

同源视频 Copy-Move 篡改检测及恢复^①

陈智文¹, 黄添强^{1,2}, 吴铁浩¹, 袁秀娟¹, 苏伟峰³

¹(福建师范大学 数学与计算机科学学院, 福州 350007)

²(福建师范大学 网络安全与密码技术福建省高校重点实验室, 福州 350007)

³(北京师范大学-香港浸会大学联合国际学院 理工科技学部, 珠海 519085)

摘要: 针对同源视频序列的 copy-move 篡改方式, 提出一种通过度量图像内容间的相关性, 来实现对视频序列的 copy-move 篡改检测并恢复的方法. 首先将视频帧内容转化为一组连续的图像帧, 对图像分块, 提取每帧图像的8个特征矢量, 再利用欧氏距离计算帧间相关性, 并通过添加偏差矩阵构造动态偏差阈值, 检测出 copy-move 篡改序列且精确至帧, 从而实现对视频序列的篡改检测与恢复. 实验表明, 该算法对同源视频序列的 copy-move 篡改检测及恢复能够取得理想的效果.

关键词: 视频篡改; 序列 copy-move; 偏差矩阵; 视频恢复

Detection and Recovery for Copy-Move Forgery in Homologous Video

CHEN Zhi-Wen¹, HUANG Tian-Qiang^{1,2}, WU Tie-Hao¹, YUAN Xiu-Juan¹, SU Wei-Feng³

¹(School of Mathematics and Computer Science, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

²(Key Laboratory of Network Security and Cryptography, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

³(Department of Computer Science and Technology, BUN-HKBU United International College, Zhuhai 519085, China)

Abstract: With regard to the copy-move forgery of video frame sequence, this paper proposes a algorithm for video detection and recovery base on the correlation of the contents between frames. Firstly, the video frames are translated into a series of consecutive image frames, and by blocking the frame to extract eight dimensional feature vectors. With Euclidean distance computed the correlation between frames, a deviation matrix is import in the algorithm to reduce the false alarm rate. A threshold value is used to localize the modifications to a frame level and recover the original video. Experimental results show that this method can effectively detect the copy-move forgery of video frame sequence and video restoration.

Key words: video tampering; frame sequential copy-move; deviation-matrix; video restoration.

在当今数字化时代, 低廉的数码成像设备以及功能强大的各种视频编辑软件的普及使普通计算机用户都能够对视频进行剪辑或是篡改伪造. 如果数字视频篡改被人恶意的用于媒体、科学实验表达、商业、保险和法庭证物, 无疑会对政治和社会各个方面产生严重的影响^[1]. 因此, 对数字视频的真实性、完整性、原始性等方面的认证已经成为国内外信息安全领域中一个十分重要的研究课题.

目前, 国内外数字视频被动认证研究仍处于起步阶段, 主要的研究队伍及重要的研究成果不多. 其中, 美国 Dartmouth 大学 Hany Farid 科研团队受到美国国家网络安全办公室(DHS-NCSD)的资助, 率先开始了视频取证的研究, 分别在视频的二次压缩检测^[2]、二次量化检测^[3]、视频帧复制与区域复制检测^[4]等方面取得一系列研究成果. Binghamton 大学 J.Fridrich 研究团队和 Columbia 大学 Shih-fu Chang 科研团队也相继进行了该

① 基金项目:国家自然科学基金(61070062);福建省高校产学研合作科技重大项目(2012H6006);福建省高校服务海西建设重点项目(2008HX200941-4-5);

福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划(JAI1038)

收稿时间:2013-01-28;收到修改稿时间:2013-02-28

领域的相关研究,为视频篡改检测研究奠定了一定的基础.利用模式噪声来确定视频来源设备这一思想最早是由 J.Fridrich^[5]提出的,Shih-fu Chang^[6,7]对视频篡改伪造方式的研究也为视频篡改检测奠定了基础.国内对数字视频被动认证的研究刚起步,成果不多,具有代表性的文献如王俊文^[8]等基于模式噪声的思想,通过计算待测帧的噪声与模式噪声的相关性,设定阈值,判断出篡改区域.秦运龙^[9]针对 mpeg 格式的视频,利用数字视频帧间内容的连续性,提出一种基于运动矢量的数字视频篡改检测方法.张静^[10]针对特定的 logo 编辑软件,利用高频能量定位篡改区域.在文献[11]中,张静利用区域性相关性检测技术对复制粘贴区域进行有效探测.袁秀娟^[12]则利用视频帧纹理特征的连续性与否来检测视频异源帧插入、帧替换篡改操作.

序列 copy-move 篡改是一种比较简单也比较常见的视频篡改手段.现有的针对该类型的篡改检测算法不多,往往存在计算复杂度高,定位不准确,虚警率高,不能恢复原视频等问题.例如 Wang^[4]利用视频子序列帧图像空域特征的相似性来检测视频序列间的复制关系.它将视频划分为多个子序列,然后将视频序列完全解码后,提取视频序列每帧图像的空域特征,再统计各子序列的特征,并计算子序列间的相似度.这样大大增加了计算复杂度,而且由于只考虑了视频序列的内容特征,因此检测结果的虚警率较高.秦运龙^[13]则通过提取 GOP(Group of Picture)内容和运动矢量的特征,并计算所有 GOP 在内容和运动上的相似性参数来检测视频序列的 copy-move 篡改,能快速准确地检测视频序列内各子序列间是否存在 copy-move 篡改,检出率高,但是未能准确定位篡改的起始位置,无法准确恢复原始视频.而在某些司法取证及保险取证中,仅仅鉴定出视频的真伪是远远不够的,还迫切需要将被篡改的视频证据给恢复出来,鉴于以上问题,本文提出一种基于度量图像内容灰度梯度特征相关性的同源视频序列 copy-move 篡改检测与恢复的方法.该方法在检测视频序列篡改时,不仅能准确地检测视频序列内各子序列间是否存在 copy-move 篡改,而且降低了虚警率,能精确检测出篡改具体的某一帧并对视频进行恢复.

1 视频序列 copy-move 篡改

针对空间域上的数字视频篡改检测有数字图像的检测技术作为基础,而针对时间域上的数字视频篡改检测是近几年才开始研究发展的,数字视频所含的信

息量更大,特征维数更高,所以时间域上的数字视频篡改检测比空间域上的数字视频篡改检测要难.而现实生活中,数字视频的篡改往往都是多种篡改方式交叉混合运用,这对数字视频篡改检测又是一大挑战.

序列 copy-move 篡改是一种简单常见的时域上的篡改,即将视频序列的某些子序列进行复制并插入到该视频序列其它时间段上,以达到混淆视听的作用.篡改过程如图 1 所示.

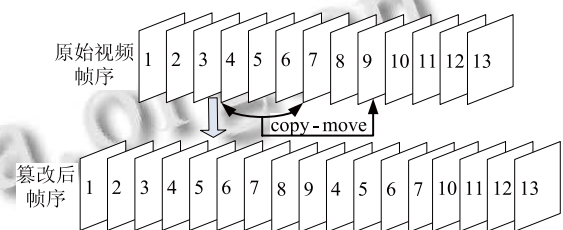


图 1 视频序列 copy-move 篡改示意图

2 视频序列 copy-move 篡改检测与恢复

copy-move 篡改中被插入的视频序列是从同一个视频中的某段序列复制而来,可以通过计算视频子序列间的相似性来检测这种篡改.本文 copy-move 篡改检测就是要判断一段视频中是否存在复制粘贴序列对,并定位出该序列并加以恢复.因此,本文通过提取视频帧的灰度、梯度信息,并计算这些信息间的相关性,并引入一个偏差矩阵以消除相邻帧之间相似性的干扰,设定阈值从而判断出视频篡改位置,降低虚警率并恢复原视频是本文研究的重点内容.整体检测流程图如图 2 所示.

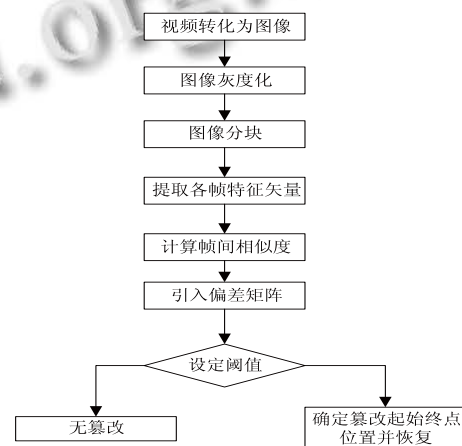


图 2 视频 copy-move 篡改检测流程图

2.1 视频内容特征

视频图像是二维图像在一维时间域上构成的有序时间序列图像,因而对于视频的篡改检测,可以将视

频图像转换为幅幅连续的图像进行检测处理, 而视频帧内容又可以用灰度信息和梯度信息表示。

灰度图像是一个数据矩阵 I , 其值表示一定范围内的亮度值。灰度图像实际就代表了图像中的像素亮度。灰度图像的描述与彩色图像一样仍然反映了整幅图像的整体和局部的色度和亮度等级的分布和特征, 能够很好的代表视频的内容。

图像的灰度化处理通常采用如下方法。根据 RGB 和 YUV 颜色空间的变化关系可建立亮度 Y 与 R 、 G 、 B 三个颜色分量的对应: $Y=0.2989 \times R + 0.5870 \times G + 0.1140 \times B$, 以这个亮度值表达图像的灰度值。

图像梯度是用来描述图像内容的又一重要特征, 尤其是在描述图像边缘特征, 经常用到梯度。图像梯度可以把图像看成二维离散函数, 图像梯度其实就是这个二维离散函数的求导。数字图像中, $f(i, j)$ 可表示成一个 $M \times N$ 的二维数字阵列,

$$f(i, j) = \begin{pmatrix} f(0,0) & \dots & f(0, N-1) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ f(M-1,0) & \dots & f(M-1, N-1) \end{pmatrix} \quad (1)$$

对于图像 $f(i, j)$, 用差分来近似代替导数, 则在点 (i, j) 处沿 x 方向和 y 方向的一阶差分可分别表示为:

$$f_x(i, j) = f(i+1, j) - f(i, j) \quad (2)$$

$$f_y(i, j) = f(i, j+1) - f(i, j) \quad (3)$$

而水平垂直差分则可表示为:

$$f_{xy}(i, j) = \sqrt{f_x^2(i, j) + f_y^2(i, j)} \quad (4)$$

2.2 视频篡改检测

整个检测方案分为 9 个步骤:

1) 视频分块;

设视频大小为 $M \times N \times T$, M 、 N 表示分辨率, T 表示视频序列长度。本文把视频分为 $K \times K$ 个块, 每块大小为 $P \times Q$, 其中 $P=M/K$, $Q=N/K$ 。为了降低时间复杂度, 通常 K 取 4。

2) 图像灰度化, 得到灰度矩阵 $G(x, y)$, 并计算得到 3 个梯度矩阵, 水平梯度矩阵 $FH_t(x, y)$ 、垂直梯度矩阵 $FV_t(x, y)$ 、水平垂直梯度矩阵 $FHV_t(x, y)$ 。

$$FH_t(x, y) = \sum_{k=1}^M (G_t(x_{k+1}, y) - G_t(x_k, y)) \quad (5)$$

$$FV_t(x, y) = \sum_{k=1}^N (G_t(x, y_{k+1}) - G_t(x, y_k)) \quad (6)$$

$$FHV_t(x, y) = \sqrt{FH_t(x, y)^2 + FV_t(x, y)^2} \quad (7)$$

3) 提取特征向量;

根据以下公式计算每一帧每一块的灰度均值、灰度方差、水平梯度均值、水平梯度方差、垂直梯度均值、垂直梯度方差、梯度均值、梯度方差, 灰度的均值与方差表征视频帧内容的亮度分布情况, 而梯度的均值与方差表征图像内容边缘信息的分布情况, 仅仅选择灰度或者梯度的均值或者方差作为特征向量, 得到的检测都是不够准确的, 特征提取的计算量很大, 因而也无需再提取更多的特征进行分析检测。因而通过以下计算公式得到以下 8 组关于视频内容的特征向量序列:

$$MG_{t_i} = \frac{\sum_{x=1}^p \sum_{y=1}^q G_t(x, y)}{P \times Q} \quad (8)$$

表示第 t 帧第 i 块灰度均值, $1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq K \times K$

$$VG_{t_i} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^p \sum_{y=1}^q (G_t(x, y) - MG_{t_i})^2}{P \times Q}} \quad (9)$$

表示第 t 帧第 i 块灰度方差, $1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq K \times K$

$$MFH_{t_i} = \frac{\sum_{x=1}^p \sum_{y=1}^q FH_t(x, y)}{P \times Q} \quad (10)$$

表示第 t 帧第 i 块水平梯度均值, $1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq K$

$\times K$

$$VFH_{t_i} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^p \sum_{y=1}^q \left(FH_t(x, y) - \frac{\sum_{x'=1}^p \sum_{y'=1}^q FH_t(x', y')}{P \times Q} \right)^2}{P \times Q}} \quad (11)$$

表示第 t 帧第 i 块水平梯度方差, $1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq K$

$\times K$

$$MFV_{t_i} = \frac{\sum_{x=1}^p \sum_{y=1}^q FV_t(x, y)}{P \times Q} \quad (12)$$

表示第 t 帧第 i 块垂直梯度均值, $1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq K$

$\times K$

$$VFV_{t_i} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^p \sum_{y=1}^q \left(FV_t(x, y) - \frac{\sum_{x'=1}^p \sum_{y'=1}^q FV_t(x', y')}{P \times Q} \right)^2}{P \times Q}} \quad (13)$$

表示第 t 帧第 i 块垂直梯度方差, $1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq K$

×K

$$MFHV_{t_i} = \frac{\sum_{x=1}^p \sum_{y=1}^q FHV_{t_i}(x, y)}{P \times Q} \quad (14)$$

表示第 t 帧第 i 块水平垂直梯度均值. $1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq K \times K$

$$VFHV_{t_i} = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^p \sum_{y=1}^q \left(FHV_{t_i}(x, y) - \frac{\sum_{x'=1}^p \sum_{y'=1}^q FHV_{t_i}(x', y')}{P \times Q} \right)^2}{P \times Q}} \quad (15)$$

表示第 t 帧第 i 块水平垂直梯度方差. $1 \leq t \leq T, 1 \leq i \leq K \times K$

4) 特征向量归一化;

$$F_{t_i}' = \frac{F_{t_i} - \min\{F_{t_i}\}}{\max\{F_{t_i}\} - \min\{F_{t_i}\}} \quad (16)$$

将 MG_t 、 VG_t 、 MFH_t 、 VFH_t 、 MFV_t 、 VFV_t 、 $MFHV_t$ 、 $VFHV_t$ 8 组特征向量带入以上归一化公式进行计算得到新的归一化之后的特征向量 MG_t' 、 VG_t' 、 MFH_t' 、 VFH_t' 、 MFV_t' 、 VFV_t' 、 $MFHV_t'$ 、 $VFHV_t'$;

5) 计算各特征向量的差异度矩阵;

传统的方法用协方差公式来进行相似度度量.

$$r = \frac{\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})(B_{mn} - \bar{B})}{\sqrt{\left(\sum_m \sum_n (A_{mn} - \bar{A})^2 \right) \left(\sum_i \sum_j (B_{mn} - \bar{B})^2 \right)}} \quad (17)$$

理论上若两帧的特征值之间呈线性关系, 即使帧与帧之间没有经过 copy-move 篡改, 通过协方差公式计算, 得到的相似度结果是 1 的, 从而造成误检. 而欧氏距离不仅不受帧间线性关系的影响, 并且计算量相对于其它相似度计算公式要小, 因而本文利用欧氏距离进行度量相似度. 将 8 个归一化之后得到的特征向量序列分别带入到下式中.

$$d(i, j) = \sqrt{(x_{i1} - x_{j1})^2 + (x_{i2} - x_{j2})^2 + \dots + (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (18)$$

$d(i, j)$ 表示第 i 帧与第 j 帧的差异度, k 表示块的个数, 如 x_{ik} 表示第 i 帧第 k 块的特征值.

距离越短, 相似度越大, 差异度越小; 反之, 相似度越小, 差异度越大.

6) 构造偏差矩阵;

对于经过 copy-move 篡改的帧序列对相异度比较小, 但是相邻帧之间内容相似度也很小, 因而容易造成虚警率高的问题, 因而在原来计算的相似度矩阵的基础上引入了偏差矩阵. 而偏差矩阵的作用在于校正相似性矩阵, 从而减少相邻帧之间相似性的影响, 根据原始相似度矩阵相邻帧与帧之间的位置关系, 对偏差比较大的元素进行校正.

$$Bias(i, j) = \begin{cases} \frac{1}{10 \times (i - j - 1)}, & 1 < j < i \leq n \\ 0.4, & i = j + 1 \\ 0, & \text{其它} \end{cases} \quad (19)$$

n 表示视频帧的长度, $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n$, $Bias$ 是一个 $n \times n$ 的矩阵.

7) 设置动态偏差阈值;

$$d(i, j) < T \quad (20)$$

动态偏差阈值

$$T = \frac{\lambda}{0.1 \times bias(\text{round}(n/2), 1)} - Bias(i, j) \quad (21)$$

其中, n : 视频帧的长度, $1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n$, λ : 阈值参数. round : 表示取整.

若存在相异度小于阈值的帧对, 则可判断视频被篡改.

2.3 视频篡改恢复

2.2 中的步骤只是对视频的真伪进行了辨别, 若想在司法举证上真正利用视频证据, 还必须对篡改视频进行有效恢复.

1) 确定篡改帧对

通过判断相异度矩阵跟动态偏差的阈值关系, 可以得到一系列篡改帧对, 可视为候选帧对. 如针对图 3 所示这种篡改: 将视频的第 4、5、6 帧 copy-move 到第 8 帧后面, 篡改后的帧号为 9、10、11. 篡改后, 第 4、5、6 帧的内容实际上分别跟 9、10、11 帧的内容匹配. 但是实际检测的结果可能会如表 1 第 1 行所示.

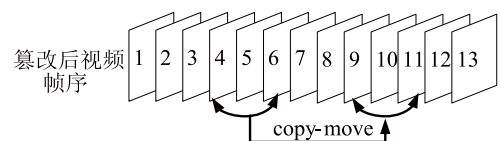


图 3 篡改举例

表 1 检测结果举例

候选帧对	(4,9)	(4,10)	(5,10)	(6,10)	(6,11)
帧距	5	6	5	4	5

视频序列中的某一帧可能会跟其它某几帧匹配, 为了确定篡改帧对, 需要从候选篡改帧对中剔除假篡改帧对, 由于经过 copy-move 篡改的视频序列, 篡改帧序列每一帧的帧号与原始帧序列对应帧的帧号差值应该相同, 即帧距相同. 但是由于受到相邻帧的影响, 候选篡改帧对之间的距离会在实际值上下波动, 如表 1 所示, 针对图 3 的篡改方式, 候选帧对的帧距在 5 上下波动, 出现的次数也最多. 所以出现频数最多的距离可以认为是 copy-move 篡改操作的距离, 通过此条件找到实际篡改帧对. 通过表 1 得到的篡改帧对就是 (4,9), (5,10), (6,11), 帧距为 5, 即可得到 copy-move 帧序列 4~6 与帧序列 9~11.

2) 找到篡改点

通过上述步骤可以得到篡改帧对 $p \sim q$ 与 $p+t \sim q+t$, 但是若想恢复原始视频, 还必须明确哪段序列为原始序列, 哪段是 copy-move 之后的篡改序列, 为了确定原始序列与篡改序列, 本文以第 1 帧为参考帧, 计算

$$\Delta d_p = |d(p,1) - d(p-1,1)| \quad (22)$$

$$\Delta d_q = |d(q,1) - d(q+1,1)| \quad (23)$$

$$\Delta d_{p+t} = |d(p+t,1) - d(p+t-1,1)| \quad (24)$$

$$\Delta d_{q+t} = |d(q+t,1) - d(q+t+1,1)| \quad (25)$$

$$\Delta d_m = \Delta d_p + \Delta d_q \quad (26)$$

$$\Delta d_n = \Delta d_{q+t} + \Delta d_{q+t+1} \quad (27)$$

然后对 Δd_m 与 Δd_n 这两个值比较大小. $d(i,1)$ 表示第 i 帧与第 1 帧的差异度, Δd 表示所得视频序列首尾帧与相邻帧之间的差异度, Δd 大的即为篡改序列, 小的即为原始序列. 如图 4 的篡改举例所示, 得到篡改帧对 4~6 与 9~11, 分别计算 $\Delta d_1, \Delta d_2, \Delta d_3, \Delta d_4$, 比较 $\Delta d_1 + \Delta d_2$ 与 $\Delta d_3 + \Delta d_4$ 的大小, 明确篡改序列之后, 将篡改序列删除即可得到原始视频序列.

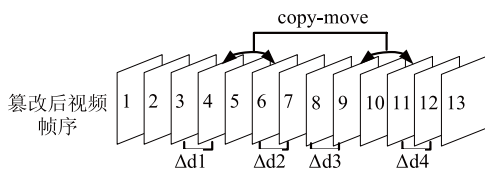
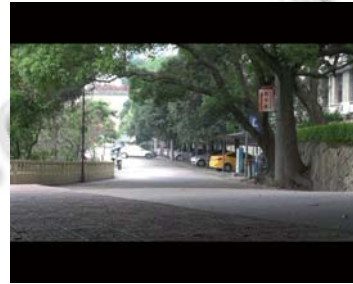


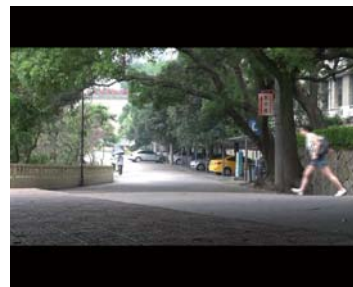
图 4 篡改举例

3 实验结果及分析

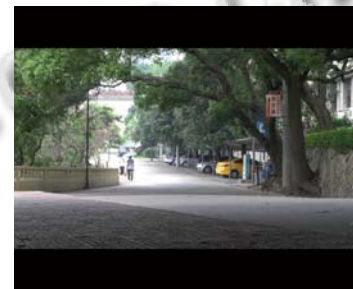
本文主要针对背景固定的数字视频进行 copy-move 篡改检测实验, 为了验证算法的有效性, 实验使用的视频采集设备为 SONY CX700 和 SONY DSC-P10, 通过镜头静止拍摄分别得到的视频 road.mpg, park.mpg. 原始视频内容如图 5, 图 6 所示. 本实验在配置为 Intel 3.06GHz CPU、4.00G 内存、1T 硬盘及操作系统为 64 位 Windows 7 的计算机上进行, 使用 Matlab 编写的程序实现算法.



(a) road.mpg(第 150 帧)



(b) road.mpg(第 200 帧)



(c) road.mpg(第 300 帧)

图 5 原始视频 road.mpg 帧内容



(a) park.mpg(第 150 帧)



(b) park.mpg(第 250 帧)



(c) park.mpg(第 350 帧)

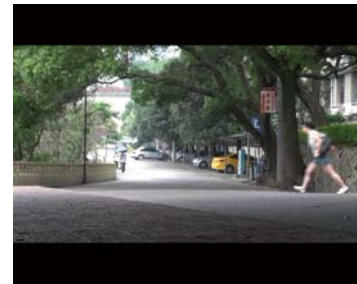
图 6 原始视频 park.mpg 帧内容



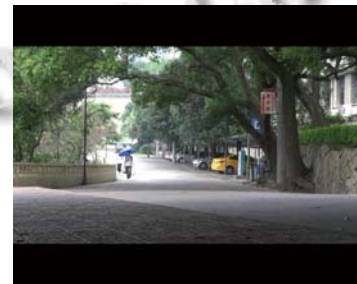
(b) 篡改 road.mpg(第 200 帧)



(c) 篡改 road.mpg(第 300 帧)



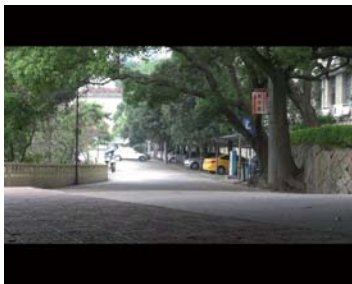
(d) 篡改 road.mpg(第 380 帧)



(e) 篡改 road.mpg(第 500 帧)

图 7 166-286 帧 copy-move 至 346 帧处 road.mpg 视频帧内容

如果篡改帧数较少, 时间上不到 0.5 秒, 对视频内容影响不大, 这种篡改方式意义并不大^[4], 所以本文篡改检测主要针对的是对视频帧时间序列上不低于 10 帧的篡改方式, 本文实验研究针对的篡改方式是将视频中的某段帧序列进行复制, 将复制的帧序列粘贴到此视频的其他位置的篡改. 本文通过 MPEG-VCR-V3.14.7.3 对这两段视频分别进行 copy-move 篡改操作. 原始视频数据: road.mpg, 分辨率为 720×576 , 帧率为 30.00fps. 针对 road.mpg 进行 copy-move 篡改, copy-move 的视频序列内容为一人横穿马路的一个片段, 篡改之后的效果是此人横穿马路两次, 视频篡改后内容变化如图 7 所示. park.mpg, 分辨率为 640×480 , 帧率为 25.00fps. 针对 park.mpg 进行 copy-move 篡改, copy-move 的视频序列内容为随机的一个片段, 视频篡改后内容变化如图 8 所示.



(a) 篡改 road.mpg(第 150 帧)



(a) 篡改 park.mpg(第 150 帧)



(b) 篡改 park.mpg(第 250 帧)



(e) 篡改 park.mpg(第 500 帧)



(c) 篡改 park.mpg(第 350 帧)



(d) 篡改 park.mpg(第 410 帧)

图 8 201-301 帧 copy-move 至 355 帧处 park.mpg 视频帧内容

实验所进行的篡改操作分别为有意义的篡改和随机的篡改, 将视频序列片段 copy-move 置另一个时间段, 以达到混淆视听的目的. 为了分析算法的有效性及时复杂度, 分别取 500 帧与 1000 帧的原始视频进行 copy-move 篡改, 分别将视频片段复制到原始视频片段的左侧和右侧, 并对篡改位置与原始视频片段的距离进行了考虑.

为了尽可能降低时间复杂度, 将视频帧分为 16 块, road.mpg 视频帧每块大小: 188×140 , 实验结果如表 2 所示. park.mpg 视频帧每块大小: 160×120 . 实验结果如表 3 所示.

表 2 road.mpg 篡改检测结果

原始视频帧数	篡改后视频帧数	具体篡改操作	特征提取所需时间(s)	特征分析所需时间(s)	检测所需总时间(s)	检测结果
500 帧	621 帧	166-286 帧 copy-move 至 46 帧处 (copy-move 至原始视频帧左侧)	157.06	6.28	163.34	原始帧 288~408 篡改帧 46~166
		166-286 帧 copy-move 至 346 帧处 (copy-move 至原始视频帧右侧) (距离原始视频帧 180 帧)	155.92	6.24	162.16	原始帧 167~287 篡改帧 346~466
		166-286 帧 copy-move 至 436 帧处 (copy-move 至原始视频帧右侧) (距离原始视频帧 260 帧)	165.39	6.24	171.63	原始帧 167~287 篡改帧 436~556
1000 帧	1121 帧	166-286 帧 copy-move 至 76 帧处 (copy-move 至原始视频帧左侧)	278.73	38.92	317.65	原始帧 289~408 篡改帧 77~196
		166-286 帧 copy-move 至 466 帧处 (copy-move 至原始视频帧右侧) (距离原始视频帧 200 帧)	284.80	38.75	323.55	原始帧 168~287 篡改帧 467~586
		166-286 帧 copy-move 至 736 帧处 (copy-move 至原始视频帧右侧) (距离原始视频帧 570 帧)	286.28	38.65	324.93	原始帧 167~287 篡改帧 736~856

表 3 park.mpg 篡改检测结果

原始视频 帧数	篡改后视频 帧数	具体篡改操作	特征提取所 需时间(s)	特征分析所 需时间(s)	检测所需 总时间(s)	检测结果
500 帧	601 帧	201-301 帧 copy-move 至 92 帧处 (copy-move 至原始视频帧左侧)	86.02	5.76	91.78	原始帧 305~404 篡改帧 93~192
		201-301 帧 copy-move 至 355 帧处 (copy-move 至原始视频帧右侧) (距离原始视频帧 154 帧)	88.63	5.75	94.38	原始帧 204~303 篡改帧 356~455
		201-301 帧 copy-move 至 437 帧处 (copy-move 至原始视频帧右侧) (距离原始视频帧 236 帧)	88.39	5.74	94.13	原始帧 204~303 篡改帧 438~537
1000 帧	1101 帧	201-301 帧 copy-move 至 61 帧处 (copy-move 至原始视频帧左侧)	167.04	36.52	203.56	原始帧 300 ~ 399 篡改帧 61 ~ 160
		201-301 帧 copy-move 至 496 帧处 (copy-move 至原始视频帧右侧) (距离原始视频帧 295 帧)	185.84	36.83	222.67	原始帧 199 ~ 298 篡改帧 496 ~ 595
		201-301 帧 copy-move 至 809 帧处 (copy-move 至原始视频帧右侧) (距离原始视频帧 608 帧)	160.46	37.53	198.09	原始帧 199 ~ 298 篡改帧 809 ~ 908

实验结果表明, 本文的算法针对视频帧序列的 copy-move 篡改, 不受篡改位置的影响, copy-move 至原始序列的左边或者右边, 远还是近, 都能进行有效检测, 这是因为引入了一个偏差矩阵, 使其减少相邻帧之间相似性, 降低了虚警率. 最终检测结果基本正确, 这里的检测能精确到具体的某一帧, 因而可以恢复出原始视频序列. 在表 2 中的实验 4 和实验 5 及表 3 所示的 6 个小实验中, 对于篡改序列帧, 分别漏检 1 帧, 但是对于视频的恢复影响不大. 对于视频 park.mpg, 原始序列的检测结果有不超 5 帧的偏差, 由于视频的恢复取决于对篡改帧的检测, 因而原始序列的检测结果对于视频的恢复没有任何影响. 而通过表 2 及表 3 的检测结果可以看到, 对于篡改帧序列的检测误差不会超过 1 帧, 对于视频恢复几乎不受影响.

在时间效率方面, 通过实验结果分析得到检测所需的时间与视频帧数成倍数增长, 但是特征分析所消耗的时间与视频帧数成指数级增长, 特征提取所需的时间大约占据了视频篡改检测 80%左右的时间, 所以, 在下一步的研究中可以将特征选择作为进一步研究的重点.

表 4 将本文算法与文献[13]中算法进行对比, 文献[13]中, 秦运龙将 GOP 看成一个整体, 提取 GOP 内容和运动两方面的特征, 能有效检测视频序列内各子序

列间的 copy-move 篡改关系, 但是未能准确定位篡改的起始位置, 检测误差在 1 个 GOP 长度的范围内, 因而无法准确恢复原始视频. 而本文提出的算法, 不仅能准确地检测视频序列内各子序列间是否存在 copy-move 篡改, 并且能较为精确地检测出具体篡改的某一帧并对视频进行有效恢复, 实验结果表明误差不会超过 1 帧.

表 4 算法比较

检测算法	本文算法	文献[13]算法
检测精度(帧)	1	12
可恢复性	能	不能

4 结语

本文主要针对视频时间域上的 copy-move 篡改, 即视频序列在同一视频内的复制-黏贴操作进行的, 通过提取视频序列特征, 引入偏差矩阵, 计算帧间相似度, 设定阈值, 从而找到 copy-move 帧序列及篡改点, 最终可进行视频恢复. 实验结果表明本文算法能够较好的恢复原始视频, 但是这种方法的时间复杂度随着视频帧数的增加而增加, 当视频帧数相当庞大时, 时间复杂度会很大, 但可以通过取关键帧的方法进行检测, 只是篡改后的恢复无法精确定位.

参考文献

- 1 周琳娜,王东明.数字图像取证技术.北京:北京邮电大学出版社,2008.
- 2 Wang W, Farid H. Exposing digital forgeries in video by detecting double MPEG compression. Proc. of the 8th Workshop on Multimedia and Security. New York. 2006: 37-47.
- 3 Wang W, Farid H. Exposing digital forgeries in video by detecting double quantization. Proc. of the 11th ACM workshop on Multimedia and security. New York, USA 2009: 39-48.
- 4 Wang W, Farid H. Exposing digital forgeries in video by detecting duplication. Proc. of the 9th workshop on Multimedia and Security, New York, NY, USA. 2007: 35-42.
- 5 Lukas J, Fridrich J, Goljan M. Digital camera identification from sensor pattern noise. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2006, 1(2): 205-214.
- 6 Shih T, Tsai J, Tang N, Chang SM, Lin Y. Video Forgery. Future Generation Information Technology, 2009: 7-11.
- 7 Shih T, Tsai J, Tang N, Chang SM, Lin Y. Video forgery and special effect production. Visual Informatics: Bridging Research and Practice, 2009: 35-37.
- 8 王俊文,刘光杰,张湛,王执铨,戴跃伟.基于模式噪声的数字视频篡改取证.东南大学学报(自然科学版),2008,38(增刊): 13-17.
- 9 秦运龙,孙广玲,张新鹏.利用运动矢量进行视频篡改检测.计算机研究与发展,2009,46(增刊):227-233.
- 10 张静,陈静,苏育挺.基于滤波检测的视频区域篡改检测算法.电子测量技术,2011,34(11):66-69.
- 11 张静,宋怡,苏育挺.基于时空联合匹配的视频篡改检测算法.电子测量技术,2011,34(11):58-61.
- 12 袁秀娟,黄添强,陈智文,吴铁浩,苏立超.基于纹理特征的数字视频篡改检测,计算机系统应用,2012,21(6):91-95.
- 13 秦运龙,孙广玲,张新鹏,刘焕,王朔中,魏为民.一种基于压缩域的视频序列 copy-move 篡改检测方法.中国发明专利,200910198209.2010-05-12.
- 14 黄添强,陈智文,苏立超,郑之,袁秀娟.利用内容连续性的数字视频篡改检测.南京大学学报,2011,47(5):493-503.
- (上接第 118 页)
- Optim., 2007, 13(1): 79-102.
- 8 郑金华.多目标进化算法及其应用.北京:科学出版社,2007.
- 9 王凌.车间调度及其遗传算法.北京:清华大学出版社,2003.
- 10 王凌.微粒群优化与调度算法.北京:清华大学出版社,2008.
- 11 Nawaz M, Enscore E, Ham I. A heuristic algorithm for the m-machine n-job flow shop sequencing problem. Omega, 1983, 11(1): 11-95.
- 12 Agrawal S, Deb K, et al. A fast and elitist multi-objective genetic algorithm, NSGA2, IEEE Transactions on Evolutionary Computation, 2002, 6(2): 182-197.
- 13 Mostaghim S, Teich J. Strategies for finding good local guides in multi-objective particle swarm optimization. Proc of the 2003 IEEE Swarm Intelligence Symposium. Indianapolis: IEEE Service Center, 2003: 26-33.
- 14 Mladenovic N, Hansen P. Variable neighborhood search. Computers and Operations Research, 1997, 24: 1097-1100.
- 15 Zobolas GI, Tarantilis CD, Ioannou G. Minimizing makespan in permutation flow shop scheduling problems using a hybrid metaheuristic algorithm. Computers & Operations Research, 2009, 36: 1249-1267.
- 16 Jarboui B, Eddaly M, Siarry P. An estimation of distribution algorithm for minimizing the total flowtime in permutation flowshop scheduling problems. Computers & Operations Research, 2009, 36: 2638-2646.
- 17 Taillard E. Benchmarks for basic scheduling problems. European Journal of Operational Research, 1993, 64: 278-285.
- 18 Zitler E, Thiele L. Multiobjective evolutionary algorithm: A comparative case study and the strength pareto approach. IEEE transactions on evolutionary computation, 3(4): 257-271.
- 19 Zitler E, Thiele L. SPEA2: Improving the strength pareto evolutionary algorithm for multiobjective optimization. Eurogen 2001-Evolutionary methods for design, optimization and control with applications to industrial problems.