

文章编号 1004-924X(2018)11-2785-10

基于相机溯源的潜在不良视频通话预警

马晓晨¹, 韦世奎^{1*}, 蒋翔¹, 李晓飞²

- (1. 北京交通大学 信息科学研究所 现代信息科学与网络技术北京市重点实验室, 北京 100044;
2. 石家庄轨道交通有限责任公司, 河北 石家庄 050061)

摘要:目前主流的不良视频检测大多基于视频内容分析,属于计算密集型任务,不利于巨量视频通话流的实时检测。为此,本文试图从新的视角来阻断潜在不良视频的传播,即实时视频流相机溯源。和传统检测内容的方法不同,本文试图通过检测产生不良视频的相机源来阻断潜在不良视频的传播,即一旦发现某个正在视频通话的手机产生过不良视频,就发出安全警告进行阻断。该思路的基本假设是拍摄过不良视频的手机拥有者有更大概率利用同一部手机拍摄不良视频。该思路的核心问题是寻找一种实时、可靠的相机溯源方法。为此,本文主要聚焦以下三方面工作:建立了一个包含 100 部视频的数据库用于算法评估,数据库中的视频来自 25 部不同型号、不同品牌的相机,每一部视频注明了相机来源;建立了一种简单、有效的视频相机溯源机制,实现相机的在线实时溯源;提出了一种多相机指纹特征集成决策模型,实现可靠的相机溯源。实验结果显示,所提相机溯源机制能满足相机溯源的实时性要求,并且所提多相机指纹特征集成决策模型显著优于现有的单一模型,对于安卓手机,其视频相机溯源准确率达到 98.161%,验证了该思路的可行性。

关键词:相机溯源;光响应非均匀特性;集成学习;实时视频流

中图分类号:TP311.52 **文献标识码:**A **doi:**10.3788/OPE.20182611.2785

Early warning of illegal video chats based on camera source identification

MA Xiao-chen¹, WEI Shi-kui^{1*}, JIANG Xiang¹, LI Xiao-fei²

- (1. *Institute of Information Science at Beijing Jiaotong University, and the Beijing Key Laboratory of Advanced Information Science and Network Technology, Beijing 100044, China;*
 2. *Shijiazhuang Metro Co., Ltd., Shijiazhuang 050061, China)*
- * *Corresponding author, E-mail: shkwei@bjtu.edu.cn*

Abstract: Majority of the techniques currently employed for detecting illegal videos were primarily based on video content analysis, which in turn was computationally intensive and cannot be applied for real-time detection of large video traffic flow. To address the said issue, the novel approach of real-time video source identification was proposed in this paper for preventing the transmission of illegal videos. In contrast to conventional approached based on content analysis, the proposed approach blocked the transmission of potentially illegal videos by detecting the camera sources that had

收稿日期:2018-06-01;**修订日期:**2018-06-25.

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 61532005, No. 61572065);国家重点研发计划资助项目(No. 2016YFB0800404, No. 2017YFC1703503);教育部-中国移动科研基金资助项目(No. MCM20160102)

previously produced illegal videos. If a video call was performed from a cellphone that had previously produced illegal videos, a security warning was issued for blocking the video transmission. The proposed approach was based on the assumption that video streams were more likely to be illegal if they have been produced from a camera that was used earlier for distributing illegal videos. Hence, the primary objective of the proposed approach was to develop a real-time and reliable method for camera source identification. To achieve this two objective, the following three aspects were taken into consideration. Firstly, a database comprising hundred videos was established for evaluation. The videos in the database were obtained from twenty-five cellphones of various brands and models, wherein each video indicated the corresponding camera source. Secondly, a simplified and feasible method was developed for real-time video source identification. Finally, a novel feature decision-making model with multiple integrated fingerprint features was incorporated for enhancing the reliability of video source identification. Obtained experimental results indicate that the proposed approach for camera source identification can meet real-time requirements and is significantly superior to conventional approaches. Furthermore, in the case of Android cellphones, the accuracy of camera source identification is found to be 98.161%, which corroborates the feasibility of the proposed approach.

Key words: camera source identification; photo response non-uniformity; ensemble learning; live video streaming

1 引 言

移动视频通信在给人们带来更好通信体验的同时,也产生了新的问题和挑战^[1]。其中一个重要问题是利用视频通信来传播不良信息。如何高效准确地检测不良视频内容、保护用户免受不良视频的伤害是一个迫切需要解决的问题。传统的不良视频检测方法主要是基于视频内容分析,即结合图像分析和机器学习理论方法来判别图像或视频中是否有不良内容。这里方法的一个突出特点是计算复杂度很高,属于计算密集型任务,并且其计算成本会随不良视频种类的增多而急剧增加,不利于巨量视频通话的实时监测。因此,有必要设计一种新的不良视频阻断方法,其计算复杂度不依赖于不良视频的种类和数量。为此,本文试图从一个新的角度来识别潜在的不良视频的来源并阻断其传播,即实时视频相机源识别。与传统基于内容识别的视角完全不同,本方法试图通过检测产生不良视频的相机源来阻断潜在不良视频的传播,即一旦发现某个正在视频通话的手机产生过不良视频,就发出安全警告进行阻断。该思路的基本假设是拍摄过不良视频的手机拥有者有更大概率利用同一部手机拍摄更多不良视频。

因此,我们只要通过已知的不良视频来提取拍摄此视频的相机的指纹信息,就可以建立相机黑名单。如果该相机再进行视频通话,就会被检测,并被重点关注。图 1 展示了基于相机溯源的不良视频预警示意图。该思路的核心问题是寻找一种实时、可靠的相机溯源方法。本文采用相机指纹来进行相机溯源。相机指纹是指图像/视频中携带的能反映产生此图像/视频的相机的唯一性信息。由于该思路不依赖于不良视频种类,其避免了计算密集型的语义分析,其可以作为一种预警手段来重点监控风险比较高的视频源。事实上,由于经典的传感器指纹提取方案也相对复杂,比如基于光响应非均匀特性的指纹特征^[2](Photo Response Non-Uniformity)和基于彩色滤波阵列 CFA(Color Filter Array)的指纹特征^[3],在实时决策和性能方面仍然具有挑战性。为此,本文首先提出了两种从高速视频流中提取固有相机指纹的策略,来满足实时性的要求。为了提供可靠、鲁棒的视频溯源机制,提出了一种多相机指纹特征集成决策方法,实现可靠的相机溯源。提取已知不良视频的相机指纹信息,注册到相机黑名单;实时检测视频通话手机的相机指纹,和黑名单进行匹配,如果匹配进行预警,并进入人工排除。

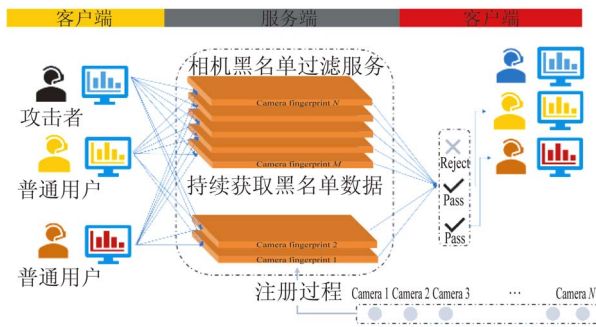


图 1 基于视频相机溯源不良视频检测预警示意图

Fig. 1 Overview of illegal video detection based on of source camera identification

本文工作的主要贡献如下:(1)提出了一种全新的视角来应对不良视频检测预警问题,即实时视频流相机溯源,并建立了移动视频的相机溯源视频数据集来验证该思路的可行性。(2)提出了两种简单有效的实时视频源识别策略,保证了算法的实时性要求。(3)建立了基于一种多相机指纹特征集成决策模型,并在安卓手机的视频溯源上达到 98.161% 的正确率。

2 相关工作

2.1 非法内容检测

学术界和工业界对非法内容的检测研究主要集中在对色情内容的检测。对于大多数反色情系统,它们通常包含两个关键步骤,即特征提取和图像分类。

色情图像检测中最常用的是皮肤特征,这些工作^[5-6,8]中提出了一种裸体的自动检测方法。在文献^[7]中,作者提出了一种基于统计颜色模型的皮肤检测方法。文献^[8]提出基于像素的分类方法,它比基于复杂的图像特征的方案有效。H. Zuo^[9]提出了两种肤色检测算法,首先提取 31 维特征,然后利用随机森林分类器对非法视频进行识别。Lee^[10]提出了色度分布匹配的学习方案,以获得皮肤色度分布,这对特殊光照条件下产生的色度偏差具有鲁棒性。为了进一步提高分类的准确性,Zaidan^[11]提出一种基于多智能体的学习方法用于皮肤检测和色情分类,其将多个不同的分类器结合在一起检测不良信息。文献^[12]调研了基于皮肤检测的色情过滤方法。

这些基于皮肤的方法的基本假设是裸露的人

具有大面积暴露的皮肤。然而,基于这个假设类似沙滩场景的图像将导致虚警。为解决这个问题,反色情系统也加入了其他特征。W. Hu^[13]使用了基于轮廓的特征来识别色情图片。Stottinger^[14]等人将人脸检测引入到皮肤检测中,显著减少了虚警。C. Caetano^[15]结合了局部二进制特征和 BossaNova 特征来标识视频,取得了良好的性能。M. Perez^[16]等人使用了运动信息和深度学习来提升性能。此外,文本信息也被视为一个有效的特征,用来识别网页上的色情图像^[13,18]。综上所述,已知的这些方法大部分通过视频内容分析来判断是否包含不良内容。

2.2 不良行为检测和移动视频聊天

移动通信的飞速发展终端用户提供了强大的实时多媒体支持,但也为大规模的移动感知和分析提出了新的挑战^[1]。

在过去的几年里,研究人员对大规模的移动感知和分析技术给予了更多的关注。例如,一些^[19-20]工作确定了移动传感和分析的一些关键特性。Q. Lv 则完善了一个新的不端行为检测系统 Safevchat^[21-22],其结合多个分类器来确定不良行为及其种类。为了解决效率问题,X. Xing 等人进一步开发了一个新的不端行为检测系统^[23]来提高效率与性能。H. Cheng^[24]提出了一种细粒度级联分类解决方案,将图像特征提取分为两个阶段来提高计算效率。

2.3 相机指纹及其应用

在过去的二十年中,许多相机指纹提取方案^[25-30]对于相机溯源进行了研究。在 2006 年,经典光响应非均匀性(PRNU)首次被提出^[2],其本质是利用传感器输出模型来估计相机的模式噪声,亦即由于传感器制造过程^[31-34]中的硅晶片不均匀特性造成的低频缺陷。为了缓解 PRNU 受场景干扰大的问题,C.-T. Li^[35]提出了一种改进的离散小波域模型。M. Goljan^[36]从 Flickr 数据集中构建了数据库,并提出大规模的图像检索方案。文献^[37-39]中的工作则进一步对存储和计算速度等进行了性能优化。在 2016 年,Goljan et al.^[40]考虑了压缩损失并调整判决门限来保证虚警率。

2005 年 Gunturk BK 等人提出 CFA 特征,并将其作为相机品牌特征的水印。随后,H. Cao 和 S. Bayram^[41-42]等人将其作为相机品牌的水印特

征进行识别。本文也将 CFA 特征作为一个视角来辅助相机溯源。需要指出的是,本文本质是相机源而非仅仅对品牌的识别,该特征的加入是为了保证集成策略的差异性。

与利用传感器指纹进行图像溯源相比,视频溯源的工作相对较少。在 2007 年,PRNU 第一次被引入视频源识别^[43]。在 2009 年,Houten^[44]使用了基于小波的技术来提取传感器的指纹并应用于低分辨率的互联网视频。2012 年,D.-K. Hyun^[45]通过使用最小平均相关能量滤波器来识别裁剪和缩放的视频,缓解了视频检测中的同步问题。2013 年,S. Chen 将上述方案应用于无线摄像机跟踪,解决了视频的遮挡和模糊问题,并实现了近似实时的性能。

3 数据集建立与参数选取

3.1 视频数据集的建立

根据调研,现在没有任何公开的数据集可用于基于相机溯源的潜在不良视频通话预警。为此,本文构建了一个新的数据集来验证所提方法的有效性。首先,收集了 25 部不同的智能手机,对于每部手机,拍摄了具有相同的分辨率和格式的 2 个视频片段,每个视频剪辑的长度约 1 min,共 50 部视频片段数据集。为了使得到的结果更有说服力,对数据集进行了扩充,对每一部视频进行了切割,将其一分为二,最终得到了 100 部视频,由于每部手机分别有拍摄并分割得到的 4 部视频,所以每次将每部手机拍摄的其中两部视频作为训练集,另外两部则作为测试集,交叉验证保证结果的准确性。

在表 1 中,列举了收集得到的照相机、分辨率和格式的信息。

3.2 参数设置

潜在不良视频通话预警包括两个关键步骤。第一步是提取所有非法设备的传感器指纹,用于注册筛选服务器以生成黑名单。由于离线过程不考虑效率问题,而且选取的图片越多,相机指纹的质量越高。因此,选取视频片段的全部帧来得到可靠的 PRNU 相机指纹。第二步是在线评估用于测试视频的相机指纹,所以要平衡准确性和效率,以保证在较高准确度的情况下保持实时性能。通过预实验得到采样间隔与识别精度之间的关系

如图 2 所示。可以看出,当采样间隔设置为 20 s 时,可以获得最佳平衡。

表 1 相机数据集详细参数

Tab. 1 Detailed parameters of the camera dataset

相机型号	视频长度/s	视频分辨率	视频格式
iPhone6s	67	568×320	MP4
Meizu MX4	61	1 280×720	MP4
iPhone6	60	1 920×1 080	MP4
ASUS	66	1 280×720	MP4
Samsung Galaxy S4	61	1 920×1 080	MP4
Honor KIW AL10	60	1 280×720	MP4
LG nexus 5	61	1 920×1 080	MP4
Samsung 9100	81	1 920×1 080	MP4
iPhone6s	64	1 920×1 080	MOV
OPPO R7	61	1 920×1 080	MP4
OPPO R7	62	1 280×720	MP4
Xiaomi4C	67	1 280×720	MP4
iPhone6s	61	1 280×720	MOV
iPhone5s	66	1 920×1 080	MOV
HUAWEI P7	53	1 280×720	MP4
iPhone4s	60	1 920×1 080	MP4
CoolPad 7295	61	1 280×720	3GP
Lenovo A860	57	1 280×720	3GP
iPhone6s	62	1 920×1 080	MOV
Xiaomi4C_2	60	1 280×720	MP4
iPhone6s	62	568×320	MOV
iPhone5s	45	568×320	MOV
iPhone4s	45	1 920×1 080	MOV
LeMail 1Pro	69	1 920×1 080	MP4
Samsung Galaxy S4U, S. Edition	79	1 920×1 080	MP4

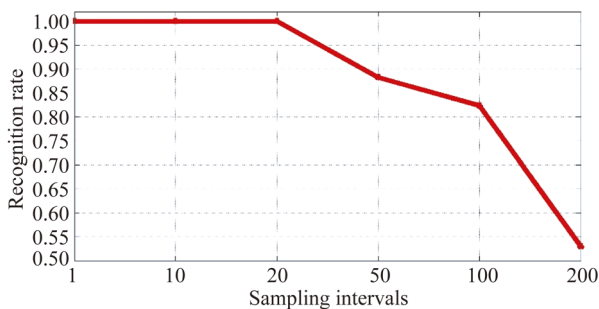


图 2 预实验中采样间隔和识别准确率的关系

Fig. 2 Relationship between sampling interval and recognition accuracy in our experiments

4 实时视频相机溯源

本文提出的框架中,两个关键挑战之一是如何实时决策。在这一节中,提出了两种用于测试视频流的 PRNU 传感器指纹提取策略,分别称它们为基于片段的视频源识别和基于帧的视频源识别。

4.1 基于片段的视频溯源识别机制

基于片段的视频溯源识别机制如图 3 所示,只有部分片段被用来估计相机指纹,而一些片段被等间隔的丢弃。通过这种简单的策略,可以加速相机指纹提取。

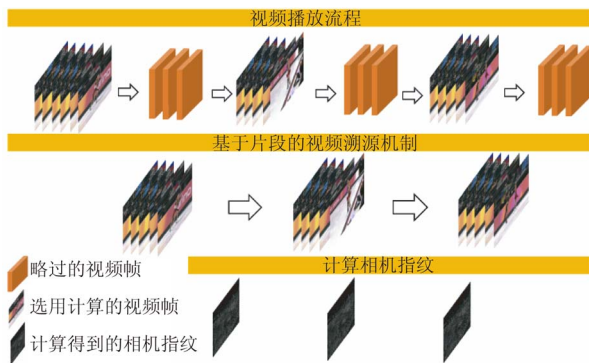


图 3 基于片段的视频溯源机制流程

Fig. 3 Fragment based video source identification mechanism

根据这种计算模式,丢弃连续视频帧组成的片段必然会损失独立场景信息。与此同时,保留的视频帧也由于时间连续性,包含较多的相似场景,所以视频内容的冗余和相似性对识别系数也有很大的影响。针对上述缺点,提出了一种改进的实时视频流采样检测方案。

4.2 基于帧的视频溯源识别机制

由于分段视频流精度差,随机性强、容易受场景内容影响等缺点。对实时视频流采样检测的过程和原理进行了改进。基于帧的实时视频流的计算原理如图 4 所示:

在实时视频流检测方案中,通过实时提取视频帧,降低了场景的冗余度对相关系数的影响。此外,随着视频流的逐帧叠加,视频帧间的内容相似度差异增大,视频内容对相机指纹的污染将会减少,可信度也会提高,极大改善了分段视频流检测方案的缺点。由于采样帧数是受采样频率的影响,所以计算帧数 $N_{\text{calculate}}$ 和总帧数 N , 抽样频率三者之间的数学关系可以表示为:

$$\frac{N - N \bmod(\text{sample})}{\text{sample}} = N_{\text{calculate}}, \quad (1)$$

其中 sample 代表抽样频率,而实时相关系数由下式计算:

$$C[i] = \text{corr}(\hat{\mathbf{K}}_m, \hat{\mathbf{K}}_{\text{train_set}}[i]), \quad (2)$$

其中: $\hat{\mathbf{K}}_{\text{train_set}}[i]$ 是视频数据库中的摄像头指纹, $\hat{\mathbf{K}}_m$ 则表示实时提取的相机指纹。

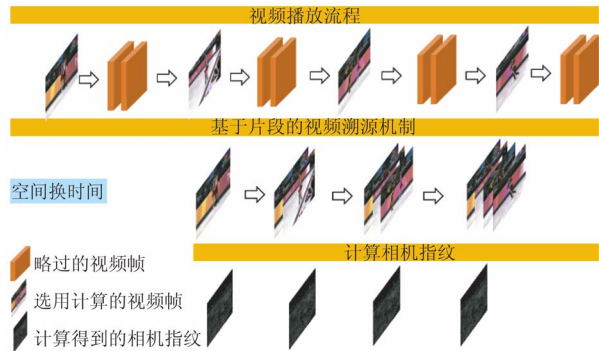


图 4 基于帧的视频溯源机制流程

Fig. 4 Frame based video source identification mechanism

5 基于多相机指纹的集成决策

本节尝试通过运用多特征集成决策的方式进行相机溯源,以提高其鲁棒性和识别精度。为了提高集成学习的单模型决策差异性,本文选用 3 种差异化较大的方法进行联合相机溯源并利用指数损失函数对单模型的权重进行估计并最终集成决策。

5.1 PRNU 视频流无压缩实时溯源

对于无压缩实时相机溯源策略,将每抽取到的帧 $f=1, 2, \dots, N_{\text{calculate}}$, 用式(3)来进行更新:

$$\hat{\mathbf{K}}_m = \frac{\sum_{f=1}^{n-1} \mathbf{W}_f \mathbf{I}_f + \mathbf{W}_m \mathbf{I}_m}{\sum_{f=1}^{n-1} (\mathbf{I}_f)^2 + (\mathbf{I}_m)^2}, \quad (3)$$

其中: \mathbf{I}_f 和 \mathbf{I}_m 是由原视频直接转码得到的视频帧, \mathbf{W}_f 是通过小波滤波等得到的视频噪声,在这一过程中不进行任何的压缩转码,直接用于 PRNU 的估计。

5.2 PRNU 视频流转 JPEG 图片实时溯源

对于该策略,首先将视频帧实时转为图片进行存储,对于上式中的 \mathbf{I}_f 视频帧保存为 JPEG 图像暂存,在 PRNU 估计的时候重新读取实时保存的图像进行相机指纹的计算。更新过程与 5.1 节方法保持一致。

5.3 CFA 均值视频流溯源

CFA 特征的提取策略主要参考了文献[38]

的做法,对于每部视频抽取的帧提取 CFA 特征,并用最终的均值矩阵代表该相机的指纹特征。其计算公式如下:

$$\hat{\mathbf{K}}_m = \sum_{i=1}^N \hat{\mathbf{K}}_i / N, \quad (4)$$

其中:

$$\hat{\mathbf{K}}_i = \text{CFA}(\mathbf{I}_i), \quad (5)$$

其中: \mathbf{I}_i 表示视频原始帧, $\hat{\mathbf{K}}_i$ 表示视频帧提取得到的 CFA 特征, $\hat{\mathbf{K}}_m$ 则表示全部视频帧的 CFA 特征的均值, N 表示视频帧数量,根据式(5)即可求得用作视频指纹的 CFA 特征。

5.4 基于 ROC 曲线与约登指数的阈值选取策略

阈值选取问题本质上是如下的最优化问题:

$$\min_T \sum_{i=1}^N \| H(F_i - T) - y_i \|^2, \quad (6)$$

s. t.

$$F_i = \text{corr}(\hat{\mathbf{K}}_m, \hat{\mathbf{K}}_{\text{train_set}}[i]), \quad (7)$$

其中: $H(x)$ 为单位阶跃函数, T 为最终选取的阈值, F_i 表示预测的相关系数。对于上式该问题属于无约束优化问题,对 T 求偏导即可得到解析解,但是对于 $H(x)$ 的不可导问题无法处理,所以本文将上述问题转换为 ROC 曲线上的约登指数最大化的问题进行求解。

$$\max_T TP + (1 - FP) - 1, \quad (8)$$

s. t.

$$TP = \text{ROC}(T), FP = \text{ROC}(T). \quad (9)$$

全数据集 3 种方法的 ROC 曲线如图 5 所示,假设假阴性与假阳性的危害等同,约登指数本质即真阴性与真阳性的线性函数,指数越大说明筛查实验的效果越好,真实性越大。通过 ROC 曲线与约登指数在曲线上寻找最优的阈值,通过遍历 ROC 曲线即可得到最优值。

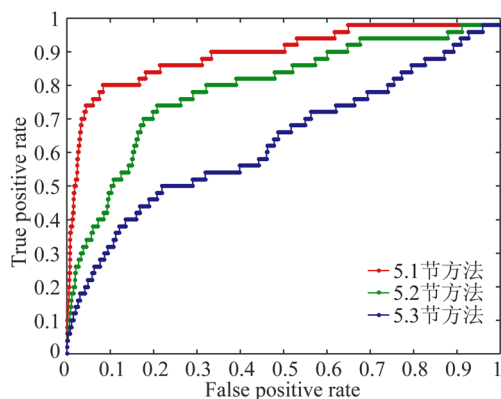


图 5 全数据集 3 种方法的 ROC 曲线

Fig. 5 ROC curves of three methods for full dataset

5.5 多相机指纹的集成决策模型

根据上述 3 种方法和最优阈值选取策略,提出了一种集成决策模型,其表示如下:

$$f(x) = \sum_{m=1}^M \alpha_m G_m(x), \quad (10)$$

其中: α_m 为模型的权重, $G_m(x)$ 表示单模型, $f(x)$ 表示集成模型,目标是求解最优的模型权重来获取最佳集成性能。为此,建立指数损失函数:

$$L(y, f(x)) = \exp[-yf(x)], \quad (11)$$

其中: y 表示真实的标签, $f(x)$ 表示集成决策模型的预测结果,当 y 与 $f(x)$ 同方向时损失函数逼近零,通过推导得到加性模型的更新公式为:

$$\alpha_m = \arg \min_{\alpha} \sum_{i=1}^N \exp[-y_i (f_{m-1}(x_i) + \alpha G(x_i))]. \quad (12)$$

最终求得权重的最优解为:

$$\alpha_m^* = \frac{1}{2} \log \frac{1 - e_m}{e_m}, \quad (13)$$

其中:

$$e_m = \sum_{i=1}^N \frac{1}{N} I(y_i \neq G(x_i)). \quad (14)$$

6 实验评价

6.1 实时相机溯源识别实验

实验中,本文整合了上述所有步骤,利用小波变换提取图像噪声,通过维纳滤波消除了块状区域对相关系数的影响,以及采取图像增强算法等操作进行 PRNU 的相机指纹提取,在实验中采用了 20 作为采样间隔。

基于 PRNU 相关系数实时相机溯源结果如图 6 所示,我们可以看到 Android 智能手机所拍摄的视频可以被正确识别。该方法的可行性得到证实。以 MeiZu MX4 为例,相同手机拍摄的视频的相关系数显著高于其他手机和它的相关系数。此外,效率方面,平均处理速度为 25 frame/s,满足视频溯源的实时性要求。

6.2 相机溯源方法性能比较

集成策略的相机溯源方法采用以下 3 种方法作为基溯源特征学习器,3 种方法的具体策略和集成策略以及交叉验证的评测标准如下:

方法 1^[2,35]:该方法应用 PRNU 提取特征并结合 4.2 节实时视频溯源策略,对于视频特征的计算采取 5.1 节的视频帧解码计算的方式。

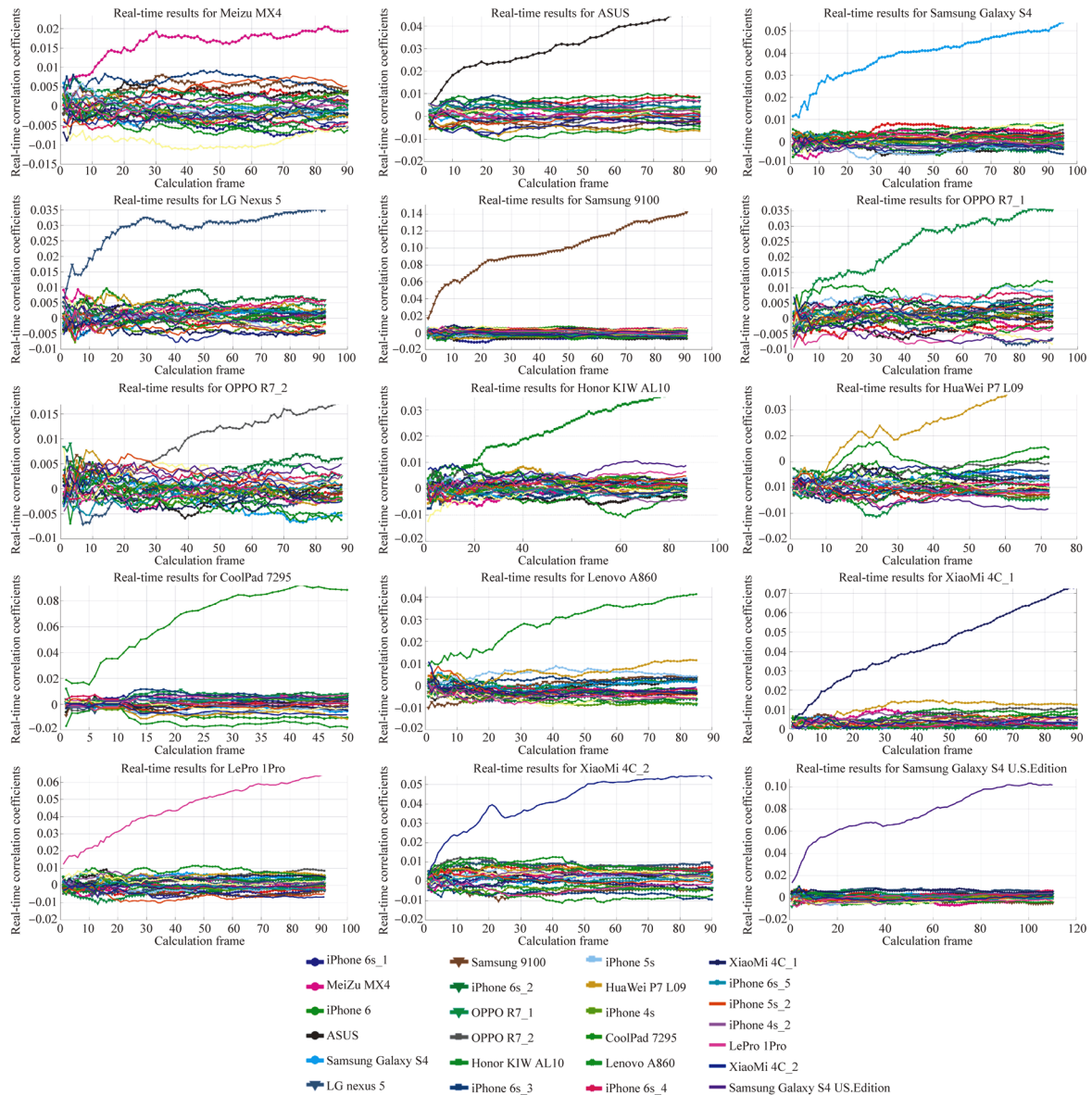


图 6 基于 PRNU 的实时视频溯源相关系数结果

Fig. 6 Correlation coefficient results of PRNU based real-time video source identification

方法 2^[2,35]:该方法同样基于 PRNU 的特征提取方法,结合 4.2 节实时视频溯源策略,对于视频特征的计算采取 5.2 节的视频帧转图像计算的方式。

方法 3^[3]:该方法应用 CFA 的特征提取,结合 4.2 节实时视频溯源策略,对于视频特征计算采取 5.3 节平均 CFA 特征。

本文方法:本文集成方法基于上述 3 种基方法,根据 5.4 节进行阈值选取,计算训练集的准确率,然后通过公式(13)~(14)进行权重计算,根据该权重得到的集成模型,在测试集得到最终结果。

交叉验证评测标准:对于每一部相机,扩充后的数据集包含 4 部视频,对于每一次交叉验证,选

取其中的两部进行阈值的训练,其余两部进行最终的结果测评,表格 2 中 {12, 13, 14, 23, 24, 34} 表示选取的训练数据集视频编号,例如 12 代表选取编号 1 和 2 的视频进行阈值训练,剩余编号 3 和 4 的视频进行结果测试。

对于集成相机溯源策略,本文将苹果手机、安卓手机和全部手机作为 3 种数据集进行测试。最终交叉验证结果如表 2 所示,可见基于集成策略的相机溯源方法在安卓、苹果和混合识别上正确率都远远高于传统的单模型视频溯源策略。该集成策略对于安卓手机识别正确率很高,但是对于苹果则不尽如人意,所以下面对于苹果手机的情况进行深入分析。

表 2 本文集成与 3 种方法相机溯源正确率比较

Tab. 2 Comparison of accuracy between ensemble methods and three previous methods

相机种类	方法	交叉验证正确率						平均值
		12	13	14	23	24	34	
安卓	方法 1 ^[2,35]	0.979 31	0.894 25	0.977 01	0.988 51	0.965 52	0.931 03	0.955 938
	方法 2 ^[2,35]	0.719 54	0.988 51	0.898 85	0.993 10	0.935 63	0.988 51	0.920 690
	方法 3 ^[3]	0.409 20	0.434 48	0.487 36	0.678 16	0.280 46	0.903 45	0.532 185
	本文算法	0.979 31	0.988 51	0.977 01	0.993 10	0.965 52	0.986 21	0.981 610
苹果	方法 1 ^[2,35]	0.784 21	0.705 26	0.852 63	0.931 58	0.557 89	0.952 63	0.797 300
	方法 2 ^[2,35]	0.815 79	0.942 11	0.110 53	0.647 37	0.721 05	0.947 37	0.697 370
	方法 3 ^[3]	0.578 95	0.815 79	0.200 00	0.352 63	0.910 53	0.621 05	0.579 825
	本文算法	0.784 21	0.905 28	0.915 79	0.926 32	0.910 53	0.947 37	0.898 250
安卓+苹果	方法 1 ^[2,35]	0.967 35	0.800 82	0.879 18	0.956 73	0.897 96	0.975 51	0.912 925
	方法 2 ^[2,35]	0.835 92	0.981 22	0.902 04	0.820 41	0.775 51	0.982 04	0.882 856
	方法 3 ^[3]	0.428 57	0.907 76	0.129 80	0.286 83	0.895 51	0.599 18	0.541 275
	本文算法	0.967 35	0.964 08	0.900 41	0.956 73	0.889 80	0.975 51	0.937 313

实验中,所有的视频由 Android 所拍摄的 MP4, 3GP 视频格式可以正确地识别和实时溯源,而 iPhone 视频的识别率极低。对于该问题,首先,经研究以前的视频溯源实验中所使用的数据库,发现几乎所有的摄像头都是数码单反或 MP4 格式的手机/相机。仅在文章^[18]中发现了两个 iPhone4 摄像机用于探索视频识别的压缩效果,由于 iPhone 相机拍摄的视频/图像明显优于其他摄像头,该文章^[46]也佐证了 iPhone 视频在视频相机指纹的提取中表现不佳。根据这一现象,本文做了许多额外的实验来解释它,包括 iPhone 图片识别实验和 I 帧提取实验和视频转码

实验,并发现转换到 mov 格式的视频确实会影响识别精度。

7 结 论

本文建立了移动视频溯源的视频库,并提出一种可行的实时相机溯源机制,最后提出了基于集成策略的视频溯源解决方案以提升性能。在精度和效率上均达到了较好的水平。

未来将继续对 iPhone 手机的识别精度不高的问题进行研究,并深入实验视频压缩和编码解法器对相机指纹的影响。

参考文献:

- [1] JANA S, PANDE A, CHAN A, *et al.*. Mobile video chat: issues and challenges [J]. *IEEE Communications Magazine*, 2013, 51(6):144-151.
- [2] LUKAS J, FRIDRICH J, GOLJAN M. *Digital Camera Identification From Sensor Pattern noise* [J]. *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 2006, 1(2):205-214.
- [3] TIAN J, YU W, MA L. Color filter array color reproduction using cycle-spinning [J]. *AEUE-International Journal of Electronics and Communications*, 2010, 64(6):584-587.
- [4] GUNTARK B K, GLOZHACH J, ALTUNBASAK Y, *et al.*. Demosaicking: color filter array interpolation [J]. *IEEE Signal Process Mag*, 2005, 22(1):44-54.
- [5] FLECK M M, FORSYTH D A, BREGLER C. Finding naked people [J]. *Inproceedings*, 1996:593-602.
- [6] FORSYTH D A, FLECK M M. Body plans[C]. *Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*. IEEE Computer Society, 1997:678..
- [7] JONES M J, REHG J M. *Statistical Color Models with Application to Skin Detection* [M]. Nether-

- lands:Kluwer Academic Publishers, 2002.
- [8] FORSYTH D A, FLECK M M. Automatic detection of human nudes [J]. *International Journal of Computer Vision*, 1999, 32(1):63-77.
- [9] ZHU H Y, HIRATA T, MURAMATSU Y. Patch-based skin color detection and its application to pornography image filtering[C]. *International Conference on World Wide Web, WWW 2010, Raleigh, North Carolina, Usa, April*. DBLP, 2010:1227-1228.
- [10] LEE J S, KUO Y M, CHUNG P C, *et al.*. Naked image detection based on adaptive and extensible skin color model [J]. *Pattern Recognition*, 2007, 40(8):2261-2270.
- [11] ZAIDAN A A, AHMAD N N, KARIM H A, *et al.*. On the multi-agent learning neural and Bayesian methods in skin detector and pornography classifier: An automated anti-pornography system [J]. *Neurocomputing*, 2014, 131(7):397-418.
- [12] ZAIDAN A A, ABDUL KARIM H, AHMAD N N, *et al.*. An automated anti-pornography system using a skin detector based on artificial intelligence: a review [J]. *International Journal of Pattern Recognition & Artificial Intelligence*, 2013, 27(04):1350012.
- [13] HU W, WU O, CHEN Z, *et al.*. Recognition of pornographic web pages by classifying texts and Images [J]. *IEEE Trans Pattern Anal Mach Intell*, 2007, 29(6):1019-1034.
- [14] STOTTINGER J, HANBURY A, LIENSHERGER C, *et al.*. *Skin Paths for Contextual Flagging Adult Videos* [M]. Berlin:Advances in Visual Computing. Springer Berlin Heidelberg, 2009:303-314.
- [15] CAETANO C, AVILA S, GUIMARAES S, *et al.*. Pornography detection using BossaNova video descriptor [J]. *22nd European Signal Processing Conference, IEEE*, 2014:1681-1685.
- [16] PEREZ M, AVILA S, MOREIRA D, *et al.*. Video pornography detection through deep learning techniques and motion information [J]. *Neurocomputing*, 2016, 230(C):279-293.
- [17] CHEN S, PANDE A, ZENG K, *et al.*. Live video forensics: source identification in lossy wireless networks [J]. *IEEE Transactions on Information Forensics & Security*, 2014, 10(1):28-39.
- [18] HAMMAMI M, CHABIR Y, CHEN L. *Web Guard: A Web Filtering Engine Combining Textual, Structural, and Visual Content-Based Analysis* [M]. IEEE Educational Activities Department, 2006.
- [19] LV Q. Towards large-scale mobile sensing and analytics [J] *Mobile Sensing: Challenges, Opportunities and Future Directions*. *UbiComp*, 2011.
- [20] TIAN L, LI S, AHN J, *et al.*. Understanding User Behavior at Scale in a Mobile Video Chat Application [C]. *Proceedings of the 2013 ACM International Joint Conference on Pervasive and Ubiquitous Computing*, 2013.
- [21] XING X, LIANG Y L, CHENG H, *et al.*. SafeVchat: detecting obscene content and misbehaving users in online video chat services[C]. *Computing Research Repository*, 2011:685-694.
- [22] LV Q. *Detecting Misbehavior in Online Video Chat Services* [M]. IEEE Educational Activities Department, 2013.
- [23] XING X, LIANG Y L, HUANG S, *et al.*. Scalable misbehavior detection in online video chat services [C]. *ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*. ACM, 2013:552-560.
- [24] CHENG H, LIANG Y L, XING X, *et al.*. Efficient misbehaving user detection in online video chat services [C]. *Proceedings of the Fifth International Conference on Web Search and Web Data Mining, WSDM, Seattle, WA, USA, 2012*: 23-32.
- [25] BOSSON A, CAWLEY G C, CHAN Y, *et al.*. Non-retrieval: Blocking Pornographic Images [C]. *International Conference on Image and Video Retrieval*. Springer-Verlag, 2002:50-60.
- [26] KHARRAZI M, SENCAR H T, MEMON N. Blind source camera identification [C]. *International Conference on Image Processing*. IEEE, 2004(1):709-712.
- [27] GERADTS Z J, KUROSAWA K, KUROKI K. Methods for identification of images acquired with digital cameras [C]. *Enabling Technologies for Law Enforcement and Security*. *Enabling Technologies for Law Enforcement and Security*, 2001:505-512.
- [28] KUROSAWA K, KUROKI K, SAITOH N. CCD fingerprint method-identification of a video camera from videotaped images [C]. *International Conference on Image Processing*, 1999. *ICIP 99. Proceedings*. IEEE, 2002(3):537-540.
- [29] LYU S, FARID H. Detecting hidden messages using higher-order statistics and support vector machines [C]. *Revised Papers From the, International Workshop on Information Hiding*. Springer-Verlag, 2008:340-354.
- [30] CHEN M, FRIDRICH J, GOLJAN M. Digital imaging sensor identification(further study) [J]. *Proc Spie*, 2007, 6505(6505).

- [31] 张晨, 孙世磊, 石文轩, 等. 工业线阵 CCD 相机系统测试与噪声评估 [J]. *光学精密工程*, 2016, 34(10):2532-2539.
ZHANG C, SUN S L, SHI W X, *et al.*. Linear CCD camera System for industry measurement and its noise evaluation [J]. *Opt. Precision Eng.*, 2016, 34(10): 2532-2539. (in Chinese)
- [32] 孙宏海, 何舒文, 吴培, 等. 高动态科学级 CMOS 相机设计与成像分析 [J]. *液晶与显示*, 2017, 32(3):240-248.
SUN H H, HE SH W, W P, *et al.*. Design and imaging analysis of high dynamics scientific CMOS camera [J]. *Chinese Journal of Liquid Crystals and Displays*, 2017, 32(3):240-248. (in Chinese)
- [33] 王晓涛, 王绪安, 康宁. CCD 摄像机新型光控技术研究 [J]. *红外与激光工程*, 2016, 45(1):120003-0120003.
WANG X T, WANG X A, KANG N. New light-control technology research of CCD camera [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(1): 120003-0120003. (in Chinese)
- [34] 潘卫军, 贺强民, 刘涛, 等. CCD 信号自适应采样方法的研究和实现 [J]. *红外与激光工程*, 2016, 45(5):283-287.
PAN W J, He Q M, Liu T, *et al.*. Study and realization of adaptive sampling method for CCD signal [J]. *Infrared and Laser Engineering*, 2016, 45(5):283-287. (in Chinese)
- [35] LI C T. Source camera identification using enhanced sensor pattern noise [J]. *IEEE Transactions on Information Forensics & Security*, 2010, 5(2):280-287. (in Chinese)
- [36] GOLJAN M, FRIDRICH J, FILLER T. Large scale test of sensor fingerprint camera identification [C]. *Media Forensics and Security*. *International Society for Optics and Photonics*, 2009: 72540I-12.
- [37] GOLJAN M, FRIDRICH J, FILLER T. Managing a large database of camera fingerprints [J]. *Proceedings of SPIE-The International Society for Optical Engineering*, 2010, 7541(3):175-178.
- [38] BAYRAM S, SENCAR H T, MEMON N. Efficient sensor fingerprint matching through fingerprint binarization [J]. *IEEE Transactions on Information Forensics & Security*, 2012, 7(4):1404-1413.
- [39] VALSESIA D, COLUCCIA G, BIANCHI T, *et al.*. Compressed fingerprint matching and camera identification via random projections [J]. *IEEE Transactions on Information Forensics & Security*, 2015, 10(7):1472-1485.
- [40] GOLJAN M, CHEN M, COMESANA P, *et al.*. Effect of compression on sensor-fingerprint based camera identification [J]. *Electronic Imaging*, 2016(8):1-10.
- [41] CAO H, KOT A C. *Accurate Detection of Demosaicing Regularity for Digital Image Forensics* [M]. IEEE Press, 2009.
- [42] BAYRAMS, SENCAR H T, MEMON N. *Classification of Digital Camera-Models Based on Demosaicing Artifacts* [M]. Elsevier Science Publishers B. V. 2008.
- [43] CHEN M, FRIDRICH J, GOLJAN M, *et al.*. Source digital camcorder identification using sensor photo response non-uniformity [C]. *Electronic Imaging*. *International Society for Optics and Photonics*, 2007.
- [44] HOUTEN W V, GERADTS Z. Source video camera identification for multiply compressed videos originating from YouTube [J]. *Digital Investigation*, 2009, 6(1):48-60.
- [45] HYUN D K, CHOI C H, LEE H K. *Camcorder Identification for Heavily Compressed Low Resolution Videos* [M]. Computer Science and Convergence. Springer Netherlands, 2012:695-701.
- [46] MARCEL BROUWERS, RAHAF MOUSA. Automatic comparison of Photo Response Non Uniformity (PRNU) on youtube [J]. *System and Network Engineering*, 2017.

作者简介:



马晓晨(1994—),男,辽宁大连人,硕士,2016年于辽宁工程技术大学获得学士学位,主要从事图像取证,集成学习的研究。E-mail: 16120299@bjtu.edu.cn

导师简介:



韦世奎(1979—),男,河北正定人,博士,教授,博士生导师。2003年于河北大学获得学士学位,2010年于北京交通大学获得博士学位,主要从事计算机视觉、机器学习、媒体大数据等方面的研究。E-mail: shkwei@bjtu.edu.cn