

## Stereoscopic VR 영상을 위한 개선된 Inpainting 기법

남다운, 김해광, 한종기

세종대학교

ndy9709@sju.ac.kr, hkkim@sejong.ac.kr, hjk@sejong.edu

### Improved Inpainting Algorithm for Stereoscopic VR Image

Da-Yoon Nam, Haekwang kim, Jong-Ki Han

Sejong University

#### 요 약

본 논문에서는 Stereoscopic VR 영상안의 Hole 을 제거하기 위한 효과적인 Inpainting 기술을 소개한다. 본 논문은 Mesh-based warping 과 Blending 기술을 적용하여 Hole 을 제거하는 새로운 Inpainting 알고리즘을 기술하였고, 성능 평가를 통해 제안 방법이 고품질의 Stereoscopic VR 영상을 생성시킬 수 있음을 확인하였다.

#### 1. 서론<sup>1</sup>

Stereoscopic VR 은 하드웨어 및 통신 기술의 발달로 Video Editing, 6-DoF (Degrees of Freedom) media 등에 분야에서 다양하게 활용되고 있다 [1][2][3]. 최근까지 Stereoscopic 360 VR 카메라가 [4][5][6] 등장하고 있고, HMD (Head Mounted Display) 와 같은 대부분의 VR Display 장비는 Stereo 360 VR 시청을 지원한다. 이와 같이 산업계에 Stereoscopic VR 콘텐츠의 활용이 높아짐에 따라 고품질의 Stereo 360 VR 을 생성하는 과정은 굉장히 중요한 작업이 되었다.

Stereoscopic VR 서비스를 위해 일반적으로 좌우 시점 영상 360 VR 영상이 모두 제작되어야 한다. 실사 기반 Stereoscopic VR 영상은 일반적으로 촬영한 사진을 하나의 파노라마로 정합하는 스티칭 기술 [7][8] 이 필요하다. 최근 스마트폰 카메라와 같은 접근성이 높은 일반 카메라를 이용해 Stereoscopic VR 영상을 만들기 위한 여러 알고리즘 [9][10] 이 제안되었으며, 일반적으로 Monocular Stitching 대비 구현

복잡도가 높고, 시간과 비용이 많이 든다.

스티칭 결과로 얻은 VR 영상은 그림 1 과 같이 간혹 촬영 영상의 부족으로 인해 VR 영상 내 홀 (Hole) 이 발생할 수 있다. 특히 좌우 시점 영상에 홀이 다른 형태로 발생할 수 있고, 이는 HMD 사용자에게 시각적인 불편함을 줄 수 있다. 따라서 Stereoscopic VR 영상의 홀을 제거하기 위한 후처리 기술이 필요하다.

본 논문에서 Stereoscopic VR 영상의 품질 향상을 위한 Inpainting 기법을 제안한다. 기존 Computer Vision 에서 Inpainting 기법이란 영상 안에 손실되거나 훼손된 영역을 제거하고 실사에 가깝게 복원하는 기법을 의미하며, 최근까지 다양한 Inpainting 방법 [11] - [15] 이 제안되었다.

기존 Inpainting 기술은 주로 Object Removal [11], Image Restoration [12]-[14] 를 목적으로 제안 되었다. [11]-[14] 알고리즘들은 홀을 제거하기 위해 홀의 주변 영역만을 참조하기 때문에 할 홀의 크기가 커질수록 좋은 화질로 복원하기 어려워진다. [15] 은 Stereoscopic Stitching 에서도 사용될 수 있는 Inpainting 방법을 제안했다. [15]에서 Stereoscopic VR 영상의 경우 적용되는 좌우 영상의 공간적 상관성이 높기 때문에, 왼쪽 (또는 오른쪽) 시점 영상에 발생한 홀을 채우기 위해 오른쪽

<sup>1</sup> 연락 저자: 한종기

(또는 왼쪽) 시점 영상을 참조할 것을 제안하였다. 본 논문에서도 [15] 와 같이 Stereoscopic VR 영상의 특징을 이용하여 한 쪽 시점에서 홀이 발생했을 때, 다른 쪽 시점에서 매칭되는 영역을 찾고 해당 영역을 참조하여 홀을 Inpainting 시켰다. 또한 제안 알고리즘은 홀의 경계선에 눈에 띄는 어긋남 또는 불연속성이 발생할 수 있다는 문제를 해결하기 위해, Mesh 기반 Warping 과 Blending 을 도입하여 더 효과적으로 주관적 화질이 개선시켰다.

본 논문에서는 Stereo VR 특성을 이용하여, Stereoscopic VR 영상 품질을 향상시키기 위한 개선된 Inpainting 방법을 소개하고 전체적인 과정을 기술하였다.



(a)



(b)

그림 1. 홀이 발생하는 예시 (a) 왼쪽 시점 VR 영상, (b) 오른쪽 시점 VR 영상

## 2. 제안하는 Inpainting 기법

카메라 한 대로 촬영한 Monocular Stitching [7][8] 의 결과로 홀이 발생하는 경우, 홀이 발생한 영역에 촬영한 사진이 없는 것이기 때문에, 홀을 제거하기 위해서는 기존 Inpainting [11]-[14] 기법을 적용해야 한다. 반면, 카메라 두 대로 촬영한 영상으로 Stereoscopic Stitching 한 결과 홀이 발생하면, 오른쪽 시점(또는 왼쪽 시점)에 홀이 발생해도, 왼쪽 시점(또는 오른쪽 시점)에 해당 시점을 포함하는 영상이 있을

가능성이 높다. 이 경우 한 쪽 시점에서 발생한 홀 영역을 다른 시점에 매칭되는 영역으로 매울 수 있다.

### 2.1 Overview of Proposed Algorithm

일반 카메라로 촬영하여 Stereoscopic VR 영상을 제작한다. 좌우 시점 VR 영상을 정합하기 위해 [7][8] 와 같은 스티칭 방식을 사용하였다. 스티칭 결과로 얻은 좌우 시점 VR 영상에 대해 홀이 발생하는 경우 제안 알고리즘이 적용된다. 제안 알고리즘은 홀 탐색과정, 다른 쪽 시점으로부터 홀과 대응하는 영역을 가져와서 와핑하는 Mesh deformation 과정, 홀의 경계선에 대해 불연속성을 제거하는 Blending 과정 순으로 진행된다. 제안 알고리즘의 전체 과정을 도식화한 것을 그림 2 에서 보이고 있다.

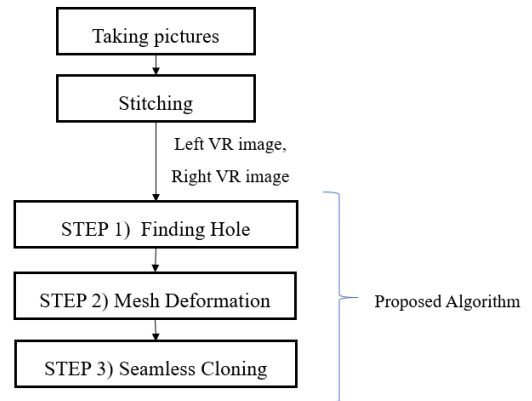


그림 2. 제안 방법의 순서도

### 2.2 Finding Hole in VR Image

좌우 시점 영상에 대해 발생한 홀을 찾기 위해 contour finding algorithm [16] 방식을 이용하였다. 좌우 시점에 대해 하나라도 홀이 발생했다면 아래의 과정을 적용한다.

### 2.3 Mesh deformation

Mesh deformation 은 Video Stabilization[17] 또는 Stitching[7] 에서 자주 사용되는 와핑 기법 중 하나이다. Mesh deformation 은 영상 단위가 아닌 블록단위로

Warping 시킬 변환 행렬을 계산하는 것이 특징이다. 제안 알고리즘은 흠을 포함하는 왼쪽 (또는 오른쪽) 시점 영상을 기준으로 오른쪽 (또는 왼쪽) 시점 영상을 와핑시키기 위해 Mesh Deformation 을 사용하였다. [7]에서 도입한 moving DLT 기법을 사용하여 Mesh Deformation 하였다.

### 2.4 Seamless Cloning

Inpainting 과정에서 다른 시점 영상을 참조하기 때문에, 흠 가장자리를 따라 눈에 띄는 경계선이 나타날 수도 있다. 제안 알고리즘은 경계선의 시각적 불편함을 줄이기 위해 Inpainting 시 흠 가장자리에 Poisson Blending[18]을 적용하였다.

### 3. 실험 결과

3 장에서는 제안한 방법의 성능 평가를 위해 Bertalmio [12], Telea [13], GiliStamp Remover [19], Theinpaint [20] 알고리즘의 결과 영상들과 제안 알고리즘의 결과 영상을 비교하였다. 성능 평가를 위해 두 가지 데이터 셋 Tree, Bench 를 실험영상으로 사용하였다. 그림 3 와 그림 4 에서 다양한 알고리즘의 결과 영상을 보이고 있다. 실제 모든 결과 영상은 그림 1 와 같이 Stereoscopic VR ERP 영상이지만, Inpainting 결과 영역을 강조해서 보기 위해 흠을 포함하는 일부 뷰포트만 추출하였다. 그림 3 과 그림 4 에서 기존 알고리즘 대비 제안 알고리즘의 효과적으로 흠을 제거하였음을 확인할 수 있다.

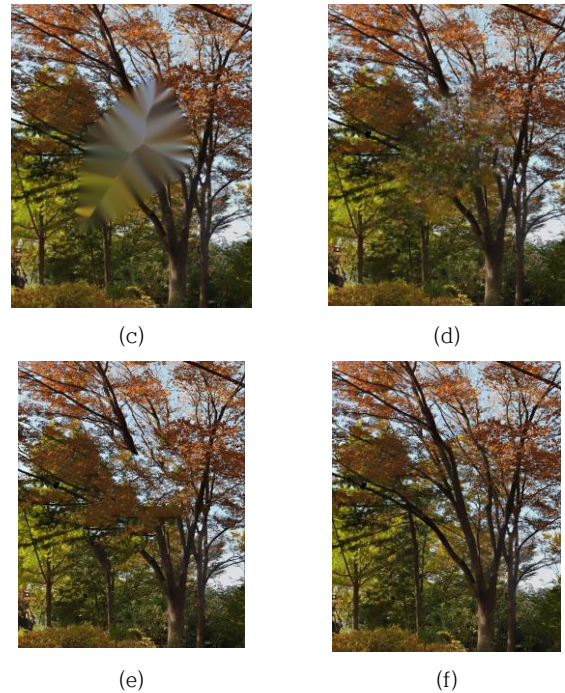
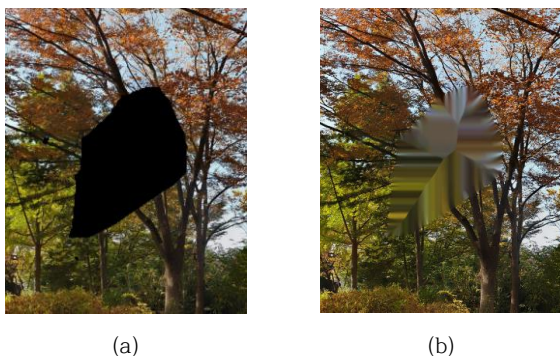
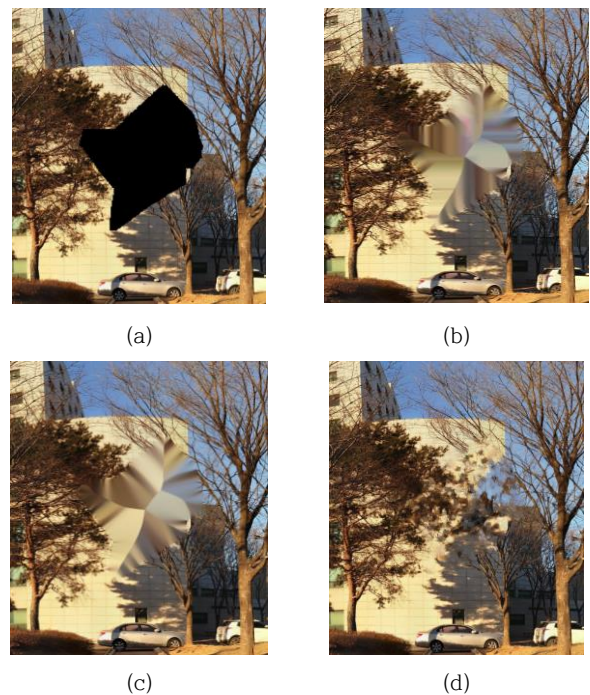


그림 3. 테스트 셋 Tree 에 대한 결과 영상 비교; (a) 흠을 포함하는 원본 영상; (b) [12] 적용 결과; (c) [13] 적용 결과, (d) [19] 적용 결과, (e) [20] 적용 결과, (f) 제안 방법 적용 결과



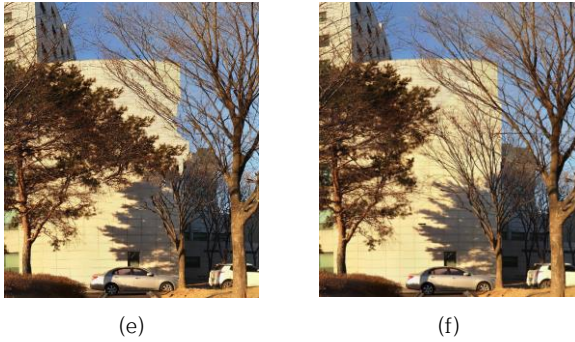


그림 4. 테스트 셋 Bench 에 대한 결과 영상 비교; (a) 홀을 포함하는 원본 영상; (b) [12] 적용 결과; (c) [13] 적용 결과, (d) [19] 적용 결과, (e) [20] 적용 결과, (f) 제안 방법 적용 결과

#### 4. 결론

본 논문은 Stereoscopic VR 영상 품질을 높이기 위한 후처리 과정으로 Inpainting 기법을 제안하며, 주관적 화질 비교를 통해 제안 알고리즘이 효과적으로 Stereoscopic VR 의 홀을 제거함을 확인하였다.

#### ACKNOWLEDGMENT

This work was partly supported by the National Research Foundation of Korea (NRF) under Grant (No. 2019R1F1A1046236) and partly by Institute for Information & communications Technology Promotion (IITP) under Grant (2017-0-00486) funded by the Korea government (MSIT).

#### 참고문헌

- [1] C. Schroers, et al., "An omnistereoscopic video pipeline for capture and display of real-world VR," *ACM Trans. Graph.*, vol. 37, no. 3, Aug. 2018, Art. no. 37.
- [2] T. Bertel, et al., "Depth augmented omnidirectional stereo for 6-DoF VR photography," in *Proc. IEEE Conf. Virtual Reality 3D User Interfaces Abstr. Workshops (VRW)*, Atlanta, GA, USA, Mar. 2020, pp. 661-662.
- [3] A. Doumanoglou et al., "Quality of experience for 3-D immersive media streaming," *IEEE Trans. Broadcast.*, vol. 64, no. 2, pp. 379-391, Jun. 2018.
- [4] <https://vuze.camera/support/vrsoftware/vuze-vr-studio>
- [5] <https://onlinemanual.insta360.com/pro2/en-us/basic/prepare/software>
- [6] D. Lindell and J. Thatte, "Virtual reality motion parallax with the Facebook surround-360," *Tech. Rep.*, 2017.
- [7] J. Zaragoza et al., "Asprojective-as-possible image stitching with moving DLT," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, vol. 36, no. 7, pp. 1285-1298, July 2014.
- [8] Brown. M; Lowe. D. G. Automatic panoramic image stitching using invariant features. *International journal of computer vision*, 2007, 74.1: 59-73.
- [9] L. Baker et al., "CasualStereo: Casual capture of stereo panoramas with spherical structure-from-motion," in *Proc. IEEE Conf. Virtual Reality 3D User Interface (VR)*, Atlanta, GA, USA, Mar. 2020, pp. 782-790
- [10] F. Zhang and F. Liu, "Casual stereoscopic panorama stitching," in *Proc. IEEE Conf. Comput. Vis. Pattern Recognit. (CVPR)*, Jun. 2015, pp. 2002-2010.
- [11] Criminisi, A., Pérez, P., Toyama, K. "Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting", *IEEE Transactions on image processing*, 13.9, pp. 1200-1212, 2004.
- [12] Bertalmio. M et al., "Navier-stokes, fluid dynamics, and image and video inpainting", 2001 *IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR 2001)*, 2001.
- [13] Telea. A. "An image inpainting technique based on the fast marching method", *Journal of graphics tools*, 2004, 9.1: 23-34.
- [14] Yan. Z et al. "Shift-net: Image inpainting via deep feature rearrangement", *European conference on computer vision (ECCV)*, pp. 1-17, 2018.
- [15] Sangguk Cha et al., "Hole Concealment Algorithm Using Camera Parameters in Stereo 360 Virtual Reality System", *MDPI Applied Sciences*, Fed. 2021.
- [16] Arbelaez. P et al. "Contour detection and hierarchical image segmentation" *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence*, vol 33, no. 5, 2010.
- [17] F. Liu et al., "Content-preserving warps for 3D video stabilization," *ACM Trans. Graph.*, vol. 28, no. 3, pp. 1-9, Jul. 2009.
- [18] Patrick Perez et al., "Poisson Image Editing," *ACM Transactions on Graphics*, Vol 22, Issue 3, pp. 313-318, July. 2003.
- [19] <http://www.gilisoft.com/product-video-watermark-removal-tool.htm>
- [20] <https://theinpaint.com/download>