

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제22권 제6호, 2017년 11월 (JBE Vol. 22, No. 6, November 2017)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2017.22.6.734>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

부호화 패턴 분석을 이용한 동영상 삭제 검출 기법

홍진형^{a)}, 양윤모^{a)}, 오병태^{a)†}

Detection of Frame Deletion Using Coding Pattern Analysis

Jin Hyung Hong^{a)}, Yoonmo Yang^{a)}, and Byung Tae Oh^{a)†}

요약

본 논문에서는 동영상의 압축 정보를 이용하여 동영상 조작 시 발생하는 특징 패턴을 분석하여 동영상의 삭제 여부를 검출하는 기법에 대해 소개한다. 제안 방식에서는 최근 표준 코덱으로 개발되어 향후 널리 사용될 것으로 예상되는 HEVC 코덱을 이용한다. 우선 조작된 동영상과 그렇지 않은 동영상의 HEVC 부호화 패턴 중 분류하기가 용이한 여러 패턴들을 분석하여 특징벡터로 선정하고, 선정된 특징벡터를 기계학습을 통해 학습하여 두 그룹 간의 분류 기준을 모델링하여 동영상에 대한 삭제 여부를 판단한다. 실험 결과, 제안한 방식이 이전의 연구 결과에 비해 HEVC 코덱 환경에서 더욱 효과적으로 삭제 여부를 판단함을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we introduce a technique to detect the video forgery using coding pattern analysis. In the proposed method, the recently developed standard HEVC codec, which is expected to be widely used in the future, is used. First, HEVC coding patterns of the forged and the original videos are analyzed to select the discriminative features, and the selected feature vectors are learned through the machine learning technique to model the classification criteria between two groups. Experimental results show that the proposed method is more effective to detect frame deletions for HEVC-coded videos than existing works.

Keyword : Video Forensics, Frame Deletion, Video Forgery, HEVC, Coding Pattern

a) 한국항공대학교 항공전자정보공학부(Korea Aerospace University)

† Corresponding Author : 오병태(Byung Tae Oh)

E-mail: byungoh@kau.ac.kr

Tel: +82-2-300-0409

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1437-2422>

※ 이 논문은 2016년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(NRF-2016R1D1A1B03930917).

※ 이 논문의 연구결과 중 일부는 “2017년 한국방송·미디어공학회 하계학술대회”에서 발표한 바 있음.

· Manuscript received September 5, 2017; Revised October 26, 2017; Accepted October 26, 2017.

1. 서론

최근 십여 년간 빠른 과학 기술의 발전과 함께 동영상은 일상생활에서 빠질 수 없는 존재가 되었다. 사람들은 매일 다양한 도구를 이용하여 다양한 장소에서 다양한 목적을 가지고 다양한 동영상을 제작하고 재생한다. 동영상이 사람들의 생활에 밀접한 관련을 가지면서, 동영상을 임의로 조작하고 편집하는 것이 하나의 큰 사회적 문제가 되고 있

다. 예를 들어, 누군가 다른 사람의 영상/동영상을 인터넷을 통해 얻은 뒤, 조작하고 재배포하는 문제가 발생하기도 한다. 이러한 동영상 조작으로 인하여 법정에서 동영상 증거의 진실성을 확인 하는 것이 어려워 질 수 있다. 그러므로 동영상의 조작 여부를 밝혀내는 비디오 포렌식 기술은 점차 그 중요성이 커질 것으로 전망된다.

영상과 동영상의 조작 방식은 매우 다양하다. 범죄자들은 간단히 영상/동영상의 일부를 삭제하거나, 다른 영상/동영상으로 일부를 대체하여 조작할 수 있다. 따라서 영상 내 의미 있는 정보가 조작을 통해 손쉽게 숨겨질 수 있다. 다양한 종류의 영상/동영상 조작 기술에 대응하기 위해 결과적으로, 수많은 포렌식 기술이 발전하게 되었다^[1]. 예를 들어, Photo Response Non-Uniformity (PRNU) 기반의 동영상 식별 방식이 제안되었으며^[2], 영상 가장자리의 흐려짐 정도, 주파수 영역에서의 특정 대역 에너지 분포와 같은 영상의 세부 사항을 분석하는 방식도 제안되었다^[3]. 위조 동영상을 검출하기 위한 동영상 화질 평가 방식이 제안되기도 하였다^[4]. 또한 위조된 영상/동영상의 이중 압축 여부를 알아내기 위해 압축된 영상/동영상의 부호화 패턴의 변화를 찾는 방식도 사용된다^[5]. 제안하는 알고리즘에서도 마찬가지로 부호화 패턴 변화를 이용하여 이중 압축을 검출하는 방식을 이용한다. 부호화 정보를 사용하는 보다 자세한 포렌식 접근법은 2장에서 구체적으로 설명한다.

대부분의 기존의 비디오 포렌식 연구는 CIF(352×288) 및 QCIF(176×144)와 같은 저해상도 동영상을 기반으로 진행되었다. 하지만, 최근 들어 HD(1920×1080) 또는 UHD(3840×2160)와 같은 고해상도 비디오에 관심을 갖게 되면서, 대부분의 비디오가 H.264/AVC 및 HEVC와 같은 최신의 고성능 비디오 코덱으로 압축되고 있다. 반면, 현재까지는 가장 최신에 개발된 HEVC로 압축된 동영상에 대한 기존의 연구가 많지 않으며, 대부분 기존의 H.264/AVC 혹은 MPEG-2 등을 이용한 비디오 포렌식 알고리즘이 대부분이다. 하지만 최근들어, HEVC의 역할과 관심이 늘어나고 있다^[6-8]. 따라서, 본 논문에서는 최신의 HEVC 부호화 정보만의 특징을 이용하여 보다 효과적으로 동영상의 영상 삭제 여부를 탐지하는 새로운 기법을 소개하고자 한다. 이 알고리즘은 빠르고 정확하게 동영상의 삭제 범위를 탐지할 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 조작된 동영상 검출 기법에 대해 설명하고, 3장에서는 제안 알고리즘을 소개한다. 4장에서는 제안 알고리즘에 대한 실험 결과를 통해 제안하는 알고리즘의 성능을 확인한 후, 마지막으로 5장에서 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

II. 조작 동영상 검출 기법에 대한 기존 연구

시간이 지나고 과학이 발전함에 따라 비디오 압축 표준 기술의 성능은 향상되어 왔다. 이렇게 변화되어 가는 압축 표준에 맞게 동영상 조작 또한 발전하고 있다. 이와 같은 현상의 연쇄 반응으로 비디오 포렌식 기술 또한 비디오 압축 표준 기술의 발전에 따라 발전해왔다. 실제로, Wang과 Farid는 MPEG-1, MPEG-2 환경에서 이중 압축된 동영상의 영상 삭제 또는 삽입 조작의 흔적을 찾는 것을 보였다. 2006년에 그들은 이미지 포렌식 연구 알고리즘을 적용하여 화면 내 예측 프레임의 조작 검출 기법을 제안하였다^[9]. 그리고 연이어 2009년에 화면 간 예측 프레임의 조작 검출 기법을 제안하였다^[10]. 유사하게 MPEG-2 환경에서 DCT계수를 이용한 이중 압축 탐지 기법도 있으며^[11], MPEG-2 환경에서 Macro Block (MB) 단위의 검출 기법과^[12], MPEG-2, MPEG-4, H.264/AVC 환경에서 첫 번째로 압축된 영상의 Variation of Prediction Footprint (VPF)를 특징으로 추출하여 압축영상의 Group of Picture (GOP) 크기를 찾는 기법도 있다^[13]. 더 나아가 VPF를 이용하여 MPEG-2, MPEG-4, H.264/AVC 환경으로 압축된 화면 간 예측 프레임의 동영상 조작 여부를 검출하기도 한다^[14]. 또 다른 방식으로, 특징 벡터로서 Motion Compensated Edge Artifact (MCEA)를 추출하여 공간적인 동영상 특징을 이용한 영상 삭제, 영상 삽입 조작 검출 기법이 있다^[15,16].

위에서 언급한 것과 같이 다양한 비디오 포렌식 연구 분야 중에서도 활발하게 연구가 진행되고 있는 주제가 바로 이중/다중 압축을 이용한 검출 분야이다. 이중 압축이란, 최초에 기록된 동영상이 여러 조작 과정(영상 삭제, 삽입 등)을 위해 복호화된 후, 두 번째로 압축되어 저장되는 것을 의미한다. 이중 압축이 발생하면 반드시 내부적으로 여러 파라미터가 변화하게 되는데, 이때 첫 번째 압축에서는 나

타나지 않는 특징을 찾아 조작 검출에 이용하는 방식의 연구 분야가 이중/다중 압축 분야이다. 두 번째 압축에서만 나타나는 특징을 찾아내면 해당 동영상은 두 번 이상 압축 되었다고 판단하고, 원본 동영상이 아니라는 것을 확인할 수 있다. 자세히 설명하면, 이중 압축과 영상 삭제 조작이 일어난 동영상의 경우, 영상의 종류가 I에서 P로 바뀔 때 특별한 패턴을 갖는다. 따라서 해당 프레임에 이미지 포렌식을 적용하여 조작 지점을 검출할 수 있다^[9]. 마찬가지로, 이중 압축 시 변화하는 QP값에 따라 P 프레임의 양자와 DCT 계수의 특별한 분포를 검출할 수 있다^[10]. 이중 압축 분야에서 연속적인 영상의 특별한 변화를 갖는 패턴을 찾는 연구도 있다. MCEA는 I 프레임 이후에 MB 경계가 아닌 바로 다음의 연속적인 프레임에서 나타나는 잡음이다. 이 잡음을 탐지하여 이중 압축을 찾아내기도 한다^[11]. 이외에도 첫 번째 압축 GOP 길이를 찾아내는 방식이 있다^[13]. 또 마르코프 기반의 특징을 이용하여 MPEG-4 비디오의 이중 압축을 검출하기도 한다^[17].

이중/다중 압축을 통한 동영상 조작 검출 분야의 주목할 만한 논문 중 하나는 Shanableh의 영상 삭제 검출 기술이다^[5]. 해당 논문에서는 조작된 동영상을 식별하기 위해 8가지의 특징 벡터를 선정하였다. 이렇게 선정된 특징 중에서 적절한 특징을 선택하는 회귀단계를 거치고, 선택된 특징 벡터의 차원을 감소시켜 기계학습의 훈련 데이터로 이용한다. 하지만 앞서 언급하였듯이 실험에 사용된 동영상이 QCIF의 낮은 해상도를 가진 영상으로 진행된 단점이 있다. 다른 주목할 만한 논문은 Yu 등이 주장한 동영상의 급격한 변화를 탐지하여 영상 삭제를 검출하는 알고리즘에 대한 논문이다^[3]. 예측 잔차 신호와 Intra MB의 개수를 특징으로 사용하여 하나의 매개변수로 합성한 뒤 문턱값을 이용하여 분류 하였다. 하지만 앞서 언급한 논문과 마찬가지로 실험에 사용된 동영상의 해상도가 CIF라는 단점이 있으며, 실험적으로 찾은 문턱값을 이용하여 분류를 하는 문제점이 있다. 또한 두 논문 모두 최근에 많이 사용되고 있는 동영상 압축 표준인 HEVC에서는 직접적인 적용이 불가능한 알고리즘이라는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제안하는 알고리즘에서는 비교적 큰 해상도의 동영상을 최근의 동영상 압축 표준에 맞게 부호화 하여 조작 동영상을 검출하는 방식을 소개한다.

III. 제안 알고리즘

앞서 언급한 것처럼, 대부분의 비디오 포렌식 알고리즘은 저해상도 동영상을 기반으로 연구 개발되었다. 그러나 최근에는 고해상도 및 고화질 비디오가 급격히 많이 등장하고 있으므로, 실제 응용 프로그램에서 고해상도 동영상을 고려하는 것이 더 타당하다. 또한, 이전의 많은 비디오 포렌식 연구는 간단한 문턱값 분류 방식을 사용하여 조작된 동영상을 탐지했다. 이와 같은 방식은 단편적인 효과는 좋을 수 있으나, 편집 도구가 발달하고 공격자가 눈에 띄는 단서를 숨기기 위해 더 지능적인 방법을 개발하게 되면 사용하기 어렵다. 따라서 더 많은 증거를 조사하여 동영상 조작을 탐지하는 보다 지능적인 방식의 기법을 개발할 필요가 있다. 그리고 동영상 데이터의 크기와 수는 막대하며, 많은 양의 데이터로 인해 조작 동영상을 식별하는 것이 점점 더 어려워지고 있다. 그러므로 실제 응용 프로그램에 대해 매우 빠른 동영상 조작 감지 기법을 개발하는 것이 필수 불가결하다.

앞서 언급한 문제들을 모두 해결하기 위해서, 제안 방식에서는 우선 고해상도 및 고화질의 동영상을 목표로 하였으며, 자연스럽게 이들을 압축하는 코덱으로 최신 개발된 HEVC를 선정하였다. 또한, 보다 지능적인 조작에 대처하기 위해서 눈으로도 쉽게 확인할 수 있는 영상에서만 사용할 수 있는 방식이 아닌, 보다 진화된 방식의 적용을 위하여 기계학습 기반 조작영상을 분류하는 방식을 채택하였다. 그리고 대용량의 동영상에 대한 처리를 위하여 부호화 정보를 사용하여 이중압축 여부를 빠르게 판단하는 방식을 제안한다. 실제 동영상 데이터는 압축 후에 저장되기 때문에 동영상의 부호화 정보는 반드시 동영상 조작 여부를 검출하는데 있어서 사용될 수 있는 증거가 된다. 우리는 동영상의 일부가 삭제되었을 때, 그 변화로 인해 일부 부호화 정보의 패턴이 변화하기 때문에 부호화 정보의 패턴을 조사하여 동영상의 조작 여부를 판단할 수 있게 된다.

1. HEVC 부호화기의 구조

HEVC는 H.264/AVC 이후 개발된 표준 압축방식으로서, H.264/AVC 보다 약 2배의 압축 성능을 가진다. HEVC의

성능향상의 주요한 원인 중 하나는 기본 압축 단위의 변경이다. 기존 H.264/AVC에서 사용된 기본 압축 단위는 MB이며, 그 크기가 16×16 으로 고정되어 있었던 반면, HEVC에서는 기본 압축 단위로서 Coding Tree Unit (CTU)라는 단위를 통해 압축이 수행된다. 해당 단위에서 모든 압축 과정은 Coding Unit (CU)이라는 하위 단계로 나뉘지며, CU는 압축 효율에 따라 크기가 크게 64×64 에서 작게는 8×8 까지 다양한 크기로 변화한다. 각 CU는 화면 내 예측 또는 화면 간 예측 모드 중 하나로 압축되며, 화면 내 예측의 경우 영상 내 예측 픽셀만 참조하고, 화면 간 예측의 경우 영상 간 예측 픽셀을 참조한다. 각 CU에 대해 필요한 경우 변환 및 양자화 단계를 거치는데 이 때 기본이 되는 압축 단위는 Transform Unit (TU)이며, 예측 모드를 결정하는 Prediction Unit (PU)가 CU로부터 분할된다. 제안하는 알고리즘에서는 크게 CU와 TU, 이 두 가지 부호화 단위와

관련된 특징을 사용하게 된다.

2. 동영상 삭제 조작 분석 및 제안 검출 기법

동영상의 일부를 삭제하는 경우의 시나리오는 그림 1과 같다. 우선 동영상이 획득되어 저장될 때 첫 번째로 압축이 수행된다. 이렇게 첫 번째 압축이 수행된 뒤에 공격자가 동영상을 조작하려면 비트스트림 파일을 복호화한 후 편집/조작하게 된다. 그 뒤에 다시 한 번 저장하는 과정에서 두 번째 압축이 일어나게 된다. 그림 1은 동영상의 일부 영상을 삭제하는 조작 기법이 포함된 이중 압축 알고리즘이다. 동영상을 조작하게 되면 그림 1에 나타난 세 단계를 차례로 거치게 된다. 이러한 과정에서 일부 프레임의 타임 변화와 같은 일부 흔적을 남기게 되고, 제안하는 알고리즘의 목적은 이 흔적을 탐지하는 것이다.

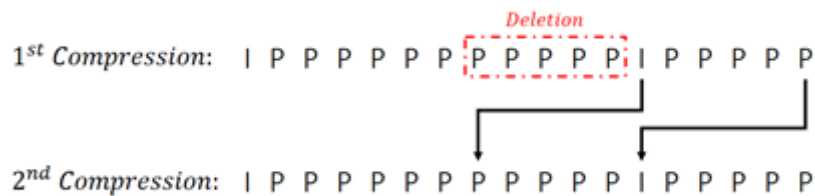


그림 1. 영상 삭제 시 발생하는 프레임 타입의 변화
Fig. 1. Change of the frame type by frame deletion

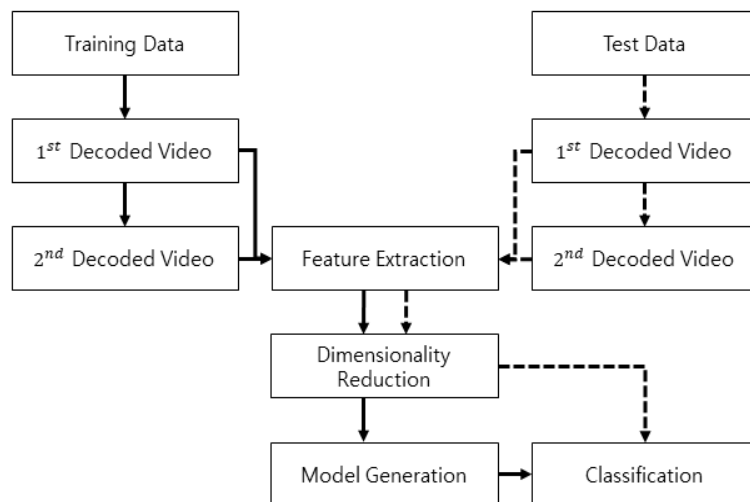


그림 2. 제안 알고리즘 블록도
Fig. 2. The block diagram of the proposed algorithm

제안하는 알고리즘에서는 동영상의 일부 영상 삭제로 인한 조작에 초점을 맞췄다. 즉, 누군가가 의도적으로 동영상의 일부를 삭제하여 해당 동영상에서 특정 정보를 숨기거나 위장하는 것을 탐지 하는 것이 목적이다. 위에서 언급하였듯이 공격자는 먼저 동영상의 압축을 풀고 일부 중간 영상을 삭제하고 다시 압축한다. 이 때, 영상 삭제에 의한 한 가지 주요한 차이점이 프레임타입의 변동이다. 동영상 내 모든 프레임은 화면 내 예측(I), 단방향 예측(P), 혹은 양방향 예측(B)중 한 가지 방식으로 압축되며, 이 경우 인접한 영상들 간의 움직임 보상이 압축의 핵심이다. 예를 들어 그림 1과 같이 I 타입으로 압축된 영상은 B 타입 영상으로 재 압축될 수 있고, 그 결과 1차 압축 시 나타나지 않았던 패턴이 2차 압축 시 새롭게 나타나게 된다. 다시 말해서, 제안하는 알고리즘은 그림 2와 같이 이중 압축되지 않은 원본 영상과 이중 압축과 영상 삭제가 이루어진 조작된 영상을 구별하는 특정 부호화 패턴을 찾고, 그렇게 특정 부호화 패턴을 특징 벡터로서 선정한 뒤, 학습 모델을 생성하여 다양한 방식을 통해 분류하여 조작 동영상과 원본 동영상을 구분한다.

3. 조작 검출을 위한 특징 선택

앞서 언급한 바와 같이 HEVC는 CTU 단위로 입력 동영상을 압축하고, CTU는 다중 CU로 세분화된다. 이때, 적절한 PU와 TU는 율-왜곡 최적화 방식을 통해 결정된다. 영상 삭제에 의한 이중 압축은 일부 규칙적인 부호화 패턴을 손상시킬 수 있으므로 이러한 CU/PU/TU 부호화 정보는 좋은

특징 후보가 될 수 있다.

HEVC로 압축된 동영상을 이용한 비디오 포렌식은 MPEG-2나 H.264/AVC로 압축된 동영상에 비해 아직 많이 다루어지지 않았다. 이전의 주된 연구에서는 영상 삭제로 인해 생긴 불규칙성을 감지하려고 했다. 예를 들어, 기준이 되는 영상과 현재 영상 간의 시간적 거리가 멀어지면, 현재 영상과 기준 영상의 화소 값이 차이가 많이 나게 되고, 이 경우 현재 영상과 기준 영상의 차이 값인 잔차 신호가 크게 증가한다. 그림 3과 같이 화면 간 예측 모드의 CU 개수 또는 면적이 삭제 위치에서 크게 감소하는 반면, 화면 내 예측 모드의 CU 개수 또는 면적이 상당히 증가하게 된다. 이렇게 크게 변화하는 부분을 찾게 되면 동영상의 삭제 위치를 검출할 수 있게 된다.

하지만 이러한 접근 방식은 실제 동영상 조작 감지 기능을 적용하는데 있어서 한계가 있다. 무엇보다도 이렇게 급격한 증가는 큰 움직임과 장면 전환과 같은 이유로 인해서도 발생할 수 있으므로 조작된 위치라고 단정 짓기 어렵다. 또한 화면 내 예측 모드인 CU의 분포 면적은 입력 동영상의 특성에 크게 의존하는 경향이 있으므로 적절한 임계값을 설정하는 것이 어렵다. 그리고 이전 연구의 일부는 육안으로 쉽게 찾아낼 수 있는 수준의 조작을 가해서 실험을 수행하였기 때문에 공격자가 시각적인 흔적을 남기지 않도록 조작한다면, 이러한 문턱값을 이용한 동영상 조작 검출 방식으로는 한계가 있다.

따라서 우리는 완전히 다른 접근 방식을 제안한다. [5, 3]과 같이 삭제 위치를 탐지하는 대신 일부 코딩 정보에 대한

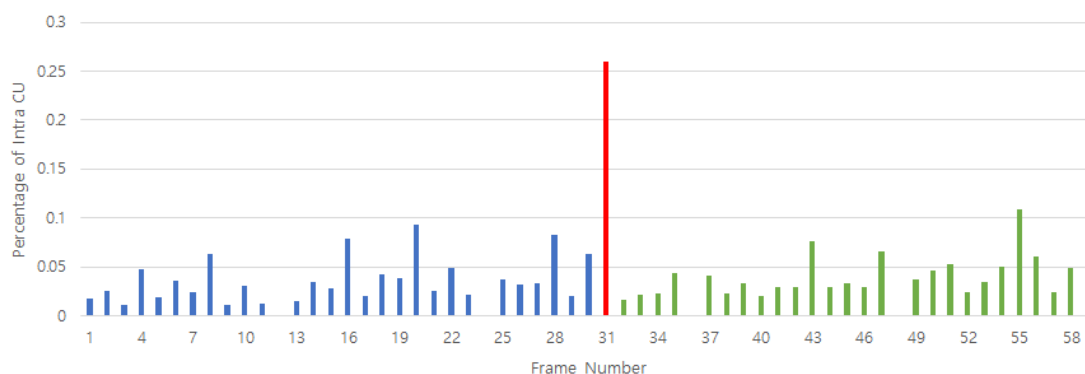


그림 3. BasketballDrive 영상의 프레임별 PICU 변화
Fig. 3. Change of PICU in BasketballDrive

패턴 변화에 초점을 맞춘다. 예를 들어, 그림 3에서 화면 내 예측 모드인 CU의 면적은 영상 삭제 후가 영상 삭제 전보다 상당히 크다. 또한, GOP 내부의 상대적인 영상간의 규칙적인 수치가 변화한다. 그러므로 첫 번째 특징으로서 화면 내 예측 모드인 CU의 발생 확률 (Percentage of Intra CU, PICU)을 선택하고, 영상 삭제 전후의 분포에 집중한다.

마찬가지로 TU의 부호화 정보도 고려해보면, 앞서 언급하였듯이, 동영상의 일부가 삭제되고 TU와 PICU에 큰 변화가 생긴다. 그림 4에 나타난 것처럼 삭제된 지점에서의 참조 영상과 해당 영상의 차이가 증가하며, 예측 오차인 TU의 잔차 신호가 증가한다고 할 수 있다. 또, 참조 영상과 해당 영상의 차이가 증가함에 따라 skip TU의 개수가 줄어

들게 된다. 결국, 그림 5에 나타난 것처럼, TU의 전체적인 개수가 늘어나게 된다. 따라서 TU의 잔차 신호의 에너지를 두 번째 특징으로 선택하고, TU의 개수를 세 번째 특징으로 선택한 뒤, 삭제 이후에 규칙성이 무너지는 것에 집중한다. 결과적으로, 그림 2의 Feature Extraction 단계에서 세 가지 특징 추출이 이루어진다. 또한, 이렇게 획득한 세 가지 특징을 Dimensionality Reduction 단계에서 효과적으로 분류하는 기법에 대해 III.4절에서 이어서 설명한다.

4. 차원 감소와 분류

III.3절에서 언급한 세 가지 특징을 그룹화 하여 통합된 하나의 벡터를 형성한다. 그 뒤, 각각의 GOP 단위로 특징

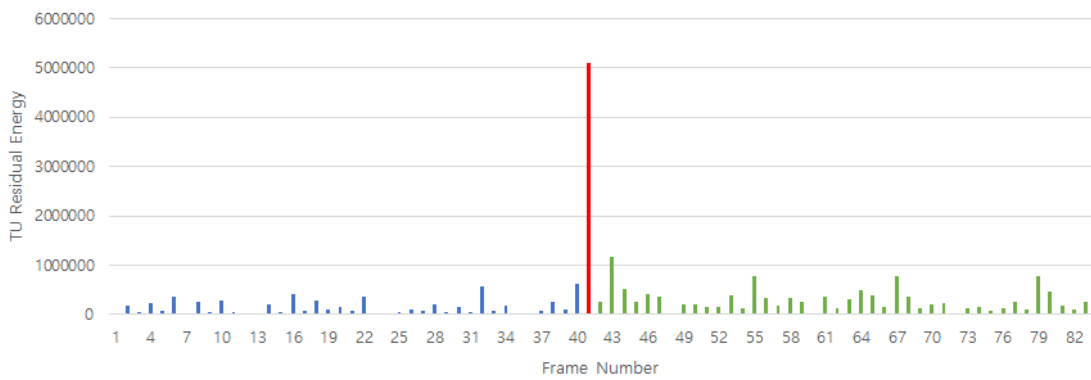


그림 4. BQTerrace 영상의 프레임별 TU 잔차 신호 에너지 변화

Fig. 4. Change of TU residual energy in BQTerrace

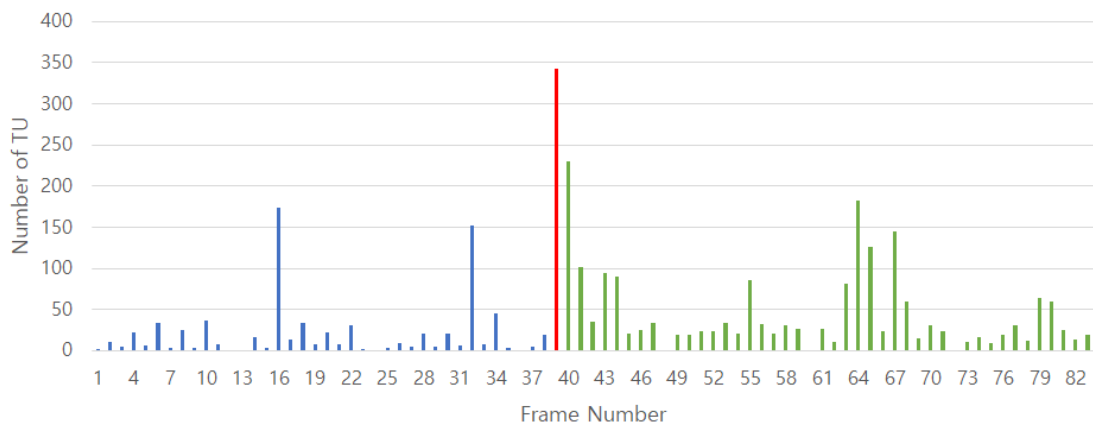


그림 5. BQTerrace 영상의 프레임별 TU의 개수 변화

Fig. 5. Change of number of TUs in BQTerrace

벡터를 원본 동영상과 조작된 동영상으로 나눈다. 실제 동영상의 경우 동일한 부호화 파라미터 조건을 가지게 되면 단일 압축과 이중 압축의 비트스트림 차이가 거의 없으므로, 방금 언급한 원본 동영상과 조작된 동영상 크게 두 가지 종류로 분류한다. 이때 삭제 지점을 포함하는 GOP는 조작된 것으로 판단한다.

앞서 이어붙인 고차원의 특징 벡터를 바탕으로 효과적으로 2개의 그룹에 속하도록 분류하기 위해 Linear Discriminant Analysis (LDA) 기법을 사용한다. 나누고자 하는 그룹이 2개 이므로 1차원 LDA 공간으로 미리 훈련데이터를 통해 변환 행렬을 구하고, 검사 데이터를 해당 LDA 평면에 사영한다. 그림 6은 1차원 LDA 평면에 사영된 특징 벡터의 히스토그램을 2개의 그룹으로 명확히 구분한 예이다. LDA는 차원 축소 과정을 통해 GOP의 프레임 간의 자료 구조를 이용하여 효과적으로 분류한다. 나뉜 2개의 그룹은 비조작 영상(파란색)과 조작 영상(주황색)이다.

학습 집합을 사용하여 1차원 LDA 평면에 사영하여 학습한 뒤, 간단한 기계 학습 알고리즘 중 하나인 k-Nearest Neighbor (k-NN) 기법을 사용하여 검사 데이터를 두 그룹으로 분류한다. 각 입력 데이터에 대해 유클리드 거리를 기준으로 더 가까운 k개의 데이터를 검색하고 입력 데이터를

더 많은 수의 그룹으로 취급한다.

IV. 실험 결과

1. 실험 환경

공정하고 객관적인 실험을 위해 MPEG에서 HEVC 및 차세대 동영상 압축표준 개발을 위해서 사용하고 있는 표준 테스트 동영상을 입력 동영상으로 (BasketballDrive, BQTerrace, Cactus, CampfireParty, CatRobot, Daylight-Road, Drums, Kimono, NebutaFestival, ParkScene, Roller-Coaster, SteamLocomotiveTrain, Tango, ToddlerFountain, Traffic, TrafficFlow) 구성하였다. 다양한 해상도를 갖는 총 16개의 동영상은 실험의 편의를 위해 832×480 의 해상도로 조정하였으며, 동일한 동영상 부호화 매개변수가 적용되었다. 세부적으로는 저 지연 P 모드로 압축되었으며, GOP의 크기는 12, 양자화 파라미터는 32로 설정하였다. 훈련과 평가를 위해 우리는 16개의 동영상 중에서 무작위로 두 그룹으로 나누어 하나는 훈련 데이터 그룹, 또 다른 하나는 평가 데이터 그룹으로 설정하였다. 즉, 훈련 데이터 그룹

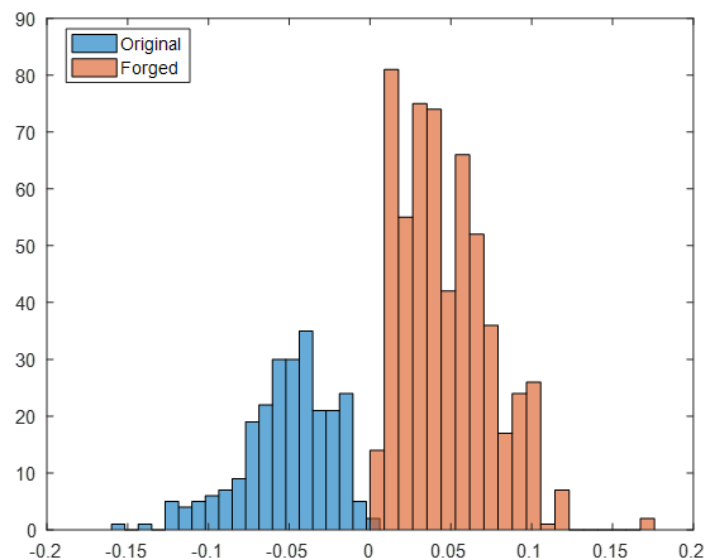


그림 6. 입력 데이터의 1차원 LDA 평면에 대한 사영

Fig. 6. Projection of the input data to a one-dimensional LDA plane

을 통해 각각 특징 벡터를 추출하여 훈련하였고, 훈련된 변환행렬을 통해 평가 데이터 그룹을 이용하여 평가를 진행하였다.

조작영상은 테스트 동영상의 일부를 삭제하여 만들었다. 다양한 상황을 포함하는 데이터 셋을 준비하기 위해 다양한 사례의 영상 삭제를 수행하였다. 삭제되는 영상의 길이가 달라지면, 두 번째 압축 시 일어나는 영상의 예측 모드 타입이 변한다. 따라서 GOP 내 삭제 위치를 바꿔가면서 해당 GOP 끝까지 삭제하는 방식으로 삭제 길이를 조절하였다. 예를 들어, GOP의 크기가 10인 동영상의 경우, GOP 내 7번째 위치에서 삭제 조작이 일어난다면, 총 4 장의 영상이 삭제된다. 이와 같은 방식으로 다양한 위치에서 영상을 삭제하여, 여러 가지 영상의 삭제 사례에도 실험 결과가 일관적일 수 있도록 실험 환경을 조성하였다.

2. 성능 평가

제안 방식의 성능비교를 위하여 기존의 동영상 압축정보를 사용하여 영상 삭제여부를 검출하는 방식을 선정하였다. 앞서 2장에서 언급하였듯이 HEVC에서의 비디오 포맷 연구가 아직 초창기이기 때문에, 제안하는 알고리즘과의 공정한 비교를 위해 HEVC 이전의 동영상 압축 표준인 H.264/AVC 환경에서 개발되었던 가장 최신의 알고리즘 [5]을 HEVC 환경에 적용하여 비교하였다. 즉, [5]에서 사용한 8개의 특징 벡터 중 HEVC 압축 표준 환경에서도 사용 가능한 특징 벡터를 선정하였고, 이후 특징 선별방법 등은 [5]의 방식을 그대로 이용하여 실험을 수행하였다.

보다 객관적인 동영상의 삭제여부 검출능력의 성능 평가를 위하여, 아래의 표 1과 같이 분류에서 일반적으로 사용되는 혼동행렬을 사용하였다. 표 1의 결과에서 확연하게 알 수 있듯이, 제안방식이 [5] 방식보다 참-긍정 (True-

Positive) 및 참-부정 (True-Negative) 샘플이 월등히 높음을 알 수 있다.

또한, 혼동행렬 결과값을 이용하여 보다 이해하기 쉬운 비율지표로서 (1)-(3)과 같이 정확률 (Precision)과 재현율 (Recall), 그리고 F1-Score를 사용하였다.

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (1)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (2)$$

$$F1-score = 2 \times \frac{Precision \times Recall}{Precision + Recall} \quad (3)$$

여기서 TP, FP, FN은 각각 참-긍정, 거짓-긍정, 그리고 거짓-부정을 의미한다. 아래 표 2의 비교결과와 같이 기존 [5] 방식은 재현율 0.82, 정확율 0.87에 그쳐 F1-Score는 0.85로 나타난 바와 같이, HEVC 압축 환경에서의 기존 연구 결과는 성능이 그리 좋지 않음을 알 수 있다. 하지만, 제안하는 알고리즘의 경우 HEVC 압축 환경에서 매우 높은 성능 결과를 보였다. 구체적으로 살펴보면, 제안하는 알고리즘에서 재현율은 0.95, 정확율은 0.97, F1-Score는 0.96이다. 다시 말해서, 제안하는 알고리즘이 HEVC 압축 환경에서 상당히 높은 확률로 영상 삭제여부를 효과적으로 검출하고 있음을 잘 보여주고 있다.

표 2. 동영상 삭제 검출성능 비교

Table 2. Comparisons of the methods for the detection of frame deletion

Method	Precision	Recall	F1-Score
[5]	0.87	0.82	0.85
Proposed	0.97	0.95	0.96

표 1. 동영상 삭제 여부 판단 결과

Table 1. Results for the detection of frame deletion

Method	[5]		Proposed	
	Positive	Negative	Positive	Negative
Positive	27192	4028	31624	771
Negative	5841	19996	1409	23253

V. 결 론

본 논문에서는 HEVC로 압축된 동영상의 삭제 여부를 판단하기 위해, 동영상의 여러 부호화 패턴을 분석하여 이들 중에서 삭제 시 발생하는 프레임 타입의 변화에 민감한

부호화 패턴을 분석/추출하였으며, 이들을 특징벡터로 선정하여 기계학습 기반의 분류기를 이용 영상 삭제 여부를 검출하는 알고리즘을 제안하였다. 제안하는 알고리즘의 우수한 성능을 입증하기 위하여 공정하고 객관적인 실험환경에서 비교실험을 진행하였으며, 실험 결과 기존 알고리즘에 비해 동영상의 삭제 여부를 높은 성능으로 검출하는 것을 확인할 수 있었다. 추후 연구에서는 보다 다양한 경우의 영상 삭제 또는 영상 조작에 적용할 수 있는 알고리즘에 대한 연구를 진행할 예정이다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] S. Milani, M. Fontani, P. Bestagini, M. Barni, A. Piva, M. Tagliasacchi, and S. Tubaro, "An overview on video forensics," APSIPA Transactions on Signal and Information Processing, 1, 2012.
- [2] J. Lukas, J. Fridrich, and M. Goljan, "Digital camera identification from sensor pattern noise," IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 1.2: 205-214, 2006.
- [3] L. Yu, H. Wang, Q. Han, X. Niu, SM. Yiu, J. Fang, and Z. Wang, "Exposing frame deletion by detecting abrupt changes in video streams," Neurocomputing, 205: 84-91, 2016.
- [4] T. Shanableh, "No-reference PSNR identification of MPEG video using spectral regression and reduced model polynomial networks," IEEE Signal Processing Letters, 17(8), 2010.
- [5] T. Shanableh, "Detection of frame deletion for digital video forensics," Digital Investigation, 10.4: 350-360, 2013.
- [6] H. Lee, J. Kim, H. Y. Kim, and J. S. Choi, "A Performance comparison of HEVC with H. 264 and MPEG-2 for HD Sequences." Proceedings of the Korean Society of Broadcast Engineers Conference. The Korean Institute of Broadcast and Media Engineers.
- [7] Je-U. Kim, J. H. Park, Y. H. Kim, and B. H. Choe, "Application View for High Efficiency Video Coding." Broadcasting and Media Magazine 15.
- [8] Y. Ahn, T. Hwang, S. Yoo, W. J. Han, and D. Sim, "Statistical characteristics and complexity analysis of HEVC encoder software." Journal of Broadcast Engineering 17.6, 1091-1105, 2012.
- [9] W. Wang, and H. Farid, "Exposing digital forgeries in video by detecting double MPEG compression," In: Proceedings of the 8th workshop on Multimedia and security. ACM, 37-47, 2006.
- [10] W. Wang, and H. Farid, "Exposing digital forgeries in video by detecting double quantization," In: Proceedings of the 11th ACM workshop on Multimedia and security. ACM, 39-48, 2009.
- [11] Y. Su and J. Xu, "Detection of double-compression in MPEG-2 videos," Intelligent Systems and Applications (ISA), 2010 2nd International Workshop on. IEEE, 2010.
- [12] T. Shanableh, "Prediction of structural similarity index of compressed video at a macroblock level," IEEE Signal Processing Letters, May, 18(5), 2011
- [13] D. Vazquez-Padin, M. Fontani, T. Bianchi, P. Comesaña, A. Piva, and M. Barni, "Detection of video double encoding with GOP size estimation," In: Information Forensics and Security (WIFS), 2012 IEEE International Workshop on. IEEE, 2012. 151-156.
- [14] A. Gironi, M. Fontani, T. Bianchi, A. Piva, and M. Barni, "A video forensic technique for detecting frame deletion and insertion," In: Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP), 2014 IEEE International Conference on. IEEE, 6226-6230, 2014.
- [15] Q. Dong, G. Yang, and N. Zhu, "A MCEA based passive forensics scheme for detecting frame-based video tampering," Digital Investigation, 9.2: 151-159, 2012.
- [16] Y. Su, J. Zhang, J. Liu, "Exposing digital video forgery by detecting motion-compensated edge artifact," In: Computational Intelligence and Software Engineering, 2009. CiSE 2009. International Conference on. IEEE, 1-4, 2009.
- [17] X. Jiang, W. Wang, T. Sun, YQ. Shi, and S. Wang, "Detection of double compression in MPEG-4 videos based on Markov statistics," IEEE Signal Processing Letters, 20.5: 447-450, 2013.

저 자 소 개



홍 진 형

- 2017년 2월 : 한국항공대학교 전자및항공전자공학 학사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 석사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-1887-1704>
- 주관심분야 : 영상처리, 영상포렌식, 기계학습

저 자 소 개



양 윤 모

- 2015년 2월 : 한국항공대학교 전자및항공전자공학 학사
- 2015년 3월 ~ 2017년 2월 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 석사
- 2017년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 박사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-2816-1685>
- 주관심분야 : 영상처리, 영상포렌식, 기계학습



오 병 태

- 2003년 8월 : 연세대학교 전기전자공학부 학사
- 2009년 8월 : Univ. of Southern California (USC), Dept. of Electrical Eng. 석사 및 박사
- 2009년 ~ 2013년 : 삼성종합기술원 전문연구원
- 2013년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부 부교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-1437-2422>
- 주관심분야 : 영상처리, 비디오압축, 영상포렌식, 3차원영상