

논문 2012-49-11-9

# 이종 입체 영상 카메라의 광학 특성 일치화

(Optical Properties Correction of a Heterogeneous Stereoscopic Camera)

정은경\*, 백승해\*, 박순용\*\*, 장호욱\*\*\*

(Eun Kyung Jung, Seung-Hae Baek, Soon-Yong Park, and Ho-Wook Jang)

## 요약

본 논문에서는 이종 입체 카메라 시스템의 광학적 특성을 일치화하여 동일한 품질의 입체영상을 생성하는 기술을 제안한다. 이종 입체 카메라의 광학적 특성에는 크게 줌, 심도, 초점이 있으며 이들의 차이는 결과적으로 입체영상의 품질에 영향을 주어 사람의 시각 피로를 발생시키는 요인이 된다. 본 논문에서 제안하는 광학 특성 일치화 기술은 이종 카메라의 줌 영상을 일치한 후 동일 피사체에 대해 초점을 맞추고 심도를 일치화하는 과정으로 이루어진다. 이를 위하여 이종 입체 카메라의 줌 영상의 비교 알고리즘을 통하여 줌 렌즈에 대한 룩업테이블(LUT)을 작성하였다. 그리고 입체 영상의 에지(edge)에서 초점 정보를 추출하여 심도를 일치화하였다. 광학적 특성 일치화 실험을 위하여 직교방식의 리그를 제작하고 서로 다른 사양의 HD급 카메라를 이용하여 입체 카메라 장치를 구성하였다. 줌 일치화 및 심도 일치화에 대한 실험 결과로 시각 피로를 줄일 수 있는 입체 영상 생성이 가능함을 보였다.

## Abstract

In this paper, we propose a optical property correction technique for a low-cost heterogeneous stereoscopic camera. Three main optical properties of a stereoscopic camera are zoom, focus, and DOF(depth of field). The difference or mis-match of these properties between two stereoscopic videos are the main causes of the visual fatigue to human eyes. The proposed correction technique reduces the difference of the optical properties between the stereoscopic videos and produces high-quality stereoscopic videos. To correct the zoom difference, a LUT(look-up table) is established to match the zoom ratio between the stereoscopic videos. To correct the DOF difference, the magnitude of image edge is measured and the lens iris is changed to control the DOF of the camera. A vertical-type stereoscopic rig is developed for the experiments of the optical property correction. Based on the experimental results, we find that a low-cost heterogeneous stereoscopic camera can be implemented, which can yield low visual fatigue to human eyes.

**Keywords** : heterogeneous stereoscopic camera, geometric correction, 3D display, depth of field, zoom

\* 학생회원, 경북대학교 대학원 전자전컴퓨터학부  
(School of Electrical and Electronic Engineering,  
Kyungpook National University)

\*\* 정회원, 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부  
(School of Computer Science and Engineering,  
Kyungpook National University)

\*\*\* 정회원, 한국전자통신연구원 인터랙티브입체영상연구팀  
(Interactive 3D Research Team, ETRI)

※ 본 연구는 문화체육관광부 및 한국콘텐츠진흥원의  
2012년도 콘텐츠산업기술지원사업의 연구결과로 수  
행되었음

접수일자: 2012년7월8일, 수정완료일: 2012년10월24일

## I. 서론

입체 영상 카메라 기술은 시점이 다른 좌, 우 카메라에서 획득한 두 장의 영상을 3차원 모니터를 통하여 시청자에게 입체감을 제공한다. 기존의 입체 카메라는 대부분 동일한 사양의 스테레오 카메라에서 획득한 좌, 우 영상을 합성하여 입체 영상을 생성한다. 이는 좌, 우 영상이 동일한 광학 및 영상 특성을 가지도록 입체 영상을 생성하여야 시청자의 시각 피로를 최소화할 수 있

기 때문이다. 일반적으로 방송용 입체 카메라의 경우 고급 사양의 풀-HD급 카메라 두 대를 사용하여 제작되어 장치 비용이 매우 높은 단점이 있다. 본 논문에서는 입체 영상 카메라를 구현하는데 있어 비용을 줄이고 휴대성을 높이기 위해서 한 대의 고성능 카메라와 또 하나의 일반 저가 카메라를 사용하는 구성을 제안한다. 고성능 카메라를 주(main)카메라로, 일반 카메라는 부(sub)카메라로 정의하고 이들을 이용한 이종(異種) 입체 카메라를 제안하고자 한다. 이종 입체 카메라는 서로 다른 사양의 좌, 우 카메라를 사용하기 때문에 입체 카메라를 구성하는 카메라 선택의 폭이 자유롭다는 장점을 가진다. 반면, 이종 입체 카메라는 줌, 심도, 초점과 같은 주요 광학적 특성 차이가 필연적으로 발생하는 단점이 있다. 주카메라에서 획득한 영상을 주영상, 부카메라에서 획득한 영상을 부영상이라 할 때, 주영상과 부영상의 줌의 차이는 과도한 수직 시차 및 수평 시차를 발생하므로 사람의 시각 피로를 발생하는 주요 요인이 된다<sup>[1~2]</sup>. 심도는 초점이 맞는 물체 거리의 범위를 말하므로 주영상과 부영상의 심도 차이에 의해 한쪽 영상은 블러(blur)가 발생하고 이는 곧 시각 피로와 수직 시차를 발생시키는 요인이 된다. 카메라의 초점 또한 심도를 조절하기 이전에 일치되어야 한다.

이러한 이종 입체 카메라의 특성 차이를 줄이기 위한 연구가 진행되고 있다. 이탈리아의 Udine 대학의 Kumar은 이종 카메라에서 스테레오 보정 방법을 제안한다<sup>[3]</sup>. 이 방법은 이종 카메라에서 영상 처리 방법으로 객체 크기가 다르거나 이미지의 해상도가 다른 영상을 보정한다. 캐나다의 British Columbia 대학의 Colin Dourtre는 서로 다른 줌을 가지는 두 카메라의 영상을 일치하는 보정 방법을 제안한다<sup>[4]</sup>. 이 연구에서는 한쪽 영상을 다른 쪽 영상에 일치시킴으로써 사람의 시각 피로를 줄인다. 그러나 축소된 영상을 기준으로 일치할 경우 픽셀 정보가 없는 부분에 대한 입체 영상 합성에 문제가 발생할 수 있다. 연세대학교에서는 이종 카메라를 이용한 스테레오 카메라 시스템을 소개하고 있다<sup>[5]</sup>. 제안한 시스템은 이종 스테레오 카메라의 기하학적 분석을 통해 이종 스테레오 영상을 일반 스테레오 영상으로 변환하는 이종 스테레오 영상 정합 알고리즘을 수행한다.

동종의 입체 영상 카메라에 대한 일치화에 대한 연구도 진행된 바가 있다. Element Technical사에서는 줌

동기화 방식의 스테레오 입체 카메라를 위해 직교 리그(rig) 방식의 임베디드 제어 시스템을 제작하였다<sup>[6]</sup>. 또한 3Ality사는 직교 리그 제작과 함께 입체 영상 후처리용 보정 장치를 개발하여 줌 불일치에 대해 처리하고 있다<sup>[7]</sup>. 영상의 심도에 관련한 연구는 예전부터 단일 영상 기반의 심도 확장 연구와 스테레오 영상 기반의 심도 일치화 연구가 이루어지고 있다<sup>[8~9]</sup>. 그 중 단일 영상 기반의 연구로는 영상의 고주파 성분을 이용하여 영상의 심도를 확장시킨 초점 정광화 연구가 있다<sup>[10]</sup>. 그리고 스테레오 영상 기반의 심도 일치화 연구로는 눈동자의 움직임을 실시간으로 추적하여 스테레오 영상의 심도를 자동으로 조절하는 연구가 있다<sup>[11]</sup>.

이종 입체 카메라에 대한 연구가 일부 진행되고 있음에도 불구하고 줌 영상 일치 등의 단일 요소 또는 해상도 일치, 색상보정 등 광학 특성이 아닌 영상 특성에 대한 일치화 연구가 주를 이루고 있다. 그리고 3Ality사의 보정장치와 같이 이미 획득된 입체 영상을 후처리하여 동일한 품질의 영상을 재생성하는 기술이 대부분이다. 반면 이종 입체 카메라에서 동일한 품질의 좌, 우 영상을 실시간으로 획득하기 위해서는 줌, 심도 및 초점 등의 주요 광학적 특성을 우선적으로 일치하여 후처리 과정을 최소화하는 것이 필요하다. 이를 위하여 본 논문에서는 이종 입체 카메라의 광학적 특성을 일치화하고 이를 통하여 결과적으로 주영상과 부영상의 일치화를 구현하고자 한다.

그림 1은 일반적인 영상 카메라 상에서 줌(zoom), 초점(focus), 그리고 심도(DOF:depth of field)의 의존 관계를 나타낸다. 이를 바탕으로 이종 입체 카메라에 대한 광학 특성의 일치화 순서를 결정하였다. 그림 1에서 보이듯이 카메라의 줌 변화에 따라 영상의 심도도 변화

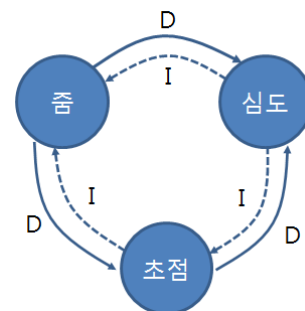


그림 1. 줌-심도-초점의 관계

(I:independent D:dependent)

Fig. 1. The relationship of zoom-focus-DOF.

며 물체의 초점 또한 변한다. 다시 말하여, 심도와 초점은 카메라의 줌에 의존적(dependent)이다. 한편 카메라의 초점 변화는 심도에 영향을 미친다. 이 경우 초점거리, 즉 줌에도 영향을 주지만 매우 미미한 수준이다. 마지막으로 카메라 심도의 변화는 줌과 초점에 영향을 주지 못한다. 다시 말하여 줌과 초점은 심도에 독립적(independent)이라 할 수 있다. 이러한 관계를 이용하여 이종 입체 카메라의 광학 특성을 일치시키기 위해서는 줌, 초점, 심도의 순서로 일치화하는 것이 가장 합리적이라는 것을 알 수 있다.

줌 영상 일치화는 각 카메라의 줌 함수 (zoom function)를 생성하여 주·부 카메라에 대한 관계 함수를 구하였다. 이를 바탕으로 줌 보정 LUT(look-up table)을 작성하여 한쪽 카메라의 줌 영상을 다른 카메라의 줌영상에 실시간으로 일치하면서 입체 영상을 합성하였다. 작성된 줌 보정 LUT는 카메라 위치의 전·후 이동이 없는 한 영구적으로 사용할 수 있다.

줌 보정 이후 주·부 카메라의 초점 보정은 수동으로 초점링을 조절하여 동일한 물체에 초점을 맞추었다. 마지막으로 심도는 빛의 양을 조절할 수 있는 조리개, 초점 거리, 카메라와 피사체와의 거리에 영향을 받는다<sup>[12~13]</sup>. 하지만 물체에 대한 초점은 이미 일치하였고, 카메라와 피사체의 거리는 임의로 변경할 수 없으므로 본 논문에서는 조리개를 조절하여 카메라의 심도를 일치하였다. 주, 부 입체 영상의 심도는 영상 에지(edge) 강도의 비교를 통해 측정하였다.

논문의 II절에서는 실험을 위해 제작한 이종 입체 카메라 시스템을 소개한다. III절에서는 이종 입체 카메라의 광학 특성인 줌, 심도, 초점의 일치화 과정을 제안한다. IV절은 광학 특성을 일치화한 후 실험을 통해 정확도를 확인하며 실제 입체영상의 원본 영상과 일치화를 적용한 입체 영상 결과를 비교하여 보여준다.

## II. 이종 입체 카메라 시스템 구성

이종 입체 카메라 시스템은 주·부 카메라에서 각각 HD급 영상을 획득하고 입체 영상으로 합성하여 출력한다. 여기서 사용되는 이종 카메라 실험 장치는 표1과 같이 서로 다른 사양을 가지는 방송용 카메라를 이용하며 모두 풀-HD급을 지원한다. 이종 입체 카메라는 동일한 해상도의 두 영상을 각각 SDI로 입력받아 입체

표 1. 이종 입체 카메라 제원

Table 1. Heterogeneous stereoscopic camera specification.

이종카메라	Sony PWM-EX3(주)	Canon XF105(부)
이미지센서	1/2인치 ExmorCMOS	1/3인치 CMOS
초점거리	5.8~81.2mm	4.25~42.5mm
줌 배수	광학 14배	광학 10배
해상도	1920×1080	1920×1080

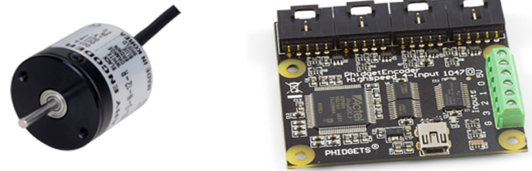


그림 2. 이종 입체 카메라에 사용한 엔코더와 엔코더 인터페이스

Fig. 2. The encoder and encoder interface.



그림 3. 제작된 이종 입체 카메라 시스템

Fig. 3. Heterogeneous stereoscopic camera system.

영상을 실시간으로 합성하여 확인할 수 있다.

표 1의 사양에서 알 수 있듯이 두 대의 서로 다른 카메라를 사용하기 때문에 광학 특성을 일치화하여 입체 영상을 생성할 필요가 있다. 이를 위하여 심도와 초점, 줌을 각각 측정하고 보정할 수 있어야 한다. 제안한 카메라 시스템에서는 디지털 엔코더를 카메라의 줌 및 조리개 링에 부착하였고 엔코더 인터페이스에서 그 값을 읽어 들인다. 그림 2는 이종 카메라에 부착된 엔코더와 엔코더 인터페이스를 보여준다. 엔코더 인터페이스는 Phidget사의 Encoder HighSpeed 4-Input을 엔코더는 Autronics사의 Rotary encoder E20 series를 사용하였다.

주·부 카메라는 직교 방식의 리그를 이용하여 설치하였다. 두 카메라 사이에는 하프미러를 배치하여 입사된 빛의 50%는 투과되어 주카메라로, 나머지 50%는 반

사되어 부카메라의 영상 획득에 사용된다.<sup>[14]</sup> 이러한 직교리그는 두 카메라의 축간 간격을 매우 좁게 유지할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 본 논문에서는 직교리그로 이중 입체 카메라 시스템을 구성하기 위해 카메라 영상이 하프미러에 사영되는 범위와 카메라의 위치를 고려하여 설계 및 제작하였다. 그림 3은 실험을 위하여 제작된 직교 리그와 주·부 카메라의 줌링 및 조리개링에 엔코더가 부착된 모습을 보여준다<sup>[15]</sup>. 직교리그에 결합된 이중 입체 카메라에서 PWM-EX3를 주카메라(main-camera) 그리고 XF105를 부카메라(sub-camera)라 명명하였다.

### III. 이중 입체 카메라의 광학 특성 일치화

#### 1. 이중 입체 카메라의 줌 일치화

주카메라가 부카메라보다 초점거리가 길면 주영상의 피사체 크기는 부영상의 피사체 크기보다 확대되었다고 말한다<sup>[16~17]</sup>. 반대로 주카메라가 부카메라보다 초점거리가 짧으면 주영상의 피사체 크기는 부영상의 피사체 크기보다 축소되었다고 말한다. 이렇듯 확대와 축소를 통틀어 줌이라고 말한다.

본 논문에서는 주·부 카메라의 줌 보정 LUT(look-up table)를 이용하여 주·부 영상의 줌을 일치시킨다. 줌 보정 LUT를 작성하기 위해 다음과 같은 절차를 거친다. 각 카메라의 줌 엔코더 값에 대하여 영상에서의 물체 크기(scale)의 함수를 생성한다. 그리고 주·부 카메라 사이의 최소 줌에서의 물체 크기의 비를 구하여 한쪽 카메라의 줌 함수에 적용함으로써 새로운 줌 함수를 구한다. 이 후, 주카메라와 부카메라의 줌 함수를 합성하여 이중 입체 카메라에 대한 줌 보정 함수를 생성한다. 주·부 카메라의 관계 함수인 줌 보정 함수

를 기반으로 줌 보정 LUT를 작성한다. 줌 보정 LUT의 값들은 주·부 카메라의 어느 한쪽의 위치가 앞뒤로 움직이지 않는 한 변하지 않는다. 그러므로 주·부 카메라의 줌이 달라져도 LUT의 엔코더의 줌 값을 적용하여 실시간으로 줌을 일치할 수 있다.

다음의 두 절에서는 두 영상에서 물체 크기를 이용하여 줌의 차이를 알아내는 줌 비교 알고리즘을 설명하고 줌 비교 알고리즘을 이용하여 이중 카메라의 줌 보정 LUT를 생성하는 과정을 설명한다.

#### 가. 줌 비교 알고리즘

동일한 물체에 대하여 줌이 다른 두 영상이 주어졌을 때 두 영상 사이의 물체 크기의 비를 구하는 알고리즘을 그림 4에서 보이고 있다. 줌 비교 알고리즘에서는 영상이 확대된 영상을 목표영상이라 두고 영상이 축소된 영상을 목표 영상에 일치시키기 위한 기준 영상으로 두었다. 동일 물체의 좌표점 획득을 용이하도록 체크보드 패턴의 영상을 획득하고 OpenCV의 함수를 이용하여 패턴의 코너점의 좌표를 획득한다. 여기서 목표 영상의 체크보드 패턴 점들을  $p=\{p_1, \dots, p_n\}$ , 이에 대응되는 기준 영상의 체크보드 패턴 점들을  $q=\{q_1, \dots, q_n\}$ 라고 정의하였다. 두 영상의 매칭점들에 의해 획득되는 보정 파라미터는  $s, t$ 로 정의된다.  $s$ 는 목표 영상을 기준으로 축소 영상에 대한 물체 크기(scale)의 비를 나타내고 이를 크기 비율(파라미터)이라 하며,  $t$ 는 이동(translation)에 대한 파라미터를 나타낸다<sup>[4]</sup>. 목표 영상에서 기준 영상의 크기 비율 및 이동의 관계는 식 (1)로 나타낼 수 있다. 두 영상의 매칭점들을  $n$ 개 이용하여 보정 파라미터를 구하는 것은 식(2)에서 나타난다. 줌 비교 알고리즘은 두 영상의 줌의 비만을 알면 되기 때문에 크기 비율  $s$ 만을 이용한다. 또한 실험에 사용된

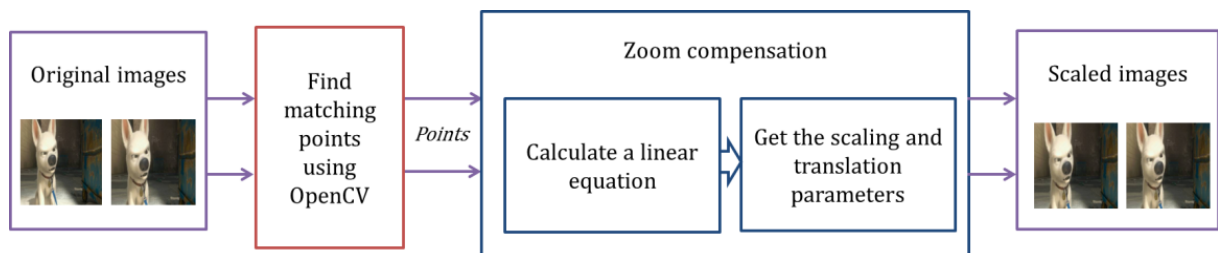


그림 4. 줌 영상의 크기 비교 알고리즘 과정

Fig. 4. Flow of the scale comparison algorithm between two zoom images.



주·부 카메라는  $s_x \cong s_y$  값을 가지므로,  $s_y$  만을 사용하였다. 만약  $s_y$  값이 1을 가질 경우 두 영상의 줌이 일치함을 말한다.

$$\begin{bmatrix} p_x \\ p_y \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_x & 0 & t_x \\ 0 & s_y & t_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} q_x \\ q_y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ \vdots \\ p_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} q_1 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ q_n & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} s \\ t \end{bmatrix} \quad (2)$$

나. 이중 카메라의 줌 보정 LUT 생성

주·부 영상의 줌이 다른 경우 두 영상의 줌을 보정하기 위한 줌 보정 LUT를 만드는 과정은 다음과 같다. 첫째, 카메라의 줌이 최소인 영상과 줌 엔코더 값을 + $\alpha$  씩 증가시켜가면서 영상에서 물체의 크기 변화를 비교하여 크기 비율  $s$ 를 구한다. 엔코더 값의 증가치  $\alpha$ 는 줌의 범위에 따라서 적절한 보정 LUT이 생성될 수 있도록 가변할 수 있다. 또한 크기 비율은 줌 비교 알고리즘으로 획득할 수 있고, 각 줌 값에 대한 크기 비율값들은 하나의 함수로 표현할 수 있다. 이러한 과정을 주카메라와 부카메라에 대해 각각 시행하여 줌값 대 크기 비율의 함수가 그림 5와 6과 같이 생성되었다. 두 그래프는 서로 비슷한 형태를 보이며 지수 함수 형태로 나타남을 알 수 있다.

둘째, 주·부 카메라에 대한 관계 함수를 생성하기 이전에 각 카메라의 최소 줌 값에 대한 주영상과 부영상에서 동일 물체의 크기가 서로 다르므로 이를 보정해 주어야 한다. 주영상과 부영상의 물체 크기를 비교하기 위해서 주영상을 기준 영상으로, 부영상을 목표 영상으로 두고 줌 비교 알고리즘을 실행하였다. 이 때 획득한 크기 비율은 주카메라의 함수에 반영하였다.

셋째, 주카메라와 부카메라의 최소 줌 영상에 대한 크기 비율을 보정한 후 주·부 카메라의 함수를 합성하여 이중 입체 카메라에 대한 줌 보정 관계 함수를 그림 7과 같이 생성할 수 있다.

그림 5의 주카메라의 줌값에 대한 크기 비율의 관계는 식(3)의 함수식으로 표현되며, 그림 6의 부카메라의 줌값에 대한 크기 비율의 관계는 식(4)의 함수로 표현된다. 그리고, 주·부 카메라의 최소 줌 영상 간의 크기

비율을 주카메라의 함수에 반영하여  $f(x)$ 로부터  $f'(x)$ 를 구하였다. 마지막으로 주·부 카메라의 줌 값에 대한 관계함수는 식(5)와 같이 구하였고 이를 그래프로 나타내면 그림 7과 같다. 이중 입체 카메라의 줌

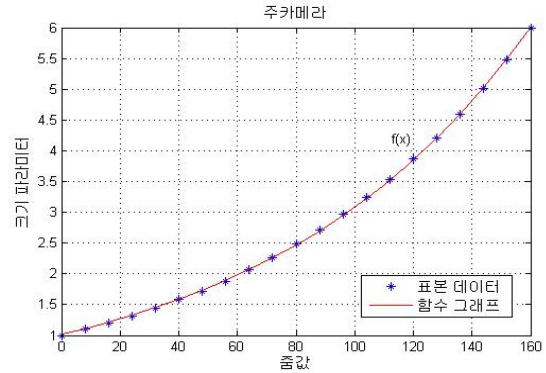


그림 5. 주카메라의 줌값과 최소줌에 대한 크기 비율  
Fig. 5. The relationship between scale ratio and zoom values of the main camera.

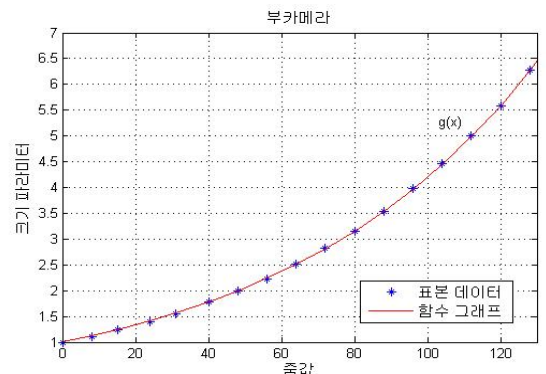


그림 6. 부카메라의 줌값과 최소줌에 대한 크기 비율  
Fig. 6. The relationship between scale ratio and zoom values of the sub camera.

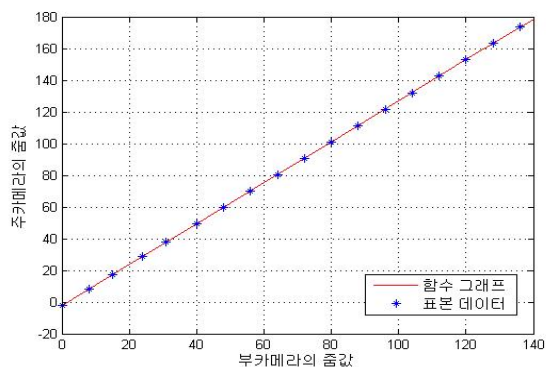


그림 7. 이중 입체 카메라의 줌값의 관계 함수  
Fig. 7. The zoom relationship between the main and sub cameras.

보정 관계 함수를 바탕으로 LUT를 작성하였고 실험에서는 LUT를 이용하여 주영상과 부영상의 줌을 일치하였다.

$$f(x) = 1.017e^{0.01109x} \quad (3)$$

$$g(x) = 1.004e^{0.01431x} \quad (4)$$

$$(f')^{-1} \cdot g = 1.291x - 2.145 \quad (5)$$

## 2. 이중 입체 카메라의 심도 일치화

이중 입체 카메라의 줌 보정을 통하여 줌을 일치시킨 후 초점과 심도의 일치화를 고려하였다. 주·부 카메라의 초점은 동일한 피사체에 대하여 수동으로 간략히 조절하여 영상에서의 초점이 일치하도록 하였다.

마지막으로 심도 일치화를 위하여 주·부 영상의 심도를 측정하고 조리개를 조절하여 동일한 심도 영상을 획득하였다. 카메라 렌즈의 조리개의 변화는 줌이나 피사체의 초점에 영향을 주지 않고 심도에만 영향을 주기 때문에 조리개를 이용하여 심도를 일치하는 장점이 있다. 심도 측정을 위하여 동일한 심도의 영상은 에지(edge)의 강도가 동일하다는 점을 이용하였다. 그러므로 심도 일치화는 주영상과 부영상의 에지 강도의 차이를 비교하고 그 차이만큼 주카메라의 조리개 링을 조절하여 주·부 영상의 심도를 일치시켰다. 그림 8은 줌과 초점을 일치시킨 후 심도를 조정하는 과정을 나타낸다.

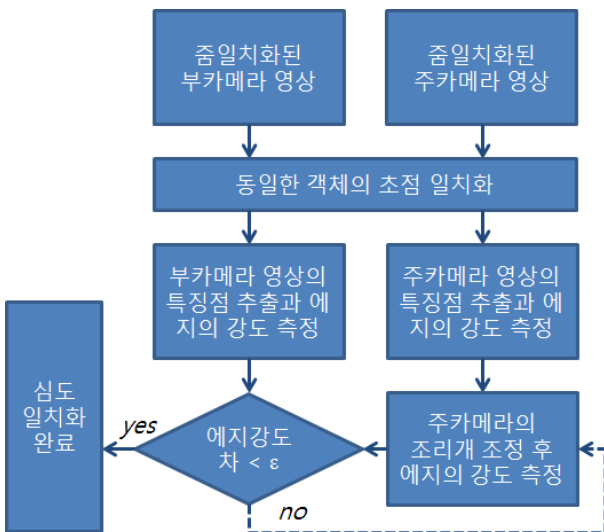


그림 8. 이중 입체 카메라의 심도 일치화 과정  
Fig. 8. The depth of field correction steps.

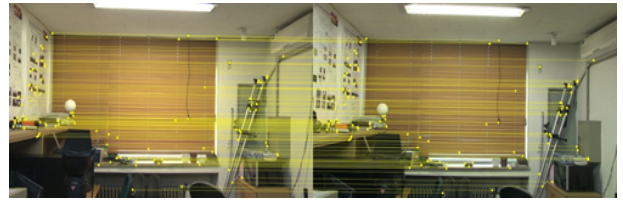


그림 9. SURF를 이용한 좌우 영상 간의 대응점 추출  
Fig. 9. Corresponding points from the SURF algorithm.

먼저 주영상과 부영상의 매칭점들을 추출한다. 그리고 획득된 매칭점들의 에지 강도를 각각 측정 한 후, 에지 강도의 차이를 비교한다. 주·부 영상의 에지 강도가 같을 때 심도는 일치되었다고 말한다.

본 논문에서는 주영상과 부영상의 왜곡 및 수직 오차의 차이에 강건한 SURF(Speed Up Robust Feature)를 이용하여 매칭점들을 찾아낸다<sup>[18]</sup>. 매칭점들의 개수는 영상의 상태에 따라 변하는데 일반적으로 매칭점들이 각 영상의 전체 영역에 고루 분포되도록 약 500~1000 개 정도 찾아내도록 한다. 그림 9의 예와 같이 영상 전체에서 다양한 깊이의 물체에 대하여 SURF를 이용하여 동일한 특징점들을 찾아낸다. 그림은 일부 매칭점만을 표시하였고 매칭점들은 가로 선으로 연결하였다. 각각의 매칭점의 에지의 강도를 측정하기 위해 Sobel 에지 추출법<sup>[19]</sup>을 사용하였다. 매칭점들의 심도를 안정적으로 비교하기위해서 매칭점 및 주변 9×9 픽셀에 대한 에지 정보를 평균하여 비교하였다.

## IV. 실험

### 1. 이중 입체 카메라의 줌 일치화 실험 결과

줌 보정 LUT는 앞 절에서 구한 관계식 (5)를 바탕으로 작성된다. 하지만 함수를 사용해 실제 계산된 주카메라의 줌값은 소수점 자리까지 구해진다. 엔코더 특성상 +1씩 증가하기 때문에 소수점까지 포용할 수 없게 되므로 실제 LUT 작성 시 계산된 값에서 정수로 하한하여야 한다. 줌 보정 LUT의 값이 주영상과 부영상의 줌을 일치시키는지 확인하기 위해 실험을 수행하였다.

줌 보정 LUT를 바탕으로, 그림 10과 그림 11은 실제 배경 영상에 대해 부카메라 줌값이 각각 48과 104의 경우 주카메라의 줌 보정 전과 줌 보정 후의 영상 및 주·부를 합성한 입체 영상을 보여준다. 줌 보정 전에는 두 영상의 줌 차이가 확연한 것을 그림 10(a) 및 그



(a) 줌 일치화 전의 주·부 영상(위)과 합성영상(아래)

(a) 줌 일치화 전의 주·부 영상(위)과 합성영상(아래)



(b) 줌 일치화 후의 주·부 영상(위)과 합성영상(아래)

(b) 줌 일치화 후의 주·부 영상(위)과 합성영상(아래)

그림 10. 표 2의 실험 3에 대한 줌 보정 결과  
Fig. 10. The zoom correction result on experiment3 of table 2.

그림 11. 표 2의 실험 6에 대한 줌 보정 결과  
Fig. 11. The zoom refinement result on experiment6 of table 2.

림 11(a)에서 알 수 있다. 줌 보정 LUT의 줌값(엔코더 값)에 따라서 주카메라의 줌링을 조절하였을 때, 줌이 일치화된 영상은 그림 10(b)와 그림 11(b)에서 보이고 있다. 왼쪽부터 주카메라 및 부카메라 영상이다.

그림 10~12를 포함하여 다양한 줌값에 대한 일치화 결과는 표 2와 같다. 표 2는 줌 보정 LUT를 이용하여 부영상을 기준으로 주영상의 줌을 일치한 후, 줌 영상 비교 알고리즘을 이용하여 두 영상의 크기의 비율을 구한 결과를 나타내었다. 크기 값이 1과 같으면 줌이 완전히 일치된 영상이라고 판단하며 총 8번의 실험을 시행하였다.

이중 입체 카메라의 줌 일치화 후 좌, 우 영상 사이에서 물체의 크기는 동일하지만 수직 시차는 여전히 존재하게 된다. 수직 시차의 최소화는 기존의 알고리즘을 사용하였으며 그 결과 영상은 그림 12와 같다. 그림 12(a)는 부카메라 줌값 15일 때 주카메라의 광학 일치화 전 영상이며 그림 12(b)는 일치화 후의 입체 영상, 그림 12(c)는 줌 일치화 및 수직 오차 최소화 알고리즘<sup>[20]</sup>으로 수직 오차를 최소화한 입체 영상이다.

표 2의 결과에서 알 수 있듯이 주·부 영상의 물체 크기 값을 비교하였을 때 크기 파라미터의 값은 1에 거의 가까움을 알 수 있다. 정확히 1의 값을 가지지 않는 오류는 계산된 엔코더 줌 값을 정수 값으로 하향하여 사용하였기 때문에 발생한 것으로 예상된다.





(a) 줌 일치화 전 이종 입체 카메라의 주·부 영상



(b) 줌 일치화 후의 입체 합성 영상



(c) 줌 일치화 및 수직 오차 최소화를 적용한 입체 영상

그림 12. 이종 입체 카메라의 광학 특성 일치화 결과  
Fig. 12. The geometric correction result of heterogeneous stereoscopic camera.

표 2. 줌 보정 LUT의 실험 결과

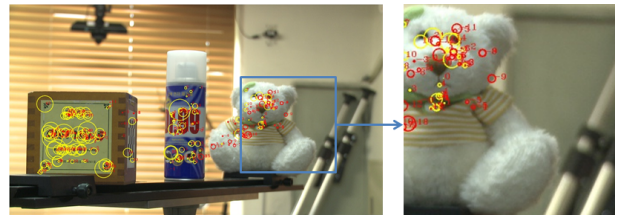
Table 2. Experimental results on several zoom values.

번호	주카메라 줌값 <sup>1)</sup>	부카메라 줌값	크기비율 (주/부)
1	17	15	0.991023
2	28	24	1.005835
3	59	48	1.006358
4	90	72	1.001375
5	101	80	0.996211
6	132	104	0.984099
7	142	112	0.988769
8	152	120	0.997733

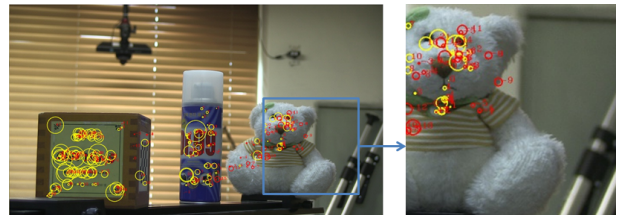
<sup>1)</sup> 줌 보정 LUT에 해당하는 주카메라 줌값

2. 이종 입체 카메라의 심도 일치화 실험 결과  
이종 입체 카메라의 심도의 차이를 줄이는 방법은 여

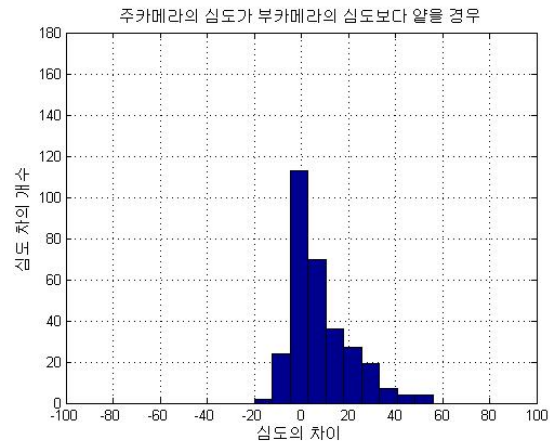
리 광학적 요소를 이용하여 가능성을 앞서 기술한 바 있다. 그 요소들 중에서 우리가 쉽게 조절할 수 있고, 줌과 초점에 영향을 주지 않는 것은 조리개이다. 따라서 카메라의 조리개 링을 조절하여 심도를 일치하였다. 주·부 카메라를 동일한 물체에 초점을 맞춘 후 영상에 지 강도의 차를 비교하여 심도의 차이를 측정하였다. 여기서 기준 카메라는 부카메라로 정하며 주카메라의 조리개 링을 조정하여 초점의 범위를 조절함으로써 심도 일치화가 이루어진다. 주카메라와 부카메라 모두 1920×1080 크기의 동일한 해상도로 실험하였다. 그림 13~17은 이종 카메라의 심도 영상이 일치되기 전의 영상과 주카메라의 조리개를 조정하여 심도가 일치된 영상을 각각 보여준다.



(a) 주카메라의 심도 측정 영상



(b) 부카메라 심도 측정 영상



(c) 주·부 카메라의 심도 차이 히스토그램

그림 13. 주카메라의 심도가 얇은 경우 실험 결과  
Fig. 13. Difference of depth of field with shallow main camera.

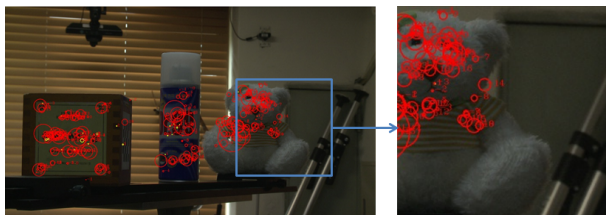


부카메라를 기준으로 주카메라의 심도를 조절하며 이때 주·부 영상의 대응점들을 붉은색 원과 노란색 원을 표시하여 주·부 영상의 심도 차이는 원의 색상으로 심도 차이의 크기는 원의 크기로 표현하였다. 주카메라가 부카메라의 심도보다 깊거나 같으면 붉은색 원이 그려지며 원의 크기는 심도의 크기에 비례한다. 반대로 주카메라의 심도가 부카메라의 심도보다 얇아지면 노란색 원이 그려진다.

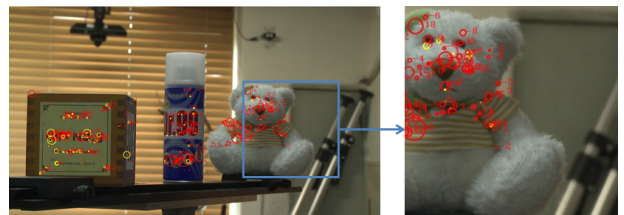
그림 13은 이중 입체 카메라의 심도가 일치되지 않을 때의 주·부 영상과 주·부 영상 간의 심도 차이를 히스토그램으로 나타내었다. 영상에서 가장 가까운 물체 순으로 상자, 원통형 플라스틱, 곰 인형 순이고, 초점은 맨 앞 물체인 상자에 맞춰져 있다. 그림 13의 (a)와 (b)

의 심도 차는 곰 인형부근과 배경에서 확연히 나타난다. 이러한 주·부 영상을 히스토그램 상에서 살펴보면 그림 13(c)와 같이 오른쪽으로 분포되어 있어 주영상의 심도가 부영상의 심도보다 얇음을 알 수 있다. 그림 14는 주영상이 부영상보다 심도가 깊을 경우를 보여준다. 주영상의 곰 인형과 배경 모두 초점이 맞춰진 것을 알 수 있다. 이를 히스토그램으로 나타낸 그림은 14(c)와 같으며 분포가 왼쪽으로 치우쳐짐을 볼 수 있다.

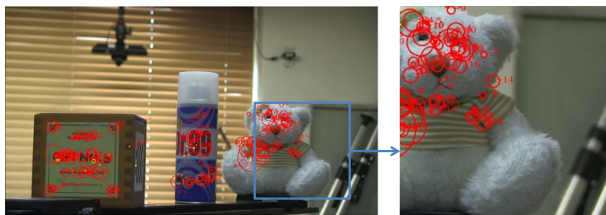
주·부 영상의 심도를 일치시키기 위해 주카메라의 조리개를 조정하여 일치화한 결과 영상은 그림 15이다. 그림 15(c)와 같이 주·부 영상의 심도 차이가 적으면 0값에 가까운 값을 가지므로 히스토그램 분포가 대칭적으로 나타났다. 그러므로 그림 15의 (a)와 (b)처럼 곰



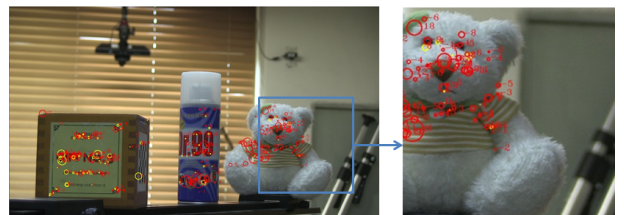
(a) 주카메라 심도 측정 영상



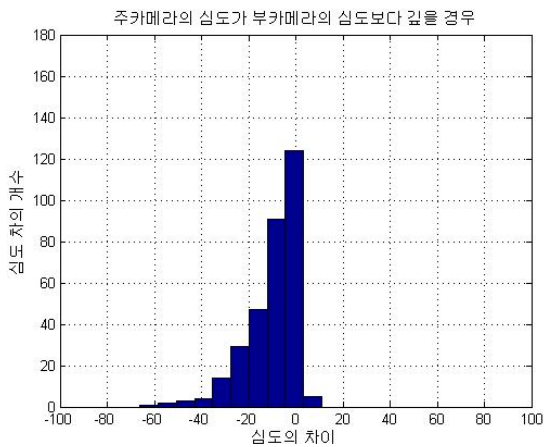
(a) 주카메라 심도 측정 영상



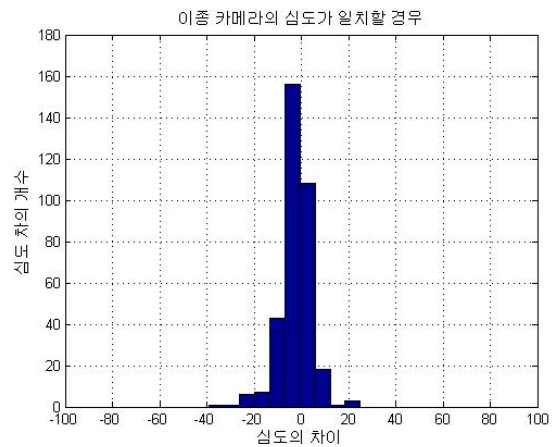
(b) 부카메라 심도 측정 영상



(b) 부카메라 심도 측정 영상



(c) 주·부 카메라의 심도 차이 히스토그램



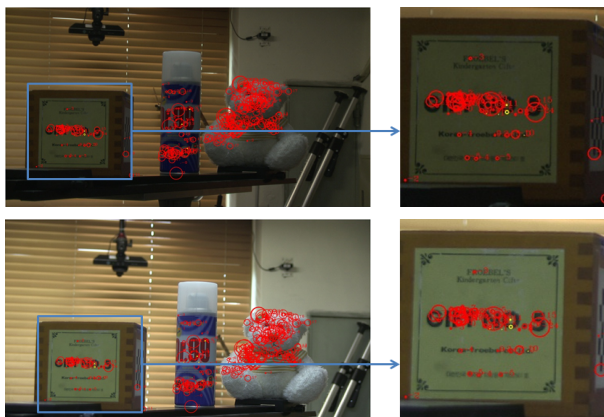
(c) 주·부 카메라의 심도 차이 히스토그램

그림 14. 주카메라의 심도가 깊은 경우 실험 결과  
Fig. 14. Difference of depth of field with deep main camera.

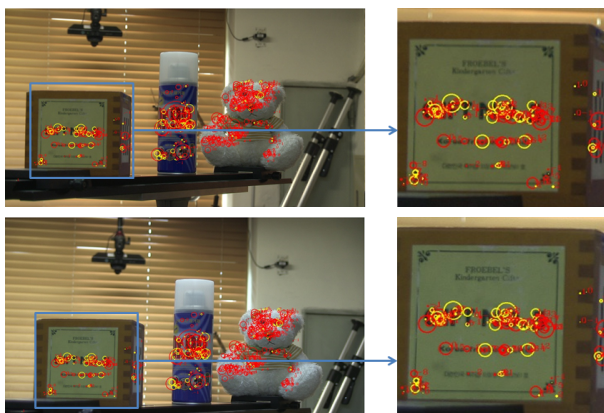
그림 15. 주·부 카메라의 심도가 일치하는 경우  
Fig. 15. Difference of depth of field with the corrected main-sub stereoscopic camera.



(a) 주카메라(위)가 부카메라(아래)의 심도보다 얇은 경우



(b) 주카메라(위)가 부카메라(아래)의 심도보다 깊은 경우

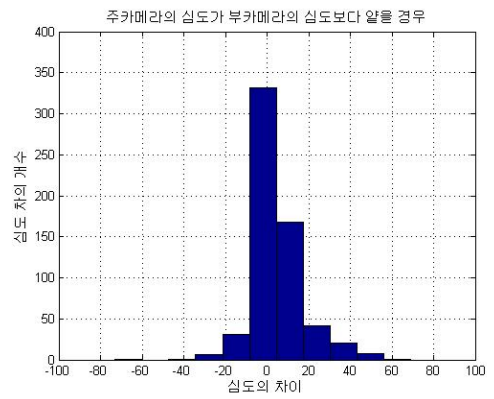


(c) 주카메라(위)와 부카메라(아래)의 심도를 일치한 경우

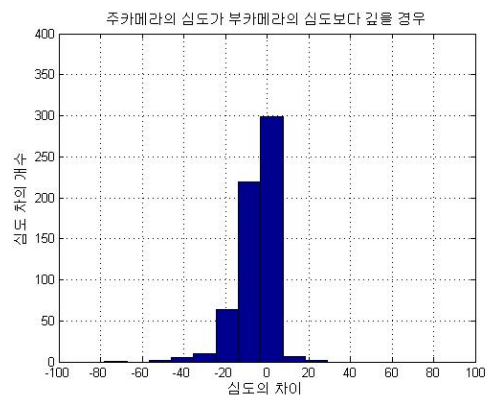
그림 16. 초점이 곰 인형에 맞춰져 있을 때 심도 일치화  
Fig. 16. Correcting the depth of field of main-sub stereoscopic camera.

인형과 배경의 초점범위가 매우 유사함을 알 수 있다.

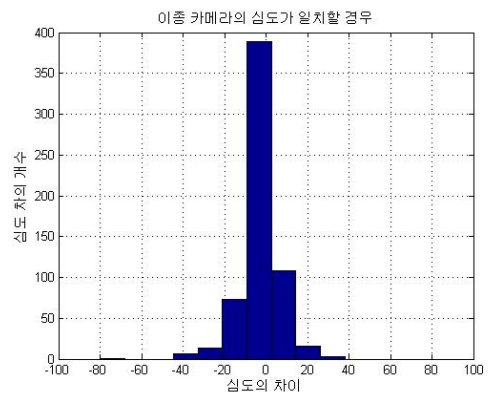
그림 16은 곰 인형에 초점을 맞추었을 경우, 이중 입체 카메라의 심도 차이를 영상으로 보여준다. 주·부 영상의 매칭점에 대한 에지 강도를 구하고, 그 강도 값에 따라 주카메라의 조리개를 조정하여 심도를 일치시



(a) 주카메라의 심도가 얇은 경우



(b) 주카메라의 심도가 깊은 경우



(c) 이중 카메라의 심도가 일치한 경우

그림 17. 그림 16의 심도 차이에 대한 히스토그램  
Fig. 17. Histogram of the DOF difference of Fig16.

킨 영상은 16(c)이다. 그림 16의 영상에서 나타나는 에지강도(심도를 측정하는 값)의 차이 값을 히스토그램으로 해석한 그림은 17에서 보여준다.

## V. 결 론

본 연구에서는 광학적 특성의 차이를 보이는 이중 입체 카메라의 일치화 기술을 제안한다. 이중 입체 카메라의 경우 다른 사양의 카메라를 이용하기 때문에 줌, 심도, 초점과 같이 광학적 특성에서 차이가 난다. 제안한 방법은 줌 보정 LUT를 생성하여 주·부 카메라의 줌을 일치시킨 후, 피사체에 초점을 맞춘 후, 조리개 링을 조절하여 주·부 영상의 심도를 일치하였다.

줌 보정 LUT는 주·부 영상의 물체 크기가 일치되도록 주·부 카메라의 엔코더 줌값들의 관계를 계산하여 테이블을 생성하였다. 이와 같은 줌 보정 LUT를 이용한 방법은 입체 영상 합성 중에도 실시간으로 적용할 수 있는 이점이 있다. 주·부 영상의 줌 일치화 결과의 정확성은 실험을 통하여 보여주었다.

심도 일치화 실험에서는 영상 예지 강도의 변화를 히스토그램으로 표현하여 그 결과를 나타내었다. 실험 측정 결과 주·부 영상의 심도의 차가 0에 가까운 히스토그램 분포를 보임을 확인하였다. 따라서 주·부 영상의 광학적 특성을 일치화한 후 입체 영상으로 합성한 결과, 줌과 초점 및 심도의 일치화가 이루어진 것을 확인할 수 있었다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이형철, "3D 비디오 영상과 휴먼팩터," *전자공학회 논문지*, 제37권, 제9호, 84-92쪽, 2010년 9월
- [2] 박창섭, 이준용, 함상진, 조인준, 이근식, "3DTV 방송용 카메라 기술 개발동향," *방송공학회논문지*, 제15권, 제1호, 12-23쪽, 2010년 3월
- [3] S. Kumar, C. Micheloni, C.Piciarelli and G. L. Foresti, "Stereo Rectification of Uncalibrated and Heterogeneous Images," *Pattern Recognition Letters*, Vol.31, pp.1445-1452, August 2010.
- [4] C. Doutre, M. T. Pourazad, A. Tourapis, P. Nasiopoulos and R. K. Ward, "Correcting Unsynchronized Zoom in 3D Video," in *Proc. ISCAS*, Paris, France, June 2010.
- [5] H. C. Shin, S. H. Kim, and K. H. Sohn, "Hybrid Stereoscopic Camera System," *The Korea Society of Broadcast Engineers*, Vol. 16, no. 4, pp.602-613, July 2011.
- [6] 조병철, "3D콘텐츠 제작을 위한 3D촬영용 리그 국내외 동향과 활용," *방송공학회지*, 제15권, 제2호, 111-130쪽, 2010년 6월
- [7] 3Ality, <http://3alitydigital.com/category/>
- [8] G. Muyo and A. R. Harvey, "Wavefront Coding for Athermalization of Infrared Imaging Systems," in *Proc. Technology and Applications SPIE*, pp. 227-235, October 2004.
- [9] S. Kim, "Real-Time Bayer-Domain Image Restoration for an Extended Depth of Field Camera," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, Vol. 55, no. 4, pp.1756-1764, November 2009.
- [10] C. S. Ram, S. N. Ju and K. J. Tae, "A study on the focus measure for image blending based EDoF," *The Korea Society of Broadcast Engineers Conf*, pp.436-438, July 2010.
- [11] D. S. Kang, Y. W. Kim, J. Park and B. S. Shin, "Automatic Depth-of-Filed Control for Stereoscopic Visualization", *Journal of Korea Multimedia Society*, Vol. 12, no. 4, pp. 502-511, April. 2009.
- [12] C. Zhou and S. K. Nayar, "Flexible Depth of Field Photography," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 33, no.1, pp.58-71, January 2011.
- [13] C. Cossairt, C. Zhou and S. Nayar, "Diffusion Coded Photography for Extended Depth of Field," *ACM Trans. Graphics*, Vol. 29, no. 4, pp.31:1~31:10, July 2010.
- [14] 이승현, "3D 콘텐츠 제작 기술," *전자공학회논문지*, 제38권, 제12호, 908-915쪽, 2011년 12월
- [15] 정은경, 백승해, 박순용, "이중 줌렌즈를 가진 주-부 방식 입체영상 카메라의 줌 보정," *영상처리 및 이해에 관한 워크샵*, 제 24회, 2012년 2월
- [16] D. Bailly and P. Gaussier, "Active Focus and Zoom Control Used for Scene Analysis," *International Conference on Soft Computing and Pattern Recognition*, pp.468-471, December 2010.
- [17] H. Yuan, Y. Chang, Z. Lu and Y. Ma, "Model Based Motion Vector Predictor for Zoom Motion," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol.17, no.9, pp.787-790, September 2010.
- [18] H. Bay, A. Ess, T. Tuytelaars and L. V. Gool, "Speeded-Up Robust Features," *Computer Vision and Understanding*, pp.346-359, 2008.
- [19] D. Ziou and S. Tabbone "Edge detection techniques: An overview," *International Journal of Pattern Recognition and Image Analysis*, Vol. 8, no. 4, pp.537 - 559, 1998.
- [20] 정은경, 김창일, 박순용, "입체영상의 시각 피로 최소화를 위한 특징기반 시차 보정," *전자공학회논문지*, 제48권, 제6호, 77-87쪽, 2011년 11월

저 자 소 개



정 은 경(학생회원)  
2009년 8월 동서대학교 컴퓨터정  
보공학부 학사  
2012년 8월 경북대학교  
전자전기컴퓨터공학부  
석사

<주관심분야 : 입체영상시스템, 영상처리>



백 승 해(학생회원)  
2004년 2월 경북대학교 컴퓨터공  
학과 학사  
2010년 2월 경북대학교 전자전기  
컴퓨터학부 석사  
2010년 3월~현재 경북대학교  
대학원 전자전기컴퓨터  
공학부 박사과정

<주관심분야 : 스테레오 정합, 카메라보정, 3차원  
복원>



박 순 용(정회원)-교신저자  
1991년 2월 경북대학교  
전자공학과 학사  
1993년 2월 경북대학교  
전자공학과 석사  
2003년 5월 미국 뉴욕주립대 스토  
니브룩 박사

2005년 2월~현재 경북대학교 IT대학 컴퓨터학부  
부교수

<주관심분야 : 3차원 컴퓨터비전 및 로봇비전>



장 호 욱(정회원)  
1985년 2월 경북대학교  
전자공학과 학사  
1988년 2월 KAIST 전산학과  
석사  
1989년~1992년 국방과학연구소

1993년~현재 한국전자통신연구원 책임연구원  
<주관심분야 : 입체영상시스템, 3차원 정보처리>