

文章编号:1001-5132 (2008) 02-0155-04

基于 DC 直流系数的盲视频水印算法

李雪芳¹, 王让定¹, 徐达文²

(1.宁波大学 信息科学与工程学院, 浙江 宁波 315211; 2.宁波工程学院 电子与信息工程学院, 浙江 宁波 315016)

摘要: 为了增强抗攻击的能力和保证算法的不可见性, 基于 DC 直流系数的稳定性, 把选择的视频帧分成 8×8 块, 每块经过 2 次 DCT 变换, 提取与每块像素 RGB 平均值成正比的 DC 直流系数, 将这些 DC 系数组织成一维序列, 并划分为更小的子序列, 然后对每个子序列进行一维 DCT 变换, 通过比较相邻 2 个子序列中最后一个高频系数值的大小来嵌入水印. 实验结果表明: 该算法有较高的视觉质量, 同时对于 MPEG 压缩, 帧置换, 加噪等处理有良好的鲁棒性, 在水印的提取过程中不需要任何附加信息.

关键词: 数字水印; 视频水印; DC 系数; MPEG 压缩

中图分类号: TP391

文献标识码: A

自 20 世纪 90 年代开始, 数字水印^[1]技术的出现为保护多媒体信息的版权以及信息的合法使用提供了一种新的解决思路, 并成为近年来数字化技术的一个新热点. 数字水印按载体的不同可分为: 文本水印、音频水印、图像水印和视频水印等.

视频水印研究是当前水印技术研究方向中的一个热点和难点^[2]. 一般来说, 视频水印有 3 个嵌入位置, 即非压缩的原始视频域, MPEG 编码过程和压缩后的视频流中. 按水印嵌入域可将视频水印分为非压缩域视频水印、编码域视频水印和压缩域视频水印. 本文的算法是将水印嵌入到原始视频数据中, 属于非压缩域视频水印.

大部分的视频压缩编码采用 DCT 变换, 为了能适应视频压缩, 本文选择在 DCT 域内嵌入水印信息. 根据 Cox^[3]的观点, 水印应放在视觉上最重要的地方 (对应于频率域的低频系数). 黄继武^[4,5]等通过定量

分析图像块 DCT 系数的振幅特性, 提出 DC 分量比 AC 分量更适合嵌入水印. 本文与其他视频水印算法不同之处是不直接在 DC 系数内嵌入水印, 而是对其再进行一维 DCT 变换, 在变换后的高频系数中嵌入水印. 实验结果证明, 本文的算法透明性好, 鲁棒性强, 且在提取水印时不需要原始视频.

1 水印算法

1.1 水印嵌入

水印嵌入可分为选帧、分块 2D-DCT 变换、分块 1D-DCT 变换、子序列划分及 1D-DCT 变换、水印嵌入等过程.

为增强抗攻击的能力与保证算法的不可见性, 不在每一帧中都嵌入水印, 而是有选择地嵌入水印, 选帧可根据所计算的每帧像素亮度和 Y_{total} 确

收稿日期: 2007-04-24.

宁波大学学报(理工版) 网址: <http://3xb.nbu.edu.cn>

基金项目: 国家自然科学基金(60672070); 浙江省科技计划项目(2007C21G2070004); 宁波市科技攻关项目(2006B100067); 宁波市自然科学基金(2006A610018).

第一作者: 李雪芳(1973-), 女, 浙江台州人, 在读硕士研究生, 主要研究方向: 数字水印及信息隐藏. E-mail: hanmeilim@163.com

定,即

$$Y_{\text{total}} = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N Y(i, j), \quad (1)$$

其中, $Y(i, j) = 0.299R(i, j) + 0.587G(i, j) + 0.114B(i, j)$, $M \times N$ 为帧图像的大小,按 Y_{total} 从大到小对帧排序,设水印嵌入在 $\alpha < Y_{\text{total}} < \beta$ 的帧中,此条件所对应的帧的序号为 $n1 < Y_{\text{th}} < n2$,其中 $n1, n2, \alpha, \beta$ 由实验确定.

对选中的帧,将其分成 8×8 块,设共分为 S 块,提取每块的红、绿、蓝分量,记为 $R_k(i, j), G_k(i, j), B_k(i, j)$,其中 $0 \leq k \leq S-1, 0 \leq i \leq 7, 0 \leq j \leq 7$,对 R_k, G_k, B_k 分量分别进行二维 DCT 变换,得 $F_k^R(u, v), F_k^G(u, v)$ 与 $F_k^B(u, v)$ ($0 \leq u \leq 7, 0 \leq v \leq 7$),及 3 个 DC 分量 $F_k^R(0, 0), F_k^G(0, 0)$ 与 $F_k^B(0, 0)$,其值分别与整块像素的红、绿、蓝分量的平均值成正比,再对每块的 3 个 DC 系数进行 1D-DCT 变换:

$$T_k(x) = \sqrt{2/3}C(x)[F_k^R(0, 0)\cos(x\pi/6) + F_k^G(0, 0)\cos(x\pi/2 + F_k^B(0, 0)\cos(5x\pi/6)], \quad (2)$$

其中, $T_k(x)$ 表示变换后的系数, $0 \leq k \leq S-1, 0 \leq x \leq 2$,

$$\begin{cases} C(x) = 1/\sqrt{2}, & \text{当 } x=1, \\ C(x) = 1, & \text{其他.} \end{cases}$$

这时得到的 DC 系数 $T_k(0)$ 与整块像素的红、绿、蓝平均值成正比.把所有的 $T_k(0)$ 划分为更小的子序列,设共分为 p 个子序列,每个子序列有 q 个数 ($q \times p = S$),表示为 U_{mn} ($m=0, 1, 2, \dots, p-1; n=0, 1, 2, \dots, q-1$),对每个子序列再进行 1 次一维 DCT 变换,记变换后的直流系数为 DC_m ($m=0, 1, \dots, p-1$),最后一个高频系数为 AC_m ,将相邻 2 个子序列作为 1 组,共分为 $p/2$ 个组,组中的 2 个最后高频系数记为 AC_1^t 与 AC_2^t ($t=0, 1, \dots, p/2-1$),求出每组的 DC 系数之和,记为 DC_{total}^t ,并按此进行由大到小的排序,选择序号在一定范围的组来嵌入水印.

设 $\text{diff}(n)$ 为所选择的第 n 个组中的 2 个最后高频系数之差,设 $w(n)$ 为第 n 个水印信息,则嵌入

过程为:

$$\text{diff}(n) = AC_1(n) - AC_2(n), \quad (3)$$

$$\begin{cases} \text{diff}(n) = a, & \text{if } w(n)=1, \\ \text{diff}(n) = -a, & \text{if } w(n)=0, \end{cases} \quad (a > 0), \quad (4)$$

其中, a 由实验确定,本文算法中 $a=15$,若 $\text{diff}(n)$ 不满足此条件,则通过修改 $AC_1(n)$ 与 $AC_2(n)$ 使其值满足此约束条件.

最后,对每个子序列中的系数进行一维 IDCT 变换,把变换后的系数形成一维序列 $T_k'(0)$,并令 $T_k'(x) = T_k(x)(1-x/2, 0 \leq k \leq S-1)$,得到 $T_k'(x)$ ($0 \leq x \leq 2$),再对其进行 ID-IDCT 变换,得 $F_k'^R(0, 0), F_k'^G(0, 0)$ 与 $F_k'^B(i, j)$,同时令 $F_k'^R(u, v) = F_k'^R(u, v)$ ($0 \leq u \leq 7, 0 \leq v \leq 7$,且 u, v 不同时为 0),得到 $F_k'^R(u, v)$ ($0 \leq u \leq 7, 0 \leq v \leq 7$),用同样的办法得到 $F_k'^G(u, v)$ 与 $F_k'^B(u, v)$,然后分别对其进行二维 IDCT 变换,得到 $R_k'(i, j), G_k'(i, j), B_k'(i, j)$ ($0 \leq i \leq 7, 0 \leq j \leq 7$),至此,逆变换完成,得到了含水印的视频帧.

1.2 水印提取

水印提取是嵌入算法的逆过程,分别为选帧、分块 2D-DCT 变换、1D-DCT 变换、子序列 1D-DCT 变换、水印提取.所不同的是选帧时,若视频流未经受 MPEG 压缩,则选的是 $\alpha < Y_{\text{total}} < \beta$ 的帧,因为若受到帧删除攻击,排序的序号会发生改变;若视频流经受过 MPEG 压缩,则选的是 $n1 < Y_{\text{th}} < n2$ 的帧,因为 MPEG 压缩是有损压缩, Y_{total} 的值发生改变,而序号基本上不变.提取水印时,若 $\text{diff}(n) > 0$,则 $w(n)=1$;否则 $w(n)=0$.

2 仿真实验及分析

为了评价水印算法的有效性,采用 PSNR 和相似性指标评价嵌入水印视频的失真度和提取水印的相似度,各指标定义为^[6,7]:

$$PSNR = 10 \lg \frac{255^2 MN}{\sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^N [f(m, n) - f'(m, n)]^2}, \quad (5)$$

$$\text{sim}(w, w') = \frac{\sum_{i=1}^k w(i)w'(i)}{\sum_{i=1}^k w^2(i)}, \text{sim}(w, w') \in [0, 1] \quad (6)$$

其中, $M \times N$ 为帧的大小, $f(m, n), f'(m, n)$ 分别代表原始帧和含嵌入水印的帧, $w(i), w'(i)$ 分别表示原始水印和提取的水印信息, 设定一阈值 T , 当 sim 值大于 T 时, 即认为该图像帧包含水印, 本文 T 设为 0.6.

2.1 基本实验

采用 0,1 的二值随机序列作为原始的水印信息, 用 2 个 36 帧的全帧(非压缩)的 AVI 视频文件进行仿真实验, 它们是“狮子王”(544 × 320, 简称视频 1)和“康熙王朝”(352 × 288, 简称视频 2), 从视频 1 中选择了 11 帧嵌入水印, 视频 2 中选择了 22 帧嵌入水印. 图 1 为含水印的视频帧, 表 1、表 2 分别为水印信息的相似性. 嵌有水印的视频 1 各帧的 PSNR 在 45.87 ~ 51.30 dB, 平均峰值信噪比为 47.50 dB; 视频 2 各帧的 PSNR 在 48.73 ~ 56.22 dB, 平均峰值信噪比为 51.88 dB. 水印的透明性好, 视频 1 的平均相似性为 0.978, 视频 2 的平均相似性为 0.963, 水印提取的正确率很高.



(a) 视频 1 (PSNR 为 47.76 dB) (b) 视频 2 (PSNR 为 53.58 dB)

图 1 含水印的视频帧

表 1 视频 1 提取出的水印信息的相似性

frame	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sim 值	0.96	0.96	1.00	1.00	0.96	0.96	0.96	1.00	0.96	1.00	1.00

表 2 视频 2 提取出的水印信息的相似性

frame	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sim 值	1.00	1.00	1.00	0.92	0.92	1.00	1.00	1.00	1.00	0.92	0.92
frame	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22
Sim 值	0.92	0.92	0.92	0.83	1.00	1.00	1.00	0.92	1.00	1.00	1.00

2.2 攻击实验

2.2.1 MPEG 压缩

将嵌入水印的视频经 MPEG1、MPEG4 压缩, 解压后, 重构水印与原始水印的相似性如图 2 所示. 提取的水印信息与原始水印信息的平均相似性视频 1 为 0.79、0.72; 视频 2 为 0.80、0.78. 可见本文的视频水印算法对 MPEG1 与 MPEG4 压缩都具有较强的鲁棒性.

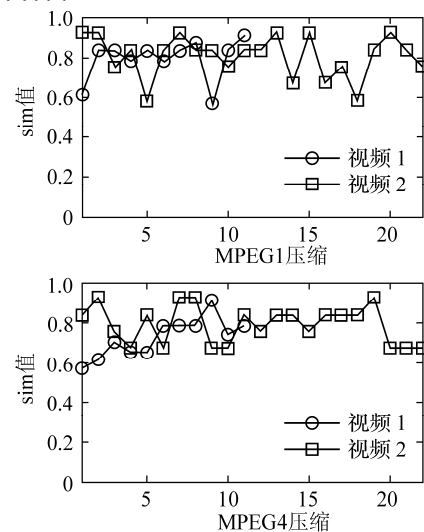


图 2 MPEG 压缩

2.2.2 帧删除与帧置换

由于本算法是按帧中所有像素的亮度和来选帧的, 因此一般来说帧删除对本算法没有影响. 除非删除了所有嵌入水印的视频帧, 水印信息无法提取, 否则, 只要还有一帧存在, 就可以提取出水印信息. 帧置换只是改变了视频帧在序列中的位置, 并不改变帧的像素值, 而本算法并不是按帧的序号来选帧的, 而是按帧的像素值来选, 因而, 帧置换对本算法没有影响.

2.2.3 帧平均

本实验采用(7)式对水印视频帧进行平均处理:

$$f'_i(m, n) = \frac{f_{i-1}(m, n) + f_i(m, n) + f_{i+1}(m, n)}{3} \quad (7)$$

其中 f_{i-1}, f_i, f_{i+1} 分别表示第 $i-1, i, i+1$ 帧. 对视频 1 和视频 2, 提取水印信息的最差相似性分别为 0.65 和 0.75, 最好为 1. 表明算法对帧平均有一定的鲁棒性.

2.2.4 噪声攻击

实验中,用均值为 0,方差为 0.01 的高斯白噪声对水印视频 1 进行了攻击,受到噪声攻击后的水印视频 1 各帧的 PSNR 在 20 dB,相似性在 0.60 ~ 0.90;用噪声密度为 0.02 的椒盐噪声对水印视频 2 进行了攻击,受到噪声攻击后的水印视频 2 各帧的 PSNR 在 22 dB 左右,相似性在 0.60 ~ 0.92,表明该视频水印算法对噪声攻击也有良好的鲁棒性.

3 结论

本文根据帧像素的亮度之和,选择某些帧,将水印嵌入在 DC 直流系数经 DCT 变换后的高频系数中.实验结果表明,该算法对于 MPEG1 压缩和 MPEG4 压缩、帧删除、帧置换、帧平均及加噪等处理有良好的鲁棒性.下一步的工作是进一步优化水印算法,在考虑强鲁棒性和水印透明性的基础上,研究视频水印实时性等问题.

参考文献:

- [1] 杨义先,钮心忻.数字水印理论与技术[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [2] 孙圣和,陆哲明,牛夏牧.数字水印技术及应用[M].北京:科学出版社,2004.
- [3] Cox J, Killian J, Leighton FT, et al. Secure spread spectrum watermarking for multimedia[J]. IEEE Trans on Image Processing, 1997, 6(12):1 672-1 686.
- [4] Huang J W, Shi Y Q, Shi Y. Embedding image watermarks in DC components[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2000, 10(6): 974-979.
- [5] 黄继武, Shi Y Q, 程卫东. DCT 域图像水印: 嵌入对策和算法[J]. 电子学报, 2000, 28(4):57-60.
- [6] 俞能海, 赵卓, 曹楠楠, 等. 一种新颖的基于非压缩数字视频的水印盲检测算法[J]. 电路与系统学报, 2003, 8(3):60-65.
- [7] 李英, 高新波, 姬红兵. 一种基于三维小波的视频水印空时算法[J]. 系统工程与电子技术, 2005, 27(1):16-19.

A DC-coefficient-based Blind Video Watermarking Scheme

LI Xue-fang¹, WANG Rang-ding¹, XU Da-wen²

(1.Faculty of Information Science and Engineering, Ningbo University, Ningbo 315211, China;

2. School of Electronic and Information Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo 315016, China)

Abstract: Using the DC coefficient's stability, a blind video watermarking method is proposed. In order to enhance the strength against the attacks and guarantee the scheme's invisibility, some frames are selected to embed watermark. The frame is divided into many 8-by-8 blocks. With the block being transformed twice by DCT transformation, the DC coefficient can be extracted. All the blocks' DC coefficients are organized into one dimension sequence and divided into smaller sequences, then one dimension DCT transformation is assigned to every sequence. The ultimate watermark is embedded by comparing the two adjacent sequences' last high frequency coefficients. And the watermark is extracted directly from the bit stream independent of the original video frames. Experimental results show that this algorithm achieves high visual quality, and robust to MPEG compression, frame permutation and noise disturbance.

Key words: digital watermarking; video watermarking; DC coefficient; MPEG compression

CLC number: TP391

Document code: A

(责任编辑 史小丽)