
완전시차 집적 영상 배경을 가지는 2D-3D 겸용 디스플레이 시스템

홍석표* · 신동학** · 김은수*

2D-3D convertible display system having a background of full-parallax integral images

Suk-Pyo Hong* · Dong-Hak Shin** · Eun-Soo Kim*

본 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업
(IITA-2008-C1090-0801-0018)에 의하여 수행되었음

요 약

본 논문에서는 완전 시차 배경 영상을 가지는 새로운 형태의 2D-3D겸용 디스플레이 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템의 집적 영상 시스템과 기존의 2D 평면 디스플레이 구성이 되며, 3D 모드와 2D 모드에서 구동이 가능하다. 3D 모드에서는 집적 영상 기술을 이용하여 배경 영상을 만들어서 주요 영상과 결합함으로써 3D 영상을 만든다. 2D 모드에서는 집적 영상 시스템이 2D 평면 디스플레이의 백라이트 역할을 수행하고 2D 평면 디스플레이에 2D 영상이 표시된다. 제안하는 방법의 유용함을 보이기 위해서 기초 실험을 수행하고 성공적인 실험 결과를 보고한다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a 2D-3D convertible display system having a background of full-parallax integral images. The proposed system is composed of integral imaging system and conventional 2D flat display and is able to operate either 3D mode or 2D mode. In 3D mode, the 3D image is generated by combining the 2D main image with the background image based on integral imaging. In 2D mode, the integral imaging system plays a role as the back-light of 2D flat display and then 2D image is observed through 2D flat display. To show the usefulness of the proposed system, we carry out the preliminary experiments and present the successful experimental results.

키워드

3D display, integral imaging, 2D-3D conversion, 2D flat display, elemental images

I. 서 론

최근, 디스플레이 기술의 첨단화와 고도의 기술 집적이 이루어지면서 3D 영상에 대한 수요가 증가되어 왔고,

이에 3D 입체 영상 및 디스플레이 기술에 관한 많은 연구들이 수행되어져 왔다 [1-6]. 물체가 가지고 있는 실제의 영상정보를 관찰자에게 보여줄 수 있다는 점에서 3D 디스플레이 기술은 궁극적인 영상 구현 기술이라고 애

* 광운대학교 전자공학과 3DRC

** 동서대학교 영상콘텐츠학과 (교신저자)

기할 수 있다.

한편, 디스플레이 장치는 용도에 따라서 관람용과 일상적인 업무용으로 간략하게 분류될 수 있다. 영화 및 애니메이션, TV, 게임기, 광고 등에 사용되는 디스플레이 장치는 관람용이고, 문서 및 전자우편의 읽기/쓰기, 2D 그래픽 작업, 인터넷 검색 등에 사용되는 디스플레이 장치는 일상적인 업무용에 해당된다. 관람용 영상장치에 3D 디스플레이 기술을 적용하는 것은 앞에서 보다 실감 있는 디스플레이 시스템을 원하는 사용자의 요구에 부합된다. 그런데, 일상적인 작업을 하는 많은 사용자들은 고해상도를 가지는 2D 디스플레이 기반의 화면에 익숙해져 있다. 그래서 개인의 사용목적에 따라서 2D 영상 모드와 3D 영상 모드의 전환이 가능한 디스플레이 기술의 필요성이 제기되었고, 2D-3D겸용이 가능한 디스플레이 기술에 관한 많은 연구가 수행되어 왔다 [7,8]. 스테레오스코피(sterescopy) 기반의 2D-3D겸용 디스플레이 방식이 그 하나의 예이다. 이 방식에서 관찰자는 스테레오 시차(stereo disparity)의 작용으로 3D 입체 영상을 보게 되지만, 두 영상의 시차와 눈의 초점기능의 부조화로 인해 어지러움과 눈의 피로감이 발생되는 단점이 존재한다. 또한 2D-3D 전환가능한 디스플레이 방법으로 집적 영상(integral imaging) 방식을 적용하는 연구들이 많이 수행되었다 [7,8]. 집적 영상 방법은 최근에 가장 활발하게 연구되고 있는 3D 디스플레이 방식 중의 하나로써, 특별한 보조기구를 사용하지 않으며 일정한 시야각 범위 내에서 연속적인 시점과 천연색을 가지는 3D 영상을 볼 수 있게 해준다. 그런데, 이 방식에는 시야각과 깊이감 면에서 많은 개선점이 요구되고 있다.

다시점 기술과 집적 영상 기술은 한 가지 공통적인 제약과 가지고 있다. 동일한 성능을 가진 디스플레이 장치로 구현된 3D 영상의 해상도는 기존 2D 영상의 해상도와 비교하면 시점(view point) 수에 반비례해서 작아진다. 즉, 시점의 수를 N 이라고 가정하면, 다시점 방식으로 구현된 3D 영상의 해상도는 2D영상의 해상도에 비해 $1/N$ 로 낮아진다. 그리고, $N \times N$ 개의 렌즈배열(또는 요소영상)로 구현된 3D 집적 영상의 경우에는 그 해상도가 $1/N^2$ 로 떨어진다. 이처럼 시점 수에 따라서 급격히 낮아지는 해상도는 다시점이나 집적 영상과 관련된 연구에서 극복해야 될 가장 큰 장애물 중의 하나이다.

최근에 높은 해상도를 가지는 3D 영상을 디스플레이 하기 위하여, 플로팅 영상 디스플레이 기술에 집적 영상

기술을 도입한 새로운 3D 영상 디스플레이 방식을 우리 그룹에서 제안한 바가 있다 [9]. 이 논문에서 제안한 방식은 플로팅 영상 방식과 집적 영상을 접목한 방식으로써, 플로팅 영상 방식으로 고해상도의 주요 영상(primary image)을 표현하고, 집적 영상 방식으로 완전시차를 가지는 부영상(secondary image) 또는 배경 영상(background image)을 구현하였다. 이 방식의 장점은 고해상도의 플로팅 영상을 사용함으로써 집적 영상 시스템의 낮은 해상도를 향상시킬 수 있다는 것이다. 즉, 플로팅 영상으로 표현되는 주 영상 영역에 한해서는 2D 수준의 고해상도를 가지는 복합 3D 영상을 표현할 수 있었다. 또한, 집적 영상 배경을 사용함으로써 플로팅 영상의 입체감 향상의 어려움을 극복할 수 있었다. 단순히 2개의 2D 영상 면을 사용하는 시스템에서는 앞뒤 영상 사이에 겹침 영역(occlusion region) 문제들이 발생하는데, 이 시스템에서는 이러한 문제들이 극복되어 앞뒤 영상이 자연스러운 3D 영상을 구현될 수 있다는 것은 이 복합 3D 방식의 또 다른 장점이다.

본 논문에서는 3D 모드에서의 해상도를 향상시키기 위하여 2D 주요 영상과 3D 집적 영상 배경이 결합된 새로운 형태의 2D-3D 겸용 디스플레이 시스템을 제안한다. 제안하는 시스템의 3D 모드에서는 앞에서 언급한 플로팅 영상과 집적 영상이 결합된 복합 3D 영상 디스플레이 시스템과 같이 2개의 영상면(주요 영상면과 배경 영상면)이 존재한다. 앞 영상면에는 2D 주요 영상이 표현되고, 집적 영상 방식으로 구현된 3D 허상이 뒤 영상면에 투영된다. 제안하는 방법에서는 완전 시차를 가진 집적 영상을 배경으로 사용하기 때문에 앞에서 언급한 복합 3D 방식과 마찬가지로 겹침 영역에서 발생할 수 있는 문제들을 원리적으로 해결할 수 있다. 그리고 배경 영상을 표현하는 집적 영상 광학 모듈은 백라이트로 사용될 수도 있기 때문에 기존의 2D 모드를 구현할 수 있다.

II. 기본구성 및 원리

2.1 집적 영상의 기본원리

먼저 제안하는 3D 디스플레이를 이해하기 위해서 집적 영상 방식의 기본 원리를 설명한다. 이를 그림 1에 나타내었다. 그림 1(a)에서 3D 물체에서 나온 광선들이 렌즈크기가 작은 마이크로 렌즈 배열(micro lens array;

MLA)을 통과한 뒤에 영상 센서에 도달하면, 요소 영상 (elemental images)이 기록된다. 또한, 이러한 요소 영상 획득 과정에 대한 컴퓨터 모델링을 통해서도 3D 물체에 대한 요소영상을 획득할 수가 있다. 그림 1(b)와 1(c)는 3D 영상 복원과정을 보여준다. 하나의 렌즈릿(또는 렌즈)의 초점거리를 f , MLA와 디스플레이 장치 사이의 거리를 g , MLA와 물체(또는 복원영상) 사이의 거리를 L 이라고 할 경우에 아래의 렌즈공식이 얻어진다.

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{L} + \frac{1}{g} \quad (1)$$

식 (1)에 따라서 $g \geq f$ 이면 리얼 영상 (real image)이 투영되며, $g \leq f$ 이면 버추얼 영상(virtual image)이 관측된다. 만약, $g = f$ 로 구성하면 실상과 허상을 포함해서 깊이감이 서로 다른 여러 개의 3D 영상을 동시에 표현할 수 있다. 한편, 복원과정에 필요한 디스플레이 장치 (display unit; DU)에는 LCD, PDP, CRT 장치 같은 기존의 2D 디스플레이 장치가 사용될 수 있고, 프로젝터와 스크린이 결합된 프로젝션 장치도 사용될 수 있다.

2.2 제안하는 시스템의 기본구조 및 2D-3D 모드 구현원리

그림 2는 본 논문에서 제안하는 시스템의 기본 구조를 보여준다. 이 시스템은 2 개의 디스플레이 장치 (DU1, DU2)와 1 개의 MLA로 구성되며, $g = f$ 로 둔다. DU1은 LCD, PDP, CRT 같은 2D용 디스플레이 장치이거나 프로젝터와 스크린이 결합된 프로젝션형 디스플레이 장치이다. DU2는 투과형 공간광변조기(spatial light modulator; SLM)로써 백라이트장치(back light unit; BLU)가 제거된 LCD 패널을 DU2의 자리에 놓을 수 있다. DU2의 역할은 2D 모드일 경우에는 2D 영상을 표현하는 것이고, 3D 모드에서는 주요 영상을 표현하는 것이다. 따라서, DU2의 위치는 3D 모드에서 주요 영상의 위치와 동일하다. DU1과 MLA의 역할은 2D 모드에서는 DU2의 전체 화면에 대한 BLU 역할을 수행하며, 3D 모드인 경우에는 집적 영상 배경을 투영함과 동시에 DU1에 표현되는 주요 영상에 대한 BLU 역할을 담당한다.

그림 2의 제안하는 시스템에서 2D 영상을 표현하는 2D 모드와 3D 영상을 표현하는 3D 모드를 구분하여 설

명한다.

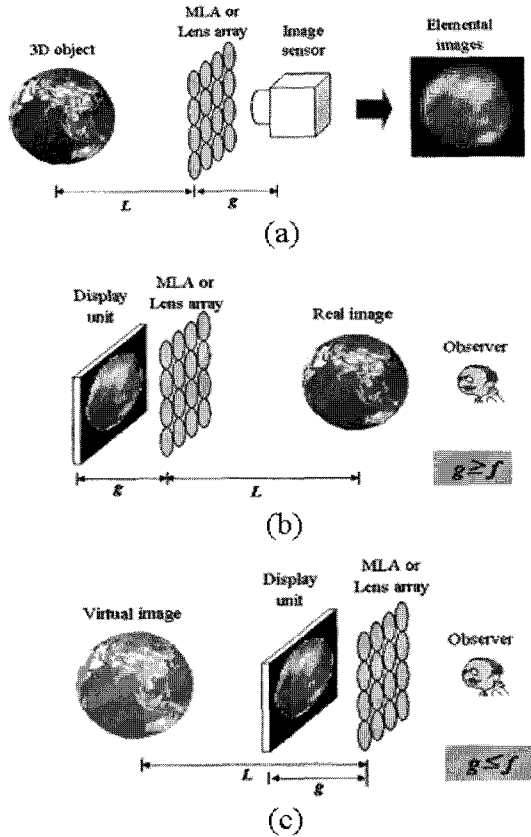


그림 1. 집적 영상 기본원리 (a) 픽업 과정 (b) 리얼 영상의 복원 (c) 버추얼 영상의 복원
Fig. 1. Principle of integral imaging (a) Pickup step (b) Reconstruction of real image (c) Reconstruction of virtual image

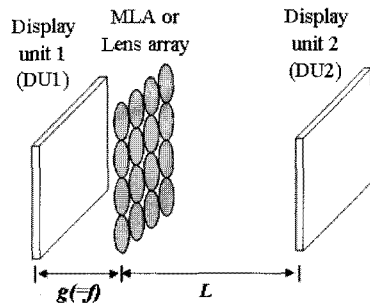


그림 2. 제안하는 3D 디스플레이 시스템의 구조
Fig. 2 Structure of the proposed 3D display system

먼저 제안하는 시스템에서 2D 모드의 구현 원리를 그림 3에 나타내었다. 여기서 DU2는 보통의 2D 디스플레이 장치처럼 2D 영상 또는 텍스트를 디스플레이 한다. DU2에는 BLU가 없기 때문에 DU1과 MLA가 대신 BLU 역할을 한다. DU1의 모든 화소들은 "ON"상태를 유지해서 DU1은 광원역할을 한다. MLA는 DU1에서 발산되는 빛들이 DU2 방향으로 진행하도록 지향시킨다.

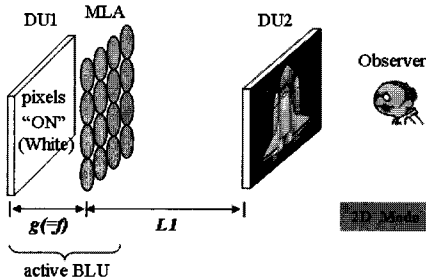


그림 3. 2D 모드의 구동 원리
Fig. 3 Operation principle of 2D mode

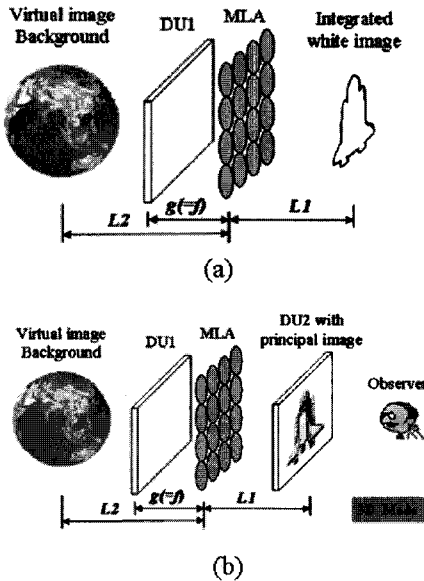


그림 4. 3D 모드의 구동 원리
Fig. 4 Operation principle of 3D mode

한편 그림 4는 제안하는 시스템에서 3D 모드의 구현 원리를 보여준다. 3D 모드의 쉬운 이해를 두 단계로 나누어 설명한다. 첫 번째 단계는 배경 영상을 집적 영상

기술로 만들고 두 번째는 만들어진 배경 영상에 주요 영상을 표시하여 3D 영상을 표현한다.

그림 4(a)에 보여진 첫 번째 단계에서 DU1과 MLA를 통해 3D 모드에 알맞게 합성된 요소 영상들을 디스플레이해서 2개의 영상 면(배경 영상 면 L_1 과 주요 영상 면 L_2)을 동시에 구현한다. 뒤쪽 면에는 배경 영상을 생성시키고, 앞쪽에는 주요 물체와 모양과 크기가 똑같은 흰색의 영상을 생성시킨다. 이 흰색 영상은 2D 주요 영상의 백라이트(back light) 기능을 하게 된다. 다음으로 그림 4(b)에 보여진 것처럼 백라이트 영상의 공간 위치에 주요 영상을 표현하고 있는 DU2를 정확히 삽입하게 되면 제안하는 시스템의 3D 모드가 완성된다. 그러면 주요 영상은 2D 수준의 해상도를 가지고 있기 때문에 관찰자는 전체적으로 고해상도의 새로운 복합 입체 영상을 볼 수 있다.

2.3 제안하는 방식을 위한 요소영상 생성원리

그림 5는 제안하는 시스템의 3D 모드에서 사용되는 요소 영상의 생성과정을 보여준다. 먼저, 그림 5의 위에 보여진 주요 영상에 대응하는 앞 물체에 대한 요소 영상을 컴퓨터적으로 계산하여 생성한다. 이 요소 영상은 흰색(white)과 검은색(black)의 픽셀로만 구성된 이진 영상으로 배경 요소 영상에 대한 마스크 역할을 수행한다. 그림 5의 아래에 보여진 두 번째 과정은 배경 영상에 대한 요소 영상을 동일한 컴퓨터적 방법으로 생성한다. 두 과정으로 얻어진 요소 영상에 대해서 서로 중첩하여 마스크 과정을 통하여 최종 3D 모드를 위한 요소 영상을 생성한다.

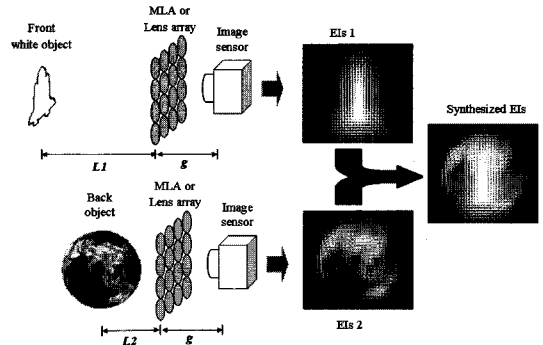


그림 5. 3D 모드를 위한 요소영상의 생성
Fig. 5 Synthesis of elemental images for 3D mode

III. 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 3D 디스플레이 장치의 유용함을 보이기 위한 기초 실험을 수행하였다. 그림 6(a)는 실험에 사용한 광학 구성도를 보여준다. 집적 영상기술을 구현하기 위해서 MLA, 스크린, 프로젝터를 사용하였고, 2D 영상을 표시하는 SLM을 사용하였다. 그리고 두 편광기(polarizer)는 SLM에 세기 영상을 표시하기 위하여 사용하였다. 실험 시스템에서는 집적 영상의 깊이감을 최대화로 하기 위해서 스크린 과 MLA의 간격은 렌즈릿의 초점거리와 동일하도록 설정하였다. 그림 6(b)은 실제 광학적으로 구성된 시스템을 보여준다. 원형 부분을 다른 방향에서 살펴본 모습이 하단에 첨부되었다. 2D 모드와 주요 영상이 표현되는 SLM은 화소 크기가 $36\mu\text{m}$ 이고 화소수가 1024×768 인 CRL Opto.사의 투과형 흑백 LCD를 사용하였고, 앞뒤의 편광 필름은 제거되었다. 실험에 사용된 MLA의 렌즈릿 크기는 1mm 이고, 초점거리는 3mm , 렌즈릿 수는 53×53 이다.

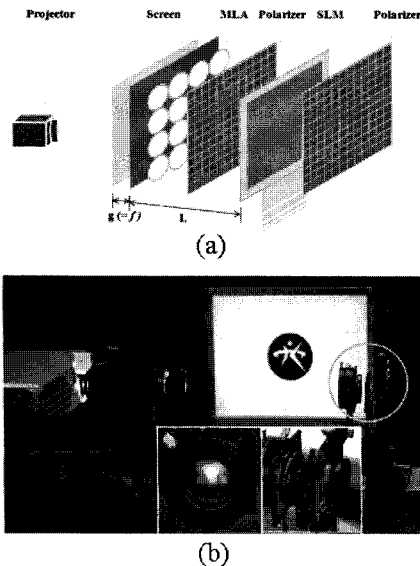


그림 6. (a) 실험 구성도 (b) 시스템의 사진
Fig. 6. (a) Experimental setup (b) Its photography

그림 7은 3D 모드 구현 실험에 사용된 원본 영상들과 그에 대응하는 요소영상들을 보여준다. 그림 7(a)와 그림 7(b)는 각각 원본 주요 영상과 원본 배경 영상을 보여

주며, 그림 7(c)는 그림 7(a)에 대응하는 하얀 원형 영상을 $L = 10\text{mm}$ 에 놓고 컴퓨터를 통하여 획득한 요소 영상으로써 흰색(ON)과 검은색(OFF) 값으로만 이루어진 이진영상이다. 그림 7(d)는 그림 7(b)의 물체를 $L = -20\text{mm}$ 에 놓고 획득한 요소영상이다. 그림 7(e)는 그림 7(c)와 그림 7(d)의 요소영상들을 그림 5에서 설명하는 방법으로 합성한 3D 모드를 위한 최종 요소 영상을 보여준다.

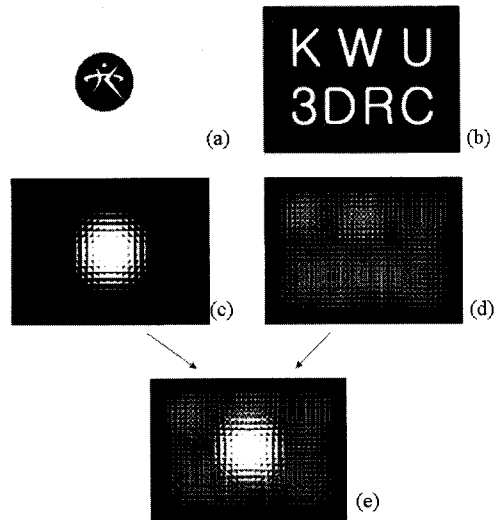


그림 7. (a) 원본 주요 영상 (b) 원본 배경 영상 (c) 주요 영상에 대응하는 요소영상 (d) 배경 영상에 대한 요소영상 (e) 합성된 최종 요소영상

Fig. 7 (a) Original main image (b) Original background image (c) elemental images for main image (d) Elemental images for background images (e) Synthesized elemental images

생성된 그림 7(e)의 최종 요소 영상을 이용하여 제안하는 시스템의 3D 모드를 위한 실험을 수행하였다. 이 요소 영상을 그림 6의 프로젝터에 투영하여 스크린에 비추어 집적 영상의 원리로 3D 영상을 재생하고, SLM에 그림 7(a)의 주요 영상을 표시함으로써 완성된 3D 영상을 얻었다. 그림 8은 3D 모드에서 보여 지는 영상을 다양한 각도에서 관찰한 모습들을 보여준다. 2D 주요 영상 면의 위치($L1$)와 배경 영상 면의 위치($L2$)는 각각 10mm 와 -20mm 로 설정되었고, 각 관찰시점들의 사잇각은 7.5° 이다. 실험결과에서 보는 것처럼, 주요 영상은 2D 영상이므로 집적 영상 방식으로 표현되는 배경 영상에 비하여 해상도가 매우 좋음을 알 수 있다. 이 시스템에서는 주요 영상

에 해당하는 영상 영역만큼은 2D 수준의 초고해상도의 영상을 표현할 수 있으므로, 전반적으로 영상의 질이 향상된 3D 영상을 관측할 수 있음을 실험 결과를 통해서 확인할 수 있다. 만약, HD급의 SLM이 사용된다면 보다 해상도가 향상된 시스템의 구현이 가능하다. 또한, 배경 영상이 완전시차를 가지는 집적 영상 방식으로 표현되므로, 앞에서 언급한 것처럼 일정 시야각 내에서는 앞 영상과 뒤 영상 사이의 깊이감을 확인할 수 있다.

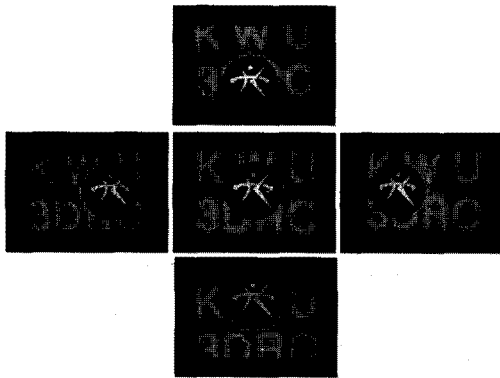


그림 8. 다양한 시야각에서 3D 모드에서 재생된 3D 영상

Fig. 8 Reconstructed images in 3D mode according to the different viewing angle

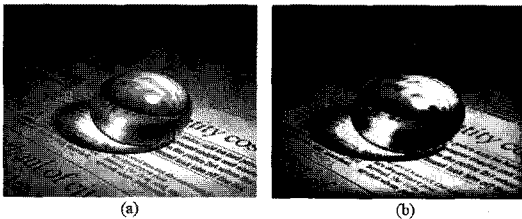


그림 9. 2D 모드의 실험 결과 (a) 원본 영상 (b) 재생된 영상

Fig. 9. Experimental results in 2D mode (a) Original image (b) Reconstructed image.

한편 제안한 시스템에 2D 모드의 기능을 확인하기 위한 실험을 수행하고 그 결과를 그림 9에 보였다. 그림 9는 2D 모드 구현에 사용된 원본 그림과 관찰된 영상을 보여준다. 2D 모드에서는 그림 6의 프로젝터와 스크린, MLA로 구성되는 광학모듈이 백라이트 역할을 수행한다. 따라서 프로젝터는 모든 화소 값이 ON인 영상을 표현하도록 하였고, SLM에는 그림 9(a)의 2D 영상을 표현

하였다. 그림 9(b)에서 보는 것처럼, 제안한 시스템은 고해상도의 2D 모드를 구현할 수 있음을 확인할 수 있다. 본 실험에서는 SLM의 제약으로 인해 흑백영상을 사용하였으나, 이 시스템에 color SLM 또는 flat panel을 사용한다면 2D 모드 뿐만 아니라 3D 모드에서 color 영상을 표현하는 것도 가능하다.

IV. 결 론

결론적으로 본 논문에서는 새로운 형태의 2D-3D 겸용 디스플레이 시스템을 제안하였다. 이 시스템 집적 영상으로 만들어진 배경과 기존의 2D 디스플레이의 조합으로 구성이 되었으며, 2D 모드와 3D 모드에 동작하다. 제안하는 방법의 유용함을 보이기 위해서 3D 모드와 2D 모드를 각각 구현하는 실험을 수행하였다. 제안하는 시스템에서는 주요 영상 영역만큼은 2D 수준의 고해상도를 보장받기 때문에, 전체적으로 3D 영상의 질가 향상됨을 실험을 통해서 확인할 수 있었다. 또한, 완전 시차를 가진 집적 영상을 배경으로 사용하기 때문에 앞뒤 영상 사이의 깊이감을 실험을 통해서 확인하였다. 향후 3D 방송이나 광고와 같은 다양한 분야에서 응용이 가능할 것으로 기대한다.

참고문헌

- [1] 이승현, 김은수, "3차원 영상의 기초", 技多利, 1998.
- [2] T. Okoshi, "Three-dimensional display," Proc. IEEE 68, 548-564 (1980).
- [3] S. A. Benton, ed., Selected Papers on Three-Dimensional Displays (SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, WA, 2001).
- [4] G. Lippmann, "La photographie integrale," Comptes-Rendus Academie des Sciences 146, 446-451 (1908).
- [5] B. Lee, S. Jung, S.-W. Min, and J.-H. Park, "Three-dimensional display using integral photography with dynamically variable image planes," Opt. Lett. 26, 1481-1482 (2001).
- [6] 신동학, 권영만, 김은수 "수평시차 기반의 변형된 집적영상 기법의 광학적 구현," 한국해양정보통신학회 논문지, 제10권 제4호 pp. 712-717, 2006.

- [7] J.-H. Park, H.-R. Kim, Y. Kim, J. Kim, J. Hong, S.-D. Lee, and B. Lee, "Depth-enhanced three-dimensional-two-dimensional convertible display based on modified integral imaging," *Opt. Lett.* 29, 2734-2736 (2004).
- [8] H. Choi, J.-H. Park, J. Kim, S.-W. Cho, and B. Lee, "Wide-viewing-angle 3D/2D convertible display system using two display devices and a lens array," *Opt. Express* 13, 8424-8432 (2005).
- [9] S.-P. Hong, Y.-S. Oh, D.-H. Shin and E.-S. Kim, "Implementation of a novel floating-image display system having a background of multiview integral images," *Proc. SPIE* 6778, 67780Q (2007)

저자 소개



홍석표(Suk-Pyo Hong)

2005년 2월 서울보건대학 전산정보
처리과 졸업
2008년 2월 광운대학교 전자공학과
석사 졸업

2008년 3월-현재 광운대학교 전자공학과 박사 과정
※관심분야: 3D 디스플레이, 홀로그램, 3D 영상처리

신 동 학(Dong-Hak Shin)

한국해양정보통신학회논문지 제12권 제12호 참조



김은수 (Eun-Soo Kim)

1978년 2월 연세대학교 전자공학과
공학사
1980년 2월 연세대학교 대학원 전자
공학과 공학석사

1984년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사
1987년 2월-1988년8월 California Instituted Technology
전자공학과 객원교수
1992년3월-현재 광운대학교 전자공학과 교수
※관심분야: 3D 영상, 3D 디스플레이, 3DTV, 홀로그래피