

체적 홀로그램을 이용한 무안경 다안식 3D 디스플레이 시스템 (Autostereoscopic Multiview 3D Display System based on Volume Hologram)

이 승 현* 이 상 훈**
(Seung-Hyun Lee) (Sang-Hoon Lee)

요 약

본 논문에서는 체적 홀로그램을 이용한 무안경 3차원 디스플레이 시스템을 제안하였다. 디스플레이 평면에서 다시점 스테레오 영상을 관찰할 수 있도록 각 다중화된 기준파와 물체파를 간섭시킨 후 격자 패턴을 체적 홀로그램에 기록하였다. 디스플레이 하고자 하는 다안식 영상으로 구성된 물체파가 시분할적으로 update되며 광굴절 매질에 입사될 때 브래그 조건을 만족시키면, 출력 평면에서는 회절된 영상으로부터 다안식 3차원 영상을 관찰할 수 있다. 본 시스템을 이용함으로써 시점의 증가에 따른 해상도의 저하가 없는 고해상 다시점 3차원 디스플레이를 구성할 수 있다.

ABSTRACT

We present an autostereoscopic 3D display system using volume hologram. In this proposed system, the interference pattern of angular multiplexed plane reference and object beams are recorded into a volume hologram, which plays a role of guiding object beams of multi-view images into the desired perspective directions. For reconstruction, object beams containing the desired multi-view image information, which satisfy Bragg matching condition, are illuminated in the time-division multiplexed manner onto the crystal. Then multiple stereoscopic images are projected to the display plane for autostereoscopic 3D viewing. It is possible to make a high resolution multiview 3D display system independent upon the viewpoint.

KEYWORDS : autostereoscopic display, volume holographic optical element, Bragg matching condition, interference, diffraction, time-division multiplexing

1. 서론

입체감이 있는 사진이나 영화를 보고 싶다는 소망으로부터 입체 사진을 비롯한 여러가지 입체 디스플레이 원리의 연구가 19세기 중엽을 시작으로 이루어져 왔으며, 최근 3차원 영상에 관한 연구·개발이 다시 활발해지고 있다. 3차원 디스플레이 시스템이란 두 눈과 스테레오스코픽(stereoscopic) 비전 기

술을 적용하여 2차원 영상에 부가적으로 얻을 수 있는 정보를 창출하고, 이 창출된 부가적인 정보로 인하여 인간이 마치 영상이 제작되고 있는 장소에 있는 것 같은 생동감 및 현실감을 느낄 수 있게 하는 것이다. 현재, 세계적인 규모의 박람회나 테마파크 등의 이벤트 행사장에서는 3차원 디스플레이를 사용한 전시 시설이 설치되어 있으며, 아름다운 3차원 영상을 즐길 수 있다. 눈앞에 펼쳐진 3차원 영상을

* 정회원 : 광운대학교 전자공학부 부교수

** 종신회원 : 광운대학교 전자공학부 교수

논문접수 : 2001. 11. 19.

심사완료 : 2001. 12. 23.

잡으려고 손을 내밀어 버리거나, 전방에서 다가오는 영상을 영접결에 피하거나 할만큼, 3차원 영상은 종래의 2차원 영상과는 전혀 다른 효과를 가지고 있다 [1,2]. 3차원 디스플레이 기술로는 안경을 착용하는 방식 이외에 20세기 초엽의 입체 사진으로부터 유래한 기술로 재료, 가공기술의 진보와 더불어 실용화되고 있는 패럴랙스 베리어(parallax barrier)나 렌티큘라 스크린(lenticular screen) 방식 등과 같은 무안경 방식이 있다. 이들 무안경 방식은 안경 없는 3DTV 방식의 원리로 연구가 추진되고 있으며, 다방향에서의 양안시차 영상을 표시하고, 다른 각도에서의 영상을 시청할 수 있는 운동시차를 주어 자연시에 가까워지게 하는 다시점 방식이 많이 연구되고 있다[3,4].

체적 홀로그래피로 알려진 광기록기술은 각설량만한 크기의 광굴절매질에 대용량의 데이터를 저장할 수 있고, 저장된 정보를 초고속 병렬 랜덤 액세스할 수 있어 차세대 정보 저장 기술중의 하나로 분석되고 있다[5-7]. 홀로그래픽 메모리 시스템은 두 개의 레이저 빔(물체파와 기준파)이 광굴절 매질 내에서 간섭하면 광굴절 효과(photorefractive effect)에 의해 매질 내에 격자(grating) 패턴이 형성되므로 저장된다. 즉, 레이저 빔이 공간광변조기(SLM)에 디스플레이된 데이터를 통해 조사된 물체파가 다수의 각도(또는 파장, 위상 부호)로 정렬된 기준파와 광굴절 기록 매질에서 만나게 됨으로써 수천 페이지 이상의 홀로그램 데이터가 고밀도로 다중화 되어 기록되게 된다. 데이터의 재생을 위해서는 위와 같은 기록과정을 거친 후에 특정 페이지의 데이터를 기록시 사용된 기준파와 동일한 각도(또는 파장, 위상 부호)로 기준파를 다시 입사시킴으로써 저장된 정보를 재생할 수 있다. 광굴절 기록 매질에 형성된 회절 격자를 통과할 때 기준파는 원래의 페이지에 있는 정보의 영상을 재현하는 방향으로 회절 된다. 재현된 영상은 CCD 와 같은 영상 센서부에 입사되어 한 페이지에 저장된 정보를 한번에 모두 읽을 수 있고, 이 데이터는 다시 디지털 컴퓨터에 의해 전자적으로 저장·처리될 수 있다.

본 논문에서는 평면파로 구성되는 기준파와 물체파를 간섭시킨 회절 격자를 광굴절 매질내에 기록하게 된다. 이때, 기준파와 물체파의 간섭 패턴은 각다중화 방식을 이용하여 출력의 시점에 일치하도록 구

성된다. 2안식의 경우, 평면파로 구성된 물체파와 기준파는 두 개의 각도로 다중화 되어 각각 광굴절 매질에 기록되고, 다안식인 경우는 다안식의 개수만큼 각다중화 된 후 차례대로 물체파와 기준파가 간섭 기록된다.

이상과 같은 방법으로 간섭 패턴이 기록된 체적홀로그램은 스테레오 3D 영상 관찰을 위한 수동소자 역할을 하게되며, 다안식 스테레오 영상이 입력되었을 때 자동적으로 출력 평면의 지정된 위치로 회절되도록 한다. 다안식 영상을 한 주기 동안 시분할적으로 연속해서 SLM에 update 시키며 이와 동기를 맞추어 물체파의 각도를 변화시키게 되면 회절된 물체파 영상으로부터 다안식 3D 디스플레이 시스템을 구성할 수 있다. 시점의 증가에 따라 해상도가 낮아지는 기존의 시스템과 달리 본 시스템은 시점의 증가에도 불구하고 원래의 해상도를 유지하게 되어 고해상도 3차원 디스플레이 시스템을 구성할 수 있다. 이상과 같은 다시점 스테레오 영상 디스플레이 시스템의 이론적인 분석을 보였으며, 이를 이용한 다시점 3차원 디스플레이 시스템 구성도를 제시하였다.

2. 다안식 스테레오스코픽 영상의 기록과 재생

n 개의 스테레오스코픽 페어 영상과 n 개의 기준파가 간섭 조건을 만족할 경우 이들에 대한 파동방정식은 식(4)로 표현할 수 있다[8].

$$E_i = A_i \exp[j(\omega t - k_i \cdot r)] , i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$$

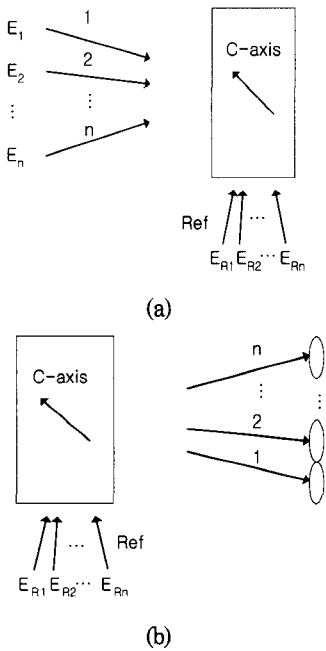
$$E_{Ri} = A_{Ri} \exp[j(\omega t - k_{Ri} \cdot r)] , i = 1, 2, 3, 4, \dots, n$$

(1)

여기서, E_1, E_2, \dots, E_n 은 스테레오스코픽 영상 페어 그리고 E_R 는 기준파를 나타낸다. $A_1, A_2, \dots, A_n, A_R$ 은 각각의 진폭, ω 는 각주파수, 그리고 $k_1, k_2, \dots, k_n, k_R$ 은 파벡터이다.

[그림 1]에서와 같이 n 개의 물체파와 한 개의 기준파가 시분할 적으로 간섭을 이루는 경우를 고려할 때, 광굴절 매질에 형성되는 간섭파의 강도 분포는 아래 식과 같다.

$$\begin{aligned}
 I &= |E_1 + E_{R1}|^2 + |E_2 + E_{R2}|^2 + \dots + |E_n + E_{Rn}|^2 \\
 &= E_1 E_1^* + E_2 E_2^* + \dots + E_n E_n^* \\
 &\quad + E_{R1} E_{R1}^* + E_{R2} E_{R2}^* + \dots + E_{Rn} E_{Rn}^* \\
 &\quad + E_1 E_{R1}^* + E_2 E_{R2}^* + \dots + E_n E_{Rn}^* \\
 &\quad + E_1^* E_{R1} + E_2^* E_{R2} + \dots + E_n^* E_{Rn}
 \end{aligned}
 \tag{2}$$



[그림 1] n안식 스테레오 영상에 대한 (a) 기록 (b) 재생
 [Fig. 1] n stereoscopic images (a) recording (b) reconstruction

브래그 매칭 조건을 만족하는 기준파(A1 ... AR=1)가 조사될 경우 스테레오스코픽 디스플레이 평면에서의 강도 분포는 식(3) 과 같다 [9,10].

$$\begin{aligned}
 I = & A_1^2 + 1 + A_2^2 + 1 \dots + A_n^2 + 1 \\
 & + A_1 \exp[-j(k_1 - k_{R1}) \cdot r] \\
 & + A_2 \exp[-j(k_2 - k_{R2}) \cdot r] \\
 & + \dots + A_n \exp[-j(k_n - k_{Rn}) \cdot r] \\
 & + A_1^* \exp[j(k_1 - k_{R1}) \cdot r] \\
 & + A_2^* \exp[j(k_2 - k_{R2}) \cdot r] \\
 & + \dots + A_n^* \exp[j(k_n - k_{Rn}) \cdot r]
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

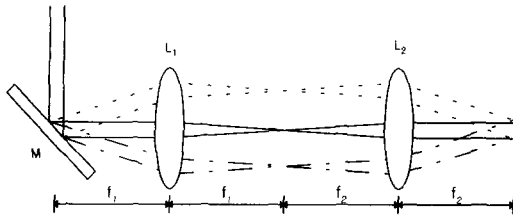
식(3)에서 첫 번째 줄은 DC항이며, 두 번째 줄의 항은 기록된 다중 스테레오 페어의 회절 성분을 나타낸다.

이를 위해 다시점 영상이 광굴절 매질에서 회절된 다음 디스플레이 평면에 투사되어 3D 영상을 관찰할 수 있도록 각각의 다안식 영상을 회절시킬 수 있는 격자 패턴을 체적 홀로그램에 기록한다. n 안식 시스템인 경우에 물체파와 기준파는 출력 시점과의 매핑을 유지하며 n 번 각 다중화 되어 간섭 기록된다.

이와 같은 방식으로 격자 패턴을 구성한 뒤에 재생시에는 다시점 영상으로 구성된 물체파가 브래그 조건을 만족하며 시분할적으로 체적 홀로그램으로 입사되면, 입사된 영상은 기록된 회절 격자에 의해 산란되어 격자의 방향을 따라 회절된다. 이때 시분할 적으로 입사되는 다시점 영상은 서로 각다중화 되어 있으므로 각 피치의 지정된 방향으로 회절된다. 따라서, 전체 다시점 영상이 update 되는 한 주기가 지나면 디스플레이 평면으로 회절되어 투사된 다안식 입체 영상으로부터 다시점 3차원 영상을 관찰할 수 있다.

3. 각다중화 방식을 이용한 다시점 스테레오 스코픽 디스플레이

본 논문에서 사용한 각 다중화 방식을 그림 2 에 나타내었다. 이 방법은 렌즈 2개를 수평으로 배열하여 각 다중화를 하는 방법으로 미리 M을 회전하므로써 각 다중화를 하게 되는데, 미리 M을 각 θ만큼 이동시켰을 경우 광 굴절 매질에 입사되는 각은 회전각과 동일한 θ만큼 경사를 두고 빔이 입사하게 된다. 이 방법은 미리 M이 미세하게 제어될 경우와, 제어각과 입사각이 동일해야 할 경우, 그리고 전체 거리가 2f1 + 2f2 라는 장점으로 짧은 거리를 요구할 경우 이 방법을 사용하며, L1 ≤ L2와 f1 ≤ f2의 조건을 만족해야 한다.



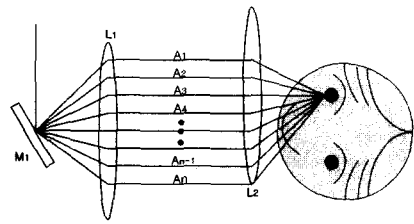
[그림 2] 각 다중화 방식

[Fig. 2] Angular multiplexing method

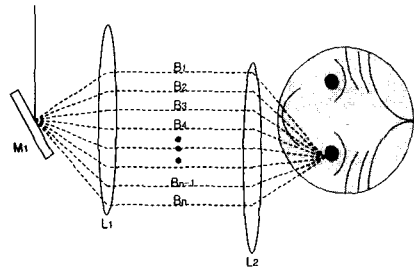
본 논문에서는 출력 영상이 다시점 디스플레이 평면의 시점과 일치하도록 광굴절 매질의회절 격자를 구성한 다음, 입력되는 단안식 영상을 시분할 적으로 회절시켜 3차원 영상을 감상할 수 있도록 하는 시스템을 구현하였다. 2 시점 디스플레이의 격자 구성을 위한 매핑 개념도를 [그림 3]에 나타내었다.

[그림 3]에서는 서로 다른 각도의 스테레오스코피 영상을 페럴렉스 베리어나 렌티큘라 스크린 없이 관찰할 수 있도록 미러 M1과 렌즈 L1, L2를 이용해 시점을 매핑하는 방법을 나타내었다. [그림 3(a)]는 두 시점 중에 우안 영상에 대한 매핑 방식을 나타내었으며, 오른쪽 눈에 우안 영상을 매핑 시킬 수 있는 회절 격자를 구성할 수 있도록 미러 M1과 렌즈 L2를 유지한다. [그림 3(b)]는 좌안 영상에 대한 매핑 방식을 나타내며, 왼쪽 눈에 좌안 영상을 매핑 시킬 수 있는 회절 격자를 구성할 수 있도록 미러 M1의 각도와 렌즈 L2를 조절한다. [그림 3(c)]는 우안과 좌안 영상에 대한 매핑 방식을 동시에 보여준다.

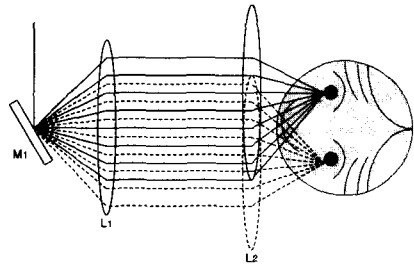
단안식 디스플레이의 경우에는 [그림 4]에서와 같이 미러 M1을 회전시키고, 렌즈 L2를 이동시키는 방식으로 간단히 구현 할 수가 있다. 따라서, 페럴렉스나 렌티큘라 방식의 경우 시점의 증가에 따라 해상도가 떨어지는 단점을 가지고 있지만 이러한 시스템은 고해상도가 시점의 증가에 상관없이 유지되는 장점을 지닌다.



(a) 우측영상 (a) right image



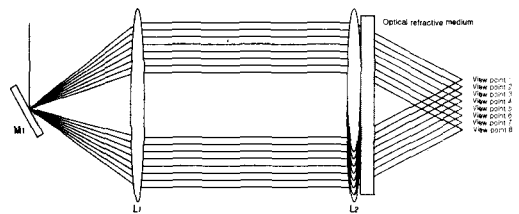
(b) 좌측영상 (b) left image



(c) 좌·우측 영상 (c) right and left image

[그림 3] 2 시점 무안경 디스플레이에서 격자 구성을 위한 매핑 방법

[Fig. 3] A mapping method for grating formation in a two-view autostereoscopic display

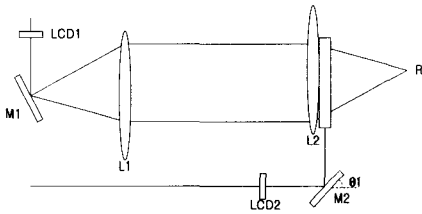


[그림 4] 단안식 무안경 시스템용 디스플레이 방식

[Fig. 4] Display method for a multi-view autostereoscopic system

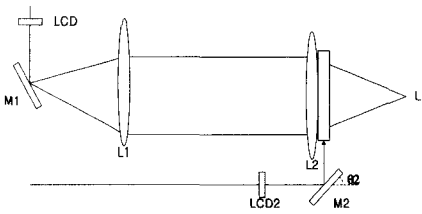
4. 시스템 구성

4.1 2 안식 홀로그래픽 격자 패턴 구성 및 재생



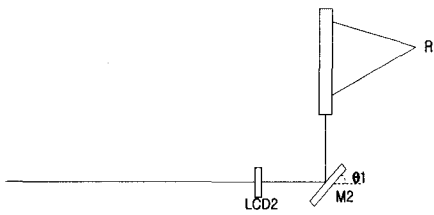
(a) 우측 영상 매핑용 격자 기록

(a) grating pattern record for right image mapping



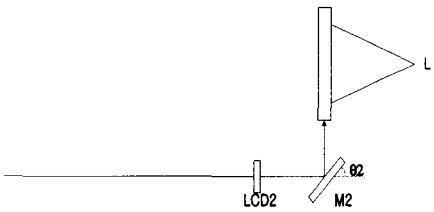
(b) 좌측 영상 매핑용 격자 기록

(b) grating pattern record for left image mapping



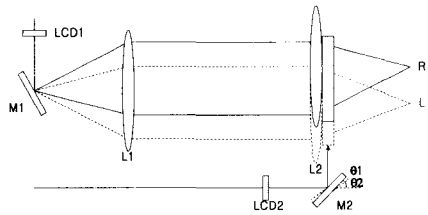
(c) 우측 영상 재생

(c) right image reconstruction



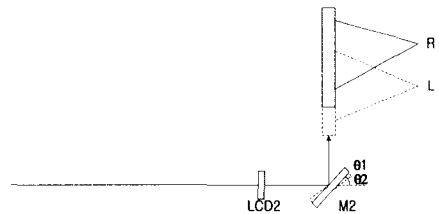
(d) 좌측 영상 재생

(d) left image reconstruction



(e) 2안식 디스플레이 매핑용 격자 기록

(e) grating pattern record for a two-view image



(f) 2 안식 영상 재생

(f) two-view image reconstruction

[그림 5] 2 안식 디스플레이를 위한 격자 패턴 구성 및 영상 재생

[Fig. 5] Grating pattern record and image reconstruction for a two-view display

광굴절 매질을 이용한 격자 패턴의 기록 및 영상 재생 원리를 [그림 5]에 나타내었다. 먼저 [그림 5(a)]에 우측 영상 매핑용 격자 패턴을 기록하는 방법을 나타냈으며 이에 대한 설명은 다음과 같다. 우측 영상 매핑용 격자 패턴을 기록하기 위해 미러 M1과 M2를 θ_1 에 위치시킨 다음 LCD1과 LCD2를 개방하고 평면파가 투과할 수 있도록 하여 광굴절 매질에 회절 격자 패턴을 기록한다. 다음으로 좌측 영상 매핑용 격자 패턴을 기록하기 위해 미러 M1과 M2를 θ_2 로 이동하고 동일한 방법으로 LCD1과 LCD2를 개방하여 평면파를 투과 시킨 다음 광굴절 매질에 회절 격자를 구성한다. 이와 같이 하여 기록된 출력 매핑용 회절격자를 이용하여 영상을 재생하는 그림을 [그림 5(c),(d)]에 보인다. 우측 영상을 재생하기 위해서는 [그림 5(c)]에 나타난 것과 같이 우측영상이 나타날 수 있도록 미러 M2를 θ_1 에 위치시킨 후 LCD2에 재생하고자 하는 우측영상을 출력을 하면, 광굴절 매질의 회절격자에 의해 우측 시점에 우안영상이 나타난다. 다음 [그림 5(d)]와 같이 좌측영

상을 LCD2에 출력을 한 후 미러 M2를 θ_2 로 회전을 시키면, 좌측영상이 좌측 시점에 나타난다. 이러한 과정을 플리커 없이 시청 가능한 주파수로 반복하면 좌·우 시점에 좌·우 영상이 서로 독립적으로 나타나므로 관찰자는 무안경식 다시점 3차원 영상을 관찰할 수 있다.

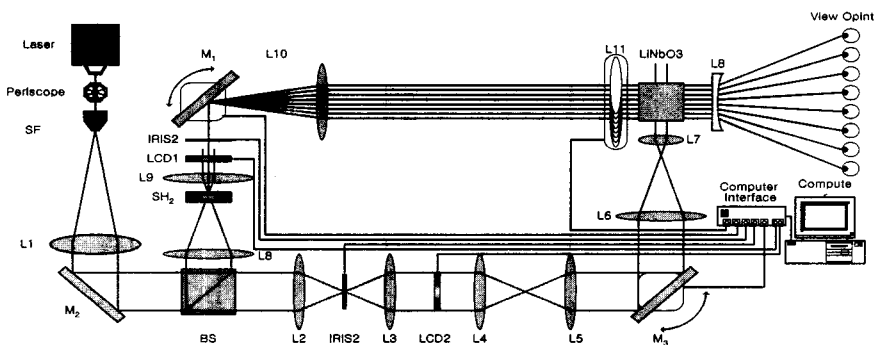
4.2 체적 홀로그램을 이용한 다시점 3차원 디스플레이 시스템

출력 평면 공간에 다시점 영상이 매핑 될 수 있도록 구성된 다시점 3차원 디스플레이 시스템을 그림 6에 보인다. 다시점 출력 영상의 시점에 일치하도록 광굴절 매질에 기준파와 물체파 간의 간섭패턴을 기록한 뒤, 디스플레이 하고자 하는 다시점 영상을 시분할적으로 update 시키며 3차원 영상을 관찰할 수 있도록 구성하였다. 이 시스템은 두 개의 SLM을 이용하여 다시점 재생을 위한 매핑 패턴을 기록하고, 한 개의 SLM을 이용하여 다시점 영상을 재생할 수 있도록 설계되었다. 시스템은 크게 기준파 제어부, 물체파 제어부, 그리고 다시점 영상 디스플레이부로 구성되어 있다. 또한 컴퓨터 인터페이스를 이용함으로써 모든 처리를 자동화하여 하나의 통합시스템을 구성하였다.

먼저 시점 매핑용 격자 패턴 기록 단계를 살펴보면 다음과 같다. 물체파 제어부는 LCD2와 거울M3, 7개의 렌즈로 구성되어 있으며, LCD2에 시분할 형

태로 update 되는 다안식 영상이 통과하는 평면파를 광굴절 매질인 45°-cut LiNbO3:Fe 에 M3의 각도를 변화시키며 입사시킨다. 기준파 제어부는 M1을 이용하여 LCD1을 통과하는 평면파의 각도를 M3와 동기 시켜가며 L11을 이동하여 광굴절 매질로 입사시킨다. 이와 같이 하여 두 파간의 간섭이 이루어지게 되며, 다시점 영상의 재생을 위한 격자 패턴이 광굴절 매질에 기록되게 된다. 다음, 디스플레이부는 3차원 영상 재생을 위하여 기준파를 차단하고 미러 M3를 플리커가 없는 주파수로 고속 회전시키며, LCD2에 다시점 영상을 M3와 동기시켜 update 하게 된다. M3의 각도에 따라 광굴절 매질에 도착한 다시점 영상들은 기록된 격자 패턴에 따라 디스플레이 평면으로 회절되어 고해상의 3차원 영상을 관찰할 수 있게 된다. LCD2의 해상도가 1024*768일 경우 각각의 시점 영역에서 고해상도인 1024*768영상을 관찰할 수 있다.

다시점 영상이 n 안식으로 구성되었다고 할 때, 광굴절 매질에 영상을 기록하는 방법은 다음과 같다. 먼저 시점 1을 위한 격자 형성시 미러 M1과 M3를 회전하며 LCD1과 LCD2를 개방하여 기록한다. 이때 물체파 및 기준파는 평면파이다. 시점 2의 격자를 형성하기 위해 미러 M3를 회전시킨다. 그리고 렌즈 L11을 시점 2 영역에 위치시킨 후 위와 동일한 방법으로 미러 M1을 회전하며, LCD1과 LCD2를 이용해 시점 2의 격자를 형성한다. 이러한 방법으로 마지막 시점까지의 격자를 형성한다. 재생을 할 때는 LCD2에 다시점의 첫 번째 영상을 입력시킨다. 그러면 시점 1의 영역에서 첫 번째 영상을 관찰할 수



[그림 6] 체적 홀로그램을 이용한 다안식 무안경 디스플레이 시스템

[Fig. 6] A multi-view autostereoscopic display system using a volume hologram

있다. 두 번째 영상을 입력하기 위해 미러 M3을 회전 시킨 후 렌즈 L11을 이동시킨다. 다음 LCD2에 두 번째 영상을 입력한다. 따라서 두 번째 영상을 시점 2 에서 관찰할 수 있다. 즉, 미러 M3를 회전시키며 영상을 시점 영역에 맞는 영상을 LCD2에 입력 시킴으로써 n 개의 시점 영역에서 고휘도 3차원 영상을 관찰할 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 평면파로 구성된 물체파와 기준파의 간섭패턴을 출력 시점과 일치하도록체적홀로그램에 저장하고, 다시점 스테레오 영상을 시분할적으로 update하여 회절 패턴을 관찰하는 방식의 다시점 3차원 디스플레이 시스템을 제안하였다. 체적홀로그램의 다중화가 허용되는 만큼의 다시점 및 고해상도를 얻을 수 있으며, 격자 패턴의 기록 후 광굴절 매질은 수동소자로써의 역할을 하므로 실시간 적으로 다시점 3차원 영상을 디스플레이 할 수 있게된다. 시점의 증가에 따른 해상도의 저하가 없는 시스템을 구성할 수 있어 고해상 다시점 3차원 디스플레이 시스템의 구현이 기대된다.

※참 고 문 헌

- [1] T. Okoshi, "Three-dimensional displays," Proc. *IEEE*, vol. PROC-68, pp.548-564, 1980.
- [2] T. Motoki, H. Isono, and I. Yuyama, "Present Status of Three-Dimensional Television Research," Proc. *IEEE*, vol. 83, no.7, pp. 1009-1021, 1995.
- [3] T. Okoshi, *Three Dimensional Imaging Techniques*, Academic Press, New York, 1976.
- [4] S.H.Lee and E.S.Kim, "Fundamental of 3D images," *Kidari Press, Seoul*, 1998
- [5] J.P.VanHeerden, " Theory of optical information storage in solids," *Appl. Opt.* vol.2, pp.393-400, 1963
- [6] F.H.Mok, M.C.Tackitt, and H.M.Stroll," Storage of 500 high resolution holograms in a LiNbO3 crystal," *Opt. Lett.*, vol.16, pp.605-607, 1992.
- [7] J.H.Hong, I.McMichael, T.Y.Chang, W.Christian, and E.G.Paek "Volume holographic memory systems: techniques and architectures", *Opt. Eng.*, vol.34, no.8, pp.2193-2203, 1995.
- [8] Pochi Yeh : *Introduction to Photorefractive Nonlinear Optics*, John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [9] S.H.Lee and E.S.Kim," Stereoscopic display based on a volume holographic storage," *Japanese Journal of Applied Physics*, vol.37, no.10B, pp.L1193-L1194, 1998.
- [10] S.H.Lee, H.G.Yang and E.S.Kim," Multiview stereoscopic display based on volume holographic memory, *J. of KICS*, vol.25, no.5A, pp.688-695, 2000.

이 승 현



광운대학교 전자공학과,
공학사(1984)
광운대학교 대학원,
공학석사(1986)
광운대학교 대학원,
공학박사(1993)
현재 3차원 방송영상학회
상임이사
현재 광운대학교
전자공학부 부교수
관심분야 : 3차원 디스플레이,
컴퓨터형성홀로그램,
3D방송기술

이 상 훈



1983년 2월 광운대학교
응용전자과 졸업(공학사)
1987년 8월 광운대학교 대학원
전자과 졸업(공학석사)
1992년 2월 광운대학교 대학원
전자과 졸업(공학박사)
1991년~현재
광운대학교 전자공학부 교수