

---

# CGH를 위한 가상시점 깊이영상 합성 시스템

김택범\* · 고민수\*\* · 유지상\*\*\*

Virtual View-point Depth Image Synthesis System for CGH

Taekbeom Kim\* · Min Soo Ko\*\* · Jisang Yoo\*\*\*

---

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음.  
[KI002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스시스템의 구현을 위한 신호처리 요소 기술 및 하드웨어 IP 개발]

---

## 요 약

본 논문에서는 가상시점 깊이영상 생성 기법을 이용한 다양한 시점의 CGH(computer generated hologram) 생성 시스템을 제안한다. 제안한 시스템에서는 먼저 TOF(time of flight) 깊이 카메라를 이용하여 신뢰도 높은 기준시점 깊이영상을 획득하고 카메라 보정 과정을 통해 기준시점 카메라들의 카메라 파라미터를 추출한다. 가상시점 카메라의 위치가 정의되면 기준시점 카메라와의 거리와 위치를 고려하여 최적의 기준시점 카메라들을 선택한다. 가상시점 카메라와 가장 가까운 기준시점 카메라를 주 기준시점으로 결정하고 가상시점 깊이영상을 생성한다. 주 기준시점 카메라와 위치가 반대인 기준시점 카메라를 보조 기준시점으로 선택하여 가상시점 깊이영상을 생성한다. 주 기준시점을 통해 생성된 가상시점 깊이영상에 나타나는 가려짐 영역을 보조 기준시점으로 생성된 가상시점 깊이영상으로부터 찾아 보상한다. 보상이 되지 않고 남은 홀영역은 주변값 중 가장 작은 값으로 채워 최종 가상시점 깊이영상을 생성한다. 최종 가상시점 깊이 영상을 이용하여 CGH를 생성한다. 실험을 통해 기존의 기법보다 제안하는 가상시점 깊이영상 합성 시스템의 성능이 우수함을 확인하였다.

## ABSTRACT

In this paper, we propose Multi-view CGH Making System using method of generation of virtual view-point depth image. We acquire reliable depth image using TOF depth camera. We extract parameters of reference-view cameras. Once the position of camera of virtual view-point is defined, select optimal reference-view cameras considering position of it and distance between it and virtual view-point camera. Setting a reference-view camera whose position is reverse of primary reference-view camera as sub reference-view, we generate depth image of virtual view-point. And we compensate occlusion boundaries of virtual view-point depth image using depth image of sub reference-view. In this step, remaining hole boundaries are compensated with minimum values of neighborhood. And then, we generate final depth image of virtual view-point. Finally, using result of depth image from these steps, we generate CGH. The experimental results show that the proposed algorithm performs much better than conventional algorithms.

## 키워드

3D 워핑, 컴퓨터 생성 홀로그램, 중간시점 합성

## Keyword

3D Warping, Computer-generated hologram, Intermediate view reconstruction

- 
- \* 준회원 : 광운대학교 전자공학과 석사과정 (주저자, ma2mabndy@kw.ac.kr) 접수일자 : 2012. 05. 16  
\*\* 정회원 : 광운대학교 전자공학과 박사과정 심사완료일자 : 2012. 06. 10  
\*\*\* 정회원 : 광운대학교 전자공학과 정교수 (교신저자)

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2012.16.7.1477>

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## I. 서 론

현재 3D 영상 산업의 발전과 함께 스테레오스코픽 디스플레이가 일반화 되고 있다. 하지만 스테레오스코픽 디스플레이는 안경 착용, 시점 제한 등의 단점이 존재한다. 따라서 이를 보완하기 위하여 무안경 다시점 디스플레이, 홀로그래픽(holographic) 디스플레이 등의 기법이 지속적으로 연구되고 있다. 특히 홀로그램(hologram)은 빛의 세기뿐만 아니라 위상정보까지 포함하여 원래의 3차원 입체상을 공간상에 정확히 재현할 수 있는 가장 이상적인 입체 시각 시스템이다. 따라서 3차원 입체 비디오처리 기술의 최종목표는 완전한 입체시각이 가능한 홀로그램 서비스라고 해도 과언이 아니며, 이 기술은 궁극적인 영상정보통신 서비스 결정체로 인식되어 왔다. 홀로그래피(holography) 기술은 1948년에 개발되었고, 1966년에 디지털 홀로그래피 기술로 확대되었으며, 현재 디지털 홀로그래피 방식에 의한 3차원 방송기술 개발이 미국의 MIT, 일본의 NHK, ATR, 독일의 HHI 등을 중심으로 진행 중이다. 홀로그래피 방식은 정해진 범위 내에서는 임의의 시점에서든 관찰이 가능하도록 깊이감을 표현함으로써 관찰위치의 제약이 없고 자연스런 화상표현이 가능하다는 특징이 있다[1].

홀로그램은 일반적으로 광학계(optical system)에 의해서 형성되는데, 외부의 광원에 매우 민감하여 실험환경의 광원들을 정교하게 제어해야 한다. 또한, 광학계의 미세한 떨림이나 움직임들이 홀로그램 생성에 큰 영향을 줄 수 있기 때문에 매우 안정된 실험환경은 필수적이다[2]. 이런 문제들은 홀로그램의 기술적 발전에 걸림돌이 되고 있으며 이를 해결하기 위해 Brown 등은 computer-generated hologram(CGH)기법을 제안하였다[3]. 이 기법은 기존의 광학계를 수학적으로 모델링하여 일반 범용 컴퓨터에서도 홀로그램을 생성할 수 있게 해주는 기술이다. CGH로 만들어진 물체는 수학적인 계산 혹은 그림 묘사(graphical descriptions), 공간적인 샘플로 나타낼 수 있다. 두 광파의 물리적인 간섭은 수학적인 계산으로 대신할 수 있으나 3차원 물체의 CGH는 어려운 계산 과정이 필요하다. 모든 정보가 홀로그램 면으로부터 동일한 거리에 놓이기 때문에 물체의 모든 점으로부터 시작하는 모든 파의 수학적인 중첩이 필요하며 이렇게 하기 위해서는 3차원 좌표변환 기술이 요구된다.

또한 단순히 격자벡터의 방향과 주기가 다른 격자의 조각으로 합성시킨 격자 홀로그램도 CGH의 하나이다. 위상 방식의 경우, 파면의 간격이 시간과 공간에 걸쳐 일정하게 유지되는 가간섭성 광이 어떤 형태를 가진 물체에 부딪쳐 반사될 때는 그 반사된 광의 파면은 물체의 형태에 비례하여 달라진다. 즉 파면의 위상 변화가 물체의 형상에 따라 변화하게 된다. 그러므로 물체의 형상에 관한 좌표의 정보가 있으면, 형상에 따라 변화하는 파면의 위상 변화는 기하 광학적인 광선 추적에 의해 쉽게 계산된다.

CGH 홀로그램을 얻기 위해서 보통 RGB 영상 또는 깊이영상(depth image)을 활용한다. 본 논문에서는 기준시점(reference view)의 깊이영상을 이용하여 여러 시점의 가상시점 깊이영상을 합성하여 다양한 시점의 CGH를 생성하는 기법을 제안한다. 가상시점(virtual viewpoint) 영상합성 방법에는 크게 주어진 스테레오 영상의 변이정보를 이용하는 양방향 선형 보간법(bidirectional linear interpolation)과 깊이 정보를 이용하는 3D 워핑(3D warping) 기법 등이 있다. 양방향 선형 보간법은 변이(disparity) 정보를 이용하여 기준시점 영상 사이의 제한된 시점의 중간 시점 영상을 생성하는 방법이다. 3D 워핑은 기준시점 영상의 깊이 정보와 카메라 파라미터를 이용하여 가상시점에 해당하는 가상 카메라의 파라미터를 정의하고, 영상의 실제 3D 좌표를 산출한 뒤 가상 카메라의 위치에 재투영하는 방법으로, 정의한 카메라 파라미터를 통해 기준시점 영상 사이의 중간시점 영상뿐만 아니라 임의의 가상시점 영상을 생성하는 등 보다 자유로운 시점을 제공할 수 있다.

본 논문에서는 고화질의 가상시점 깊이영상을 생성하기 위해 3D 워핑 기법을 사용한다. 먼저 기준시점 깊이영상 화소들의 실세계 좌표(world coordinate)로 산출하고 원하는 가상 시점으로 재투영 하게 된다. 이때 가상시점 깊이영상 생성 시 객체의 이동으로 생기는 가려짐 영역(occlusion)에 의해 홀(hole)이 발생하는데, 본 논문에서는 이러한 요소를 제거하여 가상시점 깊이영상의 화질을 개선하기 위한 기법도 제안하고 있다. 제안하는 시스템에는 먼저 TOF 깊이 카메라를 이용하여 신뢰도 높은 기준시점 깊이영상을 얻는다. 3D 워핑 기법을 사용하기 위해 카메라 보정 과정을 통해 깊이 카메라의 카메라 파라미터 정보를 추출한다. 가상시점 카

메라의 위치가 결정되면 기준시점 카메라와의 위치와 거리를 고려하여 최상의 가상시점 깊이영상을 생성할 수 있는 기준시점 카메라를 선택한다. 가상시점 카메라와 가장 가까운 거리에 있는 기준시점 카메라를 주 기준시점으로 정하여 가상시점 깊이영상을 생성하며 이 때 발생하는 가려짐 영역은 주 기준시점과 반대 위치에 있는 기준시점 카메라를 보조 기준시점으로 정하고 가상시점 깊이영상을 생성하여 가려짐 영역 부분을 찾아 보상하게 된다. 이 과정 후에도 남은 홀 영역은 홀 주변 깊이값 중 가장 작은 깊이값으로 채워준다. 최종 가상시점 깊이영상이 생성되면 이를 이용하여 CGH를 생성하게 된다.

본 논문의 II장에서는 카메라의 기하학적 구조에 기반을 둔 3D 워핑 기법과 CGH의 기본 개념을 소개하고, III장에서는 고화질 가상시점 깊이영상을 생성하기 위한 기법을 제안한다. IV장에서는 실험을 통하여 제안한 기법의 성능을 평가하며, V장에서 결론을 맺는다.

## II. 기존 연구

### 2.1. 3D 워핑을 이용한 가상시점 영상생성 기법

3D 워핑(3D warping)이란 카메라의 기하학적 구조에 기반을 두고 영상의 깊이 정보와 카메라의 내, 외부 파라미터를 이용하여 영상의 실제 좌표(세계 좌표계; world coordinate)를 산출한 후, 가상 시점을 위한 카메라의 위치로 재 투영하여 원하는 가상 시점 영상을 생성하는 과정이다.

그림 1(a)는 핀홀 카메라(pin-hole camera) 모델을 3D 구조로, 그림 1(b)는 2D 구조로 각각 표현한 것이다. 일반적으로 핀홀 카메라의 상은 Z축의 -f 위치에 역상으로 생기지만 이 경우 3D 좌표 상에서 해석하는 것이 쉽지 않기 때문에 영상이 맺히는 평면을 Z축 상의 카메라 초점 거리(focal length) f로 옮겨 해석한다. 실제로 카메라 좌표계(camera coordinate)에서 물체의 3D 좌표가 영상 평면(image plane)에 투영되는 관계는 그림 1(b)와 같이 삼각 비례 법으로 해석이 가능하다.

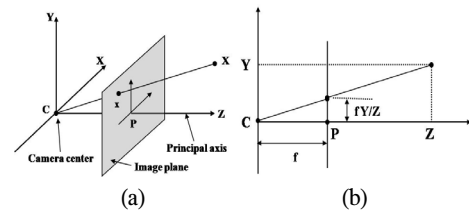


그림 1. 핀 홀 카메라의 기하학적 구조  
(a) 3D 구조 (b) 2D 구조

Fig. 1 Geometrical structure of the pin-hole camera  
(a) 3D structure and (b) 2D structure

3D 실세계 좌표계(세계 좌표계; world coordinate)를 카메라 좌표계(camera coordinate)로 변환하기 위해서는 좌표계의 회전(rotation)과 이동(translation) 변환이 필요하다. 이 두 가지 변환은 카메라의 외부 파라미터(extrinsic parameter)로 정의된다. 카메라 좌표계로 변환된 물체의 좌표는 영상 평면(image plane)의 좌표로 다시 변환된다. 이 변환 관계는 그림 1(b)와 같이 초점 거리 f를 포함하는 카메라의 내부 파라미터(intrinsic parameter)로 정의될 수 있다. 결국 카메라의 외부 파라미터와 내부 파라미터를 이용한 변환 관계에 의하여 식 (1)과 같이 세계 좌표계에 존재하는 객체의 좌표가 영상 평면상의 좌표로 변환되는 것이다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = K[R|T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서  $x, y$ 는 영상 평면에 투영된 물체의 2D 좌표를 나타내며,  $K$ 는 카메라 내부 파라미터,  $R$ 은 카메라의 회전 행렬,  $T$ 는 카메라의 이동 벡터를 나타내며,  $X, Y, Z$ 는 세계좌표계의 좌표를 의미한다.  $K[R|T]$ 를 투영 행렬(projection matrix)이라고 정의한다. 식 (1)은 간단한 행렬 연산을 통해 식 (2)와 같이 이미지 좌표를 실세계 좌표로 역변환 하는데 사용될 수 있다. 이 때 실제 깊이 값  $Z$ 를 구하기 위해서는 식 (3)과 같이 시차(disparity) 정보  $D$ 를 이용하게 된다.

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = K[R|T] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \Rightarrow K^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} = R \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} + T \quad (2)$$

$$\Rightarrow R^T K^{-1} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} - R^T T = \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$Z(i, j) = \quad (3)$$

$$1.0 / \left( \frac{D(i, j)}{255.0} \times \left( \frac{1.0}{MinZ} - \frac{1.0}{MaxZ} \right) + \frac{1.0}{MaxZ} \right)$$

여기서  $Z(i, j)$ 와  $D(i, j)$ 는 각각 영상 내  $(i, j)$  좌표에서의 깊이값과 시차값이고,  $MinZ$ 와  $MaxZ$ 는  $Z$ 의 최소, 최대값을 의미한다.

주어진 좌, 우 영상의 좌표 정보와 카메라 파라미터를 가지고 식 (2)을 이용하여 구한 세계 좌표계 상의 객체 좌표는 식 (4)와 같이 원하는 가상 시점에 위치한 카메라에 대응되는 투영 행렬과의 행렬 곱 연산을 통해 영상 평면상의 좌표로 재 투영되고 결국 우리가 원하는 가상 시점의 영상을 생성할 수 있게 된다.

$$\begin{bmatrix} x_v \\ y_v \\ 1 \end{bmatrix} = K_V [R_V | T_V] \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \\ 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

여기서  $x_v, y_v$ 는 생성된 가상 시점 영상 평면상의 좌표를 의미하며,  $K_V, R_V, T_V$ 는 각각 가상 시점 카메라의 내부 파라미터, 회전 행렬, 이동 벡터를 나타낸다. 따라서 가상 시점 영상을 생성하기 위해서는 해당 위치의 가상 카메라의 내, 외부 파라미터를 먼저 구해야 한다. 식 (5)는 좌, 우 시점 간의 카메라 거리를 1로 하고 가상 시점의 카메라와 두 기준시점 사이의 거리 비율인  $Ratio$ 에 따라 선형적으로 보간하는 방법을 나타내었다.

$$\begin{aligned} K_V &= (1 - Ratio) \times K_L + Ratio \times K_R \\ R_V &= (1 - Ratio) \times R_L + Ratio \times R_R \\ T_V &= (1 - Ratio) \times T_L + Ratio \times T_R \end{aligned} \quad (5)$$

여기서  $V$ 는 가상 시점,  $L$ 은 좌 시점,  $R$ 은 우 시점 카메라를 각각 의미한다[4][5].

## 2.2. 컴퓨터 생성 홀로그램

### (Computer-generated hologram)

홀로그램은 광학계를 이용하여도 취득할 수 있지만 광학계 자체를 수학적으로 모델링한 연산에 의해서 구할 수도 있다. 이러한 수학적 연산을 통해 얻어진 홀로그램을 컴퓨터 생성 홀로그램(**computer-generated hologram; CGH**)이라고 한다. 여러 종류의 CGH가 있지만 본 논문에서는 “위상(phase)” 방식을 사용하는데, 이것은 객체에서 CCD로 입사되는 파에서 위상 성분만을 이용하여 홀로그램을 생성하는 것이다. 파면의 간격이 시간과 공간에 걸쳐 일정하게 유지되는 가간섭성(**coherent**) 광이 어떤 형태를 가진 물체에 부딪혀 반사될 때 반사된 광의 파면은 물체의 형태에 비례하여 달라진다. 즉 파면의 위상 변화가 물체의 형상에 따라 변화하게 된다. 그러므로 물체의 형상에 관한 좌표의 정보가 있으면, 형상에 따라 변화하는 파면의 위상변화는 기하광학적인 광선추적에 의해 쉽게 계산된다. CGH는 식 (6)과 같이 정의되는데 앞서 설명한 것과 같이 홀로그램의 위상으로부터 홀로그램의 강도( $I_\alpha$ )를 얻는 방법이다.

$$I_\alpha = \sum_j^N A_j \cos(k \sqrt{(px_\alpha - px_j)^2 + (py_\alpha - py_j)^2 + z_j^2}) \quad (6)$$

여기서  $N$ 은 3차원 객체의 광원수를 뜻한다.  $k$ 는 참조 파의 파수로  $2\pi/\lambda$ 로 정의되고  $\lambda$ 는 사용된 파의 파장을 나타낸다.  $x_\alpha$ 와  $y_\alpha$ 는 홀로그램내의 위치를 뜻하고  $x_j, y_j$  및  $z_j$ 는 3차원 객체의 위치를 나타낸다.  $p$ 는 화소의 크기를 나타낸다.

식 (6)에서 제곱근은  $x_{aj}, y_{aj} \ll z_j$ 의 조건인 경우엔 식 (7)과 같이 **Fresnel** 근사를 통해서 근사될 수 있다 [6]. 이때  $x_{aj}$ 와  $y_{aj}$ 는 각각  $x_{aj} = x_\alpha - x_j$  및  $y_{aj} = y_\alpha - y_j$ 로 정의된다.

$$\begin{aligned} &\sqrt{(px_\alpha - px_j)^2 + (py_\alpha - py_j)^2 + z_j^2} \\ &\cong z_j + \frac{p^2}{2z_j} (x_{aj}^2 + y_{aj}^2) \end{aligned} \quad (7)$$

식 (7)을 이용하여 식 (6)을 다시 정리하면 식 (8)과 같다[7].

$$I_a = \sum_j^N A_j \cos(k(z_j + \frac{p^2}{2z_j}(x_{aj}^2 + y_{aj}^2))) \quad (8)$$

### III. 제안하는 기법

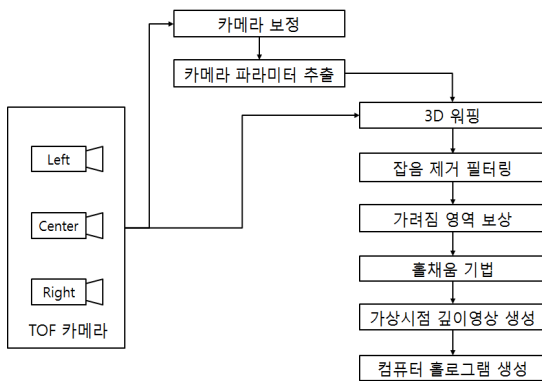


그림 2. 제안하는 시스템의 블록도  
Fig. 2 Block diagram of the proposed system

그림 2는 제안하는 기법의 블록도이다. TOF(time of flight) 깊이 카메라로부터 깊이영상과 밝기영상을 획득하고 카메라 보정판을 찍은 밝기영상을 이용하여 카메라 보정 기법을 수행하여 각 카메라의 카메라 파라미터를 추출한다. 가상시점 카메라의 위치를 고려하여 주 기준시점으로 사용될 깊이 카메라와 보조 기준시점으로 사용될 깊이 카메라를 결정한다. 주, 보조 기준시점 깊이영상을 식 (2)에 적용하여 영상 좌표에서 실세계 좌표로 변환하고 다시 식 (4)에 적용하여 가상시점 깊이영상을 생성한다. 주 기준시점을 통해 생성된 가상시점 깊이영상에 나타나는 가려짐 영역은 보조 기준시점 영상으로 생성된 가상시점 깊이영상으로부터 보상한다. 보상 후에도 남은 가려짐 영역은 홀 채움 기법을 통해 최종 가상시점 깊이영상을 생성한다. 마지막으로 생성된 가상시점 깊이 지도를 이용하여 CGH를 생성한다.

#### 3.1. 카메라 보정 작업

3D 워핑을 이용하여 가상시점 깊이영상을 생성하기 위해서는 각 카메라의 파라미터가 필요하다.

카메라 파라미터는 카메라 보정 작업을 통해 추출할 수 있다. 제안하는 시스템에서는 사각 체크보드 형식의 카메라 보정판을 사용하는 카메라 보정 기법을 이용한다[8]. 각 카메라가 동시에 같은 보정판을 촬영하고 보정판의 같은 특징점간의 관계를 이용하여 카메라간의 상대적인 위치를 나타내는 카메라 외부 파라미터를 추출하고 한 영상안에서의 특징점간의 위치 관계를 계산하여 해당 카메라의 내부 파라미터도 추출한다. 카메라 위치가 변경 되지 않을 경우 한 번의 카메라 보정을 통해 추출된 카메라 파라미터를 계속 사용한다. 그림 3은 세 대의 깊이 카메라간의 카메라 보정 과정을 보여준다.

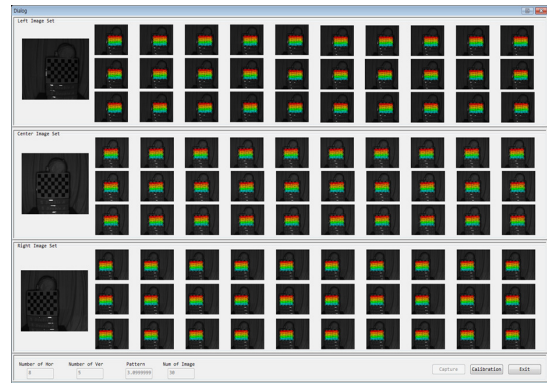


그림 3. 세 대의 깊이 카메라 보정  
Fig. 3 Calibration of three depth cameras

#### 3.2. 기준시점 카메라의 선택

여러 대의 기준시점 카메라를 모두 사용하여 가상시점 깊이영상을 생성하는 것은 연산 시간이 많이 걸리고 비효율적이다. 따라서 불필요한 기준시점 카메라는 제외하고 필요한 기준시점 카메라들을 선택하여 가상시점 깊이영상을 생성한다. 먼저 가상시점 카메라와 최단 거리에 있는 기준시점 카메라를 주 기준시점 카메라로 선택한다. 이는 최단 거리에 있는 기준시점 깊이영상을 가상시점으로 만들었을 경우 가려짐 영역이 가장 적고 가상시점 깊이영상과 가장 비슷한 깊이영상을 만들 수 있기 때문이다. 다음으로 가상시점 카메라와 주 기준시점 카메라의 위치와 반대 방향에 있는 기준시점 카메라 중 가장 가까운 카메라를 보조 기준시점 카메라로 사용한다.

위치가 반대가 되면 가상시점 깊이영상을 생성할 경우 가려짐 영역이 주 기준시점을 통해 생성된 가상시점 깊이영상과 반대로 발생하므로 주 기준시점 깊이영상을 가상시점 깊이영상으로 생성하였을 때 생기는 가려짐 영역의 대부분을 보상 할 수 있다. 만약 보조 기준시점 조건에 맞는 기준시점 카메라가 존재 하지 않을 경우 주 기준시점만을 사용하여 가상시점 깊이영상을 생성한다.

그림 4는 기준시점 카메라를 선택하는 예를 보여준다. A, B, C의 기준시점 카메라 중 가상시점 카메라와 가장 가까운 B 카메라가 주 기준시점 카메라가 된다. 그리고 B 카메라와 반대 방향에 있는 A 카메라를 보조 기준시점 카메라로 사용하고 C 카메라는 기준시점 카메라로 사용하지 않는다[9].

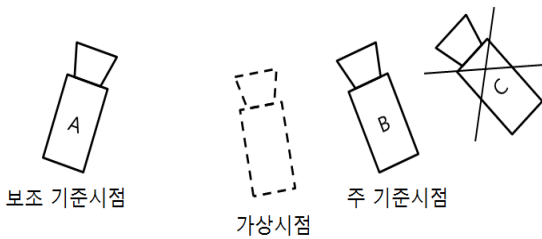


그림 4. 기준시점 카메라 선택의 예  
Fig. 4 Examples of reference camera selection

### 3.3. 가상시점 깊이영상의 생성

앞 절에서 선택한 기준시점 카메라를 이용하여 가상시점 깊이영상을 생성하게 된다. 3-1절에서 추출한 카메라 파라미터를 식 (2)에 적용하여 영상 좌표에서 카메라 좌표로 변환한다.

가상시점 카메라의 카메라 파라미터를 정의하고 이를 변환된 실세계 좌표에 곱하여 가상시점 깊이영상을 생성한다. 이때 그림 5와 같이 실세계 좌표는 실수이고 영상 좌표는 정수이기 때문에 생기는 계산 오류로 인해 실 잡음이 발생한다. 이러한 실 잡음 영역은 미디안 필터(median filter)를 이용하여 효과적으로 제거할 수 있다.



(a)



(b)

그림 5. 미디안 필터를 이용한 잡음 제거  
(a) 잡음 영상 (b) 잡음 제거 영상  
Fig. 5 Noise removal using median filter  
(a) noisy image and (b) noise removal image

생성된 가상시점 깊이영상에는 원 깊이영상에서는 나타나지 않았던 가려짐 영역이 발생한다. 이러한 가려짐 영역은 보조 기준영상을 통해 생성된 가상시점 깊이영상에서 대응하는 위치를 찾아 보상한다. 그림 6은 주 기준영상을 이용하여 생성한 가상시점 깊이영상에 보조 기준시점의 가상시점 깊이영상의 가려짐 영역을 찾아 보상하는 과정을 보여준다.

가려짐 영역을 보상한 후에도 여전히 남은 영역이 있거나 또는 보조 기준시점에서 찾을 수 없는 경우에 이러한 영역을 홀(hole)이라 부르고 홀채움 기법으로 보상하게 된다. 일반적인 밝기영상 또는 색상영상에서는 홀의 주변 화소값들을 고려하여 홀을 채우게 된다. 하지만 제안하는 기법에서는 깊이영상의 특성을 고려하여 홀의 주변 깊이값들 중 최소값을 판단하여 이 값으로 홀을 채운다. 홀 영역은 배경 영역이거나 또는 가장 멀리 있는 객체의 영역일 가능성이 가장 높기 때문이다. 홀 채움 기법을 수행하여 모든 영역을 보상하게 되면 최종 가상시점 깊이지도가 생성된다.

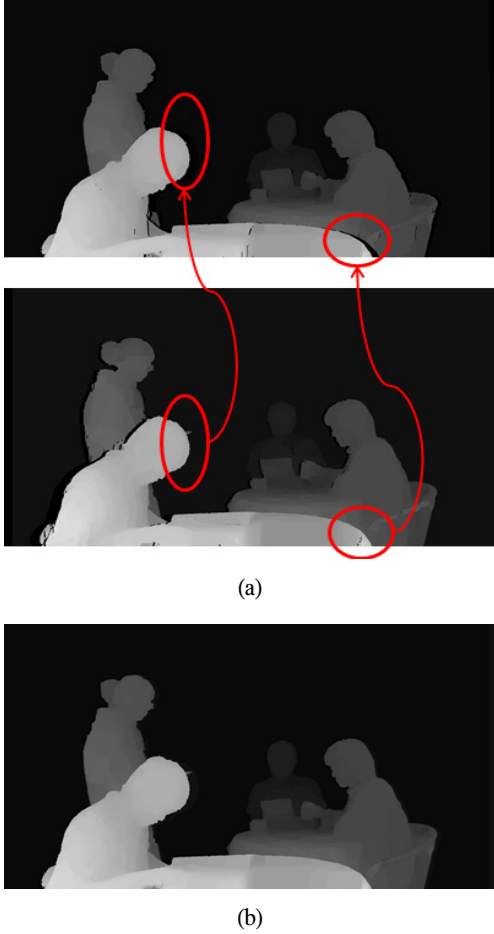


그림 6. 가려짐 영역의 보상과정  
(a) 가려짐 영역 보상 (b) 결과 영상  
Fig. 6 Compensation process of occlusion region  
(a) occlusion region compensation and  
(b) result image

### 3.4. CGH 생성

생성된 가상시점 깊이지도를 이용하여 컴퓨터 생성 홀로그램인 CGH를 생성한다. 식 (8)을 통해 홀로그램을 생성하기 위해 깊이영상의 깊이값들을 식 (9)와 같이  $z_j$ 로 변환하게 된다.

$$z_j = \left(1 - \frac{D_j}{255}\right) + 0.5 \quad (9)$$

여기서  $D_j$ 는 깊이영상의 깊이값을 나타낸다.

## IV. 실험 및 결과

본 논문에서는 제안하는 가상시점 깊이영상 생성 기법의 성능을 측정하기 위해 MPEG에서 제공하는 다시점 영상 시퀀스인 Cafe, Balloons, Mobile, Lovebird1, Poznan\_street 시퀀스를 실험 영상으로 사용한다. 객관적인 화질 평가를 위해서  $n$ 번과  $(n+2)$  카메라의 영상을 사용하여  $(n+1)$ 번 카메라 영상을 생성하고 주어진 원본  $(n+1)$ 번째 영상과 PSNR을 측정하여 표 1에 나타내었다.

표 1. 제안한 기법의 성능 비교  
Table 1. Performance comparison of the proposed algorithm

시퀀스명	해상도	프레임	평균 PSNR	
			양방향선형보간법	제안하는 기법
Cafe	1920 × 1080	300	26.44dB	29.08dB
Balloons	1024 × 768	300	25.47dB	26.81dB
Mobile	720 × 540	200	30.59dB	40.10dB
Lovebird1	1024 × 768	200	29.48dB	31.02dB
Poznan_street	1920 × 1088	250	29.94dB	36.06dB

표 1에서 알 수 있듯이 제안하는 기법은 최소 26.81dB에서 최대 40.10dB의 좋은 성능을 보였다. 깊이영상이 정확한 시퀀스일수록 높은 PSNR을 가진다는 것을 알 수 있다. 기존의 양방향선형보간법과의 비교를 통해 제안하는 기법이 더 좋은 성능을 보였다. 그림 7과 그림 8은 원본 깊이영상과 생성된 가상시점 깊이영상을 나타낸다.

실제 세대의 TOF 깊이 카메라를 사용하여 제안하는 기법의 성능을 측정하였다. Swissranger사의 SR4000 카메라 세대를 이용하여 실험 환경을 구성하였다. 세대의 카메라간의 카메라 보정을 수행하여 카메라 파라미터를 추출한다. 좌, 우 카메라를 기준시점 카메라로 사용하고 중앙의 카메라 영상을 생성하고 원본 영상과 PSNR을 측정하고 표 2에 그 결과를 보였다. 제안하는 기법은 평균 29.05dB의 성능을 보였다. 그림 9는 제안하는 기법을 통해 생성된 가상시점 영상들을 나타낸다.



(a)



(b)

그림 7. 가상시점 깊이영상 생성 결과(Cafe 시퀀스)  
 (a) 원본 영상 (b) 생성된 가상시점 깊이영상  
 Fig. 7 Result of virtual view-point depth image  
 (Cafe sequence) (a) original image, and  
 (b) generated virtual view-point depth image



(a)



(b)

그림 8. 가상시점 깊이영상 생성 결과(Mobile 시퀀스)  
 (a) 원본 영상 (b) 가상시점 깊이영상  
 Fig. 8 Result of virtual view-point depth image  
 (Mobile sequence) (a) original image and  
 (b) generated virtual view-point depth image

표 2. TOF 깊이카메라를 이용한 성능 측정  
 Table. 2 Performance measurement by using a  
 depth camera

해상도	프레임수	평균 PSNR
176 × 144	3000	29.05dB



(a)



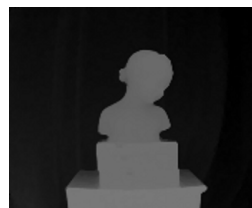
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

그림 9. 제안하는 시스템의 결과  
 (a) 원본 좌 카메라 영상, (b) (a)를 이용하여 생성한  
 가운데 카메라 영상, (c) 원본 우 카메라 영상, (d) (c)  
 이용하여 생성한 가운데 카메라 영상, (e) 원본 가운데  
 카메라 영상, (f) (b)와 (d)를 이용하여 생성된 최종  
 가상시점 깊이영상

Fig. 9 Result of proposed system  
 (a) original left-view camera image, (b) synthesized  
 center-view image using (a), (c) original right-view  
 camera image, (d) synthesized center-view image  
 using (c), (e) original center-view camera image, and  
 (f) synthesized final virtual view-point depth image  
 using (b) and (d)

최종 생성된 가상시점 깊이영상을 이용하여 생성한  
 CGH 복원 영상을 그림 10에 나타내었다.



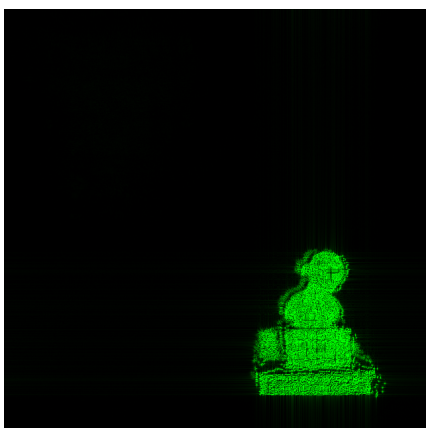


그림 10. CGH 복원 영상  
Fig. 10 CGH reconstructed image

## V. 결론

본 논문에서는 가상시점 깊이영상 생성 기법을 통해 다양한 시점의 CGH를 생성할 수 있는 시스템을 제안하였다. TOF 깊이 카메라를 이용하여 신뢰도 높은 기준시점 얻고 카메라 보정 과정을 통해 깊이 카메라의 카메라 파라미터 정보를 추출한다. 가상시점 카메라와 기준시점 카메라와의 위치와 거리를 고려하여 최상의 가상시점 깊이영상을 생성할 수 있는 주 기준시점 카메라와 보조 기준시점 카메라를 선택한다. 주 기준시점 카메라를 이용하여 가상시점 깊이영상을 생성하고 이 때 발생하는 가려짐 영역은 보조 기준시점으로 생성된 가상시점 깊이영상에서 찾아 보상한다. 이 과정 후에도 남은 홀 영역은 홀 주변 깊이값 중 가장 작은 깊이값으로 채워 최종 가상시점 깊이영상이 생성하였다.

실험을 통해 제안하는 시스템의 우수성을 확인하였다. 기존에 RGB 텍스처 영상에 중간시점 영상 생성 기법을 적용한 사례는 많이 있지만, CGH를 생성하기 위해 TOF 카메라에서 획득된 깊이 영상의 가상 시점을 생성하는 과정은 혼하지 않다. 앞으로 깊이 카메라에 RGB 색상 카메라를 합한 형태의 획득 시스템을 구축하여 색상 정보까지 갖는 고품질의 CGH를 생성하는 연구가 필요하다.

## 감사의 글

본 연구는 지식경제부 및 한국산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업(정보통신)의 일환으로 수행하였음. [KI002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스시스템의 구현을 위한 신호 처리 요소 기술 및 하드웨어 IP 개발]

## 참고문헌

- [1] T. Motoki, H. Isono, and I. Yuyama, "Present status of three-dimensional television research," *Proc. IEEE* 83(7), pp. 1009-1021, July 1995.
- [2] W. H. Ryu and M. H. Jeong, "A study on three-dimensional computer generated holograms by 3-D coordinates transformation", *Applied Optical Society of Korea*, vol. 17, pp. 525-531, December 2006.
- [3] B. R. Brown and A. W. Lohmann, "Complex spatial filtering with binary masks", *Applied Optics*, vol. 5, pp. 967-969, June 1966.
- [4] 박세환, 송혁, 장은영, 허남호, 김진웅, 김진수, 이상훈, 유지상, "다시점 동영상에서 임의 시점 영상 생성을 위한 가려진 영역 보상기법", *한국통신학회 논문지*, 제33권 제12호, pp.1029-1038, 12월, 2008년.
- [5] 김태준, 장은영, 허남호, 장진웅, 유지상, "다시점 카메라 모델의 기하학적 특성을 이용한 가상 시점 영상 생성 기법", *한국통신학회 논문지*, 제34권, 제12호, pp.1154-1166, 12월, 2009년.
- [6] H. Yoshikawa, S. Iwase, and T. Oneda, "Fast computation of fresnel holograms employing differences", *Proceeding of SPIE*, vol. 3956, 2000.
- [7] 서영호, 최현준, 유지상, 김동욱, "디지털 홀로그램의 고속 생성을 위한 병렬화 알고리즘 및 셀 기반의 하드웨어 구조", *방송공학회 논문지*, 제16권 제1호, pp-54-63, 1월, 2011년.
- [8] Zhengyou Zhang, "A flexible new technique for camera calibration", *IEEE Transactions on Pattern Analysis*

and *Machine Intelligence*, 22, pp.1330-1334, 2000.

- [9] Karajeh, Huda, Abdel-rahim, *Intermediate view reconstruction for multiscopic 3D display*, Durham University, April 2012.

### 저자소개



**김택범(Teakbeom Kim)**

2011년 2월 : 광운대학교  
전자공학과 학사  
2011년 3월~ 현재 : 광운대학교  
전자공학과 석사과정

※ 관심분야 : 3D 입체영상처리/압축



**고민수(Min Soo Ko)**

2010년 2월 : 광운대학교  
전자공학과 학사  
2012년 2월 : 광운대학교  
전자공학과 석사

2012년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 박사과정  
※ 관심분야 : 3D 입체영상처리/압축, 스테레오 매칭,  
영상 신호 처리



**유지상(Jisang Yoo)**

1985년 : 서울대학교 전자공학과  
학사  
1987년 : 서울대학교 전자공학과  
석사

1993년 : Purdue Univ. EE, Ph.D.  
1997년 ~ 현재 : 광운대학교 전자공학과 교수  
※ 관심분야 : 3D 입체영상처리/압축, 웨이블릿 기반  
영상처리, 비선형 디지털 신호처리