
집적영상 기술을 이용한 3D 영상 상관기의 광학적 구현

박영일* · 김석태** · 김은수*

Optical implementation of 3D image correlator using integral imaging technique

Yongri Piao* · Seok-Tae Kim** · Eun-Soo Kim*

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT 연구센터 육성·지원사업으로 연구결과가 수행되었습니다. (IITA-2009-C1090-0902-0018)

요 약

본 논문에서는 집적영상 기술을 이용한 광학적 3D 영상 상관기의 구현 방법을 제안한다. 제안하는 방법에서는 참조 3D 물체와 신호 3D 물체의 요소 영상들이 렌즈 배열을 통하여 얻어지고 이 요소 영상들을 디스플레이 패널에 다시 표시하여 출력 평면에서 광학적으로 고해상도 출력 평면 영상을 얻는다. 이렇게 얻어진 참조 및 신호 물체의 출력 평면 영상에 대하여 상호 상관관계를 수행하여 3D 물체를 인식한다. 제안한 방법은 기존 방법과 비교하여 높은 해상도의 출력 평면 영상을 사용하기 때문에 정확한 3D 물체 인식이 가능하며, 실시간 3D 물체 인식 시스템을 광학적으로 구현할 수 있다. 제안하는 방법의 유용함을 보이기 위하여 광학 실험을 수행하고 그 결과를 보고한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose an implementation method of 3D image correlator using integral imaging technique. In the proposed method, elemental images of the reference and signal 3D objects are recorded by lenslet arrays and then reference and signal output plane images with high resolution are optically reconstructed on the output plane by displaying these elemental images into a display panel. Through cross-correlations between the reconstructed reference and the single plane images, 3D object recognition is performed. The proposed method can provide a precise 3D object recognition by using the high-resolution output plane images compared with the previous methods and implement all-optical structure for real-time 3D object recognition system. To show the feasibility of the proposed method, optical experiments are carried out and the results are presented.

키워드

Integral imaging, Plane images, object recognition, 3D image correlator

* 광운대학교 전자공학과 3DRC
** 부경대학교 정보통신공학과(교신저자)

접수일자 2009. 02. 20
심사완료일자 2009. 03. 20

I. 서 론

현재 차세대 디스플레이 개발에 있어서 유망한 기술로 여기지고 있는 것이 바로 3D 디스플레이이다. 기존의 평면 디스플레이와 달리 3D 공간에 영상을 디스플레이함으로서 보다 현실감과 박진감을 시청자에게 제공할 수 있다. 최근에는 3D 디스플레이를 위해 스테레오스코피, 홀로그래피, 집적영상 등과 같은 다양한 기술이 연구 개발되고 있다.

이 중에서 집적영상 (integral imaging) 기술은 현재 3D 물체 정보를 기록하고 디스플레이 할 수 있는 3D 기술 중의 하나이며 렌즈배열을 이용하여 보다 많은 시점 (perspective)에서 3D 물체를 관측할 수 있다 [1-6]. 집적영상 기술은 광업(pickup)과 디스플레이 (display)의 두 가지 부분으로 나눌 수 있다. 광업 부분에서는 3D 물체의 정보를 렌즈 배열과 CCD를 이용하여 요소 영상 (elemental images)을 기록하고, 이와 달리 디스플레이 부분에서는 획득한 요소영상을 역으로 렌즈배열을 통하여 3D 영상을 원 위치와 동일한 위치에서 LCD와 같은 디스플레이 장치에 표현하게 한다.

최근, 3D 집적영상 기술의 발전과 더불어 이를 이용하여 3D 물체를 검출하고 인식하는 연구가 활발히 진행되고 있다 [7-15]. Matoba 등은 2001년에 렌즈배열을 이용한 다시점 실시간 광학적 3D 물체의 상관 (correlation) 방법을 제안하였고, Frauel와 Javidi는 2002년에 요소영상으로부터 재생한 다중 물체의 깊이정보를 추정하고 3D 이동정보(shift information)를 이용하여 3D 물체를 인식하는 방법을 제안하였다. 또한, 2005년에 Park 등은 컴퓨터적으로 재생한 서브이미지 배열 (sub-image array)을 이용한 3D 물체를 인식하는 방법을 제안하였다. 하지만 이러한 방법들은 해상도가 낮은 작은 영상 (요소 영상 혹은 서브이미지)들을 이용하여 상관 특성을 비교하기 때문에 인식 결과 또한 좁은 상관 범위 내에서 이루어지는 문제점을 가진다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 극복하기 위하여 집적영상 기술 기반의 고해상도의 광 복원 영상을 이용하는 3D 영상 상관기 방법을 제안한다. 제안방법에서 참조영상과 물체영상은 실제 광학적인 광업과 디스플레이 과정을 통하여 출력평면에 재생하고 재생된 참조영상과 물체영상사이의 상호상관 (cross-correlation)을 수행하여 3D 물체를 인식한다. 제안하는 방법의 유용

함을 보이기 위해서 기초적인 광학 실험을 수행하고 그 결과를 보고한다.

II. 집적영상 기술의 원리

집적영상 기술은 1908년 Lippman에 의하여 제안된 이후 실감 3D 영상을 효과적으로 재생하기 위해서 많이 연구 중에 있다. 일반적으로 집적영상 기술은 그림 1과 같이 광업부와 재생부로 구분된다. 집적영상의 광업부에서는 렌즈 배열과 2D 영상 센서로 구성되어 있다. 그림 1(a)의 광업 과정에서 3D 물체로부터 발생된 빛의 세기 및 방향 정보는 렌즈 배열에 투영되고, 2D 영상 센서를 사용하여 요소 영상 배열 형태의 영상으로 저장된다. 저장된 요소 영상 배열은 3D 물체의 각 렌즈마다 다른 형태의 투영 형상을 가지게 된다. 그림 1(b)의 재생부는 광업 과정의 역 과정을 거치게 된다. 즉, 저장된 요소 영상 배열은 디스플레이 패널 상에 표시되고, 3D 영상은 디스플레이 패널 앞의 렌즈배열을 통하여 공간상에 복원된다.

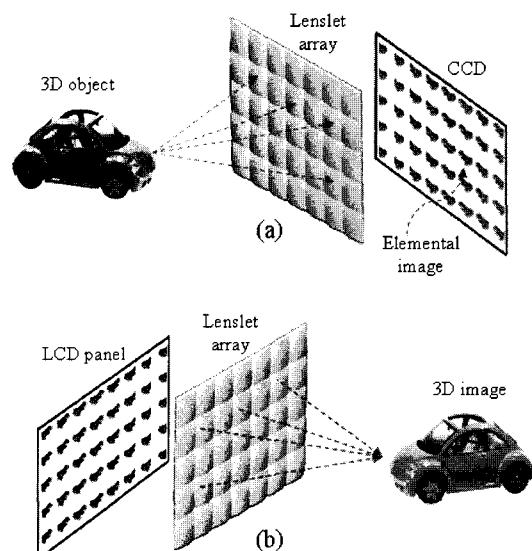


그림 1. 집적영상의 원리 (a) 광업 (b) 복원
Fig. 1 Principle of integral Imaging (a) pickup (b) reconstruction

III. 제안하는 3D 광 영상 상관기

본 논문에서 제안하는 3D 영상 상관기의 구조를 그림 2에 나타내었다. 2장에서 설명한 집적영상 기술의 꾹업 과정과 디스플레이 과정을 모두 사용한다. 제안하는 상관기는 크게 꾹업부, 디스플레이부, 인식부의 세 개 부분으로 나눌 수 있다.

먼저, 꾹업부에서는 참조 물체 $r(x_r, y_r, z_r)$ 가 렌즈 배열에서 z_r 인 거리에 위치하여 있다고 가정하고, 인식하려고 하는 물체 $s(x_o, y_o, z_o)$ 는 렌즈 배열에서 임의의 z_o 인 거리에 위치하여 있다고 가정하면 첫 번째 이미지 센서 (sensor 1)에 의해 참조 물체와 인식하려는 신호 물체의 요소 영상을 얻을 수 있다.

다음으로 디스플레이부에서는 LCD와 같은 디스플레이 장치에 의해 꾹업된 참조 및 물체 요소 영상은 역으로 렌즈 배열을 통하여 재생된다. 재생된 3D 영상들은 두 번째 이미지 센서 (sensor 2)에 의해 출력 영상으로 기록된다.

이때 얻어진 영상을 출력 평면 영상(output plane image)이라고 하자. 기록된 이 출력 평면 영상들은 작은 요소 영상들이 광학적으로 확대, 중첩되어 이루어 졌기 때문에 해상도가 높은 특징을 갖고 있다. 광학적으로 재생된 참조 물체의 출력 평면 영상 $R(x_r, y_r, z_r)$ 은 두 번째 이미지 센서 (sensor 2)에 의해 원래의 참조 물체가 렌즈 배열로부터 동일한 거리와 같은 z_r 인 위치에서 기록되고 재생된 영상이다. 그리고 광학적으로 재생된 신호 물체의 출력 평면 영상 $S(x_o, y_o, z_o)$ 은 참조 영상과 동일한 거리 z_r 에서 재생되고 두 번째 이미지 센서에 의해 기록되는 것은 동일하지만, 인식하려는 신호 물체는 거리 z_o 에서 꾹업되었기 때문에 거리 z_r 에서 기록된 재생 영상은 선명하지 못하고 블러링(blurring) 된 영상을 얻게 된다. 이를 그림 2(b)에서 볼 수 있다. 따라서 선명한 재생 영상은 오직 $z_o = z_r$ 인 조건에서만 이미지 센서에 기록된다. 이것이 바로 본 논문에서 제안한 3D 물체 상관기의 주요 원리이다.

마지막으로, 인식부에서는 거리 z_r 에 따라 재생된 두 출력 평면 영상을 $S(x_o, y_o, z_r)$ 와 $R(x_r, y_r, z_r)$ 사이의 상관관계를 다음과 같이 계산한다.

$$C(x, y, z_r) = R(x_r, y_r, z_r) \otimes S(x_o, y_o, z_r) \quad (1)$$

식 (1)의 상호상관 결과 $C(x, y, z_r)$ 로부터 참조 물체와 신호 물체 사이의 유사도를 계산하고, 신호 물체가 참조 물체가 동일하고 z_r 의 위치에 있을 경우에 가장 높은 상관치를 얻을 수 있다.

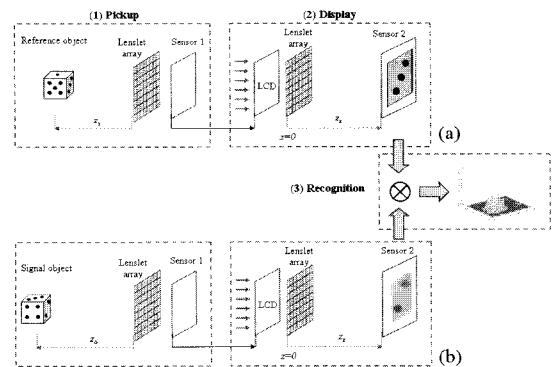


그림 2. 제안하는 방법의 개략도 (a) 참조물체에 대한 출력평면 영상의 복원 (b) 신호물체의 출력평면 영상의 복원

Fig. 2. Schematic diagram of the proposed method
(a) Reconstruction of output plane image for reference object (b) Reconstruction of output plane image for signal object.

IV. 실험 및 분석

제안하는 방법의 유효성을 보이기 위하여 실제 크기가 $2 \times 2 \times 2 \text{ cm}^3$ 인 주사위를 3D 물체로 하여 광학 실험을 수행하였다.

먼저, 그림 2(a)의 순서에 따라 광학 실험을 통하여 참조 물체로부터 요소 영상을 기록하였다. 그림 3(a)에 보이는 주사위는 그림 3(b)의 실제 광학 실험의 구조도에 따라 렌즈 배열로부터 거리가 $(x_r, y_r, z_r) = (0 \text{ cm}, 0 \text{ cm}, 6 \text{ cm})$ 인 위치에 두고 참조 물체로부터 참조 요소 영상을 CCD 카메라로 기록한다. 그림 3(b)의 구조에서 렌즈 배열의 작은 렌즈의 크기는 1.08mm이고 하나의 렌즈 배열은 30×30 개로 제작되었다.

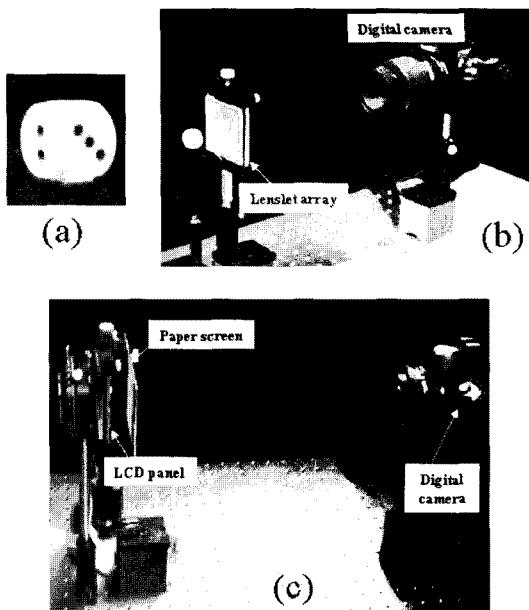


그림 3. (a) 3D 물체 (b) 광학적 꾹업을 위한 실험 구성도 (c) 광학적 디스플레이를 위한 실험 구성도
Fig. 3. (a) 3D object (b) Experimental setup for optical pickup (c) Experimental setup for optical display

이 광학적 꾹업 시스템을 이용하여 요소 영상을 기록하면 그림 4(a)와 같이 얻어진다. 이 얻어진 영상의 해상도는 900×900 픽셀을 가진다. 한편 광학적 디스플레이 부는 그림 3(c)과 같이 구성하였다. 여기서 요소 영상은 펙셀 피치(pixel pitch)가 $36 \mu\text{m}$ 인 LCD 패널과 렌즈 배열을 통하여 출력 평면 영상으로 재생된다. 이 영상을 기록하기 위하여 본 실험에서는 $z=6 \text{ cm}$ 인 위치에서 종이 스크린(paper screen)과 디지털 카메라를 이용하였다. 이렇게 얻어진 참조 물체의 출력 평면 영상은 그림 4(b)에 나타내었다. 여기서 얻지는 영상의 해상도는 900×900 펙셀로 하였으며, 이 해상도는 기존의 광상관기 방법에서 요소 영상 하나의 해상도 (30×30)에 비하면 매우 높은 것임을 알 수 있다. 이 참조 물체의 출력 평면 영상은 물체 인식을 위하여 컴퓨터에 저장된다.

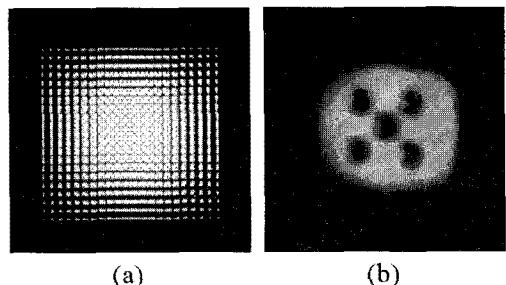


그림 4. 참조 3D 물체
(a) 요소 영상 (b) 출력평면 영상
Fig. 4 Reference 3D object (a) Elemental images
(b) Output plane image

인식하고자 하는 참조 물체에 대한 출력 평면 영상을 저장한 후, 신호 물체에 대한 실험을 수행하였다. 신호 물체로는 참조 물체와 동일한 주사위를 사용하였고, 주사위를 z 축에 따라 이동시키거나 회전 시키면서 다양한 형태의 결과를 얻었다. 신호 물체가 임의의 각도로 회전되고 특정한 위치 있을 때 참조 물체와 동일한 광학적 꾹업과정과 광학적 디스플레이 과정을 거쳐서 출력 평면 영상을 얻었다. 즉 신호 물체를 그림 3(b)의 광학적 꾹업 시스템을 이용하여 요소 영상을 CCD 카메라에 기록하고 기록된 요소 영상은 그림 3(c)의 광학 디스플레이 시스템을 통하여 거리가 $z=6 \text{ cm}$ 인 위치에서 종이 스크린에 재생된다. 그림 5(a)는 주사위를 z 축에 따라 이동하면서 거리에 따라 재생한 출력 평면 영상들을 나타내고 있는데 선명하게 재생된 출력 평면 영상은 $z=6 \text{ cm}$ 인 위치에서 나타난다. 그림 5(b)는 물체를 $z=6 \text{ cm}$ 인 위치에서 30° 씩 회전하여 재생한 출력 평면 영상을 나타낸다. 그림 5에서 볼 수 있듯이 신호 물체의 재생된 출력 평면 영상은 물체가 위치한 거리와 회전한 각도의 영향을 받는다는 것을 알 수 있으며, 참조 물체와 동일한 조건에서만 동일한 영상을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

마지막으로 3D 물체의 인식을 위해서는 저장된 참조 영상의 출력 평면 영상과 신호 물체의 출력 평면 영상 사이의 상호 상관을 식(1)을 이용하여 계산한다. 만약 참조 물체와 인식하려는 신호 물체가 동일한 경우에 상호 상관 결과는 그림 6과 같이 나타나며, 큰 상관 피크 값(correlation peak value) 가진다.

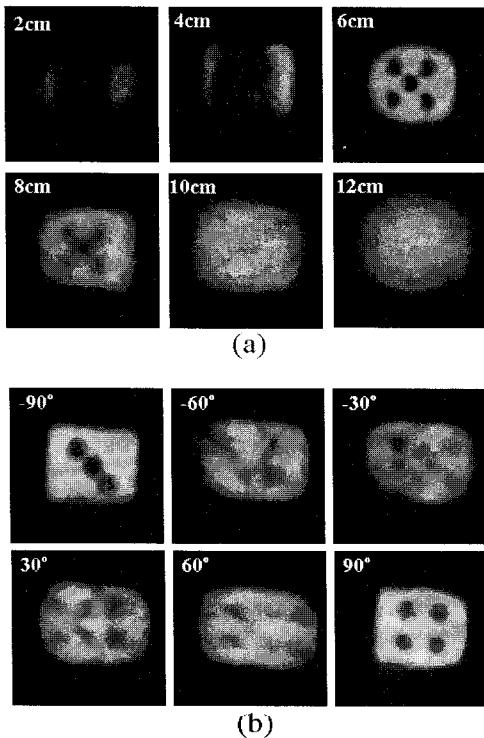


그림 5. $z=6\text{ cm}$ 에 위치한 스크린에 재생된 출력 평면 영상들 (a) 신호 물체가 깊이 방향으로 움직일 때의 결과 (b) 신호물체가 회전할 때의 결과

Fig. 5. Integral plane images reconstructed in the screen located at $z=6\text{ cm}$ (a) When signal object is moved in the longitudinal direction (b) When signal object is rotated.

또한 그림 5에 나타낸 여러 가지 경우에 대한 상호상 관 결과에서 최대 상관치를 그림 7에 나타낸다. 그림 7(a)은 z 축에 따라 이동한 물체에 대한 상호 상관 결과의 피크 값을 나타내고 있으며 그림 5(b)의 실험 결과와 같이 $z = 6\text{ cm}$ 인 위치에서 정확하게 상호 상관도가 최대치를 가진다는 것을 알 수 있다. 그림 7(b)은 $z = 6\text{ cm}$ 인 위치에서 좌우로 30° 씩 회전한 물체에 대한 교차 상관도의 최대치를 나타내고 있으며 제안한 3D 영상 상관기는 회전한 물체를 인식함에 있어서도 장인하다는 것을 알 수 있다.

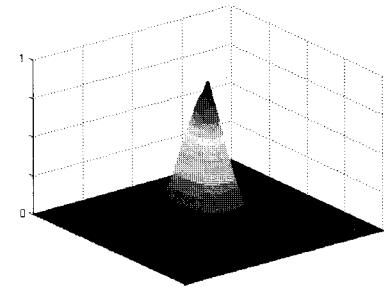
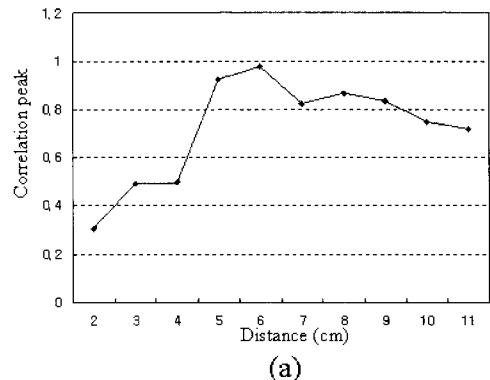
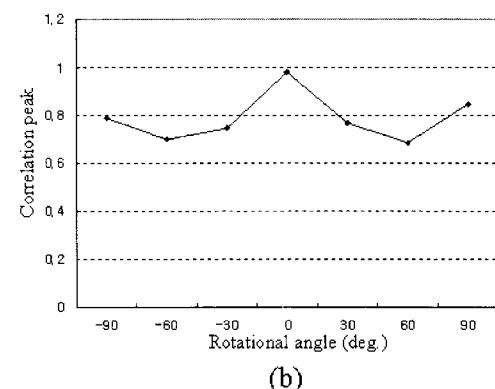


그림 6. 참조 물체와 신호 물체가 동일한 경우의 상호 상관 결과

Fig. 6. Cross-correlation results when the reference object and signal object are identical.



(a)



(b)

그림 7. 최대 상호 상관치 비교 (a) 신호 물체가 깊이 방향으로 이동한 경우 (b) 신호물체가 회전한 경우

Fig. 7. Comparison of cross-correlation
(a) Longitudinal shift of signal object (b) Rotation of signal object.

V. 결 론

결론적으로 본 논문에서는 집적영상 기술을 이용한 새로운 3D 영상 상관기를 제안하고 광학적 실험을 수행하였다. 제안하는 방법은 기존의 방법에 비해 고해상도의 비교 영상들을 사용하기 때문에 보다 정확한 3D 물체 인식이 가능하며, 전 과정을 광학적 시스템으로 구현이 가능하다. 실제 광학실험을 통하여 제안방법의 유용성을 검증하였으며, 제안하는 방법은 향후 실시간 3D 물체 인식 응용을 위한 광학적 구조의 기반으로 될 것이라고 기대된다.

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] J.-S. 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] 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.
- [5] M. Martínez-Corral, B. Javidi, R. Martínez-Cuenca, and G. Saavedra, "Multifacet structure of observed reconstructed integral images," J. Opt. Soc. Am. A vol. 22, pp. 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. vol. 45, pp. 7375-7381, 2006.
- [7] O. Matoba, E. Tajahuerce, and B. Javidi, "Real-time three-dimensional object recognition with multiple perspectives imaging," Appl. Opt. vol. 40, pp. 3318-3325, 2001.
- [8] Y. Frauel and B. Javidi, "Digital three-dimensional image correlation by use of computer-reconstructed integral imaging," Appl. Opt. vol. 41, 2002, pp. 5488-5496.
- [9] J. -H. Park, J. Kim, and B. Lee, "Three-dimensional optical correlator using a sub-image array," Opt. Express vol. 13, pp. 5116-5126, 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. Commun. Vol. 26, pp. 72-79, 2007.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] D.-H. Shin, B. Lee and E.-S. Kim, "Improved viewing quality of 3-D images in computational integral imaging reconstruction based on lenslet array model," ETRI Journal, vol. 28, pp. 521-524, 2006.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] N. Davies, M. McCormick, and L. Yang, "Three-dimensional imaging systems: a new development," Appl. Opt. vol. 27, pp. 4520-4528, 1988.

저자소개

박영일(Yongri Piao)



2003년 8월 JiLin University
통신공학과, 공학사
2005년 8월 부경대학교
정보통신공학과, 공학석사

2008년 8월 부경대학교 정보통신공학과, 공학박사
2008년 9월~현재 광운대학교 차세대 3차원 디스플레이
이 연구센터, 연구교수
※ 관심분야: 영상처리, 암호화, 집적영상 디스플레이,
Cellular automata.

김석태(Seok-Tae Kim)



1983년 2월 광운대학교
전자공학과, 공학사
1988년 2월 Kyoto Institute of
Technology, 전자공학과,
공학석사

1991년 3월 Osaka대학교 통신공학과, 공학박사
1999년 Univ. of washington, USA, 방문교수
2006년 Simon Fraser Univ., Canada, 방문교수
1991년~현재 부경대학교 전자컴퓨터정보통신공학부
재직, 교수
※ 관심분야: 영상처리, 패턴인식, Cellular automata, 3D
영상.

김은수 (Eun-Soo Kim)



1978년 2월 연세대학교 전자공학과
공학사
1980년 2월 연세대학교 대학원 전자
공학과 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, 훌로그
래피