

비디오 압축을 위한 적응적 임의 분할 예측 방법에 관한 연구

이민훈 / 광운대학교 영상처리시스템연구실 (IPSL)

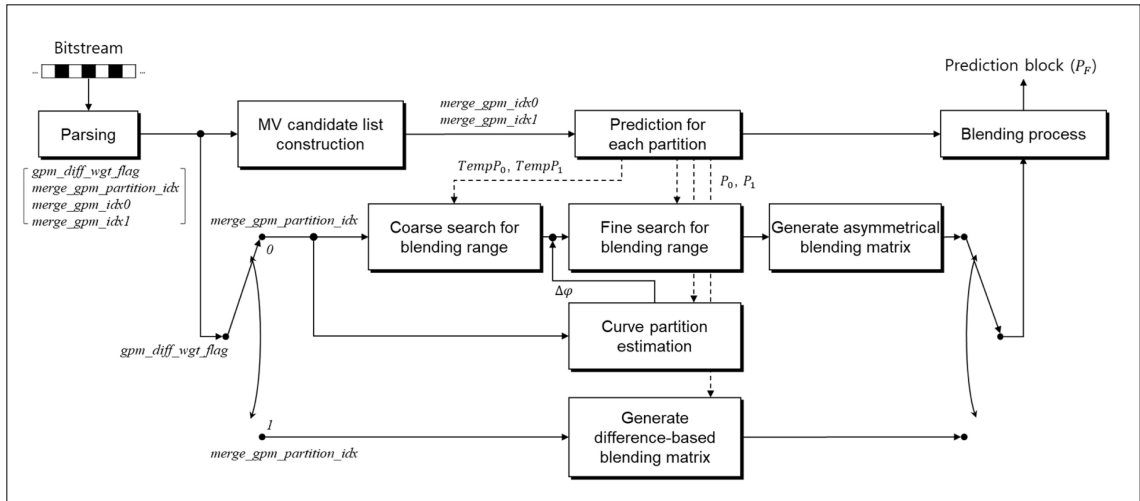
본 논문은 디지털 영상 콘텐츠의 지속적인 증가와 4K/8K UHD, HDR, VR/AR 등 차세대 미디어 서비스의 확산에 대응하기 위해, 고효율 비디오 압축 기술의 성능 한계를 극복하고자 수행된 연구이다. 최근 제정된 비디오 압축 표준 H.266/VVC (Versatile Video Coding)는 다양한 영상 환경에서 높은 압축 효율을 제공하도록 설계되었으며, 특히 객체 경계의 비정형성을 보다 정밀하게 표현하기 위해 기하학적 분할 예측 (Geometric Partitioning Mode, GPM)을 도입하였다. 그러나 GPM은 구현 복잡도와 하드웨어 효율성을 고려한 설계로 인해 예측 구조 측면에서 여전히 여러 제약을 가지며, 이는 실제 영상에서의 표현력 저하와 압축 성능 한계로 이어진다.

구체적으로, 기존 GPM은 모션 벡터 후보 생성 과정에서 단순한 규칙을 사용함에 따라 후보 간 중복이 빈번하게 발생하며, 이로 인해 제한된 후보 집합 내에서 충분한 움직임 다양성을 확보하지 못한다. 또한 분할 경계가 직선 형태로 제한되어 있어 실제 영상에서 흔히 나타나는 곡선형 또는 비정형 객체 경계를 정확히 모델링하기 어렵고, 이는 경계 영역에서의 예측 오차 증가로 이어진다. 더불어 두 예측 신호를 결합하는 블렌딩 (blending) 과정 역시

고정된 가중치와 일정한 범위에 기반하여 수행되므로, 콘텐츠 특성이나 예측 신호 간의 신뢰도 차이를 충분히 반영하지 못한다. 이러한 구조적 한계는 특히 복잡한 움직임이나 경계를 포함하는 영상에서 성능 저하의 주요 원인으로 작용한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 모션 정보, 분할 구조, 신호 결합 방식의 세 가지 요소를 통합적으로 개선하는 적응적 임의 분할 기반의 예측 프레임워크를 제안한다. <그림 1>은 제안하는 프레임워크의 전체 구조를 나타낸다. 제안된 구조는 기존 GPM 기반 예측 과정에 RAML, GGPB, CAB를 통합적으로 적용하여, 모션 벡터 후보 구성, 분할 경계 모델링, 예측 신호 결합의 세 단계에서 성능을 향상시키도록 설계되었다. 각 구성 요소는 상호 보완적으로 동작하며, 전체 예측 구조의 표현력과 적응성을 동시에 향상시킨다.

먼저, 모션 벡터 후보의 다양성을 확보하기 위해 중복성을 고려한 머지 리스트 (Redundancy-Aware Merge List, RAML)를 제안한다. RAML은 후보 생성 단계에서 중복되는 모션 벡터를 제거하고 후보 간 독립성을 확보함으로써, 동일한 후보 수 내에서 보다 다양한 움직임 정보를 활용할



<그림 1> 디코더 관점에서의 제안하는 적응적 임의 분할 예측 방법의 프레임워크

수 있도록 한다. 이를 통해 예측 후보의 표현력을 향상시키며, 특히 복잡한 움직임이 존재하는 환경에서 보다 정확한 예측을 가능하게 한다.

다음으로, 객체 경계 표현의 한계를 극복하기 위해 일반화된 기하학적 분할 경계 (Generalized Geometric Partitioning Boundary, GGPB) 모델을 제안한다. 기존 GPM은 하나의 직선으로 블록을 두 영역으로 분할하는 방식이기 때문에, 실제 영상에서 흔히 나타나는 곡선형 또는 복잡한 경계를 충분히 근사하지 못하는 문제가 있다. GGPB는 이러한 한계를 극복하기 위해 분할 경계를 여러 개의 선형 구간으로 나누어 표현하는 구간별 선형 모델 (piecewise-linear model)을 도입한다. 각 구간은 기존 GPM의 파라미터 체계를 확장하는 방식으로 정의되어, 표준 구조와의 호환성을 유지하면서도 경계 표현의 자유도를 크게 증가시킨다. 이로 인해 객체 경계에 대한 기하학적 근사 오차를 줄일 수 있으며, 특히 경계 인접 영역에서의 예측 왜곡을 효과적으로 감소시킨다. 또한 경계 모

델의 복잡도를 제어하기 위한 파라미터 제한 및 후보 선택 전략을 함께 설계하여, 성능 향상과 복잡도 증가 간의 균형을 유지한다.

마지막으로, 두 예측 신호를 결합하는 과정에서 콘텐츠 특성과 신호 신뢰도를 반영하기 위해 콘텐츠 적응적 블렌딩 (Content Adaptive Blending, CAB) 구조를 제안한다. 기존 GPM에서는 고정된 블렌딩 폭과 선형 가중치 구조를 사용하여 두 예측 신호를 결합하므로, 각 신호의 품질 차이나 영상의 지역적 특성을 반영하기 어렵다. CAB는 먼저 각 예측 신호 간의 유사도를 기반으로 신뢰도를 추정하고, 이를 이용해 가중치를 동적으로 조정하는 적응적 가중치 기법을 적용한다. 이를 통해 더 신뢰도 높은 예측 신호에 더 큰 비중을 부여할 수 있다. 또한 블렌딩이 적용되는 영역 자체를 콘텐츠 특성에 따라 각 예측 신호와 현재 블록 간의 유사도를 기반으로 암시적으로 두 영역을 독립적으로 조절하는 기법을 함께 도입한다. 예를 들어, 경계의 방향성이나 텍스처 변화가 큰 영역에서는 블렌

딩 범위를 확장하거나 축소하여 보다 자연스러운 신호 결합이 이루어지도록 한다. 이러한 CAB 구조는 단순한 선형 결합을 넘어, 콘텐츠에 따라 최적화된 예측 신호 융합을 가능하게 하며, 주관적 화질과 객관적 압축 성능을 동시에 개선한다.

제안하는 방법은 VVC 참조 소프트웨어 (VTM-18.0)에 구현되어 다양한 영상 콘텐츠에 대해 성능 평가가 수행되었다. 실험 결과, VTM-18.0 대비 Low Delay-B (LDB) 환경에서 평균 0.96%, Random Access (RA) 환경에서 평균 0.54%의 BD-rate 감소를 달성하였으며, 자연 영상, 스크린 콘텐츠, 혼합 콘텐츠 등 다양한 유형에서 일관된 성능 향상이 확인되었다. 이는 제안된 방법이 특정 콘텐츠에 종속되지 않고 GPM 구조 전반의 효율성을 개선할 수 있

음을 의미한다. 또한 복잡도 분석을 통해 성능 향상 대비 합리적인 계산 비용을 유지함을 확인하여, 실제 시스템 적용 가능성 또한 확보하였다.

결론적으로, 본 논문은 VVC의 기하학적 분할 예측 구조가 가지는 근본적인 한계를 체계적으로 분석하고, 모션 벡터 후보 구성, 분할 경계 모델링, 블렌딩 구조를 통합적으로 개선하는 새로운 예측 프레임워크를 제시하였다. 제안된 방법은 예측 신호의 표현력과 적응성을 동시에 향상시키며, 다양한 영상 환경에서 안정적인 압축 성능 개선을 제공한다. 이러한 결과는 향후 차세대 비디오 압축 표준 기술의 발전뿐만 아니라, 고품질 영상 콘텐츠의 효율적인 저장 및 전송을 위한 기술적 기반을 제공한다는 점에서 중요한 의의를 갖는다.



이민훈

- 2019년 2월 : 광운대학교 수학과, 전자공학과 (복수전공) 학사
- 2021년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사
- 2026년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2026년 1월 ~ 현재 : LG전자 C&M표준연구소 선임연구원
- 주관심분야 : 영상처리, 영상압축, 컴퓨터비전