

## 3D 깊이우선 집적영상 디스플레이에서의 키넥트 센서를 이용한 컴퓨터적인 요소영상 생성방법

유태경<sup>1</sup> · 오용석<sup>1</sup> · 정신일<sup>2\*</sup>

### Computational generation method of elemental images using a Kinect sensor in 3D depth-priority integral imaging

Tae-Kyung Ryu<sup>1</sup> · Yongseok Oh<sup>1</sup> · Shin-II Jeong<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>R&D div. MTM Co., Eungnam-dong, Seongsan-gu, Changwon, Korea

<sup>2</sup>Department of Information and Communication Engineering, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Nam-Gu, Busan, 608-737, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 3D 깊이우선 집적영상(DPII) 디스플레이에서 키넥트(Kinect)를 이용하여 3D 물체에 대한 2D 요소 영상들을 생성하는 방법을 제안한다. 먼저, 깊이우선 집적영상에서의 요소영상 생성원리를 기하광학적으로 분석하고 이 분석에 기초하여 키넥트의 RGB 영상과 깊이영상으로부터 요소영상들을 생성한다. 3D 영상 복원을 위해서 집적영상에 기반한 컴퓨터적 시점재생 실험을 수행하고, 복원된 3D 영상에 대한 많은 시점영상들을 서로 비교한다. 제안하는 방식의 유용함을 보이기 위해서 기초적인 광학적 실험을 수행하였다. 그 결과, 제안하는 방식은 완전시차를 가지는 올바른 3D 영상을 제공함을 확인하였다.

#### ABSTRACT

In this paper, we propose a generation of 2D elemental images for 3D objects using Kinect in 3D depth-priority integral imaging (DPII) display. First, we analyze a principle to pickup elemental images based on ray optics. Based on our analysis, elemental images are generated with both RGB image and depth image recorded from Kinect. We reconstruct 3D images from the elemental images with the computational integral imaging reconstruction technique and then compare various perspective images. To show the usefulness of the proposed method, we carried out the preliminary experiments. The experimental results reveal that our method can provide correct 3D images with full parallax.

**키워드** : 3D 디스플레이, 집적영상, 요소영상, 키넥트

**Key word** : 3D display, integral imaging, elemental images, kinect

접수일자 : 2015. 09. 17 심사완료일자 : 2015. 10. 12 게재확정일자 : 2015. 10. 26

\* **Corresponding Author** Shin-II Jeong(E-mail:sijeong@pknu.ac.kr, Tel:+82-51-629-6231)

Department of Information and Communication Engineering, Pukyong National University, 45 Yongso-ro, Nam-Gu, Busan, 608-737, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2016.20.1.167>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서 론

최근 무안정식 3D 디스플레이 기술 가운데 집적영상(integral imaging)에 대한 관심이 커지고 있다[1]. 집적영상 기술은 간단한 시스템 구조와 기존 2D 디스플레이를 그대로 사용해서, 완전 시차를 가지는 리얼 3D 영상을 디스플레이할 수 있기 때문에 차세대 3D 디스플레이 기술로서 계속 연구가 진행되고 있다[2-8]. 그러나 좁은 시야각, 낮은 해상도, 깊이역전 등의 문제점들이 존재한다.

최근 이러한 디스플레이의 단점을 극복하기 위하여 컴퓨터적인 집적영상 복원(computational integral imaging reconstruction, CIIR)방법이 활발히 연구되고 있다[6,7]. 이 방법은 광학적인 디스플레이 과정에서 렌즈어레이 때문에 발생하는 잡음영상과 왜곡 등을 피할 수 있고, 3D 물체 인식 및 추적 등에서 다양하게 응용되고 있다.

한편, 광학적 픽업의 경우에는 각 기초렌즈에 할당되는 픽셀들의 수가 제한되기 때문에 실제 물체에 대한 정확한 영상정보를 획득하는 것이 쉽지 않다. 이러한 문제점을 개선하기 위해서, 깊이정보 기반의 요소영상 획득방법이 연구되었다[6]. 이 연구에서는 요소영상들에서 깊이정보를 추출한 다음, 이를 바탕으로 다른 형태의 요소영상을 생성하였다. 하지만 추출되는 깊이정보의 낮은 해상도 때문에 실제 물체에 적용하기 어려운 단점이 있다. 또한 적외선 깊이 카메라를 이용하여 깊이정보를 추출하고, 이를 바탕으로 요소영상을 생성하는 방법도 연구되었다[8]. 그러나 깊이 카메라의 매우 높은 가격이 단점이다.

최근에 깊이감지 기술의 발전에 따라 관련 제품들이 출시되고 있고, 실시간 깊이카메라를 이용한 다양한 연구들이 진행되고 있다. MS사의 키넥트(Kinect)가 그 대표적인 제품인데, 비교적 저렴한 가격과 다양한 게임기에 적용되고 있다. 키넥트는 영상정보와 깊이정보를 동시에 획득할 수 있다[9].

본 논문에서는 키넥트를 이용하여 3D 집적영상을 표현하는 방법을 제안한다. 제안하는 방식에서는 키넥트로부터 획득되는 정보들(RGB영상과 깊이영상)을 집적영상에 적합한 요소영상들로 변환한다. 이를 위하여 깊이우선 집적영상에서의 요소영상 생성원리를 기하광학적으로 분석한다. 3D 영상 복원을 위해서 깊이우선 집

적영상 방식에 기반한 컴퓨터적인 시점재생 실험을 수행하여 특성을 분석하였다. 키넥트영상에서 요소영상을 생성하고, 컴퓨터적 재생 기법으로 3D 영상을 복원하는 실험을 수행하였다. 그 실험 결과를 통하여 제안한 방식의 유용성을 확인하였다.

## II. 키넥트를 이용한 3D 영상정보 획득

키넥트를 이용한 집적영상 복원에 대한 전체적인 개념은 그림 1과 같고, 크게 4단계로 이루어진다. 첫 단계는 키넥트가 RGB정보와 깊이정보를 획득하는 과정이다. 둘째는 획득된 영상들의 시차를 조정하는 캘리브레이션을 통한 깊이영상 획득과정이다. 셋째는 깊이영상을 통한 요소영상 생성과정이고, 마지막은 3D 영상의 복원과정이다.

키넥트는 크게 물체의 색상과 깊이를 인식할 수 있는 내부 카메라, 목소리 입력을 위한 마이크 어레이 및 기울기 모터로 구성되어 있다. 내부 카메라는 2개로 구성되는데, 하나는 색깔 및 세기정보를 획득하는 RGB카메라이다. 다른 하나는 물체에 대한 거리정보를 측정하는 IR카메라인데, 주변 환경에 대한 3D 깊이지도도를 만들 수 있다.

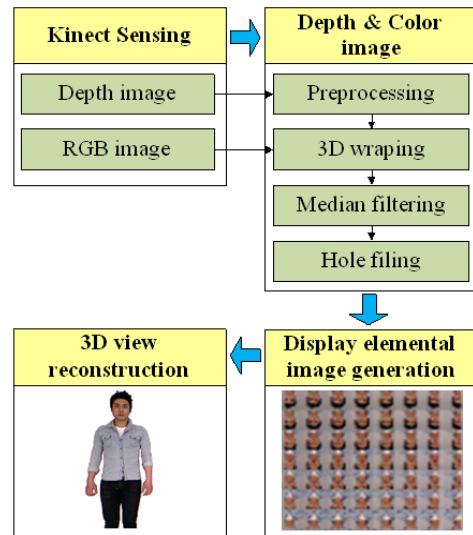


Fig. 1 Diagram for generating elemental images and computational reconstruction using Kinect

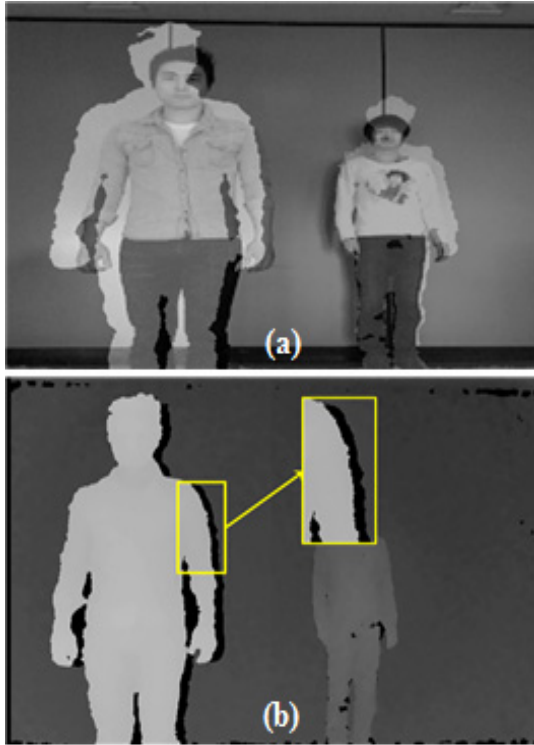


Fig. 2 Troubles caused by disparity between a RGB camera and a depth camera in Kinect (a) mismatch between a RGB image and a depth image (b) disocclusion in the depth image

키넥트에서 얻어진 RGB영상과 깊이지도로 조합하여 요소영상을 생성할 때, 키넥트의 영상획득 성능이 큰 영향을 미친다. 키넥트에서 얻어진 RGB영상과 깊이 영상 사이에는 불일치 문제가 존재하는데, 그림 2는 이것을 잘 나타낸다.

그림 2(a)는 RGB영상과 깊이영상을 겹쳐놓은 것인데, 머리 위치나 팔 등이 일치하지 않는 것을 볼 수 있다. 이는 RGB카메라와 IR카메라가 서로 다른 위치에서 물체를 바라보고 있기 때문이다. 이러한 문제를 해결하여 두 영상을 일치시키려면, 깊이영상의 전처리와 두 영상 사이의 캘리브레이션이 반드시 필요하다. 최근에 이러한 두 영상을 일치시키고자 한 장의 RGB영상과 이에 상응하는 깊이영상을 이용하여 가상의 시점영상을 생성하는 방법이 연구되었다 [10]. 깊이영상 기반 렌더링(depth image based rendering, DIBR)이라는 이 기술은 깊이영상을 이용하여 한 시점의 영상을 다른 시점영상

으로 투영(projection) 또는 워핑(warping)하여 새로운 가상시점을 생성하는 것이다. 이러한 가상시점은 투영기하(projective geometry)에 의하여 생성된다. 한 시점에서의 RGB영상에 대응하는 깊이영상의 깊이값을 이용하여, 3차원 공간으로 맵핑(mapping)시킨 후에 가상시점으로 투영시켜 생성된다.

그림 2(b)는 깊이영상 기반 렌더링에서 발생하는 문제를 나타낸다. 원래의 시점에서는 객체에 의해 가려져서 보이지 않던 영역이 가상시점에서는 보이기 때문이다. 존재하지 않는 정보를 보여야하기 때문에 홀(hole) 영역으로 표시된다.

이러한 비가려짐(disocclusion) 영역을 채우기 위하여, 깊이영상에 저역통과 필터(low pass filter)를 적용하는 전처리를 수행할 수 있다. 즉, 깊이영상의 평활화(smoothing)를 통하여 깊이영상의 기울기 성분을 감소시키면, 가상시점에서 홀이 발생하지 않거나 작은 홀만이 남도록 할 수 있다. 본 논문에서는 전처리에 비대칭 필터를 사용하였다.

그림 3은 워핑에 사용되는 실제 깊이값과 픽셀위치의 관계를 나타낸다. 원래의 깊이값  $z$ 에 따른 좌표계  $(x_o, y)$ 로부터 가상의 시점  $(x_n, y)$ 에 대한 새로운 좌표계는 다음과 같이 정의된다.

$$x_n = x_o + \frac{fb}{z} \quad (1)$$

여기서  $f$ 는 카메라의 초점거리(focal length)를 나타내고,  $b$ 는 카메라 사이의 거리를 나타낸다.

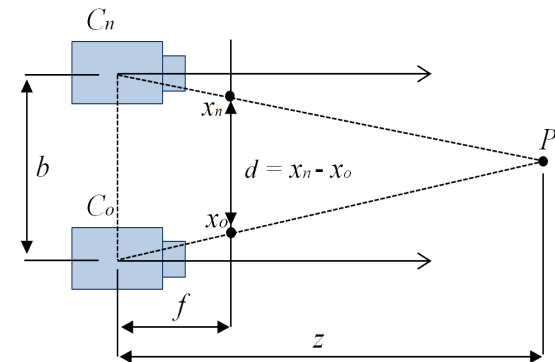


Fig. 3 Relation between depth and disparity

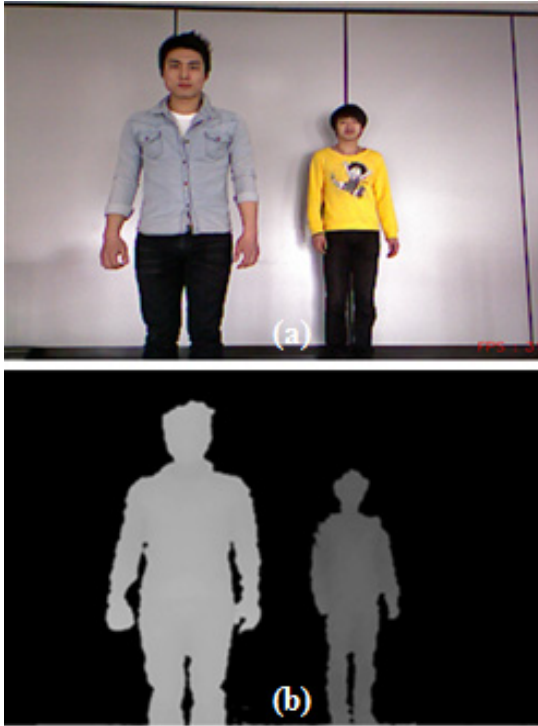


Fig. 4 (a) Color image and (b) depth image after Kinect calibration

그림 4는 그림 2를 보정한 결과영상을 보여준다. 여기에는 S.-B. Lee의 연구에 사용된 보정방식이 적용되었다[10].

### III. 요소영상 생성 및 3D 영상 재생

#### 3.1. 깊이우선 집적영상에서의 요소영상 생성원리

그림 5는 기존의 깊이우선 집적영상에 맞는 요소영상 생성에 대한 기하광학적인 해석을 보여준다. 설명의 편의상, 렌즈어레이를 핀홀어레이로 가정하고, 물체는 평면물체로 가정한다. 그러면 물체를 구성하는 점들은 핀홀을 통하여 각각의 요소영상으로 기록된다. 이 때,  $n$  번째 요소영상의 한 픽셀값은 평면물체의 대응되는 점의 세기를 샘플링(sampling)함으로써 획득되는데, 이는 식 (2)와 같이 표현할 수 있다.

$$E_n(x_1) = O(z_0, x_2) \quad (2)$$

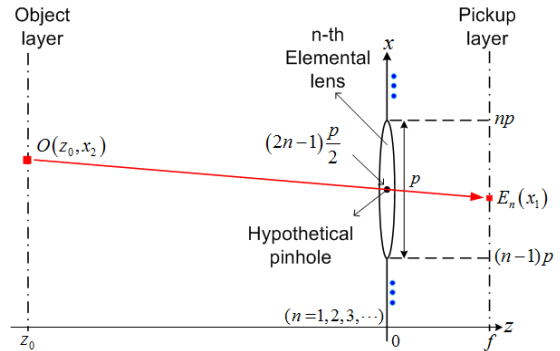


Fig. 5 Ray-optical analysis for conventional generation of elemental images

여기서  $n$ 은 자연수이며,  $E_n$ 은  $n$ 번째 요소영상의 세기분포 함수이고,  $O$ 는 평면물체의 세기분포 함수이다.  $x_1$ 은 요소영상의 한 픽셀의  $x$ -축 위치이고,  $x_2$ 는 이에 대응하는 물체점의  $x$ -축 위치이다,  $z_0$ 는 평면물체의  $z$ -축 위치를 나타낸다.

$n$ 번째 요소영상 내의 한 픽셀과 이에 대응하는  $n$ 번째 핀홀을 연결하는 직선의 기하광학적인 관계식은 식 (3)과 같다.

$$x = \left( \frac{x_1 - (2n-1)p/2}{f} \right) z + (2n-1) \frac{p}{2} \quad (3)$$

여기서  $p$ 는 렌즈의 피치(pitch)를 나타낸다. 식 (3)에 물체점의 좌표 ( $z_0, x_2$ )를 대입하면,  $n$ 번째 요소영상의 한 픽셀에 대응하는 물체점의 위치  $x_2$ 는 식 (4)와 같다.

$$x_2 = \frac{x_1 z_0}{f} + (2n-1) \frac{p}{2} \left( 1 - \frac{z_0}{f} \right) \quad (4)$$

식 (4)를 식 (2)에 대입하면,  $x = x_1$ 의 픽셀값  $E_n(x_1)$ 을 구할 수 있다. 이 과정을  $(n-1)p < x < np$  범위에서 반복하면, 물체에 대한  $n$ 번째 요소영상을 계산할 수 있다.

#### 3.2. 3D 영상정보에서 요소영상 생성원리

키넥트로부터 얻어진 RGB영상과 깊이영상으로부터 요소영상들을 생성하는 방법은 다음과 같다. 깊이정보는 그레이레벨(graylevel)의 흑백영상이다. 따라서 밝을수록 가까운 위치를 나타내고, 어두울수록 먼 위치를 나타낸다.

요소영상 생성을 위한 깊이맵핑은 그림 6과 같다.  $z=0$  위치에 렌즈어레이를 두고, 가상의 물체면을 일정한 간격을 두고 배치한다. 깊이영상의 밝은 부분을 렌즈어레이에서 가까운 위치에 두고, 어두운 부분을 먼곳에 위치시킨다. 깊이지도에 대응하는 RGB영상의 픽셀들을 각 물체면에 분산한다. 깊이지도의 변화값이 256 레벨을 가진다면, RGB영상도 256개의 레벨로 분할된다. 이렇게 분할된 영상을 깊이분할영상이라고 한다.

깊이영상과 RGB영상을 각각  $D(x, y)$ 와  $C(x, y)$ 라고 하면, 분할된  $k$ 번째의 깊이분할영상  $S_k$ 는 식 (5)에 의하여 얻어진다. 여기서  $k$ 는 깊이지도의 레벨값이다.

$$S_k = \begin{cases} C(x, y) & \text{if } D_k(x, y) = k \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

이렇게 분할된 깊이정보에서 요소영상을 생성하는 원리는 그림 7과 같다. 3.1절에서 설명한 요소영상 생성 원리를 하나의 깊이분할영상에 적용하면 하나의 요소영상배열이 생성된다. 이러한 과정을 각각의 깊이분할영상들에 적용하면, 각각의 깊이분할영상에 대한 요소영상들을 얻을 수 있다. 총 256개의 요소영상배열을 순차적으로 합성하면, 3D 집적영상을 위한 최종적인 하나의 요소영상배열을 생성할 수 있다. 그림 7(b)는 이렇게 생성된 최종적인 결과물의 한 예를 보여준다.

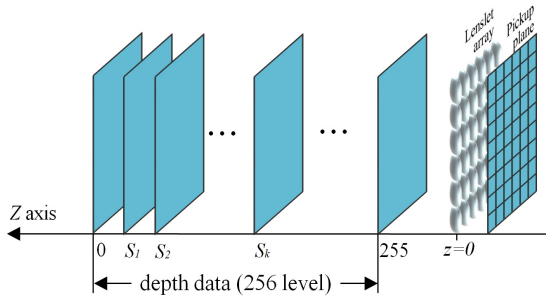


Fig. 6 Depth mapping

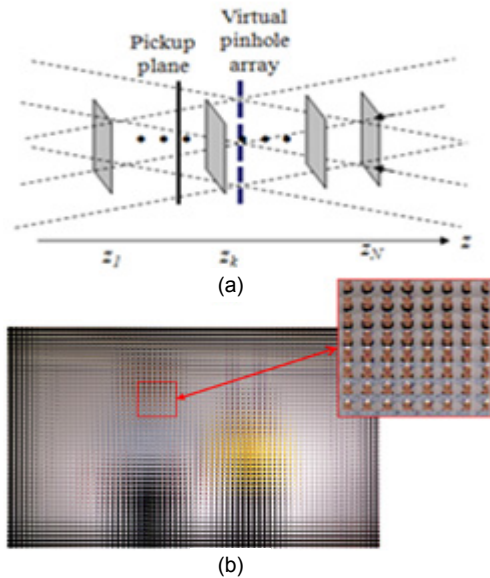


Fig. 7 (a)Pickup structure used in computer simulation (b)elemental images after computational synthesis

### 3.3. 3D 집적영상에 대한 시점영상 복원

그림 7에서 생성될 요소영상의 성능을 확인하기 위하여, 그림 8과 같이 시점기반의 컴퓨터적 집적영상 복원방법이 사용되었다. 핀홀어레이를 사용한 컴퓨터적인 복원에서는 재생되는 3D 영상의 해상도가 낮다는 문제점이 존재한다. 이를 개선하기 위하여 렌즈어레이 모델을 사용하였다[11]. 각각의 관측영상들은 요소영상의 배열로부터 주기적으로 추출된 픽셀들을 조합하여 얻어진다. 각 요소영상에서 추출되는 픽셀의 위치는 관측각도와 관계있다. 그러므로 관측각도(방향)에 따라서 다른 영상이 얻어진다.

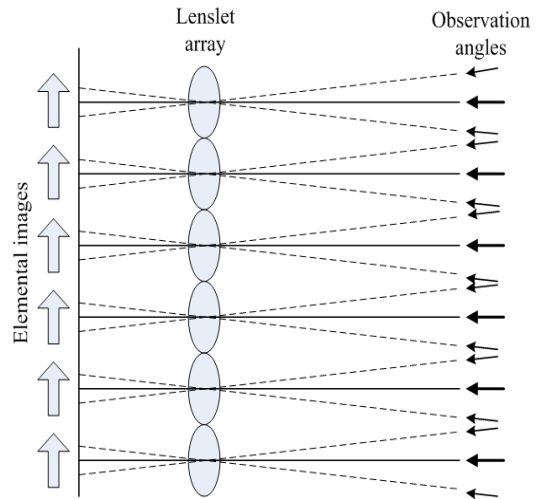


Fig. 8 Experimental structure for computational reconstruction

#### IV. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 키넥트를 통해 얻어진 영상을 이용한 3D 영상 디스플레이 방식의 유용함을 보이기 위한 실험을 수행하였다.

그림 9는 키넥트를 사용하여 3D 영상정보를 획득하는 실험에 사용된 두 종류의 3D 물체들을 나타낸다. 그림 9(a)는 연속적인 분포를 가지는 물체를 보여준다. 전자는 키넥트로부터 약 140 cm의 거리에 놓여있고, 후자는 270 cm 정도 떨어져있다. 그림 9(b)는 서로 다른 위치에 존재하는 3개의 평면물체들을 보여준다. 각각의 문자의 크기는 85×85 mm로 동일하며, 각각의 문자는 키넥트로부터 110 cm, 130 cm 그리고 150 cm에 놓여져 있다. 실험에 사용된 키넥트로부터 얻어지는 RGB영상과 깊이영상의 해상도는 각각 640×480이다.

그림 9에서 얻어진 각각의 RGB영상과 깊이영상에 대하여, 그림 4에서 설명했던 보정작업을 수행하였다. 이렇게 보정된 RGB영상과 깊이영상으로부터, 3D 집적영상에 사용될 요소영상들을 3.2절의 설명에 따라 컴퓨터 계산을 통하여 생성하였다. 그 결과, 그림 7(b)와 같은 해상도 900×600의 최종적인 요소영상들을 얻을 수 있었다. 이 때, 요소영상들의 수는 75×50개이고, 각각의 요소영상의 해상도는 12×12이다.



Fig. 9 Objects used in experiments

집적영상방식으로 디스플레이할 경우에 예상되는 3D 영상의 특성을 살펴보기 위하여, 3D 집적영상 복원 실험을 컴퓨터를 통하여 수행하였다. 컴퓨터를 통한 시점영상의 복원은 그림 8에서 설명한 대로 진행되었다. 관측각도에 따라 각각의 기초렌즈에 대응하는 요소영상으로부터 2개씩의 픽셀들을 추출하였다. 그 다음에 동일한 관측각도를 가지는 모든 픽셀들을 단순하게 재정렬하였다. 그 결과, 복원되는 3D 영상에 대한 다양한 시점영상들을 얻을 수 있었다.

그림 10과 그림 11은 시점영상 복원실험의 결과들을 나타낸다. 그림 10은 그림 9(a)에 대한 실험결과이고, 그림 11은 그림 9(b)에 대한 실험결과이다. 그림 10(a)와 그림 11(a)는 다양한 관측각도에서 보여지는 시점영상들을 보여준다. 이웃한 영상들 사이에는 시차가 존재함을 확인할 수 있는데, 이것은 제안하는 방식에 의한 3D 집적영상이 완전시차(수직시차와 수평시차)를 제공함을 보여준다. 그림 10(b)와 그림 11(b)는 시차를 보다 확실하게 보여주기 위하여, 각각 그림 10(a)와 그림 11(a)에서 선별된 대표적인 시점영상들이다. 선별된 시점영상들 사이의 시차를 더욱 확실하게 느낄 수 있음을 실험적으로 확인할 수 있다.



Fig. 10 Experimental results from Fig. 9(a). (a) images obtained in different angles (b) comparison of disparity

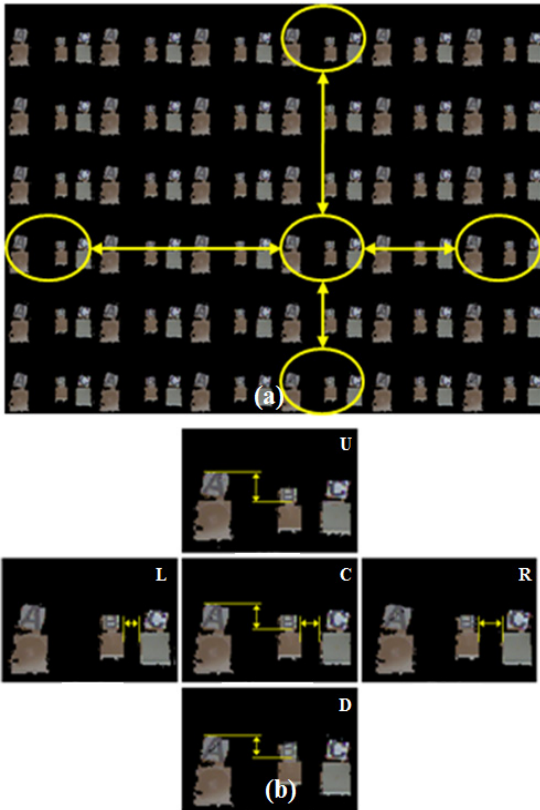


Fig. 11 Experimental results from Fig. 9(b). (a) images obtained in different angles (b) comparison of disparity

## V. 결론

본 논문에서는 깊이우선 집적영상 디스플레이를 위한 요소영상을 키넥트를 이용하여 생성하는 방법을 제안하였다. 키넥트로 얻어지는 RGB영상과 깊이영상을 집적영상 디스플레이를 위한 요소영상으로 변환시키는 원리를 이론적으로 설명하였다. 이에 필요한 깊이우선 집적영상에서의 요소영상 생성원리를 기하광학적으로 분석하였다. 이 원리를 바탕으로 3D 집적영상 디스플레이에 필요한 요소영상들을 컴퓨터를 통하여 생성하는 실험들을 수행하였다. 제안한 방식의 유용함을 보이기 위하여, 요소영상들로부터 3D 집적영상을 컴퓨터를 통하여 복원하는 실험들을 실행하였다. 그 결과, 재생되는 3D 영상이 완전시차를 제공함을 실험결과(시점영상들)에서 확인할 수 있었다. 이것은 제안하는 방식으

로 생성되는 요소영상들이 3D 집적영상 디스플레이에 적합함을 간접적으로 증명한다. 결론적으로 제안하는 방식이 요소영상 생성에 효율적이고 유용함을 실험적으로 확인하였다.

## ACKNOWLEDGMENTS

This work was supported by a Research Grant of Pukyong National University(2015 year)

## REFERENCES

- [ 1 ] B. Javidi and F. Okano, *Three-Dimensional Television, Video, and Display Technologies*, Springer-verlag publishing, Berlin, 2002.
- [ 2 ] G. Lippmann, "La photographie integrale," *Comptes-Rendus, Académie des Sciences*, vol. 146, pp. 446-451, 1908.
- [ 3 ] J.-S. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging by use of nonstationary micro-optics," *Optics Letter*, vol. 27, no. 5, pp. 324-326, May 2002.
- [ 4 ] X. Xiao, B. Javidi, M. Martinez-Corral, and A. Stern, "Advances in three-dimensional integral imaging: sensing, display, and applications ," *Applied Optics*, vol. 52, no. 4, pp. 546-560, Feb. 2013.
- [ 5 ] J. Kim, J. -H. Jung, Y. Jeong, K. Hong, and B. Lee, "Real-time integral imaging system for light field microscopy," *Optics Express*, vol. 22, no. 9, pp. 10210-10220, May 2014.
- [ 6 ] J.-H. Park, Y. Kim, J. Kim, S.-W. Min, and B. Lee, "Three-dimensional display scheme based on integral imaging with three-dimensional information processing," *Optics Express*, vol. 12, no. 24, pp. 6020-6032, Dec. 2004.
- [ 7 ] T. Ryu, B. Lee, and S. Lee, "Mutual constraint using partial occlusion artifact removal for computational integral imaging reconstruction," *Applied Optics*, vol. 54, no. 13, pp. 4147-4153, Jul. 2015.
- [ 8 ] D.-H. Shin, S.-H. Lee and E.-S. Kim, "Optical display of true 3D objects in depth-priority integral imaging using an active sensor," *Optics Communications*, vol. 275, no. 2, pp.

330-334, Feb. 2007.

[ 9 ] K. Konolige and P. Mihelich, "Technical description of Kinect calibration," [http://www.ros.org/wiki/kinect\\_calibration/technical](http://www.ros.org/wiki/kinect_calibration/technical), 2011.

[10] S.-B. Lee and Y.-S. Ho, "Real-time Stereo View Generation using Kinect Depth Camera," *Asia-Pacific Signal and*

*Information Processing Association Annual Summit and Conference 2011*, pp. PM.PS3.12, 2011.

[11] D.-H. Shin, B. Lee and E.-S. Kim, "Improved viewing quality of 3-D images in computational integral imaging reconstruction based on lenslet array model," *ETRI Journal*, vol. 28, no. 4, pp. 521-524, Apr. 2006.



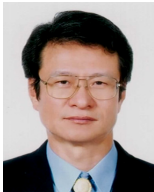
**유태경(Tae-Kyung Ryu)**

2000년 부경대학교 전자공학과(공학석사)  
2008년 부경대학교 전자공학과(공학박사)  
~ 2013.2 동서대학교 영상콘텐츠학과 연구교수  
2013.3 ~ 현재 (주)엠티엠 연구개발본부 책임연구원  
※관심분야 : 영상신호 처리, 광응용시스템



**오용석(Yongseok Oh)**

1998년 부경대학교 정보통신공학과 공학사  
2002년 부경대학교 정보통신공학과 공학석사  
2015년 부경대학교 정보통신공학과 공학박사  
2012년~2015 동서대학교 IAI 연구소 연구원  
※관심분야 : 홀로그래피, 집적영상, 3D디스플레이



**정신일(Shin-II Jeong)**

1976년 경북대학교 전자공학과 공학석사  
1988년 경북대학교 전자공학과 공학박사  
1977년~1981년 ETRI 연구원  
1981년~현재 부경대학교 정보통신공학과 교수  
※관심분야 : 광정보처리, 광컴퓨팅, 광영상인식