

基于视频内容和混沌的鲁棒水印技术

刘飞 伍祥生 陈琼

(湖南师范大学信息技术系, 长沙 410081)

摘要 为了对视频数据进行有效保护,提出并实现了一种基于混沌序列映射灰度图像的数字水印技术。该技术首先根据视频的内容选择嵌入区域,把由混沌序列转化的平滑灰度图像嵌入到选择的区域中;然后在检测时,可通过零均值化来消除载体图像对检测的影响,且检测过程不需要原始图像。实验结果表明,这种基于视频内容和混沌的数字水印技术不仅具有良好的安全性,而且对均值滤波攻击、有损压缩攻击等均有较好的鲁棒性。

关键词 数字视频 混沌 线性共谋攻击 直方图 数字水印

中图法分类号: TP309 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2008)03-0411-04

Robust Watermarking Technique Based on Chaos and Video Contents

LIU Fei, WU Xiang-sheng, CHEN Qiong

(The Department of Information Technology, Hunan Normal University, Changsha 410081)

Abstract In this paper, a new watermarking technique based on chaos and video contents is proposed and implemented. A chaotic sequence which is generated by a secret key as seed is automatically transformed to two-value image, and eventually converted to gray image. Selected parts of the gray image are embedded in the corresponding parts of a video frame. The selection of parts is based on the histogram of the video frame so as to embed watermark into smooth parts of the video frame. This algorithm can resist some attacks such as averaging filtering, loss compression.

Keywords digital video, chaos, linear collusive attack, histogram, digital watermarking

1 引言

随着 Internet, VOD, IPTV 等媒体传播方式的不断发展普及,数字媒体信息的获取和传播越来越容易,相应的其版权保护问题也日益突出,而数字水印技术就是为数字媒体提供版权保护的有效手段,如今人们已提出了各种数字水印算法用来保护版权。文献[1]、[2]把视频分成运动和非运动区域后,分别在小波变换域嵌入水印,使得水印嵌入过程适应原始动态图像内容。文献[3]、[4]提出了视频水印抗共谋攻击的条件,并提出基于图像内容定位的数字水印嵌入方式,进一步提高了水印抗共谋攻击的能力。本文的贡献在于:提出并实现了一种基于混

沌序列和图像直方图特征的数字水印算法,该算法通过分析图像直方图特征,把由混沌序列转化的低频灰度图像嵌入到载体图像的特定区域。实验结果表明,本文所设计的算法对均值滤波和有损压缩均有较好的鲁棒性。同时,由于水印图像具有极好的低频特性以及可根据图像内容选择嵌入区域,从而使得嵌入的水印对线性共谋攻击也具有较好的鲁棒性和安全性。

2 算法设计方案

在视频水印的研究中,嵌入水印技术是一个研究热点和难点。如何将水印嵌入到视频图像中的方案很多,例如,有人提出将水印直接嵌入在原始视频

基金项目:湖南省教育厅项目(04C204)

收稿日期:2006-07-31;改回日期:2006-09-01

第一作者简介:刘飞(1981~),男。湖南师范大学计算机软件与理论专业研究生。研究方向为视频数字水印技术。通讯作者:伍祥生,

E-mail: wxs@hunnu.edu.cn

流中;也有人将水印嵌入在编码阶段的离散余弦变换(DCT)的直流系数(DC)中。为了对视频进行更有效的保护,本文提出了一种基于混沌序列和图像直方图特征的数字水印算法,即通过分析图像直方图特征把由混沌序列转化的低频灰度图像嵌入到载体图像的特定区域。

2.1 水印生成

用由混沌序列转化的低频特性很好的灰度图像作为嵌入载体中的水印。载体为 352×288 的 CIF 格式视频序列。类似于文献[5]中的步骤,本文用密钥 K_1 作为种子,代入混合光学双稳态模型,即

$$X_{n+1} = A \sin^2(X_n - X) \quad (1)$$

式中, X_{n+1} 、 X_n 分别表示第 $n+1$ 次和第 n 次迭代产生的值, X_0 、 A 、 X 为常数。取 $X_0 = K_1$ 、 $A = 4$ 、 $X = 2.5$ 进行迭代,当 $X_{n+1} > X \times A/3$ 时, X_{n+1} 取 1, 否则取 0, 首先产生混沌序列;然后把生成的序列转换成 352×288 大小的矩阵,再对转换成的矩阵做 10 次细胞自动机处理和 2 次 7×7 的均值滤波处理,生成灰度图像;最后把其灰度压缩到 16 作为待嵌入的水印 W 。

2.2 水印嵌入算法

根据文献[3]、[4]的观点,基于内容选择的嵌入区域可以提高嵌入水印的抗线性共谋攻击的鲁棒性,本文提出的数字水印嵌入算法如下:

(1) 进行直方图分析 即先在原图像 I 的直方图上寻找像素数较多的宽度为 16 个灰度级的不重叠区域,然后选择其中的若干区嵌入水印。在原图像 I 上由对应于选择区域的像素构成原图像 I 上的区域 R_i , 其中 $i = 1, 2, 3, \dots$ 。

(2) 进行灰度调整 对每一个选定的区域 R_i , 把区域内像素的灰度调整到区域内像素灰度的中间值,这种调整对每个像素的灰度修改不会超过 8, 以形成新的图像 I_{new} 。

(3) 进行数字水印嵌入 对选择的每一个区域 R_i , 在水印图像 W 中,对应于 R_i 位置的区域为 W_i , 水印嵌入时,先把 W_i 内的像素做零均值处理,即使其平均值为 0;然后把 W_i 叠加到 R_i 上,直到处理完所有区域;最后形成的新图 \hat{I}_{new} 就是嵌入了水印的图像。

上述的嵌入方法是把直方图作为选择嵌入区域的依据。因为图像直方图与图像内容关系密切,且在内容相似的连续帧中,根据直方图选择的嵌入区域能够反映图像内容的相似性及帧间的变化,所以

该方法对多帧共谋攻击具有很好的鲁棒性。

2.3 数字水印检测

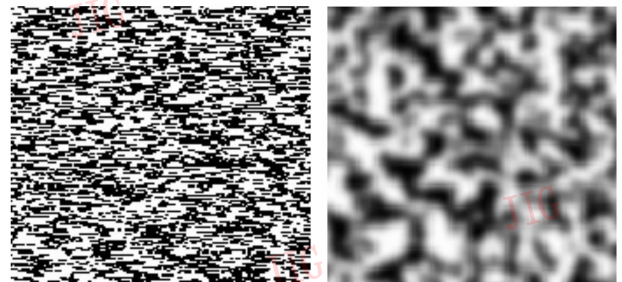
按照与水印嵌入时相同的方式在嵌入了水印的图像 \hat{I}_{new} 的灰度直方图上选择宽度为 16 灰度级的不重叠区域,它们在 \hat{I}_{new} 上的对应区域编号为 \hat{R}_i , 其中 $i = 1, 2, 3, \dots$ 。(受攻击的影响,对应关系在嵌入和检测时有点变化)。对于每一个区域 \hat{R}_i , 可先把区域内像素的灰度做零均值化处理,然后把得到的结果作为在区域 \hat{R}_i 检测到的水印 \hat{W}_i 。设在区域 $\hat{R}_i, \hat{R}_j, \dots$ 中检测到的水印为 $\hat{W}_i, \hat{W}_j, \dots$, 则可首先计算 $\hat{W}_i, \hat{W}_j, \dots$ 与水印 W 中对应于区域 $\hat{R}_i, \hat{R}_j, \dots$ 的 W_i, W_j, \dots 的相关系数,然后取其中的最大值作为检测结果。

3 实验结果

根据本文提出的基于视频内容和混沌的鲁棒性水印技术,运用 VC6.0 程序设计语言实现了所设计的算法,包括对视频序列进行嵌入水印、检测水印和鲁棒性分析等实验。

3.1 嵌入水印实验

在水印嵌入实验中,先用密钥 $K_1 = 12.345$ 生成混沌序列,然后转化成 352×288 大小的二值图像(图 1(a)),接着将图 1(a) 经过 10 次细胞自动机和 2 次 7×7 均值滤波处理生成灰度图像(图 1(b)),最后将图 1(b) 的灰度级范围压缩到 16 作为待嵌入的水印。



(a) 实验用的二值图像

(b) 处理后的灰度图像

图 1 实验用二值图像及处理后的灰度图像

Fig. 1 The two value image and the gray image after convert

本文实验所采用的原始视频图像如图 2(a) 所示。实验时,先使用 VC6.0 编写的程序分析其直方图(如图 2(b) 所示);然后通过程序分析,选择 $[192, 207]$ 和 $[208, 223]$ 两个灰度区间(图 2(b) 中

两个白色横线所示,分别对应图像中 A 区,B 区)的像素进行调整,即将两个灰度区间内所对应的像素灰度分别调整到 [199, 200] 和 [215, 216] 两个灰度区间,调整后的视频图像如图 3(a)所示。实验中所选择的与 A,B 两区对应的两个灰度区间的像素如图 3(b)、图 3(c)中的白色部分所示;它们在原视频图像和水印图像上分别用 R_A 、 R_B 和 W_A 、 W_B 表示。本文的实验是在 A,B 两区域嵌入水印,最后得到的嵌入了数字水印的视频图像如图 3(d)所示。

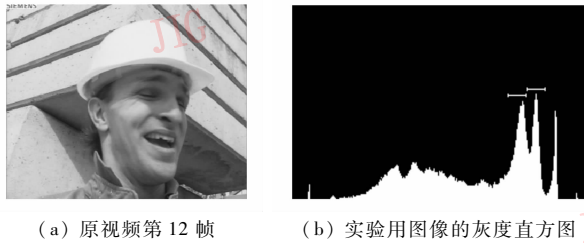


图 2 视频直方图分析

Fig. 2 One video frame and its histogram

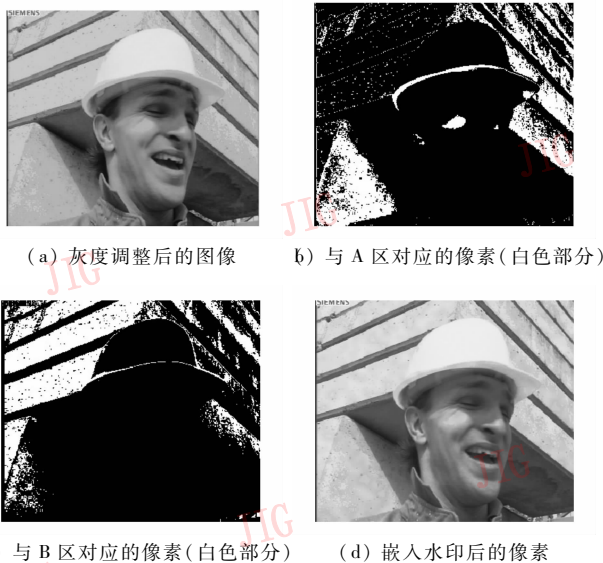


图 3 水印嵌入

Fig. 3 Image adjusting and watermark embedding

3.2 检测水印实验

在水印检测实验中,采用了水印嵌入同样的步骤;即首先使用软件,对加了数字水印的视频图像进行直方图分析,同时选择 \hat{A} 和 \hat{B} 两个灰度区间。它们所对应的像素分别如图 4(a)和图 4(b)中的白色部分所示。

然后,提取图 4(a)中与图 4(b)白色部分对应的区域(先把图 4(a)的白色部分置 1,黑色置 0,再

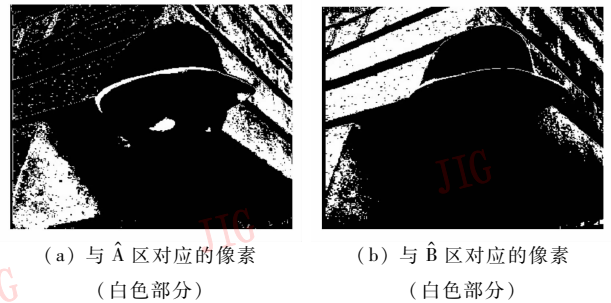


图 4 水印检测是图像分区

Fig. 4 Partitions in watermark detecting

与图 3(d)做内积,并做零均值处理后作为在 \hat{A} 区提取的水印 \hat{W}_A ;同样用图 3(d)与图 4(b)提取在 \hat{B} 区的水印 \hat{W}_B 。对于 \hat{W}_A 、 \hat{W}_B 分别求与水印 W 中对应区域 W_A 、 W_B 的相关系数,计算相关系数的公式如下(以 A 区为例):

$$\text{Cor}(\hat{W}_A, W_A) = \frac{\hat{W}_A \cdot W_A}{\sqrt{\hat{W}_A \cdot \hat{W}_A} \sqrt{W_A \cdot W_A}} \quad (2)$$

其中, \hat{W}_A 平均值为 0。在本实验中,对于 \hat{A} 区部分,计算出的相关系数为 0.986 04。对于 \hat{B} 区,其相关系数为 0.986 49。

4 鲁棒性分析

在本文的水印鲁棒性分析实验中,对嵌入水印后的图像做有损压缩攻击及 3×3 均值滤波攻击后的水印检测,其检测结果如表 1 所示。

表 1 不同攻击后的检测
Tab. 1 Detecting under different attacks

区域	不同攻击后的相关系数	
	有损压缩攻击	均值滤波
A	0.288 3	0.458 4
B	0.306	0.386

注:其中压缩攻击是用 8×8 DCT 变换后以 16 的步长量化模拟 MPEG 压缩

在实验中,由于嵌入水印所选择的嵌入区域是由载体内容的特点决定的,因此对于任意的两帧 F_m 、 F_n ,设实际嵌入到其中的水印为 W_m 、 W_n (都是水印 W 中的区域),则根据下式

$$\text{Cor}(W_m, W_n) = \frac{W_m \cdot W_n}{\sqrt{W_m \cdot W_m} \sqrt{W_n \cdot W_n}} \quad (3)$$

可知,如果 W_m 与 W_n 重叠越多,则 $\text{Cor}(W_m, W_n)$ 越

大,即相关性越大。同时,若 F_m, F_n 越相似(相关性大),则对于选定的灰度区域在 F_m, F_n 中得到的 P_m, P_n 的重叠区域就越多,其对应 W_m, W_n 的重叠区域也就越多,可以认为 $\text{Cor}(W_m, W_n) \propto \text{Cor}(F_m, F_n)$ 。根据文献[3]、[4]的观点,本算法符合抗线性共谋攻击的要求。

最后,在实验中使用了无水印的原视频图像与由 K_1 生成的水印视频图像进行检测,在 A 区检验得到的相关系数为 0.038, B 区为 -0.02;同时用一系列(800 个)不同密钥 $K \neq K_1$ 生成的水印做检测,检测得到的相关系数如图 5 所示。

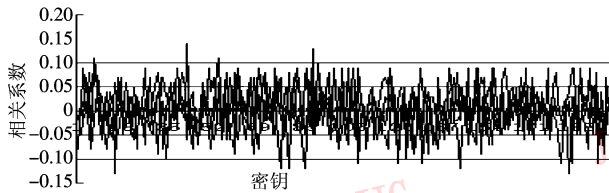


图 5 用其他密钥检测特定水印

Fig. 5 Detecting watermark using different key

从图 5 可见,若取相关系数 0.20 为阈值,就能检测受到 JPEG/MPEG 攻击和均值滤波攻击后的水印,而且准确度也较高。

5 结 论

在图像颜色变化平缓的区域嵌入水印,人眼对水印引起的图像对比度的变化敏感,而本文提出的嵌入微弱的低频零均值水印的方式,嵌入水印后的图像对比度却跟原图像相差不大,同时由混沌序列

经过细胞自动机生成的水印还具有很好的安全性、保密性。本文的不足在于通过灰度区间来选择图像区域的方式并不能精确得到图像颜色变化的平缓区域,往往有些差别,有时候差别还很大,且不稳定。同时在水印嵌入和检测过程中,由于还要过多利用直方图,因此对直方图均衡的鲁棒性较差。下一步,将研究利用图像分割和通过密钥选择图像区域来嵌入水印,以发展更加健壮的水印模式。

参考文献 (References)

- 1 Niu Xia-mu, Sun Sheng-he. Adaptive multiresolution video watermarking technique [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2001, **33**(4): 499 ~ 504. [牛夏牧,孙圣和. 自适应多分辨率动态图像水印处理技术[J]. 哈尔滨工业大学学报, 2001, **33**(4): 499 ~ 504.]
- 2 Niu Xia-mu, Lu Zhe-ming, Sun Sheng-he. Digital watermarking technique based on multiresolution decomposition [J]. Acta Electronica Sinica, 2000, **28**(8): 1 ~ 4. [牛夏牧,陆哲明,孙圣和. 基于多分辨率分解的数字水印处理技术[J]. 电子学报, 2000, **28**(8): 1 ~ 4.]
- 3 Su Karen, Kundur Deepa, Hatzinakos Dimitrios. A content-dependent spatially localized video watermark for resistance to collusion and interpolation attacks [A]. In: Proceedings of International Conference on Image Processing [C], Thessaloniki, Greece, 2001, **1**: 818 ~ 821.
- 4 Su Karen, Kundur Deepa, Hatzinakos Dimitrios. Statistical invisibility for collusion-resistant digital video watermarking [J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2005, **7**(1): 43 ~ 51.
- 5 Wang Li-na, Yang Jing-hui, Zhang Huang-guo, et al. Digital watermarking pattern based on chaos and cellular automata [J]. Acta Electronica Sinica, 2004, **32**(4): 580 ~ 582. [王丽娜,杨景辉,张焕国等. 基于混沌与细胞自动机的数字水印模式[J]. 电子学报, 2004, **32**(4): 580 ~ 582.]