

# 一种基于 DCT 域特征块的抗几何攻击的视频水印

钱莉 刘文予 张帆 Matthias HUB

(华中科技大学电子与信息工程系, 武汉 430074)

**摘要** 针对现有大部分抗几何攻击的水印技术不具有实时嵌入的特性,提出了一种新颖的基于 DCT 域特征块的抗几何攻击的视频水印方案。该算法在 DCT 域中通过选取一定的特征块作为水印嵌入点,再利用由特征块计算得到的同步块来在水印检测前进行几何校准,即在检测端首先定位特征块,再由此计算得到同步块,并对同步块采用邻域搜索方法精确估计视频帧的几何失真。视频帧校准后,系统再次通过提取特征块来进行水印检测。实验表明,该水印方案能够有效地抵抗旋转、平移、缩放等基本几何攻击,并具有较好的实时性和安全性。

**关键词** 视频水印 几何攻击 离散余弦变换域 特征块 第2代水印 低复杂度

**中图分类号**: TP309 TN918.74 **文献标识码**: A **文章编号**: 1006-8961(2007)05-0819-07

## A Geometric Invariant Video Watermarking Method Based on DCT Feature Blocks

QIAN Li, LIU Wen-yu, ZHANG Fan, Matthias HUB

(Department of Electronics & Information Engineering, Huazhong University of Science & Technology, Wuhan 430074)

**Abstract** A new geometric invariant video watermarking method is proposed based on DCT feature blocks that can satisfy the real-time embedding requirement. In the algorithm, certain number of DCT feature blocks are selected as the embedding points. The synchronization block is calculated accordingly for frame registration before detection is conducted. On the detection side, the feature blocks are firstly extracted for the localization of the synchronization block. And then neighborhood search is implemented on the synchronization block to accurately estimate the geometric distortion. After the frame registration, feature blocks are extracted again for the final watermark detection. Experimental results show that the watermarking system can resist to geometric attacks well with satisfying good invisibility, real-time and security properties.

**Keywords** video watermarking, geometric attack, DCT (discrete cosine transform) domain, feature block, second generation watermarking scheme, low complexity

### 1 引言

随着计算机、多媒体及网络技术的迅猛发展,数字产品极大丰富,并轻而易举地就可通过网络获得。这导致数字产品在不受任何控制的情况下就会被轻易拷贝、操作和改动。数字水印技术的出现,就是在不影响产品内容的前提下,通过嵌入不易被察觉的信息来达到保护数字产品的目的。

视频水印研究是当前数字水印技术研究方向中的一个热点和难点,相对于静止图像水印来说,视频水印算法除了应满足鲁棒性、不可见性等基本特性外,还应实现盲检测和具有一定的实时性。

几何攻击是对视频水印构成致命威胁的攻击手段之一,由于它破坏了检测器同水印信息的同步关系,从而导致检测失效。目前有以下两种策略用来抵御几何攻击<sup>[1]</sup>:第1种策略是预防性的,它是通过寻找对几何攻击不敏感的特征来把水印嵌入到该

基金项目:教育部科技创新工程重大项目培育资金项目(705038)

收稿日期:2005-11-26;改回日期:2006-04-26

第一作者简介:钱莉(1981-),女,2003年获华中科技大学学士学位,现为华中科技大学硕士研究生。主要研究方向为数字水印、版权保护及信息安全。E-mail: qianli\_2003@163.com

特征空间,如在对几何变换不变的 DFT (discrete fourier transform) 域中嵌入水印<sup>[2,3]</sup>,但由于这种方法需要将数据转换到特征空间,因此不适合于大数据量的视频内容;第 2 种是治疗性的,即在检测端对被攻击图像的几何变换进行逆变换,以恢复所遭受的几何失真,常用的方法有插入辅助模板<sup>[4]</sup>,但由于通常辅助模板容易遭受攻击,因此系统不具有足够的安全性;穷举搜索法<sup>[5]</sup>,其复杂度很高。此外,应用数据的重要特征来嵌入水印信息的第 2 代水印技术<sup>[6-8]</sup>也被应用于水印的抗几何攻击研究中。

黄文勇等提出的 DCT (discrete cosine transform) 域视频水印方案是采用图像规范化的方法<sup>[9]</sup>,通过比较水印嵌入和检测时的规范化信息来恢复几何攻击,其虽实现简单,但由于水印嵌入在视频流中需要记录规范化信息,这会增加视频码流的数据比特率,从而会影响视频速率的恒定性。同时,由于图像规范化过程在空域进行,水印算法必须并入到编码过程中,而大多数实际应用并不满足这一要求。

文献[10]提出了一种基于运动块的水印位置选择的策略,其能抵抗几何攻击,并能满足嵌入实时性的要求。该算法是根据邻近 P 帧中的运动补偿信息,将与 P 帧中具有某一相同运动矢量的一组宏块对应的 I 帧参考宏块集合作为水印的嵌入位置;而在检测端,则首先定位 I 帧参考宏块,并进行相应穷举搜索,以精确定位 I 帧参考宏块,然后再进行相应穷举搜索,以精确定位水印嵌入位置。该算法虽能够抵御像素平移攻击,但仿真实验没有分析算法对其他几何攻击的鲁棒性。

本文提出了一种基于 DCT 域特征块的第 2 代视频水印方案,该方法可较好的抵御几何攻击。该方案在 DCT 域中通过选取一定的特征块作为水印嵌入点,并利用由特征块计算得到的同步块来在水印检测前进行几何校准。相应地,检测端则首先定位特征块,并以此计算得到同步块,然后对同步块采用邻域搜索方法来精确估计视频帧的几何失真。视频帧校准后,系统再次提取特征块进行水印检测。为提高检测准确率,系统还引入多帧检测的方法。由于特征的提取和水印的嵌入过程都在 DCT 域里实现,因此方案的复杂度较低。实验证明,该算法能较好的抵御几何攻击。

## 2 基于 DCT 域特征块的水印算法

DCT 变换是目前大部分视频编码标准的基

础,在 DCT 域中选取视频帧的特征,由于可有效的同视频算法相结合,从而可大大降低水印算法的复杂度。

现有的视频编码标准大多采用了  $8 \times 8$  块 DCT 变换,在 DCT 块中,变换系数用于标记一个特定亮度模式(2 维基底函数)与图像区域的一致程度,不同的 AC (alternating coefficient) 系数的大小反映了对应的空域块中亮度沿不同方向和不同速度的变化情况。由于边缘区域反映了图像像素亮度的剧烈变化,Bo Shen 等提出了直接在 DCT 域中通过计算 DCT 块中的 AC 系数的能量来提取图像的兴趣区域的方法<sup>[11]</sup>(如式(1)所示)。

$$A = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 |F_{u,v}| \quad (u,v) \neq (0,0) \quad (1)$$

但是由于式(1)中包含了 DCT 高频系数,因此这种方法既不能抵御低通滤波和有损压缩等攻击,也无法保证检测端和嵌入端的块提取保持同步。

本文方案是利用 DCT 的低频系数来提取具有一定纹理特性的特征块(包括边缘、细节部分),由于人眼视觉对低频系数敏感,因此低频系数能抵御大多数攻击而不会受到大的影响。同时在特征块的选取过程中用能量值的相对大小来代替绝对的阈值,以便可以较好地实现检测端与嵌入端的块提取的同步。特征块提取的基本思想如下:定义

$$b_{m,m} = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 |F_{u,v} \cdot M_{u,v}| \quad (2)$$

其中,块提取模板  $M$  如图 1 所示,共包含了 5 个低频系数。具体的方法是,先对每个 DCT 块计算  $b_{m,m}$  值,并选择与  $m$  个最大的  $b_{m,m}$  值对应的 DCT 块作为特征块。

0	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

图 1 块提取模板  $M$

Fig. 1 Block-selection-mask  $M$

图 2 为特征块提取示例,其中图 2(a)为原始图像,图 2(b)是用上述方法从图 2(a)提取出的部分

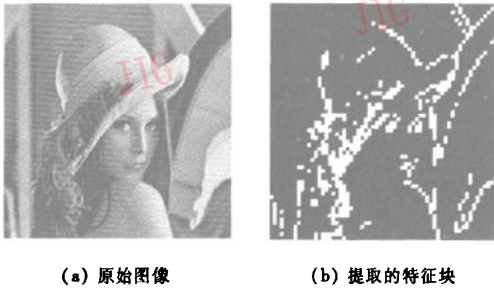


图 2 特征块提取示例

Fig.2 The extraction of feature blocks

特征块,它们包括了图像中亮度变化较为剧烈的区域,其在一定程度上表示了图像的本质特征。

由于边缘和细节部分能够容纳更多的冗余信息,因此系统选择在  $b_{\max}$  最大的若干个特征块中嵌入水印。对每个特征块,可选择其中频区域嵌入水印,以避免水印的嵌入对检测端的块提取造成影响,同时在中频系数部分嵌入水印能够抵御有损压缩。相应的水印嵌入掩蔽模板  $M_E$  (下角 E 代表 embed) 如图 3 所示。

0	0	0	1	1	1	1	0
0	0	1	1	1	1	0	0
0	1	1	1	1	0	0	0
1	1	1	1	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	0	0
1	1	0	0	0	0	0	0
1	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0

图 3 水印嵌入掩蔽模板  $M_E$

Fig.3 The mask  $M_E$  of watermark embedding

水印嵌入中,本文系统利用人类视觉模型 (human visual system, HVS) 特性,并采用文献 [12] 中的 Watson 模型计算水印嵌入的强度,以提高水印的鲁棒性。嵌入水印的过程如下:

$$\hat{C}_{u,v,s} = \begin{cases} C_{u,v,s} + T_{JND} \cdot M_{u,v} \cdot w & \text{如果 } C_{u,v,s} > T_{JND} \\ C_{u,v,s} & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

其中,  $T_{JND}$  是由 Watson 模型计算出的不可感知的临界差异值;  $\hat{C}_{u,v,s}$ 、 $C_{u,v,s}$  分别代表水印嵌入前后的 DCT 系数,  $M_{u,v}$  是水印嵌入掩蔽模板  $M_E$  矩阵中位于  $(u, v)$  的系数,  $w$  是待嵌入的水印信息。

检测过程中,系统通过提取相同个数的特征块来对每个特征块分别进行水印的相关检测。为

了进一步提高检测准确率,本文将多帧的水印检测信息综合起来,以得到整个视频序列的水印检测结果。

### 3 几何失真检测与恢复

由于低频系数主要反映了区域的较粗纹理特性,这样,在图 1 的模板  $M$  中一些细纹理的特征块没有被优先考虑。经几何变形后,由于边缘的纹理特性可能发生变化,这将导致检测端的提取块与嵌入端可能有差别,从而出现一些孤立的 DCT 块。这也使得检测端不能再同步检测水印信息,从而导致检测失败。

为了抵御几何攻击,在执行水印检测之前,需要对失真的视频帧进行几何校准。本文方案中定义了一个同步块,用于执行视频帧的几何校准,由于同步块完全依赖于视频帧本身的统计特性,不需要原始视频帧的参与,因而可很好地实现水印的盲检测。检测时,检测端首先根据统计粗略定位视频帧的同步块;然后在同步块的邻域范围内通过执行穷举搜索来估计可能的几何变形,并对整幅视频帧执行相应的几何逆变换,以恢复出原始的视频帧。

#### 3.1 同步块的定位

检测端直接执行块提取虽然对于局部的某些块可能会失效,但是当方案选取的特征块足够多时,这些块从整体上就反映了视频帧的轮廓信息,且与视频帧内容本身绑定,由于它们的统计特性不受几何变形的影响,因此可用作视频帧校准的同步块。本文用视频帧的加权平均块  $\bar{B}$  来表征特征块的统计特性。

选择加权平均块  $\bar{B}$  时,首先选取足够多的 DCT 特征块  $B$ ,并将这些块按照  $b_{\max}$  从大到小的顺序分成  $q$  个 ( $q > 2$ , 以保证系统足够的安全性) 块集合  $D_i$  ( $i \in [1, q]$ , 其中,每个集合  $D_i$  中包含  $n_i$  个特征块;同时,系统利用嵌入端与检测端共享的密钥  $k$  来生成  $q$  个权值  $\alpha_i \in (0, 1)$  ( $i \in [1, q]$ , 且满足  $\sum \alpha_i = 1, (i \in [1, q])$ ); 然后计算视频帧的加权平均块  $\bar{B}$  的位置,其计算式如式(4)所示。

$$\begin{aligned} x_{\bar{B}} &= \text{round} \left( \sum_{i=1}^q \alpha_i \left( \frac{1}{n_i} \sum_{B \in D_i} x_B \right) \right) \\ y_{\bar{B}} &= \text{round} \left( \sum_{i=1}^q \alpha_i \left( \frac{1}{n_i} \sum_{B \in D_i} y_B \right) \right) \end{aligned} \quad (4)$$

其中,  $x_{\bar{B}}, y_{\bar{B}}$  表示加权平均块在视频帧中的坐标位置,  $x_B, y_B (B \in D_i)$  表示特征块  $B$  在视频帧中的坐标位置,  $round$  函数用于四舍五入取整, 即首先对每个特征块集合分别求取统计平均块; 然后用相应的权值综合作用计算出视频帧的加权平均块的位置。

由于加权平均块反映了视频帧的特征块的统计信息, 且具有一定的几何不变性, 因此可用作几何校准中的同步块。检测端通过同步块的粗略定位就可大大缩小随后的穷举搜索匹配的搜索空间。

### 3.2 搜索匹配

由于 DCT 块具有规则形状, 在经过几何变形后, 原始的统计特征可能不再与 DCT 块对齐; 同时,

由于在同步块的计算过程中, 存在由实数到整数的四舍五入的转换, 而且这些限制使得经几何变形后, 检测端与嵌入端的同步块存在一定的偏移, 因此不能精确匹配。

检测端与嵌入端计算出来的同步块的相互关系如图 4 所示。3 幅图像分别对应于采用不同的密钥  $k$  提取出来的同步块的情况。其中, 亮度小的像素块(黑色块)表示嵌入端提取的同步块, 而白色块则表示在分别经历了不同的几何变形后, 从检测端提取出来的同步块。由此可以看出, 两个块所覆盖的像素虽然存在一定的偏移, 但白色块都在原始同步块的邻域范围内。



图 4 同步块的定位

Fig. 4 The localization of synchronization block

根据这一特性, 检测端可利用穷举法来搜索同步块的邻域空间, 并可利用相关检测的方法来估计视频帧的几何失真。(Mauro Barni 在文献[13]中证明了穷举搜索的有效性。)

为此, 在水印的嵌入端需要对视频帧进行预处理。即在同步块中嵌入足够强度的水印。为增强嵌入的鲁棒性, 本文的嵌入过程利用了 HVS 模型<sup>[12]</sup>。

在水印的检测端, 首先定位同步块, 然后将同步块变换到空域, 同时穷举搜索可能的几何变换, 并对相应的变换用与嵌入端相同的伪随机序列做相关运算, 由于选取的伪随机序列具有自相关性, 因此当相关值出现峰值时, 即重现了视频帧经历的几何变换。为减少计算量, 搜索中还可采取多分辨率搜索和变化搜索步长的方法<sup>[11]</sup>。

在精确估计几何变形后, 即可对视频帧用逆几何变换进行校准。

## 4 水印的嵌入和检测

### 4.1 水印嵌入算法

水印嵌入的基本流程如图 5 所示。

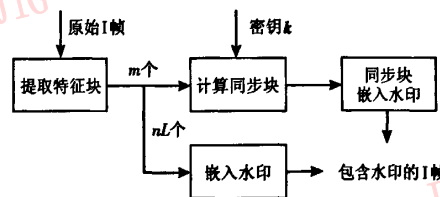


图 5 水印嵌入算法流程

Fig. 5 Watermarking embedding flow

为保证水印的不可见并提高其鲁棒性, 水印嵌入只在 I 帧进行。嵌入算法如下:

(1) 提取足够多的  $m$  个特征块, 具体个数由视频帧的大小决定, 实验中, 从  $720 \times 480$  大小的视频

帧 Susie 中选取 400 个特征块就能得到较好的效果;

(2) 由所得的特征块计算同步块的位置,并嵌入水印;

(3) 根据嵌入水印的信息量  $L_{bit}$ ,先从  $m$  个特征块中选取  $nL$  ( $nL < m$ ) 个  $b_{min}$  值最大的块,再将每个信息 bit 分别嵌入到  $n$  个特征块中。水印嵌入在 DCT 块的中频部分,嵌入强度由 Watson 模型计算得到。

### 4.2 水印检测算法

水印检测阶段的基本过程如图 6 所示。

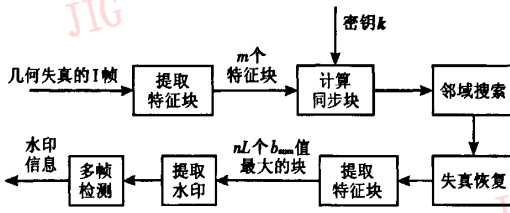


图 6 水印检测算法流程  
Fig.6 Watermarking detection flow

(1) 对于几何失真的 I 帧,首先在 DCT 域中提取特征块,并计算得到相应的同步块,然后对同步块在空域执行邻域搜索并进行相关检测,最后估计得到视频帧遭受的几何变形,并对估计的几何变形进行恢复;

(2) 对恢复重建后的 I 帧再次提取  $nL$  个特征块,并先对每个水印信息 bit 在  $n$  个 DCT 块中单独进行水印相关检测,然后将  $n$  个检测值求和来得到第  $k$  帧的水印检测值  $\{z_k\}$  (如式(5)所示)。

$$d_i = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 (\hat{C}_{i,u,v} \cdot p_{u,v} \cdot M_{u,v}) \quad (5)$$

$$z_k = \sum_{i=1}^N d_i$$

其中,  $d_i$  是第  $i$  个 DCT 块的相关检测值,  $\hat{C}_{i,u,v}$  是第  $i$  个块中的 DCT 系数,  $p_{u,v}$  是对应的伪随机序列值,  $M_{u,v}$  是嵌入掩蔽模板矩阵  $M_E$  中的对应系数;

(3) 在  $K$  个 I 帧中进行相同的水印提取操作,并先通过综合  $K$  个 I 帧的检测结果来得到最后的水印检测信息,具体操作如式(6)所示;然后在检测端计算  $K$  个 I 帧检测结果之和  $s$ ,如果  $s = 0$ ,则检测的水印比特与最大的视频帧检测结果的符号相同,否则,其正负由  $s$  的符号决定。

$$s = \sum_{i=1}^K z_i$$

$$W = \begin{cases} \text{sgn}(\max(|z_k|)) & \text{如果 } s = 0 \\ \text{sgn}(s) & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

## 5 实验结果及性能分析

### 5.1 鲁棒性能

为比较不同的水印嵌入位置选择策略抵抗几何攻击的能力,本文在视频序列 Susie 上分别采用本文的 DCT 特征块选择方法和文献[10]中的运动块选择方法来嵌入水印。其中,每个 I 帧选取 100 个特征块来嵌入水印,共有 20bit 的水印信息被嵌入。实验结果如图 7~图 9 所示。

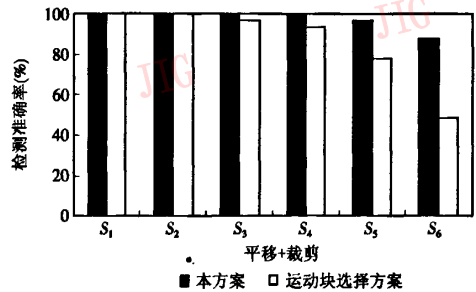


图 7 不同像素平移+裁剪后的检测结果  
S1(2,1) S2(3,4) S3(7,5) S4(10,0) S5(15,15) S6(20,20)  
Fig.7 Detection results after shifting + cropping

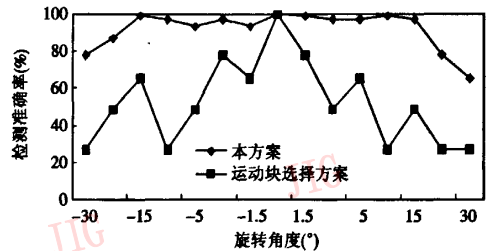
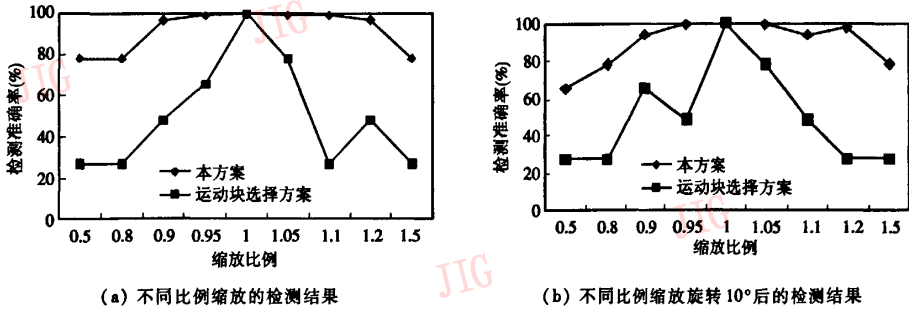


图 8 不同旋转角度的检测结果  
Fig.8 Detection results after rotation

图 7 是经平移+裁剪后的实验结果,本文用  $S(x,y)$  表示平移+裁剪操作,其中  $x$  是像素行平移量,  $y$  是像素列平移量。由图 7 数据可见,本文的方案能较好地抵御不同程度的像素平移,而运动块选择方法只能抵御少量像素的平移,当像素平移量超过 16 (即宏块大小)后,检测率则迅速下降。

图 8,图 9 是经旋转和缩放后的检测结果,其中,图 9(b)是经不同比例缩放并旋转 10°后的检测结果。当旋转角度小于 15°,缩放比例为 0.9~1.2



(a) 不同比例缩放的检测结果

(b) 不同比例缩放旋转 10° 后的检测结果

图 9 不同比例缩放的检测结果

Fig. 9 Detection results after scaling

时,本文方案都显示了很好的鲁棒性。这表明,本文方案具有足够的鲁棒性以抵御一般的不影响视觉效果的几何攻击。当旋转和缩放变换的强度增大时,则检测率有所下降,其主要原因,一方面是本方案的水印嵌入是基于 DCT 块的,高强度的几何变换破坏了检测端与嵌入端提取特征块的同步;另一方面,运动块选择方法对大多旋转和缩放攻击均脆弱。可见,基于时间域运动补偿的嵌入位置选择策略,虽具有简单实时的优点,但对几何攻击不具有足够的鲁棒性。

此外,对算法进行 MPEG-2 有损压缩测试的结果表明,当编码码率降到 3Mbps 时,本文方案仍能取得 100% 的检测准确率。

表 1 显示了其他非几何攻击的实验结果,本文方案都具有很好的鲁棒性。

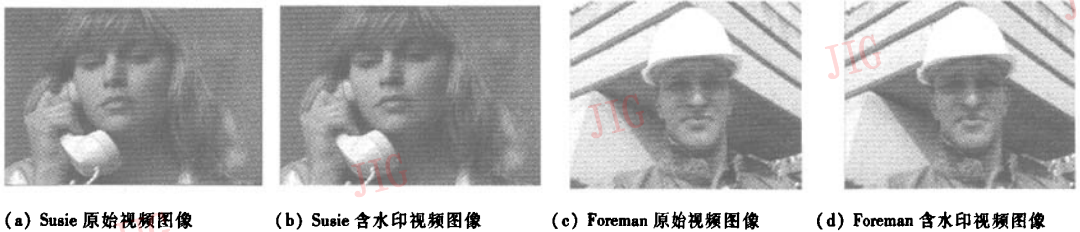
表 1 非几何攻击检测结果

Tab.1 Detection results of other attacks

攻击类型	检测准确率 (%)
椒盐噪声(强度 0.1)	100
高斯白噪声(强度 0.05)	100
中值滤波(3 × 3)	100
高斯模糊(5 × 5)	100
锐化	100

### 5.2 不可见性

通过选择 Susie 和 Foreman 两个视频序列来测试算法的不可见性。计算得到的嵌入水印后的两个视频的 PSNR (peak signal noise ratio) 值分别是 44.3dB 和 45.7dB。图 10 显示了水印嵌入前后视频帧的主观视觉效果。



(a) Susie 原始视频图像

(b) Susie 含水印视频图像

(c) Foreman 原始视频图像

(d) Foreman 含水印视频图像

图 10 水印嵌入的视觉效果

Fig. 10 Imperceptibility of the embedded frame

### 5.3 计算复杂度

在水印的嵌入阶段,由于整个操作是在 DCT 域进行,不用变换到空域提取特征信息,从而使得算法的复杂度大大降低。整个嵌入算法的时间复杂度只依赖于特征块的提取操作,而这一过程是随选择块数增多呈线性增加的,其算法复杂度为  $O(n)$ 。实验测

得水印的嵌入过程相对于 115s 的视频编码增加了 2s 的时间,近似于编码效率的 2%,可见实时性很好。

### 5.4 安全性

在视频帧的校准过程中,本文系统通过引入密钥来保护同步块的位置,由于不同的密钥会产生不同的权值,从而使同步块的位置完全不同。如果攻

击者不拥有密钥,那么就无法准确估计同步块的位置,从而也就不可能对同步块加以破坏,这相对于辅助模板法而言,大大改善了系统的安全性。

## 6 结 论

本文方案属于第2代水印系统,该系统充分利用了视频数据的视觉重要信息。通过在 DCT 域中提取特征块来进行水印嵌入和几何变形估计,使得算法的复杂度大大降低。该系统在特征块中嵌入水印,并结合 HVS 模型,以实现水印的鲁棒性与不可见性的折衷;同时利用特征块的统计信息来估计并恢复视频帧遭受的几何变形,以抵御几何攻击。实验证明,本文方案能够较好地抵抗几何攻击,并具有较好的不可见性、实时性和安全性,可应用于视频内容的版权保护领域。

### 参考文献 (References)

- 1 Liu Jiu-fen, Huang Da-ren, Huang Ji-wu. Survey on watermarking against geometric attack [J]. *Journal of Electronics & Information Technology*, 2004, 26(9): 1495 ~ 1503. [刘九芬, 黄达人, 黄继武. 图像水印抗几何攻击研究综述[J]. *电子与信息学报*, 2004, 26(9): 1495 ~ 1503.]
- 2 O' Ruanaidh J J K, Pun T. Rotation, scale and translation invariant spread spectrum digital image watermarking [J]. *Signal Processing*, 1998, 66(3): 303 ~ 317.
- 3 Solachidis V, Pitas I. Circularly symmetric watermark embedding in 2-D DFT domain [J]. *IEEE Transactions on Image Processing*, 2001, 10(11): 1741 ~ 1753.
- 4 Pereira S, O' Ruanaidh J J K, Deguillaume F, et al. Template based recovery of Fourier-based watermarks using log-polar and log-log maps [A]. In: *IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems* [C], Florence, Italy, June, 1999, 1: 870 ~ 874.
- 5 Hartung F H, Su J K, Girod B. Spread spectrum watermarking: Malicious attacks and counterattacks [A]. In: *Proceedings of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents* [C], San Jose, CA, USA, 1999: 147 ~ 158.
- 6 Kutter M, Bhattacharjee S K, Ebrhimi T. Towards second generation watermarking schemes [A]. In: *Proceedings of International Conference on Image Processing '99* [C], Kobe, Japan, 1999: 320 ~ 323.
- 7 Celik M U, Saber E, Sharma G, et al. Analysis of feature-based geometry invariant watermarking [A]. In: *Proceedings of SPIE Security and Watermarking of Multimedia Contents III* [C], San Jose, CA, USA, 2001, 4314: 261 ~ 268.
- 8 Kaewkamnerd N, Rao K R. Wavelet based watermarking detection using multiresolution image registration [EB/OL]. [http://www-ee.uta.edu/dip/paper/tencon\\_water.pdf](http://www-ee.uta.edu/dip/paper/tencon_water.pdf), 2000-09.
- 9 HUANG Wen-yong, TANG Long. MPEG-4 video-object watermarking scheme resistant to geometry transformation attacks [J]. *Mini-Micro Systems*, 2005, 26(5): 803 ~ 806. [黄文勇, 唐龙. 一种抗几何变换攻击的 MPEG-4 视频对象水印方案 [J]. *小型微型计算机系统*, 2005, 26(5): 803 ~ 806.]
- 10 Ye Deng-pan, Dai Yue-wei, Wang Zhi-quan, et al. A Fast motion Segmentation Based Watermarking for MPEG-2 Video [A]. In: *proceedings of 8th International Conference on Control, Automation, Robotics and Vision* [C], Kunming, China, 2004, 2: 1088 ~ 1091.
- 11 Shen B, Sethi I K. Direct feature extraction from compressed images [A]. In: *Proceedings of SPIE: Storage & Retrieval for Image and Video Databases IV* [C], San Jose, CA, USA, 1996, 2670: 404 ~ 414.
- 12 Podilchuk C, Zeng W. Image-adaptive watermarking using visual models [J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1998, 16(4): 525 ~ 539.
- 13 Barni M. Effectiveness of exhaustive search and template matching against watermark desynchronization [J]. *Signal Processing Letters*, 2005, 12(2): 158 ~ 161.