
Synthetic aperture 집적 영상을 이용한 3D 영상 디스플레이 방법

신동학* · 유훈**

3D Image Display Method using Synthetic Aperture integral imaging

Donghak Shin* · Hoon Yoo**

요 약

Synthetic aperture 집적 영상 (SAII) 기술은 다수의 카메라를 이용하여 고해상도의 요소 영상을 획득할 수 있는 유망한 3D 이미징 기술이다. 본 논문에서는 SAII 기술을 이용하여 집적 영상 디스플레이를 수행하는 공간 3D 영상을 표시하는 방법을 제안한다. SAII로부터 얻어지는 요소 영상은 직접적으로 공간 3D 영상으로 사용될 수 없기 때문에 깊이 지도를 추출하여 새로운 디스플레이용 요소 영상으로 변환하여 공간 3D 영상을 표시한다. 제안하는 방법의 유용함을 보이기 위해서 장난감 3D 물체를 사용하여 기초적인 실험을 수행하고, 또한 공간 3D 영상이 구현된 실험 결과를 제시한다.

ABSTRACT

Synthetic aperture integral imaging is one of promising 3D imaging techniques to capture the high-resolution elemental images using multiple cameras. In this paper, we propose a method of displaying 3D images in space using the synthetic aperture integral imaging technique. Since the elemental images captured from SAII cannot be directly used to display 3D images in an integral imaging display system, we first extract the depth map from elemental images and then transform them to novel elemental images for 3D image display. The newly generated elemental images are displayed on a display panel to generate 3D images in space. To show the usefulness of the proposed method, we carry out the preliminary experiments using a 3D toy object and present the experimental results.

키워드

3D 디스플레이, 집적 영상, 멀티카메라, 요소 영상, 깊이 추출

Key word

3D display, integral imaging, multi camera, elemental images, depth extraction

* 정회원 : 동서대학교

** 종신회원 : 상명대학교 (교신저자, hunie@smu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 04. 09

심사완료일자 : 2012. 05. 09

I. 서 론

최근 상용화된 안경식 3D 디스플레이와는 달리 무안경식 3D 디스플레이에 대한 관심이 매우 높아지면서 다양한 디스플레이 기술들이 개발되어 왔다 [1]. 그 중에서 집적 영상 (integral imaging) 기술은 간단한 시스템 구조, 컬러 영상 표현, 무안경 방식, 완전 시차 등의 다양한 장점 때문에 차세대 3D 디스플레이 기술로 생각하여, 많이 연구되고 있다 [2-11]. 집적 영상 기술은 1908년에 Lippmann에 의해 처음으로 제안되었으며 [2] 그 기본 원리는 그림 1과 같다. 집적 영상 기술은 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 픽업 부분과 디스플레이 부분이다. 집적 영상의 픽업 부분은 3D 물체에서 발생하는 빛의 세기 및 방향 정보를 렌즈 어레이와 영상 검출기를 이용하여 영상을 기록한다. 이렇게 기록된 영상을 2차원 요소 영상이라 부른다. 이에 반해 집적 영상의 디스플레이 부분은 픽업 부분에서 기록된 2차원 요소 영상을 LCD와 같은 영상 디스플레이 장치에 표시하여 렌즈 어레이를 통과시켜서 공간 3D 영상을 재생한다. 따라서 관측자는 렌즈 어레이 앞에 재생된 공간 3D 영상을 보게 된다. 그러나, 이러한 간단한 원리에도 불구하고 극복해야 할 여러 가지 문제점이 있다. 예를 들면, 좁은 시야각, 낮은 해상도, 깊이 역전 문제 등이 있다.

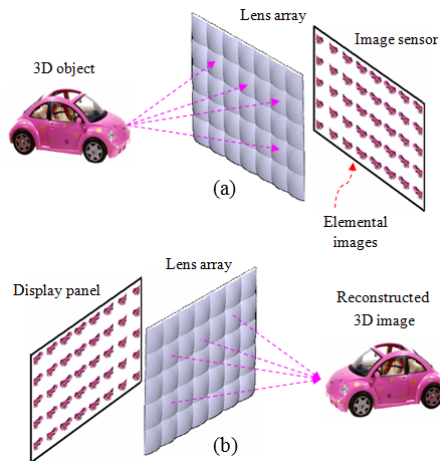


그림 1. 집적 영상의 구성도
 (a) 픽업 부분 (b) 디스플레이 부분
 Fig. 1 Configuration of integral imaging
 (a) Pickup (b) Display

집적 영상의 해상도 문제를 극복하기 위해서 최근 synthetic aperture integral imaging (SAII)이란 기술이 제안되었다 [12-15]. 이 방법은 기존의 집적 영상 기술의 픽업 부분에서 얻어지는 요소 영상의 해상도를 급격히 높일 수 있는 방법으로 컴퓨터적 집적 영상 기술에 많이 사용되고 있다. SAII 기술은 고해상도의 카메라를 상하좌우로 일정하게 이동시키면서 많은 요소 영상을 얻는 방법이다. 높은 해상도의 요소 영상 때문에 깊이 지도 추출, 패턴인식, 3D 물체 추적과 같은 다양한 응용분야에 현재 이용되고 있다.

본 논문에서는 SAII 기술에 기초하여 추출한 깊이 지도를 이용하여 집적 영상의 디스플레이 시스템을 통하여 공간 3D 영상을 표시하는 방법을 보고한다. 사실 SAII 방법으로 얻어진 고해상도 요소 영상은 광학적 디스플레이 시스템에 직접적으로 사용될 수 없기 때문에 디스플레이용 요소 영상으로 변환되어야 한다. 본 논문에서는 이런 변환 과정을 위하여 SAII로 얻어진 요소 영상에 대해서 깊이 지도를 추출하여 새로운 디스플레이용 요소 영상을 생성하는 방법을 제안한다. SAII를 이용하여 깊이 지도를 추출하는 방법은 저자 그룹에서 이전에 개발한 slice 영상 기반의 깊이 추출법을 사용하며 깊이 지도 영상과 컬러 영상을 제작한다 [16]. 추출된 두 영상을 사용하여 2차원 영상을 컴퓨터를 활용하여 합성하고, 집적 영상 디스플레이 장치에 표시하여 공간 3D 영상을 얻는다. 제안하는 방법의 유용함을 검증하기 위하여 기본적인 실험을 수행하고 그 결과를 보고한다.

II. SAII를 사용하는 3D 영상 디스플레이

그림 2는 본 논문에서 제안하는 SAII를 이용한 집적 영상 디스플레이 기술에 대한 구성도이다. 구성도는 크게 SAII 픽업과정, 깊이 지도 추출 과정, 요소영상 제작과정, 집적 영상 디스플레이 과정의 4과정으로 구성된다.

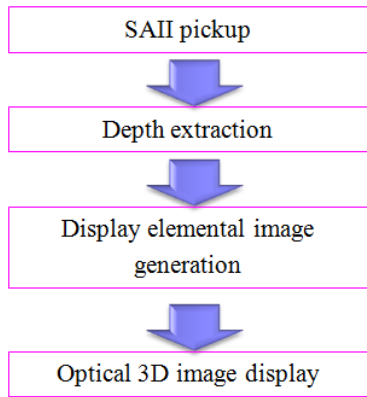


그림 2. SAII를 이용한 집적 영상 디스플레이 기술의 흐름도

Fig. 2 Flowchart of integral imaging display using SAII

2.1. SAII 픽업과정

SAII 기술은 다수의 카메라를 이용하여 고해상도의 요소 영상을 획득할 수 있는 유망한 3D 이미징 기술로 알려져 있다. 본 논문에서는 3D 물체를 획득하기 위하여 SAII 기술을 사용한다. 그림 3은 SAII의 픽업 과정이다. 그림 3에서 보이듯이 상하좌우로 배치된 카메라 어레이로 구성되며, 3D 물체는 카메라 어레이 앞에 놓여 있다 [14]. 각각의 카메라는 높은 해상도의 영상을 기록하며, 이 영상들의 조합이 집적 영상에서 요소 영상이 된다.

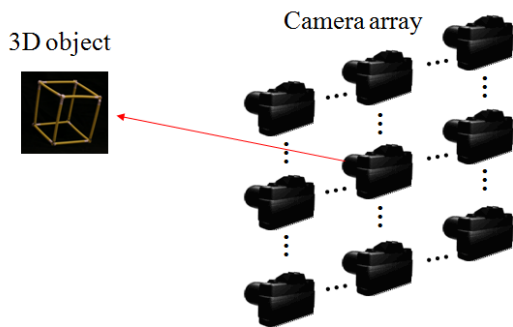


그림 3. SAII의 픽업 시스템
Fig. 3 Pickup system of SAII

2.2. 깊이 지도 추출 과정

본 논문에서 사용하는 깊이 지도 추출 기술은 저자들이 이전에 제안한 방법을 사용하였다 [16]. 이는 그림 4에 나타내었다. 즉, SAII 픽업 과정에서 얻어진 요소 영

상들을 이용하여 컴퓨터 집적 영상 복원 (computational integral imaging reconstruction: CIIR) 기법을 이용하여 깊이에 따른 slice 영상을 컴퓨터를 이용하여 계산하고, 요소 영상의 한 가운데 영상을 기준 영상으로 설정한다. 그리고 깊이에 따라 얻어진 slice 영상들과 기준 영상들 사이에 블록 정합(block matching)을 수행하여 가장 상관관계가 높은 거리를 추출하여 깊이 지도를 제작하였다. 전체 구현 알고리즘은 참고논문 [16]에 상세히 기술되어 있다. 얻어진 깊이 지도 영상과 기준 영상은 다음 단계인 요소 영상 제작을 위하여 컴퓨터에 저장한다.

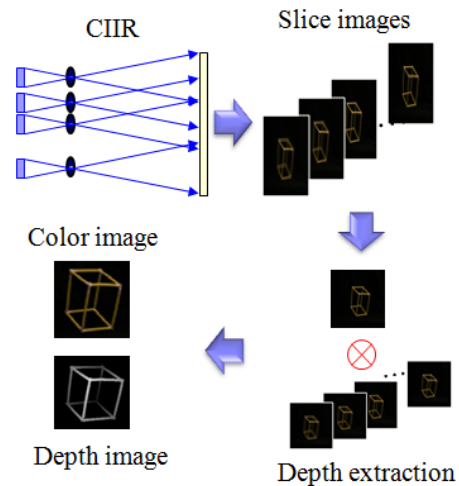


그림 4. SAII의 요소 영상으로부터 깊이 지도 추출 과정
Fig. 4 Depth-map extraction from elemental images of SAII

2.3. 요소 영상 제작

그림 5는 2.2장에서 추출한 깊이 지도 영상과 기준 컬러 영상을 이용하여 집적 영상 디스플레이를 위한 새로운 디스플레이용 요소 영상을 제작하는 과정을 보여준다. 본 논문에서 사용하는 요소 영상 제작 방식은 깊이 지도 영상에 대응하는 컬러 영상들을 깊이 채널별로 분리한다. 예를 들면 깊이 지도가 256레벨을 가진다면, 깊이 레벨에 따라서 컬러 영상이 256개로 분할된다. 이렇게 분할된 영상을 깊이 분할 영상이라고 한다. 깊이 지도 영상과 컬러 영상을 각각 $D(x,y)$ 와 $C(x,y)$ 라고 하자. 그러면 n 번째의 깊이 분할 영상 $S_k(x,y)$ 는 다음과 같이 쉽게 얻어질 수 있다.

$$S_k(x,y) = \begin{cases} C(x,y) & \text{if } D(x,y) = k \\ 0 & \text{Otherwise} \end{cases} \quad (1)$$

깊이 분할 영상이 얻어진 후에는 요소 영상을 제작하기 위하여 그림 5(a)와 같이 컴퓨터로 렌즈 배열을 모델링하고, 렌즈 배열의 전후로 깊이 분할 영상을 위치시킨다 [17]. 이때 모델링하고자 하는 렌즈배열은 실제 디스플레이에 사용되는 렌즈어레이의 변수들은 동일하게 하여야 한다. 렌즈배열이 구성되면, 각각의 깊이 분할 영상에 대해서 렌즈배열을 통하여 관측되는 영상을 컴퓨터에 기록하고, 모든 깊이 분할 영상에 대해서 합하여 최종 디스플레이용 요소 영상을 획득한다. 이렇게 획득된 디스플레이용 요소 영상을 그림 5(b)에 나타내었다. 각각의 작은 요소 영상은 렌즈 어레이의 작은 렌즈 하나씩으로부터 얻어진 영상들이다.

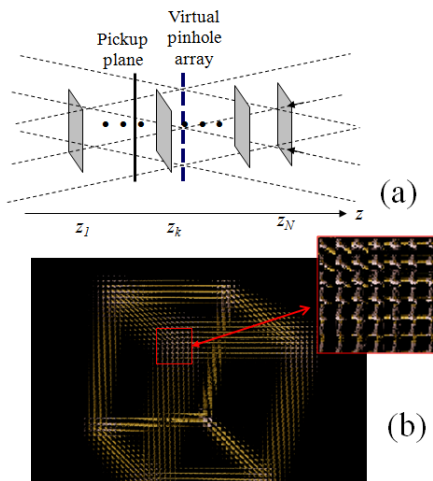


그림 5. (a) 디스플레이용 요소 영상을 얻기 위한 컴퓨터 모델 (b) 요소 영상의 예

Fig. 5 (a) Computer model to obtain elemental images for display (b) example of elemental images from the computer model

2.4. 집적 영상 디스플레이

앞장에서 얻어진 디스플레이용 요소 영상을 공간 3D 영상으로 변환하기 위해서 그림 1(b)와 같은 구조의 광학 디스플레이 장치가 필요하다. 그림 1(b)에서 디스플레이 패널에 디스플레이용 요소 영상을 표시하고 렌즈 어레이를 위치시킨다. 이때 렌즈 어레이와 패널사

이의 거리는 렌즈어레이의 기초 렌즈의 초점거리와 같다. 그러면 충분히 넓은 깊이 영역의 3D 영상을 얻을 수 있다.

III. 광학 실험 및 결과

본 논문에서 제안하는 SAII를 이용한 3D 영상 디스플레이 방식의 유용함을 보이기 위한 기초 광학 실험을 수행하였다. 실험에 사용한 3D 물체는 큐빅 모양의 장난감이다. 3D 물체의 크기는 약 10x10x10 cm³이다. 먼저 3D 물체에 대해서 SAII 기술을 이용하여 요소 영상을 기록하였다. 실험에서는 카메라 어레이대신에 하나의 카메라를 좌우로 이동하면서 각각의 위치의 영상을 저장하였다.

이렇게 생성되는 요소 영상은 고해상도 영상이기 때문에 직접적으로 디스플레이용 요소 영상으로 사용하기에 적절하지 않다. 따라서 본 논문에서처럼 깊이 지도를 이용하여 집적 영상 디스플레이에 맞도록 디스플레이용 요소 영상을 제작해야 한다. SAII 실험에 사용한 카메라는 Nikon D70이며 얻어지는 해상도는 2240x1488이다. 사용한 카메라 렌즈는 초점거리가 50 mm이고, 3D 물체가 흐림 현상이 없도록 조리개를 최소화하였다. x축과 y축으로 총 7x7 이동하여 49개의 고해상도 요소 영상을 얻었다. 이렇게 얻어진 요소 영상에 대해서 참고논문 [16]의 방법을 이용하여 깊이 지도 추출을 수행하였다.

깊이 지도 추출에 사용되는 블록의 크기는 5 픽셀로 하였다. 이때 추출된 깊이 지도 영상과 컬러 영상을 컴퓨터에 저장하였다. 실험에 사용한 큐빅 장난감에 대한 컬러 영상과 깊이 지도 영상을 그림 6에 나타내었다.

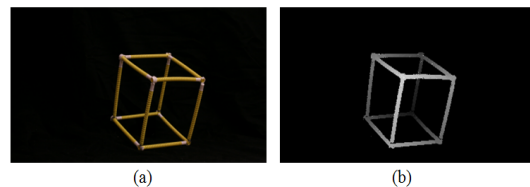


그림 6. (a) 컬러 기준 영상 (b) 추출된 깊이 지도
Fig. 6 (a) Color reference image (b) extracted depth map

그리고 그림 5(a)에서와 같이 렌즈배열의 컴퓨터 모델링으로부터 디스플레이용 요소 영상을 생성하였다. 그러면 그림 5(b)와 같은 디스플레이용 요소 영상이 얻어진다. 디스플레이용 요소 영상을 이용하여 3D 영상으로 복원하는 실험을 수행하기 위하여 그림 7과 같은 시스템을 구성하였다. 요소 영상을 표현하기 위한 디스플레이 패널로는 Iphone 4 (해상도: 960x640 pixels)을 사용하였고, 사용한 렌즈 어레이는 기초 렌즈 수가 150x150 개이며 직경이 1 mm이며, 초점거리는 5 mm이다.

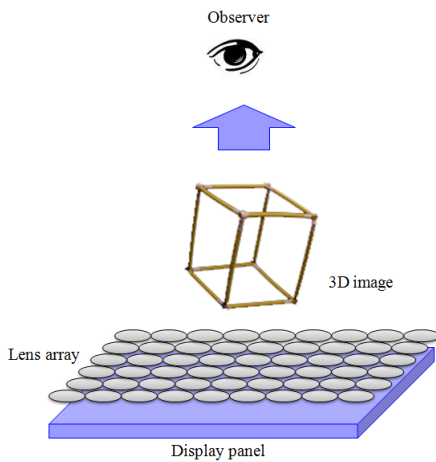


그림 7. 실험에 사용한 집적 영상 디스플레이 시스템
Fig. 7 Integral imaging display system used in our experiments

렌즈어레이와 패널사이의 거리를 초점거리와 같은 5 mm에 위치시켰으며, 디스플레이용 요소 영상을 iphone 4에 표시하여 3D 영상을 디스플레이 하였다. 관측된 3D 영상을 카메라를 이용하여 서로 다른 방향에서 기록하였다. 실험에서 관측된 3D 영상의 시야각은 약 10도 정도였으며 이 시야각은 사용한 렌즈 어레이에 의해서 결정된다.

이 실험 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림에서 보듯이 관측 각에 따라서 서로 다른 영상의 모습(빨간 선으로 표기된 폭 부분 참고)을 확인할 수 있다. 이 실험 결과는 제안하는 방식이 성공적으로 3D 영상 디스플레이가 가능함을 보여주고 있다.

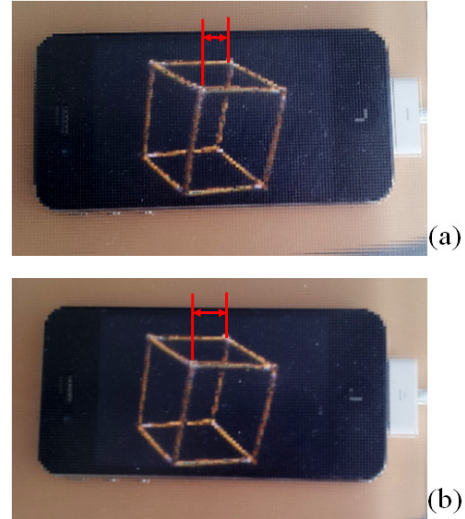


그림 8. 실험 결과 (a) 좌측에서 관측한 공간 3D 영상
(b) 우측에서 관측한 공간 3D 영상
Fig. 8 Resulting images (a) Observed 3D image in left size (b) Observed 3D image in right size

V. 결 론

본 논문에서는 SAII 기술을 이용하여 집적 영상 디스플레이를 수행하는 공간 3D 영상을 표시하는 방법을 제안하였다. SAII로부터 얻어지는 요소 영상은 직접적으로 공간 3D 영상으로 사용될 수 없기 때문에 깊이 지도를 추출하여 새로운 디스플레이용 요소 영상으로 변환하여 공간 3D 영상을 표시한다. 제안하는 방법의 유용함을 보이기 위해서 큐빅 장난감을 이용한 기초적인 실험을 수행하고, 성공적으로 공간 3D 영상이 재현됨을 보였다.

참고문헌

- [1] B. Javidi and F. Okano, Three-dimensional television, video, and display technology. Berlin Heidelberg NY: Springer-Verlag, 2002.
- [2] G. Lippmann, "La photographie integrale," Comptes-rendus Academie des Sciences 146, pp. 446-451, 1908.

- [3] 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(7), pp. 1598-1603, 1997.
- [4] B. Lee, S. Jung, S.-W. Min, and J.-H. Park, "Three-dimensional display by use of integral photography with dynamically variable image planes," *Opt. Lett.* Vol. 26(19), pp. 1481-1482, 2001.
- [5] J.-S. Jang and B. Javidi, "Improved viewing resolution of three-dimensional integral imaging by use of nonstationary micro-optics," *Opt. Lett.* Vol. 27(5), pp. 324-326, 2002.
- [6] D.-C. Hwang, J.-S. Park, S.-C. Kim, D.-H. Shin, and E.-S. Kim, "Magnification of 3D reconstructed images in integral imaging using an intermediate-view reconstruction technique," *Appl. Opt.* Vol. 45(19), pp. 4631-4637, 2006.
- [7] S.-H. Hong and B. Javidi, "Improved resolution 3-D object reconstruction using computational II with time multiplexing," *Opt. Express* Vol. 12(19), pp. 4579-588, 2004.
- [8] Y. Kim, J.-H. Park, H. Choi, J. Kim, S.-W. Cho, and B. Lee, "Depth-enhanced three-dimensional integral imaging by use of multilayered display devices," *Appl. Opt.* Vol. 45(18), pp. 4334-4343, 2006.
- [9] J.-B. Hyun, D.-C. Hwang, D.-H. Shin, and E.-S. Kim, "Curved computational integral imaging reconstruction technique for resolution-enhanced display of three-dimensional object images," *Appl. Opt.* Vol. 46(31), pp. 7697-7708, 2007.
- [10] J.-H. Park, J.-H. Kim, and B.-H. Lee, "Three-dimensional optical correlator using a sub-image array," *Opt. Express* Vol. 13(13), pp. 5116-5126, 2005.
- [11] B.-G. Lee, H.-H. Kang, and E.-S. Kim, "Occlusion removal method of partially occluded object using variance in computational integral imaging," *3D Res.* vol. 1(2), pp. 21-25, 2010.
- [12] J. S. Jang and B. Javidi, "Three-dimensional synthetic aperture integral imaging," *Opt. Lett.* Vol. 27, pp. 1144-1146, 2002.
- [13] Y. S. Hwang, S. -H. Hong, and B. Javidi, "Free view 3-D visualization of occluded objects by using computational synthetic aperture integral imaging," *J. Display Technol.* Vol. 3, pp. 64-70, 2007.
- [14] B. Tavakoli, M. Daneshpanah, B. Javidi, and E. Watson, "Performance of 3D integral imaging with position uncertainty," *Opt. Express* Vol. 15, pp. 11889-11902, 2007.
- [15] D. Shin, M. Daneshpanah, and B. Javidi, "Generalization of three-dimensional N-ocular imaging systems under fixed resource constraints," *Opt. Lett.* Vol. 37, pp. 19-21, 2012.
- [16] J.-J. Lee, B.-G. Lee, and H. Yoo, "Depth extraction of three-dimensional objects using block matching for slice images in synthetic aperture integral imaging," *Appl. Opt.* Vol. 50, pp. 5624-5629, 2011.
- [17] D.-H. Shin, S.-H. Lee and E.-S. Kim, "Optical display of ture 3D objects in depth-priority integral imaging using an active sensor," *Opt. Commun.* Vol. 275, pp. 330-334, 2007.

저자소개

신동학(Dong-Hak Shin)

한국정보통신학회 논문지
제12권 제12호 참조

유 훈(Hoon Yoo)

한국정보통신학회 논문지
제15권 제5호 참조