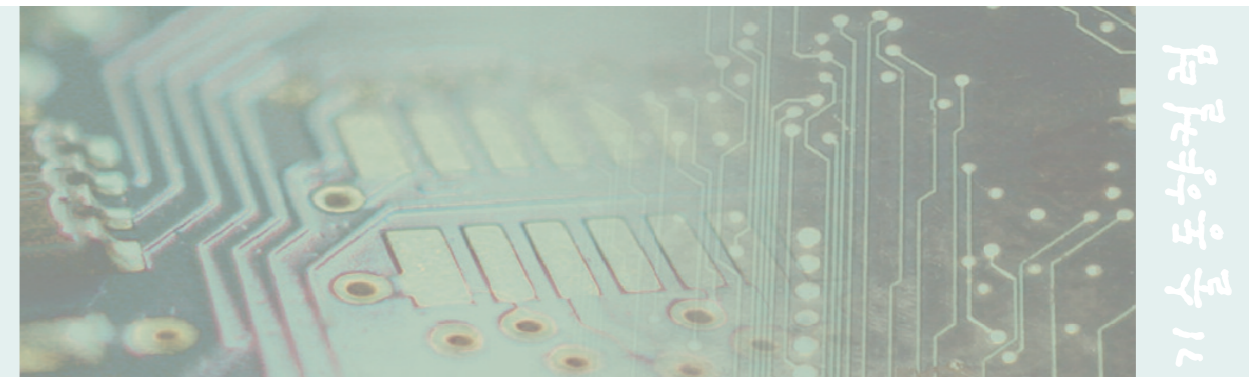


HEVC 고화질 영상 압축 표준 기술



광주과학기술원 실감방송연구원
 호요성 교수
 연구분야 : 영상신호처리, 영상압축, 3DTV, MPEG/HEVC
 E-mail : hoyo@gist.ac.kr
 http://vclab.kjist.ac.kr/



고화질 영상 압축 기술의 필요성과 목적

2013 국제 가전제품 박람회 (International Consumer Electronics Show)에서는 다양한 UHDTV(Ultra High Definition TV)가 출품되었다. UHDTV는 HDTV (High Definition TV) 대비 4배 또는 16배의 해상도를 가지며, 매우 사실적인 고품질 방송서비스를 제공할 수 있다. UHDTV는 3DTV와 더불어 HDTV 이후의 차세대 실감방송 서비스의 주요한 방송 기술이다. 최근 모바일 시장에서도 기본 화면 해상도가 HD급인 스마트폰이 출시되기 시작했다. 이처럼 소비자들의 차세대 영상 서비스에 대한 수요에 발맞춰 다양한 차세대 멀티미디어 제품들이 출시되는 가운데, 고화질 영상처리 기술에 대한 관련 산업계 및 학계 관심이 높아지고 있다.

현재 DTV, DMB, DVD, 디지털 캠코더, 영상 블랙박스, IPTV, 스마트 TV, 스마트폰 등에 이르기까지 다양한 멀티미디어 기기에 사용되는 H.264/AVC 표준[1]은 고해상도 및 고화질 영상 서비스를 지원하기에는 한계가 있다. ITU-T VCEG(Video Coding Experts Group)과 ISO/IEC MPEG(Moving Picture Experts Group)은 H.264/AVC보다 더 개선된 압축률과 더 낮은 복잡도를 갖는 새로운 차세대 동영상 압축 표준의 필요성을 느끼고, 2010년 초 HEVC(High Efficiency Video Coding)[2][3]라는 새로운 표준화 활동을 시작했다. 마침내 2013년 1월 스위스 제네바 회의에서 HEVC 최종 표준안(FDIS: Final Draft International Standard)[4]이 완성되었다.

HEVC는 H.264/AVC에 비해 약 35%의 부호화 효율을 보이는 차세대 영상 압축 표준으로, HD급 영상과 UHD급 영상의 방대한 데이터를 효과적으로 압축하기 위한 핵심 기술로 사용될 것으로 예상된다. 따라서 전 세계적으로 HEVC 기술을 상용화하기 위한 노력이 지속할 것으로 예상하며, 가까운 시기에 최적화된 HEVC 하드웨어 및 소프트웨어 솔루션이 시장에 출시될 것으로 기대된다. 본 원고에서는 HEVC 최종 표준안에 정의된 주요 기술들을 살펴보고자 한다.

JCT-VC의 고화질 영상 압축 표준기술 개발

ITU-T VCEG과 ISO/IEC MPEG은 영상 압축 표준화 활동의 양대축이다. 이 두 그룹은 때로는 경쟁하고 때로는 상호 협력하며 다양한 영상 압축 표준을 만들어왔다. VCEG은 H.264/AVC FReXt 표준 이후의 차세대 표준기술 개발을 진행하기 위해 다양한 핵심 기술들의 잠재력을 조사를 시행했다.

2005년 4월에 VCEG에서는 압축효율 개선, 복잡도 감소, 피드백 기반 오류 강인성 등을 KTA(Key Technology Areas)로 정의하고, H.264/AVC를 기반으로 하는 KTA 소프트웨어를 개발하며 향후 비디오 압축 표준을 준비했다.

2008년 10월에 MPEG에서는 새로운 영상 부호화 표준에 대한 브레인트스팅 회의를 하고, 같은 해 7월부터 새로운 영상 부호화 표준에 대한 본격적인 논의를 시작했다. 이후 MPEG은 새로운 표준화를 시작할 만큼 기술적으로 성숙하였는지를 확인하기 위해 CfE (Call for Evidence) 문서를 공식적으로 발행했고, 고성능 비디오 코덱에 대한 비전과 요구사항에 관한 문서를 발행하였다 [5].

2009년 7월 CfE 평가 결과 기존의 H.264/AVC 표준 대비 30% 이상의 압축률 향상이 검증되었고, 새로운 영상 부호화 표준인 HVC (High-performance Video Coding) 표준화 작업을 추진하기로 했다. 같은 시기 VCEG 역시 그간 KTA를 중심으로 차세대 비디오 압축에 관한 기술 발굴을 해오던 작업의 중간 결론으로, 기존 성능을 크게 개선할만한 기술적 성숙도가 어느 정도 확보되었다는 자체 평가와 함께 H.NGVC(Next Generation Video Coding)라는 이름 아래 차세대 비디오 부호화를 추진할 뜻을 밝혔다.

2009년 10월, 제90차 MPEG 회의에서는 새 표준을 위한 CfP (Call for Proposals) 초안을 발행하면서 향후 표준화 일정을 수립하고 VCEG과의 협력 방안을 논의했다. 그 결과 제91차 MPEG 회의에서 MPEG과 VCEG이 협력팀을 구성하기로 합의하고 두 기관이 공동으로 CfP를 발행했다 [6]. 협력팀의 이름은 JCT-VC(Joint Collaborative Team on Video Coding)이다. 이후 활발한 표준화 활동을 거쳐 2013년 1월 드디어 최종 표준안이 완성되었다. 새롭게 승인된 이 표준을 ISO/IEC는 MPEG-H Part 2, ITU-T는 H.265로 명명했다.

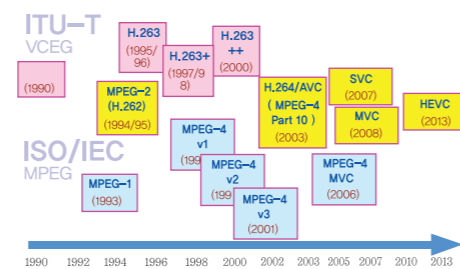


그림 1. 영상 압축 표준의 발전

HEVC 표준 주요 기술

그림 2는 HEVC 표준의 부호화기를 보여준다. HEVC에는 H.264/AVC와 달리 하나의 프로파일만 존재한다. 표 1은 HEVC의 유일한 프로파일인 Main Profile에 포함된 기술들을 정리한 것이다. 본 장에서는 이 프로파일에 포함된 핵심 부호화 기술들을 소개한다.

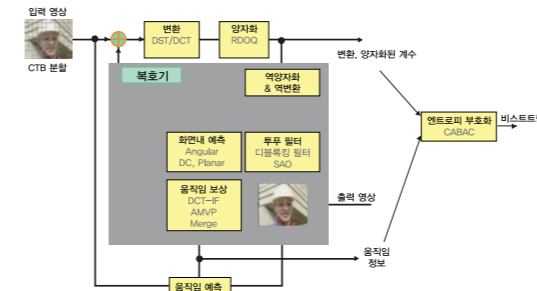


그림 2. HEVC 부호화기의 블록도

| 기술 분야 | 부호화 기술 |
|------------|--|
| 계층적 부호화 구조 | - CU (Coding Unit): 8x8부터 64x64 크기의 쿼드 트리 분할 - PU (Prediction Unit): 정방형, 비정방형 예측 블록 - TU (Transform Unit): 4x4부터 32x32 크기의 정방형 변환 |
| 변환 | - 4x4 to 32x32 크기의 정수 DCT 변환 - 화면내 4x4 블록을 위한 정수 DST 변환 - 화면간 슬라이스에서 PU보다 큰 TU 사용 - PCM (Pulse Code Modulation) 예측 |
| 양자화 | - RDOQ (Rate Distortion Optimized Quantization) |
| 화면내 예측 | - 33개의 방향성을 갖는 각도 기반 화면내 예측 - DC 예측과 Planar 예측 |
| 화면간 예측 | - 휘도 블록을 위한 1/4 화소 정확도 샘플 보간 - 색차 블록을 위한 1/8 화소 정확도 샘플 보간 - AMVP (Advanced Motion Vector Prediction) - Merge 모드 |
| 엔트로피 부호화 | - 문맥 기반 적응적 이진 산술 부호화 (Context-based Adaptive Binary Arithmetic Coding, CABAC) |
| 루프 필터 | - 디블록킹 필터 - SAO (Sample Adaptive Offset) |
| 기타 | - 샘플당 8비트로 데이터 저장 및 출력 |

표 1. HEVC Main Profile

계층적 부호화 구조

HEVC에서는 쿼드트리 기반 부호화 기술이 사용된다. 하나의 화면은 정사각형의 부호화 트리 블록(coding tree block, CTB)들로 분할되고, 각 CTB는 부호화 트리의 루트(root)가 된다 [7]. 즉, CTB는 부호화 블록(coding block, CB)들로 분할된다. CB의 크기는 쿼드트리 기반 분할 방법을 통해 적응적으로 선택된다.

각 CB는 예측 트리와 변환 트리의 루트가 된다. 예측 트리는 한번만 분할되며, 임의의 CB가 어떻게 예측 블록(prediction block, PB)으로 분할되는지를 알려준다. 즉, 예측 트리에 해당하는 구문 요소들은 예측과 관련된 매개변수들을 기술한다. 그림 3은 HEVC Main Profile에 정의된 화면 간 부호화에서 사용되는 PB 분할을 보여준다.

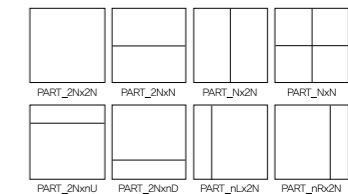


그림 3. 화면간 예측에서 PB 분할 모드

예측 후의 변환 부호화에서는 임의의 CB는 더 작은 변환 블록(transform block, TB)들로 분할된다. HEVC에서는 임의의 CB에 대해, TB와 PB가 독립적으로 결정되므로 PB보다 큰 TB의 선택이 가능하다. 그림 4는 하나의 CTB에 대한 CB와 TB가 분할되는 예를 보여준다. 여기서, 굵은 선은 CTB를 의미하고, 실선은 CB를, 점선은 TB를 의미한다.

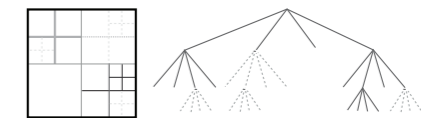


그림 4. CTB 분할 (실선은 CB, 점선은 TB를 의미)

서로 다른 트리의 모든 블록은 서로 다른 크기의 특정한 샘플 배열에 해당한다. 연관된 트리에 따라, 이 블록들은 단위(unit)라 불리는 특정한 구문 구조와 연관된다. TB 샘플 배열들과 그와 관련한 구문 요소들(coded block flag 또는 transform coefficient level)은 변환 단위(transform unit, TU)로 분류된다. 예측 단위(prediction unit, PU)는 예측과 관련된 모든 것을 포함한다. 즉, 예측 배열과 움직임 벡터 또는 화면 내 모드와 같은 구문 요소가 PU에 포함된다. CB 샘플 배열과 그와 관련된 구문 요소들은 부호화 단위(coding unit, CU)로 분류된다. 마지막으로 CTB 배열과 그와 연관된 구문 요소, 그리고 해당 CTB에 포함된 CU들은 부호화 트리 단위(coding tree unit, CTU)로 간주한다.

화면 내 예측 부호화 기술

HEVC 화면 내 예측에서는 현재 블록과 인접한 PU의 경계 화소들을 사용한다. 경계 화소들은 이전에 부호화되고 복호화되어 사용 가능하다. 화면 내 부호화에서 사용 가능한 예측 모드는 표 2와 같이 0번부터 35번까지 정의되어 있다. 휘도 블록에서는 임의의 PU에 대해 0번부터 34번까지로 정의된 DC 모드, Planar 모드, 33개의 Angular 예측 모드를 사용한다 [8]. 색차 블록에서는 Planar, 수직, 수평, DC 예측 모드, 그리고 DM_Chroma_idx 모드를 추가로 사용

한다. DM_Chroma_idx 모드는 휘도 블록의 예측 모드를 색차 블록에서 그대로 사용하는 모드로 휘도 성분과 색차 성분 간의 값 특성이 유사한 경우 부호화 효율을 얻을 수 있다.

| 모드 번호 | 이름 |
|-------|------------|
| 0 | Planar |
| 1 | DC |
| 2~34 | Angular 예측 |

표 2. 화면내 예측 모드

화면간 움직임 예측 기술

HEVC 화면간 움직임 예측의 주요 특징은 AMVP (Advanced Motion Vector Prediction) 기술과 Merge 기술이다 [9]. H.264/AVC에서는 주변 블록들의 움직임 벡터들의 중간값(median)을 이용해 하나의 움직임 벡터 예측값을 생성하고, 실제 움직임 벡터와 이 예측값의 차를 부호화한다. HEVC에서는 다양한 움직임 벡터 예측값들을 경쟁시켜 현재 움직임 벡터와 최소의 차이를 갖는 움직임 벡터 예측값을 이용하는 AMVP 기술을 사용한다. AMVP는 두 개의 움직임 벡터 예측 후보를 사용한다. 먼저 두 개의 공간적 움직임 벡터 예측 후보를 탐색한 후, 그 중 하나 이상의 후보를 사용할 수 없거나 두 개의 후보가 중복되는 경우, 하나의 시간적 움직임 예측 후보를 탐색한다. 그림 5는 공간적 및 시간적 움직임 벡터 예측 후보들을 보여준다. 후보들은 그림 5와 같이 해당 블록의 위치에 따라 결정된다.

AMVP의 공간적 움직임 벡터 예측 후보는 그림 5의 {A₀, A₁} 중에서 하나의 후보를, {B₀, B₁, B₂} 중에서 하나의 후보를 선정한다. 만약 해당 블록이 현재 슬라이스를 벗어나거나 화면 내 부호화된 블록일 경우에는 후보가 될 수 없다. 시간적 후보로는 그림 5와 같이 참조 화면의 collocated PU의 오른쪽 대각선 아래에 있는 T₁ 블록을 사용한다. 이 블록이 사용 가능하지 않을 경우, collocated PU의 중간에 있는 T₂ 블록을 사용한다. 현재 움직임 벡터와 예측 움직임 벡터의 차이가 0인 경우 Merge 기술을 사용한다. Merge 기술은 현재 PB에 대한 움직임 정보를 복호기로 전송하지 않고, 공간적 또는 시간상으로 인접한 블록들로부터 산출하는 기술이다. Merge 기술이 사용되는 경우, 사용 여부를 알리는 플래그와 어떠한 움직임 벡터 예측 후보가 사용되었는지를 알리는 인덱스 정보가 전송된다. Merge 기술을 사용하면 AMVP의 경우보다 전송해야 하는 비트량이 감소하므로 부호화 성능이 향상된다. Merge 기술에서의 공간적 움직임 벡터 예측 후보 탐색 순서는 {A₁, B₁, B₀, A₀, B₂}이다. 시간적 움직임 벡터 예측 후보 탐색 방법은 AMVP의 경우와 동일하다.

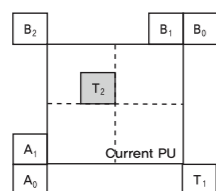


그림 5. 화면간 예측에서 공간적/시간적 움직임 벡터 예측 후보

루프 필터 기술

HEVC는 디블록킹 필터[10]와 SAO(Sample Adaptive Offset)[11], 두 가지 루프 필터를 사용한다. 디블록킹 필터는 예측 및 양자화로 덕분에 발생하는 블록 경계의 왜곡을 효과적으로 제거함으로써 복호

영상의 주관적 화질을 향상하는 기술이다. 또한, 복호화 과정 내에 디블록킹 필터 과정이 포함된 루프 내 필터링(in-loop filtering)을 사용하기 때문에 필터가 적용된 영상을 참조 영상으로 활용하게 되어 부호화 효율도 달성할 수 있다. HEVC의 디블록킹 필터는 H.264/AVC의 디블록킹 필터와 상당히 유사하지만, 복잡한 연산 과정을 간략화한 기술이다.

SAO는 양자화 등의 부호화 과정을 통해 발생하는 원본 영상과 복호 영상 간의 왜곡을 화소 단위의 오프셋(offset)을 통해 보상함으로써, 주관적 화질 및 부호화 효율을 함께 향상시키는 기술이다. SAO 기술에서는 왜곡의 정도가 다른 화소를 구분해 서로 다른 오프셋을 적용하는 적응적인 보상 방법을 사용함으로써, 영상의 특성에 따라 부분적으로 다르게 발생하는 왜곡을 효율적으로 최소화할 수 있도록 한다.

엔트로피 부호화 기술

H.264/AVC에서 두 개의 엔트로피 부호화 기술을 사용했던 것과 달리, HEVC는 문맥 기반 적응적 이진 산술 부호화(context-based adaptive binary arithmetic coding, CABAC)[12][13]를 하나의 엔트로피 부호화 기술로 사용한다. CABAC은 실험을 통해 얻은 확률로 부호화해야 할 각 구문요소의 문맥 모델(context model)을 만들고, 이를 이용해 엔트로피 부호화를 수행한다. CABAC은 그림 6과 같이 크게 이진화, 문맥 모델링, 이진 산술 부호화, 확률 업데이트 부분으로 구성된다.

이진화 단계는 이진값이 아닌 신택스 요소를 이진화된 시퀀스로 매핑하는 과정이다. 만약 이진값을 갖는 신택스 요소가 입력 신호로 주어지면, 첫 번째 단계인 이진화 과정은 생략된다. 이진화된 시퀀스의 각 이진값은 문맥 모델링 단계로 들어간다. 여기서 이진값은 이진화 과정에서 생성된 이진 시퀀스의 각각의 비트를 의미한다. 문맥 모델링 단계에서는 현재 이진값에 대응하는 확률 모델을 이전에 부호화된 신택스 요소, 혹은 이진값에 따라 선택한다. 확률 모델을 결정된 후, 결정된 확률 모델과 주어진 이진값을 이용하여 이진 산술 부호화를 수행한다. 마지막으로 선택된 확률 모델을 업데이트한다.

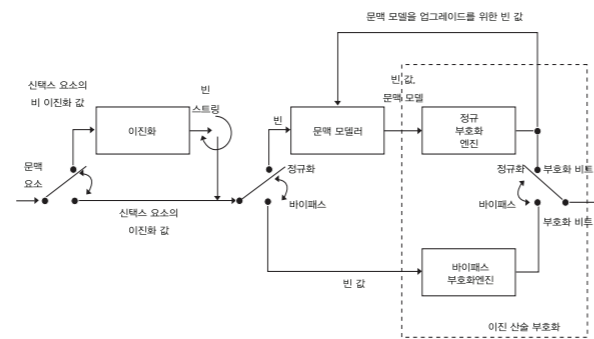


그림 6. CABAC의 구조

HEVC의 부호화 성능

2012년 12월, HEVC 이전의 영상 압축 표준들과 HEVC 표준의 성능 비교 결과가 발표되었다 [14]. HEVC 표준의 주요 목적 중 하나가 다양한 전자기기에서의 고품질 영상 서비스이므로, 성능 평가는 방송 서비스를 위한 full-HD(1920×1080)급 영상과 모바일 기기를 위한 WVGA(832×480)급 영상에 대해 수행되었다. 성능 평가에는

HEVC Test Model (HM) 8.0[15]이 사용되었다. HM은 HEVC 표준화에서 사용되는 소프트웨어로, JCT-VC에서 유지 및 관리된다. 주로 기술 제안을 목적으로 이 소프트웨어에 알고리즘을 구현하고 성능을 평가한다.

표 3은 성능 평가에 사용된 실험 영상 목록이고, 표 4는 부호화 성능 평가 결과를 보여준다. 성능 비교에 사용된 영상 압축 표준은 H.262/MPEG-2 Main Profile (MP), H.263 High Latency Profile (HLP), MPEG-4 Advanced Simple Profile (ASP), H.264/MPEG-4 AVC High Profile (HP)이다. 표 3은 동일한 화질에 대해 각 영상 압축 표준들의 부호화 성능을 비교한 것이다. 표 3에서 볼 수 있듯이, HEVC는 H.264/MPEG-2 MP에 비해 약 35.4%, MPEG-4 ASP에 비해 63.7%, H.263 HLP에 비해 65.1%, MPEG-2/H.262 MP에 비해 70.8%의 비트율 절감 효과를 보인다. 그림 7은 실험 영상 중 하나인 Park Scene 영상에 대한 부호화 성능 비교 실험 결과를 울-왜곡 곡선으로 나타낸 것이다.

| 영상 | 해상도 | 프레임율 (fps) | 프레임 수 |
|-----------------|-----------|------------|-------|
| Kimono | 1920×1080 | 24 | 240 |
| Park Scene | | 24 | 240 |
| Cactus | | 50 | 500 |
| BasketballDrive | | 50 | 500 |
| BQTerrace | | 60 | 600 |
| BasketballDrill | 832×480 | 50 | 500 |
| BQMall | | 60 | 600 |
| PartyScene | | 50 | 500 |
| RaceHorses | | 30 | 300 |

표 3. 실험 영상

| | 비트율 절감률 (%) | | | |
|---------------------|---------------------|------------|-----------|-----------------|
| | H.264/MPEG-4 AVC HP | MPEG-4 ASP | H.263 HLP | MPEG-2/H.262 MP |
| HEVC MP | -35.4 | -63.7 | -65.1 | -70.8 |
| H.264/MPEG-4 AVC HP | - | -44.5 | -46.6 | -55.4 |
| MPEG-4 ASP | - | - | -3.9 | -19.7 |
| H.263 HLP | - | - | - | -16.2 |

표 4. HEVC Main Profile의 부호화 성능

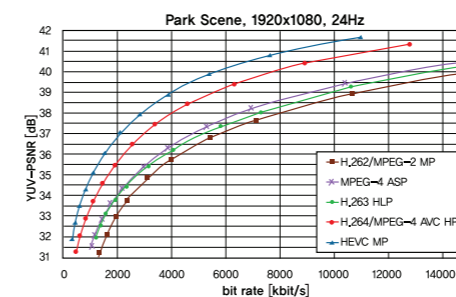


그림 7. 울-왜곡 곡선

결론

본고에서는 최근 완성된 HEVC(High Efficiency Video Coding) 표준의 주요 기술을 살펴보았다. 일반적으로 표준 완성 후 안정화된 제품이 시장에 나오기까지 소프트웨어는 약 2년, 하드웨어는 약 4년 정도의 시간이 소요된다. 하지만 HEVC는 학계뿐 아니라 세계 유수

의 소프트웨어 및 하드웨어 업체들이 적극적으로 참여해 만들어진 표준이며, 매년 회의에 1,000개가 넘는 기고서가 제안될 정도로 활발한 표준화 작업의 산물이다. 이러한 추세로 볼 때 빠른 시일 안에 많은 응용분야에서 HEVC 표준이 사용될 것으로 기대된다. HEVC 영상 압축 표준을 여러 응용 분야에 적용하기 위해서는 그 핵심 기술에 대한 명확한 이해가 필요하며, 본 원고가 HEVC 표준에 대한 이해를 높이는 데 도움이 되기를 기대한다.

Reference

- [1] H. Schwarz, D. Marpe, and T. Wiegand, "Overview of the scalable video coding extension of the H.264/AVC standard," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol.17, No.9, pp. 1103-1120, Sept. 2007.
- [2] 호요성, 최정아, "UHD 고화질 영상 압축 기술: HEVC 알고리즘 이해와 프로그래밍 분석," 진샘미디어, 2013.
- [3] 심동규, "차세대 비디오 표준 압축 기술 HEVC," IDEC Newsletter, pp. 04-08, 2011년 07월.
- [4] ITU-T SG16 WP3 and ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, "High Efficiency Video Coding (HEVC) text specification draft 10 (for FDIS & Consent)," JCTVC document, L1003, Geneva, CH, Jan. 2013.
- [5] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Vision, application, and requirements for high performance video coding (HVC)," MPEG document, N11096, Kyoto, JP, Jan, 2010.
- [6] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, "Joint call for proposals on video compression technology," MPEG document, N11096, Kyoto, JP, Jan, 2010.
- [7] Y. Yuan, I. Kim, X. Zheng, L. Liu, X. Cao, S. Lee, M. Cheon, T. Lee, Y. He, and J. Park, "Quadtree based non-square block structure for inter frame coding in High Efficiency Video Coding," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 22, no. 12, pp. 1707-1719, Dec. 2012.
- [8] J. Lainema, F. Bossen, W. Han, J. Min, and K. Ugur, "Intra coding of the HEVC standard," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 22, no. 12, pp. 1792-1801, Dec. 2012.
- [9] M. Bici, K. Ugur, J. Jung, G. Clare, and T. Wiegand, "Block merging for quadtree-based partitioning in HEVC," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 22, no. 12, pp. 1720-1731, Dec. 2012.
- [10] A. Norkin, G. Bjøntegaard, A. Fuldseth, M. Narroschke, and M. Ikeda, "HEVC deblocking filter," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 22, no. 12, pp. 1746-1754, Dec. 2012.
- [11] C. Fu, E. Alshina, A. Alshin, Y. Huang, C. Chen, C. Tsai, C. Hsu, S. Lei, J. Park, and W. Han, "Sample adaptive offset in the HEVC standard," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 22, no. 12, pp. 1755-1764, Dec. 2012.
- [12] V. Sze and M. Budagavi, "High Throughput CABAC Entropy Coding in HEVC," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 22, no. 12, pp. 1778-1791, Dec. 2012.
- [13] 최정아, 호요성, "HEVC 화면내 부호화를 위한 효율적인 변환 계수 부호화 방법," 스마트미디어저널, 제1권, 제2호, pp. 06-11, 2012년 06월.
- [14] J. Ohm, G. Sullivan, H. Schwarz, T. Tan, and T. Wiegand, "Comparison of the coding efficiency of video coding standards? including High Efficiency Video Coding (HEVC)," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 22, no. 12, pp. 1669-1684, Dec. 2012.
- [15] HEVC Test Model, HM 8.0, https://hevc.hhi.fraunhofer.de/svn/svn_HEVCSoftware/tags/HM-8.0/.