

文章编号: 2095-4980(2013)01-0142-04

基于 Zig-Zag 扫描与 FCM 的多小波域水印算法

李永华, 张 林

(商洛学院 现代教育技术中心, 陕西 商洛 726000)

摘 要: 提出了一种安全性高, 可自适应嵌入的多小波域水印算法。该算法对水印图像进行 Zig-Zag 扫描后, 对形成的一维向量进行相邻像素异或运算并自换位, 从而使置乱达到更好的效果, 同时根据模糊C均值聚类(FCM)对二层小波变换的中频区域进行分析, 自适应地嵌入水印。仿真实验证明, 算法对高斯噪声、中值滤波、椒盐噪声、压缩、剪切攻击具有很好的抗攻击能力, 并且兼顾了不可见性, 实现水印的盲提取。

关键词: 交叉换位; Zig-Zag扫描; 多小波变换; 模糊聚类

中图分类号: TN919.8; TP309

文献标识码: A

A watermarking algorithm based on Zig-Zag scanning and FCM multi-wavelet domain

LI Yong-hua, ZHANG Lin

(Modern Education Technology Center, Shangluo University, Shangluo Shaanxi 726000, China)

Abstract: A watermarking algorithm with high security based on Zig-Zag scan and Fuzzy C-Means(FCM) wavelet domain is put forward. After the watermark image Zig-Zag scanning, the adjacent pixel XOR and transposition are performed on the formed one-dimensional vector, thereby scrambling to achieve better results. The median frequency region for the two layer wavelet is analyzed according to the FCM. The watermark is embedded adaptively. Experiment results show that the proposed algorithm exhibits good attack-resisting ability for Gaussian noise, median filtering, salt noise, compression and shear attack. It takes account of the invisibility as well to realize the blind watermark extraction.

Key words: cross transposition; Zig-Zag scanning; multi wavelet transform; fuzzy clustering

水印技术在版权保护以及内容认证中被广泛研究并使用^[1-4], 起到越来越重要的作用。陈琼^[5]等人在水印嵌入前进行了混沌序列的置乱, 但置乱方法采用一维混沌系统, 安全性有待提高。FU Yu^[6]等人首先对水印进行了二维混沌序列置乱, 但二维混沌系统无法自适应地量化步长。Zhang Jun^[7]等人根据GHM(Geronimo Hardin Massopust)多小波变换细节子图之间的相似性进行水印嵌入。Shao Yuanhai^[8]等人提出GHM与支持向量机结合的自适应水印嵌入算法。

本文提出了一种基于Zig-Zag扫描与FCM的多小波域水印算法, 通过Zig-Zag扫描对水印进行置乱, 利用FCM特性对二层小波变换的中频区域进行分析, 自适应地嵌入水印。

1 Zig-Zag 扫描置乱算法

设水印图像大小为 $C \times D$, 通过Zig-Zag扫描, 形成向量 $P(i)$, $i=1,2,3,\dots,C \times D$ 。加密后的水印可以按照嵌入要求自适应地改变大小, 从而使秘密图像在传输中更加安全。对经过扫描的一维图像 $P(i)$ 进行如下操作:

1) 令 $P(1)$ 异或255, 得到 $Q(1)$; 使用交叉换位对 $Q(1)$ 进行操作, 即: 令 $Q(1)$ 倒数第1位与第1位进行交换, 倒数第2位与第2位进行交换, 如此类推, 得到 $T(1)$ 。

2) 令 $T(1)$ 与 $P(2)$ 进行异或, 得到 $Q(2)$, 再对 $Q(2)$ 进行自换位操作, 得到 $T(2)$ 。

收稿日期: 2012-05-10; 修回日期: 2012-06-27

基金项目: 陕西省教育厅自然科学基金资助项目(12JK0747); 商洛学院科研资助项目(10sky027,10sky019)

3) 如上操作, 将 $P(i)$ 与 $T(i-1)$ 作异或, 得到 $Q(i)$, 对 $Q(i)$ 进行自换位得到 $T(i)$ 。 $T(i)$ 可以根据嵌入需要自适应地恢复图像大小 $C \times D$ 。

置乱水印的恢复是水印置乱的逆过程。置乱算法根据每个像素值和它前面相邻的像素进行异或运算和像素值内的交叉换位操作, 以提高图像的置乱效果; 同时, 根据保密安全等级的需要自适应地生成大小可以改变的置乱图像。图1为原始水印, 图2为水印置乱后的效果。



Fig.1 Original watermark image
图1 原始水印图像



Fig.2 Scrambling effect diagram
图2 置乱后的水印图像

2 多小波变换与FCM算法

2.1 多小波变换

GHM多小波是目前研究热点, GHM有小波函数以及尺度函数各2个, 不仅具有单小波的优越性, 同时, 更有正交性、对称性、紧支性等优良特性。文章对GHM多小波进行研究改进。

GHM中 L_1, L_2 表示滤波通道, H_1, H_2 表示低通滤波器与高通滤波器。使用GHM变换分解载体图像成16个子带, 分别为 $L_i L_j, L_i H_j, H_i L_j, H_i H_j (i, j \in \{1, 2\})$ 。然后将LL进一步分解。将 $L_i L_j, L_i H_j, H_i L_j, H_i H_j (i, j \in \{1, 2\})$ 分别记为 LL_n, LH_n, HL_n, HH_n 。

2.2 FCM算法

FCM算法通过迭代优化对各样本数据进行划分。设 N 为待聚类样本, 共有 C 个, 模糊加权指数记为 $m \in [1, \infty)$ 。目标函数的值表示为:

$$J_m(U, V) = \sum_{k=1}^C \sum_{i=1}^N (u_{ik})^m (d_{ik})^2 \quad (1)$$

式中: $d_{ik} = \|x_k - v_i\|^2 = (x_k - v_i)^n (x_k - v_i)$, x_k, v_i 为图像中所取的不同像素点; u_{ik} 是第 i 个类中的第 k 个样本值; V 是聚类中心矩阵, U 是模糊隶属矩阵; $J_m(U, V)$ 越大, 则表示类聚越松散。

把多小波域上的子图分为2类: 其中一类 J 值较大, 具有较好的抗攻击性及不可见性, 可以嵌入水印; 另一类则相反。

3 水印的嵌入与提取

3.1 水印的嵌入

设载体图像 X 大小为 $M \times N$, 水印图像 W 大小为 $C \times D$, 水印嵌入算法如下:

1) 对水印 W 使用 Zig-Zag 进行置乱。

2) 使用多小波变换对载体图像进行处理, 可得到7个子带, 分别为 $LL_2, LH_2, HL_2, HH_2, LH_1, HL_1, HH_1$ 。

3) 确定嵌入水印的位置。待嵌入区域为2层多小波变换的中频, 将子图 LH_2 (大小为 $\frac{M}{4} \times \frac{N}{4}$) 划分成 3×3 的子块 $m_i (i=1, 2, \dots, \frac{M}{12} \times \frac{N}{12})$ 。对子块 m_i 使用 FCM 算法分类 (C_1 为可嵌入水印类, C_2 为不可嵌入水印类), 在可嵌入水印类中选取 $P \times Q$ 个子块 $n_k (k=1, 2, \dots, P \times Q)$, 嵌入强度为其隶属度, 自适应嵌入水印。

4) 水印的嵌入。对 n_k 中心系数进行修改。算法如下:

$$f_k(i_0, j_0) = \begin{cases} A_k(i_0, j_0) + \alpha \delta_k \Delta_k, & v(k)=1 \\ A_k(i_0, j_0) - \alpha \delta_k \Delta_k, & v(k)=0 \end{cases} \quad (2)$$

式中: n_k 中心点 (i_0, j_0) 修改后的小波系数为 $f_k(i_0, j_0)$; n_k 中心点4-邻域系数均值为 $A_k(i_0, j_0)$; C_1 的隶属度为 δ_k ; α 为系统参数, 水印强度 Δ_k 与 n_k 中心点的小波系数关系为:

$$\Delta_k = 5 \times |A_k(i_0, j_0) - S_k(i_0, j_0)| \quad (3)$$

式中 $S_k(i_0, j_0)$ 是包括图像子块 n_k 中心点的5-邻域系数均值。

5) 重复第4步, 在 HL_2, HH_2 中嵌入水印。

6) 对载体图像进行多小波逆变换, 得到 X^* , 即为含水印图像。

3.2 水印的提取

水印提取步骤如下：

- 1) 对 X^* 进行2层多小波变换，然后提取出子块 $n_k^*(k=1,2,\cdots,P\times Q)$ 。
- 2) 提取水印信息

$$v_i^*(k)=\begin{cases}1 & \text{if } f_k^*(i_0,j_0)>A_k^*(i_0,j_0) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad i=1,2,3 \tag{4}$$

式中： $f_k^*(i_0,j_0)$ 表示 n_k^* 中心点的4-邻域系数均值； $v_i^*(k)(i=1,2,3)$ 为从 LH_2^*,HL_2^*,HH_2^* 子图中提取的水印信息，即 v_1^*,v_2^*,v_3^* ，水印序列为：

$$v^*(k)=\begin{cases}1 & \text{if } v_1^*+v_2^*+v_3^*\geq 2 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{5}$$

- 3) 对提取出的水印序列：

$$v^*(k)=\{v^*(k),1\leq k\leq P\times Q,v^*(k)\in\{0,1\}\} \tag{6}$$

进行反置乱，得到水印图像 W^* 。

4 算法实验结果与分析

4.1 算法实验结果

实验选用256×256大小的Lena, Woman和 Flower作为载体图像，选用64×64的二值图像作为水印图像。

图3、图4为水印嵌入前与嵌入水印后各载体图像情况，图5为水印提取情况，水印图像相似度 $NC=1$ 。由此可见，算法对水印的隐藏性很好。

4.2 实验结果分析

为了评估算法的鲁棒性，对各载体图像嵌入水印后进行了攻击实验，如表 1 所示。

从表 1 数据可以看出，算法对高斯噪声、中值滤波、椒盐噪声、压缩、剪切等攻击具有很强的鲁棒性。

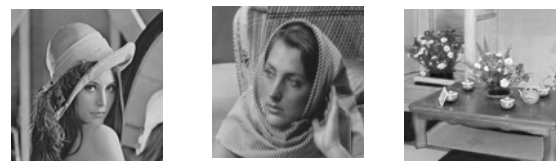


Fig.3 Original vector image
图 3 原始载体图像



Fig.4 Effect of watermark embedding map
图 4 水印嵌入效果图

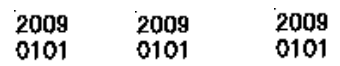


Fig.5 Watermark extraction
图 5 水印提取效果

表 1 算法的抗攻击情况
Table1 Algorithm against attacks

image		attack				
		Gaussian noise strength 0.002	salt-pepper noise strength 0.01	JPEG compression to 30%	median filter	adiabatic shearing 1/4
Lena	NC	0.956 6	0.967 0	1.000 0	0.974 0	0.951 4
	watermark extraction	2009 0101	2009 0101	2009 0101	2009 0101	2009 0101
Woman	NC	0.959 2	0.960 1	1.000 0	0.9715	0.951 4
	watermark extraction	2009 0101	2009 0101	2009 0101	2009 0101	2009 0101
Flower	NC	0.952 3	0.962 3	1.000 0	0.968 2	0.951 4
	watermark extraction	2009 0101	2009 0101	2009 0101	2009 0101	2009 0101

5 结论

文中提出一种基于Zig-Zag扫描与FCM的多小波域盲水印算法，充分利用了FCM技术在多小波域中自适应地嵌入水印，并在水印嵌入前进行了Zig-Zag扫描置乱，保证水印的安全性。算法对高斯噪声、中值滤波、椒盐噪声、压缩、剪切等具有很好的抗攻击性。

参考文献:

- [1] Chen W,Quan C,Tay C J. Optical color image encryption based on Arnold transform and interference method[J]. Optics Communications EI SC, 2009,282(18):3680–3685.
- [2] Tang Zhenjun,Zhang Xianquan. Secure Image Encryption without Size Limitation Using Arnold Transform and Random Strategies[J]. Journal of Multimedia, 2011,6(2):202–206.
- [3] 肖岗,冯恩信,齐春. 应用水印认证的视频监控及ARM实现技术[J]. 信息与电子工程, 2008,6(3):180–182. (XIAO Gang, FENG Enxin,QI Chun.Video Monitor Based on Watermark Authentication and Implementation of the Technology Based on ARM[J]. Information and Electronic Engineering, 2008,6(3):180–182.)
- [4] 黄晓晴,于盛林. 分数微积分用于分形压缩图像嵌入灰度水印[J]. 信息与电子工程, 2010,8(6):203–206. (HUANG Xiaoqing, YU Shenglin. Using fractional calculus to embed gray image as watermark into fractal compressed image[J]. Information and Electronic Engineering, 2010,8(6):203–206.)
- [5] 陈琼,吴祥生. 一种新颖的复合型盲水印算法[J]. 中国图象图形学报, 2008,13(3):415–418. (CHEN Qiong ,WU Xiangsheng. A New Algorithm of Compound Blind Watermarking[J]. Journal of Image and Graphics, 2008,13(3):415–418.)
- [6] Fu Yu,WU Xiaoping,CHEN Zemao,et al. A wavelet digital watermarking algorithm based on chaotic mapping[C]// Proc. of International Symposium on Electronic Commerce and Security. [S.L.]:IEEE Press, 2008:886–889.
- [7] Zhang Jun,Wang Nengchao,Xiong Feng. Hiding a Logo Watermark into the Multiwavelet Domain Using Neural Networks[C]// Proc. of IITAW'08. [S.L.]:IEEE Press, 2008:477–482.
- [8] Shao Yuanhai,Chert Wei,Liu Chan. Multiwavelet-based Digital Watermarking with Support Vector Machine Technique[C]// Proc. of CCDC'08.Yantai. Yantai:[s.n.], 2008:4472–4476.

作者简介:



李永华(1979–),女,甘肃省嘉峪关市人,硕士,研究方向为图像处理、信息隐藏、数字水印.email:li-yonghua@sohu.com.

张 林(1968–),男,陕西省商洛市人,教授,研究方向为网络安全、信息安全.