커브형 집적영상에서 다이렉트 픽셀매핑 방법을 이용한 먼 거리 물체의 해상도 향상

정한구* · 김은수**

Resolution Enhancement for Far Objects by Using Direct Pixel Mapping Method in Curving-Effective Integral Imaging

Han-Gu Chung* · Eun-Soo Kim**

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(NO. 2011-0030815)

요 약

본 논문에서는 커브형 집적영상 시스템에서 먼 거리 물체의 해상도를 향상하는 방법을 제안한다. 커브형 집적영상은 비록 기존의 집적영상보다 향상된 샘플링 비율 때문에 더 많은 요소영상을 픽업 할 수 있지만, 먼 거리 물체에 대한 샘플링 효율이 여전히 낮은 원인 때문에 픽업된 요소영상으로 물체를 재생하면 해상도가 낮은 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 커브형 집적영상 시스템에서 픽업된 원 요소영상에 다이렉트 픽셀매핑 방법을 적용하여, 먼 거리에 위치한 물체를 마치 가까이에서 픽업한 것과 같은 새로운 요소영상을 생성한다. 이 새로운 요소영상을 이용하여 커브형 집적영상 시스템에서 최종 해상도가 향상된 물체의 영상을 재생하게 된다. 실험결과에서 기존 방법과의 비교를 통하여 제안방법의 유용성을 검증하였다.

ABSTRACT

We proposed a new method to improve the resolution of far object image in curving effective integral imaging system. Basically, the curving effective integral imaging(CEII) system can improve the resolution of the reconstructed images with an increased sampling rate of elemental images. However, in the case when an object located far from the lenslet array is picked up, the low resolution of the reconstructed images of the far object has been a primary problem because the sampling rate is very low. In order to solve this drawback, by using the direct pixel mapping(DPM) method the EIA picked up from a far object is transformed into a new EIA that virtually looks like the EIA picked up from the object originally located close to the lenslet array. From this new EIA, highly resolution-enhanced images of far object could be reconstructed in the CEII system. To show the feasibility of the proposed method, simulation results are compared with the conventional method.

키워드

커브형 집적영상, 다이렉트 픽셀 매핑, 요소영상, 해상도 향상

Key word

Curving effective integral imaging, Direct pixel mapping, Elemental image, Resolusion enhancement

* 정회원 : 광운대학교 전자공학과 홀로-디지로그 휴먼미디어 연구센터
** 정회원 : 광운대학교 전자공학과 홀로-디지로그 휴먼미디어 연구센터
(교신저자, eskim@kw.ac.kr)

접수일자 : 2011. 10. 10
심사완료일자 : 2011. 10. 17

Ⅰ. 서 론

3D 영상을 디스플레이하기 위한 방식에는 스테레오스코피(stereoscopy), 홀로그래피(holography), 집적영상(integral imaging) 등 여러 가지가 있다[1-3]. 특히, 1908년에 Lipmann에 의해 처음 제안된 집적영상기술은 특수안경 및 보조기구가 필요 없이 연속적인 시점을 가지는 풀 컬러 영상을 관측할 수 있는 3D 디스플레이 기술로서 현재 많은 연구가 활발히 진행되고 있다[4-9].

집적영상기술은 픽업과 복원 두 가지 과정으로 나눌 수 있다. 픽업 과정에서는 3D 물체의 정보를 렌즈배열과 CCD을 이용하여 요소영상(elemental image)을 기록하고, 이와 달리 복원 과정에서는 획득한 요소영상을 역방향으로 렌즈배열을 통과하여 3D 영상을 원 위치와 동일한 위치에서 LCD와 같은 디스플레이 장치에 표현하게 된다. 그러나 집적영상기술은 시야각이 작고 복원된 3D 영상의 해상도가 낮은 단점을 가지고 있다.

최근, 이러한 문제점들을 해결하기 위한 대안으로 기존 집적영상 시스템에 광각렌즈를 이용한 커브형 집적영상 (curving-effective integral imaging) 시스템이 제안되었다[10-12]. 일반적으로 커브형 집적영상 시스템은 렌즈배열에 광각렌즈를 추가하여 픽업과정에서 요소영상의 샘플링비율 (sampling rate)을 증가함으로서 복원된 영상의 해상도와 시야각을 넓히는 장점을 가지고 있지만, 먼 거리에 위치한 물체를 픽업할 경우에 샘플링비율이 낮은 원인으로 복원된 물체 영상이 낮은 해상도를 가지는 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 커브형 집적영상 시스템에서 먼 거리에 위치한 물체 영상의 해상도가 낮은 문제점을 해결하기 위하여 다이렉트 픽셀 매핑 방법 (direct pixel mapping)을 이용한 해상도향상 방법을 제안한다. 제안 방법은 커브형 집적영상 시스템에서 먼 거리에 위치한 물체로부터 픽업된 요소영상을 다이렉트 픽셀 매핑 방법을 이용하여 가시적으로 렌즈배열과 가까운 거리에서 픽업한 효과를 가지는 새로운 요소영상을 생성하여 해상도가 향상된 물체 영상을 재생한다.

논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 커브형 집적영상 시스템에 대해서 설명하고, 3장에서 다이렉트 픽셀 매핑 방법을 이용한 해상도 향상 방법에 대해 다룬다. 4장에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 제안 방법과 기존 방법과의 비교한 실험결과를 보여주고 마지막으로 5장에서는 결론은 맺는다.

Ⅱ. 커브형 집적영상 시스템

집적영상 기술은 1908년에 Lipmann에 의해 제안된 이후 실감 3D 영상을 효과적으로 재생하기 위해서 많은 연구가 진행되고 있다[4]. 그중 집적영상의 시야각이 좁고 해상도가 낮은 문제점을 해결하기 위하여 기존 집적영상의 렌즈배열에 광각렌즈를 추가한 커브형 집적영상 시스템이 제안되었다. 커브형 집적영상 시스템은 픽업과정에 요소영상의 샘플링비율을 증가함으로서 복원된 영상의 해상도와 시야각을 향상하는 장점을 가진다.

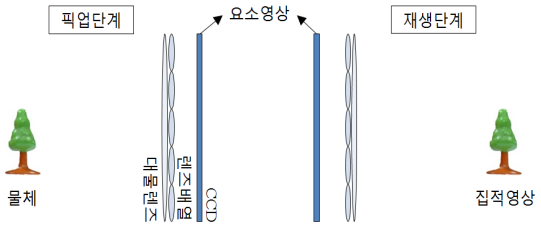

그림 1. 커브형 집적영상 시스템
Fig. 1 Curving-effective integral imaging system

그림 1은 커브형 집적영상 시스템의 개념도이다. 그림 1에서와 같이 커브형 집적영상 시스템은 픽업단계와 재생단계로 구분된다. 픽업단계에서 물체로부터 빛의 세기 및 방향 정보는 렌즈배열과 대물렌즈에 투영되고, CCD 등의 영상 센서에 요소영상배열의 형태로 저장된다. 저장된 요소영상 배열은 각 렌즈에서 물체를 바라본 단일 요소영상으로 구성되었으며 기존의 집적영상 시스템에서 픽업된 요소영상보다 더 많은 물체의 정보가 기록되게 된다. 재생단계에서는 이렇게 얻어진 전체 요소영상을 디스플레이 장치에 표시하고 역으로 렌즈배열과 광각렌즈를 통과하여 물체가 위치한 거리에서 집적됨으로서 픽업단계에서 이용한 물체와 동일한 모습의 3D 영상을 재생하게 된다.

Ⅲ. 제안 방법

일반적으로 커브형 집적영상 시스템은 기존 집적영상 시스템에 비해 샘플링비율이 높기 때문에 시야각 및 해상도가 향상되는 장점이 있지만, 먼 거리 물체에 대한 데이터 샘플링비율은 낮은 원인으로 재생된 영상의 해상도가 낮은 문제점을 가지고 있다. 이런 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 다이렉트 픽셀매핑을 이용한 먼 거리 물체에 대한 해상도 향상 방법을 제안한다.

3.1. 다이렉트 픽셀매핑 방법을 이용한 해상도 향상

본 논문에서 제안한 다이렉트 픽셀매핑 방법[12]를 이용한 해상도 향상 시스템의 구성도를 그림 2에 나타낸다. 우선 먼저 그림 2(a)의 커브형 집적영상 시스템을 이용하여 먼 거리 Z_L에 위치한 물체를 픽업한 후, 그림2(b)와 같이 다이렉트 픽셀 매핑 방법을 이용하여 픽업된 요소영상을 가시적으로 렌즈배열과 가까운 거리에서 픽업한 효과를 가지는 새로운 요소영상을 생성한다. 마지막으로 생성된 새로운 요소영상을 이용하여 해상도가 향상된 집적영상을 재생한다.

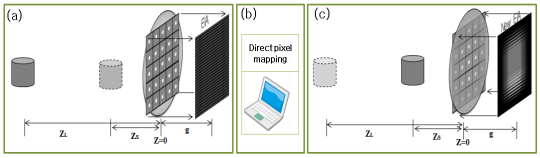

그림 2. 제안 방법의 시스템 구성도
Fig. 2 System structure of the proposed method

구체적인 다이렉트 픽셀매핑 방법은 그림 3에 나타냈다. 그림3에서 보듯이 다이렉트 픽셀매핑 방법은 픽업한 요소영상을 컴퓨터적으로 재생한 후 가시적으로 재 픽업하는 과정으로 마치 먼 거리에 있는 물체를 렌즈배열과 가까운 거리에서 픽업한 효과를 갖는 새로운 요소영상을 생성하게 된다. 생성된 새로운 요소영상은 원 요소영상과 비교하면 픽업 거리가 원물체가 위치한 거리보다 줄어들었기 때문에, 재생 시에 원 요소영상을 이용하여 재생한 영상보다 해상도가 향상된 물체영상을 복원할 수 있다.

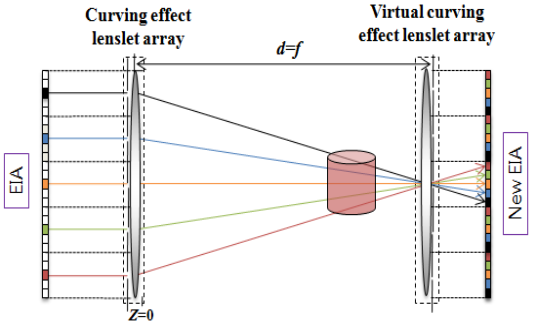

그림 3. 다이렉트 픽셀 매핑 방법
Fig. 3 Direct pixel mapping method

커브형 집적영상 시스템에서 픽업된 전체 요소영상 E는 $l_x \times l_y$개의 $s_x \times s_y$픽셀인 단일 요소 영상으로 구성되었다고 가정하면, 그림 3과 같이 다이렉트 픽셀 매핑 방법을 적용한 후 최종적으로 생성된 새 요소영상은 식 (1)로 표현할 수 있다.

$$S_{s_x-i,s_y-j}(l_x-m,l_y-n)=E_{m,n}(i,j) \tag{1}$$

여기서 $i=1,\cdots,s_x, j=1,\cdots,s_y, m=1,\cdots,l_x, n=1,\cdots,l_y$이다.

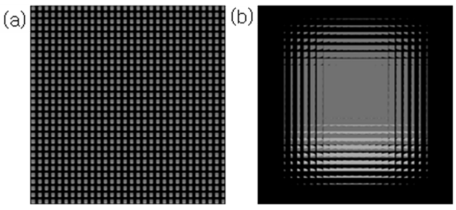

그림 4. (a) 먼 거리에서 픽업된 원 요소영상
(b) 새로운 요소영상
Fig. 4 (a) Elemental image of picked up from far object
(b) New elemental image

그림4(a)는 먼 거리에서 픽업된 원 요소영상을 나타내고, 그림 4(b)는 생성된 새로운 요소영상을 나타낸다. 그림4 (a)에서 쉽게 볼 수 있듯이 먼 거리에서 픽업된 원 요소영상에서 물체는 렌즈배열과 멀리 떨어져 있기 때문에 물체의 정보는 거의 모든 단일 요소영상에 균일하게 분포 되어 있지만, 식 (1)을 이용하여 다이렉트 픽셀

매핑을 진행한 후에 생성된 그림 4(b)의 새로운 요소영상에 픽업된 물체영상은 마치 렌즈렛과 가까운 거리에 있는 것과 같이 일부분 영역만 단일 요소영상에 픽업된 것처럼 보인다. 이 새로운 요소영상으로 물체를 재생하게 되면 해상도가 향상된 영상을 얻을 수 있다.

3.2. 다이렉트 픽셀 매핑 방법의 성능분석

다이렉트 픽셀매핑 방법을 커브형 집적영상에 적용하여 물체의 해상도를 향상시키기 위해 물체와 렌즈배열사이의 유효거리 Z_{eff}는 반드시 식 (2)을 만족해야 한다.

$$\frac{f}{2} < Z_{eff} < f \tag{2}$$

여기서 f는 커브형 집적영상 시스템에서 광각렌즈의 초점거리이다. 만약 물체가 식 (2)을 만족하는 유효거리의 범위에 위치하여 있다고 가정하고, 다이렉트 픽셀매핑을 거친 후 생성된 새로운 요소영상으로 물체를 재생하게 되면 아래 식 (3)과 같이 렌즈렛과 가까운 거리 Z_S에서 해상도가 향상된 물체 영상을 복원 할 수 있다.

$$Z_S = f - Z_L \tag{3}$$

예를 들면, 만약 광각렌즈의 초점거리가 $f = 100mm$이고, 물체가 렌즈배열과 $Z_L = 70mm$인 거리에 위치하여 있다고 가정하고, 제안한 다이렉트 픽셀 매핑 방법을 적용하면 식 (3)과 같이 렌즈배열과 가까운 거리인 $Z_S = 30mm$에서 해상도가 향상된 물체 영상을 복원할 수 있다.

Ⅳ. 실험 및 분석

제안하는 방법의 유용함을 보이기 위해 실험에서 해상도가 900×900 픽셀인 “나무”, “소” 및 “집” 세 가지 물체영상을 이용하여 실험을 진행하였고 전체 요소영상을 얻기 위한 픽업환경은 그림 5에 나타내었다. 픽업 단계에서는 초점거리가 $f = 90mm$인 광각렌즈와 핀홀 간 거리가 $1mm$인 30×30개의 핀홀 배열을 사용하였고, 핀홀 배열과 CCD 사이의 거리는 $3mm$으로 가정하였다. 그리고 “Tree”, “Cow” 및 “House” 세 가지 물체영상은 핀홀 배열로부터 $Z_L^t = 63mm, Z_L^c = 69mm$ 및 $Z_L^h = 75mm$ 떨어진 거리에 위치한다고 가정하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 전체 요소영상을 얻는다.

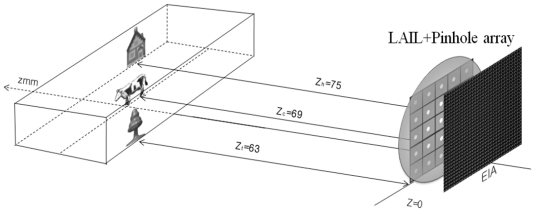

그림 5. 픽업 구조
Fig. 5 Pickup structure

그림 6(a)은 실험에 사용된 세 가지 물체 영상을 나타내고 그림 6(b)-(d)는 기존 집적영상 시스템, 커브형 집적영상 시스템 및 제안 방법으로 획득한 900×900 픽셀크기의 전제 요소영상들을 나타내고 단일 요소 영상의 크기는 30×30 픽셀이다.

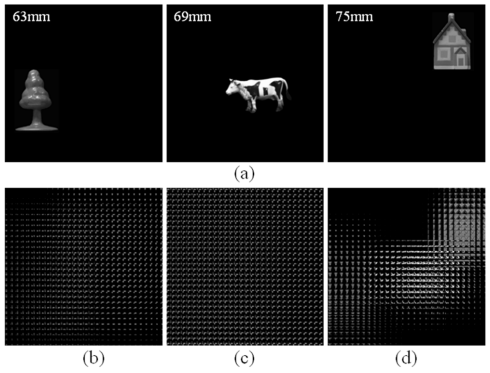

그림 6. 실험에 사용된 물체영상과 픽업된 전체 요소영상 (a) 세 가지 실험 물체 영상 (b) 기존 집적영상 시스템에서 얻어진 전체 요소영상 (c) 커브형 집적영상 시스템에서 얻어진 전체 요소영상 (d) 제안된 방법을 이용하여 얻어진 전체 요소영상
Fig. 6 Test objects, picked up EIAs, and newly transformed EIA. (a) Three test object images (b) EIA picked up by the conventional II system (c) EIA picked up by the CEII system (d) EIA transformed by using proposed method

그림 6(c)에서 볼 수 있듯이 커브형 집적영상 시스템에서 얻어진 전체 요소영상은 그림 6(b)의 기존의 집적영상 시스템에서 얻어진 요소영상에 비하여 더 많은 물체영상의 데이터가 픽업된 것을 확인 할 수 있다. 다음, 그림 6(c)의 요소영상에 제안된 방법을 적용하게 되면 그림 6(d)와 같이 물체 영상이 핀홀배열과 가까운 거리 $Z_S^t = 27mm$, $Z_S^c = 21mm$ 및 $Z_S^h = 15mm$에서 픽업한 효과를 가지는 새로운 요소영상을 얻게 된다. 본 논문에서 제안 방법의 우수성을 보이기 위하여 그림 6(b)-(d)에서 보여준 전체 요소영상들을 이용하여 재생한 세 가지 물체영상들을 그림 7에 나타내었다.

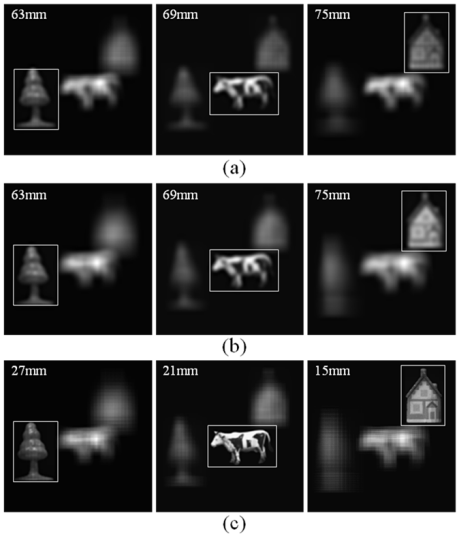

그림 7. 각 시스템에서 재생된 세 가지 물체 영상들 (a) 기존 집적영상에서 재생된 세 가지 물체 영상들 (b) 커브형 집적영상에서 재생된 세 가지 물체 영상들 (d) 제안된 방법으로 재생된 세 가지 물체 영상들
Fig. 7 Reconstructed object images by using the (a) Conventional II (b) CEII (c) Proposed method

그중에서 그림 7(b)의 "나무", "소" 및 "집" 세 가지 재생 영상들은 샘플링 비율이 높은 커브형 집적영상 시스템에서 픽업된 요소영상을 이용하여 재생하였기 때문에, 그림 7(a)의 기존 집적영상 시스템에서 재생된 영상들보다 해상도가 향상된 것을 볼 수 있다. 하지만 그림 7(a)과 7(b)의 세 가지 영상들을 관찰하면 핀홀 배열로부터 $Z_L^t = 63mm$, $Z_L^c = 69mm$ 및 $Z_L^h = 75mm$인 먼 거리에서 복원하였기 때문에 저해상도의 희미한 영상들이 재생된 것을 확인 할 수 있다. 이와 반대로, 그림 7(c)에서 쉽게 볼 수 있듯이, 본 논문에서 제안된 방법으로 재생된 세 가지 물체 영상들은 그림 7(a)과 7(b)의 영상들보다 해상도가 향상된 것을 확인 할 수 있다. 즉, 핀홀 배열로부터 거리가 $Z_L^t = 63mm$, $Z_L^c = 69mm$ 및 $Z_L^h = 75mm$인 위치에서 픽업된 전체 요소영상에 제안방법을 적용하여 핀홀 배열과 가까운 거리인 $Z_S^t = 27mm$, $Z_S^c = 21mm$ 및 $Z_S^h = 15mm$ 위치에서 픽업한 효과를 가지는 새로운 요소영상으로부터 재생되었기 때문에, 기타 방법 두 가지 방법보다 해상도가 향상된 물체영상을 복원할 수가 있다. 또한, 그림 8의 부분 확대한 "집" 물체 영상에서도 제안 방법이 기존의 두 가지 방법보다 재생 영상의 해상도가 우수하다는 것을 확인 할 수 있다.

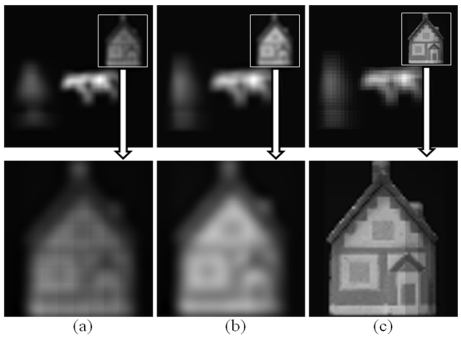

그림 8. 확대된 "집" 물체 영상 (a) 기존 집적영상에서 재생된 영상 (b) 커브형 집적영상에서 재생된 영상 (d) 제안된 방법으로 재생된 영상
Fig. 8 Zoom-in portions of the object image "House" reconstructed by the (a) Conventional II (b) CEII (c) Proposed method

본 논문에서는 제안 방법과 기존 방법들과의 정량적인 비교를 위하여 최대 신호 대 잡음비 (PSNR, Peak Signal to Noise Ratio)를 계산하여 성능 비교를 진행하였고 그 결과를 표 1에 나타내었다.

표 1. PSNR(dB) 값 비교결과
Table. 1 PSNR(dB) Comparison

PSNR(dB)	Tree	Cow	House	Average
집적영상	17.01	17.24	17.37	17.20
커브형	17.95	18.07	18.26	18.09
제안방법	21.14	21.31	21.45	21.40

표 1에서 보듯이 제안 방법과 기존 집적영상 시스템, 커브형 집적영상 시스템과 비교하였을 때, 재생된 영상의 최대 신호 대 잡음비가 평균 4.20dB, 3.31dB 높음을 알 수 있고, 비교결과를 통해 제안된 방법이 기타 방법보다 해상도 측면에서 우수한 성능을 가짐을 확인 할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 커브형 집적영상 시스템에서 먼 거리 물체의 해상도가 낮은 문제를 해결하기 위해 다이렉트 픽셀 매핑을 이용한 해상도 향상 방법을 제안하였다. 제안 방법은 먼 거리에 위치한 물체로부터 픽업된 요소영상을 다이렉트 픽셀매핑 방법을 이용하여 가시적으로 렌즈배열과 가까운 거리에서 픽업한 효과를 가지는 새로운 요소영상을 생성하여 해상도가 향상된 물체영상을 재생하였다. 또한, 제안방법의 유효성을 검증하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 제안방법이 기존 방법보다 해상도가 향상되었음을 확인할 수 있었다.

참고문헌

[1] T. Okoshi, "Three-dimensional display," *Proceedings of the IEEE*, 68, pp. 548-564, 1980.

[2] J. Rosen, B. Katz, and G. Brooker, "Review of three-dimensional holographic imaging by Fresnel incoherent correlation hologram," *3D Research,* 1(1), pp. 28-35, 2010.

[3] Y. Kim, K. Hong, and B. Lee, "Recent researches based on integral imaging display method," 3D Research, 1(1), pp. 17-27, 2010.

[4] G. Lippmann, "La photographie integrale," *C. R. Acad. Sci.,* 146, pp 446-451, 1908.

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

[6] J. -H. Park, J. Kim, Y. Kim, and B. Lee, "Resolution enhanced three dimension/two dimension convertible display based on integral imaging," *Opt. Express,* 13, pp. 1875-1884, 2005.

[7] Y. Kim, J. Park, S. Min, S. Jung, H. Choi, and B. Lee, "Wide-viewing-angle integral three-dimensional imaging system by curving a screen and a lens array," *Appl. Opt.,* 44, pp. 546-552, 2005.

[8] H. -H. Kang, D. -H. Shin, and E. -S. Kim, "Compression scheme of sub-images using Karhunen-Loeve Transform in three-dimensional integral imaging," *Opt. Commun.,* 281, pp 3640-3647, 2008.

[9] D. -H. Shin and H. Yoo, "Signal model and granular-noise analysis of computational image reconstruction for curved integral imaging systems," *Appl. Opt.,* 48, pp. 827-833, 2009.

[10] 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, pp. 7375-7381, 2006.

[11] J. -B. Hyun, D. -C. Hwang, D. -H. Shin, and E. -S. Kim, "Curved Computational integral imaging reconstruction technique for resolution- enhanced display of three-dimensional object images," *Appl. Opt.,* 46, pp. 7697-7708, 2007.

[12] Y. Piao, D. -H. Shin, and E. -S. Kim, "Computational depth conversion of reconstructed three-dimensional object images in curving- effective integral imaging system," *Jpn. J. Appl. Phys.*, 49, pp. 022501, 2010.

저자소개

정한구(Han-Gu Chung)

82.03-86.02 영남대학교 전자공학과 학사
07.03-09.08 연세대학교 전파통신공학과 석사
10.03-현재 광운대학교 전자공학과 박사과정

김은수(Eun-Soo Kim)

한국정보통신학회논문지
제13권 제8호 참조