
핀홀 모델 기반의 1차원 집적 영상 기법의 광학적 구현

신동학* · 김남우* · 이준재

Optical implementation of unidirectional integral imaging based on pinhole model

Dong-Hak Shin* · Nam-Woo Kim* · Joon-Jae Lee

요 약

집적 영상 기술에서 재생되는 3차원 영상은 요소 영상의 해상도에 비례하기 때문에 고해상도의 3차원 영상을 얻기 위해서 요소 영상의 정보량이 급격히 증가하는 문제가 있다. 본 논문에서는 이 문제점을 해결하기 위해서 핀홀 모델 기반의 새로운 1차원 집적 영상 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서 새로운 형태의 1차원 요소 영상을 제공하며, 이 요소 영상은 기존의 2차원 요소 영상에서 핀홀 모델을 적용하여 각각의 요소 영상에 대해서 수평 픽셀 라인을 선택하고 확대하여 만들고 지며, 이를 3차원 영상의 재생에 사용하였다. 제안하는 기법은 수직시차를 제거함으로써 요소영상의 정보량을 상당히 감소시킬 수 있다. 제안하는 방법 유용함을 보이기 위해서 광학적 실험을 수행하고, 그 결과를 보고한다.

ABSTRACT

Since three-dimensional (3D) images reconstructed in integral imaging technique are related to the resolution of elemental images, there has been a problem that ray information of elemental images increases largely in order to obtain high-resolution 3D images. In this paper, to overcome this problem, a new unidirectional integral imaging based on pinhole model is proposed. Proposed method provides a new type of unidirectional elemental images, which are simply obtained by magnifying single horizontal pixel line of each elemental image to the vertical size of lenslet using ray analysis based on pinhole model and used to display 3D images. In proposed method, reduction effect of the ray information of elemental images can be obtained by scarfing vertical parallax. Feasibility of the proposed scheme is experimentally demonstrated and its results are presented.

키워드

3차원영상, 집적 영상, 핀홀 모델, 수평시차

I. 서 론

최근 다양한 3차원 영상 디스플레이 기술들이 오랫동안 연구되어 왔다 [1-3]. 이들 기술 중에서 가장 단순한 방식인 스테레오스코프 기술은 양안시차를 갖는 두 개의 2차원 영상을 사람의 양쪽 눈에 각각 분리시켜 보여줌으로써 입체감을 유발시키게 되는데, 두 개의 평면 영

상을 사용함으로써 구현이 간단하고 높은 해상도와 큰 깊이감을 갖는 3차원 영상 디스플레이를 할 수 있다. 하지만 영상을 보는 눈의 수렴각과 초점 사이에 불일치가 존재하여 시각 피로감이 커질 수 있으며, 시점도 불연속적으로 주어지는 문제점을 가진다. 이에 반해서 이상적인 3차원 영상 디스플레이 방식으로 잘 알려진 기술이 홀로그래피 기술이다. 이 기술은 단순히 디스플레이 패널만

을 이용하여 3차원 영상을 간섭현상을 이용하여 재생시키는 기술이지만, 아직까지는 암실과 코히어런트(coherent) 광원이 요구되고, 비교적 먼 거리에 있는 큰 물체의 홀로그램 합성 및 재생이 어려운 문제점을 지니고 있다. 또 다른 3차원 디스플레이 기술로써 최근 활발하게 연구되고 있는 것이 집적 영상(integral imaging)이다 [4-11]. 집적 영상은 홀로그래피 기술과 같이 3차원 영상을 공간상에 표현하는 기술로써, 연속적인 시점과 수평수직 시차를 모두 갖는 3차원 영상을 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 또한 칼라 3차원 영상도 쉽게 구현할 수 있다. 그러나 이 기술에도 3차원 영상의 복원 해상도가 낮고, 관측 가능한 시야각이 제한되며, 고해상도의 2차원 요소 영상이 필요하다 등의 문제점이 있다. 따라서 이런 문제점을 극복하기 위한 다양한 연구들이 시도되어 왔다 [6-10].

사실 관측자는 3차원 영상을 관측할 때 고해상도이며 대화면의 입체영상 요구한다. 이를 위해 집적 영상 기술에서는 많은 수의 렌즈 배열(lenslet array)과 이에 해당하는 고해상도의 2차원 요소 영상(Elemental images)이 필요하다 [8]. 이럴 경우 2차원 요소 영상 데이터의 정보량이 급격히 증가하기 때문에 이들 데이터를 효과적으로 전송하고 재현하기 위해서는 전송 정보량을 줄이는 문제가 매우 중요하다. 이를 위해서 다양한 연구가 보고되었다. 서울대에서는 2차원 요소 영상에서 깊이지도(depth map)를 추출하여 전송하는 방식을 제안하였으나 깊이 지도 추출 알고리즘에 따라 크게 성능이 달라진다 [9]. 그리고 미국의 한 그룹에서는 2차원 요소 영상이 작은 비슷한 영상들의 조합이라는 특징을 이용하여 MPEG 기법을 직접적으로 적용하여 압축하는 방식을 제안하였다 [10]. 한편 우리는 이전의 논문에서 요소 영상의 정보량을 줄이기 위해서 기존의 2차원 요소 영상을 변형하여 1차원 요소 영상을 추출하는 수평시차 기반의 새로운 집적영상 방식(1차원 집적 영상이라 부름)을 제시하였고 실험적으로 그 유용함을 보고하였다 [11]. 그러나 이 방법에서는 1차원 요소영상을 얻기 위해서 렌즈 배열의 수와 같은 유효 픽업 조건이 존재하여 실질적인 응용에 어려움이 있었다.

따라서 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하며, 렌즈 배열의 수에 관계없이 1차원 요소영상을 자유롭게 변형이 가능한 1차원 집적 영상 방식을 제안한다. 제안하는 방식에서는 핀홀 모델 기반의 컴퓨터 재생 방법을 이

용한다. 이 방법은 집적 영상 기술에서 2차원 요소 영상으로부터 컴퓨터적으로 3차원 영상을 간단히 관찰할 수 있는 방법을 제안되었으며 렌즈어레이를 핀홀로 가정하는 핀홀 모델 기반의 해석으로써, 다양한 관측 각도에서 3차원 영상을 복원할 수 있다 [12]. 제안하는 방식에서 사용되는 1차원 요소 영상은 기존의 2차원 요소 영상에서 핀홀 모델을 적용하여 각각의 요소 영상에 대해서 수평 픽셀 라인을 선택하고 조합하여 만들고 지며, 이를 3차원 영상의 재생에 사용하였다. 제안하는 방식은 수직 시차를 제거함으로써 요소영상의 정보량을 상당히 감소시킬 수 있다.

본 논문의 구성은 2장에서는 집적 영상 방식에 대해서 설명을 하고, 3장에서는 새롭게 제안하는 핀홀 모델 기반의 1차원 집적 영상 방식에 대해서 설명한다. 4장에서는 제안하는 방식의 유용성을 보이기 위한 광학적인 실험 및 결과를 제시하고자 한다.

II. 집적 영상 기술

집적 영상 기술은 그림 1과 같이 크게 픽업(Pickup) 과정과 디스플레이(Display) 과정으로 나눌 수 있다. 집적 영상의 픽업 과정에서는 3차원 물체의 정보를 렌즈 배열과 CCD를 이용하여 2차원 요소 영상으로 기록한다. 그리고 디스플레이 과정에서는 픽업과정에서 얻어진 2차원 요소 영상을 LCD와 같은 디스플레이 패널(Display panel)에 표현하고 이들을 다시 렌즈 배열을 통과시켜 3차원 영상으로 복원한다.

그림 2는 집적 영상 기술의 픽업과정에서 얻어진 요소 영상의 예를 보여준다. 픽업되는 2차원 요소 영상은 3차원 물체에 대해서 각각의 작은 렌즈를 통해서 작은 영상들로 투영되고 CCD 카메라에 의해서 영상 검출면에서 기록하여 얻게 된다. 따라서 요소 영상의 수는 렌즈 배열의 개수와 같다. 여기서 렌즈 배열을 핀홀 배열로 가정하여 기하광학적 해석을 쉽게 수행할 수 있다. 이를 이용하여 컴퓨터적으로 3차원 물체에 대한 픽업과정은 모의 실험하여 2차원 요소 영상을 얻을 수 있다 [13].

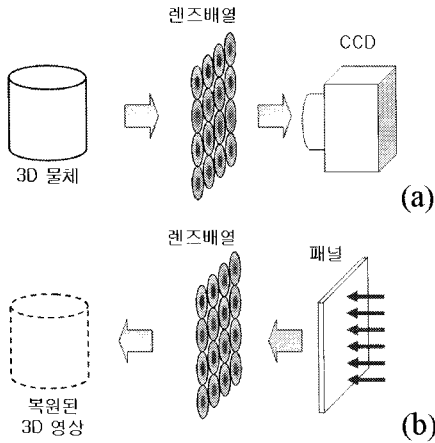


그림 1. 기존의 집적 영상 방식
Fig. 1. Conventional Integral imaging method

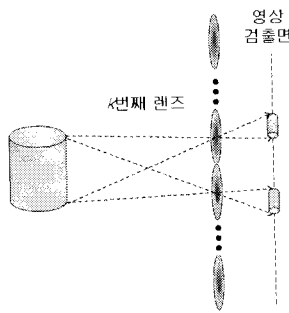


그림 2. 2차원 요소 영상의 검출
Fig. 2. Recording of two-dimensional (2D) Elemental images

2.2. 핀홀 모델 기반의 컴퓨터적 영상 재생

그림 3은 그림 2에서의 렌즈 배열에 대해서 핀홀 모델 기반의 컴퓨터 재생의 개략도를 나타낸다. 여기서 렌즈 배열은 핀홀 모델을 적용하여 핀홀 배열로 가정하였다. 관측자가 요소 영상을 핀홀 배열을 통해 관측할 때, 그림 3과 같이 관측 각도에 따라 각각의 핀홀을 통과하게 되면 특정한 한 픽셀이 투영되게 된다. 또한 이 특정한 픽셀의 위치는 그림 3에 화살표로 표시된 관측 각도의 변화에 따라 서로 다르게 되며, 모든 핀홀 배열에 대해서 이들 특정한 픽셀들의 조합으로서 서로 다른 3차원 영상을 얻게 된다 [13]. 이 방식은 요소 영상으로부터 다양한 각도에서 관측되는 3차원 영상을 얻을 수 있기 때문에 3차원 광상관기(Optical correlator)나 압축 등에 유용하게 사용되어지고 있다 [14].

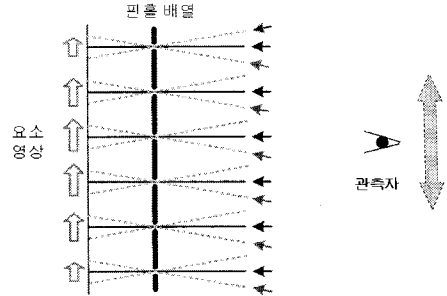


그림 3. 핀홀 모델 기반의 컴퓨터 3차원 영상 재생
Fig. 3. Pinhole model-based computational three dimensional (3D) image reconstruction

III. 핀홀 모델 기반의 1차원 집적 영상 기법

3.1 시스템 개요

그림 4는 1차원 집적 영상 시스템에 대한 구성도이다. 기존의 집적 영상과 다른 부분은 두 개의 영상처리부를 추가적으로 가지는 것이다. 첫 번째 영상처리부는 얻어진 2차원 요소영상에서 1차원 요소 영상을 추출하는 기능을 수행한다. 이때 추출된 1차원 요소 영상은 그 정보량이 줄어들게 되지만, 수직 시차의 정보를 잃어버리게 된다. 그러나 일반적으로 3차원 영상의 디스플레이 장치에서는 스테레오 방식과 같이 수직시차 없이도 충분히 3차원 영상을 표현할 수 있다.

두 번째 영상처리부에서는 1차원 요소 영상이 효과적으로 3차원 영상으로 재생되도록 변환하는 픽셀-렌즈릿 변환 과정을 수행한다. 픽셀-렌즈릿 변환은 한 열의 요소 영상의 각 수직 픽셀들에 대해서 렌즈 배열의 각각의 렌즈릿에 하나씩 표현하는 것을 의미한다 [11]. 이렇게

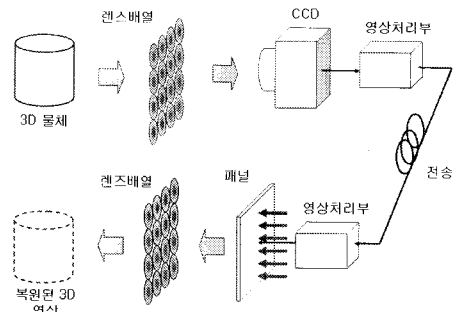


그림 4. 1차원 집적 영상 시스템
Fig. 4 Unidirectional integral imaging system

변형된 요소 영상은 두 번째 렌즈 배열을 통과하여 공간 상에 3차원 영상으로 재생된다.

3.2.1차원 요소 영상의 추출

사실 그림 4와 같은 1차원 집적 영상 시스템은 이미 보고된 적이 있다 [11]. 하지만 본 논문에서는 이 시스템을 향상하기 위한 첫 번째 영상처리부의 주요 기능인 요소 영상의 추출 방식을 새로이 고안하였다.

이전의 1차원 요소 영상 추출 방식은 그림 5(a)와 같다. 만약 3차원 물체로부터 기록된 2차원 요소영상이 $p \times q$ 개의 렌즈 배열을 통과하여 얻어진다고 가정하자. 그리고 렌즈 배열의 하나의 렌즈릿에 의해서 얻어지는 요소 영상의 픽셀 수를 $m \times n$ 이라고 하면, 전체 요소영상이 가지는 픽셀의 수는 다음과 같다.

$$N_c = pm \times qn \tag{1}$$

그림 5(a)의 방식으로 1차원 집적 영상 방식을 위한 1차원 요소 영상은 기존의 2차원 요소 영상에서 단순히 p 번째 열의 수평 요소영상만을 사용한다. 즉 $p=1$ 인 경우와 같다. 그러면 이 선택된 한열의 요소 영상의 총 픽셀 수는 다음과 같다.

$$N_k = m \times qn \tag{2}$$

하지만 올바른 1차원 요소 영상을 만들기 위해서는 다음의 제약조건을 만족하여야 한다. 즉 한열의 요소 영상의 수직 픽셀의 수가 렌즈릿 수보다 작은 경우, 즉 $m \leq p$ 를 만족할 경우에는 문제가 없이 확대가 가능하지만, $m > p$ 일 경우에는 전송된 한열의 요소영상의 모든 픽셀을 확대할 수가 없기 때문에 일부 정보를 잃어버리게 되는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 제약 조건없이 자유롭게 1차원 요소 영상을 만드는 새로운 방식을 그림 5(b)에 나타내었다. 제안하는 방식은 편홀 모델 컴퓨터 재생 기법을 도입하여 1차원 요소 영상을 얻는다. 즉 2차원 요소 영상에 대해서 각각의 요소 영상 열에 대해서 같은 위치의 한줄씩의 픽셀 열을 추출하는 것이다. 예를 들어 k 번째의 픽셀 열을 선택한다면, 모든 요소 영상 열에서 k 번째 픽셀 열을 추출하여 조합한다. 제안하는 방식에서 얻어지는 총 요소 영상의 픽셀 수는 다음과 같다.

$$N_{new} = p \times qn \tag{3}$$

이것은 기존의 방식인 식 (2)의 결과와 비교할 때 m 대신에 p 의 값으로 나타나게 된다. 사실 p 는 요소 영상의 개수이기 때문에 렌즈 배열의 개수와 동일하므로 3차원 영상으로 표현하는데 아무런 제약이 없다

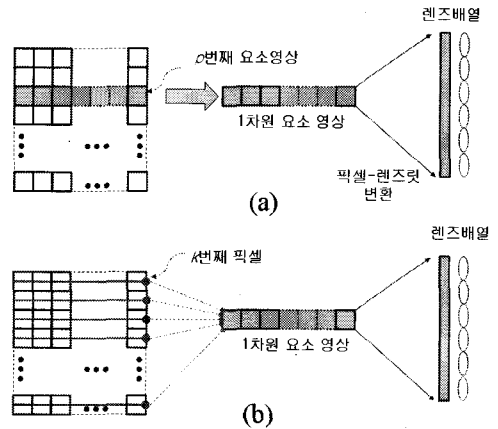


그림 5. 1차원 요소 영상의 추출
(a) 기존의 방법 (b) 제안하는 방법
Fig. 5. Extraction of 1D elemental images (a) Conventional method (b) Proposed method

IV. 광학적 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 편홀 모델 기반의 1차원 집적 영상 방식에 대해서 그림 6과 같은 광학적 시스템을 구성하여 기초적인 실험을 수행하였다. 집적 영상의 픽업 과정은 컴퓨터적 픽업 방법을 사용하였다. 그리고 두 개의 영상처리부는 편의상 하나의 컴퓨터로 구현하였다. 재생 과정은 광학적 디스플레이 시스템으로 구성하였다.

실험에 사용할 2차원 요소 영상을 얻기 위해 그림 2에 나타난 컴퓨터 픽업 원리에 기초하여 제작하였다. 사용한 3차원 물체는 두 글자 패턴 '3'과 'D'이다. 각 글자의 크기는 25 mm × 25 mm이다. '3' 문자 패턴은 렌즈 배열로부터 -45 mm에 위치하고, 'D' 문자 패턴은 45 mm에 위치시켰다. 요소 영상의 전체 개수는 34×25개이고, 하나의 요소 영상은 30×30 픽셀을 가진다. 따라서 총 2차원 요소 영상의 픽셀 수는 1020×750이다.

컴퓨터적으로 계산된 2차원 요소 영상을 그림 7(a)에 나타내었다. 그리고 이 2차원 요소 영상에 대해서 본 논문에서 제안하는 방식으로 추출한 1차원 요소 영상은 그림 7(b)에 보였다. 이때 $k=15$ 로 선택하였다. 이 경우 얻어지는 요소 영상은 총 1020×25 가 된다. 이것은 2차원 요소 영상이 1020×750 픽셀을 가지므로, 약 30배의 정보가 크게 감소됨을 알 수 있다. 그리고 그림 7(b)의 1차원 요소 영상을 광학적으로 디스플레이 하기 위해서는 픽셀-렌즈릿 변환이 필요하며, 이를 수행한 결과를 그림 7(c)에 나타내었다. 그리고 $k=25$ 일 때의 1차원 요소 영상 또한 그림 7(d)에 나타내었다.

요소 영상을 이용하여 광학적 실험을 그림 6과 같이 수행하였다. LCD 패널은 요소 영상을 표현하기 위해 사용하였고, LCD 픽셀 하나의 크기는 $36 \mu\text{m}$ 이다. 렌즈 배열은 LCD 패널 앞에 렌즈릿의 초점거리인 5.2 mm 에 위

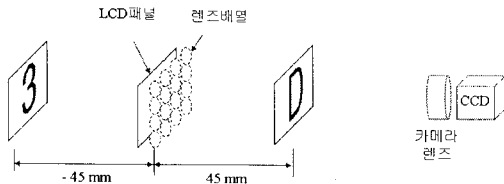


그림 6. 광학적 실험 구성도.
Fig. 6. Optical setup.

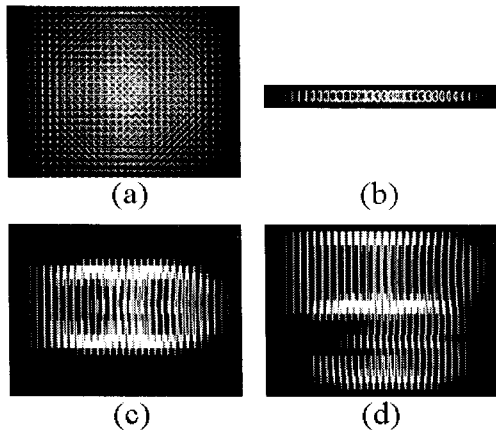


그림 7. (a) 2차원 요소 영상 (b) 추출된 1차원 요소 영상 (c) $k=15$ 일때 픽셀-렌즈릿 변환후의 1차원 요소 영상 (d) $k=25$ 일때

Fig. 7. (a) 2D elemental images (b) Extracted 1D elemental images (c) 1D elemental images after pixel-lenslet transform when $k=15$ (d) when $k=25$

치시켰다. 총 34×25 개의 렌즈 배열을 사용하였고 하나의 렌즈는 30×30 의 LCD 픽셀에 대응하도록 구성하였다. 요소 영상이 LCD 패널에 표시된 후 3차원 재생 영상을 CCD 카메라로 기록하였다.

그림 8은 기존의 집적 영상 기술인 2차원 요소 영상을 LCD 패널에 디스플레이하였을 때의 결과이다. 이 결과에서 상하좌우에서 각각 서로 다른 영상을 얻을 수 있었다. 이 결과는 두 글자 패턴이 입체감이 있다는 것을 보여준다. 각 그림에 표시되어 있는 화살표 기호는 글자 패턴 '3'의 움직임 방향을 표시한다. 예를 들어 위쪽(상)에서 관측할 경우 글자 '3'은 그림 6에서 보여지듯이 LCD 패널 뒤에서 만들어지기 때문에 관측자가 위로 이동하게 되면 상대적으로 글자 '3'은 위로 올라오도록 보이게 된다. 반대로 관측자가 밑쪽(하)에서 관측하게 되면 글자는 아래로 움직이게 된다. 이를 특히 수직시차라고 하는데 기존의 집적 영상 기술에서는 이 수직시차와 수평시차 모두가 존재함을 알 수 있다.

한편 그림 9는 본 논문에서 제안하는 1차원 집적 영상 기술의 실험 결과를 나타내었다. 그림 9(a)는 그림 7(c)의 1차원 요소 영상을 디스플레이했을 때의 결과이고, 그림 9(b)는 그림 7(d)의 1차원 요소 영상을 디스플레이했을 때의 결과이다. 두 실험 결과에서 보여지듯이 기존의 방식과는 달리 1차원 집적 영상의 방식에서는 수직시차가 없음을 알 수 있다. 하지만 여전히 수평시차는 존재한다. 이것은 본 논문에서 요소 영상의 정보량을 줄이기 위해서 수직시차를 제거한 효과를 잘 증명해 주고 있다.

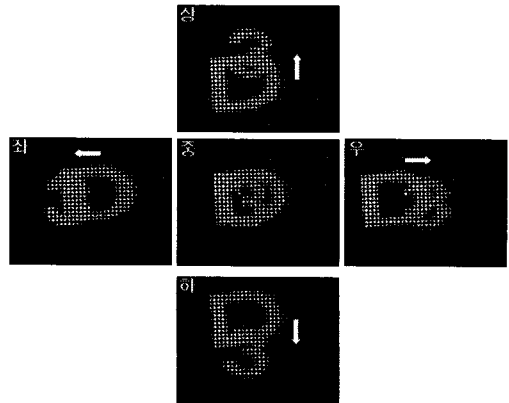


그림 8. 2차원 요소 영상을 이용한 3차원 재생 영상.
Fig. 8 Reconstructed 3-D images using 2D elemental images

IV. 결 론

결론적으로 본 논문에서는 집적 영상 기술에서 고해상도의 3차원 영상을 얻을 경우에 요소 영상의 정보량이 급격히 증가하는 문제를 극복하기 위해서 편홀 모델 기반의 새로운 1차원 집적 영상 기법을 제안하고 광학적으로 실험을 수행하였다. 제안하는 기법에 대해서 실험적으로 수직시차를 제거함으로써 요소영상의 정보량을 많 감소시킬 수 있음을 확인하였다. 향후 대화면, 고해상도의 3차원 영상 디스플레이에서 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

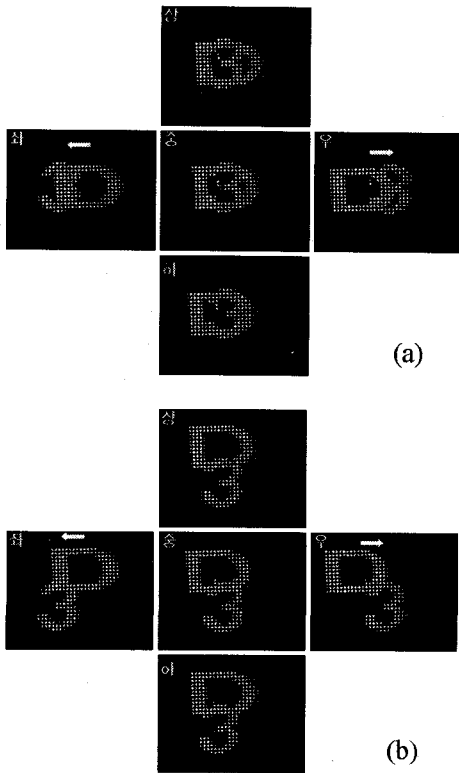


그림 9. 1차원 요소 영상을 이용한 3차원 재생 영상.
 (a) $k=15$ 일때 (b) $k=25$ 일때
 Fig. 9 Reconstructed 3-D images using 1D elemental images (a) when $k=15$ (b) when $k=25$

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] F. Okano, H. Hoshino, J. Arai, and I. Yuyama, "Real-time pickup method for a three-dimensional image based on integral photography," Appl. Opt. 36, 1598-1603 (1997).
 [6] 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).
 [7] J.-S. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging with nonstationary micro-optics," Opt. Lett. 27, 324-326 (2002).
 [8] J.-S. Jang, Y.-S. Oh, and B. Javidi, "Spatiotemporally multiplexed integral imaging projector for large-scale high-resolution three-dimensional display," Opt. Exp. 12, 557-563 (2004).
 [9] J.-H. Park, Y. Kim, J. Kim, S.-W. Min, and B. Lee, "Three-dimensional display scheme based on integral imaging with three-dimensional information processing," Optics Express, 12, 6020-6032 (2004).
 [10] S. Yeom, A. Stern and B. Javidi, "Compression of 3D color integral images," Opt. Exp. 12, 1632-1642 (2004).
 [11] 신동학, 권영만, 김은수, "수평시차 기반의 변형된 집적영상 기법의 광학적 구현," 한국해양정보통신학회 논문지, 제10권 제4호 pp. 712-717, 2006
 [12] H. Arimoto and B. Javidi, "Integral three-dimensional imaging with digital reconstruction," Opt. Lett. 26, 157-159 (2001)
 [13] 신동학, 조병철, 김은수, "전방향 커브형 집적 영상에서의 요소 영상의 제작 방법," 한국해양정보통신학회 논문지, 제10권 제5호 pp. 905-909, 2006.
 [14] J.-H. Park, J. Kim, and B. Lee, "Three-dimensional optical correlator using a sub-image array," Optics Express, 13, 5116-5126 (2005).

저자소개



신 동 학(Dong-Hak Shin)

1996년 2월 부경대학교 정보통신공학과
공학사

1998년 2월 부경대학교 전자공학과 공학
석사

2001년 8월 부경대학교 정보통신공학과 공학박사

2001년10월-2004년8월 일본 도요하시 기술대학 연구원

2005년3월-2006년8월 광운대학교 3DRC 연구교수

2006년9월-현재 동서대학교 영상콘텐츠학과 연구교수

※관심분야: 광정보처리, 3D 디스플레이, 3D 영상처리



김 남 우 (Nam-Woo Kim)

2002년 동서대학교 컴퓨터공학과 졸업
(학사)

2004년 동서대학교 소프트웨어대학원 졸
업(석사)

2004년~현재 동서대학교 소프트웨어전문대학원 박사과정

※관심분야: 컴퓨터그래픽스, CAGD, 영상처리



이 준 재 (Joon-Jae Lee)

1986년 경북대학교 전자공학과 학사

1991년 경북대학교 전자공학과 석사

1994년 경북대학교 전자공학과 박사

1998년~1999년 조지아테크 연구교수

2000년~2001년 (주)파미 연구소장

1995년~ 현재 동서대학교 컴퓨터정보공학부 부교수

※관심분야: 3차원 비전, 영상처리, 지문인식