

## 基于 H.264/AVC 视频的低频隐写算法

花广路<sup>1,2</sup>, 李芝棠<sup>1,2,3</sup>, 冯兵<sup>1,2</sup>

(1. 华中科技大学 计算机科学与技术学院, 湖北 武汉 430074;

2. 下一代互联网接入系统国家工程实验室, 湖北 武汉 430074; 3. 华中科技大学 网络与计算中心, 湖北 武汉 430074)

**摘要:** 在分析现有视频信息隐藏算法的基础上, 结合 H.264/AVC 视频低频域系数的特征, 提出一种基于 H.264/AVC 低频域视频信息隐藏算法。在量化后的离散余弦变换(DCT, discrete cosine transform)块低频区中, 选取 3 个绝对值最大的非零系数, 用改进的矩阵编码的方法嵌入信息。实验结果表明, 该算法能够实现实时嵌入和提取信息, 信息嵌入容量大, 嵌入效率高, 对视频质量影响较小等特点。

**关键词:** H.264/AVC; 低频域; 信息隐藏; 矩阵编码

中图分类号: TP 309.2

文献标识码: A

文章编号: 1000-436X(2013)Z2-0047-04

## Low frequency steganography algorithm for H.264/AVC

HUA Guang-lu<sup>1,2</sup>, LI Zhi-tang<sup>1,2,3</sup>, FENG Bing<sup>1,2</sup>

(1. College of Computer Science and Technology, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China;

2. National Engineering Laboratory for Next Generation Internet Access System, Wuhan 430074, China;

3. Network and Computing Center, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, China)

**Abstract:** On the basis of analyzing some existing video data hiding algorithms and combining it with the features of H.264/AVC video low frequency coefficients, a new data hiding algorithm based on H.264/AVC low frequency domain was proposed. After quantification of DCT blocks in the low frequency area, three maximum absolute value of the non-zero coefficients were selected and information was embedded with an improved matrix encoding method. Simulation results show that the proposed algorithm can realize real-time embedding and extracting information, great capacity of embedding information, embedded high efficiency and less influence on video quality etc.

**Key words:** H.264/AVC; low frequency; data hiding; matrix encoding

### 1 引言

H.264/AVC 作为视频编解码领域的新标准, 因其压缩率高、适用范围广、差错恢复能力强等优点, 已成为最有前景且被广泛应用的视频压缩标准<sup>[1,2]</sup>。H.264/AVC 视频作为隐写载体的优势在于: 一是视频本身存在很大的冗余, 未压缩的信息编码效率低, 将某些信息嵌入到 H.264/AVC 视频中进行秘密传送不会影响视频本身的传送和使用; 二是人眼及人耳对某些信息有一定的掩蔽效应。在 2D/3D H.264/AVC 视频中通过信息隐藏进行隐秘通信将是国际国内一个热门的研究领域和发展方向。

至今已有不少学者在基于 H.264/AVC 视频水印算法方面做了研究。根据现有的文献<sup>[3,4]</sup>, H.264/AVC 视频隐藏根据视频编解码过程中嵌入信息的嵌入位置的不同可分为 3 种: 前置式、内置式和后置式<sup>[5]</sup>。文献[6]指出嵌入位置在量化过程之后, 内置式信息隐藏方法成为隐蔽通信最合适的选择。现有的内置式 H.264/AVC 视频隐写算法根据信息嵌入位置大致分为: 量化后的 DCT 系数、运动矢量和编码模式 3 种嵌入方法。

内置式嵌入的方法是将嵌入过程与视频编码器结合, 发送者在视频编码过程中嵌入秘密信息。Ma 等<sup>[7]</sup>提出的基于 H.264 帧内无失真漂移的视频

收稿日期: 2013-09-06

基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (61272407)

**Foundation Item:** The National Natural Science Foundation of China (61272407)

隐写算法就是依据某些条件选择 I 帧的 DCT 交流系数来实现的。算法是利用耦合系数对修改 DCT 系数来实现嵌入秘密消息，耦合系数的一个系数用来隐藏信息，另外一个用来补偿由于信息嵌入带来的块内误差，提高视觉质量，但是嵌入效率和嵌入容量有待提高。罗准等人<sup>[8]</sup>提出一种基于运动矢量相位的隐写算法，将运动矢量的相位空间划分成 2 个区间集，用于匹配嵌入的二进制信息。算法需要对视频完全解码，然后重新进行帧间预测、运动估计与补偿及后续编码过程。在运动矢量中嵌入信息会引起帧间失真漂移，也限制了嵌入容量。M.U. Celik 等<sup>[9]</sup>提出基于直方图修改的可逆信息隐藏方法，实现复杂度低，但是嵌入容量低，嵌入效率不高。张维伟等<sup>[10]</sup>提出了基于纹理特征的 H.264/AVC 顽健视频水印算法，通过判断当前编码的块是否为纹理块，自适应修改 I 帧每个宏块亮度分量量化后的交流系数，利用复杂度低的能量差嵌入水印，增加其顽健性。

本文提出一种低复杂度、嵌入效率高、嵌入信息容量大的隐写方法，将秘密信息嵌入到 I 帧、B 帧、P 帧的低频域 DCT 系数中。在提高嵌入效率、增大嵌入容量的同时，有效控制嵌入信息对视频质量产生的影响。

## 2 低频隐写算法描述

### 2.1 选择低频域的原因

本算法选择经过  $4 \times 4$  亮度变换的 DCT 低频系数作为嵌入载体，选择低频区域作为嵌入位置，其主要原因体现在以下 3 个方面<sup>[11]</sup>。

1) 低频系数集中了信号大部分的能量，属于信号中重要的成分，将信息嵌入到低频域中具有足够的顽健性。

2) 通常低频系数具有较大的值，嵌入信息后，对于图像质量的影响较小，有利于保证不可见性。

3) 大部分非零 AC 系数都集中在低频域。

### 2.2 改进的矩阵编码

R.Cran 提出的矩阵编码<sup>[12]</sup>方法可以有效地降低嵌入信息时改变 LSB 的个数。一般用有序元组  $(d_{\max}, n, k)$  来表示这种编码方式。用  $n$  个 LSB bit 来表示  $k$  bit 信息 ( $n > k$ )。最多只修改其中的  $d_{\max}$  个像素，就可以嵌入  $k$  bit 的秘密信息，从而提高嵌入效率。

以  $x=x_1x_2 \cdots x_k$ ， $\beta=\beta_1\beta_2 \cdots \beta_n$  分别表示载体数据  $a_1a_2 \cdots a_k$  的 LSB 及待嵌入的秘密信息，定义一个散

列函数  $f(a) = \bigoplus_{i=1}^k x_i \cdot i$ ， $i$  在运算过程中用二进制表示。找到需要修改的像素位置，令  $y = \beta \oplus f(a)$ ，则嵌入秘密信息后的载体数据 LSB 序列为

$$x' = \begin{cases} x, & y = 0 \\ x_1x_2 \cdots \bar{x}_y \cdots x_k, & y \neq 0 \end{cases} \quad (1)$$

其中， $\bar{x}_y$  表示对  $x_y$  的取反操作。

本文对 DCT 低频域系数进行嵌入，改进矩阵编码，提高隐写的性能。算法采用的编码方式 (1,3,2) 表示用 3 个系数的 LSB bit 来表示 2 bit 信息，最多只需要对一个载体数据进行修改操作。这里通过公式得到的  $y$  值表示对载体数据  $a_y$  的绝对值进行修改。即

$$a_y = \begin{cases} a_y, & y = 0 \\ a_y + 1, & y \neq 0, a_y > 0 \\ a_y - 1, & y \neq 0, a_y < 0 \end{cases} \quad (2)$$

## 3 低频隐写算法实现

### 3.1 嵌入过程

对量化后的 DCT 块，选取残差绝对值较大的  $4 \times 4$  亮度块作为待嵌入块，残差大小通过 DCT 块的 DC 系数来判断，自定义阈值  $T$ ，则满足  $|DC| \geq T$  的  $4 \times 4$  亮度块才可作为待嵌入块。

在满足式(1)的条件下，设低频域的 5 个 AC 系数分别为  $AC_1$ 、 $AC_2$ 、 $AC_3$ 、 $AC_4$ 、 $AC_5$ 。这 5 个 AC 系数满足非零的个数大于等于 3 的条件。

对式(2)中的 5 个 AC 系数进行绝对值由大到小排序。取绝对值最大的 3 个数，假设为  $|AC_2| \geq |AC_3| \geq |AC_4|$ ，将这 3 个数分别重新标记为： $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 。

对式(3)中得到的 3 个数，分别取其 LSB 为： $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 。

由散列函数计算  $f(a)$  的值：

$$f(a) = \bigoplus_{i=1}^3 x_i \cdot i$$

假设嵌入的信息为  $\beta$ 。则由  $y = f(a) \oplus \beta$  ( $0 \leq f(a) \leq 3$ ) 得到  $y$  的值，采用改进的矩阵编码的方法对载体数据  $a_i$  进行修改操作。如果  $y=0$  则表示不需要对  $a_i$  进行修改操作，否则需要对系数  $a_y$  进行绝对值加 1 操作。

### 3.2 提取过程

根据信息嵌入的阈值条件  $T$ ，通过  $|DC| \geq T$  来选取已经嵌入秘密信息的 DCT 块。

在满足条件(1)的基础上，对低频域 5 个 AC 系

数进行绝对值由大到小排序，取前 3 个绝对值最大的 AC 系数，分别标记为  $a_1$ 、 $a_2$ 、 $a_3$ 。

将式 (2) 中的 3 个 AC 系数的 LSB 位分别标记为  $x_1$ 、 $x_2$ 、 $x_3$ 。

由散列函数计算出

$$f(a') = \bigoplus_{i=1}^3 x_i \cdot i, 0 \leq f(a') \leq 3$$

将  $f(a')$  的值转换为二进制，则  $f(a')$  就是所嵌入的秘密信息。

### 4 实验结果

实验采用 H.264 编码标准的参考软件 JM18.4，采用的 MVC 视频序列是 VGA (640×480) 尺寸的 Akko&Kayo、ballroom、crowd、exit、flamenco、objects、race、rena、vassar。视频序列的帧数都是 233 帧，GOP 采用 MVC 标准帧结构 IPBBBBBBBBBBBBBB，QP 为 28，视频采用 CAVLC 编码方式。

图 1 是 ballroom 和 crowd 的第 10 帧嵌入信息之后的视觉效果对比。可以看出隐写没有造成视觉质量明显的降低。其中，图 1(a)表示嵌入信息前的帧，图 1(b)表示嵌入信息后的帧。



图 1 2 个视频序列嵌入信息前后视觉效果对比

图 2 给出了视频平均每帧嵌入容量对 PSNR 值影响的比较。横坐标表示 9 个视频平均每帧嵌入容量，纵坐标表示平均每个视频的 PSNR 值。实验中采用 5 种不同的阈值，将本文方案与文献[7]和文献[9]方案进行了对比。文献[7]采取避免帧内失真漂移的方法，嵌入每比特信息对视频的 PSNR 值影响最小。实验数据可以看出，本文采取对 DCT 低频域绝对值最大的 3 个系数进行嵌入，实验效果比文献

[7]方案略差，比文献[9]方案要好得多，这也保证了嵌入信息后视频的视觉质量。

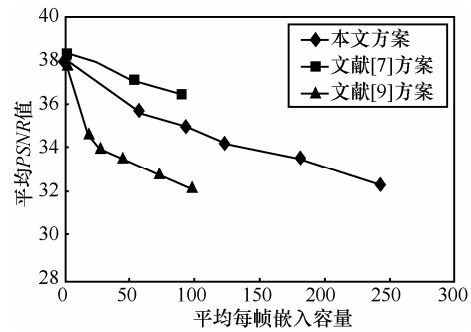


图 2 视频嵌入容量与 PSNR 的关系

图 3 给出了使用本文方法和文献[7]文献[9]方法得到的嵌入容量的对比情况。每个视频的嵌入容量是指平均每帧的嵌入比特数。从实验中可以看出，本文方案具有较大的嵌入容量。

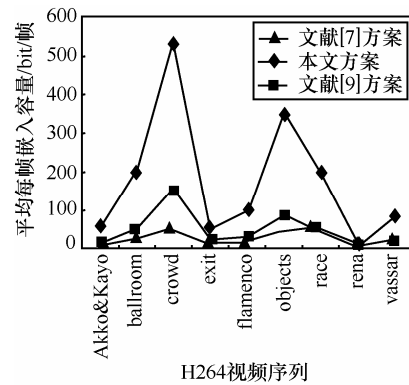


图 3 各个视频序列平均每帧嵌入容量对比

图 4 给出了在对各个视频进行嵌入时，使用不同算法嵌入信息时嵌入效率的比较。嵌入效率即嵌入容量与修改的载体数据个数之间的比值。从实验统计的数据中可以看出本文算法具有较高的嵌入效率。

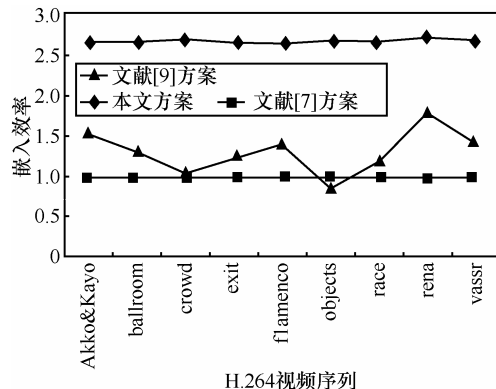


图 4 与文献[7]和文献[9]算法的嵌入效率的比较

## 5 结束语

由于本算法是对 DCT 低频域绝对值最大的 3 个 AC 系数进行嵌入, 所以对视频的视觉质量影响较小, 结合了改进的矩阵编码的思想, 在嵌入效率和嵌入容量上效果相对较好。同时算法复杂度低, 能够满足秘密信息实时嵌入与提取的要求。实验数据的统计情况对该算法的特性做了进一步的验证。下一步的研究方向是加强算法对抗各种攻击的顽健特性, 并减少由于帧内、帧间失真漂移对视频质量的影响。

### 参考文献:

- [1] 张江, 赵黎, 杨士强. 视频水印技术综述[J]. 计算机应用, 2005, 25(4):850-852.  
ZHANG J, ZHAO L, YANG S Q. Survey of video watermarking[J]. Computer Applications, 2005, 25(4):850-852.
- [2] 毕厚杰. 新一代视频压缩编码标准—H.264/AVC[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2006.  
BI H J. A New Generation of Video Compression Coding Standard—H.264/AVC[M]. Beijing: People's Posts and Telecommunications Press, 2006.
- [3] DOERR G, DUGELAY J. A guide tour of video watermarking[J]. Signal Processing: Image Communication, 2003, 18(4):263-282.
- [4] LANGELAAR G C, SETYAWAN I, LAGENDIJK R L. Watermarking digital image and video data[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 2000, 17(5):20-46.
- [5] 欧阳合, 韩军. H264 和 MPE-4 视频压缩: 新一代多媒体的视频编码技术[M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 2006.  
OUYANG H, HAN J. H264 and MPE-4 Video Compression: A new Generation of Multimedia Video Coding Technology[M]. Changsha: National University of Defense Technology Press, 2006.
- [6] 马晓静. H.264/AVC 视频信息隐藏方法研究[D]. 武汉: 华中科技大学, 2010.  
MA X J. The Research on Video Data Hiding Algorithms Based on H.264/AVC[D]. Wuhan: Huazhong University of Science and Technology, 2010.
- [7] MA X J, LI Z T, TU H, *et al.* A data hiding algorithm for H.264/AVC video streams without intra-frame distortion drift[J]. IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology, 2010, 20(10):1320-1330.
- [8] 罗准. H.264 视频隐写算法研究及其在嵌入式平台的实现[D]. 长沙: 湖南大学, 2009.  
LUO Z. Research on the Algorithm of H.264 Video Steganography and Its Realization in the Embedded Platform[D]. Changsha: Hunan University, 2009.
- [9] CELIK M U, SHARMA G, TEKALP A M, *et al.* Reversible data hiding[A]. International Conference on Image Processing[C]. 2002. 157-160
- [10] 张维伟, 张茹, 刘建毅等. 基于纹理特征的 H.264/AVC 顽健视频水印算法[J]. 通信学报, 2012, 33(3):82-89.  
ZHANG W W, ZHANG R, LIU J Y, *et al.* H.264/AVC robust video watermarking algorithm based on texture feature[J]. Journal on Communication, 2012, 33(3):82-89.
- [11] 王小静. 基于 H.264/AVC 的压缩域视频水印技术研究[D]. 湖南大学, 2009.  
WANG X J. Research on Domain Video Watermarking Compression Based on H.264/AVC[D]. Hunan University, 2009.
- [12] WESTFELD A. F5-A steganographic algorithm: high capacity despite better steganalysis[A]. Proc of the 4th International Workshop, Volume 2137 of Lecture Notes in Computer Science[C]. New York, Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2001. 289-302.

### 作者简介:



花广路 (1989-), 男, 安徽淮南人, 华中科技大学硕士生, 主要研究方向为网络与信息安全。



李芝棠 (1951-), 男, 湖北监利人, 华中科技大学教授、博士生导师, 主要研究方向为计算机系统结构、网络与信息安全、P2P 网络。



冯兵 (1986-), 男, 湖南沅江人, 华中科技大学硕士生, 主要研究方向为网络与信息安全。