

論文96-33A-3-17

# LCTV를 이용한 광연결용 다위상 격자의 구현

## (Implementation of Multi-level Phase Gratings for the Optical Interconnection using Liquid Crystal Television)

李演璇\*, 金男\*\*, 朴成鈞\*\*\*, 任鍾太\*\*\*\*

(Yeon Seon Lee, Nam Kim, Seong Gyoon Park, and Jong Tae Ihm)

### 요 약

자유공간 광연결을 위한 다중빔 발생 회절격자를 설계하고 LCTV를 이용하여 실시간 광연결을 실험하였다. 본 논문에서 설계한 다위상 격자는 투과형으로서  $0 \sim 2\pi$  사이의 단계적 위상값으로 구성되며 격자의 발생 패턴은  $5 \times 5$  어레이, 문자 V로 최대 78.84%의 회절효율을 갖는다. 각 회절빔이 균일한 세기와 높은 회절효율을 가지도록 격자 각 화소들의 위상상태를 결정하기 위해 simulated annealing 기법을 사용하였다. 광연결 실험을 통해 2위상, 4위상, 8위상 격자에 의한 빔패턴의 발생결과를 비교 분석하였다.

### Abstract

Diffraction gratings were designed to generate multiple beams for the real-time optical interconnection in free-space using a liquid crystal television. Multi-level phase gratings consisted of stepped phase value, 0 to  $2\pi$ , and generate a  $5 \times 5$  spot array, and V-shaped spot patterns which have a maximum diffraction efficiency of 78.84%. Simulated annealing technique was used to determine phase states of each pixel having uniform intensity and high diffraction efficiency. Through the optical interconnection experiments, we compared the diffraction characteristics of beam patterns obtained by binary-level, four-level, and eight-level phase gratings.

### I. 서 론

회절격자를 적절히 설계하면 분파, 합파, 렌즈변조 등 여러 종류의 파면 변환 기능과 매우 높은 회절효율

\* 準會員, \*\* 正會員, 忠北大學校 情報通信工學科  
(Dept. of Computer & Comm. Eng., Chungbuk Nat'l Univ.)

\*\*\* 正會員, 公州大學校 情報通信工學科  
(Dept. of Information & Comm. Eng., Kongju Nat'l Univ.)

\*\*\*\* 正會員, 韓國移動通信 中央研究員  
(Research Center, Korea Mobile Telecom.)

接受日字: 1995年5月30日, 수정완료일: 1996年2月13日

특성을 가지며 소형 경량이고 대량으로 복제가 가능하므로 경제성이 높다. 특히, 회절격자 중에서도 위상 성분만을 갖는 위상형 회절격자(phase diffraction gratings)는 1970년대 초 Dammann<sup>[1]</sup>에 의해 다중 영상(multiple imaging)을 위한 소자로서 제안되었고, 진폭과 위상 성분을 모두 갖는 고전적인 격자에 비해 높은 광 이용 효율과 우수한 신호대 잡음비(SNR) 특성을 갖는다. 또한, 회절격자는 조사된 하나의 레이저 빔을 여러개의 균일한 빔으로 나누는 특성을 갖기 때문에 다중 빔분리 소자로서 사용되어 왔다. 최근 전자빔을 이용한 석판화 기법(electron-beam lithography)의 제작기술 발달과 여러 유형의 공간 광 변조기(spatial light modulator)의 개발로 인하여 좀 더 높은 효율을 가지며 실시간처리가 용이한 격

자들이 등장하게 되었고, 이러한 격자들은 광연결(optical interconnection)이나 광스위칭(optical switching), 광컴퓨팅(optical computing), 광패턴 인식(optical pattern recognition) 등과 같은 광정보처리 응용분야에서 주요 소자들로 사용되고 있다.<sup>[2]</sup>  
[13][14]

연속위상(continuous phase)을 두 개의 단계로만 한정시킨 2위상 격자(binary phase gratings)는 설계가 간단하고 기존의 디지털 신호처리 기술의 적용이 용이함으로 실시간처리가 가능한 공간 광 변조기에 매우 효율적으로 사용할 수 있게 된다. 그러나 신호대 잡음비에 영향을 미치는 역상(mirror image)을 발생시킴으로 보다 성능이 개선된 광연결 소자나 광스위칭 소자 등을 구현하기 위해서는 이를 제거하는 기술이 요구된다. 본 논문에서는 이러한 역상의 문제점을 제거하여 우수한 광연결 능력을 가지는 실시간 광연결 소자를 구현하기 위해 여러 단계의 위상을 사용하는 다위상 격자(multi-level phase gratings)를 설계하고 LCTV(liquid crystal television)를 이용하여 구현하였다. 다위상 격자는 각 스폿들의 제어가 가능하고, 2위상 격자에서 나타나는 역상을 제거할 수 있으므로 임의의 위치로 보다 높은 회절효율과 균일한 세기를 가지는 빔패턴 발생이 가능하다. 그러나 위상의 단계가 증가함에 따라 석판화(lithography) 기법을 이용하여 제작하면 각 위상을 제대로 구현하기가 어렵고, 제작시간이 오래 걸린다. 그러므로 본 논문에서는 컴퓨터를 이용하여 위상의 변화를 고속으로 자유로이 조절할 수 있는 공간 광 변조기를 사용하여 석판화 기법에 의한 시간적제한을 극복하였다.<sup>[15][16]</sup>

다위상 격자의 최적 위상상태를 결정하기 위하여 금속의 담금질 원리를 조합 최적화에 적용한 simulated annealing(SA) 기법을 사용하였다. S. Kirkpatrick<sup>[7]</sup> 등이 제안한 SA 기법은 통계적 메커니즘에 근거하여 조합 최적화 문제를 해결하기 위해 시스템의 전역 최소에너지에서 주어지는 최적 변수값을 찾아가는 반복 알고리즘이다. 이 기법은 에너지가 증가하는 방향으로의 상태천이를 확률적으로 허용하므로 최적화 과정에서 종종 발생하는 지역 최적치 문제를 극복하고 전역 최소치로 수렴이 가능하다는 장점을 갖는다.<sup>[8][9][10]</sup>

공간 광 변조기는 광정보의 위상, 편광 등의 정도를 공간적으로 변조하거나 데이터의 기록 및 삭제 능력을 갖는 소자로서 실시간 광정보처리 시스템에 있어서 필

수 불가결한 소자이다. 공간 광 변조기로는 현재 LCLV(liquid crystal light valve), MSLM(microchannel SLM), AOD(acousto-optic device), Thermoplastic 등이 사용되고 있으나 이들 대부분은 매우 고가이며 높은 전력이 요구되는 등 많은 단점을 가지고 있어 실질적 응용이 크게 제한되고 있다. 본 연구에서 사용되는 LCTV는 가격이 저렴하고 별도의 구동회로 없이도 컴퓨터나 CCD 카메라의 영상 신호를 입력할 수 있는 특징을 가짐으로 널리 사용되고 있다. 인가전압에 따라 LCTV의 분자배열이 변화하여 통과하는 빛의 위상상태가 결정되며, 이러한 위상제어 특성을 이용하여 다위상 격자를 구현할 수 있다.<sup>[11][12]</sup>

본 논문에서는 다위상 격자를 이용하여 실시간 자유공간 광연결 능력을 갖는 광학소자를 구현하였다. 다위상 격자를 사용함으로써 기존의 2위상 격자에서 보다 뛰어난 신호대 잡음비를 기대할 수 있고, 다양한 모양의 패턴을 임의의 위치에 자유로이 발생시킬 수 있게 된다. 또한, 다위상 격자의 최적 위상상태를 결정하기 위해 SA 기법을 사용하여 시뮬레이션 하였고, LCTV를 이용한 광연결 패턴발생 실험을 통하여 실시간으로 광연결이 가능함을 입증하였다.

## II. 최적화 기법

주어진 시스템에서 목표 스폿패턴과 실제 스폿패턴 사이의 차로 정의되어지는 에너지함수의 최소 또는 최대값을 찾기 위한 여러가지 방법들이 지금까지 많이 연구되어 왔다. 그 중 많이 사용되어 온 경사 감소법이나 직접 탐색법 등은 독립 변수가 많아지게 되면 지역 최소치(local minimum) 문제를 야기시킨다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 본 논문에서는 금속의 담금질(annealing)의 원리를 이용한 SA 알고리즘을 적용한 기법을 사용한다.

담금질이란 고체를 가열하여 녹인 후 그것이 완전한 격자상태의 결정체가 될 때까지 식히는 과정을 말하며 이러한 과정을 거치게 되면 그 고체의 자유에너지가 최소화된다. 이와 유사한 과정을 조합 최적화(combinatorial optimization) 문제에서도 적용할 수 있으며 이 과정은 최소에너지를 구하는 문제로 공식화 되어질 수 있다. 여기서 에너지함수와 자유에너지 사이의 관계 그리고 최적해와 격자상태의 상호 유사성

을 고려하여 조합 최적화 문제에 담금질의 원리를 적용함으로써 최소에너지를 구할 수 있게 된다.

대부분의 최적화기법들은 지역최소치에 빠지게되면 전역최소치(global minimum)로 수렴할 수 없게 되는데 비하여 SA 기법을 사용하게 되면 에너지가 증가하는 방향으로의 상태전이를 허용하므로 전역 최소점으로 수렴하는 것이 가능하다. SA 기법은 새로운 에너지값을 선택할 때 계단함수(step function) 대신 확률값을 적용하며 이 때의 확률은 각 상태의 에너지값으로부터 Boltzmann 분포에 의해 주어진다. 확률  $P$  는 식 (1)에 의해 결정된다.

$$P(\Delta E) = \frac{1}{1 + \exp(\Delta E/T)} \quad (1)$$

여기서,  $T$  는 온도를 나타내는 변수,  $\Delta E$  는 에너지 변화량이며,  $T$  의 값에 따라 확률  $P(\Delta E)$  가 바뀌게 된다. 만약,  $\Delta E$  가 음의 값을 가지면 무조건 그 상태를 허용하고,  $\Delta E$  가 양의 값을 가지면 온도에 따른 Boltzmann 분포에 의해 상태의 허용여부가 결정된다. 온도  $T$  가 크면  $P(\Delta E)$  는  $\Delta E$  의 값에 둔감해 지므로 에너지가 증가하는 방향으로의 상태전이를 허용할 확률이 높아지고,  $T$  가 작으면  $P(\Delta E)$  는  $\Delta E$  의 값이 음수인지 양수인지에 따라 민감해지므로 에너지가 증가하는 방향으로의 상태전이를 허용할 확률이 낮아지게 된다.<sup>110)</sup>

일반적으로 온도  $T$  는 높은 온도에서 출발하여 낮추어 가다가 평형상태에 도달하면 그 상태가 깨지지 않도록 서서히 온도를 낮추어 최종적으로 0의 극한에 도달한다. 여기서 중요한 것이 온도  $T$  를 낮추는 방법이다. 온도를 너무 급속히 낮추면 평형상태를 이루어도 최소에너지상태에 도달할 확률이 적고, 너무 천천히 낮추면 최소에너지에 도달할 확률은 커지지만 많은 반복이 필요하기 때문에 시간이 오래 걸린다. 1984년 S. Geman과 D. Geman은 온도가  $1/\log(T+1)$ 보다 빠르지 않게 감소하면 에너지가 전역최소치로 수렴함을 증명하였다.<sup>113)</sup>

본 논문에서는 반복계산량을 줄이기 위해 높은 온도에서는 비교적 큰 감소폭을 갖고, 낮은 온도에서는 작은 감소폭을 갖는 식 (2)와 같은 cooling schedule을 사용하였다.

$$\begin{aligned} T &= (D_T)^n T_{initial} \\ D_T &= (T_{final}/T_{initial})^{1/n} \end{aligned} \quad (2)$$

여기서  $n$ 은 반복지수,  $q$ 는 전체 반복횟수이다.

SA 기법은 최적화 문제 뿐만 아니라 패턴인식에서 패턴을 분류할 경우에 매우 유용하며 순회 판매원 문제(traveling salesman problem), VLSI의 배치문제(placement problem)의 근사해를 구하는 경우 등에 응용되고 있다. 그림 1의 SA 알고리즘은 최적화된 다위상 격자의 설계시 적용되었다.

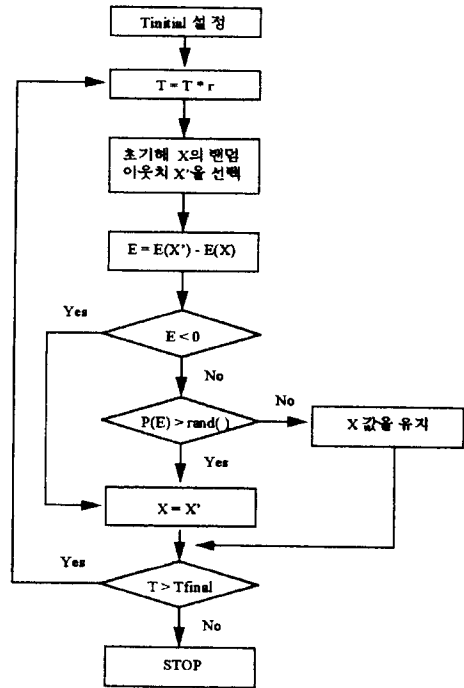


그림 1. SA 알고리즘의 순서도  
Fig. 1. Flowchart of SA algorithm.

### III. SA 기법을 이용한 다위상 격자의 설계

다위상 격자의 위상은 여러개 위상값 ( $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4, \dots$ )으로 구성될 수 있다. 다위상 격자의 각 화소 위상함수는 식 (3)과 같이 주어진다.

$$h(x, y) = \exp[j\phi(x, y)] \quad (3)$$

여기서,  $\phi(x, y)$ 는 격자의 각 화소 위상값이다. 본 논문에서는 격자의 위상으로 4위상, 8위상을 사용하였으며, 4위상 격자인 경우는  $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ 로 8위상 격자인 경우는  $0, \pi/4, 2\pi/4, 3\pi/4, \pi, 5\pi/4, 6\pi/4, 7\pi/4$ 로 각각 구성하였다. 다위상 격자의 위상함수인 식 (3)

을 Fourier 변환하면 식 (4)와 같다.

$$H(u, v) = \frac{1}{MN} \sum_{x=0}^{M-1} \sum_{y=0}^{N-1} h(x, y) \exp[-2\pi j(ux/M + vy/N)] \quad (4)$$

여기서, M과 N은 격자의 전체 행과 열의 화소수이며,  $H(u, v)$ 는 위상함수  $h(x, y)$ 의 Fourier 변환 값이다. 식 (5)와 같은 계산과정을 거치면 광연결 패턴이 발생하는 평면에서 스폿의 세기  $I(u, v)$ 를 구할 수 있다.

$$I(u, v) = |H(u, v)|^2 \quad (5)$$

광연결 패턴이 발생하는 평면에서의 전체 스폿의 세기는 항상 일정함으로 발생시키고자 하는 스폿의 세기만을 최대가 되게하면 원하지 않는 스폿의 세기는 자동적으로 줄어들게 된다. 그러므로 식 (4)와 (5)에서 원하는 스폿의 세기만을 계산하고 그 이외의 부분의 계산과정을 없애으로써 계산시간을 줄일 수 있다.

다위상 격자를 설계하는데 있어 위상변수인  $\phi$  는 시스템변수로 정의되며, 시스템의 에너지함수는 광연결 패턴의 스폿의 세기가 균일하고 높은 회절효율을 가지도록 식 (6)과 같이 정의된다.

$$E = \sum_{u=-\frac{M}{2}}^{\frac{M}{2}-1} \sum_{v=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} [I(u, v) - Tar]^2 + \sum_{u=-\frac{M}{2}}^{\frac{M}{2}-1} \sum_{v=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}-1} [I(u, v) - mean]^2 \cdot W \quad (6)$$

여기서,  $W$ 는 가중치(weighting factor)이며,  $Tar$ 는 목표값,  $mean$ 은 발생시키고자 하는 스폿들의 세기를 평균한 값이다. 식 (6)에서 첫번째 항은 광연결 패턴의 스폿들의 세기를 목표값에 근사시키기 위한 항이고 두번째 항은 스폿들의 세기를 균일하게 하기 위한 편차항이다.

SA 알고리즘을 이용하여 다위상 격자를 설계하기 위해 먼저 각 화소들을 4 단계 또는 8 단계의 위상값으로 랜덤하게 구성하고, 초기온도  $T_{initial}$ 을 임의로 정한 후 초기에너지를 계산한다. 그리고 임의로 선택한 화소의 위상값을 새로운 위상값으로 바꾼 다음 에너지를 계산한다. 이전의 위상값  $\phi_{old}$ 에 대한 에너지함수를  $E(\phi_{old})$ 라 하고 새로운 위상값  $\phi_{new}$ 에 대한 에너지함수를  $E(\phi_{new})$ 라 할 때 에너지차  $\Delta E$ 는 식 (7)과 같이 계산되어진다.

$$\Delta E = E(\phi_{new}) - E(\phi_{old}) \quad (7)$$

만약,  $\Delta E < 0$ 이면 무조건  $\phi_{new}$ 를 받아들이고, 그렇지 않은 경우에도 식 (1)과 같은 확률로  $\phi_{new}$ 를 받아들일게 된다. 그러나 이 확률이 적용되지 않는 경우는

$\phi_{old}$ 를 유지하게 된다. 위와 같은 과정을 식 (2)와 같이 온도  $T$ 를 감소시켜가며 계속적으로 반복하게 되면 에너지함수를 최소로 만드는 최적화된 다위상 격자를 얻을 수 있게 된다.

이러한 방법으로 5×5 어레이와 문자 V의 광연결 패턴을 발생시키는 격자를 4 단계, 8 단계의 위상값으로 설계하였다. 모든 격자의 화소수 M×N은 64×64 화소이며, 초기온도  $T_{initial}$ 은  $10^{-5}$ 으로 정하고  $10^{-8}$ 까지 낮추어가며 100~150회 반복실행하였다. 식 (6)의 가중치  $W$ 값은 5~10 사이의 값으로 주었으며, 가중치를 크세하면 더욱 균일한 빔 패턴을 얻을 수는 있지만 회절효율이 감소하게 되고, 작게하면 회절효율은 증가하지만 빔 패턴이 균일하지 못하게 되므로 패턴의 모양에 따라 적절한 값을 선택하여야 한다. 격자의 회절효율은 64×64 화소전체로 회절된 빔의 세기를 1로 보았을 때, 광연결 패턴이 발생하는 각 위치에서 빔세기의 합으로 정의 된다. 에너지의 수렴과정을 살펴보기 위해서 150회 반복실행한 5×5 어레이의 광연결 패턴을 발생시키는 8위상 격자의 경우를 그림 2에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 반복횟수(iteration number)가 증가함에 따라 에너지함수가 점차 '0'으로 수렴해 감을 볼 수 있다.

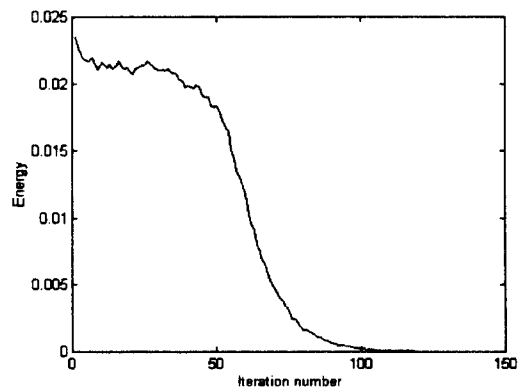


그림 2. 5×5 어레이를 발생시키는 격자의 에너지 수렴과정

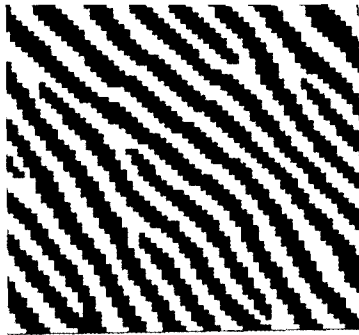
Fig. 2. The process of energy convergence for generating 5×5 array pattern.

#### IV. 실험결과 및 고찰

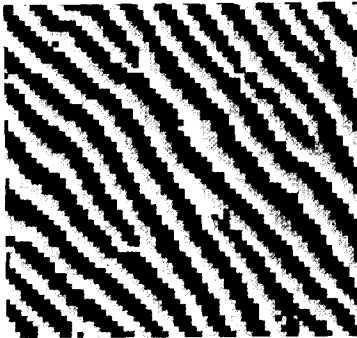
##### 1. 컴퓨터 시뮬레이션

비대칭형으로 광연결 패턴을 발생시키는 격자를 설

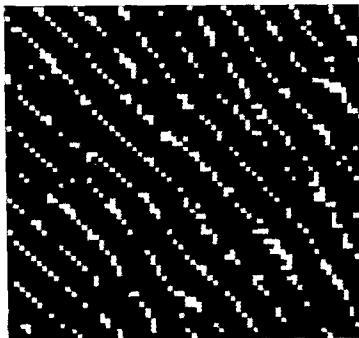
계하여 격자의 위상단계에 따른 광연결 능력을 비교하였다.



(a)



(b)



(c)

그림 3. 5×5 어레이의 패턴을 발생시키는 격자의 구조(a) 2위상 격자 (b) 4위상 격자 (c) 8위상 격자

Fig. 3. Structure of gratings to generate 5×5 array pattern. (a) binary-level phase grating (b) four-level phase grating (c) eight-level phase grating

그림 3은 우측평면의 상단에 5×5 어레이의 광연결

패턴을 발생시키기 위해 설계된 격자의 구조이다. 그림 3(a)는 2위상 격자, 3(b)는 4위상 격자, 3(c)는 8위상 격자이다. 그림 3(a)의 2위상 격자는 흑과 백의 두 단계 명암으로 표현되는데 검은부분은 0의 위상을 밝은부분은  $\pi$ 의 위상을 나타낸다. 그림 3(b)의 4위상 격자는 네 단계의 명암으로 구분되고 명암단계에 따라  $\pi/2$ 의 위상차를 갖는다. 그림 3(c)의 8위상 격자는 여덟 단계의 명암으로 구분되고 명암단계에 따라  $\pi/4$ 의 위상차를 갖는다. 설계된 격자를 컴퓨터화면에 띄우게 되면 격자를 표현하는 명암의 단계는 0에서 255 사이의 값을 갖는 비디오레벨 신호로 표현되며, 비디오레벨 신호의 값에 따라 공간 광 변조기의 위상상태가 결정된다.

표 1. 5×5 어레이 패턴의 회절효율과 편차  
Table 1. Diffraction efficiency and standard deviation of 5×5 array pattern.

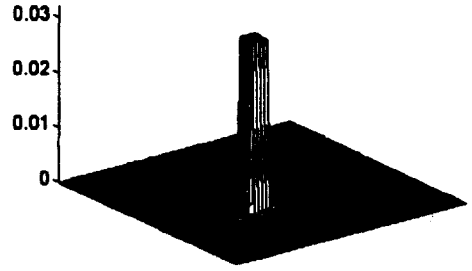
| 효율·편차<br>위 상 | 효 율(단위 %)           | 편 차( $\times 10^{-5}$ ) |
|--------------|---------------------|-------------------------|
| 2 위 상        | 7 5. 5 6<br>(역상 포함) | 2 1. 9                  |
| 4 위 상        | 7 3. 0 8            | 8. 6                    |
| 8 위 상        | 7 8. 8 4            | 3. 3                    |

그림 4는 그림 3의 격자에 의해 발생된 5×5 어레이의 광연결 패턴으로써 그림 4(a)는 2위상, 4(b)는 4위상, 4(c)는 8위상 격자에 의한 패턴이다. 본 논문에서는 SPARC/10 workstation에서 UNIX C 프로그램으로 최적화된 격자를 설계하고 MATLAB 소프트웨어에서 설계된 격자의 위상값을 로딩(loading)하여 입력 패턴과 상관시켜 얻은 결과를 삼차원적으로 구성하였다. UNIX C 프로그램으로 계산되어진 각 위상단계에 따른 5×5 어레이 광연결 패턴의 회절효율과 편차를 표 1에 나타내었고, 각각의 스폿 세기를 표 2에 나타내었다. MATLAB 소프트웨어에 의해 구성된 그림 4의 광연결 패턴을 살펴보면 그림 4(b)와 4(c)는 각각의 스폿들의 세기가 균일하고 4(a)의 2배에 달하는 0.03 근처의 값을 갖는 것을 볼 수 있다. 그러나 그림 4(a)는 2위상 격자의 특성상 원하는 패턴 뿐만 아니라 그것의 역상이 발생하기 때문에 빛의 세기가 양쪽 패턴으로 나누어지게 되어 각각의 스폿세기가 0.015 정도의 값을 갖게 된다. 그러므로 원하는 위치

인 우측 상단에서의 5×5 어레이 광연결 패턴을 살펴 보면 다위상 격자에 의해 발생된 패턴이 2위상 격자에 의한 것보다 2배 정도 효율이 높고 스폿의 세기가 균 일함을 볼 수 있다.

표 2. 5×5 어레이 패턴의 각 스폿 세기  
Table 2. Spot intensity of 5×5 array pattern.

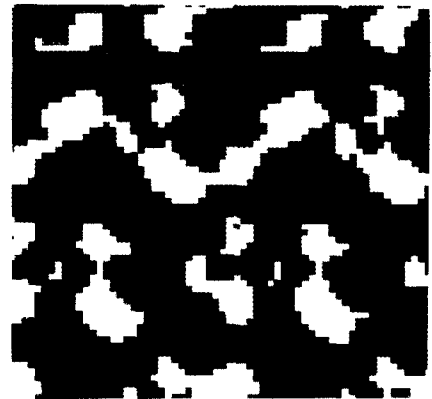
| 위상 단계 | 행 열 | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|-------|-----|--------|--------|--------|--------|--------|
| 2     | 1   | 0.0151 | 0.0153 | 0.0152 | 0.0148 | 0.0146 |
|       | 2   | 0.0154 | 0.0149 | 0.0155 | 0.0152 | 0.0153 |
|       | 3   | 0.0153 | 0.0149 | 0.0151 | 0.0150 | 0.0149 |
|       | 4   | 0.0154 | 0.0152 | 0.0153 | 0.0149 | 0.0149 |
|       | 5   | 0.0152 | 0.0154 | 0.0150 | 0.0151 | 0.0149 |
| 4     | 1   | 0.0293 | 0.0293 | 0.0292 | 0.0294 | 0.0292 |
|       | 2   | 0.0291 | 0.0292 | 0.0292 | 0.0291 | 0.0292 |
|       | 3   | 0.0293 | 0.0291 | 0.0291 | 0.0292 | 0.0293 |
|       | 4   | 0.0292 | 0.0294 | 0.0293 | 0.0293 | 0.0291 |
|       | 5   | 0.0292 | 0.0293 | 0.0293 | 0.0292 | 0.0291 |
| 8     | 1   | 0.0315 | 0.0316 | 0.0316 | 0.0315 | 0.0315 |
|       | 2   | 0.0315 | 0.0315 | 0.0316 | 0.0315 | 0.0315 |
|       | 3   | 0.0315 | 0.0315 | 0.0315 | 0.0316 | 0.0316 |
|       | 4   | 0.0315 | 0.0315 | 0.0316 | 0.0315 | 0.0316 |
|       | 5   | 0.0315 | 0.0316 | 0.0315 | 0.0315 | 0.0315 |



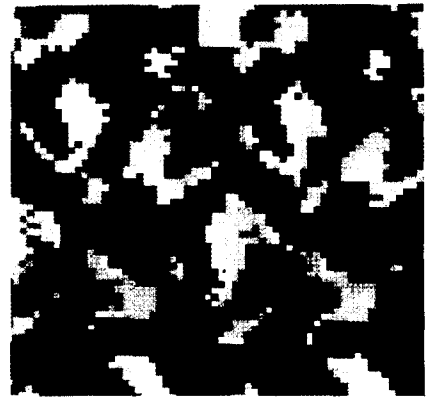
(c)

그림 4. 5×5 어레이의 광연결 패턴(a) 2위상 격자에 의한 패턴 (b) 4위상 격자에 의한 패턴(c) 8 위상 격자에 의한 패턴

Fig. 4. Optical interconnection pattern of 5×5 array. (a) Pattern by binary-level phase grating (b) Pattern by four-level phase grating (c) Pattern by eight-level phase grating



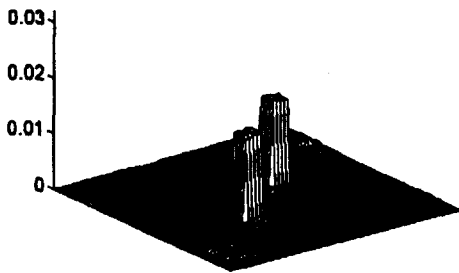
(a)



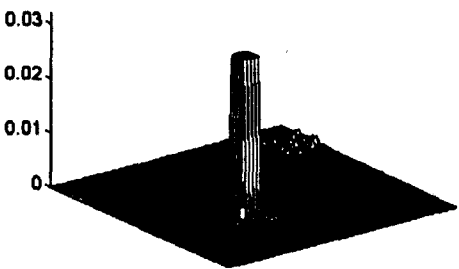
(b)

그림 5. 문자 V의 패턴을 발생시키는 격자의 구조 (a) 4위상 격자 (b) 8위상 격자

Fig. 5. Structure of gratings to generate letter V pattern. (a) four-level phase grating (b) eight-level phase grating

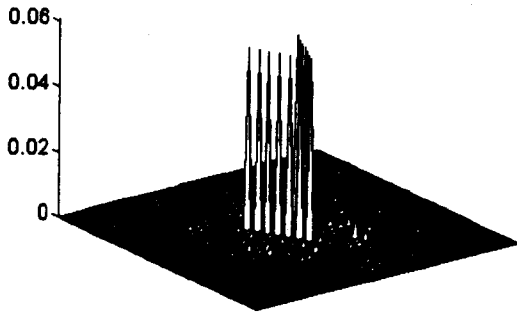


(a)

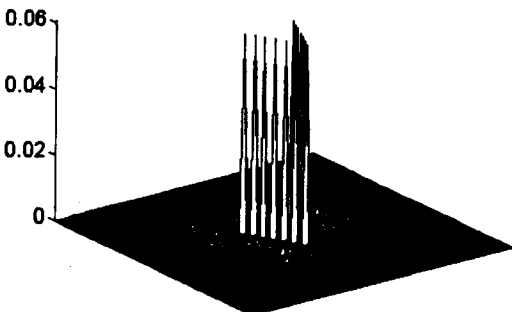


(b)

평면의 중앙에 13개의 스폿으로 구성된 문자 V의 광연결 패턴을 발생시키기 위해 100회 반복실행시켜 설계한 격자의 구조를 그림 5에 나타내었다. 여기서 그림 5(a)는 4위상 격자, 5(b)는 8위상 격자이다. 그림 5의 격자에 의해 발생된 패턴을 그림 6에 나타내었고, 각 위상단계에 따른 다. 4위상 격자에 의한 그림 6(a)의 패턴에서는 발생된 문자 V 근처에 크기는 작지만 원하지 않는 스폿들이 여러개 나타나는 것을 볼 수 있지만, 8위상 격자에 의해 발생된 패턴인 6(b)에서는 그러한 스폿들이 거의 사라진 것을 확인할 수 있다. 또한, 표에서도 알 수 있듯이 4위상 격자에 의한 패턴은 각각의 스폿들이 0.055 정도의 세기를 가지지만 8위상 격자에 의한 것은 약 0.06의 값을 가짐으로 8위상 격자가 효율이 높은 것으로 나타났다. 이것으로 다위상 격자 중에서도 위상단계를 많이 나눌수록 효율이 높고 균일한 광연결 패턴을 발생시킴을 알 수 있다.



(a)



(b)

그림 6. 문자 V의 광연결 패턴 (a) 4위상 격자에 의한 패턴 (b) 8위상 격자에 의한 패턴

Fig. 6. Optical interconnection pattern of Letter V. (a) Pattern by four-level phase grating (b) Pattern by eight-level phase grating

표 3에 위상단계에 따른 각 패턴들의 회절효율과 편차를 나타내었고, 표 4에는 문자 V의 왼쪽 스폿부터 13개 스폿의 세기를 나타내었다.

표 3. 문자 V 패턴의 회절효율과 편차

Table 3. Diffraction efficiency and standard deviation of letter V pattern.

| 효율·편차<br>위 상 | 효 율 (단위 %) | 편 차 ( $\times 10^{-5}$ ) |
|--------------|------------|--------------------------|
| 4 위 상        | 71.72      | 14.1                     |
| 8 위 상        | 78.34      | 5.9                      |

표 4. 문자 V 패턴의 각 스폿 세기

Table 4. Spot intensity of letter V pattern.

| 위상단계<br>스폿수 | 4      | 8      |
|-------------|--------|--------|
| 1           | 0.0555 | 0.0602 |
| 2           | 0.0550 | 0.0603 |
| 3           | 0.0551 | 0.0603 |
| 4           | 0.0551 | 0.0602 |
| 5           | 0.0550 | 0.0603 |
| 6           | 0.0551 | 0.0602 |
| 7           | 0.0554 | 0.0603 |
| 8           | 0.0553 | 0.0602 |
| 9           | 0.0551 | 0.0603 |
| 10          | 0.0551 | 0.0603 |
| 11          | 0.0551 | 0.0603 |
| 12          | 0.0551 | 0.0602 |
| 13          | 0.0554 | 0.0602 |

2. 광학 실험

광연결 패턴 발생을 위한 광학장치는 그림 7과 같이 구성되며, 크게 광학적 처리 부분과 디지털 처리 부분으로 구분할 수 있다. 먼저 광학적 처리 부분에서는 입사된 헬륨-네온 레이저 빔을 확장기와 렌즈 1로 평행광을 만들어 LCTV에 조사하면 빔이 LCTV에 전송된 격자패턴에 의해 회절되어 스크린에 나타나게 된다. 본 실험에서 사용되어진 공간 광 변조기는 Epson사의 Crystal Image Video Projector에 부착된 LCTV로

서 화소수는  $320 \times 220$ 이며, 하나의 화소가 차지하는 크기는  $80 \mu\text{m} \times 90 \mu\text{m}$ 이다. 또한, 빛 투과 면적이  $55 \mu\text{m} \times 60 \mu\text{m}$ 이므로 빛 투과 효율은 파장이  $0.6328 \mu\text{m}$ 일 때 최고 43%를 갖는다.

디지털 처리 부분은 컴퓨터화면에 구성된 격자패턴을 LCTV에 입력할 수 있도록 처리하는 전처리 부분과 CCD에 의해 검출된 패턴을 처리하는 후처리 부분으로 나눌 수 있다. 전처리 부분에서는 격자패턴을 구성하여 컴퓨터화면에 띄우게 되면, 부호화기에서 0에서 255 비디오레벨의 신호를 NTSC 신호로 변환하여 SLM 제어기를 통해 LCTV 각 화소들의 위상을 제어하게 된다. Epson LCTV의 비디오레벨에 따른 위상 제어 특성을 알기 위해 J. C. Kirsch 논문을 참조하였고, 시뮬레이션에서 구성한 격자의 위상단계에 해당하는 적절한 비디오레벨을 선택하여 격자패턴을 구성함으로써 LCTV의 위상을 제어하였다.<sup>[14]</sup> 후처리 부분에서는 격자에 의해 회절되어 나타난 광연결 패턴을 CCD로 직접 잡거나 오목렌즈로 확대하여 스크린에 나타난 영상을 잡아서 컴퓨터로 처리할 수 있다.

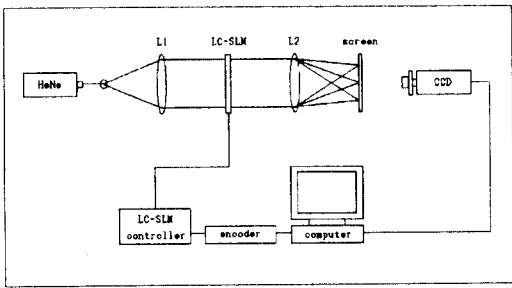
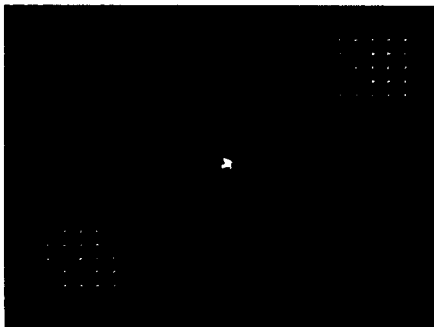
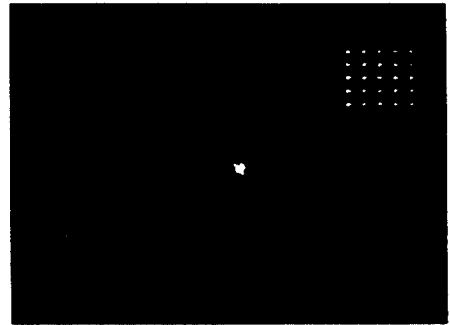


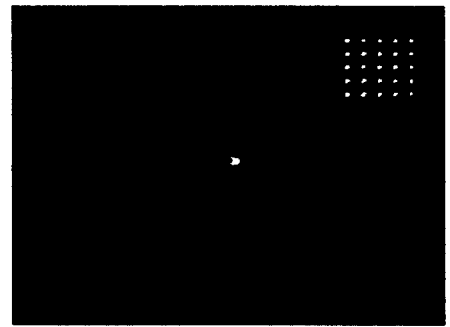
그림 7. 광연결 패턴 발생을 위한 광학 장치도  
Fig. 7. Optical setup for optical interconnection pattern generation.



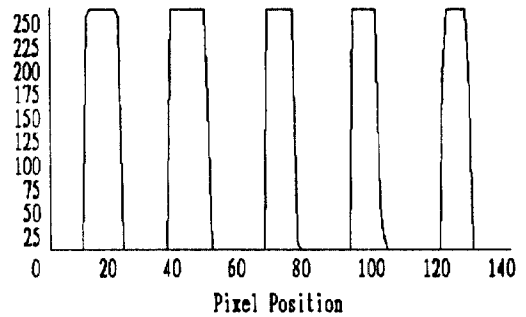
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 8.  $5 \times 5$  어레이의 광연결 실험 결과(a) 2위상 격자 (b) 4위상 격자 (c) 8위상 격자 (d) (c)에서 4번째 줄의 세기 단면도

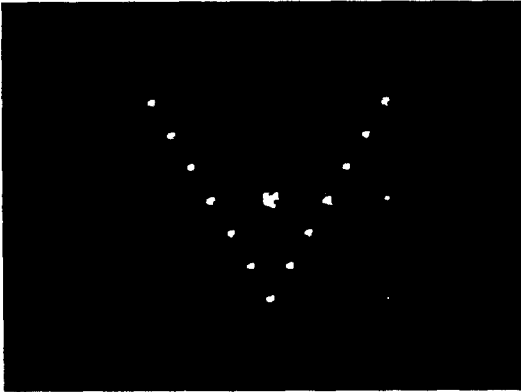
Fig. 8. Experimental results of optical interconnection for  $5 \times 5$  array.

(a) Binary-level phase grating (b) Four-level phase grating (c) Eight-level phase grating (d) Intensity profile of the fourth line in (c)

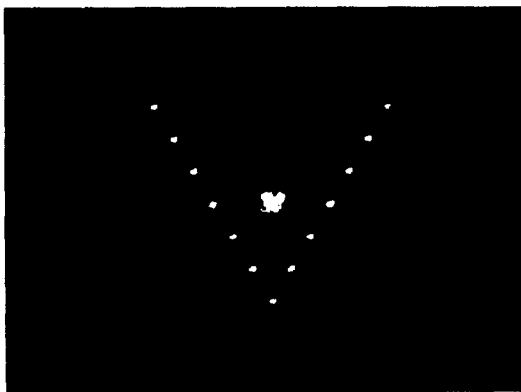
그림 3의 격자를 LCTV에 전송하여 나타난  $5 \times 5$  어레이의 광연결 실험결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8(a)는 2위상 격자에 의해 발생된 패턴으로 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 마찬가지로 원하는 패턴 이외에도 그



것의 역상이 발생하였고, 각 스폿들이 8(b), 8(c)에 비해 크기가 작고 균일하지 못하였다. 4위상 격자에 의해 발생된 패턴인 그림 8(b)는 각 스폿들이 크고 균일하기는 하지만 역상의 잔상이 약하게 남아 있는 것을 볼 수 있다. 그림 8(c)는 8위상 격자에 의해 발생된 패턴으로 역상이 완전히 제거되었고, 가장 우수한 광연결 능력을 나타내었다. 그리고 LCTV에서 회절되지 못한 빛이 중앙부에 모여 밝게 나타나 있는데 이것은 DC 향으로써 회절효율을 감소시키는 원인이 된다. 그러나 DC 향을 완전히 제거할 수는 없기 때문에 편광기(polarizer)나 빔 감쇄기(beam attenuator) 등을 사용하여 적당한 광량으로 세기를 조절하였다.



(a)



(b)

그림 9. 문자 V의 광연결 실험 결과(a) 4위상 격자에 의한 패턴 (b) 8위상 격자에 의한 패턴  
Fig. 9. Experimental results of optical interconnection for letter V (a) Pattern by four-level phase grating (b) Pattern by eight level phase grating.

문자 V의 광연결 실험결과를 그림 9에 나타내었다. 그림 9(a)는 4위상 격자에 의해 발생된 패턴으로 13개의 스폿들이 V 모양으로 모두 나타났으나 주변에 원하지 않는 스폿들이 나타남을 볼 수 있다. 그러나 8위상 격자에 의해 발생된 패턴인 9(b)는 원하지 않는 스폿들이 나타나지 않고, 각 스폿들의 세기가 균일함을 확인할 수 있다.

## V. 결 론

광연결 시스템에서 입력되는 광신호를 분리하고 천이시키기 위한 소자로 광의 회절특성을 이용한 위상 격자를 사용하였다. 지금까지 많이 사용되어 온 2위상 격자는 0 차(DC 향), 1 차 빔뿐만 아니라 광연결에 사용되지 않는 -1 차 빔(역상)을 발생시킴으로 회절효율이 1/2로 줄고, 스폿의 세기가 균일하지 못함을 5×5 어레이의 광연결 실험을 통하여 확인하였다. 그러나 본 논문에서 제안한 다위상(4위상, 8위상) 격자는 2위상 격자에서 발생하는 역상의 제거가 가능하기 때문에 높은 회절효율을 얻을 수 있었고, 5×5 어레이나 문자 V 등의 여러가지 회절패턴을 자유롭게 발생시킬 수 있었다. LCTV를 이용한 실시간 광연결 실험결과는 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 정성적으로 거의 일치하였으며 앞으로 정량적분석을 위해서는 실시간처리는 불가능하지만 격자의 효율과 특성을 살릴 수 있는 마스크를 제작하여 석판화 기법으로 제작할 수 있다. 본 논문에서 구현한 높은 회절효율과 균일한 빔 세기를 갖는 다위상 격자는 자유공간 광연결 뿐만 아니라 광연결을 이용한 광스위칭 시스템, 광컴퓨팅 시스템, 광패턴인식 시스템 등 여러 분야에 응용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] H. Dammann and K. Görtler, "High-efficiency in-line multiple imaging by means of multiple phase holograms", *Opt. Commun.*, Vol. 3, pp. 312-315, 1971.
- [2] R. L. Morrison and S. L. Walker, "Progress in diffractive phase gratings used for spot array generation", *Opt. Comp.*, Vol. 6, pp. 144-147, 1991.
- [3] J. N. Mait, "Design of binary-phase and

- multiphase Fourier gratings for array generation", *Opt. Soc. Am.*, Vol. 7, No. 8, pp. 1514-1528, 1990.
- [4] 이득주, 윤병호, 김 남, 권원현, "공간 광변조기를 이용한 임의의 빔 패턴 발생장치 구현", *전자공학회 추계종합학술대회 논문집*, 제 17권, 제 2호, pp. 17-21, 1994
- [5] J. N. Mait, "Designs for two-dimensional nonseparable array generators", *SPIE*, Vol. 1555, pp. 43-52, 1991.
- [6] J. Turunen, A. Vasara and J. Westerholm, "Kinoform phase relief synthesis : a stochastic method", *Opt. Eng.*, Vol. 28, No. 11, pp. 1162-1167, 1989.
- [7] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, Jr. and M. P. Vecchi, "Optimization by simulated annealing", *Science*, 220, p. 671, 1983.
- [8] M. S. Kim, M. R. Feldman, and C. C. Guest, "Optimum encoding of binary phase-only filters with a simulated annealing algorithm", *Opt. Lett.*, Vol. 14, No. 11, pp. 545-547, 1989.
- [9] 박성균, 정창규, 전석희, 박한규, "Simulated Annealing 알고리즘을 적용한 이진공간부호필터 특성", *전자공학회논문지*, 제 31권, A편 제 9호, pp. 64-71, 1994
- [10] 김대수, "신경망 이론과 응용(I)", *하이테크정보*, pp. 211-227, 1992
- [11] L. G. Neto and Y. Sheng, "Optical real-time kinoform using liquid crystal television and iterative design", *SPIE*, Vol. 2237, pp. 190-195, 1994.
- [12] 권원현, 김남, 반재경, 박한규, "공간 광 변조기용 LCTV의 성능측정 및 개선", *한국통신학회 논문지*, 제 14권, pp. 405, 1989
- [13] S. Geman and D. Geman, "Stochastic relaxation, Gibbs distribution and the Bayesian restoration of images", *IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intell.*, Vol. 6, pp. 712-741, 1984.
- [14] J. C. Kirsch, D. A. Gregory, M. W. Thie and B. K. Jones, "Modulation characteristics of the Epson liquid crystal television.", *Opt. Eng.*, Vol. 31, No. 5, pp. 963-970, 1992.

저 자 소 개



李 演 璇(準會員)

1970년 12월 24일생. 1993년 2월 충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학사). 1996년 2월 충북대학교 대학원 정보통신공학과(공학석사). 1996년 1월 ~

현재 현대전자 통신연구실 재직중. 주관심분야는 Diffractive Optics, Optical Pattern Recognition, Optical Computing 등임



金 男(正會員)

1959년 3월 20일생. 1981년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1983년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1988년 8월 연세대학교 대학원 전

자공학과 졸업(공학박사). 1992년 8월 ~ 1993년 8월 미 Stanford대학 방문교수. 1989년 2월 ~ 현재 충북대학교 정보통신공학과 부교수. 주관심분야는 Diffractive Optics, Optical Pattern Recognition, Optical Interconnection, Holography Application 등임



朴 成 鈞(正會員)

1962년 1월 4일생. 1985년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1987년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1994년 2월 연세

대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1987년 3월 ~ 1989년 8월 삼성전자 정보통신연구소 연구원. 1994년 ~ 1994년 8월 전자통신(연) 박사후과정 연수. 1994년 9월 ~ 현재 공주대학교 정보통신공학과 전임강사. 주관심분야는 광신호처리, 광소자, Fiber-Optic Link, 전파전파 특성분석 등임



任 鍾 太(正會員)

1960년 10월 2일생. 1986년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1988년 2월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 1993년 2월 연세대학교 대학원 전

자공학과 졸업(공학박사). 1993년 3월 ~ 1993년 11월 연세대학교 전파통신 연구소 선임연구원. 1993년 11월 ~ 현재 한국이동통신(주) 중앙연구원 전파환경연구팀 팀장. 주관심분야는 광신호처리, 전파신호처리, 이동통신 전파전파 특성 분석 및 모델링 등임