
원형 매핑 모델에 기초한 3차원 영상의 평면기반 컴퓨터 집적 영상 재생 방식

신동학* · 김남우* · 이준재* · 김은수**

Plane-based Computational Integral Imaging Reconstruction Method of Three-Dimensional Images based on Round-type Mapping Model

Dong-Hak Shin* · Nam-Woo Kim* · Joon-Jae Lee* · Eun-Soo Kim**

요 약

최근 3차원 디스플레이 기술로서 유망한 집적 영상 기술을 이용하여 3차원 물체에 대한 컴퓨터 재생 방식이 활발히 연구되고 있다. 이 방식은 집적 영상 기술로 픽업되는 요소 영상을 가상의 핀홀 배열 모델을 이용하여 컴퓨터적으로 특정한 거리의 재생 평면에 확대 중첩함으로써 3차원 영상을 효과적으로 재생하는 방식이다. 그러나 많은 수의 요소 영상은 일반적으로 사각형의 구조를 가지기 때문에 확대 중첩될 경우에 재생 영상에서 격자 구조의 밝기 불균일 문제로 인한 해상도를 떨어뜨리는 문제가 존재하였다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위해서 원형 매핑 모델에 기초한 컴퓨터 집적 영상 재생 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 기존의 방식에서 발생하는 3차원 재생 영상에서의 불균일 문제를 극복할 수 있으며 3차원 영상의 해상도를 개선할 수 있다. 제안된 방식의 유용함을 보이기 위해서 컴퓨터적 모의 실험과 광학적 실험을 수행하고 그 결과를 보고한다.

ABSTRACT

Recently, a computational reconstruction method using an integral imaging technique, which is a promise three-dimensional display technique, has been actively researched. This method is that 3-D images can be digitally reconstructed at the required output planes by superposition of all of the inversely enlarged elemental images by using a hypothetical pinhole array model. However, the conventional method mostly yields reconstructed images having a low-resolution, because there are some intensity irregularities with a grid structure at the reconstructed image plane by using square-type elemental images. In this paper, to overcome this problem, we propose a novel computational integral imaging reconstruction (CIIR) method using round-type mapping model. Proposed CIIR method can overcome problems of non-uniformly reconstructed images caused from the conventional method and improve the resolution of 3-D images. To show the usefulness of the proposed method, both computational experiment and optical experiment are carried out and their results are presented.

키워드

3D image, Integral imaging, Computational reconstruction, Resolution improvement

I. 서 론

현재 3차원 물체를 디스플레이하기 위한 여러 가지

방식이 연구되고 있다. 특히, 집적 영상(집적 사진술 IP: Integral Photography) 방식은 백색광을 이용하여 3차원 물체를 저장하고 복원할 수 있는 기술로서 1908년에

* 동서대학교 디자인&IT전문대학원 영상콘텐츠학과

** 광운대학교 전자공학과

Lippmann에 의해서 처음 제안된 이후로 많은 연구가 수행되어 왔다 [1-12]. 집적 영상 방식은 오토스테레오스코피(Autostereoscopy) 방식으로서 스테레오스코피 방식에서 나타나는 관찰자의 시각적 피로감이 없고 연속적인 시점과 수평, 수직시차를 모두 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다 [4,5]. 그러나, 3차원 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.

최근 이 집적 영상 기술에서 광학적 집적 영상 재생 방식의 단점을 극복하기 위해서 컴퓨터를 이용한 집적 영상 재생 방식(CIIR : Computational Integral Imaging Reconstruction)이 활발하게 연구되고 있다 [6-11]. 컴퓨터를 이용한 재생 방식은 관측점 (Viewing Point) CIIR 방식과 평면기반(Plane-based) CIIR 방식으로 분류할 수 있다. 관측점 CIIR 방식은 광학적 픽업으로 획득한 요소 영상들(Elemental images)에서 대응 시점으로부터 한 픽셀씩을 추출하여 집합하면 특정 시점에서 관측한 영상이 재생되는 방식이다 [8,9]. 한편 평면기반 CIIR 방식은 3차원 영상을 일정한 거리에 놓인 평면(Image plane)에서 재생하는 방식이다. 이 경우 재생되는 3차원 영상은 영상 재생의 평면의 위치에 따라 달라진다[10,11]. 이러한 평면기반 CIIR 방식의 특성을 잘 이용한 인식 방식이 최근 활발히 연구되고 있다. 예를 들어 가려진 물체에 대해서 3차원 인식을 잘 수행하는 방식이다 [12].

그러나 기존 평면기반 CIIR 방식에서는 사각형 형태의 작은 영상으로 구성된 요소 영상을 사용하며, 각 요소 렌즈를 가상의 핀홀로 모델링한 핀홀 배열 모델을 사용하였기 때문에 재생 영상에서 격자 구조의 밝기 불균일 현상 및 해상도를 떨어뜨리는 현상이 발생하였다 [10]. 이 문제점을 극복하기 위해서 많은 수의 요소 영상을 사용하는 MALT 방식을 이용하여 해상도를 개선하는 연구가 보고되었으나 여러 단계의 픽업 과정을 사용하기 때문에 실시간적 처리를 어렵게 한다 [13]. 이와는 달리 요소 영상에 대해서 렌즈릿 모델을 적용하여 매핑크기를 달리하여 해상도를 개선하고 실제 렌즈 배열에서의 광학적 재생 특성을 반영하는 방식이 연구되기도 하였다 [11].

본 논문에서는 평면기반 CIIR 방식에서 재생 3차원 영상의 해상도 향상을 위한 원형 매핑에 기초한 새로운

방식을 제안한다. 요소 영상은 하나의 평면에 매핑이 될 때 원형 모양으로 확대되어 중첩되어 사각형 요소 영상에서 야기하는 재생 영상의 주기적인 불균일 문제를 개선하여 해상도를 향상하여 준다. 제안된 방식을 적용하여 컴퓨터적 모의 실험에서 3차원 영상의 재생 실험을 수행하여 PSNR를 계산하고, 실제 광학적으로 3차원 물체를 픽업한 요소 영상에 대한 실험을 통하여 실사 물체에 대해서도 제안하는 방식이 유용함을 보였다.

II. 집적 영상과 평면기반 CIIR 방식

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 검출 면에서 기록하여 얻게 된다. 따라서 요소 영상의 수는 렌즈 배열의 개수와 같다.

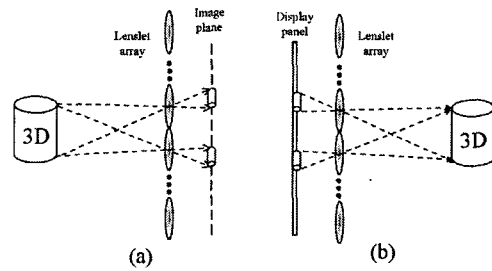


그림 1. 집적 영상 기술 (a) 픽업 (b) 디스플레이
Fig. 1. Integral imaging technique
(a) Pickup (b) Display

이에 반해 그림 1(b)에 나타난 집적 영상의 디스플레이 과정에서는 기록된 요소 영상을 LCD와 같은 디스플레이 장치에 표현하고 픽업과정과 동일한 렌즈 배열을 이용하여 3차원 영상을 공간상에 재생할 수 있다.

2.2 평면기반 CIIR 방식

집적 영상 기술에서 그림 1(b)에서와 같이 렌즈 배열을 이용하는 경우에는 광학적으로 3차원 영상이 얻어진다. 이에 반해서 그림 1(b)의 디스플레이 과정을 컴퓨터적으로 모델링하여 3차원 영상을 재생할 수 있다. 이 방식 중에 하나가 평면기반 CIIR 방식이며, 이를 그림 2에 나타내었다. 이 방식은 픽업된 요소 영상들은 핀홀 배열에 대해서 기하광학적 특성을 컴퓨터를 이용하여 모델링한 후 프로그램에 의해 계산되어 3차원 영상을 재생한다 [10,11]. 그림 2는 거리 $z=L$ 에서 핀홀 배열 모델을 이용하여 디스플레이 평면에 영상을 재생하기 위한 평면기반 컴퓨터 재생 방식의 원리를 나타낸다. 핀홀 배열로부터 고정된 거리 $z=L$ 에서 각 요소 영상은 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 요소 영상 평면(g) 사이의 거리의 비율, 즉 $M = L/g$ 로 결정된다. $M > 1$ 일 때, 투영된 이미지들은 재생 이미지 평면 z 에서 확대된 인접한 요소 영상들과 서로 중첩된다. 3차원의 입체감 있는 정보를 재생하기 위해서는, 재생하고자 하는 모든 영상 평면들에 대응하는 거리에서 위와 동일한 과정을 반복한다.

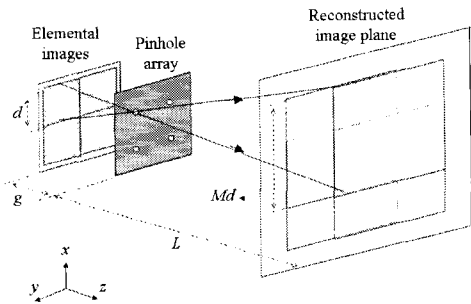


그림 2. 평면기반 CIIR 방식의 원리
Fig. 2. Principle of plane-based CIIR method

일반적으로 집적 영상에서 픽업되는 요소 영상은 그림 3(a)와 같이 반복적인 사각형 구조이다. 따라서 그림 2의 평면기반 CIIR 방식에서 모든 요소 영상은 사각형 형태로 확대되어 중첩 기록된다. 따라서 평면기반 CIIR 방식에서는 확대된 요소 영상의 경계부분들이 서로 중첩되는 현상이 일어나게 되며, 이는 3차원 재생 영상에서 격자 구조의 밝기 불균일 현상을 발생하게 하는 원인이

된다. 이 예를 그림 3(b)에 나타내었다. 여기서 보여지듯이 격자 구조의 불균일한 영상을 확인할 수 있다.

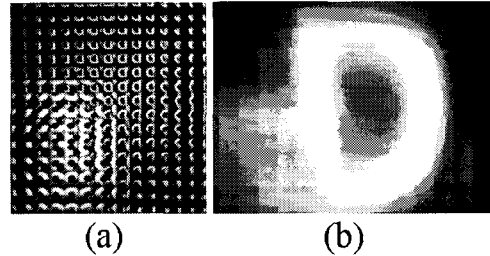


그림 3. 실험 예 (a) 요소 영상 (b) CIIR 결과
Fig. 3. Experimental example
(a) Elemental images (b) CIIR result

III. 원형 매핑을 적용한 평면기반 CIIR 방식

본 논문에서는 기존의 평면기반 CIIR 방식에서 주기적인 사각형 요소 영상을 이용할 때 발생하는 격자구조의 밝기 불균일 현상을 제거하기 위해서 요소 영상에 대해서 원형 매핑을 사용하는 방식을 제안한다. 제안하는 방식을 그림 4에 나타내었다. 여기서서는 그림 2와 달리 하나의 요소 영상은 핀홀 배열을 통과한 이후로 원형 형태로 매핑이 되는 방식이다.

보다 자세한 분석을 위하여 그림 4(b)의 구조를 고려하자. 그림 4(b)에서 요소영상은 핀홀 배열에서 $-g$ 만큼 떨어져 있고, 재생 영상면이 핀홀 배열로부터 z 만큼 떨어져있다고 가정하자. 요소 영상내의 E_{ij} 번째의 요소 영상의 중심점으로부터 출발하는 중심선이 대응하는 핀홀 배열을 통과하여 z 만큼 떨어진 재생 영상면에 도착하게 된다. 그러면 재생 영상면에서 중첩영상의 중심은 그림 4(b)에서 보여지듯이 첫번째 요소영상으로부터 중심선까지의 거리를 계산하면 다음과 같다.

$$[p_i, p_j] = \left[d \left(i - \frac{1}{2} \right), d \left(j - \frac{1}{2} \right) \right] \quad (1)$$

여기서 d 는 요소 렌즈의 크기이다. 이 중심에서 원형 매핑을 위한 반경은 그림 4(b)에서 두개의 삼각형 Oab 와 OAB 사이의 관계를 이용하여 다음과 같이 계산된다.

$$r = \frac{dz}{2g} \quad (2)$$

이 반경은 모든 요소 영상에서 동일하게 적용된다. 따라서 제안하는 방식에서는 식 (1)과 (2)를 이용하여 핀홀 배열로부터 고정된 거리 $z=L$ 에 놓인 재생 영상 면에서 원형의 요소 영상을 역으로 확대 투영하여 중첩한다. 모든 요소 영상에 대해서 계속적으로 중첩하여 하나의 최종 재생 영상을 얻는다.

제안하는 방식은 그림 4(a)에서 보여지듯이 원형 매핑으로 구성되어 사각형 형태의 요소 영상에서 보여지는 주기적인 요소 영상의 중첩을 제거할 수 있는 특징을 가진다. 이것은 사각형 형태의 요소 영상이 그림 2와 같이 재생 평면에서 확대 중첩될 때 단순히 요소 영상의 모든 픽셀에 대해서 정수배의 확대를 이루어진다. 특히 각각의 요소 영상은 대응하는 핀홀을 통과하여 핀홀 간격으로 확대되어 중첩되기 때문에 한 곳에 중첩되는 요소

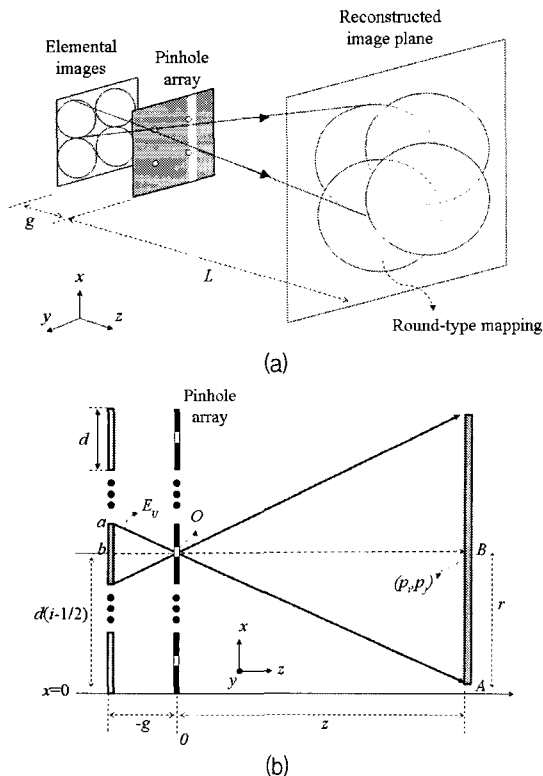


그림 4. 제안하는 방식의 원리
Fig. 4. Principle of proposed method

영상의 수가 위치에 따라서 불균일하게 되고 또한 재생 영상의 어떤 위치에서는 사각형 형태의 요소 영상의 경계부분이 집중적으로 계속해서 중첩되기 때문에 재생 영상에서 사각형 형태의 격자 구조의 형태의 불균일 세기 분포 현상을 야기한다 [10]. 이에 반해서 본 논문에서 제안하는 원형 요소 영상을 이용할 경우에는 확대 중첩되는 요소 영상의 경계 영역의 집중적인 중첩 현상을 분산시키는 효과를 가지기 때문에 재생 영상의 해상도를 개선할 수 있다.

IV. 실험 결과

제안하는 평면기반 CIIR 방식의 유용함을 보이기 위하여 컴퓨터 모의 실험과 광학적 실험을 수행하였다. 실험을 위한 시스템 구조는 그림 5와 같다.

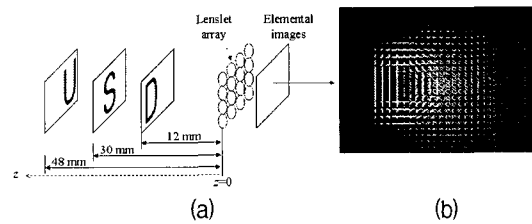


그림 5. 실험 구조
Fig. 5. Experimental structure

컴퓨터 모의 실험에서는 제안하는 평면기반 CIIR 방식에 대해서 정확한 PSNR을 계산할 수 있다. 실험에 사용하는 패턴은 그림 5(a)에서 보여지는 'D', 'S', 'U'의 세 글자로 구성하였다. 각각의 글자는 렌즈 배열로부터 12 mm, 30 mm, 48 mm에 각각 위치시켰다. 이들 문자 패턴은 각각 1020×750 픽셀의 해상도를 가지고 있으며 34×25개로 구성된 핀홀 배열은 $z=0$ mm 위치에 위치시켰다. 그러면 각 요소 영상은 30×30 픽셀로 얻어진다. 이 구조에서 전체 요소 영상을 기하광학적 방법으로 합성하였다. 합성된 요소 영상은 그림 5(b)와 같다.

요소 영상을 생성한 다음, 합성된 요소 영상을 컴퓨터를 이용하여 평면기반 CIIR 방식으로 3차원 영상을 재생하였다. 그림 6은 제안된 방식을 적용하여 12 mm, 30 mm, 48 mm 거리에서 재생된 1020×750 픽셀의 해상도를 가지는 영상을 나타낸다. 이 재생 거리는 원래 영상들

이 처음에 놓여 있던 위치이다. 그림 6(a)는 기존의 사각형 매핑을 이용하는 방식이며, 그림 6(b)는 원형 매핑을 이용하는 제안하는 방식의 결과이다. 이들 재생된 영상에 대해서 원 영상과의 재생 성능을 평가하기 위해서 PSNR을 계산하였다. 실험에 사용한 PSNR 수식은 다음과 같다.

$$PSNR = 20 \log_{10} \left(\frac{255}{E} \right) \quad (3)$$

여기서 E 는 그림 5(a)의 원영상과 그림 6의 재생영상들 간의 밝기 값의 제곱근 평균 제곱 오차 (root mean square error)이다. 계산된 PSNR 결과를 그림 6의 각 그림 위에 표시하였다. 그림 6의 실험 결과에 의하면 제안하는 방식이 기존의 방식에 비해서 약 1.2 dB 정도의 해상도 향상을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

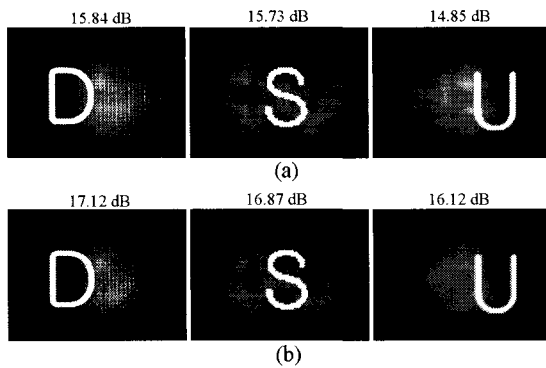


그림 6. CIIR로 재생된 영상
(a) 기존의 방식 (b) 제안하는 방식
Fig. 6. Reconstructed images by CIIR
(a) Conventional method (b) Proposed method

다음으로 실제 광학 실험에서 얻어진 요소 영상에 대해서 동일한 실험을 반복하였다. 이 요소 영상을 얻기 위해서 '3'과 'D'의 두 글자 패턴을 각각 12 mm, 30 mm에 각각 위치 시켜서 픽업하였다. 얻어진 요소 영상을 이용하여 30 mm에 재생된 영상을 그림 7에 나타내었다. 그림 7(a)는 기존의 CIIR 방식에 의해 재생되는 영상을 나타내며 이 실험 결과에서는 광학적으로 얻어진 요소 영상에서는 렌즈배열의 사각형 구조에 의한 재생된 영상에서는 격자 구조의 밝기 불균일 현상이 나타남을 확인할 수 있다. 이에 반해 그림 7(b)는 본 논문에서 제안하는

CIIR 방식에 의해 재생된 영상으로서 밝기 불균일 현상이 개선됨을 보여주고 있다.

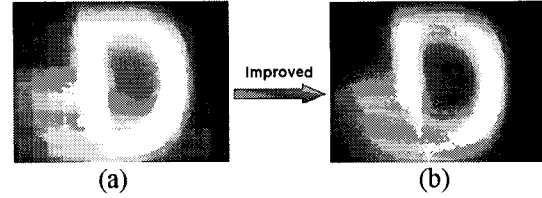


그림 7. 광학적 실험 결과
(a) 기존의 방식 (b) 제안하는 방식
Fig. 7. Optical experiment result
(a) Conventional method (b) Proposed method

V. 토의 및 결론

우리는 원형 매핑 방식을 이용하는 CIIR 방식에 대해서 실험을 통하여 해상도 개선 효과를 성공적으로 데모 하였지만, 사각형 구조의 요소 영상에서 원형 매핑으로 변환하는 과정에서 연산 속도의 저하를 가져올 수 있는 문제점이 존재한다. 하지만, 이 과정은 컴퓨터 내부적으로 수행되기 때문에 기존에 보고된 MALT 방식과 비교하면 실시간 처리가 가능할 수준이다. 사실 MALT 방식의 경우에는 요소 영상을 획득하기 위한 CCD 카메라를 공간이동하는 방식이기 때문에 하드웨어적 움직임을 동반하는 큰 문제점을 가진다. 따라서 본 논문에서 제안하는 방식은 동일한 해상도 개선을 얻고자할 경우 실시간 처리가 가능한 하나의 해결책이 될 수 있다.

본 논문에서는 평면기반 CIIR 방식에서 해상도 향상을 위한 원형 매핑에 기초한 새로운 방식을 제안하였고 컴퓨터 모의실험과 광학적 실험을 수행하였다. 제안하는 방식에서 요소 영상은 하나의 평면에 매핑이 될 때 원형 모양으로 확대되어 중첩함으로써 사각형 요소 영상에서 야기하는 재생 영상의 주기적인 불균일 문제를 개선할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- [1] G. Lippmann, "La photographie integrale," C. R. Acad. Sci., vol. 146, pp. 446-451, 1908.
- [2] C. Burckhardt, "Optimum parameters and resolution

limitation of integral photography," J. Opt. Soc. Am., vol. 58, p. 71, 1968.

[3] N. Davies, M. McCormick, and M. Brewin, "Design and analysis of an image transfer system using microlens arrays," Opt. Eng., vol. 33, pp. 3624-3633, 1994.

[4] 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.

[5] 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.

[6] 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.

[7] H. Liao, M. Iwahara, N. Hata, and T. Dohi, "High-quality integral videography using a multiprojector," Opt. Express, vol. 12, pp. 1067-1076, 2004.

[8] H. Arimoto and B. Javidi, "Integral three-dimensional imaging with digital reconstruction," Opt. Lett., vol. 26, pp. 157-159, 2001.

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

[10] 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.

[11] 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. of Appl. Phys., vol. 44, pp. 8016-8018, 2005.

[12] 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.

[13] S.-H. Hong and B. Javidi, "Improved resolution 3D object reconstruction using computational integral imaging with time multiplexing," Opt. Express, vol. 12, pp. 4579-4588, 2004.

저자소개

신 동 학(Dong-Hak Shin)



1996년 2월 부경대학교 정보통신 공학과 공학사
1998년 2월 부경대학교 전자공학과 공학석사

2001년 8월 부경대학교 정보통신공학과 공학박사
2001년 10월-2004년 8월 일본 도요하시 기술대학 연구원
2005년 3월-2006년 8월 광운대학교 3DRC 연구교수
2006년 9월-현재 동서대학교 영상콘텐츠학과 연구교수
※ 관심분야: 광정보처리, 3D 디스플레이, 3D 영상처리

김 남 우(Nam-Woo Kim)



2002년 동서대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
2004년 동서대학교 소프트웨어대학원 졸업(석사)

2004년~현재 동서대학교 소프트웨어전문대학원 박사 과정
※ 관심분야: 컴퓨터그래픽스, CAGD, 영상처리

이 준 제(Joon-Jae Lee)



1986년 경북대학교 전자공학과 학사
1991년 경북대학교 전자공학과 석사
1994년 경북대학교 전자공학과 박사
1998년~1999년 조지아테크 연구교수

2000년~2001년 (주)파미 연구소장
1995년~ 현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수
※ 관심분야: 3차원 비전, 영상처리, 지문인식

김 은 수(Eun-Soo Kim)



1978년 2월 연세대학교 전자공학과 공학사
1980년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사

1984년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사
1987년 2월-1988년 8월 California Instituted Technology 전자공학과 객원교수
1992년 3월-현재 광운대학교 전자공학과 교수
※ 관심분야: 3D 영상, 3D 디스플레이, 3DTV, 홀로그래피