

論文96-33A-7-28

# 홀로그램 어레이를 이용한 2단 자유공간 광연결 구현

## (Optical implementation of two-stage free-space interconnection network using hologram arrays)

池昌桓\*, 朴晋祥\*, 張珠錫\*, 鄭信一\*

(Chang-Hwan Ji, Jin-Sang Park, Ju-Seog Jang, and Shin Il Jeong)

### 요 약

본 논문에서는 홀로그램을 사용하여 nonblocking 광연결을 가지는 2단 자유공간 광교환시스템의 간단한 구조를 제안하고 실험하였다. 다단시스템은 단단시스템이 nonblocking을 구현하기 위해 필요한 연결수보다 더 적은 수로 nonblocking 연결을 구현할 수 있다. 홀로그램 요소 어레이를 연결법들의 경로를 바꾸어 주기 위해 사용하였다. 사진건판으로 제작된 홀로그램 요소의 회절효율을 증가시키기 위해 표백기법을 사용하여 진폭형 홀로그램을 위상형 홀로그램으로 바꾸어 주었다. 표백된 홀로그램 어레이와 LCTV SLM을 사용하여 광신호를 교환하여 줌으로써 제안된 시스템이 광교환 시스템으로 동작함을 보였다.

### Abstract

In this paper, a simple scheme of two-stage free-space photonic switching system for nonblocking optical interconnections has been investigated using holograms. The multistage system requires a smaller number of interconnections for a given number of input-output nonblocking ports than the single stage system does. Here hologram elements were used to change interconnection beam paths. In order to increase the diffraction efficiency of the hologram elements in photographic plates, a bleaching technique was used, which converts the amplitude hologram to the phase hologram. To show the feasibility of our optical interconnection system, it was implemented using the bleached hologram arrays and an LCTV spatial light modulator, and the system as a photonic switching system was demonstrated.

### I. 서 론

자유공간에서  $m \times n$  포트들과 출력  $m \times n$  포트들간의 완전 광연결은, 광통신망에 있어서, 예를 들어 광 CDMA (optical code division multiple access) 를 사용하는 경우, 정보의 분배 및 교환에<sup>[1]</sup>, 높은 밀집도의 광연결을 필요로 하는 광신경회로망 구현에<sup>[2]</sup>, 그리고 보드내에 있는 반도체 칩들간의 clock 동기

및 clock 신호 분배<sup>[3]</sup> 등에 이용하기 위하여 많이 연구되어 왔다. 이러한 두 단간의 광연결은 구조가 단순하지만 입출력 포트수가 증가하면 광연결수가 포트수의 제곱에 비례하여 증가하는 단점을 가지고 있다. 이 단점을 극복하기 위한 방법으로 다단연결방법이 제안되고 실험되고 있다<sup>[4, 5]</sup>. 다단의 경우 nonblocking 연결에 필요한 총 연결 수가 작을 뿐 아니라, 각 연결 요소의 fan-out 수를 줄일 수 있어서 구현이 용이하다. 그러나 단수가 커지면, 단을 거침에 따라 광의 세기가 점차 감소되거나 변질되므로, 광증폭기 등의 능동 광소자들이 필요하게 되고, 시스템 전체의 부피가 커지며, 또한 그 연결제어도 복잡해진다.

\* 正會員, 釜慶大學校 情報通信工學科

(Department of Telematics Engineering)

接受日字: 1996年2月2日, 수정완료일: 1996年6月21日

자유공간에서 의도하는 대로 광연결을 시켜주기 위해서는 입력빔의 진행방향을 적절히 바꾸어 줄 수 있어야 한다. 이를 위해 여러 형태의 렌즈<sup>[6]</sup>, 미세 프리즘 어레이<sup>[5]</sup>, 광섬유 어레이<sup>[7]</sup>, 광굴절매질<sup>[8]</sup>, 홀로그램<sup>[9]</sup> 등이 주로 사용되어 왔다. 여기서 홀로그램은 자유공간에서 고밀도의 상호연결이 매우 용이하지만 power 손실이 큰 편이다. 그러나 위상형 홀로그램을 사용하면 회절효율을 높일 수 있어서 power 손실을 줄일 수 있다.

본 논문에서는, 전체 연결 수를 줄이면서 시스템이 너무 복잡해지는 것을 피할 수 있는 nonblocking의 2 단 광연결 시스템을 제안하고 이를 홀로그램 연결요소 어레이를 사용하여 구현하였다. 우리의 2단 광연결 시스템은 주어진 구조에서 최소의 연결수를 갖는다. 홀로그램 연결요소는 입력포트의 빔을 원하는 방향으로 회절시켜주는 역할을 한다. 이 때의 광연결은 각각의 광경로를 외부에서 차단하거나 통과시킴으로써 제어 가능하다. 제안된 시스템에 광신호를 직접 입력하고, 공간 광변조기를 사용하여 개개의 연결경로를 제어함으로써 제작된 광연결시스템이 광교환에도 응용될 수 있음을 보였다.

## II. Nonblocking 광연결에 있어서 단수와 연결수

nonblocking 연결에서, 단수를 증가시키면 총 연결 수를 줄일 수 있음을 살펴 보자. 우선 그림 1(a)와 같은 입력  $m \times n$ 개와 출력  $m \times n$ 개의 포트를 갖는 단단 광연결 구조를 생각하자. 이것이 nonblocking이 되려면 총 연결수  $N$ 은

$$N = m^2 \times n^2 \tag{1}$$

이 되어야 한다<sup>[2]</sup>. 이는 하나의 입력포트에서 출력포트로의 fan-out 수가  $m \times n$ 임을 의미한다.

이를 2단으로 확장하는 방법은 여러 가지가 있을 수 있다. 그중의 간단한 예로 입력포트, 중간포트, 그리고 출력 포트수가 모두  $m \times n$ 인 그림 1(b)의 경우를 생각하자. 이때, nonblocking이면서 최소의 연결수를 갖는 시스템은 다음과 같이 설계할 수 있다. 즉, 각각의 포트들을  $k \times l$ 개의 모듈로 각각 나누고, 첫단 (입력 포트와 중간포트사이)에는 각각의 모듈내에서 완전 광연결이 이루어지도록 하고, 둘째단 (중간포트와 출력포

트 사이)에서는 임의의 모듈간에 연결을 이루어, 전체 입출력 포트들 간에 nonblocking이 되도록 하는 것이다. 결국, 한 모듈내에  $\frac{m}{k} \times \frac{n}{l}$ 개의 포트가 있으므로, 첫단에서의 총 연결수는  $\frac{m^2 n^2}{kl}$ 이 된다. 둘째단에서, 중간포트의 한 좌표 ( $\frac{mm'}{k} + p, \frac{nn'}{l} + q$ ) 에서 다음의 출력포트 좌표들로 연결이 이루어지면 nonblocking 연결이 얻어진다.

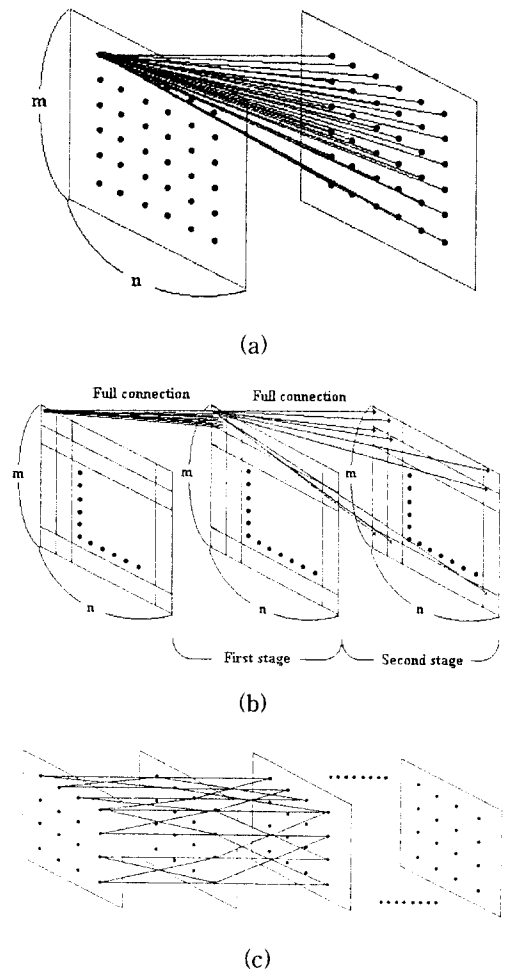


그림 1. 단단의 nonblocking 광연결 구조. (a) 1단 연결 (b) 2단 연결 (c) 다단 Banyan 연결

Fig. 1. Nonblocking optical interconnection structure between stages. (a) Single-stsge interconnection (b) Two-stsge interconnection (c) Multi-stage Banyan interconnection

$$\begin{pmatrix} ( \frac{m-0}{k} + p, \frac{n-0}{l} + q ) & ( \frac{m-0}{k} + p, \frac{n-1}{l} + q ) & \dots & ( \frac{m-0}{k} + p, \frac{n-(l-1)}{l} + q ) \\ ( \frac{m-1}{k} + p, \frac{n-0}{l} + q ) & ( \frac{m-1}{k} + p, \frac{n-1}{l} + q ) & \dots & ( \frac{m-1}{k} + p, \frac{n-(l-1)}{l} + q ) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ ( \frac{m-(k-1)}{k} + p, \frac{n-0}{l} + q ) & ( \frac{m-(k-1)}{k} + p, \frac{n-1}{l} + q ) & \dots & ( \frac{m-(k-1)}{k} + p, \frac{n-(l-1)}{l} + q ) \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서,  $p = 1, \dots, \frac{m}{k}$ ,  $q = 1, \dots, \frac{n}{l}$ ,  $m' = 0, \dots, (k-1)$ , 그리고  $n' = 0, \dots, (l-1)$  이다. 따라서 2단 연결시 필요한 전체 연결수  $N$ 은

$$N(k, l) = \frac{m^2 n^2}{kl} + klmn \quad (3)$$

이고, 식 (3)의 최소값은,  $kl = \sqrt{mn}$  일때,

$$N = 2mn\sqrt{mn} \quad (4)$$

이다. 이렇게 설계된 그림 1(b)의 2단 광연결 구조가 우리가 제안하는 광연결 시스템이다. 여기서는 하나의 포트가 가져야하는 fan-out수는  $\frac{m}{k} \times \frac{n}{l}$  이다.

사실, 단수를 더욱 늘려서 다단으로 하면 총 연결수를 더욱 줄일 수 있다. 한 예로 각 단에서의 포트수가  $m \times n$ 으로 일정한 다단 Banyan network의 경우에 대해 생각해 보자. 우리는 3차원 공간에서의 광연결을 생각하므로, 2차원 평면에서의 Banyan network<sup>[10]</sup>을 3차원 Banyan network으로 확장하기로 한다. 이 경우,  $\max(m, n)$ 을  $m$ 과  $n$  중에서 큰 수라 할 때, 단수  $S$ 는  $\log_2 \max(m, n)$  이 된다. 단  $m$ 과  $n$ 은 2의 자연수제곱으로 표현되는 수이다. 이때 전체 연결수는

$$N = 2mn(\log_2 m + \log_2 n) \quad (5)$$

가 된다. 그러나 단수가 증가하면 빔의 손실이 커지고 잡음이 증가하며 시스템 구현과 연결제어가 복잡해지는 단점이 있다. 만약  $\max(m, n) = 4$ 이면 단수  $S = 2$ 가 되고, 그림 1(c)는 그림 1(b)와 등가적인 연결시스템이 된다.

### III. Nonblocking 2단 광연결을 위한 홀로그램 어레이 제작

본 실험에서는  $m \times n = 4 \times 2$ 인 2단 광연결에 대해 실험하였다. 이것의 단면도를 그림 2에 나타내었고, 실제 총 연결수는 48개 이다. 사용한 홀로그램 필름건판은 Agfa Holotest 8E75HD이었다.

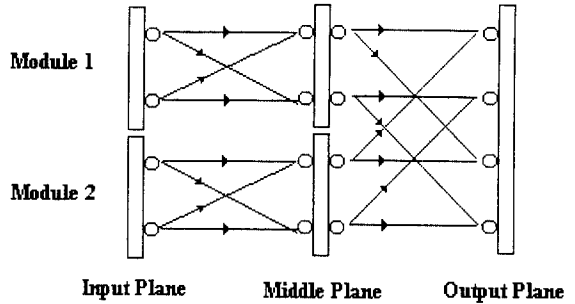


그림 2. 실험에서 구현된 2단 nonblocking 광연결 시스템 구조

Fig. 2. Structure of two-stage nonblocking optical interconnection system implemented in the experiment.

그림 2에서 한 포트에서  $j$  개의 다른 포트로의 연결을 시켜 주기 위한 방법으로 다음 두가지를 생각해 볼 수 있다. 하나는  $j$ 개의 fan-out을 갖는 한 개의 홀로그램 요소를 각 포트마다 제작하는 것이다. 이 경우  $j$ 개의 fan-out을 갖는 홀로그램 요소를 포트수만큼 (즉,  $m \times n$ 회) 기록해 주어야 한다. 다른 방법은 하나의 fan-out만을 갖는 부홀로그램 (subhologram)요소를 각 포트마다  $j$  개 만들어 주는 것이다. 이 경우에는 전체  $m \times n$  개의 포트마다 하나씩의 부홀로그램 요소를 (즉,  $m \times n$  개의 부홀로그램 연결요소를) 한꺼번에 기록할 수 있으므로,  $j$  번의 홀로그램 기록이 필요하다. 앞절에서 2단 광연결일 경우, 일반적으로 fan-out 수  $j$ 가 포트 수  $m \times n$  보다 작으므로 후자의 방법이 기록횟수 면에서 유리하다. 우리는 후자의 방법으로 홀로그램 어레이를 제작하였다. 그림 2의 단면도에서는 편의상 1개의 포트에서 2개의 fan-out 빔이 발생하는 것처럼 그렸는데, 실제로는 단면으로 두 개의 부홀로그램이 있어서 부홀로그램마다 하나씩의 fan-out이 발생한다. 이러한 부홀로그램 요소는 연결 기능에 따라 두가지 종류로 구분할 수 있다. 같은 좌표의 포트간 연결을 위한 요소를 bypass 부홀로그램 요소라 하고, 서로 다른 좌표의 포트간 연결을 위한 요소를 exchange 부홀로그램 요소라 부르기로 한다.

#### 1. 첫째단의 홀로그램 어레이 제작

그림 2에서 보는 바와 같이 첫단의 홀로그램 연결요소 어레이는 둘째단의 홀로그램 연결요소 어레이에 대하여 기준빔의 역할을 해야 한다. 이와 같은 기능을 부

여하기 위한 부홀로그램 요소 제작방법은 그림 3과 같다. 첫째단에서의 부홀로그램 요소를 제작하기 위해서는 그림 3처럼 물체빔과 기준빔으로 평면파를 사용하였다. 여기서 bypass 부홀로그램 요소의 기록은 그림 3(a)처럼 물체빔을 홀로그램 건판에 수직으로 입사 시키고, exchange 부홀로그램 요소의 기록은 그림 3(b) 및 (c)와 같이 건판에 일정한 각도  $\theta$  로 물체빔을 입사시켜 기록한다. 이들을 기록시 기준빔과 위상공액인 빔으로 읽어 주면 원하는 경로의 빔을 얻을 수 있다.

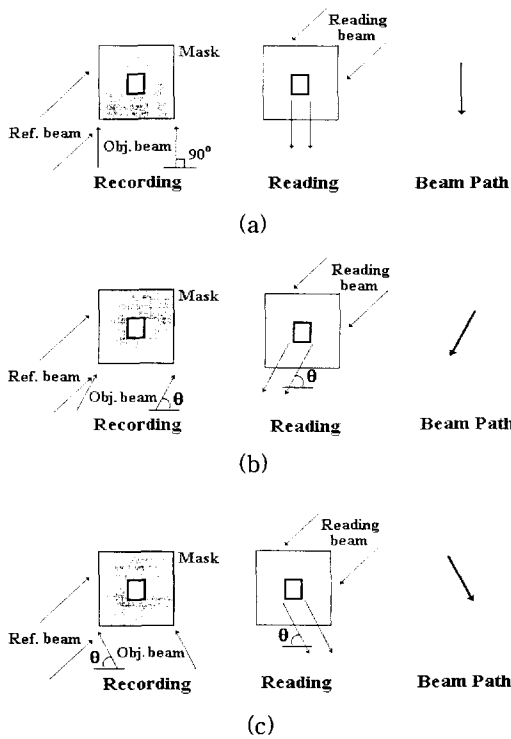


그림 3. 첫째단의 홀로그램 연결요소에 연결기능 부여 방법

Fig. 3. Endowment method of interconnection function for the first stage hologram interconnection elements.

이들 홀로그램 연결요소 어레이를 제작하기 위한 실험장치는 그림 4와 같다. 입력 각 포트에 필요한 부홀로그램 요소를 만들기 위해서는, 홀로그램 건판을 차례로 이동하면서 그림 3의 방법으로 기록하여야 한다. 부요소의 크기는  $4\text{mm} \times 5\text{mm}$ 였고  $\theta$ 는  $88^\circ$ 로 하였다. 입력포트면에서 인접한 포트간의 거리를  $h$ 라 하면, 입력 포트와 중간포트와의 간격  $d = h \tan \theta$ 은  $28\text{cm}$ 이었다. 이와 같은 방법으로 첫단의 홀로그램을 기록하고 회절효율을 높이기 위해 포백처리<sup>[11], [12]</sup>을 하였다.

이 홀로그램을 읽을 때의 빔패턴은 그림 5와 같다. 제작된 홀로그램 부요소의 출력 패턴이 어느 정도로 균일한가를 보기 위해서, 각 부요소의 출력빔들이 겹치기 전 위치 (즉, 그림 2에서 입력단과 중간단사이 거리의 약 3/4 지점)에서 찍은 사진이다. 따라서  $4 \times 2$ 가 아니라  $8 \times 2$ 처럼 보인다. 출력 패턴으로 부요소들의 유효 회절효율  $\eta$  (=1차 회절빔/투과빔)는  $55 \pm 5\%$ 이었다.

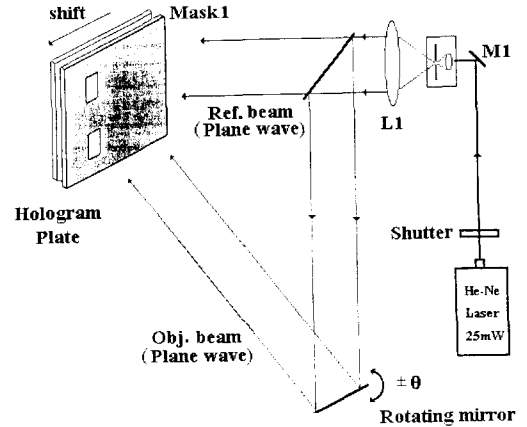


그림 4. 첫째단의 홀로그램 연결요소 기록 장치  
Fig. 4. Optical setup for recording the first stage hologram interconnection elements.

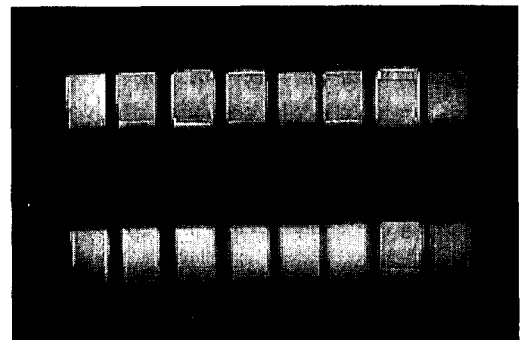


그림 5. 첫째단의 홀로그램 연결요소 광출력 패턴. 각 부요소의 출력빔들이 겹치기 전 위치 (즉, 그림 2에서 입력단과 중간단사이 거리의 약 3/4 지점)에서 찍은 사진이다.

Fig. 5. The output beam pattern of the first stage hologram interconnection elements. The picture of pattern was taken before the beam overlap position (i.e., at about 3/4 distance between the input and middle plane of Fig. 2).

2. 둘째단의 홀로그램 어레이 제작

중간포트에 사용되는 홀로그램 연결요소들을 제작할 때에는, 그림 6과 같이 입력포트의 부홀로그램요소의 1차 회절빔을 기준빔으로 사용하고, 구면파를 물체빔으로 사용하였다. 구면파를 사용한 이유는 출력포트에서의 출력빔이 집중되도록 하기 위해서이다. 여기서 한가지 주의할 점은 실제로 홀로그램 요소를 읽을 때에는 기록시 기준빔의 공액빔을 사용한다는 것이다. 따라서 exchange 부홀로그램의 경우 그림 6(a)에서처럼 기록하면, 그림 6(b)와 같이 출력빔이 원하는 곳에 나타나지 않는다. 그래서 그림 6(c)처럼 exchange 부홀로그램 요소 A, B를 기록할 때에는, 그림 6(a)에서 서로 반대방향의 exchange 빔으로 기록하여 주면 그림 6(d)와 같이 원하는 출력을 얻을 수 있다. 둘째단 홀로그램 연결요소의 기록장치를 그림 7에 나타내었다. 중간포트 부요소의 크기는 1.5mm × 2 mm이었다. 이 들도 표백처리를 하였으며 회절효율은 약 30 % 정도

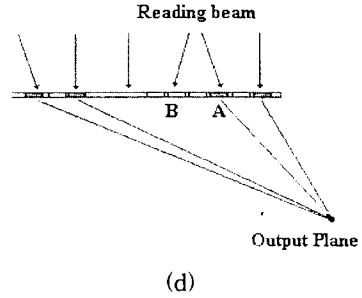


그림 6. 둘째단의 홀로그램 연결요소에 연결기능 부여방법  
Fig. 6. Endowment method of interconnection function for the second stage hologram interconnection elements.

이었다. 전체 연결단의 최종 출력 빔 패턴을 그림 8에 나타내었다.

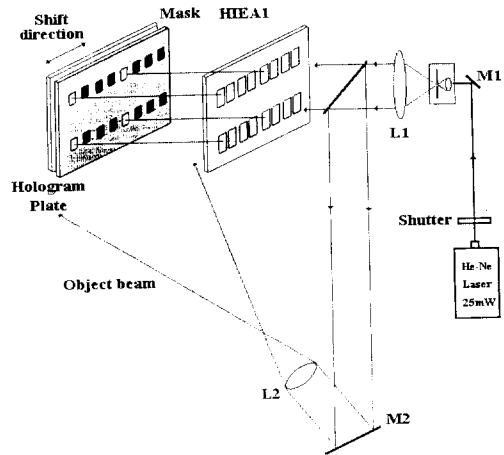
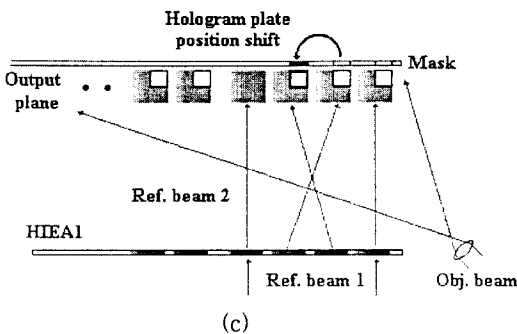
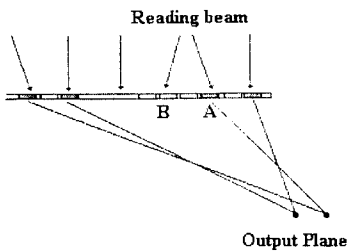
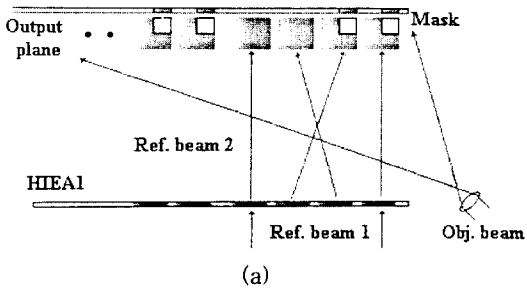


그림 7. 둘째단 홀로그램 연결요소의 기록 장치  
Fig. 7. Optical setup for recording the second stage hologram interconnection elements.

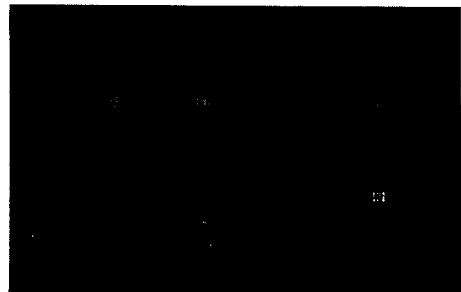


그림 8. 둘째단의 홀로그램 연결요소 출력사진  
Fig. 8. The output photograph of the second stage hologram interconnection elements.

IV. 공간광변조기를 이용한 연결제어 실험

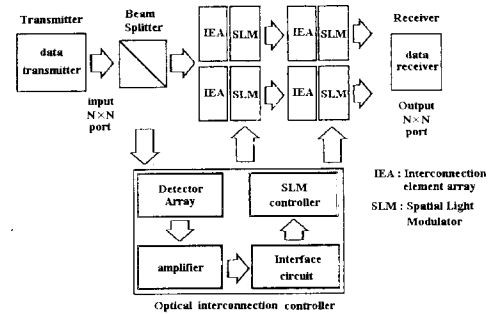
1. 연결제어 시스템 구조

우리의 광연결 구도는 개개의 연결경로를 외부에서 제어할 수 있다는 장점을 갖는다. 따라서 광 CDMA에서처럼 단순히 정보를 분산시켜 전송하는 것 외에, 공간광변조기를 이용하여 광연결을 직접 제어함으로써 광교환을 구현할 수 있다. 그림 9(a)는 이 2단 광연결 제어시스템의 구성도이다. 입력 포트에 들어오는 광신호는 자신의 목적지 주소와 전달하고자 하는 데이터를 가지고 있다. 입력 광신호는 광분할기에 의해 제어빔과 전송빔으로 분할된다. 제어빔으로부터 각 데이터 패킷의 목적지 주소가 분리되어 공간 광변조기의 회소를 제어한다. 이들 회소는 광연결 경로를 on-off 시킴으로써 올바른 광연결 경로를 만들어 준다. 전송빔으로부터 분리된 데이터가 각각의 목적지 포트에 전달된다. 제어빔 경로는 전송빔에 비해 더 긴 시간지연이 생기므로, 광신호를 구성하는 목적지 주소와 데이터 사이에는 적절한 지연시간이 필요하다.

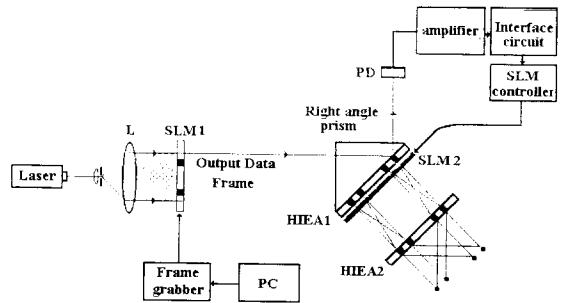
2. 연결제어 실험

그림 9(b)의 실험장치를 구성하고, 2단 광연결시스템에 대한 광연결 제어실험을 수행하였다. 실제 실험에서는 광분할기 대신에 직각프리즘을 사용하여 0차 회절빔의 경로를 변환시켰고, 이 0차 회절빔을 제어빔으로 사용하였다<sup>131</sup>. 이는 광 이용효율을 증가시킨다. 일반적으로 2단으로 구성된 시스템에서는, 각 단마다 홀로그래프 연결 부요소들을 개별 제어하기 위해, 두 개의 공간광변조기가 필요하게 된다. 그러나 본 논문에서는, 각 포트마다 하나의 fan-out을 갖는 부홀로그래프 요소를 원하는 출력 개수만큼 독립적으로 만들어 주었으므로, 그림 9(b)와 같이 공간광변조기 하나를 첫단계만 사용하여 전체 연결제어를 수행할 수 있었다. 물론 제어해야 할 전체 연결수가 하나의 공간광변조기 회소의 개수보다 많다면, 각단마다 공간광변조기를 하나씩 사용하여 전체 연결을 제어하여야 할 것이다.

임의의 목적지로 광신호를 전달하는 실험결과와 몇 가지 예를 그림 10에 나타내었다. 입력은 그림 9(b)에서 PC로 구동되는 SLM1을 이용하는 대신에, 특정 포트에 대응하는 하나의 aperture를 갖는 mask를 사용하였다. SLM2를 적절히 변조함으로써 임의의 연결경로를 모두 얻을 수 있음을 볼 수 있다. 출력결과 중 그림 10(h)는 모든 출력 포트에 광연결이 이루어진 경우



(a)



(b)

그림 9. 자유공간 2단 광연결 시스템 (a) 연결제어 시스템 구성도, (b) 연결제어 실험도

Fig. 9. A schematic diagram of the two-stage free-space interconnection system. (a) A schematic diagram of interconnection control. (b) An experimental setup of interconnection control.

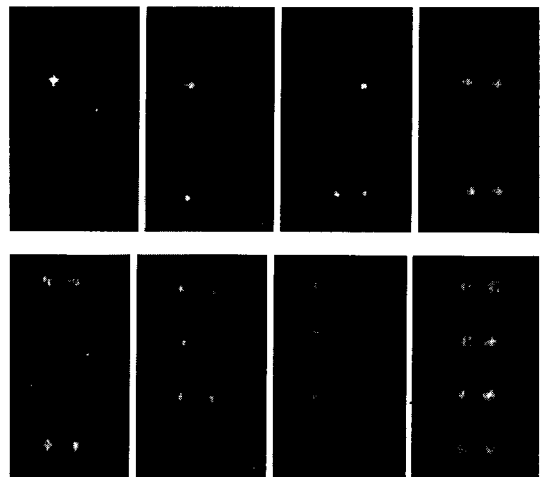


그림 10. 2단 광연결 제어 실험결과 (출력사진은 편의상 90도 회전시켰음)  
Fig. 10. Experimental results on the two-stage optical interconnection control.

의 출력패턴이고 그림 10(a), (b), (c), (d), (f)의 출력 결과는 1, 2, 3, 4, 5 개의 광연결이 이루어진 경우의 출력패턴이다. 최종 출력면에서의 측정된, 출력의 중합적인 회절효율 분포는 최고 20%, 최저 7% 였으며, 평균적으로 12% 였다. 출력 패턴들이 균일하지 못한 것은 홀로그램 연결요소 어레이의 기록시 오차와 다단 연결 정렬시의 발생한 오차에 의하여 생긴 결과이다. 실제로 홀로그램어레이들을 기계적으로 제작한다면, 이와 같은 오차를 현저히 줄여줄 수가 있을 것이다.

## V. 토의 및 결론

본 논문에서 제작된 광연결 시스템은 높은 밀도로 광연결을 구현할 수 있는데 반해<sup>[13]</sup> 광손실이 큰 편이다. 따라서 광폴리머 (photopolymer)와 같은 회절효율이 높은 위상 홀로그램 매질을 사용하면 이를 어느 정도 개선 할 수 있을 것이다. 특히, 이 매질을 사용하면 wet processing이 없어서 연결요소를 제작하는 것이 매우 간편해진다<sup>[14]</sup>.

우리의 시스템에서는, 홀로그램요소로 모든 종류의 빔의 경로를 만들고, 공간 광변조기 화소로 이들 경로를 적절하게 스위칭 시킨다. 한편, 공간 광변조기 화소의 위상 지연을 제어하여 직접 CGH (computer generated hologram)를 만들어 주면 효율이 높은 동적 광연결을 만들어 주는 것이 가능하다<sup>[15-17]</sup>. 이 방법은 광 손실이 적은 반면에, 공간 광변조기의 단위 면적당 화소수가 상용화된 홀로그램 기록매질의 분해능 (resolution)보다 낮아, 높은 밀집도의 광연결을 구현하는 것이 어렵다. 또, 각각의 연결패턴에 대한 CGH 패턴을 기억해 두어야 하므로, 다양한 연결을 구현하기 위해서는 비교적 큰 메모리가 필요하고, 따라서 고속의 광스위칭이 어려운 단점이 있다.

결론적으로, 본 논문에서는 홀로그램을 이용하여 완전 연결구도를 가지는 2단 광연결 제어시스템을 제안하고 구현하였으며, 광신호 데이터의 모의 전송실험을 수행하여 제안된 2단 광연결 제어시스템이 실제 교환 시스템으로 동작함을 실험적으로 입증하였다. 앞으로의 연구는 우리의 홀로그램 연결시스템을 이용하여 전 광 CDMA 시스템을 구현하고 광정보를 병렬적으로 전송하는 실험에 집중될 예정이다.

## 감사의 글

※ 본 연구는 과학재단 연구비지원에 의해 수행되었으며 지원해준 관계기관에 감사드린다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. A. Salehi, "Code division multi-access techniques in optical fiber network - Part I: Fundamental principles," *IEEE Trans. Commun.* Vol. 37, No. 8, pp. 824-833, 1989.
- [2] J. S. Jang, S. G. Shin, S. W. Yuk, S. Y. Shin, and S. Y. Lee, "Dynamic optical interconnections using holographic lenslet arrays for adaptive neural networks," *Opt. Eng.* Vol. 32, No. 1, pp. 80-87, 1993.
- [3] See *Opt. Eng.* Vol. 25, Special Issue on Optical Interconnections, pp. 1075-1141, 1986.
- [4] F. B. McCormick et al., "Six-stage digital free-space optical switching network using symmetric self-electro-optic-effect devices," *Appl. Opt.*, Vol. 32, No. 26, pp. 5153-5171, 1993.
- [5] D. C. Butzer, B. D. Clymer, and B. L. Anderson, "Highly efficient interconnection for use with a multistage optical switching network with orthogonally polarized data and address information," *Appl. Opt.*, Vol. 34, No. 11, pp. 1788-1800, 1995.
- [6] J. W. Goodman, "Optics as an interconnect technology," in H. H. Arsenault, ed., *Optical processing and Computing*, pp. 1-32, 1993.
- [7] J. M. Sasian, R. A. Novotny, M. G. Beckman, S. L. Walker, M. J. Wojcik, and S. J. Hinterlong, "Fabrication of fiber bundle arrays for free-space photonic switching systems," *Opt. Eng.*, Vol. 33, pp. 2979-2985, 1994.
- [8] P. Yeh, E. T. Chiou, and J. Hong, "Optical interconnection using photorefractive dynamic holograms," *Appl. Opt.*, Vol. 27, pp. 2093-2096, 1988.

- [9] K. Y. Hsu, H. Y. Li, and D. Psaltis, "Holographic implementation of a fully connected neural network," *Proc. of the IEEE*, Vol. 78, No. 10, pp. 1637-1645, 1990.
- [10] C. Tocci and H. J. Caulfield (eds.), *Optical Interconnection, Foundations and Applications*, Artech House, Inc., MA, 1994.
- [11] P. Harihran, *Optical Holography*, Cambridge University Press, New York, 1985.
- [12] 김남, 길상근, 박한규, "은염에 형성된 위상형 회절격자의 고효율에 관한 연구," 대한전자공학회 논문지, 제26권 제3호, pp. 145-152, 1989
- [13] 장주석, 박진상, 지창환, 정신일, "자유공간분할 광교환을 위한 홀로그래프 광연결 방법," 대한 전자공학회 논문지, Vol. 32, No. 5, pp. 60-70, 1995
- [14] K. Curtis and D. Psaltis, "Recording of multiple holograms in photopolymer films," *Appl. Opt.*, Vol. 31, No. 35, pp. 7425-7428, 1992.
- [15] N. McArdle, J. F. Snowdon, and M. R. Taghizadeh, "Parallel processing architectures with dynamic optical interconnections using spatial light modulators," *Inst. Phys. Conf. Ser.*, No 139 : Part II, pp. 203-206, 1995.
- [16] J. Gourlay, S. Hedlle, A. O'Hara, S. Samus, and D. G. Vass, "Optical interconnect using pixellated spatial light modulators," *Inst. Phys. Conf. Ser.*, No 139 : Part II, pp. 207-210, 1995.
- [17] 이득주, 김남, 엄주욱, 최상삼, "LC-SLM을 이용한 실시간 광경로 설정 및 분리," 광자학술대회, pp. 47-48, 1995

---

 저 자 소 개
 

---

## 池 昌 桓(準會員)

1969년 5월 26일생. 1994년 2월 부산수산대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1996년 2월 부산수산대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 1996년 2월 ~ 현재, 현대전자 통신연구소 연구원. 주 관심분야는 광정보처리, 광교환기, 광 CATV 등임.

## 張 珠 錫(正會員) 제 33 권 B편 1호 참고

현재 부경대학교 정보통신공학과 조교수.

## 朴 晉 祥(準會員)

1970년 7월 15일생. 1994년 2월 부산수산대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1996년 2월 부산수산대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 1996년 2월~현재, 포항공대 입자가속기 연구소 연구원. 주 관심분야는 광컴퓨팅, 광정보처리, 광교환기 등임.

## 鄭 信 一(正會員)

1950년 11월 29일생. 1974년 2월 경북대학교 물리학과 졸업 (이학사). 1976년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 1988년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사). 1977년 3월 ~ 1977년 12월 한국과학기술 연구소 연구원. 1977년 12월 ~ 1981년 2월 한국전자통신연구소 전임연구원. 1979년 6월 ~ 1980년 6월 미국 GTE Laboratories 객원연구원. 1988년 9월 ~ 1989년 9월 미국 Carnegie-Mellon Univ. 객원교수. 1981년 3월 ~ 현재, 부경대학교 정보통신공학과 교수. 주 관심분야는 광정보처리, 광교환기, 광패턴인식 등임.