과제 소개

몰입형 경험을 제공하는 실감 미디어를 위한 AI/ML 기반 3D 공간 표현 데이터의 효율적인 부호화 기술 표준개발

강제원, *민병왕, **심동규, ***어영정 / 이화여자대학교, *엠앤앤에이치, **디지털인사이트, ***연세대학교

요 약

본 과제는 몰입형 미디어와 공간 컴퓨팅을 위한 AI/ML 기반 3D·4D Gaussian Splat 데이터의 고효율 압축 및 MPEG GSC 표준화를 목표로 한다. 다양한 실사 객체와 장면을 대상으로 3D/4D 데이터셋을 구축하고, GS의 기하, 색상, 투명도, 스케일, 회전 및 외관 속성에 존재하는 공간적, 시간적 중복성을 활용하여 시간 예측, 적응형 GOP, 시공간 계층 부호화, 스케일 기반 계층 모델, 단말 자원 적응형 렌더링, 상위 레벨 표현, SEI 확장 기술을 개발한다. 개발 기술은 압축, 복원 소프트웨어와 표준 테스트 모델에 통합하여 효율성, 호환성, 복잡도 및 렌더링 성능을 검증하며 표준에 기여한다. 나아가 빠르게 변화하는 기술 환경에 대응하며 압축 친화적 GS 원천기술과 국제표준 의제를 선점하고, 국내 기술의 표준특허 및 글로벌 산업 경쟁력 확보에 기여하고자 한다.

Ⅰ. 과제 개요

1. AI/ML 기반 3D 공간 표현 표준 기술 추진 배경과 RFP 요구사항

최근 AI, 확장현실(XR), 디지털 트윈, 메타버스 및 초고해상도 미디어 기술이 빠르게 발전하면서, 실제 공간과 객체를 사실적으로 재현하고 사용자가 자유롭게 시점을 이동할 수 있는 3D 실감 미디어의 활용 범위가 확대되고 있다. 이러한 서비스에서는 3D 공간을 고품질로 표현하는 기술뿐 아니라, 생성된 대규모 공간 데이터를 효율적으로 저장, 전송, 복원하고 다양한 장치와 플랫폼에서 상호 운용할 수 있도록 하는 표준 기술이 필수적이다.

본 과제의 RFP는 글로벌 기술패권 경쟁에 대응하여 국내 중소·중견기업이 보유한 ICT 핵심 기술을 국제표준으로 발전시키고, 디지털 전환과 AI 시대에 국내 기업의 제품 및 솔루션이 글로벌 시장에 진출할 수 있도록 경쟁력을 강화하는 것을 기본 방향으로 제시하고 있다. 이에 따라 과제의 필수 성과는 국제 표준개발과 표준특허 확보이다.

이에 따라 본 과제에서는 “몰입형 경험을 제공하는 실감 미디어를 위한 AI/ML 기반 3D 공간 표현 데이터의 효율적인 부호화 기술”을 개발한다. 단순히 새로운 압축 알고리즘을 개발하는 데 그치지 않고, 관련 기술을 MPEG 등 국제표준화기구의 공식 표준으로 반영하여 국내 기업이 국제 기술 생태계와 지식재산권 시장에 참여할 수 있는 기반을 마련

하는 것을 의미한다.

2. AI/ML 기반 3D 공간 표현 기술의 발전 및 3DGS 데이터 압축 필요성

전통적인 3D 콘텐츠는 주로 메쉬 및 포인트 클라우드로 표현되어 왔고 실사 수준의 공간을 제작하기 위해서는 정교한 모델링, 재질 구성 및 조명 설계가 필요하다. 그러나 기존 기술은 시점에 따라 변화하는 외관을 정확하게 표현하는 데 한계가 있으며, 제작 비용과 전문 인력 의존도가 높다. 이를 보완하기 위해 다시점 영상으로부터 공간의 색상과 밀도를 학습하는 Neural Radiance Fields(NeRF)와 같은 암시적 신경 표현이 등장하였다. NeRF는 연속적인 공간 좌표와 시선 방향을 신경망에 입력하여 고품질의 새로운 시점 영상을 생성할 수 있다. 그러나 다수의 신경망 추론과 광선 샘플링을 수행해야 하므로 실시간 렌더링과 저전력 단말 적용에 제약이 있다.

3DGS는 이러한 한계를 완화하기 위해 장면을 명시적인 3차원 가우시안 프리미티브의 집합으로 표현한다. 각 프리미티브는 가우시안의 3차원 위치, 스케일 및 회전, 투명도, 색상 및 시점 의존도 외관을 나타내는 구면조화함수 계수 등을 포함한다. 수십만 개에서 수백만 개의 3D 가우시안 프리미티브를 이용하여 장면을 표현하며, 메쉬 기반 방식보다 반사나 투명 효과의 표현에 유리하고 NeRF보다 렌더링 속도와 시스템 구현 효율이 높다는 장점이 있다. 반면 다수의 프리미티브와 고정밀 파라미터를 저장해야 하므로 데이터 용량이 급격히 증가한다는 문제가 지적된다.



<그림 1> 가우시안 스플랫 기반 3D 뉴럴 에셋 편집, 제작, 배급 등 응용 서비스. 그림의 "Garden" 데이터는 약 600만여 개의 가우시안 프리미티브로 구성되며 1 프레임에 1.5GByte 저장공간 필요

3. MPEG GSC 표준화 동향

초기에는 MPEG WG4를 중심으로 암시적 신경망과 NeRF 표현에 기반한 3D 장면 부호화 가능성을 조사하는 MPEG INVR 활동이 진행되었다. 이후 3DGS가 빠르게 확산되면서 표준화의 중심이 3D GS Compression(GSC)로 이동하며 WG4와 WG7의 공동 기술 탐색으로 이어졌다. MPEG 152 회의에서는 GSC 공통시험조건, GSC 사용 사례 등 요구사항 초안이 공개되었다. 현재 GSC 표준화는 크게 다음과 같은 경로로 진행되고 있다.

1) 비디오 기반 GSC 표준

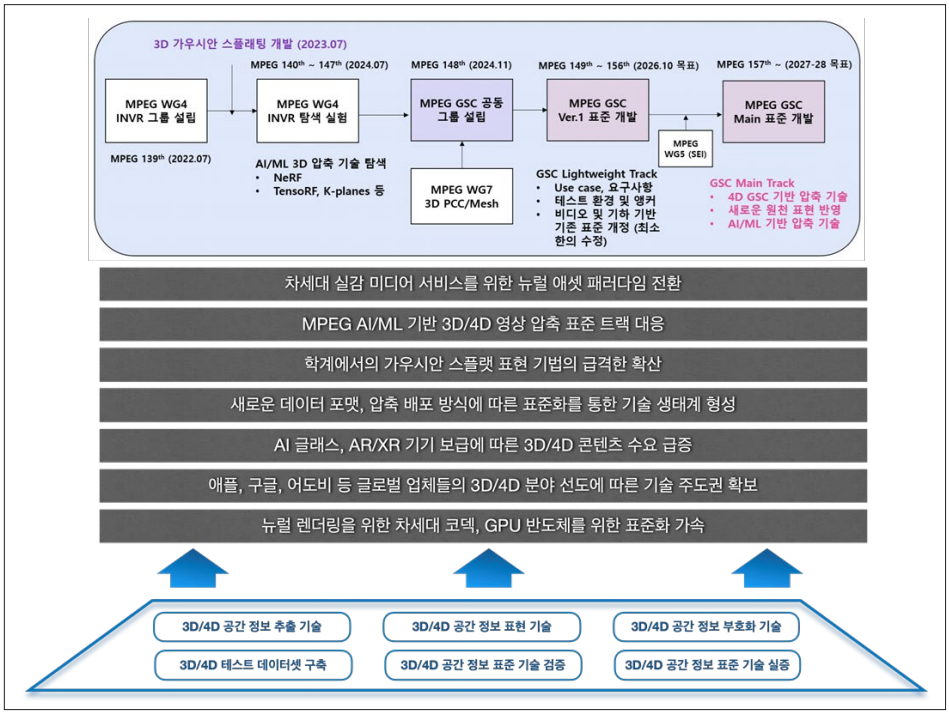
Gaussian의 위치 및 속성을 2차원 패치 또는 영상 성분으로 투영한 후 기존 영상 부호화 기술을 활용하는 방식이다. 이미 최적화된 영상 코덱, 하드웨어 가속기 및 전송 인프라를 활용할 수 있다는 장점이 있다. 3차원 프리미티브를 2차원 영상으로 변환하는 과정에서 패킹 효율, 속성 간 정렬 및 투영 구조에 따른 오버헤드를 고려해야 한다.

2) G-PCC 기반 GSC 표준

Gaussian 프리미티브의 3차원 위치와 렌더링 속성을 포인트 클라우드 기반 데이터로 직접 부호화하는 방식이다. 3차원 구조를 명시적으로 유지하면서 위치, 색상 및 추가 속성 간 상관관계를 활용할 수 있다. 2026년 MPEG 154 회의에서는 G-PCC 표준인 ISO/IEC 23090-9에 Gaussian Splat Coding을 포함하는 첫 번째 개정안이 Committee Draft Amendment 단계에 진행 중이다.

3) GSC Main 및 4D Gaussian Splat Coding

향후에는 GS 고유 데이터 구조와 시간적 특성을 적극적으로 활용하는 본격적인 압축 표준이 진행될 것이다. 정적 3D 장면뿐 아니라 움직이는 객체와 시간에 따라 변화하는 장면을 표현하는 4D Gaussian Splat을 대상으로, 프리미티브의 시간 예측과 계층적 표현이 핵심 기술이 될 수 있다. MPEG에서는 2026년에 call-for-proposal을 발행하고, 본격적인 GSC 표준화를 진행할 것이다.



<그림 2> MPEG GSC 표준화 동향과 본 과제의 의의

4. 본 과제 개요 및 의의

RFP에 제시된 과제 요구사항과 최근 기술 동향에 기반해 본 과제에서는 다음의 세부 목표를 수립하고 과제를 수행한다.

첫째, AI/ML 기반 3D 공간 표현 데이터의 특성을 반영한 고효율 부호화 원천기술을 개발한다. 3DGS 등 뉴럴 학습 기반 표현은 기존 영상이나 포인트 클라우드와 상이한 데이터 구조를 가지므로, 위치, 형상, 색상, 투명도 및 시점 의존적 외관 속성에 적합한 양자화, 변환, 예측 및 엔트로피 부호화 기술을 개발한다.

둘째, 개발 기술을 국제표준화와 연계한다. 이를 위해 MPEG의 요구사항, 공통시험조건(Common Test Conditions), 참조 소프트웨어 및 앵커 코덱을 기반으로 기술 성능을 검증하고, 국제회의 기고와 핵심 실험을 지속적으로 수행한다.

셋째, 국제표준과 연계된 표준특허 및 국내 산업 활용 기반을 확보한다. 과제의 목적이 국내 중소·중견기업의 글로벌 제품 서비스 경쟁력 강화에 있으므로, 단순한 학술적 성능 개선보다 실제 표준 규격에 채택될 수 있는 기술 완성도, 구현 복잡도, 상호운용성 및 지식재산권 확보 가능성이 중요하다.

넷째, 빠르게 변화하는 3DGS 기술과 MPEG GSC 표준화 방향에 선제적으로 대응하는 ‘Moving Target’형 연구를 수행한다. 압축 친화적인 3D 공간 및 장면 표현과 핵심 원천기술을 조기에 확보하고, 관련 기술을 신속히 분석, 제안함으로써 향후 유동적인 표준 로드맵에서 기술 의제를 선점한다.

5. 연구팀 소개

본 과제 연구팀은 3D 가우시안 스플랫 콘텐츠 수요 기업을 주관으로 하여 가우시안 스플랫 표준 전문 연구 개발 연구팀과 라이센스, 수익화에 경험이 많은 사업화 팀 구성을 통해 표준개발을 진행한다.

먼저 주관 기관인 엠앤앤에이치는 4D 다시점 촬영, 3D/재질 복원, 가우시안 스플래팅 기술 등 차세대 몰입형 미디어 서비스 관련 사업과 코덱 반도체 IP 연계를 통해, 표준 기반 상용화 및 산업 확산을 주도하는 최고 경쟁력을 구축하고 있다.

이화여자대학교는 비디오 압축 분야 최고 권위 학술지와 국제학술대회에 다수의 연구 성과를 발표해 왔으며, 국제표준특허 개발과 연이은 특허 풀 가입을 통한 기술 수익화까지 성공적으로 수행한 상용화 실적을 보유하고 있다. 특히 인공지능 기반 비디오 압축 기술을 선도적으로 개척해 온 연구 역량과 최근 100여 건의 비디오 압축 관련 국제특허 등록, 다양한 산학연 공동연구 경험을 바탕으로 GSC 압축 표준화 과정에서 핵심 기술 개발과 적극적인 기술 기고를 통해 국제표준 기술 확보를 추진한다.

디지털인사이트는 비디오 압축 및 인공지능 기반 미디어 압축 분야의 표준 특허를 다수 개발하고 보유하고 있다. 표준 특허 기술 개발 및 수익화 전문 기업으로, VVC를 비롯한 차세대 비디오 코덱(Beyond VVC), VCM(Video Coding for Machines), FCM(Feature Coding for Machines) 및 VDMC(Video-based Dynamic Mesh Coding) 등 다양한 영상·특징 압축 기술에 대한 연구개발과 국제표준화 활동을 수행하여 신규 표준 기술을 발굴하고, 국제표준 기고와 특허 출원을 통해 관련 지식재산권을 확보하고 있다. 과학기술정보통신부 표준개발 사업(2017~2019)을 통해 SEP(Standard Essential Patent) 특허 풀 11건 등재 및 표준기술 특허 라이센싱 및 사업화를 통해 수익화를 진행한 경험을 바탕으로 V-PCC 기반 GSC 압축 표준을 개발한다.



<그림 3> 본 과제 연구팀 구성 및 역할

연세대학교는 가우시안 스플래팅 원천 기술 다수 국제 우수 논문 성과를 바탕으로 가우시안 스플랫 기반 몰입형 미디어 표준의 기술 주도권 및 국제 표준화 영향력 강화를 확보한다.

Ⅱ. 과제 주요 내용

1. 과제 최종 목표

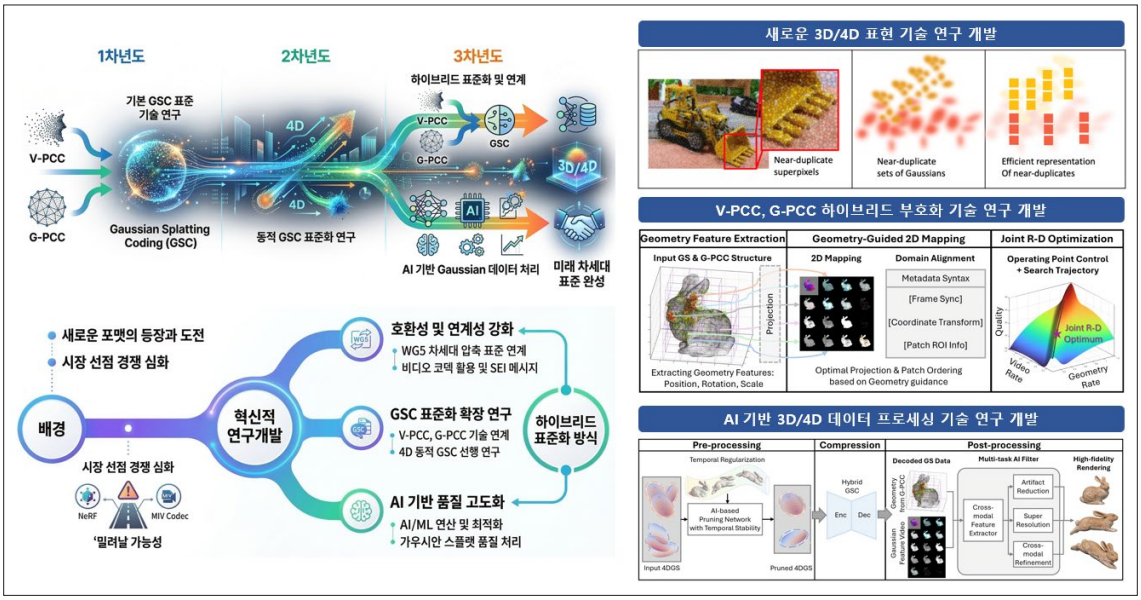
본 과제에서는 1) 압축 효율성, 2) 상호 운용성, 3) 산업확장성을 고려하여 최종 목표를 〈표 1〉과 같이 제시하였다. 저장 및 전송 효율성 측면에서는 모바일 XR, 클라우드 렌더링, 원격 협업, 디지털 트윈 및 몰입형 스트리밍 서비스를

<표 1> 몰입형 경험을 제공하는 실감 미디어를 위한 AI/ML 기반 3D 공간 표현 데이터의 효율적인 부호화 기술 표준개발 과제 최종 목표

최종 목표	• 3D/4D 정보 추출 및 표현 기술 개발 및 표준화 • 비디오 기반 3D/4D GSC(Gaussian Splatting Coding) 기술 개발 및 표준화 • GPCC 기반 3D/4D GSC(Gaussian Splatting Coding) 기술 개발 및 표준화 • 3D/4D GSC(Gaussian Splatting Coding) 포맷, 압축, 복원 호환성 검증 소프트웨어 개발 • 3D/4D GSC(Gaussian Splatting Coding) 표준 기술 상용화 검증

위해 제한된 네트워크 대역폭과 저장공간 내에서 고품질 3D 장면을 제공해야 한다. 상호운용성 측면에서는 서로 다른 생성 도구, 코덱, 단말 및 렌더러 간에 3DGS 데이터를 일관되게 사용할 수 있어야 한다. 이를 위해 비트스트림 구문 및 복호 절차에 대한 공통 규격이 필요하다. 산업 확장성 측면에서는 국제표준을 통해 콘텐츠 제작자, 코덱 공급자, 플랫폼 사업자 및 단말 제조사가 동일한 생태계에서 제품과 서비스를 개발할 수 있어야 한다.

2. 연구 과제 내용

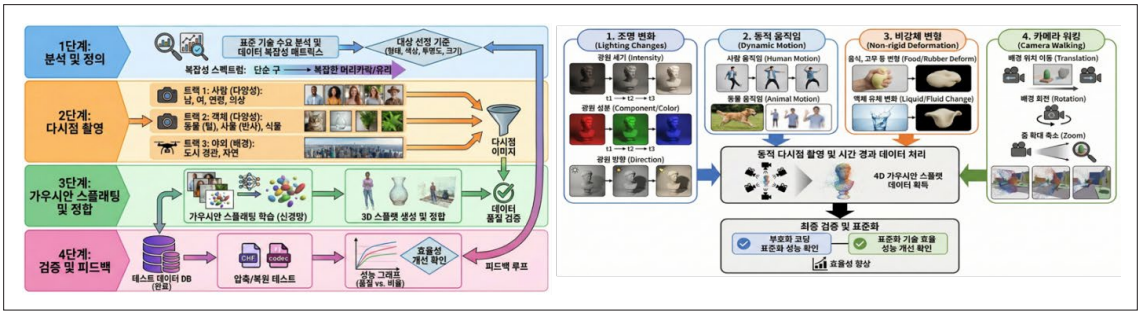


<그림 4> 연구 개발 혁신성 및 연구 내용

본 과제의 주요 세부 연구 내용은 다음과 같다.

1) 3D/4D 정보 추출 및 테스트셋 구축

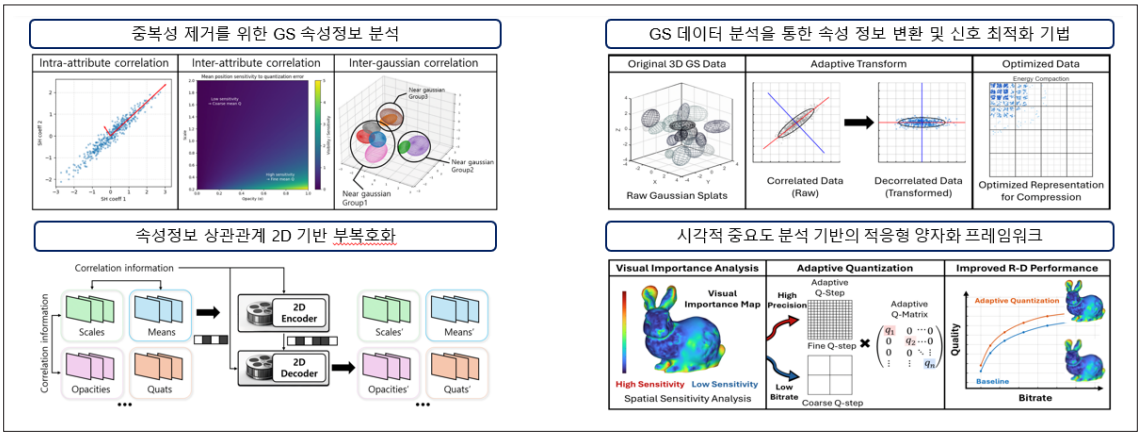
본 연구에서는 제안하는 가우시안 스플랫 부호화 기술의 압축 효율과 적용 범위를 체계적으로 검증하기 위하여, 다양한 실사 객체와 공간을 대상으로 정적 3D 및 동적 4D 데이터셋을 구축한다. 기존 공개 데이터셋만으로는 객체 유형, 재질, 투명도, 움직임 및 촬영 조건이 제한되어 있어, 표준화 후보 기술의 일반성과 강건성을 충분히 평가하기 어렵다. 따라서 표준화 대상 기술의 특성과 시험 목적을 반영한 다시점 촬영 환경을 구성하고, 데이터 복잡도와 속성 조합을 체계적으로 변화시킨 시험 콘텐츠를 확보한다.



<그림 5> GS 데이터 추출 및 테스트셋 구축

2) 시공간적 중복성 제거 속성 정보 변환 및 양자화 기법

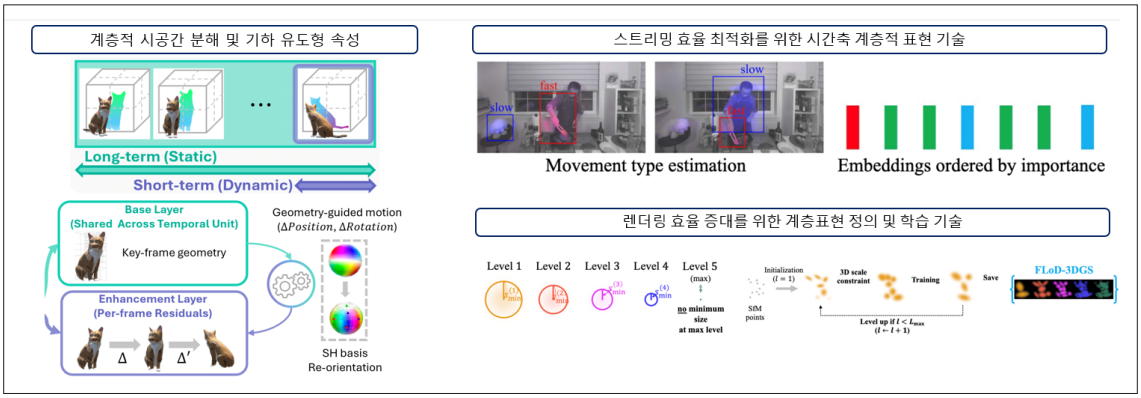
GS 데이터가 갖는 공간적, 시간적 중복성과 위치, 크기, 회전, 색상, 투명도 및 구면조화함수 계수 등 다차원 속성 간 상관성을 분석하고, 이를 기존 V-PCC, 비디오 코덱 및 G-PCC 부호화 구조에 효과적으로 반영하는 압축 기술을 개발한다. 각 부호화 구조의 장점을 활용하고 표준화 적용 가능성을 높인다. 공간적으로 인접한 GS를 탐색하고, 인접 프리미티브 간 위치 및 다차원 속성의 상관관계를 정량적으로 분석한다. GS의 유클리드 거리뿐 아니라 옥트리상의 인접 관계, 표면 방향, 스케일, 회전 및 렌더링 기여도를 함께 고려하여 부호화에 적합한 이웃을 구성한다. 이후 인접 GS 또는 이전 시점의 GS 속성으로부터 현재 속성을 예측하고, 예측 잔차만을 부호화함으로써 공간적 시간적 중복성을 제거한다.



<그림 6> GS 부호화 요소 기술 개발

3) GS 시간적, 계층적 부호화 기법

동적 GS 데이터가 시간에 따라 변화하는 특성을 효율적으로 표현하기 위하여, 기하 정보에 기반한 화면 간 예측, 장면 변화에 적응하는 가변 시간 구조, 시공간 계층 부호화 및 단말 환경에 따른 계층 선택 기술을 개발한다. 동적 GS 데

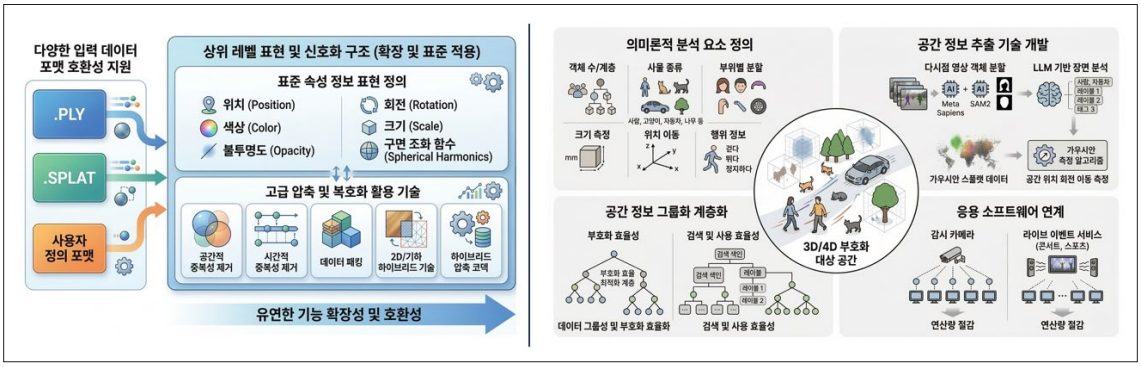


<그림 7> GS 시간적 계층적 부호화 기법

이터는 프레임마다 독립적으로 부호화할 경우 위치, 스케일, 회전, 투명도 및 색상 등의 속성 정보가 반복적으로 전송되어 데이터량이 크게 증가한다. 따라서 장면의 정적 영역과 동적 영역을 구분하고, 시간적으로 대응되는 GS를 정합하여 변화 정보만을 부호화하는 기술이 필요하다. 장면을 구성하는 GS 중 상당 부분은 시간에 따라 유지되는 정적 배경 또는 완만하게 변화하는 구조에 해당하며, 일부 GS만이 객체 움직임이나 외관 변화에 따라 동적으로 갱신된다. 본 연구에서는 이러한 특성을 활용하여 정적 정보를 기본 계층으로, 동적 변화 정보를 향상 계층으로 분리하는 시공간 계층적 부호화 구조를 개발한다.

4) 상위 레벨 표현 및 공간 분석 정보 추출

다양한 형태로 생성, 부호화되는 GS 데이터를 일관되게 표현하고 전송하기 위한 상위 레벨 구문과 메타데이터 구조를 개발한다. 또한 GS 장면을 단순한 프리미티브 집합이 아니라 객체, 공간 영역, 행위 및 의미 관계를 포함하는 구조화된 3D, 4D 콘텐츠로 해석하여, 검색, 편집, 스트리밍, 상호작용 등 응용 소프트웨어에서 효율적으로 활용할 수 있도록

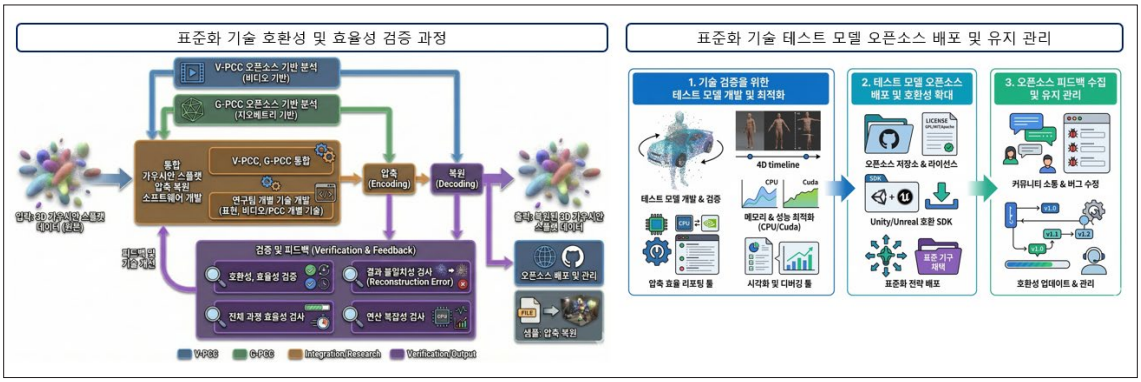


<그림 8> GS 상위 레벨 표현 및 공간 분석 기술

한다. 이를 위해 데이터 포맷과 부호화 방식에 독립적인 상위 레벨 표현 구조, SEI 기반 확장 메타데이터, AI 기반 객체 분할과 VLM 기반 장면 분석, 공간 객체의 그룹화·계층화 및 응용 프로그램 인터페이스를 통합적으로 연구한다.

5) 표준화 기술 호환성 및 효율성 검증

GS 데이터의 입력, 압축, 전송, 복원 및 렌더링 전 과정을 지원하는 통합 소프트웨어 개발에 기여한다. 기술의 압축 효율, 복원 정확도, 연산 복잡도와 상호운용성을 객관적으로 검증할 수 있는 표준 테스트 모델을 구축한다. 또한 테스트 모델을 오픈소스로 배포하고 외부 사용자 피드백과 표준화 과정에서 도출되는 요구사항을 반영하여 지속적으로 개선, 관리한다.



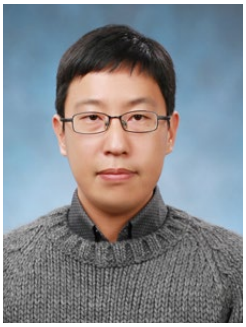
<그림 9> 표준화 기술 호환성 및 효율성 검증

Ⅲ. 결 론

본 과제는 AI/ML 기반 공간 표현의 핵심 기술로 부상한 Gaussian Splatting 데이터를 효율적으로 압축, 전송, 복원하기 위한 원천기술을 개발하고, 이를 MPEG GSC 국제표준화와 연계하는 것을 목표로 한다. 이를 위해 실사 기반 3D/4D 데이터셋 구축, V-PCC/G-PCC 부호화, 공간/시간 예측, 계층적 부호화, 렌더링 민감도 기반 양자화, 상위 레벨 표현 및 의미 메타데이터 기술을 종합적으로 개발한다. 아울러 다양한 포맷과 코덱을 지원하는 압축·복원 소프트웨어와 테스트 모델을 구축하여 압축 효율, 복원 일치성, 연산 복잡도, 상호운용성 및 렌더링 성능을 체계적으로 검증한다.

Gaussian Splatting과 GSC 표준화 환경은 매우 빠르게 변화하고 있으므로, 본 과제는 정해진 기술 개발을 따라가는 데 그치지 않고 압축 친화적 GS 표현과 차세대 부호화 기술을 선제적으로 확보하는 연구를 수행한다. 이를 통해 국제표준화 초기 단계에서 핵심 기술 의제를 선점하고, 개발 기술을 표준기고, 표준특허, 참조 소프트웨어 및 오픈소스 생태계로 연계하여 국내 3D 미디어 기술의 국제 경쟁력과 산업 활용 기반을 강화하고자 한다.

저 자 소 개



강 제 원

- 2012년 : University of Southern California 전자공학과 박사
- 2014년 : Qualcomm Multimedia RnD and Standard Team
- 2014년 ~ 현재 : 이화여자대학교 전자전기공학과 교수



민 병 왕

- 2005년 : 연세대학교 전기전자공학 학사
- 2005년 ~ 2010년 : 엠텍비젼 주임연구원
- 2010년 ~ 2013년 : 에이치기술 선임연구원
- 2014년 ~ 현재 : 엠앤앤에이치 대표



심 동 규

- 1999년 : 서강대학교 전자공학과 박사
- 1999년 ~ 2000년 : 현대전자 선임연구원
- 2000년 ~ 2002년 : 바로비젼 선임연구원
- 2002년 ~ 2005년 : University of Washington Senior research engineer
- 2005년 ~ 현재 : 광운대학교 컴퓨터정보공학부 교수
- 2015년 ~ 현재 : 디지털인사이트㈜ 대표

저 자 소 개



어 영 정

- 2018년 : 연세대학교 컴퓨터과학과 박사
- 2018년 ~ 2020년 : NAVER AI Lab Research Scientist
- 2020년 ~ 현재 : 연세대학교 글로벌인재학부, (겸) 인공지능학과 부교수