

基于 Contourlet 变换域的自适应量化索引 调制数字图像水印算法

朱少敏¹ 刘建明²

(¹ 中国电力科学研究院, 北京 100192; ² 国网信息通信有限公司, 北京 100761)

摘要 提出了一种新的基于 Contourlet 变换域的自适应量化索引调制数字图像水印算法。原始二值水印经过扩展置乱、降维和伪随机序列加密, 嵌入到宿主图像经 Contourlet 变换后的低通子带系数中。根据低通子带能量分布特性, 对分块低通子带的最大奇异值采用自适应量化索引调制, 实现水印嵌入。实验结果表明, 该水印算法不仅对嵌入的水印具有良好地视觉保真度, 而且对 JPEG 压缩、低通滤波、加性噪声、重采样、剪切等多种攻击具有很强的稳健性。同时采用量化嵌入策略, 水印提取时不需要宿主图像, 即可实现水印图像盲提取。

关键词 图像处理; Contourlet 变换域; 扩展置乱; 能量分布; 自适应量化索引调制; 盲水印

中图分类号 TP309 **文献标识码** A **doi**: 10.3788/AOS20092906.1523

Adaptive Quantization Index Modulation Digital Image Watermarking Algorithm Based on Contourlet Transform Domain

Zhu Shaomin¹ Liu Jianming²

(¹ China Electric Power Research Institute, Beijing 100192, China
² State Grid Information & Telecommunication Co., Ltd., Beijing 100761, China)

Abstract A novel adaptive quantization index modulation digital image watermarking algorithm in contourlet transform domain is proposed. The original binary watermark image is preprocessed through extended scrambling, dimension reduction and pseudorandom sequence encryption. The secret watermark information bits are embedded into low-pass subband coefficients in contourlet transform domain. According to energy distribution in lowpass subband, the largest singular value of the selected lowpass subband coefficients blocks is adaptively operated by quantization index modulation for embedding watermark information. Experimental results show that the algorithm has good imperceptibility and robustness against the attacks of JPEG compression, low-pass filtering, additive noise, resampling and image cropping. Because of quantization embedding strategies, no host image is needed in watermarking extraction, which is a blind watermarking algorithm.

Key words image processing; contourlet transform domain; extended scrambling; energy distribution; adaptive quantization index modulation; blind watermarking

1 引 言

由于小波变换具有良好的时频分析特性、局部特性表征能力强和与人眼视觉特性相一致等显著优点^[1,2], 因此基于离散小波变换 DWT (discrete

wavelet transform) 的水印算法已成为数字水印^[3]研究领域的重要方法。这些算法在水印容量、不可见性和稳健性等方面不同程度地改进和提高了数字水印性能^[4~6]。但是, 小波变换在处理二维图像信

收稿日期: 2008-10-27; 收到修改稿日期: 2008-12-10

作者简介: 朱少敏(1983—), 男, 博士研究生, 主要从事电力系统多媒体信息安全方面的研究。

E-mail: smzhu@sgcc.com.cn

导师简介: 刘建明(1955—), 男, 教授, 博士生导师, 主要从事信息与通信技术方面的研究。

E-mail: jianming-liu@sgcc.com.cn

息时,无法最优地表示奇异性曲线;通过小波变换的图像也只能分解为有限的水平方向、垂直方向和对角方向,无法体现图像的各向异性特征和有效地捕捉图像轮廓信息。因此,小波分析并不是最优的或者说最稀疏的函数表示方法。Minh N Do 等^[7,8]提出了一种“真正”的二维图像表示新方法-Contourlet 变换。Contourlet 变换不仅具有灵活局部特性的多分辨率图像表示,而且能够利用图像本身的几何特征,捕捉图像中线和轮廓等几何结构,具有多方向性和各向异性。因此被广泛地应用于图像降噪、图像编码、以及图像融合等各类图像处理中^[9~12]。在图像数字水印研究中,Contourlet 变换域的低通子带和带通方向子带均含有水印信息^[13],并利用低通子带变换结构提取水印。水印嵌入到 Contourlet 变换具有最大能量的方向子带中^[14],并利用零均值广义高斯分布 (Generalized Gaussian distribution, GGD)拟合 Contourlet 系数,实现基于极大似然估计的盲水印检测。利用改进的小波域 HVS(human visual system)模型^[15],把伪随机序列组成的水印信号自适应地嵌入到能量最大的子带中。以上算法均采用无意义的伪随机序列作为水印信息,通过统计策略来确定信号中是否含有水印信息,实用性不强。文献^[16]采用有意义的二值图像作为水印信息,利用 Contourlet 变换得到的带通方向子带亮度和纹理特性自适应地确定水印嵌入位置,并通过修改 Contourlet 变换系数的极性嵌入水印信息,从实验结果可以看出该算法稳健性有待进一步提高。

本文将图像 Contourlet 变换和量化索引调制算法相结合,利用变换后分块低通子带系数的能量分布特性,自适应地对子块的最大奇异值采用量化索引调制实现水印的嵌入。实验结果表明,算法有

着良好的图像视觉保真度,对多种图像处理攻击具有较强的稳健性。

2 Contourlet 变换

Contourlet 变换是一种具有多分辨率、局部定位、多方向性、近邻界采样和各向异性等性质的图像表示方法^[7,8]。图 1 所示 Contourlet 比小波有更多方向分量,能更稀疏地表示原图像轮廓信息,克服了小波变换不能最优地表示具有线或者面奇异的高维函数的不足,具有很好的各向异性,能更稀疏地表示图像中轮廓特征。

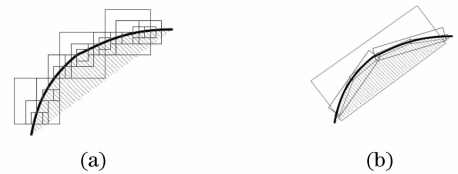


图 1 Wavelet (a)和 Contourlet (b)的曲线表示方式比较
Fig. 1 Comparison of curves presentations with the wavelet (a) and the contourlet (b)

Contourlet 变换将多尺度分析和方向分析分开进行。首先选用拉普拉斯金字塔式滤波器结构 (Laplacian pyramid, LP)变换对图像进行多尺度分析,捕获点奇异性。接着用方向性滤波器组 (Directional filter bank, DFB)将分布在同一方向上奇异点合成一个系数,捕获方向性。再根据方向信息将位置相近的奇异点汇集成轮廓段。以 512×512 的 Peppers 灰度图像为例,进行 3 层 Contourlet 分解,分别取 8 方向、4 方向和 2 方向。图 2(a)是分解流程图,图 2(b)是分解示意图。可以看出 Contourlet 变换将图像分解为多尺度、多方向子带。

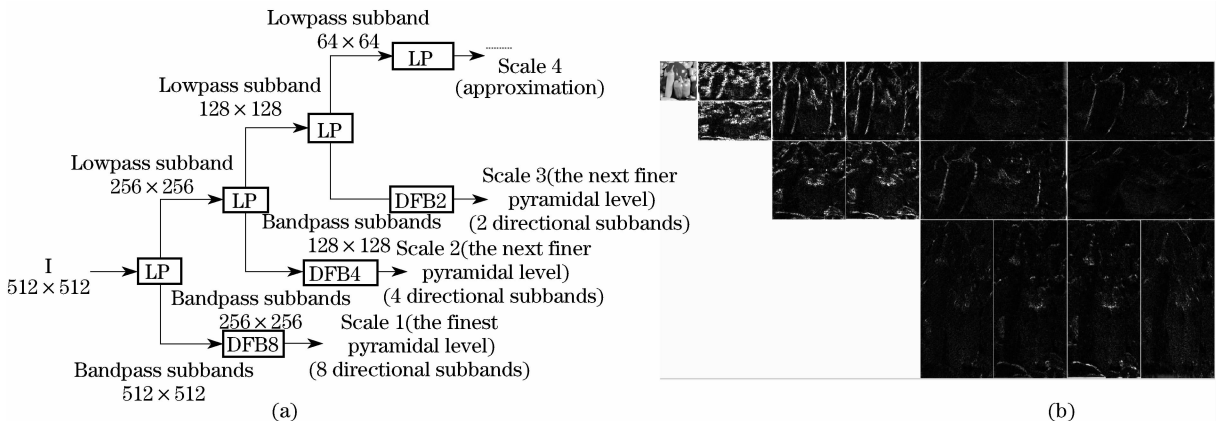


图 2 3 层 Contourlet 分解流程图(a)分解示意图(b)

Fig. 2 Flow chart (a) and sketch (b) of three-level Contourlet decomposition

3 算法的实现

3.1 水印图像预处理

采用一副有意义的二值图像作为水印,比传统伪随机序列有更高实用价值。为了消除水印像素之间相关性,增强系统稳健性和安全性,对水印进行置乱、降维和加密等预处理。

图像置乱是通过一幅给定图像按一定变换规则,在位置空间、色彩空间和变换空间将其变换为一幅杂乱无章、毫无意义的图像,实现对图像信息加密,是一种常用对水印图像预处理方法。常见置乱方法有 Arnold 变换、幻方变换、分形 Hilbert 曲线、Tangram 算法、IFS 模型、Conway 游戏、Gray 码变换、广义 Gray 码变换等方法^[17]。其中,Arnold 变换因变换简单且具有周期性,被广泛应用于各类数字水印算法中。Arnold 变换又称猫脸变换(Cat mapping),是 Arnold 在遍历理论研究中提出的一种变换。对于大小为 $N \times N$ 的数字图像,二维 Arnold 变换定义为

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

(x, y) 是变换前像素坐标, (x', y') 是置乱后像素坐标, $\bmod N$ 为对 N 取余数。为了拓展 Arnold 密钥空间,增强系统安全性,采用扩展 Arnold 变换置乱水印图像:

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}^n \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \bmod N. \quad (2)$$

以矩阵 $\begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix}$ 、矩阵迭代次数 n 和置乱变换次数作为置乱密钥 K_1 , 扩展密钥空间。同时,置乱后像素间关联关系被打乱,像素均匀地分布到整个图像空间中,提高算法稳健性。

为了便于分块嵌入水印,对置乱加密后的水印从左到右逐行扫描,生成一维水印序列。

经扩展置乱后,水印像素空间位置发生变换,像素值却保持不变。为了进一步提高安全性,以密钥 K_2 为随机种子,产生与一维水印序列等长伪随机扩频实数序列,并逐位与水印序列异或加密,最终形成待嵌入序列。

3.2 水印嵌入算法

设宿主图像为 256 级灰度图像 $I = \{I(i, j) | 1 \leq i \leq m, 1 \leq j \leq n\}$, 二值水印图像 $W = \{w(i, j) | 1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq q\}$, 伪随机序列为 $S = \{s_i | i = 1, 2, \dots, M; \}$ 且 $M = p \times q$ 。

Step 1: 对二值水印进行置乱、降维和加密预处理,得到一维待嵌入序列 W' :

$$W = \{w_i | i = 1, 2, \dots, M; w_i \in \{0, 1\}\}, \quad (3)$$

$$W' = \{w'_i = (w_i \oplus s_i) | w'_i \in \{0, 1\}\}. \quad (4)$$

Step 2: 对宿主图像 I 进行 Contourlet 变换,得到低通子带 I_j 和带通子带 $d_{j,k}^l$ ($k = 0, 1, \dots, 2^j - 1$, $j = 1, 2, \dots, J$), 其中 j 表示第 j 级 LP 分解, k 表示 l_j 级 DFB 分解的第 k 个方向子带。

Step 3: 经 Contourlet 变换后,能量主要集中在低通子带中。在不影响图像视觉效果下,选择低通子带中嵌入水印信息,水印稳健性最好。故选择 J 级分解得到的低通子带 I_j 嵌入水印信息。将 I_j 不重叠地划分为 $w \times w$ 大小的子块,各子块按行顺利排列并将前 M 个子块记为 $A_1, A_2 \dots A_M$ 。

Step 4: 依次对 A_i 奇异值(SVD)分解:

$$A_i = U_i \sum_i V_i^T, \quad (5)$$

式中 $\sum_i = \text{diag}(\sigma_1^i, \sigma_2^i, \dots, \sigma_w^i)$, 其中 $\text{diag}()$ 表示对角矩阵。

Step 5: 自适应地量化修改分块矩阵最大奇异值。 $F[\dots]$ 表示向下取整函数, δ^i 为分块对应量化步长。 δ^i 越大,含水印图像稳健性越强,不可见性越差。相反, δ^i 越小,含水印图像不可见性越好,稳健性也随之降低。

$$\lambda_i = F[\sigma_i^i / \delta^i] (i = 1, 2, \dots, M). \quad (6)$$

Step 6: 构建含水印信息的分块矩阵最大奇异值 σ'_i :

$$\sigma'_i = \begin{cases} \left(\lambda_i + \frac{3}{2}\right) \delta^i, & \text{if } \text{mod}[(\lambda_i + w'_i), 2] = 1 \\ \left(\lambda_i + \frac{1}{2}\right) \delta^i. & \text{else} \quad \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

Step 7: 利用修改后 σ'_i 替换原分块矩阵中最大奇异值 σ_i , 其它奇异值保持不变。构建新的奇异值矩阵 \sum'_i , 生成嵌入水印的低通系数子块。

$$A'_i = U_i \sum'_i V_i^T. \quad (8)$$

Step 8: 依次对 M 个低通系数子块处理后,对修改后的 Contourlet 系数进行 J 级 Contourlet 逆变换,得到含水印的图像 I_w 。

3.3 自适应量化步长

基于量化的水印算法,量化步长的选取是关键。量化步长越大,算法的稳健性越好,不可见性却降低。因此量化步长的选取应考虑人类视觉掩蔽特性和数字图像局部特性,实现算法稳健性与透明性的

良好折衷。为了克服均匀量化策略不足,考虑人类视觉特性和不同宿主图像纹理度差异,同时兼顾算法复杂度,本文参考文献[16],给出根据分块低通系数能量自适应调整图像对应量化步长的方法。第 i 个分块自适应量化步长为

$$\delta^i = [\log_2 E_i \times 1000]/1000 + \delta_0, \quad (9)$$

$$E^i = \frac{\sum_{m=1}^w \sum_{n=1}^w |A_j^i(m)(n)|^2}{w \times w}, \quad (10)$$

其中 δ_0 为基础量化步长, $A_j^i(m)(n)$ 为 Contourlet 域第 J 级 $w \times w$ 分块低通子带系数。当分块能量较大时,视觉掩蔽效果强,量化步长变大,实现了嵌入强度与分块区域能量特性的自适应。同时,对数运算可将频域系数的指数增长方式转为线性增长方式,会带来更小的失真,更加符合人类的视觉特性^[18]。

3.4 水印提取算法

Step 1: 对含水印的图像 I_w 作 J 级 Contourlet 分解,得到低通子带 I_j' 。对 I_j' 不重叠地划分为 $w \times w$ 大小的子块,各子块按行顺利排列,并将前 M 个分块记为 A_1', A_2', \dots, A_M' 。

Step 2: 依次对 A_i' 作 SVD 分解

$$A_i' = U_i \sum_i' V_i^T, \quad (11)$$

式中 $\sum_i' = \text{diag}(\sigma_1^i, \sigma_2^i, \dots, \sigma_w^i)$ 。

Step 3: 量化分块矩阵的最大奇异值,根据量化

后最大奇异值的奇偶性提取水印信息。

$$\lambda_i' = F[\sigma_{i'}^i / \delta^i] (i = 1, 2, \dots, M), \quad (12)$$

$$w_i' = \begin{cases} 1, & \text{if } \text{mod}(\lambda_i', 2) = 1 \\ 0, & \text{else } \text{mod}(\lambda_i', 2) = 0 \end{cases} \quad (i = 1, 2, \dots, M) \quad (13)$$

Step 4: 以密钥 K_2 对提取出的一维序列解密。

$$W = \{w_i = (w_i' \oplus s_i) \mid w_i' \in \{0, 1\}\}. \quad (14)$$

Step 5: 对解密后的一维序列升维,并以密钥 K_1 逆置乱变换,提取出嵌入的二值水印图像。

$$W = \{w(i, j) \mid 1 \leq i \leq p, 1 \leq j \leq q\}. \quad (15)$$

4 实验结果与分析

实验以 Matlab R2007 为平台,宿主图像为 $512 \text{ pixel} \times 512 \text{ pixel}$ 256 级灰度图像,分别选取纹理不同的 Lena、Baboon、Barbara 和 Peppers 4 幅图像,如图 3(a~d) 所示。水印采用 $32 \text{ pixel} \times 32 \text{ pixel}$ 的二值图像并扩展 Arnold 置乱图像。Contourlet 变换的 LP 滤波器采用“9-7”滤波器,DFB 滤波器采用“pkva”滤波器。设置分块大小为 4×4 , δ_0 经由大量实验后选取 35。

4.1 不可见性实验

算法的不可见性由主观评价标准和客观评价标准组成。图 3(a~d) 给出 4 个不同宿主图像,图 3(e~h) 为利用本文算法得到的相应含水印图像。

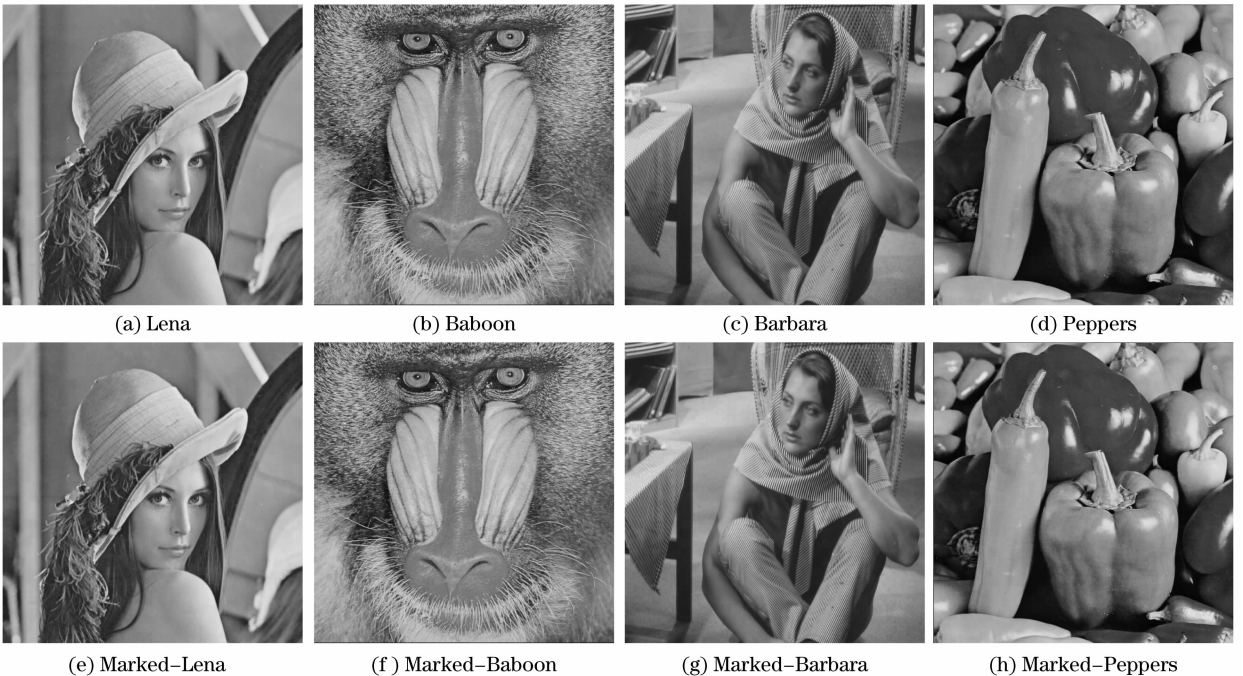


图 3 宿主图像与含水印图像

Fig. 3 Host images and watermarked images

可以看出,主观上人眼不可察觉图像的失真和畸变。客观评价标准采用峰值信噪比(Peak signal-to-noise ratio,PSNR)作为不可见性评价指标

$$\text{PSNR}(I_w, I) = 10 \cdot \lg \frac{255 \times 255 \times nm}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [I_w(i, j) - I(i, j)]^2} \quad (16)$$

表 1 列出了 4 种图像水印嵌入前后峰值信噪比 PSNR。对应于纹理度不同的图像,PSNR 值均在 39.85 以上,具有较好的视觉效果。

表 1 水印嵌入前后图像间的 PSNR

Table 1 Values of PSNR before and after watermarking

Image	PSNR/dB
Lena	39.8543
Baboon	39.8685
Barbara	40.0499
Peppers	40.2019

4.2 稳健性实验

以提取水印与原始水印的归一化相关系数(Normalized correlation,NC)值和提取水印的误比特率(Bit error ratio,BER)作为盲水印算法稳健性的评价标准。当含水印图像未受到攻击时,提取的水印 NC 为 1,BER 为 0。这说明本文水印算法能完整地提取出所嵌入的二值水印图像。

选取 PSNR 值最大的 Peppers 含水印图像为例,验证本文算法在各种攻击性下的稳健性。攻击实验包括 JPEG 压缩、线性滤波、非线性滤波、噪声增加、重采样和剪切。

JPEG 是最常见的图像有损压缩算法之一。实验表明本文算法对 JPEG 压缩表现出很强的稳健性。图像经品质因素(Quality factor,QF)为 30 以上 JPEG 压缩,均能完整提取水印。当品质因素降为 15 时,NC 仍然高达 0.9182,BER 为 6.64%。如表 2。

表 2 抗图像 JPEG 压缩攻击性能表

Table 2 Ability of resisting image JPEG compression attack

QF	NC	BER / %
30	1.0000	0
25	0.9926	0.5859
20	0.9817	1.4648
15	0.9182	6.6406

滤波通常分为线性滤波和非线性滤波。总体来说,滤波尤其是保留低频分量、实现平滑图像的低通滤波对水印算法的稳健性影响较大。实验表

明本文算法具有较好的低通特性,抗滤波性能强。如表 3。

表 3 抗图像滤波攻击性能表

Table 3 Ability of resisting image filter attack

Filter type	Parameter	NC	BER / %
Averaging filter	Mask size:3×3	0.9484	4.1992
	Mask size:5×5	0.8042	16.1133
Gaussian lowpass filter	Mask size:3×3 Sigma:0.5	0.9841	1.2695
	Mask size:3×3 Sigma:1	0.9645	2.8320
Median filter	Mask size:3×3	0.9865	1.0742
	Mask size:5×5	0.9324	5.3711

含水印的图像在传输过程中,常受到外部环境噪声干扰等影响,成为含噪声图像。实验表明本文算法对各种加性噪声有较好稳健性,如表 4。

表 4 抗图像噪声攻击性能表

Table 4 Ability of resisting image noise attack

Noise type	Parameter	NC	BER / %
Gaussian noise	Variance:0.1%	1.0000	0
	Variance:0.5%	0.8175	15.0391
Salt&pepper noise	Density:0.5%	0.9545	3.6133
	Density:1%	0.8555	11.7188
Speckle noise	Variance:0.5%	0.9854	1.1719
	Variance:1%	0.9434	4.5898

重采样是指先将含水印图像变为为原图的 n 倍,提取水印前再将含水印图像变为原来的 $1/n$ 倍。实验表明本文算法对图像重采样有很强的稳健性,如表 5。

表 5 抗图像重采样攻击性能表

Table 5 Ability of resisting image resampling attack

Resampling	Scale	NC	BER / %
	1/4	0.9160	6.8359
	1/2	1.0000	0
	2	1.0000	0
	4	1.0000	0

对含水印图像按比例进行剪切。实验表明本文算法具有较好地抗剪切攻击能力,如表 6 所示。

表 6 抗图像剪切攻击性能表

Table 6 Ability of resisting image cropping attack

Cropping	Scale / %	NC	BER / %
	15	0.8953	8.5938
	25	0.8194	14.7461
	35	0.7836	18.3594
	50	0.6873	26.8555

4.3 同类算法比较

将本文算法与文献[16]提出的算法稳健性进行对比分析。Contourlet 变换域下实现自适应水印嵌入并由变换域下相邻系数关系实现水印盲提取。实验结果比较见图 4、图 5 和表 7 所示。

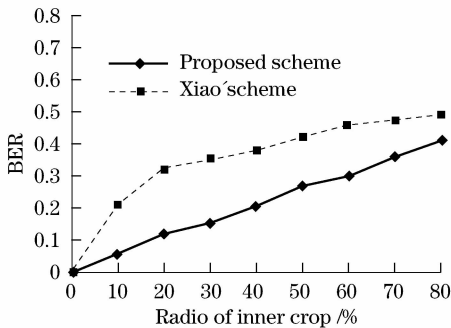


图 4 图像剪切实验结果对比

Fig. 4 Comparison of image cropping experimental results

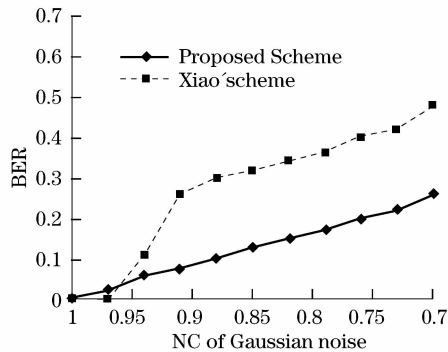


图 5 高斯噪声攻击实验结果对比

Fig. 5 Comparison of image Gaussian noise attack experimental results

表 7 JPEG 压缩实验结果对比

Table 7 Comparison of JPEG compression experimental results

JPEG Compression	Proposed scheme BER	Xiao's scheme BER
QF : 40	0	0.28

对比中可以看出,本文算法在 JPEG 压缩、图像剪切和高斯噪声三种图像攻击下,算法的稳健性均要优于文献[14]。

5 结 论

提出了一种基于 Contourlet 变换的数字图像水印方案。经过扩展 Arnold 置乱和扩频加密的水印信息嵌入到 Contourlet 变换低通子带中。根据量化索引调制的基本原理并结合低通子带能量分布特性,自适应地将二值一维水印序列嵌入到分块低通子带的最大奇异值上。同时因采用量化嵌入策略,提取水印图像时不需要原始载体图像,扩展了其

应用范围。大量实验结果表明,本文算法具有较好的不可见性和稳健性,能够有效地抵抗 JPEG 压缩、低通滤波、加噪、重采样、剪切等各种图像处理攻击,具有很强的稳健性。

下一步将进一步研究 Contourlet 变换的特点,在选择更合适量化步长、利用图像特征和结合其他变换域水印算法等方面对算法进行改进。在保证图像不可见性前提下,提高算法抗噪声性能,探索抗几何攻击的更有效方法,不断提高水印整体性能。

参 考 文 献

- Wang Haihong, Zeng Ni, Lu Wei *et al.*. Edge detection of laser imaging radar based on wavelet transform and mathematical morphology[J]. *Chin. J. Lasers*, 2008, **35**(6): 903~906
王海虹,曾妮,陆威等.基于小波变换和数学形态学的激光成像雷达图像边缘检测[J]. *中国激光*, 2008, **35**(6): 903~906
- Zhang Yudong, Dai Yun, Shi Guohua *et al.*. Application of one-dimensional wavelet transformation in time domain optical coherence tomography imaging[J]. *Chin. J. Lasers*, 2008, **35**(7): 1013~1016
张雨东,戴云,史国华等.一维小波变换在时域光学相干层析成像中的应用[J]. *中国激光*, 2008, **35**(7): 1013~1016
- Yin Hao, Lin Chuang, Qiu Feng *et al.*. A survey of digital watermarking[J]. *J. Computer Research and Development*, 2005, **42**(7): 1093~1099
尹浩,林闯,邱锋等.数字水印技术综述[J]. *计算机研究与发展*, 2005, **42**(7): 1093~1099
- Hu Y, Kwong S. Wavelet domain adaptive visible watermarking[J]. *Electron. Lett.*, 2001, **37**(20): 1219~1220
- Kang Xiangui, Huang Jiwu, Shi Yun Q *et al.*. A DWT-DFT composite watermarking scheme robust to both affine transform and JPEG compression[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2003, **8**(8): 776~786
- Bao Paul, Ma Xiaohu. Image adaptive watermarking using wavelet domain singular value decomposition[J]. *IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology*, 2005, **15**(1): 96~102
- Po Duncan D, DOMN. Directional multiscale modeling of images using the Contourlet transform[J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2006, **15**(6): 1610~1620
- DOMN, Vetterli M. The Contourlet transform: an efficient directional multiresolution image representation[J]. *IEEE Trans. on Image Processing*, 2005, **14**(6): 760~769
- Zhang Jingjing, Fang Yonghua. Novel denoising method for remote sensing image based on Contourlet transform[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3): 460~466
张晶晶,方勇华.基于 Contourlet 变换的遥感图像去噪新算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(3): 460~466
- Jin Wei, Pan Yingjun, Wei Biao *et al.*. An image coding algorithm based on Contourlet listless zerotree coding[J]. *J. Electronics & Information Technology*, 2006, **28**(11): 2116~2120
金伟,潘英俊,魏彪等.一种基于 Contourlet 的无表零树图像编码算法[J]. *电子与信息学报*, 2006, **28**(11): 2116~2120
- Liu Kun, Guo Lei, Chang Weiwei. Regional feature self-adaptive image fusion algorithm based on Contourlet transform[J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(4): 681~686
刘坤,郭雷,常威威.基于 Contourlet 变换的区域特征自适应图像融合算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(4): 681~686
- Ye Chuanqi, Miao Qiguang, Wang Baoshu. An image fusion algorithm using region segmentation and Contourlet transform

- [J]. *Acta Optica Sinica*, 2008, **28**(3):447~453
- 叶传奇, 苗启广, 王宝树. 基于区域分割和 Counterlet 变换的图像融合算法[J]. *光学学报*, 2008, **28**(3):447~453
- 13 Song Haohao, Yu Songyu, Yang Xiaokang *et al.* Contourlet-based image adaptive watermarking [J]. *Signal Processing: Image Communication*, 2008, **23**(3):162~178
- 14 Li Haifeng, Song Weiwei, Wang Shuxun. Robust image watermarking algorithm based on Contourlet transform[J]. *J. Communications*, 2006, **27**(4):87~94
- 李海峰, 宋巍巍, 王树勋. 基于 Contourlet 变换的稳健性图像水印算法[J]. *通信学报*, 2006, **27**(4):87~94
- 15 Chen Kailiang, Wang Jianjun. A Contourlet-based image watermarking algorithm combined with HVS[J]. *J. Computer-aided Design & Computer Graphics*, 2007, **19**(6):811~816
- 陈开亮, 王建军. 一种 HVS 和 Contourlet 结合的图像水印算法[J]. *计算机辅助设计与图形学学报*, 2007, **19**(6):811~816
- 16 Xiao Shangqin, Ling Hefei, Zou Fuhao *et al.* Adaptive image watermarking algorithm in contourlet domain[C]. *Proc. of the 2007 Japan-China Joint Workshop on Frontier of Computer Science and Technology*, 2007, 125~130
- 17 Kong Tao, Zhang Dan. A new anti- Arnold transformation algorithm[J]. *J. Software*, 2003, **15**(10):1558~1564
- 孔涛, 张亘. Arnold 反变换的一种新算法[J]. *软件学报*, 2003, **15**(10):1558~1564
- 18 Wang Xiangyang, Zhao Hong. A novel synchronization invariant audio watermarking scheme based on DWT and DCT[J]. *IEEE Trans. on Signal Processing*, 2006, **54**(12):4835~4840

光学前沿

——第二届“大珩杯”光学期刊优秀论文评选

活动开展通知

为了进一步提高我国光学期刊的学术水平和论文质量,吸引和催生优秀稿件,鼓励和培育优秀作者,促进我国光学、激光科技事业发展,《光学学报》《中国激光》《中国光学快报》(英文版)特发起“光学期刊优秀论文评选活动”。在光学泰斗王大珩先生的支持下,本活动特命名为光学前沿——“大珩杯”光学期刊优秀论文评选活动。

光学前沿——首届“大珩杯”光学期刊优秀论文评选结果在中国光学学会 2008 年学术年会上隆重公布。中国光学学会秘书长倪国强宣读了入选论文名单,中国光学学会理事长周炳琨院士、副理事长徐至展院士等为上海光机所周军等入选论文的作者代表颁发了证书和奖金。

根据“大珩杯”光学期刊优秀论文评选活动评选办法,光学前沿——第二届“大珩杯”光学期刊优秀论文评选活动即将开始,欢迎广大作者提交论文信息,参与评选。评选规则请参考“大珩杯”光学期刊优秀论文评选办法。

编辑部将在 2009 年年底,对获奖作者进行表彰,并颁发证书和奖金。

主办单位:中国科学院上海光学精密机械研究所

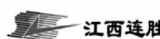
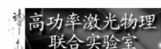
联合主办单位:相干(北京)商业有限公司

上海瀚宇光纤通讯技术有限公司

协办单位:高功率激光物理联合实验室

江西连胜实验装备有限公司

普爱纳米位移技术有限公司



时间安排:参评论文统计截止时间:2009 年 8 月 30 日。

论文作者提交申请材料时间:2009 年 7 月 1 日~9 月 30 日(论文被引的材料和论文所在项目或课题获奖的证明),请在中国光学期刊网上提交。

审核时间:2009 年 10 月 8 日~10 月 30 日。

详情请浏览:<http://www.opticsjournal.net/Daheng.htm>

咨询电话:021-69918426 段家喜 编辑 duanjiaxi@siom.ac.cn

光学期刊联合编辑部

2009-5-1