

V-PCC 기반 3차원 포인트 밀도 확장성을 위한 LoD 제어 테이블 방법

*임지현 *김준식 *김규현

*경희대학교

*dlawlgjs1780@khu.ac.kr *junsik@khu.ac.kr *kyuheonkim@khu.ac.kr

A method of Level of Details control table for 3D point density scalability in Video based Point Cloud Compression

*Im, Jiheon *Kim, Junsik *Kim, Kyuheon

*Kyung Hee University

요약

포인트 클라우드 콘텐츠는 3D 포인트 집합으로 이루어진 3D 데이터로, 일반적으로 3D 포인트 클라우드는 하나의 객체를 표현하기 위하여 수십, 수백만 개의 3차원 포인트(Point) 데이터가 필요하며, 각 포인트 데이터는 3차원 좌표계의 (x, y, z)좌표와 포인트의 색(color), 반사율(reflectance), 법선벡터(normal) 등과 같은 속성(attribute)으로 구성되어 있다. 따라서 기존 2D 영상보다 한 단계 높은 차원과 다양한 속성으로 구성된 포인트 클라우드를 사용자에게 제공하기 위해서는 고효율의 인코딩/디코딩 기술 연구가 필요하며, 다양한 대역폭, 장치 및 관심 영역에 따라 차별화된 서비스를 제공하기 위한 품질 확장성 기능의 개발이 요구된다. 이에 본 논문에서는 포인트 클라우드 압축에 사용되는 V-PCC에서 3차원 미디어인 포인트 클라우드의 3D 공간 내 포인트 간의 밀도를 변경하여, 새로운 품질 변화를 달성하고 비트전송률 변경을 추가 지원하는 방법을 제시하였다.

1. 서론

포인트 클라우드 콘텐츠는 3D 포인트 집합으로 이루어진 3D 데이터로, 각 점은 기하학 정보와 색상, 반사율, 법선벡터 등과 같은 여러 속성으로 구성된다. 포인트 클라우드 형식은 3D 객체 및 장면을 재구성하는데 사용될 수 있으므로 다양한 3D 또는 가상 현실 응용 프로그램에 적용될 수 있다. 현재 포인트 클라우드는 카메라와 깊이 센서를 사용하여 프레임 당 약 1백만 포인트로 캡처된다. 캡처된 포인트 수가 많을수록 포인트 클라우드 콘텐츠의 해상도가 높아지는 이점이 있지만, 각 포인트에는 기하학 정보와 여러 속성 정보가 모두 포함될 수 있기 때문에 2D 미디어 데이터와 비교하여 추가되는 정보에 따른 데이터 증가량이 크고, 전송 및 저장이 필요한 단말에는 심각한 부담을 안겨준다.

따라서 기존 2D 영상보다 한 단계 높은 차원과 다양한 속성으로 구성된 포인트 클라우드를 사용자에게 효율적으로 제공하기 위해서는 고효율의 인코딩/디코딩 기술이 필요하며, 대역폭, 사용자의 단말 및 관심영역(RoI)에 따라 차별화된 서비스를 제공하기 위해 양자화 파라미터(QP)와 같은 품질 확장성 기능의 개발이 요구된다.

현재 국제 표준기구인 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 산하 Moving Picture Expert Group - Immersive(MPEG-I)의 그룹에서는 Point Cloud Compression(PCC)기술의 표준화를 진행하고 있다. 이 표준화 그룹에서는 포인트 클라우드 데이터의 특성에 따라 Graphic-based PCC (G-PCC)[1]와 Video-based PCC(V-PCC)[2] 두 가지 측면에서 압축 기술을 개발하고 있다.

이름에서 알 수 있듯이 G-PCC는 3D 공간에서 옥트리[3], Graph

Fourier Transform (GFT)[4], Region-based Adaptive Hierarchical Transform(RAHT)[5]와 같은 새로운 방법으로 압축을 진행하고, 주로 정적 포인트 클라우드 콘텐츠를 대상으로 적용된다. 그러나 G-PCC는 움직임 추정 및 보상을 고려하고 있지 않기 때문에 동적 포인트 클라우드 콘텐츠에 적용될 때에는 후속 프레임과의 관계를 효율적으로 특성화할 수 없으므로 압축 성능에 한계가 있다.

G-PCC와는 달리 V-PCC는 입력된 포인트 클라우드를 2D 공간으로 투영하여, 여러 장의 2D 영상을 생성하고, H.264/AVC, HEVC와 같은 전통적인 2D 비디오 코덱을 이용하여 압축한다. 따라서 포인트 클라우드의 각 프레임별로 2D 영상이 생성되기 때문에, 초당 30프레임의 동적 포인트 클라우드 콘텐츠를 대상으로 적용될 때에도 효과적이며, 전통적인 2D 비디오 코덱을 사용하여 빠른 상용화의 이점이 있어 G-PCC보다 발 빠르게 표준화가 진행되고 있다. 또한 V-PCC는 다양한 비트전송률을 지원하기 위해 2D 비디오 코덱의 QP 값을 기반으로 한 품질 변화를 제공하고 있다.

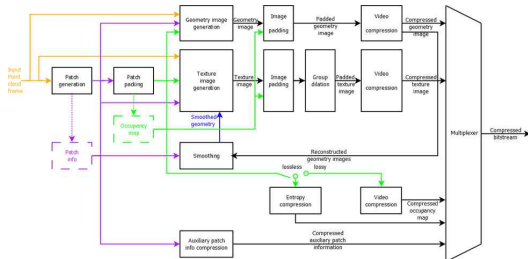
이에 본 논문에서는 3차원 미디어인 3D 포인트 클라우드의 3D 공간 내 포인트 간의 밀도를 변경하여 V-PCC에서 새로운 품질 변화를 달성하고 비트레이트 변경을 추가 지원하는 방법을 제시한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안하는 방안이 적용되는 V-PCC에 대하여 알아본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 Level of Details(LoD) 제어 테이블 방법에 대하여 설명한다. 4장에서는 제안된 방법의 실험결과를 보이고 이를 분석한다. 5장에서는 본 기술에 대한 영향력과 결론을 도출한다.

2. 관련 연구

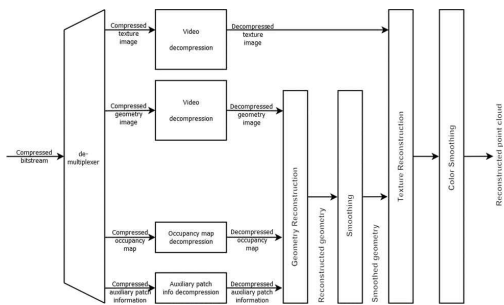
1) Video based Point Cloud Compression (V-PCC)

본 절에서는 본 논문에서 제안하는 방안이 적용되는 V-PCC에 대하여 설명한다.



<그림 1> V-PCC 인코더 구조도[6]

그림 1은 V-PCC 인코더 구조도이다. 인코딩 과정은 우선 입력되는 포인트 클라우드를 2D 공간으로 투영하여 패치(patch)를 생성하는 것으로 시작된다. 이 때 인코딩에 필요한 각 패치의 투영 평면 정보, 패치 크기와 같은 auxiliary patch information을 생성하며, 생성된 패치들을 2차원 평면에 packing 하면서 포인트가 존재하는 픽셀(pixel)에 대하여 포인트 클라우드의 기하(geometry) 정보를 저장하는 기하 영상과, 색상(texture) 정보를 저장하는 색상 영상을 각각 생성한다. 또한 각 픽셀에 대하여 포인트의 존재 유무를 0 또는 1로 나타낸 occupancy map을 생성한다. 생성된 기하 영상과 색상 영상은 전통적인 비디오 코덱을 사용하여 인코딩하며, auxiliary patch information과 occupancy map은 일반적으로 entropy coding을 사용하여 인코딩한다.



<그림 2> V-PCC 디코더 구조도[6]

그림 2는 V-PCC 디코더 구조이다. 인코더와 마찬가지로 전통적인 비디오 코덱을 사용하여 인코딩된 기하 영상을 디코딩하고 occupancy map과 auxiliary patch information를 이용하여 3D 포인트의 기하 정보를 재구성 한다. 이후 디코딩된 텍스처 영상을 복호화하여 각 포인트에 색상 정보를 찾아 최종 3D 포인트 클라우드를 재구성 한다.

V-PCC는 2D 영상을 생성하고, 이를 압축하기 위해 기존에 존재하는 2D 비디오 코덱을 사용하기 때문에, 비디오 코덱 기반 양자화 계수 변경을 통하여 영상의 품질 변화를 주어 비트레이트 변경을 지원한다.

이에 본 논문에서는 3차원 미디어 콘텐츠인 포인트 클라우드의 3D 공간 내 포인트 간의 밀도를 변경하여 새로운 품질 변화를 달성하

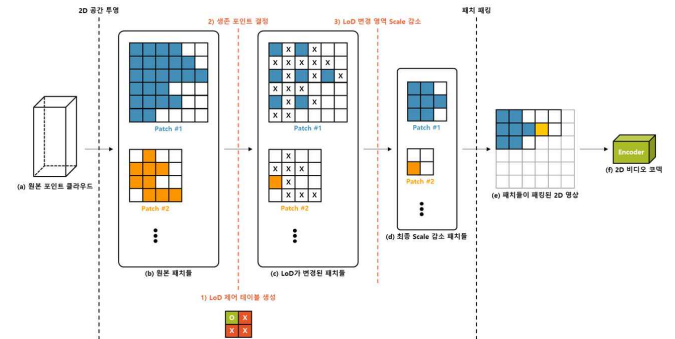
고 추가적인 비트전송률 변경을 지원하는 방법을 제시한다.

3. LoD 제어 테이블 방법

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 V-PCC에서의 3D 공간 내 3차원 포인트 밀도 확장성을 위한 LoD 변화 방법에 대하여 설명한다.

비디오 코덱을 기반으로 하는 V-PCC는 3D 포인트 클라우드를 입력으로 하며 이를 2D 영상으로 만들어 압축 하기 때문에 앞서 말한 비디오 코덱 기반 양자화 계수 변경과 3D 공간 내 포인트의 밀도 변경을 통한 비트레이트 변경 모두를 지원할 수 있다.

하지만, 단순히 3D 공간에서 포인트의 밀도를 변경하게 되면 3D 포인트 간 거리가 멀어지게 되고 V-PCC 내 패치를 추출하여 2D 영상을 만드는 과정에서 너무 많은 패치가 추출되며, 2D 영상 내에 빈 공간이 많이 생겨 비디오 코덱을 기반으로 압축 시 고주파가 증가하게 되는 문제가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 2D 영상을 구성하는 패치 내 포인트 밀도를 변경하여 최종적으로 3D 포인트의 밀도를 변경하는 방법을 제안한다.



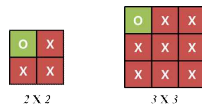
<그림 3> 제안하는 LoD 변경 구조도

제안하는 방법은 V-PCC의 2D 공간 투영과정과 생성된 패치들을 2D 영상에 패킹하는 과정 사이에서 진행된다. 그림 3(a) 원본 포인트 클라우드가 입력되면 2D 공간으로 투영하여 그림 3(b)와 같이 패치들을 생성하고, 제안하는 LoD 제어 테이블 생성 과정과 생존 포인트 결정 과정을 거쳐 그림 3(c)와 같이 LoD가 변경된 패치들을 만든다. 이때 생존하지 못한 포인트들은 패치 내에서 사라지며 빈 공간을 생성하기 때문에, 제안하는 LoD 변경 영역 Sclae 감소 과정을 거쳐, 생겨난 빈 공간을 사라지게 하여 그림 3(d)와 같이 최종 Scale 감소 패치들을 생성하게 된다. 이후 기존 V-PCC와 마찬가지로 생성된 패치들을 2D 영상에 패킹하는 과정을 진행하게 된다.

각 절에서는 그림 3에서 제안하는 구조도에서 사용하는 모듈을 차례대로 설명한다.

1) LoD 제어 테이블 생성

본 절의 LoD 제어 테이블 생성 과정은 3D 포인트 클라우드의 LoD 변경을 위하여 사용되는 테이블을 생성하는 모듈이다. 포인트의 밀도를 변경하기 위해서는 원본 포인트들 중 제거해야 할 포인트를 결정해야 하기 때문에 본 논문에서는 LoD 제어 테이블을 생성하여 O, X의 표시로 생성된 원본 패치에서 포인트의 생존 여부를 결정한다.



<그림 4> LoD 제어 테이블의 한 예

LoD 제어 테이블의 모양에 따라 LoD 변경과 복원 과정이 다양하고 복잡할 수 있기 때문에, 본 논문에서는 그림 4와 같은 LoD 제어 테이블을 제안한다. 제안하는 LoD 제어 테이블은 정사각형이며 제어 테이블 내 오직 한 점이 O를 나타낸다. 또한 제어 테이블의 한 변 크기는 제안하는 LoD 파라미터가 된다.

2) 생존 포인트 결정

본 항의 생존 포인트 결정 과정은 1절에서 생성한 LoD 제어 테이블을 이용하여 실제 포인트의 생존 여부를 결정한다.

$$\text{Live point} : \forall (p(u \text{ or } v) \% T) = 0 \text{ value index}$$

$$\text{Dead point} : \exists (p(u \text{ or } v) \% T) = X \text{ value index}$$

<식 1> 생존 포인트 결정식

식 1은 LoD 제어 테이블을 이용하여 생성된 패치 속 포인트의 생존 여부를 계산하는 식으로, T는 LoD 제어 테이블 한 변의 크기이며, p(u), p(v)는 3D 포인트가 2D 공간으로 투영된 후 각 축에 해당하는 2D 좌표이다.

3) LoD 변경 영역 Scale 감소

본 항의 LOD 변경 영역 Scale 감소 모듈은 2항의 생존 포인트 결정 과정으로 인하여 사라진 포인트들이 생성한 빈 공간을 사라지게 한다.

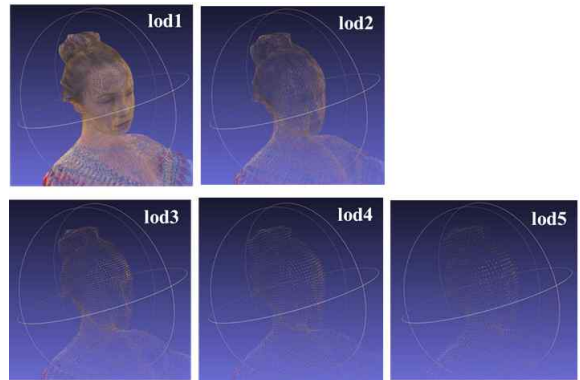
$$L(u', v') = \frac{p(u, v)}{T}$$

<식 2> 생존 포인트의 위치 결정식

식 2는 생존한 포인트들의 2D 좌표를 계산하는 식으로, T는 2항에서 설명한 것과 같이 제어 테이블의 한 변의 크기이다. 생존한 포인트들의 2D 좌표가 스케일 감소가 되면서, 앞선 과정으로 생성된 빈 공간이 함께 사라지게 된다.

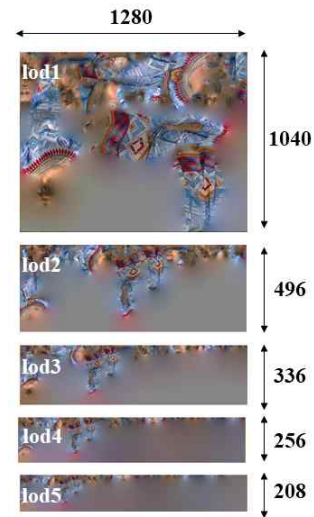
4. 실험 결과

본 논문에서 제안하는 LoD 변경 방법은 MPEG-I PCC 그룹에서 제공하는 V-PCC Test Model Category 2 v5.0(TMC2v5.0)[2]에 구현하고, CTC(Common Test Condition)[7]에서 실험하였다.



<그림 5> 각 LoD 상태에 따른 Longdress의 Visual

그림 5는 LoD가 변경된 포인트 클라우드의 Visual이다. 제안하는 포인트 밀도 파라미터가 증가함에 따라, 원본(lod1)과 비교하여 같은 3D 영역 속 포인트의 개수가 눈에 띄게 줄어든 것을 확인할 수 있다.



<그림 6> 각 LoD 상태에 따른 Longdress의 Texture 영상

그림 6은 그림 3(e)의 패치들이 패킹된 2D 색상 영상으로 제안하는 포인트 밀도 파라미터가 증가함에 따라, 원본(lod1)과 비교하여, 패치 속 포인트의 밀도가 줄어들었고, 패치의 크기가 작아지면서, 생성된 2D 영상의 크기가 작아진 것을 확인할 수 있다. 이 효과로 인해 생성된 비트스트림의 용량 또한 비례하게 줄어들게된다.

<표 1> 각 Point density에 따른 Anchor 대비 포인트 개수

Parameter	Lossy(%)	Lossless(%)	평균(%)	
lod1	100	100	100	1
lod2	25.92	24.65	25.50	1/4
lod3	11.905	10.66	11.49	1/9
lod4	6.875	5.79	6.51	1/16
lod5	4.45	3.54	4.15	1/25

표 1은 제안하는 포인트 밀도 파라미터가 증가함에 따라, 원본(lod1) 대비 실제로 남은 포인트들의 비율을 보여준다. 앞서 3장에서 설명한 것과 같이 제안하는 방법은 2D 영상에 패킹될 패치의 밀도를 변화시키기 때문에, 포인트 밀도 파라미터의 제공만큼 포인트의 개수가 줄어든 것을 확인할 수 있다.

5. 결론

비디오 코덱을 기반으로 하는 V-PCC는 3D 포인트 클라우드를 입력으로 하며 이를 2D 영상으로 만들어 압축을 하기 때문에 앞서 말한 비디오 코덱 기반 양자화 계수 변경과 3D 공간 내 포인트의 밀도 변경을 통한 비트레이트 변경 모두를 지원할 수 있다. 이에 본 논문에서는 현재 V-PCC에서 상정하고 있는 비디오 코덱 기반 품질 변화 이외에 3D 포인트 클라우드의 특성을 고려한 새로운 품질 변화인 LoD를 제시하였다.

본 논문의 제안 기술을 활용 시, 기존 V-PCC에서 3D 포인트 클라우드의 포인트 밀도를 변경하는 품질 정보를 추가하여 다양한 비트레이트를 가지는 영상을 생성할 수 있으며, 필요에 따라 선별적으로 전송하면서 네트워크(Network), 디코더(Decoder), 렌더러(Render)의 효율을 높일 수 있을 것이다.

* 본 논문은 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 출연금 등으로 수행하고 있는 한국전자통신연구원의 360 영상 왜곡 최소화를 위한 프로젝션 포맷 연구의 위탁연구과제의 연구결과입니다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Doc. MPEG2019/N18174, G-PCC Test Model v5, Marrakech, January, 2019.
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Doc. MPEG2019/N18176, V-PCC Test Model v5, Marrakech, January, 2019.
- [3] R. Schnabel and R. Klein, "Octree-based point-cloud compression." Spbg, vol. 6, pp. 111 - 120, 2006.
- [4] C. Zhang, D. Florncio, and C. Loop, "Point cloud attribute compression with graph transform," in 2014 IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), Oct 2014, pp. 2066 - 2070.
- [5] R. L. de Queiroz and P. A. Chou, "Compression of 3d point clouds using a region-adaptive hierarchical transform," IEEE Transactions on Image Processing, vol. 25, no. 8, pp. 3947 - 3956, Aug 2016.
- [6] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Doc. MPEG2019/N18190, V-PCC Codec description, Marrakech, January, 2019.
- [7] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Doc. MPEG2019/N18175, Common Test Conditions for PCC, Marrakech, January, 2019.