

점유 패턴 기반 G-PCC RAHT 화면 간 예측 적격 여부 결정 방안에 관한 연구

권도완, 권준, 이성배, 김규현*

경희대학교

kdwys97@knu.ac.kr, kjun1000@knu.ac.kr, rhee@knu.ac.kr, *kyuheonkim@knu.ac.kr

A Study on the Occupancy Pattern based G-PCC RAHT Inter Coding Eligibility Determination

Kwon Dowan, Kwon Joon, Rhee Seongbae, Kim Kyuheon*

Kyung Hee Univ.

요약

자율 주행, 디지털 트윈, 3D 콘텐츠 산업에서 널리 활용되고 있는 포인트 클라우드는 차세대 3D 콘텐츠 표현 방식으로 주목받고 있다. 그러나 포인트 클라우드는 기존 2D 콘텐츠에 비해 데이터양이 방대하여, 효과적인 저장 및 전송을 위해 압축 기술이 필수적이다. 이에 따라 MPEG(Moving Picture Experts Group)은 포인트 클라우드 압축 기술의 표준화를 진행하고 있으며, 대표적인 기술로 G-PCC(Geometry-based Point Cloud Compression)가 있다. G-PCC는 LiDAR 센서로 촬영된 포인트 클라우드 콘텐츠의 효율적인 압축을 목표로 개발되었으며, 특히 RAHT(Region Adaptive Hierarchical Transform)를 기반으로 한 속성 정보 화면 간 압축 기술 연구가 활발하다. 현재 RAHT 기반 화면 간 예측 방식은 참조 영상과 현재 영상에서 동일한 위치에 있는 복셀(Voxel)의 속성값을 예측값으로 활용하여 높은 압축 성능을 보여주었다. 그러나 이러한 방식은 복셀 내부 기하 정보에 의존하는 RAHT 변환 과정에서 기하학적 유사성이 충분히 반영되지 않아, 현재 영상과 참조 영상 간 RAHT 계수의 차이가 증가할 수 있다. 이에 본 논문에서는 점유 패턴 간 상관도를 활용한 새로운 예측 적격 여부 결정 방안을 제시함으로써, 기존 예측 과정에 남아있던 비효율성을 개선하는 방안을 제안한다.

I. 서론

포인트 클라우드(Point Cloud)는 차세대 3D 콘텐츠 표현 기법으로, 3차원 공간의 점들로 구성된 집합이다. 각 점은 3차원 기하 정보인 x, y, z 좌표와 함께 RGB 색상 정보 또는 반사율(Reflectance)과 같은 속성 정보를 포함한다. 이러한 특성으로 인해 포인트 클라우드 콘텐츠는 기존 2D 콘텐츠의 단위인 픽셀(Pixel)보다 더 많은 정보를 포함하며, 데이터양은 2D 콘텐츠보다 크다. 따라서 포인트 클라우드의 효율적인 저장 및 전송을 위해 압축 기술은 필수적이다. 이에 국제 표준화 기구인 MPEG(Moving Picture Experts Group)은 포인트 클라우드 압축 기술의 표준화를 진행 중이며, 대표적인 기술로 LiDAR 센서로 획득한 포인트 클라우드 콘텐츠의 효율적인 압축을 목표로 하는 G-PCC(Geometry-based Point Cloud Compression)를 개발하였다. G-PCC는 3가지 기하 정보 압축 방법과 2가지 속성 정보 압축 방법을 지원하며, 이 중 속성 정보 압축 기술인 RAHT(Region Adaptive Hierarchical Transform)를 활용한 화면 간 예측 기술 연구가 활발히 진행되고 있다.

RAHT 기반 화면 간 압축 방식은 현재 영상과 참조 영상에서 동일한 위치의 점유 복셀(Voxel)을 공유하는 경우, 해당 복셀의 속성 정보를 예측 값으로 활용하며, 낮은 복잡도로 높은 압축 성능을 제공한다. 하지만 이러한 방식은 복셀의 위치만을 고려하여 수행되기 때문에, RAHT 변환 과정에서 기하학적 패턴 간 유사성이 충분히 반영되지 못하여 현재 영상과 참조 영상 간 RAHT 계수의 잔차가 커질 수 있다. 이에 본 논문에서는 점유 패턴 간 상관도를 활용한 새로운 예측 적격 여부 결정 방안을 제안하여 기존 RAHT 기반 화면 간 압축 방식의 효율을 개선하는 방법을 제시한다.

II. 배경 기술

G-PCC는 기하 정보를 먼저 처리한 후 속성 정보를 처리하는 구조를 가

지며, G-PCC의 기하 정보 압축 기술로 옥트리 부호화(Octree Coding), 트라이스 부호화(Trisoup Coding), 예측 트리 부호화(Predictive Geometry Coding) 기법이 있으며, 속성 정보 압축 기술로는 예측/리프팅 변환(Predicting/Lifting Transform)과 RAHT가 있다[1].

G-PCC 부호화기는 포인트 클라우드 콘텐츠를 처리할 시 상기 3가지 기하 정보 압축 기술 중 한 가지 방법을 택하여 부호화하고 복원한다. 이후 복원된 기하 정보를 활용하여 2가지 속성 정보 압축 기술 중 한 가지를 결정하여 부호화를 수행한 후 최종 비트스트림을 생성한다.

이중 RAHT[2]는 3차원 Haar 변환 수식을 포인트 클라우드에 적용한 기술로서, 복원된 기하 정보인 x, y, z와 점유 정보를 바탕으로 다중 해상도의 복셀 구조를 생성하고 각 해상도에서 $2 \times 2 \times 2$ 규격의 복셀을 단위로 각 축 방향에 따라 Haar 커널(Kernel)을 적용하여 속성 정보의 저주파 계수와 고주파 계수를 추출하는 기술이다.

RAHT로 추출된 계수는 세 가지 방식으로 부호화될 수 있다. 첫째, 계수를 그대로 엔트로피 부호화(Entropy Coding)하는 방법, 둘째, 한 단계 낮은 해상도의 저주파 계수를 활용해 현재 해상도의 계수를 예측하고, 이를 기반으로 계산된 잔차(Residual)를 부호화하는 화면 내 예측 방법, 셋째, 참조 영상에서 동일 해상도와 동일 위치에 존재하는 점유 복셀의 계수와 잔차를 계산하여 부호화하는 화면 간 예측 방법이다[1].

III. 제안 기술

3.1 점유 패턴 기반 G-PCC RAHT 화면 간 예측 적격 여부 결정 방안

RAHT 변환 과정에서 점유 패턴은 고주파 및 저주파 계수의 계산에 직접적인 영향을 미치며, 고주파 계수의 발생 시점 또한 점유 패턴에 따라 결정된다. 두 점유 패턴이 유사할 경우, 동일한 $2 \times 2 \times 2$ 크기의 RAHT 연산 단위 노드에서 생성되는 고주파 및 저주파 계수 간의 관계는 더욱

높은 일관성을 가지게 된다. 이는 해당 노드에서 계산된 RAHT 계수의 잔차를 효과적으로 줄일 수 있는 가능성을 높인다. 따라서 점유 패턴의 유사성을 정량적으로 평가하여 화면 간 예측 적격 여부를 결정하는 것은 RAHT 기반 화면 간 압축 효율성을 향상시키는 데 핵심적인 역할을 할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 화면 간 예측 적격 여부 결정 방안은 RAHT 연산 단위인 $2 \times 2 \times 2$ 크기의 복셀 점유 패턴 유사도를 평가하는 방식으로 수행된다. 수식 1은 참조 복셀과 부호화 대상 복셀 간 점유 패턴의 유사도를 평가하기 위해 코사인 유사도를 적용한 수식을 제시한다.

$$\gamma = \frac{T \cdot R}{\|T\| \|R\|} = \frac{\sum_{n=1}^8 T_n R_n}{\sqrt{\sum_{n=1}^8 T_n^2} \sqrt{\sum_{n=1}^8 R_n^2}} \quad \dots (1)$$

수식 1의 T 와 R 은 각각 임의의 부호화 대상 $2 \times 2 \times 2$ 복셀과 참조 $2 \times 2 \times 2$ 복셀의 점유 정보를 동일한 스캐닝(Scanning) 순서에 따라 정렬한 벡터를 나타낸다. 이때 점유 정보는 점유된 경우 1로, 점유되지 않은 경우 0으로 표현된다. 예를 들어, 모든 복셀이 점유되었을 경우, 이를 벡터로 표현하면 $\{1, 1, 1, 1, 1, 1, 1, 1\}$ 으로 나타난다. 따라서 T 와 R 은 8 차원 벡터이며, T_n 혹은 R_n 의 아랫 첨자 표기 n 은 각 점유 벡터의 n 번째 요소를 나타낸다. 이때, γ 의 값이 1에 가까울수록 두 벡터가 유사하며, 0에 가까울수록 유사성이 낮음을 의미한다.

3.2 제안 기술의 G-PCC의 RAHT 내 동작 과정

그림 2는 제안 기술의 RAHT 동작 순서도를 보여준다. 그림에서 볼 수 있듯이, 복원된 포인트 클라우드의 기하 정보 P_{geo}^{rec} 와 매핑(Mapping)된 속성 정보 A 가 Hierarchical Transformation Module에 입력되어, 여러 계층(해상도)의 포인트 클라우드를 생성한 후, $2 \times 2 \times 2$ 복셀 단위로 RAHT 변환이 수행된다. 이때 i 번째 계층의 i 번째 부호화 대상 $2 \times 2 \times 2$ 단위 복셀 $V_{t,i}^l$ 과 동일한 위치에 존재하는 참조 노드 V_r^l 의 존재 유무를 V_r^l Presence Checker에서 확인한다. 만약 V_r^l 가 존재할 시, 두 단위 복셀은 Occupancy Vector Cosine Similarity Evaluator 모듈에 입력되어 코사인 유사도 γ 를 계산하고, 임계값(threshold)와 비교하여 화면 간 예측 수행 여부를 결정한다. 과정 수행 중 분기점의 결과가 거짓이라면, 화면 내 예측 혹은 예측을 수행하지 않고 문맥 기반 이진 산술 부호화(Context-based Binary Arithmetic Coding)가 수행된다.

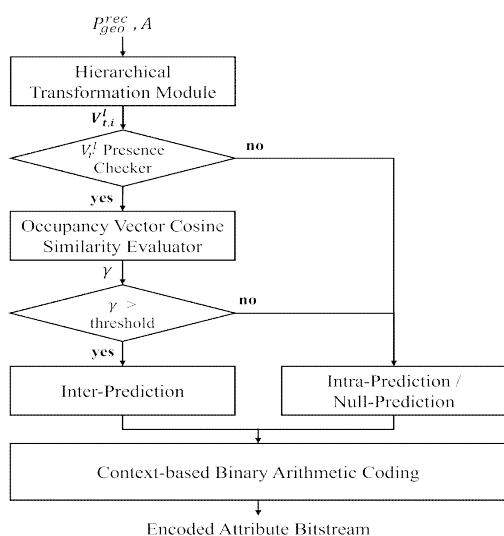


그림 2. 제안 기술 순서도

3.3 실험 결과

본 제안 기술의 실험은 G-PCC의 테스트 모델(Test Model)인

TMC13v28.0[4]을 앵커(Anchor)로 설정하고 제안 기술을 해당 테스트 모델에 구현하여 비교하였다. 기하/속성 정보 모두 손실 압축인 C2 환경으로 수행하였으며 옥트리 부호화와 RAHT를 사용하였다. 실험 데이터셋은 G-PCC CTC(Common Test Condition)[3]에 기재된 Non-spinning LiDAR 포인트 클라우드 콘텐츠인 InnovizQC1, InnovizQC2, InnovizQC3으로, 각 300 프레임으로 구성되어 있다. 또한 본 실험의 γ 에 대한 임계값은 0.7로 두 점유 벡터 간의 서로 다른 요소 수에 따른 코사인 유사도 통계를 기반으로 결정되었다.

표 1. 실험 결과

콘텐츠 명	Geometry	Attribute
	End-to-End BD Rate[%]	End-to-End BD Rate[%]
InnovizQC1	-	-0.2
InnovizQC2	-	-0.3
InnovizQC3	-	-0.1
평균	-	-0.2

표 1은 본 제안 기술의 실험 결과를 보여준다. InnovizQC1, InnovizQC2, InnovizQC3에 각각 속성 BD-Rate 0.2%, 0.3%, 0.1%의 이득이 발생하였으며 평균 0.2%의 이득이 발생하였다. 제안 기술의 반사율 압축 비트스트림 크기는 앵커의 반사율 압축 비트스트림 크기 대비 약 0.1% 감소하였으며, PSNR과 부/복호화 기 시간 복잡도는 거의 변동이 없었다.

IV. 결론

본 논문에서는 점유 패턴을 활용한 RAHT 기반 화면 간 예측 적격 여부 판단 방안을 제안하였으며, 이를 통해 Non-spinning LiDAR 포인트 클라우드 콘텐츠에서 소량의 압축 이득을 확인하였다. 또한 제안 기술은 연산 과정이 단순하여 부/복호화기의 시간 복잡도에 큰 영향을 미치지 않는다는 점에서도 실용적이다. 그러나 압축 이득 및 비트스트림 감소 폭이 제한적이라는 점에서 추가적인 기술적 개선이 필요하다. 특히, RAHT는 계층 별로 부/복호화가 수행되며, 각 계층의 속성 정보는 서로 다른 특성을 가지므로, 이러한 특성에 대한 정밀한 분석이 요구된다. 이를 위해 향후 연구에서는 계층별 코사인 유사도 임계값의 최적화와 각 계층의 점유 패턴 유사도에 따른 RAHT 계수 잔차 분포 분석을 통해 압축 효율을 더욱 향상시키는 방안을 모색해야 한다.

ACKNOWLEDGMENT

This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program (Grant number: IITP-2025-RS-2021-II212046) and (No.RS-2023-00227431, Development of 3D space digital media standard technology) supervised by the Institute of Information & communications Technology Planning & evaluation (IITP).

참 고 문 헌

- [1] Enhanced G-PCC codec description, document N01014, ISO/IEC JTC1/SC29 WG7 3DG, Nov. 2024.
- [2] R. L. de Queiroz et al. "Compression of 3D Point Clouds Using a Region-Adaptive Hierarchical Transform," in IEEE Transactions on Image Processing, vol. 25, no. 8, pp. 3947-3956, Aug. 2016
- [3] Common test conditions for Solid G-PCC and E-G-PCC, document N01016, ISO/IEC JTC1/SC29 WG7 3DG, November. 2024.
- [4] Enhanced G-PCC test model TM13 v28, document N01012, ISO/IEC JTC1/SC29 WG7 3DG, November. 2024.