

H. 264 视频完整性认证的水印算法

李 倩, 王让定

(宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211)

摘 要: 提出一种适用于 H. 264 压缩标准的视频完整性认证水印算法, 通过对运动矢量残差 MVD 分量进行调制嵌入水印. 考虑到视频的运动性, 将水印嵌入到绝对值较大的残差分量中, 并且在调制过程中限制对宏块的选择条件, 从而降低水印嵌入对视频质量的影响. 实验结果表明, 本算法能够对视频是否遭受篡改, 即视频内容的完整与否进行认证, 并且水印嵌入后对视频质量和码率仅有微弱的影响.

关键词: H. 264; 视频水印; 完整性认证; 运动矢量残差

中图分类号: TP391

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2012)09-0189-04

Watermarking Algorithm for the Integrity Authentication of H. 264 Video

LI Qian, WANG Rang-ding

(School of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China)

Abstract: An integrity authentication watermarking for H. 264 video compression standard is proposed. Watermark information embedded in the video frame by modulating the component of the residual motion vector. In order to reduce the impact of video quality after watermarking, the selection criteria for the macroblock was restrained. Furthermore, taking into account the movement of the video, the watermark is embedded into the larger absolute value of the residual component. Experimental results show that the algorithm brings very small bit-rate changes and video distortion, and can be subjected to tampering with the video, authentication the integrity of the video content.

Key words: H. 264; video watermarking; integrity authentication; MVD

1 引言

在网络环境中保护视频作品的版权、内容不受侵犯, 以及视频信息的安全存储和传播已经成为近年来多媒体信息安全领域研究的热点^[1]. 数字视频水印技术是对这一问题最有效的解决方法之一, 它利用人的视觉特性和数字媒体内容的冗余性将数据、图像等标志性水印信息以人所不可感知的方式嵌入到公开的视频信息中, 通过提取这些标示信息可以用作版权保护、完整性认证等目的.

目前, 已提出一些适合于 H. 264 压缩标准的数字视频水印方案. 王小静等^[2]提出了一种内容级认

证的半脆弱水印算法, 利用相邻 DCT 块的差分能量生成认证码, 通过调制 AC 系数的符号将生产的认证码嵌入到 DCT 系数中, 能够有效地对视频进行认证及篡改检测. 郑振东^[3]等提出基于运动矢量区域特征的视频水印方案, 利用运动矢量的区域特性将搜索区域分成两组, 通过定义水印信息与运动矢量区域的映射关系嵌入水印. 文献^[4]提出一种压缩域半脆弱水印视频认证方法, 在亮度 4×4 块 DCT 残差系数的 CAVLC 熵编码过程中, 通过修改 zig-zag 扫描后的最后一位非零系数嵌入水印. 文献^[5]提出的视频认证算法将宏块中所有 4×4 块系数进行异或生成认证码, 通过对不同幅值运动矢量的

收稿日期: 2012-02-10; **修回日期:** 2012-03-25

基金项目: 国家自然科学基金项目(61170137); 国家教育部博士点基金(20103305110002); 浙江省自然科学基金项目(Z1090622); 浙江省大学生科技创新基金(2011R405057)

统计分析,选择一些幅值较小的运动矢量嵌入水印。

本文介绍了一种结合 H. 264 编码特性的完整性认证水印算法。将水印信息嵌入到运动矢量残差中,结合视频内容的运动方向,通过调制运动矢量残差 MVD 的水平或垂直分量的奇偶性嵌入水印信息。运动矢量信息对信号处理较敏感,因此具有很好的脆弱性。

2 帧间预测运动矢量

H. 264 编码标准采用基于树型构造的运动补偿,支持可变块大小(从 16×16 到 4×4)的帧间运动估计,如图 1 所示。

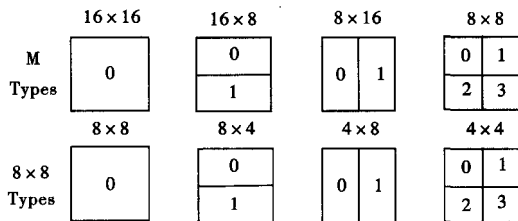


图 1 宏块及子宏块分割

每个宏块可以有 1~16 个子块,而且亮度块采用 $1/4$ 精度的分像素运动矢量,增强了帧间编码性能。编码器为帧的每个部分选择最佳分割尺寸,并为每个分割单独作运动估计和运动补偿,产生一个单独的运动矢量。H. 264 采用运动矢量预测技术,每个块的运动矢量都可以从邻近的先前编码块的运动矢量中进行预测得到^[6,7]。

为了更进一步压缩冗余信息,H. 264 标准中最后被编码传输的是实际运动矢量 MV 与其预测值 MV_p 的差值 MVD,而非 MV 本身,即

$$MVD = MV - MV_p \quad (1)$$

3 提出的水印算法

H. 264 编码标准中包含了 I、P、B 类型的宏块,其中 P 和 B 宏块采用帧间预测运动估计技术。一帧视频中 P、B 类型的宏块占大多数,存在着大量的非零运动矢量嵌入水印信息。因此本文选择 P、B 帧亮度分量的运动矢量残差区域嵌入水印。

3.1 嵌入位置选择

运动矢量残差 MVD 包含两个方向的差分数据,即 MVD_x, MVD_y 。由于水印的嵌入会改变 MV 的值,算法将根据宏块的运动方向,将水印信息嵌入到 MVD 的较大分量中,即 $\max(MVD_x, MVD_y)$ 。

根据人类视觉特性,人眼对背景复杂和细节丰富的区域敏感度较低,为了增强水印的不可见性,本

文选择亚宏块 $P8 \times 8$ 分割模式宏块嵌入水印,包括 $8 \times 8, 8 \times 4, 4 \times 8$ 和 4×4 模式,并且 MVD 不为 0。

3.2 水印嵌入

水印嵌入流程如图 2 所示。具体步骤描述如下:

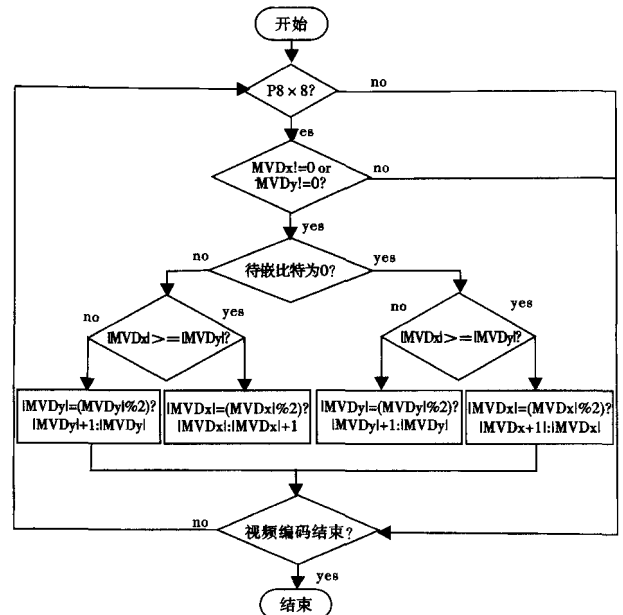


图 2 水印嵌入流程图

Step1: 在 P、B 帧的 $P8 \times 8$ 亚宏块分割模式中选择不为 0 的 MVD。

Step2: 调制过程中需结合宏块的运动方向,即当 $|MVD_x| > |MVD_y|$ 时,选择 MVD_x 嵌入水印,否则在 MVD_y 嵌入水印。设 W_i 表示第 i 位待嵌水印,针对 MVD_x ,令 $C = |MVD_x|$,则

$$\text{If } W_i = 0$$

$$C = \begin{cases} C & \text{if } C \bmod 2 = 0 \\ C+1 & \text{if } C \bmod 2 = 1 \end{cases}$$

$$\text{Else If } W_i = 1$$

$$C = \begin{cases} C+1 & \text{if } C \bmod 2 = 0 \\ C & \text{if } C \bmod 2 = 1 \end{cases}$$

Step3: 重复 Step1~Step2 直到视频码流结束。

3.3 水印提取

本文算法对水印的提取操作简单、快速,不必将视频完整解码,也不需要原始视频信息,只需解码运动矢量残差 MVD 即可。水印提取过程如下:

Step1: 如果当前宏块为 $P8 \times 8$ 亚宏块分割模式,则执行下一步。

Step2: 因水印嵌入后不改变 x, y 分量间的大小关系,当 $|MVD_x| > |MVD_y|$ 时,选择 MVD_x 提取水印,否则选取 MVD_y 。设 W'_i 表示提取的第 i 位水印,针对 MVD_x ,则有

$$W'_i = \begin{cases} 0 & \text{if } |MVD_X| \bmod 2 = 0 \\ 1 & \text{if } |MVD_X| \bmod 2 = 1 \end{cases}$$

Step3:重复 Step1~Step2 直到视频码流结束.

4 实验分析

为了验证算法的性能和有效性,在 H. 264 的参考软件 JM8. 6^[8]上进行了仿真实验,实验中对 4 个 QCIF (176 × 144) 格式的测试序列 (News、Carphone、Mobile、Harbour) 分别进行水印嵌入和提取操作,参考软件采用主要档次(main profile),主要编码配置参数如表 1 所示. 水印信息为随机序列,嵌入的水印选取一幅二值图像(34×43),如图 3 所示.

表 1 编码器主要配置参数

配置参数	取值
档次	Main profile
编码总帧数	100
量化参数 QP	28
GOP 结构	IBBPB...
I 帧周期	3
熵编码模式	CABAC
帧率	30 帧/秒
参考帧数目	5



图 3 待嵌水印图像

4.1 水印嵌入对视频质量及码率的影响

图 4 为测试序列在水印嵌入前后图像的对比情况. 其中,(a)、(b)分别为视频第 9 帧水印嵌入前后的视频帧. 从视觉上几乎看不出水印视频帧与原视频帧有明显差别.

为了进一步评估算法的性能,特引入 3 个客观评价指标,即 PSNR、SSIM(structural similarity index)^[9]、和码率变化 R_{var} . 其中 PSNR 为峰值信噪比;SSIM 表示码流的相似度,取值范围[0, 1],当 SSIM=1 时表示两个视频流完全一致; R_{var} 定义如下:

$$R_{var} = \frac{R' - R}{R} \times 100\%$$
 (2)



(a) 水印嵌入前



(b) 水印嵌入后

图 4 水印嵌入前后的视频帧

式中, R' 是水印嵌入后的比特率, R 是未嵌入水印的比特率.

图 5 所示为测试序列 News、Carphone、Mobile、Harbour 前 60 帧在水印嵌入前后 PSNR 值的变化情况,从图中可以看出,嵌入前后两条 PSNR 曲线几乎重合,即算法对视频质量影响不大,满足不可感知条件,保证了视觉效果.

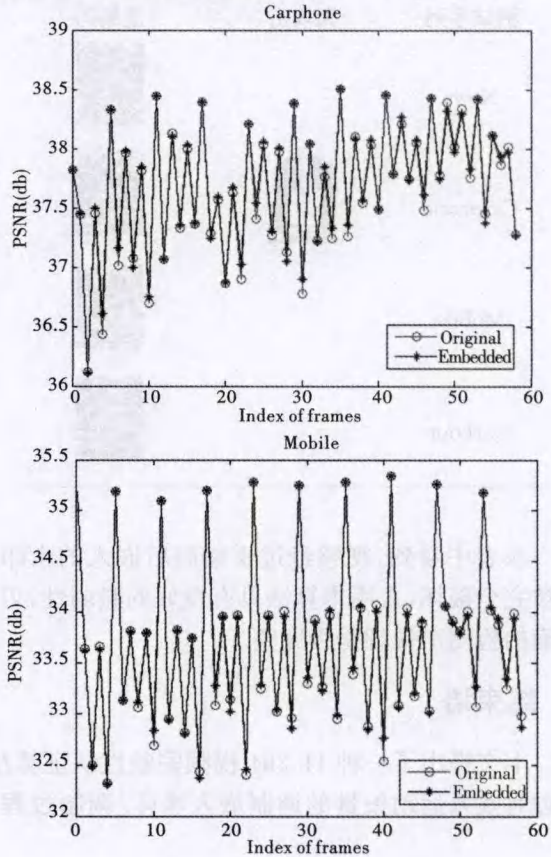


图 5 水印嵌入前后 PSNR 值对比

表 2 所示为测试序列水印嵌入前后 SSIM 值及码率变化 R_{var} . 从表中可以看出 SSIM 的值都在 0.98 以上, 且码率仅有微小变化, 即水印的嵌入几乎没有对视频质量和码率造成影响.

表 2 SSIM 及 R_{var}

序列	SSIM	$R_{var}(\%)$
News	0.9936	+0.051
Carphone	0.9932	-0.006
Mobile	0.9837	+0.083
Harbour	0.9859	+0.002

4.2 内容完整性认证

表 3 列出了 4 组测试序列重编码后水印的提取情况, 当嵌入的水印图像正确提取时, 可认为视频流是完整的、未被修改的, 否则认为视频信息遭到攻击或篡改. 由于脆弱性水印对像素的每个可能更改都非常敏感, 因此带水印的视频如果经过解码和重压缩以后, 嵌入的水印信息就会遭到破坏从而不能正确提取.

表 3 水印提取情况

测试序列	无攻击	重编码
News		
Carphone		
Mobile		
Harbour		

从表中看到, 视频经过重编码后嵌入的水印图像被完全破坏, 表明本算法具有良好的脆弱性, 可以准确的检测出视频是否完整.

5 结束语

本文提出了一种 H. 264 视频完整性认证算法, 通过对残差运动矢量的调制嵌入水印. 调制过程中

考虑到宏块的运动方向及其编码模式, 因此降低了嵌入操作后对视频造成的影响, 同时增强了算法的安全性. 仿真实验结果表明, 本文算法可以实现快速嵌入提取水印. 完整性认证结果表明该方案具有很好的脆弱性, 能有效地对视频内容进行完整性认证, 并且水印嵌入后对视频质量和码率仅有微弱的影响.

参考文献:

- [1] Lin E T, Eskicioglu A M, Lagendijk R L, et al. Advances in digital video content protection[J]. Proceedings of the IEEE, 2005, 93(1): 171-183.
- [2] 王小静, 杨高波, 刘宁波. 基于半脆弱水印的视频流的内容级认证[J]. 通信学报, 2009, 30(11), 71-78.
- [3] 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] Ali M A, Edirisinghe E A. A semi-fragile watermarking technique for H. 264/AVC using CAVLC[J]. International Journal of Signal and Image Processing, 2010, 1(3): 151-159.
- [5] 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, 6(1): 16-22.
- [6] H. 264/MPEG-4 Part 10 White Paper. [EB/OL] [2012-02-10] <http://ftp3.itu.ch/av-arch/jvt-site/>.
- [7] 欧阳合, 韩军. H. 264 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: 178-184.
- [8] Suhring K. H. 264/AVC Joint Model 8.6 Reference Software[EB/OL]. [2012-02-10]. <http://iphonede.de/suehring/tmpl/>.
- [9] 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.

作者简介:

李倩女, (1986—), 学硕士研究生. 研究方向为视频信息隐藏、视频水印技术.

王让定男, (1962—), 博士, 教授, 博士生导师. 研究方向为信息隐藏、数字取证、数字水印技术.