

---

# 평면기반 컴퓨터 집적 영상 재생 방법에서 3차원 영상의 해상도 개선

신 동 학\*

Resolution improvement of 3D images in plane-based computational integral imaging reconstruction technique

Dong-Hak Shin\*

## 요 약

본 논문에서는 3차원 집적 영상 기술에서 렌즈 모델에 기초하여 3차원 물체에 대한 새로운 평면기반 컴퓨터 재생 방법을 제안한다. 제안하는 방법에 대해서 여러 시험 영상에 대해서 컴퓨터 실험을 수행하여 재생된 영상에 대한 해상도를 분석하고 기존의 방법에 의한 결과와 비교를 하였다. 실험결과로부터 제안하는 방법을 사용함으로써 재생되는 3차원 영상의 해상도가 향상됨을 보였다.

## ABSTRACT

In this paper, a new plane-based computational reconstruction technique for three-dimensional (3D) objects in 3D integral imaging based on a lens model is proposed. For the proposed technique, computational experiments have been carried out for various test images. Resolution of the reconstructed images is analyzed and compared with that obtained by the conventional technique. From experiments, it is shown that the resolution of a 3-D reconstructed image was improved by using the proposed technique.

## 키워드

3D display, Integral imaging, Lens array, Computational reconstruction

## I. 서 론

현재 3차원 물체를 디스플레이하기 위한 여러 가지 방법이 연구되고 있다. 특히, 집적 영상 (Integral Imaging) 방식은 백색광을 이용하여 3차원 물체를 저장하고 재생할 수 있는 기술로서 1908년에 Lippmann에 의해서 처음 제안된 이후로 많은 연구가 수행되고 있다 [1-10]. 집적 영상 기술은 오토스테레오스코피 (Autostereoscopy) 방식으로서 스테레오스코피 방식에서 나타나는 관찰자의 시각적 피로감이 없고 연속적인 시

점과 수평, 수직시차를 모두 제공할 수 있는 장점을 가지고 있지만 재생 영상의 질이 떨어지고 해상도가 낮고 시야각이 제한되는 단점도 있다 [2-4].

최근 이 집적 영상 기술을 3차원 물체의 표면 추출, 깊이 정보 추출 및 물체 인식 등의 여러 가지 응용 분야에 적용하고, 광학적 집적 영상 재생 방법의 단점을 극복하기 위해서 컴퓨터를 이용한 집적 영상 재생 방법이 활발하게 연구되고 있다 [5-9]. 이 컴퓨터 집적 영상 재생 (CIIR: Computational integral imaging reconstruction) 방법은 렌즈 배열의 각 요소 렌즈의 기하 광학적 원리를 컴퓨

터를 이용하여 모델링함으로써 컴퓨터적으로 3차원 정보를 재생하는 방법이다.

컴퓨터를 이용한 재생 방법은 시점기반 (View-based) CIIR 방법과 평면기반 (Plane-based) CIIR 방법으로 분류할 수 있다. 시점기반 CIIR 방법은 광학적 픽업으로 획득한 요소영상들에서 대응 시점으로부터 한 픽셀씩을 추출하여 집합하면 특정 시점에서 관측한 영상이 재생되는 방법이다 [5]. 이에 반해 평면기반 CIIR 방법은 3차원 영상을 일정한 거리에 놓인 평면에서 재생하는 방법이다. 이 경우 재생되는 3차원 영상은 영상 재생의 평면의 위치에 따라 달라진다 [6]. 그러나 기존의 평면기반 CIIR 방법에서는 각 요소렌즈를 가상의 핀홀로 모델링한 핀홀 배열 모델을 사용하였기 때문에 재생 영상에서 격자 구조의 밝기 불균일 현상 및 해상도를 떨어뜨리는 현상이 발생하였다[6].

본 논문에서는 기존의 핀홀 배열에 기초한 평면기반 CIIR 방법의 저해상도 문제점을 해결하기 위해서 각 요소렌즈를 렌즈의 광학적 특성을 그대로 모델링한 렌즈 모델을 적용하여 해상도를 증가시키는 평면기반 CIIR 방법을 제안한다. 제안된 방법에 대해서 컴퓨터 실험을 수행하고, 기존의 방법과 비교하여 그 개선 효과를 보고한다.

## II. 집적 영상 기술과 평면기반 CIIR 방법

### 2.1 집적 영상 기술

집적 영상 기술은 그림 1과 같이 크게 픽업 (Pickup) 과정과 디스플레이 (Display) 과정으로 나눌 수 있다. 집적 영상의 픽업 과정에서는 3차원 물체의 정보를 렌즈 배열과 CCD를 이용하여 2차원 요소 영상으로 기록한다. 그리고 디스플레이 과정에서는 픽업과정에서 얻어진 2차원 요소 영상을 LCD와 같은 디스플레이 장치에 표현하고 이들을 다시 렌즈 배열을 통과시켜 3차원 영상으로 재생한다. 그림 1(a)에서 픽업되는 2차원 요소 영상은 3차원 물체에 대해서 각각의 작은 렌즈를 통해서 작은 영상들로 투영되고 CCD 카메라에 의해서 영상 검출면에서 기록하여 얻게 된다. 따라서 요소 영상의 수는 렌즈 배열의 개수와 같다.

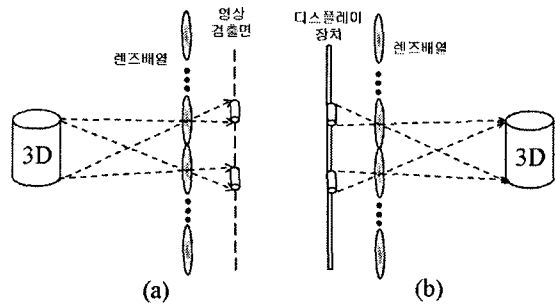


그림 1. 집적 영상 기술 (a) 픽업 (b) 디스플레이  
Fig. 1. Integral imaging technique (a) pickup (b) display

### 2.2 평면기반 CIIR 방법

그림 1에서와 같이 렌즈 배열을 이용하는 경우에는 광학적으로 3차원 영상이 얻어진다. 이에 반해서 디스플레이 부분을 컴퓨터적으로 계산하여 3차원 영상을 재생할 수 있다. 이 방법 중에 하나가 평면기반 CIIR 방법이다. 이 기법은 픽업된 요소영상들을 핀홀 배열에 대해서 기하광학적 특성을 컴퓨터를 이용하여 모델링한 후 프로그램에 의해 계산되어 3차원 영상을 재생한다 [6,7]. 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  $M$ 에 확대된다. 이때  $M$ 은 핀홀 배열과 재생 이미지 평면( $L$ )사이의 거리와, 핀홀 배열과 요소영상 평면( $g$ ) 사이의 거리의 비율, 즉  $M = L/g$ 로 결정된다.  $M > 1$  일 때, 투영된 이미지들은 재생 이미지 평면  $z$ 에서 확대된 인접한 요소영상들과 서로 중첩된다. 3차원의 입체감 있는 정보를 재생하기 위해서는, 재생하고자 하는 모든 영상 평면들에 대응하는 거리에서 위와 동일한 과정을 반복한다.

그러나 이 방법에서는 재생된 영상들이 렌즈 배열에 근접하여 재생되는 3차원 평면 영상에서 요소영상의 충분한 중첩을 갖지 못한 결과로 격자 구조의 밝기 불균일 현상과 재생 영상의 해상도가 저하 등의 문제점을 가지고 있다.

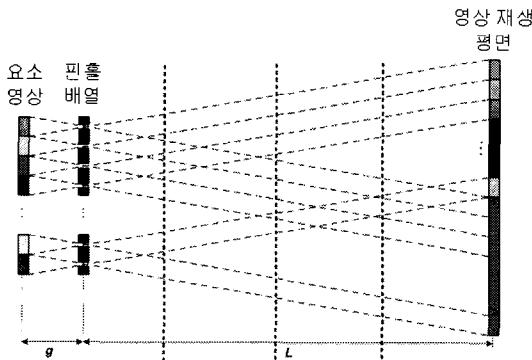


그림 2. 기존의 평면기반 CIIR 방법의 원리  
Fig. 2. Principle of conventional plane-based CIIR

### III. 렌즈 모델을 적용한 평면기반 CIIR 방법

본 논문에서는 그림 2에서 설명한 기존의 방식인 핀홀 모델에 기초한 평면기반 CIIR 방법의 문제점을 해결하고자 새로운 렌즈 모델을 적용한 평면기반 CIIR 방법을 제안한다. 그림 3은 렌즈 배열을 핀홀이 아닌 렌즈의 광학적 특성을 그대로 모델링하는 렌즈 모델을 적용한 평면기반 CIIR 방법의 원리를 나타낸다. 이 때, 각 요소 렌즈는 사각 모양으로 이루어져 있으며 디스플레이 패널은 충분한 해상도를 갖는다고 가정한다. 디스플레이 패널과 렌즈 배열사이의 거리를  $g$ , 폭과 렌즈의 초점거리를 각각  $d, f$ 라고 할 때, 가우스 렌즈 법칙에 따라 이미지 평면은  $L=gf/(g-f)$ 의 거리에 위치해 있고, 한 픽셀이 이미지 평면에서 맺히는 크기는 식 (1)과 같다.

$$D(z=L) = \frac{2\lambda L}{d} \tag{1}$$

이 때 렌즈의 광학적 특성은 회절 이론에 따른 렌즈의 초점 깊이  $\Delta z$ 와 광선의 각도  $\theta$ 로써, 다음 식 (2)와 (3)으로 표현된다 [11].

$$\Delta z = \frac{2\lambda L^2}{d^2} \tag{2}$$

$$\theta = \sin^{-1}\left(\frac{d}{2L}\right) \tag{3}$$

그림 3에서, 디스플레이 장치에서 나오는 광선은 하나의 렌즈를 통과하여 거리  $z$ 가 증가함에 따라 발산한다.

이것은 거리가  $z$ 가 증가함에 따라 맺히는 점의 크기  $D$ 를 보면 쉽게 알 수 있다. 점의 크기  $D$ 가 가장 작을 때는  $z$ 가  $L \pm \Delta z$ 사이의 거리에 존재할 때이며  $z$ 가 이 범위 밖에 있을 때 거리  $z$ 에 따라  $D$ 는 다음 식 (4)와 같이 다양하게 변한다.

$$D(z) = \begin{cases} 2(L-z)\tan\theta, & z \leq L - \Delta z \\ 2\lambda L/d, & e.w. \\ 2(z-L)\tan\theta, & L + \Delta z < z. \end{cases} \tag{4}$$

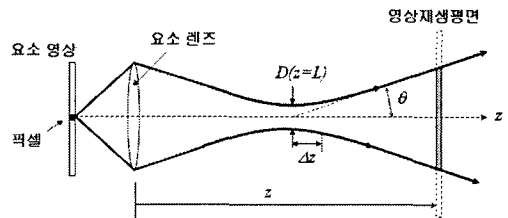


그림 3. 렌즈 모델을 이용하는 CIIR 방법의 원리  
Fig. 3. Principle of CIIR based on lens model

제안하는 방법에서는 요소영상들의 모든 픽셀들은 각각 대응되는 렌즈를 통해 투영되고 각각의 영상 재생 평면에 맺히는 점의 크기  $D(z)$ 에 따라서도 중첩되는 과정을 거쳐 획득된다. 한 예로써 집적 점 영상의 크기  $D$ 를 식 (4)에 따라 계산하여 그림 4와 같이 그래프로 제시하였다. 만약  $z < L$  혹은  $z > L$  일 때, 집적 점 영상의 크기가  $z=L$  일 때보다 더 크다. 따라서 제안된 방법은 기존 방법의 문제점이었던 가까운 곳에서의 불충분한 중첩으로 인한 영상의 질 저하에 대해서 충분한 중첩을 제공한다. 따라서 제안된 방법은 렌즈 배열 가까운 위치에서 점 영상의 크기가 큰 요소영상의 중첩 효과 때문에 밝기 불균일 현상의 문제점을 해결할 수 있다.

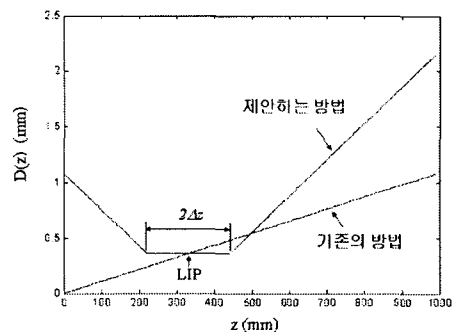


그림 4. 거리에 따른 점 영상의 크기  
Fig. 4. Size of integral image according to distance

#### IV. 실험 및 결과

제안하는 평면기반 CIIR 방법의 성능을 조사하기 위해서 컴퓨터 픽업 실험 및 재생 실험을 수행하였다. 실험을 위한 구조는 그림 5와 같다.

먼저 컴퓨터 픽업 실험에서 요소 영상을 컴퓨터적으로 합성하기 위해서 그림 5와 같은 픽업 구조를 컴퓨터로 모델링하였다. 실험에 사용한 시험 영상은 그림 6에 보여지듯이 4 종류의 서로 다른 시험 영상을 사용하였다. 시험영상은 2 종류의 256 레벨의 그레이를 사용한 시험 영상과 그레이 레벨의 값 중 0값과 255값을 가지며 반복적인 2 종류의 시험 영상으로 구성되어 있다. 이때 시험 영상들을 렌즈배열로부터 거리  $z=15\text{ mm}$ 에 각각 위치시켰다. 이 시험 영상은 각각  $1020 \times 750$  픽셀의 해상도를 가진다. 이때 사용한 렌즈 배열은  $34 \times 25$  개의 요소 렌즈로 구성되어 있으며, 각 요소 렌즈의 직경은  $d=1.08\text{ mm}$ 이고, 초점거리는  $3\text{ mm}$ 이었다. 그리고 하나의 요소 렌즈를 통해서 얻어지는 요소 영상의 크기는  $30 \times 30$  픽셀이 되도록 하였다. 이 조건에서 합성된 요소영상을 그림 7에 나타내었다.

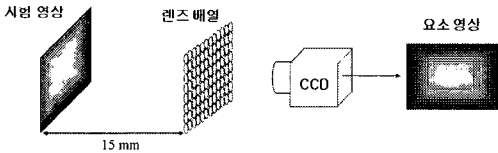


그림 5. 실험 구조  
Fig. 5. Experimental Structure

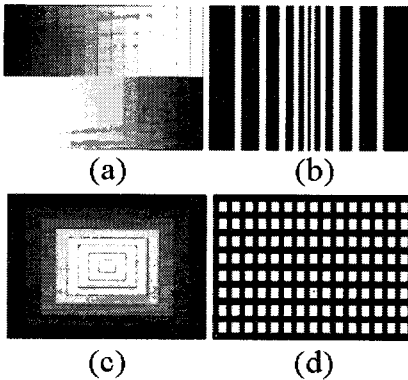


그림 6. 시험 영상들  
Fig. 6. Test images

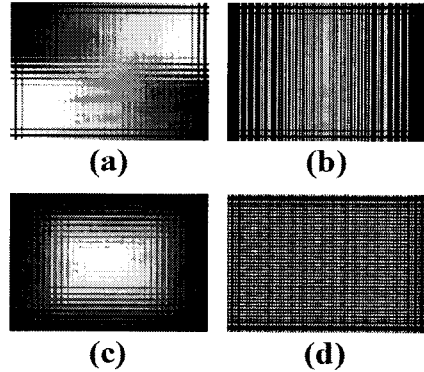


그림 7. 시험 영상의 픽업된 요소영상  
Fig. 7. Pickuped elemental images of the test pattern

요소 영상을 합성한 다음, 픽업된 요소영상을 이용하여 본 논문에서 제안하는 평면기반 CIIR 방법으로 3차원 영상을 재생하였다. 재생 평면은 원래 시험 영상이 놓였던  $z=15\text{ mm}$ 에 위치시켰고,  $1020 \times 750$  픽셀 해상도로 구성하였다. 이들 재생 영상은 각각 그림 8에 나타내었다. 재생 영상의 질을 비교하기 위하여 기존 방법의 결과를 추가하였다. 기존의 방법으로 재생된 결과는 그림 8(a)에, 제안하는 방법으로 재생된 영상은 그림 8(b)에 각각 나타내었다.

이 실험 결과에 대한 재생 영상의 해상도 개선 성능을 측정하기 위해서 원 영상과의 최대 신호 대 잡음 비율 (PSNR : Peak Signal to Noise Ratio)을 계산하였다. PSNR 계산 결과가 높으면 높을수록 재생된 영상의 질이 원 영상과 더 유사함을 뜻한다. PSNR을 계산하기 위해서, 우선 평균 제곱 오차 (MSE : Mean-Square Error)를 구해야 한다. MSE는 두 영상 사이에서 대응되는 각 픽셀의 차를 제곱하여 모두 합한 결과를 영상의 픽셀수로 나눈 값이다. MSE를 구하는 공식은 다음 식 (5)와 같다.

$$MSE = \frac{\sum_{X,Y} [I_1(x,y) - I_2(x,y)]^2}{XY} \quad (5)$$

여기서  $I_1$ 는 원영상을 나타내며,  $I_2$ 는 재생 영상을 나타낸다. 식 (5)에서,  $X$ 과  $Y$ 는 입력 영상에서 행과 열의 전체 수를 각각 의미한다. 계산된 MSE 값을 이용하여 두 영상 사이의 PSNR은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left( \frac{R^2}{MSE} \right) \quad (6)$$

식 (6)에서,  $R$ 은 원 영상 데이터의 최대값을 나타낸다.

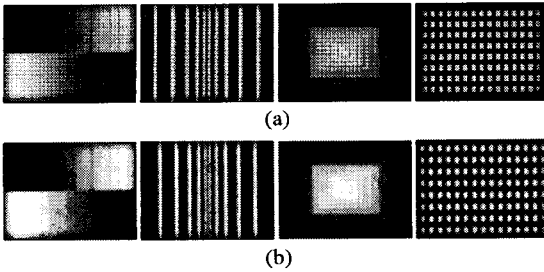


그림 8. 시험 영상들에 대한 재생 실험 결과  
 (a) 기존의 방법 (b) 제안하는 방법  
 Fig. 8. Experimental results for test images (a) Conventional method (b) Proposed method

그림 9는 4 종류의 시험 영상에 대한 PSNR을 비교분석한 결과이다. 이 PSNR 결과로부터 기존의 방법인 편홀 모델을 이용하는 평면기반 CIIR 방법 보다 제안된 렌즈 배열을 이용한 평면기반 CIIR 방법이 더 높은 PSNR을 가지며, 원래 영상에 더 가깝게 재생되는 것을 확인할 수 있다. 제안된 방법은 최대 24%까지 개선됨을 알 수 있다. 실험을 위해서 택한 시험 영상 중에서 gray level 값들로 이루어진 영상에서는, 제안된 방법을 이용했을 때 높은 해상도 개선 결과를 확인할 수 있었으나, 단순히 검정과 흰색을 반복적으로 구성한 실험 패턴에서는 PSNR이 크게 향상되지 않는 결과를 보였다. 그러나 실제의 광학적 실험에서 3차원 물체는 다양한 그레이 값을 가지는 요소 영상으로 얻어지기 때문에 기존의 방법에 비해서 제안하는 방법은 더 효과를 클 것으로 기대한다.

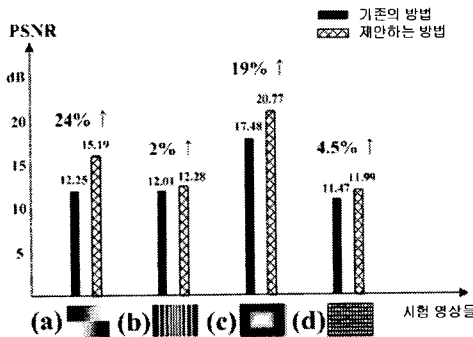


그림 9. 4 종류의 시험 영상에 대한 PSNR 실험 결과  
 Fig. 9. Experimental result of the PSNR for 4 test images

## V. 결론

본 논문에서는 3차원 집적 영상 기술에서 렌즈 모델에 기초하여 해상도가 개선된 3차원 영상의 평면기반 컴퓨터 재생 기법을 제안하였고 이에 대해서 4종류의 시험 영상에 대한 분석을 수행하였다. 기존의 편홀 모델에 비해서 제안하는 방법은 PSNR에서 최대 24%의 개선 결과를 얻었다. 제안하는 방법은 향후 3차원 영상 인식이나 3차원 정보 처리 기술 등에서 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

## 참고문헌

- [1] G. Lippmann, "La photographic integrale," C.R. Acad. Sci. Vol. 146, pp. 446-451, 1908.
- [2] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Three-dimensional video system based on integral photography" Opt. Eng. Vol. 38, pp. 1072-1077, 1999.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] H. Arimoto and B. Javidi, "Integral three-dimensional imaging with digital reconstruction" Opt. Lett. Vol. 26, pp. 157-159, 2001.
- [6] 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.
- [7] D.-H. Shin, M. Cho, K.-C. Park and E.-S. Kim, "Computational technique of volumetric object reconstruction in integral imaging by use of real and virtual image fields," ETRI Journal, Vol. 27, pp. 708-712, 2005.
- [8] 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.

- [9] 신동학, 김남우, 이준재, 김은수 “원형 매핑 모델에 기초한 3차원 영상의 평면기반 컴퓨터 집적 영상 재생 방식”, 한국해양정보통신학회 논문지, 제11권5호, pp. 991-996, 2007.
- [10] D.-H. Shin, E.-S. Kim and B. Lee, “Computational reconstruction technique of three-dimensional object in integral imaging using a lenslet array,” Japanese Journal of Applied Physics, Vol. 44, pp. 8016-8018, 2005.
- [11] J. -S. Jang, F. Jin, and B. Javidi, “Three-dimensional integral imaging with large depth of focus by use of real and virtual image fields,” Opt. Lett. Vol. 28, pp. 1421-1423, 2003.

## 저자소개

### 신 동 학(Dong-Hak Shin)



1996년 2월 부경대학교 정보통신공학과 공학사

1998년 2월 부경대학교 전자공학과 공학석사

2001년 8월 부경대학교 정보통신공학과 공학박사

2001년10월-2004년8월 일본 도요하시 기술대학 연구원

2005년3월-2006년8월 광운대학교 3DRC 연구교수

2006년9월-현재 동서대학교 영상콘텐츠학과 연구교수

※ 관심분야: 광정보처리, 3D 디스플레이, 3D 영상처리