

根据 GOP 异常进行视频序列剪辑篡改的盲检测

秦运龙, 孙广玲, 王朔中, 张新鹏

(上海大学通信与信息工程学院, 上海 200072)

摘 要: 本文根据对数字视频的剪辑篡改引起 MPEG-2 编码中 GOP 异常的现象提出一种盲检测方法. 视频序列以一定的 GOP 结构进行压缩, 其运动误差序列在 Fourier 变换域中存在特定的尖峰, 解码后再以不同的 GOP 结构进行二次压缩, 尖峰的分布会发生变化. 经不同 GOP 结构进行多次压缩后, 历次处理的痕迹被保留在视频信号中. 因此, 在视频内容无剧烈变化的情况下, 根据尖峰的不一致性可准确定位被替换拼接的视频内容片段. 该方法也可根据尖峰所在位置判断视频是否经过二次压缩, 并推算第一次压缩的 GOP 结构, 为检测可疑视频内容提供有用信息. 实验表明这种基于 GOP 异常的检测方法能有效检测对视频序列的剪辑篡改.

关键词: 视频剪辑; 视频拼接; 运动误差; GOP 效应; 二次压缩

中图分类号: TP391 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2010) 07-1597-06

Blind Detection of Video Sequence Montage Based on GOP Abnormality

QIN Yun-long, SUN Guang-ling, WANG Shuo-zhong, ZHANG Xin-peng

(School of Communication and Information Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: This paper proposes a blind detection technique to reveal malicious attacks on video contents by video sequence montage. The method is based on an analysis of Fourier transform of the series of motion errors. For an MPEG-2 video sequence with a particular structure of the group of pictures (GOP), spikes exist in the Fourier transform magnitude of the error series. Multiple MPEG compression with different GOP structures results in variation of spikes in the Fourier domain, leaving clear signatures of the coding history in the video sequence. These spike artifacts are used to detect video splicing, i.e., replacing certain sections of the video with fake contents taken from other sequences with different GOP structures. This method can also be used to detect suspicious multiple compressions and find the initial GOP structure, providing useful clues to the authentication of video contents. Experiments show effectiveness of the proposed method.

Key words: video montage; video splicing; motion error; group of pictures (GOP) artifacts; double compression

1 引言

随着信息技术的迅速发展, 多媒体应用日益普遍. 便捷的互联网和功能强大的视频编辑工具使视频数据很容易被获取与修改. 通过互联网或其他途径传播的一些合成视频是通过剪辑等方式将不同来源的视频内容拼接而成, 使原始视频所传递的信息发生重大变化. 检测这种对视频信号的剪辑攻击对于信息安全至关重要.

视频篡改检测方法有主动认证和被动认证两类. 主动认证技术包括视频脆弱水印, 以及基于特征提取的感知 Hash 或数字签名. 视频水印是预先在视频中嵌入不可感知的特定信息, 可通过检测这些信息的完整性来判断视频是否被篡改. 为了提高水印检测率、降低误码率, 可将水印与篡改看作互补的操作进行检测^[1]. 视频

Hash 或签名则是用短小的数据序列表征整个视频节目, 将它与视频数据一起传输, 通过检测视频内容与 Hash 的一致性来判断视频信号是否曾被篡改. 例如, 可将视频分解为多个子序列, 对每个子序列进行 3 维 DCT, 然后量化并编码为比特序列作为 Hash^[2]. 主动认证方法的弱点是要求事先采取防范措施, 即在发送端用专门的设备实现水印嵌入或 Hash 提取. 它们还会增加视频的传输延时, 而且对视频再压缩和滤波等正常操作过于敏感, 以至难以准确区分正常操作和恶意篡改.

被动认证并不要求事先采取措施, 也无需任何先验知识, 因而实用性更强, 已受到研究者越来越多的关注. 视频信号被动认证的研究起步较晚, 通常难度较大, 尚有一系列难题有待解决. 视频噪声是进行篡改检测可以利用的一种重要信息, 通过提取视频的固有模式噪声^[3], 并

计算它与参考噪声之间的相关性可实现视频篡改检测^[4~7],但这种方法只能检测用不同摄像机拍摄的节目之间的拼接.其他被动认证方法包括利用视频序列相关性^[8]、光源一致性^[9]、视频压缩中运动的一致性^[10]等技术.文献[11]提出了一种对视频放映进行非授权录像的检测技术.上述方法中有些也考虑了对视频剪辑篡改的检测^[4],但效果不够理想.

通过检测二次 MPEG-2 编码引起的异常来判断视频是否曾被篡改是一种有效方法^[12],这种方法借鉴静态图像认证中检测 DCT 系数分布的异常,根据 I 帧有无二次 JPEG 压缩的迹象来判断视频节目是否经过二次 MPEG-2 编码.该文献同时还针对视频帧的插入或删除,提出根据运动误差序列的 Fourier 变换中是否存在较大尖峰来进行帧删除检测.这一方法的处理速度很快,但只能检测某些特定的篡改,即限于篡改前后 GOP 结构不变,篡改帧数不是 GOP 的整数倍,而且视频内容变化不剧烈的情况.由于运动误差序列的 Fourier 域中本来就存在尖峰,篡改只是使这些尖峰变得更明显一些,故在盲检测的情况下往往难以做出可靠判断.

由于视频序列相邻帧的内容相关性较强,在前期工作中^[13],利用了滑动窗口检测运动矢量序列的局部变化,并设定自适应阈值来判断视频是否被篡改.这种方法能快速检测出单镜头视频中有无帧删除、帧增加和帧复制等篡改,对篡改帧数和压缩结构也没有限制,但它只能检测内容不静止的单镜头视频,且对视频内容的局部变化敏感.

对于 MPEG 视频序列,若不考虑 B 帧,每个 GOP 结构可看作是单独进行 MPEG-2 编码的,由此导致在时序上呈现一定的分段特性,不妨将它类比于 JPEG 的块效应.本文根据这种分段特性,将文献[12]的二次 MPEG 编码检测方法加以发展,提出一种视频剪辑篡改检测的新方法.为了便于下文的叙述,我们将这种分段现象称为 GOP 效应.对于经历不同压缩的视频信号,其 GOP 效应有不同的表现,可根据各子序列 GOP 效应的不一致性来判断视频是否被剪辑篡改过.不同于文献[12]中的方法,本文的方法并非根据是否存在尖峰进行检测,而是通过尖峰频率的不同来做出判断.此外,对篡改后视频编码的 GOP 结构没有限制,剪辑后用不同的 GOP 结构重新编码均能进行检测,对篡改帧数也无严格限制.该方法还可根据尖峰频率推测篡改前的 GOP 结构.

2 视频序列的 GOP 效应

在 JPEG 编码中图像被划分成 8×8 的块,对每个块单独进行编码操作.由于各 8×8 块之间的编码相互独立,编码后存在不同程度的块效应^[14].在视频编码中,若沿时间轴观察各帧所组成的序列,也存在类似的分段现象.在 MPEG-2 编码中各帧分为 I、P、B 三类. I 帧为帧内编码,它不依赖于其它帧. P 帧由前一个 I 帧或 P 帧预测得到, B 帧则是由前一个 I 帧或 P 帧和后一个 I 帧或 P 帧进行双向预测的结果.如上所述,不考虑 B 帧情况下每个 GOP 的编码过程都可看作相互独立,因而在可检测到的 GOP 效应.略去 B 帧后的视频编码序列如图 1 所示.

令 N 为 GOP 所含帧数, M 为 P 帧的帧间距,即两个相邻 P 帧之间 B 帧的个数加 1. 图 1 中以下标表示时序,上面的序列是以 $N=12, M=3$ 的 GOP 结构进行编码的,记为 GOP(12,3). 设图 1 中对应的视频原始图像为 F_i , 对于 P 帧,经预测编码后的结果为 $\hat{F}_i$, 则因预测而产生的预测残差为:

$$e_i = F_i - \hat{F}_i \quad (1)$$

设量化后残差值即运动误差为 e_i , 残差值的量化误差为:

$$q_i = e_i - e_i \quad (2)$$

解码或重构图像 F_i 为:

$$F_i = \hat{F}_i + e_i \quad (3)$$

预测编码结果为:

$$\hat{F}_i = C(F_{i-1}) \quad (4)$$

其中 $C(\cdot)$ 表示预测算法,即运动估计.由式(1)~(4)得到运动误差为:

$$|e_i| = |F_i - C(F_{i-1}) - q_i| \quad (5)$$

当视频内容变化比较缓慢时,视频前后几帧间的差异很小,即 $F_{i-1} \approx F_i$, 这时通过 F_{i-1} 能十分精确地预测出 F_i , 则有

$$F_i \approx C(F_{i-1}) \quad (6)$$

由于 q_i 具有加性噪声性质,由式(5)(6)得到

$$|e_i| = |q_i - C(q_{i-1})| \quad (7)$$

$$\Delta_i = |e_{i+1} - e_i| = |q_{i+1} - q_i + C(q_{i-1}) - C(q_i)| \quad (8)$$

由于同一 GOP 内预测误差累积较小,故 q_i 相关性较强,根据式(8),对应的 Δ_i 较小.相反,不同 GOP 间 q_i 的相关性较弱, Δ_i 也较大.因此每个 GOP 最后一个 P 帧

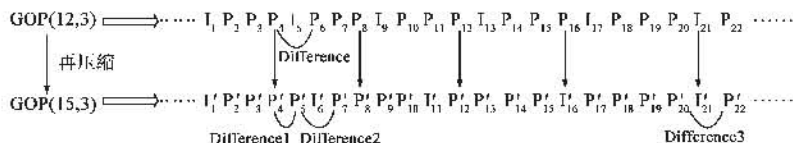


图1 视频编码序列

与下一个 GOP 第一个 P 帧的运动误差之间会出现跳变,如图 1 中的 P_4 与 P_6 。考虑整个视频中 P 帧的运动误差,这种较大的差异周期性地出现,其周期即为 GOP 中 P 帧的个数: $T = (N/M) - 1$ 。若将运动误差序列 $|e_i|$ 作离散 Fourier 变换,在得到的“频谱” $|E_i|$ 上会出现一个明显的尖峰,这就是 GOP 效应。视频内容变化越缓慢, $|F_{i+1} - C(F_i)|$ 越小, GOP 效应就越明显。同时为减小运动对 GOP 效应的影响,进行离散 Fourier 变换的 $|e_i|$ 长度应大于 20。

我们用 bridge-close.yuv 和 container.yuv 两段未压缩视频^[15],首先按文献[12]的方法进行实验:以 GOP(12, 3)进行第一次 MPEG-2 编码,计算 P 帧对应运动误差序列的 FFT;将编码后的视频解码并删除 3 帧,然后以 GOP(12, 3)重新编码后再次进行计算,结果见图 2。由于 Fourier 变换的共轭对称性,只画出正频率部分,图中横轴表示归一化频率,纵轴表示 FFT 幅度(下同)。由图可见,一次编码后 FFT 幅度存在明显尖峰如图 2(a)(c)所示,与上面分析的 GOP 效应一致。经删除篡改的结果见图 2(b)和(d),尖峰位置不变,而幅度变大了。但是根据这一现象检测帧的删除并不可靠,因为编码的视频序列本身就存在这种尖峰,大小因视频内容的不同有较大的差异,是不可估计的,仅根据尖峰是否存在或者它的大小难以做出正确的判断。

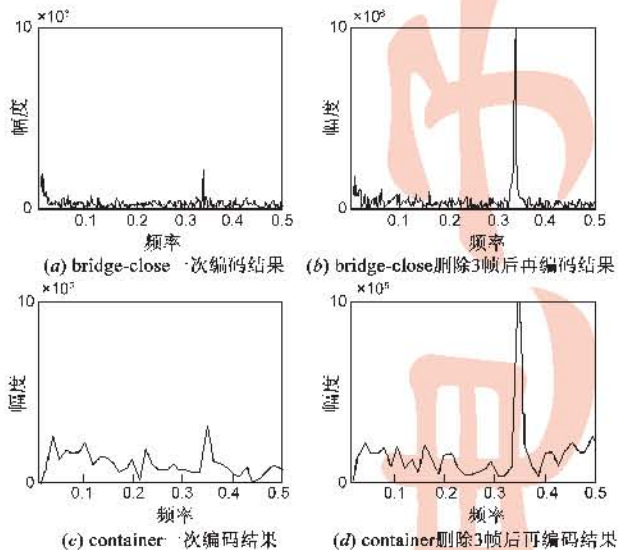


图2 帧删除后用同样GOP结构进行二次编码, P帧运动误差序列的离散Fourier变换

当一次编码视频以不同 GOP 结构进行再压缩时,如图 1 中第二行编码序列所示,同样设待编码帧为 F'_i ,则 $F'_i = F_i = F_i - q_i$,根据式(5)、(6),P 帧的运动误差为:

$$\begin{aligned} |e'_i| &= |F'_i - C(F'_{i-1} - q'_{i-1}) - q'_i| \\ &= |F_i - q_i - C(F_{i-1} - q_{i-1} - q'_{i-1}) - q'_i| \\ &= |q'_i + q_i - C(q'_{i-1} + q_{i-1})| \end{aligned} \quad (9)$$

其中, q_i 是第一次压缩产生的量化误差, q'_i 是再压缩产生的量化误差。再压缩后 P 帧运动误差 e'_i 取决于 q_i 和 q'_i ,因此对应的 P 帧运动误差之间存在三种较大差异,即 q_i 不相关而 q'_i 相关,例如 P'_4 与 P'_5 ; q_i 相关而 q'_i 不相关,例如 P'_5 与 P'_7 ; q_i 不相关且 q'_i 也不相关,例如 P'_{20} 与 P'_{22} 。这三种差异周期性出现,在 Fourier 变换域中相应出现较大的尖峰。我们将三者对应的频率分别记为 f_1, f_2, f_0 ,它们也有可能相等。

以视频信号 bridge-close 为例,进行 GOP(12, 3)编码,然后用不同的 GOP 结构再次压缩,实验结果如图 3 所示。图中出现的几个较大尖峰分别与上面的分析结果相对应。其中图 3(a)中某些幅度较小的尖峰由二次压缩中运动误差其它因素叠加产生,并非主要尖峰。

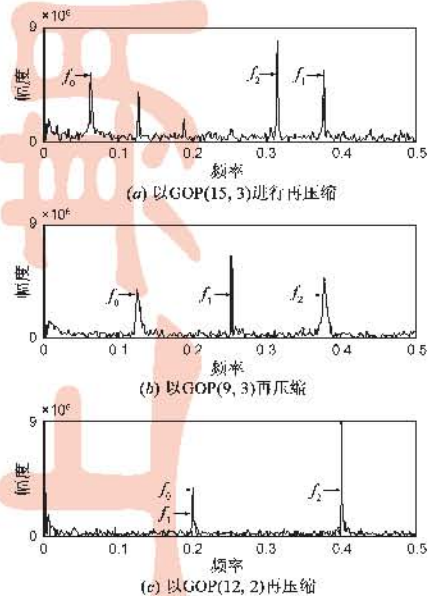


图3 再压缩后视频运动误差序列的FFT

3 运动误差序列的频谱特性和视频篡改检测

设视频压缩时 GOP 所含帧数为 N , P 帧的帧间距为 M ,由前面分析可知,在一次压缩或多次压缩的 GOP 结构相同时,对应 GOP 效应是以 GOP 中 P 帧的个数为周期的,因此其对应的尖峰所在频率由下式计算:

$$f = \frac{1}{P_{\text{non}}} \quad (10)$$

式中 $P_{\text{non}} = (N/M)$ (1 为 GOP 中 P 帧的个数,所得结果是 Fourier 变换域中的归一化频率(下同),见图 2(a)和(c))。

当视频经 $\text{GOP}(N_1, M_1)$ 压缩后又以 $\text{GOP}(N_2, M_2)$ 再次压缩,对应频率 f_0 由下式计算得到:

$$f_0 = \frac{N_2}{[N_1, N_2]} \times \frac{1}{P_{\text{non}2}} \quad (11)$$

其中 $[N_1, N_2]$ 表示 N_1 和 N_2 的最小公倍数, $P_{\text{non}2} =$

$(N_2/M_2) - 1$. 在所有情况下, 频谱中所有尖峰出现的频率(包括 f_1, f_2) 均在 f_0 的倍频上, 且小于 0.5, 如图 3 所示.

当 $M_1 = M_2$ 时, 对应的 f_1 和 f_2 为:

$$f_2 = \frac{1}{P_{num2}} \times \frac{N_2}{N_1} \quad (12)$$

$$f_1 = \begin{cases} 2f_2, & f_2 \leq 0.25 \\ 1 - 2f_2, & f_2 \geq 0.25 \end{cases} \quad (13)$$

其中 $P_{num2} = (N_2/M_2) - 1$. 根据 (11) ~ (13), 多次视频压缩的历史不同, 其 GOP 效应的表现也不同. 同时, 在 M 不相等的情况下, 对 N 和 M 取 MPEG 编码中各种可能的值, 表明该结论同样成立. 通过观察 f_1, f_2, f_0 各频率, 可以反推得到第一次压缩的 GOP 大小 N_1 ; 由于 MPEG 编码对 M 的大小有限制, 一般为 1、2、3, M_1 可被 N_1 整除, 且不同 M_1 对应的 GOP 效应不一样, 因此容易判断 M_1 的大小. 可见第一次压缩时的图像组结构 $GOP(N_1, M_1)$ 可推算得到.

由于视频信号以不同 GOP 结构压缩时其 GOP 效应也不一样, 因此视频经不同 GOP 结构压缩的历史痕迹会在对应的运动误差序列的 Fourier 变换中表现出来. 我们将这一性质用于对视频剪辑篡改的检测: 当被剪辑的两个或多个视频 GOP 结构不同时, 只要检测视频各子序列 GOP 效应是否存在不一致性就可判断该视频信号是否曾经被篡改.

4 实验结果

本文实验所用视频信号是从文献[16]下载的多镜头视频: (1) senses109.mpg, GOP(15, 3), 帧图像大小为 352×240 ; (2) senses115.mpg, GOP(9, 3), 帧图像大小也是 352×240 . 篡改前后视频内容变化如图 4 所示, 其中每幅图像取自一个镜头. 图中第一行为 senses115.mpg 中的原始内容, 第二行为篡改后视频的内容, 可见子图 (b) 对应的镜头被更换为 senses109.mpg 中的类似镜头了. 篡改后以 GOP(15, 3) 再次压缩 (也可用其它 GOP 结构再压缩)

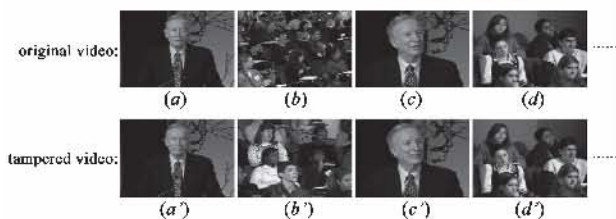


图4 篡改前后的视频内容

对于此类多镜头视频, 很难从内容上鉴别是否曾被篡改, 而通过检测 GOP 效应是一个可行的解决办法. 经剪辑篡改后视频的运动误差序列如图 5 所示, 其中横轴表示 P 帧的帧序, 纵轴表示运动误差大小. 运动误差

较大的点由视频镜头切换引起, 通过这些峰值可以方便地设定阈值来分割镜头. 以 I, II, III, ... 表示各镜头, 对每个镜头的运动误差序列求 FFT. 由第 3 节讨论可知, 视频 GOP 效应对应的尖峰频率由视频的压缩历史决定. 在被篡改的视频中, 属于 senses115.mpg 的镜头, 先后经历了 GOP(9, 3) 和 GOP(15, 3) 两次压缩, 由 (11) ~ (13) 可得到其对应的 f_0, f_1, f_2 分别为 $1/12, 2/12, 5/12$. 而属于 senses109.mpg 的镜头两次都是以 GOP(15, 3) 压缩, 由式 (10) 可求得对应的 f 为 $1/4$. 因此, 在实验结果中镜头 II 的 Fourier 频谱中应该在频率为 $1/4$ 处存在较大的尖峰, 而其余镜头应该在 $1/12, 2/12, 5/12$ 这三个频率出现较大尖峰. 但由于 f_0 和 f_1 频率较低, 容易受到内容的影响而不够明显, 故在归一化频率 $5/12$ 处出现最明显的尖峰.

图 6 给出图 5 中对应镜头的 Fourier 变换幅度, 可清晰地看出子图 6(b) 的特征与众不同, 其中唯一的尖峰出现在中频 0.27 位置上, 在原先应出现尖峰的 $5/12$ 附近却较为平坦. 而其它各子图都在 $5/12$ 左右出现了明显的尖峰. 一些子图在 $1/12$ 和 $2/12$ 附近也出现了尖峰, 如图 6(f) 和 (h), 与前面的理论分析结果一致. 因此我们可以根据图 6 做出判断: 镜头 II 的 GOP 效应异常, 是被替换和拼接的.

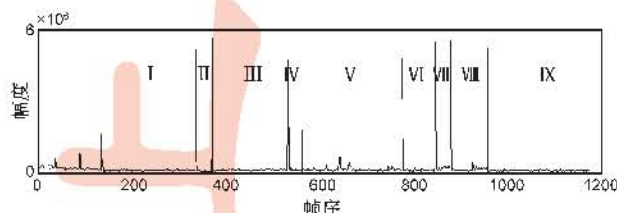


图5 篡改视频运动误差序列图

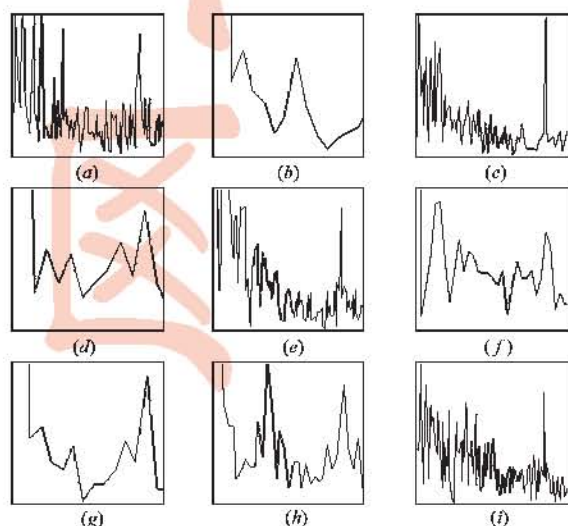


图6 篡改视频各镜头运动误差序列的FFT幅度

对于单镜头视频, 将其分成多个重叠的子序列进行检测, 子序列的划分方法可参考文献[8], 将出现尖

峰的位置明显与众不同的子序列视为疑似篡改。

5 结束语

以不同 GOP 结构压缩的视频具有不同的 GOP 效应,因而历次压缩的痕迹被保留在视频信号中,本文根据这一原理提出了对拼接篡改的检测方法,并推算出多次压缩中用到的 GOP 结构。实验表明该方法能检测出视频节目是否由 GOP 结构不同的几个视频序列拼接而成。这一技术也可用于判断有无以不同 GOP 结构再次进行 MPEG 压缩的现象。

将本文的方法与文献[12]相比,两种方法所解决的问题有所不同。文献[12]的方法可用于下列两种情况:

(1)以不同码率对视频再次压缩,通过检测 I 帧是否经二次 JPEG 压缩来判断视频是否曾以相同的 GOP 结构进行过二次 MPEG 压缩,

(2)视频序列中有若干帧被删除,且帧数不是 GOP 长度的整数倍,然后又以相同 GOP 结构再压缩时,根据运动误差 Fourier 变换域中是否有尖峰进行检测。但由于视频本身存在 GOP 效应,而且视频内容和删除帧数都会影响尖峰大小,仅根据尖峰存在与否判断视频是否被篡改并不可靠。

本文提出的方法可用于以下三种情况:

(1)视频序列中被插入一段 GOP 结构不同的片段,根据 GOP 效应的不一致性检测出该片段。

(2)以不同 GOP 结构对视频序列再次压缩,可根据运动误差序列的频域尖峰位置进行检测,从而判断该视频可疑。

(3)以不同 GOP 结构对视频再次压缩,可根据式(11)~(13)得出第一次压缩的 GOP 结构。

以上对二次 MPEG 的检测若辅以文献[12]中根据 I 帧是否有二次 JPEG 压缩痕迹的方法,则 GOP 结构相同时也能检测有无二次 MPEG 压缩现象。将这两种方法结合起来,无论是否改变 GOP 结构,对视频节目进行二次 MPEG 压缩的可疑行为均能被检测出来。检测二次 MPEG 压缩和推算第一次压缩的 GOP 结构对于视频认证方法的研究具有参考价值。

由于剧烈变化的视频内容对 GOP 效应的检测不利,因此文献[12]和本文的方法均要求视频运动不剧烈,在应用中可选取变化比较平缓的序列进行检测。对于视频序列被插入一段 GOP 结构相同的片段或其它编码格式视频的检测需要作进一步的分析和研究。

参考文献:

[1] S Thiemert, H Liu, M Steinebach, L Croce-Ferri. Joint forensics and watermarking approach for video authentication[A]. Proceedings of Conference on Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX[C]. San Jose, USA: SPIE,

2007, 65050Q.

- [2] C Baris, S Bulent, N Memon. Spatio-temporal transform based video hashing[J]. IEEE Transactions on Multimedia, 2006, 8(6): 1190 - 1208.
- [3] M K Mihcak, I Kozintsev, K Ramchandran. Spatially adaptive statistical modeling of wavelet image coefficients and its application to denoising[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing [C]. Phoenix, USA: IEEE Signal Processing Society, 1999. 3253 - 3256.
- [4] N Mondaini, R Caldelli, A Piva, M Bami, V Cappellini. Detection of malevolent changes in digital video for forensic applications[A]. Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX[C]. San Jose, USA: SPIE, 2007, 65050T.
- [5] K Kenji, K Kenro, S Naoki. OCD Fingerprint method - identification of a video camera from videotaped images[A]. Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing [C]. Kobe, Jpn: IEEE Signal Processing Society, 1999. 537 - 540.
- [6] C C Hsu, T Y Hung, C W Lin, C T Hsu. Video forgery detection using correlation of noise residue[A]. Proceedings of the 10th Workshop on Multimedia Signal Processing [C]. Cairns, Australia: IEEE Computer Society, 2008. 170 - 174.
- [7] 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[J]. 东南大学学报(自然科学版), 2008, 38(增刊 II): 13-17.
Wang Jun-wen, Liu Guang-jie, Zhang zhan, Wang Zhi-quan, Dai Yue-wei. Detection of forgery in digital video based on pattern noise [J]. Dongnan Daxue Xuebao (Natural Science Edition), 2008, 38(SUP II): 13-17. (in Chinese)
- [8] W Wang, H Farid. Exposing digital forgeries in video by detecting duplication[A]. Proceedings of the 9th Multimedia and Security Workshop [C]. Dallas, USA: ACM Special Interest Group on Multimedia, 2007. 35 - 42.
- [9] M Johnson, H Farid. Exposing digital forgeries by detecting inconsistencies in lighting[A]. Proceedings of the 7th Multimedia and Security Workshop [C]. New York, USA: ACM SIGMM, 2006. 1 - 9.
- [10] W Wang, H Farid. Exposing digital forgeries in interlaced and de-interlaced video [J]. IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2007, 2(3): 438 - 449.
- [11] W Wang, H Farid. Detecting re-projected video[A]. Proceedings of the 10th International Workshop on Information Hiding [C]. Santa Barbara, USA: Springer, 2008. 72 - 86.
- [12] W Wang, H Farid. Exposing digital forgeries in video by detecting double MPEG compression[A]. Proceedings of the Multimedia and Security Workshop [C]. Geneva, Switzerland: ACM SIGMM, 2006. 37 - 47.
- [13] 秦运龙, 孙广玲, 张新鹏. 利用运动矢量进行视频篡改检

测[J]. 计算机研究与发展, 2009, 46(SUPPL): 227 - 233.

Qin Yun-long, Sun Guang-ling, Zhang Xin-peng. Exposing digital forgeries in video via motion vectors[J]. Journal of Computer Research and Development, 2009, 46(SUPPL): 227 - 233. (in Chinese)

- [14] G A Triantafyllidis, D Tzovaras, M G Strintzis. Blocking artifact detection and reduction in compressed data[J]. IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology, 2002, 12(10): 877 - 890.

[15] <http://trace.eas.asu.edu/yuv/index.html>

[16] <http://www-nlpir.nist.gov/projects/trecvid>

作者简介:



秦运龙 男, 1984 年 10 月出生于湖北武汉. 2007 年获武汉科技大学工学学士学位, 现为上海大学通信与信息工程学院硕士研究生, 研究方向为多媒体信息安全.

E-mail: qyl223@163.com

孙广玲 女, 1973 年 8 月出生于黑龙江省哈尔滨市. 2005 年获哈尔滨工业大学博士学位, 现为上海大学通信与信息工程学院副教授, 研究方向为图像和视频处理, 多媒体信息安全, 机器学习等.

E-mail: sunguangling@shu.edu.cn



王 朔 男, 1943 年 9 月生于重庆. 1966 年毕业于北京大学, 1982 年获英国伯明翰大学博士学位. 曾任中科院声学所助研, 上海工业大学副教授, 美国密西根大学副研究员, 现为上海大学教授, 博士生导师. 研究方向: 水声学、数字图像处理、多媒体信息安全.

E-mail: shuowang@shu.edu.cn



张新鹏 男, 教授. 1975 年 9 月生于黑龙江密山. 1995 年获吉林大学理学学士学位, 2001、2004 年分别获上海大学工学硕士、工学博士学位. 现为上海大学通信与信息工程学院教授、博士生导师. 已发表论文一百余篇. 研究方向: 多媒体信息安全、图像处理、数字取证等.

E-mail: xzhang@shu.edu.cn