

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제24권 제5호, 2019년 9월 (JBE Vol. 24, No. 5, September 2019)

<https://doi.org/10.5909/JBE.2019.24.5.743>

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

실감형 미디어를 위한 3DoF+ 360 비디오 압축 시스템 구현

정 중 범^{a)}, 이 순 빈^{b)}, 장 동 민^{a)}, 이 상 순^{b)}, 류 은 석^{a)*}

Implementing 3DoF+ 360 Video Compression System for Immersive Media

Jong-Beom Jeong^{a)}, Soonbin Lee^{b)}, Dongmin Jang^{a)}, Sangsoon Lee^{b)}, and Eun-Seok Ryu^{a)*}

요 약

사용자 움직임 적응적 360 비디오 스트리밍을 지원하는 three degrees of freedom plus (3DoF+), 6DoF를 위한 시스템은 여러 위치에서 촬영된 다수의 고화질 360 비디오 전송을 요구한다. 이를 위해 본 논문에서는 사용자 시점에 대응하는 고화질 360 비디오 제공을 위해 3DoF+ 360 비디오 중복성 제거 기법을 적용하고 잔여 비디오를 하나의 영상으로 병합하여 압축 후 전송하는 시스템을 구현한다. 3DoF+ 360 비디오 간 중복성 제거를 위한 3D warping을 기반으로 하는 뷰 간 중복성 제거 기술과 비디오 복원에 필요한 타일들만 추출 및 병합해주는 잔여 뷰 병합 기술에 대한 구현 내용을 설명한다. 제안된 시스템을 기반으로 3DoF+ 360 비디오 전송을 수행하면, 기존 high-efficiency video coding (HEVC)을 사용하여 전송했을 때 대비 최대 20.14%의 BD-rate 감소가 가능함을 확인하였다.

Abstract

System for three degrees of freedom plus (3DoF+) and 6DoF requires multi-view high resolution 360 video transmission to provide user viewport adaptive 360 video streaming. In this paper, we implement 3DoF+ 360 video compression system which removes the redundancy between multi-view videos and merges the residual into one video to provide high quality 360 video corresponding to an user's head movement efficiently. Implementations about 3D warping based redundancy removal method between 3DoF+ 360 videos and residual extraction and merger are explained in this paper. With the proposed system, 20.14% of BD-rate reduction in maximum is shown compared to traditional high-efficiency video coding (HEVC) based system.

Keyword : 360 Video, 3DoF+, HEVC, View Synthesis, multi-view

a) 성균관대학교 컴퓨터교육과(Sungkyunkwan University (SKKU), Department of Computer Education)

b) 가천대학교 컴퓨터공학과(Gachon University, Department of Computer Engineering)

* Corresponding Author : 류은석 (Eun-Seok Ryu)

E-mail: esryu@skku.edu

Tel: +82-2-760-0677

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4894-6105>

※ 이 논문의 연구 결과 중 일부는 한국방송·미디어공학회 “2019년 하계 학술대회”에서 발표한 바 있음.

※ 본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 대학ICT연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음(IITP-2019-2017-0-01630).

이 논문은 또한 2017년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.2017-0-00307, 고품질 VR 콘텐츠 실시간 서비스를 위한 분할영상 스트리밍 기술 개발).

※ This research was supported by the MSIT(Ministry of Science and ICT), Korea, under the ITRC(Information Technology Research Center) support program(IITP-2019-2017-0-01630) supervised by the IITP(Institute for Information & communications Technology Promotion).

※ This work was also supported by Institute of Information & communications Technology Planning & Evaluation (IITP) grant funded by the Korea government(MSIT) (No.2017-0-00307, Development of Tiled Streaming Technology for High Quality VR Contents RealTime Service).

· Manuscript received July 26, 2019; Revised August 20, 2019; Accepted August 29, 2019.

Copyright © 2016 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.”

1. 서론

최근 virtual reality (VR) 시장이 급격히 증가하고 있다. 그에 따라 머리에 장착 가능한 영상 제공 장치인 head-mounted display (HMD) 와 몰입형 콘텐츠를 취득할 수 있는 360 카메라가 시장에 보급되고 있다. 따라서 몰입형 미디어를 제공하기 위하여 효율적인 360 비디오 스트리밍 기술이 요구되고 있다. 그러나 현재 고품질 가상 현실 비디오를 제공하기 위한 컴퓨터 연산능력과 대역폭은 한계가 존재한다. 예를 들어 가상 현실에서 사용자가 이질감을 느끼지 않을 정도의 몰입형 경험을 제공하려면 ultra high-definition (UHD) 이상의 초고화질 360 영상과 낮은 움직임 지연이 필요하다^[1]. 이를 위해 비대칭 코어 프로세싱 기반 타일 분할 및 할당 시스템^{[2][3][4]}, 모바일 장치를 위한 mmWave를 이용한 데이터 오프로딩^{[5][6]}, 타일 기반 motion-constrained tile set (MCTS)^{[7][8][9]} 등이 제한된 연산량과 대역폭을 사용하면서 사용자가 만족할 만한 품질의 영상을 제공하기 위해 제안되었다.

Moving picture experts group (MPEG) 은 몰입형 미디어

를 표준화하기 위해 MPEG-I 서브그룹을 설립하였고, 가상 현실 비디오 표준화 단계를 사용자의 자유도에 따라 3 degrees of freedom (DoF), 3DoF+, 그리고 6DoF로 분류하였고^[10], 2021년까지 표준화가 완료될 예정이다. 현재 상용화된 가상 현실 기술은 대부분 3DoF를 지원하는데, 이는 사용자에게 제한적인 몰입형 콘텐츠를 제공한다. 따라서 의자에 앉은 사용자의 움직임에 대응하는 영상을 제공하는 3DoF+의 필요성이 대두되었다. 사용자의 머리 움직임에 따른 가상 영상을 제공하기 위해 여러 개의 고품질 360 비디오들이 전송되어야 하는데, 다수의 360 영상을 down-sampling하여 압축하고 전송하여 복호화 후 up-sampling하여 비트레이트를 절감하는 연구가 제안되었다^[11].

일반적으로 영상 전송에는 표준화된 advanced video coding (AVC) 또는 high-efficiency video coding (HEVC) 압축기술을 사용하여 영상 압축 및 전송처리를 하고 있다. 해당 기술은 개별 영상에 대한 압축을 전체로 하며, 다수의 UHD급 영상을 전송하려면 막대한 양의 연산량과 대역폭이 요구되는데 이에 대응하는 시스템이 없다. 이를 해결하기 위해 MPEG-I는 3DoF+ 시스템에 대응하는 call for pro-

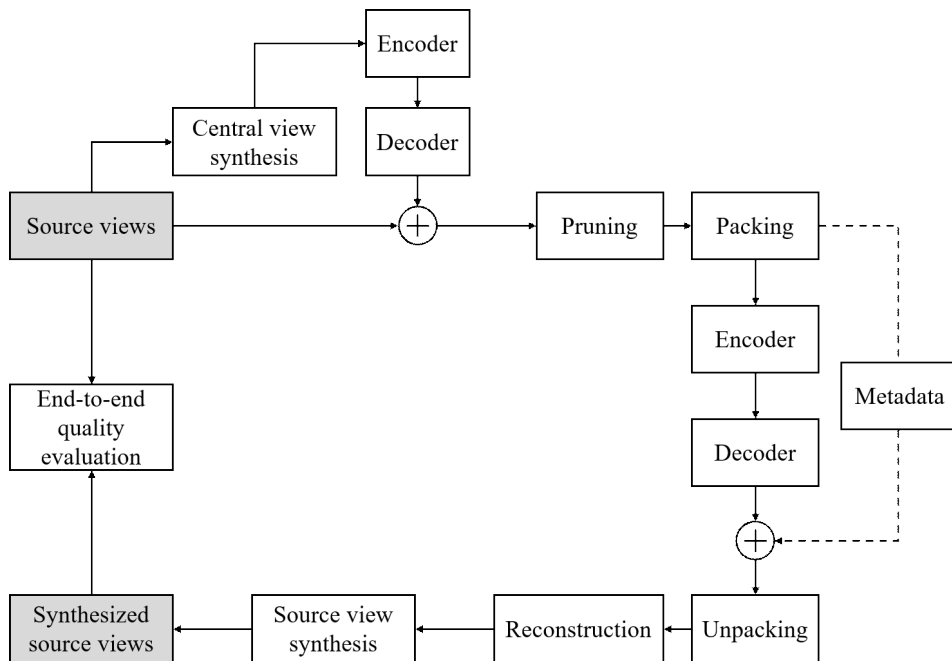


그림 1. 제안하는 3DoF+ 360 비디오 압축 시스템 구조
 Fig. 1. Conceptual diagram of the proposed 3DoF+ 360 video compression system

posals (CfP) 를 제안하였다^[12]. 요구되는 3DoF+ 시스템은 기존 HEVC를 사용하여 비디오를 압축 및 전송하되, 비트레이트를 절감하기 위한 pre · post processing을 허용하며 관련 메타데이터는 MPEG-I part 7에서 표준화가 진행될 예정이다^[13].

본 논문은 3DoF+ CfP에 대응하는 3DoF+ 360 비디오 영상 전송을 위한 시스템을 제안한다. 다수의 영상 간 중복성을 제거하는 프루닝 기술과 중복성이 제거된 영상들을 하나의 영상으로 병합하는 패킹 기술을 설명한다. 그림 1은 본 논문이 제시하는 프루닝과 패킹을 이용한 3DoF+ 360 비디오 압축 시스템을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 절에서는 관련 연구로 뷰 합성 기술과 다시점 비디오 코딩 기술, 표준화 동향을 소개한다. 3 절에서는 제안하는 프루닝과 패킹 기술에서의 이슈와 구현 내용을 설명한다. 4 절에서는 제안하는 시스템의 결과를 설명하고 마지막으로 5 절에서는 본 논문의 결론을 서술한다.

II. 관련 연구

1. View Synthesis

몰입형 미디어를 위해서는 사용자의 움직임에 대응하는 영상을 제공할 필요가 있다. 그러나 360 비디오를 취득할 수 있는 카메라의 개수와 위치는 제한되어 있다. 이를 극복하기 위해 3DoF+와 6DoF는 이미 취득된 영상을 기반으로 사용자의 뷰포트에 해당하는 가상 영상을 제공하는 기술을 포함하는데, 이를 뷰 합성이라 한다. 뷰 합성을 위해서는 텍스처와 깊이 지도가 필요하다. 텍스처는 카메라가 촬영한 물체의 색상 정보를 포함하고, 깊이 지도는 카메라로부터 물체까지의 거리에 대한 정보를 포함한다. 두 정보 이외에도 카메라 메타데이터 등 여러 정보가 뷰 합성 도구에 요구되기에, MPEG-I에서는 뷰 합성 도구 표준화를 위해 3DoF+에는 reference view synthesizer (RVS)^[14]를, 6DoF에는 versatile view synthesizer (VVS)^[15]를 참조 뷰 합성

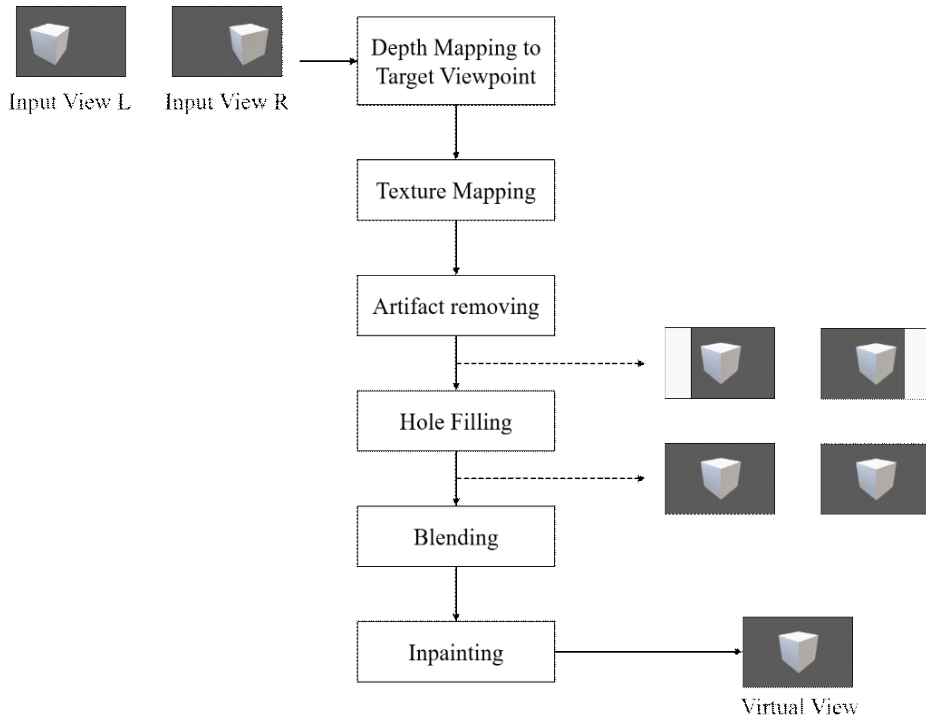


그림 2. RVS의 뷰 합성 구조도
 Fig. 2. Conceptual diagram of view synthesis conducted by RVS

도구로 채택하였다. 그림 2는 RVS의 뷰 합성 구조도를 나타낸다. RVS는 입력된 비디오들의 깊이 지도를 타겟 뷰포인트에 매핑시키고, 그것을 기반으로 텍스처를 매핑시킨다. 텍스처가 제대로 매핑되지 않은 부분은 입력 비디오에서 표현할 수 없는 영역이므로 이를 제거하고, 제거된 홀 영역을 채우는 작업을 실행한다. 이후 각 입력 비디오에서 도출된 결과 비디오들을 하나로 합치는 블렌딩 작업 후 몇몇 잡음이 포함된 영역을 처리하기 위해 인페인팅을 실행하면 최종 가상 뷰가 출력된다.

2. Multi-view HEVC

단일 시점 영상만을 제공하여 제한적인 자유도를 보장하는 기존 VR 서비스의 단점을 극복하기 위해 여러 시점에서 취득된 영상의 필요성이 대두되었다. 사용자가 몰입감을 느끼게 하기 위해 2.1절에서 언급된 바와 같이 여러 위치에서 동시에 취득된 영상들을 이용하여 가상 영상을 제공할 수 있다. 이를 위해 다시점 비디오 코딩 기술이 개발되었는데, MPEG의 경우 free viewpoint television (FTV)을 위한 3D 비디오 시스템^[16]을 제안하였다. 해당 시스템은 다시점

비디오 취득, 압축, 전송, 복호화 등의 내용을 포함한다. 다시점 비디오는 여러 영상들을 포함하기에, 이를 효율적으로 압축하기 위한 방법이 요구되었다. 이에 공간적·시간적 중복성 외에 뷰 간 중복성을 제거하는 multi-view HEVC (MV-HEVC)^{[17][18]}이 제안되었다. 그림 3은 MV-HEVC의 다시점 비디오 압축 구조를 나타낸다. 여러 뷰들 중 하나의 뷰를 참조 뷰로 설정하고 나머지 뷰들은 참조 뷰를 참조하여 압축되는 확장 뷰로 정의되어 다시점 비디오 압축이 이루어진다. 이렇듯 MV-HEVC는 다시점 영상을 압축할 때 사용될 수 있어 3DoF+ 시스템에 적용이 가능하나, 입력 영상의 개수가 늘어날 때 추가적인 시나리오 고려가 이루어져야 한다는 문제가 MPEG-I 그룹에 보고된 바 있다^[19].

3. 표준화 동향

본 논문은 몰입형 미디어를 위한 시스템을 제안하는데, 전술했듯 MPEG-I 그룹에서는 최근 표준화의 일환으로 다양한 연구들을 진행해왔다. technicolor에서는 2018년부터 3DoF+를 위한 복수 개의 영상을 전송할 때 기존 HEVC 코덱보다 더 좋은 결과를 내는 방법을 소개한 기고서들을

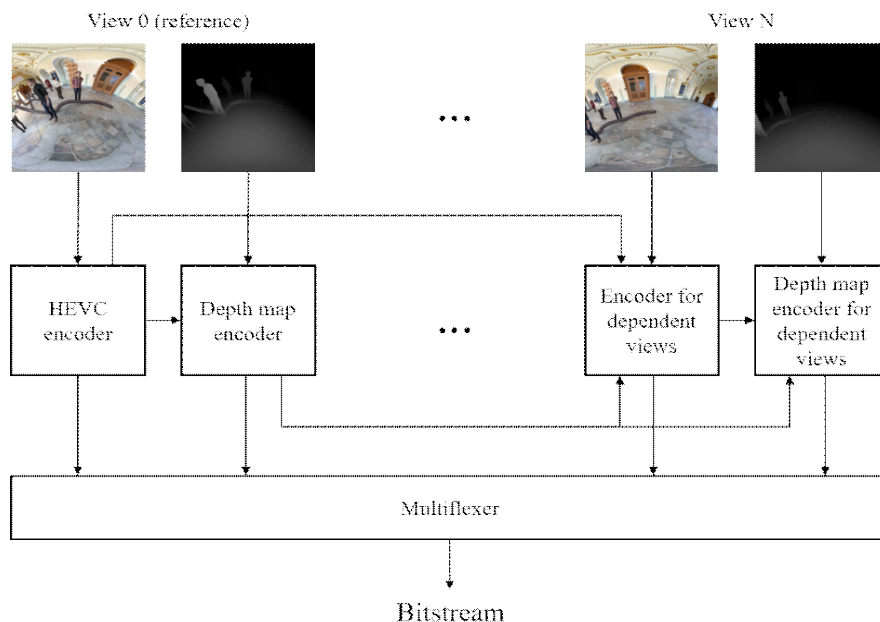


그림 3. MV-HEVC의 비디오 압축 구조도
Fig. 3. Structure of video compression conducted by MV-HEVC

제출하였다^{[20][21]}. 전송해야 할 모든 영상들에 대해 가장 많은 중복성을 가지고 있는 중앙 뷰를 생성하여 중앙 뷰와 다른 영상들 간 중복성을 제거하고 차분값만 모아 전송하는 구조를 제안하였고, 이는 3DoF+ 소프트웨어 플랫폼 설계에 영향을 주었다^[13]. 또한 3DoF+의 참조 뷰 합성 도구인 RVS의 속도가 느리다는 점이 지적되어 RVS 3.1 버전부터는 GPU 가속이 지원되도록 업데이트되었다^[14].

전술했듯 MPEG-I 그룹에서는 3DoF+ 시스템을 위한 CIP를 제안하였는데, 이에 대한 응답으로 총 5개의 기고서들이 제출되었다. 해당 기고서들은 각각 philips^[22], technicolor와 intel^[23], poznan university of technology(PUT)와 electronics and telecommunications research institute (ETRI)^[24], nokia^[25], 그리고 zhejiang university^[26]에 의해 제안되었고, 해당 기고서들의 내용을 수렴하여 test model for immersive video(TMIV)^[27]가 제안되었고 현재 개발 중에 있다.

III. 영상 위치 기반 3DoF+ 비디오 압축 시스템

본 논문은 3DoF+에 대응하는 영상 위치 기반 비디오 압

축 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템의 주요 모듈은 2가지로 나뉘어진다. 3.1 절에서는 와핑 기반 뷰 간 중복성 제거 기법에 대해 설명하고, 3.2 절에서는 영역 확장 기반 잔여 뷰 병합 기법에 대해 설명한다.

1. 와핑 기반 뷰 간 중복성 제거 기법

3DoF+에 대응하는 서비스를 제공하기 위해서는 여러 시점에서 취득된 영상 전송이 요구되는데, 2.2 절에서 살펴본 바와 같이 뷰 간 중복성을 제거하면 압축을 좀 더 효율적으로 할 수 있다. MV-HEVC를 기반으로 한 시점 간 중복성 제거 기법이 제안된 바 있고^{[28][29]}, 본 논문에서도 필요한 대역폭 감소를 위해 와핑 기반 시점 간 중복성 제거 방법을 제안한다. 기준이 되는 영상을 본 논문에서는 중앙 뷰라고 정의하고, 중앙 뷰는 취득된 영상들의 한가운데 위치한다. 만약 그 위치에 중앙 뷰가 없을 경우 제안하는 시스템은 RVS를 이용하여 중앙 뷰를 합성한다.

중복되는 영역을 판단하기 위해 본 논문에서는 RVS의 와핑 기술을 이용하였는데, 그림 4는 와핑 기반 뷰 간 중복성 제거 예시를 나타낸다. 그림 4의 왼쪽 그림은 중앙 뷰에서 다른 영상들 중 하나의 위치로 와핑된 이미지를 나타낸다. 흰색 점선으로 표시된 사각형 박스를 보면 픽셀들이 왜



그림 4. 와핑 기반 뷰 간 중복성 제거 예시

Fig. 4. Example of warping-based redundancy between the views removal

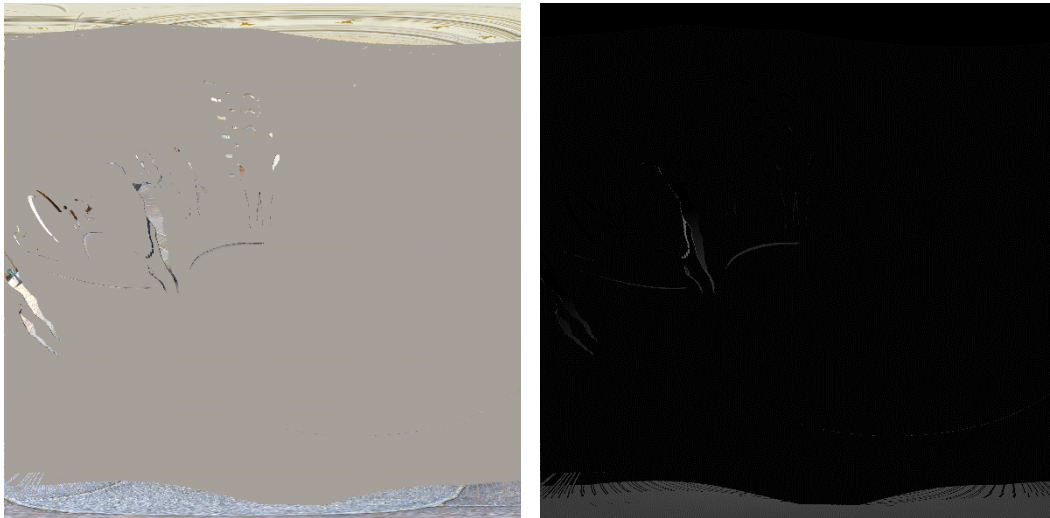


그림 5. 중복성이 제거된 텍스처(좌)와 깊이 지도(우)
 Fig. 5. Representations of redundancy removed texture(left) and depth map(right)

곡된 것을 볼 수 있는데 이 영역은 중앙 뷰가 표현할 수 없고 오직 해당 위치의 비디오에 의해서만 표현될 수 있다. 때문에 본 논문이 제안하는 시스템은 왜곡된 부분을 탐색한 후 이를 그림 4의 오른쪽 그림과 같이 이진 마스크(binary mask)로 나타낸다. 각 픽셀마다 상단 픽셀, 좌측 하단 픽셀, 우측 하단 픽셀을 참조하여 삼각형을 생성하고, 중앙 뷰와 왜곡된 영상 간 삼각형의 모양 변형 정도를 점수로 나타내어 점수가 낮을 경우 왜곡되었다고 판단한다. 해당

기능은 RVS에 구현된 것을 사용하였다. 검정색 영역은 해당 위치의 비디오에서 텍스처를 가져올 영역을 나타내고, 하얀색 영역은 임의의 값으로 채워도 무방한 영역을 나타낸다. 마스크가 생성되면 검정색 영역에 해당하는 부분만 텍스처를 매핑하여 중복성이 제거된 뷰를 출력한다. 그림 5의 왼쪽 그림은 중복성이 제거된 텍스처를, 오른쪽 그림은 깊이 지도를 나타낸다. 이후 중복성이 제거된 잔여 뷰를 인코딩 후 전송 시 원본을 인코딩하여 전송할 때보다 더 적은

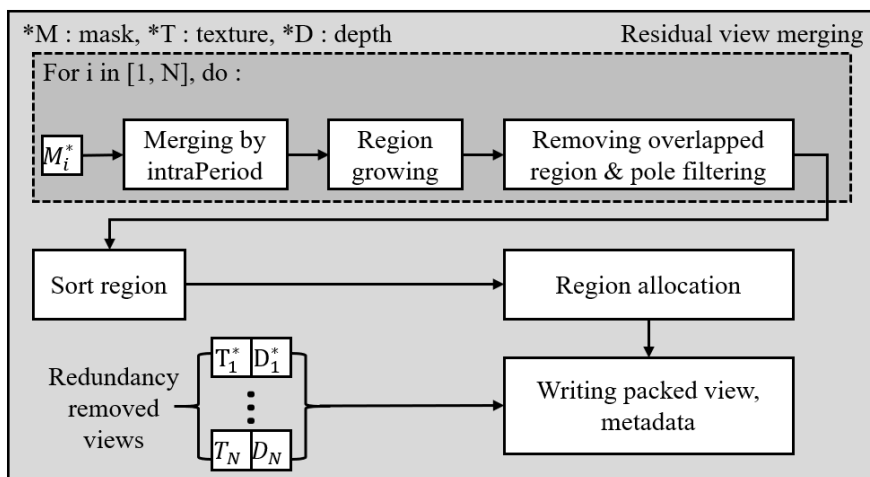


그림 6. 잔여 뷰 병합 기법 블록 다이어그램
 Fig. 6. Block diagram of residual view merging method

대역폭을 요구한다.

2. 영역 확장 기반 잔여 뷰 병합 기법

3.1 절에서 소개된 뷰 간 중복성 제거 기술의 적용으로 잔여 뷰 압축 후 전송 시 필요한 대역폭이 감소하였으나, 보낼 영상의 수는 감소하지 않아 다수의 디코더를 요구하여 클라이언트에 부담이 된다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 잔여 뷰 병합 기법을 제안한다. 그림 6은 잔여 뷰 병합 기법에 대한 블록 다이어그램을 나타낸다. 해당 기법은 영역 확장(region growing)^[30]을 사용하여 잔여 뷰에서 복원 시 필요한 부분을 직사각형 형태의 블록 단위로 추출하고, 하나의 영상으로 병합한다.

프레임마다 영역 확장 후 추출하여 하나의 영상으로 병합하면 같은 영역이라도 프레임마다 크기가 달라지므로 병합된 영상에서의 위치가 변경될 수 있다. 이는 프레임 간 압축의 효율성을 떨어뜨리고 비트레이트의 증가를 야기한다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 이진 마스크를 *intra period* 단위로 병합한다. 그림 7은 이진 마스크의 프레임이 병합되는 과정을 나타낸다. 병합된 프레임에서 영역을 추출하기 위해 영역 확장을 시행하는데, 그림 7의 오른쪽 그

림에서 빨간색 박스는 추출된 영역을 나타낸다. 영역 확장을 위해서는 시작점이 필요한데, 분할된 프레임의 모든 블록들이 시작점이 될 수 있으나 이미 다른 영역의 일부로 포함된 블록들은 시작점에서 제외된다. 이후 프레임에서의 영역 확장이 끝나면 그림 6에서 알 수 있듯 이진 마스크에서 확보된 영역들끼리 서로 겹치는 부분을 제거한다. 한 번 한 영역에 포함된 블록은 시작점이 될 수 없지만 영역들의 형태가 직사각형이므로 서로 겹치는 부분이 있을 수 있기 때문에 해당 부분들을 제거해주면 보낼 데이터를 절약할 수 있다. 그림 8은 영역 간 중복되는 부분을 제거하는 3가지 방법을 나타낸다. 그림 8의 왼쪽 그림은 작은 영역이 큰 영역 안에 완전히 포함될 경우, 작은 영역을 제거하는 시나리오를 표현한다. 그림 8의 중간 그림은 작은 영역과 큰 영역의 모서리끼리 겹칠 경우 작은 영역에서 중복되는 부분을 자르는 작업을 나타낸다. 마지막으로 그림 8의 오른쪽 그림은 작은 영역과 큰 영역의 꼭지점끼리 서로 겹칠 경우 작은 영역을 수평으로 잘라 중복성을 제거하는 방법을 나타낸다.

3DoF+를 위한 360 비디오는 *equirectangular projection(ERP)*의 형태를 가지므로 상단과 하단 영역에서 픽셀이 왜곡되는 현상이 발생하여 제안하는 시스템은 이 부분

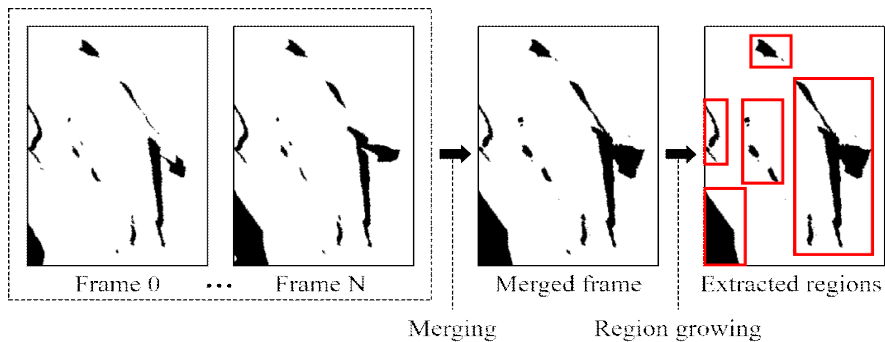


그림 7. 프레임 병합 및 영역 확장 · 추출 예시
 Fig. 7. Example of frame merging and region growing · extraction

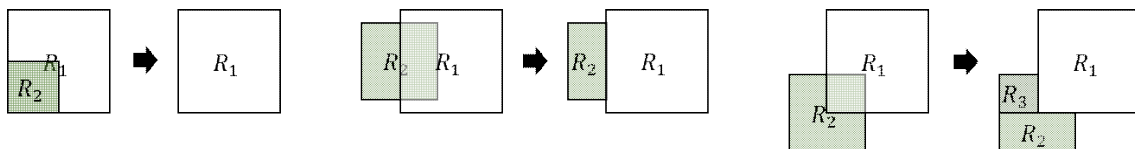


그림 8. 영역 간 중복되는 부분 제거 방법
 Fig. 8. Methods for removing overlapped regions

을 필터링해주는 작업을 거친다. 이후 정리된 영역들에 해당하는 부분을 텍스처와 깊이 지도에서 추출하여 이를 높이에 따른 내림차순으로 정렬하고 하나의 영상으로 병합한 후 압축 및 전송이 이루어진다. 이렇게 잔여 뷰를 하나로 합침으로서 비트레이트 절약과 필요한 디코더 수의 감소를 유도할 수 있다.

IV. 구현 내용 및 결과

본 논문에서는 3DoF+ 360 비디오 압축 성능을 실험하기 위해 3DoF+를 위한 테스트 시퀀스인 ClassroomVideo^[31], TechnicolorMuseum^[32]을 사용하였다. MPEG-I에서 3DoF+를 위해 총 5개의 테스트 시퀀스가 제안되었으나, 360 영상이 아닌 일반 2D 영상을 사용하였거나 한 방향만을 바라보고 있는 시퀀스는 제외하여 본 논문에서는 2개의 테스트 시퀀스로 실험을 진행하였다. 표 1은 실험에 사용된 테스트 시퀀스들의 정보를 나타낸다. 실험에는 2개의 intel xeon e5-2687w v4 CPU와 128GB의 메모리가 장착된 서버가 사용되었고, ubuntu 16.04 환경에서 진행되었다. 실험에는 3DoF+ CFP와 common test condition (CTC)에서 권장하는 소프트웨어들이 사용되었다. 표 2에서 언급된 것과 같이 인코딩과 디코딩에는 HEVC test model (HM) 16.16 버전이 사용되었고 뷰 합성에는 OpenCV 3.4.2^[33] 버전과 연계된 RVS 3.1 버전이 사용되었으며 품질 평가에는 ERP 영상을 위한 평가지표인 weighted-to-spherically-uniform peak signal-to-noise ratio (WS-PSNR) 2.0 버전이 사용되었다.

3DoF+ CFP는 각 시퀀스마다 4개의 목표 비트레이트 지점을 명시하였다. 표 3은 3DoF+ CFP의 목표 비트레이트 지점을 나타낸다. 본 논문에서는 해당 비트레이트 지점에 맞추어 quantization parameter(QP)를 조절하여 인코딩을 진행하였고, CFP에서 권장하는 대로 random access (RA)

방식으로 인코딩되었다.

표 2. 3DoF+ 360 비디오 압축, 렌더링, 품질 평가 소프트웨어
Table 2. 3DoF+ 360 video compression, rendering, quality evaluation software

Tool name	Version
Reference view synthesizer (RVS)	v3.1
WS-PSNR	v2.0
360Lib	5.1-dev
HEVC test model (HM)	16.16

표 3. 3DoF+ CFP의 목표 비트레이트 지점
Table 3. Target bitrate point of 3DoF+ CFP

Name	Target bitrate (Mbps)			
	R1	R2	R3	R4
ClassroomVideo	6.5	10	15	25
TechnicolorMuseum	10	15	25	40

그림 9는 제안하는 시스템과 HEVC 코덱만을 사용하여 압축 및 전송된 anchor의 rate-distortion(RD) curve를 나타내고, 그에 해당하는 비트레이트와 WS-PSNR, 그리고 BD-rate는 표 4에서 소개된다. Anchor는 부호화 및 복호화 시 HEVC 코덱을, 그 외의 작업은 표 2에서 언급된 소프트웨어를 사용하여 평가되었다. 그림 9의 좌측 그래프는 ClassroomVideo에 대한 결과를 나타내는데, 제안하는 시스템이 R1, R2, R3, R4 대역폭에서 anchor보다 더 좋은 결과를 보여주었다. 우측 그래프는 TechnicolorMuseum에 대한 결과를 나타내고, R2, R3 대역폭에서 제안하는 시스템이 anchor보다 더 좋은 결과를 나타내는 것을 볼 수 있다. 실험 결과를 통해 제안하는 시스템과 기존 HEVC 기반 시스템 간에는 trade-off가 존재하고, 클라이언트의 상황에 따라 적절한 시스템 적용을 할 수 있음을 알 수 있다. 클라이언트의 연산 능력이 여러 개의 디코더를 구동할 만큼 충분하고 대역폭을 사용가능하며 HEVC 기반 시스템이 더 좋은

표 1. 3DoF+ 360 비디오 테스트 시퀀스 정보
Table 1. Information of 3DoF+ 360 video test sequences

Name	Resolution	Number of views	Frame length	Frame rate	Bit depth
ClassroomVideo	4096×2048	15	120	30 fps	10-bit
TechnicolorMuseum	2048×2048	24	300	30 fps	10-bit

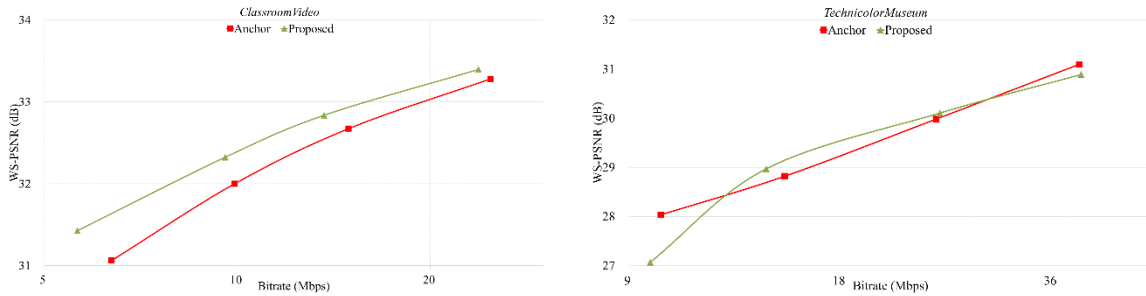


그림 9. HEVC anchor와 제안하는 시스템의 rate-distortion(RD) curve : ClassroomVideo(좌), TechnicolorMuseum(우)
 Fig. 9. Rate-distortion(RD) curve of the HEVC anchor and the proposed system : ClassroomVideo(left), TechnicolorMuseum(right)

품질의 영상을 제공할 때는 해당 시스템을, 그렇지 않을 때에는 제안하는 시스템을 이용하여 연산 능력을 절약할 수 있다. 표 4는 제안하는 시스템을 사용하여 3DoF+ 비디오를 전송할 때 절약되는 BD-rate 결과 값을 보여준다. Rate point는 표 3에서 언급된 목표 비트레이트 지점을 나타내고, WS-PSNR_Y는 luma 값에 대한 WS-PSNR 결과를 나타낸다. 제안하는 시스템은 HEVC 기반 시스템 대비 평균 12.43%의 BD-rate 절약률을 보여주었다. 본 논문에서 제안하는 방법은 ClassroomVideo보다 TechnicolorMuseum에서 낮은 BD-rate 절약률을 보여줬는데, 이는 ClassroomVideo의 경우 중앙 뷰의 위치에 해당하는 기존 영상이 존재하여 그대로 사용한 반면에 TechnicolorMuseum은 중앙 뷰를 기존 영상들을 이용하여 새로 합성하였던 것이 이유로 추정된다. 또한 기존 HEVC encoder만을 이용한 시스템의 경우 TechnicolorMuseum을 전송할 때 24개의 뷰에 텍스처와 깊

이 지도까지 같이 전송하므로 총 48개의 인코더와 디코더가 필요한 반면, 본 논문에서 제안하는 시스템은 중앙 뷰와 병합된 잔여 뷰를 전송하므로 총 4개의 인코더와 디코더를 요구하여 병렬 처리가 좀 더 수월하다는 장점이 있다.

V. 결론

본 논문은 몰입형 미디어를 위한 3DoF+ 360 비디오 압축 시스템을 제안한다. RVS를 활용하여 3DoF+ 비디오 간 중복성을 제거하고 필요한 영역만 추출하여 하나의 영상으로 병합하여 압축 및 전송한다. 전송하는 정보의 양을 줄여 더 적은 대역폭을 사용가능하고, 전송할 영상의 개수를 줄일 수 있어 더 적은 수의 디코더를 클라이언트에 요구하므로 클라이언트의 연산량을 절약가능하다. 제안하는 시스템

표 4. 제안하는 시스템을 사용한 뷰 합성 결과
 Table 4. View synthesis result with the proposed system

Name	Rate point	Anchor (HEVC-based)		Proposed system		BD-rate
		Bitrate (Mbps)	WS-PSNR_Y (dB)	Bitrate (Mbps)	WS-PSNR_Y (dB)	
ClassroomVideo	R4	24.8	33.28	23.7	33.40	-20.14%
	R3	14.9	32.67	13.6	32.84	
	R2	9.9	32.00	9.5	32.32	
	R1	6.3	31.06	5.6	31.43	
TechnicolorMuseum	R4	39.3	31.10	39.6	30.89	-4.72%
	R3	24.6	29.98	24.9	30.11	
	R2	14.9	28.82	14.1	28.97	
	R1	9.9	28.04	9.6	27.07	
Average		18.0	30.86	17.5	30.87	-12.43%

을 사용하여 3DoF+를 위한 여러 개의 360 영상들을 전송했을 때 평균 12.43%의 BD-rate 절약을 보여주었다. 제안하는 시스템은 MPEG-I에서 현재 표준화 단계에 있는 3DoF+와 6DoF에도 적용이 가능하므로, 중복성 제거 기법과 영상 병합 기법의 고도화가 이루어진다면 더 효과적인 실감형 미디어를 위한 360 비디오 압축 및 전송 시스템을 구축할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌 (References)

- [1] Mary-Luc Champel, Thomas Stockhammer, Thierry Fautier, Emmanuel Thomas, Rob Koenen. 2016. Quality Requirements for VR. 116th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG 116/m39532.
- [2] Hyun-Joon Roh, SungWon Han, and Eun-Seok Ryu. 2017. Prediction complexitybased HEVC parallel processing for asymmetric multicores. *Multimedia Tools and Applications* 76, 23 (2017), 25271 - 25284.
- [3] Hyun-Joon Roh, Bok-Gi Lee, and Eun-Seok Ryu. 2018. Tile Partitioning and Allocation for HEVC Parallel Decoding on Asymmetric Multicores. *The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences (J-KICS)*, Vol.43, No.05, pp. 791-800
- [4] Seehwan Yoo and Eun-Seok Ryu. 2017. Parallel HEVC decoding with asymmetric mobile multicores. *Multimedia Tools and Applications* 76, 16 (2017), 17337 - 17352.
- [5] Dien Nguyen, Tuan Le, Sangsoo Lee, and Eun-Seok Ryu. 2018. SHVC Tile-Based 360-Degree Video Streaming for Mobile VR: PC Offloading Over mmWave. *Sensors* 18, 11 (2018), 3728.
- [6] Tuan Thanh Le, Dien Van Nguyen, and Eun-Seok Ryu. 2018. Computing Offloading Over mmWave for Mobile VR: Make 360 Video Streaming Alive. *IEEE Access* (2018).
- [7] Robert Skupin, Yago Sanchez, Karsten SÄijhring, Thomas Schierl, Eun-Seok Ryu, and Jangwoo Son. 2018. Temporal MCTS Coding Constraints Implementation. 122th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG 122/m42423.
- [8] Jang-Woo Son, Dongmin Jang, Eun-Seok Ryu. 2018. Implementing Motion-Constrained Tile and Viewport Extraction for VR Streaming. *ACM Network and Operating System Support for Digital Audio and Video 2018 (NOSSDAV2018)*.
- [9] Jang-Woo Son, Eun-Seok Ryu. 2018. Tile-Based 360-Degree Video Streaming for Mobile Virtual Reality in Cyber Physical System. Elsevier, *Computers and Electrical Engineering*.
- [10] Xin Wang, Lulin Chen, Shuai Zhao, and Shawmin Lei. 2017. From OMAF for 3DoF VR to MPEG-I Media Format for 3DoF+, Windowed 6DoF and 6DoF VR. 119th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG119/m44197.
- [11] Jong-Beom Jeong, Dongmin Jang, Jangwoo Son, and Eun-Seok Ryu. 2018. 3DoF+ 360 Video Location-Based Asymmetric Down-Sampling for View Synthesis to Immersive VR Video Streaming. *Sensors* 18, 9(2018), 3148.
- [12] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. 2019. Call for Proposals on 3DoF+ Visual. 125th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG/n18145.
- [13] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. 2018. 3DoF+ Software Platform description. 125th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG2018/n18070.
- [14] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11. 2018. Reference View Synthesizer (RVS) manual. 124th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG124/n18068.
- [15] Patrick Boissonade, Joel Jung, and P.Nikitin. 2018. [MPEG-IVisual] View synthesis algorithm for windowed-6DoF. 124th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2018/m44788.
- [16] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11.2008. Overview of 3D Video Coding. 84th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG2008/n9784.
- [17] Gerhard Tech, Ying Chen, Karsten Müller, Jens-Rainer Ohm, Anthony Vetro, Ye-Kui Wang. 2016. Overview of the Multiview and 3D Extensions of High Efficiency Video Coding. *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, 2015, 26.1: 35-49.
- [18] Ying Chen, Gerhard Tech, Krzysztof Wegner and Sehoon Yea. 2014. Test Model 10 of 3D-HEVC and MV-HEVC. 110th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2014/n14975.
- [19] Joel Jung, P. Nikitin. 2017. [MPEG-I Visual] List of issues with MV- and 3D-HEVC when coding 1D- and 2D-multi-view contents. 120th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2017/m41701.
- [20] Renaud Doré, Franck Thudor. 2018. Outperforming 3DoF+ Anchors: first evidence. 123th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2018/m43504.
- [21] Franck Thudor, Renaud Doré. RVS based 3DoF+ evidence results. 124th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2018/m44588.
- [22] Bart Kroon, Bart Sonneveldt. 2019. Philips response to CFP on 3DoF+. 126th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2019/m47179.
- [23] Julien Fleureau, Franck Thudor, Renaud Doré, Max Dmitrichenko, Basel Salahieh, Jill Boyce. 2019. Description of Technicolor Intel response to MPEG-I 3DoF+ Call for Proposal. 126th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2019/m47445.
- [24] Marek Domański, Adrian Dziembowski, Dawid Mieloch, Olgierd Stankiewicz, Jakub Stankowski, Adam Grzelka, Gwangsoon Lee, Jun Young Jeong, Jeongil Seo. 2019. Technical description of proposal for Call for Proposals on 3DoF+ Visual prepared by Poznań University of Technology (PUT) and Electronics and Telecommunications Research Institute (ETRI). 126th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2019/m47407.
- [25] Vinod Kumar Malamal Vadakital, Kimmo Roimela, Lauri Ilola, Jaakko Keränen, Mika Pesonen, Sebastian Schwarz, Jani Iainema, Miska Hannuksela. 2019. Description of Nokia's response to CFP for 3DOF+ visual. 126th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2019/m47372.

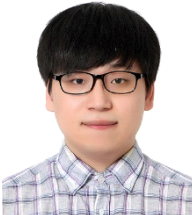
- [26] Bin Wang, Yule Sun, Wenyi Wang, Jiafeng Chen, Lu Yu, Huiming Yu. 2019. Description of Zhejiang University's response to 3DoF+ Visual CfP. 126th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2019/m47684.
- [27] Basel Salahieh, Bart Kroon, Joel Jung, Marek Domański. 2019. Test Model for Immersive Video. 126th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2019/n18470.
- [28] Ying Chen, Xin Zhao, Li Zhang, Je-Won Kang. 2016. Multiview and 3D Video Compression Using Neighboring Block Based Disparity Vectors. IEEE Transactions on Multimedia 18.4 (2016): 576-589.
- [29] Je-Won Kang, Ying Chen, Li Zhang, Marta Karczewicz. 2014. Low Complexity Neighboring Block based Disparity Vector Derivation in 3D-HEVC. IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS). IEEE, 2014. p. 1921-1924.
- [30] M Mary Synthuja Jain Preetha, L Padma Suresh, and M John Bosco. 2012. Image segmentation using seeded region growing. In 2012 International Conference on Computing, Electronics and Electrical Technologies (ICCEET). IEEE, 576 - 583.
- [31] Bart Kroon. 2018. 3DoF+ test sequence ClassroomVideo. 122th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2018/m42415.
- [32] Renaud Dore. 2018. Technicolor 3DoF+ test materials. 122th MPEG meeting of ISO/IEC JTC1/SC29/ WG11, MPEG2018/m42349.
- [33] 2018. Open computer vision. [Online]. <https://github.com/opencv/opencv/releases/tag/3.4.2>

저 자 소 개



정 종 범

- 2018년 8월 : 가천대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2018년 9월 ~ 2019년 8월 : 가천대학교 컴퓨터공학과 석사과정
- 2019년 9월 ~ 현재 : 성균관대학교 컴퓨터교육과 석사과정
- 주관심분야 : 멀티미디어 통신 및 시스템, 비디오 압축 표준



이 순 빈

- 2014년 3월 ~ 현재: 가천대학교 컴퓨터공학과 학사과정
- 주관심분야 : 멀티미디어 통신 및 시스템, 비디오 압축 표준



장 동 민

- 2019년 2월 : 가천대학교 컴퓨터공학과 학사
- 2019년 3월 ~ 2019년 8월 : 가천대학교 컴퓨터공학과 석사과정
- 2019년 9월 ~ 현재 : 성균관대학교 컴퓨터교육과 석사과정
- 주관심분야 : 멀티미디어 통신 및 시스템, 비디오 압축 표준

저 자 소 개



이 상 순

- 1982년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
- 1986년 2월 : 인하대학교 전자계산학과 석사
- 2005년 2월 : 인천대학교 컴퓨터공학과 박사
- 1994년 2월 ~ 현재 : 가천대학교 컴퓨터공학과 부교수
- 주관심분야 : 컴퓨터네트워크, 시스템소프트웨어, IoT



류 은 석

- 1999년 8월 : 고려대학교 컴퓨터학과 학사
- 2001년 8월 : 고려대학교 컴퓨터학과 석사
- 2008년 2월 : 고려대학교 컴퓨터학과 박사
- 2008년 3월 ~ 2008년 8월 : 고려대학교 연구교수
- 2008년 9월 ~ 2010년 12월 : 조지아공대 박사후과정
- 2011년 1월 ~ 2014년 2월 : InterDigital Labs Staff Engineer
- 2014년 3월 ~ 2015년 2월 : 삼성전자 수석연구원/파트장
- 2015년 3월 ~ 2019년 8월 : 가천대학교 컴퓨터공학과 조교수
- 2019년 9월 ~ 현재 : 성균관대학교 컴퓨터교육과 조교수
- ORCID : <https://orcid.org/0000-0003-4894-6105>
- 주관심분야 : 멀티미디어 통신 및 시스템, 비디오 코딩 및 국제 표준, HMD/VR 응용분야