

공간 광 변조기를 이용한 홀로그래픽 스테레오그램의 제작

(Holographic Stereograms using Spatial Light Modulator)

金銀錫*, 金 男*

(Eun-Seok Kim and Nam Kim)

요 약

기하학적 샘플링 방법을 이용하여 쉽게 홀로그래픽 스테레오그램을 제작하였다. 현재 실린더형 스테레오그램에서 사용되고 있는 샘플링은 단순히 물체의 회전각만을 분할하여 기록함으로써 정확한 양안시차를 제공하지 못하며, 평면형 스테레오그램의 제작에 적용하기가 어려웠다. 본 논문에서는 평면형 홀로그래픽 스테레오그램의 제작에 사용될 수 있는 새로운 샘플링 수(샘플링 각도) 계산법과 TFT LCD를 이용하여 홀로그래픽 스테레오그램의 제작하였다. 샘플링 수를 계산하기 위해 기하학적 방법을 사용하였으며, 2차원 영상은 TFT LCD를 통해 스크린에 투영하였다. 본 논문에서 제안한 샘플링 방법을 사용하여 정확한 양안시차를 제공하면서도 넓은 관찰범위를 갖는 홀로그래픽 스테레오그램이 제작되었으며, 3차원 영화 제작의 가능성도 제시하였다.

Abstract

Holographic stereograms were made using a geometrical method easily. Because the conventional sampling method which is used in cylinder type stereograms, divide the angles of the object so it can't offer a binocular parallax effect very well, and it is also difficult to apply to the plane type stereograms. In this paper, holographic stereograms were made by use of a new method for the calculation of the sampling number(here, sampling angles), and the TFT LCD. In order to calculate the sampling angles, geometrical method was used and 2-D images were projected onto diffuser screen through TFT LCD. Result stereograms which are made by a sampling method proposed in this paper give a accurate binocular parallax and have a sufficient viewing zone and show that it is possible to make 3-D movies.

I. 서 론

입체감은 관찰자의 두 눈이 동일 사물의 서로 다른 면을 동시에 관찰한 결과를 통해 인식되어진다. 관찰 영역(view zone)을 생성하는 3차원 디스플레이^[1]의 한 분야로써 홀로그래픽 스테레오그램은 안경이 필요 없고, 원하는 임의의 관찰 범위를 가질 수 있으며, 대

상 물체가 컴퓨터 그래픽이나 사진촬영에 의해 제공되므로 그 형태나 크기에 상관없이 제작이 가능하다는 등의 다양한 장점을 가지고 있다. 스테레오스코피(stereoscopy)에서는 각각의 장면에 대해 이에 상응하는 두 개의 관찰 영역이 존재한다. 관찰자의 왼쪽 눈은 물체의 왼쪽 영역을, 오른쪽 눈은 오른쪽 영역을 관찰함으로써 서로 다른 두 개의 영상을 보게 되고, 이들 정보가 대뇌에서 합성되어 3차원을 느끼게 된다. 관찰자의 위치가 고정되지 않고 좌우로 이동하여도 이에 상응하는 물체의 모습을 관찰할 수 있으며, 이 때 관찰자의 두 눈은 항상 같은 위치에서 일정한 관찰시

* 正會員, 忠北大學校 情報通信工學科

(Dept. of Computer & Comm. Eng., Chungbuk Nat'l Univ.)

接受日字:1997年10月25日, 수정완료일:1998年2月5日

점의 차이를 갖는 영상을 관찰하게 된다. 모든 관찰 영역에서 관찰되는 스테레오스코피 쌍이 갖는 영상의 관찰 영역의 차이가 일정할 때 자연스러운 3차원 영상의 변화를 볼 수 있게 된다.

홀로그래픽 스테레오그램의 제작을 하기 위해서는 다음의 사항들에 대한 연구가 필요하다. 첫 째, 현재 실린더형 스테레오그램에서 사용되고 있는 샘플링 방식은 단순히 물체의 회전각만을 분할하여 기록함으로써 정확한 양안시차를 제공할 수 없었으며, 정확한 3차원 영상을 표현하기 위한 샘플링 계산법이 필요하다. 둘째, 슬릿의 크기(slit size)가 사람의 동공의 크기 이하로 제한되면, 하나의 슬릿을 통해 전체의 2차원 영상을 관찰할 수 있게 된다. 즉, 두 동공 사이의 간격을 슬릿의 크기로 나누면 이 안에 기록되어야 할 슬릿 홀로그램(slit hologram)의 개수가 결정되며, 기록되어야 할 정보를 정확히 발생시키는 프로그램이 있어야 한다. 셋 째, 생성된 2차원 영상들을 마스터 홀로그램(master hologram)에 기록하고, 화학 처리를 한 후 전사 홀로그램(transfer hologram)에 다시 기록함으로써 백색 광에서도 관찰이 가능한 홀로그램의 제작이 필요하다. 결과적으로, 홀로그래픽 스테레오그램을 관찰할 때, 물체를 관찰할 때와 똑같은 2차원 영상의 정보가 정확히 동공의 위치에 디스플레이 되어, 3차원의 느낌을 주어야 한다. 이것이 양안 시차(binocular parallax)의 원리이며, 정확한 샘플링에 의해 양질의 홀로그램을 제작할 수 있다.

본 논문에서 제작된 홀로그래픽 스테레오그램은 세로이 제한된 샘플링 이론에 의해 샘플링 각도를 계산하였고, 불충분하거나 부적절한 샘플링에 의해 나타나는 영상 사이의 간섭 현상을 실험을 통해 관찰하였다. 2차원 영상 데이터가 컴퓨터 그래픽에 의해 제작되고, TFT LCD에 의해 디스플레이 됨으로써 제작의 시간과 노력을 줄일 수 있었다.

II. 홀로그래픽 스테레오그램

홀로그래픽 스테레오그램은 현재 사용되고 있는 3차원 디스플레이 기법 중 하나로, 연속 촬영이나 컴퓨터에 의해 생성된 영상들을 합성하여 입체감을 표현하는 가장 실질적인 홀로그래픽 기법이다. 홀로그래픽 스테레오그램은 관찰자에게 연속하는 좁은 2차원 개구면(discrete aperture)을 제공하고, 각각의 개구면에 대

응하는 하나의 2차원 영상에 관한 정보를 갖는다. 기존에 사용된 홀로그래픽 스테레오그램은 연속하는 2차원 영상을 만들기 위해 트랙을 따라 이동하는 카메라에 물체의 변환을 정확히 기록하여야 하고, 이렇게 기록된 영상들을 홀로그래픽 필름에 다시 기록해야 하는 등 많은 노력과 시간이 요구되었지만, 현재 영화 필름 대신 SLM을 이용하는 방법과 스테레오그램 합성기(stereogram synthesizer)와 SLM을 이용하여 간단한 광학 시스템으로 유용한 스테레오그램을 제작하는 방법 등이 소개되고 있다^[2].

홀로그래픽 스테레오그램은 그 제작 방법에 따라 full-parallax one-step, full-parallax two-step, horizontal-parallax-only one-step, horizontal-parallax-only two-step 스테레오그램 등 크게 네 가지로 분류할 수 있다. 본 논문에서는 데이터 양이 작으면서 입체감을 충분히 제공하는 horizontal-parallax-only two-step 스테레오그램^[3] 만을 고려하였다.

컴퓨터 그래픽에 의해 생성된 연속하는 2차원 영상의 합성에 의해 제작되는 2단계 홀로그래픽 스테레오그램은 일반적으로 다음의 과정을 견히게 된다. 우선, 컴퓨터 그래픽을 이용하여 생성된 3차원 데이터를 다수의 2차원 데이터로 변환한다. 실제 실험에는 각도의 변환이 쉽고, 샘플링 각 계산에 편리한 3D Studio™를 사용하였다. 이 과정을 통해 약간씩 서로 다른 관찰 각(viewing angle)을 갖는 - 제작자가 원하는 장면에 해당하는 - 다수의 2차원 영상들이 생성된다. 이들 영상들은 순서대로 LCD 상에 디스플레이되며, 광학적으로 홀로그램용 사진전판(holographic plate)에 합성되어 마스터 홀로그램(H1)을 만든다. 마스터 홀로그램 하나의 슬릿 홀로그램에는 원래 3차원 물체를 작은 각도 차로 관찰하는 것과 같이 순차적으로 2차원 영상들이 기록된다. 마스터 홀로그램은 그림 1(a)에 나타난 것과 같은 광학 시스템을 통해 제작된다. 백색 광에서 관찰이 가능하도록 하기 위해 마스터 홀로그램에 기록된 정보는 다시 전사 홀로그램(H2)에 기록되며, 그림 1(b)에 이를 위한 광학 시스템이 나타나 있다. 이렇게 제작된 홀로그래픽 스테레오그램을 통해 관찰자는 지정된 관찰 거리(viewing distance)에서 스테레오스코픽 쌍(stereoscopic pair)에 해당하는 서로 다른 관찰 각을 갖는 두 영상을 동시에 관찰하게 된다. 각각의 2차원 영상을 관찰할 수 있는 범위는 관

찰자의 위치에서의 슬릿 폭(slit width)에 따라 결정된다. 본 논문에서는 슬릿 폭을 사람의 동공 크기인 3mm 이하로 하여 하나의 2차원 영상 데이터를 전체를 한번에 관찰 가능하도록 하였다.

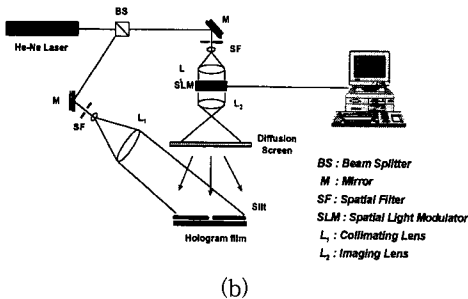
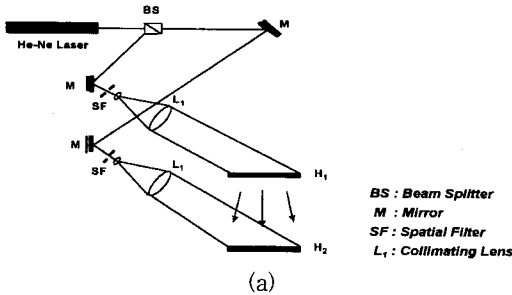


그림 1. 2단계 스테레오그램의 광학 시스템
(a) 마스터 홀로그램의 광학 시스템 (b) 전사 홀로그램의 광학 시스템

Fig. 1. Optical layout for two-step stereogram.
(a) Optical layout for master hologram (b) Optical layout for transfer hologram

III. 공간 광 변조기

홀로그래픽 스테레오그램의 제작에 있어 입력의 2차원 영상을 제작하는데 필름을 사용하면 높은 해상도는 얻을 수 있지만, 항상 일정한 위치에 필름을 고정시키기 어렵고 고정이 되어도 샘플링의 계산이 잘못되거나 물체의 다른면을 나타내기 위해서는 다시 촬영을 해야 하는 번거로움이 있다. 이러한 제작의 어려움을 해결하기 위해, 현재 가장 널리 사용되고 있는 광 정보처리 소자의 하나인 공간 광 변조기(spatial light modulator; SLM)를 사용하였다. 이 소자는 실시간 광-전자 신호처리(real time electro-optical signal processing), 컴퓨팅(computing), 홀로그래픽을 이용한 광 메모리(holographic optical memory storage), 자유공간 광 연결(free space optical interconnection), 정보처리(information processing), 데

이터 변환 시스템(data conversion system) 등 다양한 분야에서 이용되고 있으며, 이러한 분야 외에도 전통적으로 2차원 영상을 나타내기 위한 표시장치로 사용되어 왔다. 특히, 낮은 전압에서 동작하여 전력소비가 적고, 컴퓨터로부터 직접 2차원 영상의 정보를 받아 디스플레이 할 수 있으며, 영상의 크기나 명암을 프로그램이나 광학 시스템 등의 간단한 조작에 의해 쉽게 변형시킬 수 있는 장점을 갖고 있어, 소자의 다양한 개발과 더불어 컴퓨터 그래픽을 이용한 홀로그래픽 스테레오그램의 제작에 많이 사용되고 있다.

그림 2는 실험에 사용된 twisted nematic SLM의 셀 구조를 확대한 사진이다.

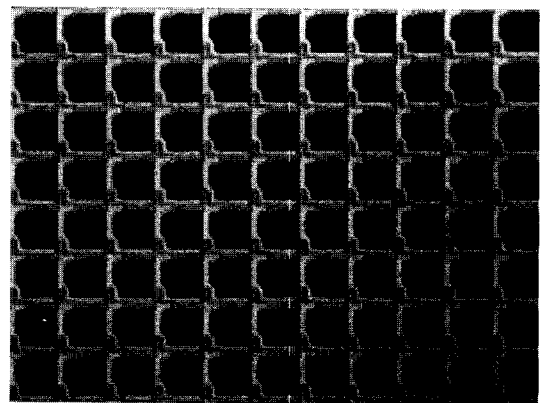


그림 2. 공간 광 변조기의 셀 구조
Fig. 2. Cell structure of spatial light modulator.

IV. 영상 사이의 간섭과 샘플링

1. 영상 사이의 간섭

홀로그래픽 스테레오그램에는 몇 가지 중요한 노이즈 성분이 존재하고 있다. 모든 스테레오그램이 다수의 2차원 영상을 합성하여 만들어지므로, 인접하는 두 영상 사이에는 필연적으로 불연속하는 영역이 존재하게 된다. 따라서 샘플링을 너무 적게 하면 인접하는 영상 사이의 변화가 증가하게 되어 자연스러운 영상의 변화를 줄 수 없고 스테레오그램의 질을 저하시킨다. 컴퓨터 그래픽에 의해 생성된 물체는 3차원 데이터를 모두 갖고 있지만 우리가 관찰할 수 있는 영역은 단지 2차원으로 한정되어 있기 때문에 영상 사이의 간섭 현상을 최소화시키는 것은 매우 중요하다. 이를 위해서는 샘플링 수를 가능한 한 최대로 해야 하지만, 똑같은 영역을 관찰하기 위해 너무 많은 양의 데이터가 요

구되므로 영상 사이의 간섭과 데이터의 양 사이에는 절충점(trade-off)이 존재한다. 영상 사이의 간섭 현상은 홀로그래픽 스테레오그램을 제작하는데 있어 가장 큰 노이즈로 작용하고 있으며, 따라서 이를 제거하기 위해서 정확한 샘플링이 요구되고 있다.

슬릿 폭 또한, 간섭 현상을 일으키는 중요한 노이즈 성분으로 알려져 있다. 만약 슬릿 폭이 너무 넓으면 하나의 영상에서 다음 영상으로의 변화가 너무 커 자연스러운 영상의 변화를 제공할 수 없으며, 너무 좁으면 영상의 자연스러운 변화는 제공하지만, 같은 관찰 범위를 갖는 스테레오그램을 제작하기 위해 많은 양의 2차원 영상이 필요하고, 많은 제작 시간의 소요로 인해 원하지 않는 노이즈 발생될 우려가 있다. 일반적으로 사용되고 있는 절충안으로 슬릿 폭을 사람의 동공 크기(1.5-3mm) 이하로 하고 있다.

그림 3은 샘플링을 정확히 했을 때와 그렇지 못할 때 재생된 영상의 사진이다. 카메라 촬영에 의해 만들어진 2차원 영상을 입력으로 사용하여 제작하였다. 약 100개의 Agfa slide 필름에 2차원 영상을 기록하였고, 샘플링에 의한 영상 사이의 간섭 현상을 나타내기에 충분한 해상도를 제공한다.

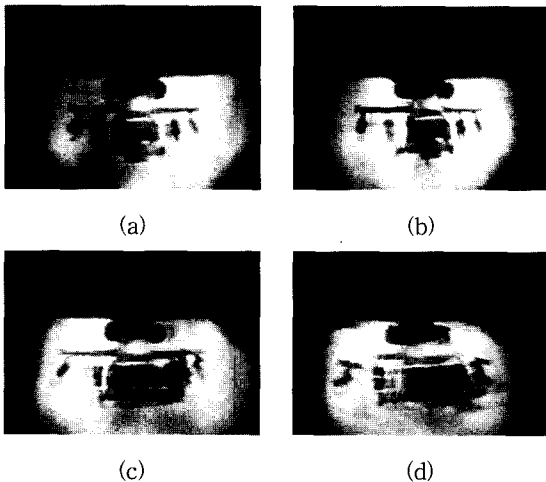


그림 3. 샘플링 각이 변할 때 재생된 영상
(a) 0.5° (b) 1° (c) 2° (d) 3°
Fig. 3. Reconstructed images when the sampling angle is changed.
(a) 0.5° (b) 1° (c) 2° (d) 3°

그림 3(a)는 본 논문에서 제시하고 있는 샘플링 계산법에 의해 계산된 값(약 0.5°)으로 제작된 스테레오그램의 재생 상이다. 헬리콥터의 모양은 실물과 거

의 같게 표현되고 있지만, 밖으로 갈수록 렌즈의 직경 한계에 의해 생기는 영상의 왜곡이 약간 나타나고 있다. 그림 3(b), (c), (d)는 샘플링을 임의(1°, 2°, 3°)로 했을 때 나타나는 영상 사이의 간섭 현상을 보여주고 있다. 실험을 통해 계산된 값보다 샘플링 각이 커지면 커질수록 영상 사이의 간섭 현상이 심해짐을 알 수 있다.

2. 샘플링

홀로그래픽 스테레오그램에서 나타나는 영상 사이의 간섭 현상은 정확한 샘플링에 의해 최소화시킬 수 있다. 한 쌍의 스테레오 영상의 결상점을 홀로그램 면과 일치시키고, 왼쪽과 오른쪽 눈의 위치에서 본 영상을 동시에 디스플레이 하면 양안시차 효과에 의해 입체감을 주게된다. 또한 물체가 앞뒤로 움직이는 경우 왼쪽과 오른쪽 눈에서 볼 수 있는 영상의 관측면과 크기가 변함으로 이들 성분만을 표현해준다면 움직이는 물체의 부피감이 표현될 수 있을 것이다. 본 논문에서 사용하고 있는 샘플링 방식은 스테레오그램의 특성을 최대한 이용하여 정확한 입체감과 3차원 물체의 움직임을 제공하기 위한 것으로 그림 4에 이를 계산하기 위한 그림이 나타나있다.

기존에 사용되었던 물체의 회전각을 분할하는 방식의 단점을 보완하여 정확한 양안시차를 제공하는 새로운 샘플링 계산법^[4]을 사용하였다. 우선, 왼쪽과 오른쪽 눈에서 보게 될 물체의 각도 차(angle difference)를 계산한다. 이는 마스터 홀로그램에 기록될 2차원 영상의 변환 각도를 결정하기 위해 매우 중요한 파라미터이다.

두 눈이 물체를 관찰할 때 생기는 스테레오 쌍의 각도 차 ϕ 는 P₁에서 P₂까지 기록될 영상의 각도 변화량이며 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi = \phi_2 - \phi_1 \tag{1}$$

여기서, ϕ_1 과 ϕ_2 는 각각 왼쪽과 오른쪽 눈에 의해 관찰되는 물체의 관찰 각이며,

$$\phi_1 = \tan^{-1} \left(\frac{x_1}{y_1} \right),$$

$$\phi_2 = \tan^{-1} \left(\frac{x_2}{y_2} \right)$$

이다. 여기서, (x_1, y_1) , (x_2, y_2) 는 물체의 최대 직경을 지름으로 하는 원과 P₁과 P₂에서 그은 선이 만나는

접선이다.

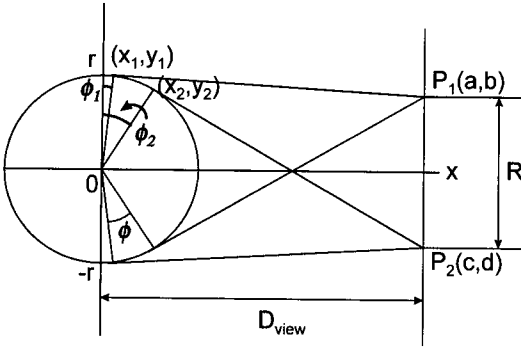


그림 4. 기하학적 방법에 의한 샘플링 수 계산
Fig. 4. Calculation of sampling angles using geometrical method.

마스터 홀로그램에 기록되는 슬릿 홀로그램의 갯수 N_{slit} 은 동공 사이의 거리 R 을 슬릿 폭 W_{slit} 으로 나눔으로써 구할 수 있다.

$$N_{slit} = \frac{R}{W_{slit}} \quad (2)$$

그리고, 2차원 영상의 변환각 θ 는,

$$\theta = \frac{\phi}{N_{slit}} \quad (3)$$

이다. W_{slit} 은 슬릿의 폭으로 1.5-3mm 사이의 값을 갖는다.

컴퓨터 그래픽에 의해 생성된 2차원 영상은 디퓨져 스크린에 투영되어 순차적으로 마스터 홀로그램에 기록된다. 제작된 홀로그래픽 스테레오그램은 원래의 물체를 관찰자가 거리 D_{view} 만큼 떨어진 위치에서 관찰한 것과 같은 관찰 범위를 갖게 된다. 관찰자의 눈이 P_1, P_2 또는, 이 두 점의 연장선상 위 임의의 위치에 있더라도 두 동공에서 관찰되는 한 쌍의 영상 사이에는 항상 일정한 관찰 각도의 차를 갖게 된다. 결과적으로, 관찰 영역 전체를 통해 관찰자는 일정한 관찰 영역의 차를 갖는 서로 다른 두 개의 영상을 보게 되어 입체감 있는 영상으로 인식하게 된다. 또한, 관찰자가 움직임에 따라 홀로그래픽 스테레오그램은 다른 각도에서 관찰되는 영상을 볼 수 있게 된다.

V. 실험 및 결과

홀로그래픽 스테레오그램 제작을 위한 광학 시스템

이 그림 5에 나타나 있다. TFT LCD에 투영된 상은 Agfa 8E75에 기록되었으며, 광원으로 632.8nm의 He-Ne 레이저가 사용되었다. 기록 물체는 3D Studio™에 의해 만든 35mm×35mm 철골구조의 지구본 모양의 것을 사용하였다. 실험에서 사용된 공간 광 변조기는 Seiko-Epson사의 TFT LCD module 로써 모델명은 P13VM215, 화소수는 640×480, 각 화소의 크기는 42μm×42μm 이며, 이를 통해 2차원 영상들이 디퓨전 스크린(diffusion screen)에 투영되었다. 물체에서 기록 매질까지의 거리 D_{view} 는 300mm로 하였고, 평행광인 기준광은 물체와 평행하게 놓인 홀로그램용 사진건판에 법선 45° 방향에서 입사되었다. 노광량은 본 연구실에서 최적인 180μJ/cm²으로 하였으며, 화학 처리는 상용 표백을 따랐다.

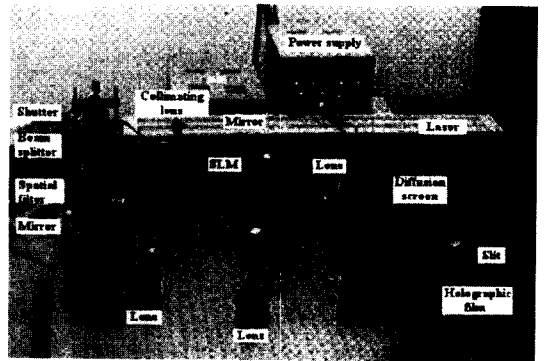


그림 5. 광학 시스템 사진
Fig. 5. Picture of optical system.

본 실험에서 성인의 동공 사이의 간격 R 은 66mm, 슬릿 폭 W_{slit} 은 3mm으로 하였다. 그림 3에 나와 있는 기하학적 방법을 이용하여 계산된 각도차-왼쪽 눈에서는 보이지만 오른쪽 눈에서는 볼 수 없는 ϕ 는 12.56°이다. 식 (2)와 (3)을 이용하여 계산된 2차원 영상의 변환각 θ 는 0.57°이다.

컴퓨터 그래픽에 의해 생성된 90 개의 2차원 영상을 TFT LCD에 의해 디퓨져 스크린에 투영한 후 홀로그래픽 건판에 기록하였다. 그림 6(a), (b), (c), (d), (e), (f)에 270 mm의 관찰 영역과 51.3°의 관찰 각을 갖는 결과 스테레오그램을 오른쪽에서 왼쪽으로 이동하면서 촬영한 재생상의 사진이 나타나 있다. 본 실험의 결과가 실물과 같은 자연스러운 영상의 변화를 나타내고 있음을 보여주고 있다.

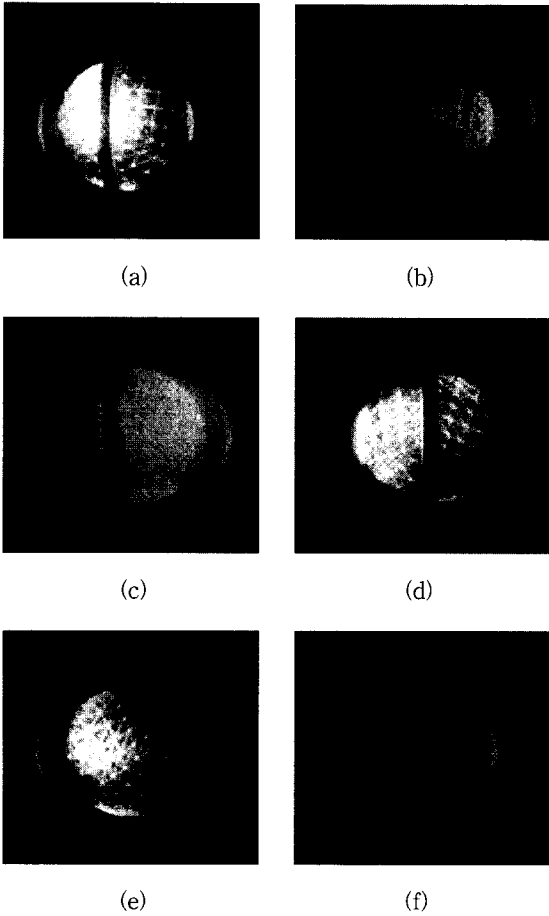


그림 6. 홀로그래픽 스테레오그램의 재생상
Fig. 6. Reconstructed image of holographic stereogram.

VI. 결 론

홀로그래픽 스테레오그램의 제작에 있어 정확한 샘플링은 영상 사이의 간섭을 최소화하기 위한 매우 중요한 파라미터이다. 본 논문에서 샘플링 수를 계산하기 위해 사용된 기하학적 방법은 원통형 홀로그래픽 스테레오그램에 사용되는 방법에 비해 양안시차를 충분히 제공하며, 컴퓨터 그래픽뿐만 아니라 필름을 이용한 홀로그래픽 스테레오그램의 제작에 이용하기도 편리하며, one-step 스테레오그램은 물론 ultragram 제작 시에도 사용할 수 있다.

현재 3차원 디스플레이에 대한 관심이 많아짐에 따라 홀로그래픽 스테레오그램을 제작하기 위한 더 쉽고 간단한 샘플링 방법이 요구되고 있다. 또한, 컴퓨터 그래픽 기술과 LCD의 개발이 지속적으로 발전하고 있

기 때문에 3차원 동영상을 쉽게 홀로그래픽 필름에 기록하는 것이 가능해졌다. 본 논문에서 제안한 샘플링 방법을 이용하여, 홀로그래픽 스크린과 3차원 애니메이션 데이터를 이용한 3차원 영화의 제작도 가능하게 될 것이다.

참 고 문 헌

- [1] V. Koma, "3D technologies and their perspective in future", International Workshop on 3D Imaging Media Technology, pp 11-31, 1995.
- [2] H. Ueda et al., "Applications of holographic stereograms by large liquid crystal display", Practical Holography X, SPIE, vol. 2652, pp. 70-74, 1996.
- [3] D. J. DeBitetto, "Holographic panoramic stereograms synthesized from white light recordings", Applied Optics, vol. 8, pp. 1740-1741, 1969.
- [4] E. S. Kim and N. Kim, "New approach on the sampling of holographic stereograms", Practical Holography XI, SPIE, vol. 3011, pp. 89-95, 1997.
- [5] N. Kim, "Qualitative analysis of bleached holographic diffraction grating in silver-halide emulsions", Optics Communication, vol. 105, no. 1, pp. 1-6, 1994.
- [6] G. Saxby, Practical Holography, pp. 305-343, Prentice Hall, 1994.
- [7] E. S. Kim, Y. S. Choi and N. Kim, "Holographic stereograms using new geometrical sampling method", Sixth International Symposium on Display Holography, 1997, in Press.
- [8] P. S. Hilaire, "Modulation transfer function and optimum sampling of holographic stereograms", Applied Optics, vol. 33, no. 5, pp 768-774, 1994.

저 자 소 개



金 銀 錫(正會員)

1969년 9월 9일생. 1995년 2월 충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 1997년 2월 충북대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사). 현재 충북대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정. 주관심분야는 Optical

Holography 3D Image Display

金 男(正會員) 第 33卷 A編 第 3號 參照

현재 충북대학교 정보통신공학과 부교수