
고속 컴퓨터 집적 영상 복원 방법을 이용한 비선형 3D 영상 상관기

신동학* · 이준재**

Nonlinear 3D Image Correlator Using Fast Computational Integral Imaging Reconstruction Method

Donghak Shin* · Joon-Jae Lee**

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업
지원을 받아 수행된 것임(2010-0023438)

요 약

본 논문에서는 고속 컴퓨터 집적 영상 복원 방법을 이용하여 새로운 형태의 3D 비선형 상관기를 제안한다. 고속 컴퓨터 집적 영상 복원 방법을 구현하기 위해서 기존의 방법에서 확대 과정을 제거함으로써 고속 계산이 가능하다. 제안하는 상관기는 먼저 기준 물체와 목표 물체의 요소 영상들을 렌즈 배열을 통해 픽업한다. 이 픽업된 영상에 고속 컴퓨터 집적 영상 복원 방법을 사용하여 목표 평면 영상과 기준 평면 영상들이 복원된다. 복원된 기준 평면 영상과 목표 평면 영상들 간의 비선형 상호상관을 통해 인식을 수행한다. 비선형 상관 연산의 사용은 상관기의 3D 물체 인식 성능 향상시킬 수 있다. 제안된 방법의 유용함을 보이기 위해 기존의 방법과 비교하여 기초적인 상관관계 실험을 수행하고 그 결과를 보고한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a novel nonlinear 3D image correlator using a fast computational integral imaging reconstruction (CIIR) method. In order to implement the fast CIIR method, the magnification process was eliminated. In the proposed correlator, elemental images of the reference and target objects are picked up by lenslet arrays. Using these elemental images, reference and target plane images are reconstructed on the output plane by means of the proposed fast CIIR method. Then, through nonlinear cross-correlations between the reconstructed reference and the target plane images, the pattern recognition can be performed from the correlation outputs. Nonlinear correlation operation can improve the recognition of 3D objects. To show the feasibility of the proposed method, some preliminary experiments are carried out and the results are presented by comparing the conventional method.

키워드

3D상관, 비선형상관, 집적영상, 요소영상, 컴퓨터 재구성

Key word

3D correlation, Nonlinear correlation, integral imaging, elemental images, computational reconstruction

* 정희원 : 동서대학교 |AI연구소 책임연구원(shindh2@yahoo.com)

접수일자 : 2012. 04. 24

** 정희원 : 계명대학교 계임모바일콘텐츠학과 부교수 (교신저자)

심사완료일자 : 2012. 05. 25

Open Access <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.10.2280>

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

I. 서 론

최근 다양한 3D 기술을 이용하여 3D 물체 인식에 관한 많은 연구들이 진행되고 있다 [1-3]. 이들 기술 가운데 집적 영상 (integral imaging) 방법을 도입한 3D 물체 인식 기법이 최근 제안되었다 [4,5].

집적 영상 기술은 3D 디스플레이 기술로서 잘 알려져 있으며 최근 이를 이용한 다양한 응용분야를 연구 중에 있다. 집적 영상 시스템은 크게 픽업 과정과 재생 과정으로 이루어져 있다 [6,7]. 픽업 과정에서는 렌즈배열 또는 편홀 배열을 통하여 맺힌 다시점의 축소된 영상이 CCD 카메라에 의해 기록된다. 이 기록된 영상들을 요소 영상 (elemental images)이라고 한다. 이에 반해 재생 과정은 픽업 과정의 역 과정으로 볼 수 있다. 기록된 요소 영상들이 렌즈 배열 또는 편홀 배열과 디스플레이 패널을 통해 디스플레이 된다. 집적 영상에서 3D 영상을 복원하는 방법에는 광학적 집적 영상 복원 (Optical integral imaging reconstruction: OIIR) 기법[6,7]과 컴퓨터적 집적 영상 복원 (Computational integral imaging reconstruction: CIIR) 기법[8,9]이 있다. OIIR 방법은 실제 렌즈 배열을 이용하여 광학적으로 3D 영상을 복원하지만, 회절과 수차 등과 같은 광학적 장치의 물리적인 제한에 의해 야기된 요소 영상들 간의 불충분한 오버랩과 디스플레이 된 3D 영상의 저하된 화질로 인해 저해상도의 3D 영상이 디스플레이 되는 문제점을 가지고 있다. 이러한 결점을 보완하기 위해 기하 광학의 디지털 시뮬레이션을 통하여 컴퓨터적으로 3D 영상을 복원할 수 있는 CIIR 기법이 소개되었다 [9]. 이 방법은 모든 요소 영상들의 상호 중첩으로부터 쉽게 3D 영상을 컴퓨터적으로 복원한다.

최근 Javidi 그룹에서는 CIIR 기법에 기반한 3D 상관기에 대한 개념을 제시하였고, 이를 이용하여 부분적으로 가려진 3D 물체를 인식하는 CIIR 방법의 새로운 응용 가능성을 보여 주었다 [10]. 그러나 CIIR 기법은 요소 영상을 재생 거리에 비례하여 확대 중첩한다. 따라서 이 요소 영상의 확대 과정은 재생 거리가 커지면 그 계산량은 기하급수적으로 증가하는 문제점이 있었다. 이러한 문제점을 개선하기 위하여 저자의 그룹에서 고속 CIIR을 적용한 3D 영상 상관기를 제안하였다 [11].

본 논문에서는 고속 CIIR 기반의 3D 영상 상관기의 3D 물체 인식 성능 향상을 위하여 비선형 상관관계를 이용한 새로운 3D 영상 상관기를 제안한다. 제안하는

비선형 3D 영상 상관기는 먼저 렌즈 배열을 통해 맺힌 기준 물체와 목표 물체들의 요소 영상들이 CCD 카메라에 의해 획득되고, 확대 과정이 제거된 고속 CIIR 기법을 이용하여 3D 평면 영상을 빠르게 복원한다. 얻어진 3D 평면 영상과 기준 영상과의 비선형 상관관계를 이용하여 3D 물체를 인식한다. 제안된 방법의 유용함을 보이기 위해 기초적인 실험을 수행하였고, 그 결과를 나타내었다.

II. 고속 CIIR 기반의 3D 영상 상관기

그림 1은 제안하는 고속 CIIR 기반의 3D 영상 상관기 시스템을 설명하고 있다. 이 시스템은 크게 픽업 과정, 고속 CIIR 과정 및 인식 과정으로 나뉜다. 기존의 방법과의 큰 차이점은 인식과정에서 비선형 상관 (nonlinear correlation)을 사용하여 인식 성능을 향상키는 것이다. 각 과정에 대해서 아래에서 자세한 설명한다.

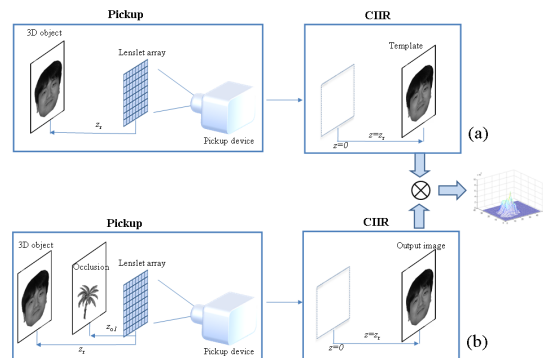


그림 1. 제안된 시스템의 흐름도
Fig. 1 Flowchart of proposed system

먼저 첫 번째 과정인 픽업 과정은 그림 1에서와 같이 렌즈 배열을 이용하여 인식하고자 하는 기준 3D 물체의 요소 영상을 CCD 센서로 기록한다. 이때 기록된 영상을 기준 요소 영상(reference elemental images)이라 한다. 기준 3D 물체 $R(x_r, y_r, z_r)$ 와 렌즈배열 사이의 거리는 이미 알고 있는 거리 z_r 에 있다고 가정한다. 한편 미지의 목표 물체 $O(x_o, y_o, z_o)$ 는 렌즈배열로부터 거리 z_o 에 위치하며 장애물에 가려져 있다. 이 목표 물체의 영상들은 각각의

렌즈 배열과 CCD 센서에 의해 획득된다. 이를 목표 요소 영상 (target elemental images)이라 한다. 기준 물체와 목표 물체의 요소 영상들은 각각 컴퓨터에 저장된다. 이때 기준 3D 물체 R 로부터 기록된 요소 영상을 E_r 로 나타내고, 목표 3D 물체 O 로부터 기록된 요소 영상을 E_o 로 각각 나타낸다.

제안하는 비선형 3D 상관계의 두번째 과정은 고속 CIIR 과정이다. 여기서는 첫 번째 픽업 과정에 기록된 E_r 와 E_o 의 요소 영상들로부터 기준 물체와 목표 물체의 평면 3D 영상을 복원한다 [9]. 기하광학의 디지털 시뮬레이션을 통하여 렌즈 배열로부터 입의의 거리에서 목표 물체와 기준 물체의 평면 영상을 컴퓨터적으로 복원할 수 있다. 즉, 기준 요소 영상 E_r 를 이용하여 기준 평면 영상은 이미 알고 있는 거리 z_o 에 초점이 맞춰져 복원할 수 있다. 이에 반해, 목표 물체의 경우에는 렌즈배열부터의 거리를 알 수 없기 때문에 목표 요소 영상 E_o 를 이용하여 거리 z 를 변화시키면서 각각의 출력 평면 영상을 복원한다.

본 논문에서 사용하는 고속 CIIR의 원리를 그림 2에 나타내었다. 그림 2는 하나의 점광원(point object)에 대한 픽업과정과 CIIR 과정을 보여준다. 그림 2(a)에서 보여지듯이 점광원은 렌즈 배열을 통과하여 점광원 요소 영상으로 기록된다고 가정하자. 이렇게 기록된 요소 영상을 CIIR 과정을 통해 영상으로 복원하면 그림 2(b)와 같다. 최초로 제안되었던 CIIR 방식에서는 각각의 요소 영상 점광원은 핀홀 배열을 통하여 확대 중첩되기 때문에 거리 z 의 평면에서는 점광원의 확대된 영상이 중첩되게 된다. 따라서 재생되는 영상이 왜곡되며, 확대된 영상들의 의한 계산량도 급격히 증가함을 알 수 있다.

이 문제를 해결하기 위해서 고속 CIIR 방법이 제안되었다. 즉 고속 계산을 위하여 이전의 CIIR 방법에서 확대 과정을 제거한다. 이를 통하여 요소 영상과 재생 영상면 사이에 픽셀간의 매핑을 구성한다. 그림 2(c)는 점광원에 대한 고속 CIIR 방법의 예를 보여준다. 그림 2(b)와는 달리 요소 영상의 점광원이 확대되지 않고 점광원의 크기 그대로 재생 영상면으로 매핑이 된다. 이는 확대 과정을 제거함으로써 제안하는 방법이 계산량을 급격히 줄일 수 있다 [11].

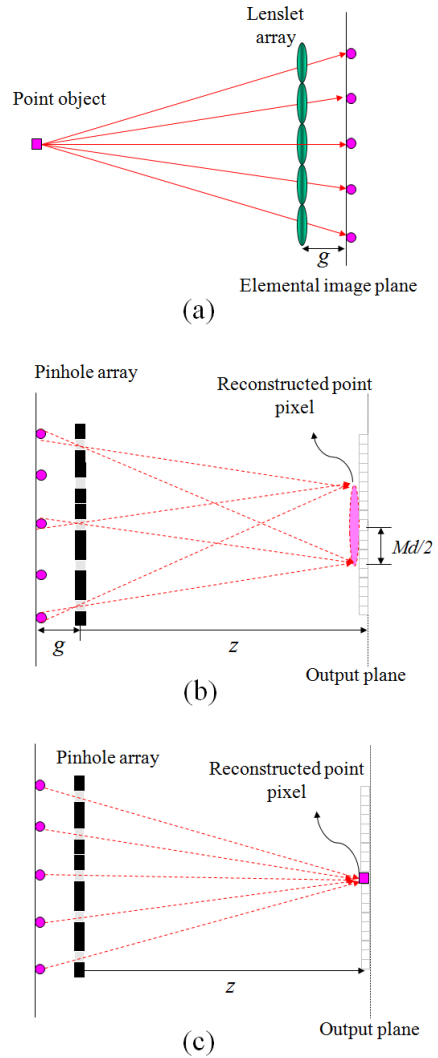


그림 2. 점광원에 대한 집적 영상 해석
 (a) 픽업 (b) 기존의 CIIR 재생 (c) 고속 CIIR 재생
 Fig. 2 Analysis of integral imaging for point source
 (a) pickup (b) conventional CIIR (c) fast CIIR

마지막 과정은 고속 CIIR 과정 후에 얻어진 평면 영상들을 이용하여 3D 물체 인식을 수행하는 인식과정이다. 기준 물체의 기준 평면 영상은 본래 기준 3D 물체의 위치인 z_o 거리에서 복원된 평면 영상이며 이를 f 라고 하자. 반면에, 목표 물체의 평면 영상들은 렌즈 배열부터의 거리 z 의 변화에 따라 각각의 출력 평면에서 복원된다. 이 평면 영상을 g_z 라고 하자. 거리 z 에서 복원된 목표 물체

의 평면 영상 내에 존재하는 기준 물체를 인식하기 위해서 기준 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 [12]. k -th 비선형 상관의 수식은 다음과 같다.

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

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 상관 피크가 날카로워지면서 우수한 성능을 지니지만 인식하고자 하는 패턴의 왜곡에 민감해지는 문제가 있다.

III. 실험 및 결과

제안하는 고속 CIIR 기반의 비선형 3D 영상 상관기의 유용성을 검증하기 위해서 기초적인 실험을 수행하였다. 실험 구성도는 그림 3과 같다. 인식하고자 하는 3D 물체는 사람 얼굴이다. 3D 물체는 렌즈 배열로부터 45 mm에 위치하였고, 장애물은 15 mm에 위치시켰다. 사용한 렌즈배열은 30×30이며, 각각의 렌즈 배열을 통하여 30×30 pixel의 요소 영상이 얻어진다. 따라서 최종 얻어지는 요소 영상은 900×900 픽셀이다.

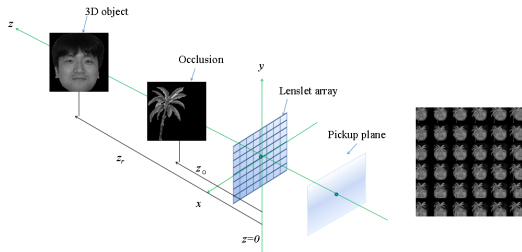


그림 3. 실험 구성도
Fig. 3 Experimental structure

그림 4는 실험에 사용한 원 영상과 그림 3의 시스템으로부터 얻어진 요소 영상을 보여준다. 얻어진 요소 영상을 이용하여 고속 CIIR 방법으로 재생한 영상을 그림 5(a)에 나타내었다. 점패턴 모양으로 재생이 되며, 눈 부분을 자세히 확대하여 나타내었다. 비교를 위해 기존의 CIIR 방법에 의해 재생된 영상을 그림 5(b)에 나타내었다. 그림 5의 결과로부터 고속 CIIR 방법에서는 더 선명한 영상을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

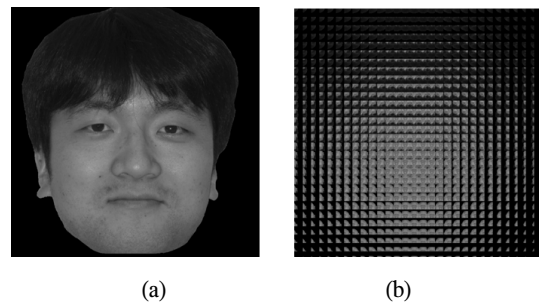


그림 4. (a) 실험 얼굴 영상 (b) 얻어진 요소 영상
Fig. 4 (a) Experimental face image
(b) its elemental images

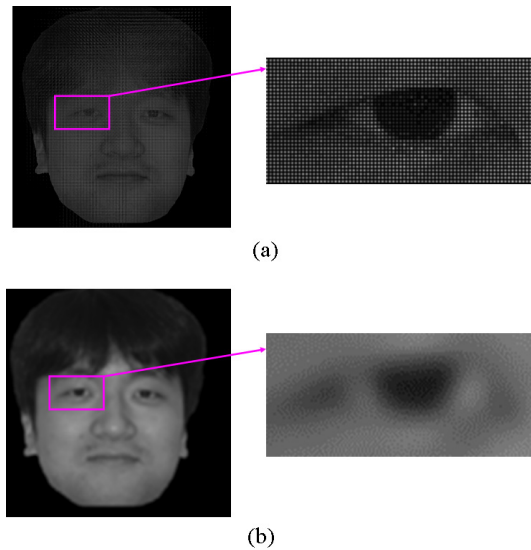


그림 5. 재생 평면 영상 (a) 제안하는 고속 CIIR 방법
(b) 기존의 CIIR 방법
Fig. 5 Reconstructed plane image (a) Proposed fast CIIR method. (b) Conventional CIIR method.

그림 5의 영상들을 기준 평면 영상으로 사용하고, 장애물 영상이 존재할 때의 요소 영상을 얻은 후 목표 재생 평면 영상을 복원하였다. 얻어진 두 평면 영상에 대해서 식 (1)을 이용하여 비선형 상관 연산을 계산하였다. 그 결과를 그림 6에 나타내었다. 그림 6은 k 의 값에 따른 비선형 상관 결과를 나타내었다. k 가 작을수록 상호상관치가 날카로워짐을 알 수 있다.

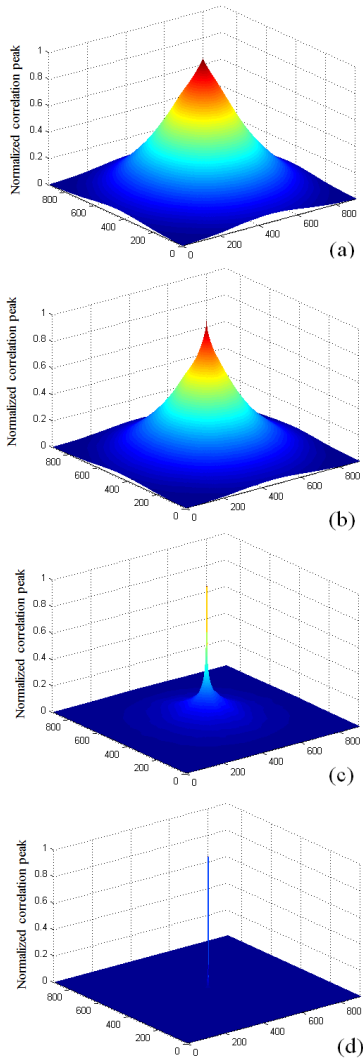


그림 6. 비선형 상관 관계 결과
 (a) $k=1$ (b) $k=0.9$ (c) $k=0.7$ (d) $k=0.5$
 Fig. 6 Result of correlation
 (a) $k=1$ (b) $k=0.9$ (c) $k=0.7$ (d) $k=0.5$

비선형 3D 영상 상관기의 패턴 인식 성능을 확인하기 위하여 3D 물체의 패턴 인식 실험을 하였다. 인식을 위한 3D 물체는 두 명의 사람 얼굴을 사용하였다. 인식을 위해 사용한 두 사람의 얼굴을 그림 7에 나타내었다. 먼저 인식하고자 하는 기준 사람 (face 1)에 대하여 자기 자신에 대한 자기 상관 (auto-correlation)과 다른 사람 (face 2)에 대한 상호 상관 (cross-correlation) 연산을 수행하여 비선형 상관기의 성능을 비교하였다.

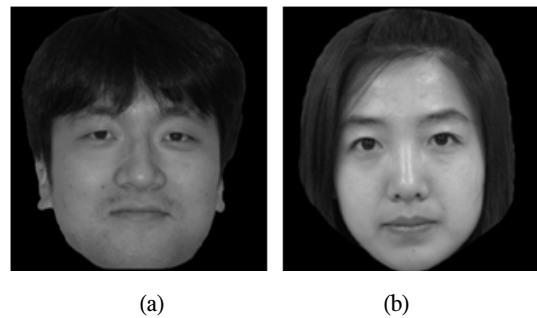


그림 7. 패턴인식을 위한 2개의 실험 얼굴 영상
 (a) face 1 (b) face 2
 Fig. 7 Two experimental face images for pattern recognition. (a) face 1 (b) face 2

이 상관 결과를 그림 8과 9에 나타내었다. 그림 8(a)-(c)는 기존의 방법인 $k=1$ 일 때의 결과이고, 그림 9(a)-(c)는 제안하는 방법인 $k=0.7$ 일 때의 결과이다. 그림 8(a)와 9(a)에서 face 1의 자기 상관 결과를 표시하였고, 그림 8(b)와 9(b)에는 face 1과 장애물에 의해 가려진 face 1 사이의 상호 상관 결과를 나타내었고, 그림 8(c)와 9(c)는 face 1과 장애물에 가려진 face 2의 상호 상관 결과를 오른쪽에 나타내었다. 그림 8(b)와 8(c)에서 보여 지듯이 $k=1$ 때에는 자기 상관 피크 값과 상호 상관 피크 값이 크게 차이가 나지 않는다. 즉 서로 다른 두 얼굴을 인식하기 힘들다는 것을 의미한다. 반면에 낮은 $k=0.7$ 에서는 자기 상관 피크 값이 상호 상관 피크 값의 차이가 매우 커짐을 알 수 있다. 이것은 서로 다른 두 얼굴을 잘 인식할 수 있음을 의미한다. 따라서 그림 9의 실험 결과로부터 본 논문에서 사용하는 k 차수 비선형 상관기가 패턴인식에서 유용하게 사용될 수 있음을 보여주고 있다.

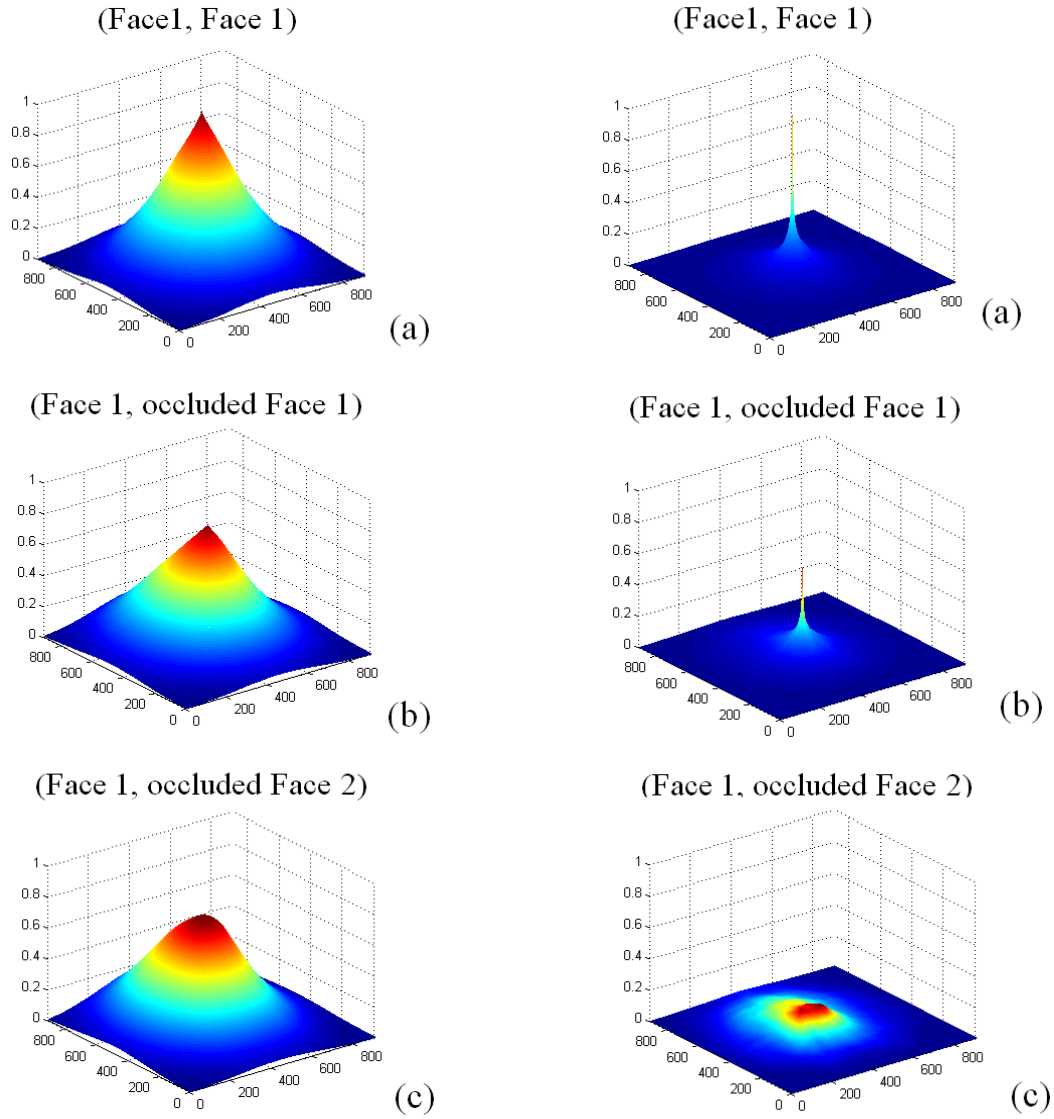


그림 8. $k=1$ 일 때의 비선형 상관기를 이용한 인식 결과
 (a) face 1의 자기 상관 결과 (b) face 1과 장애물에 가려진 face 1 사이의 상호 상관 결과 (c) face 1과 장애물에 가려진 face 2 사이의 상호 상관 결과
 Fig. 8 Recognition result using nonlinear correlator when $k=1$ (a) auto-correlation peak of face 1 (b) cross-correlation peak of face 1 and occluded face 1 (c) cross-correlation peak of face 1 and occluded face 2

그림 9. $k=0.7$ 일 때의 비선형 상관기를 이용한 인식 결과
 (a) face 1의 자기 상관 결과 (b) face1과 장애물에 가려진 face1 사이의 상호 상관 결과 (c) face1과 장애물에 가려진 face 2 사이의 상호 상관 결과
 Fig. 9 Recognition result using nonlinear correlator when $k=0.7$ (a) auto-correlation peak of face 1 (b) cross-correlation peak of face 1 and occluded face 1 (c) cross-correlation peak of face 1 and occluded face 2

IV. 결 론

본 논문에서는 3D 물체 인식 향상을 위한 고속 CIIR 기반의 비선형 3D 영상 상관기를 제안하였다. 고속 CIIR 방법의 사용을 통하여 빠른 상관관계를 구현하였고, 비선형 상관 연산을 사용하여 3D 영상의 인식 성능을 향상시켰다. 제안하는 고속 CIIR 기반의 비선형 3D 영상 상관기에 대한 기초적인 상관관계 실험을 수행하고 $k=1$ 인 기존의 방법과 비교할 때 상관 성능이 향상시켜 3D 물체 인식을 좋게 함을 확인하였다. 따라서 제안하는 방법은 3D 패턴 인식에 유용하게 사용될 것으로 기대한다. 향후 제안하는 비선형 3D 영상 상관기를 이용하여 다양한 형태의 왜곡에 대한 패턴 인식 실험을 수행하고자 한다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2010-0023438)

참고문헌

[1] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, Digital Image Processing, (Prentice Hall 2nd Edition January 15, 2002).

[2] T.-C. Poon and T. Kim, "Optical image recognition of three-dimensional objects," Appl. Opt. vol. 38, pp. 370-381, 1999.

[3] B. Javidi and E. Tajahuerce, "Three-dimensional object recognition by use of digital holography," Opt. Lett. vol. 25, pp. 610-612, 2000.

[4] Y. Frauel and B. Javidi, "Digital three-dimensional image correlation by use of computer reconstructed integral imaging," Appl. Opt. vol. 41, pp. 5488-5496, 2002.

[5] J. Park, J. Kim, and B. Lee, "Three-dimensional optical correlator using a sub-image array," Opt. Express vol. 13, pp. 5116-5126, 2005.

[6] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional

image based on integral photography," Appl. Opt. vol. 36, pp. 1598-1603, 1997.

[7] J.-S. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging with nonstationary micro-optics," Opt. Lett. vol. 27, pp. 324-326, 2002.

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

[9] 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.

[10] B. Javidi, R. Ponce-Daz, and S.-H. Hong, "Three-dimensional recognition of occluded objects by using computational integral imaging," Opt. Lett. vol. 31, pp. 1106-1108, 2006.

[11] H. Yoo and D. K. Kim, "Three-dimensional image correlator using fast computational integral imaging reconstruction method based on pixel-to-pixel mapping," Opt. Commun. vol. 284, pp. 5110-5114, 2011.

[12] B. Javidi, "Nonlinear joint power spectrum based optical correlation," Appl. Opt. vol. 28, pp. 2358-2367, 1989.

저자소개

신동학(Dong-Hak Shin)

한국정보통신학회 논문지
제11권 제2호 참조

이준재 (Joon-Jae Lee)



1986년 경북대학교 전자공학과 학사
1990년 경북대학교 전자공학과 석사
1994년 경북대학교 전자공학과 박사
2000년~2001년 (주)파미 연구소장

1995년~2007년 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수
2007년~현재 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과
부교수

※ 관심분야: 영상처리, 3차원 컴퓨터 비전, 게임