

基于混沌和小波变换系数的数字图像水印算法

段晓杰,张绍成,曲大鹏,范铁生

(辽宁大学 计算中心,辽宁 沈阳 110036)

摘要:在现有数字图像水印嵌入技术基础上,为了进一步提高数字水印的鲁棒性,文中提出一种基于混沌和小波变换系数的水印算法。该算法主要分为三个步骤:首先运用二维 Logistic 混沌序列将水印置乱,再用一维 Logistic 混沌方法随机生成坐标序列,并记录混沌序列初值和控制参数值;然后对载体图像做一级小波分解,提取水平细节分量和垂直细节分量;最后根据水印信息和混沌序列,将指定步长的水平细节系数替换为垂直细节系数,并做小波逆变换。实验结果表明,使用该算法嵌入水印具有很好的不可见性,可以根据步长确定水印嵌入精度和水印容量,并且在几何攻击、JPEG 有损压缩、剪切攻击、噪声攻击等情况下均具有较好的鲁棒性,当选择合适的步长,在剪切攻击四分之三时仍然能够提取百分之九十九的水印。

关键词:小波变换;小波系数;数字水印;抗攻击;不可见水印

中图分类号:TP309.7

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)10-0034-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.10.007

Digital Image Watermarking Algorithm Based on Chaos and Wavelet Transform Coefficient

DUAN Xiao-jie, ZHANG Shao-cheng, QU Da-peng, FAN Tie-sheng

(Computing Center, Liaoning University, Shenyang 110036, China)

Abstract: On the basis of the existing digital image watermarking technology, in order to further improve the robustness of digital watermarking, propose a watermarking algorithm based on chaos and wavelet coefficient. The algorithm is carried out in three steps. First it uses the two-dimensional Logistic chaotic algorithm to scramble watermark, then uses the one-dimensional Logistic chaotic algorithm to generate a sequence of coordinates and record the initial value and the control parameter value of chaotic sequence, and then make one level wavelet decomposition to the carrier image, extracted the horizon detail component and the vertical detail component, finally, according to the watermark information and chaos sequence, replace the specified step of horizon detail component by vertical detail component, inverting wavelet transform. The experimental results show that the use of this watermark embedding algorithm has good invisibility, the watermark embedding accuracy and capacity can depend on steps. Meanwhile, it has better robustness under the attack of geometric, JPEG loss compression, shear attack, noise, etc. When choosing the right step length, shear attacks in 3/4 can still be extracted ninety-nine percent watermark.

Key words: wavelet transform; wavelet coefficient; digital watermarking; anti attack; invisible watermark

0 引言

近年来,随着数字水印技术的不断发展,如何将信息合理隐藏,并在各种信道攻击下仍可获得较好的提取效果,成了各领域专家研究的方向。

信息隐藏技术有安全性、鲁棒性、隐蔽性以及水印容量等衡量标准。必须保证隐藏的信息难以被非法篡改和变更;在遇到各种攻击时需要能够部分或全部提

取信息;隐藏的信息必须不影响原信息的视觉效果和正常使用;隐藏信息的容量需要达到一定标准,过少的信息嵌入难以达到使用需求。

小波变换,是在傅里叶变换的基础上发展起来的,它在频域和时域上均有良好的局部化特性。文献[1-5]提出了基于小波低频逼近子图的水印嵌入技术,如低频区域分割、DCT 变换、非线性变换、人类视觉特性

收稿日期:2014-11-13

修回日期:2015-03-05

网络出版时间:2015-09-23

基金项目:辽宁省教育科学研究项目(L2013001);辽宁大学博士启动项目资助

作者简介:段晓杰(1989-),女,硕士,CCF 会员,研究方向为图像处理、数字水印;张绍成,通讯作者,讲师,研究方向为网络安全、信息安全管理;曲大鹏,博士,讲师,CCF 会员,研究方向为移动对等网络;范铁生,教授,研究方向为信息隐藏、声纹识别、图像处理。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150923.1506.046.html>

(HVS)等,由于小波低频逼近子图集中了载体图像的主要能量,极易影响嵌入水印的不可见性以及重构图像的质量。文献[6-7]提出基于多分辨率的数字水印技术和基于分块的思想,将水印嵌入到小波高频细节子图中,但提取时需要加载原始载体图像,没有实现盲检测。文献[8-9]提出基于混沌和小波域的水印算法,都是采用混沌对水印图像进行置乱和加密,并未将混沌运用在水印嵌入过程中,其鲁棒性有待提高。

据此,文中提出了一种基于混沌和小波变换系数的水印算法。采用混沌系统生成水印嵌入随机位置,再运用小波变换,仅对部分小波分解后的水平高频细节分量进行替换,有效保证了水印的不可见性,通过对步长的控制来实现嵌入水印容量和水印提取精度之间的平衡,使得本算法嵌入水印后能有效地抵御大部分攻击,检测时不需要使用原图,算法鲁棒性较高。

1 相关理论

1.1 混沌序列

混沌现象是在非线性动力系统中出现的确定性的、类似随机的过程,具有不可预测性和初值敏感性等特征^[10-11]。

一维 Logistic 混沌映射是一种经典的动力学系统,定义为:

$$X_{n+1} = \mu X_n (1 - X_n), X_0 \in [0, 1], \mu \in [3.569, 4] \quad (1)$$

对于每个确定的 μ 和初始值 X_0 , 都可以得到一系列 X_n 序列。当 $\mu \in [3.569, 4]$ 时, X_n 序列的值能平均分配在 $[0, 1]$ 区间内,且 μ 越接近 4, X_n 的取值范围越平均分布,此时 Logistic 序列处于混沌状态。

对于不同的初值来说,随着迭代次数增多,混沌序列相差越大,产生雪崩效应,也即 Logistic 映射对初值敏感。

Logistic 映射的非周期、不收敛以及初值敏感性的特点,使其具有高度的安全性,能运用在嵌入水印图像随机位置的确定性中。

采用一维 Logistic 混沌映射产生随机位置的步骤是:首先记录嵌入图像的长宽,并将其一维化,然后产生一维 Logistic 混沌序列,记录此混沌序列的坐标,再将此一维混沌序列升序或者降序排列,顺序取出混沌序列的坐标位置,将其作为水印嵌入的坐标。利用混沌映射产生的随机坐标位置,可以达到随机状态,使得嵌入的水印抵抗各种噪声和攻击的能力增强。

二维 Logistic 混沌映射是在一维混沌映射的基础上发展起来的,是将一维扩展到二维空间中,公式为:

$$\begin{aligned} x_{n+1} &= x_n + h(x_n - x_n^2 + y_n) \\ y_{n+1} &= y_n + h(y_n - y_n^2 + x_n) \end{aligned} \quad (2)$$

当 $h \in (0.6, 0.686]$ 时,系统处于混沌状态。根据初值敏感性,可选用不同的 X_0 、 Y_0 来产生不同混沌序列,且在接收端,初始值错误会导致提取出完全不同的水印。

1.2 小波变换

小波变换有信号处理的“显微镜”之称,其时频分析技术以及多分辨率技术为处理非平稳信号提供了方便^[12-13]。

小波变换具有可分离性、尺度可变性、平移性、正交性以及多分辨率的一致性。离散小波变换 (Discrete Wavelet Transform, DWT) 是连续小波变换的引申,适用于计算机图像的处理,通过离散化信号,能够最大程度上减少和降低冗余。

对图像进行离散小波分解,就是将图像看作二维信号,分别对图像的行和列分别进行一维离散小波变换。其变换公式为:

$$T(u, v) = \sum_{x, y} f(x, y) g_{u, v}(x, y) \quad (3)$$

其中, x 和 y 是空间变量; u, v 是变换域变量。

一级小波分解后,左上角为低频子带 LL,右上角为水平高频细节子带 HL,左下角为垂直高频细节子带 LH,右下角为高频对角细节子带 HH^[14]。

多分辨率技术又称多尺度分析,能够将信号分解为不同空间的部分,它提供了一种构造小波的统一框架,以及数字信号分解和重构的快速算法。

小波变换是对图像按照每一行进行一维 DWT 变换,即将行向量分别进行低通滤波和高通滤波,对应行向量的低频部分和细节部分。将滤波后的行向量进行下采样,只保留偶数点,除去奇数点,将其拼合成原大小的一维行向量。然后对经过 DWT 行变换后的图像的每一列进行一维 DWT 变换,经过行列 DWT 变换后,原图像被分为四个区域,分别记做 LL、HL、LH、HH。LL 为图像的低频逼近子图,其他三者对应图像的高频细节子图。

低频小波系数 LL 集中了图像的主要能量,若在此嵌入水印,易影响水印的不可见性;高频对角小波系数 HH 集中了高频大部分能量,易受噪声攻击,一般不选作隐藏信息的载体;而高频水平小波系数 HL 和高频垂直小波系数 LH 都是经过一次低通滤波和一次高通滤波,既保存了原图像的部分能量,使得嵌入水印鲁棒性增加,又保证了水印的不可见性,取两者之优势,故而文中选择在这两个系数矩阵中进行水印信息的嵌入。

1.3 图像置乱

图像置乱是通过将图像像素进行重组和重新排列,破坏图像像素间的相关性,以实现将图像信息进行

加密的目的,增加信息传输的安全性。

传统方法中常采用 Arnold 变换等图像置乱方式,实际上是移动点的位置,通过一一对应的点的变换以及多次迭代,来达到图像置乱的目的。迭代一定次数时,可以将原图变为杂乱无章的图像,再继续迭代一定次数,原图即被还原。但 Arnold 置乱的安全性不高,因此文中采用 Logistic 二维混沌置乱。

二维 Logistic 混沌置乱的步骤是:首先产生一个原图大小 λ 倍的二维混沌序列 X_n 和 Y_n ($\lambda = 2, 3, \dots$, 目的是产生足够多的坐标位置);然后对其进行取整操作,按顺序取出 X 索引中的横坐标和 Y 索引中的纵坐标,设置一个二进制索引表,并初始化为 0,按照取出的横坐标和纵坐标信息找到索引表中的值。若值为 0,则将对对应位置的索引表信息置 1;若值为 1,则接着选取下一对索引位置,直到索引表信息全部为 1 为止。记录下每次使索引表信息从 0 变为 1 的每对坐标,组成一个坐标序列。全部完成后,将原图对应坐标位置和坐标序列中的位置进行一一替换,替换后即原图置乱后的图像。

原图置乱后,在接收端根据水印置乱初值和参数,用水印置乱一致的过程产生相同的坐标索引矩阵,将坐标索引矩阵与置乱图像进行反变换,得到恢复后的原图。

在水印嵌入过程中,首先对水印图像进行置乱,在接收端增加了水印还原步骤,可以进一步提高水印信息的安全性。

2 算法步骤

2.1 水印嵌入步骤

文中采用替换小波系数的方法,来达到嵌入水印的目的。 C 为原始图像, W 为二值水印图像。步骤如下:

(1) 水印图像的初始化。按照上述二维 Logistic 混沌置乱步骤对水印进行置乱,记录混沌序列的初值 X_0 和参数 h 。

(2) 将原始图像 C 进行一级小波分解,得到一个低频子图 LL ,以及三个高频细节子图 HL 、 LH 、 HH 。

(3) 为了对 HL 和 LH 作随机替换,采用混沌系统中的一维 Logistic 变换,设置控制参数 $\mu \in [3.569, 4]$ 和初始值 X_0 ,利用 Logistic 映射方程产生长度为 $m \times n$ 的混沌索引序列 X ,其中 $m \times n$ 为水平高频细节子图 HL 大小。然后对 X 进行升序或降序排列,得到一个位置置乱后的索引序列,用此索引序列确定水印嵌入位置。

(4) 确定步长 $step$ 。 $step$ 为隐藏一个二进制位的信息需要多少个像素, $step$ 越长,提取精度越高。顺次

取出一位水印信息,若为 1,则按照 X 的位置索引,将 $step$ 个 HL 系数替换成 LH 系数,若水印信息为 0,则保持 HL 系数不变。

$$\begin{cases} HLC(st;ed) = LH(st;ed), W(i) = 1 \\ HLC(st;ed) = HL(st;ed), W(i) = 0 \end{cases} \quad (4)$$

其中, $st = i * step + 1$, $ed = (i + 1) * step$ 。

(5) 将变换后的水平高频分量 HLC 和原来的 LH 、 LL 和 HH 进行小波逆变换,重构图像记做 C' 。

由于小波水平细节系数与垂直细节系数的大部分能量类似,而区别仅在于边缘的方向上,因此对一级小波水平高频系数 HL 的某些点替换成 LH 的某些点,而对低频主要能量区域不做更改,进行反变换后重构的图像与原图改变不大,有效保证了水印的不可见性。

2.2 水印提取步骤

在传输的过程中可能受到某些信道噪声的影响和攻击,将接收到的图像记做 CN' 。

水印检测需要知道水印图像置乱初值 X_0 、 Y_0 ,控制参数 h ,水印嵌入位置的混沌序列的初值 X_0 、控制参数 μ 以及隐藏信息的步长 $step$ 。

水印的提取步骤如下:

(1) 首先对 CN' 进行一级小波变换,得到一个低频子图 LL' ,以及三个高频细节子图 HL' 、 LH' 、 HH' 。

(2) 按照产生一维 Logistic 混沌序列的初值和控制参数,利用 Logistic 映射方程 $X_{n+1} = \mu X_n (1 - X_n)$ 产生与嵌入过程一致的索引序列。按照步长 $step$ 提取 HL' 的相应坐标,并将 $step$ 之内的相应坐标与 LH' 坐标相减,取绝对值之和并求平均数:

$$a = \sum |HL'(st;ed) - LH'(st;ed)| / step \quad (5)$$

(3) 确定阈值 β ,将 a 与 β 进行比较,若 $a < \beta$,说明 $HL'(st;ed)$ 与 $LH'(st;ed)$ 相似度较高,因此提取 $W'(i) = 1$;否则说明 $HL'(st;ed)$ 与 $LH'(st;ed)$ 相似度较低,提取 $W'(i) = 0$ 。

(4) 将 $msg1$ 重新组合成 W' ,此时 W' 为置乱后的水印,将 W' 按照上述方法进行反置乱,得到恢复的水印图像。

3 实验结果

为了测试文中算法,采用 $512 * 512$ 的一系列图像进行仿真实验。水印 W 为 $32 * 32$ 的二值图, $X_0 = 0.2$, $\mu = 3.6$, $step = 64$ 。

无噪声情况下水印的嵌入和提取结果如图 1 所示。

对 Lena 图像剪切攻击后水印提取结果如图 2 所示。

对 Woman 图像加入高斯噪声后提取结果如图 3

所示。



图 1 无噪声下水印嵌入和提取



图 2 剪切攻击后水印嵌入和提取

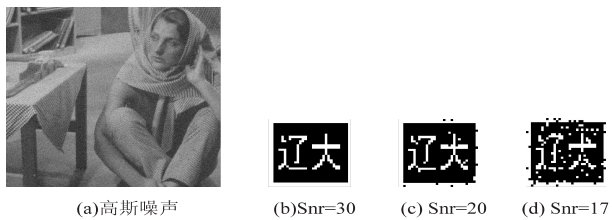


图 3 高斯噪声污染后水印嵌入和提取

对 Baboon 图像进行滤波和缩放攻击后水印提取结果如图 4 所示。

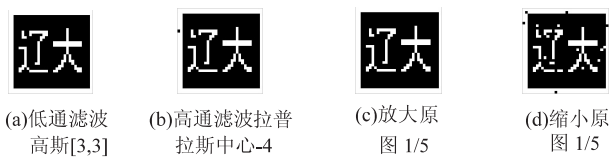


图 4 滤波和缩放后水印嵌入和提取

采用 NC 和 PSNR 来进行客观评价。其中 NC 为对图像水印提取后和原始水印进行归一化比较。

$$NC = \frac{\sum_i w_i' w_i}{\sqrt{\sum_i w_i'^2} \sqrt{\sum_i w_i^2}} \tag{6}$$

PSNR 为峰值信噪比,用来衡量原图和加噪图像的差异。

$$PSNR = XY \max_{xy} \frac{P_{x,y}^2}{\sum_{x,y} (p_{xy} - \tilde{p}_{xy})^2} \tag{7}$$

上述实验详细参数如表 1 所示。

可选用不同的 β 来达到不同的水印提取效果,由于测试采用 $\text{step}=64$,具有很高的冗余性,在剪切攻击 1/2 的情况下可以百分之百提取水印,在高通滤波 PSNR 为 10.9 的时候仍然可以提取 99% 的水印,对低通滤波、放缩攻击和 JPEG 有损压缩均有很好的提取效果,但对中值滤波的抵抗能力较弱,还需要进一步研究。

对不同载体图像进行实验,完整结果见表 2。

表 1 鲁棒性测试表

攻击类型	参数	阈值 β	PSNR	NC
剪切攻击	剪切 1/4	1	11.587 2	1.000 0
	剪切 1/2	1	8.002 3	1.000 0
	剪切 3/4	1	6.406 0	0.935 0
JPEG 有损压缩	$Q=80$	4.5	31.408 2	0.974 2
	$Q=70$	7	30.964 9	0.932 9
	$Q=50$	9.5	30.304 2	0.885 0
高斯噪声	$\text{Snr}=30$	6	30.065 5	0.996 8
	$\text{Snr}=20$	17.5	24.573 9	0.960 6
	$\text{Snr}=17$	23	22.049 6	0.864 9
滤波	高斯低通	7	28.095 5	1.000 0
	拉普拉斯	57	10.921 0	0.998 4
	中值滤波	8	23.331 5	0.730 7
其他几何攻击	缩小 1/5	10.5	10.921 0	0.998 4
	放大 1/5	7	28.586 4	1.000 0
	旋转 31.5 度	8	13.177 3	0.987 1

表 2 不同载体图像实验结果 (NC)

攻击类型	参数	Fish	Woman	Baboon
剪切攻击	剪切 1/4	1.000 0	1.000 0	1.000 0
	剪切 1/2	1.000 0	1.000 0	1.000 0
	剪切 3/4	0.997 0	0.981 2	0.993 7
JPEG 有损压缩	$Q=80$	1.000 0	1.000 0	1.000 0
	$Q=70$	0.983 3	0.993 7	1.000 0
	$Q=50$	0.878 0	0.919 5	0.990 5
高斯噪声	$\text{Snr}=30$	0.995 2	0.996 8	1.000 0
	$\text{Snr}=25$	0.998 4	0.993 7	1.000 0
	$\text{Snr}=20$	0.955 5	0.959 9	0.977 5
滤波	高斯低通	1.000 0	1.000 0	1.000 0
	拉普拉斯	0.900 4	0.937 7	0.990 4
其他几何攻击	缩小 1/5	0.855 0	0.921 9	0.970 8
	放大 1/5	1.000 0	1.000 0	1.000 0
	旋转 31 度	0.975 5	0.983 3	0.992 0

由表 2 可知,不同的图像提取效果略有不同。一般来说,图像垂直和水平分量相差较大,则提取效果较好。

4 结束语

文中采用混沌和小波变换相结合的方法隐藏水印,在剪切、有损压缩、噪声、滤波和缩放等攻击后仍可获得较好的提取效果,具有较好的鲁棒性。可以通过选用不同的步长来获得精度和水印容量之间的平衡,步长越大,隐藏一位二进制信息需要的原图像素越多,

于 CS 算法。

4 结束语

DACS 算法将 CS 算法中的步长改为自适应步长,并将具有很强局部搜索能力的 DFP 变尺度法与 CS 算法有机地结合在一起,不仅保持了 CS 算法强大的全局寻优能力,而且比 CS 算法具有更快的收敛速度、更高的收敛精度和更好的鲁棒性。DACS 算法较大幅度地提升了 CS 算法的综合性能,特别适合于求解高维、多峰多谷复杂函数的优化问题。

参考文献:

[1] Goldberg D E. Genetic algorithm in search, optimization and machine learning [M]. Boston: Addison – Wesley Longman Publishing Co. Inc, 1989.

[2] Dorigo M, Bonabeau E, Theraulaz G. Ant algorithms and stigmergy [J]. Future Generation Computer System, 2000, 16 (8): 851–871.

[3] Kennedy J, Eberhart R. Particle swarm optimization [C] // Proceedings of IEEE international conference on neural networks. Perth: IEEE, 1995: 1942–1948.

[4] 姜 斌, 梁士锋. 化学工程中多目标遗传算法的应用 [J]. 现代化工, 2007, 27 (7): 66–69.

[5] 张志猛, 李九宝, 刘兴高. 一种基于新型蚁群算法的聚丙烯熔融指数预报模型 [J]. 化工学报, 2011, 62 (8): 2270–

2274.

[6] 毕荣山, 杨 霞, 谭心舜, 等. 改进的微粒群优化算法在过程综合中的应用 [J]. 计算机与应用化学, 2004, 21 (4): 565–568.

[7] Payne R B, Sorenson M D, Klitze K. The cuckoos [M]. Oxford: Oxford University Press, 2005.

[8] Yang X S, Deb S. Cuckoo search via Levy flights [C] // Proceedings of world congress on nature & biologically inspired computing. Piscataway: IEEE, 2009: 210–214.

[9] Yang X S, Deb S. Engineering optimization by cuckoo search [J]. International Journal of Mathematical Modeling and Numerical Optimization, 2010, 1 (4): 330–343.

[10] Valian E, Tavakoli S, Mohanna S, et al. Improved cuckoo search for reliability optimization problems [J]. Computers & industrial Engineering, 2013, 64: 456–468.

[11] 王 凡, 贺兴时, 王 燕. 基于高斯扰动的布谷鸟搜索算法 [J]. 西安工程大学学报, 2011, 25 (4): 566–569.

[12] Fletcher R, Powell M J D. A rapidly convergent descent method for minimization [J]. Computer Journal, 1963, 6 (2): 163–168.

[13] 李国旗, 陈新度, 欧阳渺安. DFP 变尺度法在超精密非球面镜误差分析中的应用 [J]. 工具技术, 2007, 41 (8): 85–88.

[14] Ratnaweera A, Halgamuge S K, Watson H C. Self-organizing hierarchical particle swarm optimizer with time-varying acceleration coefficients [J]. IEEE Trans on Evolutionary Computation, 2004, 8 (3): 240–255.

(上接第 37 页)

提取精度越高,但水印容量相对较小;反之,提取精度降低,水印容量增大。文中算法采用 Logistic 混沌系统,将隐藏的每一位信息散布在原图的多个位置,增加了冗余性,保证水印的有效提取。

参考文献:

[1] 叶 闯, 沈益青, 李 豪, 等. 基于人类视觉特性 (HVS) 的离散小波变换 (DWT) 数字水印算法 [J]. 浙江大学学报: 理学版, 2013, 40 (2): 152–155.

[2] 赵雪章, 席运江. 一种基于多小波域与 DCT 的数字盲水印算法 [J]. 计算机仿真, 2011, 28 (3): 126–129.

[3] Victor H G, Clara C R, Mariko N M. Watermarking algorithm based on the DWT [J]. IEEE Latin America Transactions, 2006, 4 (4): 257–267.

[4] 吕海翠, 傅 鹏, 王 丹. 小波变换的低频数字水印 [J]. 计算机工程与应用, 2009, 45 (11): 99–101.

[5] 刘云如, 易叶青, 羊四清. 基于小波域多元非线性回归的鲁棒性数字水印算法 [J]. 计算技术与自动化, 2008, 27 (1): 57–60.

[6] Hsu C T, Wu J L. Image watermarking by wavelet decomposi-

tion [J]. Academy of Information and Management Sciences Journal, 2000, 3 (1): 70–86.

[7] 甘 甜, 冯少彤, 聂守平, 等. 基于分块离散小波变换的图像信息隐藏与盲提取算法 [J]. 物理学报, 2012, 61 (8): 183–190.

[8] 李 峰, 陈光喜, 丁 勇, 等. 基于混沌和 HVS 的小波域自适应图像水印算法 [J]. 计算机应用研究, 2012, 29 (6): 2224–2227.

[9] 殷 虹, 陈增强, 袁著祉. 基于超混沌和小波变换的鲁棒性数字水印算法 [J]. 控制与决策, 2006, 21 (9): 1024–1027.

[10] Wu C W, Rul’kov N F. Studying chaos via 1–D maps—a tutorial [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems I: Fundamental Theory and Applications, 1993, 40 (10): 707–721.

[11] 谢建全, 谢 勃, 阳春华, 等. 基于 Logistic 映射的加密算法的安全性分析与改进 [J]. 小型微型计算机系统, 2010, 31 (6): 1073–1076.

[12] 刘 涛, 曾祥利. 使用小波分析入门 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2006.

[13] 杨 榆, 钮心忻. 信息隐藏与数字水印实验教程 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.

[14] 王相海. 基于小波的图像水印研究进展 [J]. 计算机科学, 2005, 32 (1): 202–207.

基于混沌和小波变换系数的数字图像水印算法

作者：[段晓杰](#)，[张绍成](#)，[曲大鹏](#)，[范铁生](#)，[DUAN Xiao-jie](#)，[ZHANG Shao-cheng](#)，[QU Da-peng](#)，[FAN Tie-sheng](#)
作者单位：[辽宁大学 计算中心, 辽宁 沈阳, 110036](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(10)

引用本文格式：[段晓杰](#). [张绍成](#). [曲大鹏](#). [范铁生](#). [DUAN Xiao-jie](#). [ZHANG Shao-cheng](#). [QU Da-peng](#). [FAN Tie-sheng](#) [基于混沌和小波变换系数的数字图像水印算法](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(10)