

---

# 수평시차 기반의 변형된 집적영상 기법의 광학적 구현

신동학\* · 권영만\*\* · 김은수\*

Optical implementation of modified integral imaging method based on horizontal parallax

Dong-Hak Shin\* · Young-Man Kwon\*\* · Eun-Soo Kim\*

---

본 연구는 정보통신부 ITRC 사업(IIITA-2005-C1090-0502-0038)에 의해 수행되었음

---

## 요 약

본 논문에서는 기존의 집적영상에서 요소 영상을 변형하여 수평시차만을 갖는 새로운 집적영상 기법을 제시하고 광학적으로 구현하였다. 즉, 기존 방식으로 픽업된 2차원 요소 영상에서 한 열의 수평 요소 영상을 수직방향으로 확대하여 전체 요소 영상을 얻고 이를 통해 3차원 입체 영상을 재현하게 된다. 제시하는 수평시차 기반의 집적영상 기법은 수직시차가 제거되어 전송을 위한 요소 영상의 정보량을 크게 줄일 수 있다. 제시된 방식의 유용성을 보이기 위하여 광학적 구현 실험을 수행하고 그 결과를 제시하였다.

## ABSTRACT

In this paper, a new integral imaging method with horizontal parallax only is proposed by modified use of elemental images pickpuped from conventional integral imaging. The modified elemental images are obtained by magnifying single horizontal elemental image vertically and from which 3D images could be reconstructed. The proposed method can provide us large reduction of transmission information data for elemental images by eliminating the vertical parallax. The feasibility of our approach is experimentally demonstrated and its results are presented.

## 키워드

3차원 디스플레이, 집적 영상, 렌즈배열, 요소 영상

## I. 서 론

3차원 영상 디스플레이 기술은 주로 홀로그래피(holography)나 스테레오스코피(stereoscopy) 방식에 기초하여 오랫동안 연구되어왔다[1-4]. 이 중, 홀로그래피는 이상적인 3차원 영상 디스플레이 방식으로 알려져 있으나 암실과 코히

어런트(coherent) 광원이 요구되고, 비교적 먼 거리에 있는 큰 물체의 홀로그램 합성 및 재생이 어렵다. 한편, 스테레오스코피 방식은 양안시차를 갖는 두개의 2차원 영상을 사람의 양쪽 눈에 각각 분리시켜 보여줌으로써 입체감을 유발시키게 된다. 이 방식은 2개의 평면 영상을 사용함으로써 구현이 간단하고 높은 해상도와 큰 깊이감을 갖는 3

차원 영상 디스플레이를 할 수 있지만 영상을 보는 눈의 수평각과 초점 사이에 불일치가 존재하여 시각 피로감이 커질 수 있으며, 시점도 불연속적으로 주어진다.

최근 스테레오스코피 방식의 단점을 피하기 위하여 집적 영상(integral imaging)에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다[5-11]. 집적 영상은 연속적인 시점과 수평수직 시차를 모두 갖는 입체영상을 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 실용화를 제한하는 문제들 중 하나가 재생되는 3차원 입체영상의 낮은 해상도이다. 따라서, 고해상도이며 대화면의 3차원 입체영상을 만들기 위해서는 많은 수의 렌즈배열(lenslet array)을 사용해야 하며[10] 또한, 각각의 2차원 요소영상(elemental image)들은 충분히 높은 해상도를 가져야만 한다. 이럴 경우 2차원 요소영상 데이터가 급격히 증가하기 때문에 이들 데이터를 효과적으로 전송하고 재현하기 위해서는 전송 정보량을 줄이는 문제가 매우 중요하다[12]. 특히, 요소 영상의 과도한 정보량은 집적 영상의 실시간적 디스플레이를 어렵게 만드는 주요 원인이기 때문에 3차원 물체로부터 얻어지는 집적영상의 정보량을 줄이는 방법에 대한 연구가 요구되고 있다.

따라서, 본 논문에서는 집적 영상 방식에서 얻어지는 요소영상의 정보량을 줄이기 위해서 기존의 요소 영상을 변형하여 수평시차 기반의 새로운 집적영상 방식을 제시하고자 한다. 즉, 기존 방식으로 픽업된 요소 영상에서 한 열의 수평 요소 영상만을 선택함으로써 정보량을 줄이고, 이를 전송하여 3차원 입체영상을 재현한다. 제시하는 방식은 수직시차 없이 수평시차만을 갖는 새로운 형태의 집적영상으로 요소 영상의 전송정보량을 크게 줄일 수 있어 효과적인 전송 및 재생을 가능하게 한다. 제시된 집적영상 기법의 유용성을 보이기 위하여 광학적인 실험을 수행하고 그 결과를 제시하고자 한다.

## II. 수평시차기반의 변형된 집적 영상 시스템

### 2.1 시스템 구조

기존의 집적 영상 기술은 그림 1과 같이 크게 픽업(Pickup) 과정과 디스플레이(Display) 과정으로 나눌 수 있다. 집적 영상의 픽업 과정에서는 3차원 물체의 정보를 렌즈배열(Lenslet array)과 CCD와 같은 2차원 영상 감지기

(Image sensor)를 이용하여 2차원 요소영상(Elemental images)으로 기록한다. 그리고 디스플레이 과정에서는 픽업과정에서 얻어진 2차원 요소 영상을 LCD와 같은 디스플레이 패널(Display panel)에 표현하고 이들을 다시 렌즈배열을 통과시켜 3차원 영상으로 복원한다.

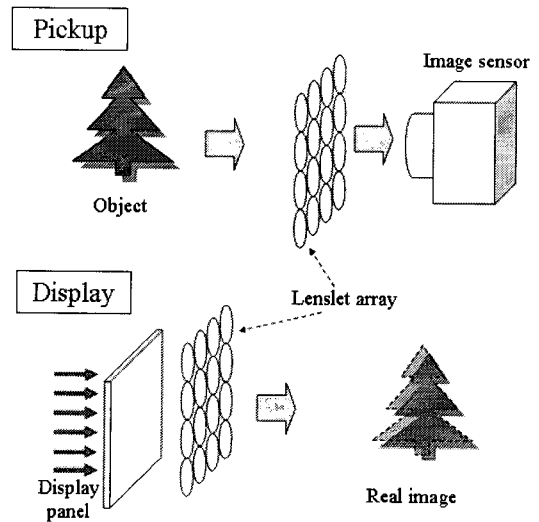


그림 1. 기존의 집적 영상 방식  
Fig. 1 Conventional Integral imaging method

그림 2는 본 논문에서 제시하는 집적 영상 방식에 대한 구성도이다. 기존의 집적 영상과 다른 부분은 두 개의 영상처리부(Image processing part)를 가지는 것이다. 첫 번째 렌즈 배열과 2차원 CCD 카메라에 의해 3차원 물체의 요소 영상이 얻어진다. 첫 번째 영상처리부는 얻어진 2차원 요소영상의 집합으로부터 특정한 한 열의 요소 영상만을 선택하는 기능을 수행한다. 이때 선택된 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.

한편 첫 번째 영상처리부에서 선택된 한 열의 요소 영상은 적은 정보량을 가지고 두 번째 영상처리부에 전송된다. 이때 한 열의 요소 영상을 이용하여 3차원 영상을 재생하기 위해서는 전송되어진 요소 영상을 LCD 패널에 표현해야 한다. 두 번째 영상처리부에서 한 열의 요소 영상을 디스플레이 패널에 올바르게 표현될 수 있도록 확대하는 기능을 수행한다. 이렇게 변형된 요소 영상은 두 번째

렌즈 배열을 통과하여 공간상에 3차원 영상으로 재생된다.

따라서 새로이 제시된 변형된 집적 영상 기법은 한열의 수평 요소영상을 수직방향으로 확대하여 전체 요소 영상을 얻기 때문에 수직시차 정보가 제거되고 수평시차만을 가지게 되고 결과적으로 전송에 필요한 정보량을 크게 감소시킬 수 있는 장점을 가지게 된다.

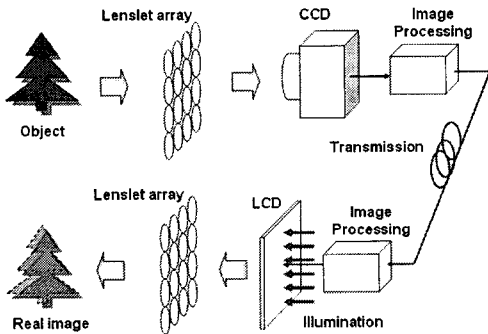


그림 2. 수평시차 기반의 변형 집적 영상 방식의 구성도.

Fig. 2 Modified integral imaging with Horizontal parallax only.

2.2 요소 영상의 정보량 계산

먼저 제시하는 집적 영상 방식에 대한 정보량의 감소 효과를 설명한다. 그림 1과 같이 3차원 물체로부터 광선 정보는  $P \times Q$  개의 렌즈 배열을 통과한다고 가정하자. 그리고 렌즈 배열의 하나의 렌즈릿에 의해서 얻어지는 요소 영상의 픽셀 수를  $m \times n$  이라고 하면, 전체 요소영상이 가지는 픽셀의 수는 다음과 같다.

$$N_c = Pm \times Qn \tag{1}$$

따라서 기존의 집적 영상 방식에서는 식 (1)의 모든 요소영상의 픽셀들을 전송해야 한다.

이제 본 논문에서 제시하는 수평시차 기반의 집적 영상 방식을 생각하자. 제시하는 집적 영상 방식을 위한 요소 영상은 그림 3과 같이 얻어질 수 있다. 여기서 변형 요소 영상을 얻기 위해 기존의 2차원 집적 영상 방식에서의 요소영상에서 단순히  $p$ 번째 열의 수평 요소영상만을 사용한다. 즉  $P=1$  인 경우와 같다. 그러면 이 선택된 한열의 요소영상의 총 픽셀 수는 다음과 같다.

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

식 (1)과 (2)의 전송해야 하는 총 요소영상의 픽셀 수를 비교해 볼 때 제시하는 방식이 기존의 방식보다  $P$  배만큼 정보량이 감소한다는 것을 쉽게 알 수 있다.

2.3 픽셀-렌즈릿 변환

본 논문에서 제시하는 집적 영상의 방식에서는 3차원 영상을 표시하기 위해서는 픽셀-렌즈릿 변환 과정이 추가되어야 한다. 즉 첫 번째 영상처리부에서 선택된 한열의 요소 영상은 그림 2의 두 번째 영상처리부로 전달되고, 그림 3과 같은 픽셀-렌즈릿 (pixel-to-lenslet) 변환을 수행한다. 이것은 한 열의 요소 영상의 각 수직 픽셀들에 대해서 렌즈 배열의 각각의 렌즈릿에 하나씩 표현하는 것을 의미한다. 렌즈 배열과 LCD의 픽셀이 모두 정사각형의 형태라고 할 경우 한 픽셀을 단순히  $P$ 배 확대를 하여 표현하는 것과 동일하다.

픽셀-렌즈릿 변환을 수행할 때 다음의 제약 조건이 있다. 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 된다. 따라서  $m \leq P$ 의 조건을 만족하도록 시스템을 디자인할 필요가 있다.

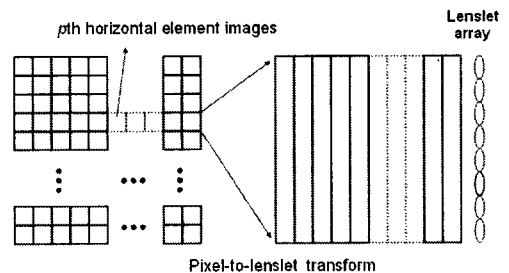


그림 3. 변형 요소 영상을 얻기 위한 픽셀-렌즈릿 변환. Fig. 3 Pixel-to-lenslet transform to obtain modified elemental images.

III. 광학적 실험 및 결과

본 논문에서 제시하는 수평시차 기반의 변형 집적 영

상 방식에 대해서 그림 2와 같은 광학적 시스템을 구성하여 기초적인 실험을 수행하였다. 첫 번째 렌즈 배열은 요소 영상을 얻기 위해 사용하였고, 두 번째 렌즈 배열은 3차원 영상을 복원하기 위해 사용하였다. 두 개의 영상처리부는 편의상 하나의 컴퓨터로 구현하였다.

### 3.1 요소 영상의 픽업

요소 영상을 얻기 위해 사용한 3차원 물체는 그림 4(a)와 같이 하나의 주사위와 글자패턴 'J'를 사용하였다. 주사위의 길이는 15 mm 정도이며 글자패턴의 크기는 10 mm 정도이다. 주사위와 'J' 글자와의 거리는 약 30 mm이다. 사용한 렌즈 배열은 53×53 정사각형 형태의 렌즈로 구성되어 있다. 각각의 렌즈릿은 1.08 × 1.08 mm이고, 초점 거리는 3 mm이다. 픽업 렌즈 배열과 주사위까지의 거리는 70 mm이다.

먼저 2차원 CCD 카메라를 사용하여 2차원 요소영상을 검출하였다. 그림 4(b)는 검출된 2차원 요소영상이다. 이것은 기존의 집적 영상 방식의 2차원 요소영상의 집합이다. 얻어진 요소영상의 수( $P \times Q$ )는 34×25이며, 각각의 요소영상( $m \times n$ )은 30×30 픽셀을 가진다. 그러면 요소영상의 총 픽셀 수는 1020×750이 된다. 그림 4(c)는 그림 4(b)의 2차원 요소영상에서 13번째 요소영상(1020×30 픽셀을 가짐)을 선택하여 픽셀-렌즈릿 변환을 수행한 후 얻은 변형된 요소 영상을 보여준다. 이때 사용 가능한 렌즈릿의 수가 25개이기 때문에 총 30개의 세로 픽셀 중에서 25개의 픽셀만을 확대가능하다.

### 3.2 광학적 복원 실험 결과

그림 4의 요소 영상을 이용하여 광학적으로 3차원 영상을 복원하는 실험을 수행하였다. 자세한 실험 구성도는 그림 5와 같다. 이때 사용한 LCD 패널의 픽셀 크기는 36  $\mu$  m이며, 사용한 렌즈 배열은 34×24의 렌즈릿으로 구성되어 있다. 이때 각 렌즈릿은 LCD 패널의 30×30 픽셀에 대응한다. 그림 4의 요소영상들은 각각 LCD 패널에 표시되어 3차원 영상을 만들게 되며, 이를 CCD 카메라를 이용하여 저장하였다.

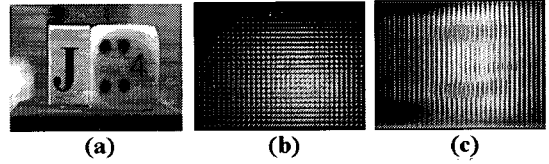


그림 4. (a) 실험에 사용한 3차원 물체. (b) 2차원 요소영상들. (c) 변형 요소 영상.  
Fig. 4 (a) 3-D objects. (b) 2-D elemental images. (c) Modified elemental images.

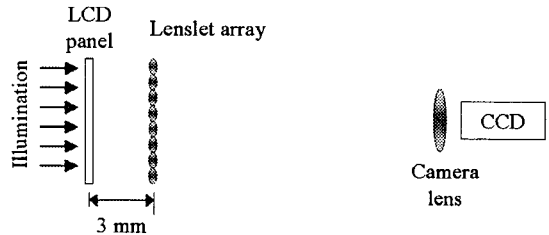


그림 5. 광학적 실험 구성도.  
Fig. 5 Optical setup.

그림 6은 기존의 집적 영상 방식으로 얻어진 그림 4(b)의 2차원 요소영상들을 이용하여 광학적으로 재생한 3차원 영상의 실험 결과를 보여준다. 그림 6(c)의 영상을 중심으로 CCD를 상하좌우 각각 10 cm 정도 이동하여 관측한 영상들이다. 상하좌우 모두 서로 다른 영상이 보여지는 수평 시차와 수직 시차를 모두 확인 할 수 있다. 여기서 수직 시차를 잘 표현하기 위해서 'J' 글자의 가장 위부분에 점선으로 표시하고, 주사위의 한 점의 가운데를 실선으로 표시하였다. 그림 6에서 보여지는 것과 같이 수직 시차의 차이가 확실히 존재함을 알 수 있다.

그림 7은 본 논문에서 제시하는 수직시차가 제거되고 수평시차 기반의 집적 영상으로 얻은 실험 영상들이다. 3차원 영상을 얻기 위해 그림 4(c)의 변형 요소영상을 LCD 패널에 입력하고 CCD 카메라를 이용하여 영상을 얻었다. 그림 7(c)의 영상을 중심으로 좌우상하로 10cm 정도 떨어져서 관측한 영상들이다. 상하의 그림 7(a)와 7(e)는 그림 7(c)와 거의 같은 모양이다. 즉 점선과 실선의 변화가 없음을 알 수 있다. 반면에 그림 7(b)와 7(d)는 여전히 수평시차가 있음을 알 수 있다. 그림 7의 결과는 본 논문에서 제시하는 방법에서 수직 시차가 제거된 수평시차 기반의 집적 영상 방식임을 잘 보여주주고 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 기존의 집적 영상에서의 2차원 요소영상을 변형하여 만들어진 요소영상을 사용하여 수직시차를 제거하는 변형 집적영상 방식을 제시하였다. 이를 위해 기존 방식으로 픽업된 2차원 요소 영상에서 한 열의 수평 요소 영상을 수직방향으로 확대하여 전체 요소 영상을 얻고 이를 통해 3차원 입체 영상을 재현하는 실험을 수행하였다. 제시하는 방식은 수직 시차를 제거함으로써 3차원 영상의 전송 정보량을 크게 줄일 수 있었고, 광학적인 실험을 통하여 쉽게 수직 시차가 제거됨을 확인하였다. 따라서 제시하는 방식은 전송정보량이 많이 요구되거나 실시간 처리가 요구되는 대형 3차원디스플레이 시스템에서 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대한다.

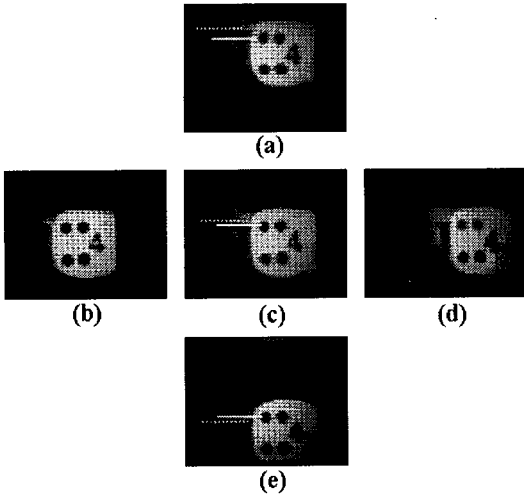


그림 6. 기존의 집적 영상에서 복원한 3차원 재생영상. (a) 위쪽. (b) 왼쪽. (c) 가운데 영상. (d) 오른쪽. (e) 아래쪽.

Fig. 6 Reconstructed 3-D images using conventional integral imaging. (a) Top view. (b) Left view. (c) Center view. (d) Right view. (e) Bottom view.

참고문헌

- [1] 이승현, 김은수, "3차원 영상의 기초", 技多利, 1998.
- [2] T. Okoshi, "Three-dimensional display," Proc. IEEE 68, 548-564 (1980).
- [3] I. Yamaguchi and T. Zhang, "Phase-shifting digital holography," Opt. Lett. 22, 1268-1270 (1997).
- [4] S. A. Benton, ed., Selected Papers on Three-Dimensional Displays (SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, WA, 2001).
- [5] G. Lippmann, "La photographie integrale," Comptes-Rendus Academie des Sciences 146, 446-451 (1908).
- [6] H. E. Ives, "Optical properties of a Lippmann lenticulated sheet," J. Opt. Soc. Am. 21, 171-176 (1931).
- [7] C. B. Burckhardt, "Optimum parameters and resolution limitation of integral photography," J. Opt. Soc. Am. 58, 71-76 (1968).
- [8] 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).
- [9] 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).

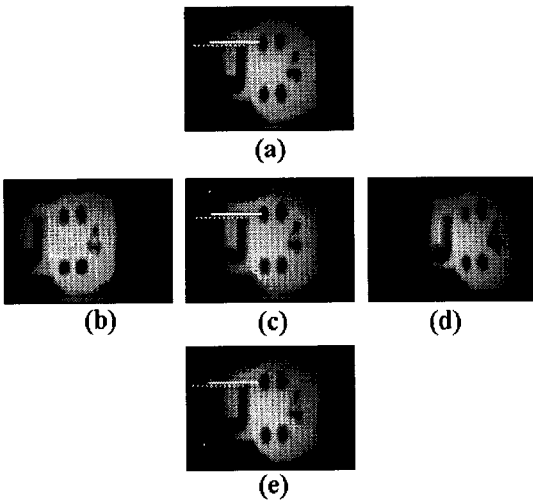


그림 7. 수직시차가 제거된 수평시차 기반의 집적 영상의 3차원 재생영상. (a) 위쪽. (b) 왼쪽. (c) 가운데 영상. (d) 오른쪽. (e) 아래쪽.

Fig. 7 Reconstructed 3-D images using integral imaging with horizontal parallax only. (a) Top view. (b) Left view. (c) Center view. (d) Right view. (e) Bottom view.

- [10] J.-S. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging with nonstationary micro-optics," Opt. Lett. 27, 324-326 (2002).
- [11] 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).
- [12] S. Yeom, A. Stern and B. Javidi, "Compression of 3D color integral images," Opt. Exp. 12, 1632-1642 (2004).

## 저자소개



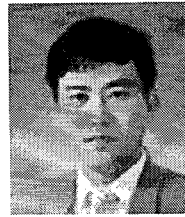
**신 동 학(Dong-Hak Shin)**

1996년 2월 부경대학교 정보통신공학과 공학사

1998년 2월 부경대학교 전자공학과 공학석사

2001년 8월 부경대학교 정보통신공학과 공학박사  
2001년 10월-2004년 8월 일본 도요하시 기술대학 연구원  
2005년 3월-현재 광운대학교 차세대 3D 디스플레이 연구센터 연구 교수

※ 관심분야: 광정보처리, 3D 디스플레이, 3D 영상처리



**권 영 만(Man, Kwon-Young)**

1983년 2월 광운대학교 전자공학과 공학사

1985년 2월 한국과학기술원 전기및 전자공학과 공학석사

2001년 8월 광운대학교 전자공학과 박사과정  
1985년 1월-1989년 7월 (주)금성정보통신 ASIC개발팀장  
1989년 7월-1992년 2월 듀폰포토마스크 CAD실 실장  
1993년 3월-현재 서울보건대학교 컴퓨터정보과 교수  
※ 관심분야: 광정보처리, 3D 디스플레이, 3D 영상처리



**김 은 수(Eun-Soo Kim)**

1978년 2월 연세대학교 전자공학과 공학사

1980년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학석사

1984년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 공학박사  
1987년 2월-1988년 8월 California Instituted Technology 전자공학과 객원교수

1992년 3월-현재 광운대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야: 3D 영상, 3D 디스플레이, 3DTV, 홀로그래피