

一种基于 DCT 量化的视频水印算法^{*}

赵杰

(商洛学院 电子信息与电气工程学院 商洛 726000)

摘要: 图像水印技术已经得到了一定的发展,但数字视频水印的研究仍是一个难点。为了更好地保护视频数据的版权,提出了一种新的视频水印算法。对图像帧的亮度分量其进行分块,每块进行离散余弦变换,把水印数据通过正负量化嵌入到各分块的低频系数中去。为增强算法的安全性,将原始水印图像和随机二值图像作为细胞神经网络(CNN)的输入,输出的图像再被用来进行进一步嵌入操作。载体视频中的部分图像帧被用来进行多次水印嵌入。实验结果表明该方法具有较好的鲁棒性,而且算法简单,便于视频实时处理。

关键词: 视频水印;量化;离散余弦变换

中图分类号: TP2 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 512.4099

Video watermarking algorithm based on DCT quantization

Zhao Jie

(School of Electronic Information and Electrical Engineering, Shangluo University, Shangluo 726000, China)

Abstract: Image watermarking technology has been developed rapidly, but the research of digital video watermarking is still difficult. In order to protect the copyright of digital video content, a novel video watermarking method using positive and negative quantization was presented in this paper. Some selected video frames were used to embed watermark information. The brightness component of the carrier video frame was divided into several blocks. Each block was implemented discrete cosine transform(DCT). The watermark was embedded in the low frequent DCT coefficients. The watermark embedding and extraction were based on positive and negative quantitative manner. In order to enhance the security of the algorithm, the watermark image and the random binary image were used as the inputs of the cellular neural network (CNN), and the output was used for embedding. The experimental results had shown the robustness of this method to common attacks. This method is simple, and is convenient for real-time video processing.

Keywords: video watermarking; quantization; discrete cosine transform

1 引言

技术的发展使得数字内容的版权保护成为社会的热点问题。数字水印技术作为数字内容认证的重要手段,吸引了很多学者和机构进行相应的研究。以数字图像为保护载体的水印技术已经有了一定积累,学者们提出了一系列采用不同方式的算法^[1-3],取得了一定的成果。在当前社会生活及相关产业中,数字视频已成为重要的媒体介质,对视频的版权保护也显得刻不容缓。人们已经提出针对数字视频的水印算法^[4-8],但相对于普通的数字图像,视频媒体的数据量要大得多。更重要的是,视频本身数据量大,而很多应

用需要的采集或处理速度越来越高^[9],要求视频水印算法的运算复杂度要尽量降低,否则,即便算法其他特性再优秀,面向实际应用也存在困难^[10-11]。

本文以离散余弦变换(DCT)为基础,提出一种新的视频水印算法。为抵抗随机掉帧情况或刻意掉帧攻击,选择将水印信息加入到视频载体中的若干帧中。提取选定帧的亮度分量,对其进行分块DCT变换,根据水印信息的取值,对小块的低频系数进行正负量化调整。为增强安全性,先生成一个与水印图像同样大小的随机二值图像,将这两幅图像送至细胞神经网络(CNN)中进行特定运算,将输出图像用来实施嵌入。

收稿日期:2015-09

* 基金项目:陕西省科技厅基金(2014JM2-6122)资助项目

2 水印加密

目前, CNN 在图像处理方面已经有了一定应用, 专门的 CNN 并行处理器也已出现^[12]。CNN 图像处理的基础在于其阵列单元的并行计算。对于一个二维 CNN 阵列, 每个神经元只考虑其周围一定范围内的其他神经元作用, 此范围记为 r 。如果一个阵列单元大小为 $M \times N$, 其每个神经元 c_{ij} 的计算可用下式来表示:

$$\dot{x} = -x_{ij} + \sum_{k,l \in N_r(i,j)} B_{k,l} u_{k,l} + \sum_{k,l \in N_r(i,j)} A_{k,l} y_{k,l} + I \quad (1)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, M, j = 1, 2, \dots, N$ 。 c_{ij} 的当前状态用 x_{ij} 表示, $u_{k,l}$ 为 c_{ij} 的输入, $y_{k,l}$ 为 c_{ij} 的当前输出, c_{ij} 相邻的 r 范围内的其他神经元用 $N_r(i, j)$ 表示; $A_{k,l}$ 和 $B_{k,l}$ 分别称为反馈模板和控制模板; I 为神经元内部的阈值。输出方程表示如下:

$$y_{i,j} = \frac{1}{2} (|x_{i,j} + 1| - |x_{i,j} - 1|) \quad (2)$$

如果一个 CNN 阵列的反馈模板 A 、控制模板 B 和阈值 I 确定, 那么其状态 x_{ij} 、输入 $u_{k,l}$ 和输出 $y_{k,l}$ 之间的运算关系也随之确定。选取不同的模板, 可以对图像进行不同的操作^[13], 这样就可以借助其对水印图像进行运算加密。

3 亮度分量提取

目前数字视频一般都是彩色视频, 对其处理时考虑到图像的颜色。在允许条件下, 应尽量充分利用图像的色彩信息, 以便获得良好的效果^[14]。但视频水印系统应具有较好的不可见性, 嵌入强度不宜过大, 处理时间要尽可能短以适应实时性要求, 因此, 本文只根据加密后的信息对图像帧的亮度分量进行修改, 而对其他色彩信息不进行其他操作。一般彩色图像亮度分量的提取可以通过从 RGB 色彩系统到 YIQ 色彩系统的转换来实现^[15]:

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.274 & -0.322 \\ 0.211 & -0.523 & 0.312 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$\begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.956 & 0.621 \\ 1 & -0.272 & -0.647 \\ 1 & -1.106 & -1.703 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} \quad (4)$$

4 本文算法

由于水印信息是在多帧中嵌入, 为方便起见, 这里只需描述待嵌入的某帧图像 P 的处理过程, 原水印图像是有意二值图像, 大小为 $M_w \times N_w$, 记为 W 。

嵌入前对水印进行置乱预处理, 并生成一个和原水印图像同样大小的随机二值图像 C , 将二者作为 CNN 网络的输入, 其运算后的输出记为 W_s 。

将待处理帧 P 转换至 YIQ 系统, 然后提取其亮度分量, 这里记作 P_Y 。

把 P_Y 分成 $M \times N$ 个 8×8 的小块 $P_{YB}(x, y)$, $x = 1,$

$2, \dots, M; y = 1, 2, \dots, N$, 一般可取 $M = M_w, N = N_w$ 。

对每个 $P_{YB}(x, y)$ 小块进行 DCT 变换, 从中选择一个低频交流系数, 记为 $d(x, y)$ 。

对该交流系数进行正负量化调制: 如果 $W_s(x, y) > 1$, 则 $d(x, y) = \delta/t(x, y)$; 否则 $d(x, y) = -\delta/t(x, y)$ 。

其中 $t(x, y)$ 为 JPEG 亮度量化表中对应位置的量化值, δ 为调制系数。

$d(x, y)$ 进行正负量化修改后, 再对每小块进行 DCT 反变换, 这样水印信息就加入到图像帧的亮度分量中, 加上转换后未处理的 I, Q 分量, 再还原至 RGB 系统, 至此, 就完成了单个图像帧的水印嵌入过程。

提取时将待测图像帧 P' 转换至 YIQ 系统, 然后提取其亮度分量, 这里记作 P'_Y 。

把 P'_Y 分成 $M \times N$ 个 8×8 的小块 $P'_{YB}(x, y)$, $x = 1, 2, \dots, M; y = 1, 2, \dots, N$ 。

对每个 $P'_{YB}(x, y)$ 小块进行 DCT 变换, 每个小块提出和嵌入时同样位置的低频系数, 记为 $d'(x, y)$ 。若 $d'(x, y) > 0$, 则 $W'_s(x, y) = 1$; 否则 $W'_s(x, y) = 0$ 。

将 $W'_s(x, y)$ 和 C 作为 CNN 网络的输入, 对其运算后的输出利用嵌入时的置乱密钥进行反置乱, 得到 W' 。再对比 W 和 W' , 计算其相似程度, 来判定水印是否真实存在。

可向多帧中同时加入水印, 以减小丢帧所带来的影响; 为抵抗剪切攻击, 可选取一部分小块进行水印嵌入。

5 实验结果

仿真软件采用 MATLAB 7.0, 原始水印为含有“slxy”4 个字母的二值图像。为了定量地描述嵌入水印后视频帧相对原始帧的图像质量变化, 可用峰值信噪比 (PSNR) 来计算^[16]。 W 和 W' 的相似程度即相似度 (SIM) 可按下面公式计算。

$$SIM = \frac{\sum_x \sum_y W(x, y) W'(x, y)}{\sqrt{\sum_x \sum_y W^2(x, y)}} \quad (5)$$

原始的某帧及原始水印如图 1 所示。

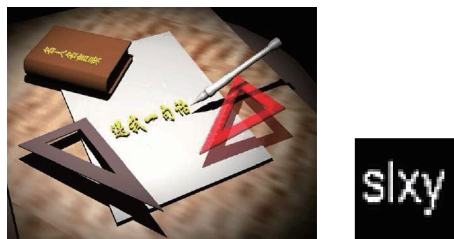


图 1 原始帧和水印

嵌入信息后的帧及提取出的水印如图 2 所示。

将视频流中的若干帧加入水印, 这些帧嵌入水印前后 PSNR 值均在 38~40, 如图 3 所示, 这表明本算法的不易

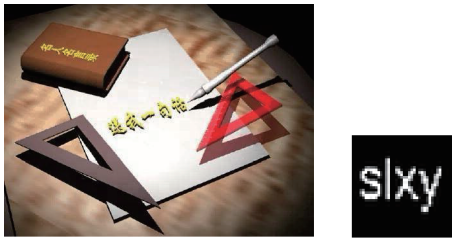


图 2 嵌入水印后的帧和提取出水印

觉察性良好,也未使视频质量有明显降低。

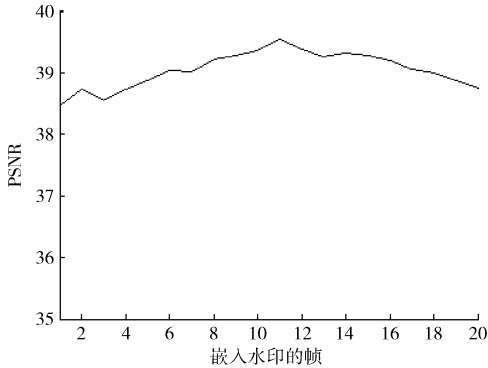


图 3 嵌入水印视频帧的 PSNR

按照之前过程,将水印嵌入到视频中的若干帧中,对视频进行随机去帧测试,仍可以从中恢复出水印信息。对这些嵌入水印的图像帧分别添加高斯噪声、添加椒盐噪声、高斯低通滤波和剪切(并填充黑色)等处理,测试相应相似度,结果如表 1 所示。

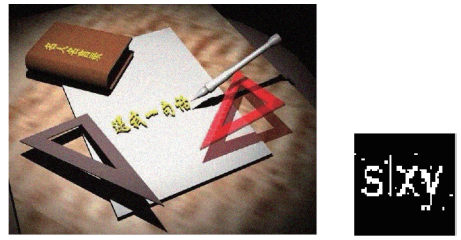
表 1 攻击测试

处理方式	本文 SIM 值	文献[3]SIM 值
高斯噪声(0,0.001)	0.933 5	0.879 1
高斯噪声(0,0.002)	0.927 2	0.770 0
高斯噪声(0,0.003)	0.901 6	0.694 8
均值滤波 3×3	0.876 1	0.831 5
剪切 10%	0.874 8	0.878 1
剪切 20%	0.820 3	0.810 5

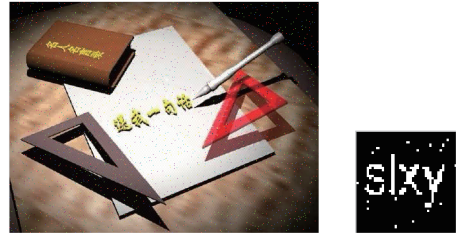
为获得直观效果,图 4 给出了在遭受攻击情况后提取水印的部分结果。

6 结 论

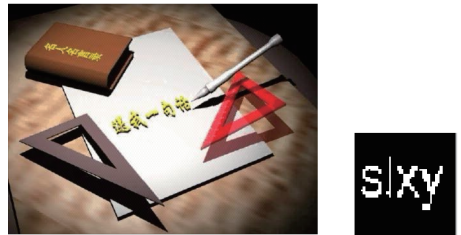
本文主要采用对视频帧的亮度分量进行分块并对其 DCT 系数进行正负量化调制的方式来实现将水印信息的嵌入。同时利用 CNN 相当于进行了双重加密,提高了算法的安全性。通过实验仿真,证实了该水印系统较好的保真度和健壮性,所采用的变换与运算系统目前均可以硬件



(a) 高斯噪声 (0,0.003)



(b) 椒盐噪声 (0.02)



(c) 高斯低通滤波

图 4 部分攻击结果

实现,具有一定实用性。

参考文献

- [1] 张晓强,王蒙蒙,朱贵良. 图像水印算法研究新进展[J]. 计算机工程与科学, 2012, 34(4): 17-22.
- [2] 吴婷婷,李星野,倪时金. 数字水印算法综述[J]. 电子世界, 2012 (18): 86-87.
- [3] KULKARNI P, BHISE S, KHOT S. Review of digital watermarking techniques [J]. International Journal of Computer Applications, 2015, 109(16): 40-44.
- [4] 吴一全,庞磊,吴诗姘. 基于 NSCT 域核模糊聚类的视频水印算法[J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(7): 1462-1469.
- [5] 吕高岩,张永平,梁凤梅等. 视频水印技术综述[J]. 电视技术, 2012, 36(21): 24-29.
- [6] 杜耀刚,胡凡. 基于 Simmons 门限理论的视频水印算法[J]. 计算机仿真, 2013, 30(5): 408-412.
- [7] 胡棚,施惠娟. 基于视觉掩蔽模型的视频水印算法[J]. 电子测量技术, 2014, 37(12): 36-40.
- [8] POTKAR A N, ANSARI S M. Review on digital video watermarking techniques [J]. International Journal of Computer Applications, 2014, 106(11):

- 12-13.
- [9] 辛光泽, 侯宏录, 李飞, 等. 基于 Camera Link 接口的高速视频图像采集系统[J]. 国外电子测量技术, 2014, 33(3): 85-88.
- [10] 林辉, 吴黎明, 潘启军, 等. 基于 FPGA 的实时视频处理平台设计[J]. 计算机测量与控制, 2012, 20(1): 196-198.
- [11] 周望, 方勇, 浦伟, 等. 一种安全的数字视频水印算法[J]. 信息安全与通信保密, 2012(7): 111-112.
- [12] 王巍, 安友伟, 黄展, 等. 基于 CNN 的红外图像边缘检测算法的 FPGA 实现[J]. 光子学报, 2012, 41(11): 1354-1358.
- [13] 王怀颖, 杨立瑞, 章毓晋. 基于 CNN 的康普顿背散射图像中违禁品分割方法[J]. 电子学报, 2011, 39(3): 549-554.
- [14] 王蒙军, 刘冉, 王志刚, 等. 脉冲同步发放特性实现彩色交通标志分割[J]. 仪器仪表学报, 2013, 34(11): 2605-2613.
- [15] 李晓芬, 金炜, 安凯圣, 等. 基于小波变换和彩色变换的多聚焦图像融合[J]. 无线电通信技术, 2015, 41(2): 85-88.
- [16] 陈健, 郑绍华, 余轮, 等. 基于方向的多阈值自适应中值滤波改进算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(2): 156-161.

作者简介

赵杰, 讲师, 主要研究方向为图像处理、模式识别等。
E-mail: slxyzj@163.com

(上接第 50 页)

参考文献

- [1] 陈丽锋, 孟瑞, 冯希. 频率测量研究综述[J]. 电子科技, 2011, 24(7): 155-159.
- [2] 张同尊, 邵俊松, 方勇杰. 一种基于离散傅里叶变换的频率测量算法[J]. 电力系统自动化, 2007, 31(22): 70-72.
- [3] 曹燕. 含噪实信号频率估计算法研究[D]. 广州: 华南理工大学, 2012: 12-13.
- [4] 贺同, 陈星, 洪龙. 基于 FPGA 的全相位 FFT 高精度频率测量[J]. 电子测量技术, 2013, 36(8): 80-83, 88.
- [5] 马阳阳, 李京华, 张燕荣. 基于 FFT 幅度和相位插值的频率估计改进算法[J]. 计算机与数字工程, 2012, 40(8): 39-41.
- [6] 乔建华, 张雪英. 用 DFT 对连续信号谱分析的误差问题[J]. 现代电子技术, 2014(13): 53-56.
- [7] 齐国清. 几种基于 FFT 的频率估计方法精度分析[J]. 振动工程学报, 2006, 19(1): 86-92.
- [8] 谢胜, 陈航, 于平. 基于 FFT 并二次修正的 Rife 频率估计算法[J]. 探测与控制学报, 2010, 32(4): 48-53.
- [9] 黄鹤, 彭晓. 基于离散傅里叶变换的频率测量方法与应用[J]. 湖南工程学院学报: 自然科学版, 2012, 22(3): 1-4.
- [10] 齐国清, 贾欣乐. 插值 FFT 估计正弦信号频率的精度分析[J]. 电子学报, 2004, 32(4): 625-629.

作者简介

季鸣, 1991 年出生, 硕士, 主要研究方向为自动测试、数据采集与电子测量。
E-mail: jiming828@126.com

(上接第 64 页)

- [9] 黎洁, 刘羽西. 基于隐马尔可夫模型的认知无线频谱切换方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2014, 28(1): 69-74.
- [10] 张新宇, 吴盘龙, 张廉政. 基于 IMM 的改进去偏转换测量目标跟踪算法[J]. 电光与控制, 2014, 21(12): 40-44.
- [11] 许天野, 徐雪松. 交互多模型算法在目标跟踪领域的应用[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(11): 116-119.
- [12] 王建平, 徐恒. 基于卡尔曼滤波的矿井移动节点定位算法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2013, 27(2): 120-126.
- [13] 欧阳广帅, 周晶. 基于卡尔曼滤波的高精度弹道滤波算法研究[J]. 电子测量技术, 2014, 37(11): 16-24.
- [14] 封普文, 黄长强. 马尔可夫矩阵修正 IMM 跟踪算法[J]. 系统工程与电子技术, 2013, 35(11): 2267-2274.
- [15] 刘静, 姜恒, 石晓原. 卡尔曼滤波在目标跟踪中的研究与应用[J]. 信息技术, 2011, 10(28): 174-177.

作者简介

罗宇锋, 博士, 副教授, 主要研究方向为智能控制、导航制导与无线定位等。
陈彦峰, 硕士研究生, 主要研究方向为无线定位与导航。
E-mail: cyflyywin@163.com