
향상된 물체 인식을 위한 픽셀 복원 기반의 비선형 3D 상관기

신동학* · 이준재**

Nonlinear 3D Correlator Based on Pixel Restoration for Enhanced Objects Recognition

Donghak Shin* · Joon-Jae Lee**

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아
수행된 기초연구사업임(No. 2012001153)

요 약

본 논문에서는 향상된 물체 인식을 위한 픽셀 복원 기반의 비선형 3D 상관기를 제안한다. 제안한 방법은 부분적으로 가려진 물체로부터 요소영상을 픽업하고 서브영상으로 변환하고 영역 매칭 알고리즘 방법을 이용하여 서브영상으로부터 장애물로 가려진 영역을 검출하고 제거한다. 그 다음 픽셀 복원 방법으로 각 서브영상에서 제거된 물체의 픽셀을 복원한다. 마지막으로, 재생된 참조영상과 재생된 영상 사이의 비선형 상호상관을 통하여 3D 물체의 인식 성능을 향상 시킨다. 제안된 방법의 유용함을 보이기 위해 기존 방법과 비교하여 기초적인 상관관계 실험을 수행하고 그 결과를 보고한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a performance-enhanced object recognition by using nonlinear 3D correlator based on pixel restoration. In the proposed method, elemental images of the 3D target that are partially occluded by a foreground object are picked up and transformed into sub-images. By using the block-matching algorithm, the occluded target regions of each sub-image are estimated and removed. After that, the missing pixels in each sub-image are reestablished by using the pixel-restoration method. Finally, through the nonlinear cross-correlations between the reconstructed reference and the target plane images, the improved object recognition can be performed. To show the feasibility of the proposed method, some preliminary experiments are carried out and results are presented by comparing the conventional method.

키워드

집적영상, BMA, 픽셀복원, 비선형 3D 상관기

Key word

Integral imaging, BMA, Pixel restoration, Nonlinear 3D correlator

* 정회원 : 동서대학교 IAI연구소 책임연구원

접수일자 : 2012. 09. 18

** 정회원 : 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과 (교신저자: joonlee@kmu.ac.kr)

심사완료일자 : 2012. 10. 08

I. 서 론

Charles Wheatstone이 처음으로 스테레오 방식을 제안한 이후로 홀로그래피, 집적영상 등과 같은 여러 가지 3D 디스플레이 기술들이 발전되어 왔다. 그 중에서 집적영상 기술은 3D 물체의 정보를 기록하고 디스플레이 할 수 있는 3D 기술 중의 하나이며 일반적으로 크게 픽업과 복원 두 가지 과정으로 나눌 수 있다 [1-6]. 픽업 과정에서는 3D 물체의 정보를 렌즈 배열 또는 편홀 배열과 CCD 카메라를 이용하여 서로 다른 시차를 가지는 2D 요소영상(elemental image)을 기록한다. 복원 과정은 픽업 과정의 역 과정으로 기록한 2D 요소영상을 역으로 렌즈 배열 또는 편홀 배열을 통하여 3D 영상을 LCD 등 디스플레이 장치에 표현한다.

최근, 집적영상 방법을 이용한 다양한 응용분야를 연구 중에 있는데, 그중에서 3D 물체 인식을 위한 기법들이 연구자들의 주목을 받고 있다[7-10]. 특히, 부분적으로 가려진 물체의 경우 장애물에 의해 재생 영상의 인식 성능이 낮아지는 문제점을 가지며, 이를 해결하려는 방법으로 장애물을 제거하고 3D 물체를 인식하는 방법이 제안되었다 [11-15]. 그러나 이러한 방법들은 장애물을 제거한 후의 요소영상은 가려진 부분의 물체의 데이터도 함께 제거되기 때문에 장애물의 영향은 제거되지만 물체의 인식 성능이 여전히 낮은 문제점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 부분적으로 가려진 물체의 픽셀 복원을 기반으로 하는 비선형 3D 상관기를 제안한다. 제안방법은 픽업된 요소영상에 BMA (Black matching algorithm)을 이용하여 장애물을 제거한 후 그 부분의 데이터를 복원한 후 비선형 상호상관을 이용하여 물체의 인식성능을 향상한다. 마지막으로, 컴퓨터 시뮬레이션과 기존 방법과의 비교를 통하여 제안방법의 유효성을 검증하였다.

II. 픽셀복원 기반의 비선형 3D 상관기

2.1. 제안한 픽셀복원 기반의 비선형 인식 시스템

본 논문의 픽셀복원 기반의 비선형 인식 시스템은 그림 1에 나타내었다. 이 시스템은 크게 장애물 제거과정,

픽셀 복원과정 및 비선형 인식과정으로 나눈다.

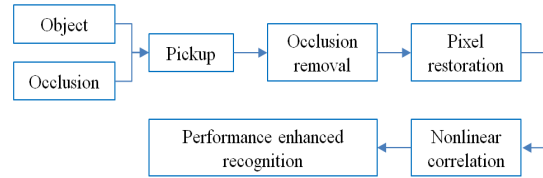


그림 1. 제안된 시스템 구성도
Fig. 1 Structure of proposed system

먼저 첫 번째 장애물을 제거하는 과정은 그림 2에서와 같이 렌즈 배열을 이용하여 인식하고자 하는 3D 물체를 장애물과 함께 요소영상으로 기록한 다음 서브영상 변환을 거쳐 서브영상으로 변환한다. 만약 e_x , e_y 와 u_x , u_y 를 x 축과 y 축에서 요소영상에서 픽셀 위치와 요소영상의 위치를 나타내고 각 요소영상의 사이즈를 $w \times w$ 라고 가정하면 서브영상 변환은 식 (1)과 같다.

$$S(i,j) = E(t_x e_x + q_x w + r_x, t_y e_y + q_y w + r_y) \quad (1)$$

여기서 $q_x = [i/(wu_x)]$, $q_y = [j/(wu_y)]$, $r_x = i\%w$, $r_y = j\%w$, $t_x = [i\%(wu_x)/w]$, $t_y = [j\%(wu_y)/w]$ 이다.

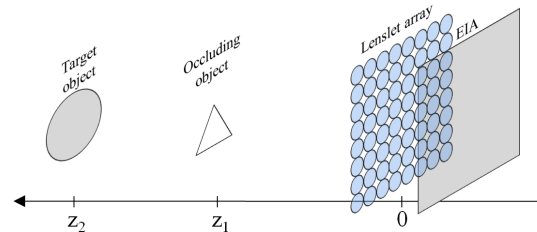


그림 2. 픽업 구조
Fig. 2 Pickup structure

2.2. BMA (Black matching algorithm) 방법

그림 3은 BMA 방법을 이용한 장애물 제거 방법을 나타낸다. 우선 근접한 두 서브영상(그림 3(b))에서 BMA 방법을 이용하여 장애물의 깊이지도 (Depth map)(그림 3(c))를 구한 후 장애물의 깊이지도에 대응하는 장애물의 데이터를 제거하고(그림 3(d)) 최종 장애물이 제거된 서브영상 배열을 얻는다(그림 3(e)).

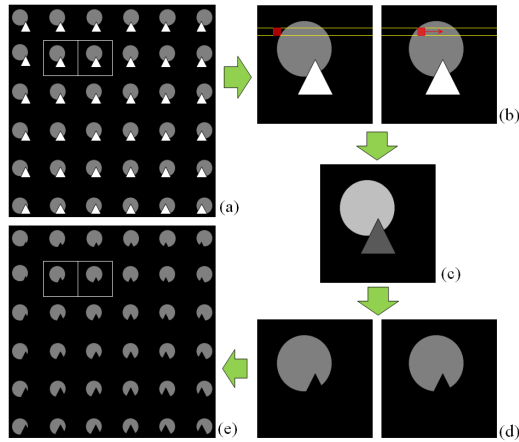


그림 3. BMA방법을 이용한 장애물 제거
Fig. 3 Occlusion removal using BMA method

여기서, 최소값을 가지는 매칭 오류(matching error)는 그림 3(b)에서 왼쪽 서브영상 $I_L(x, y)$ 에 있는 블록과 오른쪽 서브영상 $I_R(x+u, y+v)$ 에 있는 블록 사이의 SAD (sum of absolute difference) 값에 의해 정의 된다.

$$\begin{aligned} (\hat{u}, \hat{v}) &= \operatorname{argmin}_{(u, v)} SAD_{(x, y)}(u, v) \\ &= \sum_{i=1}^B \sum_{j=1}^B |I_L(x+i, y+j) - I_R(x+u+i, y+v+j)| \end{aligned} \quad (2)$$

2.3. 픽셀 복원 방법

다음으로 장애물이 제거된 서브영상에서 제거된 픽셀들을 복원하는 방법은 그림 4와 같다. 만약, T 는 $M \times N$ 사이즈인 서브영상 $S_{m,n}$ 의 (x, y) 인 곳에 위치한 제거된 픽셀이라고 가정하면, 식 (2)을 이용하여 서로 다른 시차를 가지는 서브영상에 위치한 동일 위치의 제거되지 않은 픽셀들을 식 (3)으로 복원할 수 있다. 모든 서브영상에서 제거된 픽셀들을 복원한 후, 서브영상 역변환을 거쳐 새로운 요소영상을 만들어낸다.

$$\begin{aligned} S_{m,n}(x, y) &= \frac{1}{\sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N} \sum_{i=1}^M \sum_{j=1}^N \delta_{i,j}(x+\hat{u}, y+\hat{v}) S_{i,j}(x+\hat{u}, y+\hat{v}) \end{aligned} \quad (3)$$

여기서

$$\delta_{i,j}(x, y) = \begin{cases} 0, & S_{i,j}(x, y) = 255 \\ 1, & \text{elsewhere} \end{cases} \quad (4)$$

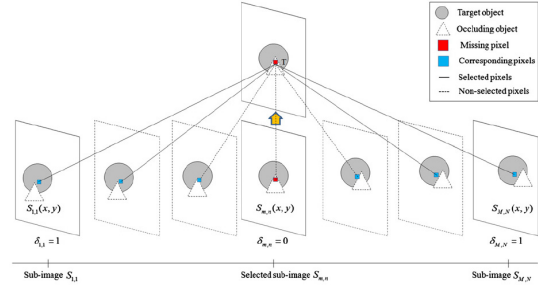


그림 4. 픽셀 복원 방법
Fig. 4 Pixel restoration method

2.4. 비선형 상관기를 이용한 인식 개선

마지막 과정은 컴퓨터적 집적영상으로 재생된 평면 영상들을 이용하여 3D 물체 인식 성능의 향상을 수행하는 과정이다. 참조 물체의 기준 평면 영상은 원 3D 물체의 위치인 z_L 거리에서 복원된 평면 영상이며 이를 f 라고 한다. 반면에, 재생된 3D 물체의 평면 영상들은 렌즈 배열부터 거리 z 의 변화에 따라 각 출력 평면에서 복원된다. 이 재생 영상을 g_z 라고 하고 거리 z 에서 복원된 목표 물체의 평면 영상 내에 존재하는 기준 물체를 인식하기 위해서 참조 템플릿 f 와 목표 물체의 평면 영상들 g_z 간의 상호상관(cross-correlation)을 수행해야 한다. 본 논문에서는 상호상관의 성능 향상을 위하여 비선형 상관(nonlinear correlation) 연산을 사용한다. 본 논문에서 사용한 비선형 상관 연산은 k -th 비선형 상관 연산을 사용한다 [16]. k -th 비선형 상관의 수식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C_{fg}^k &= |f \otimes_k g_z|^2 \\ &= \left| FT^{-1} \left[|F|^k \exp(i\phi_F) \times |G_z|^k \exp(i\phi_{G_z}) \right] \right|^2 \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 k 는 비선형 변수이며, ϕ 는 위상성분을 나타낸다. k 의 범위는 0에서 1까지 가능하며, $k=1$ 이면 기존의 상관 연산이며, $k=0$ 일 때에는 위상만을 사용하는 상관 연산이 된다. k 가 작으면 비선형 특성이 커지면서 상관피크가 날카로워지면서 우수한 성능을 지니지만 인식하고자 하는 패턴의 왜곡에 민감해지는 문제가 있다.

III. 실험 및 분석

본 논문에서 제안한 인식 시스템의 유효성을 보이기 위해 실험에서 해상도가 900×900 픽셀인 장애물 'Tree'와 목표 물체 'Car' 두 가지 영상을 이용하여 실험을 진행하였다. 픽업단계에서는 핀홀사이 거리가 1 mm인 30×30 개의 핀홀 배열을 사용하였고, 핀홀 배열과 요소 영상 사이의 거리는 3 mm로 가정하였다.

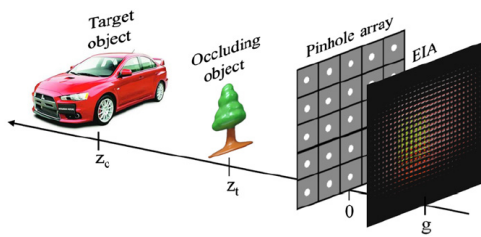


그림 5. 실험 구조
Fig. 5 Experimental structure

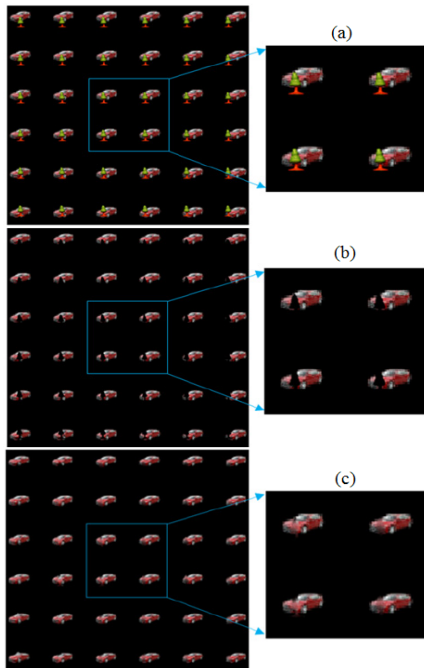


그림 6. (a) 원 서브영상 (b) 장애물 제거된 서브영상 (c) 픽셀 복원된 서브영상
Fig. 6 (a) Original sub-images (b) Occlusion removed sub-images (c) Pixel restored sub-images

핀홀 배열로부터 장애물 'Tree'와 목표 물체 'Car' 사이의 거리는 z_t 와 z_c 로 설정하였다.

그림 5에서 보듯이 장애물과 목표 물체는 거리가 $z_t = 18\text{mm}$ 와 $z_c = 39\text{mm}$ 인 위치에 설정하였다. 그림 6(a)은 그림 5의 실험구조에 의해 픽업된 900×900 픽셀 크기의 원 요소영상으로부터 변환된 서브영상으로 나타내고, 그림 6(b)과 6(c)은 장애물을 제거한 서브영상과 픽셀 복원된 서브영상을 나타낸다. 그림 6(c)에서 쉽게 볼 수 있듯이 제안된 인식 시스템에 의해 장애물이 제거된 서브영상은 픽셀 복원 방법을 거쳐 서브영상이 회복된 것을 볼 수 있다. 그림 7(a)은 그림 6(a)의 원 서브영상을 이용하여 재생한 물체 영상이고, 그림 7(b)과 7(c)은 그림 6(b)의 장애물을 제거한 서브영상과 그림 6(c)의 픽셀 복원한 서브영상을 이용하여 재생한 물체 영상이다.

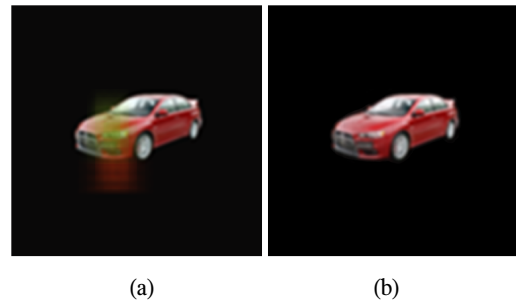


그림 7. 재생된 평면 영상 (a) 원 요소영상 사용 (b) 픽셀 복원된 요소영상 사용
Fig. 7 Reconstructed plane images by using (a) Original elemental images (b) Pixel restored elemental images

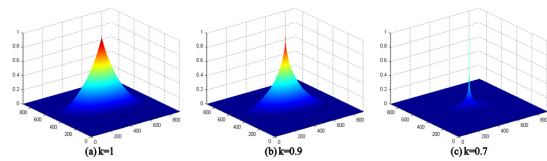


그림 8. 비선형 상관관계 결과
(a) $k=1$ (b) $k=0.9$ (c) $k=0.7$
Fig. 8 Results of correlation
(a) $k=1$ (b) $k=0.9$ (c) $k=0.7$

본 논문에서는 비선형 3D 영상 상관기가 k 값에 따른 인식성능을 분석하기 위하여 3D 물체의 패턴 인식 실험

을 하였다. 우선 그림 4의 구조에서 장애물이 없는 상황에서 재생된 영상을 기준 평면 영상으로 사용하고, 새로운 요소영상으로부터 목표 재생 평면 영상을 복원하였다. 복원된 평면 영상에 대해서 식(5)을 이용하여 비선형 상관 연산을 계산하였고, 비선형 상관계수 k 에 따른 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 볼 수 있듯이, 비선형 상관계수 k 가 작을수록 계산된 상호상관의 피크 값이 샤프(sharp)하게 나타나며, 이는 물체 인식 정확성이 향상된다는 것을 나타낸다.

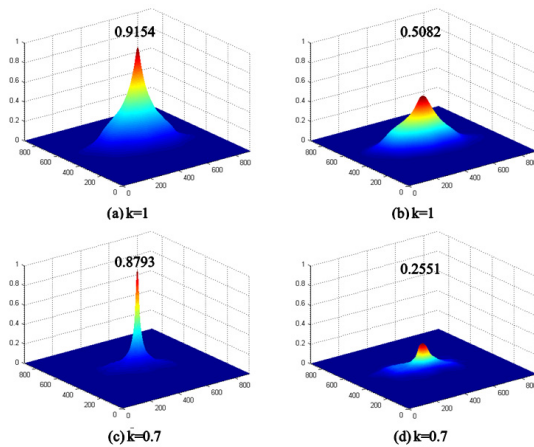


그림 9. 비선형 상관기를 이용한 인식 결과
(a) $k=1$ 일 때 그림 7(a)로 계산된 상호상관결과
(b) $k=1$ 일 때 그림 7(b)로 계산된 상호상관결과
(c) $k=0.7$ 일 때 그림 7(a)로 계산된 상호상관결과
(d) $k=0.7$ 일 때 그림 7(b)로 계산된 상호상관결과

Fig. 9 Comparison of recognition results

- (a) cross-correlation peak using the fig. 7(a) when $k=1$
(b) cross-correlation peak using the fig. 7(b) when $k=1$
(c) cross-correlation peak using the fig. 7(a) when $k=0.7$
(d) cross-correlation peak using the fig. 7(b) when $k=0.7$

또한, 본 논문에서는 비선형 3D 영상 상관기의 패턴 인식에 대한 성능을 확인하기 위하여 그림 7의 장애물에 의해 가려진 3D 물체의 인식 실험을 진행하였다. 그림 9는 그림 7의 새로운 요소영상과 원 요소영상으로 재생된 3D 물체에 대해 비선형 상호상관 연산을 수행 비교한 결과를 나타내었다. 그림 9(a)와 9(b)는 기존방법인 $k=1$ 일 때, 그림 9(c)와 9(d)는 제안방법 $k=0.7$ 일 때 새로운 요소영상과 원 요소영상을 이용하여 재생한 3D 물체 영상에 대한 상호상관 결과이다.

그림 9에서 알 수 있듯이, 기존방법인 $k=1$ 일 때 새로운 요소영상과 원 요소영상으로 재생한 3D 물체의 비선형 상호상관 결과가 0.9154와 0.5082로 계산되었으며 픽셀 복원 기반의 제안방법이 기존 방법보다 1.8배정도 향상되었지만, $k=0.7$ 일 때 새로운 요소영상과 원 요소영상으로 재생한 3D 물체의 비선형 상호상관 결과가 0.8793과 0.2551로 계산되었으며 픽셀 복원 기반의 제안방법이 기존 방법보다 3.5배정도 향상된 것을 확인할 수 있었다. 따라서 그림 9의 실험 결과로부터 본 논문에서 사용하는 k 차수 비선형 상관기가 패턴인식에서 유용하게 사용될 수 있음을 보여주고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 집적영상 시스템에서 3D 물체 인식 향상을 위한 픽셀 복원 기반의 비선형 3D 영상 상관기를 제안하였다. BMA 방법과 픽셀 복원 방법의 사용을 통하여 장애물을 제거하고 제거된 부분의 물체 픽셀 복원을 통하여 새로운 요소영상을 생성하였다. 마지막으로, 비선형 상관 연산을 사용하여 3D 영상의 인식 성능을 향상 시켰다. 제안하는 픽셀 복원 기반의 비선형 3D 영상 상관기에 대한 기초적인 상관관계 실험을 통하여 3D 물체 인식 성능을 개선할 수 있음을 확인하였다. 따라서 향후 제안되는 비선형 영상 상관기를 이용하여 여러 가지 환경조건하에서 물체 인식에 대한 연구를 수행하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2012001153)

참고문헌

- [1] M. G. Lippmann, "Epreuves reversibles donnant la sensation du relief," *J. Phys.* vol. 7, pp. 821-825, 1908.
- [2] R. Martinez-Cuenca, G. Saavedra, M. Martinez-Corral and B. Javidi, "Enhanced depth of field integral imaging with sensor resolution constraints," *Opt. Express*, vol. 12, pp. 5237-5242, 2004.
- [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. 324-26, 2002.
- [4] S. Hong, J. Jang, and B. Javidi, "Three-dimensional volumetric object reconstruction using computational integral imaging," *Opt. Express*, vol. 12, pp. 483-491, 2004.
- [5] D.-H. Shin, S.-H. Lee, and E.-S. Kim, "Optical display of true 3D objects in depth-priority integral imaging using an active sensor," *Opt. Commun.* vol. 275, pp. 330-334, 2007.
- [6] 홍석표, 신동학, 김은수 "완전시차 집적 영상 배경을 가지는 2D-3D 겸용 디스플레이 시스템" *한국해양정보통신학회 논문지*, 13권 2호, pp. 369-375, 2009.
- [7] S. Kishk and B. Javidi, "Improved resolution 3D object sensing and recognition using time multiplexed computational integral imaging," *Opt. Express*, vol. 11, pp. 3528-3541, 2003.
- [8] 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. 276, pp. 72-79, 2007.
- [9] W. Tan, D. Shin and B.-K. Lee "Resolution-enhanced reconstruction of 3D object using depth-reversed elemental images for partially occluded object recognition," *J. Opt. Soc. Korea*, vol. 13, pp. 139-145, 2009.
- [10] B.-G. Lee, Liliana and D. Shin, "Enhanced computational integral imaging system for partially occluded 3D objects using occlusion removal technique and recursive PCA reconstruction," *Opt. Commun.* vol. 283, pp. 2084-2091, 2010.
- [11] D.-H. Shin, B.-G. Lee, and J.-J. Lee, "Occlusion removal method of partially occluded 3D object using sub-image block matching in computational integral imaging," *Opt. Express*, vol. 16, pp. 16294-16304, 2008.
- [12] J.-H. Jung, K. Hong, G. Park, I. Chung, J.-H. Park, and B. Lee, "Reconstruction of three-dimensional occluded object using optical flow and triangular mesh reconstruction in integral imaging," *Opt. Express*, vol. 18, pp. 26373-26387, 2010.
- [13] J.-J. Lee, B.-G. Lee, and H. Yoo, "Image quality enhancement of computational integral imaging reconstruction for partially occluded objects using binary weighting mask on occlusion areas," *Appl. Opt.* vol. 50, pp. 1889-1893, 2011.
- [14] M. Zhang, Y. Piao, and E.-S. Kim, "Visibility-enhanced reconstruction of three-dimensional objects under a heavily scattering medium through combined use of intermediate view reconstruction, multipixel extraction, and histogram equalization methods in the conventional integral imaging system," *Appl. Opt.* vol. 50, pp. 5369-5381, 2011.
- [15] Y. Piao, M. Zhang, E.-S. Kim, "Effective reconstruction of a partially occluded 3-D target by using a pixel restoration scheme in computational integral-imaging," *Opt. Lasers Eng.*, vol. 50, pp. 1602-1610, 2012.
- [16] B. Javidi, "Nonlinear joint power spectrum based optical correlation," *Appl. Opt.* vol. 28, pp. 2358-2367, 1989.

저자소개

신동학(Shin Donghak)

한국정보통신학회 논문지
제16권 제10호 참조

이준재(Lee Joon Jae)

한국정보통신학회 논문지
제16권 제10호 참조