

체적 홀로그래픽 메모리를 이용한 다시점 스테레오스코픽 디스플레이

정희원 이승현*, 손광철**, 심원섭***, 양훈기*, 김은수*

Multiview Stereoscopic Display based on Volume Holographic Memory

Seung-hyun Lee*, Kwang-chul Son**, Won-sup Shim***, Hoon-gee Yang*, Eun-soo Kim*
Regular Members

요 약

본 논문에서는 체적 홀로그래픽 메모리 저장 기술을 이용한 다시점 스테레오스코픽 디스플레이 시스템을 제안하였다. 디스플레이 평면에서 다시점 3D 영상을 관찰할 수 있도록 공간 다중화된 평면 기준파와 각 다중화된 평면 물체파를 간섭시킨 후 광굴절 매질에 기록하였다. 재생시 다안식 영상으로 구성된 물체파가 시분할적으로 update 되며 브래그 조건을 만족시키면, 출력 평면에서 다안식 스테레오 영상을 관찰할 수 있다. 체적 홀로그램을 이용한 다시점 디스플레이시스템의 실험과 이론적인 분석을 하였다.

ABSTRACT

We present a multi-view autostereoscopic display system based on volume holographic storage technique. In this proposed system, the interference pattern of spatial multiplexed plane reference and angular multiplexed plane object beams are recorded into a photorefractive crystal, 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.

I. 서론

입체감이 있는 사진이나 영화를 보고 싶다는 소망으로부터 입체 사진을 비롯한 여러 가지 입체 디스플레이 원리의 연구가 19세기 중엽을 시작으로

이루어져 왔으며, 최근 3차원 영상에 관한 연구·개발이 다시 활발해지고 있다. 3차원 입체 영상을 표시하는 기술 중 양안시차를 이용하는 입체 영상 기술은 양안시차를 갖는 두 장의 2차원 화상을 좌안과 우안에 따로따로 분리 제시하여 입체시함으로써, 디스플레이 평면의 전후에 오해가 있는 공간을

* 광운대학교 전자공학부(shlee@mail.kwangwoon.ac.kr),
** 광운대학교 정보통신연구소 (kcsn@mail.kwangwoon.ac.kr)
*** 서울산업대학교 전자공학과(wsshim@duck.snut.ac.kr)
논문번호 : 99521-1230, 접수일자 : 1999년 11월 8일
※ 본 연구는 1999학년도 광운대학교 교내 학술연구에 의하여 연구되었습니다.

재현할 수 있는 방법이다.^[1,2] 사진의 발명이후 카메라에 의해 두 개의 다른 각도에서 촬영한 스테레오 사진(stereoscopic pair)을 쉽게 만들 수 있게 되어 이것을 스테레오스코픽 뷰어(stereoscopic viewer)로 입체시 하는 방법이 유럽을 중심으로 널리 보급되었다. 현재 전시 박람회, 테마파크 등에서 인기를 끌고있는 편광 안경식의 입체 영화나 입체 하이비전도 양안시차에 의한 입체 효과를 이용한다는 의미에서 19세기말의 스테레오스코프의 원리와 같다. 또한, 안경 없는 입체 텔레비전 방식의 원리로 연구가 추진되고 있는 패럴랙스 베리어(parallax barrier)나 렌티큘라 스크린(lenticular screen)의 이용도 20세기 초엽의 입체 사진으로부터 유래한 것으로 재료기술, 가공기술 진보와 더불어 실용화되고 있는 3차원 입체 영상의 디스플레이 기술이다.^[3,4]

체적 홀로그래피로 알려진 광기록기술은 각셀당 만한 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 다중화되어 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 스트립 형태의 평면파로 구성되는 기준파와 물체파를 간섭시킨 회절 격자를 광굴절 매질내에 기록하게 된다. 이때, 기준파가 통과되는 SLM의 스트립 윈도우 쪽은 디스플레이 위치에 놓여있는 렌티큘라 스크린의 각 피치와 피치당 스트립 패턴과 동일하게 조절된다. 물체파가 통과되는

SLM의 스트립 윈도우 쪽은 기준파 쪽의 윈도우 쪽과 동일하게 구성되며, 물체파와 동기를 맞추어 개방된다. 물체파는 렌티큘라 스크린 한 피치내의 스트립 개수인 다안식의 개수 만큼 각다중화 된다. 2안식의 경우, 물체파가 통과되는 SLM 윈도우의 스트립 패턴은 두 개의 각도로 다중화 되어 광굴절 매질에 입사되며 기준파의 스트립 윈도우와 간섭하게 된다. 다안식인 경우는 다안식의 개수 만큼 각다중화 된 후 차례대로 기준파의 모든 스트립 패턴과 간섭 기록된다.

이상과 같은 방법으로 간섭 패턴이 기록된 체적 홀로그램은 스테레오 3D 영상 관찰을 위한 수동소자 역할을 하게 되며, 다안식 스테레오 영상이 입력되었을 때 자동적으로 스트립 영상을 만들어 렌티큘라 스크린의 지정된 위치로 회절되도록 한다. 다안식 영상을 한 주기 동안 시분할적으로 연속해서 SLM에 update 시키며 이와 동기를 맞추어 물체파의 각도를 변화시키게 되면 다안식 3D 디스플레이 시스템을 구성할 수 있다. 이상과 같은 다시점 스테레오 영상 디스플레이 시스템의 이론적인 분석을 보였으며, 2시점 스테레오 영상 디스플레이를 위한 두 평면파의 간섭 패턴을 체적홀로그램에 기록하고 재생하는 실험 결과를 보였다.

II. 단안식 스테레오스코픽 페어의 기록과 재생

두 개의 스테레오스코픽 페어 영상이 디스플레이된 SLM을 통과하는 물체파와 기준파가 간섭 조건을 만족할 경우 세 개의 파는 간섭에 의한 격자 패턴이 형성된다. 그림 1(a) 와 같은 세개의 파에 대한 파동방정식은 식(1)로 표현할 수 있다.^[8]

$$E_i = A_i \exp[j(\omega t - k_i \cdot r)] \quad (1)$$

$$i = 1, 2, R$$

여기서, E_1, E_3 는 스테레오스코픽 영상 페어 그리고 E_R 는 기준파를 나타낸다. A_1, A_2, A_R 는 각각의 진폭, ω 는 각주파수, 그리고 k_1, k_2, k_R 는 파벡터이다. 45°-cut 광굴절 매질에 그림 1(a)와 같이 E_1, E_R 그리고 E_2, E_R 을 시분할적으로 간섭시키면 매질에서의 강도 분포는 식(2)와 같다.

$$I = |E_1 + E_R|^2 + |E_2 + E_R|^2$$

$$= (E_1 + E_R)(E_1 + E_R)(E_2 + E_R)(E_2 + E_R) \quad (2)$$

$$= E_1 E_1^* + E_2 E_2^* + 2E_R E_R^*$$

$$+ E_1 E_R^* + E_2 E_R^* + E_1^* E_R + E_2^* E_R$$

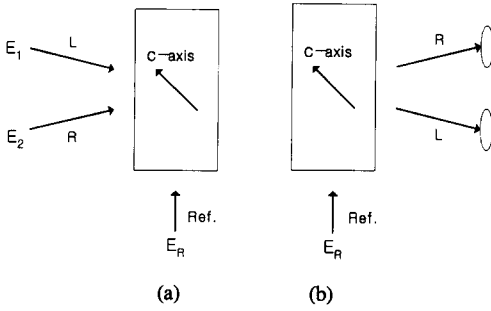


그림 1. 스테레오스코픽 영상 페어의 (a) 기록 과 (b) 재생

간섭에 따른 강도 분포의 변화는 매질의 굴절률 변화로 야기되는 격자 패턴을 형성하게 된다. 그림 1(b) 에서와 같이 브래그 매칭 조건을 만족하는 기준파($A_R=1$)가 조사될 경우 스테레오스코픽 디스플레이 평면에서의 강도 분포는 식(3) 과 같다.[9]

$$I = (A_1^2 + A_2^2 + 2A_R^2) \exp(-jk_R \cdot r) + A_1 \exp(-jk_1 \cdot r) + A_2 \exp(-jk_2 \cdot r) + A_1 \exp[j(k_1 - 2k_R) \cdot r] + A_2 \exp[j(k_2 - 2k_R) \cdot r] \quad (3)$$

식(3)에서 두번째 항과 세번째 항은 스테레오스코픽 영상 페어가 기록된 방향으로 회절되는 항으로써, 3차원 입체 영상 관찰을 위한 디스플레이 평면으로 출력 된다. 따라서, 재현된 스테레오스코픽 영상 페어는 CCD 와 같은 영상 센서부에 입사되어 3차원 디스플레이 시스템을 통해 입체 영상을 관찰할 수 있으며, 스테레오스코픽 뷰어와 같은 시스템을 구성하여 직접 관찰할 수도 있다.

III. 다안식 스테레오스코픽 페어의 기록과 재생

n 개의 스테레오스코픽 페어 영상과 한 개의 기준파가 간섭 조건을 만족할 경우 이들에 대한 파동 방정식은 식(4)로 표현할 수 있다.

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

$$E_R = A_R \exp[j(\omega t - k_R \cdot r)]$$

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.

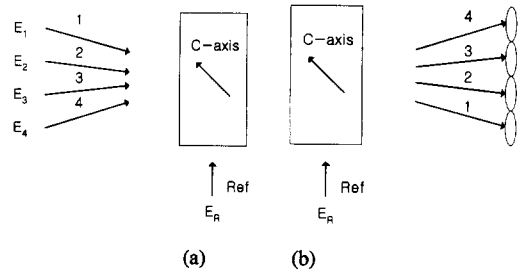


그림 2. 4안식 스테레오 영상에 대한 (a) 기록 (b) 재생

그림 2는 4안식 스테레오 영상에 대한 기록과 재생도이며, 그림 2(a)에서 E_1, E_2, E_3, E_4 와 E_R 을 시분할적으로 간섭시켰을 경우 광굴절 기록 매질에서의 강도 분포는 식(5)와 같다.

$$I = |E_1 + E_R|^2 + |E_2 + E_R|^2 + |E_3 + E_R|^2 + |E_4 + E_R|^2 = E_1 E_1^* + E_2 E_2^* + E_3 E_3^* + E_4 E_4^* + 4E_R E_R^* + E_1 E_R^* + E_2 E_R^* + E_3 E_R^* + E_4 E_R^* + E_1^* E_R + E_2^* E_R + E_3^* E_R + E_4^* E_R \quad (5)$$

그림 2(b) 에서와 같이 브래그 매칭 조건을 만족하는 기준파($A_R=1$)가 조사될 경우 스테레오스코픽 디스플레이 평면에서의 강도 분포는 식(6) 과 같다.

$$I = (A_1^2 + A_2^2 + A_3^2 + A_4^2 + 4A_R^2) \exp(-jk_R \cdot r) + A_1 \exp(-jk_1 \cdot r) + A_2 \exp(-jk_2 \cdot r) + A_3 \exp(-jk_3 \cdot r) + A_4 \exp(-jk_4 \cdot r) + A_1 \exp[j(k_1 - 4k_R) \cdot r] + A_2 \exp[j(k_2 - 4k_R) \cdot r] + A_3 \exp[j(k_3 - 4k_R) \cdot r] + A_4 \exp[j(k_4 - 4k_R) \cdot r] \quad (6)$$

식(6)의 2 번째부터 5 번째 항까지만 출력 평면으로 회절 된다. n 개의 물체파와 한 개의 기준파가 시분할 적으로 간섭을 이루는 경우를 고려할 때, 광굴절 매질에 형성되는 간섭파의 강도 분포는 아래 식과 같다.

$$I = |E_1 + E_R|^2 + |E_2 + E_R|^2 + \dots + |E_n + E_R|^2 = E_1 E_1^* + E_2 E_2^* + \dots + E_n E_n^* + nE_R E_R^* + E_1 E_R^* + E_2 E_R^* + \dots + E_n E_R^* + E_1^* E_R + E_2^* E_R + \dots + E_n^* E_R \quad (7)$$

브래그 매칭 조건을 만족하는 기준파($A_R=1$)가 조사될 경우 스테레오스코픽 디스플레이 평면에서의 강도 분포는 식(8) 과 같다.

$$\begin{aligned}
 I = & (A_1^2 + A_2^2 + \dots + A_n^2 + nA_n^2) \exp(-jk_R \cdot r) \\
 & + A_1 \exp(-jk_1 \cdot r) + A_2 \exp(-jk_2 \cdot r) \\
 & + \dots + A_n \exp(-jk_n \cdot r) \\
 & + A_1 \exp[j(k_1 - nk_R) \cdot r] \\
 & + A_2 \exp[j(k_2 - nk_R) \cdot r] \\
 & + \dots + A_n \exp[j(k_n - nk_R) \cdot r]
 \end{aligned} \tag{8}$$

식(8)에서 두 번째 줄의 항은 기록된 다중 스테레오 페어의 회절 항을 나타낸다.

IV. 각다중화/공간다중화 방식을 이용한 다안식 디스플레이

다시점 영상이 디스플레이 평면에 투사되어 3D 영상을 관찰할 수 있도록 격자 패턴을 체적 홀로그램에 기록한 다음, 다시점 영상을 시분할적으로 SLM에 update 하는 방법으로 다시점 입체 영상을 디스플레이 할 수 있는 시스템을 구성한다. 한 개의 물체파 영상이 n 개의 스트립 패턴으로 구성되고, m 안식 시스템인 경우에 물체파는 m 번 다중화 되어 기준파와 간섭된다. 기준파가 통과하는 SLM의 전체 윈도우는 n X m 만큼의 해상도를 갖는 스트립 윈도우로 구성된다. 각 피치의 m 안식에 해당하는 윈도우 스트립을 모두 오픈하는 공간 다중화 방식으로 m 번 물체파와 간섭된다.

재생시에는 이와 같은 방식으로 격자 패턴을 구성한 뒤에 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 입체영상을 관찰할 수 있다.

평면파로 구성된 물체파와 기준파에 대한 파동방정식은 식(9)와 같다.

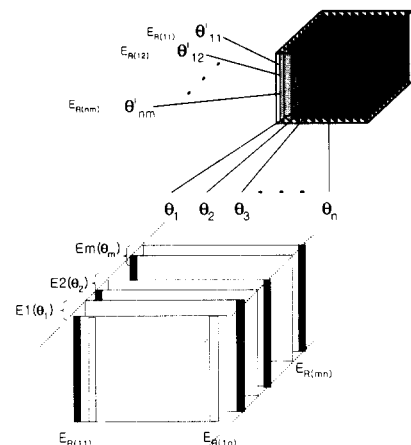
$$\begin{aligned}
 E_{O(pq)} &= \exp[j(\omega t - k_{O(pq)} \cdot r)] \\
 E_{R(pq)} &= \exp[j(\omega t - k_{R(pq)} \cdot r)]
 \end{aligned} \tag{9}$$

$$\begin{aligned}
 p &= 1, 2, 3, 4, \dots, n \\
 q &= 1, 2, 3, 4, \dots, m
 \end{aligned}$$

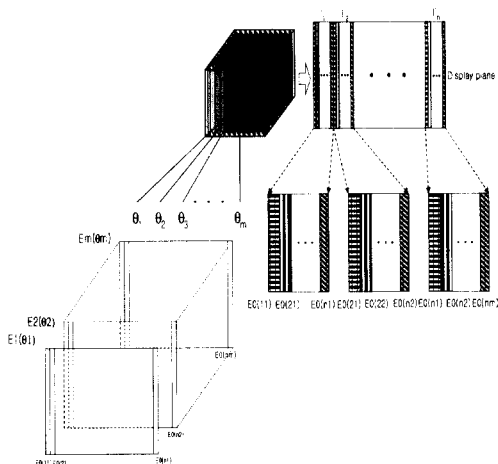
여기서, $E_{O(pq)}$ 와 $E_{R(pq)}$ 는 각각 평면파 스트라이프 형태로 구성된 물체파와 기준파($|E_{O(pq)}| = |E_{R(pq)}|$)

= 1) 이다. 또한, ω 는 각주파수, 그리고 $k_{O(pq)}$, $k_{R(pq)}$ 는 파벤텐, n은 렌티큘러 스크린의 피치 개수, m은 다안의 개수이다.

그림 3은 다안식 스테레오스코픽 디스플레이를 위한 격자 구성과 다시점 입체 영상 디스플레이 구성도이다. 그림 3(a)와 같이 시분할 적으로 평면파로 구성된 모든 기준파와 물체파의 스트라이프 영상이 간섭될 경우 광굴절 기록 매질에서의 강도 분포는 식(10)과 같다.



(a)



(b)

그림 3. (a) 다시점 스테레오 영상 재생을 위한 격자구성 (b) 체적홀로그램을 이용한 다시점 영상 디스플레이

$$\begin{aligned}
 I &= |E_{R(11)} + E_{\alpha(11)}|^2 + |E_{R(21)} + E_{\alpha(21)}|^2 \\
 &\quad + \dots + |E_{R(n1)} + E_{\alpha(n1)}|^2 \\
 &\quad + |E_{R(12)} + E_{\alpha(12)}|^2 + |E_{R(22)} + E_{\alpha(22)}|^2 + \dots \\
 &\quad + |E_{R(n2)} + E_{\alpha(n2)}|^2 + \dots + |E_{R(1m)} + E_{\alpha(1m)}|^2 \\
 &\quad + |E_{R(2m)} + E_{\alpha(2m)}|^2 + \dots + |E_{R(nm)} + E_{\alpha(nm)}|^2 \quad (10) \\
 &= E_{R(11)}^* E_{R(11)} + E_{R(21)}^* E_{R(21)} + \dots \\
 &\quad + E_{R(nm)}^* E_{R(nm)} + E_{\alpha(11)}^* E_{\alpha(11)} \\
 &\quad + E_{\alpha(21)}^* E_{\alpha(21)} + \dots + E_{\alpha(nm)}^* E_{\alpha(nm)} \\
 &\quad + E_{R(11)}^* E_{\alpha(11)} + \dots + E_{R(nm)}^* E_{\alpha(nm)} \\
 &\quad + E_{R(11)} E_{\alpha(11)}^* + \dots + E_{R(nm)} E_{\alpha(nm)}^*
 \end{aligned}$$

식(10)에서 평면파의 간섭 패턴으로 구성된 점과 여러개의 물체파가 각다중화 되어 있는 점을 제외하고는 식(7)과 같음을 알 수 있다.

그림 3(b)에서와 같이 브래그 매칭 조건을 만족하는 다시점 영상파가 조사될 경우 스테레오스코픽 디스플레이 평면에서의 강도 분포는 식(11)과 같다.

$$\begin{aligned}
 I &= A_{\alpha(11)} \exp(-jk_{\alpha(11)} \cdot r) \\
 &\quad + \dots + A_{\alpha(nm)} \exp(-jk_{\alpha(nm)} \cdot r) \\
 &\quad + A_{\alpha(11)} \exp(-jk_{R(11)} \cdot r) \\
 &\quad + \dots + A_{\alpha(nm)} \exp(-jk_{R(nm)} \cdot r) \\
 &\quad + A_{\alpha(11)} \exp[j(k_{R(11)} - 2k_{\alpha(11)}) \cdot r] \\
 &\quad + \dots + A_{\alpha(nm)} \exp[j(k_{R(nm)} - 2k_{\alpha(nm)}) \cdot r] \quad (11)
 \end{aligned}$$

LCD를 통해 입사되는 물체파의 다시점 스테레오 영상은 식(11)의 두 번째 줄에서와 같이 디스플레이 평면으로 적절히 회절되어 렌티큘러 스크린으로 다시점 입체상을 관찰할 수 있도록 해준다.

면파로 구성된 물체파를 다시점 개수 만큼 각다중화 시키며 기준파를 스트립 패턴 개수 X 다안식 개수 만큼 각다중화 할 경우는 기준파쪽 SLM의 해상도가 문제가 된다. 즉, 한 개의 물체파 영상이 n 개의 스트립 패턴을 갖고 m 안식으로 구성되었다면 기준파의 SLM 윈도우 대역폭은 n X m 이 되어야 한다. 또한, 물체파와 기준파 쪽의 LCD 스트립 윈도우 간격을 모두 같도록 구성하게 되면 스테레오 영상의 수직 해상도가 1/2로 줄게 된다.

그림 4는 공간다중화를 사용한 2시점 스테레오 영상 재생을 위한 격자 구성 시스템의 블록도이다. 시스템에서 LCD1, LCD2, LCD3 각각의 스트라이프 윈도우 개수를 n 개로 구성한 다음 LCD1의 윈도우를 순차적으로 개방하면서 LCD2와 LCD3의 윈도우를 번갈아 개방하여 LCD1의 기준파 윈도우 평면파와 LCD2, LCD3의 물체파 윈도우의 평면파를 시분할적으로 기록한다. 또는 LCD1과 LCD2의 출수 윈도우를 모두 개방하고 패턴을 기록한 다음,

LCD1과 LCD2의 짝수 윈도우를 개방하여 패턴을 기록한다. 이 경우 LCD2와 LCD3의 스트라이프 영상은 각각 1/2씩 사용하게되므로 재생되는 다안식 영상의 해상도는 1/2로 줄게된다. 실제 실험에 있어서는 그림 4에서와 같이 물체파 쪽에 LCD2, LCD3의 2개의 LCD를 사용하지 않고 미리 전반부에 LCD 1개를 위치시켜 사용하였다. 이때 LCD에 스테레오 영상을 시분할적으로 update 시키며 미러를 조절하여 각다중화 시킴으로써 같은 효과를 얻을 수 있다. 다안식의 경우는 다안에 해당하는 만큼 각 다중화를 시켜 줌으로써 같은 효과를 얻을 수 있게 된다.

V. 시스템 구성 및 실험

그림 5는 세로 스트립 모양으로 구성된 기준파와 물체파의 간섭패턴을 기록한 뒤, 다시점 영상을 시분할적으로 update 시키며 다시점 영상을 관찰할 수 있는 시스템도 이다. 이 시스템은 두 개의 SLM을 이용하여 다시점 스트립 패턴을 기록하고 재생할 수 있도록 설계되었다. 시스템은 크게 기준파 제어부, 물체파 제어부, 그리고 스테레오스코픽 디스플레이부로 구성되어 있다. 또한 컴퓨터 인터페이스를 이용함으로써 모든 처리를 자동화하여 하나의 통합시스템을 구성하였다.

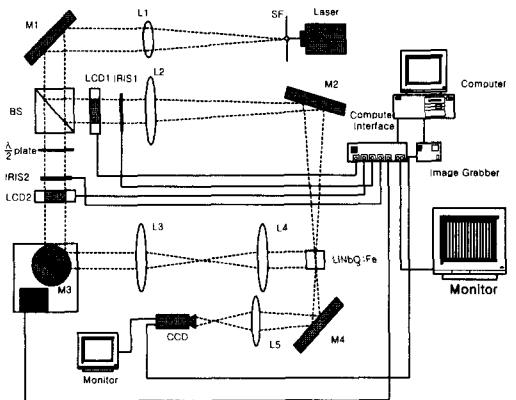


그림 5. 체적 홀로그래를 이용한 2안식 영상 기록·재생 시스템

물체파 제어부는 LCD2와 거울M3, 2개의 렌즈로 구성되어 있으며, LCD2에 시분할 형태로 update 되는 다안식 영상의 각 위치를 통과하는 평면파를 광굴절 매질인 45°-cut LiNbO3:Fe 에 공간적으로

분리하여 입사시킨다. 기준파 제어부는 LCD1을 공간 다중화하여 LCD2에 update 되는 스트립 패턴 순서에 맞게 윈도우를 개폐시킨다. 디스플레이부는 기준파를 차단하고 LCD2에 다시점 영상을 시분할적으로 update 시키게 되며 기록된 격자 패턴에 따라 디스플레이 평면으로 다시점 영상 관찰을 위한 패턴이 회절된다.

한 개의 물체파 영상이 n 개의 스트립 상을 갖고 m 안식으로 구성되었다고 할 때, 광굴절 매질에 영상을 기록하는 방법은 다음과 같다. 이때, 간섭 패턴을 기록하기 위한 물체파와 기준파는 모두 평면파로 구성된다. 다시점(m) 영상 중 한 영상에 해당하는 평면파가 기록될 위치로 스텝모터 M을 회전시킨다. 각 시점의 영상은 n 개의 스트립 패턴으로 구성된다. 물체파의 첫 번째 시점에 대한 스트립 패턴의 기록은 첫 번째 스트립 패턴으로 시작하여 다안식(m) 칸을 건너뛰며 모든 스트립 패턴을 개방한다. 기준파는 각 피치의 첫 번째 윈도우를 모두 개방한다. IRIS1, 2를 열어 광굴절 매질에 패턴이 기록될 수 있도록 한다.

다음, m 안식의 두 번째 영상이 기록될 위치로 M1을 회전시킨다. 두 번째 영상의 스트립 패턴에 대한 기록은 첫 번째 영상과 동일하며 단지 물체파의 두 번째 스트립 패턴으로 시작하여 다안식(m) 칸을 건너뛰며 모든 스트립 패턴을 개방한다. 기준파는 각 피치의 두 번째 스트립 윈도우를 모두 개방하며 기록하게 된다. 이와같은 방식으로 다시점 m에 따라 M1을 각다중화 시키며 기준파의 스트립 윈도우를 개방하는 방식으로 m 번 만큼 간섭 패턴을 기록하게 된다.

본 논문의 실험에서는 2안식에 대한 실험을 수행하였으며 물체파 쪽에 1대의 LCD2를 사용하였다. 따라서, 좌안, 우안 영상과 기준파의 기록을 위해 기준파쪽 LCD1의 스트립 윈도우 패턴을 홀수, 짝수 차례대로 개방하면서 M1의 각도를 좌 방향인 경우 홀수 윈도우 개방, 우 방향인 경우 짝수 윈도우 개방하며 기록하였다.

이와 같은 방법으로 간섭패턴이 광굴절 매질에 기록이 되면, IRIS1을 차단시킨 후 LCD2에 좌우 영상을 시분할적으로 update하며 M1을 회전시키므로 디스플레이 평면에서 다시점 영상을 관찰할 수 있다.

공간 광 변조기(SLM)로 사용한 LCD는 EPSON사의 TFT LCD로 1.3인치 1024×768의 고해상도를

갖는 Monochrome XGA display P13XM015를 사용하였으며, LCD 구동 드라이버로 ET1020F0A를 내장한 BE13X015를 사용하였다. 또한, 컴퓨터에 출력되는 아날로그 신호인 비디오 신호를 디지털 신호로 변환하기 위해 EPSON사의 BE13X010을 사용하였다. 광굴절 매질로 철이 0.02%첨가된 45° cut LiNbO₃를 사용하였다. 그리고 2개의 셔터(IRIS1, IRIS2), 빔의 높이를 조절할 수 있는 periscopic mirror(Periscope), 스텝 모터로 구동되는 미러 제어기등을 사용하였다.

여러 장치를 컴퓨터로 제어하기 위해서 PC의 확장슬롯(ISA)에 Interface card를 부착하여 프로그램으로 외부의 장치를 제어하였다. 외부 장치는 Stepping Motor, IRIS 제어부로 크게 2가지로 분류할 수 있으며, 광굴절 매질에 입사되는 참조 빔을 제어하여 각다중화를 구현하기 위해 1.8°의 Step angle을 갖는 Stepping Motor를 사용하였다. 기어 박스에 1.8°의 Stepping Motor를 장착하므로써 0.01°까지 미러를 제어할 수 있도록 하였다. 구동은 프로그램 상에서 확장슬롯에 데이터를 출력시키므로써 신호는 Interface IC를 통해 Power Amp에서 Stepping motor를 구동시킬 수 있는 전력으로 증폭을 시킨 뒤 Stepping motor의 제어 단자에 입력되어 Stepping motor를 구동시켰다. 빛의 노출 시기를 제어하기 위해 IRIS를 사용하였다. Digital Shutter System을 사용함으로써 Interface를 통해 나오는 신호를 OP Amp를 이용하여 IRIS의 입력신호로 변환하여 제어하였다. IRIS1은 레이저 출력단의 빔을 제어하는데 사용되며, IRIS2는 물체파를 제어하는데 사용된다. 그림 6은 실험에 사용된 2시점 스테레오 영상이며, 그림 7은 광굴절 매질에서 회절된 패턴을 CCD로 검출한 사진이다.

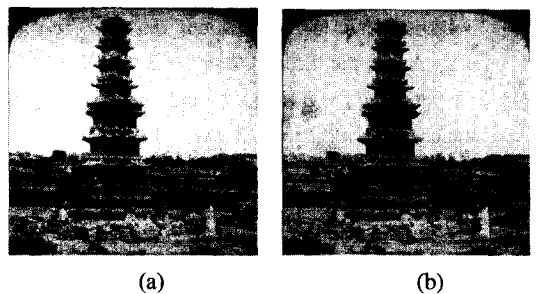


그림 6. 실험에 사용된 스테레오 영상
(a)좌안, (b)우안영상

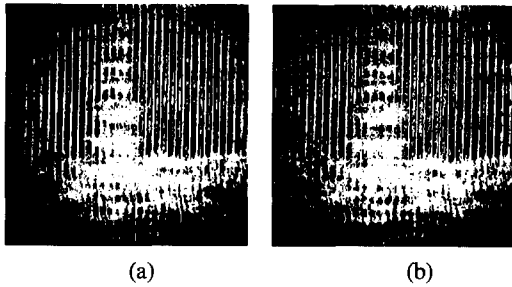


그림 7. 회절된 입력 스테레오 영상의 출력 (a) $\theta = \theta_1$
(b) $\theta = \theta_2$

VI. 결론

논문에서는 스트립 패턴의 평면파로 구성된 물체 파와 기준파의 간섭패턴을 체적홀로그램에 저장하고, 다시점 스테레오 영상을 시분할적으로 update하여 회절 패턴을 관찰하는 방식의 다시점 입체 디스플레이 시스템을 제안하였다. 체적홀로그램의 다중화가 허용되는 만큼의 다시점화 및 해상도를 얻을 수 있으며, 회절 패턴의 기록 후 광굴절 매질은 수동소자로서의 역할을 하므로 실시간 적으로 다시점 영상을 디스플레이 할 수 있게 된다. 고해상도 무안경 다시점 입체 영상 디스플레이 시스템으로의 응용이 기대된다.

참고 문헌

[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 Wiely & 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.

이 승 현(Seung-hyun Lee)

정회원



1986년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사
 1993년 2월 : 광운대학교 전자공학과 박사
 1992년 3월~현재 : 광운대학교 전자공학부 부교수

<주관심 분야> 패턴인식, 광정보처리, 3D 디스플레이

손 광 철(Kwang-chul Son)

정회원



1988년 2월 : 광운대학교 전자공학과 석사
 1997년 8월 : 광운대학교 전자공학과 박사
 1999년 10월~현재: 광운대학교 정보통신연구소 연구전담교수

<주관심 분야> 광소자, 광전자, 3D 디스플레이

심 원 섭(Won-sup Shim)

정회원



1976년 2월 : 연세대학교 전자공학과 석사
 1991년 8월 : 건국대학교 전자공학과 박사
 1978년 3월~현재 : 서울산업대학교 전자공학과 교수

<주관심 분야> 디지털 신호처리, 지능시스템

양 훈 기(Hoon-gee Yang) 정회원
한국통신학회 논문지 1998년 2월호 참조

김 은 수(Eun-soo Kim) 정회원
한국통신학회 논문지 2000년 3월호 참조