

ECM 화면간 예측 기술 II: Subblock 기반 MV 유도과 Decoder-side 보정

□ 최기호 / 경희대학교

요약

Joint Video Experts Team (JVET)은 MPEG-I Versatile Video Coding (VVC/H.266) 표준 제정 이후 차세대 비디오 코딩 표준을 대비하기 위한 기술 탐색 실험을 수행하고 있으며, 신호처리 기반 후보 기술들은 Enhanced Compression Model (ECM)로 통합되어 관리되고 있다. 최신 ECM에서는 특히 화면간 예측 기술을 중심으로, 고해상도 및 복잡한 움직임을 포함하는 영상 콘텐츠 환경에서의 압축 효율 향상을 목표로 다양한 확장 기법들이 제안·채택되었다. 본고에서는 ECM에 채택된 화면간 예측 기술 중에서도 subblock-based motion vector derivation과 decoder-side motion vector derivation 및 prediction refinement 기술에 초점을 맞추어 살펴본다. 이를 통해 ECM의 화면간 예측 기술이 인코더 시그널링 증가 없이 예측 정확도를 향상시키는 설계 철학을 지니고 있음을 보이고, 이러한 기술들이 차세대 비디오 코딩 표준을 위한 핵심 후보 기술로서 갖는 의미를 논의한다.

I. 서론

비디오 코딩 국제 표준은 ISO/IEC JTC 1/SC 29/ MPEG과 ITU-T SG21/VCEG의 협력 구조를 통해 발전해 왔으며, 최근에는 양 기관이 공동으로 운영하는 Joint Video Experts Team (JVET)을 중심으로 표준화가 진행되고 있다. JVET은 MPEG-I Versatile Video Coding (VVC/H.266)[1]을 성공적으로 제정한 이후, VVC/H.266 이후 세대를 대비한 차세대 비디오 코딩 기술 탐색을 본격

적으로 수행하고 있다. 이러한 탐색 활동은 단기간의 표준 개정을 목표로 하기보다는, 중·장기적으로 새로운 표준 프레임워크에 적용 가능한 핵심 기술을 발굴하고 검증하여 차세대 비디오 표준을 준비하는 데 목적이 있다.

JVET의 기술 탐색 실험은 크게 두 축으로 전개되고 있다. 하나는 신경망 기반 비디오 코딩 기술을 중심으로 한 데이터 기반 접근이며, 다른 하나는 기존 블록 기반 하이브리드 코딩 구조를 유지하면서 압축 효율을 극대화하는 신호처리 기반 기술의 확장이다. 후자의 결과물은

Enhanced Compression Model (ECM)[2]이라는 공통 참조 소프트웨어로 통합·관리되고 있으며, ECM은 단순한 실험 코드가 아니라 차세대 표준 후보 기술들의 집합체로서 JVET 내에서 중요한 역할을 수행하고 있다. 최근 공개된 ECM에는 다수의 반복 실험과 성능 검증을 거쳐 성숙 단계에 진입한 모델로 평가되며, VVC/H.266 대비 의미 있는 압축 성능 향상을 달성한 다양한 기술들이 포함되어 있다.

최신 ECM에서 특히 두드러지는 기술 분야 중 하나는 화면간 예측이다. 화면간 예측은 시간적으로 인접한 프레임 간의 상관성을 활용하여 예측 신호를 생성하는 핵심 구성 요소로, 전체 부호화 효율에 가장 큰 영향을 미치는 영역 중 하나이다. VVC/H.266에서는 affine motion model (Affine), decoder-side motion vector refinement (DMVR), geometric partitioning mode (GPM) 등 다양한 고급 움직임 예측 기법이 도입되었으나, ECM에서는 이러한 개념을 한층 더 확장하여 보다 세밀한 움직임 표현과 디코더 측 예측 정밀화를 지향하는 방향으로 기술 개발이 이루어지고 있다.

특히 ECM의 화면간 예측 기술은 두 가지 공통된 흐름을 중심으로 발전하고 있다. 첫째는 블록 단위 예측의 한계를 극복하기 위한 subblock 기반 움직임 모델링이다. 이는 하나의 코딩 블록 내부에서도 공간적으로 상이한 움직임을 보다 정확히 표현하고자 하는 접근으로, subblock 기반 motion vector 유도 및 affine 모델 확장과 같은 기술로 구체화되고 있다. 둘째는 시그널링 오버헤드를 증가시키지 않으면서 예측 정확도를 향상시키기 위한 디코더 측 움직임 유도 및 보정이다. Template matching (TM), 확장된 DMVR, 확장된 Bi-directional Optical-Flow (BDOF)와 같은 기술들은 인코더가 명시적으로 전달하지 않은 정보를 디코더에서 재구성하여 활용함으로써, 효율적인 비트 사용을 가능하게 한다.

이러한 배경에서, 본고에서는 ECM에 채택된 화면간 예측 기술 중에서도 subblock-based motion vector derivation 기술과 decoder-side motion vector

derivation 및 prediction refinement 기술에 초점을 맞추어 살펴본다. 먼저 VVC/H.266에서 도입된 관련 기술을 간략히 정리한 후, ECM에서 제안·확장된 최신 기법들의 구조와 동작 원리를 중심으로 기술적 특징을 분석한다. 이를 통해 ECM의 화면간 예측 기술이 지향하는 설계 철학과, 차세대 비디오 코딩 표준으로의 확장 가능성을 보다 명확히 조명하고자 한다.

II. 본론

1. Subblock-based motion vector derivation

화면간 예측에서 움직임 벡터(i.e., MV)는 참조 영상으로부터 예측 신호를 생성하는 핵심 요소로, MV의 정확도는 곧 예측 성능과 압축 효율을 좌우한다. 기존의 블록 기반 움직임 모델에서는 하나의 코딩 블록에 대해 단일 MV 또는 제한된 개수의 MV를 사용하는 방식이 주를 이루어 왔으나, 고해상도 영상, 복잡한 객체 경계, 그리고 비선형적인 움직임이 빈번하게 등장하는 최신 영상 콘텐츠 환경에서는 이러한 블록 단위 모델만으로 실제 움직임을 충분히 표현하기 어렵다는 한계가 점차 분명해지고 있다.

이러한 문제를 완화하기 위해 VVC/H.266에서는 subblock 기반 움직임 예측 개념이 도입되었다[3]. 대표적인 예가 subblock temporal motion vector prediction (SbTMVP)으로, 하나의 코딩 블록을 다수의 서브블록으로 분할한 뒤, 시간적으로 대응되는 참조 프레임의 collocated 위치에서 subblock 단위의 MV를 상속하는 방식이다. 이때 각 subblock의 MV는 참조 프레임 내 동일 위치에 존재하는 subblock MV를 시간적으로 스케일링하여 유도함으로써, 블록 내부의 공간적 움직임 변화를 부분적으로 반영할 수 있다. 또한 VVC/H.266에서는 affine motion model을 도입하여 블록 전체의 움직임을

하나의 선형 변환(e.g., translation, rotation, scaling)으로 모델링하고, 실제 움직임 보상은 subblock 단위로 수행함으로써 회전이나 확대·축소와 같은 복합적인 움직임을 보다 효과적으로 표현할 수 있도록 하였다.

그러나 VVC/H.266의 subblock 기반 기법들은 대부분 시간적 상속(e.g., collocated reference) 또는 단일 affine 모델에 의존하고 있어, 공간적으로 인접한 블록의 subblock 움직임을 직접 활용하지 못한다는 구조적 한계를 가진다. 또한 subblock 간 MV를 보다 유연하게 채구성하거나, 디코더 측에서 추가적인 움직임 보정을 수행하는 데에도 제약이 존재하였다. 이러한 한계는 블록 내부뿐만 아니라 블록 간 움직임 연속성을 충분히 활용하지 못하게 하여, 복잡한 움직임 환경에서의 예측 정확도 향상에 제약 요인으로 작용하였다.

ECM에서는 VVC/H.266의 subblock 기반 움직임 예측 개념을 계승하면서 이를 한 단계 확장하여, subblock 단위의 움직임 벡터를 시간적 상속에만 의존하지 않고 공간적으로도 유도할 수 있도록 구조를 발전시켰다. 이를 통해 subblock 기반 움직임 예측을 하나의 독립적인 예측 축으로 확립하고, 공간적·시간적·모델 기반 움직임 정보를 통합적으로 활용하는 방향으로 기술 개발이 이루어졌다. 특히 subblock 기반 공간적 움직임 상속, affine 모델과의 결합 및 세분화, 그리고 다양한 예측 모드 및 decoder-side 보정 기법과의 연계를 통해 블록 내부 움직임 표현 능력을 실질적으로 강화하는 데 초점을 두고 있다.

이를 위해 ECM에서는 (1) subblock 단위 공간적 MV 상속을 가능하게 하는 Subblock-based Spatial Motion Vector Prediction (sbSMVP), (2) affine 모델의 적용 해상도를 픽셀 및 subblock 수준으로 세분화한 affine motion compensation 확장, 그리고 (3) affine 후보 생성 방식을 다양화하여 안정적인 예측을 가능하게 하는 복수의 affine 후보 유도 기법들이 도입되었다. 이러한 기술들은 공통적으로 추가적인 비트스트림 시그널링 없이 디코더에서도 동일한 MV를 재현할 수 있도록 설계되었으며,

인코더 탐색 복잡도 대비 예측 정확도를 효과적으로 향상시키는 것을 목표로 한다.

1) ECM Subblock-based Spatial Motion Vector Prediction

ECM의 sbSMVP은 VVC/H.266의 SbTMVP와 달리, 시간적 collocated 블록이 아닌 공간적으로 인접한 블록으로부터 subblock 단위의 MV를 유도하는 기법이다. sbSMVP에서는 현재 블록을 고정된 크기의 subblock으로 분할한 후, 각 subblock에 대해 상단, 좌측, 그리고 좌상단 방향에 위치한 인접 블록의 대응 subblock MV를 후보로 생성한다.

이 과정에서 sbSMVP는 subblock의 위치와 형태에 따라 MV 상속 방향을 제한적으로 선택한다. 예를 들어, 현재 subblock이 블록의 상단 영역에 위치한 경우에는 상단 이웃 블록의 subblock MV가 우선적으로 고려되며, 좌측 영역에 위치한 경우에는 좌측 이웃 블록의 subblock MV가 주 후보로 사용된다. 또한 대각선 방향의 움직임이 예상되는 경우에는 복수 방향의 후보가 동시에 고려될 수 있다. 이러한 후보 MV들은 추가적인 refinement 없이 그대로 예측 MV로 사용되며, 인코더와 디코더가 동일한 규칙을 통해 후보를 생성하므로 별도의 시그널링이 필요하지 않다. sbSMVP는 특히 복잡한 객체 경계나 부분적으로 상이한 움직임이 존재하는 블록에서 효과적이며, 기존 block-level spatial MVP 대비 subblock 내부의 움직임 불연속을 완화하는 데 기여한다.

2) ECM affine motion compensation 확장 기술

ECM에서는 affine motion model의 예측 정밀도를 향상시키기 위해, 픽셀 단위 affine motion compensation이 도입되었다. 기존 VVC/H.266의 affine 예측에서는 subblock 단위로 동일한 affine 변환이 적용되었으나, ECM에서는 affine 파라미터를 기반으로 각 픽셀 위치에서의 이동량을 직접 계산함으로써 subblock 경계에서 발

생할 수 있는 보상 오차를 감소시켰다.

또한 affine subblock BDOF refinement 기법이 추가되어, 양방향 예측 환경에서 affine 예측 결과에 대해 subblock 단위의 optical-flow 기반 보정이 수행된다. 이 과정에서는 초기 affine 예측으로 생성된 두 방향의 예측 신호 간 잔차를 기반으로 subblock 내부의 미세한 움직임 차이를 추정하고, 이를 통해 예측 샘플을 보정한다. 이는 affine 모델의 전역적 특성과 BDOF의 국부적 보정 능력을 결합한 구조로 볼 수 있다.

Affine 후보 생성 측면에서도 확장이 이루어졌다. 시간적으로 collocated 위치에 존재하는 블록으로부터 affine 파라미터를 직접 상속하는 방식이 도입되었으며, 과거 프레임에서 사용된 affine 파라미터를 재활용하는 history-parameter-based affine inheritance 기법이 추가되었다. 더불어, 인접하지 않은 블록의 affine 파라미터를 후보로 활용하는 non-adjacent affine mode와, 기존 후보들의 파라미터를 조합하여 새로운 후보를 생성하는 synthetic affine candidate 기법이 도입되어 affine 후보의 다양성과 안정성이 동시에 향상되었다.

3) ECM subblock 기반 추가 확장 기술

이 외에도 ECM에서는 subblock 기반 inter mode의 적용 조건과 분할 구조가 정교화되었다. Subblock inter mode improvements에서는 subblock 기반 예측이 실제로 이득이 되는 블록 크기와 조건을 제한함으로써, 불필요한 복잡도 증가를 억제하였다. 또한 subblock 기반 affine 예측과 decoder-side refinement 기법 간의 결합이 허용되어, 인코더가 명시적으로 전달하지 않은 정보에 대해서도 디코더에서 추가적인 예측 개선이 가능하도록 설계되었다.

종합적으로 ECM의 subblock-based motion vector derivation 기술들은 VVC/H.266에서 도입된 subblock 개념을 공간적 예측, 모델 기반 예측, 그리고 디코더 측 보정까지 확장함으로써, 블록 내부 움직임 표현 능력을 실질적으로 강화하였다. 이는 차세대 비디오 코딩 표준에서 고

해상도·복잡 움직임 콘텐츠를 효율적으로 부호화하기 위한 핵심적인 기술 진화로 평가할 수 있다.

2. Decoder-side motion vector derivation 및 prediction refinement

효율적인 비디오 부호화를 위해서는 예측 정확도를 향상시키는 것 뿐만 아니라, 해당 예측 정보를 얼마나 적은 비트로 전달할 수 있는지도 중요한 요소이다. 이러한 관점에서 디코더 측에서 추가적인 움직임 정보를 유도하거나 예측을 보정하는 decoder-side motion vector derivation 및 prediction refinement 기술은 시그널링 오버헤드를 증가시키지 않으면서 압축 효율을 향상시킬 수 있는 효과적인 수단으로 주목받아 왔다. 디코더에서 이미 복원된 샘플과 인접 블록 정보를 활용함으로써, 인코더가 명시적으로 전달하지 않은 움직임 정보를 재구성할 수 있다는 점이 이들 기법의 핵심적인 특징이다.

VVC/H.266에서는 이러한 decoder-side 접근의 대표적인 사례로 DMVR과 BDOF가 도입되었다[4]. DMVR은 양방향 예측 블록에 대해 인코더가 전달한 초기 움직임 벡터를 기준으로, 디코더에서 제한된 탐색 범위 내 국부적인 탐색을 수행하여 전방 및 후방 예측 블록 간의 불일치를 최소화하는 보정 벡터를 추정한다. 또한 BDOF는 전방 및 후방 참조 영상으로부터 생성된 두 예측 블록 간의 밝기 변화와 공간적 기울기를 이용해 블록 단위의 optical-flow를 추정하고, 이를 예측 샘플 보정에 반영함으로써 미세한 움직임 차이를 보정한다. 이들 기법은 양방향 예측 환경에서 의미 있는 성능 향상을 제공하였으나, 모두 단일 단계의 보정 구조를 가지며 초기 예측 정확도에 대한 의존도가 높고, 적용 조건이 제한적이라는 한계를 가진다.

이러한 한계를 극복하기 위해 ECM에서는 decoder-side 접근을 더욱 적극적으로 확장하여, 템플릿 매칭 기반 MV 후보 생성, 다단계 DMVR, 그리고 확장된 BDOF 구조와 같은 기술들을 도입하였다. 이들 기법은 공통적

으로 디코더에서 이용 가능한 주변 복원 샘플과 예측 정보를 최대한 활용하여, 추가적인 비트 소모 없이 움직임 예측을 정밀화하는 것을 목표로 한다. 이를 통해 ECM의 decoder-side motion vector derivation 및 prediction refinement 기술은 다양한 움직임 특성과 예측 모드에 대해 보다 유연하고 정밀한 보정을 가능하게 하며, 차세대 비디오 코딩 표준을 위한 핵심적인 예측 구조로 발전하고 있다. 이를 위해 ECM에서는 (1) 템플릿 매칭 기반의 MV 후보 생성, (2) 다단계 refinement 구조, (3) 예측 모드 및 신호 환경에 따라 refinement 강도를 조절하는 적응적 기법들이 도입되었다.

이러한 기술들은 공통적으로 디코더에서 이미 복원된 샘플과 인접 블록의 정보를 활용하며, 인코더는 최소한의 제어 플래그만을 시그널링한다. 결과적으로 인코더 탐색 복잡도를 크게 증가시키지 않으면서도, 예측 정확도를 효과적으로 향상시키는 구조를 형성한다.

1) Template Matching 기반 MV 후보 유도

ECM의 TM 기술은 디코더 측에서 공간적으로 인접한 복원 샘플을 이용해 움직임 벡터 후보를 직접 생성하는 decoder-side motion vector derivation 기법이다. TM에서는 현재 블록의 상단과 좌측에 위치한 복원 샘플들을 사용하여 L자 형태의 템플릿을 구성한다. 이 템플릿은 현재 블록의 예측 특성을 대표하는 국부적인 구조 정보로 간주되며, 참조 영상 내 사전에 정의된 탐색 영역에서 동일한 형태의 템플릿을 갖는 위치를 탐색하는데 사용된다.

템플릿 탐색 과정에서는 각 후보 위치에서의 참조 템플릿과 현재 템플릿 간의 유사도를 Sum of Absolute Differences (SAD) 또는 Sum of Absolute Transformed Differences (SATD)와 같은 비용 함수로 계산한다. 탐색 영역은 복잡도 제어를 위해 제한된 범위로 설정되며, 비용이 가장 작은 위치로부터 하나 또는 복수의 MV 후보가 도출된다. 이렇게 생성된 TM 기반 MV 후보들은 기존의 merge 후보 리스트 또는 AMVP 후보 리스트에 추가되거

나, adaptive reordering 과정을 통해 기존 후보들의 우선 순위를 재정렬하는 데 활용된다.

TM의 핵심적인 장점은 후보 생성 과정이 인코더와 디코더에서 동일하게 재현 가능하다는 점이다. 즉, TM을 통해 도출된 MV 후보는 별도의 시그널링 없이 디코더에서도 동일하게 생성될 수 있으며, 이는 비트스트림 오버헤드를 증가시키지 않으면서 후보 다양성과 예측 신뢰도를 동시에 향상시키는 효과를 제공한다. 특히 초기 MV가 부정확하거나 공간적 움직임 변화가 큰 경우에도, 주변 복원 샘플의 구조 정보를 활용한 TM 후보가 대체 예측 수단으로 작용하여 이후 refinement 단계의 성능을 안정적으로 뒷받침한다.

2) Multi-pass Decoder-side Motion Vector Refinement

ECM에서는 VVC/H.266의 단일 단계 DMVR 구조를 확장하여, 다단계 DMVR 기법을 도입하였다. 본 기법은 한번의 국부 탐색으로 보정을 완료하는 방식에서 벗어나, 복수의 refinement 단계를 순차적으로 수행함으로써 보다 안정적이고 정밀한 보정을 가능하게 한다. 각 refinement 단계는 이전 단계에서 도출된 보정 결과를 초기값으로 사용하며, 탐색 해상도와 탐색 범위를 단계적으로 축소하는 방식으로 구성된다.

첫 번째 pass에서는 상대적으로 큰 탐색 간격과 넓은 탐색 범위를 사용하여 전반적인 움직임 오차를 보정한다. 이후 두 번째 및 세 번째 pass에서는 탐색 간격을 줄이고 탐색 범위를 축소하여, 미세한 움직임 차이를 정밀하게 보정한다. 각 단계에서는 전방 및 후방 참조 영상으로부터 생성된 예측 블록 간의 샘플 차이를 기반으로 비용을 계산하고, 비용이 최소가 되는 보정 벡터를 선택한다. 이러한 단계적 구조는 단일 단계 탐색에서 발생할 수 있는 국부 최적해 문제를 완화하는 데 효과적이다.

또한 ECM에서는 adaptive decoder-side motion vector refinement 기법이 함께 도입되어, 모든 블록에 대해 동일한 refinement 절차를 적용하지 않는다. 블

록 크기, 예측 모드, 초기 예측 비용 등의 조건에 따라 refinement 단계 수를 줄이거나 탐색을 조기에 종료할 수 있도록 설계되었다. 예를 들어, 초기 예측 비용이 충분히 낮은 경우에는 추가적인 refinement를 생략함으로써 복잡도를 절감하고, 반대로 예측 오차가 큰 경우에만 다단계 refinement를 수행하여 효율적인 연산 분배를 달성한다.

3) 확장된 Bi-Directional Optical-Flow

ECM에서는 VVC/H.266에서 도입된 BDOF를 확장하여, sample-based BDOF와 저지연 환경을 고려한 BDOF 구조를 새롭게 채택하였다. 기존 VVC/H.266의 BDOF는 블록 단위로 optical-flow 기반 보정을 수행하였으나, ECM의 sample-based BDOF에서는 각 샘플 위치에서의 optical-flow를 직접 추정하여 예측 샘플을 보정한다. 이를 위해 전방 및 후방 예측 샘플 간의 밝기 차이와 공간적 기울기를 이용해 각 샘플의 이동량을 계산하며, 이러한 보정값을 예측 샘플에 반영한다.

샘플 단위 BDOF는 블록 내부에서도 공간적으로 상이한 미세 움직임을 표현할 수 있어, 객체 경계나 비선형 움직임이 포함된 영역에서 특히 효과적이다. 또한 이 기법은 다단계 DMVR 또는 affine 예측 결과에 후처리 형태로

적용될 수 있어, 초기 예측과 refinement를 거친 결과를 추가적으로 보정하는 역할을 수행한다. 더불어 BDOF는 참조 프레임 수와 예측 방향이 제한적인 저지연 환경에서도 BDOF를 적용할 수 있도록 설계가 확장되었다. 이 구조에서는 사용 가능한 참조 영상과 예측 방향에 맞추어 optical-flow 계산 절차를 단순화하거나 일부 단계의 계산을 생략함으로써, 안정적인 보정 성능과 합리적인 복잡도 수준을 동시에 유지한다. 이러한 확장된 BDOF 기법들은 ECM의 decoder-side refinement 체계 내에서 TM 및 다단계 DMVR과 결합되어, 다양한 예측 환경에서도 일관된 성능 향상을 제공한다.

3. ECM 화면간 예측 기술의 주요 특징 및 성능 요약

〈표 1〉은 VVC/H.266과 ECM의 화면간 예측 기술을 구조적 진화 관점에서 종합 비교한 것이다. VVC/H.266이 SbTMVP 기반의 시간적 subblock MV 상속, 블록 단위 spatial MVP, 단일 단계 DMVR 및 블록 단위 BDOF 등 비교적 제한된 구조의 예측·보정 기법을 중심으로 설계되었다면, ECM은 이를 확장하여 subblock 단위 공간적 MV 유도, 픽셀 단위 affine 보상과 subblock/샘플 단

〈표 1〉 Subblock 및 Decoder-side 관점에서 VVC/H.266과 ECM의 화면간 예측 기술 비교

구분	VVC / H.266	ECM
Subblock 기반 MV 유도	SbTMVP 중심의 시간적(collocated) subblock MV 상속	sbSMVP를 통해 공간적(spatial) subblock MV 상속 추가
Spatial MV 활용	Block-level spatial MVP 위주	Subblock-level spatial MV derivation 지원
Affine motion model	블록 단위 affine 파라미터 및 subblock 보상	픽셀 단위 affine 보상 및 subblock BDOF 결합
Affine 후보 생성	인접 블록 기반 제한적 후보	Temporal collocated, history-based, non-adjacent, synthetic affine 후보 확장
Decoder-side motion vector refinement	단일 단계 DMVR	Multi-pass DMVR + adaptive refinement
Template Matching	미활용	디코더 측 MV 후보 직접 생성에 적극 활용
BDOF 적용 단위	블록 단위 BDOF	Sample-based BDOF, affine-BDOF 결합
Low-delay 환경 대응	BDOF 적용 제한적	Low-delay 전용 BDOF 구조 도입
후보 다양성	제한된 merge/AMVP 후보	TM-affine 확장으로 후보 다양성 증가
시그널링 오버헤드	효율적이나 구조 고정적	추가 시그널링 없이 성능 향상

위 BDOF 결합, 다양한 affine 후보 생성 방식, 그리고 multi-pass 및 adaptive decoder-side refinement를 도입함으로써 예측 정밀도를 크게 향상시켰다. 또한 ECM에서는 템플릿 매칭을 디코더 측 MV 후보 생성에 적극 활용하고, low-delay 환경에서도 적용 가능한 BDOF 구조를 추가함으로써 다양한 예측 조건에 대한 적응성을 강화하였다. 이러한 변화는 공통적으로 추가적인 시그널링 없이 디코더 연산을 활용해 후보 다양성과 예측 정확도를 확대하는 방향으로 이루어졌으며, ECM의 화면간 예측 기술이 VVC 대비 보다 유연하고 정교한 차세대 예측 구조로 발전했음을 보여준다.

ECM은 VVC/H.266 대비 공통 실험 조건에서 Random Access 구성 기준 약 27% 내외의 BD-rate 감소를 달성하였으며, 이는 화면간 예측 기술의 확장에 크게 기인한다[5-6]. 본고에서 다룬 subblock-based motion vector derivation과 decoder-side motion vector derivation 및 prediction refinement 기술들은 후보 다양성 확대와 예측 정밀화 측면에서 핵심적인 역할을 수행하며, 특히 양방향 예측 환경에서의 성능 개선에 크게 기여한다. 이러한 결과는 ECM의 화면간 예측 구조가 차세대 비디오 코딩 표준에서 높은 잠재력을 가짐을 시사한다.

III. 결론

본고에서는 JVET의 ECM에 채택된 화면간 예측 기술 중, subblock-based motion vector derivation과 decoder-side motion vector derivation 및 prediction refinement 기술을 중심으로 그 구조와 동작 원리를 살펴보았다. VVC/H.266에서 도입된 subblock 기반 예측과 DMVR, BDOF는 ECM에서 공간적 subblock 상속, affine 모델의 세분화, 템플릿 매칭 기반 후보 생성, 다단계 refinement, 샘플 단위 보정 기법으로 확장되며 보다 정교한 예측 체계를 형성하였다. 이러한 기술들은 공통적으로 인코더의 시그널링 부담을 증가시키지 않으면서도 디코더에서 활용 가능한 정보를 적극적으로 이용함으로써 예측 정확도를 향상시키는 방향으로 설계되었다. 그 결과, ECM의 화면간 예측 기술은 고해상도 및 복잡한 움직임을 포함하는 콘텐츠 환경에서 의미 있는 압축 성능 개선을 달성할 수 있는 기반을 제공한다. 본고에서 다룬 기술들은 향후 차세대 비디오 코딩 표준에서도 핵심 구성 요소로 활용될 가능성이 높으며, 이에 대한 지속적인 분석과 확장이 필요할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Versatile Video Coding (VVC), ITU-T Recommendation H.266 and ISO/IEC 23090-3, Jul, 2020.
- [2] M. Coban, R.-L. Liao, K. Naser, J. Ström, L. Zhang, "Algorithm description of Enhanced Compression Model 19 (ECM 19)," JVET-AN2025, Oct, 2025.
- [3] H. Yang, H. Chen, J. Chen, S. Esenlik, S. Sethuraman, X. Xiu, E. Alshina, and J. Luo, "Subblock-Based Motion Derivation and Inter Prediction Refinement in the Versatile Video Coding Standard," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 31 (2021), pp. 3862-3877.
- [4] H. Gao, X. Chen, S. Esenlik, J. Chen, and E. Steinbach, "Decoder-Side Motion Vector Refinement in VVC: Algorithm and Hardware Implementation Considerations," *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology* 31 (2021), pp. 3197-3211.
- [5] V. Seregin, J. Chen, R. Chernyak, F. Le Léanec, K. Zhang, "JVET AHG report: ECM software development (AHG6)," JVET-AN0006, Oct, 2025.
- [6] X. Li, L.-F. Chen, Z. Deng, J. Gan, E. François, R. Ishimoto, H.-J. Jhu, J. Lainema, X. Li, J. Pardo, A. Stein, H. Wang, "JVET AHG report: ECM tool assessment (AHG7)," JVET-AN0007, Oct, 2025.

저 자 소 개



최 기 호

- 2008년 : 한양대학교 정보통신대학 미디어공학과 학사
- 2012년 : 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사
- 2012년 ~ 2014년 : 한양대학교 부설연구소 Post Doc.
- 2014년 ~ 2021년 : 삼성전자 삼성리서치 책임연구원
- 2021년 ~ 2023년 : 가천대학교 AI·소프트웨어학부 조교수
- 2023년 ~ 현재 : 경희대학교 전자공학과 조교수
- 주관심분야 : 영상처리, 비디오압축, 딥러닝