—权威论文发表平台—
中国学术期刊网
www.qikanwang.net

第 30 卷第 10 期
2010 年 10 月

计算机应用
Journal of Computer Applications

Vol. 30 No. 10
Oct. 2010

文章编号:1001 - 9081(2010)10 - 2691 - 03

基于多维标度和奇异值分解的视频水印算法

聂秀山[1,2],刘　琪[3],秦丰林[2]

(1. 山东财政学院 计算机信息工程学院,济南 250014; 2. 山东大学 信息科学与工程学院,济南 250100;
3. 山东大学 网络与信息中心,济南 250100)

(niexiushan@163.com)

摘　要:针对于网络中的视频资源的知识产权问题,提出一种基于多维标度(MDS)和奇异值分解(SVD)的视频水印算法。该方法首先利用 MDS 把原始视频各帧投影到二维平面上,然后利用 SVD 的方法把水印信息嵌入到视频帧与其在二维平面上投影点之间的差值上。实验证明,该算法对随机噪声干扰和诸如旋转、平移、裁剪等空间同步失真的攻击有较强的鲁棒性;另外,该算法对帧丢弃、帧插入等时间同步失真也具有一定程度的鲁棒性。

关键词:多维标度; 奇异值分解; 视频水印;鲁棒性;版权保护

中图分类号: TP391.41　　**文献标志码**:A

Video watermarking based on multi-dimensional scaling and singular value decomposition

NIE Xiu-shan[1,2], LIU Qi[3], QIN Feng-lin[2]

(1. *School of Computer and Information Engineering, Shandong University of Finance, Jinan Shandong* 250014, *China*;
2. *School of Information Science and Engineering, Shandong University, Jinan Shandong* 250100, *China*;
3. *Network and Information Center, Shandong University, Shandong Jinan* 250100, *China*)

Abstract: Concerning the intellectual property rights of video on Internet, a new digital video watermarking method based on Multi-Dimensional Scaling (MDS) and Singular Value Decomposition (SVD) was proposed. First, the frames were mapped to points in the 2D space using MDS, and then the watermarks were embedded into the differences between the frames of video and their images under the mapping through SVD. The experimental results show that the proposed method has very strong robustness against spatial desynchronization attacks such as rotating, scaling and clipping. Furthermore, it also achieves high robustness against noise and median filtering. In addition, the method can resist temporal desynchronization such as frame dropping and insertion to some extent.

Key words: Multi-Dimensional Scaling (MDS); Singular Value Decomposition (SVD); video watermarking; robustness; copyright protection

0　引言

视频水印作为数字水印的一个分支主要是解决数字视频的版权保护问题。为了适合实际应用,视频水印一般需要满足以下要求[1-2]:不可见性、盲检测性、对于 MPEG 压缩的鲁棒性等。通过嵌入数字水印作为数字视频版权保护的一项新技术,近年来受到学者们越来越多的关注,数字视频水印的核心问题就是水印的鲁棒性,就是经历了常规的信号处理后,仍能准确检测出水印的能力。对于视频而言,常规的信号处理包括光度失真(如有损压缩、噪声、滤波等),几何失真(如旋转、平移、裁剪等),时间同步失真(如帧丢弃、帧插入等)等几类。

针对以上三类攻击,近年来国内外有不少学者提出了各种数字水印算法。傅德胜等人[3]在传统差分能量水印的基础上提出了针对于 H.264 视频流的算法,该算法对于信号失真有较强的鲁棒性。时舒森等人[4]利用 Watson 视觉模型根据能量可调阈值与差分能量的关系,有选择地嵌入水印,此算法可以有效抵抗噪声、滤波、帧攻击等,具有较强的鲁棒性。杨列森等人[5]根据帧间能量的关系嵌入水印,可以抵抗光度失真和几何失真。Haitsma 等人[6]提出了一种通过改变视频帧的亮度系数的均值来嵌入水印的算法,这种算法对几何失真有较强的鲁棒性,但是几乎不能抵抗任何时间同步失真。牛夏牧等人[7]提出了一种基于时间模板的视频水印处理算法,该算法定义了一种模板水印,并将它沿时间轴嵌入到视频数据中。这一模板的作用是用来度量图像所经历的几何变换。水印信息的嵌入需避免与模板嵌入位置重叠。算法使用至少携带三点像素位置信息的沿时间轴分布的模板,即使经过几何扰动后,仍可正确检测到模板,这样根据模板就可以找到新的位置信息,保证水印检测在空间尺度上的同步。周惠等人[8]和楼偶俊等人[9]分别基于量化原则将水印信息嵌入到离散余弦变换(Discrete Cosine Transform, DCT)中频系数和低频系数中。Zhao 等人[10]对文献[6]中算法提出了改进的方案,提高了抗空间同步失真的鲁棒性,但对光度失真的抵抗性仍比较弱。本文提出了一个新的视频水印算法,该算法把视频帧通过多维标度(Multi-Dimensional Scaling, MDS)映射到一个二维平面上,然后把水印信息嵌入到帧与其在二维平

收稿日期:2010 - 04 - 21;**修回日期**:2010 - 06 - 27。　**基金项目**:国家自然科学基金资助项目(60872024)。

作者简介:聂秀山(1981 -),男,江苏徐州人,讲师,博士,主要研究方向:信息安全、多媒体信息处理; 刘琪(1975 -),女,山东济南人,工程师,硕士,主要研究方向:信息安全; 秦丰林(1978 -),男,山东潍坊人,工程师,博士,主要研究方向:网络多媒体处理。

面的映射点的差异性上。实验证明,该算法对几何失真以及随机噪声有很强的鲁棒性,而对于时间同步失真具有一定的鲁棒性。同时,本文算法和文献[5]中算法进行比较,体现了本文算法性能较高。

1 MDS及其在视频上的应用

1.1 MDS

MDS源于心理测量领域的行为科学研究,其基本思想是:给定数据间的不相似性矩阵,要寻找低维空间(通常为欧氏空间)中的一组构造点,要求点之间的距离能最佳地拟合所给定的不相似矩阵,如果所给定的不相似性恰好是数据点对之间的欧氏距离,那么多维尺标度对应的低维数据点与主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)的结果一致。

假设给定 N 个对象之间的不相似性矩阵 $\boldsymbol{\Delta} = (\delta_{ij})_{N\times N}$(比如品酒得到 N 种酒两两之间不相似性的评分矩阵,而我们需要每种酒的向量化表达,或者需要以数据可视化方式获得 N 种酒之间相对关系的直观表达),要寻找一组数据点 $\boldsymbol{X} = \{x_1, x_2, \cdots, x_N\}$,使它们相互之间的距离 $\{d_{ij}\}$ 最佳地拟合给定的不相似性 $\{\delta_{ij}\}$,即 $d_{ij} \approx f(\delta_{ij})$,$f$ 是一个连续参数单调函数,也就是要最小化目标函数:

$$\varepsilon_{\mathrm{MDS}} = \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}(f^2(\delta_{ij}) - d_{ij}^2) \tag{1}$$

经典的MDS算法如下。

1)定义高维空间的物体之间的差异性度量,并由此建立一个度量矩阵 $\boldsymbol{D} = \{d_{ij}\}$,把 $\boldsymbol{D}$ 转化为 $\boldsymbol{A} = (a_{ij}) = \left(-\frac{1}{2}d_{ij}^2\right)$。

2)建立矩阵 $\boldsymbol{B} = (b_{ij})$,其中 $b_{ij} = a_{ij} - \bar{a}_{i\cdot} - \bar{a}_{\cdot j} + \bar{a}_{\cdot\cdot}$,而且:

$$\begin{cases} \bar{a}_{i\cdot} = \dfrac{1}{n}\sum\limits_{j=1}^{n} a_{ij}, & i = 1,\cdots,n \\ \bar{a}_{\cdot j} = \dfrac{1}{n}\sum\limits_{i=1}^{n} a_{ij}, & j = 1,\cdots,n \\ \bar{a}_{\cdot\cdot} = \dfrac{1}{n^2}\sum\limits_{i=1}^{n}\sum\limits_{j=1}^{n} a_{ij}, & 1 \leqslant i,j \leqslant n \end{cases} \tag{2}$$

3)计算矩阵 $\boldsymbol{B}$ 的 k 个最大特征值 $\lambda_1 \geqslant \lambda_2 \geqslant \cdots \geqslant \lambda_k$,并计算特征值对应的标准特征向量 $\boldsymbol{x}_{(1)}, \boldsymbol{x}_{(2)}, \cdots, \boldsymbol{x}_{(k)}$。$k$ 即所要映射到的空间的维数,本文的 k 取2。

4)建立一个 $n \times k$ 矩阵 $\hat{\boldsymbol{X}} = (\boldsymbol{x}_{(1)}, \boldsymbol{x}_{(2)}, \cdots, \boldsymbol{x}_{(k)})$,此即为映射点的坐标,也是MDS的一个经典解。

本文利用多维标度的方法,把视频帧序列投影成二维平面上点,然后以帧与其映射点的差异性作为载体嵌入水印。

1.2 MDS在视频序列上的应用

视频可以看成帧序列,假设每一个帧含有 $m \times l$ 个像素,则所有的帧可以看成是存在于一个 $m \times l$ 维空间的点,点在每维的坐标值即为对应的像素值,但是此空间是一个高维空间,在高维空间中对数据分析和处理十分复杂,因此,利用MDS把空间的维数降低。本文中把视频帧投影到二维的平面上,在 $m \times l$ 维空间中相邻的视频帧被投影成二维平面上相邻的点,如图1所示。

2 数字水印算法

2.1 水印嵌入算法

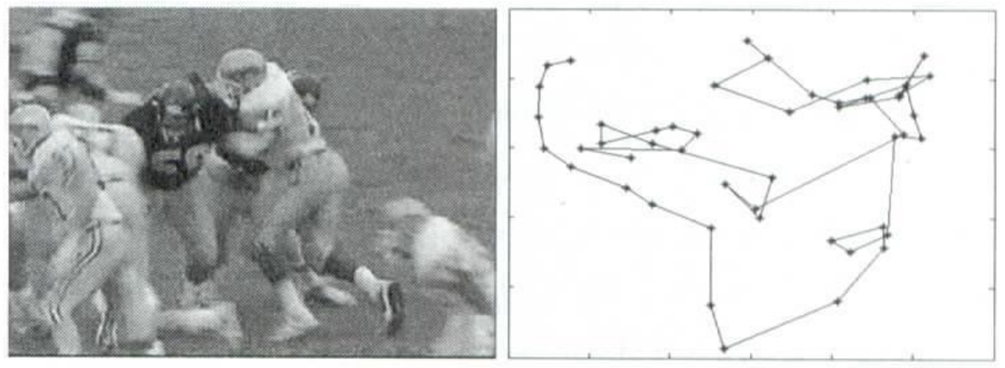
本文算法中的水印信息产生方法如下:将待嵌入的水印信息经伪随机序列模块,生成与其相对应的二进制水印序列 $W = (w_1, w_2, \cdots, w_N)$,$W = G(K)$,其中 N 为水印序列的长度,$w_i \in \{-1, +1\}$,G 表示水印生成算法,K 表示一个足够大的密钥集合。

水印序列被嵌入到视频帧与其在平面上的投影的差值上,因为图像的中频能量既具有一定的鲁棒性又体现了图像的内容信息,因此算法中视频帧用帧亮度系数中频能量代替。记为 x,$T(x)$ 表示平面上视频帧映射点的范数。当视频遭受攻击时,不失一般性,假设由攻击产生的改变为 Δx,则:

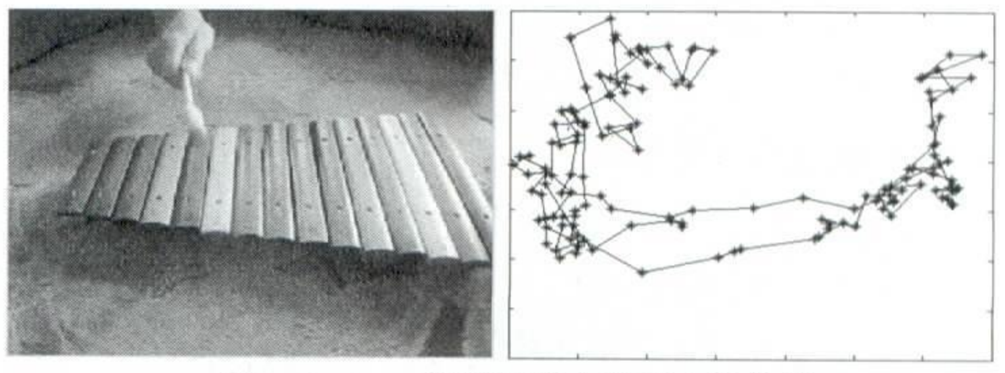
$$\begin{aligned} &\|(x+\Delta x) - T(x+\Delta x)\| - \|x - T(x)\| \leqslant \\ &\quad \|\Delta x + T(x) - T(x+\Delta x)\| \leqslant \\ &\quad \|\Delta x\| + \|T(x) - T(x+\Delta x)\| \end{aligned} \tag{3}$$

其中 $\|T(x) - T(x+\Delta x)\|$ 为平面的欧氏距离,远小于 $\|\Delta x\|$,因此 $\|T(x) - T(x+\Delta x)\|$ 相比于 $\|\Delta x\|$ 可以忽略,因此 $\|(x+\Delta x) - T(x+\Delta x)\| - \|x - T(x)\| \leqslant \|\Delta x\|$。

由此可以看到,当视频帧遭受攻击时,$x - T(x)$ 的变换幅度小于 Δx,因此,把水印嵌入 $x - T(x)$ 具有较高的鲁棒性。



(a) football视频及其在平面上的投影



(b) xylophone视频及其在平面上的投影

图1 视频及其在平面上的投影

具体嵌入步骤如下。

1)按照1.1节的方法,利用MDS把原始视频帧投影到平面上,其中的距离度量使用的是相邻帧亮度系数的中频能量差。计算差值 $x - T(x)$。

2)利用 $x - T(x)$ 构建Hankel矩阵 $\boldsymbol{M}$,不妨设 $f_i = x - T(x)$,则有

$$\boldsymbol{M} = \begin{bmatrix} f_0 & f_1 & f_2 & \cdots & f_{K-1} \\ f_1 & f_2 & f_3 & \cdots & f_K \\ f_2 & f_3 & f_4 & \cdots & f_{K+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{L-1} & f_L & f_{L+1} & \cdots & f_{N-1} \end{bmatrix} \tag{4}$$

其中 N 视频帧的数目,$1 < L < N$,$K = N - L + 1$。

3)对矩阵 $\boldsymbol{M}$ 进行奇异值分解,得到其降序排列的非零奇

异值 $\sigma_1,\sigma_2,\cdots,\sigma_d$($d$ 是非零奇异值的个数)。

4)参照文献[11]中的算法,嵌入水印序列 W 如下:

If $w_i = 1$

  If $\sigma_k \geqslant 0.5 * (\sigma_{k-1} + \sigma_{k+1})$

    $\sigma_k' = \sigma_k$

  Else if $\sigma_k < 0.5 * (\sigma_{k-1} + \sigma_{k+1})$

    $\sigma_k' = 0.5 * ((\sigma_{k-1} + \sigma_{k+1}) + \alpha * w_i * (\sigma_{k-1} - \sigma_{k+1}))$

If $w_i = -1$

  If $\sigma_k \geqslant 0.5 * (\sigma_{k-1} + \sigma_{k+1})$

    $\sigma_k' = 0.5 * ((\sigma_{k-1} + \sigma_{k+1}) - \alpha * w_i * (\sigma_{k-1} - \sigma_{k+1}))$

  Else if $\sigma_k < 0.5 * (\sigma_{k-1} + \sigma_{k+1})$

    $\sigma_k' = \sigma_k$

其中 α 是水印嵌入的强度。

5)根据 σ_k' 重建矩阵 $\boldsymbol{M}$,并调整视频帧的亮度系数,使之符合 $x - T(x)$,水印信息被嵌入。

2.2　水印检测算法

1)按照水印嵌入步骤前三步的方法,得到一组相对于待检测视频的奇异值 $\sigma_1',\sigma_2',\cdots,\sigma_D'$,然后根据如下关系得到水印序列 W:

$$w_i = \begin{cases} 1, & \sigma_i' \geqslant 0.5 \times (\sigma_{i-1}' + \sigma_{i+1}') \\ -1, & \sigma_i' < 0.5 \times (\sigma_{i-1}' + \sigma_{i+1}') \end{cases} \tag{5}$$

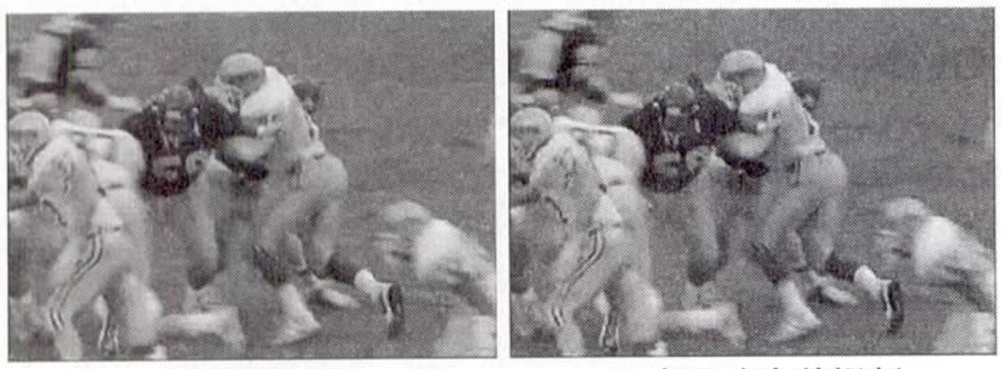
2)利用所得到的水印序列和原始水印序列的相关性来检验其是否为嵌入的水印序列。如果相关值大于检测门限,则认为它是嵌入的水印序列;否则就不是。相关函数如下:

$$\mathrm{Cor}(W^d, W) = \frac{\sum_{i=1}^{N} (w_i^d - \overline{W^d})(w_i - \overline{W})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} (w_i^d - \overline{W^d})^2 \sum_{i=1}^{N} (w_i - \overline{W})^2}} \tag{6}$$

其中:W^d 是检测出的水印序列,W 是原始水印序列,$\overline{W^d}$ 是 W^d 的均值,$\overline{W}$ 是 W 的均值,N 是水印序列的长度。

3　实验结果及分析

本文算法应用到视频片段"football. avi"(272 × 352,100 帧)上,如图 3 所示。利用峰值信噪比(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)来衡量水印的不可见性,实验结果见图 4。



(a) 原始视频　　(b) 加入水印的视频

图 3　水印不可见性实验

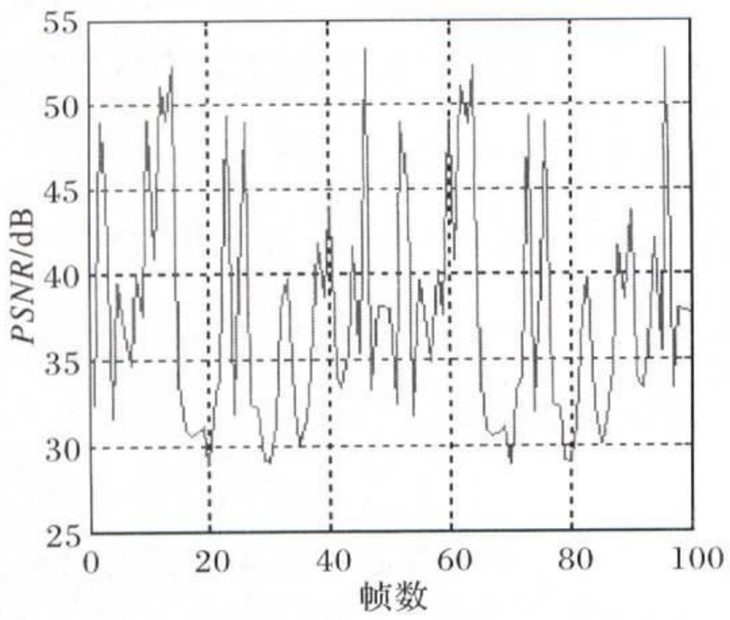


图 4　*PSNR* 值曲线

由图 4 可以看出,每帧的 *PSNR* 值几乎都在 30 dB 以上,所以本文算法具有良好的不可见性。

为验证算法的鲁棒性,对原始视频分别进行高斯噪声、中值滤波、几何失真和时间同步失真的攻击,实验结果见表 1。

表 1　攻击后水印检测正确率

攻击方式	水印相关值
高斯噪声(零均值,方差 0.01)	0.978
中值滤波(3 ×3 窗口)	0.950
缩放(原始帧的 0.25)	1.000
旋转(逆时针 45°)	1.000
帧丢弃(2%)	0.797
帧插入(2%)	0.853
水平方向剪切(1%)	0.945

由表 1 可以看出,本文算法对于高斯噪声、中值滤波和几何失真有较强的鲁棒性,对时间同步失真有一定的鲁棒性,体现了本文算法的优越性。

4　结语

本文提出了一种基于多维标度和奇异值分解的视频数字水印算法,该算法利用视频帧和其在平面上的投影点之间的差异性作为水印载体,通过奇异值分解的方法嵌入水印。实验证明,该算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较弱。下一步工作,会对该算法作进一步改进,增强算法对时间同步失真的鲁棒性。

参考文献:

[1] SWANSON M D, ZHU B, TEWFIK A H. Multiresolution scene-based video watermarking using perceptual models [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16 (4): 540 – 550.

[2] DOERR G, DUGELAY J-L. A guide tour of video watermarking [J]. Signal Processing: Image Communication, 2003, 18(4): 263 – 282.

[3] 傅德胜,王建荣. 基于 H. 264 的视频水印技术[J]. 计算机应用, 2009, 29(4): 1174 – 1176.

[4] 时舒森,孙锬锋,蒋兴浩. 一种鲁棒自适应差分能量视频水印算法[J]. 上海交通大学学报, 2010, 44(2): 282 – 286.

[5] 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.

[6] HAITSMA J, KALKER T. A watermarking scheme for digital cinema [C]// ICIP2001: IEEE International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE, 2001: 487 – 489.

[7] NIU XIAMU, SCHMUCKER M, BUSCH C. Video watermarking resisting to rotation scaling and translation [C]// Proceedings of the SPIE Conference on Security and Watermarking of Multimedia Contents IV, SPIE 4675. [S. l.]: SPIE, 2002: 512 – 519.

[8] 周惠,徐涛,武小川. 一种抵抗共谋攻击的数字视频水印算法[J]. 计算机应用, 2006, 26(4): 812 – 817.

[9] 楼偶俊,王相海,王钲旋. 抗几何攻击的量化鲁棒视频水印技术研究[J]. 计算机研究与发展, 2007, 44(7): 1211 – 1218.

[10] YAO Z, REGINALD L. Video watermarking scheme resistant to geometric attacks [C]// ICIP 2002: IEEE International Conference on Image Processing. Washington, DC: IEEE, 2002: 145 – 148.

[11] 王峰. 基于 SVD 的时域同步视频数字水印算法研究[D]. 上海:华东师范大学, 2007.