

# 디지털 홀로그램 콘텐츠의 저작 및 합성

홍기성\* · 서영호\*\* · 김동욱\*\*\*

Digital Hologram Contents Manipulation and Synthesis

Ki-Sung Hong\* · Young-Ho Seo\*\* · Dong-Wook Kim\*\*\*

본 연구는 지식경제부 및 한국 산업기술평가관리원의 산업융합원천기술개발사업 (정보통신)의 일환으로 수행하였음. [K1002058, 대화형 디지털 홀로그램 통합서비스 시스템의 구현을 위한 신호 처리 요소 기술 및 SoC 개발]

## 요 약

본 논문에서는 고부가가치의 디지털 홀로그램 콘텐츠를 저작하여 새로운 디지털 홀로그램 콘텐츠를 확보하는 방법을 제안한다. 깊이 정보는 스테레오 정합방식으로 획득한 시차정보로부터 얻은 깊이정보와 TOF (time-of-flight) 방식의 깊이카메라로 촬영한 깊이정보를 모두 사용한다. 각 종류의 깊이정보와 변환방법을 사용하여 깊이정보를 변환하거나 합성하고 이를 CGH 방법으로 연산하여 디지털 홀로그램을 획득한다. 또한 CGH 연산으로 획득한 디지털 홀로그램의 선형성을 기반으로 기 생성된 디지털 홀로그램 콘텐츠를 합성하여 새로운 디지털 홀로그램 콘텐츠를 획득하는 방법도 제시한다. 제안한 방법을 다양한 깊이정보와 디지털 콘텐츠를 대상으로 실험하여 이 방법이 디지털 홀로그램 콘텐츠의 저작방법으로 효과적임을 보인다.

## ABSTRACT

This paper is to propose a method to obtain a new digital hologram content, a high value-added digital content, by manipulating one or more existing digital hologram contents or depth informations. For the depth informations, we use both the ones converted from disparities by stereo matching and the ones taken by time-of-flight (TOF) depth cameras. For them, we analyze the properties and their differences for the two kinds of depth informations and propose a conversion method to homogenize them. By using them, we propose a method to convert and synthesize the depth informations to calculate a new CGH. Also, we propose a method to get a new digital hologram content by synthesizing the digital holograms themselves according to their linearity. The proposed methods are experimented with various depth informations and digital holograms to show that they are very effective as the manipulating methods for digital hologram contents.

## 키워드

디지털 홀로그램, 컴퓨터-생성 홀로그램, 깊이정보, 시차, 콘텐츠

## Key word

Digital Hologram, Computer-generated hologram(CGH), depth information, Disparity, contents

\* 준회원 : 광운대학교  
\*\* 종신회원 : 광운대학교  
\*\*\* 종신회원 : 광운대학교 (dwkim@kw.ac.kr)

접수일자 : 2011. 09. 06  
심사완료일자 : 2011. 10. 06

## I. 서 론

최근 3차원(3-dimensional, 3D) 영상에 대한 관심도가 급증하면서 차세대 3차원 영상에 대한 연구들이 크게 증가하고 있다[1]. 물체로부터 반사된 빛의 진폭과 위상을 모두 저장하고 복원하는 홀로그램은 완벽한 3D영상 재생에 필요한 모든 정보를 담고 있으며, 누구나 어떠한 각도에서든지 편하게 3D 영상을 볼 수 있다. 따라서 홀로그램은 완전한 3D영상을 실현하는 궁극적인 방법으로 간주되고 있다.

홀로그램 또한 디지털 홀로그램이 개발되면서 홀로그램 영상의 화질개선방법[2][3], 홀로그램 영상의 획득 및 복원시스템[5] 등의 연구에 더욱 박차를 가하고 있다. 최근 디지털 홀로그램을 생성하는 방법으로 연산에 의한 홀로그램 생성 방법(컴퓨터-생성 홀로그램, computer-generated hologram, CGH)[6]이 선호되고 있다. CGH 방법은 두 광파의 간섭현상으로 생성되는 홀로그램의 특성을 수학적으로 모델링 한 것으로서, 간단한 한 방법을 식 (1)에 나타내었다[1].

$$I_{\alpha}(x,y) = \sum_j^N A_j \cos(k \sqrt{(p_{\alpha}x_{\alpha} - p_j x_j)^2 + (p_{\alpha}y_{\alpha} - p_j y_j)^2 + z_j^2}) \quad (1)$$

여기서,  $I(x,y)$ 는  $(x,y)$ 의 홀로그램 값,  $N$ 은 물체의 광원 수,  $A_j$ 는  $j$ 번째 물체광원의 세기,  $k$ 는 진파상수,  $(x_{\alpha}, y_{\alpha})$ 와  $(x_j, y_j, z_j)$ 는 홀로그램과 물체 광원의 위치를 각각 나타내며,  $p_{\alpha}$ 와  $p_j$ 는 홀로그램과 물체의 화소크기를 각각 나타낸다.

CGH 방식을 사용하건 기존의 방법과 같이 광학적으로 두 광파의 간섭현상을 촬영하던, 디지털 홀로그램은 획득에 상당한 비용이 소요되는, 매우 고부가가치의 디지털 콘텐츠이다. 예를 들어 식 (1)에 의해 HD급 2D 영상과 깊이정보를 갖는 물체에 대해 HD급 디지털 홀로그램을 연산하기 위해서는  $(1,920 \times 1,080)^2$ 번 식 (1)을 계산하여야 한다. 디지털 홀로그램이 대중매체로서의 역할을 하기 위해서는 다양하고 풍부한 콘텐츠가 생성되어야 한다. 현재 3D영상이 대중매체로서의 역할을 충분히 하지 못하고 있는 가장 중요한 이유가 콘텐츠의 부족이고 보면, 디지털 홀로그램 역시 콘텐츠 확보에 상당한 역점을 두어야 할 것으로 생각된다. 이에 최근

디지털 콘텐츠의 저작에 대한 연구를 시작하기에 이르렀다[7].

본 논문에서도 디지털 홀로그램 콘텐츠를 확보하는 방안을 다루고자 한다. 본 논문에서는 CGH 방법으로 디지털 홀로그램을 생성하는 것을 전제로, 깊이정보를 변화시켜 홀로그램 콘텐츠 내의 물체의 3차원적 위치를 변화시키거나 그 물체를 다른 콘텐츠와 결합하는 등의 방법으로 홀로그램 콘텐츠를 저작하고 합성하는 방법을 제안한다.

## II. 깊이정보

앞 장에서 설명한 바와 같이 CGH를 생성하기 위해서는 물체의 각 화소로부터 홀로그램 평면까지의 거리, 즉 깊이정보가 반드시 필요하다. 이 깊이정보는 크게 두 가지의 방법으로 획득할 수 있는데, 본 장에서는 각 방법에 대해 설명하고, 두 방법의 결과 정보의 특징과 차이점에 대해 설명한다.

### 2.1. 정합방식을 이용한 깊이 정보 획득

깊이정보를 얻는 방법 중 지금까지 가장 일반적이고 널리 사용해진 방법은 스테레오 영상을 정합하여 시차(disparity)정보를 획득하는 방법이다. 스테레오 정합 방식은 3차원 공간상에 설치된 카메라의 기하학적 특성이 주어진 상태에서 카메라로부터 얻어진 한 장면에 대한 좌, 우영상간의 정합점을 찾아내고 그 두 점간의 거리를 찾아냄으로써 깊이정보를 얻는 방법이다.

그림 1은 평행식 카메라 배열(a)과 이 배열로 획득되는 두 영상의 대응화소(b)를 보이고 있다. 그림 1(b)에서 점  $l$ 과  $r$ 은 각각 좌측 카메라와 우측 카메라의 영상 임을 나타낸다. 'left axis'와 'right axis'는 두 카메라의 광축을 나타내며, 여기서는 z-좌표로 사용한다.  $C_l$ 과  $C_r$ 은 각 카메라의 중심점을 나타내며,  $P_l$ 과  $P_r$ 은 점  $P(x,y,z)$ 가 좌측과 우측 카메라에 맺히는 점을 나타낸다. 또한 두 카메라는 동일한 특성을 갖는다고 가정하고,  $b$ 는 두 카메라 간 거리(baseline distance),  $f$ 는 두 카메라의 초점거리(focal length)를 의미한다. 그림 2(b)에서 황축을 x-축으로 설정하며, 두 카메라가 동일한 선상에서 완전히 평행을 이루면 좌우영상에 대응되는 두 점의 y와 z값은 동일하다.

좌, 우영상에서 가장 유사한 대응화소를 찾고 그 두 화소간의 거리를 계산하면 그 값이 시차  $d$ 이다. 그림 1의 좌표계의 원점이 좌측 카메라의 중심( $C_l$ )에 있다고 가정하면 삼각형  $\triangle PMC_l$ 와  $\triangle P_rLC_r$ , 그리고 삼각형  $\triangle PNC_r$ 와  $\triangle P_rRC_r$ 을 비교하면 식  $x/z = x_l/f$ 와  $(x-B)/z = x_r/f$ 의 관계를 얻을 수 있다. 이 두 식을 결합하고, 좌영상과 우영상  $x$ -좌표의 차이는 정의에 의해서  $x_l - x_r = d$ 이므로 식 (3)을 얻을 수 있다.

$$z = Bf/d \tag{2}$$

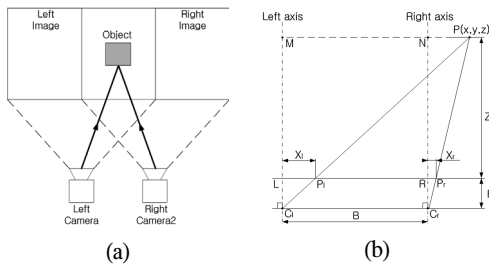


그림 1. 평행식 스테레오 카메라 배열과 영상의 대응  
(a) 평행식 카메라, (b) 대응점  
Fig. 1 Parallel arrangement of stereo cameras and stereo image matching (a) parallel cameras, (b) matching of the two pixels

2.2. TOF방식의 깊이정보 획득

최근 깊이정보에 대한 중요성이 대두되면서 상용 깊이카메라가 출시되고 있다. 이 깊이카메라가 깊이정보를 획득하는 대표적인 방식이 TOF 방식이다. 일반적인 TOF 카메라는 특정신호를 조사할 수 있는 LED나 레이저 같은 광원과 반사된 신호를 검출하는 센서로 구성되어 있다. 이 방식은 카메라에서 신호를 조사하고, 이 신호와 반사되는 신호의 상관도를 계산하여 거리로 환산하는 방식이다[9].

그림 2(a)는 TOF 깊이카메라의 동작방법을 도식적으로 나타낸 그림이며, (b)는 TOF의 조사된 신호와 돌아온 신호를 나타낸 것이다. TOF 카메라의 신호로부터 거리 정보를 구하기 위해서는 조사신호와 반사신호의 상관도(cross-correlation)  $c(\tau)$ 를 사용하는데[18], 자세한 연산방식은 본 논문에서는 생략한다. 결과의 깊이정보는 식 (3)으로 주어진다.

$$z = \frac{1}{2} \cdot \frac{c\Delta\phi}{2\pi f} \tag{3}$$

여기서  $c$ 는 빛의 속도,  $f$ 는 신호의 주파수, 그리고  $\Delta\phi$ 는 조사된 신호와 입사된 신호의 위상차이다.

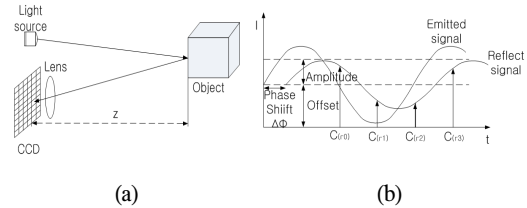


그림 2. TOF 깊이카메라  
(a) 카메라의 동작, (b) TOF 신호.  
Fig. 2 TOF depth camera  
(a) camera operation, (b) TOF signal

TOF 방식의 또 하나의 단점은 가까운 거리를 측정하는데 있다. 물체나 주위 환경에 따라 조사한 파가 물체에서 반사되어 직접 입사되는 경우도 있지만, 물체 표면에서 주위의 물체로 반사되고 그 물체에서 다시 반사되어 입사되는 경우도 있기 때문에 가까운 물체의 거리측정은 그 정확도가 많이 떨어진다. 예를 들어  $f=50\text{ MHz}$ 일 경우 일반적으로 약 1m 이내의 측정은 신뢰할 수 없다.

2.3. 정합과 TOF방식 깊이정보의 차이점

정합방식과 TOF방식은 모두 깊이정보를 제공하지만, 두 방식의 깊이정보는 각각 고유의 특성이 있다. 정합방식에 의한 깊이정보는 카메라부터 물체까지의 거리가 변화하면 좌우 두 영상에 투영되는 대응점이 원근에 의하여 시차의 차이가 변화하기 때문에 물체의 크기뿐만 아니라 물체 두께에 대한 시차값도 변화한다. 그러나 TOF방식은 물체까지의 거리를 신호의 왕복거리로 계산하기 때문에 물체까지의 거리가 변화하더라도 물체의 거리만 변할 뿐 물체의 두께는 변하지 않는다.

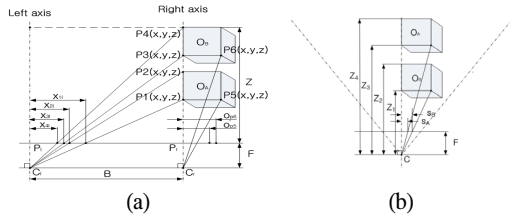


그림 3. 깊이정보 (a) 스테레오 정합, (b) TOF 카메라  
Fig. 3 Depth informations (a) stereo matching, (b) TOF camera

그림 3에 두 방식에 의한 깊이정보를 보이고 있다. 그림 3(a)의 스테레오 정합에 의한 경우인데, 복잡성을 줄이기 위해 동일한 두 물체( $O_A$ 와  $O_B$ )가 우측 카메라의 광축에 위치한다고 가정하였으며, 이것은 일반적인 경우도 마찬가지로 적용된다. 그림 3(b)의 TOF 카메라에 의한 경우 그 특성상 한 개의 카메라만 필요하며, 이 카메라에 빛의 조사부와 수신부가 포함되어 있다고 가정한다.

그림 3(a)에서 물체  $O_A$ 의 두께  $OD_A$ 는 식(3)을 이용하여 식(4)와 같이 구해진다.

$$OD_A = z_{P2} - z_{P1} = Bf \left( \frac{1}{d_{P2}} - \frac{1}{d_{P1}} \right) \quad (4)$$

여기서  $z_{P1}$ 과  $z_{P2}$ ,  $d_{P1}$ 과  $d_{P2}$ 는 점 P1과 P2의 깊이와 시차를 각각 나타낸다. 그림 3(a)에서 영상에 나타나는 두 물체의 크기 ( $X5_r - B$ 와  $X6_r - B$ )는 카메라와 물체의 거리에 반비례하는 것을 알 수 있다.

그림 3(b)의 TOF 카메라의 경우 특정 점까지의 거리를 신호가 왕복한 거리로 계산하기 때문에 물체의 두께나 두 점간의 깊이차이는 TOF방식으로 측정된 두 점의 깊이값의 차이로 곧바로 구할 수 있다. 깊이정보를 디스플레이하는데 있어서 디지털로 표현하기 위해서는 TOF방식의 깊이 카메라가 신뢰성을 갖고 측정할 수 있는 최대 깊이값을 기준으로 디지털 값으로 변환된다. 측정 가능한 최대 깊이값을  $z_{max}$  이고,  $n$ 비트로 깊이값을 표현할 때, 측정된 깊이  $z$ 의 디지털 값  $z_D$ 는 식(5)와 같다.

$$z_D = \left\lfloor \frac{z}{z_{max}} (2^n - 1) + 0.5 \right\rfloor \quad (5)$$

이렇게 변환된 깊이값을 그대로 적용하여 흑백영상으로 디스플레이하면 가까운 물체는 어둡게, 먼 물체는 밝게 나타날 것이다. 그러나 이런 디스플레이 방식보다 가까운 것을 밝게, 먼 것을 어둡게 디스플레이하는 것이 인간에게는 더욱 친밀하다. 따라서 일반적인 디스플레이에서는 이 값을 다음과 같이 환산하여  $z_T$ 를 디스플레이한다.

$$z_T = (2^n - 1) - z_D \quad (6)$$

그림 3(b)의 두 물체  $O_A$ 와  $O_B$ 의 두께는  $z_2 - z_1$ 과  $z_4 - z_3$ 인데, 디스플레이되는 값으로는  $z_{T1} - z_{T2}$ 와  $z_{T3} - z_{T4}$ 로 구할 수 있다.

그림 4에 TOF 카메라로 촬영한 깊이영상의 예를 보이고 있는데, (a), (b), (c)는 각각 직육면체 상자를 1m, 1.5m, 2m에서 촬영한 결과이고, (d)는 촬영된 각 결과의 값들을 거리(횡축)에 따른 히스토그램(빈도수)으로 나타낸 것이다. 1m에서 촬영한 물체는 2m에서 촬영한 물체에 비해 크기는 상당히 작아졌으나 두께는 동일함을 볼 수 있다.

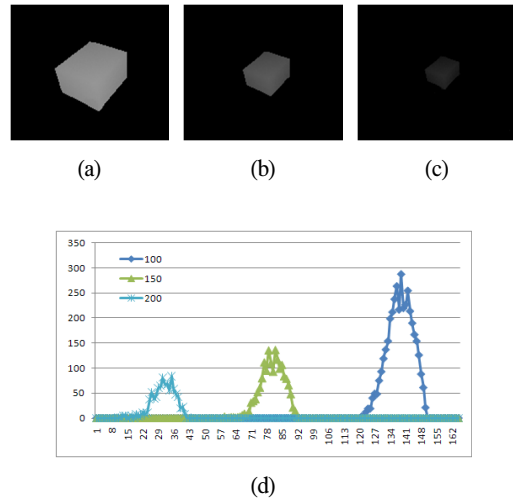


그림 4. 깊이카메라 특성 (a) 거리1, (b) 거리2, (c) 거리3, (d) 히스토그램  
Fig. 4 Property of depth camera (a) distance1, (b) distance2, (c) distance3, (d) histogram

### III. 홀로그래프 콘텐츠 제작 및 합성

본 장에서는 앞에서 설명한 두 종류의 깊이정보 각각을 조작하여 홀로그래프 콘텐츠를 제작하는 방법과 두 종류의 깊이정보를 하나의 깊이정보로 합성하여 홀로그래프 콘텐츠를 제작하는 방법을 설명한다. 또한 한 홀로그래프에서 관심영역과 비관심영역이 구별되는 경우 관심영역의 화질과 비관심영역의 화질을 달리하는 제작 방법도 설명한다. 그리고 선형성을 이용하여 홀로그래프 콘텐츠를 직접 합성하는 방법도 설명한다.

#### 3.1. 깊이정보를 이용한 홀로그래프 콘텐츠 제작

CGH 방법으로 홀로그래프 생성할 때 필수적인 데이터 중 하나가 깊이정보이다. 2장에서 설명한 두 가지 깊이정보 획득 방법은 서로 다른 특성을 갖고 있으며, 이 특성을 고려하지 않으면 왜곡된 홀로그래프 영상이 나타나게 된다. 본 절에서는 깊이정보를 조작하여 디지털 홀로그래프 콘텐츠를 제작하는 방법에 대하여 설명한다.

##### (1) 정합방식으로 획득한 깊이정보 조작

그림 4는 정합방식에 의해 시차정보를 획득하는 방법을 대상으로 물체가 수직(a) 또는 수평(b) 이동할 때를 각각 도식화한 것이다. 먼저 그림 4 (a)의 수직이동( $A_1B_1$ 에서  $A_2B_2$ 로)의 경우,  $A_1B_1$  위치와  $A_2B_2$  위치의 물체의 시차를 각각  $d_1, d_2$ 라고 할 때, 식 (2)에 의해 식 (7)과 같다.

$$d_1 = \frac{Bf}{z_1}, d_2 = \frac{Bf}{z_2} \quad (7)$$

이 두 식을 결합하면, 식 (8)과 같다.

$$d_1 z_1 = d_2 z_2 \quad (8)$$

즉, 물체가  $A_1B_1$  위치에서  $A_2B_2$  위치로 또는 그 반대로 이동하였을 때 식 (8)을 만족하도록 시차값을 조정하면 된다.

한편, 두 카메라에 맺히는 물체의 크기  $s$ 는  $A_1B_1$  위치에 있을 때  $s_1 = d_1, A_2B_2$  위치에 있을 때  $s_2 = d_2$ 이

다. 따라서 깊이에 따른 물체의 크기 또한 식 (8)과 동일하며, 식 (9)가 된다.

$$s_1 z_1 = s_2 z_2 \quad (9)$$

물체가 수직 이동했을 때 이동한 물체의 시차와 크기는 모두 거리에 반비례하며, 식 (8)과 식 (9)을 사용하여 구할 수 있다.

그림 5(b)의 수평이동의 경우에는 이동 전 후의 시차와 크기가 동일하다. 따라서 물체가 수평 이동할 경우 그 물체의 크기와 시차는 변하지 않는다.

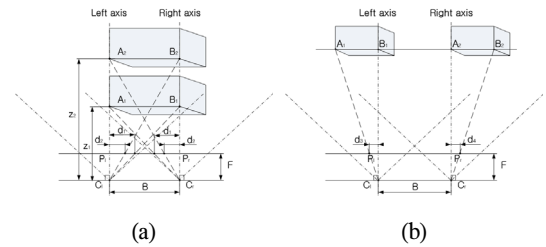


그림 5. 물체의 이동에 대한 정합방식의 시차정보 및 크기의 변화 (a) 수직이동, (b) 수평이동.

Fig. 5 Changes in disparity information and size by object movement for stereo matching method: (a) vertical movement, (b) horizontal movement.

##### (2) TOF 깊이카메라로 획득한 깊이정보 조작

그림 3 (b)를 동일한 물체가 수직이동( $O_A$ 에서  $O_B$ 로)한 것으로도 볼 수 있다. 이동 전 후 물체의 두께 ( $\Delta z_A, \Delta z_B$ )는 변화하지 않으므로, 식 (6)을 이용하면, 식 (10), (11), 및 (12)와 같다.

$$\Delta z_A = z_{A2} - z_{A1} = z_{B2} - z_{B1} = \Delta z_B \quad (10)$$

$$\frac{[(2^n - 1) - z_{T,A2}]}{[(2^n - 1) - z_{T,B2}]} = \frac{[(2^n - 1) - z_{T,A1}]}{[(2^n - 1) - z_{T,B1}]} \quad (11)$$

$$z_{T,A1} - z_{T,A2} = z_{T,B1} - z_{T,B2} \quad (12)$$

즉 물체의 수직이동에 대한 TOF방식의 깊이정보는 식 (12)로 쉽게 구할 수 있다.

한편, 물체가 이동함에 따른 화면상의 물체의 크기  $s_A$ 와  $s_B$ 는 식 (13)으로 정의된다.

$$s_A = f \frac{h}{z_1}, \quad s_B = f \frac{h}{z_3} \quad (13)$$

여기서  $h$ 는 물체의 실제 크기를 나타낸다. 따라서 이동 전후 화면상에 나타나는 물체의 크기의 관계는 식 (14)로 나타낸다.

$$s_A [(2^n - 1) - z_{T,1}] = s_B [(2^n - 1) - z_{T,3}] \quad (14)$$

물체가 수평 이동하는 경우는 정합방식에서 설명한 바와 마찬가지로 동일하게 물체의 두께는 물론 화면상에 나타나는 물체의 크기도 동일하다. 따라서 이에 대한 상세한 설명은 생략한다.

### (3) 깊이정보의 합성

앞의 두 절에서 정합방식과 TOF 깊이 카메라 각각의 깊이정보를 조작하여 CGH 방식으로 디지털 홀로그래를 생성하는 방법을 설명하였다. 본 절에서는 두 방식의 깊이정보를 혼합하여 조작하는 방법에 대해 설명한다. 크기가  $h$ 인 물체가 카메라 영상센서에 투영되는 크기를  $s$ 라고 하면 식 (14)로 나타낼 수 있다.

$$h = \frac{zs}{f} \quad (14)$$

이 투영도를 정합방식의 일반 카메라(첨자  $m$ )와 TOF 방식의 깊이카메라(첨자  $t$ )에 적용하면, 식 (15)로 나타낼 수 있다.

$$h = \frac{zs_m}{f_m} = \frac{zs_t}{f_t} \quad (15)$$

따라서 정합방식과 TOF 카메라에 의한 물체의 크기에 대한 관계는 식 (16)과 같다.

$$\frac{f_m}{s_m} = \frac{f_t}{s_t} \quad (16)$$

따라서 이 식으로 물체의 크기를 상호 변환할 수 있다. 한편, 정합방식으로부터 얻은 깊이정보( $z_m = f_m B_m / d_m$ )는  $z_{D,m} = \lfloor z_m(2^n - 1) / z_{\max,t} + 0.5 \rfloor$  으로 디지털 값으로 변환할 수 있고,  $z_{T,m} = (2^n - 1) - z_{D,m}$  으로 인간 친화적으로 변환할 수 있다. 즉, 식 (16)과 식 (5), (6)을 이용하면 정합방식으로 획득한 깊이정보를 TOF방식의 깊이정보로 변환할 수 있고, 이를 역으로 변환하면 TOF방식의 깊이정보를 정합방식의 정보로도 변환할 수 있다.

앞에서 설명한 물체 크기에 대한 변환과 함께 사용하여 정합방식으로 획득한 시차정보와 TOF 방식으로 획득한 깊이정보와 결합할 수 있다. 즉, 이 절에서 설명한 방법으로 정합방식의 깊이정보와 TOF 방식의 깊이정보를 결합하는 디지털 홀로그래 콘텐츠의 저작 및 합성이 가능하다.

### 3.2. 관심영역에 대한 홀로그래 콘텐츠 저작

일반적인 3차원 영상에서 시청자가 주시하는 영역(관심영역: region of interest, ROI)은 한정되어 있다. 뿐만 아니라 인간의 눈은 주시하고 있는 한정적 영역에서만 3차원을 감지할 수 있으며, 그 외의 영역은 2차원적인 감지능력만 가지고 있다고 한다[15]. 이것은 홀로그래에서도 마찬가지이다. 앞에서 언급한 바와 같이, 홀로그래를 생성하는데 많은 연산을 필요로 하므로 ROI에 대한 처리로 연산시간을 단축시킬 수 있다.

그림 5는 관심영역(다비드 상)과 비관심영역(우산)의 깊이정보를 변화시키지 않은 홀로그래 영상과 비관심영역 깊이정보의 해상도를 1/4로 줄인 홀로그래 영상을 보이고 있다.

그림 6(a)와 (e)는 각각 원 영상과 비관심영역의 해상도를 1/4로 줄인 깊이영상, (b)와 (f)는 (a)와 (e)의 CGH를 생성한 결과이다. (b)와 (f)를 관심영역에 초점을 맞추어 복원한 영상(c)와 (g)를 비교하면 관심영역은 동일하나, 비관심영역은 해상도를 축소한 영상이 훨씬 흐리다. 이것은 초점을 비관심영역에 맞춘 (d)와 (h) 복원영상에서 더욱 뚜렷이 나타난다. 그러나 비관심영역의 선명도 차이는 관심영역을 주시하는 경우 큰 영향을 미치지 않는다. 반면, 연산량은 깊이영상의 해상도에 비례하여 증가한다. 따라서 비관심영역의 크기와 해상도는 CGH 연산량에 직접적으로 영향을 미친다.

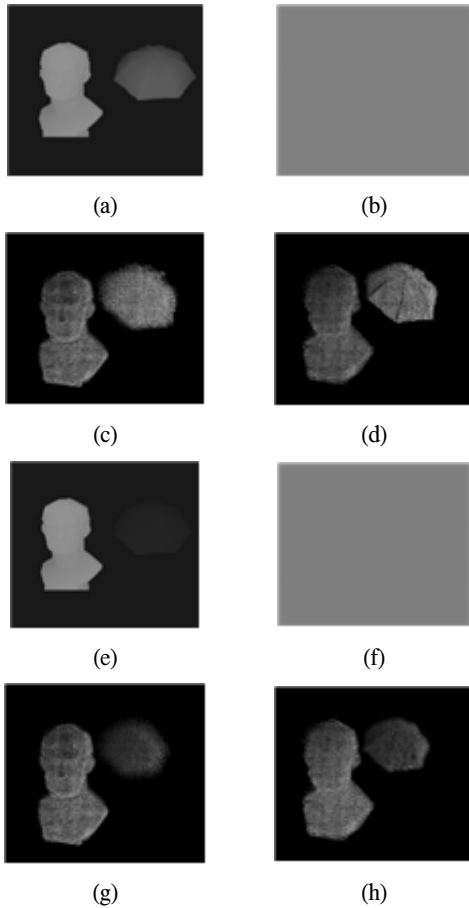


그림 6. 관심영역 처리의 예  
Fig. 6 Example of ROI process

### 3.3. 홀로그램 영역에서의 콘텐츠 합성

지금까지는 깊이정보를 조작하여 홀로그램 콘텐츠를 저작하거나 합성하는 방법을 설명하였다. 본 절에서는 깊이정보 영역이 아닌 홀로그램 영역에서 홀로그램 콘텐츠를 합성하는 방법을 설명한다. 그림 7에 홀로그램을 합성하는 두 가지 방법을 도시하였으며, 앞 절까지의 설명은 그림 7(a)에 해당한다.

CGH에 의한 홀로그램 생성방식은 그 자체로서 선형성을 띄고 있다. 따라서 식 (17)의 관계가 성립된다.

$$CGH(\text{depth } A + \text{depth } B) = CGH(\text{depth } A) + CGH(\text{depth } B) \quad (17)$$

즉, 그림 8(a)와 같이 깊이지도 각각에 대해 깊이정보를 조작한 결과를 합성하고 그 결과를 CGH로 연산한 결과와 그림 8(b)와 같이 각 깊이지도의 깊이정보를 조작한 후 각각에 대해 CGH를 생성하고 그 결과를 합성하는 것은 동일하다. 그림 8에 그림 7의 두 방법에 대한 예를 보이고 있다. 두 복원영상 모두 토끼에 초점을 맞춘 결과인데, 두 방법으로 합성한 그림 8(a)와 (b)가 동일함을 알 수 있다.

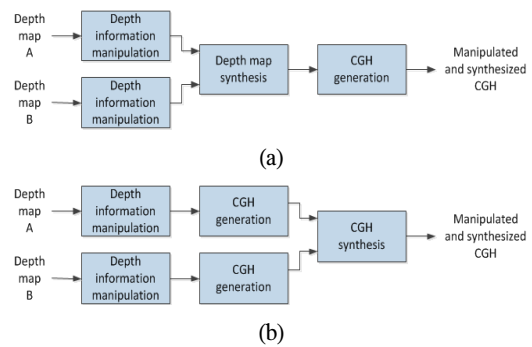


그림 7. 홀로그램 저작 및 합성 방법  
(a) 깊이정보 합성, (b) 홀로그램 합성  
Fig. 7 Hologram manipulation and synthesis methods  
(a) depth information manipulation  
(b) hologram synthesis

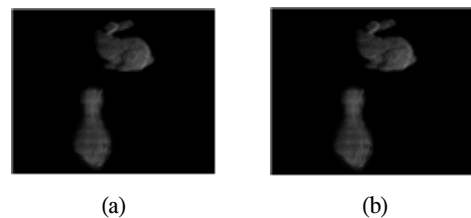


그림 8. 그림 7의 두 방법에 대한 예:  
(a) 그림 7(a) 방법, (b) 그림 7 (b) 방법.  
Fig. 8 Examples of the two methods in Fig. 7:  
(a) method of Fig. 7 (a), (b) method of Fig. 7 (b).

## IV. 실험

본 장에서는 앞 장에서 설명한 제안한 저작방법들을 사용하여 홀로그램을 저작하고 합성하는 실험을 수행한다. 이를 위해 실험 환경과 실험방법에 대해 실

명하고 수행한 실험의 내용과 결과를 설명하고 분석한다.


4.1. 실험환경 및 방법

앞에서 설명한 바와 같이 본 논문에서는 정합방식에 의한 시차값과 변환된 깊이값 모두를 사용한다. 디지털 홀로그램은 식 (1)의 CGH 생성식을 그대로 사용하였으며, 디지털 홀로그램으로부터 원 영상을 복원하는 방법은 시뮬레이션에 의한 방법을 사용하였다. 본 논문에서는 정합방식에 의한 깊이정보로 Middlebury 사이트[10]에서 제공하는 실험영상을 사용하였으며, 이 영상들은 Canon G1을 사용하여 획득되었다.

정합방식의 영상은 Middlebury 사이트에서 제공하는 시차지도를 이용하였으며, 각 영상과 시차지도에서 특정 객체를 추출하여 사용하였다. 그림 9에 Baby와 Flowerpots의 두 테스트 영상의 예를 보이고 있는데, (a)와 (e)는 좌영상, (b)와 (f)는 우영상, (c)와 (g)는 Middlebury 사이트에서 제공하는 시차정보를 각각 나타내고 있다. 또한 (d)와 (h)는 영상 중 특정 객체를 추출하여 식 (1)로 생성한 디지털 홀로그램을 시뮬레이션 방법으로 복원한 영상이다.

TOF 방식의 깊이카메라로 직접 깊이정보를 획득하는 방법을 위해서 MESA Imaging사의 SR4000 깊이카메라를 사용하여 직접 촬영하였다. 표 1에 이 카메라의 사양을 나타내었으며[9], 이 카메라로 촬영한 결과의 깊이값은 식 (6)으로 변환하여 사용하였다. 그림 10은 이 깊이 카메라로 촬영한 깊이정보로 홀로그램을 생성하고 이를 시뮬레이션 방법으로 복원한 예를 보이고 있다.

표 1. SR4000 깊이 카메라의 사양  
Table. 1 Spec. of SR4000 depth camera

출력 주파수	50 MHz	
해상도	176(h)×144(v)	
시야각	43.6° (h)×34.6° (v)	
픽셀퍼치	40µm	
조사파장	820nm	

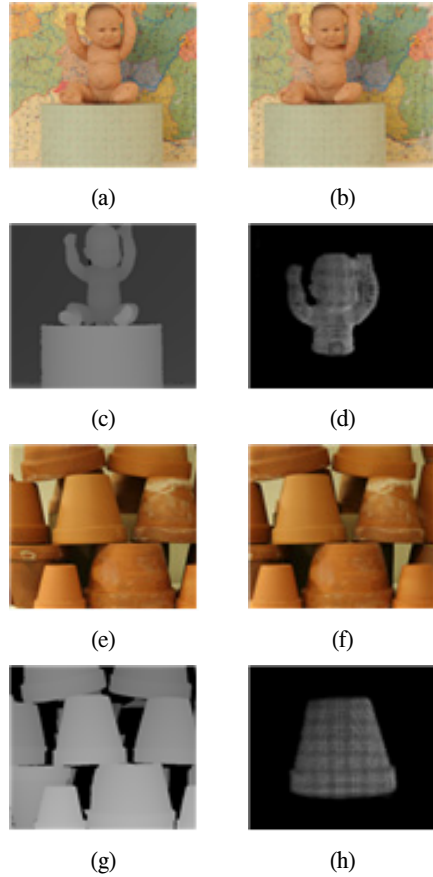


그림 9. 시차지도를 이용한 디지털 홀로그램 생성 예  
Fig. 9 Examples of generated CGHs with disparity maps

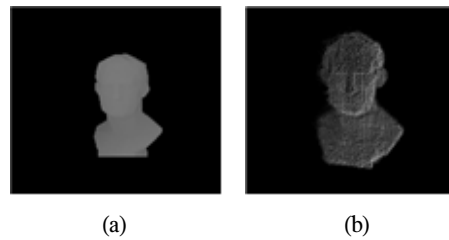


그림 10. 깊이카메라로 획득한 깊이지도를 사용한 홀로그램 생성 및 복원 (a) 깊이지도, (b) 복원영상.  
Fig. 10 CGH generation and reconstruction with depth map by a depth camera: (a) depth map, (b) reconstructed image.



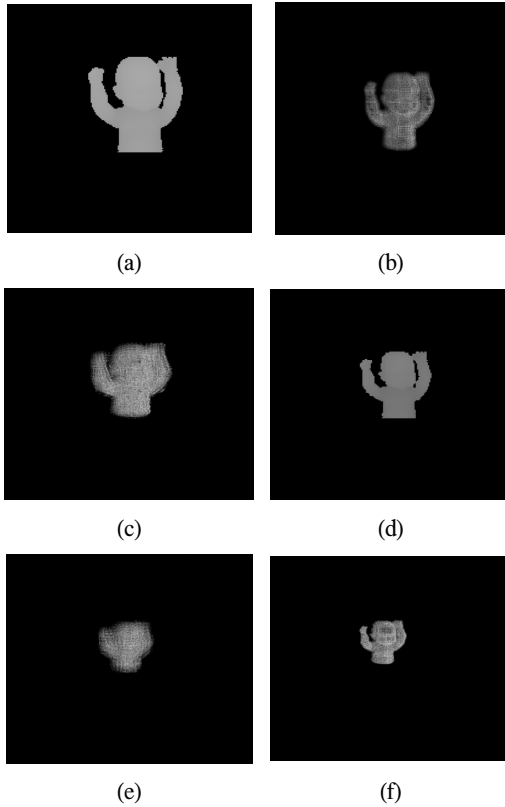


그림 11. 정합방식으로 획득한 깊이정보의 조작  
Fig. 11 Depth map manipulation example for stereo matching method

#### 4.2. 디지털 홀로그램 콘텐츠의 제작

##### (1) 정합방식에 의한 깊이정보 조작

정합방식으로 획득한 시차정보를 변환한 깊이정보 중 객체부분을 추출하여 그 결과를 위치 이동하도록 조작하여 디지털 홀로그램을 생성하고 그 결과를 복원하였다. 그림 11에 예를 보이고 있는데, 위치이동 중 거리를 변화시키지 않는 이동은 단순한 좌표변환이므로 여기서는 거리를 이동시키는 예를 보였다. (a)의 물체중심까지의 거리는 약 80cm이며, 이를 100cm로 변경한 것이 (d)이다. (b)와 (c)는 (a)로 생성한 홀로그램을 복원한 영상이며, (e)와 (f)는 (d)로 생성한 홀로그램을 복원한 영상이다. 이 중 (b)와 (e)는 복원거리를 (a) 물체중심에 맞춘 것이고, (c)와 (f)는 (b) 물체중심으로 복원거리를 맞춘 것이다. 즉, 복원한 영상들에서 해당 물체가 위치한 거리를 나타내고 있다.

##### (2) 깊이카메라로 획득한 깊이정보 조작

TOF 방식의 깊이카메라로 촬영한 깊이영상 또한 정합방식의 깊이정보와 동일한 방법으로 조작하였다. TOF 깊이카메라로 획득한 깊이정보를 조작한 예를 그림 12에 보이고 있는데, 그 방법은 그림 11과 동일하다.

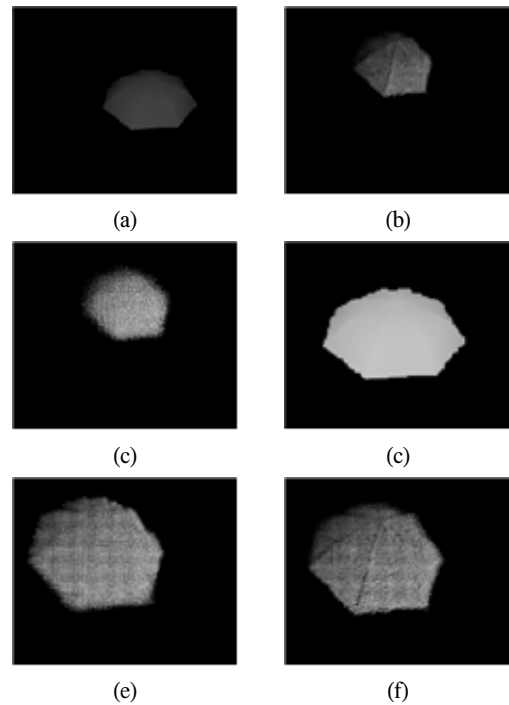


그림 12. TOF카메라로 획득한 깊이정보 조작  
Fig. 12 Depth map manipulation for TOF camera method

##### (3) 깊이정보 합성

앞의 두 절에서 생성한 각 깊이정보를 조작하고 합성하여 또 다른 깊이정보를 만들고, 그것을 사용하여 CGH 방식으로 디지털 홀로그램을 생성하고 복원하였다. 그림 13에 그 예를 보이고 있는데, 여기에는 정합방식으로 획득한 두 물체(아이와 화분)의 깊이정보와 TOF 깊이카메라로 획득한 두 물체(우산과 다비드)를 사용하였으며, 각 방식의 한 물체씩 합성하여 총 4개의 합성된 깊이정보를 생성하였다. 아이의 물체중심은 약 80cm, 화분은 75cm, 다비드는 약 100cm, 우산은 약 120cm이었다.

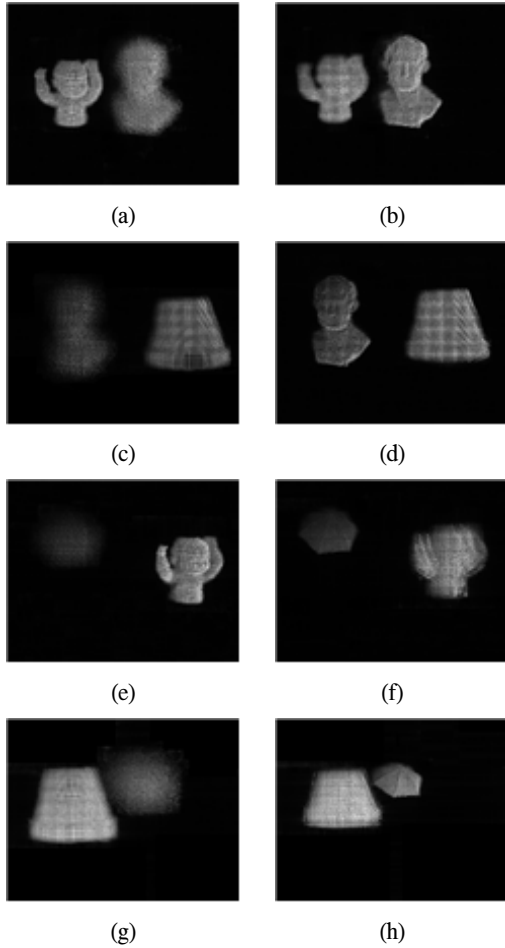


그림 13. 깊이정보합성에 의한 홀로그램 저작  
Fig. 13 Hologram manipulation by synthesizing the depth information

그림 13(a)와 (b)는 아이와 다비드를 합성한 것이고, (c)와 (d)는 다비드와 화분, (e)와 (f)는 우산과 아이, (g)와 (h)는 화분과 우산을 각각 합성한 결과이다. 각 쌍의 복원영상은 각 물체중심에 복원거리를 맞춘 것인데, 그림에서 볼 수 있듯이 복원거리에 따라 물체가 뚜렷하기도 하고 흐릿하기도 하다. 이것은 각 물체리가 원하는 거리에 위치한다는 것을 보이는 것이다.

(4) 깊이정보 조작에 의한 관심영역 처리

관심영역과 비관심영역을 분리하여 비관심영역의 깊이정보 해상도를 낮추는 방법은 3-2절에서 설명할 때

이미 예를 보인 바 있으나, 그림 14에 다른 예를 보였다. 이 예에서는 화분을 관심영역으로, 우산을 비관심영역으로 처리한 것이며, 비관심영역의 해상도를 가로와 세로를 각각 반으로 줄인 결과이다. 비관심영역에 초점을 맞춘 두 복원영상에서 보면 두 물체의 선명도가 많이 차이가 나지만, 관심영역에 복원거리를 맞춘 두 그림에서 보면 비관심영역의 해상도를 줄인 경우와 줄이지 않은 경우의 차이가 거의 없는 것을 볼 수 있다.

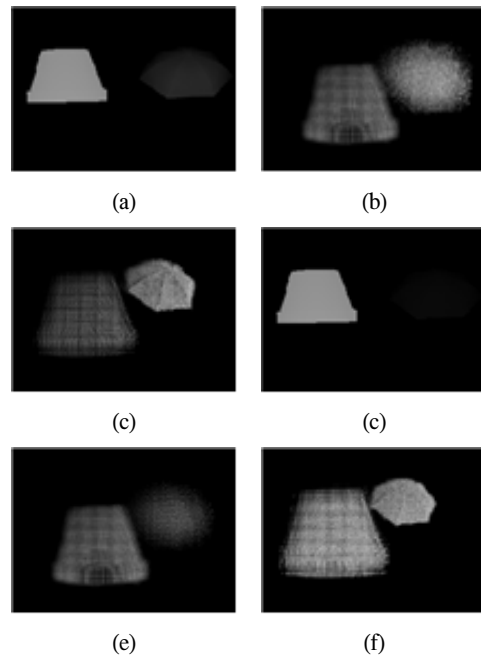


그림 14. 관심영역 처리의 예  
Fig. 14 Example of ROI process

4.3. 홀로그램 합성

앞 절에서 깊이정보를 조작하여 홀로그램 콘텐츠를 저작하고 합성하는 방법을 구현하였다. 본 절에서는 깊이정보영역이 아닌 홀로그램 영역에서 두 개 이상의 콘텐츠를 합성하여 새로운 콘텐츠를 형성하는 방법을 구현한다.

이미 3.3절에서 두 개의 홀로그램을 합성한 예를 보였기 때문에 여기서는 세 개의 홀로그램을 합성한 예를 보였다. 그림 15(a)는 합성할 각각의 객체를 깊이정보로 나타낸 것이고, (b)는 각 객체에 대한 홀로그램을 합성하여

하나의 홀로그램으로 만든 것이며, (c), (d), (e)는 홀로그램 영역에서 합성된 우산, 다비드, 아이에 각각 초점을 맞춰 복원한 영상이다. 세 홀로그램을 합성한 결과 홀로그램이 세 물체의 정보를 모두 포함하고 있으며, 실험결과 원 홀로그램이 가지고 있던 위치정보를 그대로 보유하고 있음을 알 수 있다.

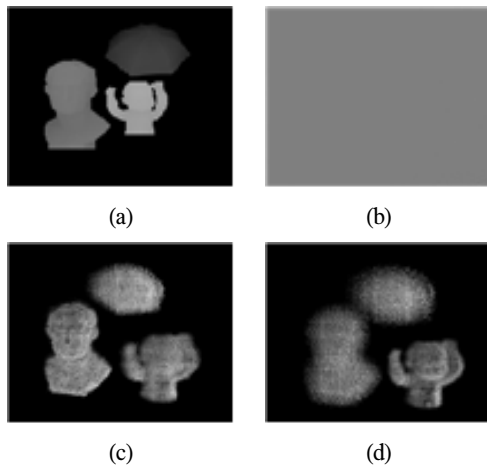


그림 15. 홀로그램 합성에 의해 디지털 홀로그램 콘텐츠를 획득

Fig. 15 Example to obtain a digital hologram content by synthesizing hologram contents

## V. 결 론

본 논문에서는 깊이정보를 스테레오 정합방식으로 획득한 깊이정보와 TOF 방식의 깊이 카메라로 획득한 깊이정보를 사용하였으며, 스테레오 정합방식으로 획득한 깊이정보를 카메라의 파라메타를 이용하여 정확한 깊이정보로 변환하여 사용하였다. 스테레오 정합방식의 깊이정보는 거리에 반비례하여 물체의 크기와 물체의 깊이가 변화하는 한편, TOF방식의 깊이정보 카메라는 거리에 따라 물체의 크기는 반비례하지만 물체 두께는 변화하지 않는다.

본 논문에서는 이러한 콘텐츠의 깊이정보 생성의 특성을 분석하여 콘텐츠를 결합하고 물체의 위치를 변화하여 깊이정보를 생성하였다. 또한 홀로그램 영역에서의 물체의 각각의 홀로그램은 선형성을 실험을 통하여

증명하였으며, 증명된 선형성의 특성을 이용하여 물체의 각각의 홀로그램을 생성하여 기존의 홀로그램에 새로 획득한 홀로그램을 합성방법으로 홀로그램 영역에서 콘텐츠를 합성하였다.

## 참고문헌

- [ 1 ] S. A. Benton, and V. M. Bove, Jr, *Holographic Imaging*, Wiley Inter-Science, 2008.
- [ 2 ] J. Bühl, et al., "Digital synthesis of multiple off-axis holograms with overlapping Fourier spectra", *Elsevier*, Vol. 283, Issue 19, pp. 3631-3638, October 2010.
- [ 3 ] Takanori Nomura, et al, "Image quality improvement of digital holography by superposition of reconstructed images obtained by multiple wavelets", *Applied Optics*, Vol. 47, No. 19, July 2008.
- [ 5 ] L. A. Lessard, et al., "Practical Holography XXI: Materials and Applications", *Proc. SPIE 6488*, 2007.
- [ 6 ] C. W. Slinger, et al., "Recent developments in computer-generated holography: toward a practical electroholography system for interactive 3D visualization," *Proc. SPIE 5290*, pp. 27 - 41, 2004.
- [ 7 ] M. Paturzo, et al., "Synthesis and Display of Dynamic Holographic 3D Scenes Real-World Objects," *Optics Express*, Vol. 18, No. 9, pp. 8806-8815, April 2010.
- [ 8 ] D. Scharstein and R. Szeliski. "A taxonomy and evaluation of dense two-frame stereo correspondence algorithms.", *International Jo. of Computer Vision*, 47(1/2/3), pp. 7-42, 2002.
- [ 9 ] Mesa Imaging, "SR4000 User Manual", Manual 1.4
- [ 10 ] <http://vision.middlebury.edu/stereo/>

## 저자소개



**홍기성(Ki-Sung Hong)**

2003년 2월 유한전문대학 졸업  
2009년 2월 수원대학교 전자공학과  
졸업(공학사)  
2011년 8월 광운대학교 일반대학원

※ 관심분야: 디지털 홀로그램, SoC 설계



**서영호(Young-Ho Seo)**

1999년 2월 광운대학교 전자재료  
공학과 졸업(공학사)  
2001년 2월 광운대학교 일반대학원  
졸업(공학석사)

2004년 8월 광운대학교 일반대학원 졸업(공학박사)  
2003년 9월 ~ 2004년 6월 한국전기연구원 연구원  
2005년 9월 ~ 2008년 2월 한성대학교 조교수  
2008년 3월 ~ 현재 광운대학교 교양학부 부교수

※ 관심분야: 실감미디어, 2D/3D 영상 신호처리,  
디지털 홀로그램



**김동욱(Dong-Wook Kim)**

1983년 2월 한양대학교 전자공학과  
졸업(공학사)  
1985년 2월 한양대학교 공학석사  
1991년 9월 Georgia공과대학  
전기공학과(공학박사)

1992년 3월 ~ 현재 광운대학교 전자재료공학과  
정교수 신기술 연구원

2000년 3월 ~ 2001년 12월 인티스닷컴(주) 연구원  
2009년 3월 ~ 현재 광운대학교 실감미디어 연구소  
연구소장

2006년 3월 ~ 현재 (사)실감미디어 산업협회 이사  
※ 관심분야: 3D 영상처리, 디지털 홀로그램, 디지털  
VLSI Testability, VLSI CAD, DSP설계, Wireless  
Communication