

Digital Imaging Source Identification Using Sensor Pattern Noises

Tae-Woo Oh[†] · Dai-Kyung Hyun^{**} · Ki-Bom Kim^{***} · Hae-Yeoun Lee^{****}

ABSTRACT

With the advance of IT technology, contents from digital multimedia devices and softwares are widely used and distributed. However, novice uses them for illegal purpose and hence there are needs for protecting contents and blocking illegal usage through multimedia forensics. In this paper, we present a forensic technique for identifying digital imaging source using sensor pattern noise. First, the way to acquire the sensor pattern noise which comes from the imperfection of photon detector against light is presented. Then, the way to identify the similarity of digital imaging sources is explained after estimating the sensor pattern noises from the reference images and the unknown image. For the performance analysis of the proposed technique, 10 devices including DSLR camera, compact camera, smartphone and camcorder are tested and quantitatively analyzed. Based on the results, the proposed technique can achieve the 99.6% identification accuracy.

Keywords : Multimedia Forensic, Sensor Pattern Noise, Imaging Source Identification

센서 패턴 잡음을 이용한 디지털 영상 획득 장치 판별

오 태 우[†] · 현 대 경^{**} · 김 기 범^{***} · 이 해 연^{****}

요 약

IT 기술이 급격히 발전함에 따라서 디지털 멀티미디어 장치 및 소프트웨어를 이용한 콘텐츠가 범람하고 있다. 그러나 불법적 목적을 가지고 있는 사용자가 활용함에 따라 이를 이용한 범죄가 증가되고 있고 멀티미디어 포렌식을 통한 콘텐츠의 보호 및 불법 사용 차단 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 센서 패턴 잡음을 이용하여 디지털 영상 획득 장치 판별을 위한 포렌식 기술에 대하여 제안한다. 먼저 광자 탐지기의 빛에 대한 민감도가 불완전해 생기는 센서 패턴 잡음을 검출하기 위한 기술에 대하여 제시한다. 그다음에 참조 영상들에 대하여 센서 패턴 잡음을 추정하고, 검사 영상에 대하여 센서 패턴 잡음을 추정한 후 두 잡음 사이의 유사성 계산을 통하여 디지털 영상을 획득한 장치에 대하여 판별하는 방법을 설명한다. 제안한 기술의 성능 분석을 위하여 DSLR 카메라, Compact 카메라, 스마트폰, 캠코더 등을 포함한 총 10대 장치에 대하여 개발한 알고리즘에 대한 정량적 성능의 분석을 수행하였고, 그 결과 99.6%의 판별 정확도를 달성하였다.

키워드 : 멀티미디어 포렌식, 센서 패턴 잡음, 디지털 영상 획득 장치 판별

1. 서 론

최근 IT 기술이 급격히 발전함에 따라서 멀티미디어 장치 및 소프트웨어가 널리 활용되고 있으며 우리 삶의 일부 분야

되고 있다. 특히 멀티미디어 콘텐츠 획득 기능이 있는 디지털 카메라, 스마트폰, 태블릿 컴퓨터 등의 장치는 대중적으로 사용되고 있고, 누구나 손쉽게 접근할 수 있으며, 급속도로 성능이 향상되고 있다. 또한 멀티미디어 장치 및 응용 소프트웨어들은 저비용, 고품질 및 고성능을 갖는 형태로 변화되고 있다.

그러나 건전한 목적을 가지고 있는 사용자가 사용하는 것과 다르게 불법적 목적을 가지고 있는 사용자가 활용함에 따라 이들 장치 및 소프트웨어를 이용한 범죄가 증가되고 있어서 다양한 콘텐츠의 보호 및 불법 사용 차단의 필요성을 야기하고 있으며, 사회적으로 심각한 문제점으로 대두되고 있다. 또한 인터넷, 3G, LTE 등 데이터 통신 기술의 발달로 인

※ This work was supported by the research fund of National Security Research Institute (2015-038).

† 비 회 원 : 국가보안기술연구소 선임연구원

** 비 회 원 : 국방과학연구소 선임연구원

*** 종신회원 : 국가보안기술연구소 책임연구원

**** 정 회 원 : 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수

Manuscript Received : July 9, 2015

First Revision : September 24, 2015

Accepted : September 24, 2015

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

하여 불법 콘텐츠의 유포는 급속히 이루어지고 있다.

영화 산업에서는 불법 촬영물 유포로 인해 매년 수백억 원의 피해가 발생하고 있으며 아동 포르노 및 몰래 카메라와 같은 불법 영상 제작물 피해도 증가하고 있다. 또한, 많은 법정에서 디지털 영상이 증거 자료로 채택되고 있으나 디지털 영상의 경우 손쉬운 위변조 상황에 노출이 되어 많은 문제점을 야기하고 있어서 디지털 영상에 대한 무결성을 증명할 수 있는 기술 등에 대한 요구가 매우 증대되고 있다. 이에 따라서 멀티미디어 포렌식 기술에 대한 사회적 및 경제적 요구는 매우 증대되고 있는 상황이며 미국 등 선진국에서는 활발히 연구가 진행되고 있다.

본 논문에서는 멀티미디어 포렌식 기술의 하나로서 센서 패턴 잡음을 이용한 디지털 영상의 획득 장치 판별 기술에 대하여 제안한다. 먼저 광자 탐지기의 빛에 대한 민감도가 불완전해 생기는 센서 패턴 잡음에 대하여 소개하고 이를 검출하기 위한 기술에 대하여 설명한다. 그다음에 참조 영상들에 대하여 센서 패턴 잡음을 추정하고, 검사 영상에 대하여 센서 패턴 잡음을 추정한 후 두 잡음 사이의 유사성 계산을 통하여 디지털 영상을 획득한 장치에 대하여 판별하는 기술을 제시하였다. 제안한 기술의 성능 분석을 위하여 DSLR 카메라, Compact 카메라, 스마트폰, 캠코더 등을 포함한 총 10대의 장치에 대하여 개발한 알고리즘에 대한 정량적 성능의 분석을 수행하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 멀티미디어 포렌식 기술에 대한 관련 연구에 대하여 요약하고, 3장에서 센서 패턴 잡음을 이용한 디지털 영상 획득 장치 기술을 제안한다. 4장에서 실험 결과에 대하여 제시하고 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

멀티미디어 포렌식 기술의 성능은 디지털 콘텐츠에 존재하는 고유한 특징을 정확하게 추출하는 것에 의해 좌우된다. 멀티미디어 포렌식 기술은 주로 미국방성 및 공군 연구소의 지원을 받는 미국 대학을 중심으로 연구가 진행되고 있다. 멀티미디어 포렌식 기술은 크게 영상 획득 장치 판별 기술과 위변조 탐지 기술로 나눌 수 있다.

영상 획득 장치 판별 기술과 관련하여 미국 Binghamton 대학의 Fridrich 교수팀은 영상 획득 과정에서 센서에 의해 의도하지 않게 발생하는 카메라 고유의 패턴 잡음(Photo Response Non-Uniformity: PRNU)을 이용하여 촬영 장치를 판별하는 연구를 수행하였다[1, 2]. 또한 센서 패턴 노이즈를 이용한 카메라 판별에 있어서 False Positive 확률에 대한 분석을 수행하였고, 이를 방해하기 위한 포렌식 검출 방지 기술에 대해서도 강인함에 대한 분석을 수행하였다[3, 4]. 뉴욕 Polytechnic 대학의 Memon 교수팀은 영상 획득 과정에서 발생하는 여러 고유한 특성들과 색상 필터 행렬(Color Filter Array: CFA) 보간법으로 인해 발생하는 화소 간의 상관관계

를 이용하여 촬영 장치를 판별하는 연구를 수행하였다[5]. 네델란드 Forensic Institute의 Z. Geradts 연구팀은 European Project FIDIS의 지원을 받아서 Youtube 등 다양한 반복적인 압축이 수행된 동영상에 대하여 촬영한 장치에 대한 식별하는 기술을 이산 웨이블릿 기반의 고유한 흔적 특성을 활용하여 개발하였다[6]. 일본 국립경찰과학연구소 N. Saitoh 연구팀은 캠코더 기기들에 포함된 CCD 센서에 흐르는 암전류의 비균일한 특성을 이용하여 촬영에 사용된 카메라 모델에 대한 식별 기술에 대하여 연구를 수행하였다[7].

위변조 탐지에 대한 기술들로 미국 Dartmouth 대학의 Farid 교수팀은 영상의 카메라 내부 파라미터의 왜도를 측정하는 방법, 영상의 시간적, 공간적 상관계수를 계산하는 방법, 동영상 압축 포맷에 의한 통계적 특성을 분석하는 방법 등을 사용하는 연구를 수행하고 있다[8, 9].

국내에서는 금오공과대학교 및 KAIST 연구팀을 중심으로 획득 장치 판별 기술에 대한 연구가 진행되고 있다. 현재 CCTV 영상의 센서 패턴 잡음을 분석하여 영상을 촬영한 장치를 판별하고 영상의 조작 여부를 판단하는 기술, 색상 필터 행렬의 변화를 이용한 위변조 탐지 기법, 크기 변환된 영상에서 촬영 장치를 판별할 수 있는 기술들이 연구되고 있다[10-12].

영상 획득 장치 판별에 관한 디지털 포렌식 기술은 PRNU를 이용하는 방법이 현재까지 꾸준히 발전하고 있는 추세이다. 실용성을 갖추기 위해서 판별 정확도를 높이는 방법으로 정확하게 PRNU를 추출하는 방법[13]과 두 개 PRNU의 유사도를 계산하는 방법이 있으며, 또한 대용량 데이터베이스에서 빠르게 장치를 판별하는 기술이 연구되고 있다. 위변조 탐지 기술에 관한 디지털 포렌식 기술은 영상의 통계적 특성을 찾는 형태로 지속적으로 연구되고 있다. 최근에는 재표본화 정보와 이중 압축 정보를 이용하여 변형을 탐지하는 기술이 연구되고 있으며 점차 다양한 형태로 발전할 전망이다.

위변조 사례가 증가됨에 따라서 디지털 콘텐츠의 무결성을 증명하는 데 사용되는 멀티미디어 포렌식 기술은 중요한 기술로 평가받을 것으로 예상된다.

2.1 디지털 영상의 획득 과정

Fig. 1에는 대부분의 범용 디지털 영상 기기의 촬영 과정에 대하여 도시하였다. 촬영 대상물로부터 방사되는 빛이 영상 기기의 광학 렌즈를 통하여 안티-엘리어싱 필터를 투과한 후에 색상 필터 행렬(CFA)을 통하여 센서에 입사하고, 센서는 입사하는 빛의 양을 측정한다. 이 과정에서 센서에는 다양한 패턴을 가지고 있는 잡음들이 발생할 수 있다. 각 센서는 CFA의 배열에 따라서 Red, Green, Blue 대역의 빛의 양만을 측정하였으므로, 각 위치에서의 Red, Green, Blue 대역의 빛을 추정하기 위하여 디모자이크 과정과 후처리를 통하여 영상을 생성한다.

대부분의 디지털 영상 획득 장치는 측정을 위한 센서를 가지고 있으며, 센서에서 발생하는 패턴 잡음들의 고유성을 활용함으로써 식별이 될 수 있다.

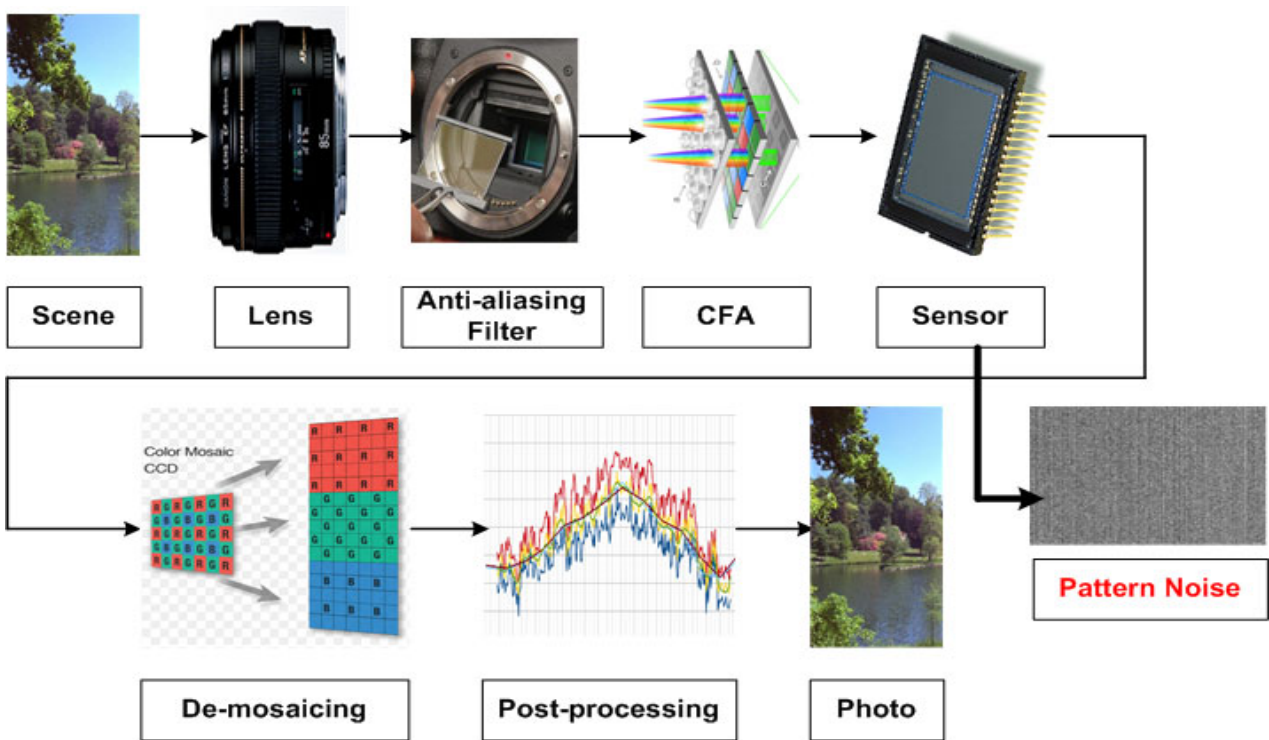


Fig. 1. Image Acquisition Process in Digital Imaging Devices

2.2 센서 패턴 잡음

디지털카메라, 스마트폰, 캠코더 및 스캐너와 같은 다양한 디지털 이미지 영상 장치들은 이미지 센서를 사용한다. 이와 같은 이미지 센서는 많은 광자(Photon) 탐지기들로 구성되어 있다. 이들 광자 탐지기들은 감지된 광자를 광전 효과를 이용하여 전기적인 신호로 변환한다. 이렇게 변환된 전기 신호는 증폭되고, A/D(Analog to Digital) 변환기에 의해 디지털 신호로 변환된다. 이때 광자 탐지기에 변환되는 전기 신호의 세기는 광자 탐지기의 빛에 대한 민감도에 의해 결정된다. 이런 광자 탐지기의 빛의 민감도는 제조과정의 불완전성에 의해서 각 광자 탐지기마다 조금씩 차이에 나게 된다. 이러한 차이로 인해 이미지 센서를 사용하는 디지털 영상 획득 장치에 마치 사람마다 고유한 지문과도 같은 디지털 영상 장치 고유의 센서 패턴 잡음(Sensor Pattern Noise)을 발생하게 된다. 이와 같은 특성 이외에도 센서가 가지고 있는 패턴 잡음은 센서 픽셀의 결함으로 인하여 발생하거나 먼지나 표면에서 발생하는 빛의 반사 차이, 암전류 등으로 다양하다.

실리콘 와퍼의 생산 과정에서 센서의 픽셀들이 전기적 또는 기능적 문제가 생기는 경우가 있고, 이는 후속하는 디모자이크 과정 등을 통하여 보완함으로써 영상을 생성한다. 이와 같은 픽셀 결함을 사용할 경우 센서의 고유한 특성으로 자명하게 나타날 수 있으나 기술의 발전으로 인하여 픽셀 결함의 경우 최소화되고 있고, 그 수가 많지 않아 고유한 패턴으로 활용하기 어려워지고 있다.

센서 패턴 잡음을 추출하는 또 다른 방법은 고정 패턴 잡음(Fixed Pattern Noise)과 사진-응답 비균일성(Photo-Response

Non-Uniformity: PRNU)을 활용하는 방법이 있다. 고정 패턴 잡음의 경우 광전 효과에 의해 광전류를 발생하는 장치에서 열적 원인, 절연성 불량 등의 원인에 의하여 빛을 가하지 않았을 때에도 흐르는 전류인 암전류에 해당하며 이는 특정한 조건하에서만 측정이 가능하므로 암전류를 활용한 디지털 획득 기기 판별은 용이하지 않다.

사진-응답 비균일성은 픽셀 비균일성(Pixel Non-Uniformity: PNU)과 저주파 결함(Low Frequency Defects)이 있으며, 픽셀 비균일성은 픽셀의 빛에 대한 민감도 차이 때문에 발생하는 잡음을 의미하고, 저주파 결함은 먼지나 표면에 의해 발생하는 빛의 반사 때문에 발생하는 잡음이다. 저주파 결함은 환경적인 요건에 의하여 발생하는 잡음으로 충격이나 청소 등 환경적인 요건이 변경된다면 촬영된 영상의 특성도 변경되어 디지털 기기의 센서에 의한 특성으로 활용하기에는 안정적이지 못하다.

따라서 픽셀 비균일성이 센서의 고유한 특성을 나타내는 지표로 활용하는 것으로 의미가 있으며, 본 논문에서 사용한 픽셀 비균일성을 추출하는 방법은 3.2절에 기술한다.

3. 센서 패턴 잡음을 이용한 디지털 영상 획득 장치 판별

3.1 디지털 영상 획득 판별 과정

디지털영상 획득 장치 판별 기술은 범죄 수사에서 총알에 남아 있는 총기 배럴의 흔적이나 패턴에 대한 분석을 통하여

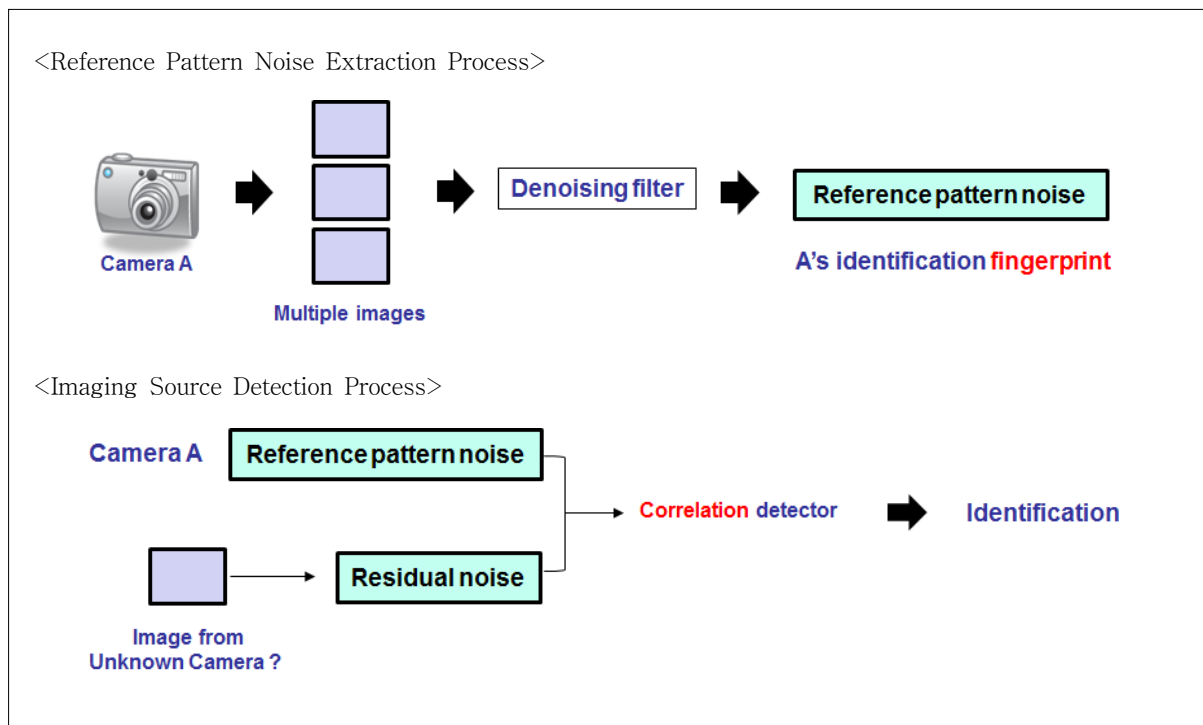


Fig. 2. Proposed Imaging Source Identification Process Using SPN

총알을 발사한 총기를 찾는 것과 유사하다. 디지털 영상의 경우 빛의 세기를 측정하기 위한 센서를 제작하는 과정에서 센서마다 고유한 또는 특정한 잡음이 들어가고, 영상에서 이 잡음을 식별함으로써 영상을 획득하는 데 사용된 센서를 식별할 수 있다.

본 절에서는 센서 패턴 잡음에 기반하는 디지털 영상 획득 장치 판별 알고리즘에 대하여 제안한다. 제안하는 장치 판별 알고리즘의 수행 과정은 Fig. 2에 도시된 것과 같이 (1) 장치의 참조 패턴 잡음 영상을 생성하는 과정과 (2) Unknown 검사 영상에 대하여 장치의 패턴 잡음 영상들과 비교를 통하여 획득 장치를 판별하는 과정으로 구성되어 있다.

장치의 참조 센서 패턴 잡음을 생성하는 과정은 다음과 같다. 먼저 참조 영상에서 SPN(Sensor Pattern Noise)을 추출하고, 추출된 참조 영상의 SPN에 대하여 잡음 제거 필터를 이용하여 잡음을 제거한다. 카메라 고유의 SPN 검출을 위하여 다수의 참조 영상에서 SPN을 추출한 후에 평균값을 취하여 활용하는 것이 안정적이며, 참조 영상의 경우 밝기값 변화가 균일하고 밝은 대상을 촬영한 것이 유용하다. 본 논문에서는 각 장치마다 10장의 참조 영상을 활용하였으며, 안정적인 성능을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

Unknown 검사 영상에 대하여 장치의 패턴 잡음 영상들과 비교를 통하여 획득 장치를 판별하는 과정은 다음과 같다. 참조 영상과 같은 방식으로 Unknown 검사 영상에 대하여 SPN을 추출하고, 잡음 제거 필터를 이용하여 잡음을 제거한다. 그 후에 참조 영상의 SPN과 검사 영상의 SPN을 활용하여 유사도 측정을 위하여 정규화 상관계수(Normalized

Cross Correlation: NCC)를 계산한다. 만약 NCC가 기준치보다 큰 값을 가지면 검사 영상과 참조 영상이 같은 기기에서 추출된 영상으로 판별한다. 만약 작은 값을 가지면 검사 영상과 참조 영상은 다른 기기에서 추출된 영상으로 판별한다.

센서 패턴 잡음을 이용한 멀티미디어 획득 장치 판별 기술을 개발하기 위해서는 멀티미디어 영상으로부터 센서 패턴 잡음(SPN)을 추출하는 과정과 보정하는 필터링 과정, 그리고 SPN을 이용하여 멀티미디어 획득 장치를 판별하는 획득 장치 판별 과정이 필요하다. 다음 절에서는 이와 관련하여 센서 패턴 잡음 추정 및 보정 과정과 유사도 판단을 통한 획득 장치 판별 과정에 대하여 설명한다.

3.2 센서 패턴 잡음 추출 및 보정

본 논문에서는 센서 패턴 잡음으로 픽셀 비균일성을 활용하였다. 픽셀 비균일성은 밝기가 일정하고 분산이 고른 여러 이미지에서 잡음 부분을 추출하고 이 잡음들에 대하여 평균을 계산함으로써 구할 수 있다. 이를 통하여 각 이미지의 같은 형태로 항상 존재하는 잡음인 센서 패턴 잡음은 남아있게 되고, 산탄 잡음, 판독 잡음 등의 랜덤 잡음은 제거할 수 있다.

I 를 하나의 칼라 채널에서 획득한 영상, Y 는 간접광의 세기라 가정하여 I 와 Y 의 관계를 식으로 표현하면 Equation (1)과 같다[1, 2].

$$I = g^\gamma \cdot [(1 + K)Y + A]^\gamma + Q \tag{1}$$

여기서 g 는 각 칼라 채널 계인, γ 는 감마 보정치, K 는 센서 패턴 잡음, Λ 는 압전류, 산탄 잡음, 판독 잡음 등 잡음 조합, Q 는 양자화 및 압축으로 생성된 잡음이다. 여기서 지배적인 변수 Y 를 추출하기 위해 테일러 확장을 이용하여 $I = I^{(0)} \cdot rI^{(0)}K + \theta$ 를 얻을 수 있다. 여기서 $I^{(0)} = (gY)^\gamma$ 는 잡음이 제거된 영상이고 θ 는 획득 장비에 독립적인 랜덤 잡음의 조합이다.

센서 패턴 잡음 K 를 구하기 위해 위너 필터와 같은 잡음 제거 필터를 이용하여 잡음이 제거된 영상 \hat{I}^0 을 계산한 후에 관측된 이미지 I 와 차를 구하여 정리하면 다음과 같다.

$$W = I - \hat{I}^0 = IK + I^{(0)} - \hat{I}^0 + (I^{(0)} - I)K + \theta = IK + \varepsilon \quad (2)$$

$(I^{(0)} - I)K$ 는 센서 패턴 잡음과 독립적이지 않지만 다른 변수들에 비해 매우 작은 값을 가지므로 무시할 수 있다. ε 는 θ 와 잡음 제거 필터로 인해 생성된 두 변수의 합이다.

센서 패턴 잡음을 추출하기 위해 디지털 영상 장치에서 d 개의 이미지를 추출하였다고 가정하면 획득된 이미지는 I_1, \dots, I_d 로 표현할 수 있다. 그리고 ε 는 $\varepsilon_1, \dots, \varepsilon_d$ 로 표현할 수 있고 획득 장치의 센서 패턴 잡음과 독립적인 백색 가우시안 잡음으로 모델링될 수 있다. 잡음 변수 ε_k 가 백색 가우시안 잡음을 따른다는 가정하에 K 가 주어졌을 때 W_k/I_k 로그 우도는 Equation (3)과 같이 정의된다.

$$L(K) = -\frac{d}{2} \sum_{k=1}^d \log(2\pi\sigma^2/I_k^2) - \sum_{k=1}^d \frac{(W_k/I_k - K)^2}{2\sigma^2/(I_k)^2} \quad (3)$$

최대 로그-우도를 구하기 위해 K 로 편미분한 값을 0으로 두고 정리하면 Equation (4)와 같이 센서 패턴 잡음 K 의 추정치를 얻을 수 있다[1, 2].

$$\frac{\delta L(K)}{\delta K} = \sum_{k=1}^d \frac{W_k/I_k - K}{\sigma^2/(I_k)^2} = 0 \Rightarrow \hat{K} = \frac{\sum_{k=1}^d W_k I_k}{\sum_{k=1}^d (I_k)^2} \quad (4)$$

Fig. 3은 일반 디지털 센서에서 30초 동안 하늘을 찍은 동영상에 대하여 추출한 센서 패턴 잡음이다. 그림에서 밝은 점 부분은 해당 영역의 광자 탐지기가 빛에 민감하여 상대적으로 많은 전기 신호를 생성시킨 부분이고 어두운 부분은 상대적으로 적은 전기 신호를 생성시킨 부분이다.

상기의 과정을 통하여 계산한 센서 패턴 잡음 K 의 경우 실제 센서 패턴 잡음에 대한 추정치이다. 일반적인 대상을 촬영한 영상에 대하여 적용할 경우 JPEG 압축에 의한 블록 효과, 대상물의 경계선 부분에 대한 잡음 제거 필터의 부정확성 등으로 인하여 정확도가 떨어지게 된다. 본 논문에서는

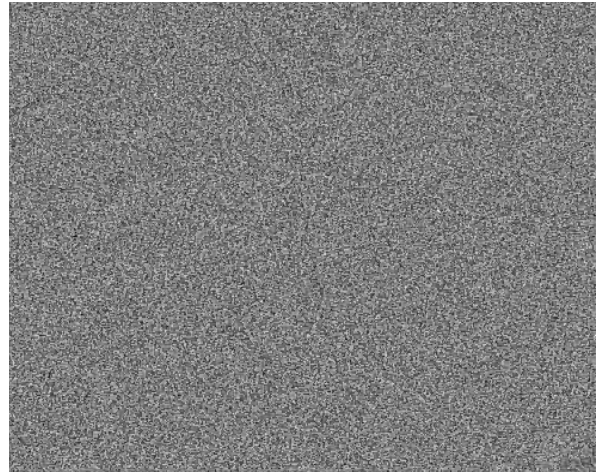


Fig. 3. Example of Extracted Sensor Pattern Noise from 30 Digital Frames

이와 같은 잡음의 제거 및 보정을 위하여 추정된 센서 패턴 잡음 K 에 대하여 푸리에 변환을 통한 주파수 도메인으로 변환을 수행한 후에 위너 필터를 적용함으로써 최대한 주기적인 잡음을 제거하였다.

이와 같이 계산한 센서 패턴 잡음은 백색 잡음의 특성을 가지고 있으므로 손실 압축, 필터링, 감마 보정 등의 처리에 강인하다. 또한 오랜 세월이 지나도 디지털 영상 장치에서 검출되는 센서 패턴 잡음은 일정한 형태로 추출되는 특징이 있다. 그리고 센서 패턴 잡음의 크기는 디지털 영상 장치에서 추출되는 영상의 크기와 같게 생성되어 많은 정보를 가지고 있다. 따라서 센서 패턴 잡음의 특성을 이용하여 디지털 영상 획득 장치의 판별이 가능하다.

3.3 유사도 판별 과정

Unknown 검사 영상에서 추출된 센서 패턴 잡음 X 와 참조 영상에서 추출된 센서 패턴 잡음 Y 가 동일한 디지털 영상 장치에서 추출되었는지 판별하기 위해서는 두 센서 패턴 잡음 간의 유사도를 측정해야 된다. 본 논문에서는 Equation (5)와 같은 정규화 상관계수(NCC)를 이용하여 유사도를 측정하였다.

$$NCC[i, j] = \frac{\sum_{k=1}^m \sum_{l=1}^n (X[k, l] - \bar{X})(Y[k+i, l+j] - \bar{Y})}{\|X - \bar{X}\| \|Y - \bar{Y}\|} \quad (5)$$

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 Unknown 검사 영상의 기기와 참조 영상의 기기가 같을 때와 다를 때 NCC로 계산된 상관관계 평면이다. 그림에서 볼 수 있듯이 Unknown 검사 영상의 기기와 참조 영상의 기기가 같을 때는 상관관계 평면에서 첨두치(Peak) 값이 크고 다를 때는 작은 값을 가진다. 이와 같은 계산된 값이 기준치보다 크면 같은 기기에서 추출된 영상으로 판단하고, 아니면 다른 기기에서 추출된 영상으로 판단한다.

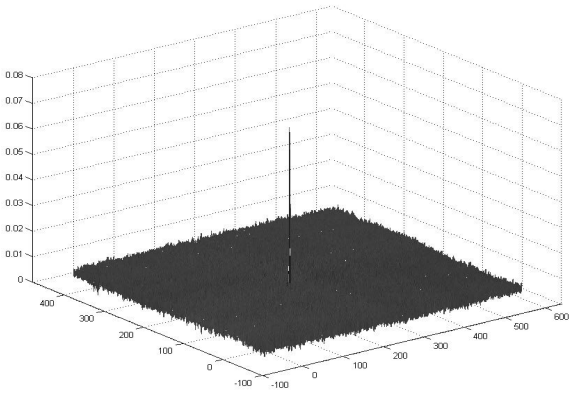


Fig. 4. NCC When Reference and Unknown Images are Acquired with the Same Device

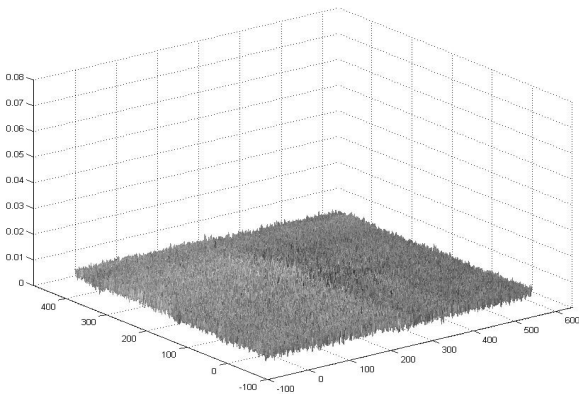


Fig. 5. NCC When Reference and Unknown Images are Acquired with Difference Devices

4. 실험 결과

본 절에서는 제안한 디지털 영상 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 등 분석한 결과에 대하여 설명한다.

4.1 실험 환경

디지털 영상 획득 장치 판별 알고리즘의 테스트를 위하여 Table 1과 같이 총 10대의 카메라, 캠코더 및 스마트폰 등을 이용하여 영상을 촬영하였다. 각 영상 획득 장치에 대하여 특

Table 1. Imaging Device Lists for Performance Analysis

Brand	Model	Resolution
Canon	EOS 500D	4752 × 3168
Canon	EOS 650D	5184 × 3456
Nikon	Coolpix S100	4608 × 2592
Nikon	D-90	4288 × 2848
Olympus	E-420	3648 × 2736
Panasonic	Lumix DMC-SZ1	4608 × 3456
Samsung	Galaxy S3	2048 × 1536
Sony	Alpha-380	4592 × 3056
Sony	Cybershot DSC-W90	2048 × 1536
Sony	HDR-XR520	1600 × 1200

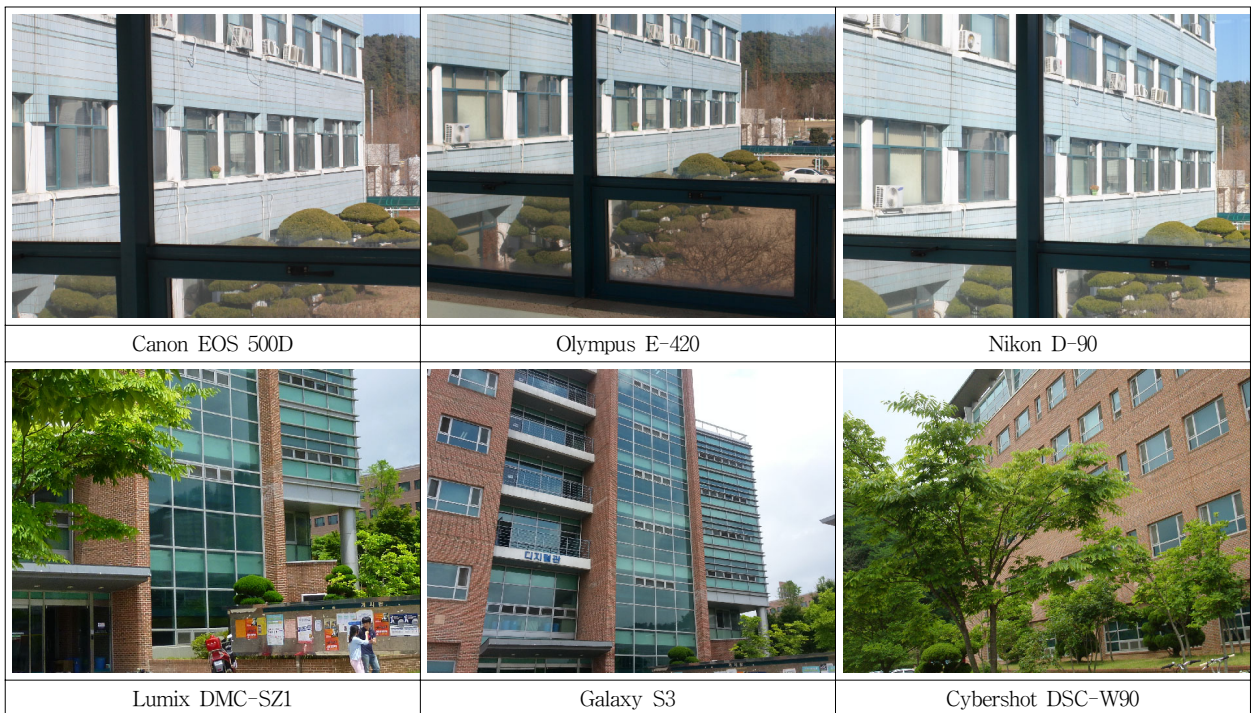


Fig. 6. Test Image Samples from Each Imaging Device

별한 설정 없이 10장의 참조 센서 패턴 잡음 추정을 위한 영상과 50장의 판별 테스트를 위한 영상을 촬영하였다. 따라서 10대의 영상 획득 장치에 대하여 총 600장의 영상을 촬영하여 성능 분석에 활용하였다.

참조 영상의 경우 특별한 대상을 포함하지 않으며 밝기 값의 변화가 균일한 제약이 가해지도록 하늘과 구름을 촬영하였다. 판별 테스트를 위하여 촬영한 영상은 Fig. 6과 같이 촬영한 대상물의 특성에 따른 성능의 차이를 최소화하기 위하여 가능한 유사한 대상을 촬영하였고 이를 통하여 영상에 포함된 색상 값들의 분포에 큰 오차가 없도록 하였다. 또한 참조 영상과 달리 실제 자연적인 또는 일상생활에서 많이 접할 수 있는 장면들을 중심으로 다양한 영상을 포함할 수 있도록 촬영하였다.

Table 1에 나타난 것과 같이 영상 획득 장치에는 동일 제조사의 모델도 포함되어있고, 촬영기기 종류도 DSLR 카메라, Compact 카메라, 캠코더, 스마트폰 등 다양하며, 촬영한 영상의 크기도 다양하게 포함되어있다. 장치에 따라서 크기가 다양하므로 알고리즘의 성능 평가를 위해서 영상의 중심에서 최소 영상의 크기인 1600×1200 크기로 부분 추출을 수행하여 실험에 활용하였다.

기존 콘텐츠 위변조 탐지에 활용되는 포렌식 기술들에서는 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 무압축 영상을 활용하지만, 본 실험에서 촬영한 영상은 영상 획득 장치에서 기본적으로 제공하는 형식인 JPEG 압축 영상 형태로 기본 압축률을 기준으로 저장하여 활용하였다. JPEG 압축은 DCT 변환, 양자화 등 손실 압축 단계를 포함하고 있어서 압축 과정에서 영상에 포함된 센서의 고유한 특징인 센서 패턴 잡음을 약화시키는 특성이 있으나 범용적으로 사용되는 영상 형식으로서 이와 같은 JPEG 압축에 견딜 수 있어야 개발된 알고리즘이 실용성을 확보할 수 있다.

4.2 모델별 판별률

개발한 디지털 영상 획득 장치 판별 기술을 활용하여 각 영상 획득 장치에 대하여 10장의 참조 영상에 대하여 참조 센서 패턴 잡음을 추출한 후에 데이터베이스에 등록해두고, Unknown 검사 영상에서 센서 패턴 잡음을 추출하여 유사도에 대한 비교를 수행하고, 유사도가 높은 모델을 획득 장치로 판별함으로써 장치별 모델 판별률을 계산하였다. 각 장치별 모델 판별률에 대해서는 Table 2에 요약하여 제시하였다.

Table 2에 나타난 것과 같이 10대의 카메라에 대한 평균 판별률은 99.6%로 나타났다. Nikon Coolpix S100 모델의 경우 영상 획득 장치 판별에 실패한 경우의 영상이 2장 있다. 판별에 실패한 영상에 대하여 Fig. 7에 도시하였다.

Fig. 7에 나타난 것과 같이 촬영된 영상이 매우 어둡고 초점이 맞지 않는 경우에 해당하며, 이 경우 픽셀의 밝기 값이 0에 가까운 값을 가지고 있어서 센서 패턴 잡음이 정확하게 추정되지 않는다. 즉, Nikon Coolpix S100 모델에 대해서는 부정 오류(False Negative Error)에 해당하는 상황이 발생하고 있으며, 타 기종에 대하여 긍정 오류(False Positive Error)에 해당하는 상황이 발생하였다. 그러나 이렇게 발생한 긍정 오류의 유사도 값은 높지 않으며, 차후 연구의 진행을 통하여 데이터들에 대한 통계적인 분석을 통하여 제거할 수 있다. 또한 어둡고 초점이 맞지 않는 영상들의 경우에는 실제 활용이나 내용적인 측면에서 무의미한 경우가 많아서 이와 같은 오차의 중요성은 낮다.

4.3 센서 패턴 잡음과 상관계수 분석

실험에 사용한 영상 획득 장치 각각에 대하여 각 장치의 참조 센서 패턴 잡음과 해당 장치로부터 촬영하지 않은 9대 피 대상 장치로부터 촬영한 450장의 테스트 영상에서 추출한 센서 패턴 잡음들 사이의 상관 계수 값들의 관계를 분석한

Table 2. Model Identification Accuracy for Each Device

Brand	Model	Success	Failure	Accuracy
Canon	EOS 500D	50	0	100%
Canon	EOS 650D	50	0	100%
Nikon	Coolpix S100	48	2	96%
Nikon	D-90	50	0	100%
Olympus	E-420	50	0	100%
Panasonic	Lumix DMC-SZ1	50	0	100%
Samsung	Galaxy S3	50	0	100%
Sony	Alpha-380	50	0	100%
Sony	Cybershot DSC-W90	50	0	100%
Sony	HDR-XR520	50	0	100%
Average accuracy				99.6%

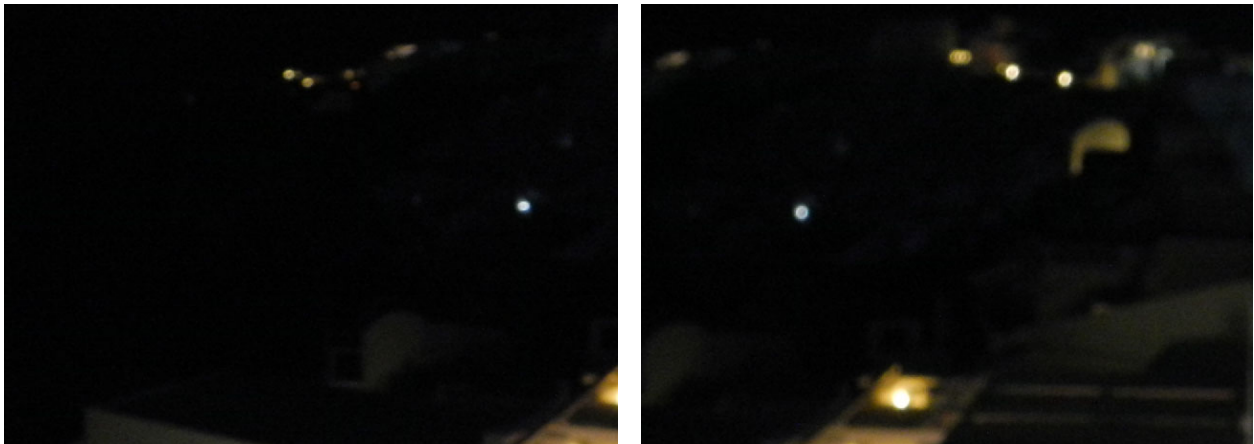


Fig. 7. Failure Images from Nikon COOLPIX S100

결과를 Fig. 8에 제시하였다. 상관 계수 값들의 분포는 유사도가 없다는 의미인 0 값을 중심으로 하는 가우시안 분포의 형태를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 또한 대부분의 값들이 $-0.004 \sim 0.004$ 값의 범위에 포함되는 것을 확인할 수 있다. 이에 대하여 올바른 분석을 수행하기 위해서는 분포에 대하여 가우시안 분포를 모델링하고, 이를 기준으로 오차 확률에 대한 분석을 적용하면 확률에 따른 정확한 임계치 값 등에 대한 설정이 가능하다.

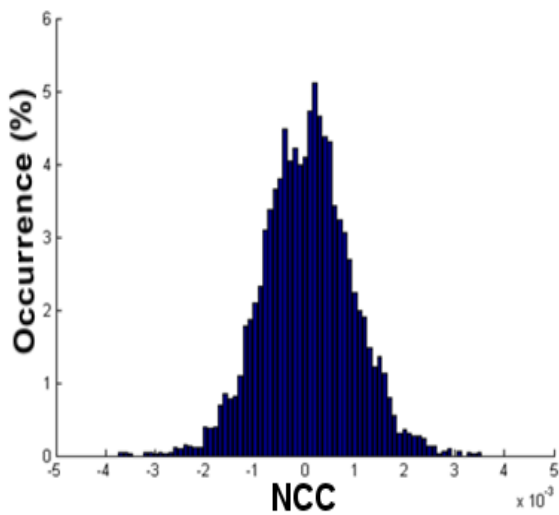


Fig. 8. NCC Distribution When Reference and Unknown Imaging Devices are Different

5. 토론 및 결론

인터넷 및 컴퓨터 기술의 발달로 인하여 손쉽게 고품질의 멀티미디어 콘텐츠를 획득하고 손쉽게 배포할 수 있는 환경이 이루어져 있다. 그러나 불법적 목적을 갖는 사용자에 의

하여 멀티미디어 콘텐츠는 무분별하게 유출되고 있으며, 이로 인한 사생활 침해, 저작권 등의 문제가 발생하고 있다.

본 논문에서는 센서 패턴 잡음을 활용한 디지털 영상 획득 장치 판별 기술에 대하여 제안하였다. 먼저 센서 패턴 잡음을 검출하기 위한 기술을 설명한 후에 참조 영상들에 대하여 센서 패턴 잡음을 추정하고, 검사 영상에 대하여 센서 패턴 잡음을 추정한 후 두 잡음 사이의 유사성 계산을 통하여 디지털 영상을 획득한 장치에 대하여 판별하는 방법을 제시하였다. 제안한 기술의 성능 분석을 위하여 다양한 멀티미디어 획득 장치를 활용하여 실험을 수행하였고 우수한 성능을 보임을 확인할 수 있었다.

기존의 카메라 장치 판별 기술들과 동일한 데이터를 적용하여 비교 분석할 수는 없지만 제안하는 방법은 다음과 같은 장점이 존재한다. Lukas et al.과 유사하게 센서 패턴 잡음을 추출하지만, 제안하는 방법에서는 JPEG 압축 등에서 발생할 수 있는 주기적인 잡음을 제거하기 위한 과정을 적용함으로써 성능의 향상을 모색하였다[1]. Bayram et al.의 방법은 CFA의 보간 특성을 활용하는 방법이지만 동일 종류의 장치에 대한 식별 성능이 매우 낮지만, 제안하는 방법은 동일 종류의 장치를 식별할 수 있는 장점이 있다.

제안한 기술은 (1) 획득 장치 판별 기술을 통한 불법 영상물 제작자 추정, (2) 법정 증거자료로 사용되는 CCTV 영상과 같은 보안 영상의 무결성 증명, (3) 자신이 촬영한 영상물의 저작권 증명 등 다양한 응용이 가능하다.

특히 제작자가 임의의 신호를 만들어서 원본 영상에 삽입하여 원본의 변화를 야기하는 워터마킹 기술과 달리 디지털 포렌식 기술은 원본 영상의 변형 없이 그 자체의 특성을 분석하여 영상의 출처를 탐지할 수 있다. 따라서 이 기술을 적용하기 위해서 기존의 시스템을 변화시키거나 새로운 인프라를 구축하는 등 추가적인 작업을 하지 않아도 된다는 큰 장점이 있기 때문에 여러 응용 분야에 걸쳐서 적용될 수 있다. 군사 분야에서도 점차 그 필요성이 대두되고 있다. 요즘 자국의 군사 기술력을 과장되게 홍보하기 위해서 군사 촬영 영

상을 위변조하여 보도하는 경우가 있는데 그런 경우 위변조 여부를 명확하게 밝혀내야 할 필요가 있다. 또한 보안 장치 중 가장 중요한 요소인 감시 카메라에서 사건의 현장을 덮기 위해 일련의 위변조가 가해질 수 있는데 그런 경우에도 위변조 여부를 밝혀낼 수 있어야 한다. 앞으로 위변조 탐지 방향으로 연구가 진행될 것으로 예측된다.

본 연구에서는 모든 광센서에서 발생하는 센서 패턴 잡음을 추출하여 직접 활용하였지만, 센서 패턴 잡음에서 장치별 고유한 특징을 추출하여 장치를 판별하기 위한 방법에 대한 추가 연구를 통하여 속도 향상을 모색할 예정이다. 최근 들어 동영상의 경우 다양한 범위에 있어서 증거로 참고된다. 그러나 사진과 다르게 동영상은 다양한 압축 기술이 적용되어 있어서 본 연구에서 개발한 기술의 직접적인 적용보다는 동영상 특성을 활용한 접근 방법의 연구를 계획하고 있다.

References

[1] 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.

[2] 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.

[3] M. Golian, "Digital camera identification from images - estimating false acceptance probability," *Lecture Notes in Computer Science*, Vol.5450, pp.454-468, 2009.

[4] S. Bayram, H. T. Sencar, N. Memon, and I. Avcibas, "Source Camera Identification Based on CFA Interpolation," *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing(ICIP)*, pp.69-72, 2005.

[5] S. Bayram, H. T. Sencar, N. Memon, and I. Avcibas, "Source Camera Identification Based on CFA Interpolation," *Proceedings of IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, pp.69-72, 2005.

[6] W. van Houten and Z. Geradts, "Source video camera identification for multiply compressed videos originating from YouTube," *Digital Investigation*, Vol.6, pp.48-60, 2009.

[7] K. Kuroki, K. Kurosawa, and N. Saitoh, "An Approach to Individual Video Camera Identification," *Journal of Forensic Sciences*, Vol.47, No.1, pp.97-102, 2002.

[8] A. C. Popescu and H. Farid, "Exposing Digital Forgeries by Detecting Traces of Resampling," *IEEE Transactions on Signal Processing*, Vol.53, No.2, pp.758-767, Feb., 2005.

[9] W. Wang and H. Farid, "Exposing Digital Forgeries in Video by Detecting Double MPEG Compression," *Proceedings of the 8th workshop on ACM Multimedia and security*, pp.37-47, 2006.

[10] D.-K. Hyun, S.-J. Ryu, H.-Y. Lee, and H.-K. Lee, "Detection of Upscale-Crop and Partial Manipulation in Surveillance Video based on Sensor Pattern Noise," *Sensors*, Vol.13, No.9, pp.12605-12631, Sep., 2013.

[11] C. H. Choi, H.-Y. Lee, and H.-K. Lee, "Estimation of Color Modification in Digital Images by CFA Pattern Change," *Forensic Science International, An International Journal, Elsevier*, Vol.226, Issue.1-3, pp.94-105, Mar., 2013.

[12] J.-W. Lee, M.-J. Lee, H.-Y. Lee, and H.-K. Lee, "Screenshot Identification by Analysis of Directional Inequality of Interlaced Video," *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, Springer, Vol.2012, No.7, pp.1-15, May, 2012.

[13] C.-T. Li, "Source Camera Identification Using Enhanced Sensor Pattern Noise," *IEEE Transactions on Information Forensics Security*, Vol.5, No.2, pp.280-287, Jun., 2010.

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

현 대 경



e-mail : dkhyun@add.re.kr
 2001년~2008년 경북대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
 2009년~2011년 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
 2011년~2015년 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)
 2015년~현 재 국방과학연구소 선임연구원
 관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 디지털 이미지 포렌식 등

김 기 범

e-mail : kibom@nsr.re.kr

1994년 제주대학교 정보공학과(학사)

1996년 고려대학교 전산학과(이학석사)

2001년 고려대학교 전산학과(이학박사)

2001년~2004년 ㈜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)셋트랙아이 선임연구원

2006년~2007년 코넬대학교 박사후연구원

2008년~현 재 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수

관심분야: 멀티미디어, 영상처리, 콘텐츠보안, 디지털워터마킹