

논문 2006-43SD-10-3

능동형 센서의 깊이 정보를 이용한 컴퓨터 형성 홀로그램

(Computer-generated hologram based on the depth information of active sensor)

김 상 진*, 강 훈 중**, 유 지 상*, 이 승 현*

(Sang-Jin Kim, Hoon-Jong Kang, Ji-Sang Yoo, and Seung-Hyun Lee)

요 약

본 논문에서는 능동형 센서와 연결된 카메라에서 얻어진 깊이 정보와 칼라 영상으로부터 컴퓨터형성 홀로그램을 제작하는 방법을 제안하였다. CGH 생성을 위해 컴퓨터그래픽 모델을 사용하는 기존의 홀로그래픽 디스플레이 시스템과는 달리, 카메라로 획득되는 각 물체의 칼라 정보 뿐 아니라 깊이 정보를 포함하는 카메라의 실사 영상을 사용하였다. 이 과정은 실사 물체로부터 깊이가 포함된 영상정보를 획득하는 단계와 깊이 정보로부터 추출된 3D 정보를 이용하여 CGH를 생성하는 두 가지 단계로 구성되어 있다. 또한, 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 구성하여 제작된 CGH를 디스플레이 하였다. 실험 시스템에서는 1408X1050의 해상도와 10.4um의 픽셀 크기를 갖는 반사형 LCD 패널을 사용하여 CGH로부터 영상을 재생하였다.

Abstract

In this paper, we propose a method that can generate a computer-generated hologram (CGH) from the depth stream and color image outputs provided by an active sensor add-on camera. Distinguished from an existing holographic display system that uses a computer graphic model to generate CGH, this method utilizes a real camera image including a depth information for each object captured by the camera, as well as color information. This procedure consists of two steps that the acquirement of a depth-annotated image of real object, and generation of CGH according to the 3D information that is extracted from the depth cue. In addition, we display the generated CGH via a holographic display system. In experimental system, we reconstruct an image made from CGH with a reflective LCD panel that had a pixel-pitch of 10.4um and resolution of 1408X1050.

Keywords: computer-generated hologram, depth-annotated image, spatial light modulator, point hologram

I. 서 론

입체감이 있는 사진, 영화를 보고 싶다는 소망으로부터 19세기 중엽의 입체사진을 비롯한 다양한 3D 디스플레이 원리에 대한 고찰이 이루어져 왔으며, 최근 3D 영

상에 관한 연구, 개발이 다시 활발해지고 있다.^[1,2] 홀로그래피는 스테레오스코픽 디스플레이 방식에서 이용하고 있는 양안시차나 폭주를 이용하는 방식과는 전혀 다른 디스플레이 방식이다. 마치 거기에 공간적으로 상이 실존하고 있는 것처럼, 필요한 광학적 정보가 모두 재생된다. 기본적으로 홀로그램은 실제 물체에 레이저 광선을 쬐어서 기록하게 된다. CGH는 컴퓨터를 이용하여 컴퓨터그래픽이나 가상정보 물체로부터 파면을 계산하고, 그 간섭 패턴을 플로터나 프린터 등을 이용하여 출력하는 홀로그램을 말한다. 기존의 홀로그래픽 디스플레이 시스템은 CGH를 생성하기 위하여 컴퓨터그래픽에 의해 만들어진 3차원 모델을 주로 이용하였다.^[3-5] 이와 같이 3차원 모델을 이용하는 대표적인 이유는 3차

* 정회원, 광운대학교 전자공학과
(Dept. of Electronics Engineering Kwangwoon University)

** 정회원, 일본대학교
(Nihon University)

※ "본 연구는 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터 지원사업의 연구결과로 수행되었음" (IITA-2006-C1090-0603-0017)

접수일자: 2006년5월10일, 수정완료일: 2006년9월18일

원 모델로부터 CGH를 생성하기 위한 정보를 쉽게 얻을 수 있다는 이점이 있기 때문이다. 최근에 실사에 대한 디지털 3차원 정보를 얻을 수 있는 다양한 방법들이 개발되고 있다^[6]. 본 논문에서는 실사에 대한 칼라영상과 깊이 정보를 획득할 수 있는 능동형 센서 장비로써 ZCam Add-on (3dvsystems Co., Ltd.)을 사용하였으며,^[7-8] 이를 이용하여 획득된 칼라 영상과 깊이 정보는 CGH를 생성하기 위한 정보로써 이용되었다. 획득된 칼라 영상과 깊이 정보로부터 CGH를 생성하기 위한 3차원 정보인 x, y, z축의 좌표 값 과 좌표 값에 대한 광세기를 추출하였으며, 추출된 정보와 광원을 포함한 광학 파라미터를 이용하여 CGH를 생성하였다. 광학실험에서는 반사 형으로 구성된 JVC사의 0.7" D-ILA를 SLM 으으로써 사용하여 생성된 CGH를 디스플레이 하였다 0.7" D-ILA 패널의 픽셀 피치는 10.4um이며, 해상도는 1408X1050로써 픽셀의 크기가 작아 회절이 잘 일어나는 장점을 가지고 있다. 실험을 통해 ZCamTM 으로부터 획득된 정보를 이용하여 생성된 CGH를 SLM (spatial light modulator)에 디스플레이 한 다음 공간 상에서 3D 영상을 관찰함으로써, 실사에 대한 3D CGH 생성 및 디스플레이의 가능성을 제시하였다.

II. 본 론

1. 실사 이미지의 RGB와 깊이 정보 획득

본 논문에서는 그림 1에서와 같이 능동형 센서를 부착한 카메라를 사용하여 CGH 를 생성하였다. 이 과정은 두 단계로 구성되는데, 먼저 실사 이미지의 RGB 영상과 깊이 정보를 획득하는 과정 및 획득된 두 가지 정보로부터 구해진 3차원 정보로부터 CGH를 생성하는 과정으로 나눌 수 있다.

사용된 ZCamTM은 방송용 ENG 카메라와 연결되어 동작되는 영역감지 능동형 센서카메라이다. 이 센서는 ENG 카메라에서 얻어지는 칼라 비디오 영상에 일치하는 거리영역에 대한 흑백의 비디오 스트림을 제공한다. 또한, 입력 장면의 칼라 값과 아울러 깊이 정보를 획득할 수 있으므로, 거리에 따른 그레이 레벨 값으로써 물체에 대한 깊이지도(depth map)을 구할 수 있다. ZCamTM에 의해 제공되는 깊이 정보는 비디오 영상의 모든 프레임과 일치하는 한 개의 영상(Z-Buffer)을 이루게 되고, 능동형 센서로부터 얻어진 깊이 정보와 일치하는 비디오 컬러 정보를 가지고 있다. 이 모든 작업이 실시간으로 이루어진다.

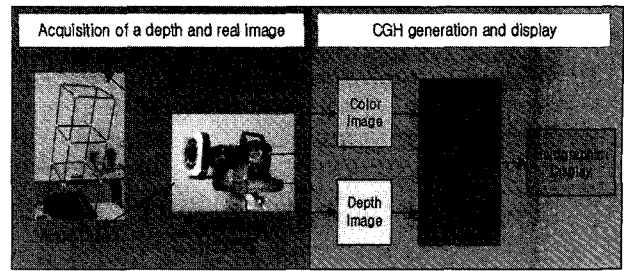


그림 1. 시스템 블록도
Fig. 1. System block diagram.

본 논문에서는 ZCamTM을 이용하여 실사의 칼라 영상 및 이와 일치하는 깊이 정보를 얻기 위해 실제 물체로써 하나의 구조물을 이용하였다. 구조물은 반사가 잘 되는 12개의 노드로 구성되어 있으며, 노드간의 연결은 반사가 잘 되지 않는 검정색 파이프로 이루어져 있다. 노드와 노드간의 거리는 균일하게 각 방향으로 300mm이다. ZCamTM은 적외선의 반사를 이용하여 실사 물체에 대한 깊이 정보를 추출하므로, 구조물을 제작할 때 깊이 정보로 노드만이 반사되어 나타날 수 있도록 노드 이외의 부분은 반사가 안되는 검정색으로 만들었다. 또한 카메라로부터 가까운 노드와 멀리 있는 노드 간의 깊이 정보차를 크게 하기 위하여 구조물을 기울여서 촬영하였으며 실사 객체를 약90도씩 회전하여 4방향에서 영상을 획득하였다. ZCamTM에 의해 획득된 영상은 깊이 정보는 그레이 영상이며, 각 영상의 그레이 정보 값은 카메라로부터 객체까지의 거리를 의미한다. 즉, 가까운 객체에 대한 깊이 정보는 255에 가까운 값을 가지며, 카메라로부터 멀리 있는 객체의 깊이 정보는 0에 가까운 값을 갖는다. 8비트의 그레이 레벨을 표현할 수 있으며, 카메라 영역이 자유롭게 조정될 수 있으므로 영역이 작게 설정되면 고해상 그레이 레벨 정보를 얻을 수 있다. 촬영된 구조물에 대한 칼라 영상과 깊이 정보를 그림 2에 나타내었다. 여기서 깊이 정보는 카메라로부터 출력된 깊이 정보에서 노이즈가 제거되도록 후 처리를 한 것이며, 구조물로부터 획득된 깊이 정보는 카메라로부터의 거리에 따라 광세기가 다르다는 것을 알 수 있다. 카메라로부터 가까운 노드는 깊이 정보에서 높은 광세기 값을 가지며, 카메라로부터 멀리 떨어져 있는 노드는 깊이 정보에서 낮은 광세기 값을 갖는다. 즉, 가까운 수록 밝게, 멀리 있을수록 어둡게 되어 깊이 정보로부터 노드 간의 거리차를 알아낼 수 있다. 획득된 깊이 정보에 대해 노드 간의 거리차를 쉽게 알아볼 수 있도록 그래프를 이용하여 그림 3에 나타내었다.

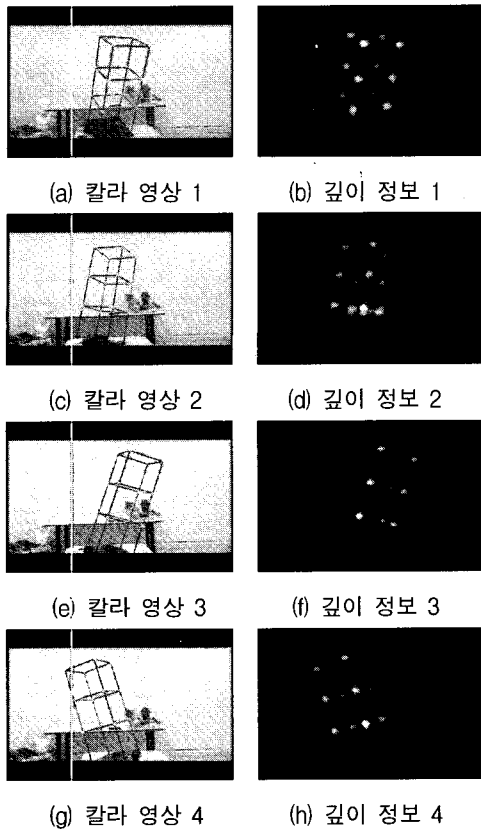


그림 2. ZCam으로부터 획득된 칼라 영상 및 깊이 정보
 Fig. 2. Color image and depth information captured by a ZCam.

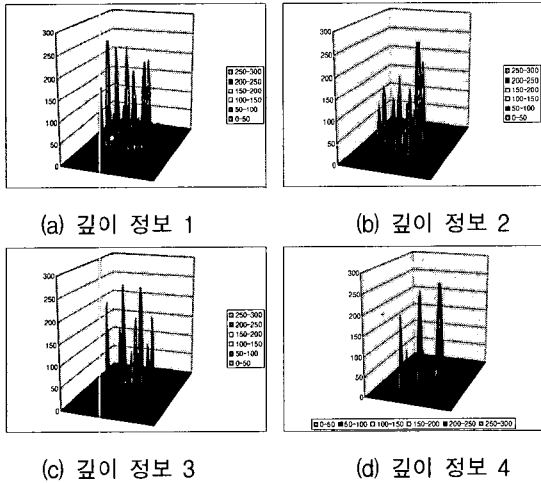


그림 3. 깊이 정보에 대한 3D 그래프
 Fig. 3. 3D Graph of the depth information.

2. CGH 생성

그림 2에서와 같이 획득된 칼라 영상과 깊이 정보를 이용하여 CGH를 생성하였으며, 실사 물체의 칼라 영상과 깊이 정보를 이용하여 CGH를 생성하는 과정을 그림 4에 나타내었다. CGH를 생성하기 위하여, 먼저 칼라 영상을 칼라별 3개의 영상 즉, 적색, 청색, 녹색 영상으로

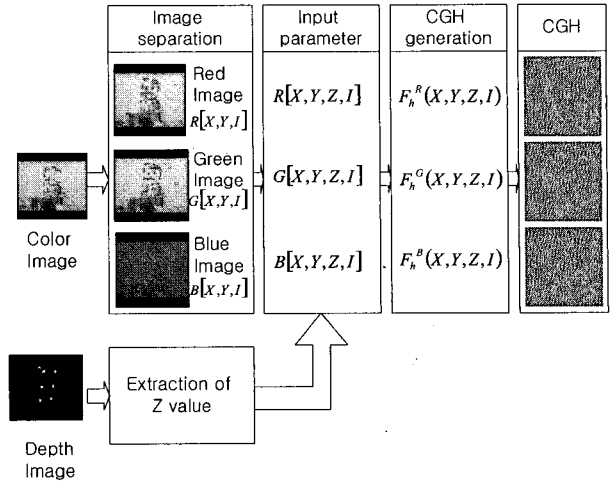


그림 4. 칼라 정보와 깊이 정보를 이용한 CGH 생성 과정
 Fig. 4: CGH generation process using depth and color information.

분리한다. 또한 분리된 각각의 영상으로부터 x축과 y축에 대한 좌표 값과 광세기를 추출한다. 그리고 깊이 정보는 그레이 정보로써 0에서부터 255의 값을 갖지만 깊이 정보에서의 픽셀 광세기는 원점으로부터 거리 값에 반비례하는 광세기 값을 나타내므로 그레이 정보를 3차원 가상공간에서의 거리 값 즉, Z 축에서의 z 값으로 사용한다. 따라서 CGH를 생성하기 위해 실사 객체의 3차원 정보를 구할 수 있으며, 이는 다음과 같이 표현할 수 있다.

적색영상(Red image) : $R[X, Y, Z, I]$

녹색영상(Green image) : $G[X, Y, Z, I]$

청색영상(Blue image) : $B[X, Y, Z, I]$

여기에서 X, Y는 칼라 영상에서 획득된 좌표 값이며, Z는 깊이 정보로부터 산출된 객체까지의 거리 값, I는 좌표(X, Y)에 해당하는 칼라 영상에서의 광세기 값을 의미한다.

이로부터 CGH를 생성하기 위한 3차원 정보 값을 얻을 수 있으며, 생성된 실사의 3차원 정보를 이용하여 CGH를 구성하였다. CGH 생성을 위해 사용한 수식을 아래에 나타내었다. 이 수식은 허수 값을 계산하지 않고 실수 값만을 계산하므로 2배가량 연산 속도를 증가시킬 수 있다. 즉, 3차원 가상공간을 샘플링 함으로써 각 점에 따른 계산을 통해 포인트 홀로그램을 생성할 수 있다.^[9]

$$I(p) = 2 \sum_{p=1}^N \frac{a_p}{r_p} \cos(kr_p + kp \sin \theta_p + \phi_p) \tag{1}$$

여기서, (x, y, z) 평면에 빛의 반사 물질이 놓여 있다고 가정할 때, p 번째 점은 (x_p, y_p, z_p) 로 표현할 수 있다. 각 점들은 실수 값의 진폭 α_p 와 상대적인 위상 ϕ_p 을 갖는다. N 은 (x, y, z) 평면에서의 점의 개수를 나타낸다.

k 는 주파수, $\left(k = \frac{2\pi}{\lambda}\right)$, λ 는 빛의 파장, r_p 는 p 번째 점과 $(x, y, 0)$ 점 사이의 거리, α_p 는 실수 값 진폭. θ_p 는 x - y 축에 대한 기준과의 입사각, ϕ_p 는 상대 위상이다. P 번째 점과 $(x, y, 0)$ 점 사이의 거리 r_p 는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$r_p = \sqrt{(x-x_p)^2 + (y-y_p)^2 + z_p^2} \quad (2)$$

III. 홀로그래픽 디스플레이 실험

실험에서 사용한 시스템의 구조를 그림 5에 나타내었다. 광원은 532nm의 파장을 갖는 레이저를 이용하였으며, 광원의 대한 집적화를 위하여 2개의 렌즈 L1, L2를 이용하였다. 렌즈 L1, L2에 의해 빔은 평면파로 만들어지며, 빔분할기(BS)에 입사된다. 이때 BS는 편광 BS이다. 또한 입사 빔도 S 편광 된 빔 이어야 한다. 입사된 빔은 BS에 의해 반사되어 SLM에 입사된다. SLM에 입사된 빔은 SLM에 의해 변조되어 반사된다. 반사된 빔은 BS를 지나 렌즈 L3에 입사되어 변조된 형태에 따라 자유공간 상에 홀로그램이 디스플레이 된다. 그림 5에 나타난 홀로그래픽 디스플레이 시스템에 의해 디스플레이 된 홀로그램 영상을 그림 6에 나타내었다. 각각의 영상은 객체를 기울여서 획득한 4개의 영상에 대한 복원된 영상을 나타낸 것이다. 홀로그래픽 디스플레이 시스템에 의해 디스플레이 되는 영상을 획득하기 위해 실험에서는 줌 기능이 포함되어 있는 CCD 카메라를 이용하였다. 광원 렌즈 또는 고 배율 렌즈는 심도가 낮기 때문에 렌즈의 초점 거리에 맞는 실사만이 상이 나타나며 그 외의 영역은 비 초점 영역에 나타나게 됨으로 상이 뚜렷하게 나타나지 않게 된다. 즉, 이러한 특징을 이용하여 거리에 따라 복원된 홀로그래픽 영상을 획득하였다. 그림 6(a) 전면 초점 영상은 카메라에서 가장 가까운 포인트에 초점을 맞추어 획득한 영상이며, 6(b) 중간면 초점 영상은 중간 포인트에, 마지막으로 6(c) 후면 초점 영상은 가장 먼 거리에 있는 포인트에 초점을 맞추어 획득한 영상이다. 초점이 맞는 포인트의

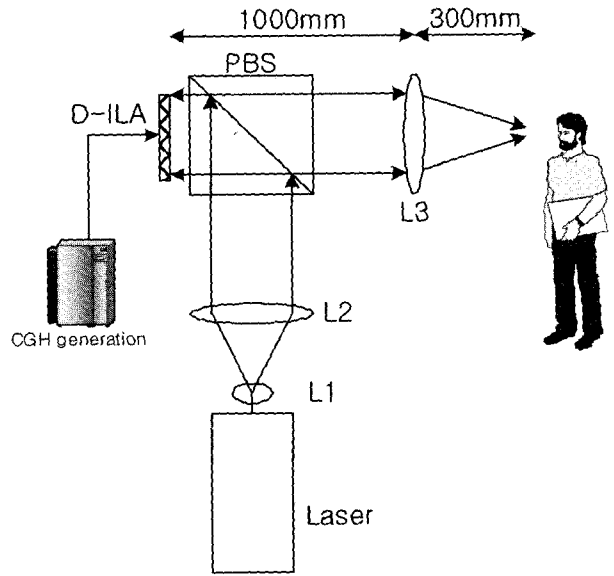


그림 5. 홀로그래픽 디스플레이 시스템도
Fig. 5. Holographic display system block diagram 17.

복원 영상 1			
복원 영상 2			
복원 영상 3			
복원 영상 4			
	(a) 전면 초점	(b) 중간면 초점	(c) 후면 초점

그림 6. 복원된 CGH 영상
Fig. 6. Reconstructed CGH images.

영상은 단일 포인트로 정확하게 나타나며 높은 광세기를 가지고, 초점 영역이 아닌 포인트의 영상은 블러링 효과가 나타나는 것을 알 수 있다. 포인트들의 중간 위

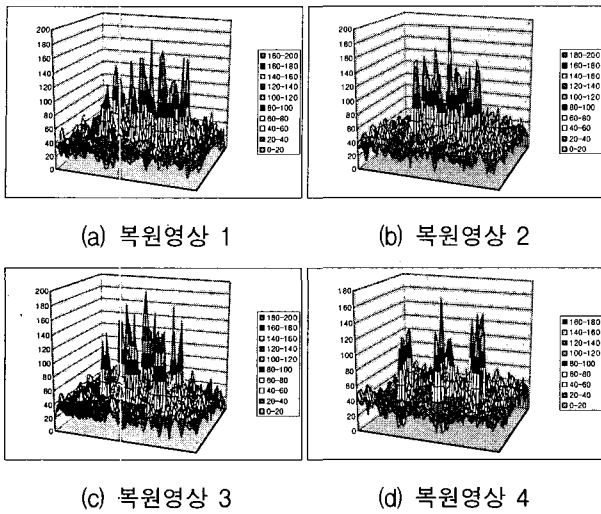


그림 7. 중간 깊이 영역에 초점을 맞추어 획득된 CGH 복원 영상의 광세기

Fig. 7. The intensity of reconstructed CGH image that the camera was focused on the middle plane of depth.

치에 있는 포인트에 초점을 맞춘 복원된 영상에 대한 그래프를 그림 7에 나타내었다. 그림 7은 중간 면에 초점이 맞춰진 상태이므로 가운데 포인트가 가장 높은 광세기를 가지며 초점 영역을 벗어나면서 진폭이 감소됨을 알 수 있다. 본 실험에서는 SLM으로 JVC사의 07" DILA-SX070을 사용하였다.^[10] SLM의 해상도는 1408 X 1050이며, 픽셀 피치는 10.4um이다. 단일 파장의 평면파가 사각 개구 면에서 회절 될 때, x 축과의 각도는 아래의 식으로 표현된다.

$$a = \tan^{-1} \left(\frac{\lambda}{2P_x} - \frac{P_x}{z} \right) \quad (3)$$

여기서, a 는 SLM에 의해 회절 되는 각도를 의미한다. $2P_x$ 는 SLM의 픽셀 크기, λ 는 파장, z는 거리, d는 한 픽셀에 의한 회절 영역이다. 위의 수식에서 픽셀이 작을 수록, 픽셀 사이의 간격이 클 수록 회절이 더 잘 발생함을 알 수 있다. 또한 식(3)에 의해 07" DILA-SX070는 약 3도 정도로 빛이 회절 한다는 것을 알 수 있다

IV. 결 론

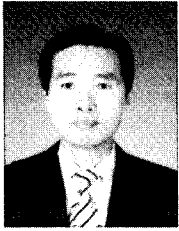
본 논문에서는 컴퓨터그래픽 모델 뿐만 아니라 카메라로 획득된 실사 영상을 이용하여 CGH를 생성하고 디스플레이 할 수 있는 가능성을 제시하였다. ZCam™을

사용함으로써 실사에 대한 칼라 정보 및 깊이 정보를 얻을 수 있었으며, 이로부터 만들어진 3차원 정보를 이용하여 CGH를 생성하였다. 생성된 CGH는 고해상 LCD를 SLM으로 사용한 홀로그래픽 디스플레이 시스템을 구성하여 재생하였다. 카메라로 획득되는 실사 영상에 대한 CGH의 제작이 실시간으로 이루어지고, 재생에 사용되는 SLM이 충분한 해상도를 갖는다면 홀로그램의 실시간 디스플레이가 가능하게 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] O. Schreer, P. Kauff and T. Sikora, "3D Video communication : Algorithms, concepts and real-time systems in human centred communication", John Wiley & Sons, September 23, 2005.
- [2] B. Javidi and F. Okano, "Three-dimensional television, video, and display technologies", Springer; 1 edition, October 3, 2002.
- [3] P. St. Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente, M. L. Jepsen, J. Kollin, H. Yoshikawa, and J. Underkoffler, "Electronic display system for computational holography", SPIE Proc. vol. 1212, Practical Display Holography IV, Jan. 1990.
- [4] P. St. Hilaire, S. A. Benton, M. Lucente, J. Kollin, J. Underkoffler, and H. Yoshikawa "Realtime holographic display : Improvement using a multichannel acousto-optic modulator and holographic optical elements", SPIE Proc. vol. 1461, Practical Holography V, 1991.
- [5] T. Honda, "About the advanced 3-D image telecommunication project," Proc. TAO First International Symposium of Three Dimensional Image Communication Technologies, S-6-4, 1993.
- [6] P. Narayanan, P. Rander, and T. Kanade, "Constructing virtual worlds using dense stereo", Proc. International Conference on Computer Vision (ICCV), 1998.
- [7] G.J. Iddan, and G. Yahav, "3D imaging in the studio (and elsewhere...)", Proc. Of SPIE 4298: Videometrics and Optical Methods for 3D Shape
- [8] H.J.Kang, C.H.Ahn, S.I.Lee and S.H.Lee, "Computer-generated 3D holograms of depth-annotated images", Proc. SPIE vol.5742, pp.234-241, Practical Holography XIX, Jan. 2005.
- [9] H. Yoshikawa, "Fast computation of Fresnel holograms employing difference", Optical Review, 8, 5, pp.331-335, 2001.
- [10] T. Ito, "Holographic reconstruction with a 10-pixel-pitch reflective liquid-crystal display by use of a light-emitting diode reference light", Optics Letters, vol. 27, no. 16, 2002.

— 저 자 소 개 —



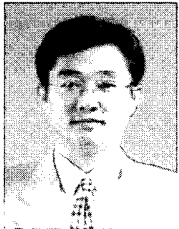
김 상 진(정회원)
 1988년 서울산업대학교
 전자공학과 학사
 2001년 서울산업대학교
 전자공학과 석사
 2004년~광운대학교 전자공학과
 박사 과정

1998년~1991년 해태전자 기술연구소 주임연구원
 1992년~1993년 삼성에스원 선임연구원
 1994년~현재 한전KDN주식회사 이사
 <주관심분야 : Stereoscopic Image & Video
 Codec, 3D Image Processing>



강 훈 증(정회원)
 1998년 광운대학교
 전자공학과 학사
 2001년 광운대학교
 전자공학과 석사
 2002년~2006년 한국전자통신
 연구소 연구원

2006년~현재 일본대학교 박사과정
 <주관심분야 : 컴퓨터형성홀로그램, 3D디스플레이>



유 지 상(정회원)
 1985년 서울대학교
 전자공학과 학사
 1987년 서울대학교
 전자공학과 석사
 1993년 Purdue University
 공학박사

1994년~1997년 한림대학교 교수
 1997년~현재 광운대학교 교수
 <주관심분야 : 비선형디지털필터링, Stereoscopic
 Image & Video Codec, 3D Image Processing>



이 승 현(정회원)
 1984년 광운대학교
 전자공학과 학사 졸업.
 1986년 광운대학교
 전자공학과 석사졸업
 1993년 광운대학교
 전자공학과 공학박사

1992년~현재 광운대학교 교수
 <주관심분야 : 컴퓨터형성홀로그램, 3D 콘텐츠
 제작, 3D 디스플레이>