-2n} C_{j+1,k_1,k_2} \\ d_{j,m,n}^1 = \sum_{k_1 \in \mathbb{Z}} \sum_{k_2 \in \mathbb{Z}} h_{k_1-2m} g_{k_2-2n} C_{j+1,k_1,k_2} \\ d_{j,m,n}^2 = \sum_{k_1 \in \mathbb{Z}} \sum_{k_2 \in \mathbb{Z}} g_{k_1-2m} h_{k_2-2n} C_{j+1,k_1,k_2} \\ d_{j,m,n}^3 = \sum_{k_1 \in \mathbb{Z}} \sum_{k_2 \in \mathbb{Z}} g_{k_1-2m} g_{k_2-2n} C_{j+1,k_1,k_2} \end{cases} \quad (2)$$

通过小波变换,原图像被分解为4个子带图像:水平和垂直方向的低频子带图像 LL_1 ,水平方向的低频和垂直方向的高频子带图像 LH_1 ,水平方向的高频和垂直方向的低频子带图像 HL_1 水平和垂直方向的高频子带图像 HH_1 ,若对低频子带 LL_1 再进行小波分解,又可得到更低分辨率的4个2级子带图像,如此反复可对图像进行多级小波分解.

图像小波分解后,低频部分包含图像的基本特征,在图像重构算法中起主导作用,因此这部分信号最好精确保留,而是主要考虑把水印信息加入到高频分量;高频分量代表图像的灰度值突变点,对这些突变点的数值作一点改动,不会较大地影响图像重构质量,这也符合人眼的视觉原理.因为人的眼睛对高频成份不敏感,所以对一幅图像的边缘突变部分也不敏感.图2为 lena 图像的三层小波分解.

2.3 奇异值分解

矩阵的奇异值分解(SVD)变换^[4]是一种正交变换,其定义为:若矩阵 $A \in R^{m \times n}$,则存在正交矩

阵,系数矩阵为变换矩阵,简称 Arnold 变换. (x, y) 和 (x', y') 分别为原图和置乱后图像的像素点. N 为图像的阶数. Arnold 变换具有周期性,在二维的图像置乱后,当变换经过一定的迭代次数 T 后,将重新获得原始的水印图像.图1是一幅二值图像做置乱变换的结果, T 为迭代次数,图像阶数 N 为64.

阵 $U = [u_1, u_2, \dots, u_n] \in R^{m \times n}$, 及正交矩阵 $V = [v_1, v_2, \dots, v_n] \in R^{m \times n}$, 使得 $U^T A V = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_q) = S$, 即:

$$S = U^T A V \quad (3)$$

在数字图像处理中,运用奇异值分解技术主要有以下几个方面的优势:(1)SVD 分解对所要进行变换的矩阵的大小没有什么限制,可以是方阵也可以是长矩阵;(2)对于一般的图像处理,奇异值的稳健性非常好,不会有很大的变化;(3)奇异值反映的是图像内蕴特性而不是视觉特性,反映的是图像矩阵元素之间的关系.

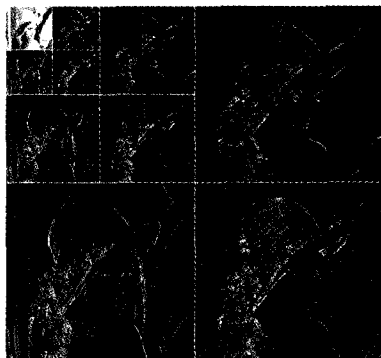


图2 lena 图像的三层小波分解

3 数字水印算法描述

3.1 水印图像的嵌入

原始载体图像 I 的大小为 $M \times M$, 原始水印图像 W_0 为 $N \times N$. 算法的基本思想就是先将水印图像 W_0 置乱加密, 得到待嵌入的水印图像 W , 然后将载体图像 I 进行分块的三层小波分解, 取出第三层小波分解的一个中频成分进行 SVD 分解, 进行奇异值量化, 最后小波逆变换获得水印图像^[5]. 具体过程如下:

(1) 将原始水印图像 W_0 进行二维 Arnold 置乱得待嵌入的水印图像 W , 迭代的次数为 k , 作为一个密钥.

(2) 将载体图像两层小波变换, 获得 1 个低频子带和 6 个中高频子带.

(3) 取出小波变换后获得的 HL_2, LH_2 两个中频子带进行小波逆变换, 得到中频图像矩阵 P .

(4) 对 P 进行 SVD 分解:

$$SVD(P) = [U_p S_p V_p] \quad (4)$$

(5) 对待嵌入的水印图像 W 进行 SVD 分解:

$$SVD(W) = [U_w S_w V_w] \quad (5)$$

(6) 获得新的中频图像的对角矩阵 S'_p :

$$S'_p = S_p + \alpha S_w \quad (6)$$

其中, α 为强度因子.

(7) 重构中频图像矩阵 P' :

$$P' = U_p S'_p V_p^T \quad (7)$$

(8) 对 P' 一层小波变换获得新的中频矩阵 HL'_2, LH'_2 , 并进行二层小波逆变换获得水印图像 I' .

3.2 水印图像的提取

水印图像的提取可以看成水印图像嵌入的逆过程, 具体过程如下:

(1) 将嵌入水印图像 I' (也有可能是受损的嵌入水印图像 I^*) 两层小波变换, 并提取两个中频子带 HL_2^*, LH_2^* .

(2) 将 HL_2^*, LH_2^* 两个中频子带进行小波逆变换, 得到中频图像矩阵 P^* .

(3) 对 P^* 进行 SVD 分解:

$$SVD(P^*) = [U_{P^*} S_{P^*} V_{P^*}] \quad (8)$$

(4) 水印的提取:

$$S_{W^*} = (S_{P^*} - S_P) / \alpha \quad (9)$$

$$W^* = U_W S_{W^*} V_W^T \quad (10)$$

(5) 将 W^* 根据密钥 k , 进行二维 Arnold 反置乱得到所需提取的水印图像 W (可能是受损的水印图像).

4 仿真实验

为了定量分析提取的水印与原水印的相似度, 采用归一化互相关函数 (NC) 进行描述. 采用峰值信噪比 (PSNR)^[6] 来度量载体图像与原始图像之间的质量差别.

归一化互相关函数 (NC) 定义:

$$NC = \frac{\sum_{i,j} w_{i,j} w'_{i,j}}{\sum_{i,j} w_{i,j}^2} \quad (11)$$

峰值信噪比 (PSNR) 定义:

$$PSNR = 10 \lg \frac{i \times j \max_{i,j} \sum_{i,j} w_{i,j}^2}{\sum_{i,j} (w_{i,j} - w'_{i,j})^2} \quad (12)$$

式 (11)、(12) 中, $w_{i,j}$ 为原水印, $w'_{i,j}$ 为提取的水印, i, j 分别为水印图像的行数与列数.

文中选取的 lena 图像作为载体图像 I , 用 64×64 的二值图像作为水印图像 W_0 , 使用 MATLAB 来进行仿真实验. 由图 3 可以看到水印图像有很好的不可见性.



(a) 原始图像及其水印



(b) 嵌入水印的图像及提取水印

图 3 无攻击下的仿真实验

为了考察算法的鲁棒性, 对嵌入水印图像分别进行 JPEG 压缩、中值滤波、高斯低通滤波、加噪、剪切等操作后提取水印图像^[7], 受到攻击后的嵌入水印图像与提取的水印图像的性能指标如表 1、表 2.

表 1 不同攻击下的 PSNR/NC

嵌入水印图像	高斯噪声	中值滤波	剪切	高斯低通滤波
40.331/1.00	33.906/0.905	34.529/9.31	31.450/9.26	37.609/9.57

表 2 不同 JPEG 压缩率下的 NC 值

压缩率	100	90	70	60	40	30	20	10
NC 值	1.00	0.99	0.91	0.90	0.87	0.82	0.71	0.62

5 结束语

运用 ARNOLD 变换对图像进行置乱, 并利用图像的小波分解与矩阵的奇异值分解的小波水印算法^[8], 有如下的优点: ARNOLD 变换对水印图像进行置乱处理, 使得水印图像有较好的隐蔽性和安全

(下转第 133 页)

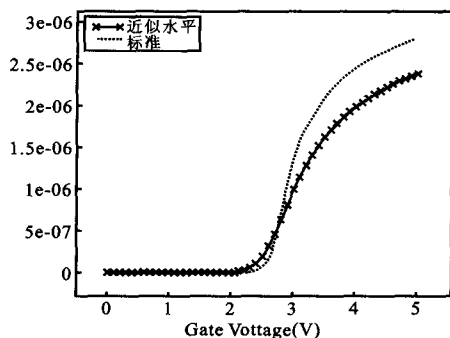


图5 沟道区多次注入与标准器件结构的转移特性曲线比较

3 结束语

文中通过使用 SILVACO 软件对功率器件 VUMOSFET 进行工艺和器件模拟,分析了功率 VUMOSFET 器件沟道区掺杂浓度分布的不同对器件阈值电压的影响,得出改进工艺的方法.当然在实际设计过程中,影响器件阈值电压其他因素也需要考

虑,如栅氧化层厚度等.文中分析得出:通过 SILVACO 器件工艺模拟得到的仿真值与实际计算值基本吻合,分析结果对功率 VUMOSFET 器件的设计具有指导意义.

参考文献:

- [1] 刘玉书,赵忠. IGR—一种新型的功率器件的研制[J]. 微电子学与计算机, 1986, 13(11): 37—39.
- [2] 沈伟星,冉峰,程东方,等. DC—DC 转换器中功率沟槽 MOSFET 的优化设计[J]. 微电子学与计算机, 2007, 24(8): 157—160.
- [3] 李宏泽,张波,李肇基. 短沟 DMOS 阈值电压模型[J]. 电子与信息学报, 2005(2): 27.
- [4] 陈军宁,柯申明. 非均匀掺杂衬底 MOS 阈值电压的解析模型[J]. 固体电子学研究进展, 1999(5): 19.

作者简介:

石广源 男, (1951—), 教授. 研究方向为微电子学和微电子技术研究.

(上接第 130 页)

性;SVD 分解运用到数字水印图像提高了图像的鲁棒性与稳健性,有很好的抗攻击的能力;水印图像嵌入深层次的小波分解的中频子带,既保证了载入图像的质量,又保证了水印图像的不可见性.文中算法能够实现水印图像鲁棒性与不可见性的很好结合,对图像有损压缩、噪声、滤波、剪切都有很好的鲁棒性.

参考文献:

- [1] 王卫卫. 小波与提升及其在图像数字水印中的算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学, 2001.
- [2] 黄兴,张敏瑞. 图像置乱程度的研究[J]. 武汉大学学报:信息科学版, 2008, 33(5): 465—468.
- [3] 许慧. 基于小波包变换的数字水印技术[D]. 长沙:湖南大学, 2008.
- [4] 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(2): 168—171.
- [5] 易开祥. 数字图像加密与数字水印技术研究[D]. 杭州:

浙江大学, 2001.

- [6] Zhang X D, Lo K T, Feng J, et al. A robust image watermarking using spatial—frequency feature of wavelet transform[C]// 5th International Conference on Signal Processing. China, Beijing: Tsinghua University, 2000(2): 1100—1105.
- [7] 孙圣和,陆哲明. 数字水印处理技术[J]. 电子学报, 2000, 28(8): 85—90.
- [8] 陈天平,吴昌银,岳青松. 一种基于 DCT 和 DWT 的数字图像水印算法[J]. 微电子学与计算机, 2009, 26(4): 58—60.

作者简介:

夏菽兰 女, (1969—), 高级讲师. 研究方向为电子技术与信息处理.

王吉林 男, (1966—), 硕士, 副教授. 研究方向为信号与信息处理.

赵力 男, (1958—), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为信号与信息处理.