

논문 2011-48SP-6-1

# 다시점 카메라와 깊이 카메라를 이용한 고화질 깊이 맵 제작 기술

( High-resolution Depth Generation using Multi-view Camera and  
Time-of-Flight Depth Camera )

강 윤 석\*, 호 요 성\*\*

( Yun-Suk Kang and Yo-Sung Ho )

## 요 약

깊이 카메라는 Time-of-Flight (TOF) 기술을 이용하여 장면 내 물체들의 거리 정보를 실시간으로 측정하며, 측정된 값은 깊이 영상으로 출력되어 양안식 혹은 다시점 카메라와 함께 장면의 고화질 깊이 맵을 제작하는 데 사용된다. 그러나 깊이 카메라 자체가 가지는 기술적 한계로 인하여 영상에 잡음과 왜곡이 포함되어 있기 때문에 이를 효과적으로 제거할 수 있는 기술이 요구되며, 처리된 깊이 카메라 영상은 다양한 방법으로 색상 영상과 융합되어 장면의 깊이 정보를 생성할 수 있다. 본 논문에서는 이와 같이 다시점 카메라와 깊이 카메라를 함께 사용하여 고화질의 깊이 정보를 획득할 수 있는 혼합형 카메라 방식의 원리와 깊이 영상 처리 및 깊이 생성을 위한 기술 동향을 설명한다.

## Abstract

The depth camera measures range information of the scene in real time using Time-of-Flight (TOF) technology. Measured depth data is then regularized and provided as a depth image. This depth image is utilized with the stereo or multi-view image to generate high-resolution depth map of the scene. However, it is required to correct noise and distortion of TOF depth image due to the technical limitation of the TOF depth camera. The corrected depth image is combined with the color image in various methods, and then we obtain the high-resolution depth of the scene. In this paper, we introduce the principal and various techniques of sensor fusion for high-quality depth generation that uses multiple camera with depth cameras.

**Keywords :** Sensor fusion, Depth generation, multiple cameras, TOF camera, 3DTV

## I. 서 론

최근 3차원 영상이 크게 주목을 받고 있다. “아바타”의 성공으로 인한 3차원 영화의 인기는 후속 3차원 영화들의 꾸준한 개봉으로 이어지고 있으며, 이제는 방송에도 큰 영향을 미치고 있다. 미국, 일본, 영국 등은 이미 3차원 TV의 시범 서비스를 실시하였으며 스포츠와

다큐멘터리 분야를 중심으로 상용화를 위한 연구와 노력을 계속하고 있다. 또한 일반인들도 손쉽게 3차원 영상을 촬영할 수 있는 카메라가 출시되고 모바일 단말 기기에까지 확대되면서 3차원 영상에 대한 관심은 더욱 치솟고 있다.

이러한 3차원 영상의 원리는 인간의 시각 시스템이 거리를 인지한다는 사실로부터 설명할 수 있다. 그리스의 수학자 유클리드(Euclid)가 양쪽 눈이 가지는 시차에 의해 인간이 3차원 정보를 인식한다고 정의한 것이 기초가 되었다. 따라서 3차원 영상은 기본적으로 인간의 눈과 유사한 양안식(stereo) 카메라로부터 영상을 획득하는 것으로 얻을 수 있다. 일반적으로 사람의 양쪽 눈

\* 학생회원, \*\* 정회원, 광주과학기술원 실감방송연구센터

(Realistic Broadcasting Research Center, Gwangju Institute of Science and Technology)

접수일자: 2011년8월29일, 수정완료일: 2011년10월21일

사이의 평균 거리인 6.5cm 정도의 거리를 두고 배치된 두 대의 카메라로부터 촬영된 시차를 가지는 영상을 양안식 디스플레이 장치를 통해 보았을 때, 양쪽 눈에 같은 시점의 영상을 제공하는 일반 모니터와는 달리 시청자는 장면의 입체감을 느낄 수 있다. 그러나 시청자의 위치 이동에 따라 좀 더 자연스럽게 입체감 있는 3차원 영상을 제공하기 위해서는 세 개 이상의 카메라로부터 촬영된 영상인 다시점(multi-view) 영상이 필요하다. 시청자가 다시점 디스플레이 장치를 통해 다시점 영상을 볼 때에, 다수 시점의 영상 중 시청자의 위치에 따라 두 개의 시점의 영상이 각각의 눈으로 입력되어 입체감을 느끼게 된다. 따라서 시청자의 위치가 변함에 따라 자연스러운 입체 영상을 볼 수 있게 된다.

이러한 양안식 혹은 다시점 영상이 있을 때, 각 시점의 영상에 해당하는 장면의 깊이 정보가 있으면, 카메라 변수와 깊이 정보를 이용하여 새로운 시점에서의 영상을 만들어 낼 수 있다. 따라서 기존의 인접해있는 두 시점 사이에 양 쪽의 영상으로부터 중간 시점들에서의 영상을 만들 수 있고, 이를 이용하면 자유시점 3차원 영상을 구현할 수 있다. 이러한 가상 시점 영상의 품질은 깊이 정보에 가장 큰 영향을 받는다. 따라서 장면에 대한 정확한 깊이 정보를 획득하는 것은 3차원 입체 영상 생성에서 매우 중요하다.

장면의 깊이 정보를 획득하는 방법은 크게 세 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 수동 센서 기반의 깊이 획득 방식으로써, 카메라로 촬영된 영상을 이용하여 장면의 깊이를 예측한다. 단일 시점의 영상에 대해서는 단안 깊이 단서를 이용한 2차원 영상의 3차원 변환을 예로 들 수 있으며<sup>[1]</sup>, 양안식 혹은 다시점 영상에서는 스테레오 정합(stereo matching) 방법을 이용하여 색상 영상에 해당하는 깊이 맵을 구한다<sup>[2]</sup>. 이 방법들은 촬영된 영상만을 가지고 깊이 정보를 구할 수 있다는 장점이 있으나 깊이 단서가 불충분한 경우에 장면의 정확한 깊이 정보를 구할 수 없으며, 구현된 알고리즘의 복잡도가 높다는 문제점이 있다.

두 번째는 능동 센서 기반의 깊이 획득 방식이다. 이 방식에서는 깊이를 측정할 수 있는 장비를 이용하여 장면의 깊이 정보를 획득한다. 3차원 스캐너, 구조광 패턴(structured light pattern)<sup>[3]</sup>, 깊이 카메라 등이 사용된다. 이와 같은 장비들은 장면의 실제 깊이 정보를 측정하여 비교적 정확한 값을 얻을 수 있지만, 촬영 공간의 제약과 기계적인 한계를 가지고 있는 문제점이 있다.

최근에는 수동과 능동 센서 기반의 방식을 결합한 혼합형 방식이 주목받고 있다. 혼합형 방식은 일반적으로 양안식 혹은 다시점 카메라와 함께 Time-of-Flight (TOF) 깊이 카메라를 사용하여 장면을 촬영하고, 해당 장면의 깊이 정보를 획득하며, 수동과 능동 센서 기반의 방식 각각의 취약점을 상호보완적으로 이용하여 고화질의 깊이 맵을 빠른 시간에 생성할 수 있다.

본 논문에서는 다시점 카메라와 깊이 카메라를 이용한 혼합형 깊이 정보 획득 방식을 사용하여 고화질의 깊이 영상을 제작하는 연구 및 기술 동향을 살펴본다. 먼저 TOF 깊이 카메라의 원리와 특징에 대해 설명한 후, TOF 깊이 영상을 개선하는 방법, 깊이 카메라 영상과 다시점 색상 영상을 함께 사용하여 장면의 깊이를 구하는 다양한 방법들을 소개한다. 그리고 결론에서는 지금까지 소개한 방법들에 대하여 요약하고 앞으로 필요한 연구에 대해 언급하며 본 논문을 마무리한다.

## II. Time-of-Flight 깊이 카메라의 원리와 특징

깊이 카메라는 촬영하고자하는 장면의 깊이 정보, 즉 카메라로부터 장면 내 물체까지의 거리를 측정하여 영상으로 출력하는 장비이다. 최초의 깊이 카메라는 이스라엘 3DV Systems에서 개발한 ZCam이다<sup>[4]</sup>. ZCam은 적외선 센서와 일반적인 카메라가 결합된 형태로 이루어져 있으며, 색상 영상의 촬영과 동시에 TOF 기술을 사용하여 장면의 깊이 영상을 획득한다. ZCam은 날씨 방송, 영화의 특수효과 등을 연출할 때에 촬영하는 영상의 전경과 배경을 쉽게 분리하여 합성하기 위한 크로마키(chroma key) 기술을 위해 개발되었으며, 기존의 크로마키 기술과 달리 장면의 깊이 정보를 이용하여 다중 레이어를 생성할 수 있다.

TOF 기술이란, 센서로부터 나온 적외선 혹은 빛의 신호가 촬영하는 장면 내의 물체에 반사되어 돌아오는 시간을 계산하여 거리를 측정하는 방식이다. 촬영의 매 프레임마다 반사되어 돌아온 신호는 카메라의 CCD 센서 앞에 위치한 셔터에 의해 구분되며, 이렇게 획득된 깊이 정보는 정규화를 통해 깊이 공간을 생성하고 0부터 255의 깊이 레벨을 가지는 깊이 영상으로 변환된다.

ZCam의 개발 이후 TOF 기술을 이용한 많은 깊이 카메라들이 개발되었다. 대표적으로 Swiss Ranger와 PMD Technology가 있으며, 이 밖에도 Fonic, Canesta, Panasonic 등에서도 깊이 카메라를 출시하였

다. ZCam 이후의 깊이 카메라들은 크기가 매우 작아지고 성능도 개선되었으며 ZCam보다 낮은 가격으로 구매할 수 있는 장점이 있다. 그러나 ZCam이 동일 시점에서 같은 해상도의 색상 영상과 깊이 영상을 제공하는 것과는 달리, 이후의 깊이 카메라들은 일반적으로 색상 영상을 촬영할 수 없으며, 색상 영상을 촬영할 수 있도록 설계된 카메라라도 촬영되는 깊이 영상과 색상 영상의 해상도 및 촬영 시점이 다른 특성을 가지고 있다.

### III. Time-of-Flight 깊이 영상의 개선 방법

II장에서 소개한 여러 종류의 TOF 깊이 카메라는 장면의 깊이 정보를 획득하여 정규화한 깊이 영상을 출력한다. 그림 1은 SR4000의 출력 영상을 나타내는데, 일반적으로 이러한 깊이 카메라들은 그림 1(a)와 같은 깊이 영상과 함께 그림 1(b)와 같은 명암(intensity) 영상을 제공한다. 명암 영상은 주로 카메라 보정(calibration)을 위해 사용되며, 낮은 품질로 인하여 콘텐츠를 위한 영상으로는 사용되기 어렵다. 또한 깊이 영상도 마찬가지로 여러 가지 잡음과 왜곡이 존재하여 이를 최소화하는 작업이 필요하다. 본 장에서는 TOF 깊이 카메라의 영상에서 발생하는 잡음과 왜곡을 소개하고 이를 보정하기 위해 제안된 방법들을 살펴본다.



(a) 깊이 영상 (b) 명암 영상

그림 1. SR4000의 출력 영상  
Fig. 1. Output images from SR4000.

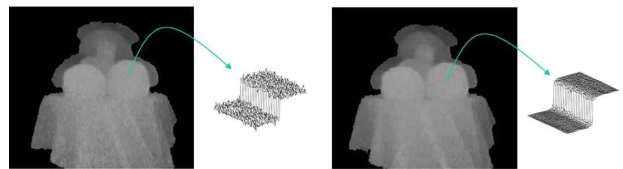
#### 1. 광학 잡음(optical noise) 제거

그림 2는 ZCam으로 촬영한 깊이 영상을 보여준다. 장면의 배경 부분은 0의 값을 가지지만 장면 내에 있는 물체는 깊이 값을 가진다. 그런데 이 물체에 해당하는 깊이 값의 특성은 그림 2(a)에 나타난 것처럼, 균일한 깊이를 가진 부분임에도 영역 내에서 깊이 값들에 많은 광학 잡음(optical noise)이 발생한 것을 볼 수 있다. 이와 같은 현상을 제거하기 위해서 깊이 영상의 크기를

줄이고, 깊이의 불연속 구간을 보존함과 동시에 잡음 제거를 위하여 양방향 필터(bilateral filter)를 취한 후, 다시 선형 보간법을 이용하여 원래의 해상도로 복원한 결과가 그림 2(b)에 나타나 있다<sup>[5]</sup>.

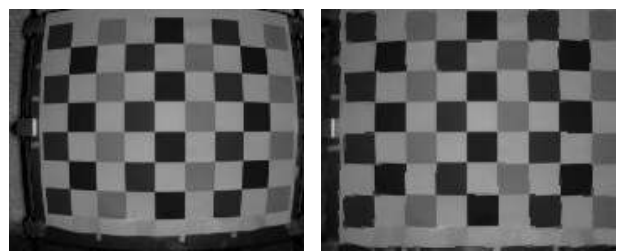
#### 2. 렌즈 왜곡 보정

그림 3(a)는 SR4000으로 촬영한 패턴 영상에 렌즈 왜곡이 발생한 것을 보여준다. 렌즈 왜곡은 실제로 직선인 물체가 영상에 곡선의 형태로 영상에 나타나는 현상이며, 렌즈 왜곡이 발생한 깊이 카메라 영상을 색상 영상과 함께 쓰고자 할 때에는 반드시 왜곡을 보정해야 한다. 이러한 렌즈 왜곡을 보정하기 위해서는, 왜곡된 직선 성분을 영상에서 찾고, 원형으로 발생한 왜곡의 중심점과 왜곡 정도를 계산하여 영상을 복원하는 변환 함수를 구할 수 있으며, 이 함수를 통하여 그림 3(b)와 같이 렌즈 왜곡이 보정된 영상을 복원할 수 있다<sup>[6]</sup>.



(a) 원본 영상 (b) 복원 영상

그림 2. 광학 잡음 제거  
Fig. 2. Removal of optical noise.



(a) 원본 영상 (b) 복원 영상

그림 3. 렌즈 왜곡 보정  
Fig. 3. Lens distortion correction.

#### 3. 물체의 색상에 따른 깊이 값 복원

그림 4는 ZCam으로 촬영한 깊이 영상과 그에 해당하는 색상 영상을 보여준다. 그림 4의 깊이 영상에서는 모델의 머리카락 부분의 깊이 정보가 전혀 획득되지 않았음을 볼 수 있다. 이와 같은 문제는 물체의 특정 색상이나 특정 재질에 대해 깊이 값을 획득하지 못하거나 불안정하게 획득하는 깊이 카메라의 특성으로부터 발생한 것이다. 머리카락 부분이 없어지는 문제를 해결하기



그림 4. 머리카락 영역의 깊이 값 손실  
Fig. 4. Depth acquisition failure at hair region.

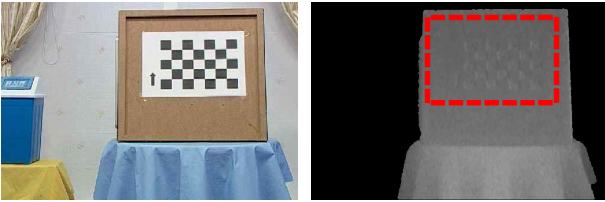


그림 5. 표면 색상에 따른 깊이 값 오차  
Fig. 5. Depth acquisition error due to surface color.

위해서는 색상 영상에서 모델의 얼굴 영역을 찾은 후, 얼굴 영역 주변에 다중 씨드(seed)를 할당하고, 각 씨드의 주변 화소 값을 미리 설정한 임계값과 비교하여 머리카락 영역을 예측한다. 그리고 깊이 영상에서 얼굴의 깊이 값을 고려한 비선형 보간법으로 머리카락 영역을 예측하는 방법이 사용된다<sup>[7]</sup>.

또한 촬영하는 물체가 카메라로부터 동일 거리에 있는 평면이라 할지라도, 표면의 색상에 따라서 획득되는 깊이 값이 다른 경우가 발생한다. 그림 5는 이러한 현상을 보여준다. 카메라 보정을 위해 촬영된 패턴 영상에서 흰 부분과 검정색 부분이 각각 다른 깊이 값을 가지고 있는 것을 발견할 수 있으며, 일반적으로 검정색을 비롯한 어두운 색상에서 이와 같은 문제가 주로 발생하게 된다. 이러한 경우 측정된 값을 기반으로 바이어스 테이블을 생성하여 그 값을 보정하는 방법이 사용된다<sup>[8]</sup>.

#### 4. TOF 깊이 카메라의 한계

TOF 깊이 카메라는 많은 장점을 가지고 있고, 앞에서 설명한 것처럼 부족한 부분을 보완할 수 있는 좋은 방법들도 많이 제안되었다. 그러나 TOF 깊이 카메라의 한계 또한 분명히 존재한다. 첫 번째는 촬영 거리에 따른 촬영 환경의 제약이다. 대부분의 TOF 깊이 카메라는 사용하는 변조 주파수 영역에 따라서 촬영 거리가 제한이 되어있다. 다시 말해, 촬영 환경이 실내로 제한된다는 것이다. 또한 실내라 할지라도 거리 측정을 위한 신호가 반사되어 돌아오기 위한 반사판 역할을 하는



그림 6. 촬영 환경의 제약  
Fig. 6. Limitation on capturing environment.

배경이 카메라에 대해 상대적으로 낮은 위치에 있는 경우, 혹은 카메라가 정면이 아닌 약간 위쪽을 바라보는 경우에는 그림 6과 같이 신호가 돌아올 수 없어서 생기는 현상이 발생하게 된다.

또한, TOF 깊이 카메라로 좀 더 넓은 장면을 촬영하기 위해서는 다시점 카메라를 사용하는 것처럼 TOF 깊이 카메라도 여러 대를 사용하는 것을 고려할 수 있다. 하지만 두 대 이상의 깊이 카메라를 사용할 경우, 카메라로 돌아오는 신호의 구분을 위해 신호의 변조 주파수가 구분되어야 한다. SR4000 깊이 카메라는 최대 세 개의 변조 주파수를 제공한다<sup>[9]</sup>. 따라서 이 경우에 동시에 촬영할 수 있는 깊이 카메라의 수는 세 대로 제한되며, 이렇게 촬영하였을 경우 변조 주파수에 따라, 또 깊이 카메라의 위치에 따라 획득되는 깊이 값에 미세한 차이가 발생하게 된다.

## IV. 혼합형 방식의 고화질 깊이 생성 방법

본 장에서는 TOF 깊이 카메라와 양안식 혹은 다시점 카메라를 함께 사용하여 장면의 고화질 깊이 정보를 구하는 방법들에 대해 소개한다. 크게 두 가지 부류의 방법으로 나눌 수 있는데, 분류하는 방법으로는 장면의 깊이 맵 생성을 위하여 스테레오 정합을 사용하는지의 여부이다. 정합을 사용하지 않는 방법은 동작 시간이 빠르지만 최적화 측면에서 볼 때 미흡한 점이 있으며, 정합을 사용하는 경우 복잡도는 증가하지만 양안식 혹은 다시점 환경에서 최적의 깊이 값을 찾아낼 수 있다.

### 1. 깊이 영상의 이동 및 채움을 이용하는 방법

첫 번째 방법은 잡음과 왜곡 등이 개선된 TOF 깊이 영상을 색상 영상쪽으로 이동하고, 이동된 위치에서의 값을 기반으로 깊이 맵을 만드는 방법이다. 깊이 카메라에서 촬영된 깊이 영상은 색상 영상의 위치로 이동될

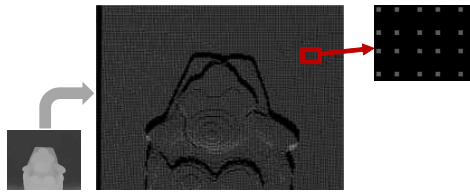


그림 7. TOF 깊이 영상의 3차원 워핑  
Fig. 7. 3D warping of TOF depth image.



(a) 원본 색상 및 깊이 영상 (b) 생성된 변위 맵  
그림 8. 깊이 영상의 이동과 채움을 이용해 얻은 결과  
Fig. 8. Result by translating and filling TOF depth data.

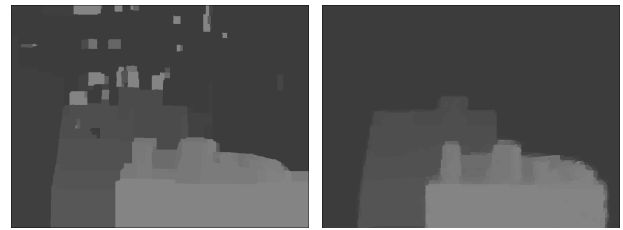
때에는 주로 3차원 워핑(3D warping) 기법을 이용하며, 이를 위해서는 카메라 변수(camera parameters)가 필요하다. 그림 7은 TOF 깊이 영상이 3차원 워핑을 통해 색상 영상의 위치로 이동된 결과를 보여준다. 해상도의 차이로 인해 몇 화소씩 건너서 값이 존재한다.

이렇게 옮겨진 TOF 깊이 영상은 색상 영상보다 해상도가 낮기 때문에 영상을 보간해야 한다. 따라서 현재 화소의 위치에서 색상 영상의 경계 정보와 깊이 영상의 주변 값들을 고려해 최적의 깊이 값을 찾는 작업으로 깊이 맵을 얻을 수 있다<sup>[10]</sup>. 한편, 색상 영상을 색상에 따라 분할하고, 각각의 분할된 영역 내에 할당된 TOF 깊이 값들 변위로 변환 후 채워 넣는 방법도 있다. 이 방법 역시 색상 영상의 경계 정보를 이용하여 변위 맵을 생성한다고 볼 수 있다. 이 방법을 이용하여 얻은 결과가 그림 8에 나타나 있다<sup>[11]</sup>.

깊이 영상을 이동할 때에 3차원 워핑을 사용하지 않고 미리 설정된 테이블을 이용하는 경우, 일반적으로 깊이 영상의 해상도는 색상 영상의 그것보다 작기 때문에 이동 후 해상도를 키워주는 작업이 필요하다. 이와 같은 경우, 합동 양방향 필터(joint bilateral filter)를 사용하여 색상 영상을 고려한 해상도 확장을 통해 최종 깊이 맵을 얻을 수 있다<sup>[12]</sup>.

## 2. 스테레오 정합과 함께 이용하는 방법

두 번째 방법은 TOF 깊이 정보를 스테레오 정합 시에 함께 이용하는 것이다. 이 경우에는 TOF 깊이 정보를 여러 가지로 활용할 수 있는데, 가장 간단한 예로, 3



(a) 스테레오 정합 결과 (b) TOF를 함께 사용한 결과

그림 9. 스테레오 정합에 TOF를 함께 사용한 결과  
Fig. 9. Stereo matching with TOF depth data.

차원 워핑을 통해 이동된 깊이 값을 변위(disparity)로 변환하여 스테레오 정합을 위한 탐색위치의 초기 값으로 이용하는 것이다<sup>[13]</sup>. 그러면 정합을 위해 탐색해야 할 구간이 짧아지고, 지역 최저점(local minima)에 빠질 가능성이 줄어들고 동시에 전역 최저점(global minima)을 찾을 가능성이 높아진다. 그러나 3차원 워핑을 통해 이동된 깊이 카메라의 값들은 색상 영상의 경계와 정확히 일치하지 않기 때문에 잘못 사용하였을 경우 스테레오 정합의 효율을 떨어뜨릴 수 있다. 따라서 현재 화소의 위치에서 주변에 있는 깊이 값들에 대해 비용을 계산한 후, 비용이 가장 적은 값을 스테레오 정합의 초기 값으로 선택하면 이러한 문제를 해결할 수 있다<sup>[14]</sup>.

TOF 깊이 카메라로부터 이동되어 온 깊이 정보를 스테레오 정합의 비용 함수(cost function)에 직접 포함시키는 방법도 있다. 이 경우에는 일반적으로 사용되는 자료(data)항과 평활화(smoothness)항 외에 TOF항을 추가하여 비용 함수를 만들고, 각 항이 전체 비용함수에서 차지하는 비율을 조절한다. TOF항은 현재 화소 위치에서 구해진 초기 변위 값과, TOF 깊이 카메라에서 온 깊이가 변위로 변환된 값의 차이로 구해진다<sup>[8]</sup>.

이와 같은 방법을 사용하면 스테레오 정합의 취약점인 무늬가 없거나 약한 영역에서도 그림 9의 결과와 같이 장면의 정확하고 안정된 깊이 정보를 구할 수 있다<sup>[13]</sup>. 또한 일반 스테레오 정합에 비해 복잡도가 감소하며 더 높은 성능을 나타낸다.

## V. 결 론

본 논문에서는 장면의 깊이 정보를 획득하기 위해 다시점 카메라와 다시점 깊이 카메라를 함께 이용하는 혼합형 깊이 획득 방식에 대해 소개하고 현재까지 제안된 여러 방법들을 살펴보았다. TOF 깊이 카메라는 장면의

깊이 정보를 직접 측정할 수 있는 카메라로써, 획득한 깊이 영상의 품질을 개선한 후, 양안식 혹은 다시점 카메라와 함께 사용될 때 고화질의 깊이 맵을 획득할 수 있었다. 이러한 혼합형 방식은 상호보완적인 접근을 취하고 있기 때문에, 수동 센서 기반 혹은 능동 센서 기반의 깊이 획득 방식보다 우수한 성능을 나타낸다. 그러나 TOF 깊이 카메라의 촬영 환경 및 거리에 제약이 되어있고, 많은 양의 잡음과 왜곡이 영상에 나타나는 문제들, 그리고 변조 주파수의 개수가 정해져있는 것으로 깊이 카메라의 기술이 더 개선되어야 한다.

또한 현재까지 제안된 방법들은 대부분 알고리즘의 실시간 구현을 목적으로 하고 있지 않기 때문에, 3차원 콘텐츠 제작 및 3차원 방송 응용을 위해서는 동작 시간에 대한 연구가 필요하다. 이러한 부분들이 모두 충족 되어진다면 앞에서 소개한 방법들이 다시점 3차원 입체 영상을 이용한 콘텐츠 제작, 3차원 방송, 가상 및 증강 현실 등의 분야에서 폭넓게 활용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] S. Saxena, M. Sun, and A. Y. Ng, "Make 3D: Learning 3D Scene Structure from a Single Still Image," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Intelligence*, vol. 31, no. 5, pp. 824-840, May 2009.
- [2] J. Sun, N.N. Zheng, and H.Y. Shum, "Stereo Matching Using Belief Propagation," *IEEE Transactions of Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 25, no. 7, pp. 787-800, May 2003.
- [3] J. Salvi, S. Fernandez, T. Pribanic, and X. Llado, "A State of the Art in Structured Light Patterns for Surface Profilometry," *Pattern Recognition*, vol. 43, issue 8, pp. 2666-2680, Aug. 2010.
- [4] ZCam Product Data Sheet, StudioGE, 2009.
- [5] S.Y. Kim, E.K. Lee, and Y.S. Ho, "Generation of ROI Enhanced Depth Maps Using Stereoscopic Cameras and a Depth Camera," *IEEE Transactions on Broadcasting*, vol. 54, no. 4, pp. 732-740, Dec. 2008.
- [6] A. Wang, T. Qiu, and L. Shao, "A Simple Method of Radial Distortion Correction with Centre of Distortion Estimation," *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, vol. 35, no. 3, pp. 165-172, July 2009.
- [7] J.H. Cho, I.Y. Jang, S.M. Kim, and K.H. Lee, "Depth Image Processing Technique for Representing Human Actors in 3DTV Using Single Depth Camera," *Proc. of 3DTV Conference*, pp. 1-4, May 2007.
- [8] J. Zhu, L. Wang, R. Yang, and J. Davis, "Fusion of Time-of-Flight Depth and Stereo for High Accuracy Depth Maps," *Proc. of IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, pp. 231-236, June 2008.
- [9] SR4000 data sheet, Mesa Imaging, 2010.
- [10] A. Frick, B. Bartczack and R. Koch, "3D-TV LDV Content Generation with a Hybrid TOF-Multi Camera Rig," *Proc. of 3DTV Conference*, pp. 1-4, June 2010.
- [11] Y.S. Kang and Y.S. Ho, "Disparity Map Generation for Color Image Using TOF Depth Camera," *Proc. of 3DTV Conference*, pp. 1-4, May 2011.
- [12] Q. Yang, K. Tan, B. Culbertson, and J. Apostolopoulos, "Fusion of Active and Passive Sensors for Fast 3D Capture," *Proc. of IEEE International Workshop on Multimedia Signal Processing*, pp. 1-6, Oct. 2010.
- [13] Y. Ho and Y. Kang, "Multi-view Depth Generation using Multi-Depth Camera System," *Proc. of International Conference on 3D Systems and Applications*, pp. 67-70, May 2010.
- [14] E. Lee and Y. Ho, "Generation of High-Quality Depth Maps Using Hybrid Camera System for 3-D Video," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 22, issue 1, pp. 73-84, Jan. 2011.

저 자 소 개



강 윤 석(학생회원)  
 2007년 한국항공대학교  
 전자공학과 학사  
 2008년 광주과학기술원 정보통신  
 공학과 석사  
 2008년~현재 광주과학기술원  
 정보통신공학부 박사과정

<주관심분야 : 디지털 영상처리, 다시점 영상 획득 및 처리, 3차원 TV, 실감방송>



호 요 성(정회원)  
 1981년 서울대학교 전자공학과  
 학사  
 1983년 서울대학교 전자공학과  
 석사  
 1989년 Univ. of California, Santa  
 Barbara, Department of  
 Electrical and Computer  
 Engineering, 박사

1983년 3월~1995년 9월 한국전자통신연구소  
 선임연구원

1990년 1월~1993년 5월 미국 Philips 연구소,  
 Senior Research Member

1995년 9월~현재 광주과학기술원 정보통신  
 공학부 교수

<주관심분야 : 디지털 신호처리, 영상신호 처리 및 압축, 멀티미디어 시스템, 디지털 TV와 고선명 TV, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감방송>