

一种基于运动矢量的视频水印方案^{*}

张桂东, 茅耀斌, 王执铨

(南京理工大学自动化系, 江苏 南京 210094)

摘 要: 提出一种改进的基于运动矢量的视频水印方案, 该算法有下述优点: ①根据水印嵌入容量自适应调整嵌入策略, 以满足不可感知性要求; ②水印嵌入对差分编码运动矢量造成的误差累积减小; ③与 MPEG-2 视频编码语义紧密结合。实验证明所提出的视频水印算法具有较低的计算复杂度, 对视频码率转换具有高的鲁棒性。

关键词: 运动矢量; 误差补偿; 视频水印; MPEG-2

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2004) S2-0117-03

随着网络 and 多媒体技术的发展, 数字视频的应用越来越广泛, 随之而来的数据安全、版权保护、真实性认证等问题越来越引起重视, 已成为一个重要的研究课题。视频水印技术作为多媒体安全研究的一个重要分支, 已得到广泛关注, 且目前已有多种水印方案被提出。Hartung 等^[1] 提出一种适用于未压缩视频以及压缩视频的水印方案, 其水印的嵌入通过对 DCT 系数的改动实现。CHUN-SHIEN 等^[2] 提出一种针对压缩视频版权保护的水印方案, 在他们的方案中, 视频水印信号被看作通信中的边信息, 且该水印方案实现了水印的实时检测。

随着视频编解码技术的发展以及对视频水印性能要求的提高, 水印方案紧密结合视频编码标准是一个必然的趋势。由于许多图像水印采用的是修改 DCT 变换系数的方式, 而目前多数视频水印源于图像水印, 因此, 大多视频水印方案将水印信息嵌入到 DCT 变换系数上。Jordan 等^[3] 在 1997 年的一份 MPEG4 提案中首次提出利用运动矢量进行水印信息的嵌入, 为了简化水印的提取过程, 该方案在 MPEG 视频序列的每帧帧间图像中仅仅选取一个宏块的运动矢量作为嵌入对象。同时水印仅嵌入到运动向量的某个分量(水平或垂直)中。在 Jordan 算法的基础上, 一些学者提出了一系列的改进方案^[4-6]。这些方案在提高嵌入强度的同时对视频图像质量的降低也很小。在这些方案中有两个约束条件: ①仅在幅值大于预先指定阈值的运动矢量上进行水印嵌入; ②水印嵌入的位置(水平或垂直分量)由运动矢量的相角来决定。另外文献[7]还根据运动矢量水平、垂直分量的组合关系来提高算

法的鲁棒性。实验证明, 该方法使视频图像的质量下降得到了较好的控制。

现有的基于运动矢量的视频水印算法尽管根据人类视觉系统(HVS)的特点, 在满足一定的嵌入负载条件下尽可能的减少了对视频图像质量的影响, 但是仍有值得完善的地方: 首先, 对于水平或垂直运动分量中只有其中一个值较大时的情况没有考虑, 因此可能会忽略一些较佳的嵌入位置。另外嵌入策略没有对 MPEG 编码码流的语法以及运动矢量的差分编码模式加以考虑, 因此, 水印的嵌入可能会导致运动矢量的误差累积, 从而在水印提取中产生错误结果。

在我们提出的改进算法中, 将考虑到上面提出的问题。整个算法的改进包括如下三点:

(1) 阈值自适应选择。以 HVS 的观点, 水印信息应该嵌入到幅值相对较大的运动分量上。我们的算法改进了阈值的选择策略以满足水印不可感知性的要求, 根据嵌入容量来判断一个运动矢量的水平或者垂直分量是否适合嵌入水印。因此, 每帧帧间图像都可能有不同的嵌入阈值和嵌入位置且嵌入位置与视频图像的运动信息相关。

(2) 对嵌入水印后的运动矢量进行差值补偿。根据 MPEG-2 标准, P 帧以及 B 帧中的运动矢量采用差值编码方式, 因此如果改变了某一个运动矢量的分量值, 紧跟其后的运动矢量的对应分量也会改变, 从而造成误差累积。由于水印嵌入引入的误差累积不仅会降低图像质量, 而且嵌入水印后的矢量的平均值很可能会因此而改变, 从而导致嵌入水印和提取水印所需要的阈值不一致。在我们的算法

* 收稿日期: 2004-09-11

基金项目: 江苏省自然科学基金资助项目 (BK2004421, BK2004132)

作者简介: 张桂东 (1980 年生), 男, 硕士生; E-mail: zhanguidong1234@163.net

中, 将充分考虑 MPEG 2 编码标准并且利用误差补偿方法来解决这个问题以保证嵌入水印后的阈值改变不影响运动矢量的选取。

(3) 水印嵌入过程完全符合 MPEG 2 语法。对运动矢量各分量对应码字的改变不能超出它的表示范围; 同时, 对运动矢量进行改变不应使参考帧中对应宏块的运动超出图像边界。

1 基于运动矢量的视频水印方案

本文提出的视频水印算法可以应用于未压缩以及压缩视频。对于压缩视频的水印嵌入过程可分成 4 步: 运动矢量解码、阈值分析、水印嵌入和误差补偿与码字校正。

1.1 运动矢量阈值选取

首先对 MPEG 压缩视频进行部分解码, 得到帧间图像的所有运动矢量值。设 V_i 和 H_i 分别表示运动矢量的垂直和水平分量, 其中 $0 \leq i < MB_{max}$, MB_{max} 表示一帧帧间图像中宏块的总个数。假定嵌入信息量为 $w_n \times w_m$, 其中 w_n 表示需要嵌入信息的比特数, w_m 表示对相同水印信息重复嵌入的次数。根据嵌入强度要求, 从 $2 \times MB_{max}$ 个运动矢量分量中选择最大的 $w_n \times w_m$ 个分量, 最小值即为选择阈值 ϵ 。

1.2 水印嵌入

经过上述阈值分析之后, 将在当前帧间图像的运动矢量中选择符合条件的分量进行水印嵌入。

首先, 在水印嵌入前根据密钥将水印信息打乱, 这一步称为水印调制, 目的是降低其相关性。设水印信息 w 为一个二进制序列, 则水印调制可表示为:

$$m = P(w, k)$$

其中, K 为密钥, m 为调制后的二进制水印序列, P 为调制变换。

然后, 对选择好的运动矢量分量进行水印嵌入。这里采用模二的嵌入方法调节运动矢量分量以满足水印嵌入要求。对于选定的水平分量, 如果 $((H_i \times q + T) \bmod 2) \neq m_k$, 则 $H_{iv} = H_i + d$; 如果 $((H_i \times q + T) \bmod 2) = m_k$, 则 $H_{iv} = H_i$ 。

其中, H_{iv} 表示对第 i 个选定的宏块嵌入水印后得到的运动矢量的水平分量, T 为 2 倍搜索区域宽度, $d = (2n + 1) / q$, n 为一整数, q 控制水印嵌入的强度, m_k 表示水印信息, 其中 $0 \leq k < w_n \times w_m$ 。对于运动矢量的垂直分量, 可以采用相似的嵌入方法完成。

1.3 误差补偿与码字校正

按照 MPEG 2 视频编码标准, 同一帧内的帧间

图像块, 其运动矢量采用差分编码, 即对当前运动矢量, 只需要编码与上一运动矢量之间的差分值即可。因此, 对某一运动矢量分量进行水印嵌入后, 应该对其后矢量对应的分量进行误差补偿, 否则会造成误差累积。同时为了和 MPEG 2 视频流的语法相符合, 嵌入水印后还应对矢量分量码字做矫正, 使其值不超出码字表示的范围。

本文所述视频水印为盲水印, 在水印提取时不需要原始载体信息。水印提取过程与嵌入过程类似, 可以通过运动矢量解码和水印解码两步完成, 限于篇幅, 这里不再赘述。

2 实验结果

下面的实验选择了 2 段 MPEG 2 标准测试视频序列 “Bus” 以及 “Bundy” 作为原始载体。测试序列的格式如表 1 所示。对嵌水印后视频图像的视觉失真情况以及在视频码率变化条件下水印提取的鲁棒性作了测试。

表 1 实验所用的 MPEG 视频序列
Tab 1 Specification of the MPEG sequences used for experiment

序列	GOP 帧数	I/P 间隔	帧率	帧大小	比特率 (bit/s)	色差格式	帧总数
Bus	15	3	30	352×240	1006k	4:2:0	151
Bundy	15	3	25	384×288	1500k	4:2:0	128

实验中, 选择图像序列中 P 帧的若干个最大运动矢量分量作为水印嵌入位置, 所嵌入的水印调制后长度为 31 个字节。从实验结果来看, 水印嵌入带来的视频图像降量非常小, 满足不可感知条件。

我们将本文算法与文献 [4] 所描述的相似算法作了比较。以 NMSE 和 PSNR 作为衡量标准, 本文提出的算法的 NMSE 值保持在 0.0065 ~ 0.0095 之间, 而 PSNR 值控制在 44 ~ 51 dB 之间, 比文 [4] 的算法性能稍优, 如图 1 所示。在同一图像组 (GOP) 内, 嵌有水印的视频图像的 PSNR 值应该呈递减趋势, 这是因为嵌入水印后, 在同一 GOP 内会产生累积预测误差。但在下一 GOP 开始时, 由于累积误差复位为零, 故 GOP 内第一帧图像的 PSNR 变大, 视觉效果变好。从实验结果来看该规律成立。

对于视频码率转换对水印鲁棒性的影响, 也进行了测试。使用原始码率为 1.5 Mbits/s 的视频, 嵌入水印信息后将视频码率分别改变为 1.4 和 1.2 Mbits/s, 对水印进行提取。图 2 给出了上述实验的位错率 (BER) 与码率变化的关系曲线, 并与文献 [4] 方法作了对比。

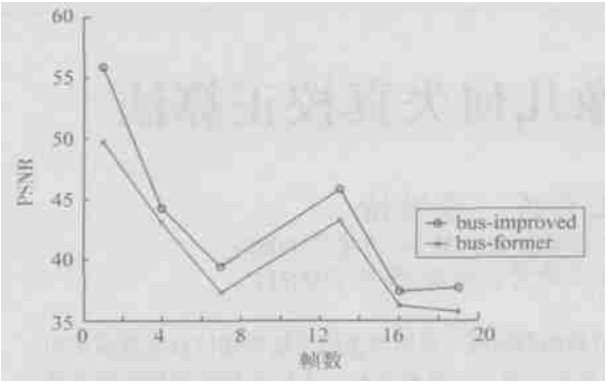


图 1 本文水印算法与文献 [4] 算法的性能比较

Fig 1 Performance comparison between algorithm proposed in this paper and that in reference [4]

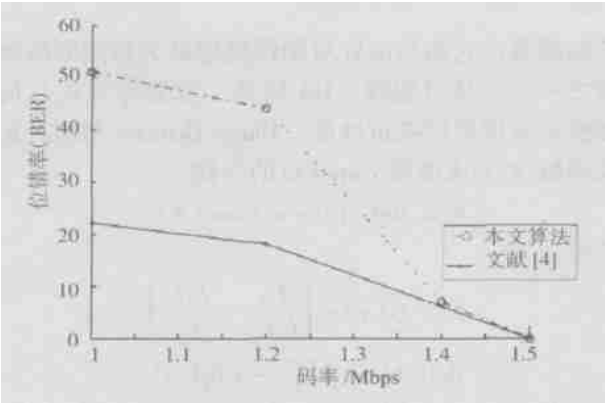


图 2 不同码率下水印鲁棒性测试

Fig 2 Tests of robustness in terms of coding rate variation

3 结 论

本文提出一种改进的基于运动矢量的视频水印方案，该方案具有自适应运动矢量选择、差分误差补偿等功能。从仿真实验结果来看，新算法具有较低的计算复杂度，微弱的视频质量下降，以及与 MPEG-2 视频压缩标准紧密结合等特点。同时该视频水印方案对常规的视频操作如码率转换等有较强的鲁棒性。

参考文献:

[1] HARTUNG F, GIROD B. Watermarking of uncompressed and compressed video[J] . Signal Processing, 1998, 66(3): 283— 301.

[2] CHUN SHIEN L, KUO-CHIH F, et al. Real-time MPEG2 video watermarking in the VLC domain[C] . Proceedings of the 16th International Conference on Pattern Recognition, 2002, 2: 552— 555.

[3] FRED JORDAN, MARTIN K, TOURADJ E. Proposal of a watermarking technique for hiding/retrieving data in compressed and decompressed video[M] . ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG97/M2281, 1997.

[4] ZHANG J, MAITRE H, et al. Embedding watermark in MPEG video sequence[C] . 2001 IEEE Fourth Workshop on Multimedia Signal Processing, 2001: 535— 540.

[5] DAI Y J, ZHANG L H, YANG Y X. A new method of MPEG video watermarking technology[C] . Proceedings of ICCT, 2003: 1845— 1847.

[6] KUNG C H, et al. Video watermarking using motion vector [C] . 16th IPPR Conference on Computer Vision, Graphics and Image Processing, 2003: 547— 551.

A Video Watermarking Scheme Based on Motion Vectors

ZHANG Gui dong , MAO Yao bin , WANG Zhi quan

(Department of Automation, Nanjing University of Sci &Tech, Nanjing 210094, China)

Abstract: An improved video watermarking scheme employing motion vectors is proposed. Compared with similar schemes proposed by Jordan, ZHANG and Dai, respectively, the new one described herein has three merits: ① Embedding strategy is adaptively adopted according to the requirement of watermarking capacity to meet the need of imperceptibility; ② The accumulation of differential coding error of motion vectors is reduced; ③ Compatible with the syntax of MPEG-2 coding stream. Experimental results have demonstrated that the proposed scheme is of low computational complexity and of high robustness against rate conversion.

Key words: motion vector; error compensation; video watermarking; MPEG-2