

멀티코어 기반 실시간 포렌식마킹 방법

윤 창 섭*, 전 재 현*, 김 승 호**, 김 대 수°

Real-Time Forensic Marking Method Based on Multi-Core

Chang-seob Yun*, Jae-hyun Jun*, Sung-ho Kim*, Dae-soo Kim°

요 약

본 논문은 HEVC/MPEG-H Part.2(H.265) 표준 기반 실시간 포렌식마킹 기술을 제안한다. 제안하는 포렌식마킹 기술은 HEVC 표준 기반의 인코딩된 영상을 입력으로 받아 Entropy Coding(CABAC)을 이용하여 부호화된 비트스트림을 디코딩하여 QTC(Quantized Transform Coefficients)에 접근 후 마크를 삽입할 계수를 선택하고 마크 비트스트링의 n-bits 와 키 기반의 의사난수 n-bits 를 XOR 연산을 이용하여 마크를 삽입한다. 제안하는 방법은 HEVC 전체과정에 대한 디코딩과 재인코딩 과정 없이 CABAC 디코딩과 재인코딩만을 하고, QTC 영역에서 접근하여 고속 비트 연산을 통한 복원 가능한 포렌식마킹 기술이다. 기존 연구와 비교 실험한 결과 PSNR은 고화질로 갈수록 높은 수치를 보이며 2K(1440p)에서 약 30dB 차이를 보였다. 삽입 속도는 저화질(720p)에서 27배, 고화질(1440p)에서 9배의 성능 차이를 보였다.

키워드 : HEVC, 포렌식마킹, 워터마킹, 실감형 콘텐츠, 실시간 스트리밍

Key Words : HEVC, Forensicmarking, Watermarking, Immersive contents, Real-time streaming

ABSTRACT

This paper proposes a real-time forensicmarking technique based on the HEVC / MPEG-H Part.2(H.265). The proposed forensicmarking technology receives encoded video based on the HEVC, decodes the encoded bitstream using Entropy Coding(CABAC), approaches QTC(Quantized Transform Coefficients), selects the coefficient to insert the mark, and insert the mark using the XOR operation on the n-bits of the mark bitstring and the pseudo-random n-bits based on the key. The proposed method is forensicmarking technique that CABAC decoding and re-encoding without HEVC decoding and re-encoding process, and recover forensicmark by fast bit operation accessing from QTC domain. As a result of comparing with previous studies, PSNR showed higher value with higher quality and about 30dB difference at 2K (1440p). The insertion speed was 27 times for low quality (720p) and 9 times for high quality (1440p).

I. 서 론

HEVC(High Efficiency Video Coding)는 2013년 4월 국제표준화기구(ISO: International Organization

for Standardization) 및 국제전기기술위원회(IEC: International Electrotechnical Commission)의 MPEG(Moving Picture Experts Group)과 ITU-T의 VCEG에 의한 JCT-VC(Joint Collaborative Team on

* 본 연구는 문화체육관광부 및 한국저작권위원회의 2018년도 저작권기술개발사업(2018-F_DRM-9500)의 연구결과로 수행되었습니다.

• First Author : Wookyoung Information Technology Ltd., csyoon@wkit.co.kr, 정희원

° Corresponding Author : Wookyoung Information Technology Ltd., dskim@wkit.co.kr

* Wookyoung Information Technology Ltd., jhjun@wkit.co.kr

** School of Computer Science Engineering Kyungpook National University, shkim@knu.ac.kr, 정희원

논문번호 : 201911-287-A-RE, Received November 6, 2019; Revised December 4, 2019; Accepted December 5, 2019

Video Coding) 연구 개발됨에 의해 제안되어 국가 표준(International Standard)으로 승인됨에 따라, 전 세계적으로 HEVC 기술을 상용화하기 위한 노력이 시작되었으며, HEVC 소프트웨어 코덱뿐 아니라 SoC(System on Chip) 기반 하드웨어 코덱 연구개발이 진행되고 있다. HEVC 또는 H.265는 성능 향상을 위해 설계된 H.264(AVC: Advanced Video Coding)의 후속 표준 기술로 병렬 프로세싱을 제공하고 약 5배의 높은 압축 성능을 보인다^{1,2}.

한편, 디지털 기술의 발달로 콘텐츠는 제작, 수정, 복제, 배포되는 방식이 근본적으로 변화되고 있다. 가장 큰 변화는 인터넷을 통한 콘텐츠 전달에 있는데 인터넷의 엄청난 성장과 인터넷을 이용한 콘텐츠의 활용이 증가함에 따라 콘텐츠 유통방식이 빠르게 변화하고 있다. 또한 내용의 손실 없이 대량 복제도 가능해졌다. 저작권자는 자신의 저작물을 이용하여 이익을 얻을 수 있는 기회가 확대된 반면에 저작물이 부당하게 이용되거나 불법 복제 및 유통의 가능성이 이슈가 되고 있다³. 이러한 저작권자의 이익을 침해하는 사례가 크게 확산됨에 따라 불법콘텐츠를 제어하기 위한 기술 중 하나로 등장한 것이 워터마크 또는 포렌식마크 기술이다. 워터마크(Watermark) 기술은 콘텐츠에 사람이 인지할 수 없는 소유권자의 저작권 정보를 워터마크로 삽입하고, 검출기를 통해 소유권을 주장할 수 있게 하는 기술이고 포렌식마크(Forensicmark) 기술은 워터마크 기술에 구매자 정보 및 유통경로, 사용자 정보 등을 삽입하여 유포자와 배포경로를 추적할 수 있는 기술이다⁴. 최근 저작권 보호 연차보고서에 따르면 방송과 영화 등의 영상 콘텐츠의 침해 규모가 전체 침해의 절반 이상을 차지한다⁵. 특히 국내에서는 SK브로드밴드가 8K UHD(Ultra High Definition) 대용량 영상을 실시간으로 IPTV로 전송하는 기술을 개발하였고 2018년 평창 동계 올림픽에서 VR(Virtual Reality) 생중계 기술을 선보였듯이 스트리밍 서비스가 활성화되어있어 UHD 콘텐츠 저작권 보호 기술이 필수적이다. 하지만 고화질 콘텐츠에 워터마크 및 포렌식마크를 삽입할 경우 영상의 왜곡 발생과 삽입 또는 추출 프로세스의 속도 저하가 문제가 된다. 유럽 방송 표준화 기구(DVB: Digital Video Broadcasting)에서 VR 방송을 할 때 신체의, 감각적 불편함을 없애기 위해서는 8K 이상의 고화질과 최소 90 FPS(Frames Per Second)에서 최대 120 FPS의 지원을 고려한다고 발표하였으나, 현재 제공되는 저작권 보호 기술은 최대 60FPS와 4K 까지만 지원가능한 상황이라 그 이상의 품질을 가진 콘텐츠에 적용하기에는 한계

를 가지고 있다⁶. 이러한 한계를 극복하고자 연구된 기존의 HEVC 워터마킹 기술들은 다양하게 존재한다⁷⁻¹¹. 그 중 Swati 등은 워터 마크가 인코딩된 영상의 0이 아닌 QTC(Quantized Transform Coefficients)의 LSB(Least Significant Bit)에 삽입되는 Fragile 워터마킹 기법을 제안했고⁷ Ogawa 등은 영상의 인코딩 단계에서 정보를 포함하는 HEVC(H.265) 비디오 스트림을 위한 워터마킹 방법을 제안하였다⁸. 국내에서는 HEVC 기반의 디지털 워터마킹을 위한 인트라 예측의 분석을 통해 인트라 프레임에서의 예측모드의 변화를 분석하고 나타내는 경향성의 분석을 통해 변화하지 않는 블록을 찾는 알고리즘을 제안하여 예측블록(PU) 단위를 이용한 워터마킹 삽입 기술의 가능성에 대한 연구가 진행되었다⁹. 하지만 이러한 연구들 모두 인코딩 과정에서 워터마크 또는 포렌식마크가 삽입되어 인코딩된 콘텐츠에 마크를 삽입하기 위해서는 전체과정에 대한 디코딩과 재인코딩 과정이 소요되어 대용량 고화질의 콘텐츠에 저작권보호를 실시간으로 제공하기 어려운 상황이다.

본 논문에서는 4K와 8K를 지원하는 고화질 실감형 콘텐츠의 포렌식마킹 기술을 제안한다. HEVC에서는 이미 8K의 120FPS에 대한 레벨과 티어로 정의하였으며 콘텐츠의 발전을 준비하고 있었으나 이를 보조해주는 저작권 보호기술은 아직 4K의 60FPS에 머물러있고, 기존의 포렌식마킹 기법들에서는 정보를 삽입하는데 소요되는 시간이 길어 실시간 서비스와 같은 응용에 적용하기에는 분명한 한계가 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해 제안하는 방법은 전체과정에 대한 디코딩과 재인코딩 과정 없이 고속비트 전송을 이용하여 원본콘텐츠를 복원 가능한 포렌식마킹 기법으로 인코딩 된 영상을 입력으로 받아 Entropy Coding(CABAC: Context-Adaptive Binary Arithmetic Coding)을 이용하여 부호화된 비트스트림을 디코딩하여 QTC에 접근한다. 마크를 삽입할 계수를 선택하고 마크 비트스트링의 n-bits와 키 기반의 의사난수 n-bits를 XOR 연산을 이용하여 마크를 삽입한다. 모든 CU(Coding Unit)에 삽입이 완료되면 다시 CABAC을 이용하여 복호화를 한다. 또한 HEVC의 CABAC은 높은 수준의 병렬처리를 용이하게 하기 위해 두 개의 병렬 도구인 Tile과 WPP(Wavefront Parallel Processing)가 제공되는데 멀티코어(GPU) 기반으로 WPP와 Tile 구조를 통한 병렬처리 기술을 적용할 경우 대용량 고화질 실감형 콘텐츠를 실시간 포렌식마킹 적용이 가능해진다.

II. 관련 연구

2.1 HEVC/MPEG-H Part.2(h265)

JCT-VC에서 2013년에 표준화를 시작으로 현재 Level 6.2인 8K 128FPS까지 표준화된 HEVC는 거의 모든 방송업계에서 초고해상도 영상 콘텐츠에 필수적으로 사용하고 있다.

그림 1에서 보는 바와 같이 HEVC의 인코딩 과정은 Prediction, Quantization, Entropy coding의 세 가지 과정으로 분류된다.

(1) Prediction: HEVC 인코더의 입력으로 한 장의 정지 영상이 들어가는데 이때 영상은 블록단위로 분할이 된다. 처음 분할에는 CTU(Coding Tree Unit)단위를 갖고 다시 CU(Coding Unit)단위로 분할된다. 하나의 CU에 대해서 화면 간 예측 또는 화면 내 예측을 선택하여 예측 값을 생성한다. 화면 내 예측은 공간적인 복원만을 참조하여 DPCM (Differential Pulse Code Modulation)을 적용합니다. 화면 간 예측은 time domain을 기반으로 프레임간의 움직임 추정 및 움직임 보상 정보를 차분신호(Residual)로 계산한다 [12].

(2) Quantization: 사람의 눈에 보이지 않는 고주파 정보를 버리는 과정이다. 예측과정에서 생성된 차분신호를 DCT(Discrete Cosine Transform) 적용하여 고주파와 저주파가 구분될 수 있도록 한다 [13]. 변환이 끝난 신호는 Psycho-visual model을 기반으로 양자화가 진행된다 [14]. 이때 사용되는 윌-왜곡 최적화 모델은 수식 (1)과 같다.

$$D_p(model, QP_{percept}) + \lambda(model, QP_{percept})R(model, QP_{percept}) \quad (1)$$

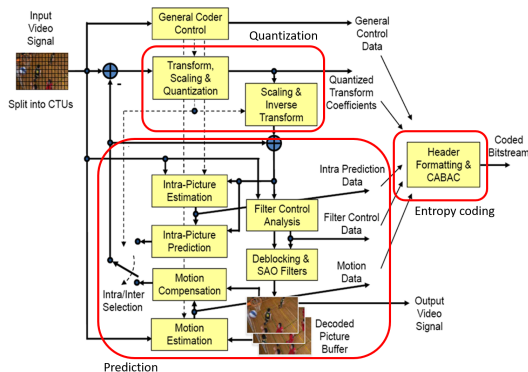


그림 1. HEVC 블록 다이어그램[2]
Fig. 1. Block diagram of HEVC[2]

수식 (1)에서 QP(Quantization Parameter)는 0 ~ 51까지의 정수 값을 사용하며 코덱의 구현관점에서 실수 값에 대한 접근 또는 나눗셈 방지를 위해 양자화를 사용하는 대신에 QP를 사용한다 [2].

(3) Entropy coding: HEVC 인코딩 과정의 마지막 단계이며 lossless 코딩이다. 신택스의 심볼의 발생 확률을 고려하여 자주 나타나는 심볼은 짧은 비트를 그렇지 않은 심볼은 긴 비트를 할당하여 데이터양을 줄일 수 있다 [2].

HEVC에는 Entropy coding으로 그림 2와 같이 Arithmetic coding을 이용한 CABAC을 사용한다. CABAC 과정을 보면 입력된 신택스 요소들은 이진화를 통해 0과 1로 이루어진 Bin string이 되고 정규 코딩과 우회 코딩으로 나누어 처리가 된다. 정규 코딩은 문맥 모델링을 사용하여 Bin의 발생 확률을 예측하기 위해 특정 신택스 요소에 대해 Bypass 처리를 하는 단순 코딩이다. 그림 3은 CABAC 복호화 과정을 나타내는 것이며 입력으로 비트스트림을 받아 부호화 과정과 동일한 정규 코딩 또는 우회 코딩 과정을 거쳐 Bin string을 생성한다. 생성된 Bin string은 역이진화 과정을 통해 신택스 요소로 변환된다 [15].

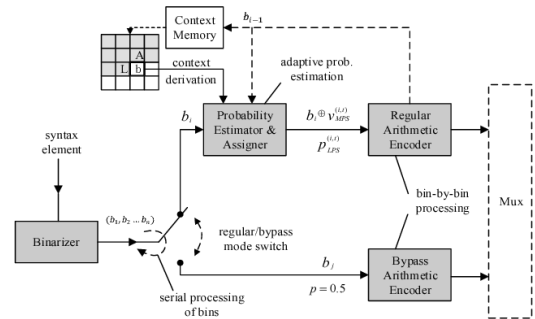


그림 2. CABAC 부호화 블록도[15]
Fig. 2. Block diagram of CABAC encoder[15]

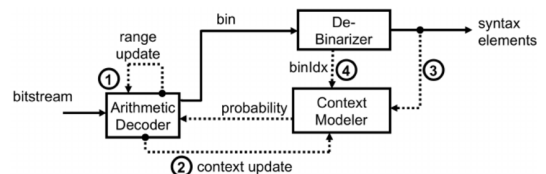


그림 3. CABAC 복호화 블록도[15]
Fig. 3. Block diagram of CABAC decoder[15]

III. 제안하는 포렌식마크 삽입/추출 기법

본 논문에서 제안하는 시스템은 고화질 콘텐츠에 저작권보호기술 실시간적 구현을 목표로 하며 그림 4와 같은 체계로 동작한다. 포렌식마크 삽입 전에 콘텐츠 등록을 하여 CABAC에 필요한 전처리 정보를 스토리지 서버에 저장한다. 포렌식마크의 삽입은 멀티코어(GPU) 기반으로 병렬로 처리되며 삽입된 포렌식마크는 추출과 위조 또는 변조 검사를 위해 포렌식마크 관리서버에 저장된다. 포렌식마크는 대체로 이미지, 동영상, 음악파일 등의 콘텐츠를 보호하기 위해 쓰이며 여기에는 권리자 정보, 사업자 정보, 구매자 정보, 업로드 시간 및 다운로드 시간 등이 해당된다. 그림 5는 제안한 시스템에서 포렌식마크 생성 알고리즘을 나타낸다.

포렌식마크 생성 기법에서 포렌식마크의 정보는 저작권정보, 구매자정보, 콘텐츠의 사용시간에 대한 정보가 해당되며 의사난수 값이 함께 결합되어 해쉬함수의 입력값을 갖는다. 해쉬함수에서 해쉬값을 생성하고, 포렌식마크는 비트스트림으로 생성된다. 의사난수 값의 경우 임의의 구간에 대해서 랜덤성이 높은 WELL PRNG를 사용하였으며 해쉬함수로는 SHA-256을 사용하였다. 포렌식마크를 생성하는데 사용된 정보와 해쉬값은 포렌식마크 관리 데이터베이스

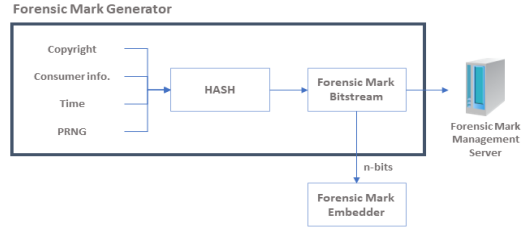


그림 5. 포렌식마크 생성 기법
Fig. 5. Forensicmark Generator

에 저장되어 포렌식마크 삽입기에서 사용된다. 포렌식마크 삽입기에서 필요로 하는 정보의 양은 n-bits로 포렌식마크 생성기에서 생성되는 포렌식마크 비트스트림에서 n-bits 만큼 포렌식마크 삽입기로 전달된다.

HEVC 인코더는 예측, 변환, 양자화, Entropy Coding이라는 일련의 과정을 통해서 입력 콘텐츠를 압축하는데 대부분 높은 압축률을 위해 B와 P 슬라이스(slice)를 사용한 Reference 프레임 구조 형태로 부호화된다. Reference 프레임은 시간축상으로 서로 연관성을 가지고 있어 인코더의 출력물인 비트스트림을 디코딩할 때 병렬처리 적용에 어려움이 있다. 때문에 그림 6과 같이 콘텐츠의 raw파일로부터 선택스 구조(Syntax structure)와 CTU 구조 등을 파싱하여 콘텐츠 파일과 파싱된 정보를 함께 스토리지 서버에 저장한다.

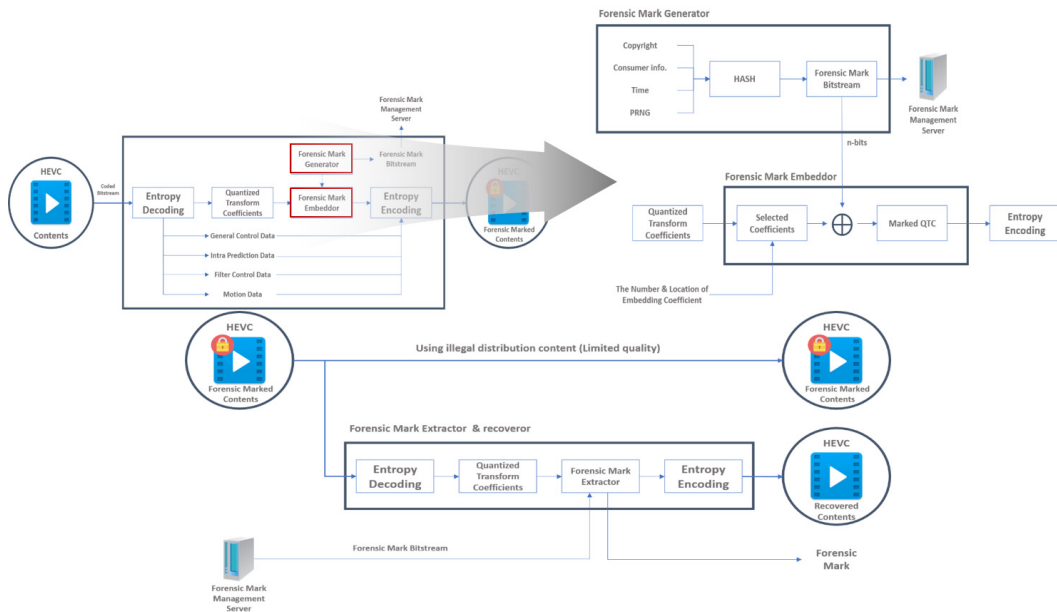


그림 4. 제안된 HEVC 기반의 포렌식마크 구조 블록도
Fig. 4. Block diagram of proposed forensicmark scheme based on HEVC

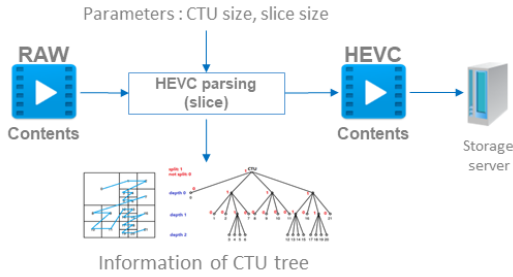


그림 6. 콘텐츠 등록 절차
Fig. 6. Contents Registration

스토리지 서버에 콘텐츠 등록이 완료되면 삽입되어 질 계수의 수와 위치 값을 정하고 포렌식마크 생성기를 통해 생성된 해쉬값에서 n-bits의 포렌식마크 비트 스트림을 전달받는다. 그림 7과 같이 CABAC 디코딩의 입력으로 콘텐츠의 신택스 요소(Syntax element) 받아 한 슬라이스의 QTC를 구한 후 QTC의 한 블록에 대해 계수의 수와 위치 값에 의해서 특정 QTC 계수가 선택된다. 선택되어진 QTC 계수와 포렌식마크 비트스트림과의 XOR 연산을 통해 포렌식마크가 적용된 QTC 계수를 획득한다. 이후 포렌식마크가 적용된 QTC와 CABAC 디코딩을 통해 획득된 다른 정보들을 CABAC 인코딩을 하여 부호화된 비트스트림을 생성한다.

포렌식마크 추출과 복원을 위해 그림 8과 같이 포렌식마크가 삽입된 HEVC 포맷의 영상을 받으면 CABAC 디코딩과정을 통해 QTC의 계수에 접근하여 전송받은 포렌식마크 비트스트림과 XOR 연산을 이용하여 원본의 QTC 계수를 복원한다. 또한 원본 QTC를 별도로 추출하면 포렌식마크가 삽입된 QTC와 XOR 연산을 통해 포렌식마크를 추출할 수 있다.

그림 9는 HEVC MP(main profile)에 포함된 병렬화 기술로 Tile과 WPP기술 과정을 나타낸다. WPP는 슬라이스 단위로 병렬처리를 수행하고 각 슬라이스에 대한 의존성이 있다. 슬라이스 및 타일과 비교할 때

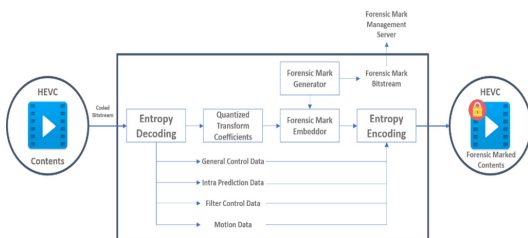


그림 7. 포렌식마크 삽입 기법
Fig. 7. Forensicmark Insertion

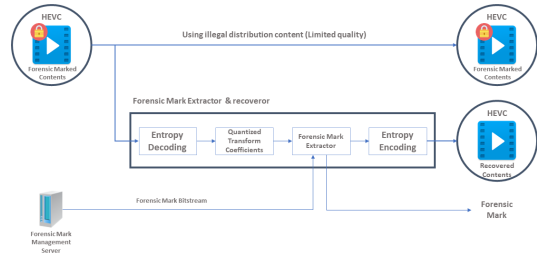


그림 8. 포렌식마크 추출과 복원 기법
Fig. 8. Forensicmark Extraction and Reconstruction

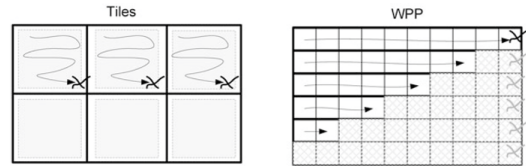


그림 9. HEVC에서 지원하는 병렬처리 기술[15]
Fig. 9. HEVC Parallelism Technology[15]

WPP는 일반 래스터 스캔 순서를 변경하지 않고 슬라이스 경계에서 코딩 종속성을 중단하지 않는다. 또한 각 슬라이스에서의 엔트로피 코딩의 컨텍스트 모델은 작은 고정 처리 지연으로 이전 행의 컨텍스트 모델에서 추론된다^[16]. Tile구조를 이용한 병렬처리 방법은 한 프레임을 직사각형의 격자로 구획을 나누어 병렬로 인코딩 또는 디코딩하는 방식이다. WPP와는 다르게 Tile간에 의존성이 없고 독립적으로 인코딩 또는 디코딩이 가능하다. 각행의 연관성이 없기 때문에 압축 성능은 WPP보다 떨어지지만 병렬처리의 성능은 타일방식이 더 우수하다^[17]. HEVC에서 두 기술은 혼합해서 사용할 수 없기 때문에 본 논문에서는 실시간 구현을 목표로 압축성은 조금떨어져도 속도 측면에 우수성이 높은 Tile방식을 적용한다. 그림 10은 Tile방식이 적용된 포렌식마킹의 전체적인 구조를 나타낸다. 콘텐츠 등록에서 CTU 구조를 파싱하여 CTU 내 타일간 의존성이 없다는 점을 고려해 멀티코어(GPU) 기반 삽입 절차 중 CABAC 디코딩의 입력으로 사용된다. 디코딩과정을 통해 인코딩된 QTC 계수의 비트연산(XOR)으로 실시간 포렌식마킹을 하고 삽입된 마크는 포렌식마크 관리 서버에 별도로 저장된다. 또한 포렌식마크에는 세션에 따른 키 기반의 의사 난수의 사용으로 보안성을 향상시켰다. 삽입이 완료된 CTU는 CABAC 인코딩을 통해 HEVC 파일로 출력된다. 기존의 제안된 연구들은 전체의 디코딩과 재인코딩과정을 거쳐야만 포렌식마크 삽입이 가능하기 때문에 고화질 영상의 실시간 방송에는 적용이 불가능

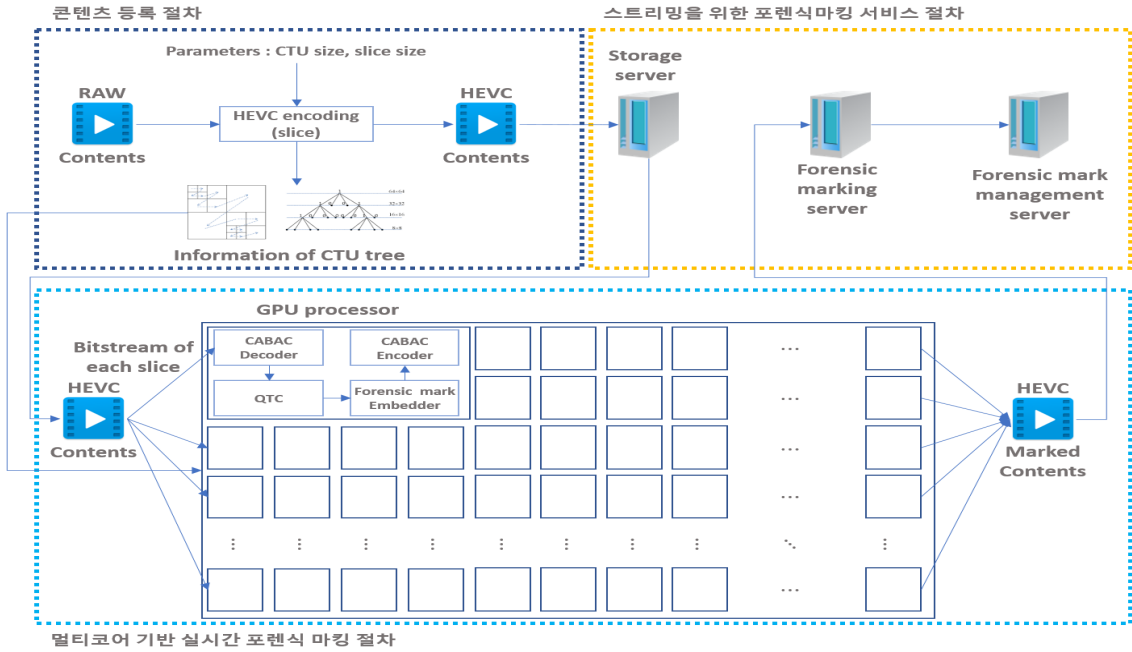


그림 10. 멀티코어 기반 실시간 포렌식마킹 절차
Fig. 10. Real-time forensicmarking based multi-core

하다. 본 논문에서 제안하는 기법은 비손실 압축 기술인 CABAC만을 사용하여 포렌식마크를 삽입하므로 처리시간을 단축시킨다. 또한 멀티코어(GPU)를 사용하여 CABAC의 병렬처리 기술인 Tile방식의 속도를 향상시켰다.

IV. 실험 결과

본 논문에서 제안한 포렌식마크의 삽입/검출 속도와 비인지성을 평가하기 위해 다양한 해상도의 영상을 대상으로 실험을 진행하였다. 제안된 기법은 HEVC 참조소프트웨어인 HM 16.20 기반으로 구현되었으며, 실험에 사용된 PC로 프로세서는 Intel(R) Core(TM) i7-7700K CPU @ 4.20GHz이고 GPU는 NVIDIA GeForce RTX 2080Ti이며, 32GB RAM의 64비트 Windows 10 Pro 운영체제를 사용하였다.

인간의 시각은 저주파수에는 민감하지만 고주파수에는 둔감하게 반응하는 성질이 있어 영상을 압축시 양자화 과정에서 프레임의 오른쪽 아래 고주파 성분은 원래의 값과 어느 정도 차이가 나더라도 잘 인식하지 못 한다^[18]. 때문에 큰 수를 사용하여 나누게 되면 대부분 0으로 됩니다. 본 실험에서는 그림 11과 같이 화질 손실을 최소화하기 위하여 삽입될 CU블록의 크기에 맞춰 삽입을 한다. 수식 (2)의 PSNR(Peak

Signal-to-noise ratio) 측정은 삽입된 영상과 원본영상의 손실 압축에서 화질 손실 정보 평가하는데 사용되었다.

$$PSNR = (10 \cdot \log_{10}(255^2 / MSE)) \quad (2)$$

여기서 MSE(Mean Square Error)는 이미지간의 차이를 정량화하는데 사용되는 값으로 원본 프레임과 삽입된 프레임 간의 픽셀 값 차이를 측정한다. 수식 (3)을 사용하여 계산할 수 있다.

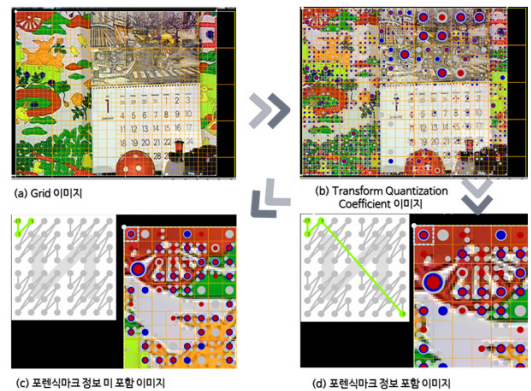


그림 11. QTC 삽입 위치
Fig. 11. QTC insertion location

표 1. 영상해상도별 포렌식마크 삽입 평균 속도와 평균 PSNR 실험결과

Table 1. Experimental result for Average FPS of forensicmark insertion and average PSNR by resolution

Resolution	Time	Frame	FPS	PSNR
7680x4320	8.815	600	68.065	60.932
3840x2160	3.372	600	177.935	56.300
2560x1440	2.245	600	267.260	75.181
1920x1080	1.348	600	445.103	67.803
1280x720	0.362	600	1657.458	58.473

MSE=

$$(1/(M \cdot N)) \cdot (\sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} (I_{(i,j)} - I'_{(i,j)})^2) \quad (3)$$

$I_{(i,j)}$ 와 $I'_{(i,j)}$ 은 크기가 $M \cdot N$ 인 원본 프레임과 삽입된 프레임의 픽셀 값이다.

표 1은 서로 다른 해상도의 마크 삽입 평균 속도와 평균 PSNR을 측정한 결과이다. HEVC의 압축시 분할되는 CTU의 크기는 16x16, 32x32, 64x64 중 하나일 수 있으며, CU의 크기는 8x8, 16x16, 32x32, 64x64 중 하나일 수 있다²¹. CTU와 CU의 크기는 영상 내에서 객체의 움직임이나 배경의 변환에 따라 불규칙적으로 분할되지만 최대는 64x64이므로 영상의 해상도가 크면 클수록 많이 분할되어진다. 본 논문에서 제안하는 방법은 CU블록의 크기에 맞춰서 하나가 삽입되므로 CU블록이 많으면 많을수록 삽입 개수도 증가한다. 따라서 해상도가 클수록 속도가 느려지는 것을 볼 수 있다. PSNR은 Y, U, V-PSNR 평균을 측정한 것으로 Y는 휘도(Luma Component)이고, U(Blue Projection)와 V(Red Projection)는 색차(Chrominance Components)를 나타낸다. 사람이 물체를 인식하는데 휘도에는 민감하지만 그 외 색차 성분에는 별로 민감하지 않다¹⁹. 때문에 압축하기 위해 서브샘플링을 할 때 휘도를 색차 보다 많이 할당함으로써 데이터를 줄이는데 감소한 데이터에 비해서 시각적인 차이는 거의 없게 됩니다²⁰. 이러한 점에서 포렌식마크를 영상에 고르게 삽입하기 위해 색차가 아닌 휘도성분 QTC에만 삽입을 하였다. 그 결과 U, V-PSNR은 0이 되고 Y-PSNR에서만 값이 나타난다.

PSNR은 통상적으로 30dB 이상인 영상을 기준으로 영상의 질을 평가하는데 그림 12에서와 같이 600 프레임에 대해 실험한 결과 모든 프레임에서 40dB 이상의 수치가 나타났다. 프레임 내의 객체 움직임이나 배경의 변환에 따라 HEVC는 CU블록이 가변적으로

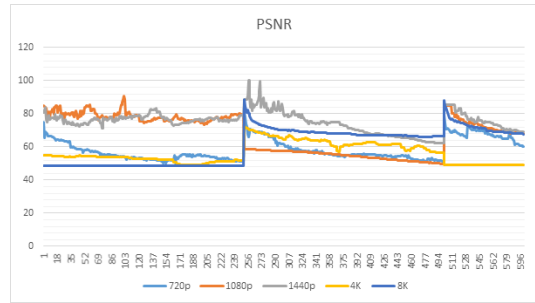


그림 12. 프레임별 PSNR 비교
Fig. 12. Comparison of PSNR per frame

분할되기 때문에 포렌식마크의 삽입량도 가변적이다. 때문에 PSNR도 40 ~ 100dB 사이의 범위를 갖는다.

그림 13은 Swati 연구팀의 시스템과 제안된 시스템 간의 PSNR 성능비교를 나타낸다. 720p에서는 약 10dB, 1080p에서는 약 20dB 차이가 나고 2K(1440p)에서는 약 30dB 차이가 난다. 해상도가 클수록 Swati 연구팀의 방법과 제안된 방법 간의 성능 차이가 크며 화질 저하가 적다는 것을 알 수 있다.

그림 14는 Swati 연구팀의 시스템과 제안된 시스템 간의 삽입 FPS 성능비교를 나타낸다. 720p에서는 27배의 차이로 가장 크고 1080p에서는 14배, 2K(1440p)에서는 9배 차이를 나타낸다. 제안한 방식은 HEVC 전체과정에 대한 디코딩과 재인코딩 과정 없이 무손실 압축인 CABAC만을 이용하여 삽입 또는 추출하기 때문에 Swati 연구팀의 방식보다는 빠르다는 것을 알 수 있다.

그림 15는 멀티코어(GPU) 디바이스 종류에 따른 8K(4320p)의 동일한 영상에 대해 제안된 기법의 포렌식마크 삽입 속도 비교를 나타낸다. RTX 2080Ti는

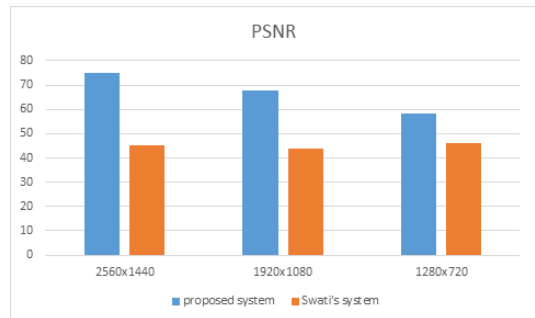


그림 13. 제안된 시스템과 Swati 등의 시스템 평균 PSNR 비교
Fig. 13. Comparison of average PSNR between proposed system and Swati's system

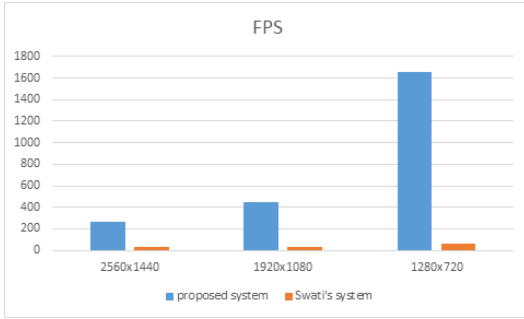


그림 14. 제안된 시스템과 Swati 등의 시스템 평균 FPS 비교
Fig. 14. Comparison of average FPS between proposed system and Swati's system

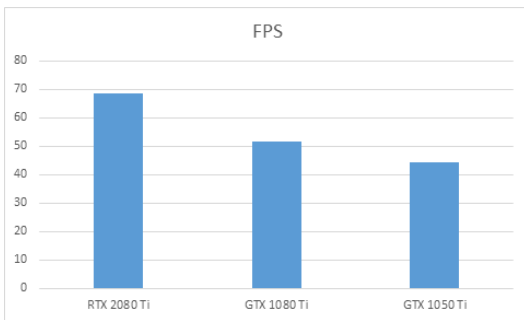


그림 15. GPU 디바이스 종류에 따른 제안된 시스템 평균 FPS 비교
Fig. 15. Comparison of proposed system average FPS by GPU device type

GTX 1050Ti 보다 약 20FPS 빠른 것을 볼 수 있다. 제안된 기법은 멀티코어(GPU)를 기반으로 하므로 하드웨어 의존성이 강하다. 따라서 높은 성능을 위해서는 고성능의 하드웨어를 사용해야 되므로 비용이 많이 든다는 단점이 있다.

V. 결 론

기존 HEVC 비디오 워터마킹 또는 포렌식마킹은 일반적인 영상(SD, HD, FHD, QHD)을 대상으로만 연구되었는데, 본 논문에서는 HEVC 표준 기반의 4K(최대 120FPS), 8K(최대 120FPS)를 지원하는 고화질 실감형 콘텐츠의 포렌식마킹 기술을 제안했다. 기존 연구와 비교 실험한 결과 PSNR은 고화질로 갈수록 높은 수치를 보이며 2K(1440p)에서 약 30dB 차이를 보였다. 삽입 속도는 저화질(720p)에서 27배, 고화질(1440p)에서 9배의 성능 차이를 보였다. 대용량 고화질의 실감형 콘텐츠(8K/120FPS)를 지원하는 실시간 저작권보호기술의 부재 문제를 멀티코어(GPU) 기반

의 Tile과 WPP 병렬처리를 적용하여 CABAC 코딩의 높은 복잡도와 많은 연산량에 따른 소요 시간을 줄임으로써 해결하였다. 향후 10G 인터넷 망의 시범서비스, 고성능 GPU와 다중 코어 CPU의 보편화로 인한 컴퓨팅 파워의 발전으로 콘텐츠는 점점 더 대용량 고화질로 제작되고 유통되어질 것이며 이에 대해 제안된 포렌식마킹 기술 개발은 적극적으로 이용될 것이다.

References

- [1] Y. Ho and J. Choi, *Analysis of HEVC Standard Coding Algorithm for UHD High-Definition Video Compression*, Jinsaem-Media, pp. 10-23, 2014.
- [2] D. Shim and H. Cho, *High-Efficiency Video Coding Technology Understanding HEVC Standard Technology*, Hong Rung Science, pp. 1-3, 2015.
- [3] Y. J. Park, M. H. Rim, P. S. Heo, and B. T. Koo, *The Convergence Trend and Case by Type in Contents Industry*(2010), Retrieved Oct. 15, 2019, from <https://www.etri.re.kr/intro.html>
- [4] J. W. Kim, *The emergence of new forensic watermarking technology*(2011), Retrieved Oct. 15, 2019, from <https://www.copyright.or.kr>
- [5] Korea Copyright Protection Agency(KCOPA), *Annual Report on Copyright Protection*(2019), Retrieved Oct. 25, 2019, from <https://www.kcopa.or.kr/lay1/bbs/S1T11C70/F/25/list.do>
- [6] G. J. Yun and J. Y. Jeong, et al., "DVB and 3GPP 3DoF VR service standardization trends," *KIBME*, vol. 23, no. 4, pp. 58-66, Oct. 2018.
- [7] S. Swati, K. Hayat, and Z. Shahid, "A watermarking scheme for high efficiency video coding (HEVC)," *PLOS ONE*, vol. 9, no. 8, Aug. 2014.
- [8] K. Ogawa and G. Ohtake, "Watermarking for HEVC/H.265 stream," *IEEE ICCE*, pp. 102-103, Jan. 2015.
- [9] Y. H. Seo, B. R. Kim, and D. W. Kim, "Analysis of intra prediction for digital watermarking based on HEVC," *J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng.*, vol. 19, no. 5, pp. 1189-1198, May 2015.

[10] A. A. Elrowayati, M. F. L. Abdullah, A. A. Manaf, and A. S. Alfagi, "Robust HEVC video watermarking scheme based on repetition-bch syndrome code," *IJSE*, vol. 10, no. 1, pp. 263-270, Jan. 2016.

[11] C. Wang, R. Shan, and X. Zhou, "Anti-HEVC recompression video watermarking algorithm based on the all phase biorthogonal transform and SVD," *IETE*, vol. 35, no. s1, pp. 42-58, Jun. 2018.

[12] K. B. Kim, J. H. Jeong, and G. G. Jeon, "Improvement of Implicit Residual DPCM for HEVC," *Tenth Int. Conf. IEEE SITIS*, pp. 652-658, Nov. 2014.

[13] M. J. Kim and Y. L. Lee, "Inter coding using DST-based interpolation filter," *J. Broadcast Eng.(JBE)*, vol. 22, no. 3, pp. 321-326, May 2017.

[14] M. Ropert, J. Le Tanou, M. Bichon, and M. Blestel, et al., "R-D spatio-temporal adaptive quantization based on temporal distortion backpropagation in HEVC," *IEEE Int. Conf. Int. Wrksp. MMSP*, pp. 1-6, Oct. 2017.

[15] V. Sze, M. Budagavi, and G. J. Sullivan, *High Efficiency Video Coding (HEVC): Algorithms and Architectures*, Springer, pp. 212-223, 2014.

[16] S. H. Son, A. R. Baek, and H. C. Choi, "Tile, slice, and deblocking filter parallelization method in HEVC," *J. Broadcast Eng.(JBE)*, vol. 22, no. 4, pp. 484-495, Jul. 2017.

[17] K. Misra, A. Segall, M. Horowitz, S. Xu, A. Fuldseth, and M. Zhou, "An overview of tiles in HEVC," *IEEE J. Sel. Topics in Sign. Process.*, vol. 7, no. 6, Dec. 2013.

[18] J. Y. Moon and Y. S. Ho, "A video watermarking method using global masking," *J. Broadcast Eng.(JBE)*, vol. 8, no. 3, pp. 268-277, Mar. 2003.

[19] S. C. Lim and H. H. Lee, et al., "Intra prediction offset compensation for improving video coding efficiency," *J. Broadcast Eng. (JBE)*, vol. 14, no. 6, pp. 749-768, Nov. 2009.

[20] G. J. Sullivan, J.-R. Ohm, W.-J. Han, and T. Wiegand, "Overview of the high efficiency video coding(HEVC) standard," *IEEE Trans.*

Cir. and Syst. for Video Technol., vol. 22, no. 12, pp. 1649-1668, Dec. 2012.

윤 창 섭 (Chang-seob Yun)



2017년 : 계명대학교 의용공학과 (공학사)
 2018년~현재 : 경북대학교 컴퓨터학부 석사과정, (주)우경정보기술 주임연구원
 <관심분야> 암호학, 정보은닉, 멀티미디어, 딥러닝

[ORCID:0000-0002-9182-6320]

전 재 현 (Jae-hyun Jun)



2009년 : 대구가톨릭대학교 전자공학과 (공학사)
 2011년 : 경북대학교 전자전기 컴퓨터학부 (공학석사)
 2016년 : 경북대학교 컴퓨터학부 (공학박사)
 2016년~현재 : (주)우경정보 기술 책임연구원

<관심분야> 트래픽 분류, 디도스 공격 탐지, 멀티미디어, 기계학습

[ORCID:0000-0001-7564-8758]

김 승 호 (Sung-ho Kim)

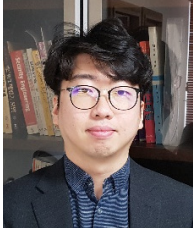


1981년 : 경북대학교 전산학과 (공학사)
 1983년 : 한국과학기술원 전산학과 (공학석사)
 1994년 : 한국과학기술원 전산학과 (공학박사)
 1986년~현재 : 경북대학교 컴퓨터학부 교수

<관심분야> 멀티미디어, 다시점영상, 트래픽 분류, 동기식 네트워크

[ORCID:0000-0001-8569-6825]

김 대 수 (Dae-soo Kim)



2009년 : 대구가톨릭대학교 컴
퓨터정보통신학부 (공학사)

2012년 : 경북대학교 정보보호
학과 (공학석사)

2018년 : 경북대학교 컴퓨터학
부 (공학박사)

2018년~현재 : (주)우경정보 기술
연구소장

<관심분야> 암호학, 보안프로토콜, 워터마킹, 멀티
미디어 콘텐츠 보호

[ORCID:0000-0003-4723-4181]