

MPEG-2 压缩域的视频数字水印新算法

朱仲杰^{1,2}, 蒋刚毅^{1,3}, 郁 梅^{1,3}, 刘 晓¹, 吴训威^{1,2}

(1. 宁波大学电路与系统研究所, 浙江宁波 315211; 2. 浙江大学信息与电子工程系, 浙江杭州 310027;
3. 北京大学视觉与听觉信息处理国家重点实验室, 北京 100871)

摘 要: 视频数字水印技术是当前水印研究中的一个热点. 本文提出一种视频数字水印新算法, 直接对压缩后的视频数据流进行操作, 根据运动矢量的特征值, 将水印信息嵌入到运动矢量上, 不需要完全解码和再编码过程. 所提出的水印算法简单、有效, 实现了水印盲检. 与嵌入水印前的原视频图像相比, 嵌入水印后的视频图像信噪比损失很小.

关键词: 视频水印; 运动矢量特征值; 压缩域; 盲检水印

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 01-0021-04

New Algorithm for Video Watermarking in MPEG-2 Compressed Domain

ZHU Zhong jie^{1,2}, JIANG Gang yi^{1,3}, YU Mei^{1,3}, LIU Xiao¹, WU Xunwei^{1,2}

(1. Institute of Circuits and Systems, Ningbo University, Ningbo, Zhejiang 315211, China;

2 Dept. of Information and Electronics Engineering, Zhejiang University, Hangzhou, Zhejiang 310027, China;

3 National Key Laboratory of Machine Perception, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: Digital watermarking technology of video image is a hot topic in present watermarking researching area. In this paper, a new watermarking algorithm for video images is proposed. By operating the compressed video data stream directly, we embed watermarking information into motion vectors according to the motion vector feature, therefore, complete decoding and re-encoding are unnecessary. The proposed algorithm is simple and efficient. Moreover, watermark can be extracted blindly without original images. Compared with that of image reconstructed from our watermarked video sequences, PSNRs of watermarked frames are reduced slightly.

Key words: video watermarking; motion vector feature; compressed domain; blind watermarking

1 引言

随着计算机和多媒体网络技术的发展, 信息的获取与传输变得日益简单、方便. 但随之而来的副作用是数字产品由于其易于拷贝而成为非法侵权、盗版的对象. 数字水印技术是近年来伴随着多媒体数字产品的出现及其知识产权遭到严重侵犯而出现的^[1]. 视频数字水印技术是当前水印研究中的一个热点^[2,3], 主要原因是随着大量数字视频产品如 VCD、DVD 的出现, 对视频数字产品版权保护的市场需求日益迫切^[4,5]. 视频水印嵌入策略可以从三个方面进行考虑. 第一是将水印信息直接嵌入到编码压缩之前的原始视频图像序列中, 然后再对含有水印信息的视频图像进行编码压缩. 这种方案可以利用静止图像的水印嵌入算法, 但嵌入水印的过程往往很复杂, 而且在随后的编码压缩中水印信息有可能遭到破坏. 第二种方案是在编码压缩时嵌入水印, 这种方案的水印嵌入过程比较简单, 但水印的嵌入和提取算法需要修改编码器和解码

器^[6]. 第三是在压缩域中嵌入水印, 即将水印信息嵌入到编码压缩后的码流上. 该方案的最大优点是不需要完全解码和再编码过程^[7]. 三种水印嵌入方案如图 1 所示, 图中的编码和解码采用 MPEG-2 标准.

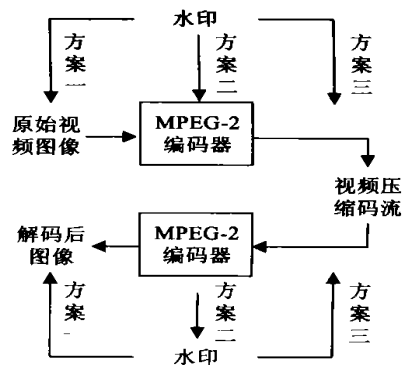


图 1 视频水印算法

收稿日期: 2003-12-28; 修回日期: 2003-01-05

基金项目: 浙江省青年人才基金(No. RC01057); 人事部留学回国人员科研基金(No. 2002208); 西安电子科技大学 ISN 国家重点实验室开放基金(No. H02025); 浙江省自然科学基金(No. 601017); 宁波市重点博士基金(No. 01J20300-05; 2003A61001)

视频图像中的水印技术除了要满足稳健性、不可见性等基本要求外,还必须具备盲检功能,即水印的提取不需要原视频图像。在压缩域中嵌入水印必须保证视频码流的完整性和相似性,即嵌入的水印信息不能影响原视频码流的正常解码,原始码流的码率也应保持基本不变。另外,视频水印算法应当简单、快速。本文提出一种基于压缩域的视频数字水印新算法,水印信息直接嵌入到编码压缩后的视频码流上,不需要进行视频图像的完全解码和再编码的复杂过程。算法简单、快速,水印的提取算法具有盲检功能,且水印算法与视频压缩标准有很好的兼容性。与不含水印的重建图像相比,嵌入水印后的重建图像视觉质量损失很小。

2 视频数字水印嵌入与检测新方案

在 MPEG-2 压缩标准中,存在 I、P、B 三种类型的帧图像,其中 P 帧和 B 帧图像是采用运动补偿预测编码,因此编码压缩后的视频数据流可以看作由视频流文件头信息、运动矢量数据流和 DCT 数据流三个部分组成。在本文的水印算法中,水印信息是加到运动矢量的数据流上。该方法的优点是,对运动矢量的操作比较容易,对码流的改动较小,不会影响码流的完整性和相似性,算法简单快速;另外,运动矢量资源丰富,水印的嵌入裕度大;并且由于 I 帧图像没有运动矢量,水印的嵌入不会影响 I 帧图像的图像质量。水印嵌入算法流程如图 2 所示,提取算法是相应的逆过程。

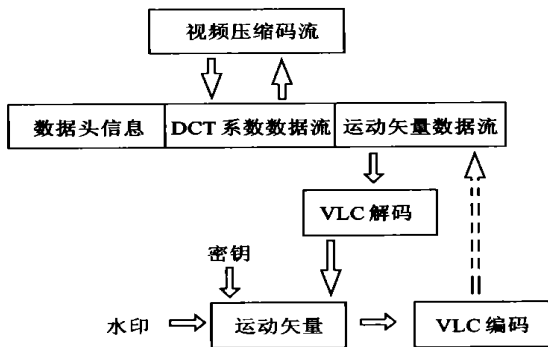


图 2 码流内嵌入水印的方案流程图

2.1 水印嵌入新算法

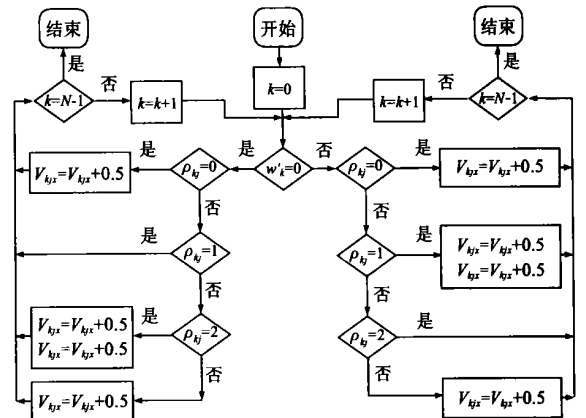
在 MPEG-2 标准中, B 帧和 P 帧图像是采用预测编码,编码以 16×16 的宏块为基本单位。对于 P 帧图像,每一个编码宏块有一个运动矢量;而 B 帧图像采用前后双向运动预测,每一个编码宏块有两个运动矢量。运动矢量为半像素精度。在本文的水印算法中,水印信息并不是加到所有的运动矢量上,而是选择其中的部分运动矢量来嵌入水印信息。设 (V_{lx}, V_{ly}) 表示某一编码宏块 l 的运动矢量,定义运动矢量特征值 ρ_l 如下

$$\rho_l = \text{mod}(2V_{lx}, 2) + 2\text{mod}(2V_{ly}, 2) \quad (1)$$

式中, $\text{mod}(x, 2)$ 表示对 x 取模 2 运算。

本算法嵌入的水印是一幅二值图像,在嵌入前先对水印图像作伪随机置乱处理以增强水印的安全性和稳健性。设 $W = \{w_k\}$ 表示原水印图像的 0,1 二进制序列,给定密钥 Key 进

行置乱后得到 $W' = \{w'_k\}$, 实际嵌入水印信息是 W' 。在 MPEG-2 标准中,视频序列是由一个或多个画面组(GOP)组成,画面组的长度没有限制。本文中 MPEG-2 编码的每个画面组采用通常的十二帧图像,其编码输入顺序为 IBBPBBPBBPBB。为了达到数据保护的目的,视频中嵌入水印的周期应该越小越好,但是随着嵌入周期的变小,视频图像的视觉效果受到的影响就会越大。而为了保证视频数据码流基本不变,嵌入水印的周期越长越好。在本文的水印嵌入算法中,每个画面组嵌入一幅水印图像,即每隔十二帧图像进行一次水印嵌入操作。如果按帧率 25 帧/秒计算,水印的嵌入周期为 0.48 秒。水印图像是嵌入到所有的 B 帧和 P 帧图像中。设 N 为总的水印比特数, Q 为图像组中总的运动矢量数,为不大于 Q/N 的最大整数。运动矢量每 q 个划分为一组 $\{(V_{lx}, V_{ly})\} (l = 0 \sim q - 1)$, 每一组嵌入一位水印。对于第 k 组运动矢量 $\{(V_{lx}, V_{ly})\}$, 令 $j = \text{mod}(k, q)$, 水印 w'_k 加到第 j 个运动矢量 (V_{lx}, V_{ly}) 上。水印的嵌入算法流程如图 3 所示,该算法非常简单,只需对运动矢量进行简单的判断和加减运算就可嵌入水印。



$$\bar{\alpha}_{dB} = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \alpha_{dB}, \bar{\beta}_{dB} = \frac{1}{M} \sum_{i=0}^{M-1} \beta_{dB}, \quad (2)$$

$$\bar{\delta}_{dB} = \bar{\alpha}_{dB} - \bar{\beta}_{dB} \quad (3)$$

对于嵌入的二进制序列 $W = \{w_k\}$ 和提取的二进制序列 $W^* = \{w_k^*\}$, 有可能并不完全一样. 设 m_0, m_1 分别表示水印中 0 和 1 的数目, e_0 和 e_1 为正确检出的 0 和 1 的数目, 定义水印正确检出率 WDR 为

$$WDR = \frac{e_0 e_1}{m_0 m_1} \quad (4)$$

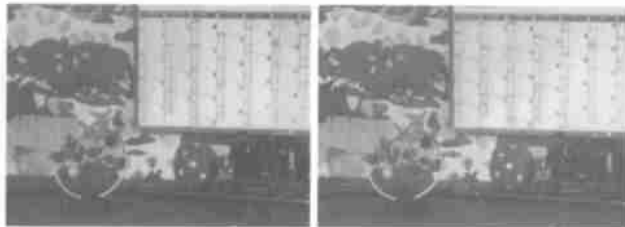
3 实验结果

本文对以下四组图像序列进行了仿真实验: (1) saleman 图像序列, 共 130 帧, 图像尺寸: 360×288 ; (2) caltrain 图像序列, 共 26 帧, 图像尺寸: 512×400 ; (3) susie 图像序列, 共 52 帧, 图像尺寸: 720×480 ; (4) missa 图像序列, 共 130 帧, 图像尺寸: 360×288 . 实验所用的水印是一幅 32×32 的二值数字图像, 如图 5 所示.

水印的基本要求是稳健性和不可见性, 对于视频图像来说, 由于水印信号是周期性地加入到数据流中, 检测时也是周期性地进行检测. 除非所有的数据都遭到破坏, 否则总可以检测到水印信号. 不可见性是指加入水印后的视频图像的视



图 5 二值水印图案



(a) 未加水印

(b) 嵌入水印

图 6 Caltrain 图像序列的重建图像



(c) 未加水印

(d) 嵌入水印

图 7 Salesman 图像序列的重建图像



(a) 未加水印

(b) 嵌入水印

图 8 Susie 图像序列的重建图像



(c) 未加水印

(d) 嵌入水印

图 9 Missa 图像序列的重建图像

4 结论

随着大量数字视频产品的出现, 视频数字水印技术已成为当前水印技术研究中的一个热点. 本文提出一种基于压缩域的视频数字水印新算法, 水印信息直接嵌入到编码压缩后

觉效果必须得到保证, 图像质量不能下降太大. 图 6-9 是四组图像序列的实验结果, 其中图 (a) 是 MPEG-2 编码重建后的图像, 未加水印; 图 (b) 是经 MPEG-2 编码, 并嵌入水印, 然后重建得到的图像. 表 1 分别给出了四组图像序列的 $\bar{\alpha}_{dB}$ 、 $\bar{\beta}_{dB}$ 和 $\bar{\delta}_{dB}$ 及相应的 WDR 值. 图 6-9 和表 1 表明, 嵌入水印后图像的信噪比损失很小, 基本不影响图像的视觉效果. 表 2 给出了新算法对未加水印信息的视频压缩图像的检测结果. 表 2 中 WDR 的大小反映了提取的信息与水印信息的相似程度, WDR 越大表示提取的信息是水印信息的可能性就越大. 由于没有嵌入水印信息, 表 2 中的 WDR 很小, 表示提取的不是水印信息, 而是没有规律的噪声信息. 表 2 中每组视频图像序列给出了从两个不同的图像组中提取信息的检测结果.

表 1 四组图像序列的水印嵌入实验结果

PSNR (dB)		$\bar{\alpha}_{dB}$	$\bar{\beta}_{dB}$	$\bar{\delta}_{dB}$	WDR
视频 图像 序列	Saleman	32.2353	32.2320	0.0033	1.0
	caltrain	31.6875	31.6806	0.0069	1.0
	susie	35.8366	35.7410	0.0956	1.0
	missa	37.2129	37.0637	0.1492	1.0

表 2 对未加水印的视频图像的水印检测情况

视频序列		Saleman	caltrain	susie	missa
WDR	图像组 1	0.000106	0.005413	0.001353	0.002706
	图像组 2	0.000003	0.004060	0.040026	0.001533

的视频码流上, 不需要重复视频图像的完全解码和再编码的复杂过程, 算法简单快速. 水印的提取算法具有盲检功能, 即提取水印不需要原视频图像, 该方法中水印的嵌入不会影响视频码流的完整性和相似性. 与不含水印的重建图像相比, 嵌入水印后的重建图像质量损失很小, 视觉效果能得到保证.

参考文献:

- [1] JIANG Gang yi, Chen Yar hua, YU Mei, et al. Digital watermarking for color image [A]. Proceeding of 7th Joint International Computer Conference [C]. Shangou, China: Shangou University press, 2000. 963-968.
- [2] Eggers J J, Girod B. Blind watermarking applied to image authentication [A]. Proceeding of ICASSP 01 [C]. Salt Lake City, Utah, USA: IEEE Computer press, 2001. 1- 4.
- [3] Swanson M D, Tewfik A H. Multimedia data embedding and watermarking technologies [J]. Proceedings of the IEEE, 1998, 86(6): 1064-1087.
- [4] Ogawa H, Nakamura T, Tomioka A, et al. Digital watermarking technique for motion pictures based on quantization [J]. IEICE Trans. Fundamentals, 2000, E83-A(1): 77- 89.
- [5] 张春田, 苏育, 管晓康. 多媒体数字水印技术 [J]. 通信学报, 2000, 21(9): 47- 52.
- [6] Itoh T. Efficient private information retrieval [J]. IEICE Trans. Fundamentals, 1999, E82 A(1): 11- 20.
- [7] ZHU Wei wu, XIONG Zi xiang, ZHANG Yar qin. Multiresolution war-

termarking for images and video [J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Technology, 1999, , 9(4): 545- 550.

作者简介:



朱仲杰 男, 1976 年 10 月出生, 出生于安徽安庆, 现为浙江大学信电系博士研究生, 主要研究领域为多视域视频图像编码、无线视频编码与通信、视频水印与信息安全等。



蒋刚毅 男, 1964 年 8 月出生, 出生于浙江绍兴, 博士, 教授, 主要研究领域为多媒体信息传输与加密技术研究、图像处理与视频信号编码、基于视觉的智能控制。