

## 다시점 카메라와 깊이 카메라를 이용한 3차원 영상 생성 방법

호요성, 이은경, 강윤석 (광주과학기술원 실감방송연구센터)

### 차 례

1. 서론
2. 3차원 영상생성을 위한 전처리 기술
3. 복합형 카메라 시스템을 이용한 3차원 영상 생성
4. 다시점 깊이 카메라 시스템을 이용한 3차원 영상 생성
5. 결론

### 1. 서론

최근 개봉된 영화 '아바타'의 영향으로 3차원 영상에 대한 관심과 열기가 매우 고조되어 있다. 다양한 3차원 영화의 제작과 개봉이 예정되어 있고, 기존에 제작되었던 콘텐츠를 3차원으로 복원하는 시도들이 진행되고 있으며, 교육, 문화, 광고, 게임 등 여러 가지 방면에서 3차원 영상이 차지하는 비중이 높아지고 있다. 이에 따라, 3차원 콘텐츠의 제작과 이를 재생할 수 있는 3차원 입체 디스플레이 분야의 연구 개발과 상용화가 활발하게 이루어지고 있다.

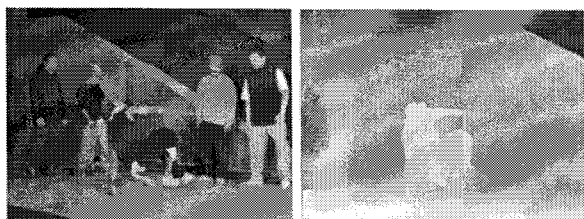
이러한 3차원 영상 기술은 좀 더 생생하고 현장감 있는 화면을 원하는 시청자들의 수요를 충족시켜 줄 방송 기술의 비약적 발전과 더불어 최근 급속한 성장을 보이고 있다. 미국과 일본, 그리고 유럽의 일부 선진국을 중심으로 1990년대 초반부터 시작된 연구를 통해 3차원 영상의 획득, 처리, 부호화, 전송, 재현에 관련된 기술을 개발하고 있다. 국내에서도 일부 대학과 연구소를 중심으로 3차원 영상에 대한 연구를 활발히 진행하고 있으며, 3차원 TV의 실험 방송도 조만간 시작될 예정이다[1].

3차원 영상을 얻기 위한 최초의 시도는 1833년 영국에서 만들어진 스테레오스코프(stereoscope)였다. 스테레오스코프는 거울을 이용하여 수평 방향으로 약간의 시차를 가지는 두 장의 사진을 각각 오른쪽 눈과 왼쪽 눈으로 보게 함으로써 입체 영상의 효과를 얻을 수 있다. 1958년에 개발된 애너글리프(anaglyph)는 수평 시차를 가지는 두 장의 영상을 붉은색과 푸른색으로 분리하여 한 장으로 만든 다음, 붉은색과 푸른색의 필름으로 만들어진 애

너글리프 안경을 착용하여 양쪽 눈을 통해 시차를 가지는 영상을 보게 됨으로써 입체감을 느끼게 된다.

이와 같이 3차원 영상의 기본 원리는 수평 방향으로 시차를 가지는 양안식 영상이라고 할 수 있다. 최근 국제 표준화 기구인 MPEG을 중심으로 활발히 논의되고 있는 3차원 비디오는 기존의 양안식 영상을 여러 시점을 가지는 영상으로 확장하여 보다 넓은 시야를 가지며 안정적인 입체감을 제공할 수 있다[2].

3차원 비디오를 제작하기 위해서는 다시점 영상과 장면에 대한 깊이 정보가 필요하다. 다시점 영상은 여러 대의 카메라를 이용하여 동일한 장면에 대한 색상 정보를 획득한 것을 의미하며, 깊이 정보는 촬영된 장면 내의 객체들이 카메라로부터 각각 떨어져 있는 정도를 나타낸 영상으로 표현된다. 장면의 깊이 정보를 획득하는 방법에는 여러 가지가 있는데, 색상 영상을 기반으로 하여 예측하는 방법과 깊이 카메라와 같은 거리 센서를 이용하여 직접 획득하는 방법이 있다. 색상 영상 기반의 예측 방법은 별도의 장비가 필요 없이 수평 시차를 가지는 두 장의 영상만 있으면 된다는 장점이 있지만, 복잡도가 매우 높으며 예측의 정확도가 떨어지는 단점이 있다. 거리 센서를 이용하는 방법은 장면의 실제 깊이 정보를 빠르고 정확하게 측정할 수 있지만, 해상도와 화질 면에서 비교적 조악한 성능을 나타낸다. 그림 1은 장면에 대한 색상 영상과 그에 따른 깊이 영상을 보여준다.



▶▶ 그림 1. 색상 영상과 깊이 영상

깊이 영상이 필요한 이유는 중간 시점에서의 영상을 생성하기 위해서인데, 중간시점 영상이란 카메라와 카메라 사이의 임의의 가상 시점에서 보이는 영상을 의미한다. 일반적으로 두 대 이상의 카메라에서 획득된 색상 영상과 그 시점에서의 깊이 영상을 가지고 있을 때, 카메라의 상대적인 정보와 깊이 정보를 이용하여 각각의 색상 영상들을 3차원 공간으로 역투영하고, 이것을 다시 원하는 시점으로 투영하여 합성하는 과정을 통해 중간시점 영상을 생성할 수 있다.

본 논문에서는 다시점 카메라와 깊이 카메라를 함께 이용하여 영상을 획득하고 이를 처리하여 3차원 비디오를 생성하는 방법을 소개한다. 2장에서는 획득된 영상의 전처리 과정을 설명하고, 3장과 4장에서는 각각 복합형 카메라 시스템과 다시점 깊이 카메라 시스템을 이용하여 깊이 영상과 중간 시점 영상을 생성하는 방법을 소개한 후, 5장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 3차원 영상 생성을 위한 전처리 기술

본 장에서는 다시점 영상과 깊이 영상을 획득한 후 일반적으로 수행하는 전처리 기술을 소개한다. 전처리 과정을 통해서 카메라의 특성과 동작을 나타내는 정보를 얻고, 촬영에서 생긴 불필요한 잡음을 제거하며 시점간 상관도를 높여 고품질의 깊이 영상과 중간 시점 영상을 생성한다.

### 2.1 카메라 보정

카메라 보정(camera calibration)은 카메라 변수를 예측하는 기술이다. 그림 2와 같이 격자 무늬의 패턴이 촬영된 여러 장의 2차원 영상에서 추출한 특징점을 기반으로 카메라의 내부 변수와 외부 변수를 계산한다. 카메라 내부 변수는 카메라의 초점 거리와 같이 카메라 내부의 물리적 특성을 나타내는 값들로 이루어진 행렬로 표현되

며, 외부 변수는 3차원 공간에서 카메라의 방향과 위치를 나타내는 회전 행렬과 이동 벡터로 이루어진다. 카메라의 내부와 외부 변수를 이용하여 카메라의 투영 행렬을 구할 수 있고, 이 투영 행렬은 3차원 공간상의 한 점을 2차원 영상 평면상의 한 점으로 옮겨오는 역할을 한다. 카메라 보정을 통해 얻은 카메라 변수 혹은 카메라 투영 행렬은 3차원 영상 처리 및 응용에서 가장 기본이 되는 필수적인 정보이다[3].

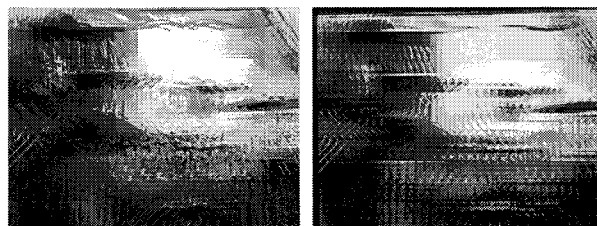


▶▶ 그림 2. 카메라 보정을 위해 촬영한 패턴 영상

### 2.2 다시점 영상 정렬

다시점 카메라로 촬영된 다시점 영상에는 일반적으로 기하학적 오차가 존재한다. 이 오차는 카메라의 배열이 수동으로 이루어진 것에서 기인한 것으로, 각 시점의 영상에서의 대응점들의 수직 좌표와 수평 방향으로의 시차인 변이가 일정하지 않은 것으로 나타난다. 또한 같은 카메라를 사용할 때에도 카메라 보정을 통해서 얻어지는 각각의 카메라 내부 변수들 사이에 역시 오차가 존재하게 된다. 이러한 오차들은 깊이 영상을 생성하고 중간 시점 영상을 합성함에 있어서 품질을 떨어뜨리는 원인이 된다.

다시점 영상 정렬(image rectification)은 카메라 변수를 기반으로 구해진 변환식을 각 시점의 영상에 적용하여 기하학적 오차를 최소화하는 작업이다. 정렬된 다시점 영상은 모두 같은 내부 변수 값을 가지며, 대응점 간에도 수직 방향으로의 불일치 없이 수평 방향으로의 일정한 변위만 가지게 된다. 그림 3은 각각 정렬되기 전의 다시점 영상과 정렬된 후의 다시점 영상을 나타낸다[4].



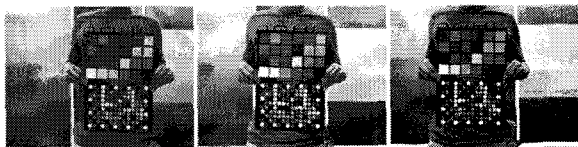
정렬되기 전의 다시점 영상      정렬된 후의 다시점 영상

▶▶ 그림 3. 다시점 영상 정렬

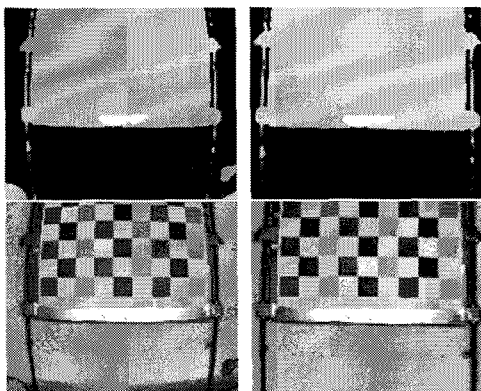
## 2.3 다시점 색상 보정

다수의 카메라를 사용하면서 발생하는 또 다른 문제는 색상 불일치이다. 같은 카메라라도 색과 조명에 반응하는 정도가 미세하게 차이가 나며, 또한 위치에 따라 조명과 그림자의 영향을 다르게 받기 때문에 촬영된 다시점 영상 간에는 색상의 차이가 존재한다. 이러한 색상 불일치 문제 역시 3차원 비디오 생성의 품질을 저하시킬 수 있기 때문에 색상 차이를 최소화하는 다시점 색상 보정(color correction)이 필수적이다.

일반적으로 색상 보정을 위해서는 하나의 시점을 기준 시점으로 선택하고 나머지 시점에서의 히스토그램 정보, 밝기 정보, 대응점 정합 등을 통해 색상을 조절하는 방법을 사용한다. 그러나 색상 보정을 위해서 특별히 그림 4와 같이 색상 차트 영상을 획득하고, 이 정보에 기반하여 색상 보정을 수행하기도 한다[5].



▶▶ 그림 4. 색상 보정을 위해 촬영한 색상 차트



(a) 렌즈 왜곡 보정 전 (b) 렌즈 왜곡 보정 후

▶▶ 그림 5. 렌즈 왜곡 보정

## 2.4 렌즈 왜곡 보정

렌즈 왜곡(lens distortion)은 카메라로 촬영된 장면이 곡선 형태로 왜곡되어 나타나는 현상이다. 그림 5(a)는 깊이 카메라로 촬영된 영상에서 렌즈 왜곡이 발생한 것을 보여준다. 이와 같은 왜곡이 발생하면 색상 영상에서 표현되는 장면과 형태가 맞지 않을 뿐 아니라, 카메라 보정과 같은 특징점 기반의 처리에도 장애 요소로 작용한

다. 따라서 그림 5(b)에 나타난 결과와 같이 렌즈 왜곡 보정이 필요하다[6].

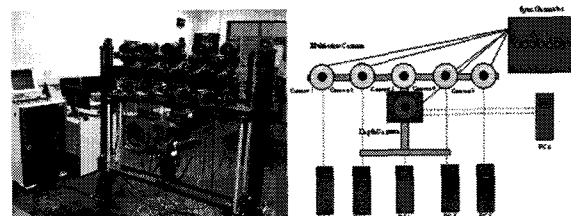
## 3. 복합형 카메라 시스템을 이용한 3차원 영상 생성

본 장에서는 복합형 카메라 시스템에 대해 소개한 후, 이 시스템을 가지고 영상을 획득, 처리하여 3차원 영상을 생성하는 과정을 소개한다.

### 3.1 복합형 카메라 시스템

그림 6은 복합형 카메라 시스템의 구성을 보여준다. 복합형 카메라 시스템은 표준화질(standard definition, SD) 깊이 카메라와 고화질(high definition, HD) 다시점 카메라로 이루어져 있으며, 모든 카메라에 동기화 신호를 연속적으로 보내기 위해 동기화 신호 재생기가 각 카메라에 연결되어 있다. 다시점 카메라의 모델은 Canon XL-H1이고, 깊이 카메라는 Z-Cam을 사용한다.

복합형 카메라 시스템의 깊이 카메라에서 획득한 깊이 정보에 3차원 워핑(warping)을 적용하여 다시점 카메라에 대한 초기 깊이 정보를 얻고, 이를 중심으로 스테레오 정합을 수행하여 깊이 영상을 개선한다. 복합형 카메라 시스템으로 생성한 깊이 영상의 해상도는 기존의 복합형 방법과 달리 다시점 카메라에 의존하기 때문에 고화질의 다시점 카메라 해상도와 같게 된다.



▶▶ 그림 6. 복합형 카메라 시스템

복합형 카메라 시스템은 매 프레임마다 다시점 카메라에서 획득한 고화질 다시점 영상과 깊이 카메라로부터 획득한 표준화질 깊이 영상을 제공한다. 그림 7은 복합형 카메라로 획득한 다시점 영상과 깊이 영상을 보여준다. 이 영상에 대하여 2장에서 설명한 카메라 보정, 다시점 영상 정렬, 다시점 색상 보정 과정을 수행한다.

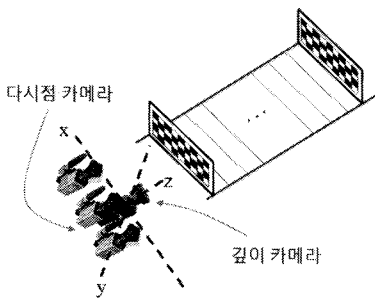


▶▶ 그림 7. 복합형 카메라 시스템으로 획득한 영상

### 3.2 깊이영상 보정

일반적인 깊이 카메라의 깊이정보 측정거리는 약 1~7m이다. 그러나 실제 응용에서 측정 가능한 깊이정보 측정거리는 보통 약 2~5m 정도이다. 특히, 깊이정보 측정 거리를 넓게 하면 할수록 깊이 정보의 정확도가 떨어지는 현상이 발생한다.

깊이 카메라를 통해 얻은 깊이 정보는 물체의 움직임이나 물체의 색상에 따라 같은 거리에서 깊이 정보를 획득하더라도 깊이 값이 다르게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 획득하는 환경에 적합하게 일정 거리마다 깊이 정보를 획득하여 획득한 깊이 정보와 실제 깊이 정보 간의 관계를 정의하는 보정 곡선을 생성하고, 깊이 카메라의 측정 특성을 분석하여 촬영된 깊이 영상을 보정한다.

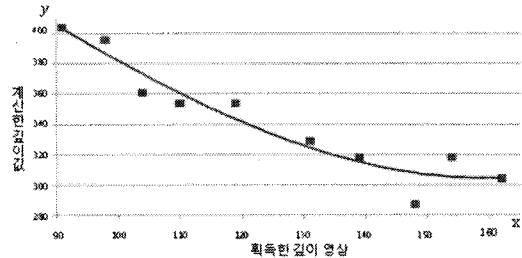


▶▶ 그림 8. 깊이 영상 보정

그림 8은 깊이 값 보정을 위해 패턴을 일정한 간격으로 획득하는 방법을 보여준다. 그림 8에서 보는 바와 같이, 패턴의 면이 깊이 카메라와 수직이 되도록 설치하고 일정 간격마다 깊이 영상을 획득한다. 그리고 식 (1)을 이용해 획득한 변이 값을 깊이 값으로 변환한다. 여기서  $d$ 는 두 영상 간의 변이 값을 나타낸다. 최종적으로 다시점 카메라 간의 기하학적 특성을 통해 변이 값  $d$ 를 찾을 수 있고, 실제의 깊이 값은 식 (1)을 이용해 계산할 수 있다. 반대로, 깊이 값을 알고 있을 경우에는 변이 값  $d$ 를 찾을

수 있다. 그림 9는 획득한 깊이 영상을 이용해 실제 거리와 획득한 깊이 영상 간의 관계를 정의한 보정 곡선이다.

$$Z = fB/(x_l - x_r) = fB/d \quad (1)$$



▶▶ 그림 9. 깊이 영상 보정을 위한 보정 곡선

### 3.3 다시점 깊이 영상 및 중간시점 영상 생성

다시점의 깊이 영상을 생성하기 위해 깊이 카메라로 획득한 깊이 정보를 다시점 영상의 초기 깊이 정보로 간주한다. 다시점 영상의 색상 정보와 상응하는 깊이 정보를 정합하기 위해, 다시점 카메라와 깊이 카메라를 각각 독립적으로 카메라 보정한다[7]. 이때 각기 다른 두 카메라의 카메라 변수를 이용해 3차원 워핑을 수행하고, 이를 통해 각 다시점 카메라의 초기 깊이 정보를 알 수 있다. 그리고 생성한 초기 깊이 정보를 고려하여 다시점 영상의 정확한 깊이 영상을 생성한다. 깊이 영상의 가장자리 영역을 좀 더 정확하게 하기 위해 평균 이동(mean shift) 방법을 이용하여 영역 기반의 스테레오 정합을 수행한다[8]. 또한 자연스러운 깊이 영상의 생성을 위해 화소 단위로 신뢰 확산(belief propagation) 방법을 적용하여 각 깊이 정보를 정제한다.

그림 10은 제안하는 시스템을 통해 생성한 다시점 영상과 그에 상응하는 깊이 영상을 보여준다. 그림 11은 세 번째 시점과 네 번째 시점에서의 깊이 영상을 이용하여 중간시점 영상을 생성한 결과이다. 깊이 영상을 이용해 생성한 중간영상은 자연스러운 3차원 장면 영상으로 생성되었음을 확인할 수 있다.



▶▶ 그림 10. 다시점 깊이 영상 생성 결과



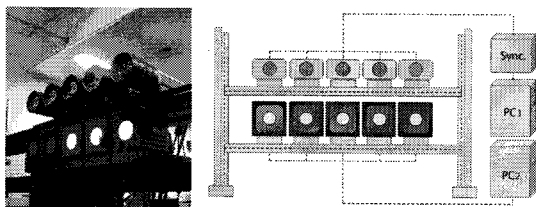
▶▶ 그림 11. 중간 시점 영상 생성 결과

#### 4. 다시점 깊이 카메라 시스템을 이용한 3차원 영상 생성

본 장에서는 다시점 깊이 카메라 시스템에 대해서 소개한다[9]. 3장에서 소개한 복합형 카메라 시스템은 한 대의 깊이 카메라를 사용하였지만, 다시점 깊이 카메라 시스템은 여러 대의 깊이 카메라를 사용하는 것이 특징이다.

##### 4.1 다시점 깊이 카메라 시스템

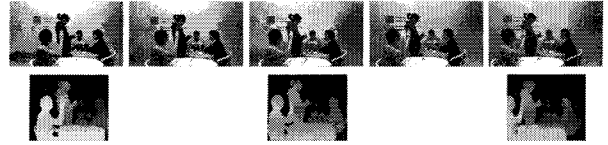
그림 12는 다시점 깊이 카메라 시스템을 보여준다. 고화질의 색상 카메라 다섯 대와 깊이 카메라 다섯 대로 구성되어 있다. 색상 카메라의 모델은 Basler Pylon GigE이며, 깊이 카메라는 SR4000을 사용했다. 두 종류의 카메라는 좌우 방향으로 자유롭게 움직일 수 있으며, 카메라 간 최소 간격은 수평 방향으로 약 6.5cm, 수직 방향으로 약 6cm이다. 다시점 색상 카메라는 동기화 장치를 통해서 저장되며, 다시점 깊이 카메라는 바로 저장 장치로 연결된다.



▶▶ 그림 12. 다시점 깊이 카메라 시스템

다시점 깊이 카메라 시스템으로 획득한 영상이 그림 13에 나타나 있다. 색상 영상의 해상도는 1920x1080이며, 깊이 영상의 해상도는 176x144로 매우 작다. 깊이 카메라는 다섯 대지만, 실제 동영상의 촬영에 사용할 수 있는 카메라는 최대 세 대 밖에 되지 않는다. 깊이 측정에 사용되는 적외선 신호간의 간섭을 피하기 위해 SR4000

은 서로 다른 변조 주파수를 사용하는데 그 주파수의 종류가 세 가지로 제한되어 있기 때문이다.

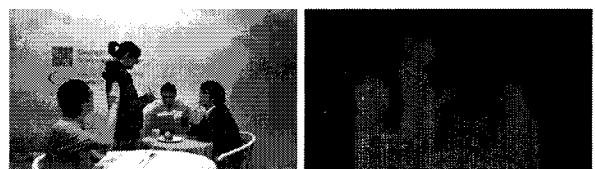


▶▶ 그림 13. 다시점 깊이 카메라 시스템으로 획득한 영상

위와 같이 다시점 깊이 카메라 시스템을 이용하여 얻은 색상 영상에 대해서는 카메라 보정, 다시점 영상 정렬, 다시점 색상 보정을 수행하며, 깊이 영상에 대해서는 렌즈 왜곡 보정, 카메라 보정, 깊이 영상 보정을 각각 수행한다.

##### 4.2 다시점 깊이 영상 및 중간 시점 영상 생성

전처리가 수행된 영상을 이용하여 다시점 깊이 영상과 중간 시점 영상을 생성하는 방법은 3장에서 소개한 복합형 카메라 시스템에서 이용한 방법과 매우 유사하다. 먼저 그림 14와 같이 깊이 카메라에서 획득한 깊이 영상을 3차원 위평을 통해 다시점 카메라의 위치로 이동하여 스테레오 매칭을 위한 초기 깊이 정보를 얻는다. 다시점의 깊이 영상을 사용하기 때문에 좀 더 정확한 초기 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다.



▶▶ 그림 14. 색상 영상과 초기 깊이 정보

이제 초기 깊이 정보를 기반으로 하여 색상 영상들 사이의 스테레오 정합을 수행한다. 그 결과로 얻은 깊이 영상이 그림 15에 나타나 있으며, 이 깊이 영상을 기반으로 각 시점의 사이에 중간 시점 영상을 생성할 수 있다.



▶▶ 그림 15. 다시점 깊이 영상 생성 결과

## 5. 결론

본 논문에서는 다시점 카메라와 깊이 카메라를 이용하여 3차원 영상을 생성하는 방법을 살펴보았다. 3차원 영상을 만들기 위해 필수적인 장면의 깊이 정보를 빠르고 정확하게 획득할 수 있는 복합형 카메라 시스템과 다시점 깊이 카메라 시스템을 소개하고, 이를 이용하여 3차원 영상을 생성하는 과정을 간단히 설명하였다. 좀 더 생생하고 몰입감 있는 실감형 입체영상 콘텐츠의 수요가 늘어남에 따라, 이러한 카메라 시스템을 이용하여 3차원 영상을 제작하는 기술이 앞으로 3차원 영상 제작 분야에서 유용하게 사용될 것으로 기대한다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부(MKE) 및 정보통신산업진흥원(NIPA)의 대학 IT연구센터(ITRC) 지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.  
(NIPA-2010-(C1090-1011-0003))

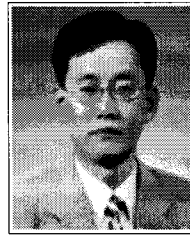
## 참고문헌

- [1] 호요성, 정재일, 강윤석, "3차원 TV와 실감 방송의 기술 동향," 전자공학회지, 제36권, 제4호, pp. 38-46, 2009.
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N9784, "Introduction to 3D Video," 2008.
- [3] Z. Zhang, "A Flexible New Technique for Camera Calibration," IEEE Transaction on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 22, no. 11, pp. 1330-1334, 2000.
- [4] 강윤석, 호요성, "평행 카메라 배열에서 촬영된 다시점 영상의 효율적인 정렬화 방법," 제21회 신호처리합동학술대회 논문집, 제21권, pp. 92-95, 2008.
- [5] A. Ilie and G. Welch, "Ensuring Color Consistency Across Multiple Cameras," Proc. of 10th IEEE international Conference on Computer Vision, pp. II: 1268-1275, 2005.
- [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, 2009.
- [7] <http://www.vision.caltech.edu/bouguetj>, Camera Calibration Toolbox for MATLAB.

- [8] D. Comaniciu and P. Meer, "Mean Shift: A Robust Approach Toward Feature Space Analysis," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence (PAMI), vol. 24, no. 4, pp. 603-619, 2002.
- [9] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11M16949, "3-D Video Test Sequence and Camera Parameters," 2010.

## 저자소개

### ● 호요성 (Yo-Sung Ho)



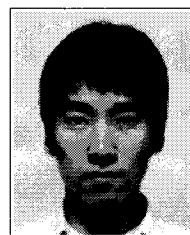
- 1981년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학사)
- 1983년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1989년 12월 : University of California, Santa Barbara, Department of Electrical and Computer Engineering (공학박사)
- 1983년 3월 ~ 1995년 9월 : 한국전자통신연구소 선임연구원
- 1990년 1월 ~ 1993년 5월 : 미국 Phillips 연구소, Senior Research Member
- 1995년 9월 ~ 현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 교수
- 2003년 8월 ~ 현재 : 광주과학기술원 실감방송연구센터 센터장
- <관심분야> : 디지털 신호처리, 영상신호 처리 및 압축, 멀티미디어 시스템, 디지털 TV와 고선명 TV, MPEG 표준, 3차원 TV, 실감방송

### ● 이은경 (Eun-Kyung Lee)



- 2002년 2월 : 호남대학교 컴퓨터공학과 (공학사)
- 2004년 2월 : 호남대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2004년 9월 ~ 현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
- <관심분야> : 3차원 TV, 실감방송, 다시점 카메라 시스템, 다시점 깊이맵 생성

### ● 강윤석 (Yun-Suk Kang)



- 2007년 2월 : 한국항공대학교 전자공학과 (공학사)
- 2008년 8월 : 광주과학기술원 정보통신공학과 (공학석사)
- 2008년 9월 ~ 현재 : 광주과학기술원 정보통신공학과 박사과정
- <관심분야> : 디지털 영상처리, 다시점 깊이 카메라 시스템, 3차원 TV, 실감방송