

## 광 컴퓨팅 방식과 발전 방향

潘 在 景\*, 朴 漢 奎\*\*

(正 會 員)

全北大學校 電氣工學科 專任講師,\*

延世大學校 電子工學科 教授(工博)\*\*

### I. 서 론

1960년대의 루비 레이저의 발전에 성공하면서부터 광기술의 연구는 급속히 진전되었다. 이러한 빛을 이용한 연구는 광범위하게 여러 방면에 적용되고 있고 특히 광통신은 오늘날 정보통신망의 형성에는 빠뜨릴 수 없는 핵심적 기술이라고 말할 수 있다. 또한 ISDN (integrated service digital network)에 요구되는 고속성, 다중화, 대용량을 만족시키기 위한 차세대 컴퓨터의 개발에 광기술을 이용한 연구가 세계적으로 활발히 연구되고 있다.

광 컴퓨팅(optical computing)은 순차적으로 데이터를 처리하는 기존 컴퓨터에 반해 빛을 利用하기 때문에 대용량의 정보를 고속으로 처리할 수 있고 또한 자기적 간섭현상이나 핵자기 맥동(nuclear electromagnetic pulses)의 영향을 배제할 수 있는 여러가지 잇점은 전자적으로 잘 해결하지 못했던 분야의 운용을 위한 특별한 목적 및 기존 컴퓨터가 안고 있는 근본적인 문제점을 극복할 수 있는 핵심적인 수단이 되고 있으나 이러한 system을 구현하기 위한 현재의 광 기술은 많은 문제점을 지니고 있다.

본 고에서는 이러한 광컴퓨터 실현을 위한 광논리 게이트, 연산장치, 광메모리, 음향-광 신호처리에 대하여 소개하고 이를 바탕으로 앞으로의 발전방향에 대하여 논하려 한다.

### II. 광논리 게이트

디지털 논리 게이트와 같은 동작을 수행하는 광학적 방법에는 여러 가지가 있는데 초기에는 SLM (spatial light modulator)을 사용해서 플립-플롭을 구성하거나 광쌍안정성소자의 조합을 이용했다. 이러한 광 플립-플롭과 논리게이트의 응용은 광디지털 컴퓨터를 가능하게 했으며 또 이 광프로세서는 실시간 병렬처리

(real time parallel processing)로 인한 고속정보처리를 할 수 있다.

현재 연구되고 있는 광논리 게이트는 다음과 같다.

- LCLV (liquid crystal light valve)를 이용한 광논리게이트
- Shadow-casting system을 이용한 광논리게이트
- 광스위치의 조합
- 광-전자의 하이브리드 형태

Shadow-casting 시스템의 중요한 특징은 첫째 광원으로는 LED를 사용하고 렌즈를 사용하지 않으므로 시스템이 매우 간편하며 가격등의 실용성이 매우 높다. 둘째로 비교적 많은 정보량을 갖는 2진 데이터배열에 대한 병렬처리능력과 종래의 방법에 비해 데이터를 인식하기 위한 스캐닝이 필요하지 않다. 또한 LED 배열에 대한 조합적인 개폐를 하나의 명령어라 할 때 데이터 처리면에서 단일명령-다수데이터(single instruction-multi-data; SIMD) 처리특성을 갖는다.

현재 컴퓨터의 논리시스템은 AND, OR 등의 논리시스템으로 구성되어 있다. 표 1에 두 2진 변수들에 대한 16개의 논리함수를 나타내었다. 그림 1은 이 시스템의 개념도이다.

광원은 일정한 간격으로 위치하며 인코히어런트 광원인 LED를 사용하면 입력 A, B는 공간적으로 코딩된 마스크이고 LED로부터 방사되는 광은 코딩된 입력 A, B를 비추고 투명체에 기록된 정보값에 따라 그림자가 생겨 스크린 상에 맺히고 스크린 위치에 디코딩 마스크를 두면 원하는 출력을 얻게 된다. 이들 그림자의 위치는 ON상태로 된 LED의 공간적 위치에 의해 좌우된다. 출력은 사진으로 촬영하거나 광검출기 어레이로 검출 혹은 후단의 처리시스템으로 보낸다. 여기서 입력 투명체는 공간적으로 코딩된 두 2진 입력을 겹친 것이다.

표 1. 두 2진 변수에 대한 16개 논리함수

函 數		函數名	
		1 (True Logic)	0 (False)
INPUT			
A	0011		
B	0101		
OUTPUT			
F <sub>0</sub>	0000	F	T
F <sub>1</sub>	0001	AND	OR
F <sub>2</sub>	0010	$A\bar{B}$	$A + \bar{B}$
F <sub>3</sub>	0011	A	A
F <sub>4</sub>	0100	$\bar{A}B$	$\bar{A} + B$
F <sub>5</sub>	0101	B	B
F <sub>6</sub>	0110	XOR	$\overline{XOR}$
F <sub>7</sub>	0111	OR	AND
F <sub>8</sub>	1000	NOR	NAND
F <sub>9</sub>	1001	$\overline{XOR}$	XOR
F <sub>10</sub>	1010	$\bar{B}$	$\bar{B}$
F <sub>11</sub>	1011	$A + \bar{B}$	$A\bar{B}$
F <sub>12</sub>	1100	A	A
F <sub>13</sub>	1101	$\bar{A} + B$	$\bar{A}B$
F <sub>14</sub>	1110	NAND	NOR
F <sub>15</sub>	1111	T	F

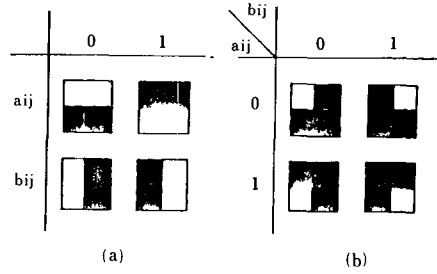


그림 2. 입력데이터의 코딩방법

그림 3 과 같은 XOR 게이트의 동작원리도를 이용하여 16개의 논리함수중 XOR(exclusive OR) 게이트에 대한 동작을 알아 본다.

XOR의 결과는 두 입력 A, B의 ij셀의 데이터가 서로 다른 경우는 출력이 밝아야 하고 서로 같은 두 경우는 출력이 어두워야 한다.

같은 방법으로 16개의 논리동작에 대한 LED의 스위칭 형태를 그림 4 에 나타내었다. 여기서 알 수 있듯이 몇개의 논리함수는 디코딩 마스크를 셀 크기의 1/2 만큼 수직 혹은 수평으로 이동시킴으로써 결과가 병렬로 얻어진다. 이는 ON 상태의 LED를 수평 혹은 수직으로 움직임으로써 가능함을 알 수 있다.

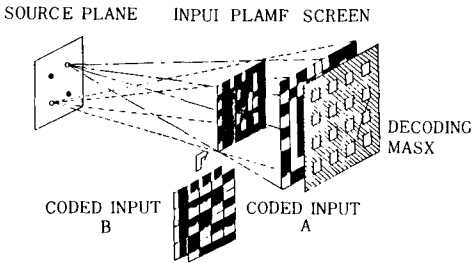


그림 1. Shadow-Casting 시스템 개념도

입력데이터의 코딩방법은 N×N개의 셀(cell)로 구성된 입력에 대하여 그림 2와 같은 코딩방법을 취한다. 코딩은 BTL(bright true logic) 즉 1이면 밝은 것을 0이면 어두운 것을 나타내는 것을 기본으로 한다. BTL을 기준으로 입력데이터 배열 A의 임의의 ij셀에 대하여 데이터 값이 그림 2 (a)의 왼쪽을, 1이면 그림에서 (b)의 오른쪽 방법으로 코딩한다. 입력 B에 대해서도 같은 방법으로 코딩하여 이 둘을 서로 겹치면 각 입력값에 따라 그림 2 (b)의 한 형태를 취하게 된다. 이와 같은 코딩 방법은 모든 셀에 대하여 적용된다.

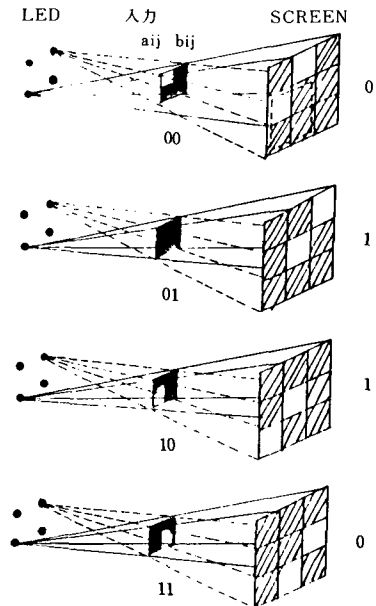


그림 3. XOR 게이트의 동작원리도

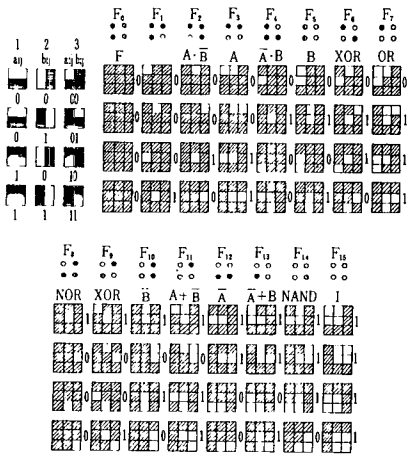


그림 4. 16개 논리 동작의 LED 스위칭 형태

III. 광-음향학적 연산처리

광-음향소자(acousto-optic device; AOD)는 신호의 건별루선, 상관, 스펙트럼 분석등에 사용되어 왔으나 최근 매트릭스-벡터 곱셈(matrix-vector multiplication; MVM)과 매트릭스-매트릭스 곱셈(matrix-matrix multiplication; MMM) 같은 수학적 연산에 사용된다.

AOD는 Bragg cell 내의 음파와 광파의 상호작용에 의하여 광의 강도를 변조시키는 변조기(modulator)와 편향기(deflector)로 동작이 가능하다. 여기에서는 변조와 편향의 성질을 이용하여 MVM과 MMM을 구성할 수 있는 형태에 대하여 살펴본다.

1. 단일변환 처리기의 구조

먼저 매트릭스-벡터 곱셈기(MVM)의 실현을 고려하여 한개의 AO 변환기를 이용한 구조를 살펴보자.

식(1)과 같은  $2 \times 2$ 의 형태를 다음과 같이 매트릭스 벡터 곱으로 나타낸다.

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

여기에서

$$y_1 = a_{11}x_1 + a_{12}x_2$$

$$y_2 = a_{21}x_1 + a_{22}x_2$$

(1)

그림 5에 광의 강도변조기에 근거한 구조를 나타내었다. 이 구조는 VLSI 구성을 위하여 제안된 시스토릭(systolic)어레이 구조에 근거한다. 이러한 매트릭스 벡터 곱셈기는 레이저 다이오드 어레이, 평행광 렌즈,

AO 셀, 광학시스템, 광량에 비례하여 전하를 축적하는 검출기 어레이로 구성된다.

Bragg 셀 구동기의 첫번째 입력 벡터 원소  $x_1$ 은 Bragg 셀을 따라  $x_1$ 에 비례하여 회절그레이팅을 발생시킨다. 그림 5의 (b)와 같이 매트릭스 원소  $a_{11}$ 에 비례하여 광의 강도를 발생하는 레이저 다이오드 광의 강도가 그레이팅 부분과 상호작용하여 시간적분검출기에  $a_{11}x_1$  곱에 비례하여 나타난다. 다음 단계로 그림 5의 (c)와 같이  $x_1$  그레이팅 부분은 LD # 2와 상호작용을 일으키며 벡터원소  $x_2$ 는 LD # 1과 상호작용 한다. LD # 1이  $a_{12}$ 에 비례하고 LD # 2가  $a_{21}$ 에 비례할 때 검출기 # 1에  $(a_{11}x_1 + a_{12}x_2)$ 에 비례하여 나타난다. 이 단계에서 검출기 # 2에는  $a_{21}x_1$ 이 나타나며 마지막 단계로 그림 5의 (d)와 같이 LD # 2에  $(a_{21}x_1 + a_{22}x_2)$ 가 나타나서 매트릭스-벡터 곱셈의 결과  $y_1, y_2$ 가 출력된다. 벡터차원을 증가시키는 것은 Bragg 셀의 time-bandwidth(TB)에 제한된다. 이와 같은 매트릭스-벡터 곱셈기를 이용하여 쉽게 매트릭스-매트릭스 곱셈기를 실현할 수 있다.

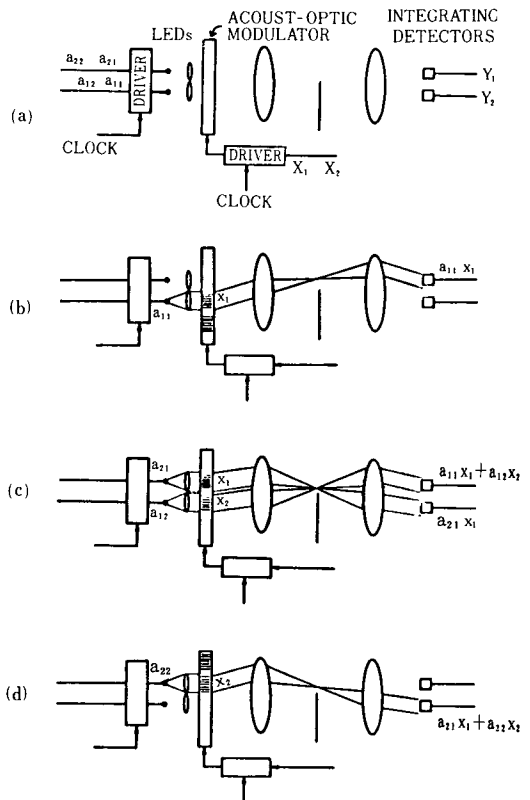


그림 5. 매트릭스-벡터 곱셈기의 시스토릭 구조

다른 형태의 매트릭스-벡터 곱셈기는 그림 6 과 같이 AO의 편향기 성질을 이용하여 구성할 수 있다. 출력 광검출기에 임의의 웨이팅을 가지면서 회절할 수 있도록 그레이팅이 형성될 때까지 레이저 다이오드는 off 상태에 있다. 구성된 그레이팅이 바른 위치에 있을 때 벡터원소  $x_1, x_2$ 가 발생한다. 예를들어  $y_1 = 3x_1 + 4x_2 + 2x_4$ 의 연산을 생각하면 빔 1은  $x_1$ 에 비례하여 광의 강도를 발생하고 회절효율 3k가 검출기 1에 회절되어 나타난다. 여기에서 k는 비례상수이다. 동시에  $x_2$ 에 비례하는 빔 2는 4k로 회절하여 나타나며 빔 4는 2k로 나타나면 결과적으로 검출기에 나타나는 신호  $y_1$ 은  $k(3x_1 + 4x_2 + 2x_4)$ 로 연산되며  $y_2, y_3$ 도 동시에 마찬가지로 연산한다.

이와 같은 매트릭스-벡터 연산방법은 그림 7 과 같이 매트릭스-메트릭스 곱셈기를 구성할 때 처리속도가 빨라진다. 왜냐하면 먼저 계산했던 매트릭스-벡터의 값을 다시 채우지 않아도 되기 때문이다.

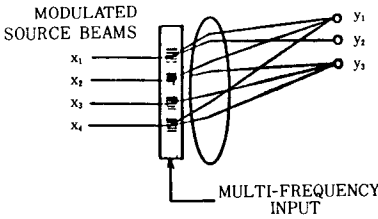


그림 6. AO의 편향기에 근거한 매트릭스-벡터 곱셈기의 구조

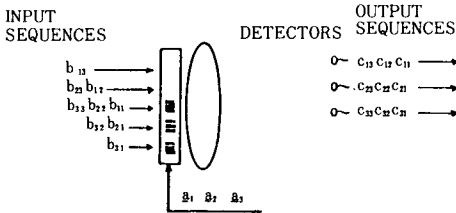


그림 7. AO 편향기에 근거한 매트릭스-메트릭스 곱셈기 구조

2. 다수변환 처리기의 구조

AO신호처리기술의 진보와 더불어 여러개의 AO를 이용한 연구가 이루어지고 있다. 고급 Bragg 셀은 100개의 변환기를 제작할 수 있으며 각각은 셀은 고립되어 있어서 각각 처리가 가능하며 현재의 기본적 제작기술로도 10~30개의 변환기를 제작할 수 있다.

그림 8에 다수변환 Bragg 셀을 이용한 매트릭스-메트릭스 곱셈기를 나타내었다.

그림 8의 시스템은 3개의 변환기로 이루어진 2개의 Bragg 셀과 3x3 검출기 어레이로 구성되었다. 광은 공간적으로 균일하게 비추어지며 시간적으로 ON-OFF한다. 광은 두 Bragg 셀에서 회절되어 검출기 어레이의 한개의 검출기에 도달한다. 매트릭스-메트릭스 곱셈의 동작을 보기 위하여 그림 8의 (b)와 같이 두개의 수직된 셀에 의해서 연속적으로 입력될 때  $a_{1j}$ 는 횡방향으로  $a_{11}, a_{12}, a_{21}$ 순으로 입력되며  $b_{1j}$ 는  $b_{11}, b_{21}, b_{12}$ 순으로 입력되어 앞에서 설명한 매트릭스-벡터 연산 과정을 거쳐  $k(a_{11}b_{11} + a_{12}b_{21} + a_{13}b_{31})$ 의 신호가 검출기에 출력되어 연산된다.

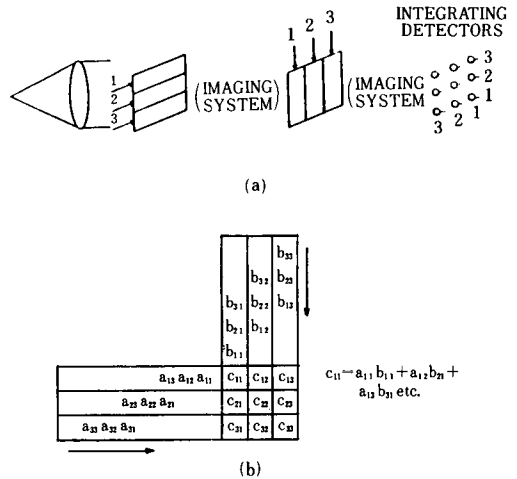


그림 8. 다수변환기를 이용한 매트릭스-메트릭스 곱셈기의 구조도

이상과 같이 간단히 매트릭스-벡터 곱셈과 매트릭스-메트릭스 곱셈에 대하여 살펴보았듯이 AO를 이용하여 구성할 수 있는데 문제점은 소자가 고가이며, 소자의 구성상 정밀한 배열이 요구된다는 것이다.

IV. 광 메모리

광 메모리는 광에 의한 write, read를 하는 메모리 시스템이라고 할 수 있다. 현재 연구되고 있는 광 메모리로 다음과 같은 것이 있다.

- 홀로그래피(holography)를 이용한 광디스크 메모리
- 광 스위칭소자를 이용한 플립-플롭
- 광학적 홀 버닝(photochemical hole burning)을

이용한 파장다중 광 메모리

이 밖에 Hopfield 모델을 기초로 한 연상 메모리 (associative memory) 등이 있다. 위의 메모리중 현재 실용화 되고 있는 광메모리는 광디스크 메모리로서 이미 오래전부터 다양한 방향으로 발전을 보이고 있다. 그러나 지금까지 실용화되고 있는 광디스크 시스템은 지웠다가 다시 쓸 수는 없으나 상변화형 혹은 광자기형의 고쳐 쓰는 것이 가능한, 광디스크 메모리의 연구 개발이 진행되고 있다.

V. 결 론

광컴퓨팅에 대한 연구는 기존의 컴퓨터 방식과 다른 적절한 알고리즘에 대한 연구와 이러한 알고리즘을 실현하기 위한 hardware적인 면에서 매우 다양한 연구가 이루어지고 있다. 이러한 다양한 연구주제들 중에서 본 고에서는 지면 관계상 국내에서 많이 소개된 부분을 제외하고 광컴퓨터 실현시 다양한 응용이 예상되는 광논리게이트와 AO를 이용한 MVM, MMM 연산에 대하여 다루었다.

이러한 광컴퓨팅 분야에 대한 연구는 외국에서는 광컴퓨터에 필요로 하는 재료, 소자, 컴퓨터구조, 알고리즘등에 대하여 엄청난 기술축적을 가지고 있으며 특히 광컴퓨팅을 연구하는 국가는 정부연구기관, 기업체 연구소, 대학과의 공동연구와 외국과의 공동연구로 상당한 기술축적을 하였으며 그 결과 광컴퓨팅에 필요한 여러가지 소자를 개발하였다.

광컴퓨터 개발에 있어서 아직 초기단계에 머물러 있는 우리나라는 주로 광생안정소자, 광플립-플롭, 연상메모리, 매트릭스-벡터 곱셈기, 매트릭스-메트릭스 곱셈기, AO 신호처리기술 등의 분야를 여러 대학 및 연구기관에서 연구하고 있다.

이러한 광컴퓨터를 효과적으로 개발하기 위해서는 정부연구기관, 기업체연구소, 대학과의 긴밀한 협조를 통하여 체계적인 연구가 요구된다.

參 考 文 獻

- [1] A.A. Sawchuk and T.C. Strand, "Digital optical computing," Proc. IEEE, vol. 72, no. 7, pp. 758-779, July 1984.
- [2] D.H. Schaefer and J.R. Fischer, "Beyond the supercomputer," IEEE Spec., pp. 32-37, Mar. 1982.
- [3] A. Wolfe, "Optical Computing Is Beginning to Take on the Glow of Reality," Electronics Week, pp. 24-27, June 10, 1985.
- [4] Y. Ichioka and J.Tanida, "Optical parallel logic gates using a shadow-casting system for optical digital computing," Proc. IEEE, vol. 72, no. 7, pp. 787-801, July 1984.
- [5] W.T. Rhodes and P.S. Guilfoyle, "Acousto-optic algebraic processing architectures," Proc. IEEE, vol. 72, no. 7, pp. 820-830, July 1984.
- [6] R. Arrathoon and S. Kozaitis, "Shadow casting for multiple-valued associative logic," Opt. Eng., vol. 25, no. 1, pp. 29-37, Jan. 1986.
- [7] D. Casasent, "Acoustooptic linear algebra processors: architectures, algorithms, and applicatoin," Proc. IEEE, vol. 72, no. 7, pp. 831-849, July 1984.
- [8] R.P. Bocker, "Matrix multiplication using incoherent optical Techniques," Appl. Opt. vol. 13, no. 7, pp. 1670-1676, July 1974.
- [9] A.R. Tanguay, "Materials requirements for optical processing and computing devices," Opt. Eng., vol. 24, no. 1, pp. 2-18, Jan./Feb. 1985. \*

한국과학기술단체 총연합회

제 10차 국내외 한국과학기술자 종합학술대회

일 시 : 1987년 7월 6일~7월 18일

장 소 : 인하대학교