

## 광학적 신호처리 (Optical Signal Processing)

崔 太 永

亞洲大學校 工科大学 電子工學科 助教授(工博)

### I. 서 론

광학적 신호처리라는 것은 광학시스템(렌즈, 필름, 감광성소자, 발광성소자등)을 사용하여 신호처리(상관 계산, convolution 계산, 행렬×벡터, 행렬×행렬등)를 하는 것을 말한다. 광원에는 coherent 광원(광원의 파장의 폭이 극히 좁은것: 레이저)과 incoherent 광원(광원의 파장의 폭이 넓은것: LED, 백열등)으로 크게 두가지로 나눌 수 있다. 광학시스템의 기본적인 특성은 이 시스템내의 렌즈의 전·후 초점간에 2차원(공간적) Fourier 변환 관계가 있어서, 2차원 신호의 spectrum 분석, 패턴인식, 영상처리등에 응용할 수 있다. 한편 incoherent 광원을 사용한 광학시스템에서는 이러한 Fourier 변환 관계가 성립되지 않는다. 그럼에도 불구하고 incoherent 광학시스템은 본문에서 취급하는 것과 같이 신호처리 분야에 여러방면에 응용된다. 특히 레이저에 비하여 간단한 LED를 사용할 수 있어 취급이 용이할 뿐만아니라 전기적 신호를 빛의 세기로 쉽게 변조할 수 있는 장점이 있다.

신호처리를 위하여 광학시스템을 이용하게된 근본적인 배경은 광학프로세서가 가지는 2가지 기본적인 특성때문이다. 첫째는 빛이 optical transparency(필름 또는 마스트)를 통과하면서(약 $10^{-13}$ 초: 필름의 두께를 약0.3mm로 볼때), 초고속 공간적인 곱셈이 된다는 것이다. 즉 필름을 통과하여 공간적으로 분포된 빛의 세기가 필름에 입력되는 공간적으로 분포된 빛의 세기와 필름의 intensity transmittance(전달함수(세기)와의 곱이다.

둘째로, 광학시스템은 3가지 변수의 함수이라는 점이다. 대부분의 전기 전자시스템은 시간하나의 함수인데 비하여 광학시스템은 시·공간 함수이다. 다시 말하면 빛이  $1000 \times 1000$  분해능을 가진 필름을 통과하면  $10^6$ 번의 곱셈 결과를 동시에(공간적으로)  $10^{-13}$ 초 이내에 얻을 수 있다는 것이다. 이러한 특성은 coherent

나 incoherent 광학시스템에 둘다 적용된다. 그러나 coherent인 경우에는 앞서 언급한 Fourier 변환 관계 외에 위상변화를 보유하고 있어 복소수(허수와 실수) 계산 결과를 얻을 수 있고, incoherent인 경우에는 위상이 무시되어, 정확한 위치, 온도 및 고정조건을 감소시킬 수 있고, 확산잡음이 크게 감소될 뿐만아니라, 작고 간단한 값싼 광원 및 감광소자를 사용할 수 있는 점이 장점이다.

본문은 전체적으로 incoherent 광학시스템을 토대로, II장에서 1,2차원 상관기에 대해서, III장에서는 행렬과 벡터의 곱셈(1차원 신호변환)행렬과 행렬들의 곱셈(2차원 신호변환)법을, 그리고 IV장에서는 convolution 계산법을 기술하였다.

### II. 광학 상관기

광학시스템을 사용한 1,2차원 상관기에는 크게 주사(scanning 또는 translation)에 의한 방법과 주사에 의하지 않은 방법이 있다.<sup>1)</sup> 본장에서는 대표적인 주사에 의한 1,2차원 상관기의 원리를 소개하기로 한다.

#### 1. 1차원 상관기

우선 1차원 신호  $f(t)$ 와  $q(t)$ 의 교차상관,  $R(\tau)$ 는 식(1)로 정의된다.

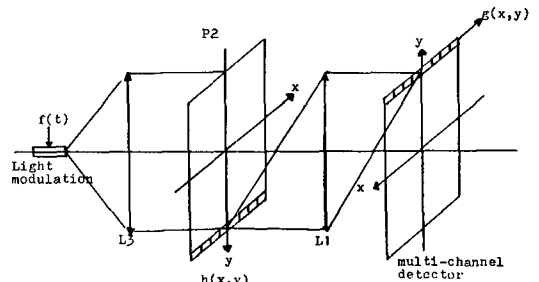


그림 1. 변조된 빛에 의한 1차원 교차상관기

$$R(\tau) = \int f(t) q(t-\tau) dt \quad (1)$$

그림 1 은 시간적인 주사 상관기(temporal scanning correlator)로 불리어지는데 식(1)의 계산을 할 수 있을 뿐만 아니라 다중채널 교차 상관 계산도 할 수 있도록 되어 있다. 그림 1의 동작원리를 살펴보자.

<동작원리>

우선  $h(x, y)$ 는 optical transparency의 transmittance 함수이다. 1 차원(시간) 전기적 신호  $f(t)$ 에 비례하게 광원을 변조하여  $L_1$ (condensing lens : 이하 동일 명칭)에 의해 균일하게  $h(x, y)$  (이하 mask라 칭함)에 입사시키면 mask를 통과한 빛의 분포는  $f(t) \cdot h(x, y)$ 가 될것이고, 이것은  $L_2$ (imaging lens : 이하 동일 명칭)에 의해 출력단 검파기에 검출될 것이다. 즉 mask를 움직이지 않은 상태라면 출력 신호는 식(2)로 된다.

$$g(x, y) = \int f(t) h(-x, y) dt \quad (2)$$

여기서 마스크나 검파기중 하나를 그림 1의 x축으로 kt만큼 이동하게 되면(k는 이동속도), 출력신호는,

$$g(x, y) = \int f(t) h(kt-x, y) dt \quad (3)$$

이 된다.

이 결과는 광원의 위치를 수평방향(마스크 평면상의 x방향과 동일)으로 움직여도 마찬가지로 얻을 수 있다.

한편 마스크의 평면상의 수직방향(y)를 변화시키지 않고 어느 한 y값의  $y_0$ 값에 대한 수평방향 (x)축의  $h(x, y_0)$ 만 고려한다면 이에 대한 출력신호는 식(3)에서,

$$g(x, y_0) = \int f(t) h(kt-x, y_0) dt \quad (4)$$

을 얻을 수 있다.

식(1)과 (4)를 비교하여 보면,

$$q(t) = h(kt), \quad x = kr \quad (5)$$

와 같음을 알 수 있다. 그리고

$$R(\tau) = g(k\tau, y_0) \quad (6)$$

으로 됨을 알 수 있어,  $f(t)$ 와  $h(t)$ 의 교차 상관율, 마스크를 식(5)을 만족하게끔 time scaling시켜 만들면, 얻을 수 있다.

또한 마스크 평면상의 수직축(y)의 모든 y값에 대하여 수평 성분을 달리한다면 출력단에서는 다중채널 교차 상관 관계의 결과를 얻을 수 있다. 이것을  $R_y(\tau)$ 라 한다면 식(6)에서, 식(7)을 유도할 수 있다.

$$R_y(\tau) = g(k\tau, y) : y = 1, 2, 3, \dots \quad (7)$$

이러한 다중채널 교차상관법을 음성인식이나 패턴인식 등에 사용할 수 있다.

그림 1에서 광원, 마스크 또는 검파기를 이동시키는 데에는 광학적인 제한과 기계적인 이동속도의 문제가 있다. 예를들면 마스크를 너무 멀리 이동시킬때 마스크의 상이 검파기 바깥으로 나가면 안된다. 그리고 이들의 이동 방식이 기계적인 방법이라면 실시간 처리에 어려움이 있을 것이다. 그러나 수신검파기를 근처에 나온 행렬형 CCD를 사용한다면 전자적 이동이라 속도면이나 오차면에서 월등해진다.<sup>[1]</sup>

2. 2 차원 상관기

2 차원 신호  $f(x, y)$ 와  $h(x, y)$ 의 교차상관,  $R(\tau_x, \tau_y)$ 는 식(8)로 정의된다.

$$R(\tau_x, \tau_y) = \iint f(x-\tau_x, y-\tau_y) h(x, y) dx dy \quad (8)$$

이러한 2 차원 교차 상관기의 기본적인 광학시스템이 그림 2에 나타나 있다. 그림 2에서  $f(x, y)$ 는  $P_1$  평면으로 나오는 빛의 광휘를 말하는 것으로 이러한 시스템에서  $f(x, y)$ 를 얻는 방법은 균일하게 조사되는 필름이나 CRT등에 의해 얻을 수 있다.  $h(x, y)$ 는 전술한 바와 같이 필름이나 가변 광전자 물질의 transmittance 함수이다. 그러면, 그림 2의 동작원리를 살펴보자.

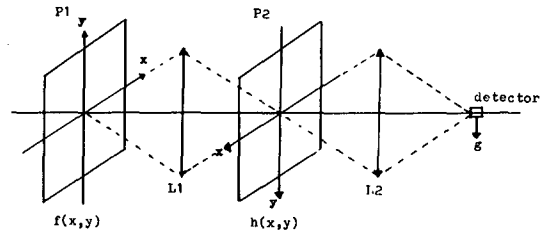


그림 2. 기본적인 2 차원 교차상관시스템

<동작원리>

그림 2의 상태에서  $f(x, y)$ 와  $h(x, y)$ 를 전혀 이동시키지 않은 상태에서는  $f(x, y)$ 가  $L_1$ 에 의하여  $P_2$  평면에 그대로 입사되어  $P_2$  평면을 통과하게 되면  $f(x, y) \cdot h(x, y)$ 가 되고,  $L_2$  (integrating lens : 이하 동일명칭)에 의해 출력단의 원점에만 나타나게 되어, 식(8)에 비추어,

$$g(0, 0) = \iint f(x, y) h(x, y) dx dy \quad (9)$$

가 된다. 이것은  $f(x, y)$ 와  $h(x, y)$ 의 교차 상관의  $R(0, 0)$ 에 상응하는 것이다.

1차원 상관기의 경우와 마찬가지로  $f(x, y)$ 를 또는  $h(x, y)$ 를  $x, y$ 축으로 각각  $k_x t, k_y t$  만큼 움직이면 출력신호는 ( $k_x, k_y$ 는 각각  $x, y$ 축으로 움직이는 속도),

$$g(k_x t, k_y t) = \iint f(x - k_x t) (y - k_y t) h(x, y) dx dy \quad (10)$$

가 된다.

식(8)과 (10)에서,  $k_x t = \tau_x, k_y t = \tau_y$ 임을 알 수 있다. 이상의 교차 상관 관계를 이용하여 이동체의 속도 측정<sup>[13]</sup>이나 적외선 감시체계에서의 목표물의 방향 탐지 및 주변환경 판단 작용에도 사용될 수 있다.<sup>[14]</sup>

### III. 행렬계산

II장에서는 광학상관기에 대해 논하였다. 여기서는 광학상관기의 원리를 응용한 광학적인 행렬 계산법을 논하고자 한다. 행렬계산 그 자체가 discrete한 값을 뜻하므로 II장의 analog경우와는 다르다. 이러한 행렬계산은 대개 입력단(광원), 마스크(행렬), 수신단으로 구성되는데 우선 가장 간단한 행렬×벡터, 행렬×행렬의 순으로 살펴보자.

#### 1. 행렬×벡터계산

우선 행렬  $T$ (크기:  $N \times N$ )와 벡터  $X$ (크기:  $N \times 1$ )의 곱을, 벡터  $Y$ (크기:  $N \times 1$ )와 하고,  $T, X, Y$ 와의 원소를 각각  $t(m, n), x(n), y(m)$ 이라 하면 ( $t(m, n)$ 의  $m$ 과  $n$ 은 각각 row와 column 원소번호를 뜻함),

$$Y = TX, \quad y(m) = \sum_{n=0}^{N-1} t(m, n) x(n), \quad m = 0, 1, \dots, N-1 \quad (11)$$

으로 표시된다.

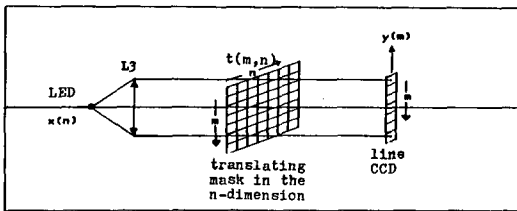


그림 3. 마스크의 이동에 의한 행렬과 벡터의 곱셈시스템

이러한 계산은 그림3,4,5의 기본적인 3가지 방법이 있다.<sup>[15]</sup> 이들의 공통점은 행렬을 마스크화 했다는 점이고 상이한 점은 그림 순으로, 입력 신호에 동기되어 마스크의 이동, 수신단의 이동 그리고 입력신호의 이동 방법이다. 그림3의 마스크의 이동 대신에 마스크와 CCD사이에서 회전 거울을 사용하여 CCD에 전하

량을 누적시켜 식(11)의 결과를 얻을 수도 있다.<sup>[16]</sup>

그림 3의 동작원리는 입력  $x(n)$ 에 동기시켜 마스크를 이동시켜 CCD에  $t(m, n)$   $x(n)$ 에 해당하는 전하를 저장시키고, 계속적인 입력 ( $n=0, \dots, N-1$ )에 의하여 동일한 방법으로 마스크를 이동시켜 가면서 CCD에 전하를 누적시키면 식(11)의 결과를 얻는다.

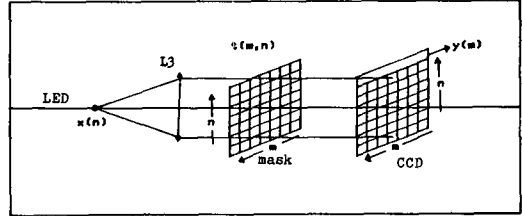


그림 4. 행렬형 CCD를 TDI형으로 운용한 행렬과 벡터의 곱셈시스템

그림 4의 동작원리는 행렬형 CCD를 사용하여, 입력에 동기시켜 CCD에 저장된 신호를 수직 방향으로 한줄씩 위로 이동시킨다. 이렇게 반복적으로 저장 이동 합산을 N번 되풀이 하면 N번째의 출력 신호는 식(11)의 결과와 같다. 이렇게 이동하면서 합산 저장하는 방법을 TDI(time delay and integration) 방법이라 칭한다.<sup>[16]</sup>

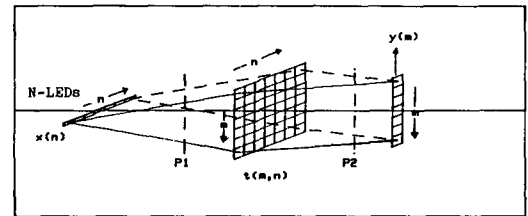


그림 5. 입력신호 이동에 의한 행렬과 벡터의 곱셈시스템

그림 5는 N개의 입력을 동시에 또 순차적으로 입사시켜  $P_1$  평면상의 광학 렌즈 시스템으로 입력  $x(n)$ 에 해당하는 빛이 마스크의  $n$ -column을 통과하도록 하고, 이것을  $P_2$  평면상의 광학 렌즈 시스템에 의해 마스크의 수평방향 ( $m$ )의 빛을 CCD의  $m$ -원소에 저장한다. 결국은 CCD 출력은 식(11)과 같고 그리고 이 시스템의  $P_1$  광학시스템 대신에 오차등을 줄일수 있는 N개의 광섬유로 대체 할 수도 있다.<sup>[17]</sup>

이상의 CCD는 전하를 저장하고 이동할 수 있는 감광성 CCD로, 대체로 수직 이동 속도가 수십 KHz까지 가능하고 출력단의 수평 이동속도가 10MHz까지 가

능하여서 그림 4의 경우는 1차원 음성신호 변환용으로 도 가능하다.

한편 그림 3~5의 LED는 점광원이 아니어서(크기가 크다) L<sub>1</sub> 렌즈에 의해 균일한 조도를 얻기는 어렵다. 즉 축의 중심부에 비해 바깥 부분의 조도가 떨어지므로 마스크의 크기 및 CCD의 원소 크기를 다 고려하여야 한다.

이러한 점을 고려하여 마스크의 원소 크기를 CCD의 원소 크기와 동일하게 하여 마스크와 CCD를 고정시키고 LED에 의한 균일 조도를 얻기 위한 일환으로 초소형 시스템이 그림 6 처럼 개발되었다.<sup>8)</sup>

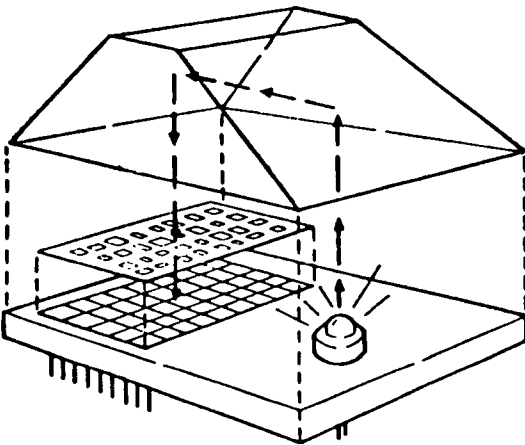


그림 6. CCD와 마스크를 고정시킨 행렬과 벡터의 곱셈기

이상의 시스템에서 고려할 사항은 LED를 사용하여 변조할때는 LED의 변조 특성의 직선성 범위, 공간조도의 일정여부, CCD의 원소간의 균일 감도여부, 전하 이동 손실량의 크기, CCD의 다이내믹 범위(포화상태 / 어두운 상태의 전압비) 등이다.

2. 행렬×행렬계산

행렬 T와 X의 곱을 Y라하면(모두 행렬크기 : N×N),

$$Y = TX, \quad y(l, n) = \sum_{m=0}^{N-1} t(l, m) x(m, n) \quad (12)$$

$l, n = 0, 1, \dots, N-1$

이러한 행렬간의 곱셈 계산법을 그림 7에서 보여주고 있다. 여기서 A<sub>1</sub> 및 A<sub>2</sub>는 Bragg 조건을 만족하는 Acousto-optic modulator로서 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>에 x(m, n) 및 t(l, n)에 해당하는 값을 고주파로서 AM변조하여 입력시키면, A<sub>1</sub> 및 A<sub>2</sub>에 입력되는 빛은 이 음파의 신호에 따라 회절되고 빛의 통과량도 t(l, m) 및 x(m, n)에

비례하게 된다. 즉 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>는 앞절에 나온 마스크의 역할을 하는 가변 공간 마스크이다. 그러면 그림 7의 동작법을 알아보자.

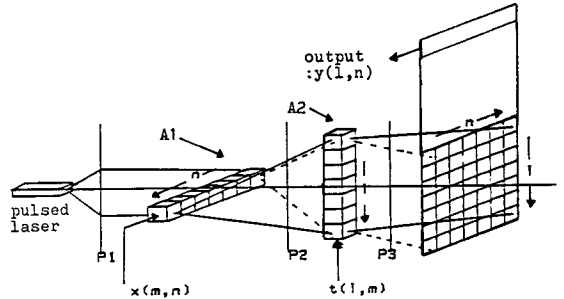


그림 7. 2개의 acousto-optic 변조기와 레이저의 순간 펄스에 의한 행렬과 행렬곱셈기

<동작원리>

행렬X의 m번째 row성분과, 행렬T의 m번째 column 성분에 해당하는 변조된 음파를 각각 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>내에 전파하게 되는데 이들 각각의 모든 row성분과, column 성분이 다 매질내에 전파되었을 순간에 레이저에 의한 impulse 광을 입사시키면 CCD에 저장된 신호는 t(l, m) x(m, n)에 비례하게 되고 공간적으로 (l, n) 분산되어 있다.

다음에 마찬가지로 방법으로 (m+1)번째 row와 column 성분을 각각 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>에 입사시키고 레이저에 의한 impulse 광에 의해 CCD에는 다시 저장되는 전하량은 t(l, m+1) x(m+1, n)에 비례하게 되고, m번째에 의한 t(l, m) x(m, n)과 합쳐지게 된다. 따라서 이런 과정을 m=0에서 N-1까지 N번 되풀이 하면, CCD에 저장된 총 전하량은  $\sum_{m=0}^{N-1} t(l, m) x(m, n)$ 이 되어 식(12)의 결과를 얻을 수 있다.

이 저장된 신호 전체를 빠른 시간내에 저장 영역으로 이동시킨 다음 출력을 한줄씩(l) 읽어내면 y(l, n)이 되어 (Y=TX), T와 X의 곱셈 결과를 얻는다.

한편 이 CCD의 출력신호 y(l, n)을 다시 A<sub>2</sub>에 또 다른 행렬 T<sub>1</sub>(크기 : N×N)의 원소 t(n, k)를 A<sub>1</sub>에 변조하여 주입시키면 앞의 요령으로 계속 N번 시행하면 이번에는 T×T<sub>1</sub> 결과를 얻을 수 있다.

만약 T' 행렬이 T'이라면 X를 2차원 신호 변환한 것과 같은 뿐아니라 위의 방법대로 반복적으로 CCD의 출력과 또 다른 행렬을 A<sub>1</sub>, A<sub>2</sub>의 어느 곳에 주입시키느냐에 따라 CCD의 출력 행렬과 또 다른 행렬과 전·후 곱셈을 할 수 있어 얼마든지 여러가지 행렬의 곱셈을 할 수 있다.

행렬  $A_1$ 의 입력단을 그림 7의 반대쪽으로 하고 CCD를  $90^\circ$  우회전 시키면<sup>10)</sup>, 마찬가지로 동작법에 의해 CCD의 출력 신호는 (TX)'를 얻게 된다. 그리고 두번째로 (TX)' 신호를  $A_1$ 에  $A_2$ 에는 T를 주입시키면 CCD 출력 신호는 (T(TX)')' =  $TXT'$  결과, 즉 2차원 신호 변환을 얻을 수 있다.

행렬 X가 TV의 한 필드를 표본화한 것이라면 (예  $256 \times 256$  표본), 행렬의 크기는  $256 \times 256$ 이 되고 수평 동기 신호를 뺀 한 줄의 영상 신호 주사 시간이 약  $50 \mu\text{sec}$ 이므로  $A_1, A_2$  내의 음파 전달 시간은  $50 \mu\text{sec}$  정도가 되어야 되고, 전파 거리에 따른 감쇄도 적어야 되는 acoustic 매질을 사용하여야 한다(통상  $\text{TeO}_2$ ). 그리고 한 표본에 해당되는 전파 시간은  $195 \mu\text{sec}$  ( $50 \mu\text{sec} / 256$ ) 정도 되는데, 레이저에서 순간적인 펄스 폭은 이보다 훨씬 적어야 수신단에서 표본간에 겹치는 현상이 일어나지 않는다. 일반적으로 레이저 다이오드의 경우 펄스의 상승 및 하강 시간이  $1 \mu\text{sec}$ 이므로 거의 중첩 현상은 없다고 볼 수 있다.

그림 7의 시스템은 위에서 언급한 바와 같이  $256 \times 256$  영상 신호(X)를 한 프레임 시간에 한 필드의 신호 변환을 할 수가 있어 2개의 시스템을 사용하면 실시간 영상 신호 변환도 가능하다.

IV. Discrete convolution 계산

다음의 시스템에서 impulse 응답,  $h(n)$ 의 sequence가 제한되어 있을 경우,

$$x(n) \rightarrow h(n) \rightarrow g(n)$$

$$h(n) = 0, n < 0$$

$$g(n) = x(n) * h(n) = \sum_{m=0}^{N-1} h(m-n) f(m) \quad (13)$$

으로 표시된다.

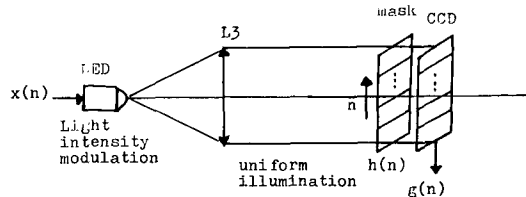


그림 8. CCD의 TDI 운용에의 convolution 시스템

이 계산 결과는 그림 8의 선형 감광성 CCD를 TDI형으로 운용함으로써 얻을 수 있다. 그런데, 그림 4의 행렬과 벡터 곱셈기의 어느 한 column(m)의 계산과 유사하다. 즉, 그림 4는 행렬형 CCD를 TDI형으로 운

용하여 N번째의 출력 신호가 원하는 행렬과 벡터의 곱셈 값이었으나, 그림 8의 경우는 CCD의 연속적인 출력이 바로 convolution 결과이다.

따라서, 그림 4에서도 연속적인 CCD의 출력 신호를 m에 따라 구분하여 읽으면 N채널 convolver가 되어, 마스크의 각 column 성분을 중심 주파수가 조금씩 다른 협대역 필터로 하면, 음성 신호의 spectrum 분석기로 사용 가능하게 되어 음성 인식 분야에 사용할 수 있으리라 본다.

그리고 감광성 CCD를 사용하지 않고 마스크의 제작이 필요없이 PTF (programmable transversal filter) CCD를 사용함으로써(그림 9) 완전히 전자적으로 convolution 결과를 얻을 수 있다.<sup>110)</sup>

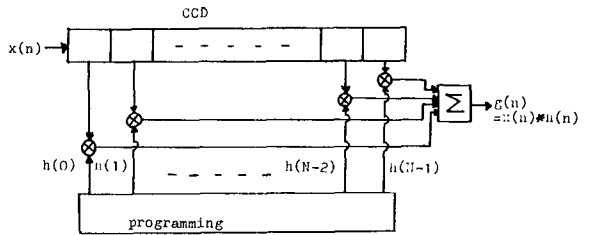


그림 9. PTF CCD를 이용한 convolution 시스템

지금까지 (II - IV 장) incoherent 광학 시스템에 의한 신호 처리를 서술하면서 이 시스템의 기본적인 요소인 양극성 특성을, 설명을 간단하게 하기 위해서, 고려하지 않았다. 예를 들어 식(1)의  $f(t)$ 와  $q(t)$ , 식(8)의  $f(x, y)$ 와  $h(x, y)$ , 식(11)의  $t(m, n)$  및  $x(n)$ , 식(12)의  $t(l, m)$  및  $x(m, n)$  모두 양의 값이라는 가정에서 서술하였다. 이들 값들은 음양의 값을 갖기 때문에 바이어스 성분을 합하여 양의 값으로 만들든지 또는 음과 양의 부분을 분리하든지 하여서, 최종 수신단에서 이들의 성분을 제거 또는 차를 구하든지 하면 되겠다. 그러나 행렬이 DFT (discrete fourier transform) 행렬인 경우에는 실수와 허수 부분을 구별하여 위의 과정을 또다시 밟아야 되는 복잡성을 배제할 수는 없다.

한편 지금까지 수신단에서 거의 CCD를 사용하였는데, 세계적으로 대표적인 CCD 제작사를 알아보면, 일본의 NEC, SONY, Hitachi, Toshiba, Oki, Matsushita 및 Fujitsu, 미국의 RCA, Fairchild, Reticon 및 Texas 그리고 유럽의 Thomson-CSF 및 Philips를 들 수 있다.

선형 CCD인 경우에는 2048화소까지, 행렬형인 경우는  $576 \times 462$ 화소를 갖는 것까지 있다(Thomson-CSF).

행렬형 CCD의 가격면에 있어서는, 아무런 결점이 없는 A급은 약 5,000불이고, 감도가 다른 화소에 비해  $\pm 10\%$ 정도 오차가 있는 것이 100여 화소가 있는 것이 B급이고, 몇 column이 동작이 되지 않는 것으로 C급으로 A급에 비해 가격은  $\frac{1}{3}$  이하이다.

V. 결 론

광학 시스템을 이용한 신호처리 기술중에서 교차상관기, 행렬계산기, convolver등의 기본적인 개념을 소개하였다.

광학시스템의 대표적인 특성은 전체적인 광학시스템의 길이(입력단에서 출력단까지의 거리)가 빛의 속도에 비하여 무시할 정도여서 초고속 다중 계산을 할 수 있다는 것이다. 특히 1, 2차원 신호변환의 경우 행렬의 크기에 거의 무관하게(단, 수신단의 검파기의 크기, 마스크의 크기,  $A_1, A_2$ 의 특성에 좌우되지만), 고속변환이 가능하다. 반면에 음양의 값을 갖는 신호처리를 동시에 할 수 없다는 점이 불편한 점이다. 그리고 수신단에 감광성 CCD를 사용할 경우에 CCD 자체의 결합을 보상하기가 쉽지 않다는 점(특히 화소간의 감도차)과 마스크의 제작이 어렵다는 점이다. 마스크 원소를 공간적(투명, 불투명)의 크기의 비로 나타내기에는 분해 가능한 레벨 수가 작다. 또한 gray 레벨형으로 원소를 나타내는데는 고도의 기술이 필요하다. 그리고 CCD의 크기에 비해 마스크를 너무 크게 제작하면 광학 시스템으로 줄일 수 있는 한계가 있다(CCD의 한 화소의 크기는 CCD에 따라 다르나 대개  $15 \times 15 \mu m^2$  이다)

그림 6 처럼 CCD에 마스크를 부착시켜 소형화하게 되면, 행렬에 따라 이러한 CCD를 각각 따로 구입 또는 제작하여야 되는 점은 있으나 성능면에서는 하나의 CCD에 여러가지 마스크를 제작하여 필요에 따라 마스크를 교체하는 방법보다 우수하다. 왜냐하면 마스크와 CCD의 화소간의 정합이 어렵기 때문이다.

參 考 文 獻

[1] M.A. Monahan et al., "Incoherent optical correlator," *proc. IEEE*, vol. 65, no. 1, pp.

121-129, Jan., 1977.

[2] M.A. Monahan et al., "Incoherent electro-optical processing with CCD's," international optical computing conference, April 23-24, 1975, Digest of papers (IEEE catalog No. 75CHO941-5C), pp.25-32.

[3] J.T. Ator, "Image velocity sensing by optical correlation," *Appl. optics*, vol. 5, pp. 1325-1331, Aug., 1966.

[4] J.A. Jamieson et al., *Infrared physics and engineering*, New York, McGraw-Hill, 1963, ch. 12.

[5] 崔太永, "CCD를 이용한 행렬계산, 대한전자 공학회 하계종합학술대회 논문집, vol. 6, no. 1, pp. 205-207, 1983년 7월.

[6] M.A. Monahan et al., "The use of charge coupled devices in electrooptical processing," 1975 international conference on the application of charge coupled devices, Oct. 29-31, Proceeding (NOSC, San Diego, CA), pp. 217-227.

[7] M. Carlotto and D. Casaent, 'Microprocessor-based fiber-optic iterative optical processor,' *Appl. optics*, vol. 21, no. 1, pp. 147-152, Jan., 1982.

[8] K. Bromley et al., "An electro-optical signal processing module," 1978 government microcircuit applications conference, Monterey, CA, Nov. 14-16, 1978.

[9] G. Lebreton, "Image data compression using unitary transforms: videorate optical implementation through matrix-matrix products," *SPIE*, vol. 492, ECOOSA '84 (Amsterdam 1984), pp. 278-283.

[10] C.F.N. Cowan and J. Mavor, "Analogue signal processing using charge-coupled devices," *Signal processing theories & applications, proc. EUSIPCO-80, 1st European signal processing conference, Lausanne, Switzerland, Sept. 16-18, pp. 669-674, 1980. \**

◆ 用 語 解 說 ◆

드루프트 (Throughput)

컴퓨터가 일정시간내에 처리하는 生産的인 일의 양, 컴퓨터의 生産性은 단지 使用率에 의해서 결정되는 것이 아니고 실제로 生産的인 일을 얼마만큼 했는가에 따라서 정해진다. 즉 데이터를 인푸트하여 처리하고 아우트푸트가 얻어지기까지의 單位時間當의 일의 처리능력이다.