

논문 2011-48SP-6-6

# 가상 시점 영상 합성을 위한 깊이 기반 가려짐 영역 메움법

## ( A Depth-based Disocclusion Filling Method for Virtual Viewpoint Image Synthesis )

안 일 구\*, 김 창 익\*\*

( Ilkoo Ahn and Changick Kim )

### 요 약

최근 3차원 영상과 자유 시점 영상에 대한 연구가 매우 활발하다. 다수의 카메라로부터 취득된 다시점 영상 사이를 가상적으로 이동하며 시청할 수 있는 자유 시점 렌더링은 다양한 분야에 적용될 수 있어 주목받는 연구주제이다. 하지만 다시점 카메라 시스템은 경제적인 비용 및 전송의 제약이 따른다. 이러한 문제를 해결하기 위한 대안으로 한 장의 텍스처 영상과 상응하는 깊이 영상을 이용하여 가상 시점을 생성하는 방법이 주목받고 있다. 가상 시점 생성 시 발생하는 문제점은 원래 시점에서는 객체에 의해 가려져 있던 영역이 가상시점에서는 보이게 된다는 것이다. 이 가려짐 영역을 자연스럽게 채우는 것은 가상 시점 렌더링의 질을 결정한다. 본 논문은 가상 시점 렌더링에서 필연적으로 발생하는 가려짐 영역을 깊이 기반 인페인팅을 이용하여 합성하는 방법을 제안한다. 텍스처 합성 기술에서 우수한 성능을 보인 패치 기반 비모수적 텍스처 합성 방법에서 중요한 요소는 어느 부분을 먼저 채울 지 우선순위를 결정하는 것과 어느 배경 영역으로 채울 지 예제를 결정하는 것이다. 본 논문에서는 헤시안(Hessian) 행렬 구조 텐서(structure tensor)를 이용해 잡음에 강건한 우선순위 설정 방법을 제안한다. 또한 홀 영역을 채울 적절한 배경 패치를 결정하는 데에 있어서는 깊이 영상을 이용해 배경영역을 알아내고 에피폴라 라인을 고려한 패치 결정 방법을 제안한다. 기존 방법들과 객관적인 비교와 주관적인 비교를 통하여 제안된 방법의 우수성을 보이고자 한다.

### Abstract

Nowadays, the 3D community is actively researching on 3D imaging and free-viewpoint video (FVV). The free-viewpoint rendering in multi-view video, virtually move through the scenes in order to create different viewpoints, has become a popular topic in 3D research that can lead to various applications. However, there are restrictions of cost-effectiveness and occupying large bandwidth in video transmission. An alternative to solve this problem is to generate virtual views using a single texture image and a corresponding depth image. A critical issue on generating virtual views is that the regions occluded by the foreground (FG) objects in the original views may become visible in the synthesized views. Filling this disocclusions (holes) in a visually plausible manner determines the quality of synthesis results. In this paper, a new approach for handling disocclusions using depth based inpainting algorithm in synthesized views is presented. Patch based non-parametric texture synthesis which shows excellent performance has two critical elements: determining where to fill first and determining what patch to be copied. In this work, a noise-robust filling priority using the structure tensor of Hessian matrix is proposed. Moreover, a patch matching algorithm excluding foreground region using depth map and considering epipolar line is proposed. Superiority of the proposed method over the existing methods is proved by comparing the experimental results.

**Keywords :** view synthesis, disocclusion filling, inpainting, depth image based rendering

## I. 서 론

\* 학생회원, \*\* 정회원, 한국과학기술원 전기및전자공학부  
(Dept. of Electrical Engineering, KAIST)

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음  
(NIPA-2011-(C1090-1011-0003))

접수일자: 2011년9월1일, 수정완료일: 2011년10월3일

최근 3차원 영화의 흥행 및 3DTV 시장의 급성장은 입체 영상에 대한 시청자의 높은 관심을 반영한다. 이러한 시청자들의 입체 영상에 대한 기대로 3차원 영상

처리에 대한 연구가 활발하다. 그 중 제한된 시점의 카메라로부터 취득된 영상을 이용하여 원래 시점이 아닌 다른 시점의 영상을 생성하여 원래 시점 사이를 자유롭게 이동하며 시청할 수 있는 기술이 각광받고 있다. 자유시점 렌더링(free viewpoint rendering, FVR)이라고 불리는 이 기술은 최근 3차원 연구에서 활발히 연구되고 있으며 가상시점 TV(FTV)<sup>[1]</sup>, 3차원 의료영상<sup>[2]</sup>, 멀티미디어 서비스<sup>[3]</sup> 및 3차원 재구성<sup>[4]</sup> 등의 응용분야에 적용될 수 있다. 자유시점 영상을 획득하기 위하여 모든 시점의 영상을 획득하는 방법을 생각할 수 있으나 모든 시점의 영상을 취득하는 것은 사실상 불가능하다. 실제 적용 가능한 방법은 다시점 영상을 취득한 후 다시점 영상을 이용한 다른 시점 영상을 획득하는 방법이다. Zitnick 등<sup>[5]</sup>은 8대 카메라의 다시점 영상에서 고품질의 가상 시점 영상을 생성하였다. 하지만 이러한 다시점 영상 시스템 또한 영상 취득 시 다수의 카메라를 설치해야 하는 경제적인 문제와 다시점 영상 전송 시 많은 대역폭(bandwidth)을 점유하는 문제를 지니고 있는 것은 마찬가지이다. 이러한 문제점을 해결하기 위한 대안으로 한 장의 텍스처(컬러) 영상과 상응하는 깊이 영상을 이용하여 가상 시점 영상을 생성하는 연구가 활발히 진행되고 있다.

이러한 가상 시점 생성은 깊이 영상을 이용하여 한 시점의 영상을 다른 시점 영상으로 사영(projection) 또는 워핑(warping)하는 깊이 영상 기반 렌더링(depth image based rendering, DIBR)이라는 기술에 의해 가능하게 되었다. 새로운 가상 시점은 사영 기하(projective geometry)에 의해 생성되는데, 어느 한 시점에서의 텍스처 영상을 해당하는 깊이 영상의 깊이 값을 이용하여 3차원 공간으로 맵핑(mapping)시킨 후 가상 시점으로 사영시켜 생성된다. 수평 방향으로 정교하게 교정된 카메라 환경에서의 사영은 단지 다른 시점 영상의 같은 행에서 디스패리티(disparity)가 존재하게 된다. 사영기하에는 카메라 시스템의 광학적 특성을 나타내는 내부 파라미터(intrinsic parameter)와 3차원 위치 및 자세를 나타내는 외부 파라미터(extrinsic parameter)가 필요하다.

깊이 영상 기반 렌더링에서 발생하는 문제는 원래 시점에서 객체에 의해 가려졌던 가려짐 영역(occluded regions)이 가상 시점에서는 보여진다는 것이다. 존재하지 않는 정보를 보여야하기 때문에 빈 영역 또는 홀(hole) 영역으로 보여지게 된다. 특히 자유시점 어플리

케이션에서는 큰 기준선(baseline, 카메라 간 거리 또는 각도)을 가지므로 큰 가려짐 영역이 발생하게 된다.

가려짐 영역을 채우는 기존의 방법들은 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 첫째는 사영 후 가려짐 영역이 발생하지 않도록 깊이 영상을 전처리하는 방법이고 둘째는 깊이 영상의 전처리 없이 사영한 후 발생한 가려짐 영역을 주변 텍스처 정보를 이용해 채우는 방식이다.

가려짐 영역이 발생하지 않도록 깊이 영상을 전처리하는 방법은 저역 통과 필터(low pass filter)를 이용하여 수행된다. 이에 보통 가우시안 저역 통과 필터<sup>[6]</sup> 또는 비대칭 필터<sup>[7~8]</sup>를 이용한다. 이와 같은 전처리는 깊이 영상의 평활화(smoothing) 처리를 통해 깊이 영상의 기울기 성분을 감소시켜 가상 시점에서 홀이 발생하지 않거나 작은 홀만이 발생하도록 한다. 하지만 이 방법은 전경 객체를 훼손시켜 시각적으로 일그러진 결과를 내게 되고<sup>[6~9]</sup> 홀 영역이 클수록 일그러짐이 심해져 큰 홀 영역을 제거할 때는 잘 쓰이지 않는다.

깊이 영상의 전처리 없이 주변 텍스처 정보를 이용해 가려짐 영역을 채우는 기존의 많은 방법들은 일반적으로 홀 영역의 주변 영역을 객체 영역과 배경영역으로 나눈 뒤, 배경영역에 속한다고 판단된 샘플들을 복사하여 홀 영역을 채운다<sup>[10~13]</sup>. 배경 영역을 복사하는 간단한 방법으로 배경 영역의 마지막 화소를 행 단위로 홀 영역을 채우는 방법이 있다<sup>[14]</sup>. 하지만 이러한 방식은 어느 일정한 구조(structure)를 가진 배경영역일 경우나 수직방향의 두드러진 에지(edge)가 존재할 경우 영상의 질을 현저히 떨어뜨린다<sup>[13]</sup>. 이보다 개선된 방법으로는 배경 영역을 적절히 처리하여 홀 영역을 채우는 것이다. Mark<sup>[13]</sup>는 보간(interpolation) 방법을 이용하였으며, Zinger 등<sup>[11]</sup>과 Mori 등<sup>[12]</sup>은 간단한 인페인팅(inpainting) 방법<sup>[15]</sup>을 이용하였다. 하지만 보간과 간단한 인페인팅 방법은 홀 영역을 흐릿(blur)하게 채워 원래의 배경 영역과의 연속성을 떨어뜨려 부자연스럽게 홀을 채우게 된다. Jiufei 등<sup>[16]</sup>은 텍스처 합성을 통하여 기존 방법보다 개선된 결과를 내는 방법을 제안하였다. 하지만 패치들의 경계지점에서 후처리를 수행하지 않아 블록화 현상(block artifacts)이 발생하거나 불연속 지점이 발생하는 단점이 있다.

깊이 영상 전처리 방법과 가려짐 영역 필링(filling) 방법을 조합한 방법들도 제안되었다. Cheng 등<sup>[17]</sup>은 양방향 필터(bilateral filter)를 이용하여 깊이 영상을 전처리한 후 배경 영역의 텍스처 정보를 이용하여 홀 영역

을 채웠다. Chen 등<sup>[9]</sup>은 에지 종속 가우시안 필터(edge-dependent Gaussian filter)를 이용하여 깊이 영상을 전처리한 후 홀 영역을 에지 방향성 보간(edge-oriented interpolation) 방법을 이용해 채웠다. 하지만 이러한 전처리 방법과 가려짐 영역 킬링 방법을 조합한 방법들에서도 앞서 언급한 문제점들은 발생하였다.

기존의 많은 홀 킬링 방법들은 좁은 기준선의 환경에서 취득한 영상을 대상으로 한 방법들이어서 넓은 기준선에서 취득한 영상에 대해 적용할 경우 시각적으로 매우 부자연스러운 결과를 낸다. 갈수록 넓은 기준선 시점의 영상을 요구하는 상황에서 큰 홀 영역을 자연스럽게 합성하는 기술은 매우 중요하다. 텍스처 합성 기술<sup>[18~25]</sup>은 작은 홀 영역 뿐 아니라 큰 홀 영역을 주변 영역으로 채우는 유용한 기술이다. 텍스처 합성 기술은 모수적(parametric) 방법<sup>[18~20]</sup>과 비모수적(nonparametric) 방법<sup>[21~25]</sup>으로 나눌 수 있다. 모수적 방법은 다양한 텍스처를 고정된(fixed) 수의 모수를 이용해 텍스처 합성을 수행한다. 비모수적 방법이 화소단위 또는 패치 단위로 점진적으로 합성되는 것에 반하여 모수적 방법에서는 영상 전체적으로 이루어진다<sup>[18~19]</sup>. 비모수적 방법은 일반적으로 텍스처 합성을 마코프 랜덤 필드(Markov random field) 모델로 가정하여 텍스처 합성을 수행하며<sup>[23~25]</sup> 화소 기반(pixel-based) 방법과 패치 기반(patch-based) 방법으로 나눌 수 있다. 화소 기반 방법은 주변 소스 화소를 한 번에 한 화소씩 목표 화소에 복사하여 합성한다. 패치 기반 방법은 패치 단위로 복사하는 방법으로 화소 기반 방법보다 빠른 수행 속도가 장점이다.

최근에는 텍스처 정보 뿐 아니라 깊이 영상 정보를 추가하여 텍스처 합성을 수행하는 연구가 진행되고 있다. Oh 등<sup>[10]</sup>은 홀 전경 경계를 홀의 맞은편 배경 경계로 대체하여 홀 영역을 채웠다. 이 방법은 가려짐 영역과 객체 영역이 인접해 있다고 가정하고 있지만, 큰 기준선 환경에서는 반드시 홀과 전경 객체가 인접해 있는 것은 아니므로 부자연스러운 결과를 낼 수 있다. Daribo와 Pesquet-Popescu<sup>[26]</sup>는 Criminisi 등<sup>[21]</sup>의 인페인팅 방법에 킬링 우선순위와 비슷한 패치를 찾는 항인 정규화(regularization) 항에 깊이 정보를 추가하여 홀 킬링을 수행하였다. 하지만 패치선정 과정에서 패치가 객체영역으로부터 선택되는 경우가 있어 객체 주변에서 객체와 배경이 섞여 일그러진 합성 결과를 보인다. Gautier 등<sup>[27]</sup>도 Criminisi<sup>[21]</sup>의 방법을 확장하여 홀 킬

링을 수행하였다. 이들은 텍스처 영상과 깊이 영상에 대해 Di Zenzo 행렬<sup>[28]</sup>의 3차원 구조 텐서(3D structure tensor)를 이용하여 데이터 항을 정의하였다. 하지만 Di Zenzo 행렬은 기울기가 큰 에지는 잘 반영해 주지만 기울기가 작은 에지는 잘 반영하지 못하는 단점이 있다. 또한 Daribo<sup>[26]</sup>과 Gautier<sup>[27]</sup>는 가상 시점의 깊이 영상이 주어졌다고 가정하고 홀을 채우는 방법을 제안하였지만 실제 응용에서 가상 시점의 깊이 영상을 어떻게 생성하느냐에 따라 성능이 크게 달라진다.

본 논문에서는 깊이 영상의 전처리 없이 넓은 기준선의 가상 시점으로 사영되어 발생한 큰 홀 영역에 대해서도 자연스러운 합성 결과를 낼 수 있는 패치 기반 비모수적 텍스처 합성 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되었다. II장에서는 제안된 방법의 기초가 되는 Criminisi의 방법을 간단하게 살펴보고 III장에서는 헤시안(Hessian) 행렬 구조 텐서를 이용한 킬링 우선순위 정하기 및 최적의 패치를 선택하는 방법에 대해 알아본다. IV장에서는 실험결과를 제시하며 이에 대한 결론을 V장에 기술한다.

## II. Criminisi의 인페인팅 알고리즘

Criminisi 등<sup>[21]</sup>은 예제(exemplar) 기반 텍스처 합성 알고리즘을 제안하였다. 이 방법은 샘플링의 개념을 이용해 텍스처 정보와 구조 정보를 함께 복사하여 홀을 채운다. 이 텍스처 합성 방법은 크게 두 가지에 의해 결과 영상이 달라질 수 있음을 보이고 있다. 그 두 가지는 홀 영역 중 어느 부분을 먼저 채울 것인가와 소스(source) 영역 내의 어떤 예제 패치로 홀 영역을 채울 것인가이다.

입력 영상  $I$ 와 홀 영역  $\Omega$ 에 대해 소스 영역  $\Phi$ 는  $\Phi = I - \Omega$ 로 정의된다. 홀 영역  $\Omega$ 의 경계  $\partial\Omega$ 을 따라 우선순위를 정하여 최고 우선순위의 화소를 중심으로 한 패치를 먼저 채우는 방식이다.  $\partial\Omega$  위의 어느 한 화소  $p$ 를 중심으로 한 패치  $\Psi_p$ 에 대해 그 우선순위  $P(p)$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$P(p) = C(p) \cdot D(p) \quad (1)$$

여기서  $C(p)$ 는 컨피던스 항으로 홀 영역을 채워갈 때 뾰족하게 튀어나온 홀 영역을 먼저 채우도록 유도한다.  $D(p)$ 는 데이터 항으로 구조가 존재하는 영역에 보다 높은 순위를 주어 구조가 전파되어 자연스럽게 홀을 채

우는 효과를 낸다. 이들 항들은 각각 다음과 같이 정의된다.

$$C(p) = \frac{\sum_{q \in \Psi_p \cap \Phi} C(q)}{|\Psi_p|} \quad D(p) = \frac{|\nabla I_p^\perp \cdot \vec{n}_p|}{\alpha} \quad (2)$$

$|\Psi_p|$ 는  $\Psi_p$ 의 화소 수,  $\alpha$ 는 정규화 계수(그레이 영상에서  $\alpha=255$ ),  $\vec{n}_p$ 는  $\Omega$ 에 직교하는 단위벡터,  $\nabla I_p^\perp$ 는  $p$  지점에서의 에지의 방향을 말한다.  $C(p)$ 는  $\Psi_p$ 내의 홀이 아닌 영역의 화소 비율을 나타내며, 초기값은 화소  $q$ 가  $\Phi$ 내에 존재하면  $C(q)=1$ ,  $\Omega$ 내에 존재하면  $C(q)=0$ 이다.

$\Omega$ 에 속한 모든 화소들의 우선순위 값을 계산하여 최고 우선순위 화소  $\hat{p}$ 를 중심으로 한 패치  $\Psi_{\hat{p}}$ 의 홀 영역을 채울 최적의 예제 패치  $\Psi_{\hat{q}}$ 을 블록 매칭 알고리즘을 이용하여 찾는다.

$$\Psi_{\hat{q}} = \operatorname{argmin}_{\Psi_q \in \Phi} \{d(\Psi_{\hat{p}}, \Psi_q)\} \quad (3)$$

$d(A,B)$ 는 단순히 패치 A와 패치 B의 홀이 아닌 영역에서의 SSD (sum of squared differences)를 말한다.

최적의 패치  $\Psi_{\hat{q}}$ 이 선택되면,  $\Psi_{\hat{p}}$ 의 홀 영역 내의 화소  $p' \in \Psi_{\hat{p}} \cap \Omega$ 은  $\Psi_{\hat{q}}$ 내의 상응하는 위치의 화소를 복사하여 홀 영역을 채우게 된다.  $\Psi_{\hat{p}}$ 의 홀 영역이 채워지면, 컨피던스 항  $C(p)$ 가 다음과 같이 업데이트 된다.

$$C(p) = C(\hat{p}), \forall p \in \Psi_{\hat{p}} \cap \Omega \quad (4)$$

### III. 제안하는 알고리즘

제안된 알고리즘의 전체적인 과정을 그림 1에 보았다. 텍스처 영상과 깊이카메라를 통해 얻어진 상응하는 깊이 영상이 시스템에 입력된다. 깊이카메라가 없을 경우 스테레오 텍스처 영상을 획득하여 Tanimoto 등<sup>[29]</sup>에 의해 제안된 깊이 추측 방법으로도 구할 수 있다. 텍스처 영상과 해당하는 깊이 영상이 주어지면 Tanimoto 등<sup>[14]</sup>와 같은 방법으로 원 시점의 영상을 가상 시점 영상으로 사영시킬 수 있다. 다른 시점으로 사영시키는 과정에서 필연적으로 가려짐 영역이 발생하게 된다. 가상 시점 합성의 목적은 필연적으로 발생하는 텍스처 영상의 가려짐 영역을 시각적으로 자연스럽게 채우는 것

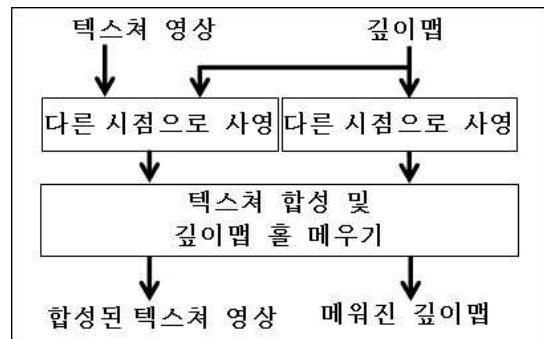


그림 1. 제안된 방법의 블록 다이어그램  
Fig. 1. Block diagram of the proposed algorithm.

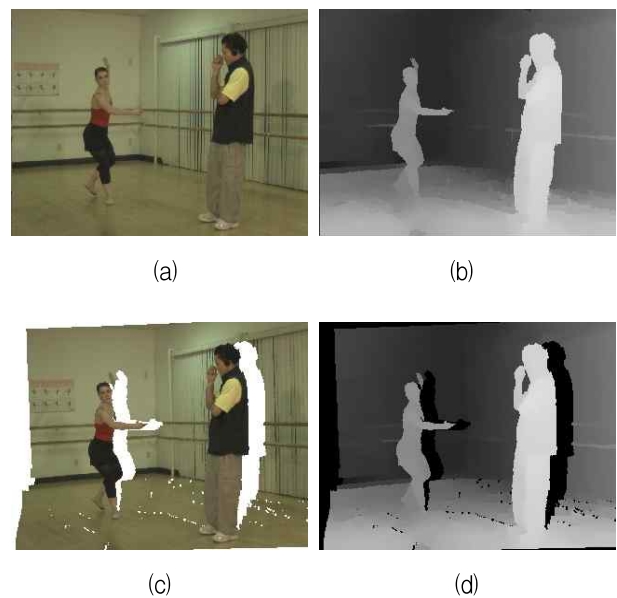


그림 2. 영상 워핑 (a)(b) 각각 워핑 전 텍스처 영상과 상응하는 깊이 영상 (c)(d) 각각 워핑된 텍스처 영상과 깊이 영상

Fig. 2. Image warping. (a)(b) A texture image and a corresponding depth image before warping respectively. (c)(d) The warped texture and depth image respectively.

이다.

그림 2-(a)와 그림 2-(b)는 사영하기 전 텍스처 영상과 상응하는 깊이 영상이며 그림 2-(c)와 그림 2-(d)는 각각 가상 시점으로 워핑된 텍스처 영상과 깊이 영상이다. 워핑된 텍스처 영상에서 흰색 영역이 홀 영역이다. 워핑된 깊이 영상도 사영된 텍스처 영상의 홀을 채우는데 이용한다.

#### 1. 편 방향(one side)에 우선순위 주기

Criminisi 방법에서는 홀 영역을 메우기 위해 모든 홀 경계선 화소들의 우선순위를 계산한다. 좌·우 방향

으로 워핑된 영상의 홀은 각 영상 객체의 좌·우방향으로 홀이 생성된다. 이와 달리 본 연구에서의 홀 필링은 배경영역에 속하는 홀 영역을 채우는 것이므로 홀을 중심으로 전경 영역의 반대쪽에서 전경 영역 방향으로 홀을 채우는 것이 객체 영역으로 홀을 채우는 오류를 줄일 수 있다.

한쪽 방향에서부터 홀을 채우기 위해 홀 영역 맵(hole region map)  $HRM$ 에 아래와 같은 마스크를 이용하여 편방향 경계선  $\delta\Omega'$ 를 아래와 같이 정의한다.

$$\delta\Omega' = (HRM \oplus B) - HRM \quad (5)$$

여기서  $\oplus$ 는 모폴로지 팽창(dilation) 연산을 뜻하며 구조요소(structuring element)  $B$ 는 아래와 같이 정의된다.

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ if warped to left}$$

$$B = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \text{ if warped to right}$$

그림 6-(a)와 그림 6-(b)는 오른쪽으로 워핑된 영상과 상응하는  $\delta\Omega'$ 을 나타낸다.

## 2. 구조 텐서를 이용한 우선순위

제안하는 방법의 필링 우선순위는 앞 장의 Criminisi 등<sup>[21]</sup>이 제안한 식 (1)의 우선순위의  $C(p)$ 항은 같고  $D(p)$ 항은 헤시안 행렬 구조 텐서를 이용하여 새로이 정의한다.

홀 영역을 배경 영역의 텍스처로 합성할 시 배경 영역의 텍스처 구조(texture structure)가 연속적으로 복사되어야 자연스러운 배경 영상을 생성할 수 있다. 따라서 어느 부분을 먼저 합성할지 우선순위를 정하는 것은 매우 중요하다. 본 논문에서는 헤시안 행렬의 기울기-방향성 성질을 합성 우선순위를 결정하는 데 이용하도록 한다.  $L \times L$  크기의 윈도우  $W$ 의  $2 \times 2$  헤시안 행렬  $G$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$G = \begin{bmatrix} \sum_{\substack{(x,y) \in W, \\ l=R,G,B,Z}} \frac{\partial^2 I_l(x,y)}{\partial x^2} & \sum_{\substack{(x,y) \in W, \\ l=R,G,B,Z}} \frac{\partial^2 I_l(x,y)}{\partial x \partial y} \\ \sum_{\substack{(x,y) \in W, \\ l=R,G,B,Z}} \frac{\partial^2 I_l(x,y)}{\partial x \partial y} & \sum_{\substack{(x,y) \in W, \\ l=R,G,B,Z}} \frac{\partial^2 I_l(x,y)}{\partial y^2} \end{bmatrix} \quad (6)$$

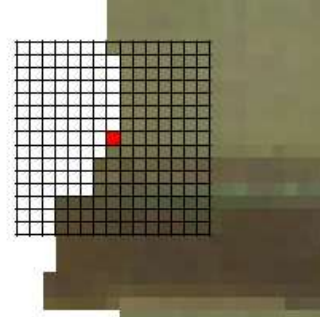


그림 3. 홀 영역의 경계  $\delta\Omega'$ 를 따라 윈도우를 씌워 데이터 항을 계산한다.

Fig. 3. The data term is computed along the hole boundary  $\delta\Omega'$ .

$I(x,y)$ 는  $(x,y)$  위치에서의  $I$  채널 영상 값을 말하며  $I$  채널은 워핑된 컬러 영상의 Red, Green, Blue 채널 영상 및 워핑된 깊이 영상을 말한다. 윈도우  $W$ 의 중심점을 홀 영역의 경계선을 따라 헤시안 행렬의 두 고유값(eigenvalues)으로 합성할 패치의 순위를 정한다.

헤시안 행렬 구조 텐서의 두 고유값  $\lambda_1, \lambda_2$ 은 구조 변화량을 나타내며 해당하는 두 고유벡터는 직교한다. 두 고유값은 윈도우 내의 에지 성분을 나타내는 것으로 아래와 같이 정리할 수 있다.

- 1)  $\lambda_1, \lambda_2$  모두 작은 경우: 윈도우 내부가 균일(homogeneous)한 영역일 경우
- 2)  $\lambda_1 \gg \lambda_2$  또는  $\lambda_2 \gg \lambda_1$  일 경우: 한쪽 방향으로 에지가 존재하는 경우
- 3)  $\lambda_1, \lambda_2$  모두 큰 경우: 모든 방향으로 에지가 존재하는 경우, 즉, 윈도우 내에 잡음이 존재하는 경우

이러한 고유값의 성질을 이용하여 본 논문에서는 데이터 항을 식(7)과 같이 정의한다.

$$D(p) = |\vec{v}_1^\perp \cdot \vec{e}_p| \times \exp\left(\frac{-K}{|\lambda_1 - \lambda_2| + \epsilon}\right) \quad (7)$$

$K$ 는 양의 상수이고  $\epsilon$ 는 분모가 0이 되어 무한대가 되는 것을 방지하기 위한 작은 상수이다. 균일한 영역이거나 잡음이 존재하는 영역에서는 두 고유값이 비슷해 지수함수의 값이 작다.  $\vec{v}_1^\perp$ 는 두 고유값 중 큰 고유값에 해당하는 고유벡터의 직교 벡터이며  $\vec{e}_p$ 는 에피폴라 라인 방향의 벡터로서 수평방향의 에피폴라 벡터인 경우  $[1 \ 0]^T$ 이다. 큰 고유값의 고유벡터의 직교벡터와 에피폴라 라인 벡터의 내적값은 경계선의 우선순위를 정하는 데 있

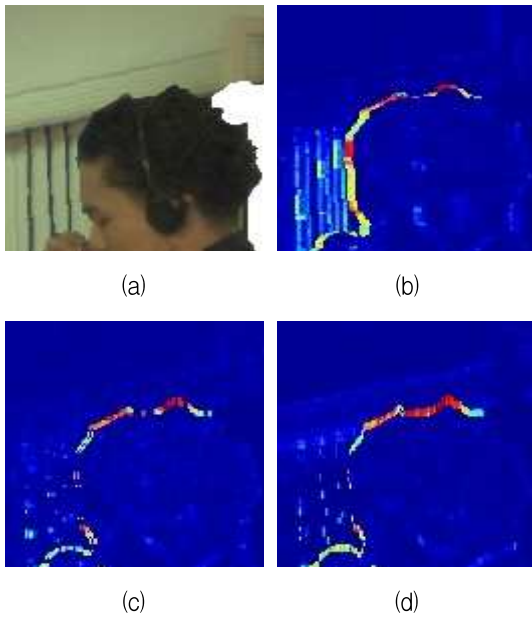


그림 4. 헤시안 영상. (a) 원본 영상 (b)  $\partial^2/\partial^2x^2$  (c)  $\partial^2/\partial x\partial y$  (d)  $\partial^2/\partial^2y^2$ . 붉은 색일수록 큰 값을, 파란색일수록 작은 값을 나타낸다.

Fig. 4. Hessian image. (a) Original image (b)  $\partial^2/\partial^2x^2$  (c)  $\partial^2/\partial x\partial y$  (d)  $\partial^2/\partial^2y^2$ . The more redish, the larger value.

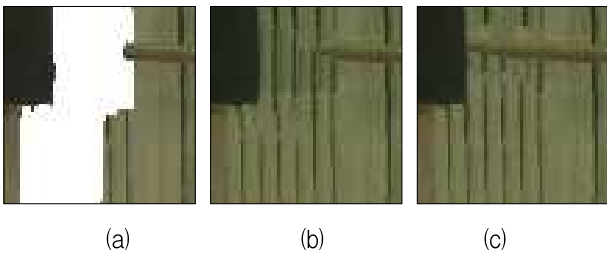


그림 5. 에피폴라 항의 효과. (a) 원본 영상 (b)(c) 각각 데이터 항에 수평방향 에피폴라 벡터를 고려하지 않은 경우와 고려한 경우의 필링 결과

Fig. 5. Effects of epipolar term. (a) Original image (b)(c) The filling results of excluding and including horizontal epipolar vector term respectively.

어서 에피폴라 라인을 고려하기 위함이다. 수평방향의 에피폴라 라인에서의 홀 영역은 수평방향으로 생성되기 때문에 수평방향의 에지를 먼저 채운 후 수직 방향의 에지를 나중에 채우는 것이 보다 자연스러운 결과를 낼 수 있다. 그림 5는 그 결과를 보여주는 것으로 그림 5-(b)는 에피폴라 라인을 고려하지 않아 수평방향 에지보다 수직 방향의 에지 성분이 더 커 수직 방향의 구조가 채워졌다. 반면 그림 5-(c)에서는 에피폴라 라인을 고려해 수평방향 구조가 먼저 채워져 배경 구조가 이어진 것을 알 수 있다.

### 3. 패치 매칭 (Patch Matching)

어느 경계 지점부터 채워야할지 순위가 정해지면 배경 영역에서 최적의 매칭 패치를 찾는다. 이 논문에서의 홀 필링은 홀 영역을 배경영역으로 채우는 것이므로, 깊이 영상을 배경 영역과 전경 영역을 구분하는데 이용하도록 한다. 홀 영역을 배경영역의 패치로 채우기 위해  $Z_{avg}$ 을 아래와 같이 정의한다.

$$Z_{avg} = \begin{cases} \frac{\sum_{q \in \Psi_p \cap \Phi} Z(q)}{|q \in \Psi_p \cap \Phi|} & \text{if } \text{var}(Z(q)|_{q \in \Psi_p \cap \Phi}) < \gamma \\ Z_{hmin}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

여기서  $\text{var}(\ast)$ 은  $\ast$ 의 분산을 나타내고  $Z(q)$ 는 화소  $q$ 에서의 깊이 값을 나타내며  $Z_{hmin}$ 은 패치내의 깊이 값의 하위 50%의 평균값을 말한다.  $\Psi_p$ 내의 깊이 영상의 분산 값이  $\gamma$ 보다 작을 경우,  $Z_{avg}$ 는 패치 내의 깊이 값의 평균값이 되며,  $\gamma$ 보다 클 경우에는  $Z_{hmin}$ 이다. 패치의 분산값에 따라  $Z_{avg}$ 을 다르게 주는 이유는 패치내의 깊이 값의 평균값만으로는 객체 영역을 세밀하게 판별하기 어렵기 때문이다.  $Z_{hmin}$ 으로 객체 경계 영역에서 보다 세밀하게 홀 영역을 채울 수 있다.

홀 영역을 배경영역의 패치로만 채우기 위해 패치 내의 화소들의 깊이 값 중  $Z_{avg}+a$  보다 큰 화소가 존재하는 후보 패치는 탐색에서 제외한다. 이렇게 하여 홀 영역이 전경 영역의 패치로부터 채워지는 것을 막을 수 있다.

배경 영역내의 가능한 패치들 중 최적의 패치는 아래에서 정의한 거리가 최소가 되는 패치이다.

$$\Psi_{\hat{q}} = \text{argmin}_{\Psi_q \in \Phi'} \{d(\Psi_{\hat{p}}, \Psi_q) + \kappa\} \quad (9)$$

$$\kappa = \sum_{\substack{p' \in \Psi_{\hat{p}} \cap \Phi', \\ q' \in \Psi_q \cap \Phi'}} |p'_y - q'_y|^2 \cdot \log\left(\frac{1}{D(\hat{p})}\right) \quad (10)$$

$d(\Psi_{\hat{p}}, \Psi_q)$ 는 두 패치의 SSD이다.  $\Phi'$ 는  $\Phi' = \Phi - Y$ 으로 정의되며  $Y$ 는  $Z_{avg}+a$ 보다 깊이가 큰 영역을 말한다.  $\kappa$ 는 수직방향으로의 두 패치간의 거리의 SSD와 현재 패치의 데이터 항의 역수의 로그값과의 곱으로 이루어진다.  $\kappa$ 의  $\sum$  내의 첫 번째 항은 탐색 영역내의 후보 패치  $\Psi_q$  중  $\Psi_{\hat{p}}$ 와 수직방향으로 같은 행에 존재하는 패치에 더 우선순위를 주어 홀 영역이 같은 행의 배경 영역으로

채워지도록 유도하였다. 그 이유는 에피폴라 라인이 수평방향이기 때문에 수직방향으로 멀리 있는 패치보다는 가까이 있는 패치로 채우는 것이 보다 자연스러운 결과를 얻을 수 있기 때문이다.  $p'$ 와  $q'$ 는 각 패치  $\Psi_p, \Psi_q$ 와  $\Phi'$ 의 교집합 영역에 속하는 화소로  $p' = [p'_x p'_y]^T$ ,  $q' = [q'_x q'_y]^T$ 이고  $p'_x, p'_y$ 는 각각  $p'$ 의  $x$ 방향과  $y$ 방향으로의 좌표값이다. 두 번째 항은 균일한 영역의 데이터 항은 작은 값을 갖고 비균일(nonhomogeneous) 영역의 데이터 항은 큰 값을 갖는 성질을 이용하여 균일한 영역일수록 큰 값을 갖도록 유도하는 항이다. 즉, 균일한 영역의 홀을 채울 때는 같은 행에 존재하는 후보 패치에 좀 더 우선순위를 주고, 비균일한 영역의 최적의 패치는 수직적 위치에 상관없이 어느 위치에서라도 최적의 후보 패치가 선택될 수 있도록 하였다.

#### 4. 깊이 영상의 홀 채우기

Daribo<sup>[26]</sup>과 Gautier<sup>[27]</sup>는 깊이 영상이 주어졌다고 가정하고 가상 시점 합성을 수행하였다. 그러나 실제 응용에서는 가상 시점에 해당하는 깊이 영상이 주어지지 않으므로 깊이 영상 사영을 수행한 후, 사영된 깊이 영상에 생기는 홀을 채워주어야 한다.

본 논문에서는 텍스처 합성 시 소스 영역의 최적의 매칭 패치  $\Psi_q$ 의 텍스처를 복사할 때, 깊이 영상도 함께 복사하여 깊이 영상을 채우는 방법을 제안한다. 즉, 채울 화소  $p' | p' \in \Psi_p \cap \Omega$ 의 깊이값은  $\Psi_q$ 의 깊이 영상 패치의 해당하는 화소의 깊이값으로부터 복사된다.

### IV. 실험

본장의 1절에서는 실험 데이터 셋과 그 전처리 방법에 대해 언급한다. 이어 2절에서는 주관적 평가와 객관적인 평가 결과로 제안된 방법의 우수성을 보인다.

#### 1. 실험 영상 전처리

제안된 시스템은 Matlab(R2008a)으로 구현되었다. 실험 영상은 Microsoft사의 'Ballet', 'Breakdancing' 시퀀스<sup>[30]</sup>를 이용하였다. 이 실험 영상들은 8대의 카메라로 촬영되었으며 각 영상의 5번 시점 영상을 4번과 2번으로 사영시켜 실험하였다. 두 영상 모두 1024×768 크기의 100프레임 길이의 영상이며 실험에는 첫 50 프레임을 사용하였다. 카메라 파라미터는 함께 주어지며 컬러

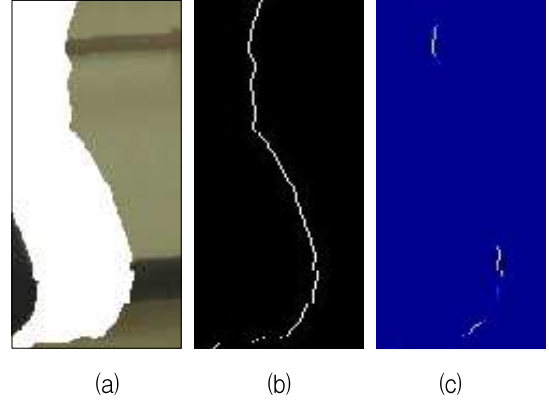


그림 6. 데이터 항  $\Delta Z$  영상 (a) 워핑된 영상 (b) (a)의 홀 영역의  $\Delta Z'$  (c) (a)의 데이터 항  $\Delta Z$  영상. 수평 방향의 에지가 존재하는 부근에서 큰 값을 보이고 있다.

Fig. 6. The data term image (a) warped image with holes (regions in white). (b)  $\Delta Z'$  of hole regions. (c) The data term image of (a). The data term has larger value near the horizontal edge.

표 1. 실험영상

Table 1. The specification of test sequences.

시퀀스	원 영상 이름	사영	해상도	프레임수
BA54	Ballet	v5→v4	1024×768	50
BA52	Ballet	v5→v2	1024×768	50
BR54	Breakdancing	v5→v4	1024×768	50
BR52	Breakdancing	v5→v2	1024×768	50

기본 세그멘테이션 방법<sup>[5]</sup>을 이용하여 각 컬러 영상에 해당하는 깊이 영상이 주어진다. 이 두 시퀀스는 카메라 간의 거리는 대략 35cm인 큰 기준선 환경에서 촬영된 영상으로 큰 기준선에서 촬영된 영상의 홀 필링 방법을 실험하기에 적합한 영상이다. 특히 시점 5→시점 2로 사영된 영상의 경우 기준선이 대략 100cm로 매우 큰 기준선으로 인해 큰 홀 영역이 발생한다. 또한 컬러 영상과 깊이 영상에서 전경과 배경 영역의 대비(contrast)가 높아 다시점의 사영 실험에 적합하다.

컬러 영상과 깊이 영상의 객체의 경계가 일치하지 않아 발생하는 잔상 현상(ghosting effect)을 해결하기 위해 아래에서 정의된  $ghost(x,y)=1$ 인 고스트 화소는 사영 후 홀 영역으로 처리된다. 여기서  $Z$ 는 깊이 영상이고  $B$ 는 9×9크기의 구조 요소(structuring element)이다.

$$ghost(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } (Z \oplus B - Z)(x,y) > \theta_1 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (11)$$

사영 후 발생하는 화소 단위의 홀들은 주변 화소들로 채우고, 객체 사이사이에 존재하는 틈(crack)들은 모폴

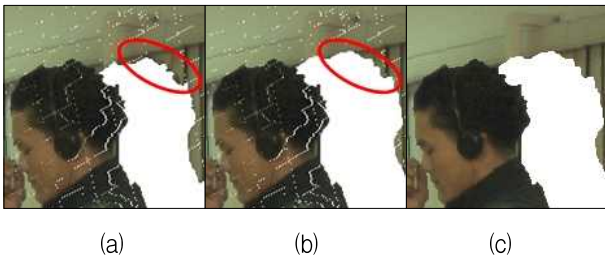


그림 7. 고스트 효과 제거. (a) 배경 영역에 객체 영역인 머리카락이 존재한다. (b) 잘못 사영된 객체가 배경 영역에서 제거되었다. (c) 작은 홀(흰 틈)과 틈(흰색이 아닌 다른 색)이 제거되었다

Fig. 7. Ghost effect removal. (a) A foreground region (black hair) exists in background region. (b) A falsely projected foreground region (black hair) in (a) is removed from background region. (c) Small holes and cracks are removed.

로지(mophology)로 제거하였다 (그림 7-(c) 참조).

제안된 방법의 합성 결과를 객관적으로 측정하기 위해 PSNR<sup>[31]</sup>과 SSIM<sup>[32]</sup>을 사용하였다. PSNR과 달리 SSIM은 영상 합성 시 기하학적 손상도 잘 반영한다.

## 2. 실험 결과

실험을 위한 몇 가지 파라미터들은 아래와 같다.

- 후보 패치 탐색 범위  $M \times N$
- 패치 사이즈  $C \times D$

후보 패치 탐색 범위는 가상 시점이 원래 시점의 왼쪽으로 사영된 시점이라면 수평방향으로의 후보 패치 탐색 범위를 왼쪽으로 치우친 범위를 갖고 오른쪽으로 사영된 시점이라면 오른쪽으로 치우친 범위를 갖는다. 예를 들어, BA54 영상의 경우 오른쪽으로 워핑된 영상이므로 수평방향으로 (-20)~(+70) 만큼의 범위를 갖는다. 이는 오른쪽으로 워핑된 시점 영상의 경우 배경 영상이 오른쪽에 있을 확률이 높다는 것을 반영한 것이다. 패치 사이즈는 영상의 크기와 배경의 구조를 전파

표 2. 실험에서의 패치 후보 탐색 범위 및 패치 사이즈

Table 2. The patch search range and patch size used in experiments.

시퀀스	후보 패치 탐색 범위 ( $M \times N$ )	패치 사이즈 ( $C \times D$ )
BA54/BR54	80×90(-20,70)	15×15
BA52/BR52	80×140(-20,120)	15×15

표 3. 제안된 방법과 비교방법들의 PSNR, SSIM을 이용한 객관적 평가

Table 3. The objective evaluations of proposed and other methods using PSNR and SSIM.

Seq.	PSNR			
	Criminisi [21]	Daribo [26]	Gautier [27]	proposed
BA54	26.94	29.25	28.95	<b>31.40</b>
BA52	24.67	24.98	24.52	<b>25.28</b>
BR54	28.76	25.57	28.92	<b>28.93</b>
BR52	26.28	<b>26.78</b>	26.34	26.68

Seq.	SSIM			
	Criminisi [21]	Daribo [26]	Gautier [27]	proposed
BA54	0.8930	0.9092	0.9174	<b>0.9260</b>
BA52	0.7625	0.7705	0.7679	<b>0.7750</b>
BR54	0.8896	0.8569	0.8965	<b>0.9009</b>
BR52	0.8310	0.8361	<b>0.8444</b>	0.8437

하는데 15×15크기가 적절한 것으로 판단되었다. 식 (7)의  $K$ 는 1000, 식 (8)의  $\gamma$ 는 100, III-3의  $a$ 는 10으로 설정하였다.

제안된 방법의 우수성을 보이기 위해 사영된 카메라 위치의 원영상을 참값(ground truth)로 가정하여 기존 방법들과 제안된 방법의 결과 영상의 PSNR, SSIM을 표 3에 보였다.

표 3에서 알 수 있는 바와 같이 시점 5→시점 4보다 시점 5→시점 2로 사영된 영상들에서 PSNR 및 SSIM이 평균적으로 낮은 평가를 내는 것은 큰 홀 영역으로 인해 에러가 그만큼 가중되기 때문이다. 굵은 글씨의 숫자가 각 영상에서 가장 우수한 평가를 받은 방법으로 대부분의 PSNR, SSIM 측정 결과에서 제안된 방법이 가장 우수한 성능을 내고 있다. BR52 시퀀스에서 Daribo<sup>[26]</sup>의 방법이 가장 우수한 성능을 보인 것은 시점 5→시점 2로 사영한 영상의 경우 홀 영역이 객체 영역과 인접하지 않을 만큼 분리되어 있어 배경의 깊이 영상을 고려한 인페인팅이 수행되어 PSNR 측정 관점에서 우수한 성능을 보이고 있다. 그러나 Daribo<sup>[26]</sup>는 깊이 영상을 참값 깊이 영상을 사용한 것으로, 실제 상황에서처럼 인페인팅된 깊이 영상을 사용하였을 경우 결과는 나빠진다.

그림 8에 프레임 단위의 PSNR 및 SSIM 점수를 나타내었다. 대부분의 시퀀스에서 제안된 방법이 우수한 성능을 보이고 있으며 시점5→시점4이 시점5→시점2보다 전체적으로 우수한 결과를 보이는 것을 확인할 수



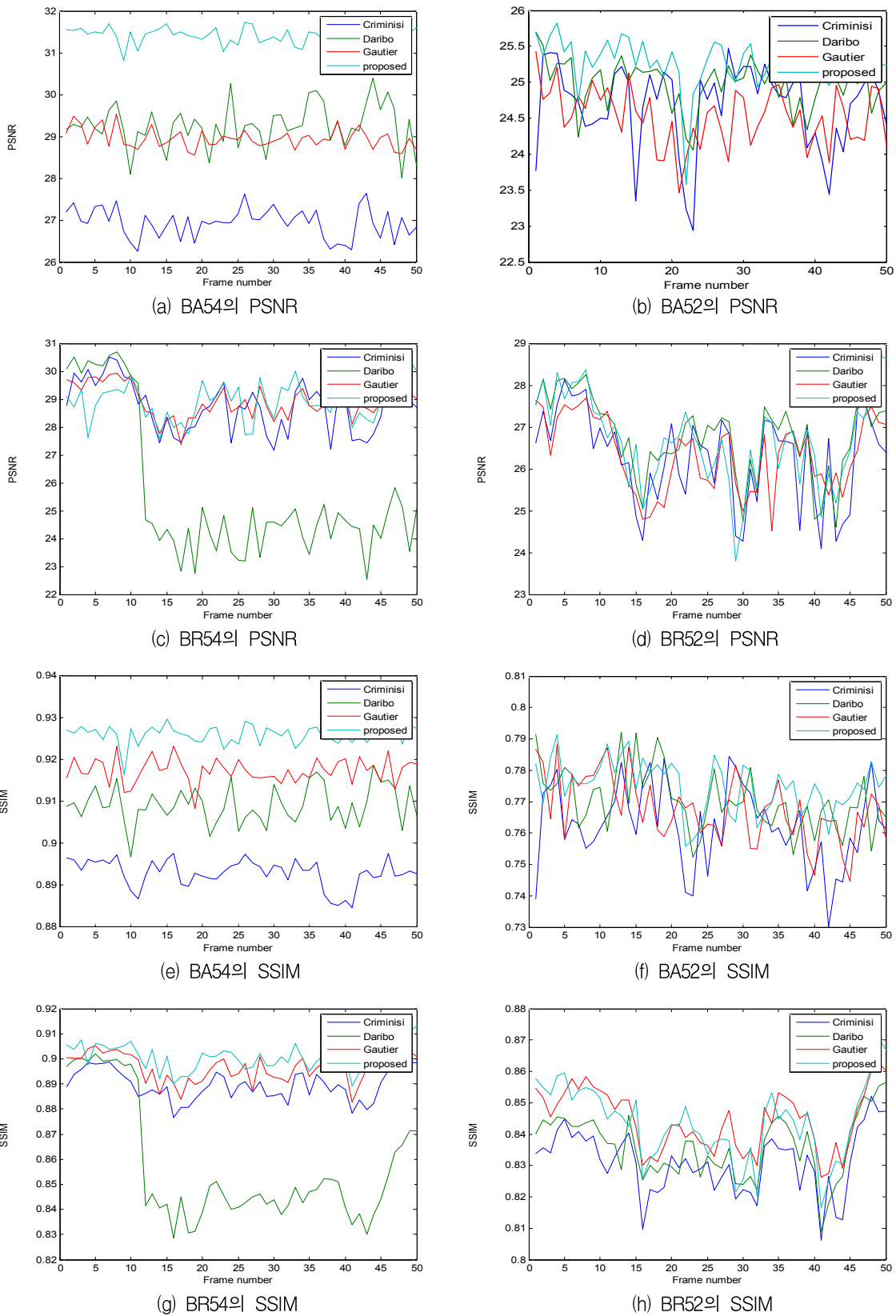


그림 8. 제안된 방법과 다른 방법들과의 객관적 품질 측정 결과

Fig. 8. Objective quality measure results of proposed and other methods.

있다. 그림 9의 주관적 평가에서 Criminisi<sup>[21]</sup>와 Daribo<sup>[26]</sup>는 한눈에 보아도 자연스럽지 않은 합성결과를 보인다. Gautier<sup>[27]</sup>의 결과는 비교적 자연스러운 합성결과를 보이지만 객체 부근에서 부자연스러운 영역이 존재한다.

또한 최적의 패치를 선택하는 것이 아닌 다수의 후보 패치들의 평균패치로 합성하는 방법으로 인해 홀을 흐리게 (blur) 채우는 결과를 보인다.



(a) v5⇒v4로의 워핑된 영상



(b) v5⇒v2로의 워핑된 영상



(c) (a)의 Criminisi<sup>[21]</sup> 방법의 결과



(d) (b)의 Criminisi<sup>[21]</sup> 방법의 결과



(e) (a)의 Daribo<sup>[26]</sup> 방법의 결과



(f) (b)의 Daribo<sup>[26]</sup> 방법의 결과



(g) (a)의 Gautier<sup>[27]</sup> 방법의 결과



(h) (b)의 Gautier<sup>[27]</sup> 방법의 결과



(i) (a)의 제안된 방법의 결과



(j) (b)의 제안된 방법의 결과

그림 9. 제안된 방법과 다른 방법들과의 결과 영상

Fig. 9. Illustration of the experimental results of proposed and other methods.

### IV. 결 론

본 논문에서는 가상 시점에서의 워핑된 영상에서 필연적으로 발생하는 가려짐 영역을 채우는 새로운 방법을 제안하였다. 헤시안 행렬 구조 텐서와 에피폴라 라인을 고려한 잡음에 강건한 우선순위 설정 방법을 제안하였고 홀 영역을 채울 적절한 배경 패치를 결정하는데 있어서는 깊이 영상을 이용해 배경영역을 검출하고 검출된 배경 영역내에서 에피폴라 라인을 고려한 패치 결정 방법을 제안하였다.

PSNR과 SSIM을 이용한 객관적 실험결과에서 제안하는 방법이 4개의 실험 영상 중 3개의 영상에서 가장 나은 성능을 보임을 알 수 있었다. 기존 방법들과 차별화된 점은 일반 영상의 인페인팅과 달리 우선순위와 패

치 결정에서 앞서 언급한 에피폴라 라인을 고려했다는 점이다. 또한 깊이 영상이 주어진 환경에서 실험한 다른 방법들과 달리 워핑된 깊이 영상만으로도 가려짐 메움을 수행한다는 것이 다른 점이다. 실험 결과 영상을 보여 객관적 평가 뿐 아니라 주관적 평가에서 제안된 방법이 가장 우수한 성능을 내는 것을 보였다.

향후 과제로는 매 프레임마다 홀 필링을 하는 현재의 방법에 시간적인 연속성을 추가하여 시간 축에서도 자연스러운 홀 필링 방법을 제안하는 것이 될 것이다.

### V. 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음

(NIPA-2011-(C1090-1111-0003)).

결과 비교를 위하여 소프트웨어를 제공해준 Gautier<sup>[27]</sup>에게 감사드린다. 데이터 셋을 제공해준 마이크로소프트 연구소(Microsoft Research)의 Interactive Visual Media Group에도 감사드린다. 논문의 부족한 점을 지적해준 익명의 논문 심사자들에게도 감사드린다.

## 참 고 문 헌

- [1] M. Tanimoto, "FTV (free viewpoint television) for 3D scene reproduction and creation," in *CVPRW'06: Proceedings of the 2006 Conference on Computer Vision and Pattern Recognition Workshop*, p. 172, Washington, DC, USA, 2006.
- [2] D. Ruijters and S. Zinger, "IGLANCE: transmission to medical high definition autostereoscopic displays," in *3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video*, pp. 1-4, Potsdam, May 2009.
- [3] A. Kubota, A. Smolic, M. Magnor, M. Tanimoto, T. Chen, and C. Zhang, "Multiview imaging and 3DTV," *IEEE Signal Processing Magazine*, vol. 24, no. 6, pp. 10 - 1, 2007.
- [4] C. Leung and B. C. Lovell, "3D reconstruction through segmentation of multi-view image sequences," *Workshop on Digital Image Computing*, vol. 1, pp. 87 - 2, 2003.
- [5] C.L. Zitnick, S.B. Kang, M. Uyttendaele, S. Winder, and R. Szeliski, "High-quality video view interpolation using a layered representation," in *ACM SIGGRAPH*, pp. 600 - 608. New York, NY, USA, 2004.
- [6] C. Fehn, "Depth Image Based Rendering (DIBR), compression and transmission for a new approach on 3D-TV," in *Proc. SPIE Stereoscopic Disp. Virtual Reality Syst. XI*, San Jose, CA, pp.93 - 04, Jan. 2004.
- [7] L. Zhang and W. J. Tamm, "Stereoscopic image generation based on depth images for 3-D TV," *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 51, no. 2, pp. 191 - 99, Jun. 2005.
- [8] P.-J. Lee and Effendi, "Adaptive edge-oriented depth image smoothing approach for depth image based rendering," in *Proc. IEEE Int. Symp. Broadband Multimedia Syst. Broadcasting*, pp. 1 - 5, Shanghai, China, Mar. 2010
- [9] W.-Y. Chen, Y.-L. Chang, S.-F. Lin, L.-F. Ding, and L.-G. Chen, "Efficient depth image based rendering with edge dependent depth filter and interpolation," in *Proc. IEEE Int. Conf. Multimedia Expo*, pp. 1314 - 1317, Amsterdam, The Netherlands, Jul. 2005.
- [10] K.J. Oh, S. Yea, and Y.S. Ho, "Hole filling method using depth based in-painting for view synthesis in free viewpoint television and 3-d video," in *PCS*, pp. 1 - 4, 2009.
- [11] S. Zinger, L. Do, and P. H. N. de With, "Free-viewpoint depth image based rendering," *J. Vis. Commun. Image Representation*, vol. 21, no. 5 - 6, pp. 533 - 541, 2010.
- [12] Y. Mori, N. Fukushima, T. Yendo, T. Fujii, and M. Tanimoto, "View generation with 3-D warping using depth information for FTV," *IEEE J. Signal Process.*, vol. 24, no. 1 - 2, pp. 65 - 72, Jan. - Feb. 2009.
- [13] W. R. Mark, "Post-rendering 3-D image warping: Visibility, reconstruction, and performance for depth-image warping," Ph.D. dissertation, Graph. Image Process. Lab., Dept. Comput. Sci., Univ. North Carolina, Chapel Hill, 1999.
- [14] M. Tanimoto, T. Fujii, and K. Suzuki, "View Synthesis Algorithm in View Synthesis Reference Software 2.0 (VSRS 2.0)," Lausanne, Switzerland, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M16090, Feb. 2008.
- [15] A. Telea, "An image inpainting technique based on the fast marching method," *Int. J. Graphic Tools*, vol. 9, no. 1, pp. 25 - 36, 2004.
- [16] X. Jiufei, X. Ming, L. Dongxiao, and Z. Ming, "A new virtual view rendering method based on depth image," in *Proc. Asia - Pacific Conf. Wearable Computing Syst.*, Shenzhen, China, pp. 147 - 150, Apr. 2010.
- [17] C.-M. Cheng, S.-J. Lin, S.-H. Lai, and J.-C. Yang, "Improved novel view synthesis from depth image with large baseline," in *Proc. IEEE Int. Conf. Pattern Recognit.*, Tampa, FL, pp. 1 - 4, Dec. 2008.
- [18] D. J. Heeger and J. R. Bergen, "Pyramid-based texture analysis/synthesis," in *Proc. ACM SIGGRAPH*, pp.229 - 238, Los Angeles, CA, 1995.
- [19] J. Portilla and E. P. Simoncelli, "A parametric texture model based on joint statistics of complex wavelet coefficients," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 40, no. 1, pp. 49 - 71, 2000.
- [20] G. Doretto, A. Chiuso, Y. N. Wu, and S. Soatto, "Dynamic textures," *Int. J. Comput. Vis.*, pp. 91 - 109, Feb. 2004.

- [21] A. Criminisi, P. Pérez, and K. Toyama, "Region filling and object removal by exemplar-based image inpainting," *IEEE Transactions on Image Processing*, vol. 13, no. 9, pp. 1200-1212, 2004.
- [22] J. Hayes and A. Efros, "Scene completion using millions of photographs," *ACM Transactions on Graphics (SIGGRAPH 2007)*, vol. 26, No. 3, Aug. 2007.
- [23] J. S. DeBonet, "Multiresolution sampling procedure for analysis and synthesis of texture images," in *Proc. ACM SIGGRAPH*, pp. 361 - 368, 1997.
- [24] M. Ashikhmin, "Synthesizing natural textures," in *Proc. ACM Symp. Interactive 3-D Graphics*, pp. 217 - 226, New York, 2001.
- [25] V. Kwatra, A. Schödl, I. Essa, G. Turk, and A. Bobick, "Graphcut textures: Image and video synthesis using graph cuts," in *Proc. ACM SIGGRAPH*, pp. 277 - 286, San Diego, CA, Jul. 2003.
- [26] I. Daribo and B. Pesquet-Popescu, "Depth-aided image inpainting for novel view synthesis," in *IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing*, 2010.
- [27] J. Gautier, O. Le Meur, C. Guillemot, "Depth-based image completion for view synthesis," *3DTV Conference: The True Vision - Capture, Transmission and Display of 3D Video (3DTV-CON)*, pp. 1 - 4, 2011.
- [28] S. Di Zenzo, "A note on the gradient of a multi-image," *Computer Vision, Graphics, and Image Processing*, vol. 33, no. 1, pp. 116-125, 1986.
- [29] M. Tanimoto, T. Fujii, and K. Suzuki, "Depth Estimation Reference Software (DERS) 5.0," Lausanne, Switzerland, ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 M16923, Oct. 2009.
- [30] <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/sbkang/3dvideodownload/>
- [31] [http://en.wikipedia.org/wiki/Peak\\_signal-to-noise\\_ratio](http://en.wikipedia.org/wiki/Peak_signal-to-noise_ratio)
- [32] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, "Image quality assessment: From error visibility to structural similarity," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 13, no. 4, pp. 600 - 612, Apr. 2004.

---

 저 자 소 개
 

---



안 일 구(학생회원)  
 2005년 전북대학교 학사.  
 2008년 한국정보통신대학교 석사.  
 2008년~현재 한국과학기술원  
 박사과정.  
 <주관심분야 : 3차원 영상처리,  
 패턴인식, 결합 검출>



김 창 익(정회원)-교신저자  
 1989년 연세대학교 학사.  
 1991년 포항공과대학교 석사.  
 2000년 워싱턴주립대학교 박사.  
 1991년~1997년 주)SKC  
 중앙연구소 선임연구원.  
 2000년~2005년 Epson Palo Alto  
 Lab. 책임연구원.  
 2005년~2009년 한국정보통신대학교 부교수.  
 2009년~현재 한국과학기술원 부교수.  
 <주관심분야 : 3D 영상처리, 의료영상, 영상이  
 해>