

# 基于 Haar 小波的土家织锦图案的水印算法

李 军, 向长城

(湖北民族学院信息工程学院, 湖北 恩施 445000)

[摘要] 采用数字化技术手段实现非物质文化遗产保护近年来被广泛研究, 数字水印作为图像版权保护和内容认证已经成为多媒体信息安全研究领域的一个热点. 本文利用 Logistic 映射产生的混沌序列有序的嵌入数字水印的方法, 研究了基于 Haar 小波变换的数字图像水印算法, 并借助 MATLAB 编程工具, 实现数字水印的嵌入和提取. 实验证明该算法具有很好的不可见性和鲁棒性.

[关键词] 数字水印, 小波变换, 土家织锦, 非物质文化遗产保护

[中图分类号] TP391 [文献标识码] A [文章编号] 1001-4616(2010)04-0153-04

## Digital Watermarking Algorithm Based on Tujia Brocade Design of Haar Wavelet Transform

Li Jun, Xiang Changcheng

(College of Information Engineering, Hubei University for Nationalities, Enshi 445000, China)

**Abstract** In recent years, digital technology has been widely researched as an effective solution for nonmaterial cultural heritage protection, and digital watermarking becomes a focus in the study for copyright protection and authentication of multimedia information security. The watermark is preprocessed by logistic chaotic sequences and spread adaptively over the image wavelet domain, and a robust digital watermarking algorithm based on Haar wavelet transform is proposed. MATLAB program tool was used to achieve embedding and detection of the digital watermarking. The experimental results demonstrate that the watermark is robust to general image processing techniques and geometric distortions.

**Key words** digital watermarking, wavelet transform, Tujia brocade, nonmaterial cultural heritage protection

非物质文化遗产 (简称非遗) 是一个民族对自身进行识别的重要特征, 非遗的保护在国内外已经引起了广泛的关注<sup>[1]</sup>. 土家织锦俗称“西兰卡普”, 意思是“带花的被面”, 是土家姑娘用一种古老的木腰机, 完全用手工织成的手工艺品. 土家织锦的纹样朴素大方, 色彩斑斓, 粗犷简练, 饱满厚重, 具有浓郁的民族特色和很高的艺术价值, 2006 年 6 月被国务院列入我国首批 518 项国家级非物质文化遗产. 近年来借助高效的数字化技术手段实现非物质文化遗产保护与发扬已经是一种趋势<sup>[2]</sup>. 从本质上讲, 数字化技术的优势在于数据处理的量与效率, 近年来人工智能的发展又使数字化技术在对数据内容的理解和创造方面取得了长足的进展, 这些优势都对非遗保护技术的研发与应用起到了极大的推动作用<sup>[3]</sup>. 随着数字技术和因特网的发展, 图像、音频、视频等形式的多媒体数字作品纷纷在网络上发布, 其版权保护与信息完整性保证逐渐成为迫切需要解决的一个重要问题. 而数字水印 (digital watermarking) 技术因其独有的不可见性和鲁棒性, 正成为一种越来越有效的版权声明技术而受到各方面的重视<sup>[4]</sup>. 目前, 针对非遗保护的专用技术研究方面仍有许多问题亟待解决<sup>[5]</sup>, 而高效、简洁、紧凑的 MATLAB 软件编程工具, 使数字水印技术在图像版权保护方面得到更好的应用<sup>[6]</sup>. 本文针对土家织锦图案的版权保护问题进行研究, 给出了 Haar 小波变换的土家织锦图案的数字水印算法, 并利用 MATLAB 实现了数字水印的嵌入、提取和攻击测试.

收稿日期: 2009-12-10

基金项目: 国家社会科学基金 (09XM Z045)、国家民委基金 (09HB06).

通讯联系人: 李 军, 副教授, 研究方向: 计算机图形学、图像及多媒体信息处理, 非物质文化遗产保护数字化研究. E-mail: lijun72213@163.com.

# 1 Haar小波

在众多正交函数中, Haar小波函数<sup>[7]</sup>是最简单的正交函数, 与其他正交函数相比, 它具有构造简单、对应的滤波器具有线性相位性、计算方便的特点. 因此 Haar小波函数引起人们的普遍关注. Haar函数的正交集是一些幅值为 + 1或 - 1的方波, 而且在一段区间有值, 其他区间为零. 这使得 Haar小波变换比其他小波函数要快.

## 1.1 Haar小波函数

小波函数通常用  $\Psi_i^j(x)$  表示. 与函数相对应的小波称为 Haar小波函数, 其定义如下:

$$\Psi(x) = \begin{cases} 1 & 0 \leq x < 1/2 \\ -1 & 1/2 \leq x < 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \tag{1}$$

Haar小波尺度函数  $\Psi_i^j(x)$  定义为:

$$\Psi_i^j(x) = \Psi(2^j x - i), \quad i = 0, 1, 2, \dots, (2^j - 1) \tag{2}$$

其中,  $j$ 为尺度因子, 改变  $j$ 使函数图形缩小或者放大;  $i$ 为平移参数, 改变  $i$ 使函数沿轴方向平移.

## 1.2 Haar小波变换

小波变换的基本思想是用一组小波函数或者基函数表示一个函数或者信号. 与傅立叶变换不同, 小波变换通过平移母小波 (mother wavelet)可获得信号的时间信息, 而通过缩放小波的宽度 (或者叫做尺度)可获得信号的频率特性. 在小波变换中, 近似值是大的缩放因子产生的系数, 表示信号的低频分量. 而细节值是小的缩放因子产生的系数, 表示信号的高频分量.

对二维图像进行 Haar小波变换的标准分解, 是先使用一维小波对图像每一行的像素值进行变换, 产生每一行像素的平均值和细节系数, 然后再使用一维小波对这个经过行变换的图像的列进行变换, 产生这个图像的平均值和细节系数. 图 1是 Haar小波对二维图像的一级及二级分解子带图, 在右图中最低频  $a_2$  子带图像与原始图像极其相似, 只是尺寸变小, 它包含了原图的绝大部分能量, 对恢复图像质量影响较大, 其余高频子带的小波系数大多非常小. 在同一层, 由于  $v$  及  $h$  子图表示的边缘子图像的小波系数和方差比  $d$  子图要大, 因此  $d$  子图在重构图像时不是很重要.

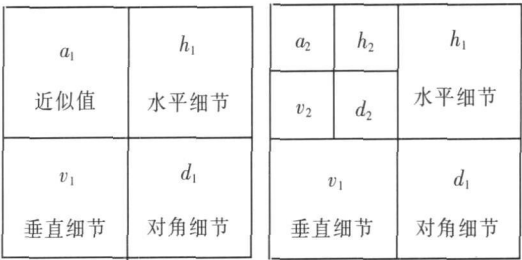


图 1 小波一级及二级分解子带图  
Fig.1 Diagram of 1-D wavelet and 2-D wavelet decomposition of image

另外, 小波变换用于图像处理时还要考虑一些问题. 首先要注意小波基的正则性阶数. 正则性是函数光滑程度的一种描述, 也是函数频域能量集中的一种度量, 正则性越差, 则重建图像的变化就越不光滑, 视觉效果就越差. 对正则性差的小波主要采用增加滤波器长度的方法改善重构图像质量, 但带来的代价是运算量大、速度慢. Haar小波就属于这种小波. 其次要考虑待处理图像与小波基的相似性. 对同一幅图像而言, 用不同的小波基进行分解所得到的数据压缩效果是不同的, 小波基的基本图像与待处理图像的结构越相似, 压缩效果就越好. 再次还要考虑小波变换的边界问题. 边界失真主要是正交镜像滤波器的非线性相位特性、信号自身在边界附近的相关性以及变换结果抽样所造成的, 当正交镜像滤波器的相位特性是非线性时, 经过一级分解后的结果在边界处不再具有对称性, 这必然导致重建信号在边界处产生误差, 并影响到下一级分解.

# 2 混沌置乱的数字水印算法

- a 将水印图像的像素矩阵存放成一维数组中.
- b 利用 Logistic混沌映射生成混沌序列, 并将此序列与存放水印图像的一维数组的元素一一对应起来.
- c 将生成的混沌序列按大小顺序重新排列, 水印图像数组中的元素做相应的位置变换.

得到置乱后的水印图像,视觉上无法辨认其所携带的信息.如图 2所示.

d 给定系统参数和初值,由 Logistic映射产生混沌水印序列  $W = \{\omega_i, 0 \leq i \leq n\}$ ,这里取  $n = 2047$

e 对原始图像进行二级 H aar小波变换,从 H aar小波变换系数矩阵中选择最大的 2048个系数,对他们做如下修改:  $x'_i = x_i (1 + \alpha \omega_i)$ ,其中  $x'_i$  是改变后的 H aar小波变换值,  $x_i$  是原来的 H aar小波变换值,  $\alpha$  为水印嵌入的强度.

f 对修改后的 H aar小波变换矩阵进行逆变换,得到嵌入了水印的 Lena和土家织锦水印图像.如图 3所示.



图 2 水印置乱

Fig.2 Water mark scrambling

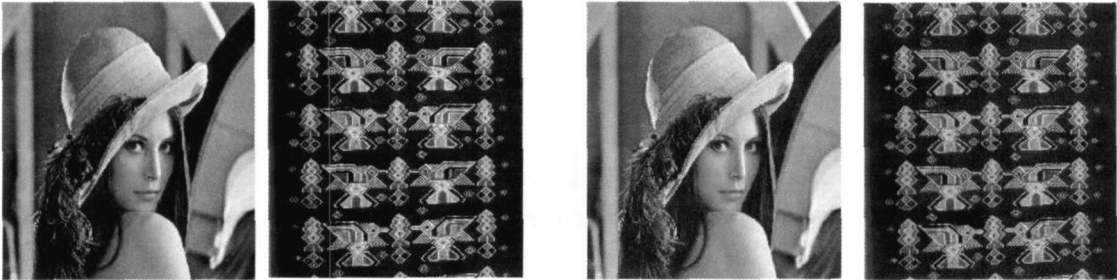


图 3 水印嵌入

Fig.3 Water mark embedding

i 对原图像和嵌入水印的图像分别进行二级 H aar小波变换,利用公式  $\omega_i = \frac{x'_i - x_i}{\alpha x_i}$  提取水印,提取的水印如图 4所示.

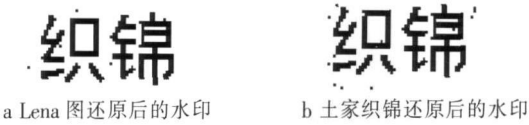


图 4 水印提取

Fig.4 Water mark extracting

3 实验结果

利用 MATLAB对上述算法进行有效性实验,实验选用  $384 \times 384$  的 lena图像和土家织锦图像(见图 3(a))对水印的鲁棒性进行验证,图 3(b)是嵌入水印后的图像,图 4(a)和图 4(b)是提取的二值水印图像.可以看出,水印隐蔽性很好,视觉上嵌入水印的图像与原始载体图像之间的差别不大,提取的水印效果好.为了对比,下面给出本文算法的鲁棒性测试结果.

实验一 抗滤波攻击的鲁棒性测试

图 5(a)为对含水印的图像进行高斯低通滤波攻击下检测到的数字水印信息图像;图 5(b)为提取出的水印.实验表明,本算法对滤波攻击具有较强的鲁棒性.

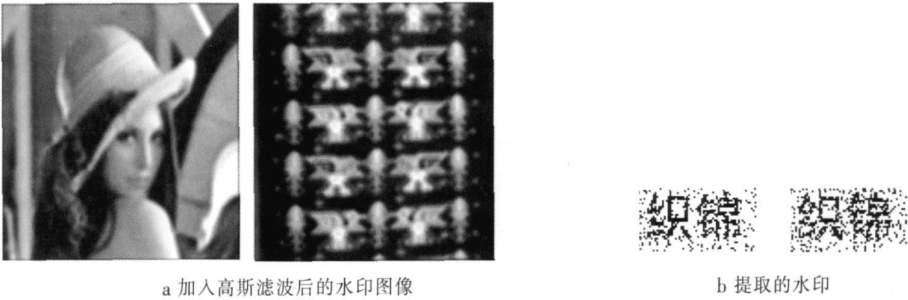


图 5 抗滤波攻击实验

Fig.5 Robust for resisting against filtering

实验二 抗剪切攻击的鲁棒性测试

图 6(a)和图 6(c)为对嵌入水印后的图像分别剪切左上角 1/8和中心 1/8后的图像;图 6(b)和图 6(d)分别为提取出的水印.实验表明,不同位置对图像进行剪切,在面积不是很大时,提取的水印效果好.

实验三 抗噪声攻击的鲁棒性测试

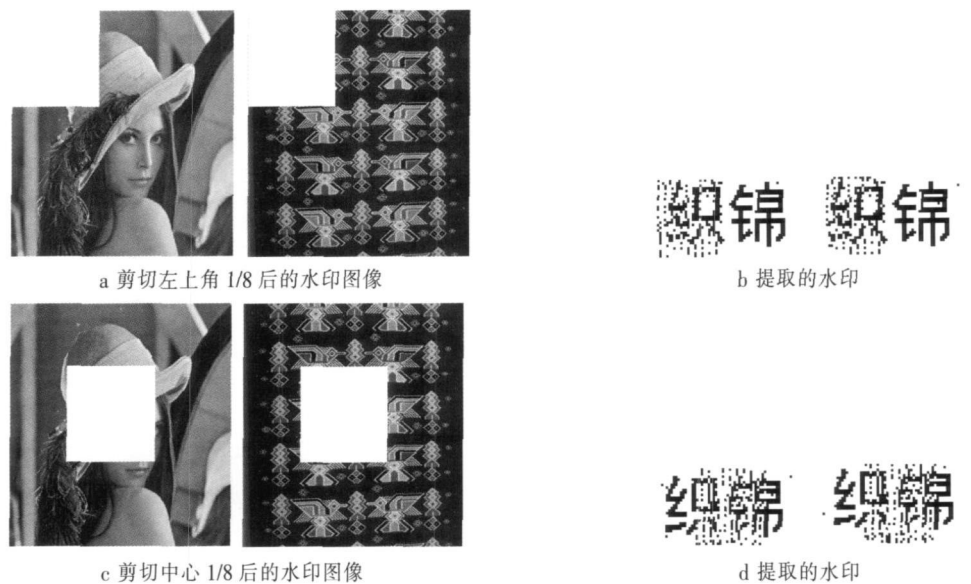


图 6 抗剪切攻击实验

Fig.6 Robust for resisting against cropping

图 7( a)为对嵌入水印后的图像加入高斯噪声的图像;图 7( b)为提取出的水印. 实验表明, 本算法对噪声攻击具有较强的鲁棒性.

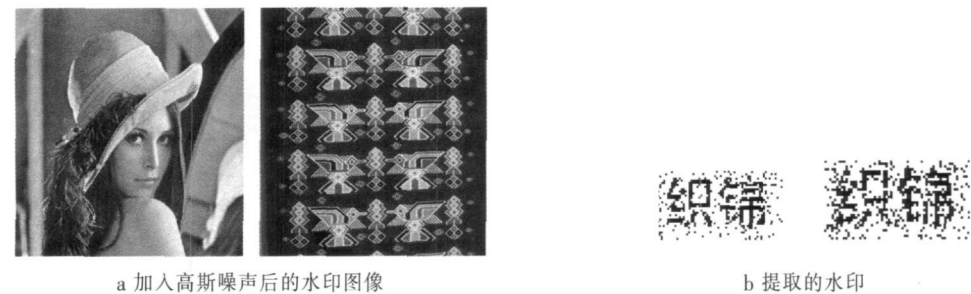


图 7 抗噪声攻击实验

Fig.7 Robust for resisting against noise

4 结束语

本文给出基于 Haar小波变换的数字图像水印算法, 为土家织锦图案的版权保护提供了一种有效的方法, 并利用 MATLAB实现了数字水印的嵌入、提取和攻击测试. 实验结果表明, 提取出的水印都能够很清楚地辨别出来, 所用的嵌入以及提取算法在抵抗滤波、剪切和噪声攻击方面都具备一定的鲁棒性.

[参考文献]

[ 1 ] 彭冬梅, 刘肖健, 孙守迁. 信息视角: 非物质文化遗产保护的数字化理论[ J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2008 (1): 117-123

[ 2 ] 飞龙. 国外保护非物质文化遗产的现状[ J]. 文艺理论与批评, 2005( 6): 59-66

[ 3 ] 胡伟, 潘志庚, 刘喜作, 等. 虚拟世界自然文化遗产保护关键技术概述[ J]. 系统仿真学报, 2005, 15( 3): 315-325

[ 4 ] Hernandez J R, Perez-Gonzalez E. Statistical analysis of watermarking schemes for copyright protection of images[ J]. IEEE Trans Image Processing 2002, 11( 8): 1 142-1 166

[ 5 ] Parry Ross. Digital heritage and the rise of theory in museum computing[ J]. Museum Management and Curatorsh ip, 2005 (20): 333-348

[ 6 ] 余成波. 数字图像处理及其 MATLAB实现 [M]. 重庆: 重庆大学出版社, 2003

[ 7 ] 林福宗. 多媒体技术基础 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2000

[责任编辑: 陆炳新]