

동적 메쉬의 공간적 스케일러블 부호화 구조에 관한 연구

변주형 / 광운대학교 Image Processing Systems Laboratory

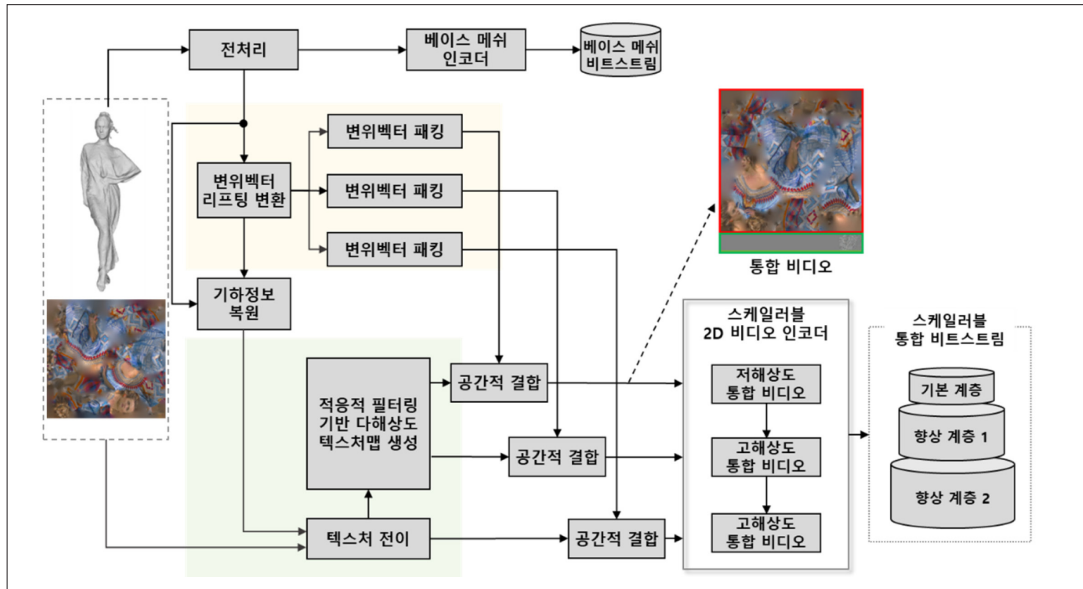
최근 실감형 미디어 응용 분야가 급격히 성장함에 따라, 높은 몰입감을 제공하는 3차원 볼류메트릭 데이터의 활용이 급증하고 있다. 다양한 볼류메트릭 데이터 포맷 중 다각형 메쉬(Polygonal Mesh)는 적은 정점으로도 사실적인 표현이 가능하여 다양한 응용에서 주로 사용되고 있다. 하지만 시간에 따라 변하는 동적 메쉬(Dynamic Mesh)는 데이터 크기가 매우 방대하여 이를 압축하기 위한 V-DMC(Video-based Dynamic Mesh Coding) 국제 표준화가 현재 활발히 진행되고 있다. 동적 메쉬 콘텐츠는 기존 2D 미디어와 달리 네트워크의 대역폭뿐만 아니라 사용자 단말기의 렌더링 연산 성능까지 함께 고려한 적응적 서비스 품질(AQoS, Adaptive Quality of Service) 제공이 필수적이며, 이를 위해서는 텍스처맵의 해상도와 3차원 기하정보(Geometry)의 세밀도를 동시에 제어할 수 있는 공간적 스케일러블 부호화 기술이 요구된다. 다중 해상도의 동적 메쉬 데이터를 서비스하는 방법으로 각 해상도의 메쉬를 독립적으로 압축하여 전송하는 동시전송(Simulcast) 방식이 있다. 하지만 동시전송 방법은 해상도별 메쉬 간의 중복성을 제거하지 못해 전송 비트율과 저장 비용이 크게 증가하는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해

기존 V-DMC 프레임워크 기반의 스케일러블 연구들이 진행되었으나, 텍스처맵에만 해상도 확장을 지원하여 기하정보의 세밀도를 조절하지 못하거나 기하정보와 텍스처를 위해 서로 다른 여러 개의 비디오 스트림을 별도로 생성해야 한다는 한계가 존재했다. 특히 다수의 비디오 스트림이 생성되는 경우 비디오 스트림을 병렬로 복호화할 수 없는 일반적인 하드웨어 환경에서는 복호화 지연이 증가하여 실시간 서비스가 제한된다.

이러한 기존 연구의 한계를 근본적으로 극복하기 위하여 본 연구에서는 단일 스케일러블 2D 비디오 부-복호화 기만으로 기하정보와 텍스처맵 모두에 대해 공간적 스케일러블 기능을 지원하는 다계층 통합 비디오 기반 부호화 구조를 제안한다.

〈그림 1〉은 제안하는 스케일러블 부호화 구조를 나타낸다. 제안하는 스케일러블 부호화 구조에서 베이스 메쉬는 기존 V-DMC의 부호화 구조와 동일하게 압축되고, 동적 메쉬 데이터의 텍스처 정보와 기하정보를 위한 변위벡터 영역은 공간적으로 병합되어 다계층 통합 비디오를 생성하게 된다. 이후 이를 단일 2D 스케일러블 비디오 인코더를 통해 압축하여 하나의 스케일러블 비트스트림을 생

졸업논문 소개



<그림 1> 제안하는 다계층 통합 비디오 기반 스케일러블 부호화 구조도

성한다. 제안하는 스케일러블 부호화 구조는 최적화된 기존의 2D 스케일러블 코덱 인프라를 활용함으로써 해상도 간 중복성을 효율적으로 제거함과 동시에, 스케일러블 기능 지원을 위한 별도의 코덱 구현 부담이나 복호화기 개수 증가에 따른 지연을 최소화할 수 있다. 제안하는 방법의 다해상도 텍스처맵 생성 과정에서는 텍스처의 부호화 효율과 저해상도 품질을 동시에 높이기 위해, 실제 텍스처가 존재하는 점유(Occupied) 영역과 빈 공간인 비점유(Non-occupied) 영역을 구분하여 처리하는 방식을 도입하였다. 기존 다운샘플링 기반 다해상도 텍스처맵 생성 방법은 점유 영역과 비점유 영역의 픽셀값이 무분별하게 섞여 저해상도에서 화질 열화가 크다는 한계가 존재한다. 이를 해결하기 위해 제안하는 방법에서는 점유 픽셀만을 선택적으로 필터링하는 적응적 다운샘플링을 통해 저해상도 텍스처맵에서의 화질 열화를 최소화한다. 또한, 비점유 텍스처 영역은 비디오 코덱의 압축 효율을 극대화하기

위해 비디오 코덱의 화면 내(Intra), 계층 간(Inter-layer), 화면 간(Inter) 예측 구조를 종합적으로 고려하여 데이터를 패딩(Padding)하도록 설계하여 텍스처 비트율을 효과적으로 절감하였다.

기하정보의 스케일러블리티를 지원하기 위해 V-DMC에서 기하정보를 표현하기 위해 리프팅 변환(Lifting Transform) 후 전송되는 변위벡터 변환계수를 세부 수준(LoD, Level of Detail) 단위로 분해하여 비디오에 점진적으로 패킹하는 LoD 기반 다계층 변위벡터 비디오 생성 방식을 제안하였다. 각 LoD 구조는 상위 계층이 하위 계층을 포함하는 특성을 지니기 때문에 단순 패킹 시 상위 계층에 하위 계층 변환계수가 중복해서 포함되어 전체 비트율이 증가하는 구조적 문제가 발생한다. 본 연구는 이를 해결하기 위해 하위 레벨의 변위벡터 변환계수를 DCT 보간 필터로 업샘플링하여 패킹함으로써 스케일러블 코덱의 계층 간 예측을 활용함으로써 중복적인 데

이더로 인한 비트 발생을 최소화하였다. 더불어, 수신기가 네트워크 환경 제약으로 인해 저해상도 기하정보만 요청하여 상위 계층의 변환계수가 전송되지 않았을 때, 역업데이트 연산을 수행할 수 없어 복원된 저해상도 기하정보의 왜곡이 발생하는 현상을 해결하고자 의사 역업데이트(Pseudo Inverse-update)를 제안하였다. 제안하는 의사 역업데이트는 V-DMC 표준상에서 전송되고 있는 세분화 수준별 잔차 신호의 평균값을 이용해 복호화기에서 ‘근사적 역업데이트’를 수행한다. 특히, 신호의 분산이 큰 하위 세분화 수준일수록 평균값을 통한 근사 과정에서 발생하는 과보정(Over-correction)을 방지하기 위하여, 평균값의 적용 비율을 조절하는 적응적 스케일 계수를 도입함으로써 저해상도 환경에서의 복원 기하 품질을 유의미하게 향상시켰다.

제안하는 다계층 통합 비디오 기반 공간적 스케일러블 부호화 구조의 객관적 성능을 TMM v8.0 참조 소프트웨어를 기반으로 검증한 결과, 각 해상도를 독립적으로 압축하는 동시전송 방식 대비 큰 수준의 전송 비트율 절감 효과를 입증하였다. 3계층 환경에서 포인트 클라우드

드 기반 품질 지표인 D1, D2, Luma PSNR에 대한 BD-Rate를 측정된 결과, All-intra 조건에서는 각각 37.42%, 37.40%, 36.04% 향상되었으며, 시간적 예측이 활성화된 Low-delay 조건에서도 각각 37.36%, 37.25%, 37.95%의 성능 향상을 확인하였다. 부호화 처리 시간 측면에서 비교한 결과, 동시전송 방식은 각 해상도별 독립적인 부호화로 인해 55% 이상의 부호화 복잡도 증가를 보인 반면, 제안하는 다계층 통합 부호화 구조는 약 10~12%의 처리 시간 증가만으로 스케일러블 기능을 효과적으로 지원함을 입증하였다. 결론적으로 본 논문에서 제안한 다계층 통합 비디오 기반 동적 메쉬 공간적 스케일러블 부호화 구조는 기존 동시전송 방식이 갖는 구조적 비효율성을 효과적으로 해소하면서, 하나의 부-복호화기만으로 동적 메쉬에 대한 적응적 서비스 품질을 안정적으로 제공할 수 있는 실용적인 대안이 될 수 있음을 확인하였다. 본 연구 결과는 향후 XR, 실시간 원격 협업 등 다양한 실감형 미디어 응용 환경에서 동적 메쉬 기반 콘텐츠 전송 기술의 핵심 요소로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

변주형



- 2019년 : 광운대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2021년 : 광운대학교 컴퓨터공학과 석사
- 2026년 : 광운대학교 컴퓨터공학과 박사
- 2026년 ~ 현재 : LG전자
- 주관심분야 : 2D/3D 비디오 부호화, 영상처리