

# 하나의 카메라를 이용한 인터랙티브 3D 집적 영상 시스템

정회원 신 동 학\* , 종신회원 김 은 수\*\*

## Interactive 3D Integral Imaging System using Single Camera

Dong-Hak Shin\* *Regular Member*, Eun-Soo Kim\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

최근 무안경식 3D 디스플레이 방법으로 잘 알려진 3D 집적 영상 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이 3D 집적 영상 기술은 연속적인 시점, 완전 시차와 풀 칼라 영상을 공중에 표현하는 유망한 기술이다. 본 논문에서는 한 대의 카메라를 이용한 새로운 형태의 인터랙티브 3D 집적 영상 시스템을 제안한다. 이 장치는 기존의 3D 집적 영상 디스플레이 시스템에 단순한 한 대의 카메라를 추가적으로 사용하여 유저 인터페이스가 구현될 수 있다. 제안하는 시스템의 가능성을 보이기 위해서, 실험적인 장치 구현을 수행하고 기초적인 실험 결과를 보고한다. 우리가 아는 한 제안하는 방법은 3D 집적 영상 시스템에 최초로 인터랙션 기능을 추가한 것이다.

**Key Words** : 3D display, Human computer interaction, Lens array, Elemental images, Finger detection

### ABSTRACT

Recently, 3D integral imaging system, which is well known as an auto-stereoscopic 3D display method, has been gaining great attention amongst researchers. The integral imaging is a promising 3D display technology since it is able to deliver continuous viewing points, full parallax, and full color view to the observers in space. In this paper, we propose a novel interactive 3D integral imaging system using a single camera. The user interface is implemented by adding a camera in the conventional integral imaging system. To show the possibility of the proposed system, we implement the optical setup and present the preliminary results. To our best knowledge, this is the first time to study an interactive 3D integral imaging.

### I. 서 론

3D 입체 영상 디스플레이 기술은 주로 홀로그래피(holography)나 스테레오스코피(stereoscopy) 방식에 기초하여 오랫동안 연구되어 왔다<sup>1-4</sup>. 이 중, 홀로그래피는 이상적인 3D 입체 영상 디스플레이 방식으로 알려져 있으나 암실과 코히어런트(coherent) 광원이 요구되고, 비교적 먼 거리에 있는 큰 물체의 홀로그램 합성 및 재생이 어렵다. 한편, 스테레오스코피 방식은 양안시차를 갖는 두개의 2D 영상을 사람의 양쪽 눈에 각각 분리시켜 보여줌으로써 입체

감을 유발시키게 된다. 이 방식은 2개의 평면 영상을 사용함으로써 구현이 간단하고 높은 해상도와 큰 깊이감을 갖는 3D 영상 디스플레이를 할 수 있지만 영상을 보는 눈의 수렴각과 초점 사이에 불일치가 존재하여 시각 피로감이 커질 수 있으며, 시점도 불연속적으로 주어진다.

최근 스테레오스코피 방식의 단점을 피하기 위하여 3D 집적 영상(integral imaging)에 대한 연구가 활발히 수행되고 있다<sup>5-8</sup>. 이 집적 영상은 연속적인 시점과 수평수직 시차를 모두 갖는 입체영상을 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이 집적 영상

※ 본 연구는 지식경제부 및 정보통신진흥원의 대학 IT연구센터 육성·지원사업(IITA-2008-C1090-0801-0018)에 의하여 수행되었습니다.

\* 동서대학교 영상콘텐츠학과 (shindh2@dongseo.ac.kr), \*\* 광운대학교 차세대 3D 디스플레이 연구센터(eskim@kw.ac.kr)

논문번호 : KICS2008-07-314, 접수일자 : 2008년 7월 15일, 최종논문접수일자 : 2008년 9월 11일

기술을 3D 물체의 표면 추출, 깊이 정보 추출 및 물체 인식 등의 여러 가지 응용 분야에 적용하고, 광학적 집적 영상 재생 방법의 단점을 극복하기 위해서 컴퓨터를 이용한 집적 영상 재생 방법이 활발하게 연구되고 있다<sup>[9-12]</sup>. 이 컴퓨터 집적 영상 재생 (CIIR: computational integral imaging reconstruction) 방법은 렌즈 배열의 각 요소 렌즈의 기하 광학적 원리를 컴퓨터를 이용하여 모델링함으로써 컴퓨터적 으로 3D 정보를 재생하는 방법이다.

한편, 보다 현실감 있는 컴퓨터와의 인터랙션을 위하여 3D 입체 영상 디스플레이 장치와 연동한 인터랙션 디바이스에 대한 연구가 최근 활발히 진행되고 있다<sup>[13-16]</sup>. 이는 기존의 2D 평면 디스플레이 환경에서 벗어나 실제의 3D 입체 공간 환경을 인간에게 제공하고자 하는 것이다. 따라서 이러한 환경 구성을 위하여 컴퓨터 영상처리 기술에 3D 비전 분야의 기술을 많이 활용하고 있다. 이 기술은 경제적 이면서도, 정밀도 또한 높은 인터랙션 시스템 환경 구축이 가능하다는 장점이 있기 때문이다.

본 논문에서는 3D 집적 영상 기술에 새로운 형태의 인터랙션 기능을 수행할 수 있는 방법을 연구하였다. 즉 기존의 집적 영상 시스템에 간단히 한 대의 카메라를 추가적으로 사용하여 새로운 형태의 인터랙티브 3D 집적 영상 시스템을 제안한다. 우리가 아는 한 제안하는 시스템은 처음으로 집적 영상 기술에 인터랙션을 수행하는 시스템이다. 이 장치는 기존의 3D 집적 영상 디스플레이 시스템에 단순한 한 대의 카메라를 추가적으로 사용하여 유저 인터페이스가 구현된다. 제안하는 시스템의 유용함을 보이기 위해서, 실험적인 장치 구현을 수행하고 유저의 손가락을 인식하는 기초적인 실험 결과를 보고한다.

## II. 3D 집적 영상 시스템

### 2.1 집적 영상 기술의 원리

3D 집적 영상 기술은 일반적으로 그림 1과 같이 픽업 (pickup) 과정과 디스플레이 (display) 과정으로 나눈다<sup>[5-7]</sup>. 집적 영상의 픽업 과정에서는 3D 물체 정보를 렌즈 배열과 영상검출기를 이용하여 2D 요소 영상으로 기록한다. 그리고 디스플레이 과정에서는 픽업과정에서 얻어진 2D 요소 영상을 디스플레이 장치에 표현한 후 이들을 다시 렌즈 배열을 통과시켜 3D 영상으로 재생한다. 그림 1(a)에서 픽업되는 2D 요소 영상은 3D 물체에 대해서 각각의

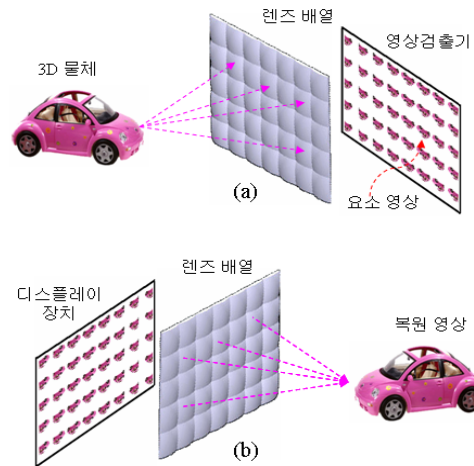


그림 1. 집적 영상 기술 (a) 픽업 (b) 디스플레이

작은 렌즈를 통해서 얻은 작은 영상들의 조합이다. 따라서 요소 영상의 수는 렌즈 배열의 개수와 같다.

### 2.2 프로젝터를 이용한 집적 영상 디스플레이 방식

집적 영상 기술의 광학적 구현 방식에는 다양한 방법이 제안되었다. 그림 1(b)과 같은 구조는 렌즈 배열과 평면 디스플레이가 가깝게 놓여서 3D 영상을 재생하는 가장 단순한 형태이고 가장 일반적이다. 하지만, 렌즈 배열과 평면 디스플레이의 픽셀 사이에 정확한 매칭에 대한 하드웨어적인 문제점이 있다. 이에 반해서 그림 2는 프로젝터를 이용하여 투과형 디스플레이를 구현하는 구조이다. 집적 영상의 요소영상은 프로젝터에 표시되어 렌즈 배열의 앞에 위치한 반투명 스크린에 투사되어 진다. 그러면 반투명 스크린을 통과한 요소영상이 렌즈 배열을 통과하여 3D 영상을 재생한다.

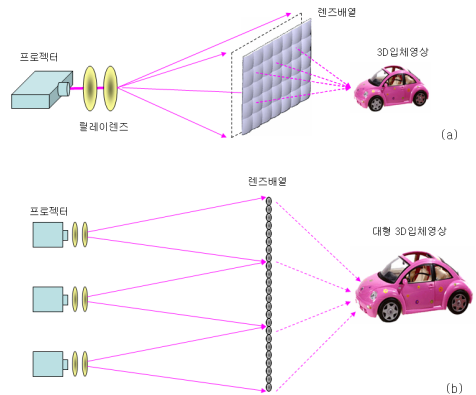


그림 2. (a) 한 대의 프로젝터를 이용한 집적 영상 디스플레이 시스템 (b) 다수의 프로젝터를 이용하는 시스템

일반적으로 프로젝터를 이용하는 투과형 디스플레이는 실험을 용이하게 할 수 있는 장점이 있다. 앞에서 설명한 평판 디스플레이 패널에서 사용하는 방식에서는 렌즈배열과 평판 디스플레이 패널의 픽셀들과의 매칭이 매우 중요한 관건이다. 즉 하나의 렌즈릿에 패널의 그룹 픽셀들이 정확하게 매칭이 되어야하는 어려운 정렬의 문제점이 있다. 그러나 프로젝터를 이용하는 투과형 디스플레이에서는 반투명 스크린에 요소영상을 자유롭게 조절하여 투사시킬 수 있기 때문에 구현이 훨씬 용이하다.

또한 프로젝터를 이용하는 투과형 디스플레이 시스템은 큰 대화면 집적 영상 시스템의 구현이 용이하다. 여러 대의 프로젝터를 그림 2(b)와 같이 일렬로 나열하면서 요소영상을 분할하여 투사할 수 있기 때문이다. 이 프로젝터를 이용하는 반사형 디스플레이 역시 구현이 가능하다<sup>7)</sup>.

### III. 인터랙티브 3D 집적 영상 시스템

#### 3.1 시스템 구조

그림 3은 본 논문에서 제안하는 인터랙티브 3D 집적 영상 시스템의 구성도를 보여준다. 제안하는 시스템은 그림 2의 프로젝터를 이용한 집적 영상 시스템의 구조를 가지며, 유저 인터랙션을 위한 사용자의 손가락 위치 파악을 위한 하나의 카메라를 추가적으로 사용하는 구조이다. 추가된 카메라는 사용자의 손가락을 검출하기 위한 것이며, 렌즈배열을 통한 영상을 찍을 수 있는 위치에 적절히 배치 가능하다. 본 논문에서는 카메라를 프로젝터 근처에 위치시킨다.

제안하는 시스템의 동작 원리를 자세히 설명하기 위하여 그림 3에서와 같이 2 가지의 동작 모드로

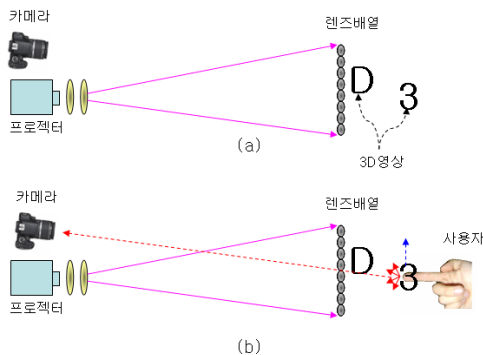


그림 3. 제안하는 인터랙티브 3D 집적 영상 시스템 (a) 영상 디스플레이 모드 (b) 인터랙션 모드

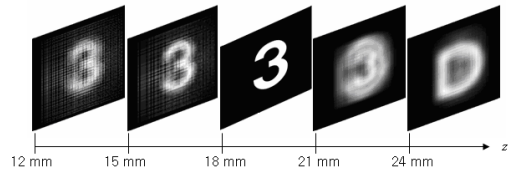


그림 4. 거리에 따른 3D 재생 영상의 예

분류한다. 첫 번째 동작 모드는 그림 3(a)에 보여진 3D 영상 디스플레이 모드이고, 다른 동작모드는 그림 3(b)에 보여진 3D 인터랙션 모드이다. 3D 영상 디스플레이 모드에서는 2.1 장에서 설명한 집적 영상의 디스플레이 원리를 이용하여 렌즈 배열 앞의 공간에 3D 영상을 표시한다. 집적 영상의 기술로 3D 영상을 만들게 되면, 3D 영상이 표시되는 거리에서는 선명한 영상이 나타나고 그 외에 거리에서는 흐려진 영상이 나타나게 된다. 예를 들면 그림 4에서와 같이 ‘3’ 영상이 18 mm에 표현하고자 한다면 18 mm에서는 렌즈 배열을 통한 레이들이 정확하게 모여서 세기 값이 큰 선명한 영상이 얻어지고, 다른 거리에서는 그 레이들이 퍼지게 되어 전체적으로 흐린 영상이 되면서 그 세기 값도 작아지게 된다.

다음으로 3D 영상 디스플레이 모드에서 재생된 영상에 대해서 사용자의 인터랙션을 감지하는 3D 인터랙션 모드를 수행한다. 그림 3(b)와 같이 사용자의 손가락이 어떤 특정한 공간의 3D 영상을 선택하게 되면, 이때 그림 4의 설명과 같이 재생된 3D 영상의 세기 값은 제일 높기 때문에 사용자의 손가락에 의해서 산란되는 빛들이 발생하게 된다. 이 산란된 빛들은 역으로 다시 렌즈 배열을 통하여 카메라에 요소 영상으로 기록되어지게 된다. 이렇게 찍힌 요소 영상을 유저 요소 영상이라고 부르자. 이 유저 요소 영상을 기초로 하여 정확한 사용자의 손가락 끝부분의 위치를 컴퓨터적으로 복원해 낼 수 있다.

#### 3.2 3D 인터랙션을 위한 유저 인터페이스

본 논문에서 제안하는 3D 집적 영상 시스템의 올바른 인터랙션 동작을 위해서는 공간에 표현된 3D 영상과 사용자 사이의 인터랙션을 위한 인터페이스를 구현하여야 한다. 이 인터페이스 방식을 구현하기 위해서 작업 순서도는 그림 5와 같다.

본 논문에서 사용하는 인터페이스의 첫 과정은 유저 요소 영상의 획득이다. 그림 3(b)에서 보여지듯이 사용자의 손가락이 공중에 맺혀진 3D 영상을

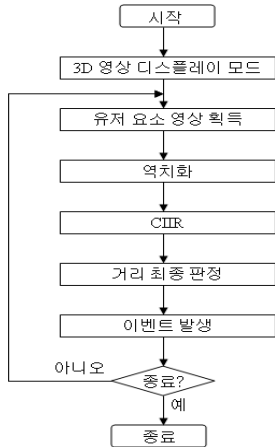


그림 5. 유저 인터페이스 방식

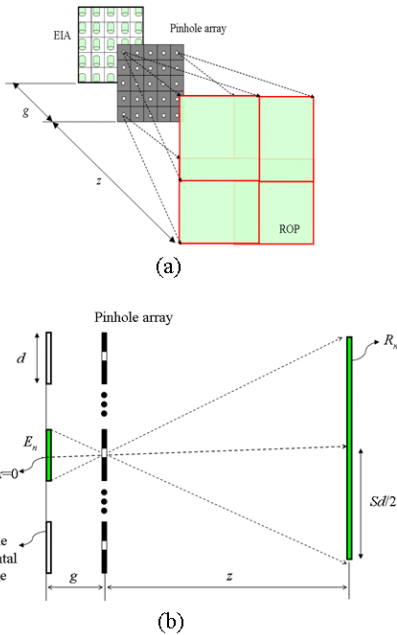


그림 6. CIIR의 원리 (a) 개념도 (b) 레이 해석

선택하게 될 때 손가락에 의해 반사되는 빔을 요소 영상으로 기록하여 얻게 된다. 이 유저 요소 영상에서 정확한 거리를 측정하기 위해서 컴퓨터 집적 영상 복원 (CIIR)의 방법을 사용한다<sup>13-16</sup>. CIIR 방법의 원리는 그림 6과 같다.

그림 6(a)에서 보여지듯이 CIIR 방법에서는 요소 영상으로부터 3D 영상을 복원하기 위해서 가상의 핀홀 배열을 거리가  $g$ 인 위치에 배치시키고, 복원하고자 하는 거리  $z$ 의 위치에 요소 영상을 확대 중첩하여 3D 영상을 획득하는 방식이다. 보다 자세한 해석을 위해 그림 6의 레이 해석을 참고하자.

먼저 해석의 편의를 위해 1차원만 고려한다.  $M$ 개의 요소 영상이 가상의 핀홀배열과  $g$ 의 거리에 위치한다고 하자. 이때  $n$ 번째의 요소 영상을  $E_n(x)$ 로 나타내고, 거리  $z$ 에서 재생되는 영상  $R_n(x,z)$ 로 표현한다. 여기서  $n=-M/2$ 에서  $M/2$ 의 범위를 가진다. 그림 3(b)에서 보여지듯이  $R_n$ 은 요소 영상  $E_n$ 으로 표현을 하면 다음과 같다. 즉

$$R_n = \frac{1}{S} E_n \left( nd - \frac{x - nd}{S} \right)$$

for  $d(n - \frac{S}{2}) \leq x \leq d(n + \frac{S}{2})$  (1)

여기서  $d$ 는 요소영상의 길이이고,  $S$ 는  $z/g$ 이다. 일반적으로  $S$ 를 요소 영상의 확대계수라고 한다. 그러면 최종적으로 얻어지는 3D 영상은 모든 요소 영상들의 중첩의 합이기 때문에 다음과 같이 표현된다.

$$R(x,z) = \sum_{n=-M/2}^{M/2} R_n(x,z)$$
 (2)

여기서  $S > 1$  이상인 경우에 서로서로 중첩이 발생하고, 출력영상의 균일한 특성을 얻기 위해서는 정규화 과정을 사용할 수 있다<sup>12</sup>. 이와 같이 CIIR로부터 거리에 따른 서로 다른 3D 영상들을 얻을 수 있으며, 그림 4와 같은 예의 결과를 쉽게 얻을 수 있다.

따라서 이 CIIR 방법을 이용하여 유저 요소 영상에 대해서 실험을 수행하게 되면 사용자의 손가락의 위치가 정확하게 얻어질 수 있다<sup>8,17</sup>. 이렇게 얻어진 손가락의 거리 정보를 이용하여 인터랙션을 위한 이벤트를 발생시킨다. 최종적으로 사용자가 종료 버튼을 원할 때까지 이 과정은 반복적으로 수행된다.

#### IV. 실험 및 결과

제안하는 인터랙티브 3D 집적 영상 시스템의 구현 가능성을 보이기 위해서 기초적인 실험을 수행하였다. 먼저 전체 구현된 광학적 시스템은 그림 7에 나타내었다. 실험에 사용한 렌즈 배열은  $51 \times 51$ 의 렌즈로 구성되어 있고 각 렌즈릿의 초점거리는  $f=5$  mm이고 직경은 약 1 mm이다. 3D 영상으로는 글자 '3'과 'D'를 집적 영상 기법으로 표현하기 위해서 먼저 요소 영상을 생성하였다<sup>12</sup>. 이 글자 '3'은 렌즈 배열로부터 18 mm에, 글자 'D'는 6 mm에 각각 생성되도록 요소 영상을 제작하였다. 생성

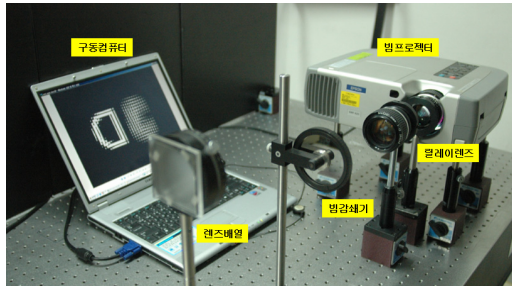


그림 7. 3D 집적 영상 시스템의 광학적 구성도

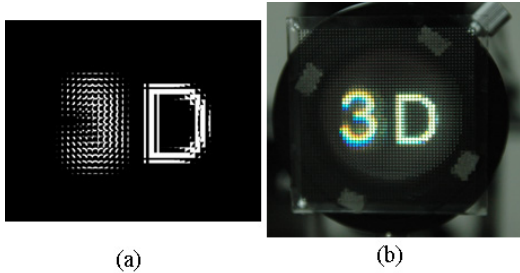


그림 8. (a) 제작된 요소영상 (b) 복원된 3D 영상



그림 9. 손가락 검출을 위한 광학적 구성도

된 요소 영상을 그림 8(a)에 나타내었다. 그림 8(a)의 요소 영상을 프로젝터에 표시하고 렌즈 배열을 통과하여 3D 영상을 공중에 생성하였다. 그 생성된 실제 3D 영상의 실험 결과를 그림 8(b)에 나타내었다. 그림에서 보여지 듯이 올바르게 글자 '3'이 표현되며, 렌즈 배열로부터 약 18 mm에 재생되었다.

이렇게 재생된 영상 중에 글자 '3'의 영상에 대해서 손가락을 지지하는 실험을 수행하였다. 먼저 손가락이 '3'의 글자를 지지하는 동안에 디지털 카메라를 이용하여 렌즈배열을 통해서 얻어지는 영상을 유저 요소 영상으로 기록하였다. 그림 9는 실제 실험을 위해 디지털 카메라가 추가된 광학 실험 구성도를 보여준다. 그리고 그림 10(a)는 실제 사람이 렌즈배열 근처에서 글자 '3'의 영상을 지지 했을 때 렌즈 배열을 통해서 얻어지는 유저 요소 영상을 보여준다. 그리고 빠른 계산을 위해 얻어진 유저 요소

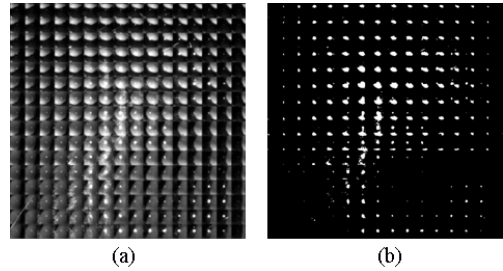


그림 10. 손가락 영상에 대한 유저 요소 영상 (a) 역치화 전 (b) 역치화 후

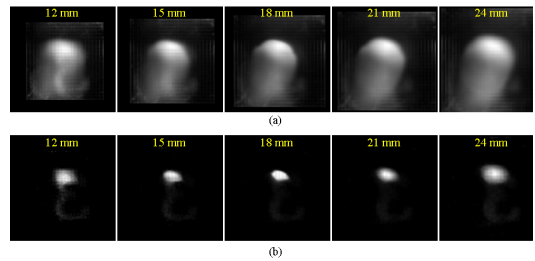


그림 11. CIIR의 재생 영상 (a) 그림 10(a)를 이용한 경우 (b) 그림 10(b)를 이용한 경우

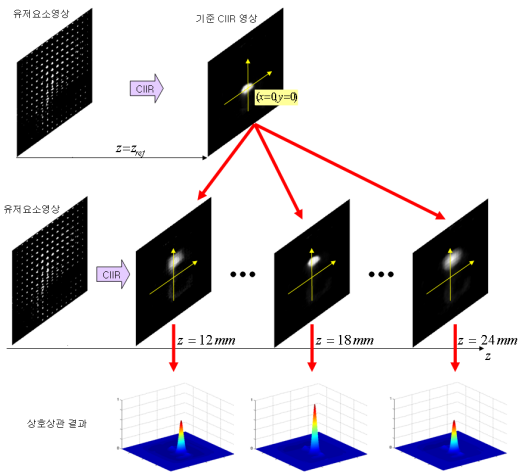


그림 12. CIIR의 재생 영상을 이용한 손가락 위치 검출 방법

영상을 역치화하였다. 역치화된 유저 요소 영상을 그림 10(b)에 나타내었다.

다음으로 실험에서 얻어진 유저 요소 영상을 이용하여 손가락의 거리 측정 실험을 수행하였다. 거리 측정을 위해서는 3.2장에서 설명한 CIIR 방법을 이용하였으며, 거리에 따라 재생되는 영상들의 실험 결과를 그림 11에 보였다. 이들 CIIR 영상을 이용하여 손가락의 정확한 위치 및 거리를 측정하기 위해서 참고 논문 [8]의 상관기 구조를 이용하여 사용자의 정확한 손가락 위치를 계산하였다. 보다 자세한

히 설명을 위해 그림 12의 실험을 고려하자. 먼저 그림 12(a)에서 보여지 듯이 사용자의 손가락에 대한 기준 유저 요소 영상을  $z_{ref}$ 의 위치에 두고 획득하고, 이 유저 요소 영상의 CIIR 영상을 계산한다. 이를 기준 CIIR 영상  $R_{ref}(x, y)$ 라 하자. 그러면,  $z_{ref}$ 에서 재생된 기준 CIIR 영상의 무게 중심점을 ( $x=0, y=0$ )의 기준점으로 사용한다. 이 기준 CIIR 영상을 컴퓨터에 저장하고, 그림 12(b)와 같이 사용자의 임의의 유저 요소 영상을 획득하고 이를 임의의 거리에 따라 CIIR 영상을 재생하게 한다. 이때  $z$  거리에서 재생되는 CIIR 영상  $R_z(x, y)$ 와 미리 저장된 기준 CIIR 영상  $R_{ref}(x, y)$  사이의 상호상관(cross-correlation)을 수행하며, 이는 다음과 같이 표현된다.

$$c_z(x, y) = R_z(x, y) \otimes R_{ref}(x, y) \quad (3)$$

여기에서  $\otimes$ 는 상호상관을 의미한다. 이 상호상관의 결과에서 그 세기 값이 최대가 되는 곳의 ( $x, y$ )의 좌표 값을 계산한다. 그림 12(c)는 상호상관 결과의 예를 보여준다. 기준 CIIR 영상과 가장 유사한 영상에서 높은 세기 값이 검출되기 때문에 여기서  $z$ 의 값을 획득하며, 이때의 CIIR 영상에서 최대 세기 값이 기준점 ( $x=0, y=0$ )으로부터 떨어진 정도를 계산하여 최종적인 ( $x, y, z$ )의 좌표 값을 얻는다. 예를 들면, 그림 11의 실험 결과에서 알 수 있듯이 손가락 모양의 가장 선명한 영상이 18 mm에서 얻어졌으며, 이 CIIR 영상의 상호상관 결과에서 최대 세기 값은 ( $x, y$ )=(3 mm, 15 mm)에서 얻었다. 따라서 손가락의 최종적인 공간 위치는 ( $x=3$  mm,  $y=15$  mm,  $z=18$  mm)가 되며, 이 위치에서 인터랙션을 수행하게 된다.

이 실험 결과로부터 본 논문에서 제안하는 인터랙션 집적 영상 시스템에 구현을 위한 유저 인터페이스 부분의 구현 원리를 성공적으로 데모하였다. CIIR을 이용하여 정확한 손가락의 위치를 검출하여 실시간적인 프로세서를 통해서 컴퓨터와의 인터페이스를 수행한다면 전체적인 시스템이 최종적으로 구현될 것으로 기대하며, 향후 실시간 인터랙션 시스템을 위한 지속적인 연구를 수행하고자 한다.

## V. 토의 및 결론

사실 본 논문에서 손가락 위치 검출 실험은 기준 영상을 이용하여 손가락의 위치를 검출하는 상호

상관 방식을 사용하였으나 이 방식의 응용은 매우 제한적이기 때문에 기준 영상을 사용하지 않고 CIIR 영상으로부터 흐려짐 정도 검출 방법과 같은 직접적으로 위치를 실시간으로 검출하는 방법이 사용되어야 진정한 인터랙티브 3D 디스플레이 시스템이 가능하며, 다양한 검출 알고리즘에 대해서 연구가 향후 요구된다.

결론적으로 본 논문에서는 3D 집적 영상 기술에 새로운 형태의 인터랙션 기능을 수행할 수 있는 시스템을 제안하고 실험하였다. 제안하는 시스템은 기존의 집적 영상 시스템에 간단히 한 대의 카메라를 추가적으로 사용하여 새로운 형태의 인터랙티브 3D 집적 영상 시스템을 구현할 수 있었다. 이 시스템은 집적 영상 시스템을 이용하여 3D 영상을 공중에 재생하는 시스템과 이 3D 영상에 대해서 손가락 위치 인식을 사용하는 유저 인터페이스로 구성되어 있으며, 사용자가 손가락을 이용하여 공간에 위치한 3D 영상에서 원하는 영역을 지시하여 인터랙션을 효과적으로 수행할 수 있다. 제안하는 시스템의 가능성을 보이기 위해서, 실험적으로 시스템을 구현하고 기초적인 실험 결과를 보고하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] 이승현, 김은수, 3차원 영상의 기초, 技多利, 1998.
- [2] T. Okoshi, "Three-dimensional display," *Proc. IEEE* 68, pp.548-564, 1980.
- [3] I. Yamaguchi and T. Zhang, "Phase-shifting digital holography," *Opt. Lett.* 22, pp.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, pp.446-451, 1908.
- [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, pp.1481-1482, 2001.
- [7] J.-S. Jang, Y.-S. Oh, and B. Javidi, "Spatiotemporally multiplexed integral imaging projector for large-scale high-resolution three-dimensional display," *Opt. Express* 12,

pp.557-563, 2004.

[8] J.-S. Park, D.-C. Hwang, D.-H. Shin and E.-S. Kim, "Resolution-enhanced three-dimensional image correlator using computationally reconstructed integral images," *Opt. Commun.* 26, pp.72-79, 2007.

[9] 신동학, 김남우, 이준재, 김은수 "원형 매핑 모델에 기초한 3차원 영상의 평면기반 컴퓨터 집적 영상 재생 방식" *한국해양정보통신공학회논문지*, 11(5), pp.991-996, 2007.

[10] 신동학 "평면기반 컴퓨터 집적 영상 재생 방법에서 3차원 영상의 해상도 개선" *한국해양정보통신공학회논문지*, 11(10), pp. 1944-1949, 2007.

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

[12] D.-H. Shin and H. Yoo, "Image quality enhancement in 3D computational integral imaging by use of interpolation methods," *Opt. Express* 15, pp.12039-12049, 2007.

[13] D. Ebert, E. Bedwell, S. Maher, L. Smoliar, and E. Downing, "Realizing 3D visualization using crossed-beam volumetric displays," *Communications of the ACM*, 42, pp.101-107, 1999.

[14] R. Balakrishnan, G. Fitzmaurice, and G. Kurtenbach, "User interfaces for volumetric displays," *IEEE Computer*, pp.37-45. 2001.

[15] S. Pastoor and M. Wopking "3-D displays: A review of current technologies," *Displays*, 17,

pp.100-110, 1997.

[16] M. Halle, "Autostereoscopic displays and computer graphics," *Computer Graphics, ACM SIGGRAPH*, 31, pp.58-62, 1997.

[17] D. Hwang, K. Lee, S. Kim, and E. Kim, "Extraction of location coordinates of 3-D objects from computationally reconstructed integral images basing on a blur metric," *Opt. Express* 16, pp.3623-3635, 2008.

**신 동 학 (Dong-Hak Shin)**

정회원



1996년 2월 부경대학교 정보통신공학과 졸업  
1998년 2월 부경대학교 전자공학과 석사  
2001년 8월 부경대학교 정보통신공학과 박사  
2001년 10월~2004년 8월 도요

하시기술대학 연구원

2006년 3월~2007년 8월 광운대 3DRC 연구교수

2007년 9월~현재 동서대학교 영상콘텐츠학과 연구교수  
<관심분야> 3D 디스플레이, 집적영상, 광정보처리

**김 은 수 (Eun-Soo Kim)**

종신회원

한국통신학회지 Vol.24, No. 9A 참조