

基于时间轴上模板的动态图像数字水印处理技术

牛夏牧¹, SCHMUCKER Martin², BUSCH Christoph²

(11 哈尔滨工业大学信息对抗技术研究所, 黑龙江哈尔滨 150001;

21 Fraunhofer Institute for Computer Graphics (IGD), Fraunhoferstr 5, D264283 Darmstadt, Germany)

摘 要: 本文提出了一种具有几何变换鲁棒性的动态图像水印技术. 一个沿时间轴上的模板嵌入到动态图像序列中的每个水印最小段(Watermark Minimum Segment)内. 利用预先嵌入的时间轴上模板, 可以恢复受几何仿射(affine)变换攻击后的含水印动态图像帧, 仿真试验结果表明本文提出的动态图像水印技术, 经仿射变换攻击后仍是鲁棒的.

关键词: 版权保护; 动态图像水印; 多媒体; 仿射变换

中图分类号: TN 919 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 08-1236-03

Video Watermarking Based on Time2Axis Template

NIU Xiaomu¹, SCHMUCKER Martin², BUSCH Christoph²

(11 Harbin Institute of Technology, P.O. Box 339, 150001, China;

21 Fraunhofer Institute for Computer Graphics (IGD), Fraunhoferstr 5, D264283 Darmstadt, Germany)

Abstract: A video watermarking which resists affine transformations is proposed. A template along the time axis is inserted in each Watermark Minimum Segment (WMS) of the video sequence. Experimental results show that the watermark information can be detected blindly in watermarked frames subjected to reasonable affine transformations.

Key words: copyright protection; video watermarking; multimedia; affine transformation

1 引言

数字水印处理是通过在原始数字产品中嵌入数字水印来证实数字产品所有权的过程, 该技术得到了极为广泛的研究与应用. 目前, 数字水印技术最棘手的问题之一是如何实现含水印媒体(如动态图像、静态图像、文本、语音等数字媒体)对于几何变换攻击的鲁棒性. 一个可能的解决方案是基于 Fourier 正变换的几何变换不变域数字水印技术^[1]. 但是, 由于利用了指数2极坐标(Log2polar)映射, 该算法仅仅对于未被剪切的均匀缩放、角度旋转和平移等几何变换的含水印图像(帧)是有效的, 其水印处理时间也比较长(一般要经两个 Fourier 正变换, 两个 Fourier 反变换, 两个指数2极坐标映射等运算). 该算法的最大问题是指数2极坐标的非线性映射, 会引起含水印图像的图像质量下降. 另一个可能的解决方案是, 在图像(帧)嵌入水印之前预先嵌入一个二维模板^[2-4]. 该模板均匀稀疏地嵌入到数字媒体的 Fourier 变换域内, 以保证其均匀特性来恢复由于几何变换所引起的变化. 由于在未知几何变换后, 恢复嵌入模板必须靠十分费时的穷尽搜索来实现, 所以, 在 Fourier 变换域内, 指数类型映射(log2log 或 log2polar)也用来转变旋转或均匀缩放操作为简单的平移操作. 但要同时

满足非均匀缩放和旋转变换的恢复是很难实现的. 把同一水印在空间域内多次嵌入, 在水印提取过程中利用自相关运算, 可以使含水印图像(帧)经旋转和缩放变换攻击后实现水印的有效提取^[5]. 但这种算法十分费时, 且难以抵抗像素的平移变换.

本文提出一种新颖的视频水印技术, 水印的检测不需要原始图像帧. 仿真试验结果表明本文提出的动态图像水印技术, 经仿射(affine)变换攻击后仍然是鲁棒的.

2 模板的定义

2.1 仿射(affine)变换

一个仿射变换(见公式(1))可以描述图像(帧)的旋转、缩放和平移等几何变换.

$$\begin{cases} x_c = ax + by + e \\ y_c = cx + dy + f \end{cases} \quad (1)$$

其中, (x, y) 是原始图像(帧)的一个像素位置, (x', y') 表示经几何变换后新的像素位置. 由公式(1)可见, 一个仿射变换方程可以由 (a, b, c, d, e, f) 等六个参数描述. 所以, 只要分别已知几何变换前后的三个像素坐标位置, 就可以通过得到的六个方程, 解出六个参数 (a, b, c, d, e, f) .

收稿日期: 20020305; 修回日期: 20031128

基金项目: 国家自然科学基金(No. 0637052); 全国博士学位论文作者专项资金(No. FANEDD-200238); 哈尔滨工业大学跨学科研究基金(No. HIT-MD-2002-1-1); 黑龙江省杰出青年科学基金

21.2 合理假设

我们假设在动态图像序列中的一个很小的时间间隔内, 各个帧的几何变换是相同的. 例如, 一个图像组 (group of picture, GOP) 中, 在 0.15 秒的时间间隔内, 有 12 到 15 个图像帧; 又如, 根据欧洲广播联盟 (European Broadcasting Union, EBU) 技术规范^[6], 一个水印最小段 (Watermarking Minimum Segment, WMS) 为 1 秒的时间间隔, 大约 24 到 30 个图像帧. 在上述假设下, 一个 GOP/WMS 内, 每个帧内的像素沿着时间轴上的几何变换是一致的. 如果在水印嵌入之前, 带有三个原始像素位置信息的时间轴上的模板 (time-axis template) 沿时间轴嵌入到每个 GOP/WMS 中, 利用时间轴上模板的检测, 图像帧的几何变换就可以通过公式 (1) 得到恢复.

21.3 时间轴上模板

我们定义随机序列 t_k 为时间轴上的模板, 并具有如下性质:

$$\langle t_k, t_{k+m} \rangle = D_m + t_k +^2 \tag{2}$$

其中, $\langle \cdot, \cdot \rangle$ 表示内积操作, D_m 单位冲击函数, $+ +^2$ 表示序列的能量, $k, m = 1, 2, \dots, N$, N 表示一个 GOP/WMS 的长度.

时间轴上模板的嵌入算法如图 1 和公式 (3) 所示.

$$F_k(x, y) = F_k(x, y) + K(R_{k,y}(k) + 1)t_k \tag{3}$$

其中, $F_k(x, y)$ 表示在一个 GOP/WMS 内图像帧的一个像素值, $F_k(x, y)$ 为嵌入模板后的像素值, (x, y) 是时间轴上模板的嵌入位置, K 为全局因子, $R_{k,y}(k)$ 是在一个 GOP/WMS 内沿时间轴, 某像素值的标准方差.

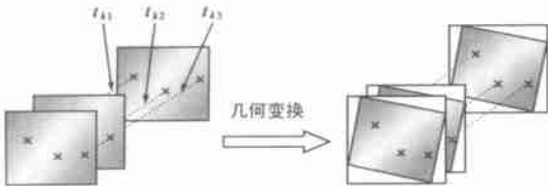


图 1 时间轴上模板的定义

时间轴上模板的检测算法如公式 (4) 所示:

$$\langle F_{k-L}(x, y), t_k \rangle = d \tag{4}$$

其中, $L = 1, 2, \dots, N$, N 表示时间轴上模板长度 (通常为一个 GOP/WMS 的长度). 变量 L 用于检测时间轴上模板的起始位置.

如果 $d >$ 某一阈值, 时间轴上模板就被检测到, 新的像素位置 (x, y) 就可以得到.

3 数字水印算法

基于时间轴上模板的数字水印嵌入算法如图 2 所示.

原始图像序列首先被分成 WMS 段以便于时间轴上模板的嵌入, 利用密钥 2 伪随机地定义时间轴上模板位置后, 根据公式 (3), 时间轴上模板嵌入到每个图像帧的空间域内. 时间轴上模板中的点数取决于几何变换恢复后的帧图像质量. 一般, 参照公式 (1), 三点时间轴上模板足以恢复帧图像的几何变换失真, 但在实际中, 时间轴上模板中的点数越多, 利用最

小二乘法所恢复的几何失真图像帧的质量就越好. 同时, 水印的嵌入位置, 应避开时间轴上模板的定义位置.

基于时间轴上模板的数字水印检测算法如图 3 所示. 首先, 利用公式 (4) 检测时间轴上模板的新位置, 以便恢复图像帧的几何变换失真. 然后, 水印信息按照一定的算法检测出来.

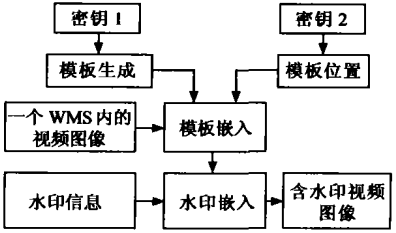


图 2 基于时间轴上模板的数字水印嵌入算法

4 实验结果

本文采用参考文献^[7]中的基于图像帧的视频图像水印算法, 用以测试本文所提出的算法的有效性. 本算法中, 时间轴

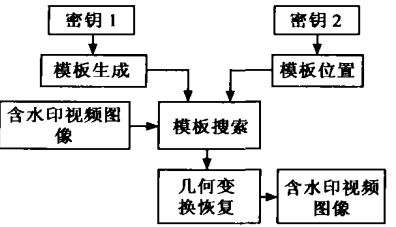


图 3 基于时间轴上模板的数字水印检测算法

上模板的长度 N 为 31, 即约为一个 WMS 长度 (31 帧), 每帧的分辨率为 720 @ 576. 根据文献^[7], 64 水印信息位嵌入到 64 个 8 @ 8DCT 块中, 经过图像帧的边缘检测和平纹区域检测后, 选择出适合水印嵌入的 DCT 块. 一个 30 点的时间轴上模板嵌入到每个 WMS 中. 时间轴上模板的位置, 伪随机地分布在选择出适合水印嵌入的 DCT 块之间缝隙中, 以避免被随后嵌入的水印信息覆盖. 水印块和时间轴上模板都定义在每帧图像的中部 464 @ 320 区域内, 以避免可能的图像帧的旋转、缩放、平移以及剪切操作. 我们选择与文献^[7]相同的动态图像序列样本 (足球比赛场景, 风景场景和人工合成场景等) 以显示本文算法的性能. 从 YUV 到 RGB 的颜色空间转换后, 含水印图像帧经 StirMark 攻击, 包括大的旋转角度 (5° , 10° , 15° , 30° , 和 45°) 攻击, 并带有缩放和剪切操作. 表 1 示出了含水印图像帧经 StirMark 攻击后, 再经从 RGB 颜色空间转换回 YUV 颜色空间后, 提取的水印信息位的结果.

仿真结果表明, 本文提出的基于图像帧的动态图像水印算法, 对于几何变换, 如旋转、缩放、平移、剪切以及颜色空间转换等攻击是鲁棒的.

表 1 含水印图像帧经 StirMark 攻击后, 提取的水印信息位的结果

StirMark 攻击	水印信息位恢复百分比		
	足球场景	风景场景	合成场景
5° 旋转, 剪切和缩放	100%	100%	100%
10° 旋转, 剪切和缩放	100%	100%	100%
15° 旋转, 剪切和缩放	100%	100%	100%
30° 旋转, 剪切和缩放	88%	86%	82%
45° 旋转, 剪切和缩放	62%	66%	56%

参考文献:

- [1] RUANAIDH J J K O, Rotation T PUN. Scale and translation invariant digital image watermarking[A]. Proc of IEEE Int Conf. Image Processing (ICIP 97)[C]. Santa Barbara CA: IEEE, 1997. 1. 536- 539.
- [2] PEREIRA S, RUANAIDH J J K O , DEGUILLAUME F, CSURKA G, PUN T. Template based recovery of Fourier2based watermarks using Log2polar and Log2log maps[A]. IEEE Int Conf. on Multimedia Computing and Systems, Special Session on Multimedia Data Security and Watermarking[C]. Florence, Italy: IEEE, 1999.
- [3] CSURKA G, DEGUILLAUME F, RUANAIDH J J K O ., PUN T. A Bayesian approach to affine transformation resistant image and video watermarking[A]. Proc of the 3rd Int Information Hiding Workshop [C]. USA: PIIHW, 1999. 315- 330.
- [4] DEGUILLAUME F, CSURKA G, RUANAIDH J J K O ., PUN T. Robust 3D DFT video watermarking[A]. Proc of IS&T/SPIE Electronic Imaging 99, Session: Security and Watermarking of Multimedia Contents[C]. San Jose, CA, USA: IS SPIE, 1999.
- [5] KUTTER M. Watermarking resisting to translation, rotation and scaling [A]. Proc of SPIE Multimedia Systems Applications[C]. USA: SPIE, 1998, 3528. 423- 431.
- [6] CHEVEAU L, GORAY E, SALMON R. Watermarking))) Summary results of EBU tests. EBU TECHNICAL REVIEW[R]. 2001. 8- 9.

- [7] BUSCH C, FUNK W, WOLTHUSEN S. Digital watermarking: From concepts to real time video applications[J]. IEEE Computer Graphics and Applications. 1999. 25- 35.

作者简介:

牛夏牧 男, 1961 年 5 月出生于辽宁省, 教授, 博士生导师, 哈尔滨工业大学, 信息对抗技术研究所所长、(深圳)研究生院信息安全技术研究中心主任, 1982 年在哈尔滨工业大学, 获得学士学位; 1989 年在哈尔滨工业大学, 获得硕士学位; 2000 年在哈尔滨工业大学, 获得博士学位; 2000. 10 至 2002.11 德国 Fraunhofer IGD, Dept. of Security Technology in Graphics and Communication Systems, 研究员; 2003 年作为特殊引进人才回国, 主要从事的研究的方向: 1) 信息处理及安全技术; 2) 信息隐藏与保密通信技术; 3) 信息对抗技术, 共发表学术论文 70 余篇, 其中 30 余篇被 SCI/ EI 收录, 主编与参编著作 3 部(两部中文、一部英文), 已公布受理发明专利四项, 获得国家科技进步二等奖 1 项, 省部级科技进步一等奖 2 项, 省部级科技进步二等奖 4 项, 省部级科技进步三等奖若干项, 2002 年荣获全国百名优秀博士论文奖; 2003 年荣获国防科工委百名优秀博士论文奖; 2003 年度获黑龙江省杰出青年科学基金资助; 2003 年度获全国留学回国人员科技活动择优资助项目优秀类项目资助. 现任 Systemics, Cybernetics and Informatics 国际会议图像压缩与数字水印分会主席, IEEE 学会会员, SPIE 学会会员, ACM 学会会员, 中国电子学会高级会员.