

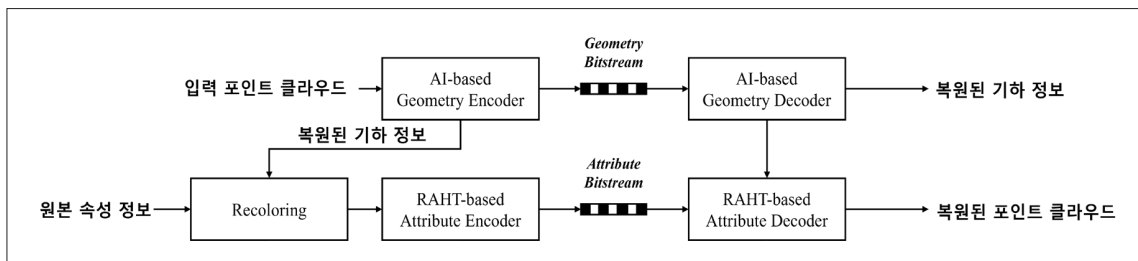
다차원 피쳐 추출 방안과 확장된 RAHT 예측을 통한 하이브리드 포인트 클라우드 압축 기술 향상 연구

권도완 / 경희대학교 MediaLab 3

포인트 클라우드는 수십만에서 수백만 개의 점으로 구성되며, 각 점이 기하 정보와 속성 정보를 동시에 포함하기 때문에 데이터 용량이 매우 크다는 근본적인 한계를 가진다. 이러한 특성으로 인해 포인트 클라우드의 효율적인 저장 및 전송을 위한 포인트 클라우드 압축(Point Cloud Compression, PCC) 기술은 실용적 서비스 구현을 위한 필수 요소로 인식되고 있다. 이에 국제 표준화 단체 ISO/IEC JTC 1/SC 29 MPEG(Moving Picture Experts Group)에서는 딥러닝 기술 발전에 발맞추어 AI-based Point Cloud Compression(AI-PCC) 표준화를 본격적으로 추진하고 있다. 현재 AI-PCC 표준화의 참조 모

델인 Test Model for AI-PCC(TMAP)는 딥러닝 기반 기하 정보 압축과 전통적인 신호처리 기법인 Region-Adaptive Hierarchical Transform(RAHT) 기반 속성 정보 압축을 결합한 하이브리드(Hybrid) 구조를 채택하고 있으며, 구체적인 구조는 <그림 1>에서 나타난다.

하지만 포인트 클라우드는 영역에 따라 점들이 밀집된 구간과 희소하게 분포된 구간이 공존하는 특성을 갖는데, 이러한 불규칙한 점들의 분포 특성으로 인해 하이브리드 PCC에서 기하 및 속성 정보의 공간적 상관성을 일관되게 활용하기가 어렵다. 이에 본 논문에서는 기존 TMAP 기반 하이브리드 PCC의 한계를 보완하기 위해, 서로 독립적으



<그림 1> TMAP 하이브리드 포인트 클라우드 압축 구조

로 적용 가능한 두 가지 압축 강화 기법을 제안한다. 첫 번째로 기하 정보 압축 측면에서는 점 분포의 변화에도 강건하게 동작하도록 설계된 Multi-Dimensional Feature Extraction(MDFE) 네트워크[1]를 도입하여, 다양한 방향의 기하 상관성을 효과적으로 포착하고 표현력 높은 기하 특징을 형성함으로써 기하 압축 효율을 향상시킨다. 두 번째로 속성 정보 압축 측면에서는 기존 RAHT 화면 내 예측이 고정된 이웃 복셀 수를 기준으로 한 보수적인 적격성 평가 방식을 사용함에 따라, 포인트 클라우드의 점 분포가 희소하거나 불규칙한 영역에서는 실제로 예측 가능함에도 불구하고 예측이 비활성화되는 문제가 발생한다. 이에 불규칙한 점 분포 환경에서도 보다 유연하게 예측을 수행할 수 있도록 확장된 RAHT 예측 기법을 제안한다. 제안 기법은 임의의 RAHT 계층 내의 복셀 간 유클리디안(Euclidean) 거리를 함께 고려하여 예측 이웃을 동적으로 선택함으로써, 기존의 고정된 이웃 수 기반 적격성 평가가 갖는 한계를 완화하고, 선택된 이웃들에 대해 거리 기반 가중 보간을 적용하여 예측의 안정성을 확보함으로써, 희소하거나 불균일한 영역에서도 예측을 효과적으로 수행하고 속성 압축 효율을 향상시킨다[2].

본 연구의 성능 평가는 MPEG AI-GC 그룹의 CTC 환경에서 수행되었으며, 기준(Anchor) 코덱으로 TMAP v3.1

을 사용하였다. 기하 압축 측면에서 제안한 MDFE를 무손실 기하 압축 파이프라인에 적용한 결과, bpip(bits per input point) 기준 평균 약 2.2%의 비트 절감을 확인하였다. 이때 부호화 시간은 기준 대비 최대 7% 이내로 증가했으며, 복호화 시간은 거의 동일하였다. 속성 압축 측면에서는 확장된 RAHT 화면 내 예측을 통해 BD-Rate가 Y 채널 평균 0.06%, Cb 채널 평균 0.12% 감소했으며, Cr 채널은 기준과 거의 동일한 성능을 유지하였다. 또한 속성 부/복호화 시간은 기준과 거의 동일하여 복잡도 증가가 거의 없음을 확인하였다.

종합적으로, 본 논문은 AI 기반 기하 압축과 RAHT 기반 속성 압축을 결합한 하이브리드 포인트 클라우드 압축 구조에서 기하 및 속성 압축을 동시에 개선하는 실용적인 접근 방식을 제시하였다. 제안한 MDFE는 포인트 클라우드 점 분포의 지역적 불균일성으로 인한 성능 변동을 완화하는 데 기여하였으며, 확장된 RAHT 예측은 기존 속성 압축 구조에서 활용되지 못하던 공간 상관성을 효과적으로 활용하였다. 향후에는 콘텐츠 특성에 따른 특징 추출 모듈 선택 전략 고도화 및 채널별 RAHT 예측 파라미터의 정밀 최적화를 통해 추가적인 압축 성능 향상이 가능할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] D. Kwon, J. Kwon, J. Kim, and K. Kim, "Enhancing Lossless Compression in AI-PCC via Distribution-Aware Feature Extraction," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 30, No. 7, pp. 1143-1154, Dec. 2025.
- [2] D. Kwon, S. Rhee, and K. Kim, "RAHT Node Interpolation Method for Enabling G-PCC Inter-Frame Attribute Prediction and Improving Compression Performance," *Journal of Broadcast Engineering*, Vol. 29, No. 6, pp. 819-831, Nov. 2024.



권도완

- 2024년 2월 : 경희대학교 전자공학 전공 학사
- 2026년 2월 : 경희대학교 전자정보융합공학 석사 졸업(예정)
- 주관심분야 : 포인트 클라우드 압축, 딥러닝, 영상처리, 멀티미디어 시스템