

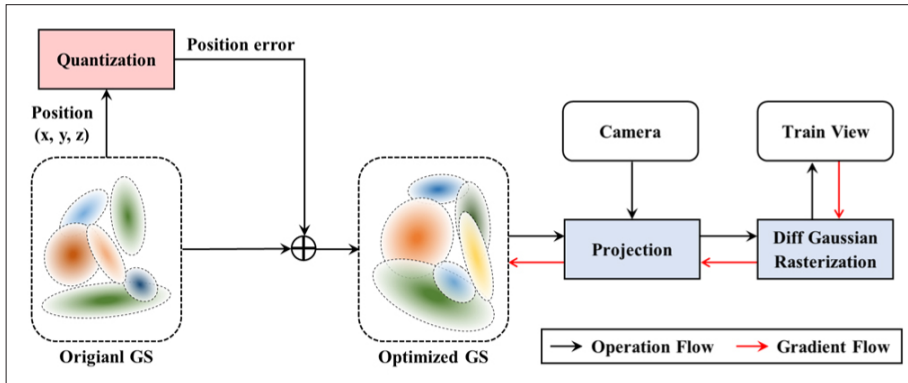
# 3D 공간 정보 압축을 위한 가우시안 스플릿 모델의 파라미터 최적화 구조 연구

김영욱 / 광운대학교 영상처리시스템연구실(IPSL)

3D Gaussian Splatting(3DGS)은 3차원 공간을 효율적으로 표현하는 최신 기법으로, 기존의 복잡한 신경망 기반 방식에 비해 실시간 렌더링과 고품질 시점 합성 성능을 동시에 제공하며 그래픽스 분야에서 큰 주목을 받고 있다. 이러한 성능은 수백만 개의 독립적인 3D 가우시안을 활용하여 장면을 매우 정밀하게 표현하는 구조에서 기인한다.

그러나 이와 같은 조밀한 표현 방식은 막대한 저장 용량과 메모리 대역폭을 요구하며, 특히 모바일 환경이나 실시간 스트리밍과 같은 응용에서 중요한 병목 요소로 작용한다. 이를 해결하기 위해 다양한 압축 기법들이 제안되었으나, 기존 연구들은 주로 색상이나 형태와 같은 속성 정보의 압축에 집중되어 있으며, 각 가우시안의 위치 정보에 대한 효율적인 압축은 충분히 다루지지 않았다. 이는 위치 정보의 오차가 전체 렌더링 품질에 직접적인 영향을 미치기 때문에, 높은 정밀도 양자화를 수행하여 위치 정보의 손실을 최소화시킨다. 그 결과, 전체 비트스트림에서 위치 정보가 차지하는 비중은 저대역폭 환경에서 최대 약 70%에 달하며, 주요한 대역폭 병목 요소로 작용한다.

본 논문에서는 이러한 문제를 해결하기 위해, 위치 정보의 양자화 오차를 고려하여 속성 정보를 최적화하는 새로운 압축 구조를 제안한다. 제안하는 방법의 기본 아이디어는 양자화된 위치 정보에 맞게 속성 정보를 재최적화함으로써, 위치 정보의 정밀도를 낮추면서도 렌더링 화질 저하를 최소화하는 것을 목표로 한다. 위치 정보를 낮은 정밀도로 양자화할 경우, 좁은 영역에서 정밀하게 표현되던 값들이 뭉개지면서 가우시안 간 위치가 겹치는 문제가 발생한다. 이를 완화하기 위해, 양자화 이전 단계에서 시그모이드 함수를 이용한 위치 정보에 비선형 분포 변환을 적용한다. 특히 가우시안이 밀집된 영역에서의 표현 정밀도를 유지하기 위해 평균 위치를 기준으로 변환 중심을 설정하고, 분포의 기울기를 조절하여 변환 강도를 결정한다. 이때 기울기 값은 변환 및 양자화 이후 발생하는 평균 제곱오차(MSE)가 최소화되도록 이진 탐색을 통해 결정된다. 위치 정보의 분포 변환 및 양자화를 수행한 이후에는, <그림 1>과 같이 위치 정보 오차를 반영한 속성 정보 최적화 과정을 수행한다. 해당 과정에서는 양자화된 위치에서의 렌더링 결과와 원본 학습 뷰 간의 손실을 최소화하도록 속성 정보를 보정한다. 계산 복잡도를 고려하여, 최적



<그림 1> 제안하는 복원된 위치정보 기반 속성정보 최적화 과정

화는 원본 모델과 유사한 화질 수준에 도달하는 시점까지 제한적으로 수행된다.

최적화 과정은 각 가우시안별 위치 오차 크기에 따라 속성 변화량이 달라지며, 이를 속성 이미지로 변환할 경우 고주파 성분이 증가된다. 이를 해결하기 위해, 본 연구에서는 불투명도가 일정 임계값 이하로 낮아 렌더링 기여도가 작은 가우시안들을 대상으로 색상 정보 필터링을 적용하여 압축 효율을 추가적으로 향상시킨다.

성능 평가는 3D 가우시안 파라미터를 2차원 그리드로 변환하여 HEVC로 압축하는 방법과의 비교를 통해 수행

되었다. 다양한 대역폭 환경에서 실험을 진행한 결과, 제안 방법은 기존 대비 유사한 화질을 유지하면서 더 낮은 비트율을 달성하여 압축 효율을 향상시켰다. 특히 BD-rate 기준으로 PSNR -8.96%, SSIM -8.38%, LPIPS -7.49%의 감소율을 보였으며, 이러한 성능 향상은 저대역폭 환경에서 더욱 두드러지게 나타났다.

본 연구에서 제안한 위치 정보 기반 속성 최적화 구조는 3DGS 데이터의 압축 효율을 효과적으로 향상시킬 수 있으며, 향후 대용량 3차원 콘텐츠의 전송 및 실시간 서비스에 유용하게 활용될 것으로 기대된다.



## 김영욱

- 2024년 2월 : 광운대학교 소프트웨어학부 학사
- 2026년 2월 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2026년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터공학과 박사과정
- 주관심분야 : 3D 데이터 압축, 비디오코덱, 영상처리