

一种用于帧内篡改检测的压缩感知视频水印实现算法

赵慧民¹, 赖剑煌², 蔡 君¹, 陈小玲¹

(1. 广东技术师范学院电子与信息学院, 广东广州 510665; 2. 中山大学信息科学与技术学院, 广东广州 510275)

摘 要: 针对视频水印在帧内篡改检测方面定位精度的不足, 通过压缩感知对 MPEG-4 (Moving Picture Experts Group-4) 视频内容的特征表示, 提出一种新的视频水印生成方法及其帧内篡改检测算法. 该算法由压缩感知 DCT (Discrete Cosine Transform) 测量矩阵对 I-VOP (Intra-Video Object Plane) 图像提取 U 、 V 特征参数, 生成基于内容的压缩感知视频水印数据并嵌入到图像 Y 分量的 DCT 中高频系数中实现帧内篡改检测. 实验结果表明, 与 Hash 视频水印算法比较, 压缩感知视频水印数据具有更好的恢复能力, 且水印算法对视频帧内篡改定位精度更高.

关键词: 压缩感知; MPEG-4; 视频水印; 篡改检测

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2013) 06-1153-06

电子学报 URL: <http://www.ejournal.org.cn> **DOI:** 10.3969/j.issn.0372-2112.2013.06.017

A Video Watermarking Algorithm for Intraframe Tampering Detection Based Compressed Sensing

ZHAO Hui-min¹, LAI Jian-huang², CAI Jun¹, CHEN Xiao-ling¹

(1. Guangdong Polytechnic Normal University, Guangzhou, Guangdong 510665, China;

2. School of Information Science and Technology, Sun Yat-sen University, Guangzhou, Guangdong 510006, China)

Abstract: In order to overcome the drawback of localization accuracy for intraframe tampering detection based on video watermarking, this paper proposes a novel video watermarking generation and intraframe tampering detection algorithm based on feature representation of MPEG-4 (Moving Picture Experts Group-4) video content by compressed sensing (CS). First, U and V , feature parameters of I-VOP (Intra-Video Object Plane) frame, are extracted utilizing projection of DCT (Discrete Cosine Transform) measurement matrix of the CS, generate the CS-watermarking of the video content, and embed the CS-watermarking data into the coefficients of low frequency and high frequency of DCT domain in the Y component of image. Compared to Hash-watermarking generating algorithm, experiment results show that the CS-watermarking algorithm has better data recovery capability and localization accuracy for video intraframe tampering detection.

Key words: compressed sensing; moving picture experts group-4 (MPEG-4); video watermarking; tamper detection

1 引言

视频水印是预先在视频中嵌入不可感知的特定信息, 通过检测这些信息的完整性来判断视频是否被篡改, 达到视频版权保护及其内容认证的目的. 目前的视频水印数据主要通过酉变换 (如 FFT、DCT、DWT 或 DCT + DWT 等) 对图像进行处理后^[1-6], 再结合随机扰乱和加密产生. 这种技术的最大问题是, 以 Shannon's Nyquist 定律为基础的酉变换准则得到的水印数据量大, 嵌入过程复杂, 需要同步机制因而难以保证视频水印实现的稳健性, 其技术更多地体现在理论意义而缺乏实用价值.

文献[7]和文献[8]分别提出了视频水印和视频 Hash 的篡改检测方法, 它们都能较好地检测出视频的篡改, 但对视频的码率影响较大. 文献[9]对视频篡改问

题进行了研究, 提出了一种用于区分 MPEG-2 压缩和恶意篡改的可逆半脆弱水印算法, 它将视频帧按 8×8 的块进行分割并作 DCT 变换, 利用 DCT 变换直流系数的不变性将水印嵌入到 LSB 中. 该算法能够区别 MPEG-2 压缩和恶意篡改, 并能够对帧内的篡改进行初步定位, 但定位精度不高. 文献[10]提出了一种运用哈希函数进行 MPEG-4 内容认证的半脆弱可逆视频水印算法 (称为 Hash-watermarking 算法), 它在 YUV 视频进行 MPEG-4 编码的 I 帧中嵌入两个水印, 一个运用哈希函数进行内容完整性验证并嵌入帧序号进行帧间篡改定位, 另一个基于直流系数和低频系数用于帧内篡改定位. 该算法能够对视频内容进行验证并实现篡改定位, 但视频水印相似性较低, 篡改定位精度也不高.

针对目前的视频水印算法在生成技术和篡改检测

方面存在的不足,本文在研究压缩感知(Compressed Sensing, CS)理论和图像篡改检测的基础上,提出一种新的视频水印生成技术(称为 CS-watermarking)及其篡改检测算法.算法以 MPEG-4 压缩视频为研究对象,基于 I-VOP 图像的编码方式和 DCT 系数的特性,通过压缩感知 DCT 测量矩阵技术提取 I-VOP 图像的色度特征值,生成基于内容的脆弱水印,并嵌入到亮度图像的 DCT 中低频系数中,从而实现一种新的视频水印生成技术及其视频帧内篡改检测的算法.

2 压缩感知及测量矩阵的构造

压缩感知(Compressed Sensing, CS)能在某些基下用少量非零系数表示,并通过线性测量值可以高概率恢复原始信号.其核心是线性测量过程及其测量矩阵的构造与信号的重构^[13].压缩感知的稀疏和测量理论是继傅立叶变换、小波变换之后的新型信号采样表示理论,主要思想是通过稀疏变换和线性投影将信号表示成少数原子的线性组合,可以更加灵活、简洁地对信号进行自适应表示,能够有效地揭示信号的内在结构. CS 理论由于有效地利用了图像的内在稀疏特性,更符合人类的视觉感知机理,为图像和视频水印数据的形成研究带来了新的机遇.因此,本文通过构造 CS 理论下的测量矩阵,把帧图像的特征参数通过投影生成视频水印数据,实现一种用于帧内篡改检测的压缩感知视频水印实现算法.

目前研究的测量矩阵大部分是随机矩阵,随机矩阵在数值实现中花费时间长,满足一定分布的随机数在硬件设备中难以实现.另一方面,受视频序列的数据量和帧图像的时变性以及恒定码率的限制,视频水印(特别是内容认证的视频水印)嵌入的数据应尽可能地少,同时体现视频内容的重要特征.为此,本文研究易于实现且数据量有限的 DCT 确定性矩阵作为测量矩阵.

当测量矩阵为 DCT 矩阵时,可以通过 $O(K \times \log(N))$ 次投影测量数据量将 N 维空间的 K -稀疏信号精确重建.设视频帧大小为 N 且是素数,定义 p_i 是 i 个素数, $p_0 = 1$, 则有 $p_1 = 2, p_2 = 3, p_3 = 5, \dots$. 令 $q \in N$, 对于 $p_{q-1} < k \leq p_q$, 可以通过 K 个素数 ($K \gg k$) $k \leq p_q < p_{q+1} < \dots < p_{q+K-1}$ 构造一个测量矩阵:

$$\Phi \in \left\{0, \frac{1}{\sqrt{K}}\right\}^{(\sum_{j=0}^{K-1} p_{q+j}) \times N} \quad (1)$$

测量矩阵的行列用 $r_{j,h}$ 表示, $j \in [0, K), h \in [0, p_{q+j})$. 对于每一行的第 n 列, $n \in [0, N)$, 有:

$$(r_{j,h})_n = \begin{cases} \delta((n-h) \bmod(p_{q+j})) \\ 1, \text{ if } n \equiv h \pmod{p_{q+j}} \\ 0, \text{ otherwise} \end{cases} \quad (2)$$

所以,测量矩阵 Φ 的形式为:

$$\Phi = \frac{1}{\sqrt{K}} \begin{bmatrix} r_{0,0} & r_{0,1} & \dots & r_{0,p_q-1} & r_{1,0} & \dots & r_{1,p_{q+1}-1} & \dots & r_{K-1,p_{q+K-1}-1} \end{bmatrix}^T \quad (3)$$

这样,我们得到一种测量矩阵的实现形式为:

$$\Phi \cdot \sqrt{K} = \begin{bmatrix} n \equiv 0 \pmod{2} \\ n \equiv 1 \pmod{2} \\ n \equiv 0 \pmod{3} \\ n \equiv 1 \pmod{3} \\ n \equiv 2 \pmod{3} \\ \vdots \\ n \equiv 1 \pmod{5} \\ \vdots \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & \dots \\ 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & \dots \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & \dots \\ \vdots & \dots \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & \dots \\ \vdots & \dots \end{bmatrix} \quad (4)$$

因此,式(4)可通过少量稀疏值的测量直接用于实现图像的分类、特征提取、目标检测以及信息融合等,并且由于测量值中 1 的数目较少,信息密度高,可以大大减少水印算法的嵌入时间,且对视频码率影响较少.对于 MPEG-4 视频,由于 I-VOP 图像全部投影计算量很大,我们采用分块投影进行测量,过程如下:

(1) 将 I-VOP 帧分割成 $B \times B$ 块,第 i 个图像块的数据形式为 $x_i, i = 1, \dots, n, n = N/B \times B$.

(2) 从测量矩阵 Φ 得到 $M_B \times B \times B$ 的测量数据块矩阵 Φ_B , 其中 $M_B = \lfloor (M \times B^2) / N \rfloor$.

(3) 对于 I 帧整幅图像,测量矩阵 Φ 可以用如下的对角矩阵表示:

$$\Phi = \begin{bmatrix} \Phi_B & & & \\ & \Phi_B & & \\ & & \ddots & \\ & & & \Phi_B \end{bmatrix} \quad (5)$$

(4) 对 x_i 分别采用相同的矩阵 Φ_B 进行投影测量,得到 CS 的测量值为:

$$y_i = \Phi_B \cdot x_i \quad (6)$$

在该方法实现时,不需要存储 $M \times N$ 的矩阵 Φ , 仅需存储 $M_B \times B^2$ 的矩阵块 Φ_B . 显然,当 B 较小时需要的存储较小并能快速实现. 但当 B 较大时, CS 能得到较好的信号恢复效果.

3 CS 视频水印技术及其篡改检测的实现算法

MPEG-4 视频压缩主要针对 DCT 的高频系数,中、低频系数在压缩过程中相对稳定,而在 I-VOP 帧内添加、交换和删除数据的攻击会改变 DCT 的中、低频系数. 利用该特性,把中、低频系数的特征值作为水印数据,不仅可以保证对视频合法操作的鲁棒性,还可以检测视频是否受到篡改攻击^[14-18]. 基于此,本文提出的 CS 视频水印实现视频内容篡改的认证系统流程如图 1 所示.

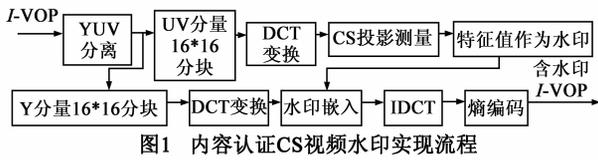


图1 内容认证CS视频水印实现流程

3.1 CS 视频水印数据的生成

提取 MPEG-4 视频 I-VOP 帧的 YUV 三层图像分量, 分别用 I_Y, I_U, I_V 表示, 并选取 I_U, I_V 两个分量作为 I-VOP 帧特征图层. 对 I_U, I_V 图像分量划分宏块, 由此得到 $N/256$ 个分块, 对每个分块进行 DCT 变换. 利用部分 2 构造的 DCT 测量矩阵 Φ , 分别对 I_U, I_V 的每个分块进行投影测量, 得到随机测量数据 y_u, y_v .

$$y_u(i) = \Phi_B \cdot x_u(i)$$

$$y_v(i) = \Phi_B \cdot x_v(i), u, v = 1, 2, \dots, n; n = N/256 \quad (7)$$

由于 y_u, y_v 反映了 I_U, I_V 两个分量特征值的分布情况, 我们把 y_u, y_v 值可作为视频水印数据进行处理. 因此, 有:

$$W_u = \{w_u(i), i \in (1, M)\} = \sum_{i=1}^M (y_u(i))^2$$

$$W_v = \{w_v(i), i \in (1, M)\} = \sum_{i=1}^M (y_v(i))^2$$

$$, M \in [K \log_2 \frac{256}{K}, 256] \quad (8)$$

其中 K 表示图像的稀疏度. 本文取 $K = 4$, 由此得到最小线性测量长度 $M = 24$. 根据 W_u, W_v 特征值的大小, 生成对应宏块中的内容认证水印数据, 记为 $W \in \{0, 1\}$, 且当 $W_u \geq W_v$ 时, $W = 1$; 而当 $W_u < W_v$ 时, $W = 0$.

3.2 CS 视频水印的嵌入

在本文的算法中, 为了保证在视频中高频系数嵌入水印后的视觉质量, 需要在 8×8 的 DCT 块上估算人类视觉系统 HVS(Human Visual System) 的临界差异失真 JND(Just-Noticeable Distortion) 的数值. JND 的计算方法多样, 传统的 JND 的计算过程相对复杂, 不符合 CS 视频水印快速实时的嵌入要求. 本文在不影响 JND 的效果的情况下, 给出一种简化的 JND 计算方法.

首先计算差异敏感函数. 差异敏感函数 $g(i)$ 反映了人类视觉系统对差异的敏感程度, 是 JND 模型的基础, 用来表示第 i 个 DCT 块中的差异敏感函数值, 则

$$g(i) = c_0 \left(k_1 + k_2 \ln \left(\frac{\varepsilon v}{3} \right) \right)^3 v (2\pi\rho_i)^2 \cdot \exp(-2\pi\rho_i c_1 \frac{(\varepsilon v + 2)}{k_3}) \quad (9)$$

其中, $c_0, k_1, k_2, k_3, \varepsilon, v$ 是常数. ρ_i 为视频帧空间域频率, 并有:

$$\rho_i = \frac{1}{2M} \sqrt{\left(\frac{h}{\omega_x} \right)^2 + \left(\frac{v}{\omega_y} \right)^2} \quad (10)$$

其中, ω_x 和 ω_y 代表第 i 个 DCT 块位置 (h, v) 对于视网

膜的水平 h 和垂直 v 方向的角频率值.

在差异敏感函数的基础上, 对于一个完整的 JND 系统, 还需要知道第 i 个 DCT 块的亮度调节系数 $a_{lum}(i)$, 它是当前块的平均亮度, 与该 DCT 块的低频直流系数 DC 关系为:

$$a_{lum}(i) = \begin{cases} 2 \times \left(1 - \frac{DC(n)}{4L} \right)^3 + 1, & DC(n) \leq 4L \\ 0.8 \times \left(\frac{DC(n)}{4L} - 1 \right)^2 + 1, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

这里, L 为灰度级, 一般为 256. 因此, 完整的 JND 计算公式如下:

$$JND(i) = A \frac{a_{lum}(i)}{g(i)} \frac{L}{\varphi_i(L_{max} - L_{min})} \quad (12)$$

L_{max} 和 L_{min} 是当前视频帧空域灰度最大与最小值, φ_i 分别为 DCT 标准化因子, A 为经验常数.

基于 HVS 系统的 JND 计算, 嵌入 CS 视频水印时采用扩频方式进行. 对第 i 个亮度分量 $Y(i)$ 进行宏块划分并进行 DCT 变换, 按照 (13) 式把 3.1 生成的 CS 视频水印数据嵌入后, 得到水印后亮度信号 $\bar{Y}(i)$:

$$\bar{Y}(i) = Y(i) + JND(i) \cdot W \quad (13)$$

对于水印数据 W 同时按照如下条件处理: 当 $W = 1$ 时, 把对应亮度块 I_Y 分量的高频系数 D_H 置为 0. 当 $W = 0$ 时, 把对应亮度块 I_Y 分量的中频系数 D_M 置为 0. 按其条件处理 I-VOP 帧中每个宏块的亮度块, 最后处理视频中所有的 I-VOP 帧.

3.3 CS 视频水印数据的检测

CS 视频水印检测过程如下:

(1) 含水印的 MPEG-4 压缩视频的 I-VOP 帧经过熵解码后, 提取 YUV 分量 $\hat{I}_Y, \hat{I}_U, \hat{I}_V$ 及其 DCT 量化系数. 对含水印的 \hat{I}_Y 分量进行 16×16 块分割得到 $\bar{Y}(i)$, 然后进行 DCT 变换得到第 i 个数据块 $\hat{x}_Y(i)$ 进行投影, 并用压缩感知测量矩阵块 Φ_B 进行线性测量, 得到含水印估计数据 $\hat{y}_Y(i)$:

$$\hat{y}_Y(i) = \Phi_B \cdot \hat{x}_Y(i), \quad i = 1, 2, \dots, n; n = N/256 \quad (14)$$

(2) 分别对 \hat{I}_U, \hat{I}_V 的每个分块进行 DCT 变换并投影测量, 得到水印的随机测量估计数据 \hat{y}_U, \hat{y}_V .

(3) 利用公式 $E = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y - y|$ 和 $\sigma = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |y - E|^2$, 分别计算 $\hat{y}_Y(i), \hat{y}_U, \hat{y}_V$ 的均值和方差, 根据似然统计规律和相关检测器检测出水印信息, 记为 $\hat{W}, \hat{W} \in \{0, 1\}$.

3.4 视频篡改检测过程

(1)根据亮度调节系数 $a_{lum}(i)$ 和经验常数 A 的值,分别计算 I-VOP 帧中 \hat{I}_Y 每个亮度块的高频与中频系数的 D_H 和 D_M 值,并计算 D_H 、 D_M 之和:

$$D_{MH} = D_M + D_H \tag{15}$$

(2)生成一张全为 0 的篡改记录表 R ,大小为 $N/256$. 如果亮度块的 D_{MH} 为 0,则该亮度块不做内容认证检查;如果亮度块的 D_{MH} 不为 0,并且 $\hat{W}=0, D_M \neq 0$,或者 $\hat{W}=1, D_H \neq 0$,则初步确定该亮度块的内容被篡改,把该亮度块的 DCT 系数置为 0,并在篡改记录表中标记为 1.

(3)按过程(1)到(3)检测视频的所有 I-VOP 帧,得到初步检测结果.

(4)根据篡改记录表判断 I-VOP 帧图像是否被篡改. 如果被篡改,则提取视频 I-VOP 帧 \hat{I}_U, \hat{I}_V 图像,并把两幅图像分别划分成 8×8 块. 计算 \hat{I}_U, \hat{I}_V 内每个块 k_m 回环像素值的和,如式(16)所示:

$$R_u(i) = \sum_{i=1}^{64} (\hat{I}_u(i) \cdot k_m)$$

$$R_v(i) = \sum_{i=1}^{64} (\hat{I}_v(i) \cdot k_m) \tag{16}$$

$m \in [1, 4]$. 回环 k_1, k_2, k_3, k_4 如图 2 所示:

1111111111	0000000000	0000000000	0000000000
1000000001	0111111110	0000000000	0000000000
1000000001	0100000010	0011111100	0000000000
1000000001	0100000010	0010001000	0001111000
1000000001	0100000010	0010001000	0001111000
1000000001	0100000010	0011111100	0000000000
1000000001	0111111110	0000000000	0000000000
1111111111	0000000000	0000000000	0000000000

图2 回环矩阵数据图

(5)设置亮度块的回环值阈值为 T ,如果 $R_u(i), R_v(i)$ 差值的绝对值小于 T ,则表明该亮度块属于误判块,恢复该块的 DCT 系数. 否则,该亮度块被篡改.

(6)按(4)、(5)过程处理所有初步判断为篡改的亮度块,然后在 I-VOP 帧图像中显示篡改检测的内容认证输出结果.

4 实验结果与分析

实验采用 MPEG-4 标准 CIF 352×288 和 352×240 两组测试视频序列,视频的 I/P 帧间距为 5,色差格式为 4:2:0,帧数 120-125,帧速为 25s-30/s. 选择图像宏块分块参数为 16×16 ,子块参数为 8×8 ,则 $n = 396, 330$;选择 CS 测量矩阵的稀疏度 $K = 4$,测量数 $M = 24$,则分块测量矩阵大小为 16 和 19. 检测水印时,设置亮度块的回环值阈值为 $T = 300$.

4.1 水印透明性分析

为评价本文算法的有效性,分析嵌入内容认证水印后视频的视觉效果,即水印的透明性. 按照本文的算法,嵌入内容认证 CS 视频水印,嵌入水印前后的视频序列对比如图 3、4 所示. 对比图 3 和图 4 可以看出,嵌入水印前后,视频图像在视觉上几乎没有区别,水印透明性很好. 通过 PSNR 值对嵌入水印前后的视频序列进行客观评价(如表 1),水印嵌入前后 I-VOP 帧图像的 PSNR 值变化都在 1dB 左右.

表 1 嵌入 CS 视频水印前后的 PSNR 值

视频序列	Carphone (前)	Carphone (后)	Container (前)	Container (后)	Mobile (前)	Mobile (后)	Paris (前)	Paris (后)
PSNR(dB)	48.95	47.87	46.19	45.75	49.81	48.79	47.82	46.98

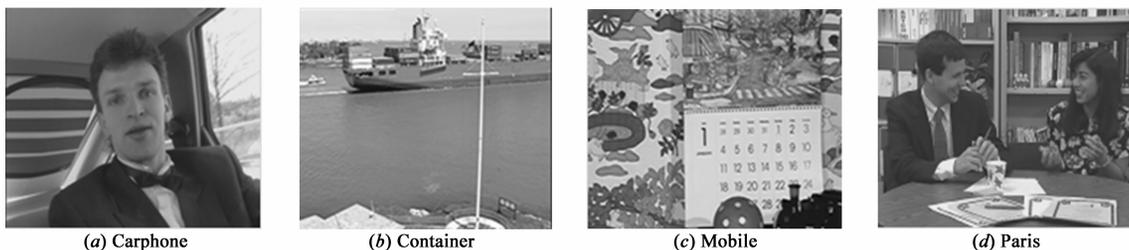


图3 原始视频序列

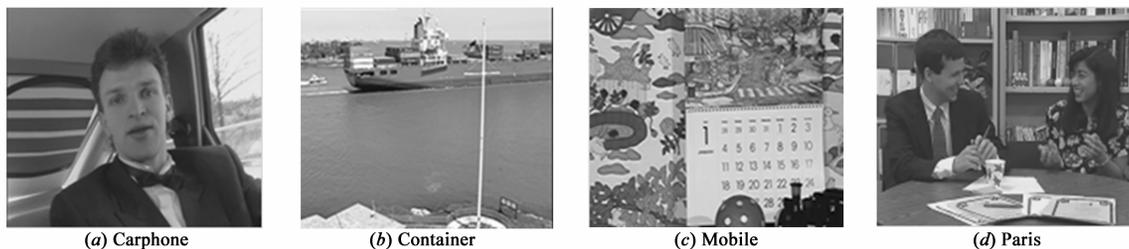


图4 嵌入压缩感知视频水印序列

4.2 I-VOP 帧内篡改检测分析

视频帧内篡改,又称为空间域篡改,一般是对视频帧内容的篡改.本文以 Container 视频序列为例,对嵌入



图5 Container视频帧内篡改及检测结果

为了验证视频帧内篡改检测能力和准确度,我们以区域篡改检测率作为客观评判的尺度.区域篡改检测率的计算公式如式(17)所示:

$$R = \frac{N}{A} \quad (17)$$

其中, N 为检测出的篡改块数, A 为篡改区域的大小.

水印后的视频序列的第 46 帧进行篡改,篡改区域为 30 个 8×8 块的大小.篡改前后的视频对比以及篡改检测结果如图 5 所示.

表 2 给出了本文算法和 Has-watermarking 算法对 Carphone 和 Container 视频序列的篡改检测块数和篡改检测率.通过对比可以看出,本文算法的篡改检测能力和准确度都比 Has-watermarking 算法要高,所有检测出的块均在篡改区域内.

表 2 帧内篡改检测率分析

视频序列	CS-watermarking 算法		Hash-watermarking 算法	
	篡改检测块数	篡改检测率	篡改检测块数	篡改检测率
Carphone	30	0.91	25	0.83
Container	28	0.95	26	0.87
Mobile	28	0.97	24	0.80
Paris	30	0.95	25	0.83

4.3 CS 视频水印的鲁棒性分析

为了验证 CS 视频水印的鲁棒性,在码率 $R = 500\text{kbps}$,高斯白噪声环境下,通过计算 Carphone 视频序列中提取的水印与原始水印的相似度来客观评价水印的相似程度(即水印相关性).相似度 NC 的计算公式如式(18)所示:

$$NC = \frac{\sum_{u,v} \hat{W}(u,v) \cdot W(u,v)}{\sum_{u,v} W^2(u,v)} \quad (18)$$

其中, $\hat{W}(u,v)$, $W(u,v)$ 分别为提取的水印与原始水印在 UV 视频分量的灰度值.表 3 给出了 Carphone 视频序列在相同条件下,本文提出的 CS-watermarking 算法和 Hash-watermarking 算法的相似度对比.从表中可以看出,CS-watermarking 算法从噪声视频中提取的水印比 Hash-watermarking 算法具有更高的相似度,表明本文提出的压缩感知水印具有更好的视频特征恢复的能力以及抵抗噪声的鲁棒性.

表 3 CS-watermarking 和 Hash-watermarking 的相似度对比

Watermarking NC	帧数											
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Hash-watermarking	0.866	0.859	0.840	0.842	0.841	0.839	0.836	0.833	0.821	0.819	0.815	0.811
CS-watermarking	0.927	0.925	0.921	0.920	0.919	0.926	0.921	0.916	0.912	0.910	0.905	0.896

5 结论

本文提出了一种压缩感知理论下的 MPEG-4 视频水印生成算法及其帧内篡改检测算法.该算法利用 I-VOP 帧图像的编码方式及其亮度和色度的 DCT 系数特性,通过压缩感知理论下的 DCT 测量矩阵提取 I-VOP

帧色度图像的特征数据,生成半脆弱的内容认证水印,并嵌入到 I-VOP 帧亮度图像每个宏块的 DCT 中高频系数中,从而在 I-VOP 帧内实现了一种有效的视频篡改检测算法.评测实验表明,算法具有较高的透明性,同时水印数据具有较好的鲁棒性.相比 Hash 视频水印算法,本文提出的算法对视频帧内篡改具有更好的检测能

力,且检测结果能够精确到图像帧的各个子块。

参考文献

- [1] E T Oh, M J Lee, K S Kim, et al. Spatial self-synchronizing video watermarking technique[A]. 2009 16th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP 2009) [C]. Cairo: IEEE Signal Processing Society Press, 2009. 4233 – 4236.
- [2] Yuting Su, Junyu Xu, Bo Dong, Jing Zhang, et al. A novel source MPEG-2 video identification algorithm[J]. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2010, 24(8): 1311 – 1328.
- [3] D T Lin, and G J Liao. Swarm intelligence based fuzzy C-means clustering for motion vector selection in video watermarking[J]. International Journal of Fuzzy Systems, 2008, 10(3): 185 – 194.
- [4] 梁长垠,李昂,黄继武.基于 MPEG 压缩的视频认证算法测试平台[J].电子学报,2008,36(12A):133 – 137.
C Y Liang, A Li, H J Wu. Test platform for video authentication algorithm based on MPEG compression[J]. Acta Electronica Sinica, 2008, 36(12A): 133 – 137. (in Chinese)
- [5] S W Lee, D I Seo. Novel robust video watermarking algorithm based on adaptive modulation[A]. 2012 14th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT) [C]. Pyeong Chang, Korea: IEEE Communication Society Press, 2012. 225 – 229.
- [6] L Liu, D Y Peng. A novel secure video watermarking for broadcast monitoring[J]. Chinese Journal of Computers, 2009, 32(11): 2239 – 2246.
- [7] Lin Youru, Huang Huiyu, Hsu Wenhsing. An embedded watermark technique in video for copyrith protection[A]. Proc of the 18th Int Conf on Pattern Recognition(ICPR) [C]. Piscataway, NJ: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc, 2007.
- [8] Cedric De Roover, Christophe De Vleeschouwer, et al. Robust video hashing based on radial projections of key frames[J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2008, 53(10): 4020 – 4037.
- [9] J Y Park, J H Lin, G S Kin, et al. Invertible sem I fragile watermarking algorithm distinguishing MPEG-2 compression from malicious manipulation[A]. Proceedings of International Conference on Consumer Electronics [C]. New York, USA: IEEE Press, 2002. 18 – 19.
- [10] F Ahmed, M Y Siyal. A Robust and Secure Signature Scheme for Video Authentication[A]. 2007 IEEE International Conference on Multimedia and Expo [C]. Beijing, China: IEEE Signal Processing Society Press, July 2007. 2126 – 2129.
- [11] 杨海蓉,张成,丁大为,韦穗.压缩传感理论与重构算法[J].电子学报,2011,39(1):142 – 148.
YANG Hai-rong, ZHANG Cheng, DING Da-wei, WEI Sui. The theory of compressed sensing and reconstruction algorithm [J]. Acta Electronica Sinica, 2011, 39(1): 142 – 148. (in Chinese)
- [12] 秦运龙,孙广玲,王朔中,张新鹏.根据 GOP 异常进行视频序列剪辑篡改的盲检测[J].电子学报,2010,38(7): 1597 – 1602.
QIN Yun-long, SUN Guang-ling, WANG Shuo-zhong, ZHANG Xin-peng. Blind detection of video sequence montage based on GOP abnormality[J]. Acta Electronica Sinica, 2010, 38(7): 1597 – 1602. (in Chinese)
- [13] E Candes, T Tao. Near optimal signal recovery from random projections: Universal encoding strategies[J]. IEEE Trans Info Theory, 2006, 52(12): 5406 – 5425.
- [14] T Sun. A Novel Self-adaptation differential energy video watermarking scheme in copyright protection[J]. Journal of Multimedia, 2009, 4(3): 153 – 160.
- [15] W Wang, H Farid. Exposing digital forgeries in video by detecting duplication[A]. Proceedings of the 9th Multimedia and Security Workshop [C]. Dallas, USA: ACM Special Interest Group on Multimedia, 2007. 35 – 42.
- [16] M Johnson, H Farid. Exposing digital forgeries by detecting inconsistencies in lighting[A]. Proceedings of the 7th Multimedia and Security Workshop [C]. New York, USA: ACM SIG-MM, 2006. 1 – 9.
- [17] W Wang, H Farid. Exposing digital forgeries in interlaced and de-interlaced video [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2007, 2(3): 438 – 449.
- [18] M Takayama, K Tanaka, K Takagi. A scalable video scrambling method in MPEG compressed domain[A]. 2008 3rd International Symposium on Communications, Control, and Signal Processing (ISCCSP2008) [C]. St Julians, Malta: IEEE Press, March 2008. 1035 – 1040.

作者简介

赵慧民 男,1966年生,2001年6月毕业于中山大学信息科学与技术学院,获理学博士.现为广东技术师范学院电子与信息学院教授,广东省图象图形学会理事,《电子学报》、《电路与系统学报》和《中山大学学报》等审稿专家.主要研究方向是压缩感知理论和信息安全技术.

E-mail: zhaohuimin@tom.com

赖剑煌 男,1964年生,理学博士,中山大学信息科学与技术学院自动化系教授,博士生导师,中山大学信息科学与技术学院院长,广东省图象图形学会理事长,中国图象图形学会常务理事.主要研究方向:生物特征识别,图象分析与理解,模式识别与机器学习.

E-mail: stsljh@mail.sysu.edu.cn

蔡君 男,1981年生,2012年毕业于中山大学信息科学与技术学院,获理学博士.现为广东技术师范学院电子与信息学院讲师.目前,主要研究方向是网络技术和信息安全通信研究. E-mail: gzh-caijun@gmail.com

陈小玲 女,1971年生,理学硕士,现为广东技术师范学院电子与信息学院讲师.主要研究方向是数字图像处理技术和信息隐藏技术研究. E-mail: cxL1688@163.com