

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제25권 제5호, 2020년 9월 (JBE Vol. 25, No. 5, September 2020)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2020.25.5.709>

ISSN 2287-9137 (Online) ISSN 1226-7953 (Print)

## SHVC 비디오 기반 포인트 클라우드 밀도 스케일러빌리티 방안

황용해<sup>a)</sup>, 김준식<sup>a)</sup>, 김규현<sup>a)†</sup>

### Density Scalability of Video Based Point Cloud Compression by Using SHVC Codec

Yonghae Hwang<sup>a)</sup>, Junsik Kim<sup>a)</sup>, and Kyuheon Kim<sup>a)†</sup>

#### 요 약

포인트 클라우드는 수많은 점의 집합으로 이루어진 데이터로 2차원 평면에서 벗어나 3차원 공간에서 3D 객체를 표현하는 것이 가능하다. 각 점은 기본적으로 3차원 공간의 좌표 정보가 필요하고 추가적으로 색 (Color), 반사율 (Reflectance) 같은 속성을 가질 수 있도록 구성되어 있다. 이처럼 3D 포인트 클라우드 표현에는 2D 영상보다 많은 데이터를 사용하고 있기에, 이를 사용자에게 효율적으로 제공하기 위해서는 고효율의 압축 기술 연구가 필요하며, 현재 국제 표준 기구인 MPEG에서는 포인트 클라우드 콘텐츠 압축 방법으로 2D 비디오 압축 기술을 사용한 Video-based Point Cloud Compression (V-PCC) 기술이 연구되고 있다. 이러한 고효율의 포인트 클라우드 압축방식에도 불구하고 단말의 성능이나 네트워크 환경 등의 문제로 인해 서비스가 제한되는 상황이 발생할 수 있다. 2D 영상의 경우 Scalable High efficiency Video Coding (SHVC) 혹은 Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) 등의 다양한 기술을 사용하여 이러한 문제를 해결하고 있다. 이에 본 논문에서는 V-PCC 구조에 SHVC를 적용하여, 밀도 스케일러빌리티 기능을 가진 포인트 클라우드 압축 방안을 제안하는 것으로 이러한 문제를 해결하고자 한다.

#### Abstract

Point Cloud which is a cluster of numerous points can express 3D object beyond the 2D plane. Each point contains 3D coordinate and color data basically, reflectance or etc. additionally. Point Cloud demand research and development much higher effective compression technology. Video-based Point Cloud Compression (V-PCC) technology in development and standardization based on the established video codec. Despite its high effective compression technology, point cloud service will be limited by terminal spec and network conditions. 2D video had the same problems. To remedy this kind of problem, 2D video is using Scalable High efficiency Video Coding (SHVC), Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) or diverse technology. This paper proposed a density scalability method using SHVC codec in V-PCC.

Keyword : Point Cloud, V-PCC, SHVC, AR, VR

Copyright © 2020 Korean Institute of Broadcast and Media Engineers. All rights reserved.

“This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited and not altered.”

## I. 서론

포인트 클라우드는 수많은 점의 집합으로 이루어져 있으며, 3차원 공간에서 객체를 표현하는 것이 가능한 데이터이다. 각 점은 기본적으로 3차원 공간의 좌표, 즉, 직교 좌표계의 경우 X축, Y축, Z축 3개의 좌표와 색 정보로 구성되어 있으며 설정에 따라 반사율 등의 정보를 추가할 수 있다. 이러한 점들의 집합을 사용해 사물, 사람, 동물, 장소 등의 다양한 객체를 표현하는 것이 가능하다. 포인트 클라우드 데이터는 3D 객체를 표현하기 때문에 큰 용량을 차지하고, 기존의 미디어에서 사용하는 2D 평면의 데이터와는 성격이 다르므로 3차원 객체의 특성에 알맞은 고효율의 압축과 기존의 미디어 서비스와 호환성이 높은 기술을 필요로 한다.

국제 표준 기구인 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 산하 Moving Picture Expert Group - Immersive (MPEG-I) 그룹의 Visual Volumetric Video-based Coding (V3C) 파트에서는 움직임을 갖는 3D 객체 포인트 클라우드 데이터를 동적 포인트 클라우드라 부르며, 동적 포인트 클라우드의 압축을 위해서 3D 포인트 클라우드를 포인트의 법선 벡터를 6개의 기준평면으로 투영하여, 2D 데이터로 변환한 다음, 이렇게 획득한 2D 비디오를 전통적인 비디오 압축 기술을 적용하여 최종적으로 포인트 클라우드를 압축하는 Video-based Point Cloud Compression (V-PCC) 기술의 표준화를 진행하고 있다. 해당 표준에서는 2D 비디오 압축 기술로서 High Efficiency Video Coding (HEVC) 기술을 사용하고 있기에, 비디오 압축 기술의 다양한 특성을 사용한 높은 압축 효율 및 빠른 상용화가 가능하다는 장점을 가진다.

사용자에게 포인트 클라우드를 효율적으로 제공하기 위

해 V-PCC 기술을 사용하는 것은 가능하지만, 사용자 단말의 성능이나 네트워크 환경에 따라서 효율적으로 서비스 제공을 위한 방법이 함께 고려되어야 한다. 2D 비디오의 경우 Scalable High efficiency Video Coding (SHVC) 혹은 Dynamic Adaptive Streaming over HTTP (DASH) 등의 기술을 사용하여 사용자의 단말에서 처리하기에 적당한 품질의 서비스 선택을 가능하게 하는 기술이 제공되고 있으며, 포인트 클라우드를 사용한 서비스를 제공할 때에도 단말의 성능이나 네트워크 상황에 따라서 적절한 서비스를 제공할 수 있는 기능이 필요하다.

이와 같은 기능을 V-PCC에서 제공하기 위한 방법으로, Level of Detail (LoD) 제어 테이블<sup>[1]</sup>을 조절하여 포인트 클라우드의 밀도를 조절하는 방안이 있으나, 다른 밀도의 포인트 클라우드를 생성할 때마다 V-PCC 과정을 진행하고 압축된 파일을 따로 저장해야 한다는 한계를 가지고 있다. 따라서 본 논문에서는 기존의 V-PCC에서 사용하는 HEVC 대신 스케일러빌리티 기능을 지원하는 SHVC를 적용하여 V-PCC 구성하는 방법을 제안한다. 제안하는 SHVC 기반의 V-PCC 스케일러빌리티 압축 방식은 2D 비디오의 스케일러빌리티와 같이 하나의 V-PCC 압축 파일에서 다양한 해상도를 가지는 출력 파일을 지원함으로써, 포인트 클라우드를 출력하는 단말의 성능 및 전송하는 네트워크 상황에 따라 선택적으로 알맞은 밀도를 가지는 포인트 클라우드를 생성할 수 있는 밀도 스케일러빌리티 기능을 제공한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 본 논문에 사용되는 기반 기술인 V-PCC와 SHVC 비디오 기술에 관해서 설명하고, III장에서 본 논문에서 제안하는 SHVC 기반 V-PCC 밀도 스케일러빌리티 구조를 설명한다. IV장에서는 III장에서 제안한 기술을 다양한 포인트 클라우드에 적용한 V-PCC 밀도 스케일러빌리티 실험 결과를 확인하며, V장에서는 제안한 기술을 기반으로 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. 배경 기술

본 논문에서는 V-PCC 기술의 부호화 과정에서 SHVC 기술을 적용한 V-PCC 밀도 스케일러빌리티 방법을 제안하

a) 경희대학교 전자정보대학(College of Electronics & Information, Kyung Hee University)

‡ Corresponding Author : 김규현(Kyuheon Kim)

E-mail: kyuheonkim@khu.ac.kr

Tel: +82)10-5269-2340

ORCID:https://orcid.org/0000-0003-1553-936X

※ 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).

· Manuscript received July 17, 2020; Revised August 19, 2020; Accepted August 23, 2020.

고자 하며, 본 장에서는 제안 기술에서 사용되는 V-PCC 기술 및 SHVC의 복호화/부호화 과정을 설명한다.

### 1. MPEG V-PCC

본 절에서는 V-PCC 기술의 복호화/부호화 과정에 관해서 설명한다. V-PCC는 3차원 포인트 클라우드 데이터를 포인트들의 법선 벡터 방향으로 프로젝션하여 2D 데이터로 변환하고, 변환된 2D 데이터를 기존의 2D 비디오 압축 방식을 통해 압축하는 구조로 구성되어 있다. 그림 1과 같이, 포인트 클라우드 데이터를 입력받으면 패치 생성 (3D patch generation) 단계에서 각 포인트의 법선 방향을 계산하는 것으로 비슷한 방향을 향하고 있는 포인트들을 알아내고, 서로 가까이 위치하는 비슷한 방향을 가진 포인트들을 X축, Y축, Z축, -X축, -Y축, -Z축 총 6개의 축을 기반으로 하는 기준평면을 사용해 패치 (Patch)라는 단위로 묶어서 저장한다. Occupancy map은 패치 패킹 (Patch packing) 단계를 통해 생성되는데 3차원 공간에서 기준평면으로 투영된 패치들이 2차원 공간에 배치되는 과정에서 패치가 배치된 위치와 배치되지 않은 위치를 알려준다. 이미지 생성 (image generation) 단계에서 이를 기준으로 Geometry image와 Attribute image를 생성하여 각 이미지에 해당하는 정보를 저장한다. Geometry image는 포인트들의 기준평면으로부터 거리 정보를 가지고 있으며, Occupancy map을 사용해 패치들의 기준평면으로부터 포인트 사이의 거리를

밝기 정보로 저장하는 단색의 이미지를 생성한다. Attribute image는 색 정보를 가진 이미지이며, 비디오 압축 기술을 사용해 복호화된 Occupancy map과 Geometry image로부터 3D 포인트 클라우드를 복원시킨 다음 복원된 포인트 클라우드에 색 정보를 투영시킨 다음 Occupancy map을 사용해 패치 단위로 각 포인트의 색 정보를 저장하는 이미지를 생성한다. 이미지 패딩 (image padding)단계는 생성된 Geometry image 와 Attribute image에서 패치들 사이에 비어있는 공간을 정보가 저장된 주변 픽셀과 상관관계가 큰 값으로 채워주는 과정이다. 비어있는 공간을 채워주는 과정을 통해 패치 경계에서 발생하는 이미지의 고주파 성분을 감소시켜 비디오 압축과정에서의 효율이 올라가게 된다. 또한, 2차원 이미지를 3차원 포인트 클라우드로 복원하는 과정에 필요한 각 패치의 3차원 상의 위치, 패치의 크기, 기준평면과의 상관관계 등을 저장하는 패치 시퀀스 정보를 생성한다. 최종적으로 생성된 Occupancy map, Geometry image, Attribute image는 동영상으로 묶어 2D 비디오 코덱으로 압축하며, 패치 시퀀스 정보는 엔트로피 코딩을 통해 무손실 압축을 진행한다<sup>[3][4]</sup>.

V-PCC 기술의 복호화 과정은 그림 2와 같다. 압축된 데이터에서 패치 시퀀스 정보를 복호화하는 것으로 복호화 과정에서 필요한 단계별 설정 계수 (Sequence parameter)들과 패치들의 3차원상의 위치, 패치의 크기, 기준평면과의 상관관계 등을 알아낸 뒤 2D 비디오 코덱을 사용해서 Occupancy map, Geometry image, Attribute image 정보를

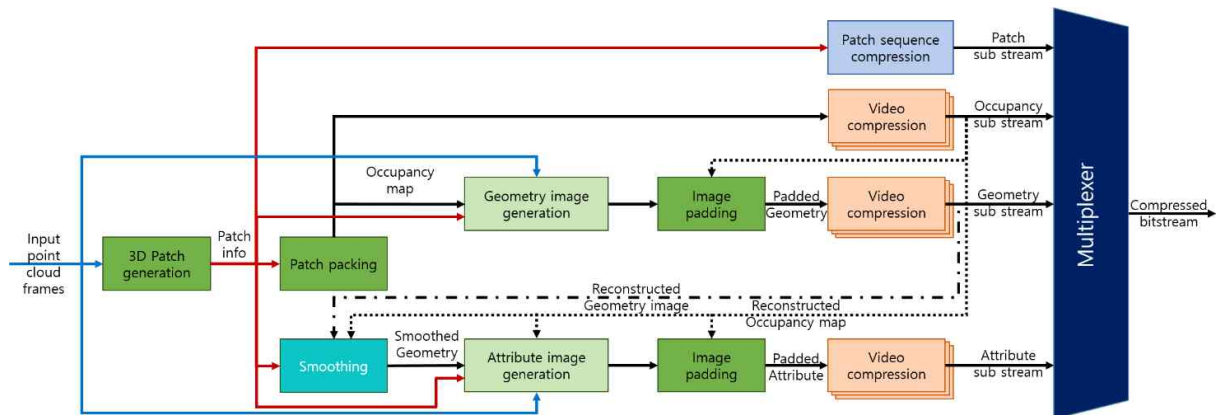


그림 1. V-PCC 부호화기 구조도  
 Fig. 1. V-PCC encoder structure

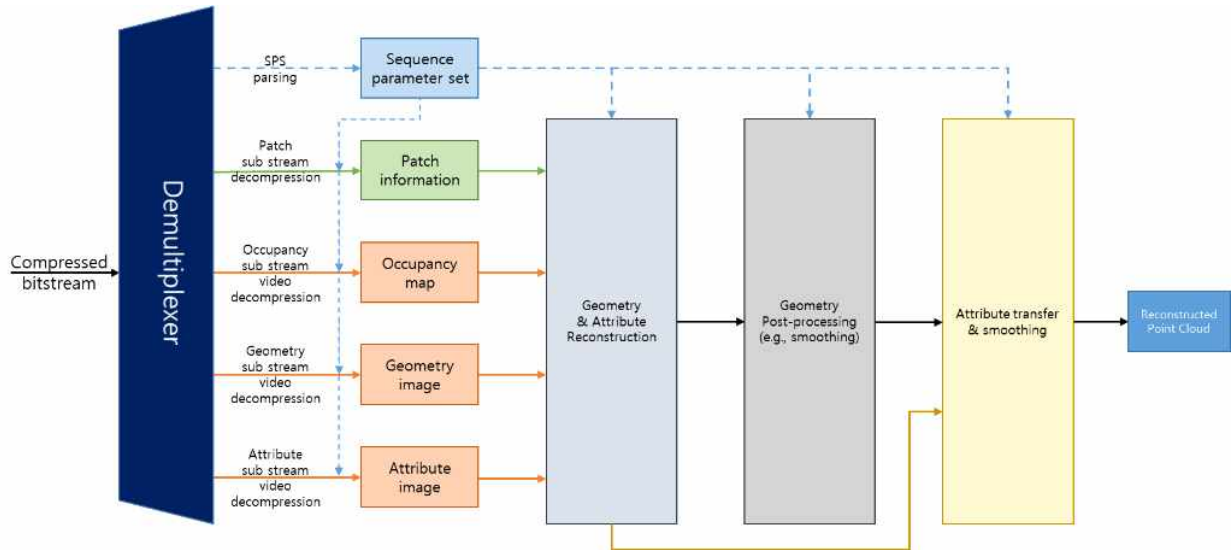


그림 2. V-PCC 복호화기 구조도  
Fig. 2. V-PCC decoder structure

복호화한다. 그 후, 포인트 복원 (Reconstruction) 단계에서 패치 시퀀스 정보와 Occupancy map을 사용해서 패치들의 순서대로 포인트들의 유무를 확인하여 각 기준평면에서 포인트 생성 여부를 결정하고, Geometry image의 밝기 정보로부터 기준평면과의 거리 정보를 가져와서 포인트를 생성한 다음 Attribute image의 정보를 사용해 포인트들의 색을 결정한다. 포인트 복원 작업을 통해 생성된 포인트 클라우드는 비디오 압축 과정으로 발생하는 손실 때문에 각 패치의 경계에서 불연속적인 부분이 발생하게 된다. 이러한 불연속적인 부분을 수정하기 위해 패치들의 경계에서 포인트들의 위치를 주변 포인트에 맞게 수정하는 Geometry smoothing을 진행하고 나서 색 정보의 불연속적인 부분을 수정하는 Attribute smoothing을 순서대로 진행한다.

## 2. MPEG SHVC

본 절에서는 2D 비디오의 스케일러빌리티를 제공하는 SHVC의 부호화/복호화 과정에 관해서 설명하고자 한다. SHVC는 기존의 비디오 압축 기술인 HEVC 기술에서 확장된 표준 기술로 그림 3과 같은 구조를 가지고 있으며, 그림 3에서 보는 3개의 계층뿐만 아니라, 다양한 계층을 구성하여 다양한 스케일러빌리티 기능을 제공할 수 있다. 그림 3

에서 보는 바와 같이, 입력된 비디오를 원하는 스케일러빌리티의 단계에 따라 다운샘플링하여, 기본 계층 (Base Layer)과 향상 계층 (Enhanced Layers)으로 구분하여 기본 계층은 HEVC 혹은 AVC 기술이 사용되며, 향상 계층은 HEVC를 기반으로 부호화 된다. 이때, 향상 계층의 정보를 부호화 하기 위해 하위 계층의 영상을 참고하는 것이 가능하며, 이때 참조되는 계층을 참조 계층(reference layer)이라 한다<sup>[5]</sup>. 기본 계층의 부호화 과정은 타 레이어 계층의 참조 없이 부호화 과정이 진행되고, 향상 계층은 시간적으로 동일한 위치에 있는 하위 참조 계층의 복호화된 영상의 정보를 부호화 계층에서 계층간 참조 영상 (ILR: Inter Layer Reference)로 받아서 예측 신호로 사용할 수 있다. 참조 계층과 향상 계층 영상의 특징에 따라서 확장성에 사용되는 특징이 달라지는데 향상 계층보다 참조 계층의 해상도가 낮으면 해상도 스케일러빌리티 (resolution scalability), 양자화 계수가 낮으면 품질 스케일러빌리티 (quality scalability), 픽셀당 비트 개수가 작으면 비트심도 스케일러빌리티 (bit-depth scalability) 등과 같은 다양한 특징을 사용한다. 해상도 스케일러빌리티의 경우, 참조 계층 영상을 향상 계층 영상의 해상도에 맞춰서 업샘플링 (up-sampling)을 하고, 비트심도 스케일러빌리티의 경우에는 영상의 비트 심도를 확장하는 등의 사용하는 특징에 맞는 과정을 적용하여 계층간 참조 영상으

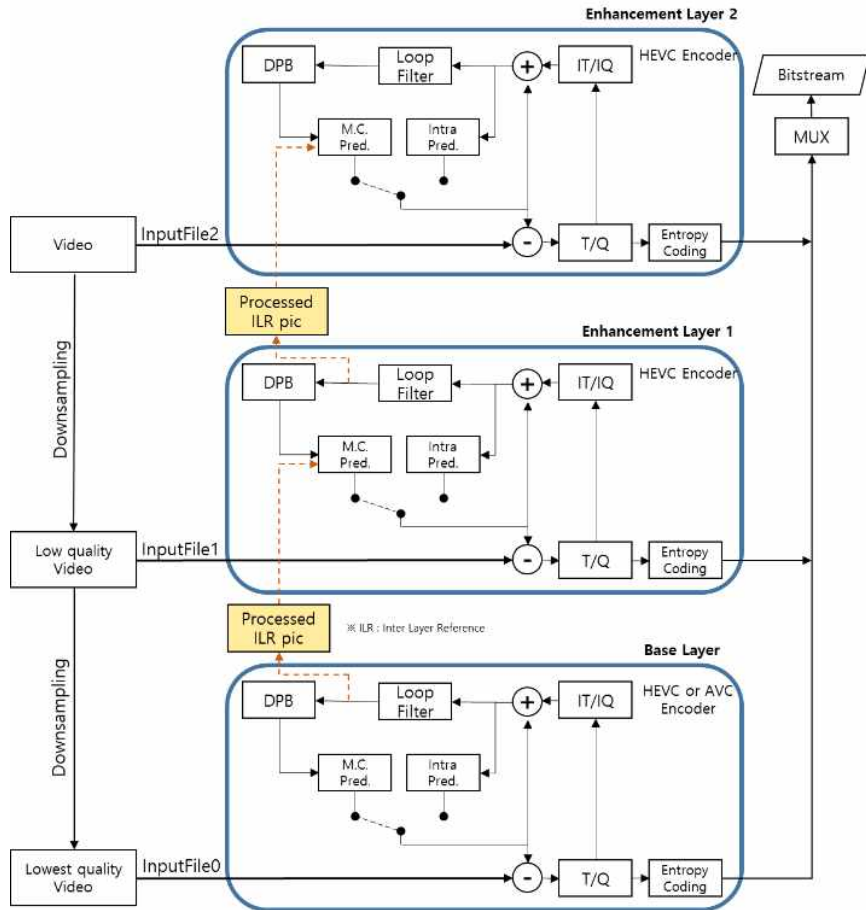


그림 3. SHVC 부호화기 구조도  
 Fig. 3. SHVC encoder structure

로 변환시킨 다음 예측 신호로 사용한다<sup>[5][6]</sup>.  
 복호화 과정에서는 기본 계층과 향상 계층 중에서 복호화 하고 싶은 계층을 선택하는 것이 가능하며, 향상 계층의 경우 하위의 참조 계층까지 모두 복호화 과정을 진행한 다음 계층간 참조 영상을 생성한 후 예측 신호로 사용하여 복호화 과정을 진행한다. 따라서 많은 하위 계층이 있는 향상 계층 일수록 복호화 과정에 비교적 많은 시간이 필요하다.

### III. SHVC 기반 V-PCC 밀도 스케일러빌리티 지원 모델

현재 V-PCC 기술은 LoD 제어 테이블을 사용하여 포인

트 클라우드의 밀도 스케일러빌리티 기능 확보가 가능하다. 그러나 이와 같은 방법은 다양한 밀도 스케일러빌리티 단계별로 별도의 포인트 클라우드를 생성/저장함으로써 효율적인 압축률을 기대하기 어려운 한계가 존재한다. 본 논문에서는 V-PCC의 비디오 압축 과정에서 SHVC 부호화기를 사용해 하나의 압축 파일로 다양한 밀도 스케일러빌리티를 지원하는 방안을 제안한다.

#### 1. SHVC 기반 V-PCC 부호화 모델

본 절에서는 밀도 스케일러빌리티를 지원하기 위한 SHVC 기반 V-PCC 부호화 모델을 그림 4와 같이 제안한다. 부호화 과정에서 비디오 압축 과정을 제외한 나머지 부

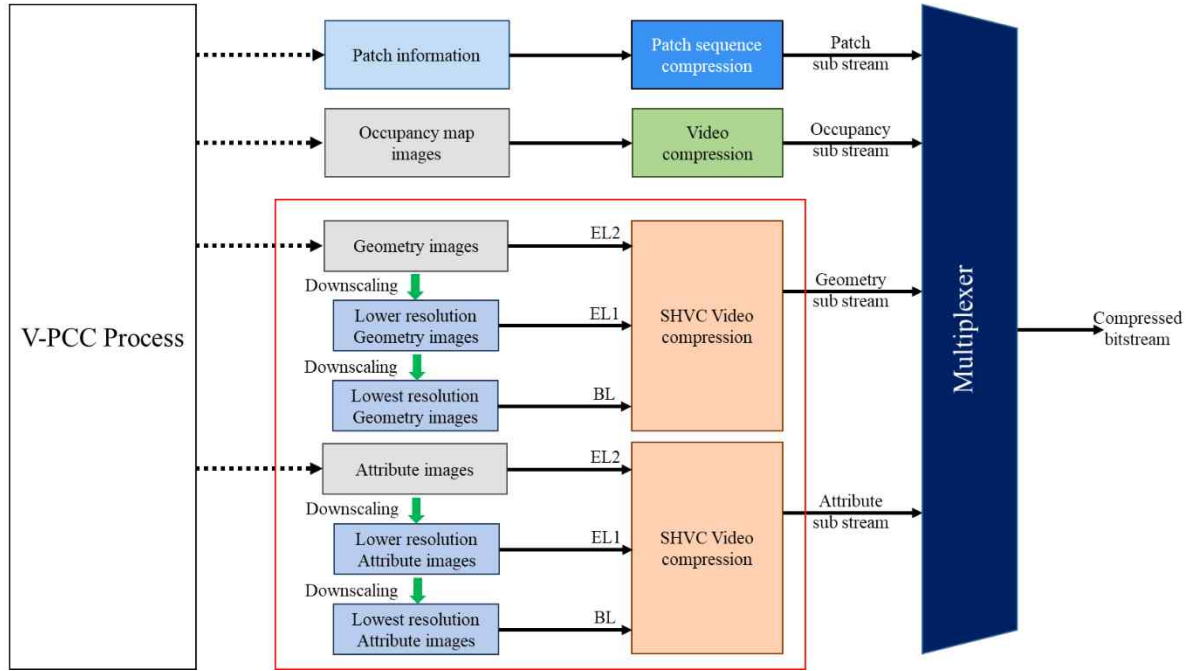


그림 4. SHVC 기반 V-PCC 부호화기 구조도 일부  
 Fig. 4. Part of SHVC in V-PCC encoder structure

본은 앞에서 다룬 V-PCC 부호화기 구조와 동일하게 진행하고 Geometry, Attribute의 비디오 압축 과정에서만 SHVC 부호화기를 사용한다. SHVC 부호화 과정에서는 해상도 스케일러빌리티를 지원하는 압축 과정을 진행한다.

해상도 스케일러빌리티를 이용한 압축 과정을 진행하기 위해 최상위 향상 계층에 V-PCC 과정에서 생성된 원본 영상을 입력하고, 하위의 향상 계층들과 기본 계층에는 상위의 계층보다 해상도가 낮은 영상, 기본 계층은 가장 해상도가 낮은 영상이 입력되어야 한다. 다른 해상도의 입력 영상을 계층을 나누어 입력하는 것으로 생성된 계층의 수만큼의 해상도 스케일러빌리티를 지원한다. 그림 4는 3개의 계층을 사용하는 예시이며, 해상도 스케일러빌리티를 지원하기 위해 상위 향상 계층 (Enhanced Layer 2) 입력으로 원본 해상도와 같은 영상, 하위 향상 계층 (Enhanced Layer 1) 입력으로 상위 향상 계층보다 해상도가 낮은 영상, 기본 계

층 (Base Layer) 입력으로 가장 해상도가 낮은 영상을 사용한다.

해상도가 낮은 영상은 V-PCC에서 생성된 Geometry, Attribute 영상을 사용한 다운샘플링 (down-sampling) 과정으로 만들어진다. 식 (1)과 식 (2)에서  $Pic_{ori}$ 은 최상위 향상 계층에 입력되는 영상을 의미하고,  $Pic_{m_1}$ 은 바로 아래 계층의 영상,  $Pic_{m_2}$ 은 그 아래의 계층에 입력되는 영상을 의미한다.

식(1)의  $Pic_{m_1}$ 은 하위 향상 계층의 영상이며, 해상도가 원본 영상의 가로 크기  $width_{ori}$ , 세로 크기  $height_{ori}$ 의  $1/m_1$ 로 되어있기 때문에 원본 해상도의 영상으로부터  $m_1$ 개의 픽셀 단위로 건너뛰며 정보를 가져오는 과정을 의미한다. 식 (2)의  $Pic_{m_2}$ 는  $Pic_{m_1}$ 이 입력된 계층보다 하위 계층의 영상이며, 해상도가 원본 영상의  $1/m_2$ 로 되어있기 때문에 원본 해상도의 영상으로부터  $m_2$ 개의 픽셀 단위로 건너

$$Pic_{m_1}[u, v] = Pic_{ori}[u \times m_1, v \times m_1] \quad (u = 0, 1, 2, \dots, width_{ori}/m_1), (v = 0, 1, 2, \dots, height_{ori}/m_1) \quad (1)$$

$$Pic_{m_2}[u, v] = Pic_{ori}[u \times m_2, v \times m_2] \quad (u = 0, 1, 2, \dots, width_{ori}/m_2), (v = 0, 1, 2, \dots, height_{ori}/m_2) \quad (2)$$

뛰며 정보를 가져오는 과정을 의미하며,  $m_1$ 과  $m_2$ 는 원본 영상 대비 해상도 변화 크기를 의미하는 변수로  $PiC_{m_2}$ 이 입력되는 계층이  $PiC_{m_1}$ 이 입력되는 계층보다 하위 계층이기 때문에  $PiC_{m_2}$ 의 해상도가 더 작아야 하고, 따라서  $m_2$ 는  $m_1$ 보다 큰 값이 되어야 한다. 그리고 하위의 계층도 같은 방식으로 해상도를 작게 변환하여 기본 계층이 가장 작은 해상도를 가지도록 다운샘플링 과정을 통해 생성된 영상을 입력하는 SHVC 부호화 과정을 진행하는 것으로 해상도 스케일러빌리티를 지원하는 압축 파일을 생성한다.

압축 파일의 해상도 스케일러빌리티를 이용하면 복호화 과정에서 필요한 해상도의 비디오를 선택적으로 복호화하여 사용할 수 있다. 다음절의 복호화 모델에서는 해상도 스케일러빌리티 기능을 이용하여 비디오의 해상도 변화를 고려한 V-PCC 밀도 스케일러빌리티 기능을 구현한다.

## 2. SHVC 기반 V-PCC 복호화 모델

본 절에서는 해상도 스케일러빌리티 기능을 가지는 압축 파일을 사용한 밀도 스케일러빌리티 복호화 모델을 그림 5와 같이 제안한다. 압축된 비디오 파일이 밀도 스케일러빌

리티 기능을 지원하기 위해서는 **Geometry**와 **Attribute** 비디오 복호화 과정에서 계층을 선택하는 단계를 추가해야 한다. 복호화 과정에서 계층의 선택이 없거나 가장 높은 밀도의 스케일러빌리티가 선택된 경우 상위 향상 계층의 영상을 사용한다. 중간 단계의 밀도가 선택된 경우 하위 향상 계층의 영상을, 가장 낮은 단계의 밀도를 선택된 경우 기본 계층의 영상을 사용해서 포인트 클라우드를 복호화한다. 포인트 클라우드의 복원 (**Reconstruction**) 과정에서는 입력 받은 계층에 따라 선택된 영상으로부터 포인트를 생성한다.

복원 과정에서 복호화된 영상의 계층에 따라 영상으로부터 정보를 가져오는 방식이 달라진다. 식(3)은 3차원 위치 정보인  $[x,y,z]$ 와 색 정보인  $[r,g,b]$ 로 이루어진  $n$ 번째 포인트  $P_n$ 을 의미하며, 식(4)-(6)의  $x_{P_n}$ ,  $y_{P_n}$ ,  $z_{P_n}$ 는  $P_n$ 의 3차원 위치정보를 의미하며, 이를 통해 밀도 스케일러빌리티를 지원하지 않는 포인트 클라우드 복원이 이루어진다.

$$P_n = \{x, y, z, r, g, b\} \quad (3)$$

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

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

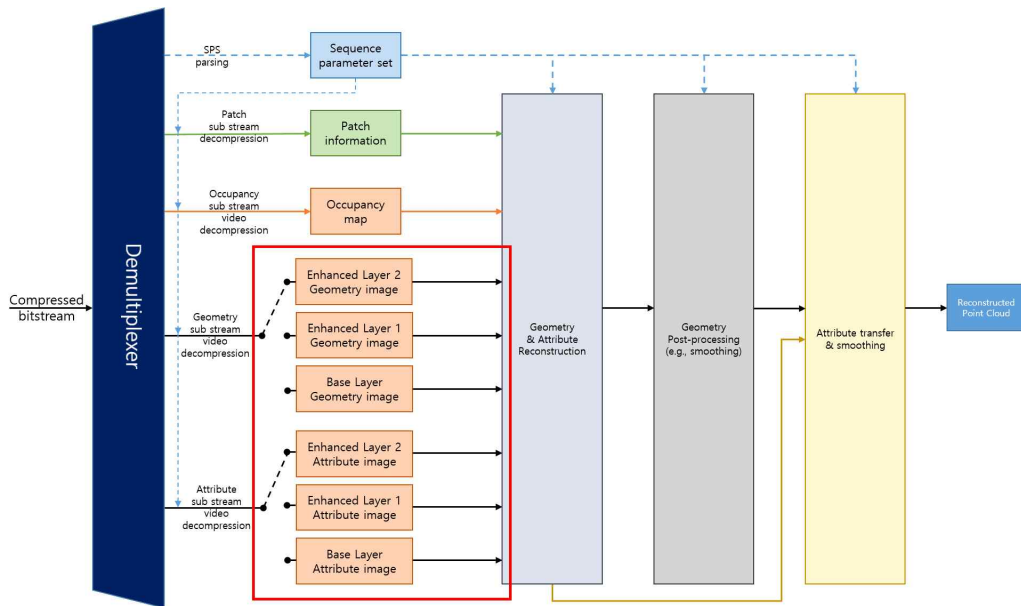


그림 5. SHVC 기반 V-PCC 복호화기 구조도  
 Fig. 5. SHVC in V-PCC decoder structure

$$z_{P_n} = d_0 + y_{Geo}[u, v] \quad (6)$$

$x_{P_n}, y_{P_n}, z_{P_n}$ 의 기준이 되는  $s_0, r_0, d_0$ 는  $n$ 번째 포인트가 포함되어있는 패치의 3차원 좌표 최소값을 의미하고, 식(4)와 식(5)의 는 패치가 속한 2차원 기준평면에서 패치의 2차원 위치 최소 좌표를 또한, 식(6)의  $Y_{Geo}$ 는 Geometry image에서  $[u, v]$ 좌표의 밝기 정보를 가져와 패치와 포인트 사이의 수직 거리로 사용하는 것이다. 상기 식 (3)-(6)을 통해 밀도 스케일러빌리티를 지원하지 않는 포인트 클라우드의 복원이 가능하다. 본 논문에서 제안하는 밀도 스케일러빌리티를 지원하기 위해서는 식(6)의 내용을 2D 비디오의 해상도에 맞추어 식(7)과 같이 변경해야 한다.

$$z_{P_n} = d_0 + Y_{Geo}\left[\frac{u}{k}, \frac{v}{k}\right] \left(k = \begin{cases} 1 & LID = 2 \\ m_1 & LID = 1 \\ m_2 & LID = 0 \end{cases}\right) \quad (7)$$

식(7)은 SHVC 비디오 복호화 과정에서 선택하는 계층을 의미하는 Layer IDentification number (LID) 값에 따라 Geometry image에 접근하는 위치를 조절한다. 식 (7)의  $Y_{Geo}$ 는 비디오 복호화 과정에서 선택된 계층에 따라 생성된 Geometry 영상 픽셀의 값을 가져오는 것을 의미하며,  $m_1$ 과  $m_2$ 는 앞서 언급된 식 (1)과 식 (2)에서 사용된 값과 동일하다. 이때, LID가 0일 때는 기본 계층까지 복호화하여 가장 낮은 해상도의 영상만을 복호화하고, 1일 때는 기본 계층을 복호화한 다음 참조 영상으로 하여 하위 향상 계층까지 복호화하여 중간 해상도의 영상을 복호화하고, 이후 값을 가질 경우 LID로 선택된 계층까지 위의 과정을 반복한다. 해상도 스케일러빌리티를 지원하는 비디오는 LID에 따라 생성되는 영상의 해상도가 다르므로 포인트 클라우드 복원 과정에서 포인트의 위치정보를 알아낼 때는 LID에 따라 Geometry image로부터 정보를 가져오는 위치는 해상도를 고려한 식(7)을 사용해야 패치 정보와 Occupancy map을 Geometry image 해상도 변화에 동기화시키는 것으로 포인트의 위치 정보를 알아낼 수 있다. 여기서  $k$ 는 각 계층의 원본 영상 대비 해상도 변화 정도에 따른 값으로 인코딩 과정에서 사용한 해상도 변화 변수  $m_1, m_2$ 와 같은 값을 사용할 수 있으며, 각 계층 영상의 해상도 대비 각 계층의

해상도 차이와 같고 최상위 계층은 해상도가 원본과 같기 때문에 1이 된다. 이러한 과정을 통하여 패치 단위로 포인트 생성이 줄어들기 때문에 입력 영상의 해상도에 따라 밀도가 다른 포인트 클라우드를 생성할 수 있게 된다.

이와 같이 변경된 밀도에 따른 포인트에 대한 색 정보는 Attribute image로부터 아래 식(8)을 사용하여 할당한다.

$$(r, g, b)_{P_n} = Color_{Att}\left[\frac{u}{k}, \frac{v}{k}\right] \left(k = \begin{cases} 1 & LID = 2 \\ m_1 & LID = 1 \\ m_2 & LID = 0 \end{cases}\right) \quad (8)$$

식(8)의  $Color_{Att}$ 는 Attribute image에서 지정된 좌표에 있는 픽셀의 RGB 색 정보를 가져와서  $P_n$ 의 색 정보에 저장하는 과정을 의미한다.  $Color_{Att}$ 는 비디오 복호화 과정에서 선택된 계층에 따라 생성된 Attribute 영상 픽셀의 값을 가져오는 것으로 식 (7)의  $Y_{Geo}$ 와 같이 패치 정보와 Occupancy map을 해상도 변화에 동기화시키기 위해 사용한다. 이와 같이, 상기의 식 (7)과 (8)을 통해 패치 정보와 Occupancy map을 복호화된 영상의 해상도와 동기화시키는 것으로 밀도 스케일러빌리티 복호화 과정이 완료된다.

#### IV. 실험 결과

본 장에서는 III장에서 제안한 SHVC 기반 밀도 스케일러빌리티를 지원하는 V-PCC 모델을 실제로 구현하여 검증한 결과를 확인한다. 설계한 시스템은 통합개발환경(IDE)인 Visual Studio 2017에서 C++을 활용해서 구현하였으며, 포인트 클라우드를 부호화하는 기술은 MPEG에서 제공하는 V-PCC Test Model Category 2 v9.1 (TMC2v9.1)을 사용했으며 Occupancy map 압축에는 TMC2v9.1에서 기존에 사용하는 HEVC 참조 소프트웨어인 HM-16.20 비디오 코덱을 사용하고, Geometry image와 Attribute image 압축에서는 밀도 확장성을 지원하는 경우에는 HM-16.10을 기반으로 제작된 SHM-12.4 비디오 코덱을 사용하였다. 실험에 사용된 콘텐츠는 Common Test Condition (CTC)<sup>[7]</sup>기반으로 4개의 포인트 클라우드를 32프레임씩 진행하였다.



표 1. 실험에 사용된 항목별 양자화 계수  
 Table 1. Quantization parameters of each sequence

Variant	r01	r02	r03	r04	r05
Geometry QP	32	28	24	20	16
Attribute QP	42	37	32	27	22

표 1은 부호화 과정에서 사용된 5가지 경우의 양자화 계수를 나타낸다. r01에서 부호화 과정에서 가장 손실이 많이 발생하고 r05로 갈수록 손실이 줄어든다. SHVC 기본 계층과 향상 계층에서도 마찬가지로 해상도 스케일러빌리티를 지원하는 영상에 5가지 양자화 계수를 적용하는 실험을 각각 진행하였다.

그림 6은 III장 1절에서 언급한 다운샘플링 과정을 통해서 생성된 이미지의 예시로 redandblack의 각 계층별 이미지이다. SHVC 부호화 과정에서 해상도 스케일러빌리티를 지원하기 위해 상위 향상 계층에는 기존의 V-PCC 과정에서 생성되는 해상도와 동일한 영상, 하위 향상 계층에는 1/2 해상도의 영상, 기본 계층에는 1/4 해상도의 영상이 입력되었다. 그리고 포인트 복원 과정에서 III장 2절에서 언급한

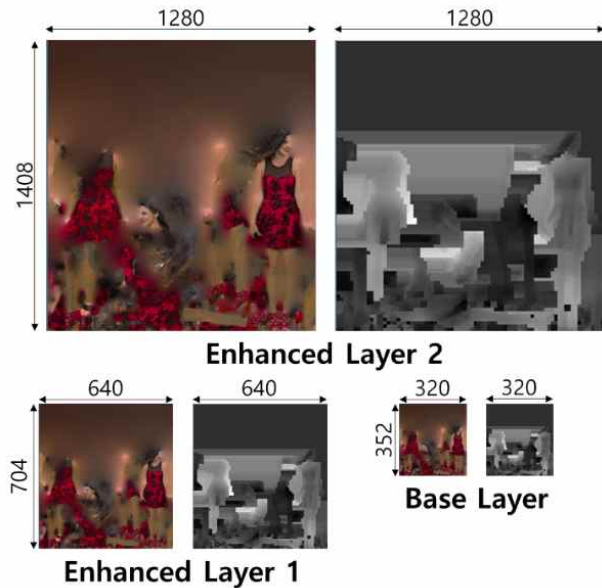


그림 6. 각 계층별 redandblack 콘텐츠의 Attribute image, Geometry image 크기  
 Fig. 6. Attribute and Geometry image size of redandblack content at each layer

해상도 차이를 고려한 포인트 생성 과정을 통해 복호화 과정으로 복원된 포인트 클라우드의 밀도 스케일러빌리티를 지원하도록 하였다.

밀도 스케일러빌리티를 지원하지 않는 방식과의 차이를 확인하기 위해 실험에서 사용한 SHVC와 같은 버전의 HEVC 부호화기를 사용했다. 표 2는 그림 6에서 보인 3개의 계층별 이미지를 사용해 Geometry와 Attribute만을 해상도 스케일러빌리티를 가진 SHVC를 사용한 압축 파일 2개와 Geometry와 Attribute를 3개의 계층별 이미지를 HEVC를 사용해 각각 압축한 파일 6개의 결과를 비교한 것이다. 표2의 결과로 영상의 종류에 따라 조금씩 차이는 있지만, 전체적으로 SHVC를 사용했을 때 PSNR 차이는 소수점 단위로 거의 같았으며, SHVC 압축 파일의 크기가 평균 4.6% 줄어든 것이 확인된다.

표 2. SHVC와 HEVC 압축 파일 크기 비교  
 Table 2. Comparison of compression file size between SHVC and HEVC

Sequence	Variant	SHVC [Byte] (Geo +Att)	HEVC [Byte] (Geo+Att)	SHVC to HEVC ratio [%]
loot	r01	102873	104800	98.161
	r02	150858	153186	98.480
	r03	244138	246324	99.113
	r04	411681	411273	100.099
	r05	741099	749061	98.937
redandblack	r01	200806	214814	93.479
	r02	299172	320554	93.330
	r03	475609	505497	94.087
	r04	791371	840278	94.180
	r05	1415074	1509940	93.717
soldier	r01	133420	138850	96.090
	r02	209202	240626	86.941
	r03	354528	368998	96.079
	r04	644300	658986	97.771
	r05	1214224	1271566	95.490
longdress	r01	227987	245062	93.032
	r02	381667	409533	93.196
	r03	687360	729655	94.203
	r04	1299383	1365798	95.137
	r05	2743852	2843116	96.509
Average				95.402

그림 7은 SHVC를 사용해 밀도 스케일러빌리티를 지원하는 V-PCC와 HEVC를 사용해 부호화한 밀도 스케일러빌리티를 지원하지 않는 압축 결과로부터 복호화된 결과를

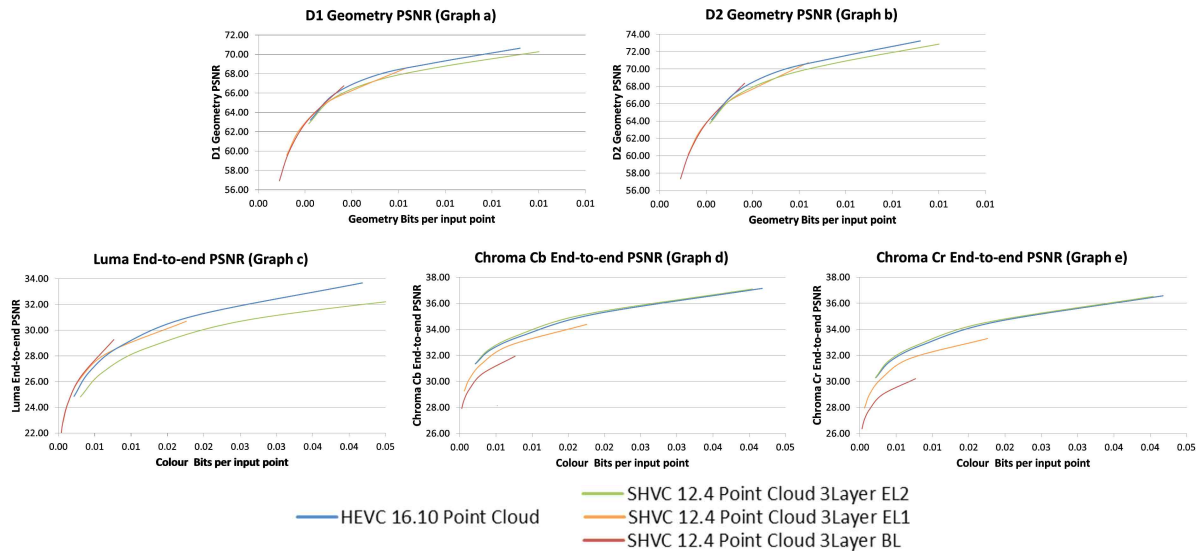


그림 7. Longdress 단일 계층과 3개 계층을 사용한 결과물의 RD 그래프 비교  
 Fig. 7. Longdress Single Layer and 3 Layer outcome RD curves

원본 포인트 클라우드 객체 사이의 비트레이트 (bit-rate) 대비 PSNR을 비교한 결과이다<sup>[8]</sup>. 직접적인 결과 비교를 위해 SHVC를 사용한 실험에서 가장 높은 밀도의 결과물은 Geometry의 상위 향상 계층의 압축 결과와 Attribute의 상위 향상 계층의 압축 결과만을 사용했으며, 마찬가지로 중간 밀도의 경우 하위 향상 계층, 낮은 밀도의 경우 기본 계층의 압축 결과만을 사용했다. 실험 결과 상위 향상 계층을 사용한 높은 밀도의 결과물에서는 HEVC를 사용해 생성된 단일 계층의 결과와 비슷하지만, Geometry PSNR은 전체적으로 0.5[dB]정도 낮은 결과를 확인된다. 하위 향상 계층과 기본 계층을 사용한 결과에서는 Geometry PSNR은 단일 계층의 결과의 추세와 비슷하게 저하가 진행되고, Color PSNR은 밝기 정보는 추세와 비슷하지만 색 정보에서는 추세 보다 감소하는 것이 확인된다.

그림 8과 9는 V-PCC에서 지원하는 LoD 제어 테이블을 사용하여 실험에서 설정된 기준과 비슷한 밀도 스케일러빌리티를 지원할 경우의 비트레이트 대비 PSNR을 비교한 결과이다. 직접적인 결과 비교를 위해 Geometry와 Attribute의 데이터의 경우 SHVC 비디오 압축 과정의 각 계층의 압축결과만을 사용하고 LoD의 경우 HEVC의 비디오 압축 과정의 압축 결과를 사용했다. 그림 8은 LoD 값을 2로 설정한

결과와 식(1)의 값을 2로 설정한 하위 향상 계층의 결과를 비교했다. Geometry PSNR의 경우 LoD를 사용할 때보다 r02~04의 구간에서 높은 값을 보여주며, Color PSNR의 경우 전체적으로 조금 높은 것을 확인할 수 있다.

그림 9는 LoD 값을 4로 설정한 결과와 식(2)의 값을 4로 설정한 기본 계층의 결과를 비교했다. Geometry PSNR의 경우 LoD를 사용할 때보다 전체 구간에서 높은 값을 보여주며, Color PSNR의 경우 전체적으로 조금 높은 것을 확인할 수 있다. 실험 결과 각 계층의 데이터를 LoD 제어 테이블이 사용된 비슷한 밀도 스케일러빌리티의 결과와 확인할 경우 전체적으로 효율이 좋고, Geometry PSNR에서 더 좋은 결과가 나오는 것을 확인했다. 기본 계층과 LoD 값을 4로 설정한 실험의 경우 Occupancy map을 상위 향상 계층과 동일하게 사용하기 때문에 Occupancy map과 패치 정보가 많이 변화된 LoD의 결과보다 Geometry PSNR이 더욱 높게 나타나는 것을 확인했다. LoD 값을 변경한 실험에서는 Occupancy map의 해상도가 달라지는 r05의 실험이 다른 실험의 결과보다 크게 높은 값을 보이기 때문에 더욱 정확한 비교를 위해서 Occupancy map과 패치 정보의 변화를 고려한 방식의 실험이 필요할 것으로 예상된다.

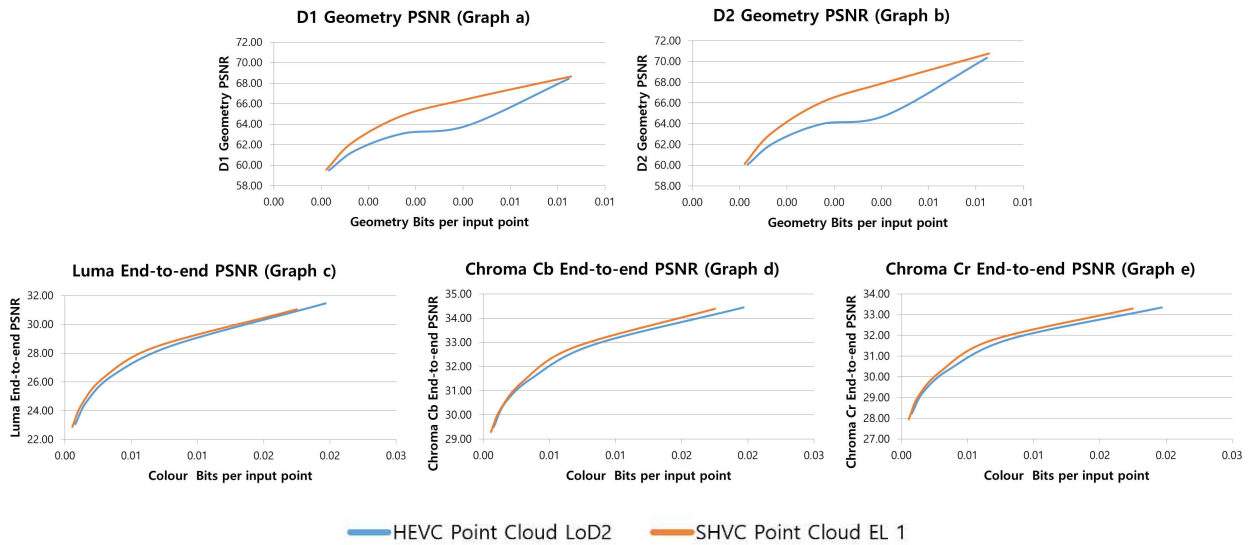


그림 8. Longdress LoD 2와 하위 향상계층을 사용한 결과물의 RD 그래프 비교  
 Fig. 8. Longdress LoD 2 and Enhanced Layer 1 outcome RD curves

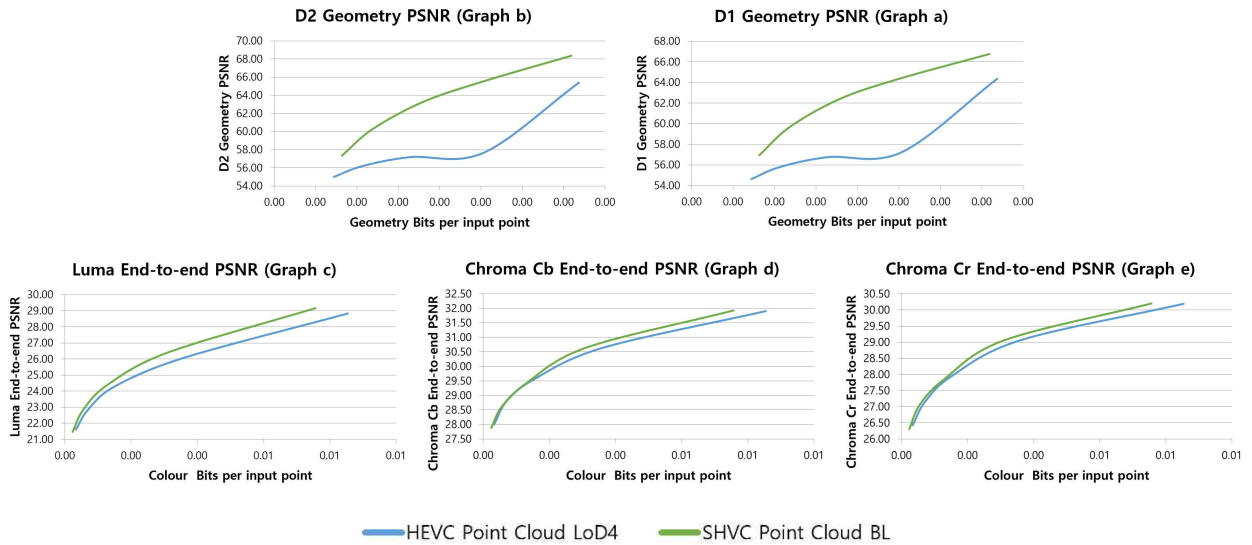


그림 9. Longdress LoD 4와 기본 계층을 사용한 결과물의 RD 그래프 비교  
 Fig. 9. Longdress LoD 4 and Base Layer outcome RD curves

표 3은 3개의 계층을 사용한 V-PCC 압축 파일을 각 계층 별로 복호화시킨 결과를 비교한 것이다. 상위 향상 계층까지 모두 복호화 하는 경우 가장 밀도가 높은 포인트 클라우드를 복원하기 때문에 상위 향상 계층까지 모두 사용하는

복호화 과정에 걸리는 시간과 최대 사용 메모리를 기준으로 기본 계층과 하위 향상 계층까지만 사용하여 복호화 과정에 걸리는 시간과 최대 사용 메모리의 비율을 확인하였다.

표 3. SHVC 복호화 계층별 시간과 메모리 비교  
 Table 3. Decoding time and memory rate of selected SHVC layer

Sequence	Variant	BL to EL2 ratio [%]		EL1 to EL2 ratio [%]	
		Decoding Time	Peak Memory	Decoding Time	Peak Memory
loot	r01	7.52	17.08	25.60	33.08
	r02	6.85	16.99	24.38	32.75
	r03	7.04	16.51	26.01	32.26
	r04	6.44	15.97	24.68	31.92
	r05	6.89	17.12	25.65	32.82
redandblack	r01	7.48	17.79	25.74	33.41
	r02	6.88	17.38	25.57	33.19
	r03	6.78	16.76	26.26	33.30
	r04	7.06	16.55	25.62	32.54
	r05	8.05	17.91	26.14	33.66
soldier	r01	7.16	16.31	25.91	32.31
	r02	6.77	15.72	25.76	31.95
	r03	6.51	15.09	25.15	31.30
	r04	6.40	14.96	24.50	31.65
	r05	6.51	15.83	23.63	31.94
longdress	r01	7.48	17.29	26.39	33.31
	r02	6.82	16.81	25.04	32.59
	r03	6.61	16.21	26.18	32.81
	r04	6.65	16.06	25.28	32.13
	r05	9.24	17.48	27.12	33.11
Average		7.058	16.591	25.530	32.603

하위 향상 계층까지의 정보만으로 복호화 과정을 진행할 경우 상위 향상 계층까지 접근할 때보다 평균 25.5%의 시간이 소요되었으며, 최대 사용 메모리는 상위 향상 계층의 32.6%의 메모리를 사용하였으며, 기본 계층만의 정보를 사용해서 복호화 과정을 진행할 경우 상위 향상 계층까지의 복호화보다 7% 정도의 시간이 소요되고 최대 메모리 사용량도 16.6%인 것을 확인할 수 있다. 따라서 밀도 스케일러빌리티를 지원하는 V-PCC 압축파일을 사용하여 낮은 밀도의 포인트 클라우드를 더욱 짧은 시간에 적은 메모리를 사용하여 복원하는 것이 가능하다.

V-PCC 과정에서 SHVC를 사용하는 것으로 여러 계층을 가지는 압축 파일을 생성하고, 복호화 과정에서 복원되는 포인트 클라우드의 밀도 스케일러빌리티는 그림 10과 같은 차이를 보여주며, 제안하는 기술을 통해 모든 포

인트 클라우드 객체에서 일정한 수준의 밀도 스케일러빌리티가 적용된 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 기술은 Occupancy map과 패치 정보를 수정하지 않고 부호화기의 Geometry, Attribute의 비디오 압축 단계에 SHVC를 적용하는 것으로, 복호화기의 비디오 복호화 단계, 포인트 클라우드 복원 단계만을 수정하는 것으로 V-PCC 구조의 변경을 최소화하며 밀도 스케일러빌리티를 구현할 수 있었다. SHVC를 사용하여 밀도 스케일러빌리티를 지원하고자 할 경우 하나의 압축 파일로부터 포인트 클라우드 복호화 과정에서 선택하는 Geometry, Attribute 계층에 따라 생성되는 포인트 클라우드의 밀도 스케일러빌리티를 그림 10에서 보이는 바와 같이 지원하는 것을 확인할 수 있다.



그림 10. 밀도 스케일러빌리티를 적용한 포인트 클라우드 결과 예시  
Fig. 10. Example of point cloud reconstruct data applying density scalability

## V. 결 론

포인트 클라우드 압축에 사용되는 V-PCC 기술의 비디오 압축 과정에서 기존에 사용되는 HEVC 외에 SHVC를 사용할 수 있도록 확장하고, SHVC의 해상도 스케일러빌리티를 사용하여 복호화하는 영상의 해상도에 따라 다양한 밀도의 포인트 클라우드를 복원할 수 있는 밀도 스케일러빌리티를 지원하는 방식을 제시하였다. 본 논문의 제안 기술을 사용할 경우 단말의 성능이나 네트워크 환경으로 인해 높은 밀도의 포인트 클라우드 사용이 제한되는 상황에서 낮은 밀

도 스케일러빌리티의 포인트 클라우드 압축 파일을 새롭게 받아오지 않아도 기존의 압축 파일을 사용해서 낮은 계층의 Geometry와 Attribute 비디오를 복호화해서 낮은 밀도 스케일러빌리티의 포인트 클라우드를 복호화하는 것으로 단말이나 네트워크의 부담을 줄일 수 있으며, 단말의 성능에 여유가 있을 경우에는 높은 계층의 Geometry와 Attribute 비디오를 복호화해서 높은 밀도 스케일러빌리티를 가지는 포인트 클라우드를 복호화하는 것이 가능하다.

본 논문의 실험에서는 SHVC에서 사용하는 HEVC 기술이 현재 V-PCC에서 사용되는 것보다 낮은 버전을 사용하

기 때문에 기존기술과의 정확한 차이를 확인하기 힘들고 비디오 압축 과정에서 압축에 사용되는 영상의 정보가 늘어나기 때문에 전체 압축 파일의 크기가 증가할 수밖에 없다는 문제점을 가지고 있다. 따라서 SHVC의 버전을 올리며 발생할 수 있는 추가적인 문제점 해결과 포인트 클라우드 데이터와 V-PCC 기술의 특성을 고려한 적합한 응용 방식을 찾는 등의 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

### 참 고 문 헌 (References)

- [1] 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);
- [2] Y. Hwang, J. Kim, K. Kim, "A method of density scalability using SHVC codec in Video based Point Cloud Compression" 2020 The Korean Institute of Broadcast and Media Engineers Summer Conference, Korea, pp. 383-387, 2020.
- [3] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Doc. MPEG2020/N19332, V-PCC Codec Description, Alpbach, online, April 2020.
- [4] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Doc. MPEG2019/N18180, Video-based Point Cloud Compression, Marrakesh, January 2019
- [5] J. Kang, J. Lee, H. Lee, "HEVC Scalable Extension(SHVC)", IEIE, The Magazine of the IEEE, 41(10), 61-68, 2014
- [6] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Doc. MPEG2015/N15778, Scalable HEVC (SHVC) Test Model 11 (SHM11), Geneva, October 2015
- [7] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 Doc. MPEG2020/N19324, Common Test Conditions for PCC, Alpbach, online, April 2020.
- [8] G. Bjontegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-curves," Document VCEG-M33, Austin, Texas, USA, Apr. 2001.

---

### 저 자 소 개

#### 황 용 해



- 2020년 2월 : 경희대학교 우주과학과 이학사, 전자공학과 공학사
- 2020년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 전자공학과 석사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-8892-988X>
- 주관심분야 : 영상처리, 포인트 클라우드 압축

#### 김 준 식



- 2017년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학사
- 2019년 2월 : 경희대학교 전자공학과 공학석사
- 2019년 3월 ~ 현재 : 경희대학교 전자공학과 박사과정
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0002-0287-9640>
- 주관심분야 : 영상처리, 멀티미디어 시스템, 포인트 클라우드 압축, 디지털 대화형 방송

#### 김 규 헌



- 1989년 2월 : 한양대학교 전자공학과 공학사
- 1992년 9월 : 영국 University of Newcastle upon Tyne 전기전자공학과 공학석사
- 1996년 7월 : 영국 University of Newcastle upon Tyne 전기전자공학과 공학박사
- 1996년 ~ 1997년 : 영국 University of Sheffield, Research Fellow
- 1997년 ~ 2006년 : 한국전자통신연구원 대화형미디어연구팀장
- 2006년 ~ 현재 : 경희대학교 전자정보대학 교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-1553-936X>
- 주관심분야 : 영상처리, 멀티미디어통신, 디지털 대화형방송