

특집논문 (Special Paper)

방송공학회논문지 제21권 제6호, 2016년 11월 (JBE Vol. 21, No. 6, November 2016)

<http://dx.doi.org/10.5909/JBE.2016.21.6.878>

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

3차원 비디오의 합성영상 경계 잡음 제거

이도훈^{a)}, 양윤모^{a)}, 오병태^{a)‡}

Boundary Artifacts Reduction in View Synthesis of 3D Video System

Dohoon Lee^{a)}, Yoonmo Yang^{a)}, and Byung Tae Oh^{a)‡}

요약

본 논문에서는 3차원 비디오 시스템에서 손상된 깊이영상으로 인하여 합성된 가상시점 영상에서 발생하는 경계 잡음을 효과적으로 제거하는 방식을 제안한다. 제안 방식에서는 손실 압축에 의한 깊이영상의 잡음으로부터 발생하는 경계 잡음의 특징을 분석하고, 이를 바탕으로 픽셀 도메인과 주파수 도메인에서의 convex set을 설정하여 해당 조건들을 반복적으로 사영시키는 projection onto convex sets (POCS) 기법을 활용하여 올바른 정보는 유지한 채 경계 잡음만을 제거한다. 이 논문에서 제안한 방식은 영상합성 과정에서 생성되는 컬러 및 깊이영상에 모두 적용하였다. 실험 결과 제안 기법은 경계 잡음을 효과적으로 제거하여 가상시점 영상의 화질을 향상시켰음을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes an efficient method to remove the boundary artifacts of rendered views caused by damaged depth maps in the 3D video system. First, characteristics of boundary artifacts with the compression noise in depth maps are carefully studied. Then, the artifacts suppression method is proposed by the iterative projection onto convex sets (POCS) algorithm with setting the convex set in pixel and frequency domain. The proposed method is applied to both texture and depth maps separately during view rendering. The simulation results show the boundary artifacts are greatly reduced with improving the quality of synthesized views.

Keyword : Boundary artifact, 3D video, Multiview plus depth map, POCS

a) 한국항공대학교 항공전자정보공학부(Korea Aerospace University)

‡ Corresponding Author : 오병태(Byung Tae Oh)

E-mail: byungoh@kau.ac.kr

Tel: +82-2-300-0409

ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1437-2422>

※ 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2013R1A1A1057779).

※ 이 논문의 연구결과 중 일부는 “2016년 한국방송·미디어공학회 하계 학술대회”에서 발표한 바 있음.

· Manuscript received September 7, 2016; Revised October 26, 2016;

Accepted October 26, 2016.

1. 서론

기술의 발전과 함께 시청자에게 보다 실감적인 영상을 제공하고자 다양한 영상 시스템이 개발되고 발전되어 왔다. 이러한 예로 영상의 해상도, 혹은 비트심도를 증가시키거나, 보다 많은 시점의 영상을 제공하는 시스템 등이 있다. 해상도 관점에서는 현재 널리 사용되고 있는 High-definition (HD) 영상으로부터, 4K/8K Ultra HD (UHD)로 지속

적으로 증가하고 있으며, 기존의 8-bit 색 심도 영상에서, High-dynamic-range (HDR) 영상기술의 발달과 함께 10-bit 혹은 12-bit 이상의 색 심도의 영상에 대한 수요가 크게 늘고 있다. 또한 많은 시점을 통해 영상의 깊이감을 제공하여 실감영상을 보여주려고 하는 시도는 스테레오스코피 기술을 시작으로, 다시점 영상 시스템, 라이트필드, 그리고 홀로그래피 등으로 진화하고 있다.

깊이감을 제공해 주는 3차원 영상 시스템을 보다 자세히 살펴보면, 스테레오스코피 방식은 두 개의 서로 다른 영상을 통하여 깊이감을 제공하는 방식으로 현재 가장 보편적으로 보급된 3차원 비디오 시스템이다. 그러나 스테레오스코피 방식은 시청자에게 고정된 한 개의 시점만 제공한다는 점, 그리고 영상 내 물체를 바라볼 때의 두 눈의 수렴과 초점의 불일치로 인한 불편함 등의 기술적인 한계점을 가지고 있다. 이러한 문제에 대한 해결책으로 다양한 시스템이 제안되었으며, 그 중 한가지로 다시점 영상 시스템이 있다.

다시점 영상 시스템이란 많은 시점의 영상을 시청자에게 보여주어 운동시차 (Motion parallax)를 보여줄 수 있고, 다수시점의 영상으로 인하여 수렴-초점 불일치를 어느 정도 해결할 수 있는 장점을 지니고 있다. 그러나 다수의 시점에 대한 영상을 표현하기 위해 필요한 데이터의 크기가 너무 방대하며, 여러 시점의 영상들 간의 초점, 화이트 밸런스, 색감 등을 일치시켜야 하는 여러 가지 기술적인 어려움이 대두되었다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 다시점 깊이영상 (Multi-view plus depth map, MVD) 시스템이 제안되었다. MVD 시스템은 전송/압축해야 하는 데이터 크기를 크게 감소시키고, 대신 깊이영상 기반 합성 기술 (depth-image based rendering, DIBR)을 통하여 많은 시점의 영상을 생성하는 방식을 택하고 있다. 따라서 MVD 시스템에서는 압축 전송된 깊이영상의 화질에 따라 합성된 가상시점의 영상 화질이 크게 좌우된다^[1-3].

현재 MVD 시스템에서는 깊이영상이 일반적으로 8-bit의 흑백영상으로 표현되고 있다는 점을 이용하여 컬러영상과 거의 유사하게 압축이 진행되고 있다. 그러나 깊이영상은 컬러영상과는 다른 특징을 가진 콘텐츠로서, 깊이영상의 압축 에러는 가상시점의 영상을 합성하는 과정에서 경

계 부근에 에러를 발생시킨다. 이러한 에러는 DIBR이 활용되는 다른 영상 시스템에서도 발생하며, 이러한 에러를 줄이기 위하여 많은 연구가 진행되고 있다. 현재 이러한 방법으로는 깊이영상을 에러가 덜 발생하도록 변형 시키거나, 합성 과정에서 생성되는 영상을 활용하여 제거, 혹은 DIBR 과정에서 신뢰할 수 있는 정보로만 합성하는 방법이 있다.

본 논문에서는 이와 같이 손실 압축에 의한 깊이영상의 잡음으로부터 발생하는 경계 잡음의 특징을 분석하고, 경계 잡음을 제거하는 새로운 방식에 대하여 소개하고자 한다. 제안 방식은 Projection onto convex sets (POCS)를 활용하였으며, 경계 잡음의 특징을 고려하여 픽셀 도메인과 주파수 도메인을 모두 사용하여 기존 영상의 형태를 유지한 채 경계 잡음을 제거하는 방식을 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 기존의 경계 잡음을 제거하는 방식에 대한 소개를 하고, 3절에서는 제안 알고리즘을 소개한다. 4절에서는 제안 알고리즘에 대한 결과를 실험을 통하여 확인한 후, 마지막으로 5절에서는 본 논문에 대한 결론을 맺는다.

II. 경계 잡음 제거에 대한 기존 연구

1. 경계 잡음

앞 절에서 언급하였듯이 DIBR 기반으로 생성된 가상시점의 영상은 깊이영상의 상태에 따라 화질이 결정 된다. 보다 간단한 설명을 위해, 1D 평행한 카메라 시스템을 가정한다면, 참조영상의 임의의 픽셀은 아래의 수식 (1)에 의하여 가상시점으로 위핑된다.

$$u_v = u_r - \frac{f \times (t^v - t^r)}{Z} = u_r - \frac{fb}{Z} \quad (1)$$

여기서 u_v 와 u_r 은 각각 가상시점의 영상과 참조영상에서의 픽셀의 좌표다. 그리고 f 는 초점거리, t_x^v 와 t_x^r 은 카메라의 위치 벡터이다. 그리고 Z 는 disparity 으로서, 아

래 수식 (2)와 같이 여러 파라미터 값을 이용하여 구할 수 있다.

$$Z = \frac{1}{\frac{D}{255} \times \left(\frac{1}{Z_{near}} - \frac{1}{Z_{far}} \right) + \frac{1}{Z_{far}}} \quad (2)$$

여기서 D 는 현재 픽셀의 깊이 값, 그리고 Z_{near} , Z_{far} 는 영상에서 가장 가깝고 먼 거리의 실제 거리를 의미한다. 수식 (1), (2)에 의하여 참조영상의 픽셀과 가상시점 영상의 픽셀사이의 관계는 아래와 같이 정리될 수 있다.

$$\begin{aligned} u_v - u_r &= \frac{fb}{255} \left[(Z_{near}^{-1} - Z_{far}^{-1})D + Z_{far}^{-1} \right] \\ &= \alpha D + \frac{fb}{255} Z_{far}^{-1} \end{aligned} \quad (3)$$

수식 (3)에서 확인 할 수 있듯이, 참조영상에서 가상시

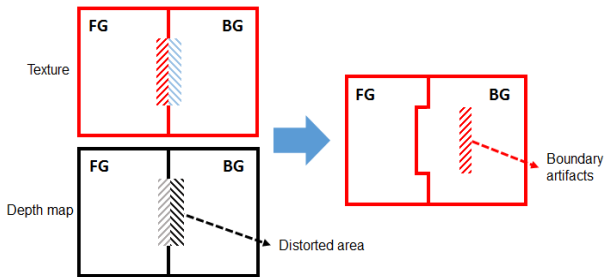


그림 1. 경계 잡음 발생에 대한 모델
Fig. 1. Model of Boundary artifacts

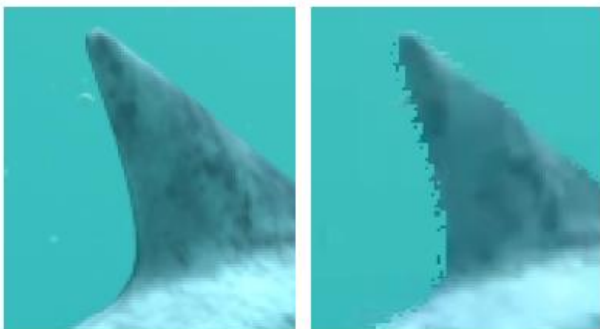


그림 2. (a) 원본 가상시점 영상, (b) 경계 잡음이 발생한 가상시점 영상
Fig. 2. (a) Original virtual view image, (b) Virtual view image containing boundary artifacts

점으로 영상이 워핑될 때, 각 픽셀이 이동하는 길이는 깊이영상의 깊이 값에 좌우된다. 만약, 깊이영상이 여러 가지 원인으로 인하여 잘못된 값을 가지고 있다면, 이에 따라 그림 1와 같이 동일한 물체임에도 불구하고 잘못된 위치로 워핑된다. 이러한 가상시점 영상에서 잘못된 위치로 워핑되어 발생하는 잡음을 경계 잡음이라 한다. 실제 합성된 가상시점 영상에서의 경계 잡음 발생의 예는 그림 2와 같다.

2. 기존 연구

이러한 경계 잡음을 제거하기 위하여 현재까지 다양한 방식이 제안되어 왔다. 우선 변형되거나 손상된 깊이영상을 직접 복원하는 방법, 합성 과정에서 생성되는 영상을 활용하여 경계 잡음을 제거하는 방법, 그 밖에 DIBR 과정에서 여러 참조영상의 신뢰도를 분석하여 신뢰할 수 있는 참조영상들만을 이용하여 가상시점 영상을 생성하는 방법 등이 있다.

변형되거나 손상된 깊이영상을 복원하는 방법은 압축된 깊이영상에 대한 후처리 방식을 주로 사용한다^[4-7]. 이러한 방법으로는 컬러 영상을 이용하여 압축과정에서 변형된 깊이 영상을 보정하는 방법, 혹은 부드럽게 변한 깊이영상의 경계를 두드러지도록 변형하는 방법 등이 있다. 그 밖에 컬러영상과 깊이영상의 경계의 위치에 따라 경계 잡음이 발생하는 정도의 차이가 존재한다는 점을 이용하는 방식이 있다. 일반적으로 깊이영상의 경계가 컬러영상의 전경에 포함될 경우 많은 경계 잡음이 발생한다. 이러한 점을 이용하여 경계 잡음의 양을 감소시키기 위해 깊이영상의 경계를 확장한다^[8-9].

합성 과정에서 생성되는 영상을 활용하는 방식은 두 장의 워핑된 영상 중 한쪽 시점의 영상에만 경계 잡음이 생긴다는 점을 이용한다^[10]. 이 방식은 먼저 합성된 가상시점 영상에서 경계 잡음이 발생한 영역을 선택한 후, 그 영역에 경계 잡음이 없는 참조영상으로 대체하며 경계 잡음을 제거한다.

또한 신뢰할 수 있는 정보로만 가상시점을 만드는 방식도 있다^[11-13]. 이러한 방식에서 신뢰도는 주로 참조할 두 시점의 영상을 상대 시점까지 워핑한 후 판단한다. 상대 시점

까지 워핑한 영상과 실제 그 시점의 영상과의 차이가 일정 값보다 크지 않다면, 워핑하기 전 영상의 깊이영상 값은 신뢰할 수 있다고 판단하고, 그 외의 경우는 신뢰할 수 없다고 판단한다. 그 후, 신뢰도를 바탕으로 양 시점의 영상에서 모두 신뢰할 수 있는 정보는 일반적인 영상 합성 과정을 따르고, 한쪽 시점의 영상만 신뢰할 수 있다면 해당 시점의 영상만 사용하여 가상시점의 영상을 합성한다.

III. 제안 알고리즘

앞 절에서 언급하였듯이, 가상시점 영상은 두 개의 참조 영상을 깊이영상 정보를 바탕으로 워핑시킨 후, 각각 워핑된 영상을 적절하게 합병하여 생성된다. 이 과정에서 두 개의 워핑된 영상을 확인하여 보면 아래 그림 3과 같다.

경계 잡음은 손상된 깊이정보에 의하여 잘못된 위치로의 워핑에 의하여 발생되는데, 한쪽 시점의 영상이 비교적 적절하게 생성되었을지라도, 다른 한쪽 영상의 손상이 크게

되면 최종적으로 두 영상을 적절하게 혼합하는 과정에서 원하지 않는 경계 잡음을 가지게 되는 경우가 종종 발생하게 된다. 본 논문에서는 위와 같은 방식으로 발생하는 경계 잡음을 효과적으로 제거하기 위하여 POCS 기법을 기반으로 한 잡음 제거 기법을 제안한다.

1. Projection onto convex sets (POCS)

POCS는 최적의 해를 도출하는 방법 중 하나로써, convex set들을 설정한 후 각각의 convex set에 반복적으로 투영하는 과정을 통하여 해를 도출한다. 이 경우 사용되는 초기 값과 투영 시킬 convex set에 대한 설정은 매우 중요하다. POCS 기법은 영상 복원 및 초고해상도 영상 복원 등에 다양하게 적용되고 있으며, 본 논문에서 다루고자 하는 잡음 제거에 있어서도 좋은 성능을 보여주고 있는데, 실례로 영상 압축과정에서 발생하는 블록 잡음에 대하여 주파수 도메인과 픽셀 도메인에서 각각 convex set을 설정하여 제거하거나^{[14][16]}, 주파수 도메인에서만 convex set들을 설정

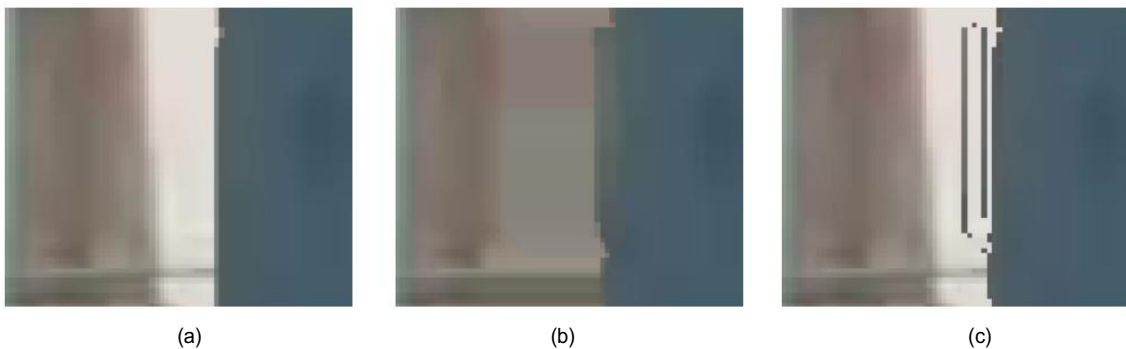


그림 3. (a) 우영상을 가상시점으로 워핑한 영상, (b) 좌영상을 가상시점으로 워핑한 영상, (c) (a)와 (b) 영상을 적절하게 합병하여 생성한 가상시점의 영상
 Fig. 3. (a) Warped image from right view, (b) Warped image from left view, (c) Virtual view image with blending (a) and (b)

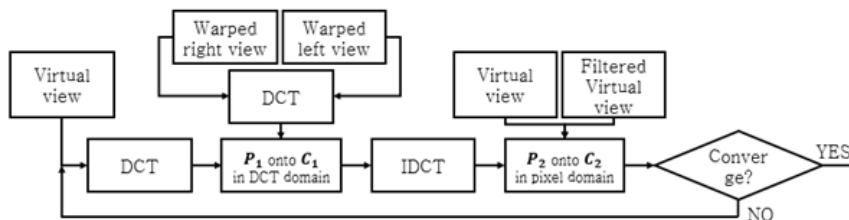


그림 4. 제안 알고리즘
 Fig. 4. Proposed algorithm

하고 제거하는 방식 등이 제안되었다^[17-18]. 본 논문에서는 이와 유사한 방식으로 경계 잡음을 제거하기 위하여 주파수 도메인과 픽셀 도메인에서 각각 convex set을 설정하였다. 주파수 도메인에서는 고주파 성분을 억제할 수 있도록 convex set을 설정하였고, 픽셀 도메인에서는 주파수 도메인에서의 처리과정에서 픽셀 값이 과도하게 변형되는 것을 방지하도록 convex set을 설정하였다. 이에 따른 제안 알고리즘의 전체적인 블록도는 그림 4와 같다. 세부적인 convex set에 대한 설정은 다음 2절과 3절에서 언급한다.

2. 주파수 도메인의 convex set

앞서 경계 잡음은 압축과정에서 발생한 깊이영상의 예러로 인하여 잘못된 위치로 위핑된 영상들이 혼합되는 과정에서 주로 발생하게 된다는 것을 살펴보았다. 제안 논문에서는 이와 같이 발생하는 경계 잡음을 효과적으로 제거하기 위하여 변환된 도메인에서의 처리를 제안한다. 제안 방식에서는 변환 도메인으로서 주파수 도메인을 사용하는데, 실수연산 처리를 위하여 이와 유사한 discrete cosine transform (DCT) 변환방식을 이용한다.

앞선 그림 3에서 살펴본 것과 같이 한쪽 시점의 영상이 과도하게 잘못된 위치로 위핑된 경우 두 영상의 경계부분

이 불일치하게 됨에 따라 경계 잡음이 발생하게 된다. 이 경우, 한 쪽 영상은 다른 쪽 영상이나 합성된 영상보다 원본 영상에 가까운 형태를 지니고 있는 경우가 자주 발생한다. 따라서 제안 방식에서는 합성된 영상을 보다 원본에 가까운 형태의 영상으로 투영시키는 방식을 통하여 경계 잡음을 제거하고자 한다.

보다 세부적으로 살펴보면, 각 영상마다 지역적인 특징의 차이는 크지만, 잡음이 발생하지 않은 영상은 잡음을 포함하고 있는 영상에 비해 DCT 도메인에서의 값이 보다 저주파 쪽으로 밀집되어 있다고 가정한다. 그렇다면, 최종적으로 합성된 영상도 마찬가지로 보다 밀집된 에너지 집중도를 가지고 있어야 한다고 설정할 수 있다. 따라서 DCT 도메인에서의 convex set은 아래와 같이 설정하였다.

$$C_1 = \left\{ \mathbf{B} \mid \sum_{k=p}^{N^2} |\mathbf{B}_k|^2 < E \right\} \tag{4}$$

여기서 \mathbf{B} 는 $N \times N$ 블록의 DCT 변환 값을 의미하여, \mathbf{B}_k 는 블록 내 2차원의 DCT 계수를 zig-zag 스캔하여 1차원으로 표현하였을 때의 위치를 의미한다. 즉, 수식 (4)에서 설정된 convex set은 현재 DCT 변환된 블록 내 고주파 계수의 에너지의 합이 일정 값보다 적은 블록들의 집합을 의미

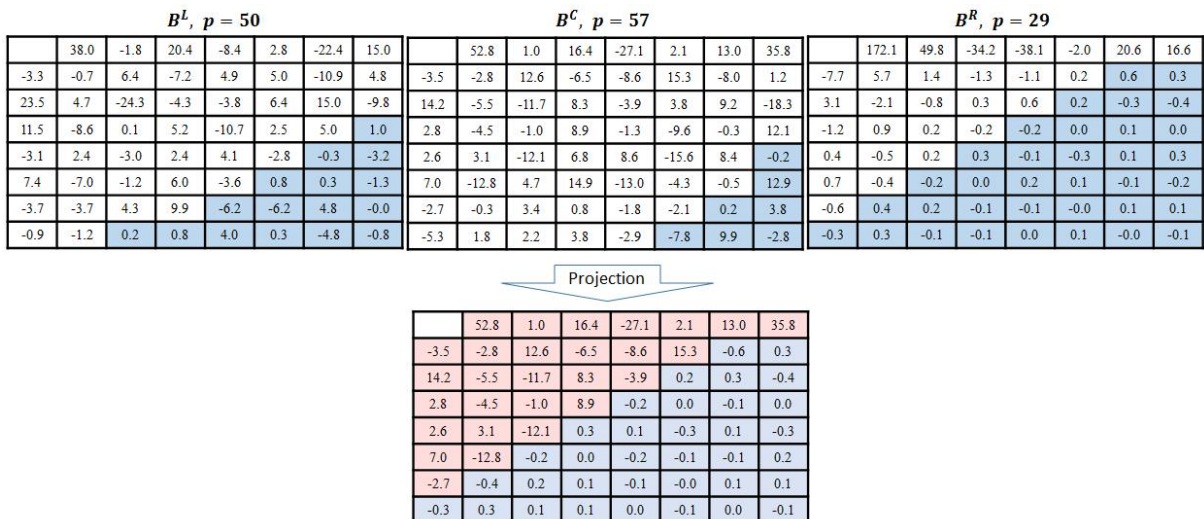


그림 5. DCT 도메인에서 convex set으로 투영한 예시
Fig. 5. Example of the projection onto convex set at DCT domain

하며, 이때 고주파 영역을 결정짓는 계수 p 와 에너지값 E 는 양쪽 영상을 가상시점으로 워핑한 블록들과 현재 가상시점에 합성된 블록 중 가장 에너지가 집중된 블록을 선택하여 이를 바탕으로 설정한다.

보다 상세히 기술하면, 아래 그림 5에서와 같이 현재 가상시점에서 합성된 블록 B^c 과 양쪽 시점에서 워핑된 블록 B^L , B^R 에 대하여, 이 3가지의 블록 중 가장 에너지 밀집도가 잘 이루어진 블록을 찾는 과정을 우선 수행한다. 그림 5의 경우에서는 에너지 밀집도가 가장 높은 B^R 이 참조 블록으로 선정되게 된다. 이때 블록의 밀집도는 각 블록마다 고주파 AC 계수들의 에너지의 합이 전체의 10%가 되는 픽셀의 위치를 선정하여 이중 가장 적은 값을 계수 p 로 설정하고, 해당 에너지의 합을 E 로 설정한다. 이후 현재 블록을 수식 (4)의 convex set에 사영시키기 위하여 밀집된 블록의 크기 값을 그대로 가져오는 방식으로 사영한다.

그림 5의 과정을 통하여 현재 블록 내 원본 영상이 본래 가지고 있는 영상의 정보는 유지한 채, 가상시점 생성 과정에서 부가적으로 발생한 잡음만을 제거할 수 있게 된다. 즉, 현재 블록이 본래 복잡한 영상이라면 주변 에너지가 밀집된 영상을 찾더라도 여전히 높은 고주파 성분을 가지게 되고, 이를 유지한 채 POCS가 진행되게 되어서 무리하게 원본영상이 훼손되는 것을 최대한 막을 수 있다.

3. 픽셀 도메인의 convex set

DCT 도메인에서 POCS 과정을 거쳐 고주파 영역의 에너지를 임의로 감소시킬 경우, 저주파 정보와 변형된 고주파 정보간의 불일치로 인하여 종종 심한 영상왜곡을 초래한다. 이러한 부작용을 방지하기 위하여 본 논문에서는 경계 잡음이 충격 잡음과 유사한 형태로 발생한다는 점에 착안하여 픽셀 도메인에서의 convex set을 설정하였다. 즉, 수식 (4)와 같이 가상시점의 영상의 픽셀값은 그 주변 영상정보를 중간값 필터를 적용한 픽셀값 이상으로 벗어나지 않도록 설정하였다.

$$C_2 = \{f \mid f_i \in [\min(f_i^o, f_i^m), \max(f_i^o, f_i^m)]\} \quad (5)$$

여기서 f^m 는 원 영상 f^o 에 중간값 필터를 적용한 영상이다.

IV. 실험 결과

1. 실험 환경

제안 알고리즘에 대한 입증을 위하여 본 논문은 MVD system 환경에서 JCT-3V의 Common Test Condition (CTC)를 따르고, 3DV 테스트 영상을 사용하였다. 실험을 위한 reference S/W로서 영상 압축은 3D-ATM v14.0을 사용하였고^[19], 비교 평가를 위한 중간영상 생성은 View synthesis reference software (VSRS)의 general mode를 이용하였다. 보다 자세한 실험 세팅 및 조건은 CTC 문서를 참조한다^[20].

2. 성능 평가

제안 알고리즘은 3장에 소개되어 있듯이, 두 개의 convex set을 활용하여 반복적인 수행을 거쳐 경계 잡음을 제거한다. 세부적으로 보면, 가상시점 합성과정에서 먼저 생성되는 깊이영상에 대하여 제안 방식을 적용하여 경계 잡음을 제거하였고, 이렇게 처리된 깊이영상을 바탕으로 후방 워핑방식을 이용하여 가상시점 영상을 생성하였다. 이후 생성된 가상시점 영상에 참조시점 영상을 사용하여 제안 알고리즘을 재차 수행하였다. 제안 알고리즘을 컬러영상에만 적용하였을 때와 깊이영상에만 적용하였을 때, 그리고 컬러영상과 깊이영상에 모두 적용하였을 때 각각의 경계 잡음 제거의 영상 결과가 그림 6에 나타나 있다. 결과에서 잘 나타나듯이, 제안 방식을 컬러영상과 깊이영상에 각각 적용하였을 때 서로 다른 부분의 경계 잡음이 제거되었음을 확인할 수 있으며, 컬러 및 깊이영상에 모두 적용하였을 때 가장 효과적으로 경계 잡음이 제거되었음을 확인할 수 있다.

제안기술의 객관적인 평가를 위하여 다양한 압축 조건에서 제안기술을 적용하여, 잡음제거에 따른 압축 성능의 향상을 측정해 보았다. 이때, 보다 정확한 성능평가를 위하여

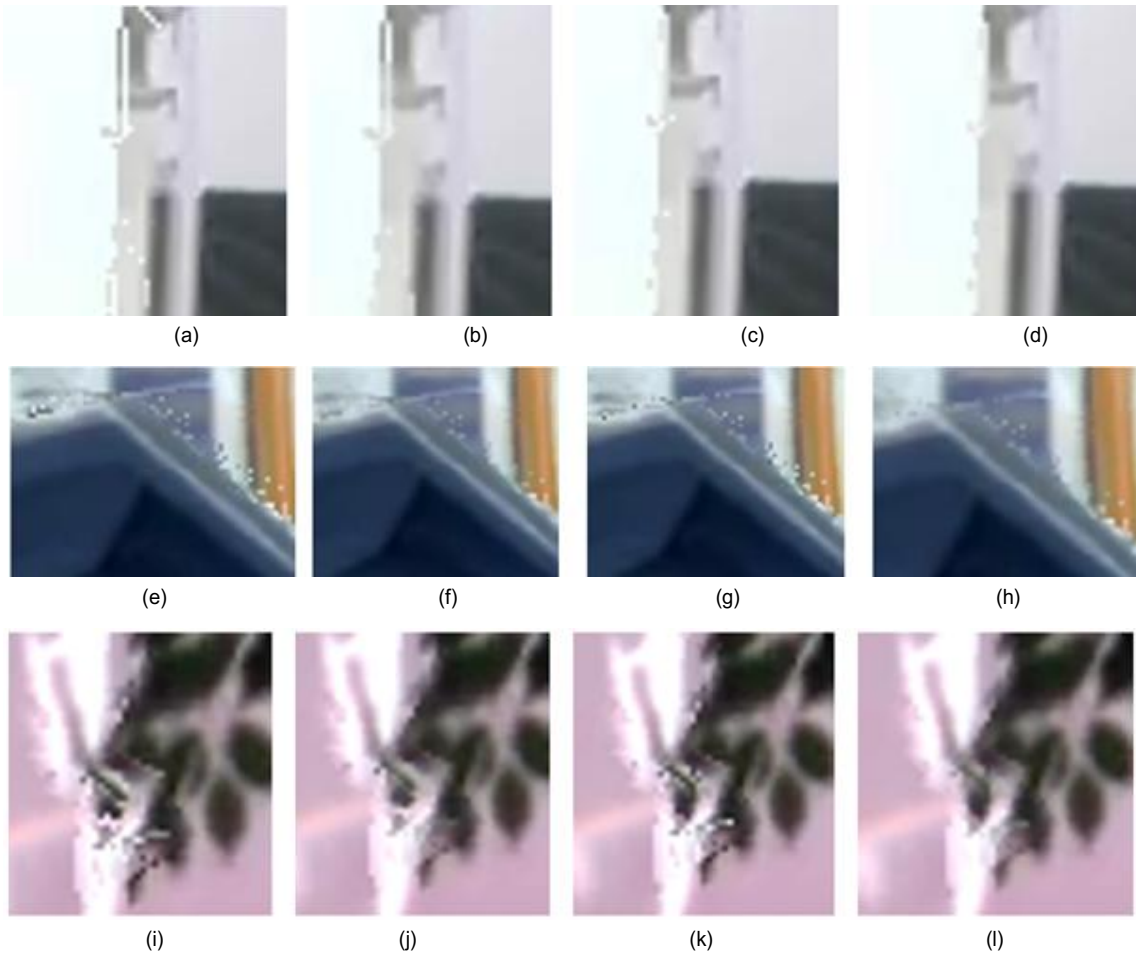


그림 6. 제안 알고리즘의 결과 비교. 좌측부터 연산 전 영상, 컬러영상만 수행하였을 때 영상, 깊이영상만 수행하였을 때 영상, 컬러영상과 깊이영상 모두 수행하였을 때 영상. (a) ~ (d) : Undo Dancer, (e) ~ (h) : Newspaper, (i) ~ (l) : Balloons.

Fig. 6. Performance comparison of proposed algorithm. From left to right, image before processing, image after only texture processing, image after only depth map processing, image after texture and depth map processing. (a) ~ (d) : Undo Dancer, (e) ~ (h) : Newspaper, (i) ~ (l) : Balloons.

표 1. BDBR 성능 평가

Table 1. Performance evaluation in terms of BDBR

Sequence	Texture	Depth	Texture+Depth
Poznan Hall2	0.00	0.00	+0.02
Poznan Street	-0.35	-0.64	-0.96
Undo Dancer	-6.61	-7.61	-9.84
GT Fly	+0.14	+0.11	+0.20
Kendo	-0.12	-0.13	-0.28
Balloons	-2.22	-2.87	-4.54
Newspaper	-1.55	-1.93	-3.15
Shark	-5.94	-6.98	-9.18
Avg.	-2.08%	-2.51%	-3.47%

Bjontegaard delta bit rate (BDBR)를 이용하였다^[21]. 아래 표 1에서는 제안기술을 각각 컬러 및 깊이영상에 적용하였을 때의 성능향상을 보여주고 있는데, 제안기술이 각각 컬러 및 깊이영상에 모두 효율적으로 경계 잡음을 제거함을 확인할 수 있으며, 두 영상에 모두 적용하였을 때 가장 높은 성능을 보여주고 있음을 확인할 수 있다. 이는 컬러 및 깊이 영상에서 생기는 경계 잡음의 종류가 각각 다르며, 이를 각각 해결해 주는 것이 가장 효과적임을 보여주고 있다. 또한, 압축 에러의 강도에 따른 제안기술의 성능을 보다 면밀하게 평가하기 위하여 Quantization Parameter (QP)에 따른 제안기술의 세부적인 성능은 아래 표 2에 정리하였다.

표 2. 압축 강도에 따른 PSNR 성능 평가

Table 2. Performance evaluation in terms of PSNR with various QP conditions

Sequence	QP = 26	QP = 31	QP = 36	QP = 41
Poznan Hall2	0.000	0.000	0.000	-0.003
Poznan Street	0.007	0.019	0.034	0.060
Undo Dancer	0.146	0.198	0.294	0.505
GT Fly	0.008	0.006	-0.008	-0.039
Kendo	0.004	0.007	0.012	0.029
Balloons	0.061	0.142	0.203	0.305
Newspaper	0.056	0.091	0.120	0.162
Shark	0.031	0.127	0.654	1.580
Avg.	0.039 dB	0.074 dB	0.164 dB	0.325 dB

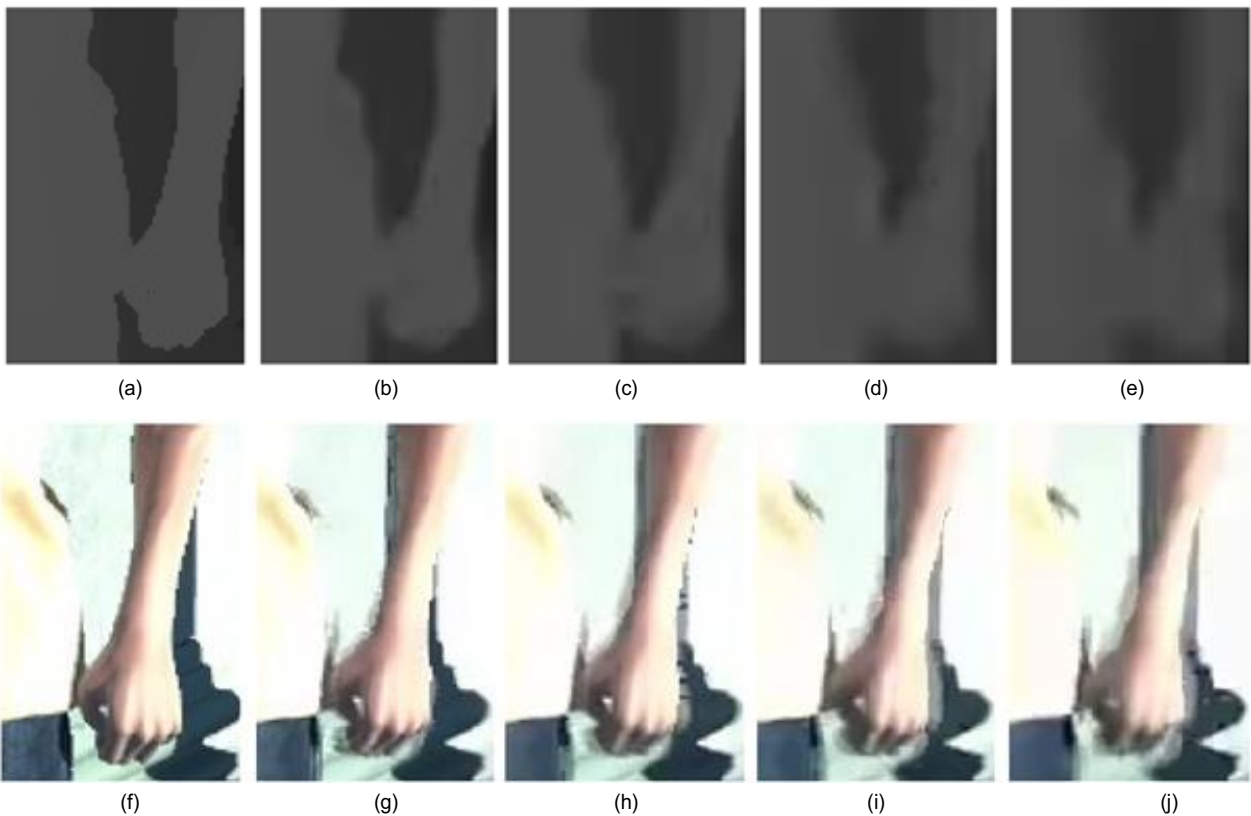


그림 7. 압축 강도에 따른 깊이영상의 변형 및 그에 따른 합성 영상의 경계 잡음. 좌측부터 원본 영상, QP = 26, 31, 36, 41
 Fig. 7. Depth map and texture as intensity of compression. From left to right, original image, QP = 26, 31, 36, 41

최종적으로 제안기술의 우수성을 살펴보기 위해, 아래 표 3 및 그림 8과 같이 최근 개발된 몇 가지 우수한 경계 잡음 제거 기법들을 비교해 보았다. 실제 제안방식과 유

사한 방식으로 접근하는 기존 방식이 없기 때문에, 일반적으로 우수하다고 여겨지는 [6-8]를 선정하여 비교하였다.

표 3. 다른 알고리즘과의 성능 비교
Table 3. Performance comparison in terms of BDBR

Sequence	DF [6]	BAR [7]	BF [8]	Prop.	DF + Prop.	BAR + Prop.
Poznan Hall2	-0.56	-0.38	0.12	0.02	-0.06	0.36
Poznan Street	-2.72	-0.43	-0.03	-0.96	-5.26	-3.82
Undo Dancer	-18.98	-13.94	-21.38	-9.84	-24.58	-15.51
GT Fly	-2.82	-0.86	-3.98	0.20	-2.51	-4.51
Kendo	-0.23	-0.02	9.84	-0.28	-1.60	-0.88
Balloons	-0.45	-1.72	17.89	-4.54	-8.94	-12.95
Newspaper	-0.50	-0.80	-5.34	-3.15	-8.78	-6.53
Shark	-16.11	-12.11	-7.56	-9.18	-17.09	-14.28
Avg.	-5.29%	-3.78%	-1.31%	-3.47%	-8.60%	-7.26%

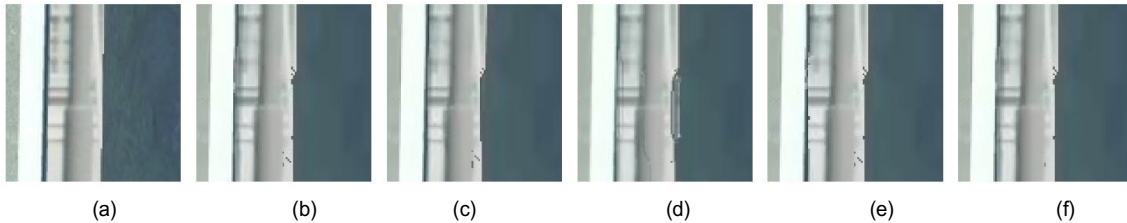


그림 8. 알고리즘 성능비교. (a) 원본 영상, (b) 압축 후 생성된 가상시점 영상, (c) DF [6] 적용영상, (d) BF [7] 적용영상, (e) BAR [8] 적용영상, (f) 제안방식 적용영상

Fig. 8. Performance comparisons of algorithms. (a) Original image, (b) Virtual view image after compression, (c) Result image by DF [6], (d) Result image by BF [7], (e) Result image by BAR [8], (f) Result image by the proposed scheme

3. 성능 분석

제안 방식에서는 현재 가상시점의 블록을 처리할 때, 해당 시점으로 워핑된 여러 블록들 중에서 보다 신뢰도가 높은 블록을 기반으로 현재 블록을 처리해 나가는 방식을 택하고 있다. 이러한 워핑 과정에서 깊이영상의 신뢰도가 중요하게 되는데, 특히 Undo Dancer, Shark 영상과 같이 컬러영상과 깊이영상의 정렬이 잘 되어있을 경우 다른 실험 영상들보다 참조할 블록에 대한 신뢰성이 높고 그에 따라 성능이 다른 영상들과 달리 10% 가까이 향상되었음을 표 1에서 확인 할 수 있었다.

또한, 표 1의 결과를 분석해 보면, 제안방식이 컬러 및 깊이영상 각각 성능을 향상시켰음을 확인할 수 있으며, 두 영상 모두 적용하였을 때 성능의 큰 충돌 없이 성능향상이 되었음을 확인할 수 있다. 이는 깊이영상과 컬러영상이 서로 다른 특징들을 가지고 있어 제안방식으로 제거되는 경계 잡음의 종류가 서로 다르기 때문으로 분석된다. 즉, 상대

적으로 평탄한 부분을 많이 포함하고 있는 깊이영상의 경우 눈에 띄는 정도의 경계 잡음에 대하여 DCT 도메인 처리를 통하여 비교적 쉽게 제거할 수 있음을 확인하였다. 반면, 양자화 오차와 같은 깊이영상의 에러는 해당 방식을 통하여 쉽게 제거되지 않는다. 이러한 에러들은 컬러영상을 잘 못된 위치로 워핑시키게 되는데, 이는 제안방식의 컬러영상의 적용 시 제거됨을 확인할 수 있다.

더불어 압축의 강도에 따라 깊이영상의 경계 부근에 대한 손상되는 정도는 다르고, 이로 인하여 그림 7과 같이 합성 영상에 발생하는 경계 잡음의 양도 다르게 나타난다. 일반적으로 압축 강도가 강할수록 깊이영상의 손상이 심하며, 이에 따라 경계 잡음의 양도 많이 나타난다. 그 결과 압축 강도가 강할수록 제안 알고리즘이 많은 경계 잡음을 제거하여 많은 성능 향상이 되었음을 표 2에서 확인할 수 있다. 다만, GT Fly 영상의 경우 매우 낮은 화질의 경우 제안방식이 오히려 성능저하를 일으켰음을 알 수 있는데, 이는 너무 낮은 화질의 경우 깊이영상 내 물체의 형상이 완전히 왜곡

되어 왜곡된 정보를 바탕으로 처리가 되었기 때문에 분석된다.

제안 알고리즘은 기존의 경계 잡음 제거 방식과 다른 방식으로 접근을 하였다. 기존의 방식들의 경우 경계 잡음이 발생하는 특성에 따라 깊이영상을 확장하거나, 한쪽 시점의 영상만을 활용하여 가상시점 영상을 만드는 방식으로 경계 잡음을 제거한 반면, 제안 방식은 양쪽 영상을 모두 활용하여 가상영상이 속해야 할 convex set을 설정하고, 이를 최적화하는 방식으로 접근하였다. 따라서 단순히 기존 방식과의 비교 뿐 아니라, 다른 방식들과 함께 사용을 할 경우, 표 3에서 확인 할 수 있듯이 높은 성능의 결과를 획득할 수 있다. 즉, DF 혹은 BAR 방식과 함께 제안 방식을 적용하면 단독으로 적용된 결과와 비교하여 각각 3.21%, 3.48%의 성능향상을 얻게 되는데 이는 제안방식을 단독으로 적용하였을 때의 성능향상과 거의 일치함을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 압축 등의 손상으로 인하여 발생하는 가상시점 영상의 경계 잡음 제거를 위하여, 픽셀 및 DCT 도메인에서 convex set을 설정하고 이를 반복적으로 만족시키도록 사영시키는 POCS 기법을 제안하였다. 제안방식의 우수성을 입증하기 위한 실험 결과, 제안방식 적용 시 눈에 띄는 대부분의 경계 잡음이 제거됨을 확인할 수 있었으며, 객관적인 지표를 통하여 기존 알고리즘과 비교하였을 때, 제안 방식이 평균 3% 이상의 성능향상을 보여 기존 방식과 대등한 수준의 성능을 보여주었다. 또한, 제안방식은 기존 방식과 다른 접근방식을 사용하여 기존방식과 함께 적용하는 것이 가능하였으며, 기존 방식과 혼합하여 적용하였을 때 평균 8% 이상 성능이 향상되었음을 확인하였다.

참 고 문 헌 (References)

[1] Text of ISO/IEC 14496-10:200X/FDAM 1 Multi-View Video Coding, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. N9978, Hannover, Germany, 2008.

[2] A. Smolic, K. Mueller, N. Stefanoski, J. Ostermann, A. Gotchev, G. B. Akar, G. Triantafyllidis, and A. Koz, "Coding algorithms for 3DTV a

survey," IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol., vol. 17, no. 11, pp. 1606-1621, 2007.

[3] P. Merkle, A. Smolic, K. Muller, and T. Wiegand, "Multiview video plus depth representation and coding," in Proc. IEEE Int. Conf. on Image Proc., vol. 1, pp. 201 - 204, 2007.

[4] J. Kopf, M. Cohen, D. Lischinski, and M. Uyttendaele, "Joint bilateral upsampling", Proc. ACM Siggraph, vol. 26, no. 3, pp. 96, 2007.

[5] Y.S. Kang, S.B. LEE, and Y.S. Ho, "Depth map upsampling using depth local features," Electron. Lett., vol. 50, no. 3, pp. 170-171, 2014.

[6] S.Y Kim, M.B. Kim, and Y.S. Ho, "Depth map denoising based on the common distance Transform," Journal of Broadcast Engineering, vol. 17, no. 4, pp. 565-571, July 2012.

[7] D.W. Shin, and Y.S Ho, "Real-time depth Image refinement using hierarchical joint bilateral filter," Journal of Broadcast Engineering, vol. 19, no. 2, pp. 140-147, March 2014.

[8] 3D-CE3.a results on dilation filter for depth post processing, ITU-T SG 16 WP 3 and ISO/IEC JTC 1/SC 29/WG 11, Doc. JCT2-A0038, Stockholm, 2012.

[9] Y. Zhao, C. Zhu, Z. Chen, D. Tian, and L. Yu. "Boundary artifact reduction in view synthesis of 3D video: from perspective of texture-depth alignment." IEEE Trans. Broadcasting, vol. 57, no. 2, pp. 510-522, 2011.

[10] C. Lee, and Y.S. Ho. "Boundary filtering on synthesized views of 3D video." IEEE Second Int. Conf. Future Generation Communication and Networking Symposia, FGCNS'08, vol. 3, pp. 15-18, 2008.

[11] C.H. Li, J.J. Tsai, and H.M. Hang. "A triangular-warping based view synthesis scheme with enhanced artifact reduction for FTV." in Proc. IEEE Int. Conf. on Image Proc., pp. 1969-1972, 2011.

[12] L. Yang, T. Yendo, M.P. Tehrani, T. Fujii, and M. Tanimoto. "Error suppression in view synthesis using reliability reasoning for FTV." IEEE 3DTV-Conf. The True Vision-Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON), pp. 1-4, 2010.

[13] L. Yang, T. Yendo, M.P. Tehrani, T. Fujii, and M. Tanimoto. "Artifact reduction using reliability reasoning for image generation of FTV." Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 21, no. 5, pp. 542-560, 2010.

[14] A. Zakhor, "Iterative procedures for reduction of blocking effects in transform image coding," IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 2, no. 1, pp. 91-95, 1992.

[15] S. Minami and A. Zakhor, "An optimization approach for removing blocking effects in transform coding," IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol., vol. 5, no. 2, pp. 74-82, Apr. 1995.

[16] J.H. Lee, and C.H. Lee, "POCS based interpolation method for irregularly sampled image," Journal of Broadcast Engineering, vol. 16, no. 4, pp. 669-679, July 2011.

[17] Y. Kim, C.S. Park, and S.J. Ko. "Fast POCS based post-processing technique for HDTV." IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 24, no. 4, pp. 1438-1447, 2003.

[18] G.R. Kwon, H.K. Kim, Y. Kim, and S.J. Ko. "An efficient POCS-based post-processing technique using wavelet transform in HDTV." IEEE Trans. Consumer Electron., vol. 51, no. 4, pp. 1283-1290, 2005.

[19] 3D-AVC Test Model 5, ITU-T SG16 WP3 ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. JCT3V-C1003, Geneva, 2013.
[20] Common test condition of 3DV core experiments, ITU-T SG16 WP3

ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, Doc. JCT3V-C1100, Geneva, 2013.
[21] G. Bjøntegaard, "Calculation of average PNSR differences between RD-curves," ITU-T SG.16 Q.6, Doc. VCEG M33, 2001.

저 자 소 개



이 도 훈

- 2014년 8월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학 학사
- 2016년 8월 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 석사
- 2016년 10월 ~ 현재 : (주) Silicon Works 선행제품개발담당 알고리즘개발팀 연구원
- 주관심분야 : 영상처리



양 윤 모

- 2015년 2월 : 한국항공대학교 전자 및 항공전자공학 학사
- 2015년 3월 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학과 석사과정
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-2816-1685>
- 주관심분야 : 영상처리



오 병 태

- 2003년 8월 : 연세대학교 전기전자공학부 학사
- 2009년 8월 : Univ. of Southern California (USC), Dept. of Electrical Eng. 석사 및 박사
- 2009년 ~ 2013년 : 삼성종합기술원 전문연구원
- 2013년 ~ 현재 : 한국항공대학교 항공전자정보공학부 조교수
- ORCID : <http://orcid.org/0000-0003-1437-2422>
- 주관심분야 : 3차원 영상시스템, 영상처리, 비디오압축