

基于 SURF 视频分割的视频水印算法

毛运柳, 黄东军

(中南大学信息科学与工程学院, 长沙 410083)

摘 要: 提出一种基于 SURF 快速鲁棒特征点的视频分割方法, 结合独立分量分析, 并通过奇异值分解变换进行视频水印的嵌入, 使水印在具有较好的抗时间不同步攻击和抗共谋攻击的前提下, 提高对抗几何攻击的鲁棒性。实验结果表明, 该算法对几何攻击、丢帧和持续时间不变减少帧数等攻击均具有较好的鲁棒性。

关键词: 视频水印; 镜头分割; SURF 算法; 独立分量分析; 奇异值分解

Video Watermarking Algorithm Based on SURF Video Segmentation

MAO Yun-liu, HUANG Dong-jun

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

【Abstract】 A video segmentation method based on Speed Up Robust Features(SURF) is proposed, which is combined with Independent Component Analysis(ICA), and through the Singular Value Decomposition(SVD) to embed the video watermark. The method has the good robust against collusion attack and temporal desynchronization, meanwhile increases the robust against geometric attacks. Experimental results show the method is robust enough against several kinds of watermark attacks, such as geometric attacks, frames discarding and decreasing.

【Key words】 video watermark; shot segmentation; SURF algorithm; Independent Component Analysis(ICA); Singular Value Decomposition(SVD)

1 概述

在数字水印的研究过程中, 图像水印技术已趋于成熟, 但视频水印还是一个非常活跃的领域。目前的视频水印算法对视频压缩、加噪和滤波等处理都具有较好的鲁棒性, 但是对于旋转、拉伸、平移、尺度变换等几何攻击的性能还不很理想^[1]。如何有效地抵抗视频水印的几何攻击、时间不同步攻击及共谋攻击等多种攻击是视频水印中的一个关键技术, 也是一个难点。文献[2]提出的一种独立分量分析(ICA)和镜头分割相结合的方法, 从内容上对视频进行定位和分割来提高水印方案对时间不同步的鲁棒性, 在主独立分量帧中嵌入水印增强了对视频内部共谋攻击的鲁棒性; 但该文中使用的基于全局直方图的方法精确度不够理想。

本文提出的基于 SURF(Speed Up Robust Features)特征点的视频分割方法具有很高的精确度, 能够保证在水印嵌入前后、视频遭受攻击前后等对于视频的镜头分割保持一致; 然后对每个镜头进行独立分量分析, 得到一系列独立分量帧; 同时为了提高视频水印的抗几何攻击能力, 通过分块奇异值分解(SVD)变化将水印嵌入独立分量帧中。

2 基于 SURF 特征点的视频分割方法

一个视频镜头内的特征点匹配数目具有平滑变化的特性, 而在镜头边界处则表现出陡然变化的特性。因此, 建立一种基于 SURF 快速鲁棒特征点的视频分割, 适合于不同性质的视频序列, 可有效解决光亮突变、摄像机运动和物体运动造成的误检问题, 可清晰地分割出镜头。

2.1 SURF 特征点的提取与匹配

SURF 快速鲁棒特征描述子^[3]是一种尺度不变的特征点检测子和描述子, 能够在视频帧中鲁棒地提取特征点。SURF 特征点对图像缩放、旋转和平移变化具有不变性; 对光照及

视角变化也不敏感; 同时由于 SURF 特征也是局部特征, 因此也能在遮蔽的情况下和杂乱的场景中保持良好的不变性。由于 SURF 的这些特性, 因此保证了视频在嵌入水印前后及受攻击前后分割一致。

对输入视频的每帧图像提取 SURF 特征点, 并对相邻 2 帧图像进行匹配, 首先基于快速 Hessian 检测子进行特征点的选取, 并为每一特征点确定主方向, 构造一个 64 维特征点描述向量。获取 SURF 特征向量后, 采用优先 k-d 树进行优先搜索来查找每个特征点的 2 近似最近邻特征点。在这 2 个特征点中, 如果最近的距离除以次近的距离小于某个比例阈值, 则接受这一对匹配点。降低这个比例阈值, SURF 匹配对数目会减少, 但更加稳定。

2.2 SURF 特征点在视频分割中的应用

在获得稳定的匹配特征点后, 就可对视频进行分割了。一个镜头内相邻帧之间内容变化很少, 在切换处则变化显著, 这一特性与相邻帧之间的 SURF 特征点匹配个数的变化相一致, 因此, 可通过分析帧间稳定的特征点匹配数目随时间变化的趋势进行镜头分割。本文以相邻 2 帧图像间的 SURF 特征点匹配数作为相似性度量, 以匹配数曲线来表示一个视频序列帧间图像匹配个数随帧号变化的情况。当镜头发生切变时, SURF 特征点的匹配数会急剧下降为 0(或一个很小的值), 设定一个全局阈值, 当 SURF 特征点的匹配数低于这个全局阈值时, 就可确定镜头发生切变, 对其进行分割。图 1 给出了一段视频的特征点匹配数曲线, 匹配数下降到 0(或很小值)

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60873188)

作者简介: 毛运柳(1983 -), 女, 硕士研究生, 主研方向: 视频水印, 网络多媒体技术; 黄东军, 教授

收稿日期: 2010-02-25 **E-mail:** maomaowansui@126.com

的点即为切变帧,实验结果表明可精确分割出镜头切变,无须对不同的切换类型及视频内容设置不同的阈值,同时对摄像机运动(如比较大的旋转和伸缩运动)及光亮突变都不敏感。在视频水印技术的研究中仅需要考虑切变。

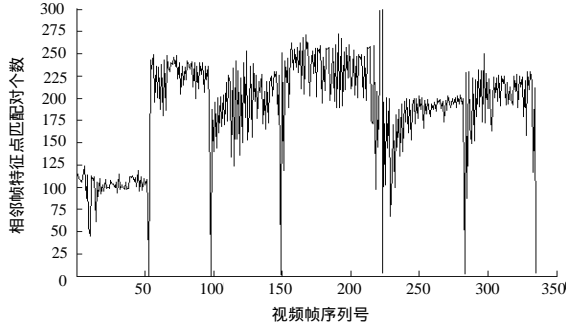


图1 匹配数曲线

本文选取了不同类型的视频,包括电影片段、动漫、比赛录像、广告等。表1给出了本文方法与2种视频分割方法的实验比较结果。

表1 视频分割方法的实验比较结果 (%)

评价标准	基于像素的方法	文献[4]方法	本文方法
查准率	77.6	90.0	97
查全率	100.0	84.3	98

3 基于ICA和SVD的视频水印算法

3.1 独立分量分析

ICA算法^[2]作为一种新兴的信号处理的方法,具有对源信号所需要的先验知识极少和良好的信号分离性能,已经广泛应用于特征提取、图像处理和人脸识别等方面。

给定一组观测信号 $x = [x_1, x_2, \dots, x_m]^T$, 得到混叠模型 $x = As$, ICA仅根据对 x 的观察和分析求解出分离矩阵 A , 进而得到源信号 $s = [s_1, s_2, \dots, s_n]^T$ 的估计。目前,已经有许多ICA方法,本文选用一种改进的FastICA算法。

先将源视频信号按基于SURF特征点的视频分割方法分割成若干镜头 $shot_i (1 \leq i \leq s)$, 然后将同一镜头中的帧 $f = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T$ 作为ICA混叠模型中的观察信号,其中, f_i 是第 i 帧 F_i 的列向量形式,每帧的大小为 $u \times v$ 。用改进的FastICA算法对镜头进行分解得到独立分量 $b = [b_1, b_2, \dots, b_m]^T$, 其中, m 为分解得到的独立分量的个数,将得到的每个独立分量 b_i 转化为二维矩阵,得:

$$B_i = \begin{bmatrix} b_{i,1} & b_{i,u+1} & \dots & b_{i,u(v-1)+1} \\ b_{i,2} & b_{i,u+2} & \dots & b_{i,u(v-1)+2} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ b_{i,u} & b_{i,2u} & \dots & b_{i,uv} \end{bmatrix} \quad (1)$$

其中, $b_{i,k}$ 表示独立分量 b_i 中的第 k 个元素; B_i 称为独立分量帧。

独立分量帧与视频内容是相对应的,是与视频内容密切相关的固有特征。如果视频的帧率发生变化时(持续时间不变帧数发生变化或帧数不变持续时间变化),视频帧的内容不会发生变化,因此,分析得到的独立分量帧保持不变。可以选择将水印嵌入这些特征帧上提高水印对于各种攻击的鲁棒性,特别是对时间不同步的鲁棒性。

3.2 水印的嵌入

由于直接在独立分量帧中或在小波变换中嵌入水印

对几何攻击的鲁棒性并不是特别好,因此本文提出一种改进的方法,对独立分量帧进行分块SVD分解^[5],在得到的奇异值序列中嵌入水印。

一幅数字图像看成是由一个许多非负标量组成的矩阵。用 $A \in \mathbb{R}^{M \times N}$ 来表示一个图像矩阵,其中, \mathbb{R} 表示实数数域。不失一般性, A 可以表示成 $A = USV^T$, 其中, U 和 V 分别为 $M \times M$ 和 $N \times N$ 的矩阵; r 是 A 的秩; S 是一个对角矩阵,其非对角线上的元素都为0,对角线上的元素 σ_i 满足:

$$\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r > \sigma_{r+1} = \dots = \sigma_M = 0$$

σ_i 为矩阵 A 的奇异值,用矩阵表示为:

$$S = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_M \end{bmatrix} \quad (2)$$

为增加水印的安全性,达到加密的效果,在将水印嵌入到原始载体图像之前,采用Arnold图像置乱算法将二维二值水印图像 W_0 (水印图像大小为 $M_1 \times N_1$) 进行Arnold变换,将 W_0 中每个像素的原始坐标 (i, j) 映射到新坐标 (i', j') , 再与Logistic序列做异或运算,最终得到基于混沌序列调制的加密水印序列 W 。

在得到经过混沌序列调制的水印序列 W 后,按下述步骤嵌入水印:对独立分量帧矩阵进行分块,设每帧的大小为 $M \times N$, 则分块的大小为 $\text{round}[M \times N / (M_1 \times N_1)]$ 。然后,对每个分块进行奇异值分解,得到奇异值对角阵 $S_i (1 \leq i \leq M_1 \times N_1)$, 提取 S_i 中 $\sigma_i(2,2)$ 元素的值,组成新的矩阵 S , 大小为 $M_1 \times N_1$, 将其量化取整。将 $\sigma_i(1,1)$ 排除在外是因为它远远大于其他奇异值,对它的任何小的改变都会导致图像在视觉上的质量的下降。但对 $\sigma_i(2,2)$ 的较小改变则不会影响图像的视觉效果,同时也满足元素的递减次序。在矩阵 S 中嵌入水印:若 $W(i, j)$ 为1,且 $s(i, j)$ 为奇数,则 $s'(i, j) = s(i, j) + 1$; 若 $W(i, j)$ 为0,且 $s(i, j)$ 为偶数,则 $s'(i, j) = s(i, j) - 1$ 。其中, $s'(i, j)$ 为嵌入水印后的值。将 $s'(i, j)$ 回写入相应的 $\sigma_i(2,2)$ 系数,再进行SVD和ICA反变换就得到嵌入水印的视频帧。

3.3 水印的提取

水印提取的过程为水印嵌入的逆过程。先将视频分为若干镜头,然后对每个镜头进行ICA分析得到独立分量帧。

对得到的独立分量帧进行分块,分块的大小与嵌入水印时的分块大小相同。然后,对各块进行奇异值分解,提取每个分块中的 $\sigma_i(2,2)$ 元素的值,组成矩阵 S' , 再量化取整,每个 $s'(i, j)$ 对应相应水印位置的 $W(i, j)$ 。若 $s'(i, j)$ 为偶数,则提取的 $W(i, j)$ 为1; 若 $s'(i, j)$ 为奇数,则提取的 $W(i, j)$ 为0。再对提取的图像解密进行混沌映射的逆映射,利用Arnold的逆变换将新坐标 (i', j') 映射到原始坐标 (i, j) , 与Logistic序列做异或运算得到原始的水印图像 W_0 。

从上述检测过程来看,水印提取时不需要原始的视频载体以及水印的任何信息,实现了盲水印。可以相关系数 NC 来衡量算法的效果和抗攻击的能力:

$$NC = \frac{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M w_0(i, j) w(i, j)}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^M w_0(i, j)^2}$$

其中, w_0 表示原始水印图像; w 表示提取出的水印图像。

3.4 视频水印实验结果及分析

选取一段帧率为25 f/s, 帧大小为352×240, 帧数为

345 帧的广告作为实验数据,基于本文的分割方法可将视频分割为 10 个镜头,图 2 为从视频中提取的连续 6 个镜头内的一帧。图 3 分别为图 2(e)依次受到以下 13 种攻击后提取的水印图像,其中,最后一幅图像为原始水印图像。对嵌入水印后的视频进行下面的 13 种攻击:(1)3×3 中值滤波;(2)均值为 0,方差为 0.01 的 Gauss 噪声;(3)亮度增加 1.5 倍;(4)旋转 1°;(5)裁剪掉 25%;(6)放大 2 倍;(7)缩小 2 倍;(8)强度为 0.1 的椒盐噪声;(9)帧丢失;(10)调换帧序;(11)帧率增加,持续时间不变,帧数增加;(12)帧率减少,持续时间不变,帧数减少;(13)镜头内共谋攻击。



图 2 视频中 6 个镜头的帧

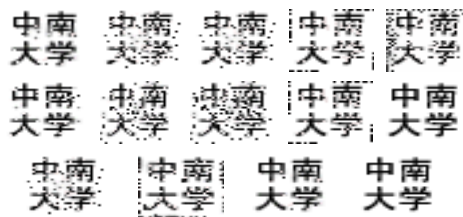


图 3 镜头 5 在 13 种攻击下提取出的水印

由图 3 可知,本文方法对各种水印攻击都有比较好的鲁棒性,与文献[2]在 13 种攻击下 NC 值的对比数据如表 2 所示,数据表明本文方法对各种攻击的鲁棒性有所提高,尤其是几何攻击。文献[2]在光亮突变攻击的情况下,容易造成原视频与待检测视频分割不一致,进而导致视频水印无法识别。

(上接第 238 页)

法可以抵抗高斯噪声、中值滤波、几何失真的攻击,具有较强的鲁棒性。同时,该算法对于时间同步失真的鲁棒性还需要进一步提高。下一步工作准备对该算法进行进一步改进,增强算法对时间同步失真的鲁棒性。

参考文献

- [1] 杨列森,郭宗明.基于帧间中频能量关系的自适应视频水印算法[J].软件学报,2007,18(11):2863-2870.

(上接第 240 页)

4 结束语

本文基于三维离散小波变换和中值量化,提出一种新颖的用于认证的鲁棒视频散列算法。实验表明,本文提出的视频散列算法具有很好的鲁棒性,可有效地应用视频水印方案中。

参考文献

- [1] 王炳锡,陈琦,邓峰森.数字水印技术[M].西安:西安电子科技大学出版社,2006.
[2] 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.

表 2 本文方法与文献[2]的在 13 种攻击下水印的 NC 值比较

攻击种类	文献[2]方法	本文方法
第(1)种攻击	0.941 0	0.961 2
第(2)种攻击	0.827 0	0.901 3
第(3)种攻击	0.884 0	0.922 1
第(4)种攻击	0.701 0	0.912 0
第(5)种攻击	0.723 0	0.892 0
第(6)种攻击	0.814 7	0.983 0
第(7)种攻击	0.814 0	0.862 5
第(8)种攻击	0.714 0	0.841 0
第(9)种攻击	0.857 0	0.946 1
第(10)种攻击	1.000 0	1.000 0
第(11)种攻击	0.847 0	0.937 6
第(12)种攻击	0.863 0	0.941 5
第(13)种攻击	0.987 0	0.998 6

4 结束语

针对基于像素分割的不精确性,提出一种基于 SURF 特征点的视频分割方法。该方法通过分析帧间的尺度不变特征点匹配数目随时间变化的性质进行镜头分割,避免了光亮敏感问题和摄像机运动问题,提高了分割的精确度。与 ICA 结合的同时加入改进的分块 SVD 方法。分块 SVD 方法充分利用了奇异值分解的 3 个特性,具有很好的不可见性,算法复杂度低,并且实现了盲检测。实验表明,本文方法对各种水印攻击都有较好的鲁棒性,与文献[2]的方法相比提高了算法抗几何攻击的能力。

参考文献

- [1] 于小军.一种抗 H.264 压缩的低比特率视频水印算法[J].计算机工程,2008,34(3):171-173.
[2] Liu Ju, Sun Jiande. Blind Video Watermarking Scheme Based on Combination of ICA and Shot Segmentation[J]. Science in China Series E, 2005, 35(12).
[3] Bay H, Tuytelaars T, van Gool L J. SURF: Speeded Up Robust Features[J]. Computer Vision and Image Understanding, 2008, 110(3): 346-359.
[4] 苏翠宁,黄东军.基于 HSV 空间模型的视频场景切分[J].计算机系统应用,2009,18(8):164-167.
[5] 李蓓,金聪.基于混沌序列和奇异值分解的鲁棒数字水印算法[J].计算机应用,2005,25(z1):138-139.

编辑 索书志

- [2] 高智慧,肖俊,王颖,等.一种含边信息的小波域视频水印算法[J].计算机工程,2009,35(21):123-124.
[3] 陈光喜,成彦.基于 HVS 的抗几何攻击视频水印方案[J].计算机工程,2008,34(24):152-154.
[4] 李春光.流形学习及其在模式识别中的应用[D].北京:北京邮电大学,2007.

编辑 顾逸斐

- [3] 谢玲,张家树,和红杰.一种基于非均匀离散傅立叶变换的鲁棒视频水印算法[J].计算机学报,2006,29(9):1711-1717.
[4] 王量,刘连山.基于自适应策略的盲视频水印算法[J].计算机工程,2010,36(6):142-145.
[5] Coskum B, Sankur B. Robust Video Hash Extraction[C]// Proceedings of the 12th IEEE Signal Processing and Communications Applications Conference. Kusadasi, Turkey: [s. n.], 2009: 292-295.

编辑 索书志

