

Digital Video Source Identification Using Sensor Pattern Noise with Morphology Filtering

Sang-Hyeong Lee[†] · Dong-Hyun Kim^{**} · Tae-Woo Oh^{***} · Ki-Bom Kim^{****} · Hae-Yeoun Lee^{*****}

ABSTRACT

With the advance of Internet Technology, various social network services are created and used by users. Especially, the use of smart devices makes that multimedia contents can be used and distributed on social network services. However, since the crime rate also is increased by users with illegal purposes, there are needs to protect contents and block illegal usage of contents with multimedia forensics. In this paper, we propose a multimedia forensic technique which is identifying the video source. First, the scheme to acquire the sensor pattern noise (SPN) using morphology filtering is presented, which comes from the imperfection of photon detector. Using this scheme, the SPN of reference videos from the reference device is estimated and the SPN of an unknown video is estimated. Then, the similarity between two SPNs is measured to identify whether the unknown video is acquired using the reference device. For the performance analysis of the proposed technique, 30 devices including DSLR camera, compact camera, camcorder, action cam and smart phone are tested and quantitatively analyzed. Based on the results, the proposed technique can achieve the 96% accuracy in identification.

Keywords : Multimedia Forensics, Sensor Pattern Noise, Morphology Filtering, Video Source Identification

모폴로지 필터링 기반 센서 패턴 노이즈를 이용한 디지털 동영상 획득 장치 판별 기술

이 상 형[†] · 김 동 현^{**} · 오 태 우^{***} · 김 기 범^{****} · 이 해 연^{*****}

요 약

인터넷 기술이 급속도로 발전함에 따라서 다양한 소셜 네트워크 서비스들이 나타나고 있다. 특히 스마트 기기들이 발전함에 따라서 소셜 네트워크 상에는 멀티미디어 콘텐츠가 넘쳐나고 있다. 그러나 불법적 목적을 가진 사용자에 의해 발생하는 범죄도 증가하면서 멀티미디어 포렌식을 이용한 콘텐츠 보호 및 불법 사용 차단이 필요성이 사회적으로 대두되고 있다. 본 논문에서는 멀티미디어 포렌식 기술의 하나로 디지털 동영상 획득 장치 판별을 위한 포렌식 기술을 제안한다. 먼저 모폴로지 필터링을 이용한 센서 패턴 노이즈 추출하는 방법을 제안한다. 이를 이용하여 참조 장치에서 촬영한 참조 동영상의 센서 패턴 노이즈를 추정하고, 검사 동영상에서 센서 패턴 노이즈를 추출한다. 그리고 두 센서 패턴 노이즈 사이의 유사성 계산을 통하여 검사 동영상에 참조 장치로 촬영을 했는지 판별을 수행한다. 제안한 기술의 성능 분석을 위하여 DSLR 카메라, 콤팩트 카메라, 캠코더, 액션캠 및 스마트폰 등을 포함한 총 30대의 장치에 대하여 개발한 알고리즘에 대한 정량적 성능 분석을 수행하였고, 그 결과 96%의 판별 정확도를 달성하였다.

키워드 : 멀티미디어 포렌식, 센서 패턴 노이즈, 모폴로지 필터, 동영상 획득 장치 판별

1. 서 론

최근 인터넷 기술이 급속도로 발전함에 따라서 페이스북,

카카오톡 등과 같은 소셜 네트워크 서비스들이 많이 생겨나고 있다. 또한 이를 사용하는 사용자 수가 증가하고 있으며 우리 삶의 일부분을 차지하고 있다. 소셜 서비스를 통해 수많은 멀티미디어 콘텐츠들이 생산되고 있으며, 이를 위한 멀티미디어 콘텐츠 획득 장치 사용이 증가하고 있다. 스마트폰을 비롯하여 디지털 카메라, DSLR, 액션 캠 등을 이용해 촬영한 콘텐츠를 생산하고 있으며 이를 촬영하는 획득 장치도 고성능, 고품질의 형태로 발전하고 있다.

그러나 생산되는 멀티미디어 콘텐츠가 증가할수록 이를 이용한 사회적 문제 또한 증가하고 있다. 초고속 인터넷, 3G 망, LTE망 등의 기술이 확산되면서 생산된 멀티미디어 콘

* This work was supported by the research fund of National Security Research Institute (2016-082).

[†] 준 회 원 : 금오공과대학교 소프트웨어공학과 석사과정

^{**} 비 회 원 : 금오공과대학교 소프트웨어공학과 석사과정

^{***} 비 회 원 : 국가보안기술연구소 선임연구원

^{****} 종신회원 : 국가보안기술연구소 책임연구원

^{*****} 정 회 원 : 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수

Manuscript Received : January 6, 2016

First Revision : July 4, 2016

Second Revision : July 5, 2016

Accepted : July 5, 2016

* Corresponding Author : Hae-Yeoun Lee(haeyeoun.lee@kumoh.ac.kr)

텐츠의 파급 효과는 점점 높아지고 있으며, 이러한 상황을 이용한 불법 콘텐츠 유포나 멀티미디어 콘텐츠의 위변조 등에 대한 문제가 발생하고 있다.

영화 산업과 같은 곳에서 원 제작물이 아닌 캡코더 영상이나 제작물의 불법 유통으로 인해 매년 수백억 원의 피해가 발생하고 있으며 포르노 및 불법 촬영 영상, 사생활 침해 영상 등으로 인한 피해도 증가하고 있다. 이러한 피해로 인해 발생하는 많은 법정 다툼에서 멀티미디어 디지털 영상이 중요한 법적 증거 자료로 이용되고 있고 도로나 골목 등에서 발생한 사건에 대하여 주변 CCTV 영상이나 목격자의 디지털 영상이 중요하게 다루어지고 있다.

이와 같이 불법 콘텐츠 촬영 및 유포와 멀티미디어 콘텐츠 위변조를 차단하기 위하여 멀티미디어 포렌식 기술에 대한 사회 및 경제적 요구가 증대되고 있으며 미국, 유럽 등 선진국에서는 멀티미디어 포렌식 기술 연구가 활발히 진행되고 있다. 2절에서는 멀티미디어 콘텐츠 위변조를 차단하기 위한 기존 연구들과 불법 콘텐츠 촬영 및 유포를 방지하기 위한 기존 연구들에 대하여 설명하였다.

본 논문은 멀티미디어 포렌식 기술의 하나로서 디지털 동영상의 획득 장치를 판별하기 위한 기술에 대하여 초점을 맞추고 있다. 대부분의 디지털 영상을 촬영하는 기기는 센서를 가지고 있다. 이 센서는 제조 과정이 완벽하지 않기 때문에 고유한 노이즈 성분을 가지고 있고, 이 노이즈는 센서마다 다르기 때문에 포렌식 분야에서 기기에 대한 고유한 지문으로써의 활용 가치를 가진다. 이와 같은 센서의 고유한 흔적을 찾아내는 것은 멀티미디어 포렌식 기술의 성능과 밀접한 관련을 가지고 있고, 정확한 센서의 고유한 흔적을 찾기 위한 다양한 영상 기기에 대한 연구들이 진행되고 있다.

본 논문에서는 모폴로지 필터링 기반 센서 패턴 노이즈를 이용하여 디지털 동영상의 획득 장치 판별 기술에 대하여 제안한다. 먼저 기존의 기술들과 다르게 모폴로지 필터링을 이용하여 디지털 동영상에서 센서 패턴 노이즈 추출하는 방법을 제안한다. 또한 디지털 동영상이 다수의 프레임으로 구성되는 특성을 활용하였다. 이 방법을 이용하여 참조 장치에서 촬영한 참조 동영상의 센서 패턴 노이즈를 추정하고, 검사 동영상에서 센서 패턴 노이즈를 추출한다. 그리고 두 센서 패턴 노이즈 사이의 유사성 계산을 통하여 검사 동영상이 참조 장치로 촬영을 했는지 판별을 수행한다. 제안한 기술의 성능 분석을 위하여 DSLR 카메라, Compact 카메라, 스마트폰 등을 포함한 총 30대의 장치에 대하여 개발한 알고리즘에 대한 정량적 성능의 분석을 수행하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 멀티미디어 포렌식 기술에 대한 관련 연구에 대하여 요약하고 3장에서 센서 패턴 노이즈를 이용한 디지털 영상 획득 장치 기술을 제안한다. 4장에서는 실험 결과에 대하여 제시 및 분석하고 5장에서 결론을 짓도록 하겠다.

2. 관련 연구

멀티미디어 포렌식 기술들은 그 목적에 따라서 다음과 같

이 구분할 수 있다. (1) 사진과 동영상에 조작 및 변경이 가해졌는지 여부를 판별하는 기술이 있다. 사진과 동영상의 위변조에 대해서는 보편적인 방법은 존재하지 않는다. 따라서 모든 종류의 위변조를 예측하여 판별하기 위한 기술을 개발하기는 어렵지만, 콘텐츠의 위변조를 탐지하기 위한 멀티미디어 포렌식 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. (2) 사진과 동영상을 획득한 장치를 식별하기 위한 기술이 있다. 사진과 동영상을 불법적으로 촬영하고, 불법적으로 유통하는 것을 차단하는 것은 중요하며, 사진과 동영상에 남아 있는 기기에 대한 흔적을 활용하는 멀티미디어 포렌식 기술에 대한 연구가 진행되고 있으며, 본 과제에서 개발하는 기술도 이에 해당한다.

2.1 위변조 탐지 연구

멀티미디어 콘텐츠에는 비가시적이고, 다양하며, 고유한 흔적들이 존재하게 된다. 이와 같은 흔적들은 콘텐츠의 위치마다 고유하게 나타나며, 콘텐츠의 위변조 탐지를 위한 기술들은 이와 같은 고유한 흔적을 검출하여 활용한다. 이와 같은 고유한 흔적에는 콘텐츠의 리샘플링 흔적, JPEG 압축에 의한 흔적, 감마 보정의 매개 변수에 의한 영향 등으로 발생할 수 있다. 또한 콘텐츠의 신호에 비례한 잡음 비율의 지역적인 편차의 흔적도 존재하며, 이와 같은 흔적을 통하여 콘텐츠에 대하여 복사 및 이동 등을 통한 위변조를 손쉽게 검출할 수 있다.

위변조의 탐지를 위하여 멀티미디어 콘텐츠에 대해서 조영 증강 매핑을 이용하여 고유한 흔적을 식별하고, 이를 활용한 위변조에 대한 포렌식 흔적을 판별하는 기술들도 있다. 또한 고유한 흔적으로 콘텐츠의 히스토그램의 특징을 이용하여 포렌식을 수행하는 방법들도 존재한다.

Popescu와 Farid는 영상의 위변조를 탐지하기 위해 디지털 포렌식을 이용하여 Color Filter Array (CFA) 보간된 이미지에서 위변조를 찾아내는 방법을 제안하였다. CFA 보간에 의해 발생한 특정 상관 관계를 수치화 하고, 이러한 상관관계가 자동적으로 이미지의 어떤 부분을 검출할 수 있는지에 대해 알 수 있다[1]. 또한 영상의 리샘플링의 흔적을 감지하여 디지털 위조를 검출하는 기술도 제안하였다. 알려진 값과 보간 방법에 의해 리샘플링된 신호를 고려할 때, 이웃에 동일한 방식으로 상관되어 주기적인 샘플 세트를 찾고 행렬의 상관관계를 통해 이미지의 임의 영역에서 위조를 찾아낼 수 있다[2].

Lukas 등은 이미지에 삽입된 센서 패턴 노이즈를 기반으로 디지털 조작 이미지 검출을 위한 새로운 포렌식 방법을 제시하였다[3]. 이 방법에서는 위조 영역의 경우 패턴 노이즈가 부족한 것을 이용하여 위변조를 식별할 수 있다. 잡음 영역 및 잔여 패턴 노이즈의 상관을 계산함으로써 영역 Pixel Non-Uniformity 노이즈의 존재를 검출한다. 이를 통해 카메라의 기준 패턴을 기반으로 영상의 위조를 검출할 수 있다.

Kirchner와 Gloe는 JPEG 압축 영상에 대해서도 영상의 위변조 여부를 판단할 수 있는 기술을 연구하였다[4]. JPEG

압축된 영상에 내재되어 있는 JPEG 아티팩트(Artifacts)가 영상을 크기 변형이나 회전 등의 기하학적인 변형 후에도 나타나는 특성을 활용하여 영상에 대한 재압축 여부를 검출할 수 있다.

2.2 획득 장치 판별 연구

Gloe 등은 센서 패턴 노이즈를 이용하여 영상을 촬영한 디지털 카메라를 식별하기 위한 기술을 연구하였다[5]. 공간적 노이즈를 이용하면 이미지들 사이에서 상대적으로 안정적이고, 따라서 카메라를 식별하는데 사용될 수 있기 때문에 이를 통해 위조를 판별하고 영상을 촬영한 카메라를 찾아 낼 수 있다.

또한, Farid는 과학적인 이미지에 대해 변조를 검출해내기 위하여 Intensity(강도), Texture(질감), Duplication pixel(중복 픽셀)을 이용한 방법을 연구하였다[6]. Stamm과 Liu는 영상의 대비 증폭을 검출하여 기기를 식별하는 방법을 제안하였다[7]. 고유의 지문 특정 히스토그램 기능을 식별하여 히스토그램 등화, 대비 개선의 특성 형태의 사용을 식별하여 이미지의 위조 여부를 판단 할 수 있다.

Mahdian과 Saic는 변조의 흔적을 은폐하기 위해 일반적으로 사용되는 변경된 이미지 영역에 로컬 랜덤 노이즈 추가하여 흔적을 검출하는 방법을 연구하였다[8]. 일반적으로 노이즈 양은 전체 이미지에 걸쳐 균일하지만, 로컬 랜덤 노이즈를 추가하면 이미지 노이즈에 불일치가 발생할 수 있다. 이러한 불일치를 이용하여 노이즈 레벨의 변화를 검출하여 이미지의 위조를 검출할 수 있다. Lukas 및 Chen은 영상 획득 과정에서 센서에 의해 의도하지 않게 발생하는 카메라 고유의 패턴 노이즈를 이용하여 영상 및 동영상 촬영 장치를 판별하기 위한 기술을 연구하였다[9, 10].

3. 제안하는 동영상 판별 알고리즘

본 절에서는 동영상 파일에 존재하는 센서 패턴 노이즈를 이용하여 동영상 획득 장치를 판별하는 멀티미디어 포렌식 기술에 대해 설명한다. 동영상 획득 장치 판별을 위한 알고리즘의 수행 과정은 Fig. 1에 도시되었으며, (1) 참조 장치로 촬영한 동영상들에 포함된 여러 장의 프레임으로부터 참조 센서 패턴 노이즈를 생성하는 과정과 (2) 미지의 검사 동영상에 대하여 동영상을 촬영하는데 사용한 장치의 센서 패턴 노이즈를 추출하고, (3) 이를 참조 패턴 노이즈와 유사도에 대한 비교를 통하여 획득 장치를 판별하는 과정으로 구성되어 있다.

먼저 참조 장치로 촬영한 동영상들에 대하여 프레임들을 추출하고, 이 프레임들로부터 모폴로지 필터링에 기반하는 센서 패턴 노이즈를 추정한다. 각 프레임으로부터 추출된 센서 패턴 노이즈들에 대한 평균화 작업을 수행하고 주기적인 노이즈를 제거하여 참조 장치 센서 패턴 노이즈를 계산한다. 이와 유사한 방법으로 검사 동영상에 대한 센서 패턴 노이즈를 계산한다. 이와 같이 계산된 2개의 센서 패턴 노

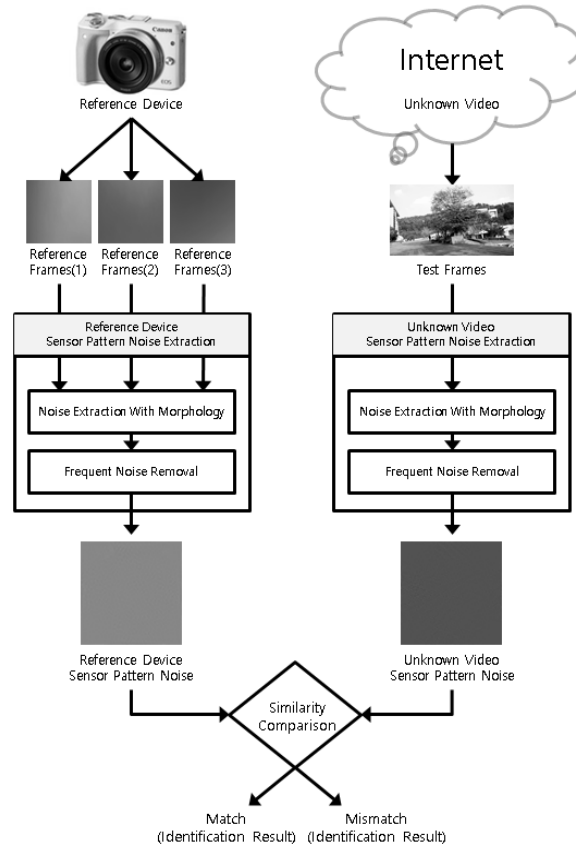


Fig. 1. Video Source Identification Process

이즈의 유사도를 비교하여 동영상 획득 장치의 일치 여부를 판별한다. 일치 여부를 판별할 때, 두 센서 패턴 노이즈의 유사성을 비교하는 과정에서 정규화 상관계수 값을 측정하고, 특정한 임계치보다 높은 값을 가지면 참조 장치로 미지의 검사 동영상을 촬영한 것으로 판정을 할 수 있고, 특정한 임계치보다 낮으면 관련성이 없는 것으로 판정할 수 있다. 3.1절에서 모폴로지 필터링에 기반하는 센서 패턴 노이즈 계산 방법에 대하여 설명하고, 3.2절에서 유사도 판별 및 임계치 계산 방법에 대하여 설명하겠다.

3.1 센서 패턴 노이즈 추출

1) 모폴로지 필터링을 이용한 디노이즈 필터

본 논문에서는 센서 패턴 노이즈 추출을 위하여 모폴로지 필터링을 이용하였다. 모폴로지 연산은 영상을 형태학적 관점에서 보고 접근하는 방법이다. 영상 내에 존재하는 특정 객체의 형태를 변형시키는 용도로 사용되는 영상처리 기법이며 이진 영상이나 그레이스케일 영상에 대하여 사용이 된다. 집합의 포함 관계, 이동, 대칭, 여집합 및 차집합 등의 특성을 이용한다.

그레이스케일 영상에 대하여 모폴로지 연산의 경우 침식, 팽창, 열림 및 닫힘 연산을 수행할 수 있는데, 침식 연산의 경우 그레이스케일 영상에서 밝은 영역을 줄여서 어두운 영

역이 늘어나는 형태로 연산을 수행하며, 팽창 연산의 경우 밝은 영역을 확장하여 어두운 영역을 줄이는 형태의 연산을 수행한다. 즉 침식 연산은 최소값 필터링을 수행하며 팽창 연산은 최대값 필터링을 수행한 것과 유사하다. 이를 활용한 열림 연산은 침식 후에 팽창하는 연산을 적용하는 방법이며 닫힘 연산은 팽창 후에 침식하는 연산을 적용하는 방법이다. 그레이스케일 영상에 대하여 모폴로지 연산을 적용할 경우 노이즈에 의하여 주변보다 차이가 있는 픽셀들을 검출할 수 있고, 이를 센서 패턴 노이즈에 대한 추정에 활용이 가능하다(Fig. 2. 참조). 또한, 각 칼라 채널에 대해 연산을 적용하는 것이 하나의 밝기 영상으로 변환하여 연산을 적용하는 것과의 성능 차이가 크게 나지 않고 연산 작업의 효율성 측면에서 밝기 영상을 이용하는 것이 효율적이다. 따라서, 본 논문에서는 모폴로지 연산의 열림 연산을 적용한 영상을 계산함으로써 디노이즈 필터로 이용하였다.

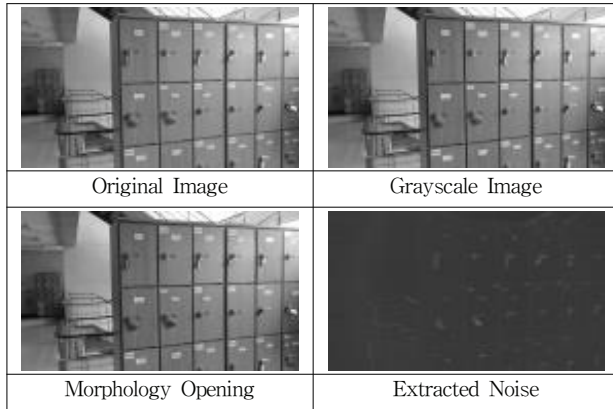


Fig. 2. Noise Extraction with Morphology Filtering

2) 참조 장치의 센서 패턴 노이즈 추정

참조 장치에서 센서 패턴 노이즈를 안정적으로 추정하기 위하여 여러 개의 동영상의 프레임들을 이용하는 것이 유용하다. 먼저, 다음과 같이 각 프레임 I 에서 노이즈 제거 필터를 통하여 프레임에 포함된 노이즈를 추정한다. 본 논문에서는 노이즈 제거 필터로 상기의 모폴로지 필터링을 이용한 방법을 적용하였다. 각 프레임 I 에서 모폴로지 필터링을 적용한 $MF(I)$ 를 빼면 Equation (1)과 같이 노이즈 W 를 계산할 수 있다.

$$W = I - MF(I), MF = \text{Morphology Filtering} \quad (1)$$

안정성을 위하여 참조 동영상 획득 장치에서 촬영한 M 개의 동영상에 포함된 N 개의 프레임을 이용하는 경우 다음과 같이 각 프레임 $I_{i,k}$ 에서 노이즈 $W_{i,k}$ 를 추정 한 후에 프레임을 구성하는 픽셀의 밝기 값에 대하여 곱셈 후 누적하는 연산을 통하여 Equation (2)와 같이 센서 패턴 노이즈 K 를 추정한다.

$$K = \sum_{i=1}^M \sum_{k=1}^N W_{i,k} I_{i,k} / \sum_{k=1}^N (I_{i,k})^2 \quad (2)$$

센서 패턴 노이즈는 밝기가 일정하고 분산이 고른 여러 프레임에서 노이즈를 추출하고, 이들 노이즈들에 대하여 평균화하는 처리를 통하여 안정적으로 구할 수 있다. 이를 통하여 각 프레임에 같은 형태로 항상 존재하는 노이즈인 센서 패턴 노이즈는 남아있게 되고, 산탄 노이즈, 판독 노이즈 등의 랜덤 노이즈는 제거할 수 있다.

3) 검사 동영상의 센서 패턴 노이즈 추정

참조 장치에서의 센서 패턴 노이즈 추정과 유사하게 미지의 검사 동영상에 존재하는 센서 패턴 노이즈를 추정할 수 있다. 먼저 동영상 각 프레임 I 에 존재하는 노이즈 T 는 상기의 Equation (1)과 동일하게 추출할 수 있다.

미지의 검사 동영상은 1개이며 이를 구성하는 N 개의 프레임에서 센서 패턴 노이즈를 추출하는 방법은 다음 Equation (3)과 같이 모델링 할 수 있다. 참조 동영상 획득 장치와 유사하지만 1개의 동영상만을 활용하여 추정한다.

$$T = \sum_{k=1}^N W_{i,k} I_{i,k} / \sum_{k=1}^N (I_{i,k})^2 \quad (3)$$

4) 센서 패턴 노이즈에서 블록 영향 제거

2)항과 3)항의 과정을 이용하여 추출한 센서 패턴 노이즈의 경우 MPEG 압축이 8x8 블록 및 16x16 매크로 블록에 대해 내부적으로 처리가 되므로 경계선 부분에 있어서 잡음적인 특성이 나타나며, 이를 제거할 경우 추정한 센서 패턴 노이즈의 정확도가 증가한다. 이를 위하여 다음과 같이 주파수 도메인 $F(K), F(T)$ 로 변환한 후에 위너 필터 $W(F(K)), W(F(T))$ 를 적용함으로써 블록 경계에서 발생하는 영향을 제거할 수 있다. 이를 통해 다음과 같이 최종적으로 참조 영상 센서 패턴 노이즈 K' 와 검사 영상 센서 패턴 노이즈 T' 를 계산할 수 있다.

$$F = \text{Fourier transform}, W = \text{Wiener Filter} \quad (4)$$

$$K' = F^{-1} \{F(K) - W(F(K))\} \quad (5)$$

$$T' = F^{-1} \{F(T) - W(F(T))\} \quad (6)$$

Fig. 3은 300 프레임(약 10초 내외)의 구름이 있는 하늘을 촬영한 동영상에서 상기에 기술한 방식으로 추출한 센서 패턴 노이즈의 예이다. 추출한 센서 패턴 노이즈의 경우 그 값이 낮지만 도시화하기 위하여 각 노이즈 크기에 대한 스케일링을 하여 도시하였다. 밝은 부분은 해당 영역의 광자 탐지기가 빛에 민감하여 상대적으로 많은 전기 신호를 생성시킨 부분이고 어두운 부분은 상대적으로 적은 전기 신호를 생성시킨 부분이다.

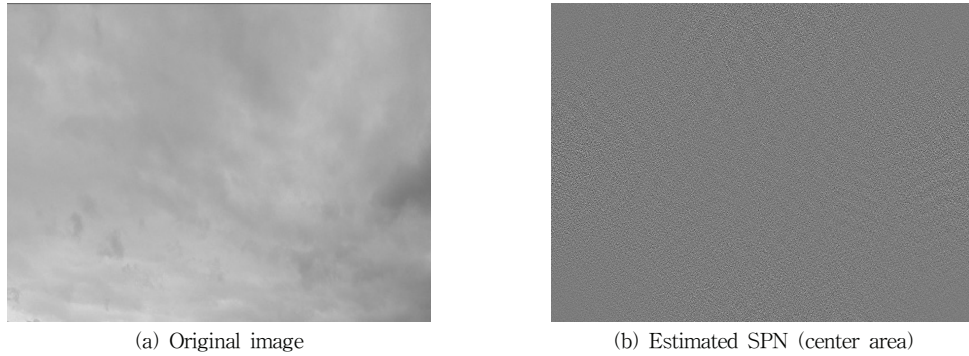


Fig. 3. SPN example Extracted from Video Frame

센서 패턴 노이즈는 고주파 영역에서 저주파 영역까지 전 영역에 걸쳐 고르게 에너지 분포를 가지고 있는 백색 잡음의 특성이 있다. 따라서 센서 패턴 노이즈는 백색 잡음의 특성과 유사한 손실 압축, 다양한 필터링, 감마 보정 등의 신호 처리에 강하다. 또한 오랜 세월이 지나도 디지털 영상 장치에서 검출되는 센서 패턴 노이즈는 일정한 형태로 추출되는 특징을 가지고 있다. 센서 패턴 노이즈의 크기는 디지털 영상 장치에서 추출되는 영상의 크기와 같게 생성되어 많은 정보를 가지고 있다. 이와 같은 센서 패턴 노이즈의 특성을 이용하는 경우 디지털 영상 획득 장치의 판별이 가능하다.

3.2 추출한 센서 패턴 노이즈의 유사도 비교

참조 동영상 획득 장치에서 추출한 센서 패턴 노이즈를 K' 라 하고 미지의 동영상에서 추출한 센서 패턴 노이즈를 T' 이라고 하면 두 노이즈 사이의 유사도를 나타내는 정규화 상관 계수는 Equation (7)을 이용하여 계산 할 수 있다.

$$corr(K', T') = \frac{(K' - \overline{K'}) \cdot (T' - \overline{T'})}{\|K' - \overline{K'}\| \|T' - \overline{T'}\|} \quad (7)$$

이와 같이 계산한 정규화 상관계수가 특정한 임계치보다 높은 값을 가지면 참조 동영상을 촬영한 동영상 획득 장치로 미지의 검사 동영상을 촬영한 것으로 판정을 할 수 있고, 특정한 임계치보다 낮으면 관련성이 없는 것으로 판정할 수 있다.

본 논문에서는 참조 영상 센서 패턴 노이즈와 검사 영상 센서 패턴 노이즈의 유사도를 비교하기 위해 정규화 상관 계수를 통해 임계치 값을 확률적으로 결정하였다. 이를 위하여 1개의 장치에 대하여 참조 센서 패턴 노이즈를 계산하고, 이와 관련 없는 다른 장치로 획득한 145개의 동영상의 43,500 프레임에서 추출한 센서 패턴 노이즈 사이의 정규화 상관계수를 계산한 후에 정규화 상관 계수 분포를 가우시안 모델로 모델링 하였다.

그 후에 1/1,000,000의 확률 오차를 갖는, 즉 0.00001%의 확률로 장치를 잘못 판별할 수 있는 임계치 값을 결정하였다. Fig. 4에는 정규화 상관계수 값의 분포와 가우시안 모델링 후에 결정한 임계치 0.0083의 위치를 도시하였다. 따라서,

참조 장치 센서 패턴 노이즈와 검사 동영상 센서 패턴 노이즈의 상관 계수 값이 0.0083 보다 높은 경우 참조 동영상과 검사 동영상이 동일한 동영상 획득 장치로 촬영되었다는 것을 의미한다. 반대로 0.0083 보다 낮은 경우 서로 다른 동영상 획득 장치로 촬영되었다는 것을 의미한다.

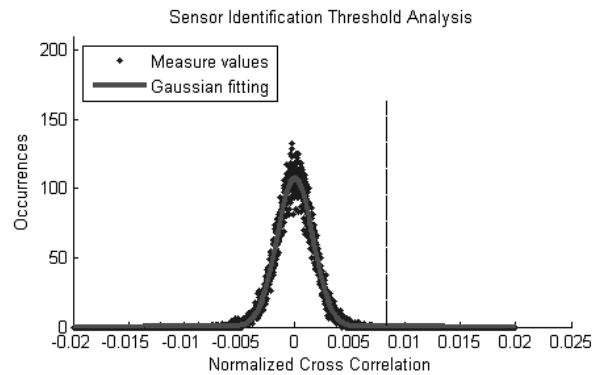


Fig. 4. Normalized Correlation Coefficient Distribution and Its Gaussian Fitting

4. 실험 결과

본 절에서는 제안한 동영상 획득 장치 판별 알고리즘에 대하여 성능을 분석한 결과에 대하여 제시한다. 먼저 실험 환경에 대하여 기술하고 다양한 실험 데이터에 대하여 판별의 정확도 및 유사도에 대한 분포 등을 분석한 결과를 설명한다.

4.1 실험 환경

동영상 획득 장치 판별 알고리즘의 성능에 대한 테스트를 위하여 DSLR, 콤팩트 카메라, 캠코더, 액션캠 및 스마트폰 등 총 30대의 동영상 획득 장치를 이용하여 동영상을 촬영하였다.

각 획득 장치에 대하여 참조 동영상으로 사용할 5개의 동영상을 촬영하고 판별 정확도를 계산하기 위하여 참조 동영상과 독립적으로 5개의 검사 동영상을 촬영하였다. 따라서 총 30대의 동영상 획득 장치에 대하여 총 300개의 동영상을 촬영하여 성능 분석에 활용하였다. 이들 각 동영상은 Table 1에 나타

난 것과 같이 각 장치가 기본적으로 지원하고 있는 동영상 해상도를 유지하였고, 약 10초 내외로 촬영을 진행하였다.

각 기종마다 지원하는 동영상의 크기가 차이가 있으므로 알고리즘의 성능 평가를 위해서, 제안한 알고리즘에서는 동영상 중앙부를 중심으로 800×800 사이즈로 부분 영역을 추출하여 알고리즘을 적용하였다.

센서 패턴 노이즈의 경우 픽셀의 밝기값이 밝을 경우 잘 추출될 수 있는 성질을 가지고 있는 것으로 알려져 있다. 따라서 참조 동영상의 경우 하늘과 같이 밝은 밝기값을 갖는 대상을 촬영한 후에 참조 센서 패턴 노이즈를 추출하였다. 검사 동영상의 경우 특별한 제약 없이 자유롭게 임의의 대상물들을 촬영한 후에 센서 패턴 노이즈를 추출하였다. 이렇게 참조 동영상에서 추출한 센서 패턴 노이즈와 검사 동영상에서 추출한 센서 패턴 노이즈에 대하여 유사성을 비교함으로써 일치 및 불일치를 판단하도록 하였다.

Table 1. Video Acquisition Device Lists and Video Information

Brand	Model	Resolution	FPS
Canon	Canon 650D	1920x1088	25
	Canon EOS 500D	1920x1088	20
	Canon EOS M	1280x720	50
	Canon EOS M3	1280x720	25
	Canon IXUS 160	1920x1080	29
Nikon	Nikon Coolpix S100	1920x1080	29
	Nikon Coolpix S33	1920x1080	29
Panasonic	Panasonic DMC SZ1	1280x720	29
	Lumix DWC LX100	3840x2160	29
Olympus	Olumpus PEN Mini	1280x720	30
Samsung	Samsung WB35F	1280x720	30
	Samsung NX Mini	1920x1080	25
Sony	Sony HDR XR520	1440x1080	29
Samsung	Galaxy Note3	1920x1080	29
GoPro	GoPro Hero4	1920x1080	29
LG	G2	1920x1080	21
	G3 Cat6	1920x1080	29
	G4	1920x1080	29
	Vu3	1440x1080	29
Samsung	Galaxy Grand Max	1920x1080	29
	Galaxy Note2	1920x1080	29
	Galaxy Note2	1920x1080	30
	Galaxy Note4	1920x1080	29
	Galaxy S4	1920x1080	30
	Galaxy S5	1920x1080	29
Huawei	P8 GRA UL00	1280x720	29
Shaomi	MI Note LET	1280x720	29
Apple	iPhone 6plus	1920x1080	30
Pantech	Vega Secret Note	1920x1080	29

Fig. 5에서 촬영한 참조 동영상에서 추출한 프레임 예, 검사 동영상에서 추출한 프레임 예, 참조 동영상에서 추출한 센서 패턴 노이즈, 검사 동영상에서 추출한 센서 패턴 노이즈의 예를 정리하였다.

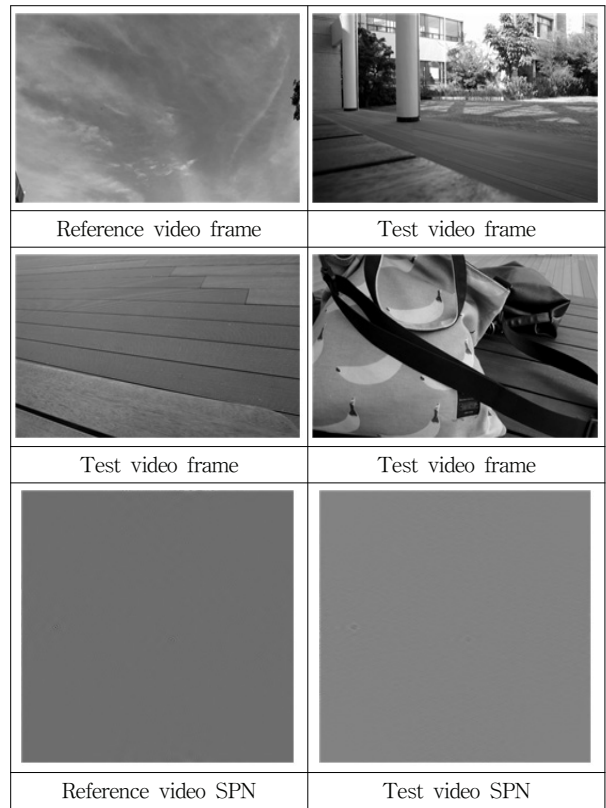


Fig. 5. Example of Reference Video Frame, Test Video Frames and Their SPNs

4.2 실험 결과

동영상 획득 장치 판별 알고리즘을 활용하여 각 동영상 획득 장치에 대하여 5개의 참조 동영상을 이용해 참조 센서 패턴 노이즈를 추출하여 데이터베이스에 등록해두고, 각 동영상 획득 장치에 대하여 5개의 검사 동영상을 이용해 등록된 참조 센서 패턴 노이즈와 정규화 상관 계수를 계산함으로써 유사도에 대한 비교를 수행한 후에 유사도가 가장 높은 모델을 획득 장치로 판별함으로써 장치별 모델 판별률(정확도)을 계산하였다. 각 장치별 모델 판별률에 대해서는 Table 2에 요약하여 제시하였다.

Table 2에 나타난 것과 같이 30대의 동영상 획득 장치에 대한 평균 판별률은 96%로 나타났으며, LG G2와 iPhone 6 Plus의 2개 장치에서 획득 장치 판별 실패가 총 6회가 발생한 것으로 나타났다. 추가적으로 동일한 기종인 Galaxy Note2에 대해 2대의 기기를 이용하여 테스트 한 결과 두 기기의 유사도가 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 같은 기종이라도 기기마다 가지는 센서 패턴 노이즈가 고유한 값을 가지기 때문이다.

Table 2. Video Source Identification Accuracy

Brand	Model	# of Success	# of Failure	Identification Rate
Canon	Canon 650D	5	0	100%
	Canon EOS 500D	5	0	100%
	Canon EOS M	5	0	100%
	Canon EOS M3	5	0	100%
	Canon IXUS 160	5	0	100%
Nikon	Nikon Coolpix S100	5	0	100%
	Nikon Coolpix S33	5	0	100%
Panasonic	Panasonic DMC SZ1	5	0	100%
	Lumix DWC LX100	5	0	100%
Olympus	Olumpus PEN Mini	5	0	100%
Samsung	Samsung WB35F	5	0	100%
	Samsung NX Mini	5	0	100%
Sony	Sony HDR XR520	5	0	100%
Samsung	Galaxy Note3	5	0	100%
GoPro	GoPro Hero4	5	0	100%
LG	G2	5	0	100%
	G3 Cat6	5	0	100%
	G4	3	2	60%
	Vu3	5	0	100%
Samsung	Galaxy Grand Max	5	0	100%
	Galaxy Note2	5	0	100%
	Galaxy Note2	5	0	100%
	Galaxy Note4	5	0	100%
	Galaxy S4	5	0	100%
	Galaxy S5	5	0	100%
	Galaxy Zoom2	5	0	100%
Huawei	P8 GRA UL00	5	0	100%
Shaomi	MI Note LET	5	0	100%
Apple	iPhone 6plus	1	4	20%
Pantech	Vega Secret Note	5	0	100%
Average identification rate				96%

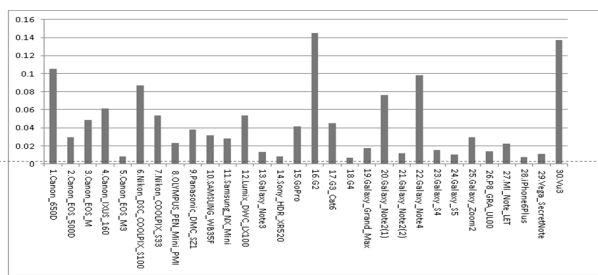


Fig. 6. Average of Normalized Correlation Coefficients for 5 Test Videos of 30 Devices (X-axis: Device Name, Y-axis: Normalized Correlation Coefficients)

Fig. 6에서는 30대의 동영상 획득 장치에 대하여 참조 동영상의 획득 장치와 검사 동영상의 획득 장치가 일치하는 경우에 참조 센서 패턴 노이즈와 검사 센서 패턴 노이즈의 유사도 값에 대한 평균을 나열한 것이다.

전체적으로 동영상 획득 장치마다 유사도 평균값이 본 논문에서 제안한 0.0083의 임계치 값 보다 높았다. 장치마다 값은 다르지만 동영상 획득 장치를 판별해내는 능력은 전반적으로 우수한 성능을 보이고 있다. 또한 DSLR, 콤팩트 카메라, 스마트폰 등 장치의 종류에 상관없이 동영상 획득 장치를 판별해 내기 때문에 본 논문에서 제시하는 동영상 획득 장치 알고리즘의 범용성 또한 보장하고 있다.

하지만 LG G4의 경우 5개의 검사 동영상에 대하여 2개의 동영상에 대한 판별이 실패하였고, Apple의 iPhone 6Plus의 경우 5개의 검사 동영상 중 4개의 동영상이 실패하였다. G4와 iPhone 6Plus는 출시되지 얼마되지 않은 제품으로 동영상 촬영 시 장치 내에서 소프트웨어의 부가적인 처리를 통해 선명하고 깔끔한 동영상으로 변환하는 과정을 거친다. 이를 통해 원본 동영상에 대한 훼손이 일어나면서 프레임에 대한 센서 패턴 노이즈 또한 변형이 가해진다. 그렇기 때문에 움직임이 많은 동영상이나 전체적인 색감이 지속적으로 변하는 동영상의 경우 정확한 센서 패턴 노이즈를 추출하지 못한다.

영상 획득 장치 내부에서 소프트웨어를 통해 추가적인 보정이 들어가는 부분에 대해서는 소프트웨어를 통한 보정이 이루어지기 전의 영상이나 센서 패턴 노이즈를 추정하는 기술이나 보정 후에도 센서 패턴 노이즈를 추출할 수 있는 연구를 진행하여야 한다.

5. 결론

IT 기술의 발달로 저비용으로 고품질의 멀티미디어 콘텐츠를 제작 및 배포하고 있으며, 그 파급 효과 또한 무시할 수 없다. 그러나 불법 유포나 불법 촬영, 사생활 침해, 콘텐츠 저작권 문제들이 발생하고 있다.

본 논문에서는 센서 패턴 노이즈를 활용한 디지털 동영상 획득 장치 판별 기술에 대하여 제안하였다. 먼저 센서 패턴 노이즈를 검출하기 위한 기술을 설명하고 참조 동영상과 검사 동영상의 센서 패턴 노이즈를 추정하여 두 노이즈 사이의 유사성 계산을 통해 디지털 동영상 획득 장치에 대한 판별을 수행하는 방법을 제시하였다. 제안한 기술의 성능 분석을 위하여 다양한 멀티미디어 획득 장치를 활용하여 실험을 수행하였고 제안한 기술이 우수한 성능을 갖는 것을 확인할 수 있었다.

제안한 기술을 이용하여 불법 동영상의 센서 패턴 노이즈와 용의자가 가진 기기의 센서 패턴 노이즈를 이용하여 불법 동영상 제작자 또는 촬영자를 추정하거나 법정에서 증거 자료로 활용되는 CCTV, 블랙박스 등의 영상의 무결성을 입증하는 자료로 활용이 가능하다.

제안한 기술은 원본 동영상의 변화 없이 동영상 자체의 특성을 이용하여 분석하기 때문에 분석 중에 발생하는 오류에 대한 위험이 적다. 다만, 원본 동영상에 대한 변형이나 공격이 가해지면 분석 결과에 대한 신뢰성이 낮아지기 때문에 이에 대한 대처가 필요하다. 변형이나 공격에 대하여 동영상 프레임의 부분적인 분석을 통해 신뢰성을 높이는 등의

연구가 필요하다. 차후 다양한 노이즈 추출 기법을 이용해 동영상 획득 장치 판별률에 대한 신뢰도를 높이는 연구를 진행하고 동영상 프레임에서 부분적으로 센서 패턴 노이즈를 추출하여 외부의 공격이나 변형을 찾아내는 기술도 연구하여야 한다.

사회적으로 발생하는 사건, 사고 등에서 관련 동영상이 많이 제작되는 만큼 해당 동영상에 대한 위변조 여부를 명확하게 밝혀야 하는 경우가 발생하고 불법으로 설치된 동영상 획득 장치를 통해 불법 동영상이 제작되는 등의 상황에 대처하기 위한 사회적 요구가 증가하고 있는 만큼 위변조 여부, 불법 동영상 촬영자 추정에 관해 심도있는 연구가 진행되어야 한다.

References

- [1] A. C. Popescu and H. Farid "Exposing digital forgeries in color filter array interpolated images," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.53, No.10, pp.3948-3959, Oct., 2005.
- [2] A. C. Popescu and H. Farid "Exposing Digital Forgeries by Detecting Traces of Re-sampling," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.53, No.2, pp.758-767, Feb., 2005.
- [3] J. Lukáš, J. Fridrich, and M. Goljan "Detecting Digital Image Forgeries Using Sensor Pattern Noise," *Proceedings of SPIE 6072, Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents VIII*, Feb., 2006.
- [4] M. Kirchner and T. Gloe, "On Resampling Detection in Re-compressed Images," *Proceedings of 1st IEEE International Workshop on Information Forensics and Security*, pp.21-25, 2009.
- [5] T. Gloe, M. Kirchner, A. Winkler, and R. Böhme, "Can We Trust Digital Image Forensics?," *Proceedings of the 15th International Conference on Multimedia*, pp.78-86, 2007.
- [6] H. Farid, "Exposing Digital Forgeries in Scientific Images," *Proceedings of the 8th Workshop on Multimedia and Security*, pp.29-36, 2006.
- [7] M. C. Stamm and K. J. Ray Liu, "Forensic Detection of Image Manipulation Using Statistical Intrinsic Fingerprints," *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, Vol.5, No.3, pp.492-506, 2010.
- [8] B. Mahdian and S. Saic, "Using Noise Inconsistencies for Blind Image Forensics," *Image and Vision Computing*, Vol.27, No.10, pp.1497-1503, 2009.
- [9] J. Lukas, J. Fridrich, and M. Goljan, "Digital camera identification from sensor pattern noise," *IEEE Transactions on Information Forensics Security*, Vol.1, No.2, pp.205-214, Jun., 2006.
- [10] M. Chen, J. Fridrich, and M. Goljan, "Source digital camcorder identification using ccd photo response non-uniformity," *Proceedings of SPIE Electronic Imaging, Security, Steganography, and Watermarking of Multimedia Contents IX*, San Jose, CA, pp.1G-1H, 2007.



이 상 형

e-mail : riscape@nate.com
 2015년 금오공과대학교
 컴퓨터소프트웨어공학과(공학사)
 2015년~현 재 금오공과대학교
 소프트웨어공학과 석사과정
 관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 디지털
 이미지 포렌식 등



김 동 현

e-mail : knight2995@naver.com
 2016년 금오공과대학교
 컴퓨터소프트웨어공학과(공학사)
 2016년~현 재 금오공과대학교
 소프트웨어공학과 석사과정
 관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 디지털
 이미지 포렌식 등

오 태 우

e-mail : twoh@nsr.re.kr
 2007년 아주대학교 정보 및 컴퓨터공학부(학사)
 2009년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
 2012년 한국과학기술원 전산학과(공학박사)
 2011년~현 재 국가보안기술연구소 선임연구원
 관심분야: 멀티미디어, 콘텐츠보안, 디지털위터마킹, 디지털
 포렌식

김 기 범

e-mail : kibom@nsr.re.kr
 1994년 제주대학교 정보공학과(학사)
 1996년 고려대학교 전산학과(이학석사)
 2001년 고려대학교 전산학과(이학박사)
 2001년~2004년 (주)이씨오 개발부장
 2004년~현 재 국가보안기술연구소 책임연구원
 관심분야: 디지털 포렌식, 사이버보안, 정보보호



이 해 연

e-mail : haeyeoun.lee@kumoh.ac.kr
 1997년 성균관대학교 정보공학과(학사)
 1999년 한국과학기술원 전산학과(공학석사)
 2006년 한국과학기술원 전자전산학과
 전산학전공(공학박사)
 2001년~2006년 (주)세트랙아이 선임연구원
 2006년~2007년 코넬대학교 박사후연구원
 2008년~현 재 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수
 관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 콘텐츠보안, 디지털위터마킹