

비디오 기반 포인트 클라우드 압축을 사용한 3차원 포인트 클라우드의 2차원 보간 방안

*황용해 **김준식 ***김규현

경희대학교

*hyh717@khu.ac.kr **junsik@khu.ac.kr ***kyuheonkim@khu.ac.kr

2D Interpolation 3D Point Cloud using Video-based Point Cloud Compression

*Yonghae Hwang **Junsik Kim ***Kyuheon Kim

Kyung Hee University

요약

최근 컴퓨터 그래픽 기술이 발전함에 따라 가상으로 만들어낸 객체와 현실 객체 사이의 분간이 어려워지고 있으며, AR/VR/XR 등의 서비스를 위해 현실 객체를 컴퓨터 그래픽으로 표현하는 기술의 연구가 활발히 진행되고 있다. 포인트 클라우드는 현실 객체를 표현하는 기술 중의 하나로 객체의 표면을 수많은 3차원의 점으로 표현하며, 2차원 영상보다 더욱 거대한 데이터 크기를 가지게 된다. 이를 다양한 서비스에 응용하기 위해서는 3차원 데이터의 특징에 맞는 고효율의 압축 기술이 필요하며, 국제 표준기구인 MPEG에서는 연속적인 움직임을 가지는 동적 포인트 클라우드를 2차원 평면으로 투영하여 비디오 코덱을 사용해 압축하는 Video-based Point Cloud Compression (V-PCC) 기술이 연구되고 있다. 포인트 클라우드를 2차원 평면에 투영하는 방식은 점유 맵 (Occupancy Map), 기하 영상 (Geometry Image), 속성 영상 (Attribute Image) 등의 2차원 정보와 보조 정보를 사용해 압축을 진행하고, 부호화 과정에서는 보조 정보와 2차원 영상들의 정보를 사용해 3차원 포인트 클라우드를 재구성한다. 2차원 영상을 사용해 포인트 클라우드를 생성하는 특징 때문에 압축 과정에서 발생하는 영상 정보의 열화는 포인트 클라우드의 품질에 영향을 미친다. 이와 마찬가지로 추가적인 기술을 사용한 2차원 영상 정보의 향상으로 포인트 클라우드의 품질을 향상할 수 있을 것으로 예상된다. 이에 본 논문은 V-PCC 기술에서 생성되는 영상 정보에 2차원 보간 (Interpolation) 기술을 적용하여 기존의 영상 정보에 포함되지 않은 추가적인 포인트를 생성하는 것으로 재구성되는 포인트 클라우드의 밀도를 증가시키고 그 영향을 분석하고자 한다.

1. 서론

컴퓨터 그래픽 기술의 발전에 따라 현실의 객체와 구분이 힘든 수준의 가상 객체를 생성할 수 있게 되었으며, AR/VR/XR의 발전과 함께 현실의 객체를 컴퓨터 그래픽 기술로 표현하기 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. 현실 객체를 컴퓨터 그래픽으로 표현하는 방법의 하나인 포인트 클라우드 기술은 객체의 표면 정보를 수많은 점으로 나누어 표현하는 방식으로, 표면의 위치 정보와 색상 정보를 가진 무수히 많은 점으로 나누어 저장하기에 기존의 2차원 영상보다 거대한 데이터 크기를 가진다. 이러한 데이터를 다양한 분야에서 응용하거나 사용자에게 전달하기 위해서 3차원 데이터의 특징에 맞는 고효율의 압축 기술이 필수적이다.

국제 표준기구인 ISO/IEC JTC1/SC29/WG7 MPEG 3DG에서 비디오 코덱을 기반으로 포인트 클라우드를 압축하는 V-PCC 기술의 연구와 표준화 활동을 진행하고 있으며, V-PCC 기술은 포인트 클라우드를 패치라는 그룹으로 나누고, 여러 개의 기준 평면으로 투영시키는 과정을 통해 생성된 2차원 영상을 전통적인 비디오 코덱을 사용해 압축한다. [1][2] 동영상을 고효율로 압축하는 비디오 코덱을 이용하기 때문에 객체의 연속적인 움직임을 포함하는 동적 포인트 클라우드의 압축에서 높은 효율을 보여준다.

포인트 클라우드는 3차원 데이터의 특성상 데이터를 분석하거나 활용하기 위해서 2차원의 데이터보다 복잡한 계산 방법이 필요하고 연산에 필요한 시간도 더욱 많이 소모된다. 그러나 투영방식을 기반으로 하는 V-PCC의 경우 포인트 클라우드를 패치 단위로 나누어 2차원 평면에 투영한 다음 점유 맵 (Occupancy Map), 기하 영상 (Geometry Image), 속성 영상 (Attribute Image) 등의 2차원 데이터와 각 패치를 3차원 데이터로 재구성하는 데 필요한 보조 정보를 생성하여 부호화 과정을 진행하며, 부호화 과정에서 발생하는 영상의 열화가 부호화 과정에서 재구성되는 포인트 클라우드의 품질에 영향을 주는 것과 같이, 2차원 영상 정보의 변화를 통해 3차원 정보에 영향을 주는 것이 가능하다. 예시로 V-PCC의 Level of Detail (LoD) 기술은 2차원 투영 과정에서 패치의 크기를 변화하는 것으로 2차원 정보를 수정하고, 이러한 패치의 변화를 통해 복호화기에서 생성되는 포인트 클라우드의 밀도가 변화한다. [3] 이처럼 V-PCC 기술에서는 2차원 영상의 변화가 3차원 포인트 클라우드에 영향을 주기에 비교적 단순한 2차원 연산을 사용하여 3차원 데이터의 밀도나 품질에 영향을 주는 것이 가능하다.

이에 본 논문에서는 V-PCC 과정에서 사용되는 영상에 2차원 보간 기술을 적용하여 추가적인 포인트를 생성하는 포인트 클라우드 밀도를

높이는 기술을 제안한다. 본 논문의 실험에서는 원본 포인트 클라우드와 PSNR 비교 하기 위해 LoD 기술이 적용된 밀도가 낮은 V-PCC 압축 정보의 영상에 2차원 보간 기술을 적용하여 원본과 비슷한 밀도의 포인트 클라우드를 생성한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문에서 사용되는 배경 기술인 V-PCC의 부호화, 복호화 과정을 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 2차원 보간 기술을 V-PCC에 적용하는 방법을 설명한다. 4장은 2차원 보간 기술을 사용해 생성된 포인트 클라우드 결과를 확인하고 원본 결과와 비교한다. 5장에서 제안한 기술을 기반으로 향후 연구 방향을 제시한다.

2. Video-based Point Cloud Compression

2장에서는 V-PCC 기술의 부호화, 복호화 과정을 설명한다. V-PCC의 부호화기 구조는 그림 1과 같으며 입력으로 받은 포인트 클라우드를 2차원 평면에 투영한 다음 점유 맵 (Occupancy Map), 기하 영상 (Geometry Image), 속성 영상 (Attribute Image) 그리고 보조 정보로 나누어 부호화 과정을 진행한다.

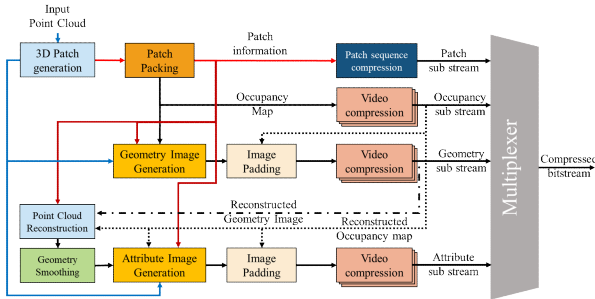


그림 1. V-PCC 부호화기 구조
Fig 1. V-PCC encoding structure

3D 패치 생성 (3D Patch generation) 단계는 입력받은 포인트 클라우드 모든 포인트의 법선 벡터를 계산하고, 비슷한 법선 벡터를 가지는 서로 가까운 포인트를 패치라는 그룹으로 묶는 과정이다. 패치 팩킹 (Patch Packing) 단계는 각각의 패치를 +X, +Y, +Z, -X, -Y, -Z축에 수직인 6개의 기준 평면 중 패치와 가장 평행한 평면으로 투영한 2차원 패치를 하나의 2차원 그리드에 서로 겹치지 않게 배치하고, 2차원 그리드의 패치 점유 여부를 1과 0으로 표시하는 점유 맵을 생성하는 과정이다. 부호화 과정에서 사용하는 점유 정밀도 (Occupancy Precision) 값의 크기에 따라 2차원 그리드 픽셀 여러 개를 점유 맵의 1개 픽셀로 표현하는 것으로 2차원 그리드보다 작은 크기의 점유 맵을 사용할 수 있다. 기하 영상 생성 단계는 각 포인트의 기준 평면과의 거리 정보를 YUV 영상의 Y 값에 저장하는 회색조 (grayscale) 영상이다. 속성 영상은 색상과 반사도 등 입력된 포인트 클라우드의 부가적인 정보를 저장하는 역할을 하며, 입력 포인트 클라우드와 재구성된 포인트 클라우드 기하 정보 변화에 의한 속성 왜곡 현상을 최소화하기 위해 점유 맵과 기하 영상을 사용해 재구성된 포인트 클라우드에 속성 정보를 전달한 후 속성 영상을 생성한다. 기하 정보 스무딩 (Geometry Smoothing) 단계는 포인트 클라우드의 복원의 패치 경계에서 발생하는 불연속적인 부분을 줄여주기 위해 패치 가장자리의 점들의 주변 포인트 정보를 사용하여 해당 포인트의 위치 정보를 수정한다. 영상 패딩 (Image Padding) 단계는 기하 영상과 속성 영상의 정보가 없는 영역과 패치 경계의 값이 급격하게

변하는 위치에서 비디오 부호화기의 효율을 높이기 위해 패치의 정보와 비슷한 값을 주변 영역에 전달하는 과정이다. 부호화 과정에서 생성된 점유 맵과 기하 영상, 속성 영상은 비디오 코덱을 사용해 압축하며, 복호화 과정에서 포인트 클라우드의 재구성에 필요한 패치의 2차원, 3차원 공간정보 등의 패치 보조 정보 (Patch Auxiliary Information) 내용은 복호화 과정에서 필요한 시퀀스 정보와 함께 엔트로피 압축을 사용해 무손실 압축을 진행한다.

V-PCC의 복호화기 구조는 그림 2와 같으며 부호화기를 통해 압축된 데이터에서 시퀀스 정보를 먼저 파싱하여 복호화기의 각 과정에서 필요한 정보를 알아내고, 패치 보조 정보는 엔트로피 코딩을 적용하며, 점유 맵, 기하 영상, 속성 영상은 비디오 코덱을 사용해 복원한다.

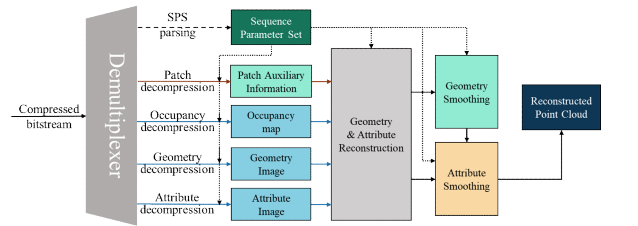


그림 2. V-PCC 복호화기 구조
Fig 2. V-PCC decoding structure

재구성 (Reconstruction) 단계는 점유 맵의 정보를 사용해 2차원 그리드의 점유 여부를 확인하며, 점유가 확인된 위치의 기하 영상 Y 정보와 패치 보조 정보를 사용해 포인트 생성 과정을 진행하며, 속성 영상에서 해당 위치의 속성 정보를 생성한 포인트에 전달한다. 스무딩 과정은 재구성된 포인트 클라우드의 각 패치의 경계에서 발생하는 불연속적인 내용을 수정하는 작업으로 포인트의 위치 정보를 주변 포인트의 위치를 참고하여 수정하는 기하 스무딩 (Geometry Smoothing) 과정을 먼저 진행하고 색상과 같은 속성 정보를 주변 포인트의 값을 참조하여 수정하는 속성 스무딩 (Attribute Smoothing) 과정을 진행하는 것으로 V-PCC 복호화 과정이 마무리된다.

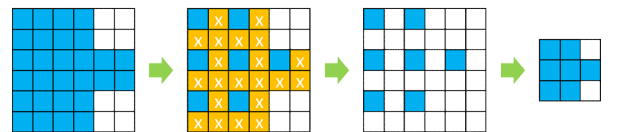


그림 3. LoD2에서 소실되는 픽셀 정보 예시
Fig 3. Example of pixel information lost in LoD2

V-PCC의 부호화 과정에서 LoD 기술을 적용하여 패치의 크기 조절이 적용되는 경우 그림 3과 같은 과정이 진행된다. 그림 3은 LoD 값이 가로와 세로 모두 2로 설정된 예시이며, 가로 범위 2칸과 세로 범위 2칸의 픽셀 중 하나의 픽셀을 제외한 정보를 2차원 투영과 패치 팩킹 과정에서 제외하는 것으로 패치의 가로, 세로 크기를 1/2로 변경한다. 크기가 변경된 패치 정보를 사용해 점유 맵이 형성되고, 기하 영상과 속성 영상의 생성에서도 그림 3의 가장 우측의 패치와 같이 각각의 모든 패치 크기가 축소된 상태가 적용된다. 이러한 과정에서 소실된 정보의 영향으로 포인트 클라우드 재구성 단계에서 사라진 픽셀의 개수만큼 포인트 개수가 줄어든 낮은 밀도의 포인트 클라우드를 생성한다.

3. 포인트 클라우드 2차원 보간 방안

3장에서는 본 논문에서 제안하는 V-PCC의 포인트 클라우드 재구성 단계에 2차원 보간 방법을 적용하여 추가적인 포인트를 생성하는 방법에 대하여 설명한다. 2차원 보간 방법을 적용해 생성한 포인트를 추가하는 기술의 구조는 그림 4와 같으며, 점유 맵 정보를 확인하여 2차원 보간 과정에 사용할 참조 픽셀의 위치를 선택하고, 기하 영상과 속성 영상에서 각각 보간 과정을 진행한 다음 패치 보조 정보를 사용해 포인트 생성 과정을 진행하고, 생성된 추가적인 포인트를 재구성된 포인트 클라우드 정보에 추가한다.

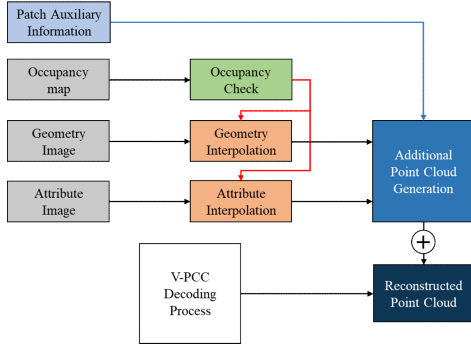


그림 4. 포인트 클라우드 2차원 보간 모델 구조
Fig 4. Point cloud 2D interpolation model structure

기하 영상과 속성 영상에 적용된 2차원 보간 과정은 그림 5와 같으며, 픽셀 거리가 1인 가장 가까운 픽셀만을 2차원 보간 과정에 사용한다. 그림 5의 필터와 같이 노란색의 주변 픽셀을 최대 8개 사용하며, 중간이 붉은색 픽셀 정보를 계산한다. 점유 맵의 정보로부터 점유가 되지 않은 픽셀은 그림 5의 중간 그림에서 회색으로 표시된 위치이며, 점유가 되지 않은 픽셀은 계산에 사용되지 않는다. 2차원 보간 과정이 적용된 결과 영상은 그림 5의 가장 우측과 같다.

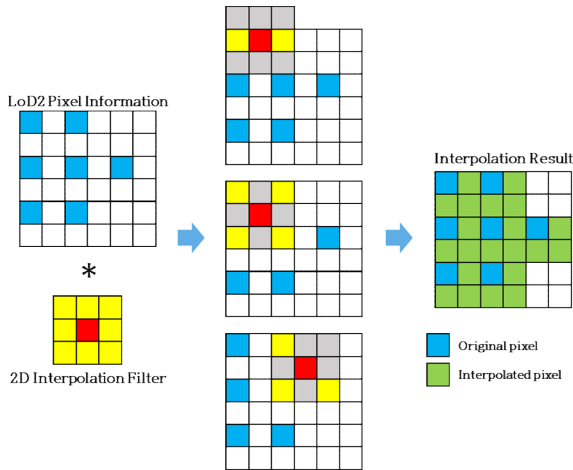


그림 5. 2차원 픽셀 보간 과정
Fig 5. 2D pixel interpolation process

V-PCC의 포인트 생성 단계는 점유 맵의 정보로부터 2차원 그리드 공간의 점유 여부를 확인하고, 기하 영상의 Y 값과 패치 보조 정보의 값을 사용해 3차원 위치를 계산한다. 식 (1)-(3)의 $x_{P_n}, y_{P_n}, z_{P_n}$ 는 n번째 포인트 P_n 의 3차원 위치 좌표를 의미한다. s_0, r_0, d_0 는 n번째 포인트가 속한 패치의 3차원 좌표 최솟값을 의미하며, 식(1)-(2)를 통해 2차원 그리드의 위치 좌표 u, v 와 투영 평면의 최솟값 u_0, v_0 를 사용해 투영 평면에 평행한 위치를 계산하고, 기하 영상 u, v 좌표의 밝기 정보를 가져오는 $Y_{geo}[u, v]$ 값을 사용해 투영 평면과 수직인 좌표를 계산하여 포인트의 3차원 위치 좌표를 계산한다.

$$x_{P_n} = s_0 + u - u_0 \quad (1)$$

$$y_{P_n} = r_0 + v - v_0 \quad (2)$$

$$z_{P_n} = d_0 + Y_{Geo}[u, v] \quad (3)$$

2차원 보간 방법을 적용하여 2차원 좌표 $(u+1, v+1)$ 위치에 주변 4개의 픽셀을 선형 보간 방식을 사용하여 추가적인 포인트를 생성하는 방법은 식(4)-(6)과 같다. 기존의 식(1)-(2)와 비슷하게 식(4)-(5)를 사용해 $(u+1, v+1)$ 위치의 투영 평면에 평행한 좌표 정보를 알아내고, 식 (6)과 같이 주변 정보로부터 선형 보간 방법을 이용해 계산한 예측값을 사용해 투영 평면으로부터의 거리 정보로 사용해 포인트의 3차원 위치 정보를 계산한다. 만약에 점유 맵에서 참조하고자 하는 픽셀이 점유되어 있지 않다고 표시되어 있을 경우 해당 픽셀의 정보는 계산에 사용하지 않고, 나머지 픽셀의 가중치를 올려준다.

$$x_{P_n} = s_0 + u - u_0 + 1 \quad (4)$$

$$y_{P_n} = r_0 + v - v_0 + 1 \quad (5)$$

$$z_{P_n} = d_0 + \left(\frac{Y_{Geo}[u, v] + Y_{Geo}[u+2, v] + Y_{Geo}[u, v+2] + Y_{Geo}[u+2, v+2]}{4} \right) \quad (6)$$

4. 실험결과

본 장에서는 3장에서 제안한 포인트 클라우드 2차원 보간 방안 모델을 실제로 구현하여 검증한 결과를 확인한다. 설계한 시스템은 통합개발 환경(IDE)인 Visual Studio 2017에서 C++을 활용해서 구현하였으며, 포인트 클라우드를 부호화하는 기술은 MPEG에서 제공하는 V-PCC Test Model Category 2 v12.0 (TMC2v12.0)을 사용했다. 포인트 클라우드 콘텐츠는 8기의 "loot_vox10", "redandblack_vox10", "soldier_vox10", "longdress_vox10" 그리고 Technicolor의 "queen"을 2프레임씩 사용했다.

표 1. 실험에 사용된 파라미터
Table 1. Parameters using in experiment

Condition	r1	r2	r3	r4	r5
Occupancy Precision	2	2	2	2	1
Geometry QP	32	28	24	20	16
Attribute QP	42	37	32	27	22

V-PCC 실험의 기하 영상과 속성 영상의 비디오 압축 조건과 양자화 계수는 표 1에 표시한 것과 같이 MPEG V-PCC의 Common Test Condition (CTC) [4] 기반으로 진행했으며, 2차원 보간이 적용된 포인트 클라우드의 PSNR 결과를 확인하기 위해 LoD 값을 2로 적용하여 포인트 개수가 1/4개인 밀도의 포인트 클라우드를 대조군으로 설정하고, 동일한 압축 과정을 통해 생성된 영상에 2차원 보간 방식을 적용하여 LoD 값이 2인 포인트 클라우드의 4배의 포인트 개수를 가지도록 2차원 보간 방법을 적용하여 실험을 진행했다. LoD 값을 2로 설정한 포인트 클라우드의 기하학적 손실을 줄이기 위해 표1의 내용과 같이 점유 정밀도를 r1~4에서 2, r5에서 1로 설정하는 것으로 LoD가 적용되지 않은 V-PCC 기술에서 점유 맵의 픽셀 1개와 LoD 값이 2로 설정된 점유 맵의 픽셀 1개가 실제로 점유하는 공간의 범위를 같게 한다.

그림 6은 V-PCC TMC2v12.0의 LoD 값을 2로 설정한 대조군과 동일한 압축 데이터에 본 논문에서 제안하는 2차원 보간 방법을 적용하여 포인트 클라우드의 밀도를 높은 결과물의 point-to-point (D1) PSNR과 point-to-plane (D2) PSNR의 Rate Distortion curve (RD-curve) 비교 결과 그래프이다. 그래프에서 확인할 수 있듯이 D1 PSNR 결과는 전체적으로 더욱 높게 나오지만, D2 PSNR은 전체적으로 감소하는 결과를 확인할 수 있다. 그리고 2차원 보간이 적용된 r5 실험에서 급격하게 PSNR이 올라가는 것을 확인할 수 있다.

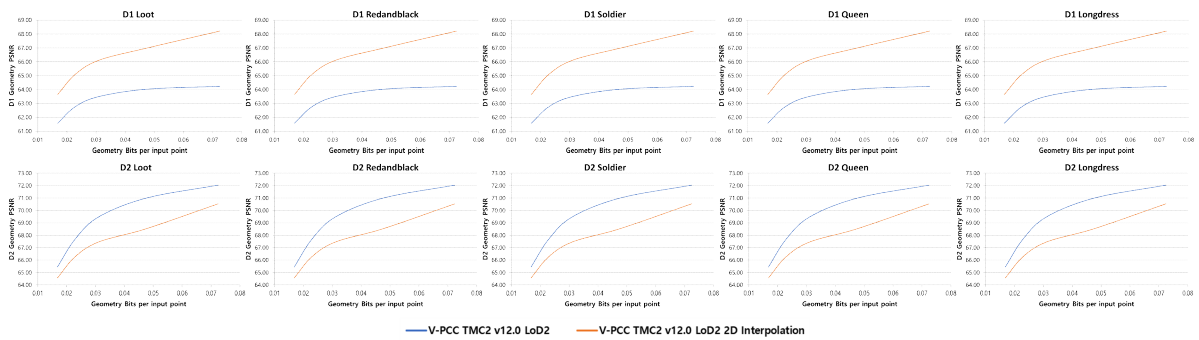


그림 6. LoD2와 2차원 보간이 적용된 결과의 D1&D2 RD 그래프
 Fig 6. LoD2 and 2D interpolation applied result D1&D2 RD graph

표 2는 실험 결과를 BDBR [5]을 사용해 비교한 결과로 실험에 사용된 압축 비트스트림은 같기 때문에 PSNR 결과에 의한 차이가 반영되었으며, 그림 4에서 확인한 내용과 동일하게 D1에서 이득이 있고, D2에서 손해가 있는 것을 확인할 수 있다. 기하 영상 압축 크기를 기준으로 비교하면 D1에서 23.3~51.3% 사이의 이득, D2에서 33.6~61.0% 사이의 손해가 있었으며, 정제 압축 용량을 기준으로 비교하면 D1에서 43.7~71.4% 사이의 이득, D2에서 62.3~149.8% 사이의 손해가 있었다. 색 정보는 평균적으로 손해가 있는 것으로 확인되지만 기하 정보와는 다르게 뚜렷한 경향을 확인하기가 힘들다.

표 2. LoD2와 2차원 보간이 적용된 BDBR 결과

Table 2. LoD2 and 2D interpolation applied BDBR results

Class	Sequence	Geom.				Geom.					
		BD-TotGeomRate	BD-TotRate [%]	End-to-End BD-AtRate [%]	BD-TotRate [%]	BD-TotRate [%]	End-to-End BD-TotalRate [%]	End-to-End BD-TotalRate [%]			
		D1	D2	Luma	Chroma Cb	Chroma Cr	Luma	Chroma Cb	Chroma Cr		
cat2-A	slifbv2_loot_vox10	-42.5%	30.9%	17.7%	16.7%	22.9%	-54.8%	69.6%	5.8%	11.7%	15.4%
	slifbv2_redandblack_vox10	-39.8%	33.6%	-4.5%	16.3%	3.5%	-43.6%	62.3%	-3.4%	11.6%	2.7%
	slifbv2_soldier_vox10	-23.3%	53.6%	-4.0%	44.3%	15.2%	-43.7%	108.1%	-2.9%	20.9%	11.4%
cat2-B	queen	-51.3%	56.9%	3.5%	2.9%	7.9%	-71.4%	115.1%	3.6%	2.1%	5.7%
	slifbv2_longdress_vox10	-34.6%	61.0%	8.7%	3.9%	4.5%	-63.4%	149.8%	2.3%	2.8%	3.7%
Cat2-A average		-39.2%	44.9%	0.7%	20.0%	12.3%	-60.4%	88.8%	0.8%	16.1%	9.0%
Cat2-B average		-34.6%	61.0%	8.7%	3.4%	4.5%	-63.4%	149.8%	2.3%	2.8%	3.7%
Overall average		-38.3%	49.2%	2.3%	16.7%	10.8%	-61.0%	101.0%	2.1%	11.8%	9.0%

This work was supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation(IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2020-0-00452, Development of Adaptive Viewer-centric Point cloud AR/VR(AVPA) Streaming Platform)



그림 7. LoD2 포인트 클라우드 (왼쪽), LoD2 + 2차원 보간 포인트 클라우드 (오른쪽)
 Fig 7. LoD2 Point Cloud (left), LoD2 + 2D Interpolation Point Cloud (right)

그림 7의 왼쪽은 LoD 값이 2로 설정된 낮은 밀도의 포인트 클라우드이며, 오른쪽은 왼쪽의 V-PCC 압축 파일과 동일한 데이터의 복호화 과정에 2차원 보간 방법을 적용하여 밀도를 높인 포인트 클라우드의 예시이다.

5. 결론

투영방식을 기반으로 2차원 영상을 생성해 포인트 클라우드를 압축하는 V-PCC의 특성을 이용해 영상에 2차원 보간 방법을 적용하여 포인트 클라우드의 밀도를 높이는 방법을 제안하였고, 밀도가 낮은 데이터에 2차원 보간 방법을 적용하는 것으로 D1 PSNR이 증가하는 것을 확인했다. 그러나 D2 PSNR은 전체 실험에서 모두 감소하였으며, 색정보의 경우 뚜렷한 경향을 확인하기가 힘들었다. 2차원 보간 작업을 진행하며 패치 경계 영역의 불연속적인 포인트 생성을 확인할 수 있었기에, 패치 경계의 영향이 높았을 것으로 추측된다. 따라서 패치 경계의 불연속적인 영역을 향상하기 위한 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

참고 문헌 (References)

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG7 Doc. MPEG2020/N00006, V-PCC Test Model v12, Online, October, 2020.
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG7 Doc. MPEG2020/N00012, V-PCC Codec Description, Online, October, 2020.
- [3] Jiheon Im, Junsik Kim, Sungryeul Rhyu, Kyuheon Kim, "A method of level of details control table for 3D point density scalability in video based point cloud compression," Proc. SPIE 11137, Applications of Digital Image Processing XLII, 111371A (6 September 2019);
- [4] ISO/IEC JTC1/SC29/WG7 Doc. MPEG2020/N00038, Common Test Conditions for V3C and V-PCC, Online, October, 2020.
- [5] G. Bjontegaarf "Calculation of average PSNR differences between RDcurves"