

# 컴퓨터적 집적 영상 기술을 이용한 3D 영상 획득 및 복원 연구

신동학\* · 이병국\*\* · 이준재\*\*\*

## 1. 서 론

최근 멀티미디어 정보통신 사회의 다양한 욕구를 충족시키기 위해서는 지금까지 2차원 영상처리 기술에서 3차원 영상으로의 전환이 필연적으로 이루어지는 추세이다. 3차원 영상 처리는 신호처리 분야에 해당하는 기술로 크게 3차원 영상의 획득과 영상 복원으로 나눌 수 있다. 이 3차원 영상 처리 기술이 성공적으로 이용되는 분야는 3차원 TV 방송 산업, 컴퓨터 그래픽스 영화오락 산업, 원격진료의 의료산업, 로봇 비전 기반의 공장 자동화 분야 외에 다양한 3차원 차세대 멀티미디어 응용 분야를 들 수 있다.

3차원 영상 처리를 위한 기술은 약 150년 전에 Wheatstone이 처음으로 스테레오스코피 기술을 제안한 이래로 다양한 기술들이 현재 연구되고 있다[1]. 그러나 아직까지 충분히 실용적인 관점에서 만족할만한 기술이 개발되지는 못하고 있다.

지금까지의 연구되는 기술들을 3D 영상처리에 사용되는 데이터의 양에 따라서 몇 가지 기술로 분류할 수 있다. 먼저 첫 번째가 스테레오스코피 기술로써 두 개의 영상을 사용하여 3D 정보를 처리한다. 따라서 2차원 영상보다 2배의 배역폭만을 사용하기 때문에, 시스템이 상대적으로 간단하다는 장점이 있다. 그러나 두 영상에서만 3D 정보를 추출하기 때문에 정확한 정보 추출이 힘들며 다양한 잡음에 민감하다. 이에 반해 가장 이상적인 3D 영상 획득법이라고 알려진 홀로그래피 기술은 물체로부터 발생하는 wavefront를 이용하기 때문에 가장 정확한 3D 영상 정보 획득 및 복원이 가능하지만 사용되는 광원의 제한 및 막대한 정보량을 처리해야하는 어려운 단점을 가지고 있다.

이러한 두 기술의 단점을 보완하기 위해서 최근 스테레오스코피 기술과 홀로그래피 기술의 중간적인 기술로써 집적 영상(integral imaging) 기술이 활발히 연구되고 있다[2,3]. 이 기술은 물체로부터의 발생하는 레이들의 공간각 분포를 처리하기 때문에 스테레오스코피 방식보다는 더 많은 데이터를 제공하고 홀로그래피보다 작은 정보를 사용한다. 따라서 홀로그래피 보다는 더 실용적으로 사용되어질 수 있고, 스테레오스코피 기술보다는 더 많은 3D 정보를 처리할 수 있다.

이 집적 영상 기술은 초기에 3D 디스플레이 기

\* 교신저자(Corresponding Author) : 신동학, 주소 : 부산시 사상구 주례2동 산69-1(617-716), 전화 : 051)320-2663, E-mail : shindh2@dongseo.ac.kr

\* 동서대학교 영상콘텐츠학과

\*\* 동서대학교 영상콘텐츠학과

(E-mail : lbg@dongseo.ac.kr)

\*\*\* 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과

(E-mail : joonlee@kmu.ac.kr)

※ 본 연구는 동서대학교 IAI 연구소 지원 사업의 일환으로 수행되었음.

술로서 활발히 연구되어 왔지만 최근에 3D 영상 복원 기술로서 관심을 받고 있다[4]. 이 기술의 기본적인 원리는 백색광을 이용하여 3D 물체를 기록하고 재생할 수 있는 기술로서 1908년에 Lippmann에 의해서 처음 제안된 이후 많은 연구가 수행되어 왔다[2]. 집적 영상 기술은 일반적으로 그림 1과 같이 3D 영상 획득 과정과 디스플레이(복원) 과정으로 나누어진다. 집적 영상의 픽업 과정에서는 3D 물체 정보를 렌즈 배열과 영상검출기를 이용하여 2차원 요소 영상으로 기록한다. 그리고 디스플레이 과정에서는 픽업과정에서 얻어진 2차원 요소 영상을 디스플레이 장치에 표현한 후 이들을 다시 렌즈 배열을 통과시켜 3D 영상으로 재생한다. 그림 1(a)에서 픽업되는 2차원 요소 영상은 3D 물체에 대해서 각각의 작은 렌즈를 통해서 얻은 작은 영상들의 조합이다. 따라서 요소 영상의 수는 렌즈 배열의 개수와 같다.

한편 그림 1(b)의 광학적 디스플레이 원리를 기초로 하여 3D 물체의 정보 추출 및 물체 인식 등의 여러 가지 응용 분야에 적용하기 위하여 컴퓨터적 복원 기법이 개발되었다[5-8]. 이를 체적형 컴퓨터

복원 (volumetric computational reconstruction: VCR) 방법이라 부르며, 이 방법은 렌즈 배열의 각 요소 렌즈의 기하 광학적 원리를 컴퓨터를 이용하여 모델링함으로써 3D 정보를 컴퓨터적으로 재생하는 방법이다. 이 VCR 방법과 광학적 영상 획득 방법을 결합한 시스템을 컴퓨터적 집적 영상 (Computational integral imaging: CII) 시스템이라 부른다.

최근 이 CII 시스템을 이용하여 3D 영상 획득, 복원 및 인식에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다[9-11]. 그 중에서 특히 기존의 2D 영상처리에서 다루기 힘들었던 가려진 3D 물체 인식에서 매우 우수한 결과를 내고 있다.

본고는 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 CII 방식에서 렌즈 배열에 기초 및 이를 통한 3D 영상 획득에 대한 원리를 설명하고, 3장에서는 CII 시스템의 구성에 대해서 설명한다. 그리고 4장에서는 CII 방식의 유용한 응용분야인 부분적으로 가려진 3D 물체 인식 기술에 대해서 설명하며 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. 렌즈 배열과 3D 영상 획득

사실 CII 기술에서는 단순한 렌즈 배열을 사용하여 3D 영상을 획득하고 이로부터 영상을 복원하는 기술이다. 따라서 렌즈 배열에 대한 영상 특성을 먼저 간단히 설명한다. 렌즈 배열의 원리를 쉽게 이해하기 위해서는 그림 2(a)에 보여진 파리의 눈을 살펴보자. 이 그림에서와 같이 파리의 눈은 수 만개의 날눈이 이루어져 있으며 각각의 날눈에 서로 다른 영상 정보가 취합돼 사물을 인식한다고 알려져 있다. 이러한 파리의 눈과 같이 유사한 형태의 광학적 구조체가 바로 렌즈 배열이다. 렌즈 배열을 통해 3D 사물을 바라보게 되면

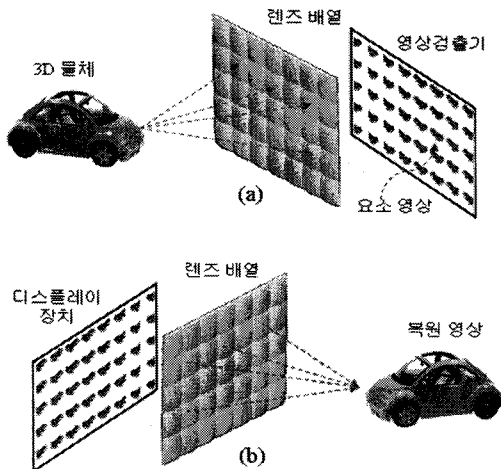


그림 1. 집적 영상 기술 (a) 영상 획득 (b) 영상 복원

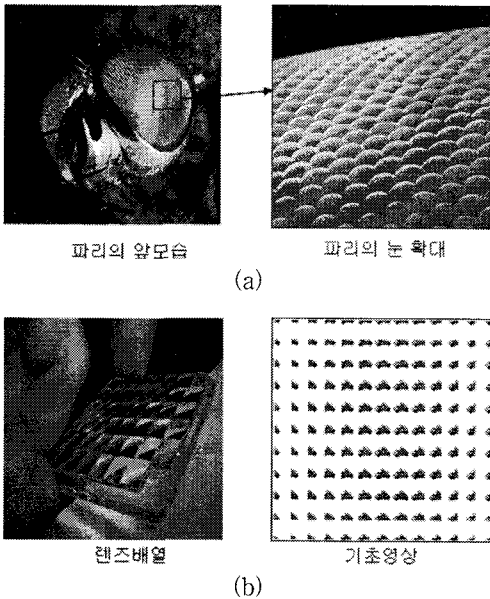


그림 2. 렌즈 배열과 3D 영상 획득

그림 2(b)와 같이 서로 다른 모습에서 관측한 많은 작은 영상들을 얻을 수 있다. 집적 영상 기술에서는 이 작은 영상들을 요소 영상 (elemental images)라고 부른다. 이 요소 영상은 사물을 서로 다른 각도에서 기록한 영상들이기 때문에 3D 사물의 모든 정보들을 분산하여 기록할 수 있다. 따라서 이 렌즈 배열을 이용하여 실제 사물을 인식하고 또한 렌즈 배열을 통해 3D 입체 영상을 재생하는 기술이 집적 영상 기술이다.

### 3. CII 시스템의 구성

3D 영상 획득 및 복원을 위한 CII 시스템의 구성은 그림 3과 같이 크게 두 과정으로 나누어진다. 첫 번째 과정은 3D 물체로부터 요소 영상을 획득하는 과정이고 두 번째 과정은 획득된 요소 영상에 대해서 컴퓨터를 이용하여 영상을 복원하는 과정이다. 요소 영상 획득과정에서는 렌즈 배열과 CCD와 같은 영상 저장 장치를 사용한다. 반면에

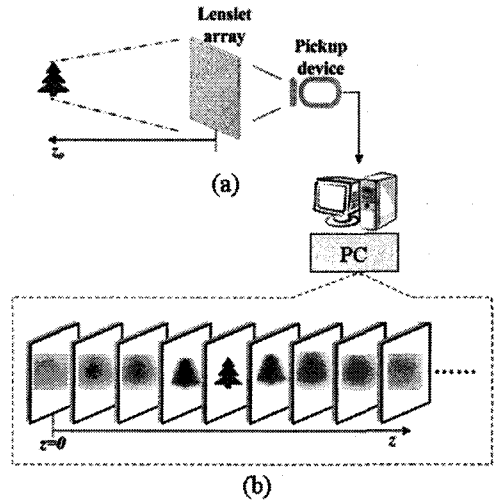


그림 3. CII 시스템의 구성 (a) 3D 영상 획득 과정 (b) 컴퓨터 영상 복원 과정

영상 복원 과정에서는 VCR 기술을 이용하여 특별한 깊이 범위에 대해서 2D 평면 영상을 공간적으로 복원한다.

이 VCR의 기술적 원리는 그림 4에 자세히 나타내었다[6]. 이 VCR 기법은 요소영상을 컴퓨터를 이용하여 합성된 가상의 핀홀 배열을 통해 역상을 맵핑하는 과정을 거친다. 획득된 2D 요소영상들은 렌즈 배열의 기하광학적 특성을 컴퓨터를 이용하여 모델링한 프로그램에 의해 계산되어 3D 영상을 재생한다. 즉, 핀홀 모델에서는 렌즈 배열을 가상의 핀홀 배열로 모델링하고 픽업된 요소 영상

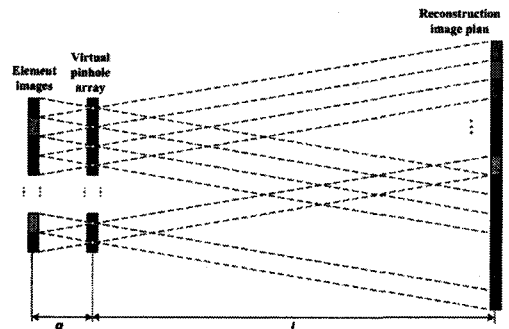


그림 4. VCR 기법의 원리

이 핀홀 배열을 통해서 한 평면에 투영될 때, 대응하는 위치의 픽셀 값을 중첩하는 과정을 통해서 영상이 재생된다. 따라서 이 방법은 컴퓨터적으로 단순하며 실시간을 위한 하드웨어로도 간단히 구현될 수 있다는 장점이 있다. 그림 4에서 보여지듯이 디스플레이 핀홀 배열로부터 고정된 거리  $z=L$ 에서 각 요소영상은 대응되는 가상의 핀홀 배열을 통해서 역으로 (180도 회전되어) 투영된다. 각각 역으로 투영된 영상은 확대 배율  $M$ 에 확대된다. 이때  $M$ 은 핀홀 배열과 재생 이미지 평면 ( $z=L$ )사이의 거리와, 핀홀 배열과 요소영상 평면 ( $g$ ) 사이의 거리의 비율, 즉  $M = L/g$ 로 결정된다.  $M > 1$  일 때, 역으로 투영된 이미지들은 재생 이미지 평면  $z$ 에서 확대된 인접한 요소영상들과 서로 중첩된다. 이렇게 중첩되고 역으로 맵핑된 요소영상들은 물체에 대한 서로 다른 시점과 거리 정보를 담고 있다. 이들이  $z=L$ 의 재생평면에서 하나의 영상을 구성하게 된다. 3D 영상의 공간적인 정보를 재생하기 위해서는, 재생하고자하는 모든 영상 평면들에 대응하는 거리에 대해 위와 동일한 과정을 반복한다.

VCR 방식으로부터 재생된 영상들의 예를 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)는 나무숲속에 가려진 자동차 3D 물체에 대해서 획득한 요소 영상을 보여주고 있으며 그림 5(b)-(d)는 서로 다른 거리에서 VCR 기법을 이용하여 복원한 3D 영상들 나타내고 있다. 그림에서 보여지듯이 복원 거리에 따라서 서로 다른 영상이 나타나며 그림 5(c)와 같이 3D 물체가 놓여있었던 거리에서는 선명한 3D 영상이 복원된다.

이러한 원리로 재생된 평면 영상들에 대해서 공간 픽셀들을 추출하거나 직접적인 깊이맵 추출 등이 가능하다[12,13].

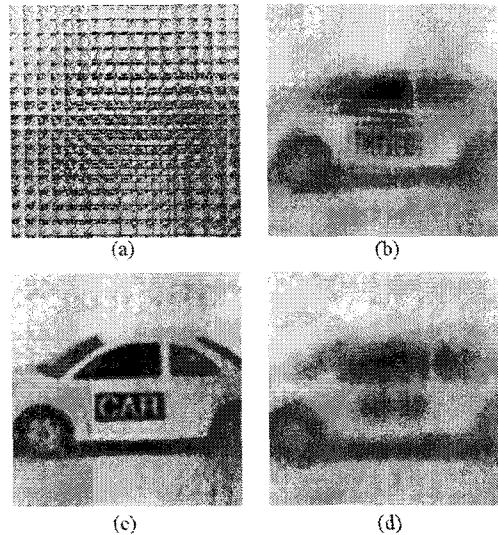


그림 5. 요소 영상의 예와 VCR 방법을 이용하여 재생된 영상들 (a) 나무숲속에 가려진 자동차 영상의 요소 영상 (b)  $M=9$ 에서 재생된 영상 (c)  $M=11$ 에서 재생된 영상 (d)  $M=13$ 에서 재생된 영상

#### 4. 부분적으로 가려진 영상에서의 3D 영상 복원 기법

##### 4.1 부분적으로 가려진 3D 물체의 복원

패턴인식에서 부분적으로 가려진 3D 물체 인식은 장애물에 의해서 심각하게 성능이 저하가 되기 때문에 이를 해결하려는 많은 연구가 수행되어 왔다[9,10]. 본고에서는 이 부분적으로 가려진 3D 물체 인식에서 CII 기술이 우수한 성능을 보이고 있음을 설명한다.

그림 6은 장애물에 의해서 3D 물체가 부분적으로 가려지는 실험에 대한 내용이다. 장애물과 3D 물체는 서로 다른 거리에 위치하며, 렌즈 배열을 통하여 디지털 카메라로 요소 영상이 획득된다. 이 얻어진 요소 영상은 그림 6(c)에 보여진다. 사실 기존의 2차원 영상 장치로 촬영하게 될 경우 그림 6(b)에서 보여지듯이 장애물에 의해 심각하

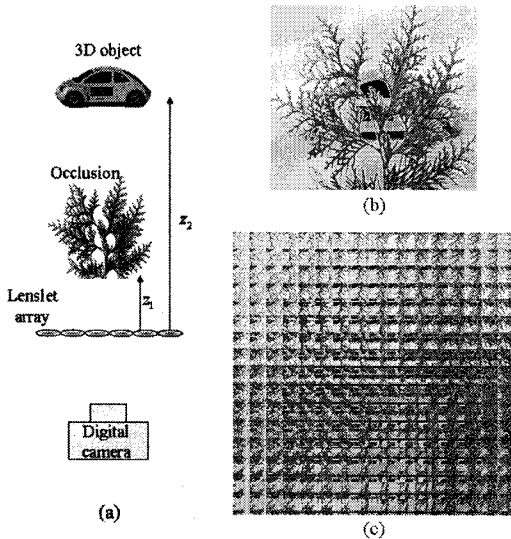


그림 6. (a) 부분적으로 가려진 3D 물체의 획득 과정 (b) 2D 영상 (c) 요소 영상



그림 7. 부분적으로 가려진 3D 물체의 복원 영상

게 가려져서 3D 물체를 거의 인식할 수 없다.

획득된 요소 영상에 대해서 VCR 방식을 적용하여 복원을 하면 그림 7과 같은 3D 영상을 얻을 수 있다. 이와 같이 CII 기술을 부분적으로 가려진 패턴인식에 활용할 경우에 우수한 3D 물체 인식이 가능하다.

#### 4.2 장애물 제거 기술을 통한 3D 물체의 복원

CII 기법을 이용한 가려진 3D 물체 인식은 VCR에 의해서 재생되는 영상의 해상도에 크게 의존한다. 따라서 VCR로부터 재생되는 영상의

해상도를 증가시키기 위한 다양한 연구가 보고되었다. 예를 들면 동적 렌즈 배열을 이용하는 방식 그리고 보간법을 이용하는 방식[8]등이 있다. 그러나 이러한 방식은 그 개선이 한계를 가지고 있다. 근본적으로 가져진 3D 물체의 인식에서는 장애물에 의해서 인식 성능이 크게 좌우될 수 있다.

따라서 장애물을 제거하여 가려진 3D 물체의 해상도가 개선하는 연구가 있다[14]. 그림 8은 장애물 제거 기법에 대한 한 연구를 보여준다. 이 방법은 요소영상에서 장애물을 스테레오 매칭을 이용하여 제거한 후 3D 영상을 컴퓨터적으로 복원한다. 그림 8은 스테레오 매칭을 이용하여 장애물 제거에 대한 순서를 설명하고 있다. 각각의 요소 영상에 대해서 영역기반의 스테레오 매칭을 사용하여 변위 지도 (Disparity map)를 만들게 된다. 변위 지도를 보고 ‘나무’라고 인식되는 변위 값 (Disparity value)으로 장애물과 일치하는 변위 값이면 0으로 처리하고 나머지 부분은 그대로으로써 그림 8과 같이 장애물의 위치를 검출하여 제거할 수 있다.

그림 9는 장애물이 제거된 요소 영상에 대한 실험 결과이다. 그림 9(a)는 장애물이 제거되기

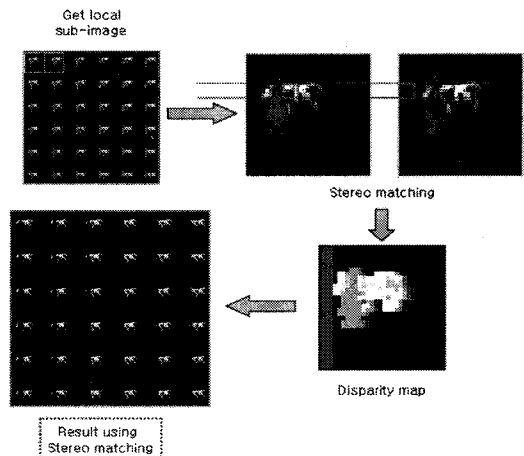


그림 8. 스테레오 매칭을 이용한 장애물 제거 방법

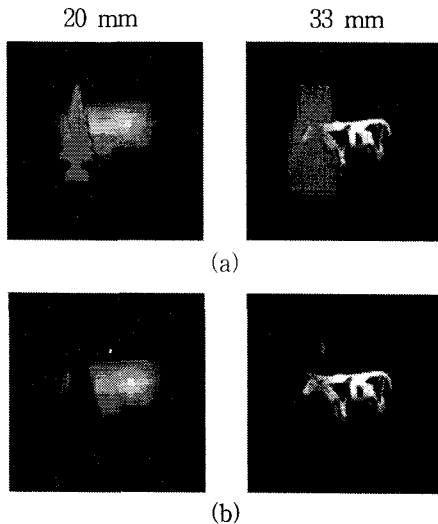


그림 9. 실험 결과 (a) 장애물 제거 전의 복원 영상들 (b) 장애물 제거 후의 복원 영상들.

전의 방법에서 재생된 ‘나무’ 장애물과 ‘소’ 영상이며. 그림 9(b)는 장애물이 제거된 후의 재생된 ‘나무’ 장애물과 ‘소’ 영상이 영상들이다. 실험 결과에서 보여 지듯이 장애물이 존재할 경우 ‘소’를 재생해 보면 해상도가 낮음을 알 수 있다. 하지만 장애물을 제거한 후에는 재생되는 ‘소’ 영상의 해상도가 더 높음을 알 수 있다.

### 5. 결 론

본고에서는 집적 영상 기술에 기초한 CII 방식을 사용한 3D 영상 획득 및 복원에 대한 방법을 설명하였다. 기존에 잘 알려진 스테레오스코피 방식이나 홀로그래피 방식의 중간적인 형태로서 간단한 시스템의 구조를 가지면서도 많은 데이터를 처리를 통하여 높은 신뢰도의 3D 정보 획득 및 복원이 가능한 장점을 지니고 있으며, 특히 패턴 인식에 어려운 문제로 알려진 부분적으로 가려진 3D 물체 인식에 유용하게 사용될 수 있음을 보였다. 향후 연구에서는 실용적인 응용분야를 개발하

고 성능 향상을 수행할 계획이다.

### 참 고 문 헌

[1] C. Wheatstone, "Contributions to the physiology of vision-Part the first. On some remarkable, and hitherto unobserved, phenomena of binocular vision," *Philos. Trans. R. Soc. London*, Vol. 128, pp. 371-394, 1838.

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

[3] A. Stern and B. Javidi, "Three dimensional image sensing, visualization, and processing using integral imaging," *Proc. of IEEE*, Vol. 94, pp. 591-607, 2006.

[4] J.-H. Park, K. Hong and B. Lee, "Recent progress in three-dimensional information processing based on integral imaging," *Appl. Opt. Vol. 48*, pp. H77-H94, 2009.

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

[6] 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.

[7] D.-H. Shin, E.-S. Kim, and B. Lee, "Computational reconstruction technique of three-dimensional object in integral imaging using a lenslet array," *Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 44*, pp. 8016-8018, 2005.

[8] 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.

[9] S.-H. Hong and B. Javidi, "Distortion-tolerant 3D recognition of occluded objects using computational integral imaging," *Opt. Express Vol. 14*, pp. 12085-12095, 2006.

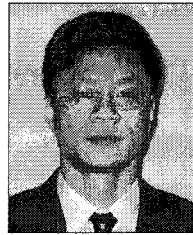
[10] B. Javidi, R. Ponce-Diaz, and S.-H. Hong, "Three-dimensional recognition of occluded objects by using computational integral imaging," *Opt. Lett.* Vol. 31, pp. 1106-1108, 2006.

[11] J.-S. Park, D.-C. Hwang, D.-H. Shin, and E.-S. Kim, "Resolution-enhanced 3D image correlator using computationally reconstructed integral images," *Opt. Commun.* Vol. 276, pp. 72-79, 2007.

[12] D.-C. Hwang, D.-H. Shin, S.-C. Kim and E.-S. Kim, "Depth extraction of three-dimensional objects in space by the computational integral imaging reconstruction technique," *Appl. Opt.*, Vol. 47, pp. D128-D135, 2008.

[13] M. Daneshpanah and B. Javidi, "Profilometry and optical slicing by passive three-dimensional imaging," *Opt. Lett.* Vol. 34, pp. 1105-1107, 2009.

[14] 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.



이 병 국

- 1987년 연세대학교 수학과(학사)
- 1989년 KAIST 응용수학과(석사)
- 1993년 KAIST 응용수학과(박사)
- 1993년~1995년 데이콤 종합연구소 선임연구원
- 1995년~현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 교수
- 관심분야 : CAGD, 컴퓨터그래픽스, 영상처리



이 준 재

- 1986년 경북대학교 전자공학과 졸업(학사).
- 1990년 경북대학교 전자공학과 졸업(석사).
- 1994년 경북대학교 전자공학과 졸업(박사)
- 1995년~2007 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수
- 2007년~현재 계명대학교 게임모바일콘텐츠학과 부교수
- 관심분야 : 영상처리, 컴퓨터비전, 컴퓨터그래픽스



신 동 학

- 1996년 부경대학교 정보통신공학과 (공학사)
- 2001년 부경대학교 정보통신공학과 (공학박사)
- 2001년~2004년 도요하시기술대학 선임연구원
- 현 재 동서대학교 영상콘텐츠학과 연구교수
- 관심분야 : 3D 영상 획득, 3D 영상복원, 3D 디스플레이, 홀로그래피 등