

# 改进的小波域混沌数字水印算法实现\*

赵 健<sup>1,3</sup> 齐 华<sup>2</sup> 田 泽<sup>1</sup> 周明全<sup>3</sup>

(1 西北大学电子科学系,西安 710069)

(2 西安工业学院电子工程系,西安 710032)

(3 西北大学计算机科学系,西安 710069)

**摘 要** 在对小波域中数字水印的嵌入算法研究的基础上,利用混沌序列所特有的不可预测性,将混沌理论引入数字水印的创建中,提出了改进的小波域混沌数字水印算法,并通过仿真实现了利用 Logistic 映射产生的混沌序列有序的嵌入小波域数字水印的方法,该算法具有密钥唯一性、不可逆性、不可见性、鲁棒性等特点. 实验证明该算法具有很好的视觉效果,是一种实际可行的数字水印算法.

**关键词** 数字水印;混沌序列;Logistic 映射;小波变换

**中图分类号** TP391 **文献标识码** A

## 0 引言

数字水印技术是信息伪装技术中最重要的内容之一<sup>[1]</sup>. 数字水印技术是通过一定的算法将一些标志性信息直接嵌到多媒体内容当中,但不影响原内容的价值和使用,并且不能被人的知觉系统觉察或注意到<sup>[2,3]</sup>. 目前大多数水印制作方案都采用密码学中的加密(包括公开密钥、私有密钥)体系来加强,在水印的嵌入、提取时采用一种密钥,甚至几种密钥联合使用<sup>[4,6]</sup>. 如将混沌理论的非线性技术引入到数字水印算法中正在成为国际上的一个研究重点<sup>[7,8]</sup>.

传统的基于频域的数字水印算法采用 DCT 变换,但由于小波变换在图像处理的时候具有比 DCT 变换更加适合人类视觉系统、与大多数国际标准兼容,可以有效的抵抗剪切及 JPEG 等有损压缩编码等优点,现阶段基于小波变换的数字水印算法研究成为变换域数字水印算法研究的重点<sup>[4~6]</sup>. 而且在 JPEG2000 中采用的 DWT(离散小波变换)技术,这也使得基于小波变换的数字水印算法更加可行与必须.

混沌函数具有伸大拉长和折回重叠的性质,所以有不可预测性. 混沌序列是一个伪随机序列,很容易由迭代方程或非线性方程生成<sup>[8]</sup>. 混沌序列相对于普通的伪随机序列具有一些特性(优点):如其产生的硬件消耗低,成本低,只要几个参数,基本初始条件,就可以产生理想的混沌序列;混沌序列的谱是宽带的,类似于白噪声,所以其抗干扰能力强,鲁棒性得以

保证,这是其在数字水印中得到应用的保证. 本文提出并实现了一种改进的通过 Logistic 映射产生的混沌序列有序的嵌入小波域数字水印的算法.

## 1 基于 Logistic 混沌序列的小波域数字水印算法

本文采用离散时间动态系统 Logistic 映射产生的混沌序列,其定义为

$$x_{k+1} = \mu x_k (1 - x_k) \quad x_k \in (0, 1) \quad (1)$$

式中,分支参数  $0 \leq \mu \leq 4$ . 经过变换,Logistic 映射在  $[-1, 1]$  上的定义可以表示为

$$x_{k+1} = 1 - \lambda x_k^2 \quad (\lambda \in (0, 2)) \quad (2)$$

随着  $\lambda$  的逐渐增大,迭代会出现多次突变,当  $\lambda = 1.40115$  时,系统进入混沌状态,产生具有 0 均值、 $\delta$ -like 自相关性及互相关为 0 的混沌序列,该序列具有白噪声的统计特性. 本文取  $\lambda = 2$ , 初始值  $x_0 = 0.3$ , 按照式(2)进行迭代,得到序列  $X_K$ . 将混沌密钥  $K$  作为用户的私钥,在不知道  $K$  的情况下,盗版者即使提取出水印信号也无法恢复出水印图像. 在实验里取  $K = 8$ , 因此在小数点后取 4 位的情况下得到的 Logistic 映射混沌序列表示为  $X_K = \{0.3, 0.82, -0.3448, 0.7622, -0.1620, 0.9475, -0.7955, -0.2656\}$ . 将混沌序列加入数字水印里的方法有许多,本文采用将水印图像  $W$  表示为向量形式  $W_p$ ,  $p = 1, 2, \dots, N \times N$ .  $W_p$  作为明文空间,利用  $X_K$  对水印图像进行加密,得到密文空间,这里  $\oplus$  执行的是异或运算

$$W_v = W_p \oplus X_K \quad (v = 1, 2, \dots, N \times N) \quad (3)$$

假设  $X$  是原始灰度图像,大小为  $M \times M$ , 每个像素用 sbit 表示

$$X = \{x(m, n), 0 \leq m, n \leq M\} \quad (4)$$

\*国家自然科学基金资助项目(60072044)

Tel: 029-88302790 Email: zjctec@sina.com

收稿日期: 2003-12-18

式中,  $x(m, n) \in \{0, 1, \dots, 2^c - 1\}$  是原始图像在  $(m, n)$  处的灰度值.

假设  $W$  是水印图像, 大小为  $N * N$ , 每个像素用 cbit 表示

$$W = \{w(m, n), 0 \leq m, n \leq N\} \quad (5)$$

式中,  $w(m, n) \in \{0, 1, \dots, 2^c - 1\}$  是水印图像在  $(m, n)$  处的灰度值.

不失一般性, 设水印的尺寸小于原始图像的尺寸, 并且满足  $M = 2^p \cdot N$  ( $p$  为正整数). 算法的具体步骤如下:

1) 利用 Arnold 变换将水印图像置乱, 置乱后图像标记为  $W_d$ .

2) 将原始图像  $X$  经过 3 级小波变换, 得到不同分辨率级下的细节子图  $X_j^k$  和一个逼近子图  $X_3^0$ ,  $X_k$  表示小波变换后的图像

$$X_k = DWT(X) = \{X_j^k, j, k = 1, 2, 3, \text{若 } k=0, \text{ 则 } j=3\} \quad (6)$$

3) 将所有细节子图分割成  $2^{(p+1)-2(j-1)}$  块大小相同, 且互相不重叠的子图块, 并使每一子图块的大小与水印相同

$$X_b = \text{Block}(X_k) = \{X_j^{k,i}, i = 1, 2, \dots, 2^{(p+1)-2(j-1)}\} \quad (7)$$

4) 将水印中的数据按照式(3)与混沌序列进行异或运算, 得到含有 Logistic 映射混沌序列的密文空间数字水印.

5) 将密文数字水印中的数据分别与每一个子图块依照下式进行分块组合, 这样, 高频部分被反复嵌入水印, 而低频部分只用嵌入一次水印

$$X_{bs}^i = X_b^i + \alpha W_d = \{X_j^{i,i}(m, n) + \alpha w_d(m, n), 0 \leq m, n \leq N\} \quad (8)$$

式中,  $\alpha$  表示嵌入水印的强度,  $\alpha$  取值要在水印可见性与强壮性之间权衡,  $\alpha$  过大水印虽然越强壮, 但嵌入水印的图像质量就会降低, 反之,  $\alpha$  取值小, 图像质量虽然提高了, 但同时会降低水印的强壮性.

6) 将经过运算的子图块进行重新拼接, 即得到完整的  $M * M$  大小的子图  $X_{bs}$ , 最后再进行小波反变换, 便可得到嵌入水印的图像.

$$X_s = IDWT(x_{bs}) = \{x_s(m, n), 0 \leq m, n \leq N\} \quad (9)$$

水印的抽取过程(即水印检测过程)是嵌入的逆过程, 即首先将含水印图像  $X_s$  和原始图像  $X$  分别进行 3 级小波变换(这时的  $X_s$  可能已经经过了退化处理), 并且将各细节子图分成  $2^{(p+1)-2(j-1)}$  块大小相同, 且互不重叠的子图像, 然后再把两幅图像对应位置的子图像, 根据式(7)计算出从每个子图像中抽取的水印子图, 这样可以得到  $(M/N) \times (M/N)$  块水印, 再对它们加以平均; 最后经过置乱, 即可得到

抽取出来的水印.

图 1(a) 是原始水印, 图 1(b) 是加 Logistic 映射混沌序列  $X_k$  后的数字水印. 图 2 是本文基于混沌序列的小波域数字水印算法实现的效果图, 其中图 2(a) 是原始图像, 图 2(b) 是数字水印图像加密后的水印, 从图中可以看到加混沌序列水印后图像保持了良好的视觉效果, 进一步的实验结果显示该算法具有抗剪切、抗白噪声干扰、JPEG 压缩中水印不被破坏等特性.

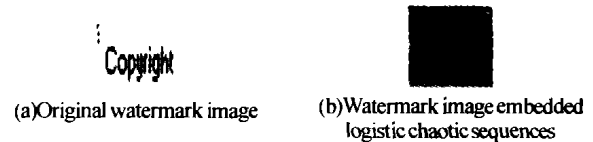


图 1 原始水印和加混沌序列后的水印

Fig. 1 Watermark image



图 2 基于混沌序列的小波域数字水印算法效果图

Fig. 2 Watermark performance

## 2 结论

经研究, 本文算法的优点可总结为:

- 1) 密钥唯一性: 不同的私钥  $K$  产生不同的  $X_k$ , 接着产生不同的  $W_b$ ;
- 2) 不可逆性: 不可能根据  $W_b$  倒推出  $X_k$ ;
- 3) 不可见性: 加水印后的数字图像高度相似于原始图像;
- 4) 鲁棒性: 利用扩频原理的小波域数字水印技术具有很高的鲁棒性, 并且混沌序列的谱类似于白噪声, 进一步提高了其抗干扰能力.

因此本算法是一种实际可行、效果显著的数字水印算法. 今后在混沌序列的选择, 私钥  $K$  的选择等方面的进一步研究将使该算法具有更强的鲁棒性和唯一性, 更加可靠有效.

## 参考文献

- 1 Tewfik A H. Digital watermarking. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2000, 17(9): 17 ~ 88
- 2 Ingermar J C, Kilian J. Secure spread-spectrum watermarking for images. *Audio and Video Proc ICIP'96*. 3: 243 ~ 246
- 3 Chen Wenyuan. Robust watermarking scheme for still images using frequency shift keying with high-variance block selection. *Optical Engineering*, 2003, 42(9): 1826 ~ 1835
- 4 Hernandez J R, Amado M. DCT-domain watermarking

- techniques for still images: detector performance analysis and a new structure. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2000, **9**(1): 55 ~ 68
- 5 Nikolaidis, Athanasios, Asymptotically optimal detection for additive watermarking in the DCT and DWT domains. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2003, **12**(5): 563 ~ 571
- 6 潘蓉, 高有行. 一种自适应的盲水印方法. 光子学报, 2002, **31**(9): 1146 ~ 1150  
Pan R, Gao Y X. *Acta Photonica Sinica*, 2002, **31**(9): 1146 ~ 1150
- 7 Cheng Qiang. Robust optimum detection of transform domain multiplicative watermarks. *IEEE Transactions on Signal Processing*, 2003, **51**(4): 906 ~ 924
- 8 张春田, 张静. 基于混沌映射的鲁棒性图像水印算法. 电子学报, 2002, **30**(1): 5 ~ 8  
Zhang C T, Zhang J. *Acta Electronica Sinica*, 2002, **30**(1): 5 ~ 8

## An Improved Wavelet Watermarking Scheme Based on Logistic Chaotic Sequences

Zhao Jian<sup>1,3</sup>, Qi Hua<sup>2</sup>, Tian Ze<sup>1</sup>, Zhou Mingquan<sup>3</sup>

1 Department of Electronic Science, Northwestern University, Xi'an 710069

2 Department of Electronic Engineering, Xi'an Technology Institute, Xi'an 710032

3 Department of Computer Science, Northwestern University, Xi'an 710069

Received date: 2003-12-16

**Abstract** Due to the unpredictability property of chaotic sequence, chaos theory can be used in the process of creating the digital watermarking. A robust digital watermarking scheme based on Logistic chaotic sequences is proposed. The watermark is pre-processed by Logistic chaotic sequences and spread adaptive over the image wavelet domain. The experimental results demonstrate that the watermark is robust to general image processing techniques and geometric distortions. The watermarked image has good visual effect, which demonstrates that this algorithm is feasible.

**Keywords** Digital Watermarking; Chaotic Sequence; Logistic Mapping; Wavelet transform



**Zhao Jian** was born in Shanghai City in 1973. He received the B. S degree in Electrical Engineering from the Xi'an Institute of Technology in 1995. And he received the M. S and D. S degree in signal and information processing from Northwestern Polytechnical University in 1999 and 2003 respectively. He engages in the research of digital image processing, digital video processing, wavelet and so on.