

---

# 컴퓨터 집적 영상 기술에서 픽업 모델 개선에 의한 복원 화질 개선 방법

유 훈\*

Reconstructed image quality enhancement by an improved pickup model in  
computational integral imaging

Hoon Yoo\*

## 요 약

본 논문에서는 컴퓨터 픽업 모델에 대한 개선 방법을 제안한다. 기존의 컴퓨터 픽업은 레이 추적 모델에 입각한 핀홀 모델 방법을 사용한다. 비록 기존 방법이 매우 유용한 방법이지만 원거리에 위치한 물체를 픽업시 화질 열화가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 보다 정교한 픽업 방법을 제안한다. 제안된 픽업 모델은 실제 센서가 화소를 만들 때 입사하는 레이들을 누적하는 과정을 첨가함으로써 얻어지고, 구조적으로 에이리어싱 현상에 더 강인하다. 제안된 방법을 입증하기 위해서 컴퓨터 실험을 진행했고 그 결과는 제안된 방법이 기존 방법보다 우수함을 입증했다.

## ABSTRACT

This paper describes an enhancement method for a computational pickup model. The conventional computational pickup model utilizes the ray-trace model and the pinhole model. The conventional model is very useful, however, it suffers from quality degradation of reconstructed images at long distances. To overcome the problem, we propose an accurate pickup model. The proposed model includes integration of the rays incoming to a sensor that generates a pixel, resulting in robustness on the Aliasing artifact. To show the effectiveness of the proposed method, experimental results are carried out. The results indicated that the proposed method is superior to the conventional method.

## 키워드

컴퓨터픽업, 3차원 디스플레이, 집적영상, 요소영상, 컴퓨터집적영상복원(CIIR)

## Key word

Computational pickup, 3D display, Integral imaging, Elemental images, CIIR

## I. 서 론

집적 영상 (integral imaging) 기술은 일반적인 백색광을 이용하여 3D 물체를 기록하고 재생할 수 있는 기술이다. 1908년에 Lippmann에 의해서 처음 제안된 이후, 그림 1과 같이, 작은 렌즈 배열을 이용해서 비교적 손쉽게 3차원 영상을 픽업하고 다시 동일한 렌즈 배열을 이용하여 디스플레이할 수 있어서 3차원 영상을 표현하는데 매우 유용한 구조를 갖는다[1-8]. 집적 영상 기술은 기존의 잘 알려진 스테레오 또는 다시점(multi-view) 방식과는 달리 관찰자의 시각적 피로감이 없고 연속적인 시점과 수평, 수직시차를 모두 제공 가능함으로 차세대 무안경식 3차원 영상 기술에 활용이 가능하다[2-3].

일반적으로 집적 영상 기술은, 그림 1에서 보이듯이, 픽업 과정과 디스플레이 과정으로 나누어진다. 집적 영상의 픽업 과정에서는 3D 물체 정보를 렌즈 배열과 영상 검출기를 이용하여 요소 영상(elemental image)을 추출한다. 3차원 물체를 표현하기 위한 과정으로 요소 영상들을 디스플레이 장치에 표현한 후 이들을 다시 렌즈 배열에 투사하면 시각적으로 3D 영상이 구현된다. 그림 1(a)에서 픽업되는 2차원 요소 영상은 3D 물체에 대해서 각각의 작은 렌즈를 통해서 얻은 작은 영상들의 조합이다. 요소 영상의 수는 렌즈 배열의 개수와 같고 2차원 배열로 이루어진 요소 영상들을 요소 영상 배열(elemental image array)라 한다.

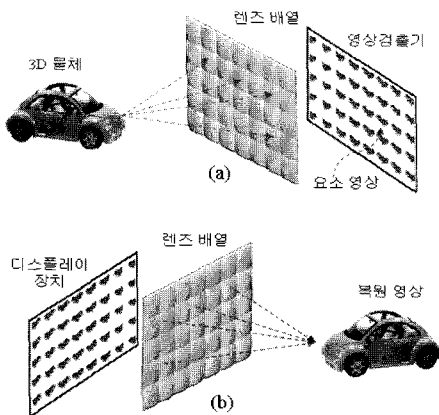


그림 1. 집적 영상 기술 (a) 픽업 (b) 디스플레이  
Fig. 1. Integral imaging technique  
(a) pickup (b) display

광학적으로 얻어지고 광학적으로 표현되는 집적 영상 기술은 최근 컴퓨터를 활용한 집적 영상 기술 즉 컴퓨터 집적 영상 (computational integral imaging reconstruction; CIIR) 기술로 파생하고 있다. 이 기술은 광학적 디스플레이를 컴퓨터를 활용하여 모델링하는 기술이다. 즉, 렌즈 배열의 각 요소 렌즈의 기하 광학적 원리를 컴퓨터를 이용하여 모델링함으로써 3D 정보를 광학장비가 아닌 컴퓨터를 활용하여 3차원 영상을 재생하는 기술이다. CIIR 기술은 광학적인 한계를 전혀 갖지 않기 때문에 다양한 방법으로 요소 영상을 재구성 할 수 있다. 예를 들면, 굳이 물리학 법칙을 그대로 따를 필요 없이 새로운 방식으로 3차원 정보를 추출할 수 있다. 따라서 3D 물체의 깊이 정보 추출 및 물체 인식 등의 다양한 응용 분야에서 컴퓨터 집적 영상 재생 방법이 활발하게 연구되고 있다 [4-8].

광학적 디스플레이를 컴퓨터 세계로 넘어와서 다양한 복원 기술을 적용하듯이 광학적 픽업 과정 또한 컴퓨터 세계로 넘어와서 활용할 수 있다. 컴퓨터 픽업 방식이라 할 수 있다. 컴퓨터 픽업 방식은 렌즈 배열이나 카메라 배열을 이용하지 않고 컴퓨터를 활용하여 생산된 3차원 물체나 볼륨으로 구성된 3차원 영상에서 요소 영상 배열을 추출할 때 필수적인 기술이다. 또한 컴퓨터 집적 영상 기술의 효율적인 개발을 위해서 컴퓨터 시뮬레이션의 기초 기술이기도 하다.

컴퓨터 픽업에서 가장 많이 활용되는 모델은 레이 추적 모델을 활용한 요소 영상 추출이다 [3-5, 9-13]. 이 방식은 요소 영상의 화소와 픽업 대상 3차원 물체의 화소간의 매핑으로 구현된다. 이 모델은 간단하면서도 비교적 정확한 모델을 제공한다. 하지만 실제 디지털 장비의 화소 저장과정에 대한 모델을 적용하지 못한 면도 있다. 따라서 본 논문에서는 레이 추적을 활용한 모델에 CCD 센서에서의 레이와 화소간의 관계를 모델에 추가함으로써 보다 더 정교한 레이 추적 모델을 제안한다. 제안된 모델을 활용하면 얻어진 요소 영상 배열의 화질이 개선될 뿐만 아니라 CIIR 복원 영상의 화질도 개선됨을 알 수 있다. 본 논문에서는 기존의 레이 추적 모델에서의 문제점을 제시하고 이를 해결하기 위한 모델 개선 작업을 한다. 또한 기초적인 실험을 수행하고 그 결과를 제시한다.

## II. 컴퓨터 집적 영상 복원 방법

그림 1에서와 같이 광학 렌즈 배열을 이용하는 얻어진 요소영상배열을 재차 광학 렌즈 배열을 이용하여 디스플레이하면 광학적으로 3D 영상이 얻어진다. 이는 상당히 손쉽게 실제 3차원 영상을 획득하는 것이고 또한 픽업장치를 그대로 활용하여 쉽게 3차원 영상을 복원할 수 있다는 상당히 큰 장점을 준다. 광학적인 3차원 디스플레이의 문제점은 여러 가지 광학적인 한계점을 기본적으로 갖는다는 것이다. 예를 들면 디스플레이시 사용될 렌즈 배열의 다양한 수차문제 및 픽업 장치와의 동일성 확보 문제 등 까다로운 광학적인 문제를 함포하고 있어서 화질개선이 쉽지 않고 시스템화하기 어렵다는 것이다. 이에 반해서 디스플레이 과정을 컴퓨터를 이용하여 계산하여 3D 영상을 재생하는 방법이 CIIR 방법이다. CIIR 장점은 3차원 영상을 디스플레이할 때 발생하는 많은 광학적인 문제점들을 전혀 갖지 않고 매우 간단한 핀홀 모델만으로도 충분한 결과를 얻어내는 점이고 또한 획득된 영상을 다양한 처리기법을 동원하여 화질을 개선할 수 있을 뿐만 아니라 다양한 인식 기술에도 쉽게 활용이 가능하단 점이다.

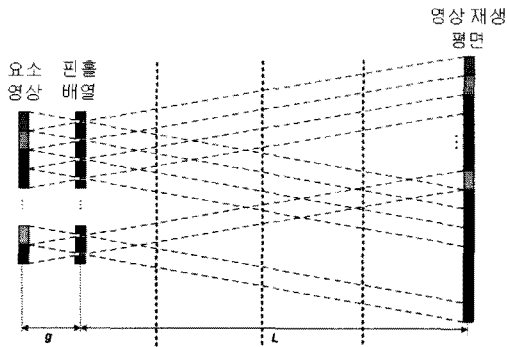


그림 2. 평면기반 CIIR 방법의 원리  
Fig. 2. Principle of plane-based CIIR

그림 2는 거리  $z=L$ 에서 핀홀 배열 모델을 이용하여 디스플레이 평면에 영상을 재생하기 위한 평면기반 CIIR 방법의 원리를 나타낸다. 핀홀 배열로부터 고정된 거리  $z=L$ 에서 각 요소영상은 대응되는 가상의 핀홀 배열을 통해서 역으로 투영된다.

투영된 영상은 확대 배율  $M$ 만큼 확대된다. 이때  $M$ 은 핀홀 배열과 재생 이미지 평면 사이의 거리( $L$ )와, 핀홀 배열과 요소영상 평면 사이의 거리( $g$ )의 비율, 즉  $M=L/g$ 로 결정된다.  $M>1$  일 때, 투영된 이미지들은 재생 이미지 평면  $z$ 에서 확대된 인접한 요소영상들과 서로 중첩된다. 3D의 입체감 있는 정보를 재생하기 위해서는, 재생하고자 하는 모든 영상 평면들에 대응하는 거리에서 위와 동일한 과정을 반복한다.

## III. 컴퓨터 픽업 과정에서 개선 모델

집적 영상의 획득을 위한 광학 픽업 장치에서 가장 많이 활용되는 것은 마이크로 렌즈의 배열이다. 따라서 광학 픽업에서 사용되는 렌즈에 대한 해석모델로 가장 많이 사용되는 것은 핀홀 모델이다. 핀홀 모델은 영상을 획득하는 가장 이상적 방법을 제공하지만 실제 센서가 인식하기엔 빛 에너지가 너무 작은 단점이 있다. 이에 대한 대안으로 핀홀과 가장 유사한 광학적인 특성을 갖는 렌즈를 사용한다고 볼 수 있다. 따라서 렌즈 배열을 배열한 것은 핀홀을 주기적으로 배치한 모델과 같아진다.

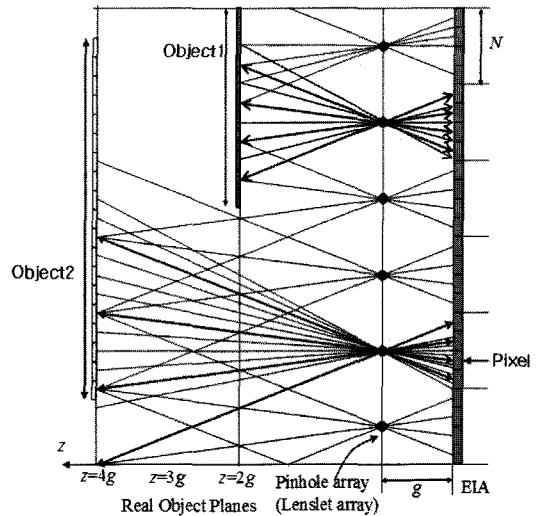


그림 3. 렌즈 배열에 의한 픽업 모델  
Fig. 3. Pickup model by lenslet array

그림 3에서는 렌즈배열을 핀홀 배열로 모델링한 것을 보여준다. 여기서 핀홀 배열의 좌측을 실제 물체가 존재하는 영역이라고 하고 오른쪽에 요소영상을 픽업하는 CCD 센서가 있다고 하자. 센서에 맺힌 상을 저장하면 요소 영상 배열(elemental image array: EIA)이라한다. CCD 센서를 활용한 디지털 영상 획득 기술에서는 날개의 센서가 2차원 배열로 배치되어 각 센서가 하나의 픽셀의 정보를 취득하는 구조로 되어있다. 예를 들면, 그림 3에서는 개별 요소 영상을 N=4개로 물체 평면의 아날로그 신호를 표본화한 것을 보여준다. 표본화에서 염두해야 할 것은 표본화 주파수가 원 신호의 스펙트럼의 최대값보다 2배 이상이어야 한다는 표본화 이론의 적용을 받는다는 것이다. 따라서 요소 영상에 대한 표본화는 물체 평면에서의 발산하는 레이들의 밝기 신호에 대한 주파수 성분을 감안하여 충분히 많은 수의 표본으로 표본화를 진행해야한다.

하지만, CCD의 센서의 개수의 제한이 있을 뿐만 아니라 물체가 위치한 거리가 멀어질수록 하나의 요소 영상이 표본해야할 공간이 커지는 광학적인 이유로 인해서 먼 거리에 위치한 물체에 대한 충분한 정보를 표본화하지 못하게 된다. 예를 들면, 그림 3에서 보여주듯이, 크기가 N인 요소영상에 대해서 물체의 거리가 4g위치인 경우 요소 영상보다 4배가 더 큰 영역에서 표본화 해야 한다. 이는 물체에서 출발한 레이들이 일부만 표본화 되어서 요소영상으로 저장되는 것을 의미한다. 즉, 거리가 4g위치에서 출발한 레이들 중 일부만 혹은 단 하나의 레이만 선택되어 화소 값으로 할당되는 것이다.

또한, 거리별로 표본되는 양상이 다르게 진행되는 것도 확인할 수 있다. 그림 3에서 보이듯이, 예를 들어, 거리가 2g 위치에서의 물체에서 발산하는 레이들과 4g 위치에서의 물체에서 발산하는 레이들을 비교하자. 요소 영상내의 한 화소 안으로 들어오는 레이들은 그림 3의 일차원의 예시에서 보면, 4g 위치에서 출발한 레이들은 4개가, 2g 위치에서 출발한 레이들은 2개가 들어오는 것을 확인할 수 있다. 이는 레이가 핀홀을 중심으로 방사하는 형태를 갖기 때문이다.

그림 4의 모델은 단일 화소에 입사하는 레이들의 기하 구조를 보여주고 있다. CCD 센서내의 한 센서의 크기 만큼의 영역에 해당하는 곳에서 발산하는 모든 레이들이 한 센서내로 입사한다. 기존의 컴퓨터 픽업에서 사용

된 레이 모델은 화소의 중심점 위치에서 직선으로 바라본 물체 공간으로 점 위치에서 발산하는 레이의 강도를 화소의 값으로 아래와 같이 산정한다.

$$I_{\text{pixel}} = I_z(x,y) \tag{1}$$

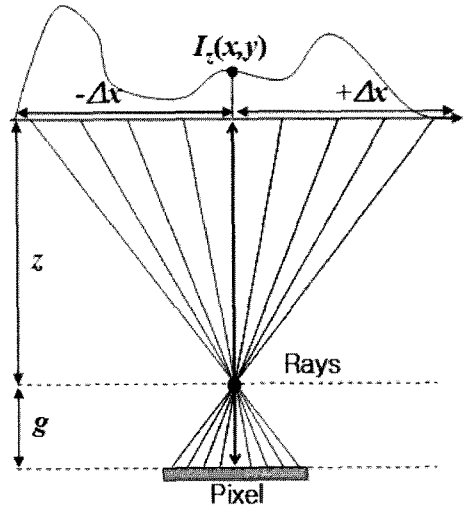


그림 4. 단일 화소에 입력되는 레이 모델  
Fig. 4. Ray model incoming to a pixel

그림 4에서도 보여주듯이, 실제 카메라 장비에서의 화소가 얻어지는 과정은 CCD 센서의 크기 만큼에 해당하는 물체 공간 면적에 해당하는 레이들이 합산되어 CCD 센서에 저장된다. 따라서 식(1)은 화소내로 들어오는 모든 레이들의 누적된 합산으로 식(2)와 같이 개선할 수 있다.

$$I_{\text{pixel}} = \int_{-\Delta y(z)}^{+\Delta y(z)} \int_{-\Delta x(z)}^{+\Delta x(z)} I_z(x,y) dx dy. \tag{2}$$

여기서, 적분되는 구간은 물체의 위치에 따라 달라짐을 쉽게 알 수 있다. 또한 CCD내의 개별 센서의 모양이 일반적으로 정사각형을 가정한다면, 거리별 구간의 크기는 식(3)과 같이 정의된다.

$$\Delta y(z) = \Delta x(z) = \frac{zL_s}{2g}, \tag{3}$$

여기서  $L_s$ 는 센서의 크기이다. 식(3)에서도 알 수 있듯이 근거리 위치의 물체에서 발산하는 레이들을 최소화할 선택하는 경우는 식(1)이나 식(2) 경우가 크게 차이나지는 않는다. 하지만, 원거리 위치의 물체에서 발산하는 레이들은 위치에 따라서 대상 영역이 각 축별로 선형적으로 증가함으로 2차원의 면적으로 환산하면 제곱으로 증가하게 된다. 따라서 원거리에 놓인 물체를 컴퓨터 픽업하기 위해서는 반드시 적분과정을 거치는 것이 보다 더 정확한 모델이 된다. 또한 레이들을 합산하는 과정은 신호 해석 면에서는 저역 필터를 사용하는 것과 동일함으로 표본화 과정에서 표본수 부족으로 인한 에일리어싱(aliasing) 현상을 최소화 할 수 있다.

#### IV. 실험 결과

본 논문에서 제안된 컴퓨터 픽업에서의 성능 개선에 대한 내용을 평가하기 위해서 실험을 실시하였다. 컴퓨터 픽업 모델에 대한 비교 평가 실험을 위해서 제 2장에서 소개된 가장 잘 알려진 CIIR를 이용하였다. 실험을 위한 구조는 그림 5와 같다. 실험 영상으로는 Baboon 영상을 사용하였다. 실험에 사용된 핀홀 배열과 요소영상 크기는  $32 \times 32$  개의 핀홀과 개별 요소 영상 크기는  $32 \times 32$  픽셀로 두었다. 핀홀간의 간격은  $1.0 \text{ mm}$ 로 설정하였고, 핀홀 배열과 요소영상간의 거리  $g=3 \text{ mm}$ 로 두었다. 물체의 위치는  $z=48 \text{ mm}$  ( $z/g=16$ )에 두었다.

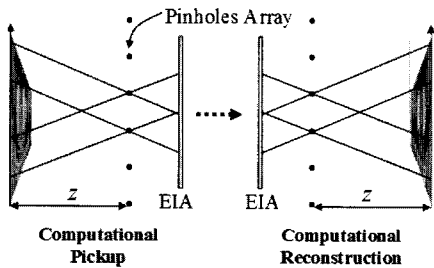


그림 5. 컴퓨터 픽업 실험 구성도

Fig. 5. Experimental structure for computational pickup

그림 6은 기존 방법에 의한 컴퓨터 픽업 과정에서 얻어진 요소 영상 배열과 제안된 방법에서 얻어진 요소 영상 배열에 대한 비교 그림이다. 하단의 그림은 요소 영상의 비교를 위해서 확대한 부분이다. 그림 6(a)와 (b)를 비

교하면 제안된 방법이 보다 더 부드러운 영상을 제공할 수 있다.

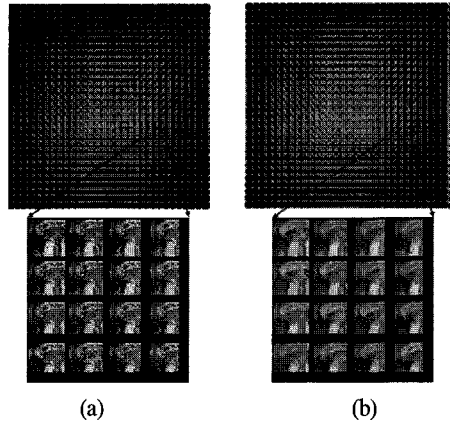


그림 6. 요소 영상 배열 (a) 기존 방법 (b) 제안된 방법

Fig. 6. Elemental image array obtained by (a) conventional method (b) proposed method

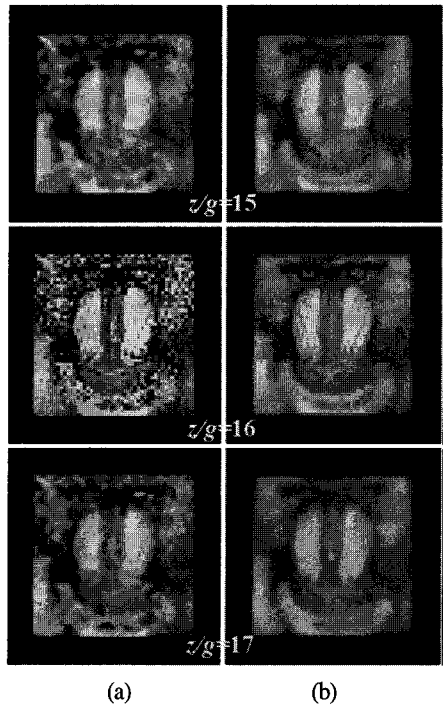


그림 7.  $z/g=15, 16, 17$ 위치에서의 CIIR 영상 (a) 기존 방법 (b) 제안된 방법

Fig. 7. CIIR images at  $z/g=15, 16, 17$  by (a) conventional method (b) proposed method

그림 7은 컴퓨터 집적 영상의 복원 화질을 비교한 그림이다. 그림 7(a)는 거리가 각각  $z/g=15,16,17$ 에서의 기존 픽업 방법과 CIIR 복원된 영상이다. 그림에서도 알 수 있듯이 정위치의 거리에서 복원된 영상도 표본수의 부족으로 인한 에이리어싱 현상을 확인 할 수 있다. 반면에 그림 7(b)는 제안된 방법으로 얻어진 그림이다. 기존 방법과 비교하여 보다 높은 화질을 보임을 확인할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 렌즈 배열을 이용한 광학 픽업을 컴퓨터 픽업으로 시뮬레이션하는 과정에서 발생할 수 있는 문제점을 지적하고 그에 대한 해법으로 보다 더 정교한 컴퓨터 픽업 과정을 제안하였다. 제안된 방법은 원거리에 위치한 물체에서 발생한 레이들을 실제 디지털 장비들이 수행하는 과정을 반영함으로써 기존 방법보다 고 화질의 요소 영상 배열을 얻을 수 있었다. 제안된 컴퓨터 픽업에 대한 비교실험을 수행하였고 실험 결과는 제안된 방법이 기존 방법에 비하여 우수함을 보였다.

## 참고문헌

- [ 1 ] G. Lippmann, "La photographic integrale," C.R. Acad. Sci. Vol. 146, pp. 446-451, 1908.
- [ 2 ] B. Lee, S. Y. Jung, S.-W. Min, and J.-H. Park, "Three-dimensional display by use of integral photography with dynamically variable image planes" Opt. Lett. Vol. 26, pp. 1481-1482, 2001.
- [ 3 ] J. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three- dimensional integral imaging by use of nonstationary micro-optics" Opt. Lett. Vol. 27, pp. 324-326, 2002.
- [ 4 ] H. Arimoto and B. Javidi, "Integral three-dimensional imaging with digital reconstruction" Opt. Lett. Vol. 26, pp. 157-159, 2001.
- [ 5 ] S.-H. Hong, J.-S. Jang, and B. Javidi, "Three-dimensional volumetric object reconstruction using computational integral imaging" Opt. Express, Vol. 12, pp. 483-491, 2004.
- [ 6 ] H. Yoo and D.-H. Shin, "Improved analysis on the signal property of computational integral imaging system," Opt. Express Vol. 15, pp. 14107-14114, 2007.
- [ 7 ] S.-H. Hong and B. Javidi, " Distortion-tolerant 3D recognition of occluded objects using computational integral imaging ," Opt. Express Vol. 14, pp. 12085-12095, 2006.
- [ 8 ] J.-S. Park, D.-C. Hwang, D.-H. Shin and E.-S. Kim, "Resolution-enhanced 3D image correlator using computationally reconstructed integral images," Opt. Commun. Vol. 276, pp. 72-79, 2007.
- [ 9 ] D.-H. Shin and H. Yoo, "Image quality enhancement in 3D computational integral imaging by use of interpolation methods," Opt. Express Vol. 15, pp. 12039-12049, 2007.
- [10] D.-H. Shin, B. Lee and E.-S. Kim, "Multidirectional curved integral imaging with large depth by additional use of a large-aperture lens," Appl. Opt. Vol. 45, pp. 7375-7381, 2006.
- [11] H. Yoo, "Artifact analysis and image enhancement in three dimensional computational integral imaging using smooth windowing technique," OSA Optics Letters, vol. 36, no. 12, Jun. 15, 2011.
- [12] 손정민, 유훈, "컴퓨터 집적 영상에서의 정교한 요소 영상 추출 및 전처리 방법," 한국해양정보통신학회논문지, 제15권 5호, pp. 1164-1170, 2011년 5월
- [13] 유훈, "주기적으로 배치된 렌즈 배열 픽업에서의 요소 영상 크기와 3차원 물체 위치와의 해석과 컴퓨터 집적 영상 복원 화질 개선 방법," 한국해양정보통신학회논문지, 제15권 5호, pp. 1171-1176, 2011년 5월

저자소개

유 훈(Hoon Yoo)

한국해양정보통신학회 논문지  
제15권 제5호 참조