

論 文

# LED配列을 이용한 인코히어런트光벡터 매트릭스 곱셈기 <IOVMM>에 관한 研究

正會員 崔 平 錫\* 正會員 朴 漢 奎\*\*

## A Study on the Incoherent Optical Vector-Matrix Multiplier (IOVMM) using a LED array

Pyung Suk CHOI and Han Kyu PARK, Regular Members

**要 約** 벡터-매트릭스 곱셈을 인코히어런트(incoherent)광원에 의해 빠른 속도로 대량의 정보를 처리할 수 있는 IOVMM(incoherent optical vector matrix multiplier)을 구성하고 실험결과와 이론치를 비교하였다. 입력 벡터 및 매트릭스의 원소들은 양의 실수로만 국한시키고 입력 벡터는 LED배열로 나타내었으며 매트릭스는 마스크상에 면적변조방식으로 부호화하였다. 이 두 곱셈의 결과는 렌즈계를 통하여 포토 다이오우드 배열로 검출하였으며 하나의 채널로 출력신호를 관찰하기 위하여 애널로그 멀티플렉스를 사용하였다.

**ABSTRACT** The IOVMM(Incoherent Optical Vector Matrix Multiplier) is constructed, which can process much information very fast by incoherent light source, and its experimental results are compared with the theoretical values. The input vector and matrix elements are limited to the positive number in this paper. The input vector is made by the LED array and the matrix is encoded on the film by the area modulation method. The result of the vector-matrix multiplication is detected by the photodiode array through the lens system. The analog multiplexer is used for looking at output signal on one channel.

### 1. 序 論

광신호 해석에 관한 연구는 이미 오래전부터 연구되어 왔으며 이들은 광의 세기로써 정보를 나타내는 인코히어런트 광신호 해석에 바탕을 두고 있었다. 그런데 1960년대에 레이저의 출현으로 말미암아 신호의 위상과 크기를 동시에 나타낼 수 있는 코히어런트 광신호 연구에 치중하게

되었으며 현재에도 이 분야에는 많은 연구가 진행되고 있다.

1970년대에 들어와서 인코히어런트 광신호 해석에 있어서도 새로운 방법의 시도가 있었는데 1965년에 Cutrona에 의해 제안된 인코히어런트 광을 이용한 벡터-매트릭스 곱셈기를 1974년 Bromley가 실제적인 시스템으로 제작하였다. 이 시스템에서는 하나의 LED에 입력신호를 직렬로 넣고 마스크상에 기록된 매트릭스와 곱한 다음 이 결과를 CCTV에 주사시켜 CRT화면에 나타내었다. 그 후 역시 Bromley에 의해 카메라에 주사하는 대신 CCD를 사용하여 전기적인 주사를 하므로 시스템을 훨씬 간단하게 만들었다.

본 논문에서는 이 방법을 개선하여 여러 개의

\* 柳韓工業專門大學電子工學科  
Dept. of Electronic, Yoohan Tehnical Junior College, Bucheon-Shi, 150-71 Korea

\*\* 延世大學校工科學電子工學科  
Dept. of Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, 120 Korea

論文番號 : 84 - 17 (接受1984. 8. 9)

입력신호를 LED배열에 병렬로 넣고 렌즈 시스템을 이용하여 마스크상의 매트릭스와 곱하였다. 이 결과를 포토다이오우드 배열로 검출하므로 빠른 속도로 대량의 정보를 처리할 수 있는 벡터 매트릭스 곱셈기를 제작하였다. 그리고 마스크의 제작은 양의 실수에만 국한시켰으며 입력 신호 6 개에 매트릭스 6×6을 곱하도록 제작하였다.

2. 벡터-매트릭스 곱셈

N차의 벡터  $\vec{x}$ 가

$$\vec{x} = (X(0), X(1), \dots, X(N-1))^T$$

로 주어지고

$N \times M$  매트릭스  $[H]$ 가

$$[H] = \begin{bmatrix} h(0,0) & \dots & h(0,N-1) \\ \vdots & h(m,n) & \vdots \\ h(M-1,0) & \dots & h(M-1,N-1) \end{bmatrix}$$

로 주어졌을 때

$$\vec{y} = (y(0), y(1), \dots, y(M-1))^T$$

를  $\vec{x}$ 와  $[H]$ 의 곱한 결과라 한다면

$$\vec{y} = [H] \cdot \vec{x} \tag{1}$$

이다. 여기서  $\vec{y}$ 의 m번째 원소는

$$y(m) = \sum_{n=0}^{N-1} h(m,n)x(n) \tag{2}$$

이다. 일반적인 시스템에 있어서 벡터  $\vec{x}$ 와  $\vec{y}$ 는 시간 혹은 공간함수의 값이며 행렬  $[H]$ 는 공간함수의 값을 갖는다. 시스템의 입력은 전기적인 형태로 존재하며 이들은 N개의 병렬 채널로 구성되어 있어서 각 채널마다 아래와 같은 시간함수를 전달하고 있다.

$$\vec{x} = (x(0, t), x(1, t), \dots, x(N-1, t))^T$$

다음부터는 이들이 시간에 따라 변하는 양이라 가정하고 시간함수는 생략하기로 한다.

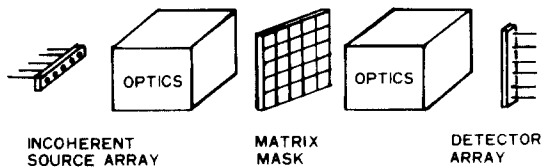


그림 1 광벡터-매트릭스 곱셈기의 기본구조  
Basic construction of optical vector-matrix multiplication.

입력이나 출력 또는 매트릭스의 값들은 실질적으로 빛의 세기로 나타내어지므로 실수이면서 양수의 값들만 갖게 된다.

입력 벡터  $\vec{x}$ 는 LED의 배열로써 나타낼 수 있고  $\vec{x}$ 의 값들은 LED의 밝기에 비례하는 값으로 표시할 수 있다. 매트릭스  $[H]$ 는 실제로 불투명한 바닥 위에  $N \times M$ 개의 부분적으로 투명한 셀(cell)로 되어 있는 투과 마스크(transparency mask)로 만들어진다.

입력의 셀의 투과광의 세기는 해당 매트릭스 원소의 값과 비례한다. 실제로 투과값은 투과율의 변화에 의한 방법과 투과된 빛의 값이 주어질 셀의 면적에 비례하도록 하는 면적변조(binary) 방식의 두 가지 방법이 있다.

출력 벡터  $\vec{y}$ 는 포토다이오우드 배열로써 측정되고 각 원소의 출력값은 주어질 벡터 원소에 비례한다. 이러한 주요한 3개의 구조를 이용하여 기본적인 광벡터-매트릭스 곱셈기의 기본구조를 그림 1에 나타내었다.

그림 1에서 첫번째 optics group은 입력신호를 수평방향으로 각 열에 비추게 하고 LED에서 나온 빛을 해당열에 맞추어 수직방향으로 균일하게 하는 역할을 한다. 이러한 방법으로 식(1)에 나타난  $\vec{x}$ 의 값과  $[H]$ 의 열의 값이 inner product가 이루어진다. 식(1)에 벡터-매트릭스의 곱을 매듭짓기 위해서는 그림 1에서와 같이 두번째 optics group이 필요하게 된다. 이들은 LED의 빛이 매트릭스의 각 열에 곱해진 값들을 각 행마다 더하여 출력쪽으로 해당 detector에 비추게 된다.

그림 1을 수행하기 위한 실질적인 렌즈 시스템을 그림 2에 나타내었다. 각 렌즈의 기능은 아래와 같다.

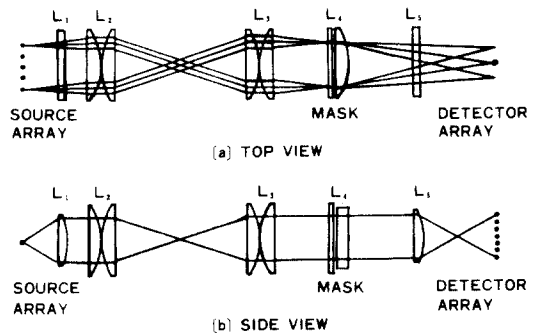


그림 2 벡터-매트릭스의 광학적 시스템  
Optical system of vector-matrix multiplier.

표 1 EL-1KL<sub>3</sub>의 특성  
Characteristics of EL-1KL<sub>3</sub>.

절 대 최 대 정 격				$P_o$ [mW] Typ.	$I_F$ [mA]	$V_F$ [V] Max		$\lambda$ [nm] Typ.	$\Delta\theta$ [deg] Typ.
$I_F$ [mA]	$V_R$ [V]	$P$ [mW]	$T_{op\ r}$ [°C]				$I_F$ [mA]		
100	6	200	-40~100	15.0	100	1.7	100	940	±8

표 2 SP-1CL3의 특성  
Characteristics of SP-1CL3.

$V_{op}$ [V] Typ.	$I_{sc}$ [ $\mu$ A] Typ.	$E_v$ [Lux]	Chip size[mm]	$\lambda P$ [nm] Typ.	$\Delta\theta$ [deg] Typ.	$\lambda$ [nm]
0.35	10	1,000	1.2×1.2	830	±50	500~1,000

렌즈 L<sub>1</sub>(원통형) : 수직방향으로 광을 평행하게 하며 마스크의 각 열을 따라 빛의 세기를 균일하게 만든다.

렌즈 L<sub>2</sub>와 L<sub>3</sub>(원형) : 입력배열신호를 마스크 상에 수평하게 비추어 각 해당열에 초점이 맞도록 한다.

렌즈 L<sub>4</sub>(원통형) : 마스크에서 나온 광선들을 출력의 중앙선에 오도록 굴절시켜 주는 역할을 한다.

렌즈 L<sub>5</sub>(원통형) : 수직방향으로 비추어주는 영상 렌즈이다. 이것은 여러 행들을 해당 detector에 비추는 역할을 한다.

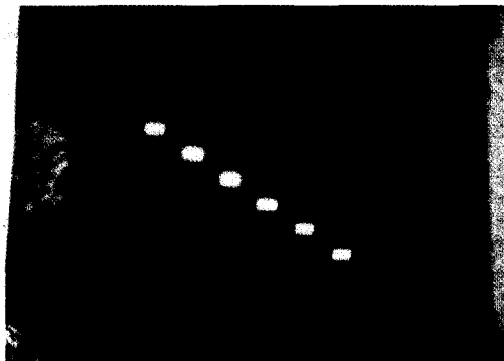
이 시스템에서 광효율은 lens L<sub>4</sub>를 사용하므로 보상될 수 있고 광원은 beam반치폭이 작은 것을

사용하므로 손실을 최소화시킬 수 있다.

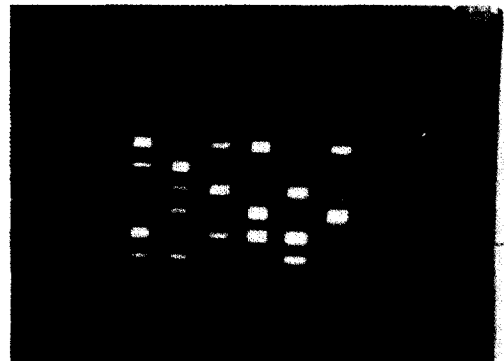
### 3. IOVMM제작

광원으로 일본의 광전자 제품인 EL-1KL<sub>3</sub> LED를 6개 사용하였으며 이들의 특성을 표 1에 나타내었다.

입력신호의 변조 주파수는 10kHz로 하였으며 동작점을 cut-off영역 가까이에서 동작하도록 구동회로를 꾸렸다. LED의 간격은 최대한으로 좁게 기판상에 배열시켜 전체 길이가 35mm가 되게 하였다. detector소자도 역시 광전자 제품인 포토 다이오우드 SP-1CL3를 6개 사용하였으며 이것의 특성표를 표 2에 나타내었다. 이들의 배열 역시 최대한으로 좁게 하여 전체 배열길이를



(a)



(b)

그림 3 (a) 단위매트릭스  
(b) 임의의 양의 실수 매트릭스  
(a) Unit matrix.  
(b) A positive number matrix.

표 3 광소자 크기 및 간격  
Dimensions and separations of optical elements.

소 사	축점거리(mm)	크 기(mm)	간격(mm)
LED배열	-	35	80 20 200 100 100 200
L <sub>1</sub>	80	130×30	
L <sub>2</sub> (Pair)	200	63	
L <sub>3</sub> (Pair)	200	63	
L <sub>4</sub>	300	60×50	
L <sub>5</sub>	100	60×50	100
포토다이오우드배열	-	19	200

19mm로 하였다.

이들의 출력을 하나의 채널로 보기 위하여 애 널로그 멀티플렉서를 뒷단에 접속하여 출력을 관찰하였으며 수신단의 OP증폭기에 가변저항을 달 아 이득을 조절할 수 있도록 하였다.

마스크는 면적변조방식을 택하여 6×6매트릭 스를 2개 제작하였으며 하나는 단위 매트릭스 로, 또 다른 하나는 임의의 양의 실수 매트릭스 로 하였다. 이들을 그림 3에 나타내었다. 렌즈 시스템에서 각 렌즈의 크기 및 간격을 표 3에 나타내었다.

4. 실험 및 고찰

LED와 포토 다이오우드의 선형특성을 살펴 보기 위하여 LED입력에 3가파를 넣어 포토 나 이오우드에 나타나는 파형을 보았다. 다음에 임 의의 LED 1개에 입력신호 1을 넣고 마스크없 이 출력에 나타나는 파형이 모두 같게 되도록 수 신단의 이득을 조정하여 두고 신호 (1, 0, 0, 0, 0, 0)을 각LED에 입력시키고 단위 매트릭스 및 임 의의 매트릭스를 사용하였을 경우 이들에 대한 출력을 관찰하였으며 이들의 파형을 그림4 및 그림5에 나타내었다. 단위 매트릭스를 사용하였 을 경우 출력 역시 입력파형과 같게 나오며 임 의의 매트릭스를 사용하였을 경우에는는

$$\begin{pmatrix} h_{00} & h_{01} & h_{02} & h_{03} & h_{04} & h_{05} \\ h_{10} & h_{11} & h_{12} & h_{13} & h_{14} & h_{15} \\ h_{20} & h_{21} & h_{22} & h_{23} & h_{24} & h_{25} \\ h_{30} & h_{31} & h_{32} & h_{33} & h_{34} & h_{35} \\ h_{40} & h_{41} & h_{42} & h_{43} & h_{44} & h_{45} \\ h_{50} & h_{51} & h_{52} & h_{53} & h_{54} & h_{55} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_0 \\ x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} y_0 \\ y_1 \\ y_2 \\ y_3 \\ y_4 \\ y_5 \end{pmatrix}$$

여기서

$$h_{00} = h_{03} = h_{11} = h_{22} = h_{24} = h_{33} = h_{35} = h_{40}$$

$$\begin{aligned} &= h_{43} = h_{45} = 4 \\ h_{02} &= h_{05} = h_{10} = h_{21} = h_{31} = h_{42} = h_{50} = h_{51} \\ &= h_{54} = 2 \\ h_{01} &= h_{04} = h_{12} = h_{13} = h_{14} = h_{15} = h_{20} = h_{23} \\ &= h_{25} = h_{30} = h_{32} = h_{34} = h_{41} = h_{45} = h_{52} \\ &= h_{53} = h_{55} = 0 \\ x_0 &= 1, \quad x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = x_5 = 0 \\ y_0 &= 4, \quad y_1 = 2, \quad y_2 = 0, \quad y_3 = 0, \quad y_4 = 4, \quad y_5 = 2 \end{aligned}$$

가 된다. 또 입력신호가  $x_0 = 1, x_1 = x_2 = x_3 = x_4 = 0, x_5 = 1$ 일 때 임의의 매트릭스를 사용하였을 경우  $y_0 = 6, y_1 = 2, y_2 = 0, y_3 = 4, y_4 = 4, y_5 = 2$ 가 되며 그림 4, 5, 6에서 보듯이 이들의 파형 은 계산치와 거의 일치하였다.

5. 결 론

인코히어런트광을 이용하여 벡터-매트릭스의 곱을 빠른 속도로 처리할 수 있는 광학 시스템을 구성하였다. 입력 벡터는 LED로 구성하므로 되도록 작은 LED를 사용하여야 많은 양의 입력을 처리할 수 있으며 이들 LED는 병렬 sensor등에 연결시킬 수 있다.

본 논문에서는 입력 벡터 및 매트릭스를 양의 실수에만 국한시켰으나 더 나아가 bias 및 전기 적인 회로를 연결하므로 음수 및 복소수에 대해 서도 처리할 수 있다.

LED 입력이 (1, 0, 0, 0, 0, 0) 및 (1, 0, 0, 0, 0, 1) 일 경우 단위 매트릭스 및 그림 3 (b)에 나타낸 마스크를 사용하였을 경우 실험치와 이론치는 잘 일치하였다. 따라서 이 시스템을 사용하여 벡터- 매트릭스곱으로 나타낼 수 있는 모든 분야에 응용될 수 있으며 신호해석에 관계되는 모든 변환 함수의 weighting function을 매트릭스 형태로 마스크상에 부호화하므로 입력에 대한 변환을 빠른 속도로 처리할 수 있게 된다.

본 연구는 한국학술진흥재단의 재정적 지원에 의해 이루어진 논문입니다.

参 考 文 献

(1) G. L. Rogers, "Noncoherent optical processing," Wiley, New York, 1977.  
(2) A. W. Lohmann, H. W. Werlich, "Incoherent matched filtering with fourier holograms," Appl. Opt., vol. 10, no. 3, pp. 670-672, 1971.

- (3) A. W. Lohmann, "Incoherent optical processing of complex data," Appl. Opt., vol. 16, no. 2, pp. 261~263, 1977.
- (4) W. T. Rhodes, "Bipolar pointspread function synthesis by phase switching," Appl. Opt., vol. 16, no. 2, pp. 265~267, 1977.
- (5) L. Cutrona, "Optical and electro-optical information processing," MIT Press, Cambridge, MA, 1965.
- (6) Keith Bromley, "An optical incoherent correlator," Optica Acta, vol. 21, no. 1, pp. 35~41, 1974.
- (7) M. A. Monahan, R. P. Bocker, K. Bromley, "Incoherent electrooptical processing with CCD'S," IEEE no. 75ch 0941-5C, pp. 25~33, 1975.
- (8) J. W. Goodman and L. M. Woody, "Method for performing complex-valued linear operations on complexed-valued data using incoherent light," Appl. Opt., vol. 16, no. 10, 1977.
- (9) J. W. Goodman, A. R. Dias and L. M. Woody, "Fully parallel, high-speed incoherent optical method for performing discrete fourier transforms," Optics Letters, vol. 2, no. 1, pp. 1~3, 1978.



崔平錫 (Pyung Suk CHOI) 正會員

1951年 7月31日生

1971年 3月~78年 2月: 成均館大學校電子工學科

1978年 3月~80年 2月: 延世大學校大學院電子工學科  
(工學碩士)

1980年 3月~現在: 延世大學校大學院電子工學科(博士課程)

1979年 3月~82年 3月: 柳韓工業專門大學電子工學科(專任講師)

1982年 3月~現在: 柳韓工業專門大學電子工學科(助教授)



朴漢奎 (Han Kyu PARK) 正會員

1941年 6月21日生

1964年 2月: 延世大學校電氣工學科卒業

1968年 2月: 延世大學校大學院電氣工學科卒業(工學碩士)

1973年: 불란서 파리대학교 (프랑스대학교) 博士課程修了 (DEA)

1975年: 불란서 파리6대학 (ph. D)

1976年~現在: 延世大學校工科學電子工學科教授