

일반논문 (Regular Paper)

방송공학회논문지 제24권 제6호, 2019년 11월 (JBE Vol. 24, No. 6, November 2019)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2019.24.6.1134>

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

딥러닝 기술 기반 HEVC로 압축된 영상의 이중 압축 검출 기술

우딘 쿠틀^{a)}, 양 윤 모^{a)}, 오 병 태^{a)†}

Deep Learning based HEVC Double Compression Detection

Kutub Uddin^{a)}, Yoonmo Yang^{a)}, and Byung Tae Oh^{a)†}

요 약

영상의 이중 압축 검출은 영상의 위조여부를 판단하는 한가지 효과적인 방식이다. 이러한 이중 압축 검출 기술을 바탕으로 HEVC로 압축된 영상의 진위 여부를 판단하는 다양한 종류의 기존 기술들이 소개되었지만, 동일한 압축 환경에서 이중 압축된 영상의 진위 여부를 검출하는 것은 상당히 어려운 일로 여겨지고 있다. 본 논문에서는 동일 압축 환경에서 HEVC의 이중압축 여부를 판단하는 기술로서, Intra모드로 압축된 영상의 분할 정보를 이용하여 판단하는 방식을 제안한다. Coding Unit (CU)와 Transform Unit (TU)의 분할 정보로부터 통계적 특징과 딥러닝 네트워크 기반의 특징을 우선 추출하고, softmax단에서 추출된 특징들을 통합하여 이중 압축 여부를 판단하는 기술을 제안한다. 실험결과를 통해서 제안하고 있는 기술이 WVGA 영상과 HD 영상에서 각각 87.5%와 84.1%의 정확도를 가지며 효과적으로 검출한다는 것을 보여준다.

Abstract

Detection of double compression is one of the most efficient ways of remarking the validity of videos. Many methods have been introduced to detect HEVC double compression with different coding parameters. However, HEVC double compression detection under the same coding environments is still a challenging task in video forensic. In this paper, we introduce a novel method based on the frame partitioning information in intra prediction mode for detecting double compression in with the same coding environments. We propose to extract statistical feature and Deep Convolution Neural Network (DCNN) feature from the difference of partitioning picture including Coding Unit (CU) and Transform Unit (TU) information. Finally, a softmax layer is integrated to perform the classification of the videos into single and double compression by combing the statistical and the DCNN features. Experimental results show the effectiveness of the statistical and the DCNN features with an average accuracy of 87.5% for WVGA and 84.1% for HD dataset.

Keyword : Video Forensic, Double Compression Detection, HEVC, Picture Partitioning, Deep Learning

a) 한국항공대학교 항공전자정보공학부(Korea Aerospace University, School of Electronics and Information Engineering)

† Corresponding Author : 오병태(Byung Tae Oh)

E-mail: byungoh@kau.ac.kr

Tel: +82-2-300-0409

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

※ This research was supported in part by the Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of ICT (NRF-2019R1F1A1063229), and by the GRRC program of Gyeonggi Province [2017-B02, Study on image processing and UI platform for mobile media devices].

· Manuscript received September 4, 2019; Revised October 22, 2019; Accepted October 22, 2019.

Copyright © 2016 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

1. 서론

영상, 음성, 동영상과 같은 멀티미디어 정보는 점차 우리 생활의 일부가 되어가고 있다. 특히 고화질 영상을 획득할 수 있는 디바이스의 발전과 함께, 디지털 영상은 페이스북이나 트위터와 같은 소셜 미디어 서비스에서 우리의 중요한 순간을 나눌 수 있는 중요한 매개체가 되었다. 하지만, 때로는 이러한 영상들을 누군가가 악의적인 목적으로 위조하여 잘못된 정보를 퍼트리거나 공유하는 등 타인의 명예를 실추시키거나 곤경에 빠뜨리기도 한다. 특히, 이러한 영상 편집 소프트웨어 기술은 점차 발전되고 있어, 이제 특별한 영상에 대한 지식이 없어도, 예를 들면 Hong 등이 언급한 바와 같이 프레임 일부를 삭제하는 방식 등으로 누구나 손쉽게 동영상에 대한 위조를 할 수 있게 되었으며^[1], Milani 등이 언급한 바와 같이 영상의 획득이나 압축과 정 뿐 아니라, 모든 다른 종류의 과정 중에서도 영상에 대한 다양한 형태의 조작이 가능하다^[2].

고화질 영상을 획득할 수 있는 디바이스가 발전함에 따라, 이러한 영상들을 저장하고 전송하기 위한 영상 압축 기술도 마찬가지로 빠르게 발전하고 있다. 특히 HEVC는 고화질 영상을 보다 효율적으로 압축하기 위하여 만들어진 가장 최신의 압축 표준 기술이다. HEVC는 기존 H.264/AVC와 같은 표준 기술의 프레임워크를 그대로 따른 채, 몇 가지의 새로운 기술을 도입한 손실 압축 기술이다. 이러한 표준 압축 기술은 일반적으로 영상을 획득할 때 효율적인 저장을 위하여 함께 적용되기 때문에 영상의 진위성을 판단하는 좋은 단서가 될 수 있다. 예를 들면 HEVC로 압축된 영상을 위조하기 위해서는 영상이 획득됨과 동시에 압축이 된 영상을 압축을 해제하고 다시 재압축하는 이중 압축 과정을 반드시 거쳐야만 한다. 따라서, 이중압축 여부를 판단하는 방식이 영상의 진위여부를 판단하는 하나의 가장 중요한 기술 분야가 되었다^[2].

영상 및 동영상의 이중 압축을 판단하는 많은 기존 방법들이 이미 많이 연구되어져 왔다. 초창기에는 JPEG으로 압축된 영상의 이중 압축을 판별하는 기술들이 널리 연구되었다. 동일한 양자화 환경에서의 이중 압축 판별기술은 이러한 기술 중 한가지 방법으로서, Huang 등은 랜덤 퍼터베이션 방식에 기반한 방식으로 이를 분석하고 판별하

는 기술을 소개하였다^[3]. Yang 등은 두 종류의 에러 (라운드 및 절단 에러)를 기반으로 이중 압축을 판별하는 기술을 제안하였다^[4]. Huang 등은 라운드 및 절단 에러로부터 통계적 특징 (Error Based Statistical Features, EBSF) 과 컨볼루션 뉴럴 네트워크 (Convolutional Neural Network, CNN) 기반의 특징을 이용하는 방식을 제안하였다^[5]. 또 다른 CNN 기반의 방식이 Peng 등에 의하여 제안되었는데, 이 방식에서는 JPEG의 다양한 품질 팩터의 세트를 기반으로 라운드 및 절단 에러 영상을 분석하는 기술이 사용되었다^[6].

JPEG 기반의 이중 압축 여부를 판단하는 기술은, 이후 MPEG-2의 동영상 압축 내 화면내 압축 과정에 그대로 적용되었다. Sun 등은 각각의 Group of Picture (GOP)에서 첫번째 DCT 계수값을 바탕으로 12차원의 특징을 추출하고, 이들의 분포가 로그분포를 따르는지를 바탕으로 판단하는 방식을 제안하였다^[7]. Aghamaleki 등은 양자화 matrix와 동기화된 GOP를 사용하는 방식을 제시하였으며^[8], Jiang 등은 Markov 기반의 특징을 이용하여 MPEG-4의 이중 압축여부를 판단하는 방식을 제안하였다^[9]. 이들을 더 확장하여 H.264/AVC의 이중 압축 여부를 판단하는 몇가지 방식이 소개되었는데, Liu 등은 시간 및 주파수 도메인에서 P-프레임들의 잔차신호의 평균을 이용하는 방식을 제안하였고^[10], Yao 등은 압축된 데이터 스트림과 스킵된 매크로블록을 분석하여 반복적인 특징이 존재하는지를 판단하는 방식을 제안하였다^[11]. Liao는 양자화 과정 이후 0이 아닌 AC 계수의 분포를 바탕으로 판단하는 방식을 제시하기도 하였다^[12].

새로운 압축 표준 HEVC가 등장한 이후, HEVC 기반으로 한 이중 압축을 판별하는 기술이 다수 제안되었다^{[13][20]}. Xu 등은 각 프레임에서 3가지의 다른 모드 (화면내, 화면간, 스킵)에서 Sequence of Number of Prediction Unit of its Prediction Mode (SN-PUPM) 특징을 추출하여 이중 압축을 판단하는 방식을 제시하였다^[13]. Li 등은 양자화된 DCT 계수와 TU의 크기에 대한 분포를 바탕으로 특징을 추출하는 방식을 사용하였다^[14]. I-프레임과 P-프레임의 TU 깊이 정보를 히스토그램을 특징으로 사용하여 이중 압축을 판단하는 기술도 소개되었으며^[15], Li 등은 PU와 DCT 계수의 co-occurrence 행렬을 이용하는 방식을 제안하였다

[16],[17]. Jiang 등은 PU의 이중압축에서 비정상적인 패턴을 찾기도 하였다^[18]. 하지만, 앞서 언급한 방식들은 다른 압축 환경에서 재압축된 이중 압축을 찾아내는 기술로서, 동일한 압축 환경에서의 이중 압축 여부를 다루고 있는 기술은 많지 않다. 이들 논문들은 3장에서 보다 자세히 다루고자 한다.

제안 논문에서는 이중 압축 과정에서 발생하는 흔적을 이용하여 동일한 압축 환경에서 HEVC로 압축된 영상의 이중압축 여부를 판단하는 기술을 제안한다. 논문에서는 CU와 TU의 다중 압축 과정에서 생기는 분할 정보의 변화를 분석하고, 이를 통해서 다양한 방식으로 분할 정보를 바탕으로 특징을 추출하는 방식을 제안하였다. 이렇게 추출된 특징들을 바탕으로 영상의 이중 압축 여부를 판단하게 된다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 먼저 HEVC 압축 방식에 대한 개략적인 설명이 2장에서 소개된다. 3장에서는 기존 방식들 중 제안하고자 하는 방식과 유사한 방식에 대한 소개와 분석을 진행하며, 4장에서는 기존기술을 바탕으로 개선된 제안된 기술에 대한 소개를 진행한다. 5장에서는 제안 기술에 대한 검증에 위한 실험결과 및 분석을 보여주며, 마지막으로 6장에서 제안 연구에 대한 결론을 제시한다.

II. HEVC 기술 소개

디지털 영상 획득장치가 점차 발달하면서, HD 혹은 UHD 영상과 같은 보다 고화질의 영상이 주를 이루게 되고 있으며, 이를 위해 보다 개선된 표준 압축 기술이 계속해서 개발되고 있다. HEVC는 H.264/AVC 이후에 개발된 가장 최신의 영상 표준 압축 기술로서, 기존 H.264/AVC와 같은 구조에 쿼드트리 기반의 영상 분할, 다양한 Intra 예측 기술, 개선된 모션 벡터 예측 기술 등을 추가하여 기존 기술을 크게 향상시켰다.

HEVC는 압축 트리 유닛 (Coding Tree Unit, CTU), 압축 유닛 (Coding Unit, CU), 예측 유닛 (Prediction Unit, PU), 그리고 변환 유닛 (Transform Unit, TU)의 4가지 기본 유닛으로 구성되어 있다^[19]. 영상의 각 프레임을 압축할 때, 먼저 각각의 프레임은 정사각형 모양의 겹치지 않는 CTU로 나뉘어 압축이 진행된다. CTU는 밝기와 색차 정보 및 선택스 정보를 포함한다. CTU는 아래 그림 1(a)와 같이 쿼드트리 형태를 가지면서 CU로 분할되게 된다. 예를 들면, 64×64 크기의 CTU는 4개의 동일한 크기의 32×32 크기의 CU로 우선 분할되고, 각각의 CU들은 필요하다면 추가적으로 16×16 혹은 8×8 등 작은 크기의 CU로 분할될 수 있다. 그림 1(b)에서 예를 들면, 흰색 노드는 CTU 혹은 CU가 4개의 하위 CU로 분리된 구조를, 검은색 노드는 CU가 더

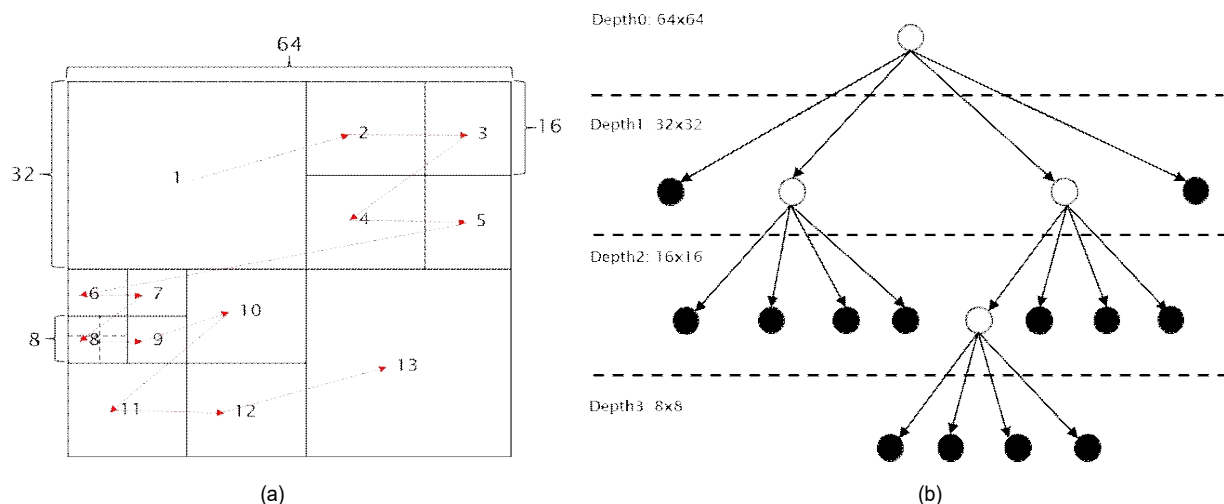


그림 1. 64x64 CTU 분할 과정의 예: (a) CTU 분할 (b) 쿼드트리 구조

Fig. 1. Example of 64x64 CTU partitioning into CUs: (a) CTU partitioning (b) Quad-tree structure

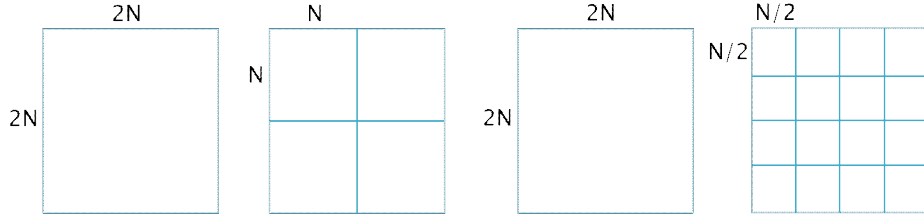


그림 2. TU 분할의 예
Fig. 2. Example of TU partitioning

이상 분리되지 않은 것을 나타내고 있다. 이렇게 분리된 CU들은 그림 1(a)에서 표기한 1~13의 순서대로 압축을 진행하게 된다. 각각의 CU들은 다시 1개, 2개, 혹은 4개의 PU로 나뉘어서 예측이 진행되게 되며, 이는 다시 그림 2와 같이 다양한 크기의 TU들로 나뉘어서 변환 과정이 진행되게 된다. 특히, 본 논문에서 제안하고 있는 방식에서는 이들 중에서 CU와 TU의 분할 정보를 바탕으로 영상의 이중 압축 여부를 판단한다.

III. 동일 압축 환경에서의 이중 압축 검출

그동안 이중 압축을 검출하는 수많은 기술들이 소개되었지만, 동일한 압축 환경에서 이중 압축을 검출하는 기술은 많지 않다. 사실 영상을 위조하고자 하는 입장에서는 압축된 영상의 압축 환경이 비트스트림에 거의 포함되어 있기 때문에, 영상에 대한 위조를 진행한 후 이를 동일한 압축 환경에서 재압축하는 것은 매우 자연스러운 일이 된다. 하지만, 이렇게 이중 압축된 영상의 흔적을 찾는 것은 QP나 GOP 크기가 변하는 등의 다른 압축 환경에서 이중 압축을 찾는 것과 비교하여 매우 어려운 일로 여겨지고 있다 [20]-[23].

먼저, 앞서 언급한 JPEG기반 동일 압축 환경에서 압축된 영상에 대한 검출방식을 기반으로 [3], Huang 등은 MPEG-2의 화면내 압축된 프레임에서의 DCT 계수의 변화를 측정하는 방식을 제안하였다 [20]. 이 방식에서는 입력 영상과 이를 한번 압축한 영상 간의 서로 상이한 DCT 계수의 개수를 계산하고 이를 라고 한다. 마찬가지로, 입력 영상과 이를 두번 압축한 영상 간의 서로 상이한 DCT 계수의 개수를

계산하고 이를 라고 한다. 이들 값을 바탕으로 입력 영상에 대한 이중 압축 여부는 아래와 같이 결정된다.

$$\begin{cases} \text{입력 영상은 한번 압축되었다. if } D'' \leq D' \\ \text{입력 영상은 이중 압축되었다. if } D'' > D' \end{cases}$$

여기서 적용된 아이디어를 기반으로 다중 압축 과정에서 일어나는 화질저하를 분석하는 방식을 MPEG-2와 H.264/AVC에 적용한 기술이 소개되었다 [21]. MPEG-2 적용시에는, 먼저 각각의 매크로블록(MB)에서 MB 타입 (M_{type})과 모션 벡터 (M_{mv})의 정보를 매크로블록 모드 (Macroblock mode, MBM)로 정의하였다. 여기서 $M_{type} \in \{\text{intra_4} \times 4, \text{intra_16} \times 16, \text{P_Skip}, \text{inter_8} \times 8, \text{inter_16} \times 16, \text{inter_8} \times 16, \text{inter_16} \times 8\}$ 중 한 가지가 되며, $M_{mv} \in \{M_{mv1}, M_{mv2}, \dots, M_{mv16}\}$ 중 한 가지가 된다. 각 매크로 블록마다 여러 번 압축을 하여 I-프레임의 모든 MBM을 기록한 이후, n 번과 $n+1$ 번 압축이 진행되었 때 각각의 MBM이 변하는지를 안정도 (Stability) 지표를 이용하여 아래의 식으로 측정하였다.

$$\text{Stability} = \begin{cases} 1 & \text{if } MBM_1(M_{type}, M_{mv}) = MBM_2(M_{type}, M_{mv}) \\ 0 & \text{if } MBM_1(M_{type}, M_{mv}) \neq MBM_2(M_{type}, M_{mv}) \end{cases}$$

이와 유사하게 H.264/AVC에서는 $M_{type} \in \{\text{intra_4} \times 4, \text{intra_16} \times 16\}$ 과, 예측 방향 모드를 나타내는 정보인 $M_{pre} \in \{\text{Vertical, Horizontal, DC, Plane, Diagonal-Down-Left, Diagonal-Down-Right, Vertical-Right, Horizontal-Down, Vertical-Left, Horizontal-UP}\}$ 를 이용하여 다음과 같이 안

정도를 구하게 된다.

$$\text{Stability} = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{MBM}_1(M_{\text{type}}, M_{\text{pre}}) = \text{MBM}_2(M_{\text{type}}, M_{\text{pre}}) \\ 0 & \text{if } \text{MBM}_1(M_{\text{type}}, M_{\text{pre}}) \neq \text{MBM}_2(M_{\text{type}}, M_{\text{pre}}) \end{cases}$$

이 기술들은 동일 압축 환경에서의 HEVC의 이중 압축을 검출하는 기술로 확장될 수 있다. [22]에서는 PU 정보를 바탕으로 $\text{PU}_{\text{type}} \in \{4 \times 4, 8 \times 8, 16 \times 16, 32 \times 32\}$ 과 32가지의 예측 방향을 기반으로 한 $\text{PU}_{\text{pre}} \{a_i; i = 0, 1, \dots, 34\}$ 를 사용하는 방식을 제안하였다.

IV. 제안 알고리즘

앞서 언급한 기술에서는 PU 타입이나 모션 벡터, 그리고 압축 모드 등을 이용하여 각 유닛들의 안정도를 측정하고 이를 많이 사용하는 기계 학습 기술을 이용하여 분류하는 방법으로 이중 압축을 검출하는 방식을 이용하고 있다. 본 논문에서는 이와는 다르게 HEVC의 유닛의 분할 정보를 이용하는 방식, 그리고 이를 바탕으로 딥 러닝 기반한 특징을 추출하는 방식으로 접근하고자 한다.

앞선 기존 기술들로부터 영감을 얻어, 제안하는 기술에서는 HEVC의 유닛 중에서 CU와 TU의 분할정보를 이용하는 방식을 제안한다. 다중 압축 과정에서 이러한 분할정보의 변화를 분석하고, 이를 바탕으로 통계적인 혹은 딥러닝 기반의 특징을 추출하는 방식을 제안한다. 최종적으로는 추출된 특징들이 통합되어 softmax 단을 통해서 이중 압축 여부를 결정하게 된다. 보다 상세한 제안기술은 아래 절에서 기술하고 있다.

1. 분할 정보를 이용한 특징 추출

제안 방식에서는 HEVC이 두가지 핵심 유닛인 CU와 TU의 분할 정보로부터 2차원의 통계적 특징벡터와 62차원의 딥러닝 기반의 특징벡터를 추출한다. 이러한 특징 추출을 위해, 먼저 입력으로 들어온 압축된 비트스트림을 복호화 하면 과정에서 CU와 TU의 분할 정보가 추출된다.

그리고 나서, 복호화 된 영상을 다시 압축하는 재압축 과정을 진행하고, 이 과정에서 다시한번 CU와 TU의 분할 정보를 얻게 된다. 제안 방식에서는 이렇게 얻은 분할 정보를 서로 비교함으로써 영상의 이중 압축 여부를 결정하는 기술을 제안하고자 한다. 이 과정에서 분할 정보를 기존과 같이 서로 일치하는지 여부를 비교하는 것이 아니라, 실제 어느정도 유사한지를 판단하기 위해, 보다 soft-decision과 같은 방식으로 얻고자 분할정보를 수치화하는 작업을 진행한다. 이는 간단하게 많이 분할된 영역이 그림 1(b)와 같이 큰 깊이 값을 가지고, 적게 분할된 영역은 작은 깊이 값을 가지도록 할당하여 깊이 맵을 만들어 이를 수치화 하였다.

이렇게 수치화 하는 과정을 거친 후, 재압축 전과 후의 CU와 TU의 깊이 맵들의 차이를 구한 차분 맵을 가지고 특징을 추출하는 과정을 진행한다. 먼저 통계적 특징으로서 차분 맵의 평균과 분산을 특징으로 설정하였으며, 딥러닝 네트워크를 기반으로 차분 맵에서 62차원의 특징을 추가로 추출하였다. 최종적으로는 각각의 CU와 TU의 차분 맵으로부터 64차원의 특징벡터를, 총 128차원의 특징벡터를 추출하게 된다.

위 과정에 대한 상세한 각각의 과정은 아래와 같다:

- 1) 입력 비트스트림, V_1 이 입력으로 주어진다.
- 2) V_1 을 복호화하고, 이 과정에서 CU와 TU의 분할정보를 추출한다.
- 3) 분할정보로부터 CU와 TU의 깊이 맵, D_1 을 얻는다.
- 4) 복호화된 V_1 영상을 동일한 압축 환경으로 재압축하여 V_2 를 얻고, 이 과정에서 CU와 TU의 깊이 맵, D_2 을 얻는다.
- 5) D_1 과 D_2 의 차이를 구하여 차분 맵을 얻는다.
- 6) 5)에서 구해진 차분 맵으로부터 통계적 특징과 딥러닝 네트워크의 특징벡터를 얻는다.

이와 같이 제안 방식은 크게 두가지 과정으로 이루어져 있는데, 첫번째 과정에서는 CU와 TU의 분할정보로부터 차분 깊이 맵을 얻는 과정, 그리고 두번째는 차분 맵으로부터 각각의 특징벡터를 추출하는 과정이다. 아래 그림 3에서 제안 시스템의 개략도를 보여주고 있다.

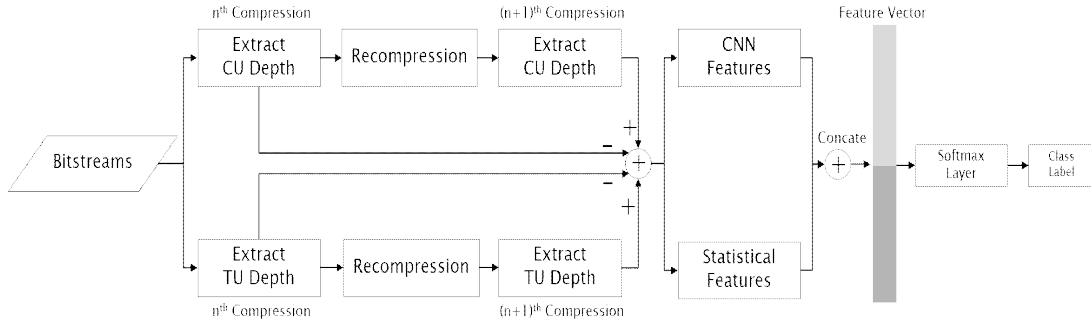


그림 3. 제안 시스템 개략도

Fig. 3. The overall framework of the proposed system

2. 특징 추출을 위한 딥 컨볼루션 네트워크

딥러닝 기술은 최근 물체 인식, 분류 등의 다양한 영상 및 비전 분야에서 높은 성능을 보여주고 있다. 제안 방식에서는 이에 맞추어 [5]에서와 같이 딥러닝 기반의 특징 추출 기술을 채택하였다. 제안 방식에서는 아래 그림 4과 같이 8개의 컨볼루션 층과 1개의 fully connected (FC) 층을 사용하여 CU와 TU에서 62차원 특징벡터를 추출하도록 설계하였다. 세부적으로는, 첫번째의 컨볼루션 층에서는 7×7 크기의 커널을 사용하여 16개의 채널을 출력하도록 하였고, Rectified Linear Unit (RELU)과 최대 풀링 방식을 이용하였으며, 나머지 6개의 컨볼루션 층에서는 3×3 크기의 커널이 적용되었다. 이들 중간에 그림 4에서의 붉은색 박스와 같은 transition 층이 삽입되었는데, 여기서는 배치 정규화, RELU, 컨볼루션, 그리고 평균 풀링 기술이 적용되었다. 마지막 컨볼루션 층에서는 전역 평균 풀링 (Global Average Pooling) 기술을 적용하여 특징이 1차원 벡터의 형태를 가

지도록 하였고 FC를 이용하여 1차원 형태의 특징을 분류하였다. 학습을 위한 비용함수의 경우에는 아래 (1)과 같은 교차 엔트로피 손실함수를 이용하였다.

$$\text{Loss} = -\sum_{c=1}^N y_c \log(p_c) \quad (1)$$

여기서 N 은 전체의 분류 개수이며 본 논문에서는 이중압축 여부를 분류하므로 $N=2$ 가 된다. $y_c \in \{0,1\}$ 은 예측 값에 대한 참/거짓의 이진 분류 값을 나타내고, p_c 는 예측 값에 대한 예측확률을 의미한다.

V. 실험 결과

1. 실험 조건

제안 방식에 대한 정확한 성능 평가를 위하여, YUV

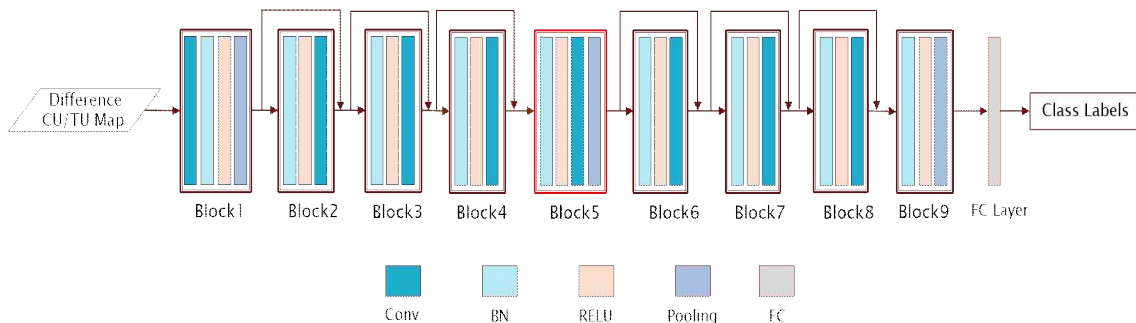


그림 4. DCNN 구조

Fig. 4. The DCNN structure

(4:2:0) 포맷의 28개의 HD (1920×1080)의 영상과, 28개의 WVGA (832×480) 영상을 사용하였다. 각각의 영상은 225장의 프레임을 포함한다^[24]. 각각의 28개의 영상을 23개의 학습 세트와 5개의 테스트 세트로 분리하여 실험을 진행하였다. 모든 실험 영상은 실험을 위해서 여러 번 압축을 진행하였으며, 압축은 모두 같은 환경에서 진행되었다. 실험은 HM16.7 표준 소프트웨어에서 저지연 P모드, GOP 크기는 8을 사용하였고, 보다 상세한 실험조건은 아래 표 1과 같다.

표 1. HEVC 실험 조건

Table 1. HEVC configuration settings

Configuration parameters	Values
Number of frames to be coded	225
Intra-period	8
GOP size	8
QPs	20, 24, 28, 32
GOP structure	I-P-P-P-P-P-P-P

이중 압축 검출에 대한 평가는 정확도를 기반으로 평가를 진행하였다. 이는 한번 압축된 영상에 대한 negative 판단 (True Negative, TN)과, 이중 압축된 영상에 대한 positive 판단 (True Positive, TP)의 수를 세어서 판단하였다. 이에 대한 정확한 수식은 아래와 같다:

$$\text{정확도(\%)} = \frac{TP + TN}{\text{Total Observation}} \times 100$$

여기서 total observation은 실험에 사용된 전체 positive 및 negative 샘플의 개수를 의미한다.

2. 성능 평가

검출 성능에 대한 평가는 각각의 QP ∈ {20, 24, 28, 32}에 대해서 각각 평가를 진행하였다. 우선, WVGA 영상에 대한 통계적 특징 및 DCNN 특징, 그리고 이 둘을 함께 적용한 특징에 대한 검출 성능을 아래 표 2에서와 같이 비교하였다.

표 2. WVGA 영상에 대한 검출 정확도

Table 2. Detection accuracies for WVGA sequences

QP	Traning dataset	Test dataset		
		Statistical features	DCNN features	Concatenated features
20	92.14	75.83	77.14	77.50
24	95.48	77.92	81.07	83.93
28	96.07	83.33	89.64	92.50
32	97.15	86.67	94.07	95.86
Avg.	94.64	80.94	85.48	87.45

표 2의 결과에서 보는 바와 같이, DCNN 특징으로 검출을 진행한 결과가 85.48%의 정확도를 가지면서 통계적 특징의 80.94%보다 비교 우위에 있음을 확인할 수 있다. 또한, 두 특징을 동시에 사용하는 경우 정확도 값이 87.45%까지 올라가며, 이는 모든 QP에서 공통적으로 보여지고 있는 것으로 보여지고 있다. 위와 유사한 실험을 HD 영상에 적용한 결과가 아래 표 3에 보여지고 있다.

표 3. HD 영상에 대한 검출 정확도

Table 3. Detection accuracies for HD sequences

QP	Traning dataset	Test dataset		
		Statistical features	DCNN features	Concatenated features
20	93.42	76.47	74.28	75.34
24	93.92	80.71	79.64	83.90
28	95.71	80.36	78.94	86.43
32	95.62	82.14	81.79	90.71
Avg.	94.52	79.92	78.66	84.10

HD 영상의 경우에는 통계적 특징이 DCNN보다 평균적으로 조금 더 높은 정확도를 보여주고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 두 특징을 모두 사용하는 경우 WVGA의 경우보다 더욱 성능향상이 되고 있음을 확인할 수 있다. 이는, HD 영상의 경우와 같이 보다 큰 크기의 차분 맵을 특징짓기 위해서는 보다 다양한 특징이 필요한 것으로 분석된다.

마지막으로 제안 네트워크의 복잡도는 아래와 같이 WVGA 영상에서는 3ms 이하, HD 영상에서도 13ms 이하

로 측정되어 실시간 영상 검증이 가능한 수준으로 측정되었다.

표 4. 복잡도 (프레임/초)

Table 4. Time complexity (Frame/sec)

WVGA Seq.	HD Seq.
2.7×10 ⁻³	12.5×10 ⁻³

VI. 결 론

이 논문에서는 동일한 압축 환경에서 HEVC로 이중 압축된 영상을 검출하기 위한 새로운 방법을 제시하고 있다. 제안 방식에서는 CU와 TU의 분할 정보를 기반으로 판단을 진행하는데, 다중 압축 과정에서 일어나는 변화를 측정하기 위하여 분할 정보를 깊이 맵 형태로 변환하고, 이들의 변화량을 수치화 한 깊이 차분 맵을 이용하여 통계적 그리고 DCNN 특징을 추출하는 방식을 제안하였다. 이는 기존의 다중 압축 과정에서 각 블록의 안정도를 측정하는 방식을 보다 개선하여 분할 정보만을 가지고 빠르고 정확하게 이중 압축 여부를 판단할 수 있는 방식이다. 실험 결과를 통해서 제안하는 방식이 HEVC의 이중 압축을 판단하는데 평균 85% 정도의 정확도를 보여주고 있음을 확인할 수 있다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] J. H. Hong, Y. Yang, and B.T. Oh. "Detection of frame deletion in HEVC-coded video in the compressed domain." *Digital Investigation*, 2019.
- [2] 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, 1-18, 2012.
- [3] F. Huang, J. Huang, and Y. Q. Shi. "Detecting double JPEG compression with the same quantization matrix." *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 5(4), 848-856, 2010.
- [4] J. Yang, J. Xie, G. Zhu, S. Kwong, and Y. Q. Shi. "An effective method for detecting double JPEG compression with the same quantization matrix." *IEEE Transactions on Information Forensics and Security*, 9(11), 1933-1942, 2014.
- [5] X. Huang, S. Wang, and G. Liu. "Detecting double JPEG compression with same quantization matrix based on dense CNN feature." *25th IEEE International Conference on Image Processing (ICIP)*, 3813-3817, 2018.
- [6] P. Peng, T. Sun, X. Jiang, K. Xu, B. Liu, and Y. Q. Shi. "Detection of double JPEG compression with the same quantization matrix based on convolutional neural networks." *IEEE Asia-Pacific Signal and Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC)*, 717-721, 2018.
- [7] T. Sun, W. Wang, and X. Jiang. "Exposing video forgeries by detecting MPEG double compression." *IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing (ICASSP)*, 1389-1392, 2012.
- [8] J. A. Aghamaleki, and A. Behrad. "Detecting double compressed MPEG videos with the same quantization matrix and synchronized group of pictures structure." *Journal of Electronic Imaging*, 27(1), 013031, 2018.
- [9] X. Jiang, W. Wang, T. Sun, Y. Q. 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.
- [10] H. Liu, S. Li, and S. Bian. "Detecting frame deletion in H. 264 video." *International Conference on Information Security Practice and Experience, Springer*, 262-270, 2014.
- [11] H. Yao, S. Song, C. Qin, Z. Tang, and X. Liu. "Detection of double-compressed H.264/AVC video incorporating the features of the string of data bits and skip macroblocks." *Symmetry*, 9(12), 313, 2017.
- [12] D. Liao, R. Yang, H. Liu, J. Li, and J. Huang. "Double H. 264/AVC compression detection using quantized nonzero AC coefficients." *Media Watermarking, Security, and Forensics III, International Society for Optics and Photonics*, 7880, 78800Q, 2011.
- [13] Q. Xu, T. Sun, X. Jiang, and Y. Dong. "HEVC double compression detection based on SN-PUPM feature." *International Workshop on Digital Watermarking, Springer, Cham*, 3-17, 2017.
- [14] Q. Li, R. Wang, and D. Xu. "Detection of double compression in HEVC videos based on TU size and quantized DCT coefficients." *IET Information Security*, 13(1), 1-6, 2018.
- [15] L. Yu, Y. Yang, Z. Li, Z. Zhang, and G. Cao. "HEVC double compression detection under different bitrates based on TU partition type." *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2019(1), 67, 2019.
- [16] M. Huang, R. Wang, J. Xu, D. Xu, and Q. Li. "Detection of double compression for HEVC videos based on the co-occurrence matrix of DCT coefficients." *International Workshop on Digital Watermarking. Springer, Cham*, 9569, 61-71, 2015.
- [17] Z. H. Li, R. S. Jia, Z. Z. Zhang, X. Y. Liang, and J. W. Wang. "Double HEVC compression detection with different bitrates based on co-occurrence matrix of PU types and DCT coefficients." *ITM Web of Conferences, EDP Sciences*, 12, 01020, 2017.
- [18] X. Jiang, P. He, T. Sun, and R. Wang. "Detection of double compressed HEVC videos using GOP-based PU type statistics." *IEEE Access*, 7, 95352-95363, 2019.
- [19] I. K. Kim, J. Min, T. Lee, W. J. Han, and J. H. Park. "Block partitioning structure in the HEVC standard." *IEEE transactions on circuits and systems for video technology*, 22(12), 1697-1706, 2012.

- [20] Z. Huang, F. Huang, and J. Huang. "Detection of double compression with the same bit rate in MPEG-2 videos." IEEE China Summit & International Conference on Signal and Information Processing (ChinaSIP), 306-309, 2014.
- [21] X. Jiang, P. He, T. Sun, F. Xie, and S. Wang. "Detection of double compression with the same coding parameters based on quality degradation mechanism analysis." IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 13(1), 170-185, 2018.
- [22] X. Jiang, Q. Xu, T. Sun, B. Li, and P. He. "Detection of HEVC double compression with the same coding parameters based on analysis of intra coding quality degradation process." IEEE Transactions on Information Forensics and Security, 2019.
- [23] A. A. Elrowayati, M. F. L. Abdullah, A. A. Manaf, and A. S. Alfagi. "Tampering detection of double-compression with the same quantization parameter in HEVC video streams." 7th IEEE International Conference on Control System, Computing and Engineering (ICCSCE), 174-179, 2017.
- [24] ftp://ftp.ivc.polytech.univ-nantes.fr/IRCCyN_IVC_1080i_Database/1080i_Videos

저 자 소 개



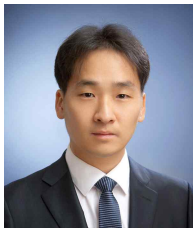
우 딴 쿠틀

- 2011년 1월 ~ 2017년 7월 : Univ. of Chittagong, Dept. of Computer Science and Engineering
- 2018년 10월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 석사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4365-682X>
- 주관심분야 : 비디오 압축, 머신러닝, 비디오 포렌직



양 윤 모

- 2015년 2월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학 학사
- 2017년 2월 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 석사
- 2017년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 박사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-2816-1685>
- 주관심분야 : 영상처리, 머신러닝, 비디오 포렌직



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 : <https://orcid.org/0000-0003-1437-2422>
- 주관심분야 : 영상처리, 비디오압축, 영상포렌식, 3차원영상