
렌즈배열 모델을 적용한 3차원 집적영상 기술에서의 컴퓨터적 시점 재생 방법

신동학* · 권영만** · 김은수***

Computational view-point reconstruction method in three-dimensional integral imaging
using lenslet array model

Dong-Hak Shin* · Young-Man Kwon** · Eun-Soo Kim***

본 연구는 정보통신부 ITRC 사업(IIITA-2005-C1090-0502-0038)에 의해 수행되었음

요 약

본 논문에서는 3차원 집적영상 기술에서 렌즈배열 모델을 적용하여 컴퓨터적으로 해상도가 개선된 3차원 영상을 재생하는 방법을 제안하고, 그 성능을 분석한다. 기존의 보고된 컴퓨터적 시점 재생 방법은 핀홀 배열 모델에 기초하지만, 제안하는 방법은 렌즈 배열 모델을 적용하기 때문에 동일한 요소영상에서 다수의 픽셀을 추출하여 높은 해상도를 얻을 수 있다. 제안한 방법의 유용함을 보이기 위해 기초적인 실험을 수행하고 그 결과를 보고한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a method to reconstruct resolution-improved 3D images computationally based on lenslet array model in integral imaging technique and analyze its performance. While conventional view-point reconstruction method has low resolution based on pinhole array model, the proposed method can obtain resolution-improved 3D images because of extracting multiple pixels from elemental images by use of lenslet array model. To show the usefulness of proposed method, we perform computational experiments and present its results.

키워드

3차원영상, 집적 영상, 컴퓨터적 재생, 렌즈 배열

I. 서 론

3차원 영상을 디스플레이하기 위한 방법에는 스테레오스코피(sterescopy), 홀로그래피(holography), 집적영

상(II: Integral Imaging) 등 여러 가지가 있다. 특히, 1908년에 Lippmann에 의해서 처음 제안된 집적영상(집적 사진술 IP: Integral Photography) 방식을 이용하면 백색광을 이용하여 3차원 물체를 저장하고 재생할 수 있다[1-7]. 집적

* 동서대학교 영상콘텐츠학과

** 서울보건대학 컴퓨터정보과

*** 광운대학교 전자공학과

영상 방식은 스테레오스코피 방식에서 나타나는 관찰자의 시각적 피로감이 없고 연속적인 시점과 수평, 수직시차를 모두 제공할 수 있는 장점을 가지고 있다.

최근, 집적영상 방식에서 컴퓨터를 이용한 재생에 대한 관심이 높다. 컴퓨터를 이용한 재생 방식은 평면 재생 방식 (Plane-by-Plane Reconstruction Technique)과 시점 재생 방식 (View-Point Reconstruction Technique)으로 분류할 수 있다[6,7]. 평면 재생 방식은 3차원 영상을 일정한 거리에 놓인 평면에서 재생하는 방식이다. 이 경우 재생되는 3차원 영상은 영상 재생면의 위치에 따라 달라진다. 예를 들어, 임의의 거리로 떨어져 있는 두 물체가 재생되는 경우에 평면 재생 방식은 앞에 위치한 물체의 영상 평면에 적용되면 재생된 영상은 선명하고 뒤에 위치한 물체가 재생된 영상은 희미하게 나타난다. 그러나 고정된 시점 때문에 3차원 영상의 여러 관측점에서 표현하기는 힘들다. 한편 시점 재생 방식은 핀홀 배열(Pinhole array)의 요소영상들 간의 대응점으로부터 한 픽셀을 추출하여 재생되는 방식이다. 이 경우, 재생되는 3차원 영상은 관찰자의 관측점에 따라 서로 다르다. 즉, 재생되는 3차원 영상은 서로 다른 각도에서 관측이 가능하다. 하지만 기존의 연구에서는 핀홀 배열의 대응점들로부터 한 픽셀씩 추출하였기 때문에 관찰 해상도는 낮다는 문제점이 있었다.

이런 문제점을 해결하기 위해서 본 논문에서는 시점 재생 방식에 렌즈 배열 (Lenslet array) 모델을 적용하여 각 렌즈릿(lenslet)으로부터 다수의 픽셀을 추출하여 관찰 해상도를 증가시키는 3차원 집적영상의 컴퓨터적 시점 재생 방식을 제안한다. 제안하는 방식은 기존의 핀홀 배열 모델과는 달리 렌즈 배열의 렌즈릿 특성을 적용하기 때문에 다수의 픽셀을 추출할 수 있고 해상도가 개선된 영상을 얻을 수 있다. 제안된 방식의 유용함을 검증하기 위해서 실제 3차원 물체를 대하여 광학적으로 얻은 요소영상에 대한 실험 결과를 보고한다.

II. 핀홀 배열 모델을 이용한 컴퓨터적 시점 재생 방법

2.1. 집적 영상 시스템의 구조

기존의 집적 영상 기술은 그림 1과 같이 크게 픽업(Pickup) 과정과 디스플레이(Display) 과정으로 나눌 수 있다. 집적 영상의 픽업 과정에서는 3차원 물체의 정보를

렌즈배열과 CCD와 같은 2차원 영상 감지기(Image sensor)를 이용하여 2차원 요소영상(Elemental images)으로 기록한다. 그리고 디스플레이 과정에서는 픽업과정에서 얻어진 2차원 요소영상을 LCD와 같은 디스플레이 패널(Display panel)에 표현하고 이들을 다시 렌즈 배열을 통과시켜 3차원 영상으로 재생한다.

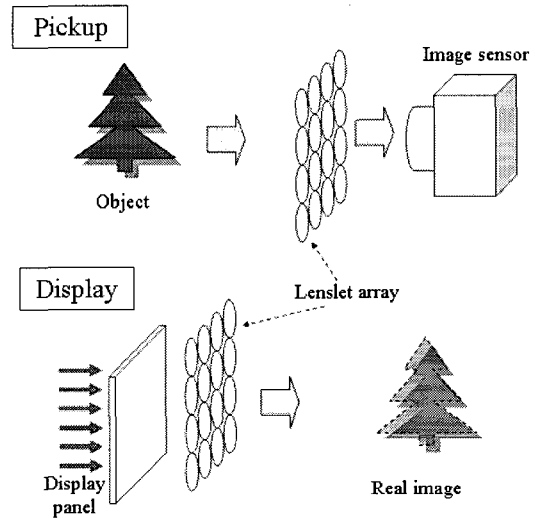


그림 1. 집적 영상 시스템
Fig. 1. Integral imaging system

그러나 그림 1에서와 같이 광학적 디스플레이 과정에서는 렌즈 배열을 사용하기 때문에 광학적 잡음과 렌즈 자국이 보여지는 문제점을 가지고 있다. 따라서 이런 문제점을 해결하고 원하는 방향에서 자유롭게 3차원 영상을 컴퓨터적으로 재생하여 3차원 영상처리 등에 응용을 목적으로 컴퓨터적 시점 재생 방식에 대한 연구가 수행되어 왔다 [7,8].

그림 2(a)는 기존의 핀홀 배열 모델에서 컴퓨터적 시점 재생 방식의 원리를 나타낸다. 이 핀홀 배열 모델에서는 특정한 한 점이 투영되는 위치는 관측 각도에 따라 유일하게 결정 된다. 다시 말하면, 초점이 맺히는 특정한 한 점의 위치는 그림 2(a)에 화살표로 표시된 관측 각도의 변화에 따라 달라진다. 이러한 과정으로 역으로 고려하면 핀홀을 통하여 요소영상을 관측했을 때, 관측 각도에 따라 볼 수 있는 픽셀의 위치를 결정할 수 있다. 그러므로 핀홀 배열 모델의 컴퓨터적 시점 재생 방식에서 관측 영상은

특정 관측 각도에서 관찰한 3차원 요소 영상의 배열로부터 주기적으로 추출된 점들을 조합하여 얻어진다. 이렇게 추출된 픽셀들은 특정 시야각에서 관측한 한 개의 요소 영상을 재생하고 다른 각도에서 관측된 영상들을 재생하기 위해서는, 추출되는 픽셀의 위치를 순차적으로 이동시켜 조합하여 얻을 수 있다. 그러나 핀홀 배열 모델 기반의 컴퓨터적 시점 재생 방식은 모든 요소 영상에 특정한 관측 각도에 따라 관측되는 한 개의 픽셀만을 추출하여 재생 영상의 해상도가 낮다는 단점이 있다.

III. 렌즈 배열 모델을 이용한 컴퓨터적 시점 재생 방법

본 논문에서는 2장에서 설명한 핀홀 배열 모델을 이용하는 컴퓨터적 시점 재생 방법의 저해상도 문제를 극복하기 위해서 새로운 형태의 컴퓨터적 시점 재생 방법을 제안한다. 제안하는 방법은 그림 2(b)와 같이 기존의 핀홀 배열 모델 대신에 렌즈 배열 모델을 적용함으로써 각 요소 영상으로부터 다수의 픽셀이 추출하여 높은 해상도를 가지는 3차원 영상을 재생한다.

3.1. 렌즈 배열 모델에서의 픽셀 추출

먼저 제안하는 방법에서 다수의 픽셀을 추출할 수 있는 원리에 대해서 설명한다. 그림 3은 렌즈 배열 모델에서 사용되는 하나의 렌즈릿에 대한 해석으로 요소 영상 면(EIP; Elemental image plane)과 렌즈릿 영상 면(LIP: Lenslet image plane) 사이의 픽셀 관계를 나타낸다. 이때 렌즈릿의 초점 거리를 f , 요소 영상 면과 렌즈릿의 거리를 g 라고 하면, 렌즈릿과 LIP 사이의 거리를 $h=gf/(g-f)$ 가 된다. 여기서 EIP에서 요소영상의 한 픽셀의 크기를 p_e 라고 하면, LIP에서는 렌즈릿에 의해 확대되어 한 픽셀의 크기 p_{LIP} 가 다음과 같이 된다.

$$p_{LIP} = \frac{h}{g} p_e \quad (1)$$

식 (1)은 LIP에서 요소영상이 단순히 확대 된다는 것을 의미한다.

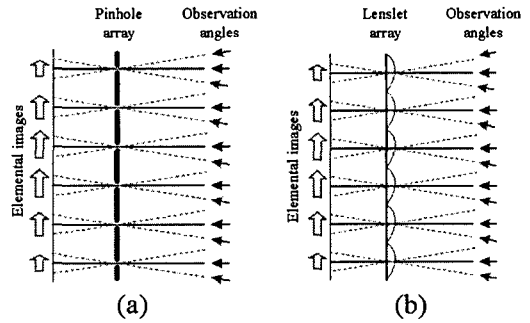


그림 2. 컴퓨터적 시점 재생 방법 (a) 핀홀 배열 모델 (b) 렌즈 배열 모델

Fig. 2. Computational viewing-point reconstruction technique (VPRT) (a) Pinhole array model (b) Lenslet array model

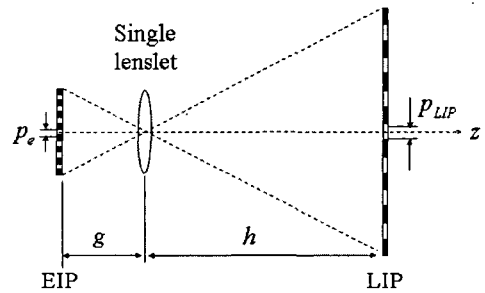


그림 3. 하나의 렌즈릿에 의한 픽셀 매칭.

Fig. 3. Pixel matching by single lenslet.

식 (1)과 같이 LIP에서 픽셀의 크기가 결정되면 그림 4와 같이 관측자의 위치에서 관찰 위치에 따른 각도와 관찰 영역을 고려한다. 그림 4의 시스템에서 사용한 렌즈 배열은 M 개의 렌즈릿으로 구성되어 있고, 관측자는 관측 위치 D_{obs} 에서 3차원 영상을 관측한다고 가정하자. 여기서 관측 위치와 LIP 사이의 거리는 L 이다. 그러면 k 번째 렌즈릿에 대해서 관측 각도 θ_k 와 LIP 지점에 대해서 관측 영역 D_k 를 계산한다. 그림 4에서 보여지는 것과 같이 D_{obs} 로부터 k 번째 렌즈의 광축을 따라 관측 각도는 간단하게 다음과 같이 계산할 수 있다.

$$\theta_k = \tan^{-1} \left(\frac{D_{obs} - kP}{h + L} \right) \quad (2)$$

이때, k 는 정수값으로 $1, 2, \dots, M$ 이고, P 는 렌즈릿의 직경이다. 다음으로 D_{obs} 로부터 k 번째 렌즈릿에 대해서 LIP 지점에서 관측되는 관측 영역을 구한다. D_{obs} 로부터 k 번째 렌즈릿의 가장 자리와 LIP에서 교차되는 점들을 잇는 두 직선을 고려해볼 때, 두 점들의 사이의 위치를 다음과 같이 구할 수 있다.

$$a_u^k = \left(\frac{h}{h+L}\right)D_{obs} + \left(\frac{L}{h+L}\right)\left(k + \frac{1}{2}\right)P \quad (3)$$

$$a_d^k = \left(\frac{h}{h+L}\right)D_{obs} + \left(\frac{L}{h+L}\right)\left(k - \frac{1}{2}\right)P \quad (4)$$

그러면 식 (3)과 (4)에서 교차하는 두 점 사이의 거리가 관측 영역 D_k 가 된다. 즉

$$D_k = a_u^k - a_d^k = \frac{PL}{h+L} \quad (5)$$

이때 D_k 는 k 에 상관없이 상수가 된다. 마지막으로, k 번째 렌즈릿을 통해서 3차원 영상에서 추출되는 픽셀의 수는 다음과 같이 계산된다.

$$N_k = \frac{D_k}{p_{LIP}} = \frac{PL}{(h+L)p_{LIP}} \quad (6)$$

식 (6)은 관찰자가 3차원 영상을 관찰할 때 k 번째 렌즈를 통해서 N_k 개의 픽셀을 볼 수 있다는 의미이다. 만약 $L \gg h$ 이라면 픽셀 수 N_k 는 다음과 같이 근사화 된다.

$$N_k = \frac{P}{p_{LIP}} \quad (7)$$

이때 N_k 는 상수값이 된다. 식 (7)을 이용해서 간단하게 k 번째 렌즈릿을 통해서 볼 수 있는 픽셀 수 N_k 를 구할 수 있다. 완전한 3차원 영상을 관찰하기 위해서는 위와 같은 과정을 모든 렌즈릿 즉 $k=1$ 부터 M 까지 반복해야 한다.

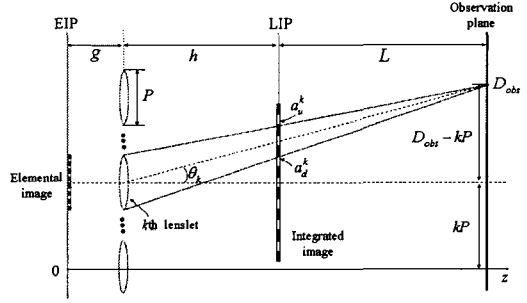


그림 4. 픽셀 추출의 해석
Fig. 4. Analysis of pixel extraction

3.2. 해상도 개선도

본 논문에서 제안하는 컴퓨터적 시점 재생 방법에서 재생되는 3차원 영상의 해상도 개선을 보이기 위해서 픽셀 효율(Γ)를 정의한다. 픽셀 효율은 3차원 영상 추출을 위해 사용하는 요소 영상의 전체 픽셀 수에 대해서 3차원 영상의 재생을 위해서 사용하는 픽셀 수의 비율로 정의하며, 다음과 같은 간단한 식을 이용하여 구할 수 있다.

$$\Gamma = \frac{n_e}{N_t} \quad (8)$$

이때, N_t 는 하나의 렌즈릿에 대한 요소 영상의 총 픽셀 수이고, n_e 는 3차원 영상의 재생을 위해서 사용하는 픽셀 수이다. 기존의 핀홀 배열 모델을 사용하는 컴퓨터적 시점 재생 방법에서는 한 개의 픽셀이 추출되기 때문에 n_e 는 1이 된다. 반면에 제안하는 렌즈 배열 모델을 사용하는 컴퓨터적 시점 재생 방법은 다수의 픽셀을 추출하는 형태로써 a 개의 픽셀을 추출한다고 하면 다음과 같이 된다.

$$\Gamma = \frac{(a)^2}{N_t} \quad (9)$$

따라서 제안된 방법에서 픽셀 효율은 기존 모델의 시점 재생 방식 보다 a^2 배 높음을 쉽게 알 수 있으며, 그만큼 해상도가 개선된다고 할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

제안된 방법의 유용함을 보이기 위해서 기초적인 실험을 수행하였다. 그림 5(a)와 같이 장난감 차와 장난감 문어를 3차원 물체로 사용하였다. 장난감 차와 장난감 문어는 렌즈 배열로부터 각각 3 cm, 10 cm 거리에 위치시켰다. 요소 영상은 그림 5(b)와 같이 카메라를 이용한 획득하였다. 요소영상을 획득하기 위한 사용한 렌즈 배열의 렌즈릿 수는 49×37 개이고 각 렌즈릿의 초점거리 $f = 3 \text{ mm}$ 이며, 직경은 $P = 1.08 \text{ mm}$ 이다. 각 요소영상에는 23×23 개의 픽셀로 구성되어 있고, $g = 3.5 \text{ mm}$, $h = 21 \text{ mm}$ 인 조건에서 실험하였다. 관찰 평면은 $L = 2 \text{ m}$ 인 거리에 위치시켰다.

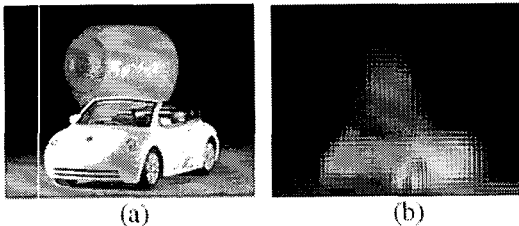


그림 5. (a) 3차원 물체영상 (b) 요소영상
Fig. 5. (a) 3-D objects (b) Elemental images

모든 k 에 대해서, 식 (3), (4)를 이용하여 a_u^k 와 a_d^k 를 계산하였다. 식 (7)을 이용하여 $N_k = 3.8$ 을 얻을 수 있었고 픽셀 수는 정수이므로 $N_k = 4$ 를 사용하였다. 관찰자의 위치 D_{obs} 에 따른 결과를 확인하기 위해서 모든 렌즈릿의 각 요소영상으로부터 4개의 픽셀을 추출하여 3차원 관측 영상을 합성하였다. 그림 6은 기존의 컴퓨터적 시점 재생 방법과 제안하는 컴퓨터적 시점 재생 방법에 의해서 컴퓨터적으로 재생된 3차원 관측 영상을 나타낸다. 그림 6(b)에서 보여지듯이 제안하는 방법으로 재생된 3차원 영상이 더 높은 해상도를 가짐을 알 수 있다. 기존의 편홀 배열 모델 방식에서는 각 요소영상에서 한 픽셀씩을 추출하여 해상도가 떨어지는 현상을 나타내지만 제안된 방식에서는 4 픽셀씩을 추출한 결과 해상도가 향상된 결과를 얻을 수 있다. 식 (9)의 픽셀 효율을 계산하면 기존의 방법보다 제안된 방법으로 재생된 3차원 관측 영상의 해상도가 16배 ($a = 4$)가 증가하는 것을 쉽게 확인할 수 있다. 그리고 그림 7은 다양한 관측자의 위치에 따른 3차원 영상의 재생 결과를 제시하였다. 관측 위치에 따라 서로 다른 영상이 재생되는 결과를 확인할 수 있다.

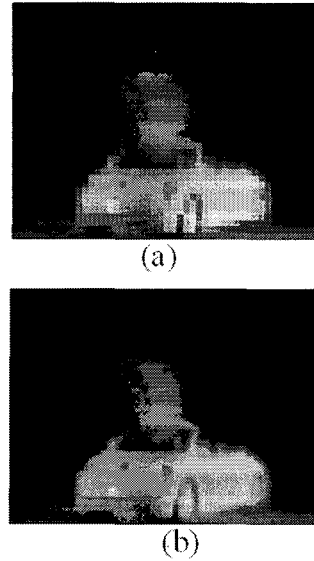


그림 6. 3차원 재생 영상 (a) 기존의 방법 (b) 제안한 방법
Fig. 6. Reconstructed images (a) Conventional method (b) Proposed method

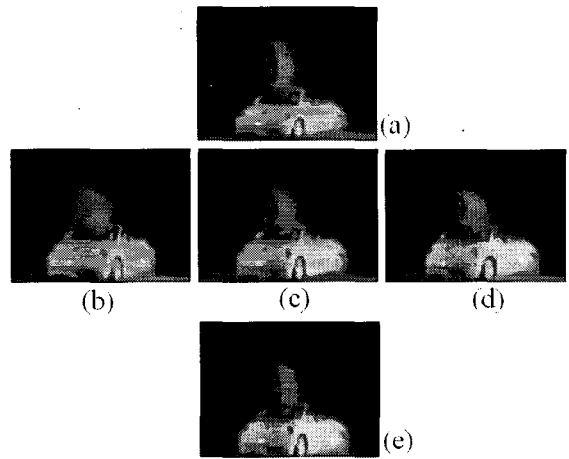


그림 7. 다양한 시점에서 재생된 영상들 (a) 위쪽 (b) 왼쪽 (c) 가운데 (d) 오른쪽 (e) 아래쪽
Fig. 7. Reconstructed images observed from various view point (a) Top (b) Left (c) Center (d) Right (e) Bottom

V. 결 론

결론적으로, 본 논문에서는 3차원 집적 영상 기술에서 해상도가 개선된 3차원 영상의 컴퓨터적 재생을 위해 렌즈 배열 모델을 적용한 컴퓨터적 시점 재생 방법을 제안하고 이에 대해서 분석하였다. 제안한 방법에 대해서 광학적으로 픽업한 요소영상에 대해서 3차원 재생 실험을 수행하고, 기존의 방법과 비교하였다. 제안하는 방식은 다수의 픽셀을 추출하는 새로운 컴퓨터 재생 방법이기 때문에 기존의 편홀 배열 모델을 사용하는 방법에 비해서 더 좋은 해상도를 제공할함을 확인하였다.

참고문헌

[1] G. Lippmann, "La photographie 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] 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).
 [4] S.-H. Shin and B. Javidi, "Speckle-reduced three-dimensional volume holographic display by use of integral imaging," Appl. Opt. 41, 2644-2649 (2002).
 [5] D.-H. Shin, M. Cho, and E.-S. Kim, "Computational implementation of asymmetric integral imaging by use of two crossed lenticular sheets," to be accepted in ETRI Journal.
 [6] S.-H. Hong, J.-S. Jang, and B. Javidi, "Three-dimensional volumetric object reconstruction using computational integral imaging," Opt. Express 12, 483-491 (2004).
 [7] H. Arimoto and B. Javidi, "Integral three-dimensional imaging with digital reconstruction," Opt. Lett. 26, 157-159 (2001).
 [8] J.-H. Park, J. Kim, and B. Lee, "Three-dimensional optical correlator using a sub-image array," Optics Express, 13, 5116-5126 (2005).

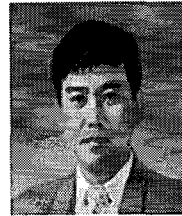
저자소개



신 동 학(Dong-Hak Shin)

1996년 2월 부경대학교 정보통신공학과 공학사
 1998년 2월 부경대학교 전자공학과 공학석사

2001년 8월 부경대학교 정보통신공학과 공학박사
 2001년 10월-2004년8월 일본 도요하시 기술대학 연구원
 2005년 3월-2006년8월 광운대학교 차세대 3D 디스플레이 연구센터 연구교수
 2006년 9월-현재 동서대학교 영상콘텐츠학과 연구교수
 ※관심분야: 광정보처리, 3D 디스플레이, 3D 영상처리



권 영 만(Man, Kwon-Young)

1983년 2월 광운대학교 전자공학과 공학사
 1985년 2월 한국과학기술원 전기및 전자공학과 공학석사

2001년 8월 광운대학교 전자공학과 박사과정
 1985년 1월-1989년7월 (주)금성정보통신 ASIC개발팀장
 1989년 7월-1992년2월 듀폰포토마스크 CAD실 실장
 1993년 3월-현재 서울보건대학 컴퓨터정보과 교수
 ※관심분야: 광정보처리, 3D 디스플레이, 3D 영상처리



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-1988년8월 California Instituted Technology 전자공학과 객원교수
 1992년 3월-현재 광운대학교 전자공학과 교수
 ※관심분야: 3D 영상, 3D 디스플레이, 3DTV, 홀로그래피