

中图法分类号: TP391 文献标志码: A 文章编号: 1006-8961(2011)05-0726-07

论文索引信息: 王让定, 朱洪留, 徐达文. H. 264/AVC 视频流完整性认证的脆弱水印算法 [J]. 中国图象图形学报, 2011, 16(5): 726-732

H. 264/AVC 视频流完整性认证的脆弱水印算法

王让定¹⁾, 朱洪留¹⁾, 徐达文²⁾

¹⁾(宁波大学信息与工程学院, 宁波 315211) ²⁾(同济大学计算机科学与技术系, 上海 201804)

摘要: 提出一种基于脆弱水印的视频流完整性认证方法, 在 H. 264 压缩比特流中, 首先根据 I_Slice 中 4×4 块的编码模式生成认证码, 然后通过调制某些运动子块的 VLC 码字将其嵌入 B_Slice 和 P_Slice 的视频流中。这种调制是基于 VLC 码字和待嵌入比特之间的映射规则进行的。映射后的码字与原码字具有很好的相似性, 即码字长度不变, 码字表示的编码元素值相似。该算法可以实现水印的快速提取, 满足视频实时处理的要求。实验仿真结果表明, 本算法具有较小的视频失真, 并能有效地对视频帧进行完整性认证。

关键词: 视频水印; VLC; 完整性认证; 码字映射; 指数哥伦布

Fragile watermarking algorithm for the integrity authentication of video bit-stream of H. 264/AVC

Wang Rangding¹⁾, Zhu Hongliu¹⁾, Xu Dawen²⁾

¹⁾(School of Information Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211 China)

²⁾(Department of Computer Science and Technology, Tongji University, Shanghai 201804 China)

Abstract: An integrity authentication scheme for video bit-stream based on the fragile watermarking is proposed in this paper. In the compressed bit-stream of H. 264, The authentication codeword are generated according to the mode of intra_4 $\times 4$ in I_Slice firstly, and then embedded into B_Slice and P_Slice by modulating some VLC codeword of sub-block. This modulation is based on the mapping rule between the VLC codeword and the bit to be embedded. The mapped codeword is very similar to the original codeword, namely, the length of codeword is same and the value of coding element is similar. This scheme could detect the watermarking rapidly, which meets the requirement of the real-time processing of video. Experimental results show that it has less influence on the quality of video, and can effectively carry out the integral certification of video frame.

Keywords: video watermarking; VLC; integrity authentication; codeword mapping; Exp-Golomb coding

0 引言

随着多媒体网络技术的飞速发展, 数字多媒体信息, 特别是视频信息的交流已经达到前所未有的

程度。然而, 视频信息在传输过程中极易遭受各种无意或有意的篡改攻击, 这使得人们对视频信息的完整性和内容的真实性产生怀疑。如果篡改涉及国家安全、法庭举证等重要内容时, 则可能会造成严重的后果。因此, 如何在网络环境中对视频信息内容

收稿日期: 2010-03-11; 修回日期: 2010-06-10

基金项目: 国家自然科学基金项目(60873220); 浙江省自然科学基金项目(Y108022, Y1090285); 宁波市科技局工业择优委托计划项目(2009B10003)。

第一作者简介: 王让定(1962—), 男, 教授, 博士生导师。2004年获同济大学工学博士学位, 研究方向为信息隐藏、数字取证、数字水印技术。E-mail: wangrangding@nbu.edu.cn。

的真实性、完整性实施有效的保护已经成为近年来多媒体信息安全领域研究的热点^[1-2]。脆弱性水印作为一种保密通信技术,是解决这一问题最有效的方法之一。它将数据、图像等水印信息以人所不可感知的方式嵌入视频信息中,通过对该水印信息的提取可以实现视频作品的完整性认证,甚至可以指出篡改的位置和攻击类型等。

现有的基于 H.264/AVC 的脆弱性水印算法主要是通过调制运动矢量或者中高频 DCT 系数嵌入水印信息^[3-6],该类方法最明显的缺点是计算复杂度大。水印嵌入时,需要先对视频比特流进行解码,然后再结合编码标准调制运动矢量或者 DCT 系数;水印检测时,同样先要对视频比特流进行解码。为了进一步提高视频水印的实用性,一种最有效的方法是直接在视频比特流中嵌入水印信息,即根据待嵌入的水印信息,修改码流的可变长编码(VLC)码字。然而,H.264 的高效压缩性能使其对编码比特流中的微小变化非常敏感,这使得实现基于 H.264 码流的水印具有很大的困难和挑战。文献[7]通过修改帧内 16×16 编码模式的视频流嵌入水印,该方案具有很好的不可感知性和较小的码率变化,然而在实际的编码过程中,该类型宏块比较稀少,水印容量相对较小。文献[8]通过对视频序列进行统计分析,将 CAVLC(基于上下文的自适应变长编码)码字空间分成常用的码字空间和未使用的码字空间 2 组,然后根据待嵌入比特和码字空间的映射关系嵌入水印,该方案同样具有较好的不可感知性,嵌入容量也相对较大,但是必须先对视频序列进行统计分析才能建立映射规制,而且对码率的影响较大。

通过对运动矢量编码比特流的分析,提出一种基于 Exp-Golomb(指数哥伦布)码字映射的 H.264/AVC 视频水印方法,即在 H.264 压缩比特流中,通过替换相应的码字嵌入水印信息。该方法的主要特点在于:1)水印嵌入和提取都是基于压缩比特流进行的,计算复杂度低,具有较好的实用性。2)水印嵌入后不改变码字的长度,而且具有较小的视频失真。3)可以实现水印的快速提取,满足视频实时处理的要求。

1 指数哥伦布编码

H.264/AVC 主要采用 CAVLC 和 Exp-Golomb 把语法元素编码成可变长度的二进制码字。

CAVLC 主要用于 DCT 残差系数,而 Exp-Golomb 主要用于运动矢量残差(d_{mv})以及边信息,如编码模式、参考帧、量化参数等语法元素,其结构可以表示为^[9]

$$[m \text{ zeros}][L][b]$$

式中, $m \text{ zeros}$ 称为前缀,由 m 个零组成, b 是携带信息的 m 位域, m 和 b 的定义如下:

$$m = \text{floor}(\log_2(n + 1)) \quad (1)$$

$$b = n + 1 - 2^m \quad (2)$$

式中, $\text{floor}(\cdot)$ 表示向下取整, n 表示每个码字的索引,它由编码参数 k 按照一定的方式映射得到。其目的是对经常出现的值赋予较短的码字,而对不经常出现的值赋予较长的码字。H.264/AVC 将根据不同类型的编码参数 k 选择不同的映射方式。详细的映射方式请参阅文献[9],对于运动矢量残差, k 将按下式映射到 n

$$n = \begin{cases} 2|k| & k \leq 0 \\ 2|k| - 1 & k > 0 \end{cases} \quad (3)$$

与 CAVLC 码字相比,Exp-Golomb 码字对视频内容的依赖性较小,更适合嵌入水印信息。但是,由于边信息码字的改变对视频的影响较大,本文选择运动矢量残差元素作为水印嵌入载体。

2 提出的水印算法

H.264/AVC 为了防止编码数据的错误扩散,将一幅幅编码的视频帧划分成一个或多个相互独立的片(slice),并以此为单位对比特流进行封装。图 1 为编码片的语法结构,其中片头定义了当前

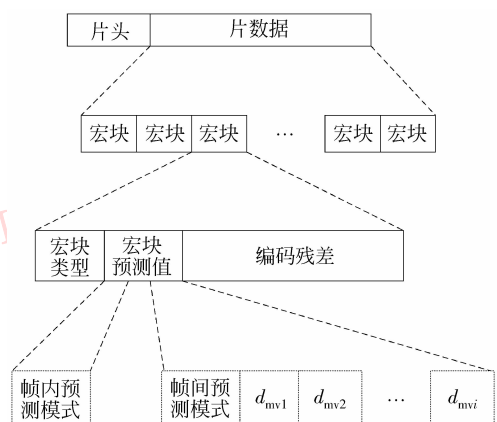


图 1 编码片的语法结构

Fig. 1 The grammatical structure of coding slice

片 (S_{cur}) 的类型,其取值如式(4)所示, d_{mvi} 表示各个子块的残差运动矢量。

$$S_{\text{cur}} = \begin{cases} \text{I_Slice} & S_{\text{cur}} \in \text{I 帧} \\ \text{P_Slice} & S_{\text{cur}} \in \text{P 帧} \\ \text{B_Slice} & S_{\text{cur}} \in \text{B 帧} \end{cases} \quad (4)$$

本文利用 d_{mv} 元素的码字空间与待嵌入比特之间的映射关系,将水印嵌入 B_Slice 和 P_Slice 的比特流中。与常见的通过修改运动矢量嵌入水印的方法相比,直接在码流域嵌入水印具有更好的实用性。然而, H. 264 对码流的结构有严格的定义,如果随意地修改码字会引起视频的严重失真,甚至会导致解码器无法正常解码。因此,需要有选择性地嵌入。

2.1 嵌入位置的选择

选择幅值在一定范围内的 d_{mv} 嵌入水印信息,即 $d_0 \leq |d_{\text{mv}}| \leq d_1$, 本算法中取 $d_0 = 2, d_1 = 7$ 。这主要是因为: 1) 在 H. 264/AVC 实际编码过程中,残差运动矢量幅值普遍较小而且修改幅值较小的运动矢量对视频质量和码率影响较小^[10]; 2) 当运动矢量 $|d_{\text{mv}}| = 0$ 或 1 时,没有合适地替换码字。设可嵌入水印的位置用集合 V 表示,即

$$V = \{V_1^p, V_2^p, V_3^p, V_4^p, \dots, V_i^p, \dots, V_N^p\} \quad (5)$$

$$V_i^p = \begin{cases} 1 & |d_{\text{mv}}| \in [d_0, d_1] \\ 0 & |d_{\text{mv}}| \notin [d_0, d_1] \end{cases} \quad (6)$$

式中, i 表示宏块序号, p 表示第 i 个宏块中的子块序号,用于控制水印嵌入位置。

在 H. 264/AVC 帧间预测中,每个宏块采用基于树型构造的运动补偿方法,支持从 16×16 到 4×4 尺寸范围的子块,即每个宏块可以有 $1 \sim 16$ 个子块。为了获得较大的嵌入容量,本算法中取 $p = 1$,即在满足条件的第一个子块中根据码字映射规则嵌入水印。

2.2 码字映射规则

不同的 d_{mv} 会被映射成不同的 n ,从而生成不同的 Exp-Golomb 码字。假设符合嵌入条件的 d_{mv} 生成

的码字集合为

$$S = \{c_1, c_2, c_i, \dots, c_j, \dots, c_M\} \quad (7)$$

式中, c_i 表示各种不同的可变长码字, M 表示码字的总数。由于 Exp-Golomb 码字本身的冗余度很小,直接修改 c_i 码字嵌入水印具有较大的困难,而且会导致整个码流的混乱。本文采用码字映射的方式嵌入水印信息,即用 c_j 替换 c_i 。例如,假设 c_j 表示水印 0, c_i 表示水印 1,待嵌入水印的码字为 c_j 。如果当前待嵌入比特为 1,则把 c_j 映射为 c_i ; 否则不修改 c_j 。

为了保证水印嵌入后不影响原有的码流结构以及解码后的视频质量,所映射的码字必须满足以下 2 个条件: 1) 映射后码字长度不发生改变,即水印嵌入后不影响视频比特率; 2) 相互映射的码字之间,必须有相近的 d_{mv} 值,即水印嵌入后不影响视频质量。根据上述映射条件,可以将码字集合 S 划分为 S_0 和 S_1 两组,其映射关系如图 2 所示。从表 1 中可以看出,相互映射的码字间的 d_{mv} 差异较小,即码字映射后不会对视频质量造成明显影响。不同的码字集合 S_0, S_1 与二值待嵌入比特之间的映射关系如下式所示。

$$c_i \in \begin{cases} S_0 & w_k = 0 \\ S_1 & w_k = 1 \end{cases} \quad (8)$$

式中, c_i 表示最后映射的码字, w_k 表示第 k 位水印信息。

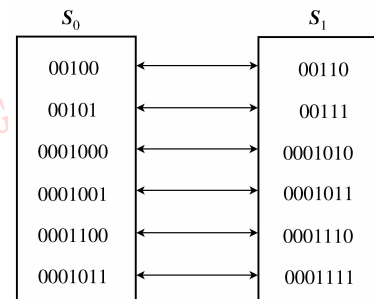


图 2 码字间的映射关系

Fig. 2 The mapping rule among codeword

表 1 码字和 d_{mv} 的对应关系

Tab. 1 The correspondence relation between codeword and d_{mv}

d_{mv}	-7	-6	-5	-4	-3	-2	2	3	4	5	6	7
n	14	12	10	8	6	4	3	5	7	9	11	13
c	0001111	0001101	0001011	0001001	00111	00101	00100	00110	0001000	0001010	0001100	0001110

2.3 水印生成

在现有的算法中,主要是通过 DCT 系数提取特

征码^[11],然而在码流域分析 DCT 系数计算复杂度大,本算法选择 I_Slice 中帧内 4×4 块的编码模式

作为水印信息。在 H.264 编码过程中,每个帧内 4×4 块有 9 种待选模式,即有 9 种预测模式如图 3 所示。从图中可以看出,它们都是由相邻的像素预测得到的,只是预测的方向有所不同,方向差异越小,其预测差异也越小。因此,当视频受到干扰或攻击时,4×4 块模式极有可能发生改变。表 2 示出了在重新编码后,各模式的转移概率(精确到 0.000 1)。该数据是对 10 个标准测试序列,近一万个 4×4 块统计获得的。从表中可以看出,重新编码后 4×4 的编码模式会发生改变,但预测方向相同或相近的模式之间,转移概率一般较大。

为了便于生成水印信息,需将这 9 种预测模式分为两组,本文将其分为 4、5 两组分别定义为组

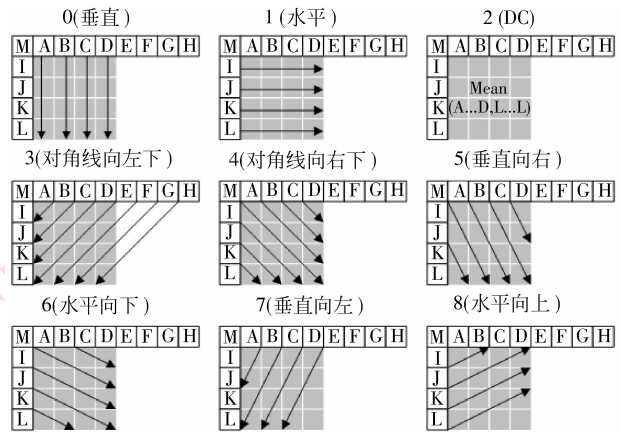


图3 帧内 4×4 的 9 种预测方向

Fig.3 The nine predicting direction of intra_4×4

表 2 各预测模式的转移概率

Tab.2 The transition probability among these modes

mode	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0	0.999 1	0.000 3	0.000 2	0.000 0	0.000 0	0.000 0	0.000 1	0.000 0	0.000 0
1	0.102 4	0.807 9	0.028 5	0.008 4	0.006 5	0.001 4	0.017 3	0.000 0	0.027 5
2	0.120 0	0.085 4	0.705 1	0.018 4	0.027 4	0.009 4	0.009 2	0.000 0	0.025 0
3	0.186 3	0.047 2	0.113 2	0.575 1	0.000 0	0.005 2	0.009 6	0.049 6	0.013 8
4	0.056 9	0.093 9	0.027 5	0.008 9	0.717 9	0.042 3	0.046 2	0.006 4	0.023 3
5	0.103 0	0.047 9	0.061 7	0.023 2	0.055 9	0.678 6	0.004 8	0.024 7	0.009 0
6	0.057 1	0.117 8	0.031 2	0.009 0	0.060 3	0.005 2	0.695 9	0.004 2	0.019 2
7	0.130 4	0.049 3	0.006 6	0.076 4	0.011 0	0.021 4	0.015 6	0.672 2	0.017 0
8	0.030 8	0.107 3	0.009 2	0.034 5	0.003 0	0.000 0	0.000 0	0.006 5	0.808 8

M_0 和组 M_1 ,即组 M_0 中有 4 个元素,组 M_1 中有 5 个元素。将这 9 种预测模式按照上述方式分组共有 C_9^4 ,即 126 种不同的组合方式,为了保证认证码在受到攻击后具有较好的稳健性,最佳组合应满足模式转移,尽可能发生在同组之间。根据表 2 中各模式的转移概率,可以由下式得到最佳组合方式

$$P = \min \left\{ \left(\sum_{i,j \in M_1} P_{ij} - x \right)^2 + \left(\sum_{i,j \in M_0} P_{ij} - y \right)^2 \right\} \quad (9)$$

式中, x,y 分别表示 M_1 和 M_0 组中元素的个数, P_{ij} 表示各模式的转移概率。计算得到的最佳分组方式如式(10)所示,正如上述分析,模式转移主要发生在相近或相同的模式之间,如 1(垂直)、6(水平向下)、8(水平向上)都在 M_0 组中。

$$\begin{cases} M_1 = \{0,2,3,5,7\} \\ M_0 = \{1,4,6,8\} \end{cases} \quad (10)$$

根据 M_1 、 M_0 的分组方式,认证码的生成步骤如下:

1) 解析 H.264 片级压缩比特流,如果当前片为 I_Slice,则执行第 2)步提取特征码;否则执行第 3)步。

2) 由密钥随机选择某个 4×4 块并根据下式生成认证码

$$C_k = \begin{cases} 0 & \text{mode} \in M_1 \\ 1 & \text{mode} \in M_0 \end{cases} \quad (11)$$

3) 重复执行上两步直到 I_Slice 结束。

2.4 水印嵌入

基于上述嵌入条件和映射规则,水印嵌入流程如图 4 所示,其具体步骤如下:

1) 解析 H.264 片级压缩比特流,如果当前片为 I_Slice,则根据上述步骤提取认证码,生成水印信息;否则执行下一步,嵌入水印。

2) 解析宏块级比特流,如果当前子块满足 V_i' 为真,则根据 2.2 节所描述的二值待嵌入比特和码字之间的映射规则,进行码字替换;否则该子块不嵌入水印。

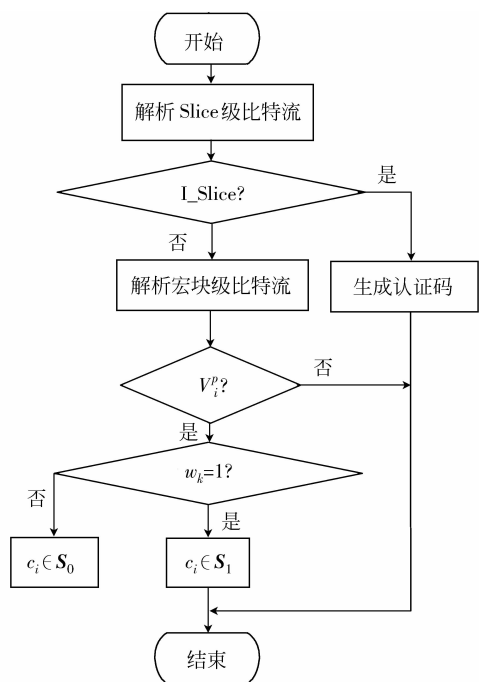


图 4 水印嵌入流程图

Fig. 4 The flow chart of watermarking embedding

$$w'_k = \begin{cases} 0 & c_i \in S_0 \\ 1 & c_i \in S_1 \end{cases} \quad (12)$$

3) 重复上两步直到视频码流结束。

为了有效地对视频帧进行完整性认证, 本文引入一个客观评价指标, 即检测出错率为

$$B_{ER} = \frac{N'}{N} \quad (13)$$

式中, N' 表示 C'_k 和 w'_k 不相同的比特数, N 表示提取的比特总数。如果 $B_{ER} > \tau$, 则认证失败; 否则认证成功。 τ 为精度阈值, 取值为 0.001。

2.6 安全性

本文提出的水印算法具有较好的安全性, 主要体现在: 1) 相互映射的码字之间具有相同的码字长度, 即水印嵌入后不会对视频文件大小造成影响; 2) 特征的提取和水印的嵌入都由密钥控制, 提高了水印的安全性; 3) I_Slice 的编码模式和运动矢量都是编解码中的重要信息, 在 H. 264/AVC 压缩比特流的传输过程中, 具有很高的可靠性, 可以保证水印的正确提取。

3 实验结果

本算法已在 H. 264/AVC 的参考软件 JM11.0^[12] 上进行了仿真, 实验中对 5 个 QCIF 格式的测试序列 (foreman、carphone、mobile、mother-daughter、highway) 的压缩比特流分别进行了水印的嵌入及提取。比特流是按照表 3 的方式编码得到的。

表 3 编码器的主要配置参数

Tab. 3 The main configure parameters for the coder

参数	取值
编码中帧数	100
GOP 结构	1BPBP
量化参数 (QP)	28
参考帧数目	5
片模式	0
帧率	30 帧/s
块划分尺寸熵编码模式	全部采用 CAVLC

3) 重复上两步, 如果生成的水印信息嵌入完毕, 则重复嵌入直到视频码流结束。

可见, 水印嵌入过程仅在 H. 264 压缩比特流中选取适当的码字进行一些比较和替换操作, 没有涉及大量的运算, 具有计算复杂度低和速度快的特点。

2.5 水印检测

该算法中, 对于水印的检测操作简单、快速, 不必进行完整的视频解码, 也不需要提供原始媒体信息。图 5 为水印检测的框架结构, 其具体步骤如下。

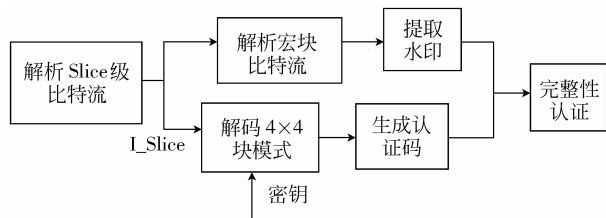


图 5 水印检测过程

Fig. 5 The process of watermarking detection

1) 解析 H. 264 片级压缩比特流, 如果当前片为 I_Slice, 则根据密钥解码某个 4×4 块的编码模式生成特征码 C'_k (理论上 $C'_k = C_k$), 否则执行下一步提取水印。

2) 解析宏块级比特流, 如果当前子块满足 V_i^p 为真, 则根据下式提取水印, 否则不提取水印信息。

3.1 不可见性分析

为了有效评估算法的性能, 本文引入 3 个客观评价指标, 即 U_{IQI} ^[13] (universal image quality index)、 S_{SIM} ^[14] (structural similarity) 和 V_{QM} ^[15] (video quality measurement techniques)。 U_{IQI} 综合考虑了相关性丢失、亮度失真和对比度失真, 其取值范围为 $[-1, 1]$,

U_{IQI} 值越大,表明视频质量越好。 S_{SIM} 表示码流的相似度,其取值范围为 $[0, 1]$ 。 $S_{SIM} = 1$ 表示 2 个视频流完全一致,一般当 $S_{SIM} > 0.95$ 时,表示 2 个视频流的差异很小。 V_{QM} 表示 2 个视频流解码后图像的失真度,其值越小,表明失真越小。与常用的客观评价指标 PSNR、MSE 相比,它们能更准确反应不同视频流的相对质量。借助 Elecard Video Quality Estimator 视频质量评估软件,本文对不同测试序列在水印嵌入前后的码流进行了测试,其结果如表 4 所示。

表 4 不可见性测试结果

Tab.4 The results of invisibility

序列	U_{IQI}	S_{SIM}	V_{QM}
foreman	0.968 4	0.979 1	0.323 4
carphone	0.965 0	0.978 6	0.407 8
mobile	0.996 8	0.999 8	0.107 8
mother-daughter	0.976 2	0.985 3	0.302 1
highway	0.955 4	0.976 3	0.339 4

从表中可以看出, S_{SIM} 和 U_{IQI} 的值都在 0.95 以上, V_{QM} 的值普遍较小,即水印嵌入后没有给视频质量造成明显影响。这主要是因为本文通过码字映射实现水印嵌入,码字映射的过程实际上就是运动矢量调制的过程。运动矢量变化的幅度会影响到预测值变化的大小,从而重构出不同质量的视频。本文对运动矢量的调制幅度较小,产生的预测差异也较小,因此,采用本算法不会给视频质量造成太大的影响。图 6 为测试序列 foreman 在 H.264/AVC 压缩比特流解码之后的第 9 个 B 帧和 P 帧。其中 (a) (b) 分别表示没有嵌入水印的视频帧; (c) (d) 是嵌入水印后相应的视频帧。从图中可以看出,水印嵌入并没有造成视频质量的下降。



图 6 水印嵌入前后的重建图像

Fig.6 The video frame with embedding and without embedding

3.2 水印容量分析

不同序列的内容以及其编码方式都会给最终的压缩比特流带来很大的影响。然而,本文选择残差运动矢量码字为嵌入载体,编码方式的改变(如采用不同的 QP、不同的编码档次等)对其影响较小。这是因为编码参数的改变主要会改变 DCT 残差系数的码字,而对边信息和残差运动矢量基本没有影响,即水印容量具有较好的稳定性。从图 7 中可以看出,水印容量随视频序列的改变而改变。一般来说,运动较剧烈的视频序列,水印容量较大。

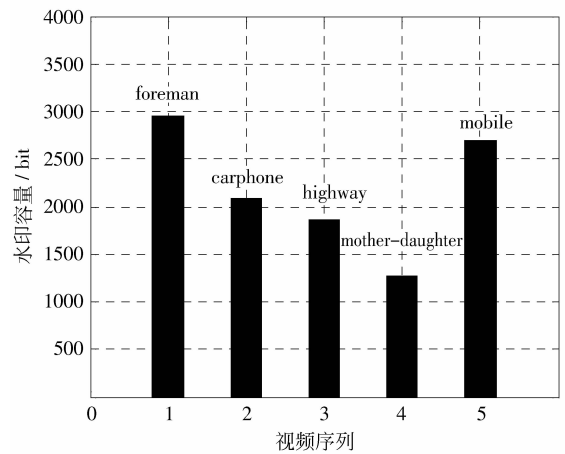


图 7 不同序列的水印容量

Fig.7 Watermark capacity of different sequences

3.3 完整性认证

为了验证认证算法的有效性,实验中对含水印的视频序列进行了攻击。表 5 为 foreman 和 carphone 序列在受到攻击后的认证结果。

表 5 各种攻击下的认证结果

Tab.5 The authentication results of various attacking

攻击	foreman	carphone	flag(是否完整)
无攻击	0	0	TRUE
椒盐噪声	0.48	0.51	FALSE
重编码	0.52	0.49	FALSE
中值滤波	0.46	0.48	FALSE

从表中可以看出,水印对以下各种非法攻击非常敏感,其检测出错率 (B_{ER}) 都是在 0.5 左右。这主要是因为本文选择在码流域嵌入水印,水印的嵌入过程实际上就是对 P 帧和 B 帧运动矢量的调制过程,本文对运动矢量调制的幅度较小,因此具有很好的脆弱性,可以准确的检测视频是否完整。

3.4 算法性能比较

为了更好的评价算法的性能,与文献[8]进行了比较。本文主要从水印嵌入后对视频质量的影响、水印嵌入前后视频码率的变化(R_{var})以及水印容量(C)3个方面进行比较,其中 R_{var} 定义为

$$R_{var} = \frac{R' - R}{R} \times 100 \quad (14)$$

式中, R' 是嵌入水印信息后的比特率, R 是未嵌入水印信息的比特率。表6给出了本文算法与文献[8]所提算法的比较结果。从表中可以看出,两种水印算法对视频质量的影响都较小,然而本文提出的算法水印容量明显比文献[8]大,而且在水印嵌入前后,本文算法对视频码流没有影响,具有更好的安全性。

表 6 与文献[8]的性能比较结果

Tab. 6 The performance comparison with literature [8]

序列	S_{SIM}		C/bit		$R_{var}/\%$	
	文献[8]	本文	文献[8]	本文	文献[8]	本文
foreman	0.975 6	0.968 4	666	293 6	-0.09	0
carphone	0.980 2	0.965 0	706	205 3	-0.11	0
highway	0.992 1	0.996 8	548	186 0	-0.07	0
mobile	0.973 8	0.976 2	255 4	270 3	-0.26	0
mother-daughter	0.966 3	0.955 4	293	123 2	-0.05	0

4 结 论

提出一种直接面向 H. 264 压缩比特流的视频水印算法。首先由密钥选择 I_Slice 中的 4×4 块,并根据其编码模式生成认证码,然后将其以水印的形式嵌入 B_Slice 和 P_Slice 的压缩比特流中。水印的嵌入过程就是对残差运动矢量码字的调制过程。嵌入位置由密钥决定,增强了水印的安全性。实验表明,该算法嵌入和提取过程简单、快速,并且具有很好的隐蔽性。水印嵌入后仅对视频质量有少量的影响,而对视频比特率没有影响。

参考文献 (References)

[1] Cox I L, Miller M L, Bloom J A. Digital Watermarking [M]. New York: Morgan Kaufmann Publishers, 2002.
 [2] Wu M, Liu B. Data hiding in image and video: part I—fundamental issues and solutions [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2003, 12(6): 685-695.

[3] Zheng Zhendong, Wang Pei, Chen Sheng. A video watermarking scheme based on the region character of motion vectors [J]. Journal of Image and Graphics, 2008, 13(10): 1926-1929. [郑振东, 王沛, 陈胜. 基于运动矢量区域特征的视频水印方案 [J]. 中国图象图形学报, 2008, 13(10): 1926-1929].
 [4] Qiu G, Marziliano P, Ho A T S, et al. A hybrid watermarking scheme for H. 264/AVC video [C]// International Association for Pattern Recognition British Machine Vision Association. Proceedings of 17th International Conference on Pattern Recognition. Cambridge UK: the University of Surrey, 2004: 4865-4869.
 [5] Cao Hua, Zhou Jingli, Yu Shengsheng, et al. Implement of semi-fragile blind watermarking algorithm for H. 264 low bit-rates video stream [J]. Acta Electronica Sinica, 2006, 34(1): 40-44. [曹华, 周敬利, 余胜生, 等. 基于 H. 264 低比特率视频流的半脆弱盲水印算法实现 [J]. 电子学报, 2006, 34(1): 40-44].
 [6] Noorkami M, Mersereau R M. Digital video watermarking in P-frames with controlled video bit-rate increase [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2008, 3(3): 441-445.
 [7] Zou D K, Bloom J A. H. 264/AVC stream replacement technique for video watermarking [C]// International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP). Las Vegas, USA: SPIE, 2008: 1749-1752.
 [8] Mobasser B G, Raikar Y N. Authentication of H. 264 streams by direct watermarking of CAVLC blocks [C]// Ubiquitous International. Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VIII. San Jose, CA, USA: SPIE, 2007: 1-5.
 [9] ITU-T Recommendation H. 264. Advanced Video Coding for Generic Audiovisual Services [S]. Switzerland Geneva, 2005.
 [10] Kuo T Y, Lo Y C. Fragile video watermarking technique by motion field embedding with rate-distortion minimization [J]. Journal of Communication and Computer, 2009, 1(6): 16-22.
 [11] Wang Xiaojing, Yang Gaobo, Zhu Ningbo. Content authentication of H. 264/AVC video stream based on semi-fragile watermarking [J]. Journal on Communications, 2009, 30(11): 71-78. [王小静, 杨高波, 朱宁波. 基于半脆弱水印的 H. 264/AVC 视频流的内容级认证 [J]. 通信学报, 2009, 30(11): 71-78].
 [12] H. 264/AVC Joint Model 11.0 (JM-11.0) [CP/OL]. (2008-03-13) [2009-03-09]. <http://iphome.hhi.de/suehring/tml/>.
 [13] Wang Z, Bovik A C. A universal image quality index [J]. IEEE Signal Processing Letters, 2002, 9(3): 81-84.
 [14] Wang Z, Bovik A C, Sheikh H R, et al. Image quality assessment: from error visibility to structural similarity [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2004, 13(4): 600-612.
 [15] Xiao F. DCT-Based Video Quality Evaluation [R]. California USA: Stanford University, 2000.