

文章编号:1671-6833(2007)02-0084-04

基于时空二维混沌的自适应彩色图像水印算法

徐振启, 卢 洵, 罗少鹏

(解放军信息工程大学 理学院, 河南 郑州 450001)

摘 要: 提出一种基于时空混沌的离散余弦变换域(DCT域)自适应彩色图像水印算法. 算法采用时空混沌模型生成混沌序列对二值水印进行置乱加密, 同时结合改进的人类视觉模型(HVS)图像块分类方法和彩色图像RGB分量特点确定水印嵌入强度, 最后, 水印被重复嵌入到彩色图像RGB各个分量DCT中频变换系数中. 实验结果表明, 该算法对于抵抗各种噪声、滤波和压缩等攻击具有非常好的鲁棒性, 在分别遭受压缩比为30%、剪切掉25%的攻击时, 仍能提取出相似度为0.914和0.869的水印.

关键词: 数字水印; 时空混沌; 人类视觉模型; 离散余弦变换域; 鲁棒性

中图分类号: TN 915.08

文献标识码: A

0 引言

数字水印自1993年被正式提出以来, 由于其在数字产品版权保护方面的潜在应用, 越来越受到国内外学者的重视, 并成为近年来多媒体信息安全研究领域的一个热点. 但已提出的水印方案基本上都是针对灰度图像的, 彩色图像水印算法尚未得到充分的研究. 尽管针对灰度图像的水印算法通过某些修正也可用于彩色图像, 如将RGB分量空间变换为YUV分量空间或者YCbCr分量空间, 仅对Y分量(亮度)按灰度图像算法处理, 或仅在其中一个分量嵌入水印等, 但这些方法都不能充分体现彩色图像自身的特点.

由于混沌序列相对于普通的伪随机序列具有显著的优点, 如其产生的硬件消耗低、成本低、安全和易生成等, 所以将混沌理论的非线性技术引入到数字水印算法中目前正在成为国际上的研究热点. 但是采用单一的低维混沌系统存在被攻破的潜在危险^[1], 为提高系统的安全性能. 本文作者基于耦合映像格子模型^[2], 将时空二维混沌系统生成的混沌序列用于水印信息的预处理, 大大提高了水印的安全性. 同时充分利用彩色图像自身特点, 在纹理块分类以及RGB分量特点方面进行改进, 使水印的嵌入强度达到最大.

1 时空二维混沌序列的生成

时空二维混沌^[2-3]序列一般采用单向耦合映

象格子(OCML)模型来生成, 如下式所示:

$$\begin{cases} x_{n+1}^i = (1 - \varepsilon_i)f(x_n^i) + \varepsilon_i f(x_n^{i-1}) \\ (i = 1, 2, \dots, L; x_n^0 = x_n) \end{cases} \quad (1)$$

式中: n 表示离散化的时间, 称 ε_i 为系统耦合系数; x_n 称为系统的驱动序列; $f(\cdot)$ 为一维混沌映射. 在时空混沌的研究中一般取 $f(x) = 1 - \alpha x^2$, 即 Logistic 映射的情况. 本文中 $f(\cdot)$ 取 Logistic 满映射, $\alpha = 2$. 这是一个时间、空间都离散, 而状态保持连续的动力学系统.

2 基于时空混沌的自适应水印嵌入和提取算法

2.1 时空混沌加密水印图像

(1) 给定初值, 由时空混沌模型生成一个与水印图像大小相同的混沌矩阵.

(2) 对混沌矩阵中的元素进行由大到小的排序, 水印图像中的相对应元素跟随混沌矩阵中的元素变动位置, 置乱水印图像.

(3) 为了增强安全性, 另行选取初始值, 用上述时空混沌模型再生成一次混沌序列, 在对图像加密之前, 先通过一个域值, 换成0、1序列, 然后逐位与置乱后的图像进行异或运算, 最后生成加密后图像.

图1为经时空二维混沌加密和解密后的二值图像(64×64).

2.2 基于HVS特性的图像块分类改进

黄继武等人已经对基于HVS特性的图像块

收稿日期: 2006-12-28; 修订日期: 2007-03-16

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(90204004)

作者简介: 徐振启(1981-), 男, 山东临沂人, 解放军信息工程大学硕士研究生, 主要研究方向为图像处理.

分类做了大量的工作^[4-5],他们根据图像的纹理掩蔽特性和照度掩蔽特性将图像块进行分类,不同的类别嵌入强度不同.分类如下:①第一类,照度低,纹理简单,HVS对其中像素值的改变较为敏感,叠加水印的强度应最小.②第二类照度较高,纹理较复杂,HVS对其中像素值的改变不敏感,叠加水印的强度应最大.③其余的为第三类,叠加水印的强度适中.



图1 水印加密效果

Fig.1 Watermark encryption effect

这种分类对灰度图像合适,但对本文的彩色图像数字水印却不合适,因为图像的边缘信息对视觉很重要,特别是边缘的位置信息,如果嵌入强度过大,很容易引起边缘失真,因此对于边缘区域和非边缘区域,必须区别对待.故而对原有的分类方法进行改进,对彩色图像的边缘区域进行分类,进一步提高图像分类的准确性、完整性.根据前人的工作,以及HVS特性,我们对图像块分类改进如下:①第一类,照度较低,且纹理简单,HVS对其中像素值的改变较为敏感,叠加的水印分量的强度应最小.②第三类照度较高,纹理复杂,且是边缘,叠加的水印分量的强度应较小.③第四类照度较高,纹理复杂,且不是边缘,HVS对其中像素值的改变敏感性最弱,叠加的水印分量的强度应最大.④其余为第三类,强度适中.

具体计算如下:将载体图像 I 分成 8×8 的块,计算每一块的熵值和方差,熵值较小的块应该是平滑区域,而熵值较大的区域可能是纹理或边缘,纹理对应的方差较小,边缘对应的方差较大,而背景照度大小可通过DCT块的直流分量的大小来估计.这样我们根据计算将所有的图像块分成4类,为每一类指定一个强度系数.到目前为止,嵌入强度跟照度、熵值和方差之间的关系还没有确定的公式来描述,只能根据经验结合实验数据来确定,同时各种算法也有所区别,各自的强度系数也有所不同.根据本文算法的需要,通过大量实验,把第一、二、三、四类的嵌入强度系数分别定为:0.04,0.12,0.18,0.06.

2.3 基于RGB分量比例的自适应嵌入强度调节

彩色图像有多种表示方式.RGB分量空间表示法是最常用的描述方法.通过对彩色图像水印的嵌入实验^[6,7],发现RGB分量空间中某一分量

在某一图块中占主导地位或占较多比重时,需在这种分量上嵌入较小强度的水印;相反对于占较低分量的则嵌入较大强度的水印.即弱基色发生较强的变化,强基色发生较弱的变化,这样强基色在一定程度上掩盖了弱基色的变化.

若以 S_R, S_G, S_B 分别表示 8×8 图像块红色分量、绿色分量、蓝色分量总和,则每一层中每一块的嵌入强度可表示为

$$\begin{cases} R_\alpha = \frac{aS_R^{-t}}{S_R^{-t} + S_G^{-t} + S_B^{-t}} \\ G_\alpha = \frac{aS_G^{-t}}{S_R^{-t} + S_G^{-t} + S_B^{-t}} \\ B_\alpha = \frac{aS_B^{-t}}{S_R^{-t} + S_G^{-t} + S_B^{-t}} \end{cases} \quad (2)$$

式中: a 是根据HVS图像块分类得到的强度系数; t 是为了对水印嵌入强度进行非线性调整而选择的指数,它作为控制参数在实验中按经验值给出,本文中 t 取1.

2.4 水印的嵌入过程

(1)水印信息的预处理,为增强水印的抗干扰能力,特别是对剪切的抗攻击能力,我们用时空混沌序列对二值水印信息进行置乱加密.

(2)原始图像纹理块分类,根据我们提出的HVS图像块分类改进算法,将原始图像进行 8×8 的分块,并对图像块进行分类.

(3)根据每一块RGB分量比例特点及该块HVS分类确定的嵌入强度,确定每一块中各个分量水印的嵌入强度.

(4)对原始图像每一块各个分量进行二维DCT变换,选取中频系数,采取乘性方式嵌入.为确保水印的稳健性,在每一块三个分量中重复嵌入水印.

(5)对嵌入水印信息的图像块进行反DCT变换,得到嵌入水印后的图像 I_w .

2.5 水印的提取过程

水印提取过程基本上是嵌入的逆过程,首先根据水印的嵌入过程,寻找出水印的嵌入位置.然后对图像的嵌入区域数据和含水印图像的嵌入区域数据进行求差运算,提取出该位置的水印信息.最后,由于水印信号被分别嵌入在 R, G, B 分量中,共嵌入了3遍.所以将各分量分别求差后得到的结果按照少数服从多数的原则确定水印,并根据置乱加密算法进行恢复,得到提取的水印.

3 仿真实验结果

图2为嵌入效果图,载体图像(图2(a))为 $256 \times 256 \times 3$ 的标准彩色lena图像.水印(图2(b))是带有信息大学字样 32×32 大小的二值图

像. 图 2(c) 是嵌入水印后的图像, 此时图像的峰值信噪比 $PSNR = 39.794\text{ dB}$, 提取水印的归一化相似度 $NC = 1$. 主观视觉效果也证实了本算法实现的水印的不可见性.

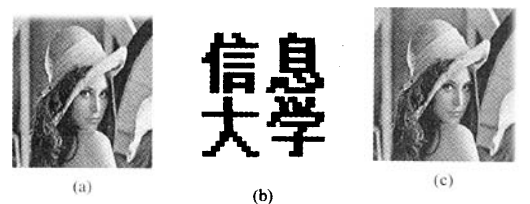


图 2 水印的添加效果
Fig.2 Watermark insert effect

图 3(a) 为加入密度为 0.02 的椒盐噪声后的图像, 此时图像的 $PSNR = 21.398\text{ dB}$, 提取水印的归一化相似度为 0.911(图 4(a)), 说明图像对椒盐噪声较严重的情况下, 水印仍能够很好地恢复出来. 图 3(b) 为进行 25% 的剪切后的图像, 此时图像的 $PSNR = 10.535\text{ dB}$, 提取水印的归一化相似度为 0.869(图 4(b)), 说明图像在遭受剪切的情况下, 水印仍可被很好的恢复出来. 图 3(c) 为进行 [5 5] 的中值滤波后的图像, 此时图像的 $PSNR = 27.093\text{ dB}$, 提取水印的归一化相似度为 0.916(图 4(c)), 说明水印对于滤波也具有良好的稳健性. 图 3(d) 为进行 30% JPEG 压缩后的图像, 此时图像的 $PSNR = 29.863\text{ dB}$, 提取水印归一化相似度为

0.914(图 4(d)), 说明水印对 JPEG 压缩具有较好的稳健性.

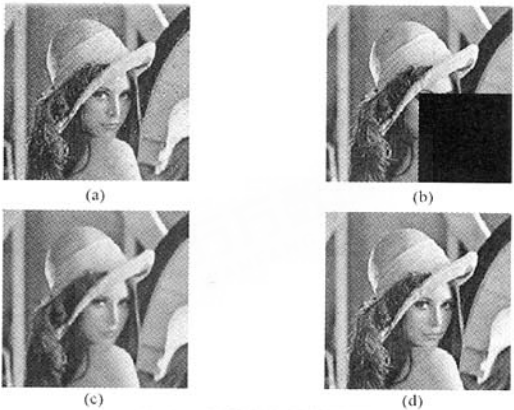


图 3 水印的稳健性演示
Fig.3 Watermark steadiness demonstration

更多的抗攻击实验结果我们用表 1 来说明, 并将结果与非自适应算法的数据进行比较来说明本算法的优点. 由表 1 中的数据我们可以看出, 改进算法在非自适应算法的基础上, 使得水印在抵抗 JPEG 压缩、噪声、滤波、以及缩放和剪切等方面有了显著的提高, 比如对维纳滤波, 窗口为 [7 7] 时, 载体图像已经严重失真, 但此时仍旧能够提取出相当清晰的水印信息.

表 1 抗攻击参数表
Tab.1 Anti-attack parameter list

攻击类型	参数	非自适应算法		改进算法	
		峰值信噪比 PSNR/dB	归一化相似度 NC	峰值信噪比 PSNR/dB	归一化相似度 NC
加噪声	椒盐	0.001	34.463	0.990	0.996
		0.010	24.662	0.925	0.963
		0.020	21.589	0.851	0.911
	高斯	0.001	29.284	0.873	0.947
		0.003	24.323	0.782	0.887
JPEG	压缩比	50%	31.865	0.904	0.966
		30%	29.501	0.822	0.914
滤波	维纳	[3 3]	34.331	0.895	1.000
		[7 7]	28.403	0.704	0.825
	中值	[3 3]	31.363	0.920	0.980
		[6 6]	23.983	0.755	0.807
直方图均化	从 [0 0.88] 到 [0 1]	22.093	0.887	21.493	0.863
几何攻击	旋转	3 度	11.044	0.556	0.556
		5 度	9.632	0.523	0.534
		75%	27.791	0.862	0.920
	缩放	25%	21.708	0.776	0.835
		150%	45.404	1.000	1.000
	剪切	25%	10.538	0.678	0.869
		50%	7.862	0.563	0.710

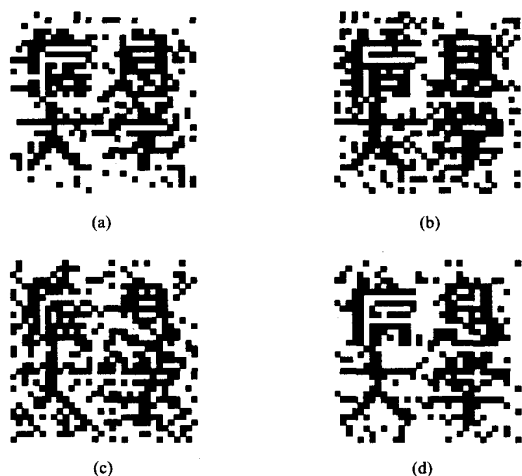


图4 提取的水印

Fig. 4 Withdraws watermark

4 结论

本算法是在充分考虑了人类视觉模型(HVS)特性和图像RGB分量比例特点之后,在图像的DCT变换域内完成的,充分利用了彩色图像自身的特点,使得嵌入水印的强度达到最大,从而

使水印的稳健性大大提高。

实验表明,对于旋转攻击,本算法抗攻击能力较低,此外,相对于非自适应算法而言,改进算法虽然达到了较好的效果,但计算量也较大。

参考文献:

- [1] 彭 军,李学明,张 伟,等.基于耦合映像格子模型的时空混沌二值序列及其分析[J].计算机科学,2005,32(2):196-199.
- [2] 杨维明.时空混沌和耦合映像格子[M].上海:上海科技教育出版社,1994.
- [3] 张 维,山秀明,任 勇.基于时空二维混沌的数字水印算法[J].微计算机信息,2005,11(3):4-5.
- [4] 黄继武,YUN Q,SHI,等.DCT域图像水印:嵌入对策和算法[J].电子学报,2000,28(4):57-60.
- [5] 茅时群,高 健.灰度图像水印的自适应二维数字水印算法[J].微计算机信息,2006,22(1):184-186.
- [6] 朱建红,范新南.一种基于HVS的彩色图像数字水印算法[J].河海大学学报,2004,18(2):18-23.
- [7] 谭秀湖,刘国枝,孙 旭.基于最小均方差下的3D模型数字水印算法[J].郑州大学学报(工学版),2006,27(4):24-27.

Adaptive Color Image Digital Watermarking Algorithm Based on Spatiotemporal Chaos Encryption in DCT Domain

XU Zhen - qi, LU Xun, LUO Shao - peng

(Institute of Science, Information Engineering University, Zhengzhou 450001, China)

Abstract: In this paper, a sort of adaptive color image digital watermarking algorithm based on spatiotemporal chaos encryption in DCT domain, is proposed. This algorithm uses spatiotemporal chaos model to generate chaos sequence which is used to throw the binary system watermark into confusion. Then it splits the original image into blocks and classifies these blocks based on HVS and the RGB components characteristic. Finally different intensity watermarks are adaptive embedded into the DCT coefficients of the original image. Experimental results show that this algorithm is very robust against the typical image processing attacks such as noise filtering and compression. For example, when the image is compressed 30% or cut 25%, the watermark of NC 0.914. 0.869 respectively can still obtained.

Key words: digital watermarking; spatiotemporal chaos; HVS; DCT; robustness