

基于光流周期特性的视频帧率上转篡改检测^①

林晶¹, 黄添强^{2,3}, 李小琛¹, 林玲鹏^{2,3}

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 软件学院, 福州 350007)

³(福建省公共服务大数据挖掘与应用工程技术研究中心, 福州 350007)

摘要: 视频帧率上转是视频时域篡改的一种常见篡改手段, 它通过周期性地两个视频帧中间插入中间帧的方式, 实现将视频由低帧率转换到高帧率的目标. 本文提出了一种基于光流周期特性的视频帧率上转篡改检测算法, 首先将视频转为帧图像序列, 然后采用 Horn-Schunck 光流法计算每帧图像每个像素点的光流矢量, 并计算相邻帧图像光流的变化率. 最后利用快速傅里叶变换对光流变化率数据进行频谱分析, 根据最高谱线的幅值与平均幅值的比值阈值来判别视频是否经过篡改. 实验表明, 算法不仅能够准确识别待测视频是否经过帧率上转篡改, 并且提高了视频压缩的鲁棒性能, 具有一定的实际应用价值.

关键词: 视频篡改检测; 帧率上转; 时域篡改; 光流; 快速傅里叶变换

Detection of Video Frame-Rate Up-Conversion Using Periodic Properties of Optical Flow

LIN Jing¹, HUANG Tian-Qiang^{2,3}, LI Xiao-Chen¹, LIN Ling-Peng^{2,3}

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

²(Faculty of Software, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China)

³(Fujian Engineering Research Center of Public Service Big Data Mining and Application, Fuzhou 350007, China)

Abstract: Video frame-rate up-conversion is one of the common video tampering technologies in the time domain, which achieves the frame conversion of video from a low frame-rate to a higher frame-rate by periodically inserting intermediate frames between two frames in the original video. A detection algorithm based on the periodic properties of optical flow for video frame-rate up-conversion tampering is proposed in this paper. Firstly, the video is converted into images. Then the Horn-Schunck optical flow method is used to calculate the optical flow vector of each pixel in each frame, and the optical flow change rate of the adjacent frames is calculate. Finally, the fast Fourier transform is used for the spectral analysis of the optical flow change rate. And whether the inspected video is altered by frame-rate up-conversion would be determined by judging whether the ratio of the max spectrum amplitude and the mean spectrum amplitude is higher than a certain threshold. Experiment results show that the proposed algorithm not only can accurately identify the video tampered by frame-rate up-conversion, but also improve the robust performance of video compression well, and has certain practical application.

Key words: video tampering detection; frame-rate up-conversion; temporal forgery; optical flow; fast Fourier transform

随着时代的进步, 数字视频已成为人们日常生活中不可缺少的组成部分. 同时, 随着多媒体技术的发展, 视频编辑软件的不断更新, 即使是普通的计算机用户都能轻易地编辑视频, 使得视频数据的可信度严

重降低. 因此开展对数字视频的取证研究变得日益迫切和重要^[1]. 目前的视频取证技术主体可以分为主动取证和被动取证两大类^[2]. 主动取证要求在视频中事先嵌入数字水印或数字签名等特定的信号, 由于视频

① 基金项目: 国家自然科学基金(61070062, 61502103); 福建省高校产学研合作科技重大项目(2015H6007); 福州市科技计划(2014-G-76); 福建省高等学校新世纪优秀人才支持计划(JA11038); 福建省科学厅 K 类基金项目(2011007); 福建省教育厅 A 类基金(JA10064)

收稿时间: 2016-09-20; 收到修改稿时间: 2016-10-31 [doi:10.15888/j.cnki.csa.005791]

一旦经过编辑篡改会破坏这些信号,因而通过检测嵌入信号的完整性判断视频是否经过篡改.被动取证是根据篡改前后视频的编码特征、统计特征和一些其他特征值的变化来判断视频的真实性、完整性,是在不依靠嵌入特定信号的前提下直接对视频本身进行鉴别的,因此实用性更强.

时域篡改是视频篡改手段中最简单和常见的篡改方式,主要包含:帧删除、帧插入、帧复制-粘贴等等.在视频时域篡改检测方面,国内外学者提出了一些取证方法和研究成果. Su 等人^[3]针对删帧篡改类型,提出了一种采用运动补偿边缘效应(motion compensated edge artifact, MCEA)来衡量相邻帧间相关性变化的检测算法. Lin 等人^[4]提出了一种由粗糙到精细的匹配方法来检测时间域上的复制-粘贴篡改,将大小相等的子序列进行粗匹配,相似度大于阈值的序列作为候选片段,再对候选片段进行细匹配.文献[5]基于帧间内容的连续性,将 Zernike 矩、对立色度空间、Tamura 粗糙度相结合,提出了一种新的视频时域篡改检测算法.

帧率上转是一种特殊的帧插入操作,它通过周期性地在原始视频帧序列中插入一些新的帧,实现将视频从较低帧率转为较高帧率的目的,提高视频质量.但帧率上转技术也能被用于伪造:篡改者为了骗取网络点击量,或为了合并两个不同帧率的视频等一些不合法的目的而故意将低帧率的视频转为高帧率的视频.因此对帧率上转篡改类型的研究是必要的.目前针对帧率上转篡改检测的研究成果还比较少. Bian 等人^[6]通过分析采用权重估计方式产生新的视频帧与前后帧存在一定相似关系的帧率上转原理,提出了一种基于结构相似度分析的检测算法,通过观察结构相似度的周期性变化来判断视频是否经过帧率上转篡改,该算法能够有效检测未经压缩的视频和 H.264/AVC 格式视频,对噪声具有一定的鲁棒性,但这种算法受视频二次压缩影响较大,对于经过压缩的视频算法检测结果不理想. Yao 等人^[7]针对基于运动补偿原理的视频插帧算法,提出了一种基于边缘强度的帧率上转取证方法,通过考夫曼自适应移动平均线区分原始帧与帧率插帧算法产生的新视频帧,最后推断出原始帧率.在实际应用中,商业软件在设计时不仅要满足功能需求,同时还要兼顾时间效率和存储要求,因此目前大多数的商业软件采用参考前后帧进行权重估计的方式产生新视频帧的方法来实现视频帧率的上转操作.本文基于

典型的帧率上转技术原理,分析视频在帧率上转篡改前后相邻帧间像素点运动变化的差异,提出了一种基于光流周期特性的检测算法.实验结果表明,该方法能够有效检测利用商业格式转换软件篡改帧率的视频,与文献[6]算法相比,算法的准确率更高,对视频压缩的鲁棒性有显著的提升.

1 光流法

光流是指空间运动物体在观测成像面上的像素运动的瞬时速度^[8].光流法前提假设: a.图像中的像素点在运动过程中亮度不会发生变化(亮度守恒); b.相邻帧之间物体的运动比较“微小”.假设像素点 (x, y) 在 t 时刻的灰度值为 $I(x, y, t)$,在 $t+dt$ 时刻,该像素点运动到 $(x+dx, y+dy)$,此时对应的灰度值为 $I(x+dx, y+dy, t+dt)$.根据以上假设有:

$$I(x, y, t) = I(x+dx, y+dy, t+dt) \quad (1)$$

进行泰勒级数展开后得到:

$$I(x+dx, y+dy, t+dt) \approx I(x, y, t) + \frac{\partial I}{\partial x} dx + \frac{\partial I}{\partial y} dy + \frac{\partial I}{\partial t} dt \quad (2)$$

那么有:

$$\frac{\partial I}{\partial x} \frac{dx}{dt} + \frac{\partial I}{\partial y} \frac{dy}{dt} + \frac{\partial I}{\partial t} = I_x u + I_y v + I_t = 0 \quad (3)$$

其中, $I_x = \frac{\partial I}{\partial x}$ 、 $I_y = \frac{\partial I}{\partial y}$ 、 $I_t = \frac{\partial I}{\partial t}$ 分别表示该像素点

灰度值沿 x 、 y 、 t 方向的变化率. $u = \frac{dx}{dt}$ 、 $v = \frac{dy}{dt}$ 表示

该像素点沿着 x 和 y 方向(水平方向和垂直方向)的移动速度,即光流.公式(3)即为光流的基本方程.由于光流包含 u 和 v 两个未知量,一个方程无法确定唯一解. Horn-Schunck 提出一种全局约束平滑方法求解光流:假设光流在整个图像上平滑变化^[9].所谓平滑,就是指在给定领域内其速度分量平方和的积分最小^[10]:

$$E = \iint \left[(u - \bar{u})^2 + (v - \bar{v})^2 \right] dx dy \quad (4)$$

其中, \bar{u} 和 \bar{v} 分别表示 u 邻域和 v 邻域中的均值.那么根据光流基本方程(3)考虑光流误差, Horn-Schunck 算法将光流求解归结为以下式子的极值问题:

$$F = \iint \left[(I_x u + I_y v + I_t)^2 + \lambda E \right] dx dy \quad (5)$$

其中, $\lambda (\lambda > 0)$ 表示平滑度.对公式(5)分别对 u 和 v 求导,对导数为 0 求得极值的方程采用迭代法进行求解可以得到:

$$u^{(k+1)} = \bar{u}^{(k)} - I_x \frac{I_x \bar{u}^{(k)} + I_y \bar{v}^{(k)} + I_t}{\lambda^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (6)$$

$$v^{(k+1)} = \bar{v}^{(k)} - I_y \frac{I_x \bar{u}^{(k)} + I_y \bar{v}^{(k)} + I_t}{\lambda^2 + I_x^2 + I_y^2} \quad (7)$$

其中, n 表示迭代的次数, 光流初始值 $u^{(0)}$ 、 $v^{(0)}$ 一般为 0. 迭代结束后得到像素点 (x, y) 的光流 u 、 v .

2 视频帧率上转原理

视频帧率是用于测量显示帧数的量度, 测量单位为每秒显示帧数(Frames per Second, fps). 视频的帧率越高, 视频越流畅、越逼真. 目前手机设备拍摄的视频帧率通常为 15fps 或 20fps, 数码摄像机拍摄的视频帧率通常为 24fps、25fps、30fps, 有些专业摄像机可以达到 60fps. 随着多媒体技术的发展, 互联网上已经有不少视频转换软件能够实现帧率上转的目的. 帧率上转的原理是通过在原始帧序列中周期性地插入一些新的帧, 为了更好地提高视频质量, 不少学者针对插帧算法进行了研究. 典型的插帧算法是通过参考相邻帧的图像信息进行线性插帧, 算法模型如下^[6]:

$$f[i] = \sum_{j=-k_1}^{k_2} w_j * f[i+j] \quad (8)$$

其中, $f[i]$ 表示视频序列的第 i 帧图像, w_j 表示插帧权重, $f[i+j]$ 表示参考帧, 参考帧的帧序号范围为 $[-k_1, 0) \cup (0, k_2]$, k_1, k_2 为整数. 在实际应用中, 对视频进行编辑处理时, 不仅要考虑视频质量还要求一定的时间效率, 因此大多数的商业视频转换软件, 如 ImTOO video Converter^[11], AVS video converter^[12], Any video converter^[13], WinAVI Video Converter^[14] 等等, 通常在插帧时只参考了前一帧图像, 即在公式(1)中, $k_1=1, k_2=0, w_{-1}=1$.

3 篡改检测算法

从帧率上转典型的插帧原理分析可知, 插帧操作时仅仅是复制了前一帧的图像信息, 并未考虑相邻帧图像的连续运动信息, 因此, 本文通过分析视频每帧图像的像素点在相邻帧间的光流信息判断视频是否经过帧率上转篡改. 如果视频经过帧率上转篡改操作, 那么在插帧位置处会丢失一定的运动信息, 造成光流不连续. 同时, 由于帧率上转篡改是周期性的插帧操作, 因此, 这种光流的不连续现象也是周期性的. 算法首先将视频转化为帧图像序列, 然后采用

Horn-Schunck 光流法计算帧图像的每个像素点在相邻帧间运动信息, 得到水平方向和垂直方向的光流矢量, 然后计算相邻帧光流变化率, 并利用快速傅里叶变换进行频谱分析, 得到光流变化率的频率幅值谱图. 从本文的实验观察分析得出, 对于篡改视频, 光流变化率的频率幅值谱图中会有明显的尖峰存在. 因此本文依据频谱图的最大幅值与平均幅值的比值判别视频是否经过帧率上转篡改, 若比值超过一定阈值, 说明视频经过帧率上转篡改, 否则说明视频未经过帧率上转篡改. 本文算法的流程图如图 1 所示.

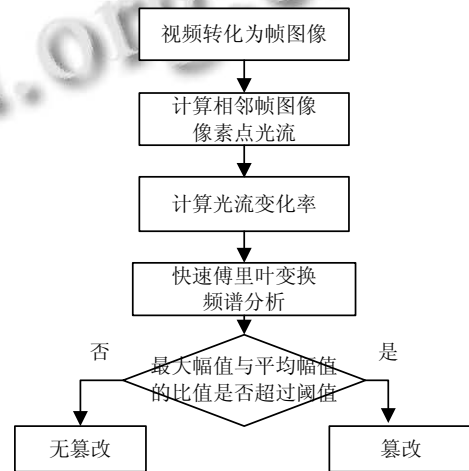


图 1 检测流程图

检测步骤详细说明如下:

- 1) 将待测视频转化为帧序列图像.
- 2) 计算相邻帧间像素点光流. 假设帧图像的大小为 $M \times N$, 采用第 1 节所述的 Horn-Schunck 光流法计算相邻帧图像各个像素点的光流矢量, 并求其总和, 作为该帧图像的光流矢量. 计算公式如下:

$$U_MV(t) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N u(i, j) \quad (9)$$

$$V_MV(t) = \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N v(i, j) \quad (10)$$

其中, $U_MV(t)$ 表示第 t 帧图像的水平方向光流矢量总和, $V_MV(t)$ 表示第 t 帧图像的垂直方向光流矢量总和, $u(i, j)$ 表示第 t 帧图像在 (i, j) 位置像素点的水平光流矢量. $v(i, j)$ 表示第 t 帧图像在 (i, j) 位置像素点的垂直光流矢量.

- 3) 计算相邻帧光流变化率. 分别计算水平方向、垂直方向的光流变化率, 计算公式如下:

$$uRate = \frac{U_MV(t+1) - U_MV(t)}{U_MV(t)} \quad (11)$$

$$vRate = \frac{V_MV(t+1) - V_MV(t)}{V_MV(t)} \quad (12)$$

如图 2 所示为一段视频序列“bus”(来源于 YUV 公共网站视频库^[15])在帧率上转篡改前后的相邻帧图像水平方向上的光流变化率曲线。横轴表示该段视频的前 100 帧序号,纵轴表示水平方向的相邻帧间光流变化率,虚线为原始视频(帧率=20fps),实线表示篡改视频(帧率=30fps)。由于帧率上转篡改时的插帧操作是视频的前后帧中插入新帧,并且复制了前一帧图像,那么新插入的帧与前一帧图像的光流矢量接近于 0,但又与后一帧的光流矢量仍然存在,因此会造成与后一帧的光流矢量明显增加,相邻帧间的光流变化率会有明显波动,同时由于帧率上转篡改是一种周期性的插帧操作,因此这种明显波动应当是周期性的。而从图 2 中可以看出,原始视频的相邻帧间光流变化率非常小,而且数据是平稳的,而对于篡改视频,相邻帧间光流矢量变化率呈现明显的周期性升降波动,符合前面的理论分析。

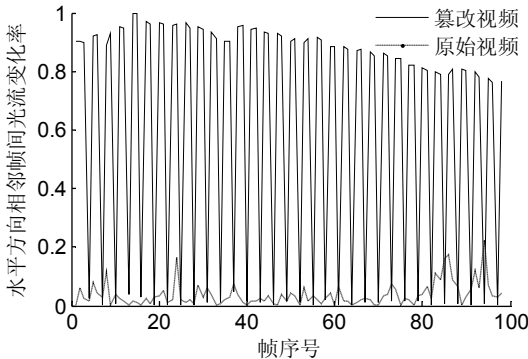


图 2 原始视频与篡改视频的水平方向相邻帧间光流变化率曲线

4)快速傅里叶变换频谱分析,分别对水平方向光流变化率数据和垂直方向光流变化率数据进行快速傅里叶变换。快速傅里叶变换(FFT)是离散傅里叶变换(DFT)的快速算法,使算法的时间复杂度由 $O(N^2)$ 变为 $O(N\log N)$ 。本文采用 FFT 变换进行信号分析,这种做法的优势在于,能够清晰地得到信号所包含的频率成分,并且,计算速度快,有助于提高检测算法的执行效率,对视频应用非常有利。FFT 的基本思想是:将大点数的 DFT 分解为若干个小点数 DFT 的组合,从而

减少运算量,FFT 的运算结果与 DFT 是等效的。DFT 变换幅值计算公式如下:

$$F_k = \left| \sum_{n=1}^{N-1} x(n)W_{N-1}^{kn} \right|, k=1,2,\dots,N-1 \quad (13)$$

$$W_{N-1} = e^{-j\frac{2\pi}{N-1}}$$

其中, N 表示待测视频的帧序列长度, j 是一个等于 -1 的平方根的虚数,即 $j = \sqrt{-1}$, $x(n)$ 是输入信号,即水平方向或垂直方向光流变化率数据。

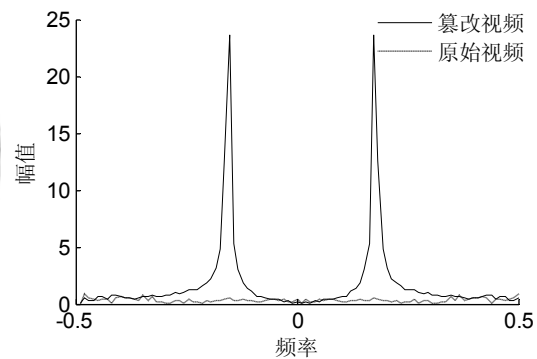


图 3 原始视频与篡改视频的频率幅值谱图

如图 3 所示为水平方向相邻帧间光流变化率的频谱图,即图 2 数据经过 FFT 变换后的幅值图,横轴为频率,纵轴为幅值。从图中可以看出,篡改视频的谱图中有明显的尖峰存在,而原始视频的幅度是平稳的。本文引用文献[6]的尖峰判别方法:

$$\frac{\max(F_k)}{\text{mean}(F_k)} > T \quad (14)$$

其中, \max 表示频谱图中的最大幅值, mean 表示平均幅值,当最大幅值与平均幅值的比值大于一定阈值 T 时,说明频谱图中存在一定高度的尖峰。若水平方向、垂直方向的相邻帧间光流变化率频谱图均满足公式则判定该视频经过帧率上转篡改,否则,判定该视频未经过篡改。

4 实验分析

为了验证本文算法的有效性,实验视频采用公共网站上的 YUV 视频序列^[15],选取其中 15 个 YUV 视频序列作为原始实验视频,将其转为常见帧率的未压缩视频: 15fps、20fps、25fps、30fps、60fps。另外,随机选取 Surrey University Library for Forensic Analysis (SULFA)^[16]视频库中 NIKON s3000 的 5 个原始视频(帧率为 30fps)。实验所用帧率上转篡改软件为: ImTOO

video Converter^[11], AVS video converter^[12], Any video converter^[13], WinAVI Video Converter^[14]. 将所有原始实验视频进行帧率上转篡改后, 共得到 15×10+5=150 个篡改视频. 那么加上 20 个原始实验视频, 实验一共采用 170 个视频进行测试. 实验所用计算机配置

Intel(R) Core(TM) i5-3470 CPU @3.20Ghz 4GB 内存、Win7 系统, 利用 MatlabR2012b 实现算法. 实验阈值参数采用经验阈值设置: 最大幅值与平均幅值的比值阈值 $T=2.5$.



图 4 篡改视频检测示例图

表 1 部分视频检测结果

编号	视频名称	分辨率	原始帧率(fps)	篡改操作	检测结果	运行时间/(秒/帧)
1	Akiyo.avi	352×288	15	15fps->20fps	篡改视频	0.0006
2	Flower.avi	352×288	15	15fps->25fps	篡改视频	0.0005
3	Coastguard.avi	176×144	20	20fps->25fps	篡改视频	0.0006
4	Foreman.avi	352×288	20	无篡改	原始视频	0.0009
5	Bus.avi	352×288	25	无篡改	原始视频	0.0016
6	Hall Monitor.avi	352×288	15	15fps->30fps	篡改视频	0.0005
7	Big Buck Bunny.avi	1920×1080	20	20fps->30fps	篡改视频	0.0048
8	Elephants Dream.avi	1920×1080	25	25fps->30fps	篡改视频	0.0091
9	Container.mpg	352×288	15	15fps->60fps	篡改视频	0.0003
10	Mobile.mpg	352×288	20	20fps->60fps	篡改视频	0.0002
11	Hall Monitor.mpg	352×288	25	25fps->60fps	篡改视频	0.0005
12	Waterfall.mpg	352×288	30	30fps->60fps	篡改视频	0.0005
13	nik_s3000_hallway.avi	320×240	30	30fps->60fps	篡改视频	0.0003
14	nik_s3000_road(1).avi	320×240	30	无篡改	原始视频	0.0034
15	Waterfall.avi	352×288	60	无篡改	原始视频	0.0079

本文使用准确率 *precision* 和召回率 *recall* 对算法进行评估.

$$precision = \frac{N_c}{N_c + N_f}$$

$$recall = \frac{N_c}{N_c + N_m}$$

其中, N_c 表示算法正确检测出的篡改视频数目, N_f 表示将真实视频误检为篡改视频的真实视频数目, N_m 表示未检测出的篡改视频数目.

表 2 算法比较结果

算法	Precision/%	Recall/%
本文算法	98.74	94.15
文献[6]算法	85.55	78.67

表 3 算法对不同压缩比视频的检测准确率

压缩比	20%	60%	80%
本文算法	96.67	97.44	98.09
文献[6]算法	77.34	65.23	56.68

如图 4 所示为篡改视频“Akivo.avi”(15fps->30fps) 的连续 4 帧图像序列检测示例, (视频内容为女主播在说话), 其中, 图像上的蓝色线段表示光流矢量, 从图中可以看出, 由于帧率篡改操作使得相邻帧间的光流矢量与下一个相邻帧光流矢量出现不连续的结果. 如表 1 所示为部分视频的检测结果示例, 从表 1 中可以看出, 本文算法能够有效识别经过帧率上转篡改的待检测视频, 并且算法的检测速度很高. 由于本文算法所针对的帧率上转篡改操作原理与文献[6]所检测的类

型相同,因此实验将本文算法与文献[6]算法进行对比,对比结果如表2所示,本文算法检测的准确率与召回率都有显著提高.在现实生活中,通常需要对视频进行一定的压缩操作以减少存储空间.因此,实验进一步鉴别算法对压缩视频的有效性,实验结果如表3所示,其中,压缩比指的是压缩后的视频数据量与压缩前数据量之比.实验结果表明,文献[6]算法采用实验阈值对相邻帧间的结构相似度进行量化的做法受压缩因素影响较大,随着压缩比的增大,算法的正确率明显减少.而本文不通过量化操作,采用分析相邻帧间光流变化率的方法进行检测,这种做法的优势在于,对于篡改视频,即使再次经过视频压缩,其相邻帧间的光流矢量受帧率篡改操作的影响仍会发生明显波动,因此本文算法能够不受视频压缩因素影响,检测出压缩视频是否经过帧率篡改,准确率高.

5 结语

本文针对视频帧率上转篡改操作提出了一种基于光流周期特性的检测算法,采用Horn-schunck光流法计算每一帧图像各个像素点的光流矢量,并计算其总和作为该帧图像的光流,然后计算相邻帧图像光流的变化率,利用快速傅里叶变换进行频谱分析,若光流变化率的频谱图中存在一定高度的尖峰,则判定该视频经过帧率上转篡改,否则判定视频未经过篡改.实验结果表明,本文提出的算法能准确判断视频是否经过帧率上转篡改,并且算法对视频压缩具有一定的鲁棒性,准确率高.另外,本文算法是针对商业软件的篡改行为进行检测,具有一定的实际应用价值.但算法也存在一定的局限性,与大多数视频篡改检测算法的弊端相同,只能针对特定的篡改方式进行检测,多种篡改方式并存的检测方法将是以后工作的重点之处.

参考文献

- 1 陈威兵,杨高波,陈日超,朱宁波.数字视频真实性和来源的被动取证.通信学报,2011,32(6):177-183.
- 2 Milani S, Fontani M, Bestagini P, Barni M, Piva A. An overview on video forensics. *Apsipa Trans. on Signal & Information Processing*, 2012, 1(2):1229-1233.
- 3 Su Y, Zhang J, Liu J. Exposing digital video forgery by detecting motion-compensated edge artifact. *International Conference on Computational Intelligence and Software Engineering(CISE)*. IEEE. 2010. 1-4.
- 4 Lin G, Chang J. Detection of frame duplication forgery in videos based on spatial and temporal analysis. *International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence*, 2012, 26(7): 1-18.
- 5 Liu YQ, Huang TQ. Exposing video inter-frame forgery by Zernike opponent chromaticity moments and coarseness analysis. *Multimedia Systems*, 2017, 23(2):223-238.
- 6 Bian S, Luo W, Huang J. Detecting video frame-rate up-conversion based on periodic properties of inter-frame similarity. *Multimedia tools and applications*. 2014, 72(1): 437-451.
- 7 Yao Y, Yang G, Sun X, Li L. Detecting video frame-rate up-conversion based on periodic properties of edge-intensity. *Journal of Information Security and Application*, 2016, (26): 39-50.
- 8 董颖.基于光流场的视频运动检测[博士学位论文].济南:山东大学,2008.
- 9 Horn BKP, Schunck BG. Determining optical flow. *International Society for Optics and Photonics*, 1981.
- 10 刘衍琦,詹福宇.MATLAB 图像与视频处理实用案例详解.北京:电子工业出版社,2015.
- 11 <http://www.imtoo.com/video-converter.html>. [2016-5-25].
- 12 <http://www.av4you.com/AVS-Video-Converter.aspx>. [2016-5-1].
- 13 <http://www.any-video-converter.com>. [2016-5-21].
- 14 <http://www.winavi.com/video-converter/index.htm>. [2016-5-21].
- 15 <http://trace.eas.asu.edu/yuv/#>. [2016-4-30].
- 16 Qadir G, Yahaya S, Ho ATS. Surrey University Library for Forensic Analysis (SULFA) of video content. *Proc. of the 2012 IET Conference on Image Processing*. 2012. 1-6.