

文章编号: 1004-4353(2017)04-0353-06

基于边缘特征的动画零水印算法

高雪丽, 李德*

(延边大学工学院 计算机技术学科 网络通信与信息安全研究室, 吉林 延吉 133002)

摘要: 为了更有效地提取动画的边缘轮廓特征, 提出一种基于边缘特征的动画零水印算法. 首先, 选取动画中的关键帧并且将关键帧分组, 并采用二维离散余弦变换提取低频系数; 在变换域的处理上, 采用具有良好的多尺度、多方向分析特性的轮廓波变换以提高水印算法的鲁棒性. 然后, 利用奇异值分解技术得到二值序列并进行保存, 在处理水印图像时采用视觉密码技术和混沌置乱技术以增强算法的安全性. 最后, 将二值序列与处理后的水印图像进行逻辑运算, 构造“零水印”密钥. 实验结果表明, 本文算法在抵抗高斯噪声、裁剪攻击、压缩攻击时都具有很强的鲁棒性, 同时能够抵抗一定程度的帧丢失攻击.

关键词: 零水印; 二维离散余弦变换; 轮廓波变换; 奇异值分解; 视觉密码; 混沌置乱

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A

Animation zero watermark algorithm based on edge feature

GAO Xueli, LI De*

(*Network Communication and Information Security Lab., Dept. of Computer Technology,
College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China*)

Abstract: A animation zero watermark algorithm based on edge feature is proposed to more effectively extract the edge contour feature of animation. Firstly, the zero watermark algorithm selects one of the key frames in the animation and groups the key frames, and the low frequency coefficients are extracted with the 2D DCT transform; in the transform domain processing, the contourlet transform with the characters of good multi-scale and multi direction analysis is used to improve the robustness of the watermark algorithm. Then, binary sequences are got from singular value decomposition (SVD). For the watermark image, the visual cryptography and chaotic scrambling are used to enhance the security of the algorithm. Finally, the binary sequences and the processed watermark image do logical operation to construct "zero watermark" key. The experimental results show that the method is very robust against gaussian noise attacks, clipping attacks, compression attacks, and can resist on frame loss attacks to some extent.

Keywords: zero watermark; DCT transform; contourlet transform; singular value decomposition; visual cryptography; chaotic scrambling

0 引言

随着网络技术的快速发展, 图像、动画、音频、视频等数字多媒体产品的版权保护变得越来越重要, 为了保护数字多媒体产品的版权, 数字水印技术应运而生. 近年来, 数字水印技术在数字图像版权保护方面取得了较多研究成果, 例如: 毕洪波^[1]提出了一种基于轮廓波 (Contourlet) 变换和奇异值分解 (SVD) 的联合域抗信号处理攻击的鲁棒性图像水印算法, 该方法增加了图像的鲁棒性, 但图像的安全性

收稿日期: 2017-03-21 * 通信作者: 李德(1972—), 男, 博士, 教授, 研究方向为信息安全、版权保护.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(61262090); 吉林省教育厅“十三五”科学技术研究项目(吉教科合字[2016]第 249 号)

容易受到威胁;Swanson 等^[2]提出了一种基于感知模型的多分辨率场景视频水印算法,但该方法在视频的边缘特征的处理上不够精细;A.Koz 等^[3]提出了基于人类视觉系统的无视时空数字视频水印算法,该算法对高斯噪声攻击具有较强的鲁棒性,但是抵抗压缩、裁剪等攻击的鲁棒性较弱;Jiang Xuemei 等^[4]提出了一种基于量化索引调制的非压缩域视频盲水印方法,该算法具有较强的鲁棒性,但是缺少对水印图像恢复的对比实验;魏正源^[5]提出了一种基于视频序列空域离散余弦(DCT)变换和时域离散小波(DWT)变换的数字水印算法,该方法能够有效抵抗一些噪声等的攻击,但是对于帧丢失等攻击其鲁棒性较弱;王锋^[6]提出了一种基于 SVD 的时域同步视频数字水印算法,该算法鲁棒性较强,但是水印嵌入容量不多.基于上述研究结果,本文针对动画画的版权保护,采用二维 DCT 变换和三维轮廓波变换对动画视频文件进行处理,利用多方向、多分辨率解析动画视频以及利用边缘线条清晰的特性完成“零水印”嵌入,并且通过实验验证了本文算法的鲁棒性和有效性.

1 相关研究

1.1 轮廓波变换

轮廓波变换可以对图像进行多尺度、多方向的展开分解,并且对小波变换在提取方向信息上的不足进行了优化^[7],因此本文在变换域的处理上采用轮廓波变换对动画视频文件进行多方向、多分辨率的解析.应用轮廓波变换处理变换域的过程主要包括两步操作:拉普拉斯金字塔分解 LP 和方向滤波器组 DFB 滤波^[8].对变换域进行轮廓波变换处理时,原始的载体信号会被分解成 1 个低频(低通采样逼近信号)与一系列高频(原始图像和低通逼近子带的差值)2 个子带.利用方向滤波器组 DFB 对拉普拉斯 LP 的差值图像进行方向分解之后,在任意尺度内可得到多方向的高通子带.重复上述操作,最终形成一个迭代处理过程.对低频子带部分进行多次分解,由此实现对原始载体多方向、多尺度的分解.

1.2 离散余弦(DCT)变换

DCT 变换是目前图像处理和信号处理常用的一种正交变换,具有压缩比高、误码率低、信息集中、计算量小、能与国际数据压缩标准(JPEG,MPEG)兼容等优点.二维 DCT 变换^[5]就是将二维图像从空间域转换到频率域,并计算出图像由哪些二维余弦波构成.二维 DCT 变换的公式为:

$$F(u,v)=\sum_{i=0}^{N-1}\sum_{j=0}^{N-1}C(u,v)f(i,j)\times\cos[\frac{\pi(2i+1)u}{2N}]\cos[\frac{\pi(2j+1)v}{2N}],i,j=1,2,\cdots,N-1. (1)$$

其中: $F(u,v)$ 为图像的低频部分; $f(i,j)$ 表示选取变换的图像, i 为水平的像素分量, j 为垂直方向的像素分量; $C(u,v)$ 为计算出的二维余弦波结果, u 为二维波的水平方向频率, v 为二维波的垂直方向频率.每一个 $C(u,v)$ 称为一个 DCT 系数,代表的是频率为 (u,v) 的二维波振幅(或者能量),叠加所有的二维波即可得到上述选取的图像.

图像信号经过二维 DCT 变换后,图像变换系数之间的相关性得到降低,且能将数据块能量集中并压缩到中低频系数中(即 DCT 矩阵的左上角),有利于图像的传输.经 DCT 逆变换重构图像时,信道误差和量化误差像随机噪声一样分散到图像块中的各个像素中,不会有误差累积.

1.3 视觉密码技术

视觉密码(visual cryptography scheme)是由 Naor 等提出的一种对载体信息进行保护的方法,该方法将载体信息通过图像分享算法进行分享,将要保护的秘密信息分成多份共享份,并且只有在规定的份数以上的叠合才可以恢复出载体的秘密信息^[4].Naor 等通过实验给出了一种具有普遍意义的 (n,n) 方案,并证明如果有 n 个共享份,当 n 个共享份叠加时才能恢复出秘密图像,其中 $n-1$ 个叠加也不能恢复原始图像,故最小像素扩展度为 $2n-1$.

1.4 Arnold 变换

为了增加水印图像的保密性,本文在实验中采取二维 Arnold 变换对水印图像进行置乱^[3],具体的

置乱过程如下:

假设水印图像的像素坐标为 $x,y \in \{0,1,\cdots,N-1\}$,阶数为 N ,对式(2) 进行迭代操作,经过一系列的操作,像素的坐标变为 (x',y') ,且

$$[x',y']^T = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 2 \end{bmatrix} [x,y]^T (\text{mod } N), \quad x',y' \in \{0,1,\cdots,N-1\}.$$

(2)

根据二维 Arnold 变换的自身性质,连续迭代的次数达到 24 次后就会恢复为原始的图像,所以对水印图像进行置乱操作时,将迭代的次数作为密钥.在进行逆变换解密时,24 减去置乱时的迭代次数即为解密时需要操作的迭代次数,因此以该方式恢复原始图像方便、安全.

2 零水印算法设计

2.1 零水印构造算法

本文从视频帧中随机选取部分帧进行零水印信息嵌入,过程如图 1 所示.零水印信息嵌入的具体方法如下:

- 第 1 步 确定载体视频文件和水印图像;
- 第 2 步 读入原始动画视频文件,选取部分关键帧,并且将关键帧分组;
- 第 3 步 对组内的每一帧进行二维离散余弦变换,获取其中的低频系数 DC;
- 第 4 步 对低频系数 DC 进行三维轮廓波变换,获取分解后的低频系数 CE,然后对低频系数 CE 进行 2×2 分块分解;
- 第 5 步 将第 4 步中分解得到的每一块进行最大奇异值分解,然后利用最大奇异矩阵二值化得到序列 T 并进行保存;
- 第 6 步 对水印图像进行 Arnold 变换,置乱原始水印图像;
- 第 7 步 应用视觉密码技术对置乱后的水印图像进行处理,得到加密后的水印图像 W;
- 第 8 步 对二值序列 T 与加密后的水印图像 W 进行逻辑运算,构造“零水印”密钥 K,然后利用得到的密钥图像重建“零水印”视频文件.

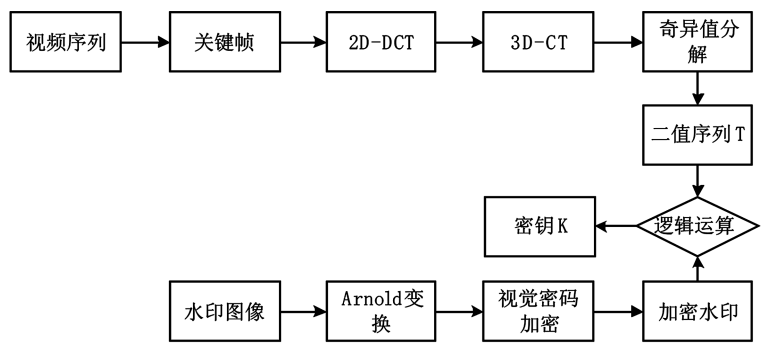


图 1 零水印构造过程图

2.2 零水印提取算法

零水印提取算法的前期处理与嵌入水印的过程类似,提取过程如图 2 所示.零水印提取水印的具体方法如下:

- 第 1 步 确定载体视频文件和水印图像;
- 第 2 步 读入原始动画视频文件,选取部分关键帧,并且将关键帧分组;
- 第 3 步 对组内的每一帧进行二维离散余弦变换,获取其中的低频系数 DC;
- 第 4 步 对低频系数 DC 进行三维轮廓波变换,获取分解后的低频系数 CE,然后对低频系数 CE 进

- 行 2×2 分块分解；
- 第 5 步 将第 4 步中分解得到的每一块进行最大奇异值分解,然后利用最大奇异矩阵二值化得到水印序列 TT 并进行保存；
- 第 6 步 对二值序列 TT 与“零水印”密钥 K 进行逻辑运算,得到新的序列 WW；
- 第 7 步 应用视觉密码技术的密钥对序列 WW 进行解密；
- 第 8 步 将解密的序列进行 Arnold 变换的逆变换,恢复水印图像.

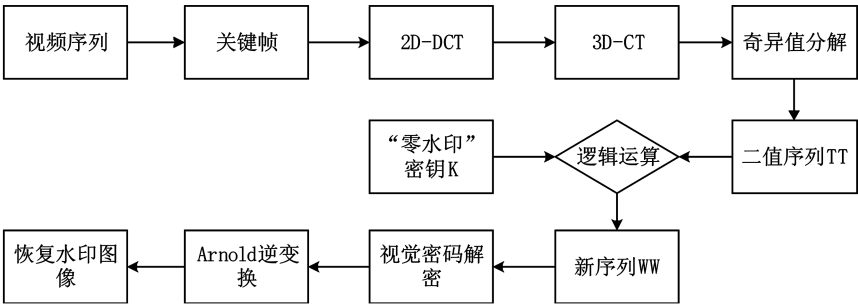


图 2 零水印提取过程图

3 实验结果与分析

3.1 实验环境

实验在 Matlab R2011b 下进行. 为了验证不同水印图像承受攻击时提取的效率,本实验选取两幅水印图像进行实验. 载体图像为动画载体中某一帧图像,如图 3 所示. 水印图像 a 选取的是二维码的一部分,水印图像 b 选取的是“YD”的图像,如图 4 所示. 为了验证本文算法的鲁棒性和可行性,利用误码率 (BER)和相似度 (NC)比较分析原始水印图像与提取的水印图像之间的相似性. 在未对嵌入水印的视频进行任何攻击前,水印图像能准确恢复,NC 为 1,BER 为 0.



图 3 原始视频帧

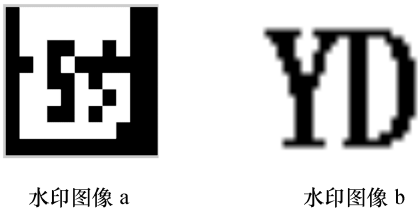


图 4 原始水印图像

3.2 攻击实验

为了验证不同水印图像承受攻击时提取的效率,分别对嵌入两幅水印图像的同一幅载体视频帧进行攻击实验,其中对图 4 水印图像 a 的载体视频帧添加了高斯噪声和帧丢失攻击(结果见表 1 和表 2),对图 4 水印图像 b 的载体视频帧添加了裁剪和压缩攻击(结果见表 3 和表 4).




1) 高斯噪声攻击. 对视频帧进行高斯噪声攻击的方差分别为 0.005、0.01 和 0.015,攻击的结果如表 1 所示. 由表 1 可以看出,载体视频帧遇到较强的高斯噪声攻击时,仍然能够提取出清晰的水印,表明本文算法对于高斯噪声攻击具有很强的鲁棒性.

表 1 高斯噪声攻击实验结果

方差值	0.005	0.01	0.015
提取的水印			
NC 值	0.989 0	0.938 9	0.869 0
BER 值/%	1.10	6.11	13.10




2) 帧丢失攻击. 对视频帧进行帧丢失攻击的帧丢失比率分别为 20%、40% 和 60%, 攻击的结果如表 2 所示. 由表 2 可以看出, 载体视频帧遇到较强的帧丢失攻击时, 仍然能够提取出清晰的水印, 表明本文算法对于帧丢失攻击具有很强的鲁棒性.

表 2 帧丢失攻击实验结果

帧丢失比率/%	20	40	60
提取的水印			
NC 值	0.989 0	0.917 8	0.869 0
BER 值/%	1.10	8.22	13.10




3) 裁剪攻击. 对视频帧进行裁剪攻击的裁剪位置及尺寸分别为截取载体的左上(100×100)、中间(200×200)和右下(100×100)部分, 攻击的结果如表 3 所示. 由表 3 可以看出, 对载体视频帧进行一定程度的裁剪攻击时, 仍然能够提取出清晰的水印, 表明本文算法对于裁剪攻击具有很强的鲁棒性.

表 3 裁剪攻击实验结果

截取位置及尺寸	左上(100×100)	中间(200×200)	右下(100×100)
提取的水印			
NC 值	0.890 0	0.860 0	0.891 8
BER 值/%	11.00	14.00	10.82

4) 压缩攻击. 对视频帧进行压缩攻击的压缩比率分别为 3:1、6:1 和 9:1, 攻击的结果如表 4 所示. 由表 4 可以看出, 对载体视频帧进行一定程度的压缩攻击时, 仍然能够提取出清晰的水印, 表明本文算法对于压缩攻击具有很强的鲁棒性.

表 4 压缩攻击实验结果

压缩比率	3:1	6:1	9:1
提取的水印			
NC 值	0.970 0	0.890 0	0.780 0
BER 值/%	3.00	11.00	22.00

3.3 不同水印恢复结果比较

为了进一步验证载体视频帧在受到攻击时, 不会因嵌入水印图像的不同而影响水印提取的效率, 分别对图 4 水印图像 a 进行裁剪攻击和压缩攻击, 对图 4 水印图像 b 进行高斯噪声攻击和帧丢失攻击, 攻击结果如表 5 所示(每项攻击类型选取其中的某一参数值为例). 由表 5 可以看出, 嵌有不同水印图像的同一载体视频帧在受到同一项攻击时, 提取的水印 NC 值差别不大, 这表明本文算法抵抗攻击的能力不会因为水印图像选取的不同而影响整体算法的鲁棒性和安全性.

表 5 同一载体视频帧提取的水印 NC 值比较

攻击类型	NC 值	
	嵌有水印图像 a	嵌有水印图像 b
高斯噪声(0.01)	0.938 9	0.928 8
帧丢失(40%)	0.917 8	0.905 6
裁剪(中间 200×200)	0.854 8	0.860 0
压缩(6:1)	0.889 6	0.890 0

3.4 算法性能比较

为了进一步验证本文算法抵抗攻击方面的性能, 对 3 种不同算法进行了对比实验, 实验结果如表 6 所示. 在对比实验中, 算法 1 采用的是基于 2D DCT 和 3D DWT 的动画零水印算法, 算法 2 采用的是基于 DWT 和 Contourlet 的动画零水印算法. 算法 1 与算法 2 除了采取的变换方式与本文算法不同之外, 其他处理过程与本文算法相同. 3 种算法攻击类型相同, 且每种攻击类型所选取的攻击参数也相同. 从表 6 可以看出, 本文算法在抵抗高斯噪声、帧丢失、裁剪攻击时鲁棒性均有所提高, 但在抵抗压缩攻击时, 本文算法的鲁棒性弱于算法 2.

表 6 算法性能比较

攻击类型	NC 值		
	算法 1	算法 2	本文算法
高斯噪声(0.005)	0.950 6	0.945 5	0.989 0
帧丢失(40%)	0.893 4	0.896 7	0.917 8
裁剪(右下 100×100)	0.874 5	0.864 8	0.891 8
压缩(6 : 1)	0.881 9	0.893 9	0.890 0

4 结 论

本文提出的基于边缘特征的动画零水印算法,在频域和变换域的处理上分别采用 2D DCT 变换和 Contourlet 变换,提高了动画零水印算法的不可见性和鲁棒性.同时,为了更好地保证“零水印”序列的有效性,算法中采用了奇异值分解技术;此外,为了更有效地提高算法的安全性,采用视觉密码技术对水印图像进行了处理.实验结果表明,对于同一载体视频帧,选取不同的水印图像进行实验时,不会影响水印提取的效率.此外,本文算法在抵抗高斯噪声、帧丢失、裁剪等攻击时的鲁棒性均超过基于 2D DCT 和 3D DWT 的动画零水印算法和基于 DWT 和 Contourlet 的动画零水印算法,但在抵抗压缩攻击时其鲁棒性弱于基于 DWT 和 Contourlet 的动画零水印算法.当压缩比提高到 9 : 1 时,本文算法的 NC 值降低到 0.8 以下,鲁棒性进一步降低,因此如何进一步提高本文算法抵抗压缩攻击的鲁棒性是今后研究的工作.

参考文献:

[1] 毕洪波.鲁棒性数字图像与视频水印算法研究[D].北京:北京邮电大学,2013:29-105.

[2] Swanson M D, Tewfik A H. Multiresolution scene-based video watermarking using perceptual models[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998,16(4):540-550.

[3] Koz A, Alatan A A. Oblivious spatio-temporal watermarking of digital video by exploiting the human visual system [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2008,18(3):326-337.

[4] Jiang Xuemei, Liu Quan, Wu Qiaoyan. A new video watermarking algorithm based on shot segmentation and block classification[J]. Multimedia Tools and Applications, 2013,62(3):545-560.

[5] 魏正源.一种空域 DCT 与时域 DWT 相结合的鲁棒视频数字水印算法[J].中国电视学与图像分析,2006,11(4):307-310.

[6] 王锋.基于 SVD 的时域同步视频数字水印算法研究[D].上海:华东师范大学,2007:1-15.

[7] 陈新武.轮廓波变换的理论研究与应用[D].武汉:华中科技大学,2009:33-90.

[8] 宋晓阳,宋克欧,陈亚珠.图像轮廓波变换及变换域隐马尔科夫模型的应用[J].中国图象图形学报,2009,14(9):1722-1725.