

# 基于 DWT\_SVD 的盲检测鲁棒视频水印算法

李新宇, 陈 阳

(湖南第一师范学院 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410205)

**摘 要:**结合离散小波变换、奇异值分解和 Logistic 混沌映射等相关数字水印技术,提出了一种新的适用于视频版权保护的盲水印算法。该算法利用了矩阵奇异值分解的能量稳定特性以及小波变换具有高低频分离的特点,首先选取原始载体视频序列的若干场景,借助密钥分离其亮度分量,随后对其进行分块奇异值分解,取最大奇异值进行小波变换;选取小波变换后第  $r$  层的低频子带  $LL_r$ , 再次进行奇异值分解,取奇异值矩阵的第二个对角元素组成新的矩阵,最后将 Arnold 置乱处理后的水印嵌入到新的矩阵中。该算法采用混沌映射产生的序列对水印图像进行预处理,将完整水印重复地嵌入到若干段场景中。水印检测时,根据嵌入水印时的量化值能够盲提取水印信号。仿真实验表明,该算法对一般的视频信号处理及常规几何攻击具有良好鲁棒性。

**关键词:**离散小波变换;奇异值分解;Logistic 混沌映射;视频水印;鲁棒性

**中图分类号:**TP301.6

**文献标识码:**A

**文章编号:**1673-629X(2018)09-0123-04

**doi:**10.3969/j.issn.1673-629X.2018.09.025

## A Robust Video Watermarking Algorithm for Blind Detection Based on DWT\_SVD

LI Xin-yu, CHEN Yang

(School of Information Science and Engineering, Hunan First Normal University, Changsha 410205, China)

**Abstract:** We propose a new blind watermarking algorithm suitable for video copyright protection based on discrete wavelet transform, singular value decomposition and Logistic chaotic map. This algorithm makes full use of the characteristics of the high and low frequency separation of the wavelet transform and the energy stability of the singular value decomposition of the matrix. Firstly, several scenes of the original carrier video sequence are selected, and the luminance components are separated by the key. Then the block singular value decomposition is applied to get the maximum singular value for wavelet transform. The low frequency subband  $LL_r$  of the  $r$  layer after wavelet transform is used to decompose the singular value again. The second diagonal elements of the singular value matrix form a new matrix. Finally, the watermark after the Arnold scrambling is embedded into the new matrix. In this paper, the sequence of chaotic mapping is used to preprocess the watermark image. In the scene, the preprocessed complete watermark is repeatedly embedded into selected segments of the scene. When the watermark is detected, the watermark signal can be extracted blindly according to the quantization value embedded in the watermark. The simulation shows that the algorithm has better robustness for the general signal processing and geometric attack.

**Key words:** discrete wavelet transform; singular value decomposition; Logistic chaotic mapping; video watermarking; robustness

## 0 引 言

随着多媒体与计算机网络技术的发展,人们获取数字视频作品的渠道也日益增多,对视频作品的安全性也带来了巨大的考验,基于数字视频产品的版权保护和内容认证问题已经成为目前研究的热点。数字水印技术(digital watermarking technology)是保证不影响原始载体质量以及基本辨别度,将特定水印信号直接

嵌入到原始载体中,在水印检测时能够准确提取出与原始水印信息基本相同的水印,达到版权保护和内容认证的目的。数字水印能有效验证数字视频产品的版权,目前已经成为数字视频产品真伪鉴别的重要技术<sup>[1-6]</sup>。

近年来变换域视频水印算法比较受关注,其中基于 DWT 和 DCT 的水印算法是研究热点,因此衍生出

收稿日期:2017-11-13

修回日期:2018-03-13

网络出版时间:2018-05-16

基金项目:湖南省教育科学研究基金(13C144)

作者简介:李新宇(1984-),男,硕士,讲师,研究方向为网络与信息安全、数字图像处理与计算机教育。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20180515.1645.020.html>

许多诸如此类的算法,也越来越受专家、学者们的重视<sup>[7-14]</sup>。文献[15]提出对载体视频采用直方图方法快速进行场景分割,然后对分割的视频场景进行选取并对其进行三维整数小波分解,将水印嵌入到均值量化后的小波系数中。文献[16]结合离散小波变换和奇异值分解,对视频所有场景每一帧图像进行 2 级小波变换后的  $HL_2$  子带进行奇异值分解,采用最低有效位策略修改最大奇异值以嵌入水印。文献[17]提出对载体视频帧图像以每 4 帧为一组,分别对其进行三维小波分解,水印可以自适应地在其低频与高频帧中进行嵌入,水印提取无需载体视频素材,并且算法鲁棒性较好。文献[18]根据三维小波变换的空时多分辨率等特性,提出在三维小波变换系数中自适应嵌入扩频水印信号的算法,该算法鲁棒性较好,但不能实现水印的盲提取且实时性较差。

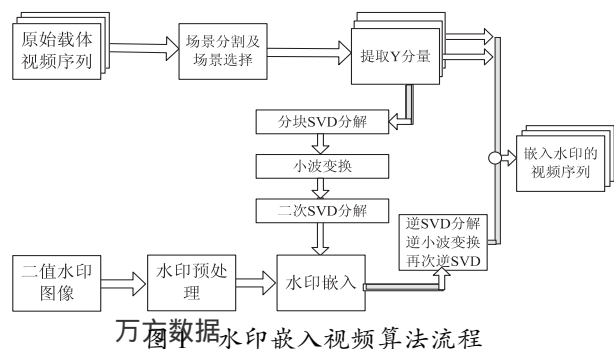
综上,基于三维小波变换的算法,虽然具有较好的隐蔽性和抗攻击性能,但计算复杂度较高,水印算法实时性较差。对此,文中尝试利用分块奇异值分解及小波变换的算法思想,在不影响载体视频帧图像质量的情况下,尝试降低水印算法复杂度以及适当提高水印算法的稳健性。

## 1 基于 DWT\_SVD 的盲检测鲁棒视频水印算法

文中利用了奇异值分解后的能量稳定特性以及小波变换具有高低频能量分离的特点,提出一种基于 DWT\_SVD 的盲检测鲁棒视频水印算法。该算法首先利用直方图算法将视频分割为若干场景,借助密钥选取若干场景的亮度分量,对其进行  $M_3 \times M_3$  大小分块,对每个分块进行 SVD 分解,取奇异值矩阵的第一个对角元素组成矩阵  $Q$ ,然后对矩阵  $Q$  进行  $M_4 \times M_4$  大小分块,对每个分块进行  $r$  级 DWT 分解,然后选取 DWT 分解后第  $r$  层的低频子带  $LL_r$ ;对其进行 SVD 分解,取奇异值矩阵的第二个对角元素组成新的矩阵  $Q'$ ,最后将 Arnold 置乱处理后的水印嵌入到新的矩阵  $Q'$  中。

### 1.1 水印嵌入

水印嵌入载体视频的算法流程如图 1 所示。



水印嵌入详细步骤如下:

步骤 1:对二值水印图像进行预处理。为了便于正确识别提取的水印信号,选取有特定意义的大小为  $M_2 \times N_2$  二值图像作为水印信号。文中算法选择采用 Logistic 映射产生的混沌序列对水印图像进行预处理。由于 Logistic 混沌序列的遍历统计特性近似于零均值白噪声,且具有良好的随机性、相关性和复杂性等特性,这样就能使嵌入水印的视频具有抗剪切攻击的能力,增强了水印的安全性。

步骤 2:视频场景选取。文中算法将一个完整的水印重复地嵌入到选取的若干段场景中。所选取的场景原始视频帧的大小为  $M_1 \times N_1$ ,每段场景分别包含  $N_n$  帧。

步骤 3:分块奇异值分解。对选取的场景视频帧图像  $Y$  分量进行  $M_3 \times M_3$  分块 SVD 分解,取每块奇异值矩阵的第一个对角元素组成矩阵  $Q$ 。

步骤 4:2 层小波变换处理。对矩阵  $Q$  进行  $M_4 \times M_4$  大小分块,对每个分块进行  $r$  级 DWT 分解,然后选取 DWT 分解后第  $r$  层的低频子带  $LL_r$ 。

步骤 5:第二次奇异值分解。对低频子带  $LL_r$  进行 SVD 分解,取奇异值矩阵的第二个对角元素,最后将预处理后的水印嵌入其中。

步骤 6:水印嵌入。具体嵌入方法如下:

$$d_{ij} = \text{round}(\frac{Q'_{ij}}{\delta}) \quad (1)$$

$$\theta_{ij} = \text{mod}(d_{ij}, 2) \quad (2)$$

其中,  $\delta$  为量化步长;  $\theta_{ij}$  为  $d_{ij}$  的奇偶性判别式; round 为四舍五入函数; mod 为求余函数。

若  $W_{ij} = 1$ ,有:

$$Q'_{ij} = \begin{cases} (d_{ij} - 0.5) \delta, \theta_{ij} = 0 \\ (d_{ij} + 0.5) \delta, \theta_{ij} = 1 \end{cases} \quad (3)$$

若  $W_{ij} = 0$ ,有:

$$Q'_{ij} = \begin{cases} (d_{ij} + 0.5) \delta, \theta_{ij} = 0 \\ (d_{ij} - 0.5) \delta, \theta_{ij} = 1 \end{cases} \quad (4)$$

步骤 7:奇异值替换与逆变换。替换原来第二奇异值,然后进行逆 SVD 与  $r$  级逆向小波变换,替换最大奇异值,随后进行反 SVD 分解,最后重构矩阵合成含水印的图像。随后把含水印的视频帧图像及其场景复原到载体视频中,就可以生成含水印的视频。

### 1.2 水印提取

水印提取是水印嵌入的逆过程,就是将隐藏在视频载体中的视频版权信息提取出来,具体算法流程如图 2 所示。

步骤 1:对含水印的视频采用与嵌入时相同的算法进行场景分割,利用密钥文件选取场景,采用与嵌入时相同的小波对选取的场景中的亮度分量。

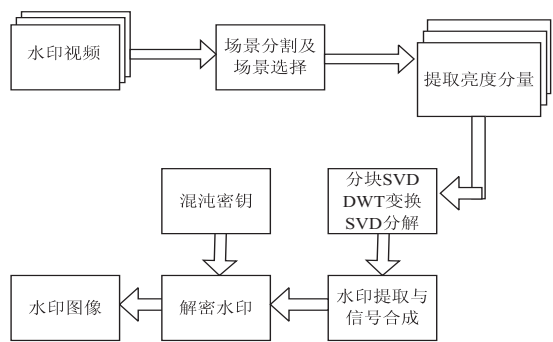


图2 视频水印提取算法流程

步骤2:对选取场景视频帧图像Y分量进行 $M_3 \times M_3$ 大小分块SVD分解,取每块奇异值矩阵的第一个对角元素组成矩阵 $Q$ 。对矩阵 $Q$ 进行 $M_4 \times M_4$ 大小分块,对每个分块进行 $r$ 级DWT分解,然后选取DWT分解后第 $r$ 层的低频子带 $LL_r$ 。

步骤3:对低频子带 $LL_r$ 进行SVD分解,取奇异值矩阵的第二个对角元素。

步骤4:根据嵌入水印时对水印图像计算出的量化值 $\vartheta$ 进行水印提取,得到提取出的水印值 $w_{ij}^*$ 。

$$w_{ij}^* = \text{mod}(\text{floor}(Q_{ij}^{*w}/\vartheta), 2) \tag{5}$$

其中, $Q_{ij}^{*w}$ 表示每一分块奇异值分解后的最大奇异值。

步骤5:对提取的水印 $w_{ij}^*$ 用密钥进行逆Arnold置乱和混沌解密,得到提取的二值水印图像。提取完所有版本水印后,对 $R$ 段场景水印信号进行众数合成调制,生成水印信号,用Logistic密钥恢复水印序列,得到水印图像。

2 仿真实验及分析

仿真实验选取标准的CIF格式测试视频Akiyo作为原始视频,帧数为300,每帧的大小为352×288,如图3(a)所示。水印信号为一幅“数字水印”二值图像,大小为32×32,如图3(b)所示。混沌加密初始值取 $X_0 = 0.34$ ,分支参数取 $\mu = 3.65$ 。

2.1 水印的嵌入及隐蔽性测试

实验中,对场景中的每一帧进行4×4分块奇异值分解取最大奇异值后,每一帧被分成88×72块,随后对其进行大小为8×8的分块并经2级小波变换后,取其低频子带 $LL_2$ 进行奇异值分解,取奇异值矩阵的第二个对角元素进行二值水印的嵌入。水印嵌入是以场景为单位的,在每一场景中嵌入一个完整的水印。文中水印大小为32×32,如果每块只嵌入1位的水印信息,并且在每一段场景选取的16帧图像中嵌入一幅水印图像,那么平均每帧需要嵌入64位的水印信号。

实验的隐蔽性采用峰值信噪比(peak signal to noise ratio, PSNR)衡量载体图像嵌入水印前后的失真

对比情况,PSNR值越大,说明含水印的载体图像失真度越小。水印的量化步长 $\vartheta$ 对嵌入水印后的视频图像质量及水印的稳健性有一定的调节作用,量化值越小,嵌入水印后视频图像质量越好,图像的PSNR值就越大,水印隐蔽性越好;量化值越大,水印的稳健性越强,而载入水印后的视频图像质量降低,水印透明性变差,但提取出的水印与原始水印图像的相似度NC值基本保持1不变。从视觉上来看,图3(a)对比图3(c),图像质量几乎没有区别,不可感知性较好,嵌入水印后的视频帧的PSNR值平均在42.3 dB左右,说明文中算法透明性良好。图3(b)和(d)分别是原始的水印和提取的水印,可以看出,在视频未遭受攻击且密钥都正确时,能完整清晰地提取水印。



(a) 原始视频帧图像

数字  
水印

(b) 原始水印



(c) 嵌入水印后视频帧图像

数字  
水印

(d) 提取的水印

图3 水印嵌入前后视频帧图像和提取前后水印图像

2.2 水印算法鲁棒性测试

为了检测文中水印算法的鲁棒性,采用不同攻击方式在不同强度下对含水印载体视频帧图像进行仿真实验测试,将提取出的水印与原始水印图像间的相关系数(normalized correlation, NC)作为水印算法抵御攻击性能的评价指标。实验中对嵌入水印后的视频图像分别进行诸如JPEG压缩、旋转、噪声、滤波等处理,仿真实验提取水印结果如表1所示。

表1 水印算法鲁棒性实验结果

攻击类型	NC 值
JPEG (10)	0.952 8
JPEG (30)	0.948 3
缩小(30%)	0.964 6
旋转(45°)	0.921 9
中心剪切 1/8	0.907 8
高斯噪声(0.003)	0.928 6
高斯噪声(0.005)	0.920 5
椒盐噪声(0.003)	0.976 5
中值滤波(3×3)	0.935 3
低通滤波	0.937 9

2.3 对比实验

为了验证算法的优越性,采用文中算法与传统 SVD\_DWT 视频水印算法进行鲁棒性仿真实验结果比较。传统 SVD\_DWT 视频水印算法先对原始载体视频的每一帧图像进行三级离散小波变换,再对低频子带  $LL_3$  运用奇异值分解,并通过修改奇异值来嵌入经过混沌置乱的水印图像的奇异值,同时在小波变换域的中频系数上嵌入水印信息。水印提取时,分别在中频子带和低频子带提取出水印并进行比较,采用效果较好的水印作为检测水印。该算法虽然能得到质量较高的含水印载体视频图像,但算法计算复杂度较高,且对噪声、滤波攻击的鲁棒性较弱。而文中以 Akiyo 测试视频为例,恰当设置各算法中的相应参数值,以保证两种算法在视频嵌入水印后视频帧图像的 PSNR 相近,即水印透明性基本相同的情况下,再进行滤波、噪声处理、缩放和旋转等方面的鲁棒性对比实验,结果如表 2 所示。

表 2 类似算法 NC 值对比实验结果

算法	高斯噪声 (0.005)	椒盐噪声 (0.003)	中值滤波 (5×5)	JPEG (50)	旋转 (45°)	中心剪 切 1/8
SVD_DWT	0.878 3	0.891 5	0.884 6	0.897 3	0.923 9	0.867 8
文中算法	0.919 8	0.937 6	0.918 2	0.921 9	0.928 7	0.918 4

3 结束语

利用奇异值分解后的能量稳定特性以及小波变换具有高低频能量分离的特点,提出了一种基于 DWT\_SVD 与混沌映射的鲁棒视频水印算法。仿真实验表明,该算法改善了水印的不可见性,提高了水印抵抗几何攻击的能力。此外,该算法能实现无需原始载体视频的水印盲提取,也更有利于实际应用。

参考文献:

[1] 蒋 铭.多媒体数字版权保护水印算法研究及应用[D].北京:北京邮电大学,2012.

[2] 钮心忻.信息隐藏与数字水印[M].北京:北京邮电大学出版社,2004:134-135.

[3] 武计梅.基于 DWT 和同步码的鲁棒性视频水印研究[D].赣州:江西理工大学,2016.

[4] 赵慧民,赖剑煌,蔡 君,等.一种用于帧内篡改检测的压缩感知视频水印实现算法[J].电子学报,2013,41(6):1153-1158.

[5] 李 智,陈孝威.基于熵模型的高透明性自适应视频水印算法[J].软件学报,2010,21(7):1692-1703.

[6] 蔡春亭,冯 桂,王 驰,等.基于帧内预测模式多划分的 HEVC 鲁棒视频水印算法[J].计算机应用,2017,37(6):1772-1776.

[7] 熊祥光,王 力,王端理.基于提升小波变换和 DCT 的彩色视频水印算法[J].计算机应用研究,2013,30(4):1191-1193.

[8] 刘 珊.基于 DCT 域的多重视频水印算法研究[D].赣州:江西理工大学,2015.

[9] SAURABH P,PUJA D,SHARAYU B,et al.Video watermarking scheme based on DWT and PCA for copyright protection [J].IOSR Journal of Computer Engineering,2013,9(4):18-24.

[10] LI Zhi,YAMAMOTO S,YOICHI T,et al. Based on motion characteristics to calculate the Adaptive embedding tolerance for imperceptible video watermarking[C]//10th IEEE international conference on computer-aided design and computer graphics. Beijing, China:IEEE,2007:192-198.

[11] 李旭东.抗亮度和对比度攻击的 DCT 域图像数字水印算法[J].光电子·激光,2013,24(6):1184-1190.

[12] 王树梅,张文斌.一种基于伪随机的支持大尺寸图像水印算法[J].计算机技术与发展,2017,27(8):121-124.

[13] 樊 洁,李建军.一种半脆弱数字水印算法[J].计算机技术与发展,2017,27(2):69-71.

[14] 吴 捷,马小虎.基于 Hadamard 变换和 LU 分解的盲水印算法[J].计算机技术与发展,2016,26(2):82-86.

[15] 徐达文.基于三维整数小波变换的视频水印算法[J].计算机仿真,2008,25(1):126-129.

[16] RAJAB L,AL-KHATIB T,AL-HAJ A. Hybrid DWT-SVD video watermarking[C]//Proceedings of international conference on innovations in information technology. [s. l.]:[s. n.],2008:588-592.

[17] 霍菲菲,高新波.基于三维小波变换的视频水印嵌入与盲提取算法[J].电子与信息学报,2007,29(2):447-450.

[18] 李 英,高新波,姬红兵.一种基于三维小波的视频水印空时算法[J].系统工程与电子技术,2005,27(1):16-19.