

---

# 크기가변 확대 기법 기반의 컴퓨터적 집적 영상 방법을 이용한 3D 영상의 해상도 개선

신동학\* · 유훈\*\*

Resolution enhancement of 3D images using computational integral imaging reconstruction method based on scale-variant magnification

Dong-Hak Shin\* · Hoon Yoo\*\*

## 요 약

본 논문에서는 3D 영상의 해상도 개선을 위한 크기가변 확대 기법 기반의 컴퓨터적 집적 영상 재생 방법을 제안한다. 먼저 컴퓨터적 집적 영상 재생 방법에서 요소 영상 사이의 간섭 문제를 설명한다. 큰 확대개수는 요소 영상의 확대 중첩 과정에서 큰 간섭을 야기하여 재생 3D 영상의 해상도를 저하시킨다. 이 간섭 문제를 극복하기 위해서 최소 확대 계수를 계산하는 방법을 제안한다. 새로운 최소 확대 계수는 해상도가 향상된 3D 영상을 제공하며, 제안하는 방법은 기존의 방법보다 계산량이 작다. 제안하는 방법의 유용함을 보이기 위해서 컴퓨터 복원 실험을 수행하고 그 결과를 보고한다.

## ABSTRACT

In this paper, we propose a computational integral imaging reconstruction (CIIR) method based on scale-variant magnification technique for resolution-enhanced 3D images. First, we introduce an interference problem among elemental images in CIIR. Magnification by a large factor causes interference among elemental images when they are applied to the superposition process. Thus, the resolution of reconstructed images is limited. To overcome the interference problem, we propose a method to calculate a minimum magnification factor while CIIR is still valid. Magnification by a new factor enables the proposed method to reconstruct resolution-enhanced images. In addition, the computational load of the proposed method is less than that of the previous method. To confirm the feasibility of the proposed method, some experiments are carried out and the results are presented.

## 키워드

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

## I. 서 론

현재 3D 물체를 디스플레이하기 위한 여러 가지 방식이 연구되고 있다. 이 중에서 최근 활발히 연구되고 있는

집적 영상 (integral imaging) 방식은 백색광을 이용하여 3D 물체를 저장하고 복원할 수 있는 기술로서 1908년에 Lippmann에 의해서 처음 제안되었다 [1]. 이 후로 많은 관련 연구가 수행되어 왔다 [2-6]. 집적 영상 방식은 오토

---

\* 동서대학교 영상콘텐츠학과

\*\* 상명대학교 디지털미디어학부 (교신저자)

스테레오스코피(autostereoscopy) 방식으로서 스테레오스코피 방식에서 나타나는 관찰자의 시각적 피로감이 없고 연속적인 시점과 수평, 수직시차를 모두 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그러나, 3D 영상을 재생할 때 사용하는 렌즈 배열 (lenslet array)의 제한된 기초렌즈의 수로 인하여 재생 영상의 질이 떨어지고 해상도가 낮아지며, 렌즈 배열의 f-number에 제약으로 야기되는 좁은 시야각 문제점이 있다 [3-6].

최근 이 집적 영상 기술에서 광학적 집적 영상 재생 방식의 단점을 극복하기 위해서 컴퓨터적 집적 영상 재생 방식이 활발하게 연구되고 있다. 컴퓨터적 집적 영상 재생 방식은 관측점 (viewing point) 방식 [7] 과 평면기반(plane-based) 방식 [8]으로 분류할 수 있다. 관측점 방식은 광학적 픽업으로 획득한 요소 영상들(elemental images)에서 대응 시점으로부터 한 픽셀씩을 추출하여 집합하면 특정 시점에서 관측한 영상이 재생되는 방식이다. 한편 평면기반 방식은 3D 영상을 일정한 거리에 놓인 평면(image plane)에서 재생하는 방식이다. 이 경우 재생되는 3D 영상은 영상 재생의 평면의 위치에 따라 달라진다. 이러한 평면기반 방식의 성능을 향상하려는 다양한 방식[9-12]과 이 특성을 잘 이용한 인식 방식 [13,14]이 최근 활발히 연구되고 있다. 예를 들어 가려진 물체에 대해서 3D 인식을 잘 수행하는 방식이다. 이 방식은 부피적으로 3D 영상을 복원하기 때문에 컴퓨터적 집적 영상 재생 기법(computational integral imaging reconstruction: CIIR)이라고 부른다.

기존의 CIIR 방식의 원리를 그림 1(a)에 나타내었다. 먼저 요소 영상은 대응 핀홀을 통해 역으로 투영된다. 3D 영상이 핀홀 배열로부터  $z$  만큼 떨어진 재생 이미지 평면에서 복원될 때 역투영 요소영상은  $M=z/g$ 의 확대계수로 확대된다. 여기서  $z$ 는 핀홀 배열과 재생 이미지 평면 사이의 거리이고,  $g$ 는 핀홀배열과 요소영상 사이의 거리이다. 다음으로 확대 요소 영상은 재생 이미지 평면의 대응 픽셀들에 중첩된다. 다음으로 artifact 잡음을 줄이기 위한 정규화 과정을 수행한다.  $z$ 의 거리에서 3D 물체의 평면 재생 영상을 완전히 복원하기 위해서는 각각의 핀홀에 대해서 모든 요소 영상을 반복적으로 같은 과정을 반복한다.  $z$  값을 증가시키면서 반복적인 계산을 통하여  $z$ 축의 평면 재생 영상 집합을 재생 이미지 평면을 따라서 복원할 수 있다.

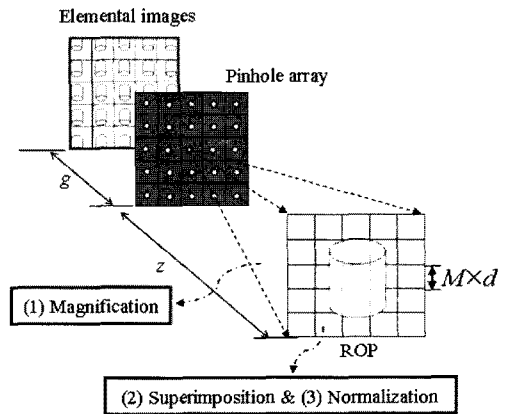


그림 1. 기존의 CIIR 방법의 원리  
Fig. 1. Principle of Previous CIIR method

그러나 기존의 CIIR 방식에는 해결해야 할 여러 가지 문제점이 있다. 예를 들면, 재생 영상의 artifact 문제와 먼 거리에서의 큰 확대계수에 의한 많은 계산량이 있다. 추가적으로 평면 재생 영상은 3D 물체가 존재한 위치인  $z$ 에서 복원된다 할지라도 재생 영상에는 흐려짐 현상이 나타난다. 이것은 기존의 CIIR 방식이 확대된 요소영상이 재생 이미지 평면에서 중첩될 때 인접 픽셀들 사이의 원치 않는 간섭에 의해서 나타나기 때문이다. 이는 3D 물체의 정확한 재생을 방해한다. 본 논문에서는 이와 같은 CIIR으로 재생되는 3D 영상의 해상도 저하 문제를 해결하기 위해서 크기가변 확대기반의 평면 3D 복원 영상의 해상도를 향상하는 새로운 방식을 제안한다. 크기가변 확대 계수를 계산하기 위한 모델을 제시하고, 계산된 확대 계수를 이용한 실험을 수행하여 기존의 방법과 비교한다.

## II. 크기가변 확대 기법을 이용한 새로운 CIIR 방법

### 2.1 기존의 CIIR 방법에서의 간섭 문제

기존의 CIIR 방법에서 간섭 문제를 이해하기 위해서 그림 2와 같은 점 물체(point object)에 대한 컴퓨터적 집적 영상 시스템을 고려하자. 그림 2(a)는 점 물체에 대한 요소 영상을 획득하는 과정을 보여준다. 점 물체는 각각의 서로 다른 렌즈를 통과하여 요소 영상면(elemental image plane)에 도달하여 CCD와 같은 영상 장치를 통해

서 영상으로 기록된다.

이제, 그림 2(b)의 CIIR 과정을 고려하자. 기록된 요소 영상을 핀홀배열을 이용하여 출력 평면으로 투영할 경우 그림 1의 설명에서와 같이 각각의 요소 영상은  $M=z/g$  만큼 확대되어 출력 평면에 중첩된다. 이 경우 그림 2(b)와 같이 점광원이 만들어지지 않고 확대된 영상이 얻어지게 된다. 따라서 출력평면에 위치한 이웃 픽셀들에게 그 영향이 미치게 된다. 이를 CIIR의 간섭(interference)이라고 정의한다. 이 간섭 문제는 재생되는 3D 영상의 해상도를 저하시킨다. 따라서 해상도를 향상을 위해서는 이 간섭을 제거할 필요가 있다.

### 2.2 제안하는 CIIR 방법

이웃하는 픽셀들에 대한 간섭을 제거하기 위해서는 그림 2(c)와 같이 확대 계수를 줄여서 그 간섭을 쉽게 제거할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 새로운 확대 계수를 이용한 CIIR 방법을 제안하고자 한다. 그러나 새로운 확대 계수는 거리에 따라 달라지며, 요소 영상의 전체 화소 수 및 전체 요소 영상의 개수 등에 따라 그 특성이 달라질 수 있다.

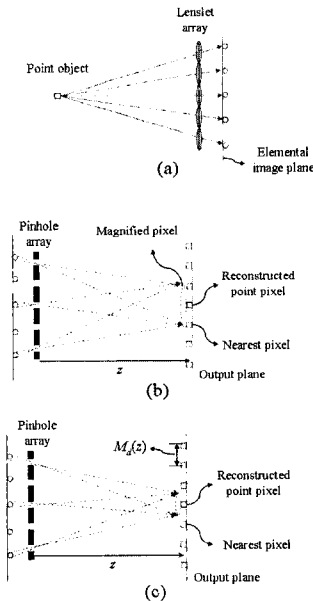


그림 2. (a) 점 물체의 픽업 (b) 기존의 CIIR 방법 (c) 제안하는 CIIR 방법

Fig. 2. (a) Pickup of point object (b) Previous CIIR method (c) Proposed CIIR method.

본 논문에서 제안하는 방식의 개념도를 그림 3에 나타내었다. 여기서는 그림 1과 달리 하나의 요소 영상은 핀홀 배열을 통과한 이후로 크기가 작은 사각형 형태의 매핑이 되는 방식이다. 이때 사각형 형태의 매핑의 크기는 재생 면에서의 픽셀 간 간격을 고려하여 결정한다. 이 매핑의 크기를 최소 확대 계수(minimum magnification factor)라 부른다.

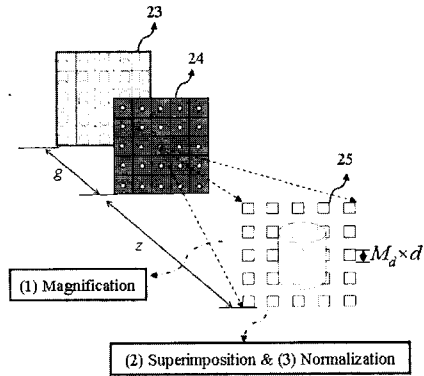


그림 3. 제안하는 CIIR의 개념도  
Fig. 3. Conceptual diagram of the proposed CIIR

제안하는 방법에서는 그림 3에서 보여지듯이 확대 과정에서는 요소 영상의 각 픽셀은 기존의  $M$ 배 확대와는 달리 새로운 최소 확대 계수  $M_d(z)$ 로 확대된다.  $z$ 에 따른 적절한  $M_d(z)$ 를 결정하는 것은 중요하다. 새로운 확대 계수를 얻기 위해서 그림 4(a)의 요소영상과 재생 이미지 평면 사이의 레이분석을 고려하자. 레이 분석을 위해서 ABCD 행렬을 이용한다 [6]. 설명의 단순화를 위하여 1차원적 해석을 고려하자.

그러면 그림 4(a)에서 핀홀 배열을 사용하고 각 핀홀을 통과하고 요소영상의 픽셀들로부터 출발하는 레이들만을 고려한다. 각 요소 영상은  $N$ 픽셀을 가지며 각 픽셀은  $n=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(N-1)/2$ 로 나타낸다. 그리고  $k$ 번째 요소영상의  $n$ 번째 레이를 고려하자. 여기서  $k=0, \pm 1, \pm 2, \dots, \pm(K-1)/2$ 이다. 이 레이이  $z$ 거리의 재생 이미지 평면에 도달할 때는 ABCD 행렬을 이용하여 다음과 같이 표현될 수 있다 [6].

$$H_n^k(z) = kp - \frac{z}{g}nd \quad (1)$$

이제 요소영상으로부터 출발하는 레이의 매핑 관계를 분석한다. 그림 4(a)에서 보여지듯이 재생 이미지 평

면에 도착하는 두개의 레이를 고려하자. 첫번째 레이는  $k_1$ 번째 요소 영상의  $n_1$ 번째 픽셀이고, 두번째 레이는  $k_2$ 번째 요소 영상의  $n_2$ 번째 픽셀이다. 그러면 재생 이미지 평면에서 두 레이 사이의 거리는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \Delta H &= H_{n_2}^{k_2}(z) - H_{n_1}^{k_1}(z) \\ &= p(k_2 - k_1) - \frac{1}{g}(n_2 - n_1)d \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $\Delta H = 0$ 은 두 레이의 중첩을 의미한다. 그리고  $\Delta H$  사이에 들어갈 수 있는 픽셀의 수는 다음과 같다.

$$\alpha = \frac{\Delta H}{d} = N(k_2 - k_1) - M(n_2 - n_1) \quad (3)$$

여기서  $0 < |k_2 - k_1| < K$  and  $0 < |n_2 - n_1| < N$ 이다. 수식 (3)을 이용하여 최소 정수값  $a$ 를 구할 수 있다. 이 값은 가장 인접한 픽셀들 사이에 들어갈 수 있는 최소 픽셀수를 의미한다. 제안하는 방식에서는 최소  $a$ 값을 새로운 최소 확대 계수  $M_d$ 로 사용한다. 선택된  $M_d(z)$ 는 거리에 따라 다른 값이 주어질 수 있고 기존의 방식의 확대계수보다 더 작다. 예를 들어,  $N$ 이 34픽셀이고  $K$ 가 30일 때의 식 (3)으로부터 계산된  $M_d(z)$  값을 그림 4(b)에 나타내었다. 이 결과에서  $M_d(z)$ 는  $z$ 에 따라 다르며,  $z=51$ mm를 제외하고는 모두가 기존의 확대계수보다 훨씬 작다. 사실 CIIR에서 확대 계수는 컴퓨터 계산량과 직접적인 관련이 있다. 즉 큰 확대계수는 큰 계산량과 많은 메모리를 요구한다. 제안하는 방식에서는 훨씬 작은 확대계수를 제공할 수 있기 때문에 빠른 CIIR이 가능하며, 약  $(M/M_d)^2$ 만큼 계산량을 줄일 수 있다.

다음으로 중첩과정에서는 확대된 요소 영상의 픽셀들이 평면 재생 영상을 만들기 위해서 재생 이미지 평면에서 서로 중첩된다. 여기서 제안하는 방법은 인접한 픽셀 간의 간섭 문제를 제거한다. 기존의 CIIR의 매핑과정에서는 확대된 요소 영상이 재생 이미지 평면에 중첩될 때 픽업과정에서 기록되지 않은 인접 픽셀들까지 중첩되는 간섭문제가 존재한다. 그래서 재생된 영상은 원 3D 물체가 존재하던 거리에서 재생된다하더라도 흐리게 재생이 된다. 제안하는 방법에서는 최소 확대 계수  $M_d$ 의 선택으로 이러한 문제점을 극복한다. 즉 이웃하는 픽셀 간의 최소 거리를 선택함으로써 인접 픽셀로의 간섭을 차단한다. 따라서 제안하는 방법은 흐려짐 현상을 제거하여 3D 물체의 정확한 복원을 얻을 수 있고, 이것은 해

상도를 개선하는 결과를 얻을 수 있다. 마지막으로 재생된 평면 재생 영상은 픽셀에 중첩된 회수에 의해서 정규화된다. 정규화 과정이 끝나면 최종 평면 재생 영상을 얻게 된다. 부피형 3D 영상을 얻기 위해서는 거리  $z$ 를 달리 하면서 이 CIIR을 반복한다.

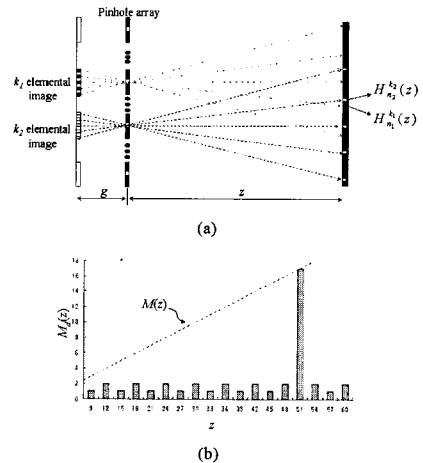


그림 4. (a) 확대계수 계산을 위한 기하광학적 해석 (b) 계산된 확대계수의 예.

Fig. 4. (a) Ray analysis for calculation of magnification factor (b) Examples of computed magnification factor

### III. 실험 및 결과

제안하는 CIIR 방법의 유용함을 보이기 위해서 3 종류의 영상에 대한 컴퓨터적 실험을 수행하였다. 이를 위해 Matlab 프로그램을 이용하여 컴퓨터적 실험 구조를 구성하였고, 그 실험 구조는 그림 5(a)에 나타내었다. 여기서 사용한 핀홀배열은  $30 \times 30$ 개이고  $z=0$ mm에 위치시켰다. 핀홀간 거리는  $1.08$ mm이고 요소영상과 핀홀배열 사이의 거리  $g=3$ mm이다. 객관적 통계 비교를 위하여 복잡도가 서로 다른 3 종류의 영상을 실험 영상으로 사용하였다. 그림 5(b)에서 보여지듯이 'Lena', 'car'와 'cow' 영상을 사용하였다. 각 영상의 크기는  $1020 \times 1020$  픽셀이다. 실험 영상은 임의의 거리  $z$ 에 위치시켰다. 기하광학의 원리를 이용한 컴퓨터 픽업을 이용하여 요소 영상을 얻었다 [6]. 이때 하나의 요소영상은  $34 \times 34$  픽셀을 가진다.

다음으로 제작된 요소 영상을 이용하여 CIIR 방식에 적용하였다. 사용한 실험에서  $N=34$ ,  $K=30$ 이기 때문에 그림 4(b)의 확대 계수를 사용한다. 이 새로운 확대 계수를 이용하여 재생 이미지 평면에 요소 영상을 중첩시켜 평면 재생 영상을 얻었다. 얻어진 평면 재생 영상은 정규화 과정을 거쳐서 최종 평면 재생 영상을 얻었다.

제안하는 방식으로 복원된 영상의 해상도 개선을 측정하기 위해서 PSNR(Peak signal-to-noise ratio)을 영상측정 파라미터로 사용하였다 [12]. 최종적으로 얻어진 재생 영상과 원 영상들 간의 PSNR을 계산하였다. 그림 5(b)의 3가지 영상들에서 대한  $z$ 에 따른 평균 PSNR 결과를 계산하였다. 이 결과를 그림 6에 나타내었다.  $z$ 가 증가함에 따라 기존의 방식에서는 PSNR이 점점 줄어든다. 이것은 이웃한 픽셀들의 간섭에 의한 흐려짐 현상 때문이다. 그러나 제안하는 방식에서는 거리  $z$  보다는  $M_d$ 의 값에 따라서 PSNR이 좌우됨을 알 수 있다. 기존의 방법을 사용할 경우 평균적으로 23.5 dB를 얻었으며, 이에 반해 제안하는 방법에서는 30.6 dB를 얻었다. 따라서 제안하는 방법이 평균적으로 7.01dB 정도의 해상도 개선을 보였다.

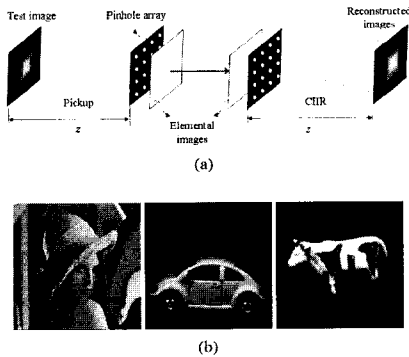


그림 5. (a) 실험 구성도 (b) 실험 영상들  
Fig. 5. (a) Experimental structure (b) Experimental images

그림 7에서 재생 영상을 비교하였다. 재생 영상을 확대계수가 가장 적은 최상의 조건과 이와는 반대로 가장 큰 확대 계수인 최악의 조건을 구분하여 보였다. 최상의 조건  $z=21\text{mm}$ 에서 재생 영상은 제안하는 방식에서 거의 원 영상에 가까운 영상을 얻을 수 있었으나 기존의 방식은 흐려진 영상임을 알 수 있다. 그리고 최악의 조건  $z=51\text{mm}$ 에서는 두 결과가 동일하다. 이것은 같은 확대 계수를 가지기 때문이다. 그리고 그림 7은 본 논문에서

한 부피형 3D 영상 재생 기법에 대한 실험 결과이다. 여기서 기존의 기법에서의 문제점인 해상도 저하를 상당히 개선함을 보여주고 있다.

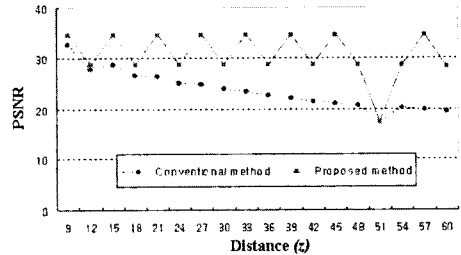


그림 6. 거리에 따른 PSNR 실험 결과  
Fig. 6. PSNR results according to the distance

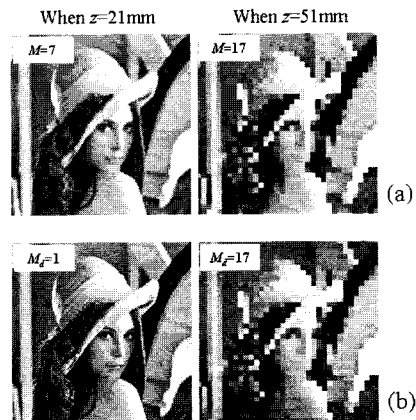


그림 7. 실험 결과 (a) 기존의 방법 (b) 제안하는 방법  
Fig. 7. Experimental results (a) Previous method (b) Proposed method.

#### IV. 결론

결론적으로 본 논문에서는 CIIR 기법으로 재생되는 3D 영상의 해상도 저하 문제를 해결하기 위해서 크기가변 확대 기반의 평면 3D 복원 영상의 해상도를 향상하는 새로운 방식을 제안하고 실험하였다. 제안하는 방식에서 새로운 확대 계수를 얻기 위한 기하광학적 해석을 수행하고, 이를 이용한 실험을 수행하였다. 컴퓨터적 실험 환경에서 기존의 방법과 비교하여 평균적으로 제안하는 방법이 7.01dB 정도의 상당한 해상도 개선을 보였다. 제안하는 방법은 집적 영상을 이용하는 3D 패턴인식 기법에서 유용하게 사용될 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] G. Lippmann, "La photographique integrale," C.R. Acad. Sci. 146, 446-451 (1908).
- [2] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Three-dimensional video system based on integral photography," Opt. Eng. 38, 1072-1077 (1999).
- [3] J.-S. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging by use of nonstationary micro-optics," Opt. Lett. 27, 324-326 (2002).
- [4] 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. 26, 1481-1482 (2001).
- [5] M. Martinez-Corral, B. Javidi, R. Martinez-Cuenca, and G. Saavedra, "Multifacet structure of observed reconstructed integral images," J. Opt. Soc. Am. A 22, 597-603 (2005).
- [6] 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. 45, 7375-7381 (2006).
- [7] H. Arimoto and B. Javidi, "Integral three-dimensional imaging with digital reconstruction," Opt. Lett. 26, 157-159 (2001).
- [8] S.-H. Hong, J.-S. Jang, and B. Javidi, "Three-dimensional volumetric object reconstruction using computational integral imaging," Opt. Express 12, 483-491 (2004).
- [9] D.-H. Shin, E.-S. Kim and B. Lee, "Computational reconstruction technique of three-dimensional object in integral imaging using a lenslet array," Jpn. J. Appl. Phys. 44, 8016-8018 (2005).
- [10] J.-S. Park, D.-C. Hwang, D.-H. Shin and E.-S. Kim, "Resolution-enhanced three-dimensional image correlator using computationally reconstructed integral images," Opt. Comm. 26, 72-79 (2007).
- [11] 신동학, 김남우, 이준재, 김은수 "원형 매핑 모델에 기초한 3차원 영상의 평면기반 컴퓨터 집적 영상 재생 방식" 한국해양정보통신공학회, 제11권 5호, pp. 991-996, 2007.
- [12] 신동학 "평면기반 컴퓨터 집적 영상 재생 방법에서 3차원 영상의 해상도 개선" 한국해양정보통신공학회, 제11권 10호, pp. 1944-1949, 2007.
- [13] B. Javidi, R. Ponce-Díaz, and S.-H. Hong, "Three-dimensional recognition of occluded objects by using computational integral imaging," Opt. Lett. 31, 1106-1108 (2006).
- [14] J.-S. Park, D.-C. Hwang, D.-H. Shin and E.-S. Kim, "Resolution-enhanced three-dimensional image correlator using computationally reconstructed integral images," Opt. Comm. 26, 72-79 (2007).

저자 소개

신동학(Dong-Hak Shin)



1996년 2월 부경대학교 정보통신  
공학과 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

유 훈(Hoon Yoo)



1990~1997: 한양대학교 전자통신  
공학과 공학사  
1997~1999: 한양대학교 대학원  
전자통신공학과 공학석사

1999~2003: 한양대학교 대학원 전자통신공학과 공학박사  
2003~2005: 삼성전자 무선사업부 책임연구원  
2005년 3월~2008년 8월: 동서대학교 컴퓨터정보공학부  
조교수  
2008년 9월~현재: 상명대학교 소프트웨어대학 디지털  
미디어학부 조교수  
1997. 2. 26: 제3회 삼성전자 휴먼테크 논문상 대회 입상  
2003~2005: 삼성전자 위성 DMB 폰과 지상파 DMB 폰  
개발 및 양산  
※주요관심분야: 영상처리 및 압축, 3차원 영상 처리, 집  
적 영상 처리