

基于能量和方差的鲁棒自适应视频水印算法*

谭 凯^{1),2)} 杨 峰¹⁾ **

(1) 山东师范大学信息科学与工程学院,250014,济南; 2) 山东省分布式计算机软件新技术重点实验室,250014,济南)

摘要 为了提高水印的鲁棒性同时兼顾视频主观质量和水印不可见性,提出一种基于 FZDH 的自适应视频水印嵌入技术. 该算法依据人类视觉掩蔽特性,计算帧中各块方差和能量值,按照两值大小自适应的选择水印嵌入范围和嵌入强度. 通过采用高斯白噪声和椒盐噪声对 H. 264/AVC 压缩编码后的水印视频进行攻击,比较本方案与原算法在抗噪声和抗压缩方面的能力. 仿真实验表明,本方案比传统算法具有更强的抗压缩和抗噪声能力.

关键词 视频水印; H. 264 压缩编码; 量化; 方差
中图分类号 TP 391 **文献标识码** A **doi**: 10. 3969/j. issn. 1001 - 4748. 2012. 04. 008

随着多媒体技术的发展,视频产品的产权保护越来越受到重视,视频水印技术为解决这个问题提供了可能. 视频水印技术是将水印信息嵌入到宿主视频中的过程. 由于视频媒体在传输过程中压缩编码标准的不同及视频本身特性的复杂性,使得视频水印技术呈现出不同的发展方向.

视频水印技术可分为基于视频数据算法和基于码流算法. 基于码流的水印算法将水印嵌入到压缩编码后的视频码流中,嵌入过程与视频压缩标准相结合,编码后码流中可进行水印嵌入的冗余信息较少. 这种算法高度依赖压缩后码流结构,因此,在抵抗重压缩和任何形式的转换方面十分脆弱,通常用于脆弱性认证. 尽管存在脆弱性方面的不足,但基于压缩视频算法仍然具有很强的吸引力. Langelaar 等人在文献[1]中提出了差分能量水印算法. 该算法利用相邻两个 DCT 残差块中高频系数的能量差值,修改部分 AC 系数来进行水印信息位的嵌入. Jing Zhang 等人在文献[2]中提出了将扩频水印信息嵌入到经 H. 264/AVC 压缩编码的视频中. 该算法根据 4×4 DCT 残差块部分系数的能量值自适应的调制带嵌入的水印信息位的强度,在不损失视觉质量的前提下增强了水印的鲁棒性.

基于视频数据的水印算法是将水印直接嵌入到视频帧中,这种算法对各系列压缩标准的结构依赖性不强,具有更强的鲁棒性,因此应用范围更加广泛. Sarkar 等人在文献[3]中提出了一种大容量的变换域数字隐藏方法,该方法利用量化系数调制(QIM)对视频的 DCT 低频系数进行量化调制. 文献[4]首次提出了 FZ 和 AZ 概念,并提出了 FZDH 算法. 该算法通过单一控制参数结合量化调制划定 AZ 区域,并对该区域内的系数进行量化调制. Ersin Esen 等人在文献[5]中对该算法进行了优化,提出了基于块的选择性嵌入算法,并引入 RA 编码抵抗擦除,这些措施进一步提高了水印的鲁棒性和不可见性. 然而,这些算法都没有考虑视频帧本身的特性. 本文结合文献[6]提出的基于图像纹理复杂度进行视频子块排列的概念,根据各块能量值和方差自适应的选择水印嵌入区域 AZ 范围和水印嵌入强度,以达到水印鲁棒性和不可见性的平衡.

文章安排如下:第一节简要介绍 FZDH 算法,第二节详细介绍本文提出的改进算法模型,水印的嵌入与提取. 仿真实验结果安排在第三节,第四节总结本文的工作、本算法的优点和不足.

1 FZDH 算法

设 y 为宿主视频帧的 DCT 系数, $w \in \{0,1\}$ 是待嵌入的水印信息. 那么嵌入规则可由下式给出:

$$y_w = \begin{cases} y, & y \in FZ_w \\ M_w(y), & y \in AZ_w \end{cases} \tag{1}$$

该规则将 DCT 系数划分为 FZ 和 AZ 两个区域, FZ 为禁止嵌入区域, AZ 为水印嵌入区域,两区域的划分由不同的水印信息 w 控制,为保证水印鲁棒性, AZ (FZ) 区域在不同水印信息 w 控制下重合. AZ 区域系数的修改如下:

$$M_w(y) = y + e_w \left(1 - \frac{r}{\|e_w\|} \right) = y_q - e_w \frac{r}{\|e_w\|} \tag{2}$$

上式中 r 为控制参数, y_q 为 y 的量化系数,量化步长 Q_{step} 由信息位 w 控制, e_w 为宿主视频系数 y 与其量化系数原式添加了一步 y_q 的差值:

收稿日期:2012 - 04 - 26
* 山东省博士后创新项目专项资金资助项目(201003016).
* * 通讯作者,男,教授,硕士生导师.

$$y_q = \text{quant}[y, QP] = \text{round}\left(\frac{y}{Q_{\text{step}}}\right). \quad (3)$$

$$e_w = y_q - y. \quad (4)$$

由式(2)可知,被修改的宿主视频系数是在其量化系数的基础上加上一个标量,该标量受量化差值 e_w 的影响. 这样,修改后的系数比量化调制算法更接近原始值,减小了水印嵌入引起的失真.

FZ_w 和 AZ_w 区域划分又控制参数 r 和量化差值定义:

$$FZ = \{y | \|e_w\| \leq r\} \quad AZ = \{y | \|e_w\| > r\}. \quad (5)$$

为了满足区域划分不重合的要求,不同信息 w 控制下的量化步长 Q_{step} 取值不同,以确保被修改系数的量化值不重合.

水印的提取与水印的嵌入过程相似,利用下式提取水印:

$$\hat{w} = \arg \min_w d(y, y_w). \quad (6)$$

其中 y 为接受到的视频信息, y_w 相当于式(1)过程中嵌入水印的视频信息,函数 d 表示求两矩阵差值, argmin 函数表示取差值较小的 w 值作为提取出的水印信息.

2 提出的自适应水印算法

2.1 算法模型 提出的自适应算法模型基于文献[5]中提出的基于块的模型,将视频帧进行 8×8 块的 DCT 变换,对变换后的 8×8 DCT 块进行水印嵌入. 水印算法整体流程框架如图 1 所示. 对于模型中的部分模块已在文献[5]中阐述,本文不再进行赘述.

DCT 变换后的 8×8 块中有 64 个系数,分为直流、低频、中频和高频. 不同的 DCT 变换系数对人类视觉感应的重要性是不同的. 直流分量和低频系数集中了 DCT 块的大部分能量,人眼对该部分系数的改动敏感,不适合于嵌入水印;高频部分经压缩量化后大部分系数变为零,不适合嵌入水印;中频部分是上述两者的折中,既有适于水印嵌入的系数值同时人眼对中频系数的改动较低频系数而言不敏感,因此适合作为水印嵌入区域.

为了抵抗视频压缩,算法选取的量化步长 Q_{step} 值相对较大,而 DCT 块的中频系数整体较小,对值较小的系数进行修改容易造成视频质量下降、降低水印的不可见性,因此在水印嵌入时需要按一定规则进行系数选择:根据量化步长 Q_{step} 值选定阈值 T_0 ,只对大于等于阈值 T_0 的中频系数进行修改,小于阈值的系数不做修改.

2.2 自适应水印算法 根据人类视觉的掩蔽效应,在背景亮度较高、纹理复杂的区域人眼对噪声的敏感程度明显降低. 因此,在能量值较小和方差值较大的块中其系数的改动人眼越不易察觉,水印的不可见性越高. 因而可根据图像各分块能量值和方差值,自适应的调整各 DCT 块中 $AZ(FZ)$ 的区域范围以及系数更改的幅度,增强水印的鲁棒性. 各块的能量值和方差值可由(7)式计算:

$$E = Y_0$$

$$D = \sum (X_i - \text{mean}(X_i))^2 / N, \quad (7)$$

Y_0 表示 8×8 DCT 块中的 DC 系数, X_i 表示图像空域分块的 64 个像素值. AZ 和 FZ 区域范围调整策略:在待嵌入水印的视频帧中计算各块能量值和方差值,当块能量小于阈值 $T1$ 或方差超过阈值 $T2$ 时,控制系数 r 根据下式进行调整:

$$r_0 = r - \text{round}\left(\alpha \frac{T1 - E}{K1} + \beta \frac{D - T2}{K2}\right), \quad (8)$$

$K1$ 和 $K2$ 为控制因子,将能量值与方差值控制在同一数量级别, α β 为权值因子,用来控制能量值 E 和方差 D 的幅度,确保 round 函数内的值小于 r . r 值减小使得属于 AZ 区域内的系数被调整的幅度增大,不易被压缩编码破坏,更有利于水印的提取. 只有当 $E > T1$ 且 $D < T2$ 时,控制系数 r 不变. 因此 FZ 和 AZ 修改为:

$$\begin{cases} E > T1 \& D < T2 \text{ 时, } FZ = \{Y_i | \|e_w\| \leq r\}, AZ = \{Y_i | \|e_w\| > r\} \\ \text{其它, } FZ = \{Y_i | \|e_w\| \leq r_0\}, AZ = \{Y_i | \|e_w\| > r_0\}. \end{cases} \quad (9)$$

水印的提取在原方法基础上:对接收到的视频帧计算各块的能量值 E 和方差 D ,按照式(9) 对各 DCT 块进行系数划分 $AZ(FZ)$ 区域,在 AZ 区域中选出大于阈值 T_0 的系数,上述步骤完成后利用式(6) 对水印进行提取.

3 仿真实验结果及其分析

实验运行环境为 Pentium(R) Dual - Core 1.4GHZ CPU, 2G 内存, 80G 硬盘和 Windows XP 操作系统,采用的仿真软件为 MATLAB 7. 11. 实验选用 352×288 的 foreman 序列,采用标有“水印”二字的 36×20 的二值水印图像进行仿真. 量化步长 Q_{step}

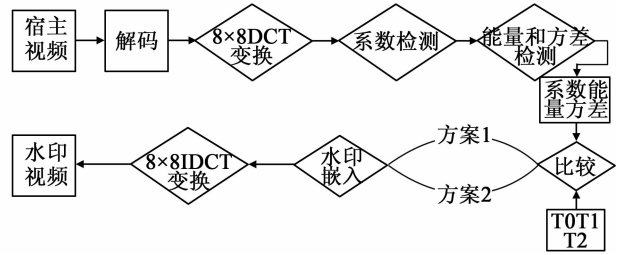


图 1 水印嵌入流程框图

$= 40(w = 1)$ 、 $Q_{step} = 33(w = 0)$, $r = 4$. 本文方案与 FZDH 进行以下比较:图 2 为两种方案经过 H. 264/AVC 压缩编码后,提取水印的相似度 NC 值. 图 3 为经两种方案嵌入水印后的视频图像,图 4 为本算法(a)与原始算法(b)分别经 H. 264 压缩、椒盐噪声和高斯白噪声攻击后提取的水印图像,图 5 为两种方案在高斯白噪声和椒盐噪声攻击下的水印相似度 NC 值.

如图 2 所示,经过 H. 264/AVC 压缩编码后两种算法提取出的水印相似度都较高. 在 NC 值超过 0.9 时,本算法比原算法提取的水印具有更高的相似度,如图 4-1 所示. 这是因为 NC 值高的帧中,其各块能量值和方差较高,更有利于水印的不可见性,更适合本算法. 而 NC 值低于 0.89 时本算法与原算法水印相似度相当,这是因为该帧中各块能量值较大或方差较低,不利于水印的不可见性,此时本算法与原算法的水印嵌入策略趋于相同. 需要说明的是,上述实验所选阈值 T1 较低和 T2 较高,故每帧中可提高水印嵌入强度的块较少,因此相似度 NC 值增加不明显,可根据鲁棒性要求调整阈值 T1 和 T2,以提高水印鲁棒性.

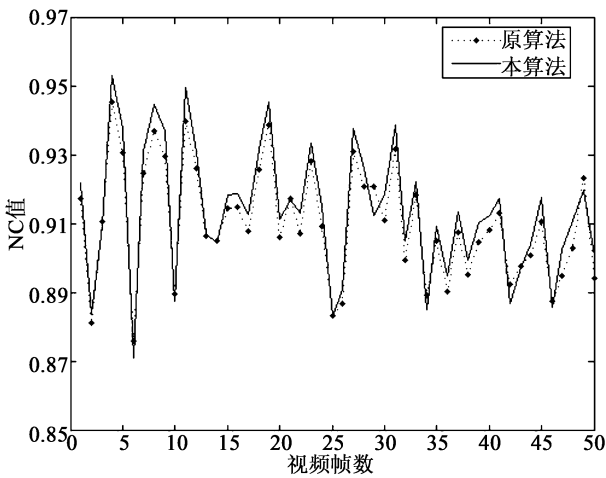


图 2 经 H. 264 视频压缩后两种算法提取水印相似度



图 3 水印嵌入后视频图像左为原算法右为本算法

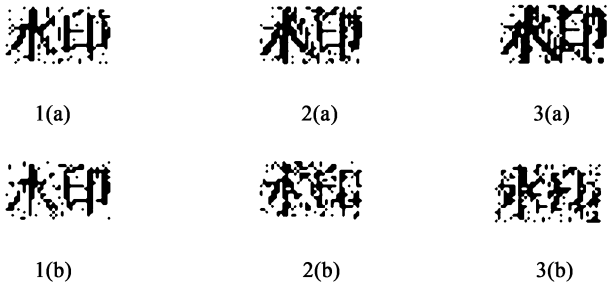


图 4 本算法(a)与原始算法(b)经视频压缩、椒盐噪声和高斯白噪声攻击下提取水印

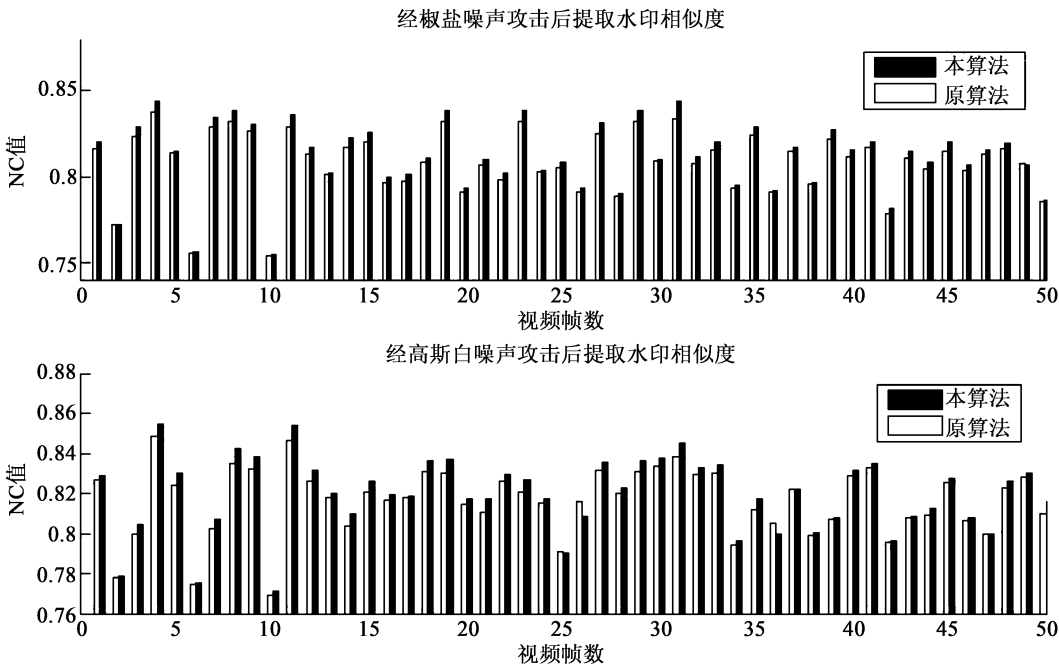


图 5 分别经椒盐噪声和高斯白噪声攻击后两种算法提取水印相似度

如图 3 所示,两种算法在水印嵌入后视频的主观质量极为相似,人眼的主观视觉几乎察觉不到两幅图片的差异性. 这是

因为自适应算法只在背景亮度大、纹理复杂度高的块中提高水印的嵌入强度,而且人眼对该区域系数的改变不敏感. 两张图片比较说明本算法具有很强的水印不可见性.

如图 5 所示,两种算法经椒盐噪声和高斯白噪声攻击后水印的相似度值总体上相当,但依然可以看出在 NC 值较高点本算法比原算法提取的水印相似度高,如图 4-2 和图 4-3 所示;在 NC 值较低处两种算法提取的水印的相似度相当,这种现象与经视频压缩后提取的水印的 NC 值间差异趋势相同. 综上所述,本方案更适合将水印嵌入到背景亮度较大纹理复杂度高的视频帧中,嵌入的水印能更好地抵抗噪声攻击和视频压缩,具有较强的鲁棒性和不可见性.

4 结 语

本文在分析传统 FZDH 模型的基础上,提出了一中基于 FZDH 的自适应水印算法模型. 在模型中引入了基于块的能量值和方差概念,在水印嵌入过程中,将普通水印嵌入块与能量较小或方差值较大的块进行区分操作,在提高水印的鲁棒性的同时兼顾了视频的主观质量和水印的不可见性.

5 参考文献

[1] Gerrit C Langelaar, Reginald L Lagendijk. Optimal differential energy water marking of DCT encoded images and Video[J]. IEEE Trans Signal Process, 2001,10(1):148-158.

[2] Zhang Jing, Anthony T S Ho, Qiu Gang, et al. Marziliano. Robust video watermarking of H.264/AVC[J]. IEEE Trans Circuits Syst II, Exp Briefs,2007,54(2):205-209.

[3] Sarkar A, Madhow U, Chandrasekaran S, et al. Adaptive MPEG-2 video data hiding scheme[C]. in Proc. 9th SPIE Security Steganography Watermarking Multimedia Contents, 2007:373-376.

[4] Esen E, Alatan A A. Forbidden zone data hiding[C]. IEEE International Conference Image Process,2006:1393-1396

[5] Esen E, Alatan A A. Robust video eata hiding using forbidden zone data hiding and selective embedding[J]. IEEE Trans ction. Circuits System, 2011,21(8):1130-1137.

[6] 王 静,王 冰. 基于 DCT 域和纹理复杂度的图像水印算法[J]. 计算机工程,2011,37(18):148-150.

A ROBUST ADAPTIVE VIDEO WATERMARKING ALGORITHM BASED ON ENERGY AND VARIANCE

Tan Kai^{1),2)} Yang Feng¹⁾

(1) School of Information Science and Engineering,, Shandong Normal University,250014 Jinan, China;
2)Shandong Provincial Key Laboratony for Novel Distributed Computer Software Technology, 250014,Jinan,China)

Abstract An adaptive data hiding method is proposed that encapsulates forbidden zone data hiding in order to improve the robustness of the watermark under the premise of ensuring the subjective quality of host video and the invisibility of the watermark. The algorithm based on human visual masking characteristics calculates each block’s variance and energy and then selects the range of forbidden zone and the embedding strength according to the two values. The proposed method is tested with H.264/AVC compression and strong common signal processing attacks, such as Gaussian filtering, to compare with the original algorithm. The simulations indicate that the method is more robust against attacks such as noise and compression, and can be successfully utilized in video data hiding applications.

Key words video watermarking; H.264/AVC; quantization; variance