

論文98-35D-9-9

위상 홀로그램 어레이와 LC-SLM를 이용한 문자 디스플레이 장치

(Character display unit using a phase hologram array and a LC-SLM)

姜奉均*, 徐豪亨**, 金男***

(Bong-Gyun Kang, Ho-Hyung Suh, and Nam Kim)

요약

액정 공간 광 변조기와 회절효율이 높은 위상 홀로그램 어레이를 이용하는 새로운 방식의 문자 디스플레이 장치를 제안하고, 이를 이용해 다양한 문자 디스플레이를 하는 광학 시스템을 구현하였다. 즉, LC-SLM의 장점인 능동적인 특성과 광 리소그래피 방식으로 제작된 위상 홀로그램 어레이의 높은 효율 및 정확도의 특성을 결합시켜 빠르고 정확한 문자 디스플레이 장치를 구현하였다. 본 논문에서 제안한 문자 디스플레이 장치는 빛을 이용하여 영상을 디스플레이한다는 중요한 의미를 가지며 광 정보처리 및 광통신 분야에서 응용할 수 있다.

Abstract

We demonstrated the character display unit using a binary phase hologram array and a liquid crystal-spatial light modulator (LC-SLM). It combines the dynamic property of the LC-SLM with the high-efficiency property of the phase hologram fabricated by photolithography. Experimental results of the proposed unit are presented. The character display unit proposed in this paper has a fundamental and important meaning as new method displaying images by using light, and it will be used in optical information processing and optical communications fields.

I. 서론

최근 회절 효율이 높은 위상 홀로그램이나 회절격자 등이 광 논리 소자, 광 정보처리, 자유공간 광 연결

시스템 등에 사용되고 있다^[1-8]. 또한 자유공간 광 연결과 자유공간 광 스위칭은 컴퓨터와 통신 분야에서 많은 관심을 끌고 있으며 통신망의 전송속도의 고속화에 따라 높은 정보처리를 위한 병렬 처리 및 광 상호 연결 방법에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다. 1960년대 말과 1970년대 초, 다양한 종류의 컴퓨터 발생 홀로그램(Computer Generated Hologram : CGH)이 가상물체의 디스플레이, 공간필터, 광학 메모리, 광학 소자, 그리고 광 시험 분야에서의 수차보상기와 같은 응용분야로부터 시작되었고, 최근에는 CGH가 광 컴퓨팅에서 복잡한 공간 불변 자유공간 광 연결을 제 공하기에 적합하기 때문에 새롭게 인식되고 있다^[9].

또한 광 연결에 사용되는 프로그램 가능한 CGH를 구현하는 방법 중의 하나로 컴퓨터 합성 방법에 의해

* 正會員, 韓國情報通信大學院 通信工學部
(Dept. of Communication Engineering, Information and Communications University)

** 正會員, 韓國電子通信研究院 源泉技術研究本部
(Telecommunication. Basic Research Lab., Electronics and Telecommunications Research Institute)

*** 正會員, 忠北大學校 情報通信工學科
(Dept. of Computer & Communication Engineering, Chungbuk National University)

接受日字:1998年2月25日, 수정완료일:1998年8月1日

설계된 홀로그램을 공간 광 변조기(Spatial Light Modulator : SLM)에 띄워 구현하는 방법을 이용하게 되었고, 특히 액정 공간 광 변조기(Liquid Crystal-Spatial Light Modulator : LC-SLM)는 낮은 전압에서 동작하고 낮은 전력 소비, 매트릭스 주소 지정 능력 등 때문에 많이 이용하고 있다. 더욱이 최근에는 성능이 좋은 LC-SLM이 개발되면서 위상형 홀로그램을 SLM에 띄워 실시간으로 구현시키는 기술에 대해 관심이 높아지고 있다^[10-19].

본 논문에서는 능동적인 자유공간 광 연결과 자유공간 광 스위칭을 실 시간적으로 가능하게 할 기초연구로서, 컴퓨터로 설계된 회절 효율이 높은 위상 홀로그램 어레이와 LC-SLM를 이용하는 새로운 방식의 문자 디스플레이가 가능한 광 정보처리 원리와 장치를 제안하고 이를 이용해 다양한 문자 디스플레이를 하는 광학 시스템을 구현하였다. 즉, LC-SLM의 장점인 능동적인 특성과 광 리소그래피 방식으로 제작된 위상 홀로그램 어레이의 높은 회절 효율 및 정확도의 특성을 결합시켜 빠르고 정확한 문자 디스플레이 장치를 광학 실험을 통해 구현하였다. 또한 본 제안된 장치는 문자를 디스플레이 하기 위한 입출력 장치가 모두 빛을 이용하고 병렬로 처리되므로 디스플레이의 속도면에서 매우 빠르고 대용량의 문자가 병렬로 디스플레이 될 수 있기 때문에 광통신 분야 및 광 정보처리 분야에서 매우 유용하게 이용할 수 있으며, 특히 영상을 홀로그램으로 저장하기 때문에 3차원 입체 영상의 재생이 가능하다는 근본적이고도 중요한 의미를 갖는다.

II. 이진 위상 홀로그램

홀로그램이나 회절격자와 같이 주기구조를 갖는 임의의 함수 $g(x, y)$ 는 다음과 같이 푸리에 시리즈로 전개할 수 있다.

$$g(x, y) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{m=-\infty}^{\infty} G(m, n) \exp \left[i2\pi \left(\frac{mx}{L_x} + \frac{ny}{L_y} \right) \right], \quad (1)$$

여기서 L_x 와 L_y 는 각각 x 와 y 방향으로 홀로그램 한 주기를 나타내고 푸리에 계수 $G(m, n)$ 은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$G(m, n) = \frac{1}{L_x L_y} \int_0^{L_x} \int_0^{L_y} g(x, y) \exp \left[-i2\pi \left(\frac{mx}{L_x} + \frac{ny}{L_y} \right) \right] dx dy, \quad (2)$$

$G(m, n)$ 와 $g(x, y)$ 는 푸리에 변환 관계에 있으며, $g(x, y)$ 를 입력면에서의 빛의 투과 함수라 하면 출력면(푸리에 평면)에서의 빛의 세기는 $|G(m, n)|^2$ 에 비례한다.

광학적으로 Fraunhofer회절이 식 (2)와 유사한 현상을 나타내며, 렌즈를 이용할 경우 초평면(focal plane)에서 Fraunhofer회절을 생성하기 때문에 광학적으로 푸리에 변환을 구성할 수 있다. 스칼라 회절이론에 의하면 파장이 λ 인 빛이 투과함수 $g(x, y)$ 를 지나고 초점거리가 f 인 볼록 렌즈의 초평면에서 Fraunhofer회절된 빛의 세기는 다음과 같이 나타낸다. 여기서 α, β 는 푸리에 평면에서의 좌표값이고 x, y 는 홀로그램의 좌표값을 나타낸다.

$$I(\alpha, \beta) = \left(\frac{1}{\lambda f} \right) \left| \int \int g(x, y) \exp \left[-i \frac{2\pi}{\lambda f} (ax + \beta y) \right] dx dy \right|^2, \quad (3)$$

$$I(\alpha, \beta) = \left(\frac{1}{\lambda f} \right) \left| G \left(\frac{\alpha}{\lambda f}, \frac{\beta}{\lambda f} \right) \right|^2 \quad (4)$$

III. 문자 디스플레이용 홀로그램 어레이 원리

만약 $g(x, y)$ 가 $N \times M$ 개의 보조 홀로그램으로 구성된 어레이라면 다음과 같은 수식으로 나타내어진다.

$$g(x, y) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M H_{m,n} \text{rect} \left[\frac{x-mR}{D_x}, \frac{y-nC}{D_y} \right], \quad (5)$$

여기서 $H_{m,n}$ 는 $N \times M$ 홀로그램 어레이 중 n 행 m 열의 홀로그램의 투과함수를 나타내고, D_x 와 D_y 는 각각 x 와 y 방향으로의 홀로그램의 크기를 나타내고, R 과 C 는 각각 x 와 y 방향으로 홀로그램간의 중심에서의 간격을 나타낸다.

홀로그램의 한 주기가 $K \times L$ 개의 사각형 위상 셀로 이루어지고 진폭이 일정한 위상 홀로그램일 때, 각 위상 셀들의 위상을 $\phi_{k,l}$ 라 하면 보조 홀로그램의 투과함수는 다음과 같은 수식으로 표현된다.

$$H_{m,n}(x, y) = \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} \exp(i\phi_{k,l}) \text{rect} \left[\frac{x-kK}{1/K}, \frac{y-lL}{1/L} \right] \quad (6)$$

각 보조 홀로그램으로부터 얻어지는 출력영상은 특정한 위치에 재생되도록 홀로그램을 설계 제작한다. 만약 $N \times M$ 홀로그램 어레이를 설계한다고 하면 N 개의 행(row)은 문자를 디스플레이 시킬 N 개의 위치

(position) 중에 같은 위치에 해당하는 문자에 대한 홀로그램들로 배열된다. 따라서 각 행의 모든 M 개의 열(column)에는 같은 위치에 디스플레이 되는 서로 다른 문자에 대한 홀로그램이 위치한다. 예를 들어 그림 1과 같이 출력면의 (a), (b), (c) 세 위치에 영문 요일의 처음 세 문자 SUN, MON, TUE, WED, THU, FRI, SAT를 디스플레이 하기 위해서는 그림 2와 같이 첫 문자 군에 해당하는 S, M, T, W, F의 홀로그램은 제 1 행의 제1,2,3,4,5열에 배열하고, 두 번째 문자 군인 U, O, E, H, R, A의 홀로그램은 제 2 행의 제1,2,3,4,5,6열에 배열하고, 세 번째 문자 군인 N, E, D, U, I, T는 제 3 행의 제1,2,3,4,5,6열에 배열한다. 이때 1행의 T와 같이 두 개 이상 중복되는 문자는 한번만 표시하며 서로 다른 행에 배열된 홀로그램은 그 출력도 서로 다른 위치에 나타나도록 설계한다.

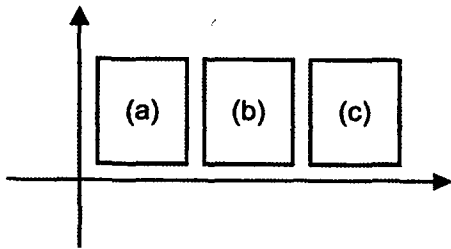


그림 1. 출력면에서의 문자 영상의 배치도
Fig. 1. The arrangement of character images at the output plane.

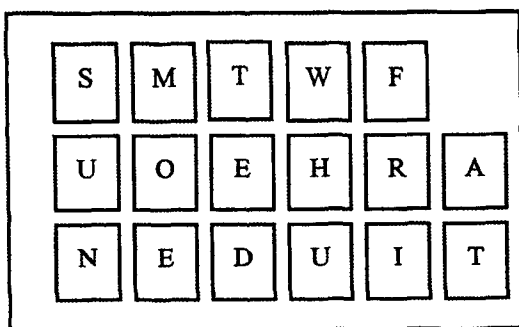


그림 2. 홀로그램 어레이의 배치도
Fig. 2. The arrangement of a hologram array.

따라서 THU문자를 디스플레이 하기 위해서는 제 1행의 제3열의 홀로그램과 제 2행의 제4열의 홀로그램과 제 3행의 제4열의 홀로그램에만 빛을 통과시키면 된다. 만약 같은 행에 있는 홀로그램을 동시에 두개

이상 레이저 빛을 통과시키면 출력면에 문자가 중복되어 나타나게 된다. 이와 같이 홀로그램 어레이를 만들고 레이저 빛을 어느 부분에 통과시키느냐에 따라서 다양한 문자가 재생되게 된다. 레이저 빛을 선택적으로 통과시키는 역할은 홀로그램 바로 앞에 놓인 공간 광 변조기를 이용하며, SLM은 개인용 컴퓨터(PC) 그리고 컨트롤러에 연결되어 있어 실 시간적으로 원하는 부분만 빛을 통과시킬 수 있기 때문에 다양한 문자의 디스플레이를 할 수 있다.

IV. 실험 및 결과

1. 홀로그램 어레이 제작

홀로그램 어레이의 설계에서는 각 홀로그램에 대한 주기를 128×128 개의 셀로 나뉘 설계를 하였으며, 한 셀의 크기를 $1 \mu\text{m} \times 1 \mu\text{m}$ 로 하고 1626 (가로×세로)개의 주기를 복사하여 실제로 한 홀로그램의 크기는 $2.048\text{mm} \times 3.328\text{mm}$ 이며 홀로그램간의 간격은 0.384mm 이다. 그러므로 위상 홀로그램 어레이의 실제 크기는 $14.208\text{mm} \times 10.752\text{mm}$ 가 되고, 홀로그램 어레이에서 각 문자 홀로그램의 구성은 그림 2와 같이 배치한다.

홀로그램의 제작은 레이저로 직접 위상 패턴을 그려서 만들거나 광 마스크를 만든 다음 이것을 이용해 포토레지스터가 입혀진 기판에 밀착한 후 노광하고 현상하는 광 리소그래피 방식으로 위상 홀로그램을 만드는 방법이 있다.

본 논문에서는 광 리소그래피를 이용한 위상 홀로그램을 제작하였으며, 사용되는 광 리소그래피 장비에는 노광 방법에 따라 contact aligner, stepper, projection 형태 등이 있고, 본 논문에 사용할 홀로그램의 제작에서는 최소 선 폭 $1 \mu\text{m}$ 를 구현하기에 용이한 contact printing 방식인 Karl Suss회사의 contact aligner 장비(KSM MJB3)를 사용하였다. 이 장비의 광 파장은 365nm 이다.

광 리소그래피에 사용되는 PR은 빛이 쪼여진 부분이 현상되는 positive 형태와 negative 형태가 있다. 그러나 negative 형태는 positive 형태에 비해 선 폭에 제한이 크고 현상된 PR의 가장자리의 형태가 나빠서 Lift-off 공정 등 미세 소자의 구현에 많은 문제점이 있어 홀로그램 제작에서는 positive 형태인 Hoechst회사의 AZ5214E를 사용하였다. 또한 AZ5214E

PR을 현상하기 위한 현상액은 Hoechst회사의 AZ500MIF을 사용하였다.

PR의 상태에 따라 PR 코팅 후 표면에 기포와 같은 흔적 등이 나타날 수 있는데 이러한 결과에 인해 소자 패턴이 불균일하게 현상될 수 있어서 그 다음의 광 리소그래피 공정 과정에서 정렬 시 많은 어려움을 수반한다. 그래서 필터를 이용한 PR을 정제하고 PR 코팅 시 가능한 시료를 스핀 코터(spin-coater)의 chuck 한 가운데 올려 놓고 사용하면 기포의 흔적 같은 것이 거의 안 나타나므로 균일하게 코팅된 PR 표면을 얻으며 현상도 균일하게 깨끗이 이루어진다.

위상 홀로그래프 어레이의 제작은 먼저 전자빔 리소그래피에 의해 진폭 투과형 포토마스크를 만든 다음 쿼츠 기판 위에 포토레지스터를 스핀코팅하고 그 위에 포토마스크를 밀착시킨 후 노광하고 현상하여 위상 홀로그래프를 만든다. 구체적인 제작과정은 다음과 같다.

첫째, 쿼츠(quartz)를 아세톤(aceton, CH_3COCH_3)과 메탄올(methanol, CH_3OH)으로 골고루 닦아낸 후 물(H_2O)로 제대로 세척하고 공기로 물기가 남지 않도록 증발시킨다.

둘째, 세척된 쿼츠와 포토레지스터(Photo-Resist : PR)를 준비한다. 본 실험에서 사용된 PR의 종류는 AZ5214E이다. 스핀 코터에 실행시간을 30 초로 조정하고 스핀코터에 실행하고자 하는 분당 회전수(Revolutions Per Minute : RPM)를 조정하여 스핀 코팅을 한다. 이 작업 후에, PR 코팅된 쿼츠를 오븐에서 온도를 $100^{\circ}C$ 로 맞추고 60 초 정도 가열한다.

셋째, 밀착정렬(contact aligner) 장비(KSM-MJB3)를 이용하여 기 제작되어 준비된 진폭 투과형 포토마스크와 코팅된 쿼츠를 가능한 한 딱 밀착되도록 조정하며 밀착과정을 통해 작업한다. 이때 장비의 광 에너지 세기는 $8.0W/cm^2$ 이고 노광시간(exposure time)은 5 초로 한다.

넷째, PR에 맞는 현상액을 유리컵에 준비하고 밀착된 PR의 가장자리를 집게로 제대로 잡은 후 현상 준비를 한다. AZ5214E에는 현상액 MIF500을 사용한다. 노광시간이 5 초라면 현상시간은 4 초로 조정하며, 특히, 제대로 세척하기 위해 60 초 이상 흐르는 물로 골고루 세척해야 한다.

이런 방법으로 가장 최적의 π 조건 위상 홀로그래프 어레이를 제작하나, 실제 제작하는 이진 위상 홀로그래프의 원하는 위상차를 정확하게 구현시킬 조건을 찾기는 매우 어렵다. 그 이유는 RPM조건, baking 시간, 노광시간, 현상시간 등 실험실의 온도, 세척상태, 그리고 장비를 다루는 방법과 기술 등 여러 변수와 실험조건에 따라 달라지기 때문이다. 그러므로 본 논문에서 사용된 홀로그래프 어레이도 여러 번의 실험과정을 거쳐 가장 최적의 조건과 상태에서 제작하였다. 그림 3은 위상 홀로그래프 어레이의 제작과정을 단계적으로 설명하고 있으며, 그림 4는 본 논문에서 사용할 광 리소그래피 방법으로 제작된 높은 효율과 정확도를 가진 위상 홀로그래프 어레이의 문자들 중에 제 1행 제 1열 위치에 있는 "S" 문자 홀로그래프의 시뮬레이션 결과와 그림 3의 제작과정을 거쳐 제작된 위상 홀로그래프를 광학 현미경으로 50배 확대하여 찍은 사진을 보여 준다.

그림 3. 위상 홀로그래프 어레이의 제작 과정
 Fig. 3. The fabrication step of obtaining the phase hologram array.

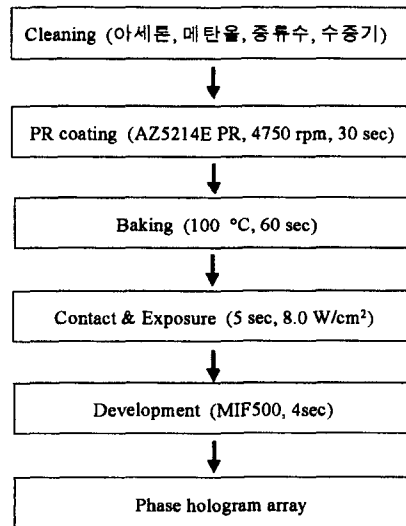


그림 3. 위상 홀로그래프 어레이의 제작 과정
 Fig. 3. The fabrication step of obtaining the phase hologram array.

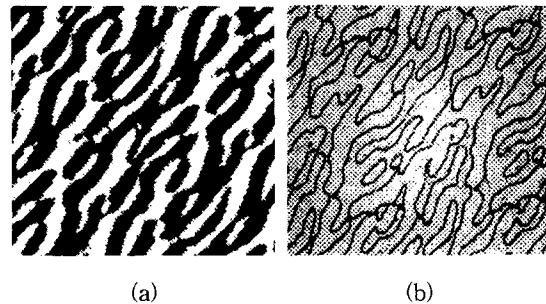


그림 4. 홀로그래프 어레이 중 "S" 문자 홀로그래프
 (a) 시뮬레이션 결과 (b) 제작된 홀로그래프
 Fig. 4. A hologram for character "S" among the hologram array. (a) Simulation result (b) Fabricated hologram

2. 실험결과 및 토의

그림 5에 나타나 있는 실험장치도의 원리는 다음과 같다. 먼저 레이저 빛을 빔 확대기를 통과시켜 평행광(collimated beam)을 만든다. 이 빛은 SLM을 지날 때 특정한 부분만 통과하게 되어 바로 뒤에 놓인 홀로그램 어레이를 지나 회절하게 되며, 이 회절광은 뒤에 놓인 렌즈를 지나 렌즈의 초평면인 출력면에 영상을 재생시킨다. 이 영상은 광 검출기를 통하여 컴퓨터에 연결된 모니터를 통해서 나타내거나, 출력면에서 스크린을 이용해 직접 확인할 수 있다. 그림 6은 원하는 출력을 얻기 위한 공간 광 변조기를 통과한 입력 패턴을 나타내며, 여기서 (a)~(h)는 영문 요일 문자열의 처음 세 문자 SUN, MON, TUE, WED, THU, FRI, SAT 그리고 임의로 조합하여 생길 수 있는 문자열들 중에 하나인 FUN을 디스플레이하기 위해 공간 광 변조기에 띄우는 입력 패턴을 나타내고 있다.

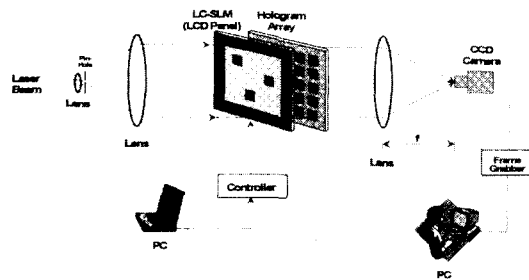


그림 5. 위상 홀로그램 어레이와 LC-SLM을 이용한 문자 디스플레이 실험장치도
 Fig. 5. Character display unit using a phase hologram array and a LC-SLM.

그림 7은 그림 5의 실험장치를 이용하여 그림 6의 입력 패턴의 빛이 각각 홀로그램 어레이를 지나 출력면에서 나타내고자 하는 영상의 시뮬레이션 결과이며, 그림 8은 본 논문에서 새롭게 제안한 그림 5의 실험장치를 이용하여 그림 6의 입력 패턴의 빛이 각각 홀로그램 어레이를 지나 출력면에서 최종적으로 나타난 영상의 실험 결과이다. 여기서 (a)~(h)는 영문 요일 문자열의 처음 세 문자 SUN, MON, TUE, WED, THU, FRI, SAT 그리고 임의로 조합하여 생길 수 있는 문자열들 중에 하나인 FUN을 디스플레이한 각각의 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 최종 광학 실험 결과이다. 영상이 원점을 중심으로 대칭인 것은 홀로그램의 위상이 0과 π 로 이루어진 이진 위상 홀로그램이기 때문이다. 이 대칭인 상이 나오지 않게 하려면 위

상이 4단계 이상인 다중 위상 홀로그램으로 설계하면 되지만 그 경우 제작도 더 복잡해진다.

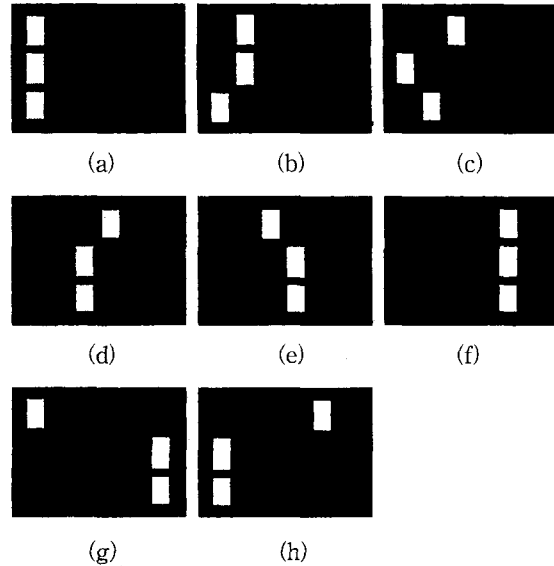


그림 6. LC-SLM에서 변조되는 다양한 입력 패턴
 Fig. 6. Various input patterns modulated in a LC-SLM.

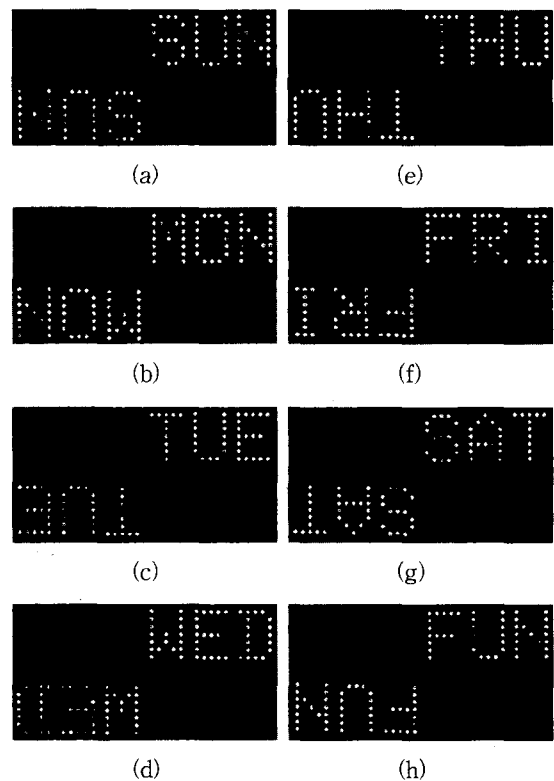


그림 7. 입력패턴에 대한 출력영상의 시뮬레이션 결과
 Fig. 7. Simulation results of output images for input patterns

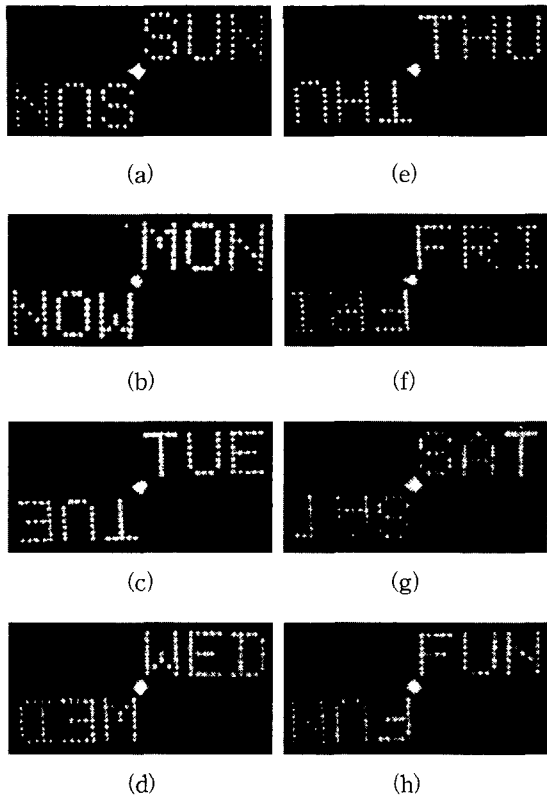
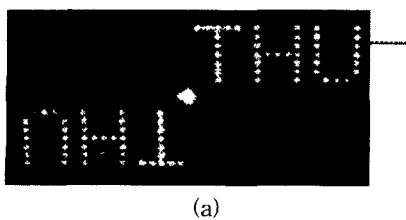
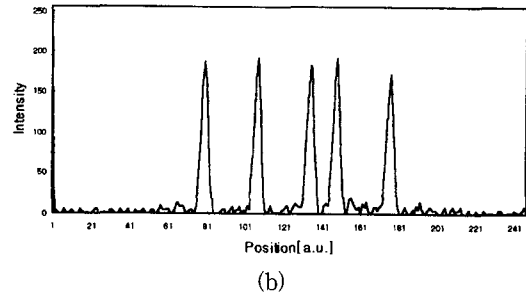


그림 8. 입력패턴에 대한 출력영상의 결과
Fig. 8. Experimental results of output images for input patterns.

그림 9의 (b)는 실험 결과로 얻어진 영문 요일 문자열 중의 한 영상을 Global Lab소프트웨어와 엑셀을 이용하여 그림 9의 (a)에 있는 그림처럼 그려진 선 위치에서의 세기 분포를 측정한 그래프이다. 그림 9의 (b)에서 보는 바와 같이 정량적으로 실험 결과의 스폿 (spot) 세기가 그레이 레벨값 200 근처에 있으며 노이즈 부분도 거의 없음을 알 수 있고, 그 신호대 잡음비는 20이었다. 그러므로 실제 본 논문에서 새로이 제시한 실험 장치로 구현된 실험 결과가 정성적 뿐만 아니라 정량적으로도 매우 좋은 결과가 나왔음을 알 수 있다. 여기서 회절 빔의 세기는 0~255사이의 값으로 표시되었다.



(a)



(b)

그림 9. 세기의 분포
(a) 측정범위의 위치 (b) 측정결과
Fig. 9. Intensity distribution.
(a) The position of measurement range (b) The result of the measurement

본 논문에서 새롭게 제안한 광학 실험장치도는 광 리소그래피 방법을 통해 얻을 수 있었던 장점인 높은 효율과 뛰어난 회절 효율 특성 그리고 정성적 및 정량적으로 일치하는 정확한 특성과 LC-SLM을 이용하여 얻을 수 있었던 장점인 능동적이고 실시간 정보처리가 가능한 특성과 고속의 위상정보를 전송할 수 있고 정성적으로 일치하는 특성을 결합시킨다.

광 리소그래피로 제작한 위상 홀로그램은 높은 효율과 회절 특성 그리고 정성적 및 정량적 특성값의 정확한 일치가 장점이지만 한번 제작된 포토마스크는 변경이 불가능하며 높은 제작 비용과 실시간 정보처리 분야에는 사용하기 어려운 단점을 가지고 있다. 만약 SLM의 성능이 더욱 향상된다면, SLM만을 가지고 고효율의 홀로그램을 구현할 수 있을 뿐 아니라 컴퓨터를 이용함으로써 능동적이고 실시간 정보처리가 가능하고 고속의 위상정보를 전송할 수 있다.

LC-SLM은 입력되는 신호의 크기에 따라 위상 지연 특성을 가질 수 있는데, 0과 255의 입력값에 대해 2에 가까운 위상 지연 특성을 띠는 격자 정보를 LC-SLM에 디스플레이 시킨 후 평행광으로 만들어진 레이저 광원에 조사되며, 회절된 빔들이 푸리에 변환 렌즈를 거쳐 푸리에 평면에 맺힌다. 홀로그램을 실시간으로 구현하는 장치로써 LC-SLM은 컴퓨터와 연결되어 있어 컴퓨터에서 설계된 홀로그램이 LC-SLM 제어기를 통해 화소 하나당 1바이트 정보로 전송되어 LC-SLM에 위상변화로 나타나게 된다. 이 때 컴퓨터에서 설계된 홀로그램은 컴퓨터 그래픽 카드가 지원하는 해상도로 표현되지만 LC-SLM 제어기로 전달될 때 NTSC나 PAL방식의 신호로 변환되어 LC-SLM

이 제공하는 해상도로 전환된다. 대부분 LC-SLM이 제공하는 해상도는 컴퓨터가 제공하는 해상도보다 낮기 때문에 LC-SLM에 의해 표현된 홀로그래프 패턴은 컴퓨터에서 제공하는 정보와 정확히 일치하지 않는다.

V. 결 론

본 논문에서 제안한 장치는 컴퓨터로 설계된 홀로그래프 어레이를 이용하여 문자나 다양하게 변화하는 영상을 실시간적으로 디스플레이 할 수 있는 장치를 제공하는데 그 목적이 있다. 영상을 디스플레이 하기 위한 입출력 장치가 모두 빛을 이용하고 병렬로 처리된다는 점에서 기존의 전자 디스플레이 장치와 크게 다르다. 따라서 디스플레이의 속도면에서 매우 빠르고 대용량의 영상이 병렬로 디스플레이 되고 특히 영상이 홀로그래프로 저장되기 때문에 3차원 입체 영상의 재생이 가능하다는 근본적이고도 중요한 의의를 가지고 있다. 따라서 빛을 이용해 영상을 디스플레이 하는 새로운 방식으로 광 정보처리나 광통신 분야에 매우 유용하게 사용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 강봉균 외 3인, "광 리소그라피를 이용한 다중 위상 홀로그래프의 제작", 한국통신학회 논문지, 제23권 제4호, pp. 1059-1065, 1998
- [2] S. H. Song et al., "Beam-array combination with planar integrated optics for three-dimensional multistage interconnection networks", *Appl. Opt.*, vol. 36, no. 23, pp. 5728-7531, Aug. 10, 1997.
- [3] M. B. Fleming and M. C. Hutley, "Blazed diffractive optics", *Appl. Opt.*, vol. 36, no. 20, pp. 4635-4643, July 1997.
- [4] S. Sinzinger and J. Jahns, "Integrated micro-optical imaging system with a high interconnection capacity fabricated in planar optics", *Appl. Opt.*, vol. 36, no. 20, pp. 4729-4735, July 1997.
- [5] H. H. Suh et al., "Combined binary-phase holograms for free-space optical interconnection", *Opt. Lett.*, vol. 20, no. 20, pp. 2131-2133, 1995.
- [6] R. L. Morrison et al., "Beam array generation and holographic interconnection in a free-space optical network", *Appl. Opt.*, vol. 32, no. 14, pp. 2512-2518, 1993.
- [7] P. Yeh et al., "Optical interconnection using photorefractive dynamic holograms", *Appl. Opt.*, vol. 27, no. 11, pp. 2093-2096, 1988.
- [8] H. Dammann and K. Gortler, "High efficiency in-line multiple imaging by means of phase hologram", *Opt. Comm.*, vol. 3, no. 5, pp. 312-315, 1971.
- [9] S. H. Lee and B. J. Thompson, *Computer-Generated Hologram and Diffractive Optics*, SPIE Milestone Series, vol. MS 33, 1992.
- [10] 강봉균 외 2인, "홀로그래프 어레이와 SLM을 이용한 문자 디스플레이 장치", 제 13회 파동 및 레이저 학술 발표회 논문집(이화여자대학교), pp. 80, 1998
- [11] 강봉균 외 3인, "홀로그래프 어레이와 LC-SLM을 이용한 문자 디스플레이 구현", 제 6회 광자 기술 학술회의 논문집(제주대학교), pp. 183-184, 1997
- [12] 이득주, 강봉균 외 2인, "공간 광 변조기를 이용한 실시간 자유공간 광연결 구현", 한국통신학회 논문지, 제 22권 제 5호, pp. 956-966, 1997
- [13] 강봉균 외 2인, "액정 공간 광 변조기를 이용한 이진 위상 홀로그래프의 구현", 제 4회 광전자공학 학술회의 논문집(강원대학교), pp. 269-271, 1997
- [14] D. J. Lee et al., "Dynamic optical interconnection in free-space switching system", *Opt. Rev.*, vol. 3, no. 6B, pp. 475-477, 1996.
- [15] J. E. Morris and M. R. Feldman, "Reconfigurable optical interconnects by a combined computer-generated hologram and spatial light modulator method", *Appl. Opt.*, vol. 33, no. 17, pp. 3683-3694, 1994.
- [16] A. Kirk et al., "Reconfigurable computer generated holograms", *Opt. Comm.*, vol. 105, no. 5,6, pp. 302-308, 1994.
- [17] T. Somehara, "Computer generated holo-

gram reconstruction using liquid crystal-spatial light modulators”, *SLM & Appl. Topical Meeting*, vol. 6, pp. 106-109, March 1993.

[18] H. Ichikawa et al., “Dynamic space-variant optical interconnections using

liquid crystal-spatial light modulators”, *Opt. Comm.*, vol. 93, no. 3,4, pp. 145-150, 1992.

[19] K. Takizawa, “Spatial light modulators for projection display”, *Appl. Opt.*, vol. 36, no. 23, pp. 5732-5747, Aug. 1997.

저 자 소 개



姜 奉 均(正會員)

1969년 7월 13일생. 1993년 2월 충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 1992년 11월 ~ 1995년 7월 LG 전자 통신기기 SBU 연구원. 1997년 2월 ~ 1998년 2월 한국전자통신연구원 기초기술연구부 위촉연구원. 1998년 2월 충북대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사). 1998년 3월 ~ 현재 한국정보통신대학원대학교 통신공학부 재학(박사과정). 한국전자통신연구원 광교환 연구실 위촉연구원. 주관심분야는 Diffraction optics, Optical information processing, Computer generated holography, Optical switching, Optical interconnection

金 男(正會員) 第33卷 A編 第3號 參照



徐 豪 亨(正會員)

1962년 10월 13일생. 1985년 8월 전남대학교 물리학과 졸업(이학사). 1988년 2월 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학석사). 1991년 8월 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학박사). 1992년 2월 ~ 현재 한국전자통신연구원 선임연구원. 주관심분야는 Optical information processing, Computer generated holography, Optical neural networks, Fourier optics, Free-space optical interconnection