

HSV 色彩空间盲嵌入盲检测盲提取 DCT 域视频水印*

刘召斌, 李跃强

(怀化医学高等专科学校 公共课部, 湖南 怀化 418000)

摘要: 提出了一种基于欧拉数及 HSV 色彩空间的视频水印离散余弦变换(DCT)算法。在视频中选择欧拉数较小的帧, 在 HSV 色彩空间亮度分量 DCT 中频系数中嵌入水印。该算法能实现盲嵌入、盲检测和盲提取, 且健壮性强、透明性好, 能经受噪声、滤波、剪切、压缩、帧插入及删除等图像、视频处理与攻击。

关键词: 视频水印; 欧拉数; HSV; 盲嵌入; 盲检测; 盲提取; DCT

中图分类号: TN918

文献标识码: A

文章编号: 1674-7720(2012)11-0047-04

A DCT algorithm of HSV, blind embedding, blind detection and blind extraction in video watermarking

Liu Zhaobin, Li Yueqiang

(Department of Public Course, Huaihua Medical College, Huaihua 418000, China)

Abstract: This paper presents a new DCT algorithm of video watermarking based on euler number and HSV. Less euler number frames of the video are chosen, value component of HSV is transformed by DCT, and the watermarking messages has been embedded into intermediate frequency of the DCT coefficient. Blind embedding, blind detection and blind extraction can be realized. The proposed algorithm is hidden, transparent and robust. It is proof against common image and video processing and attack, such as noise, filter, cut, compression, insert and erase etc.

Key words: video watermarking; euler number; HSV; blind embedding; blind detection; blind extraction; DCT

视频水印技术作为一种有效的数字视频版权保护技术, 是目前数字水印技术研究的一个热点和难点。与静止图像水印相比, 数字视频水印具有如下的特点:

(1) 视频水印对健壮性要求高。针对视频水印的攻击比图像水印多, 除几何攻击(如剪切、旋转等)、噪声攻击(加椒盐噪声、泊松噪声、高斯噪声等)、滤波攻击(线性滤波、中值滤波、自适应滤波)、亮度及饱和度改变等帧内攻击外, 还有帧间攻击(如帧插入、帧删除、帧交换)、共谋攻击(如帧平均)和编码压缩攻击(如 MPEG 压缩、AVS 压缩、H.264 压缩)等视频水印特有的攻击。因此, 在健壮性方面对视频水印提出更高的要求。近几年来, 视频水印研究涌现出不少健壮算法^[1-3]。

(2) 视频水印对透明性提出了新要求。视频数据量庞大、存在较多的数据冗余, 有利于隐藏更多的信息。从透明性考虑, 通常不在每一帧都嵌入水印, 而是有选择

性地在某些帧嵌入水印。如何选择水印嵌入帧, 使之不容易被隐写分析者发现, 成为视频水印研究的一个重要内容。近几年来, 利用图像的某些特征值来选择水印嵌入帧正成为研究内容之一^[4-7]。

本文提出一种用欧拉数作为特征值来选取视频水印嵌入帧, 在 HSV 色彩空间亮度分量 DCT 中频系数中嵌入水印的算法。该算法能实现盲嵌入、盲检测和盲提取, 且健壮性强、透明性好, 能经受噪声、滤波、剪切、压缩、帧插入及删除等图像、视频处理与攻击。

1 HSV 色彩空间

色彩描述可分为基色与色、亮分离色彩空间两大类, 前者典型的是 RGB 色彩空间, 后者典型的是 HSV 色彩空间。

RGB 色彩空间由红(R)、绿(G)、蓝(B)三基色组成, 各分量之间耦合比较强, 任何一个分量的变化都会影响色彩的比例, 使图像的色彩发生变化。

* 基金项目: 湖南省教育厅科研基金项目(05C020)

HSV 色彩空间由 H 、 S 、 V 3 个分量组成, H 、 S 、 V 分别代表色相(又称色调)、纯度(又称饱和度)和明度(又称亮度)。HSV 色彩空间模型为一个倒圆锥体,如图 1 所示。圆锥的顶面对应于 $V=1$, 代表的颜色最亮, 锥角处 $V=0$, 代表的颜色最暗; 色调 H 由围绕 V 轴逆时针旋转的角度表示, 其中红色对应于 0° , 黄色对应于 60° , 绿色对应于 120° , 深蓝色对应于 180° , 蓝色对应于 240° ; 饱和度 S 由轴心向锥体圆周过渡, 表示饱和度由低到高。

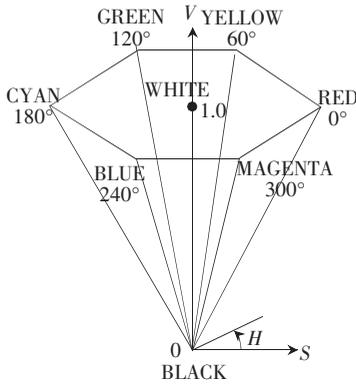


图 1 HSV 色彩空间模型

虽然 HSV 色彩空间的圆锥模型比较复杂, 但各分量之间联系相对独立, 图像彩色信息主要体现在色调和饱和度上, 改变亮度对色调和饱和度影响较小, 能较好地保留图像的彩色信息, 便于对各分量分别处理。

2 算法设计

在本文提出的视频水印算法设计中, 考虑到透明性、健壮性及图像质量等因素, 采取如下算法:

(1) 在欧拉数较小的帧嵌入水印。在几何理论中, 图像的宏观形态可以用拓扑性质来度量。欧拉数 E 是图像的一种拓扑量, 它是图像的连通区域数 C 与图像的空洞数 B 之差:

$$E = C - B \quad (1)$$

例如某幅图像的欧拉数为 -100 , 说明该图像的空洞数比对象多 100 个。由于图像具有拓扑的连通性, 在平移、旋转、拉伸、压缩及扭曲后, 其连通性不会发生改变, 因此, 欧拉数可作为图像的一个特征量, 用于选择特定的视频帧来嵌入水印。

用欧拉数作为帧的特征值, 对视频水印来说有以下优势:

① 由于视频是由大量静止的帧图像组成的序列, 因此能在众多的帧图像中选择欧拉数较小的帧嵌入水印。

② 能实现盲嵌入和盲检测。能在众多视频帧中选择满足欧拉数区间的帧来嵌入水印, 无需事先指定嵌入水印的视频帧, 从而实现盲嵌入; 能在众多的已嵌入水印的视频帧中选取检测出满足欧拉数区间的帧, 无需事先指定含水印的视频帧, 从而实现盲检测。

③ 不但能抵抗帧插入、帧交换、帧删除等攻击, 还能提高透明性。

(2) 在 HSV 色彩空间的亮度分量中嵌入水印。HSV 色彩空间亮度的改变对彩色信息影响较小, 嵌入水印后能较好地保留图像的色调和饱和度, 可以较好地保证图

像质量。另一方面, 把水印嵌入到视觉最敏感的亮度分量, 可提高水印的健壮性。

(3) 采用离散余弦变换(DCT)嵌入水印。目前大部分视频压缩格式(如 MPEG-I、MPEG-II、ITU-T 的 H.261 和 H.263 等)变换均采用 DCT, 因此, 视频水印采用 DCT 比较适合。

3 水印嵌入

水印的嵌入步骤如下:

(1) 选择欧拉数较小的视频帧。将视频的 RGB 图像转换成单色二值图像, 计算出图像的欧拉数, 选择视频欧拉数较小的帧作为水印嵌入帧。

(2) 采用有意义的二值图像作为水印。水印采用有意义的二值图像, 即使水印信息有部分的损失, 由于人眼的分辨率的原因, 水印信息仍能正确辨识。为增强水印的安全性, 将水印图像实施 Arnold 置乱。将置乱后的水印图像转换成 0-1 位串序列, 经转换后的 0-1 位串序列可以表示为:

$$W = \{w_i | w_i \in (0, 1), i = 1, 2, \dots, m \times n\} \quad (1)$$

其中, m 、 n 分别为二值图像的宽度和长度。

(3) 将 RGB 色彩空间转换为 HSV 色彩空间。由 RGB 到 HSV 色彩空间的转换表达式如下:

$$H = \begin{cases} \text{undefined, if } Max = Min \\ 60^\circ \times \frac{G-B}{Max-Min} + 0^\circ, \text{ if } Max = R \text{ and } G \geq B \\ 60^\circ \times \frac{G-B}{Max-Min} + 360^\circ, \text{ if } Max = R \text{ and } G < B \\ 60^\circ \times \frac{B-R}{Max-Min} + 120^\circ, \text{ if } Max = G \\ 60^\circ \times \frac{R-G}{Max-Min} + 240^\circ, \text{ if } Max = B \end{cases} \quad (2)$$

$$S = \begin{cases} 0, \text{ if } Max = 0 \\ \frac{Max-Min}{Max} = 1 - \frac{Min}{Max}, \text{ otherwise} \end{cases}$$

$$V = Max$$

(4) 对亮度分量 V 分块并实施 DCT 变换。将亮度分量 V 划分为 8×8 的块 $V_b(u, v)$ ($u, v = 1, 2, 3, \dots, 8; b = 1, 2, 3, \dots$), 然后实施 DCT 变换, 得到 DCT 系数 M :

$$M_b = \text{DCT}(V_b) \quad (3)$$

(5) 在 DCT 系数中嵌入水印。为兼顾健壮性和透明性, 仅对 M_b 的 4 对 DCT 中频系数进行修改, 如图 2 所示, 从而嵌入水印。方法如下:

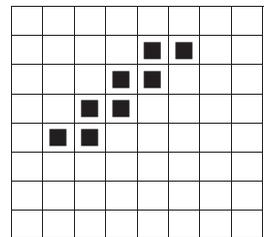


图 2 修改 DCT 系数

① 当水印为“0”时, 若 $|M_m| \geq |M_n|$, 则 $|M_m|$ 减少、 $|M_n|$ 增加, 直到 $|M_m| < |M_n| - k$;

② 当水印为“1”时, 若 $|M_m| < |M_n|$, 则 $|M_m|$ 增加、 $|M_n|$ 减少, 直到 $|M_m| \geq |M_n| + k$ 。

《微型机与应用》2012 年第 31 卷第 11 期

其中, k 的取值在 5~20 之间, 当 k 值取较大时, 会增加健壮性, 降低透明性; 当 k 值取较小时, 会增加透明性, 降低健壮性。本实验取 $k=15$ 。

(6) 重构视频帧。对已嵌入水印的 DCT 系数 M_{bw} 实施逆离散余弦变换 (IDCT), 得到已嵌入水印的视频帧亮度分量 V_w :

$$V_w = \text{IDCT}(M_{bw})$$

将亮度分量 V_w 与 H 、 S 分量合成为嵌入水印的 RGB 视频帧。由 HSV 到 RGB 色彩空间的转换表达式如下:

$$\begin{aligned} H_i &= \left(\frac{H}{60} \right) \bmod 6 \\ F &= \frac{H}{60} - H_i \\ P &= V_w \times (1 - S) \\ Q &= V_w \times (1 - F \times S) \\ T &= V_w \times (1 - (1 - F) \times S) \\ (R, G, B)_w &= \begin{cases} (V_w, T, P), & \text{if } H_i = 0 \\ (Q, V_w, P), & \text{if } H_i = 1 \\ (P, V_w, T), & \text{if } H_i = 2 \\ (P, Q, V_w), & \text{if } H_i = 3 \\ (T, P, V_w), & \text{if } H_i = 4 \\ (V_w, P, Q), & \text{if } H_i = 5 \end{cases} \end{aligned} \quad (4)$$

最后得到嵌入水印的 RGB 视频帧。

4 水印提取

提取水印是嵌入水印的逆过程。在已嵌入水印的视频选取欧拉数较小的帧, 将选中的帧由 RGB 色彩空间转换成 HSV 色彩空间, 对亮度分量 V 进行分块, 然后对每块分别实施 DCT 变换得到 DCT 系数, 比较 4 对中频系数便可提取水印。

水印提取方法为: 若 $|M_m| \geq |M_n|$, 提取水印为“1”, 否则为“0”。

这样便得到水印序列, 将一维水印序列转换为二维图像, 再通过 Arnold 变换还原成有意义的图像。显然, 提取水印无需原始帧、原始水印的参与, 属盲提取。

5 仿真与检测

将一个无压缩、AVI 格式的真彩色广告片作为样本, 其总帧数为 500 帧, 宽、高分别为 360 像素、288 像素, 帧速为 25 f/s, 大小为 155.5 MB。

将一个尺寸为 32×32 、大小为 198 B、单色二值 BMP 格式的天平图像作为水印图像, 如图 3(a) 所示, 对其实施 Arnold 置乱, 如图 3(b) 所示, 经降维后成为一维水印序列。



(a) 水印图像



(b) 水印图像置乱

图 3 水印图像及置乱图像

用欧拉数 $E \leq -340$ (若需要在更多的帧嵌入水印, 可增大 E 值) 的条件选取原始视频水印嵌入帧, 按上述

方法嵌入水印。结果选中了第 219、220、221、222、225 及 229 帧, 并嵌入了水印。

对已嵌入的视频仍以欧拉数 $E \leq -340$ 的条件来检测水印嵌入帧, 选出第 219、220、221、222、225 及 229 帧, 命中率达 100%。实际上, 视频帧被嵌入水印后, 其欧拉数 E 值会有较大幅度的减小, 故仍用欧拉数 $E \leq -340$ 的条件对检测已嵌入水印帧没有影响。

5.1 透明性评价

图 4(a) 是第 219 帧原始图像, 图 4(b) 是第 219 帧嵌入水印后的图像。从图 4 可以看出, 已嵌入水印的视频样本在主观视觉上与原始视频几乎没有区别, 说明嵌入水印后视觉上并没有明显的降质现象, 透明性好。



(a) 原始图像

(b) 嵌入水印后的图像

图 4 第 219 帧原始图像及嵌入水印后的图像

为消除主观影响, 对嵌入水印前后的视频帧用峰值信噪比 (PSNR) 进行客观的定量评价, PSNR 值在 43 以上, 说明其透明性好。

5.2 健壮性检测

为了检验水印的健壮性, 对已嵌入水印的视频用以下常见视频信号处理及转换。检测嵌入水印帧时, 可根据不同的处理来调整检测的条件。

(1) 添加强度为 0.01 椒盐 (Salt & Pepper) 噪声。
(2) 添加泊松 (Poisson) 噪声。添加泊松噪声后, 其欧拉数会有较大幅度的减小, 检测时可将欧拉数适当减小。本实验将检测条件调整为 $E \leq -480$, 能准确检测出全部水印帧。

(3) 中值滤波。由于经滤波处理后, 其欧拉数会有较大幅度的增加, 检测时可将欧拉数适当增加。本实验将检测条件调整为 $E \leq -240$ 。

(4) 先添加强度为 0.01 椒盐噪声, 再用中值滤波消除噪声。本实验将检测条件调整为 $E \leq -218$ 。

(5) 剪切。将视频帧左上角剪切 $64 \text{ pix} \times 64 \text{ pix}$ 点的方块 (用白色填充)。

(6) 将已嵌入水印的视频样本 AVI 格式转换成 MPEG-I 格式文件。AVI 格式的视频文件经 MPEG-I 压缩后, 大小由 155.5 MB 压缩为 1.7 MB。本实验将检测条件调整为 $E \leq -300$, 可准确提取全部水印。

为消除对提取水印图像的主观影响, 使用归一化相关系数 NC 对原始水印图像与提取水印图像的相似性进行更为客观的评价。表 1 是经各种处理得到的实验结果。

表 1 经各种处理后的实验结果

帧序号	219	220	221	222	225	229
嵌入前欧拉数 E	-334	-347	-355	-353	-346	-382
PSNR	43.804 5	43.964 8	43.940 9	43.990 1	43.996 4	43.842 2
直接提取	NC	1	1	1	1	1
水印						
椒盐噪声	NC	0.692 1	0.680 8	0.716 5	0.662 5	0.669 0
水印						
泊松噪声	NC	0.864 0	0.889 9	0.850 8	0.882 2	0.869 1
水印						
中值滤波	NC	0.906 3	0.932 3	0.930 4	0.926 6	0.908 4
水印						
椒盐噪声 + 中值滤波	NC	0.695 8	0.716 2	0.754 9	0.702 7	0.724 8
水印						
剪切	NC	0.984 9	0.984 9	0.987 4	0.986 2	0.986 1
水印						
AVI ↓ MPEG-I	NC	0.750 5	0.820 8	0.911 2	0.783 7	0.786 2
水印						

本文提出了一种选择欧拉数较小的视频帧,在 HSV 色彩空间的亮度分量的 DCT 域中嵌入水印的算法。该算法具有盲嵌入、盲检测和盲提取的特点,且健壮性强、透明性好,能经受噪声、滤波、剪切、压缩、帧插入及删除等攻击。

参考文献

- [1] CORIA L E, PICKERING M, NASIOPOULOS P, et al. A video watermarking scheme based on the dual-tree complex wavelet transform [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2008,3(3):466-474.
- [2] STANKOVIC S, OROVIC I, ZARIC N. An application of multidimensional time-frequency analysis as a base for the unified watermarking approach [J]. IEEE Transactions on Image Processing, 2010,19(3):1-10.
- [3] Ling Hefei, Wang Liyun, Zou Fuhao, et al. Robust video watermarking based on affine invariant regions in the compressed domain[J]. Signal Processing (Elsevier Academic Press), 2011,91(8):1863-1875.
- [4] 孙建德,刘璐.基于独立分量分析的盲视频水印方案[J].电子学报,2004,32(9):1507-1510.
- [5] 李跃强,全同贵,周支元,等.峰度特征值在视频水印中的应用[J].计算机工程与应用,2009,45(14):90-92.
- [6] 毛运柳,黄东军.基于 SURF 视频分割的视频水印算法[J].计算机工程,2010,36(19):241-243.
- [7] 刘绍辉,韩路,姚鸿勋.抗共谋攻击的视频水印算法[J].通信学报,2010,31(1):14-19.
- [8] 王朔中,张新鹏,张卫明.以数字图像为载体的隐写分析研究进展[J].计算机学报,2009,32(7):1247-1263.

(收稿日期:2012-03-13)

作者简介:

刘召斌,男,1982年生,硕士研究生,助教,主要研究方向:数字水印。

李跃强,男,1960年生,硕士研究生,教授,主要研究方向:数字水印、声音识别。