

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제26권 제6호, 2021년 11월 (JBE Vol.26, No.6, November 2021)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2021.26.6.692>

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

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

황 용 해^{a)}, 김 준 식^{a)}, 김 규 현^{a)†}

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

Yonghae Hwang^{a)}, Junsik Kim^{a)}, and Kyuheon Kim^{a)†}

요 약

최근 컴퓨터 그래픽 기술의 발전으로 현실의 객체를 더욱 사실적인 가상의 그래픽으로 표현하는 기술의 연구가 활발히 진행되고 있다. 포인트 클라우드는 3차원 공간 좌표와 색 정보 등을 포함하는 수많은 점을 사용해 3차원 객체를 표현하는 기술로 기존의 2차원 영상보다 많은 데이터를 사용하고 데이터 처리에 더욱 복잡한 연산이 필요하므로 포인트 클라우드를 사용한 서비스를 제공하기 위해서는 거대한 데이터 저장 공간과 높은 성능의 연산 장치가 필요하다. 현재 국제 표준기구인 MPEG에서 포인트 클라우드를 2차원 평면에 투영한 다음 비디오 코덱을 사용해 압축하는 Video-based Point Cloud Compression (V-PCC) 기술이 연구되고 있다. V-PCC 기술은 포인트 클라우드를 점유 맵 (Occupancy map), 기하 영상 (Geometry image), 속성 영상 (Attribute image) 등의 2차원 영상과 2차원 영상과 3차원 공간 사이의 관계를 알려주는 보조 정보를 사용해 압축한다. 복호화된 포인트 클라우드의 밀도를 높이거나 객체를 확대할 때, 일반적으로 3차원 연산을 사용하지만 연산 방식이 복잡하고 많은 시간을 소모하며 새로운 포인트의 정확한 생성 위치를 결정하기 힘들다는 한계가 존재한다. 이에 본 논문은 V-PCC의 포인트 클라우드가 투영된 영상에 2차원 보간 (Interpolation) 기술을 적용해 적은 연산으로 보다 정확한 추가 포인트 클라우드를 생성하는 방안을 제안한다.

Abstract

Recently, with the development of computer graphics technology, research on technology for expressing real objects as more realistic virtual graphics is being actively conducted. Point cloud is a technology that uses numerous points, including 2D spatial coordinates and color information, to represent 3D objects, and they require huge data storage and high-performance computing devices to provide various services. Video-based Point Cloud Compression (V-PCC) technology is currently being studied by the international standard organization MPEG, which is a projection based method that projects point cloud into 2D plane, and then compresses them using 2D video codecs. V-PCC technology compresses point cloud objects using 2D images such as Occupancy map, Geometry image, Attribute image, and other auxiliary information that includes the relationship between 2D plane and 3D space. When increasing the density of point cloud or expanding an object, 3D calculation is generally used, but there are limitations in that the calculation method is complicated, requires a lot of time, and it is difficult to determine the correct location of a new point. This paper proposes a method to generate additional points at more accurate locations with less computation by applying 2D interpolation to the image on which the point cloud is projected, in the V-PCC technology.

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

Copyright © 2021 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. 서 론

최근 컴퓨터 그래픽 기술의 발전으로 현실 객체를 더욱 사실적인 가상의 그래픽으로 표현하는 기술의 연구가 활발하게 진행되고 있다. 그중 포인트 클라우드 기술은 3차원 공간 좌표와 색 정보 등을 포함하는 수많은 점을 사용해 3차원 객체를 표현하는 기술이다. 이러한 포인트 클라우드 기술은 많은 수의 점을 사용할수록 객체의 정밀한 표현이 가능하지만, 표현의 정밀도가 높아질수록 보다 거대한 크기를 가지고 3차원 데이터를 처리하기 위해서 2차원 평면 데이터보다 더욱 복잡한 연산이 필요하다. 따라서 포인트 클라우드를 통한 다양한 서비스를 제공하기 위해서는 3차원 데이터의 특징을 고려한 높은 효율을 가지며 기존의 미디어 서비스와 호환성이 높은 압축 기술을 필요로 한다.

국제 표준기구 ISO/IEC JTC1/SC29/WG07 MPEG 3D Graphics Coding group (3DG)에서는 비디오 코덱을 사용해 포인트 클라우드를 압축하는 Video-based Point Cloud Compression (V-PCC) 기술의 표준화와 연구를 진행하고 있다^[1]. V-PCC 기술은 입력받은 포인트 클라우드를 패치라는 단위로 분리한 다음 2차원 투영 과정을 통해 압축을 진행한다. 2차원 투영 과정은 포인트 클라우드를 점유맵 (Occupancy map), 기하 영상 (Geometry images), 속성 영상 (Attribute images) 3가지의 2차원 정보와 3차원으로 복원하는데 필요한 보조 정보로 변환하고, 각각의 영상을 비디오 코덱을 사용하여 압축한다^{[2][3][4]}. V-PCC 기술은 기준에 널리 사용되는 비디오 코덱을 사용하기에 높은 압축 효율과 빠른 상용화가 가능하다는 장점을 가진다.

a) 경희대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kyung Hee University)

† Corresponding Author : 김규현(Kyuheon Kim)
E-mail: kyuheonkim@khu.ac.kr
Tel: +82-31-201-3810
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1553-936X>

※ 이 논문의 연구 결과 중 일부는 한국방송·미디어공학회 2021년 “하계 학술대회”에서 발표한 바 있음.

※ This research was supported by the This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC (Information Technology Research Center) support program (IITP-2021-0-02046) supervised by the IITP and the Institute of Information & communications Technology Planning & evaluation (IITP) (Grant number: 2020-0-00452).

· Manuscript received September 3, 2021; Revised October 21, 2021;
Accepted October 21, 2021.

포인트 클라우드를 사용하는 서비스의 경우 객체를 확대하거나 저밀도의 콘텐츠를 사용할 때 빈 공간이 많이 발생하기 때문에 고품질의 서비스를 제공하기 위해서는 포인트 클라우드의 밀도를 높이는 기술이 필요하다. 일반적으로 포인트 클라우드 처리를 위해 3차원 연산 기술을 사용하지만, 3차원 연산을 사용한 밀도 상승 방법은 연산 방식이 복잡하고 많은 시간을 소모하며, 새로운 포인트의 정확한 생성 위치를 결정하기 힘들다는 한계가 존재한다. 또한 V-PCC 기술은 투영 과정을 통해 포인트 클라우드를 압축하기 때문에 투영 과정에서 Level of Detail (LoD)^[5] 기술에 의한 패치의 크기 변화 혹은 비디오 압축을 통해 발생하는 영상의 열화가 복호화기에서 재구성되는 포인트 클라우드에 영향을 주는 특징을 가진다. 따라서 본 논문은 V-PCC의 포인트 클라우드가 투영된 영상에 2차원 보간 (Interpolation) 기술을 적용해 적은 연산량으로 보다 정확한 추가 포인트 클라우드를 생성하는 방안을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 V-PCC 기술의 부호화, 복호화 과정에 대해 간단하게 설명하고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 2차원 보간 기술을 V-PCC 복호화 과정에 적용하는 방법에 관해 설명한다. 4장은 V-PCC 복호화 과정에서 2차원 보간 기술을 적용한 포인트 클라우드와 적용되지 않은 포인트 클라우드를 비교하여 실험 결과를 확인한다. 5장에서 제안한 기술을 기반으로 향후 연구 방향을 제시한다.

II. 배경 기술

본 논문에서는 V-PCC 기술의 복호화 과정에서 2차원 보간 기술을 적용해 재구성되는 포인트 클라우드의 밀도를 높이는 방법을 제안하고자 하며, 본 장에서는 제안 기술에서 사용되는 V-PCC 기술의 부/복호화 과정을 설명한다.

V-PCC 부호화기의 구조는 그림 1과 같으며 다수의 포인트 클라우드 프레임을 입력으로 받는 것이 가능하다. 패치 생성 (3D patch generation) 단계는 하나의 포인트 클라우드 객체를 여러개의 패치라는 단위로 나누는 과정이며, 모든 포인트의 법선 벡터를 계산하고 $+X$, $+Y$, $+Z$, $-X$, $-Y$, $-Z$ 축에 수직인 6개의 평면을 기준으로 비슷한 법선 벡터를 가지

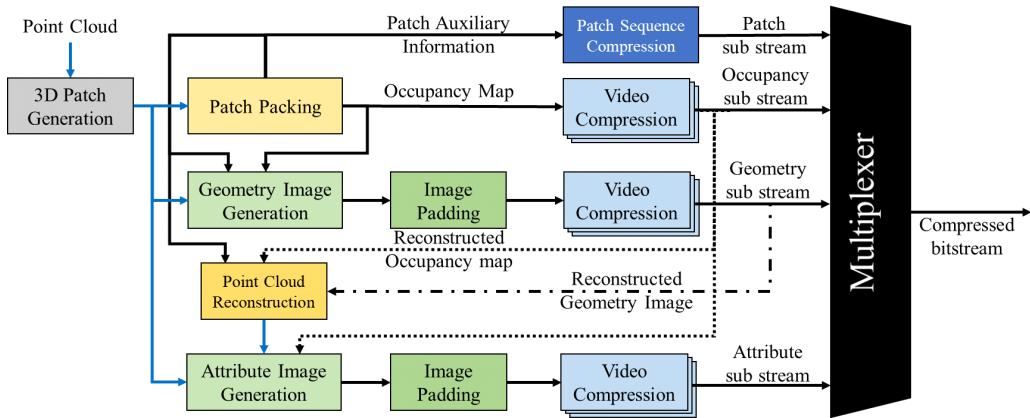


그림 1. V-PCC 부호화기 구조
Fig. 1. V-PCC encoder structure

는 서로 가까운 포인트들을 각각의 패치로 묶어준다. 패치 팩킹 (Patch packing) 단계는 각 패치의 포인트들을 기준평면에 투영하여 2차원 패치를 생성하고, 2차원 그리드에 서로 겹치지 않게 배치한다. 2차원 패치의 배치 정보는 점유맵으로 저장되며, 점유맵은 부호화 과정에서 설정하는 점유 정밀도 (Occupancy precision) 크기에 따라 2차원 그리드 위치 여러 개를 점유맵의 픽셀 1개로 표현하여 보다 작은 해상도의 점유맵을 사용하는 것이 가능하고, 비디오 코덱을 사용해 무손실 압축을 진행한다. 기하 영상 생성 (Geometry image generation) 단계는 각 패치의 기준 평면과 포인트 사이의 거리 값을 점유맵 기반의 YUV 영상 Y값에 저장하는 회색조 (grayscale) 영상을 생성한다. 속성 영상 생성 (Attribute image generation) 단계도 점유맵 기반의 영상으로 각 포인트의 색, 반사도 등 속성값을 저장하는 영상이 생성되며, 복호화기

에서 복원되는 포인트 클라우드의 기하 정보 변화로 인한 왜곡 현상을 최소화하기 위해 복호화된 점유 맵과 기하 영상을 사용해 재구성된 포인트 클라우드에 속성 정보를 전달한 후 속성 정보를 가져온다. 패딩 (Image padding) 단계는 기하 영상과 속성 영상의 패치 경계에서 비디오 부호화기의 효율을 높이기 위해 패치의 정보와 비슷한 값으로 주변의 비어있는 공간을 채워주는 과정으로 패딩이 적용된 기하 영상과 속성 영상은 비디오 코덱을 통해 각각 압축을 진행한다. 패치 보조 정보는 2차원 패치와 3차원 공간 사이의 상관관계, 패치의 순서, 각 패치의 기준 평면 등과 같은 3차원으로 복원하기 위해 필요한 나머지 정보를 포함하며, 엔트로피 압축을 사용해 무손실 압축을 진행한다. 마지막으로 압축된 패치 보조 정보, 점유맵, 기하 영상, 속성 영상 정보와 복호화 과정에서 필요한 시퀀스 정보를 하나의 압축 비트스트림으로 묶어

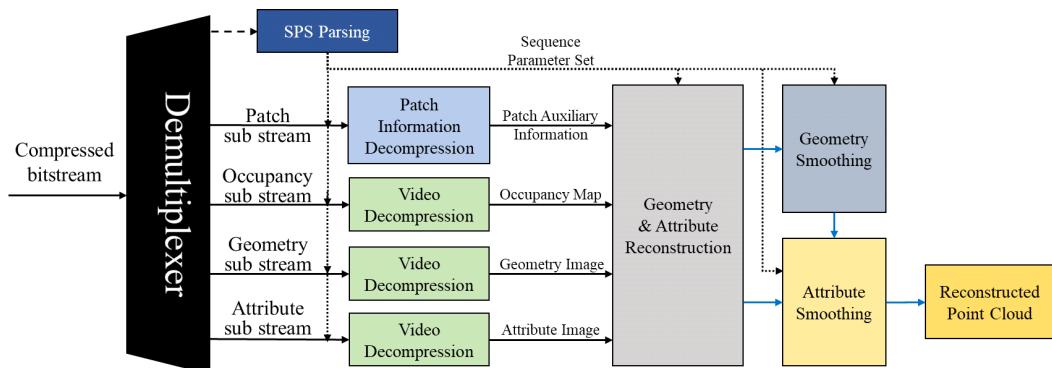


그림 2. V-PCC 복호화기 구조
Fig. 2. V-PCC decoder structure

주는 단계를 통해 V-PCC 부호화 과정이 마무리된다.

V-PCC 복호화기의 구조는 그림 2와 같으며 하나의 압축 비트스트림으로부터 시퀀스 정보, 패치 보조 정보 그리고 각 영상 정보를 분리하고, Sequence Parameter Set (SPS) parsing 단계를 통해 복호화기의 각 과정에서 필요한 정보들을 가져오는 것으로 시작된다. SPS 정보로부터 복호화 과정에 필요한 정보를 알아낸 다음 비디오 코덱을 사용해 점유맵, 기하 영상, 속성 영상을 복호화하고 엔트로피 코딩을 적용해 패치 보조 정보를 복호화한다. 포인트 복원 (Reconstruction) 단계는 패치 보조 정보와 점유맵을 사용해 2차원 그리드의 포인트 점유 정보와 3차원 기준 평면을 생성하고, 점유가 확인된 그리드의 2차원 위치 정보와 기하 영상의 Y 정보 그리고 패치 보조 정보를 사용해 3차원 공간에 포인트를 생성한 다음 속성 영상을 사용해서 속성값을 가져온다. 복원된 포인트 클라우드의 각 패치 경계에서 발생하는 불연속점을 수정하기 위해 주변 포인트를 참고하여 포인트의 위치 정보를 수정하는 기하 스무딩 (Geometry smoothing) 단계와 속성 정보를 수정하는 속성 스무딩 (Attribute smoothing) 단계를 진행하는 것으로 V-PCC 복호화 과정이 마무리된다.

LoD 기술은 V-PCC 부호화 과정의 패치 팩킹 단계에서 투영되는 패치의 크기 조절을 통해 복호화 과정에서 생성되는 포인트 클라우드의 밀도를 조절하는 것이 가능하다. 패치 팩킹 단계에서 LoD 기술이 적용되지 않는 경우 그림 3의 상단과 같이 기존의 패치가 2차원 그리드에 저장되며, LoD 기술의 X축, Y축 값을 2로 설정(LoD2)한 경우 그림 3의 하단과 같이 패치 정보의 소실이 발생한다. 패치 정보의 소실로 인해 점유맵, 기하 영상, 속성 영상이 그림 3의 하단과 같이 수정되고, 소실된 픽셀과 비례하여 V-PCC 복호화 과정에서 밀도가 낮아진 포인트 클라우드가 생성된다. LoD 기술을 적용하는 것으로 네트워크 환경이 제한되거나 성능이 낮은 단말에 저밀도의 포인트 클라우드 제공이 가능하다. 이러한 방식으로 낮은 밀도의 콘텐츠를 제공하는 경우 포인트 클라우드의 밀도가 충분하지 않거나 포인트 클라우드 객체를 확대가 필요하다면 밀도가 높은 콘텐츠를 다시 반거나 3차원 연산을 사용한 포인트 클라우드의 밀도 상승 과정이 필요하다. 그러나 일반적으로 사용하는 3차원 연산을 사용한 밀도 상승은 연산 과정이 복잡하고 정확한

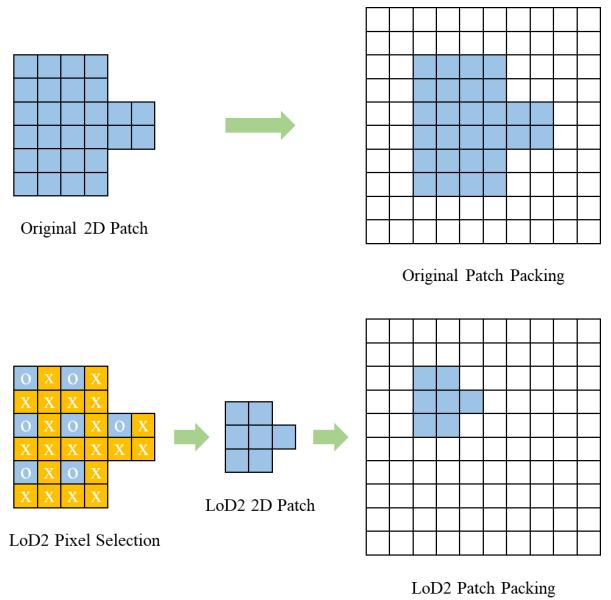


그림 3. 기존의 패치 팩킹 (상단), LoD2 적용 패치 팩킹 (하단)
 Fig. 3. Process of patch packing without LoD (top) and patch packing with LoD2 (bottom)

포인트 생성 위치를 결정하기 힘들다는 한계가 존재한다. 이에 본 논문은 V-PCC 기술의 특징을 이용하여 2차원 보간 기술을 사용한 추가 포인트 생성 방안을 제안한다.

III. V-PCC 2차원 보간 방안

본 논문에서 제안하는 2차원 보간 기술이 적용된 V-PCC 복호화기의 구조는 그림 4와 같다. 기본적인 과정은 앞장에서 설명한 V-PCC 복호화기와 같지만, 2차원 영상 보간 단계를 통해 새로운 영상을 생성하고, 생성된 영상을 추가 포인트 클라우드 생성 단계에서 사용한다. 2차원 영상 보간 단계는 기하 영상과 속성 영상에만 적용하여 보간 기하 영상(Interpolated geometry image)과 보간 속성 영상(Interpolated attribute image)을 생성한다. 추가 포인트 클라우드 생성 단계는 V-PCC 복호화기의 포인트 클라우드 생성 방법을 응용한 알고리즘을 사용하기 때문에 복호화기의 점유맵, 패치 보조 정보와 보간 기하 영상, 보간 속성 영상을 사용해 포인트 클라우드를 생성한다.

기하 영상과 속성 영상의 2차원 보간 단계는 그림 5와

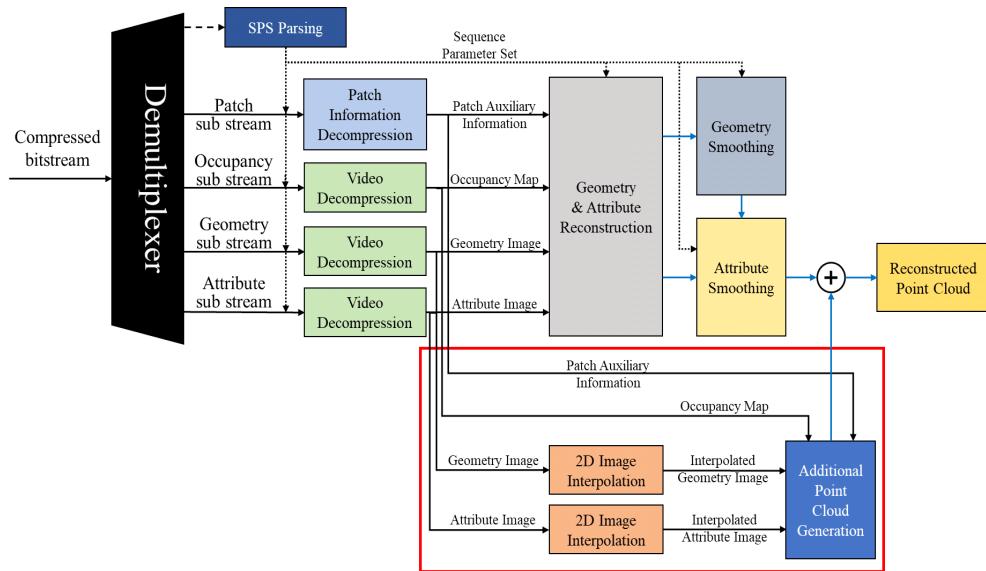


그림 4. 2차원 보간 방법이 적용된 V-PCC 복호화기 구조
Fig. 4. V-PCC decoder structure with 2D interpolation method

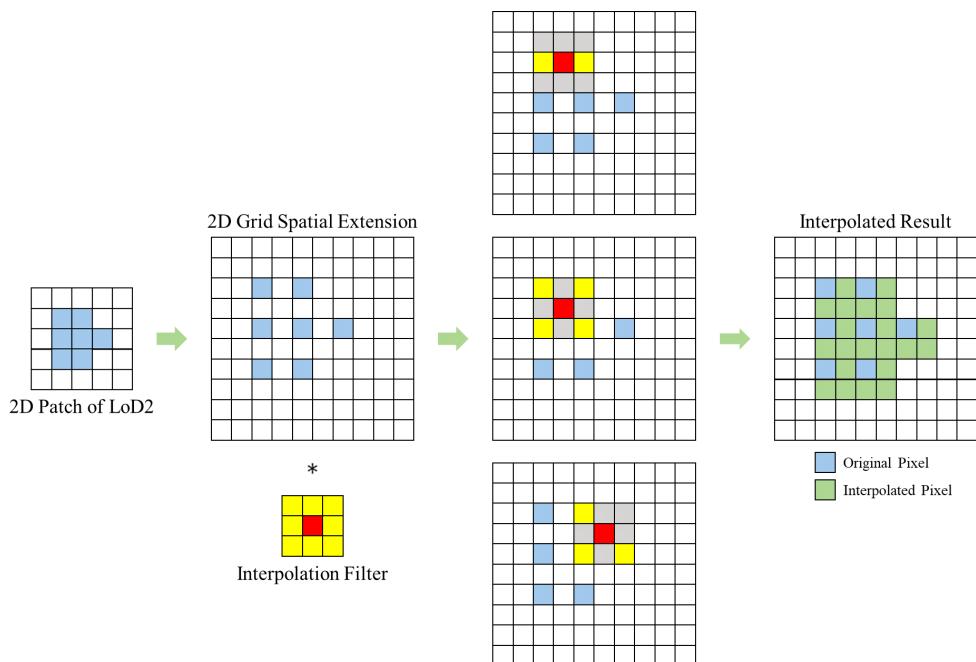


그림 5. 너비와 높이를 2배로 확장하는 2차원 픽셀 보간 과정의 예시
Fig. 5. Example of 2D pixel interpolation process that doubles width and height

같은 방식으로 진행된다. 2D 그리드 공간을 확장한 다음 확장된 공간에 맞춰 기존 패치의 픽셀 정보를 배치하고, 확장된 공간의 크기에 맞는 크기의 보간 필터를 사용해 2차원

보간 과정을 진행하며, 그림 5는 2차원 공간을 가로와 세로로 2배씩 확장한 2차원 보간 과정 예시이다. 2차원 보간 과정에서 가로, 세로를 N배씩 확장할 때 보간 픽셀이 생성될

위치에서 N-1 거리의 범위를 검색하는 보간 필터를 사용하며, 그림 5의 예시는 2배씩 확장하기 때문에 보간 픽셀이 생성될 위치를 붉은색으로 표시한 필터에서 1픽셀 거리의 정보들을 사용한다.

보간 필터는 원본 패치 공간으로부터 정보가 전달된 주변 픽셀들의 값을 사용하며, 그림 5의 보간 단계에서 회색으로 표시된 위치는 전달된 정보가 없기 때문에 계산에 사용되지 않는다. 노란색으로 표시된 정보가 있는 공간의 픽셀 정보를 모두 합산한 다음 계산에 사용된 노란색 픽셀 개수만큼 나누는 방식의 평균값 계산을 식 (1)과 같이 계산하여 초록색의 보간 픽셀 정보를 생성한다.

$$R_{value} = \frac{Y1_{value} + Y2_{value} + \dots + Yn_{value}}{\text{Number of Yellow Pixels}} \quad (1)$$

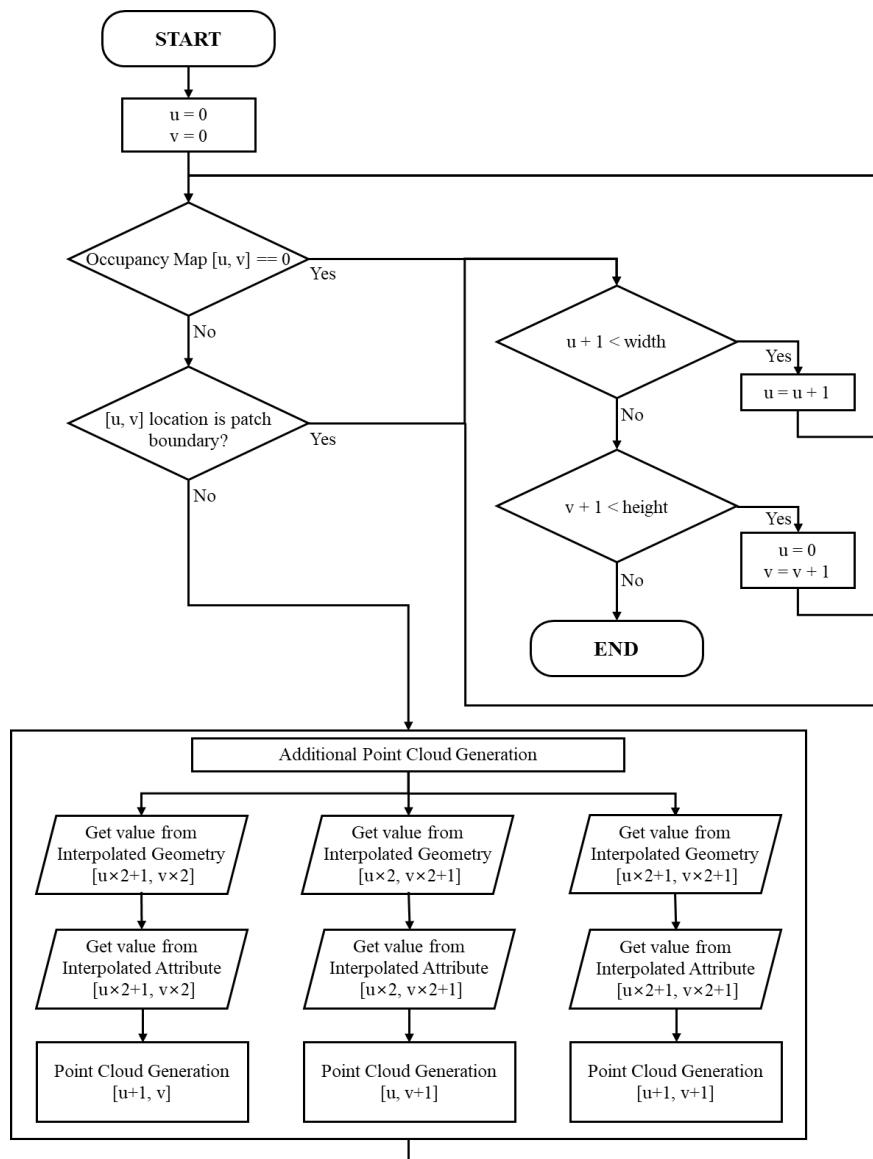


그림 6. 추가 포인트 생성 단계의 흐름도
 Fig. 6. Flow chart of additional point cloud generation process

추가 포인트 클라우드 생성 단계는 그림 6의 흐름도와 같이 진행된다. 기존의 V-PCC 복호화기와 동일하게 점유 맵 확인과 패치 정보를 확인하기 때문에 원본 영상의 해상도에 맞춰 $[u, v]$ 탐색을 진행한다. 각 패치의 바운더리는 복호화기의 스무딩 과정으로 인해 2차원 영상을 사용해 정확한 포인트 클라우드 생성이 불가능하기 때문에 추가 포인트 클라우드 생성 단계를 진행하지 않는다. 점유 여부와 바운더리 여부를 확인한 위치에서 보간 기하 영상과 보간 속성 영상을 사용한 추가 포인트 클라우드 생성 단계를 그림 6의 흐름도와 같이 진행한다.

2차원 영상의 가로, 세로를 각각 a 라는 상수 배 확장하는 경우 추가 생성 포인트 클라우드의 2차원 위치는 LoD 값이 k 인 경우 가로, 세로 위치로 k/a 만큼 이동하는 $[u + (k/a), v], [u, v + (k/a)], [u + (k/a), v + (k/a)]$ 위치에 생성되며, LoD 값 $k=2$, 2차원 영상의 확장 배수 $a=2$ 로 설정된 실험의 경우 $k/a=1$ 이므로, $[u, v]$ 위치에서 $[u+1, v], [u, v+1], [u+1, v+1]$ 3개의 포인트를 생성하고, 각 포인트의 생성에는 보간 기술을 통해 생성된 기하 영상과 속성 영상의 $[u \times 2 + 1, v \times 2], [u \times 2, v \times 2 + 1], [u \times 2 + 1, v \times 2 + 1]$ 위치의 정보를 사용한다.

$$x_{P_n} = s_0 + u - u_0 \quad (2)$$

$$y_{P_n} = r_0 + v - v_0 \quad (3)$$

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

V-PCC 복호화기의 포인트 생성 과정은 식 (2)-(4)을 통해 n 번째 포인트의 3차원 위치를 계산하며, 추가 포인트 클라우드 생성 단계도 식 (2)-(4)을 응용한 공식을 사용한다. 식 (2)-(4)의 $x_{P_n}, y_{P_n}, z_{P_n}$ 은 n 번째 포인트의 3차원 위치 좌표를 의미하며, s_0, r_0, d_0 는 포인트가 속한 패치의 3차원 좌표의 최솟값을 의미하고 이 정보는 패치 보조 정보로부터 가져온다. 식 (2)-(3)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 $Y_{Geo}[u, v]$ 로 부터 알아낸 값을 투영 평면과 수직 거리로 사용하여 계산된 3차원 위치에 포인트를 생성한다.

$$x_{P_n[k/a, 0]} = s_0 + u - u_0 + k/a \quad (5)$$

$$y_{P_n[k/a, 0]} = r_0 + v - v_0 \quad (6)$$

$$z_{P_n[k/a, 0]} = d_0 + Y_{IG}[u \times k + k/a, v \times k] \quad (7)$$

$$x_{P_n[0, k/a]} = s_0 + u - u_0 \quad (8)$$

$$y_{P_n[0, k/a]} = r_0 + v - v_0 + k/a \quad (9)$$

$$z_{P_n[0, k/a]} = d_0 + Y_{IG}[u \times k, v \times k + k/a] \quad (10)$$

$$x_{P_n[k/a, k/a]} = s_0 + u - u_0 + k/a \quad (11)$$

$$y_{P_n[k/a, k/a]} = r_0 + v - v_0 + k/a \quad (12)$$

$$z_{P_n[k/a, k/a]} = d_0 + Y_{IG}[u \times k + k/a, v \times k + k/a] \quad (13)$$

추가 포인트 클라우드 생성 단계는 n 번째 포인트 점유맵 확인까지는 V-PCC 복호화기와 동일하게 진행되며 패치의 바운더리가 아닌 경우에만 식 (5)-(13)을 통해 포인트 클라우드를 생성한다. 식 (5)-(13)의 $P_n[k/a, 0], P_n[0, k/a], P_n[k/a, k/a]$ 는 각각 n 번째 포인트 P_n 의 2차원 좌표 $+ [k/a, 0], + [0, k/a], + [k/a, k/a]$ 위치의 포인트 클라우드를 의미한다. 식 (7), (10), (13)의 $Y_{IG}[x, y]$ 는 2차원 보간을 통해 생성된 기하 영상의 $[x, y]$ 위치의 밝기를 가져오는 식이며, $[u + k/a, v]$ 위치에서 식 (5)-(7), $[u, v + k/a]$ 위치에서 식 (8)-(10), $[u + k/a, v + k/a]$ 위치에서 식 (11)-(13)을 사용해 3차원 포인트를 생성하고, 보간 기술이 적용된 속성 영상의 $[u \times k + k/a, v \times k], [u \times k, v \times k + k/a], [u \times k + k/a, v \times k + k/a]$ 위치로부터 각 포인트의 속성 정보를 전달하는 것으로 추가 포인트 클라우드를 생성한다.

IV. 실험 결과

본 장에서는 III 장에서 제안한 2차원 보간 기술을 사용해 밀도를 높이는 V-PCC 복호화 과정을 실제로 구현하여 검

증한 결과를 확인한다. 설계한 시스템은 통합개발환경 (IDE) Visual Studio 2017 C++을 활용해 구현하였으며, MPEG에서 제공하는 V-PCC Test Model Category 2 v14.0 (TMC2v14.0)을 사용했다. 실험에는 포인트 클라우드 콘텐츠는 8i의 “loot_vox10”, “redandblack_vox10”, “soldier_vox10”, “longdress_vox10” 그리고 Technicolor의 “queen”을 각각 32프레임씩 사용했다.

본 논문에서 제안하는 기술은 V-PCC 압축에 포함되지 않은 추가 포인트 클라우드를 생성하는 것으로 생성된 포인트 클라우드의 PSNR 측정을 위해 실험 결과의 밀도를 원본 포인트 클라우드와 비슷하게 설정할 필요가 있다. 따라서 V-PCC 부호화 과정에서 LoD2로 설정된 밀도가 낮은 포인트 클라우드 부호화 과정을 진행하고, 입력으로 사용된 원본 포인트 클라우드와 PSNR 비교 실험 결과를 대조군으로 사용했으며, 실험군으로는 LoD2의 V-PCC 압축 비트스트림을 3장에서 제안한 2차원 보간 기술이 적용된 복호화기에 가로, 세로 해상도를 2배 확장하여 입력 포인트 클라우드와 근사한 밀도의 추가 포인트 클라우드를 생성하고 원본 포인트 클라우드를 사용하여 PSNR 비교 실험을 진행했다.

V-PCC 압축 파일은 기하 영상과 속성 영상의 비디오 압축 과정에서 표 1과 같이 MPEG V-PCC의 Common Test Condition (CTC)^[6] 기반의 Radom Access (RA) 압축을 진행했으며, 점유 정밀도의 경우 LoD 값이 2로 설정된 점유 맵의 1개 픽셀과 CTC에서 점유맵 1개 픽셀이 3차원 공간에서 같은 범위의 점유를 표현하기 위해 r1~4는 점유 정밀도를 2, r5는 점유 정밀도를 1로 설정했다.

표 1. 각 실험에 사용된 점유 정밀도와 양자화 계수

Table 1. Occupancy precision and quantization parameters of each rate used in the 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

표 2는 2차원 보간 기술에 의한 포인트 클라우드의 변화를 측정하기 위해 LoD2 포인트 클라우드를 대조군으로 사용하고, 실험군은 LoD2 포인트 클라우드 압축 비트스트림을 III장에서 제안한 복호화기를 통해 생성된 포인트 클라우드를 실험군으로 사용한 BDBR^[7] 결과이며, LoD2 포인트 클라우드 생성 단계는 대조군과 실험군에서 동일하게 진행되기 때문에 2차원 보간에 의해 추가로 생성된 포인트에 의한 차이를 확인할 수 있다. 표 2의 왼쪽은 각각 기하영상과 속성 영상의 압축 용량에 따른 결과를 비교한 것이다, 오른쪽은 전체 압축 비트스트림을 기준으로 비교한 것이다. Geometry에서 D1은 Point-to-point PSNR로 원본 포인트 클라우드와 비교 대상인 포인트 클라우드의 모든 포인트에서 서로 가장 가까운 포인트의 3차원 공간 거리를 사용해 계산하는 포인트 클라우드 객체의 포인트 단위 유사도를 의미하며, D2는 Point-to-plane PSNR로 가장 가까운 포인트의 법선 벡터 방향 거리를 사용해 계산하는 포인트 클라우드 객체 표면 유사도의 비교를 의미한다^[8]. Attribute에서 Luma는 밝기, Cb과 Cr은 가까운 포인트의 색정보 비교를 의미한다. 기하 압축 용량을 사용한 비교는 D1에서 평균 41.4% 이득, D2는 40.1% 손해가 있었으며,

표 2. LoD2 포인트 클라우드를 기준으로 2차원 보간이 적용된 LoD2 포인트 클라우드와의 BDBR 결과

Table 2. BDBR results for 2D interpolated LoD2 point cloud compared on a LoD2 anchor

Sequence	Geom. BD-GeomRate [%]		End to End BD-AttRate [%]			Geom. BD-TotalRate [%]		End to End BD-TotalRate [%]		
	D1	D2	Luma	Cb	Cr	D1	D2	Luma	Cb	Cr
loot	-41.2	38.4	59.4	10.1	10.4	-52.8	58.1	23.9	6.1	6.3
red	-37.4	35.2	48.5	6.6	64.7	-50.7	56.5	26.1	4.5	33.1
soldier	-26.4	45.1	82.6	5.0	4.5	-40.1	80.3	28.6	2.8	2.7
queen	-63.1	41.6	85.1	55.8	89.3	-77.8	79.6	39.8	29.8	41.7
long	-38.8	40.4	114.5	28.2	61.6	-64.5	101.2	55.3	19.8	37.6
Average	-41.4	40.1	78.0	21.2	46.1	-57.2	75.2	34.8	12.6	24.3

전체 압축 용량을 사용한 비교는 1에서 57.2% 이득, D2에서 75.2% 손해를 확인했다. 색상 정보는 전체적으로 손해가 보이며 전체적으로 밝기 정보가 가장 크게 낮아지는 것으로 확인된다.

그림 7과 그림 8은 LoD2 포인트 클라우드와 2차원 보간이 적용된 LoD2 포인트 클라우드의 비트레이트 대비 D1과 D2의 Rate Distortion curve (RD-curve) 그래프이다. 2차원 보간이 적용된 포인트 클라우드의 경우 그림 7의 결과와

같이 D1 PSNR이 증가하는 것을 확인할 수 있고, D2 PSNR이 감소하는 것을 그림 8을 통해 확인할 수 있다. 그림 8의 2차원 보간이 적용된 포인트 클라우드 PSNR이 오른쪽에서 증가가 높은 결과와 그림 7에서도 일부 비슷한 모습이 보이기 때문에 본 논문의 2차원 보간 방법이 점유 정밀도의 영향을 크게 받는 것으로 예상된다.

그림 9 상단의 포인트 클라우드는 V-PCC 압축과정에서 LoD 값이 2로 설정된 LoD2 복호화 결과이며, 하단의 포인

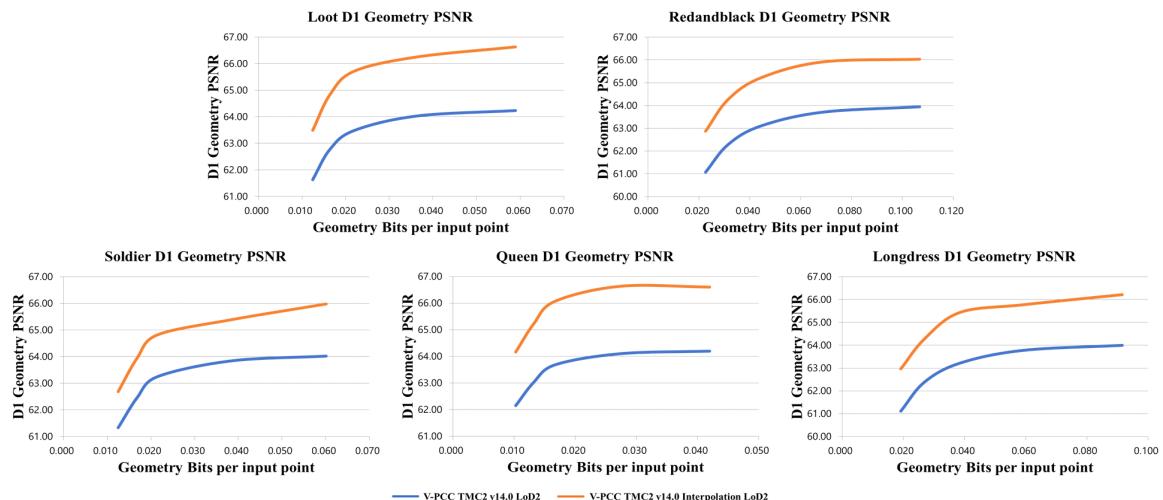


그림 7. LoD2 포인트 클라우드와 2차원 보간이 적용된 LoD2 포인트 클라우드의 D1 Geometry PSNR RD 그래프
Fig. 7. D1 Geometry PSNR RD graphs of LoD2 point cloud and 2D interpolated LoD2 point cloud

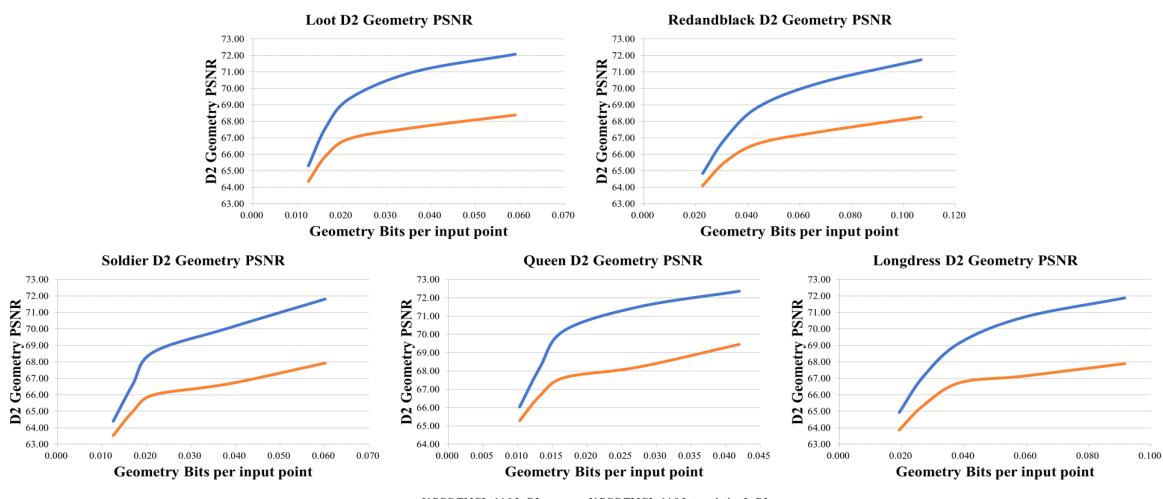


그림 8. LoD2 포인트 클라우드와 2차원 보간이 적용된 LoD2 포인트 클라우드의 D2 Geometry PSNR RD 그래프
Fig. 8. D2 Geometry PSNR RD graphs of LoD2 point cloud and 2D interpolated LoD2 point cloud



그림 9. LoD2 포인트 클라우드 (상단), 2차원 보간 방법이 적용된 포인트 클라우드 (하단)
Fig. 9. LoD2 point cloud (top) and 2D interpolated LoD2 point cloud (bottom)

트 클라우드는 동일한 LoD2 압축 파일에 본 논문에서 제안하는 2차원 보간 기술을 적용한 결과이다. 각 패치의 가장 자리에 위치하는 바운더리 포인트는 패치 사이 경계에서 발생하는 불연속점을 줄이기 위해 주변 포인트 정보를 사용하여 위치 정보와 색상 정보를 수정하는 스무딩 과정을 진행한다. 바운더리 포인트는 스무딩 과정으로 인해 2차원 영상의 정보와 다른 위치에 포인트들이 존재하기 때문에

점유맵을 사용한 바운더리 확인 단계를 통해 2차원 보간을 포인트 생성을 진행하지 않았기 때문에 그림 9 하단의 포인트 클라우드의 패치 경계에서는 포인트 클라우드 밀도가 낮은 것을 확인할 수 있으며, 나머지 위치에서는 2차원 보간 기술을 통해 기존의 부호화 과정에 포함되지 않은 추가 포인트 클라우드가 생성되어 3차원 포인트 클라우드의 밀도를 높인 결과를 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문은 포인트 클라우드의 2차원 투영을 사용해 압축하는 V-PCC 기술의 특성을 응용하여 2차원 보간 방법을 기하 영상과 속성 영상에 적용하고 V-PCC의 점유맵과 패치 보조 정보를 사용하는 것으로 포인트 클라우드의 밀도를 증가시키는 방법을 제안하였다. V-PCC를 사용하는 포인트 클라우드의 서비스에서 원본보다 높은 밀도의 포인트 클라우드가 필요한 경우 복잡하고 많은 연산이 요구하는 3차원 연산을 적용하지 않고, 보다 적은 계산량을 가지는 2차원 연산을 사용해 포인트 클라우드의 밀도를 높일 수 있으며, 향후 추가적인 연구를 통해 단말에서 본 논문의 기술과 동일한 방법으로 추가 포인트 클라우드를 생성하여 원본보다 높은 포인트 클라우드 사용이 가능할 것으로 기대된다.

본 논문의 실험은 기하 영상과 속성 영상에 2차원 보간을 적용한 것으로 각 패치 가장자리에서 생성된 바운더리 포인트는 V-PCC 기술의 스무딩 단계로 인해 2차원 영상의 정보와 3차원 포인트의 정보가 다르기 때문에 2차원 영상 보간 기술만으로 바운더리 포인트에 대한 정보를 생성하기 힘들다는 한계를 가지고 있으며, 실험 결과를 통해 포인트 클라우드의 D1 PSNR 증가와 D2 PSNR 감소를 통해 원본 포인트 클라우드와 유사한 포인트의 생성은 가능하지만,

포인트 클라우드 객체 표면의 유사성은 낮아진다는 한계가 존재하기에 2차원 보간 연산 방식 혹은 포인트 생성에 대한 알고리즘을 개선하는 등의 후속 연구가 필요할 것으로 보인다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 MPEG, N 16763, Call for Proposals for Point Cloud Compression (V2), 3D Graphics, Apr. 2017.
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG7 MPEG 3DG, MPEG2021/N00095, V-PCC Test Model v14, Online, April, 2021.
- [3] ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG7 MPEG 3DG, MPEG2021/N00100, V-PCC Codec Description, Online, April, 2021.
- [4] S. Schwarz et al., "Emerging MPEG Standards for Point Cloud Compression," in IEEE Journal on Emerging and Selected Topics in Circuits and Systems, vol. 9, no. 1, pp. 133-148, March 2019, doi: 10.1109/JETC.2018.2885981.
- [5] Jihyeon 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).
- [6] ISO/IEC JTC1/SC29/WG7 MPEG 3DG, MPEG2020/N00038, Comm on Test Conditions for V3C and V-PCC, Online, October, 2020.
- [7] G. Bjontegaard, "Calculation of average PSNR differences between RD-curves," Document VCEG-M33, Austin, Texas, USA, Apr. 2001.
- [8] D. Tian, H. Ochiaimizu, C. Feng, R. Cohen, and A. Vetro, "Geometric distortion metrics for point cloud compression," IEEE Int. Conf. Image Process. (ICIP), pp. 3460-3464, 2017.

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

저자소개



김준식

- 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



김규현

- 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