

論 文

CCD를 이용한 선형예측기

正會員 崔 太 永* 正會員 愼 哲 宰**

Linear Predictor Using Charge-Coupled Devices

Tae Young CHOI*, Chull Chai SHIN** Regular Members

要 約 DPCM의 선형예측기를 비감광성 원소(dummy pixel)를 가지고 있는 선형 감광성 전하결합소자(CCD)를 광전자 시스템으로 구현하는 방법을 제시하였다. 종래의 시스템과 마찬가지로 이 시스템은 입력광원, 공간여파기(마스크), 선형감광성 CCD의 3부분으로 구성되었다. 비감광성 원소에 의한 시간지연을 고려하여 종래의 마스크를 변형하여 각 예측계수를 하나 이상의 마스크 원소에 분산시킨, 새로운 방식의 분산형 마스크를 제시하였고 이 마스크를 사용할 때의 특성을 이론적으로 분석하였으며 실험으로 확인하였다.

ABSTRACT An electro-optic system using linear photosensitive Charge Coupled Devices (CCDs) having dummy pixels has been proposed for realization of linear predictor in the differential pulse code modulation(DPCM). The system consists of three components as conventional systems: input light source, spatial filter(mask) and CCD line scanning sensor. For the delay time due to the dummy pixels in CCD, modifying conventional mask, a new dispersive mask is proposed, of which every prediction coefficient is dispersed on the more than one element. the characteristics of the system using the proposed dispersive mask are analyzed theoretically and verified with experiment.

1. 서 론

광학시스템을 사용한 FIR (Finite Impulse response) 여파기나 직교변환기 및 상관기 등에 대해서는 이미 잘 알려져 있다⁽¹⁾⁻⁽⁷⁾

이들은 기본적으로 전기적 입력신호를 광원으로 선형 변조하는 입력단, 시스템의 임펄스 응답에 해당하는 마스크(공간여파기) 및 영상센서로 된 수신단으로 구성되어 있다.

입력단은 대개 LED를 사용하며, LED로부터 발광되는 빛의 세기가 전기적 입력신호에 비례하게끔 선형 변조하든지 (AM) 또는 빛의 세기를 일정하게 하고 발광시간을 전기적 입력신호에 비례하게 변조(PWM)할 수 있는데, 전자는 LED의 선형성의 범위가 넓어야하고 후자는 LED의 스위칭 시간이 짧아야 한다. 이렇게 변조된 빛을 집광렌즈에 의해 마스크에 균일하게 입사시킨다.

시스템의 임펄스 응답에 해당하는 마스크의 제작법은 기본적으로 두 가지로 나눌 수 있는데 빛이 통과하는 면적을 임펄스 응답에 비례하게 하는 방법(binary 형 또는 공간적 PWM)과 빛이 통과하는 면적을 일정하게 하고 빛이 통과되는 정도를 임펄스 응답에 비례하게 하는 방법(gray

*, ** 亞州大學校 工科大學電子科
Dept. of Elec. Eng., Ajou Univ., Suwon.
170 Korea.
論文番號 : 87-02 (接受 1986. 8. 6)

level 형 또는 공간적 PAM)이 있다. 물론 이들의 혼용 방법도 가능하다.

수신단은 영상센서를 사용하여 입력광이 공간 여파기를 통과함으로써 얻어진 입력광과 마스크와의 공간적 곱셈결과를 검출하는데, 영상센서를 운용방법에 따라 입력광과 마스크와의 discrete convolution 결과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 수개의 비감광성(dummy) 원소를 갖는 CCD를 영상센서로 사용하여, 일반적인 FIR 여파기의 특수형인 DPCM의 선형 예측기를 광전자 시스템으로 실현할 수 있는 방안을 제시하고 실험결과를 보였다.

본 논문의 구성은 II장에서 DPCM의 선형 예측기와 일반적인 FIR 여파기를 비교하였고, III장에서는 CCD의 운용법과 마스크의 구조에 대하여 기술하였고, IV장에서 실험준비사항 및 결과를 보였고 마지막 결론 순으로 되어 있다.

2. DPCM의 선형예측기

N차 FIR 여파기는 그림 1-(a)처럼 입력신호 $x_i(n)$ 에 대한 출력신호 $x_o(n)$ 은 식(1)로 표시된다.

$$x_o(n) = \sum_{k=0}^N a(k)x_i(n-k), \quad n \geq 0 \quad (1)$$

여기서 $a(k)$ 는 식(2)를 만족하는 causal filter의 임펄스응답이다.

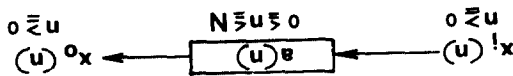
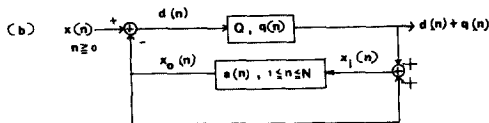


그림 1 (a) N차 FIR 여파기
(a) Nth order FIR filter



$x_1(n) = x(n) + q(n)$
Q : 양자화기
q(n) : 양자화 오차

(b) N차 선형 예측기를 사용한 DPCM의 블럭도
(b) Block diagram of DPCM using Nth order linear predictor

$$a(k) = \begin{cases} a(k), & 0 \leq k \leq N \\ 0, & \text{기타} \end{cases} \quad (2)$$

한편, 그림 1-(b)의 DPCM 시스템의 N차 선형예측기의 경우는 식(1), (2)와 비교하여 볼 때 임펄스응답 $a(0) = 0$ 이므로 식(1)의 K의 범위가 $1 \leq K \leq N$ 이다. 다시 말하면 DPCM의 경우는 시스템의 입력신호 $x(n)$ 보다 예측기의 출력은 한 표본주기만큼 지연되어 나온다. 이 점이 수개의 dummy 원소를 가지고 있는 CCD를 사용할 경우, 입력신호 $x(n)$ 의 표본주기와 CCD의 이동클럭주기와와의 관계를 고려해야할 점이다. (3.3절에서 설명)

그림 1-(b)에서 예측오차신호 $d(n)$, $d(n)$ 의 분산값 σ^2 , σ^2 을 최소로 하는 조건식과 그리고 이때의 최소분산값 σ_m^2 은 다음 식(3)과 같다^[8].

$$d(n) = x(n) - \sum_{k=1}^N a(k)x_i(n-k)$$

$$\sigma^2 = E \{ (d(n) - E(d(n)))^2 \} \quad (3)$$

$$R(i) = \sum_{k=1}^N a(k)R(i-k), \quad 1 \leq i \leq N$$

$$\sigma_m^2 = R(0) - \sum_{k=1}^N a(k)R(k)$$

여기서 $R(i)$ 는 $x(n)$ 의 자기 상관함수이다. 일반적으로 $x(n)$ 이 영상신호나 음성신호(유성음)인 경우에 예측차수 N을 크게 증가하여도 σ_m^2 은 크게 감소하지 않는다. N이 4~6 정도라도 그 이상의 N값에 대한 예측기와 거의 비슷한 특성을 갖는다^{[9], [10]}. 본 논문에서도 이와같이 저차수 예측기를 취급하겠다.

3. TDI 운용법과 분산형 마스크

일반적으로 영상센서용 선형 감광성 CCD는 감광원소의 전후에 dark level을 나타내기 위한 몇 개의 비감광성원소가 있다. 이러한 CCD를 사용할 경우, 입사광이 감광성원소에 저장된 다음에 출력으로 나오는 때에는 비감광성원소를 거쳐야 되기 때문에 그만큼의 시간지연이 있게 된다.

다.

그러면 감광성 선형 CCD를 사용하여 DPCM의 저차수 예측기를 광전자 시스템으로 실현하는데 필요한 CCD의 TDI(Time Delay and Integration)운용법, 입력 및 마스크의 특성에 대하여 살펴보자.

3-1 CCD의 TDI형 운용

TDI형 운용이라는 것은 CCD의 각 원소에 저장된 전하를 출력쪽으로 한 원소씩 이동하면서 새로 입사되는 빛에 의한 전하량을 합산하고 또 다시 이동하면서 합산하는 작용을 말한다⁽¹⁾.

그림 2는 CCD를 TDI형으로 운용함으로써 $x_i(n)$ 과 $a(n)$ 의 discrete convolution 결과를 얻을 수 있는 기본적인 시스템을 보인 것이다. 여기서 입력광의 세기는 $x_i(n)$ 에 비례하고 공간적으로 균일한 조도를 가지며, 마스크의 intensity transmittance는 $a(k)$ 의 값에 비례하고 마스크의 원소와 CCD의 원소가 기하학적으로 일대일로 일치되고, 비감광성원소가 없는 CCD라고 가정한 경우이다.

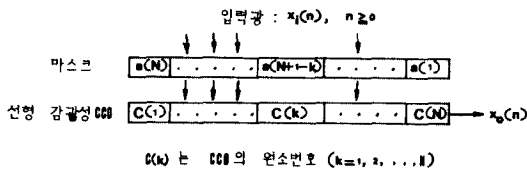


그림 2 TDI 운용에 의한 기본적인 discrete convolution 시스템
Basic system of discrete convolution with TDI operation.

그러면 convolution 결과를 얻는 TDI형 운용 원리를 살펴보자(그림 2).

1) $x_i(0)$ 입력광에 의한 CCD의 $C(k)$ 원소에 저장된 전하량은 $x_i(0)a(N+1-k)$ 에 비례하게 된다. $x_i(0)$ 입력이 끝나고 $x_i(1)$ 이 입력되기 전에 CCD에 저장된 신호를 출력쪽으로 한 원소씩 이동시키면 $C(k)$ 원소의 신호는 $x_i(0)a(N+2-k)$. 출력신호는 $x_i(0)a(1)$ 에 비례하게 된다.

2) 이 상태에서 $x_i(1)$ 이 입력되면 $C(k)$ 원소에 $x_i(1)a(N+1-k)$ 에 비례하는 전하량이 다시 합산된다. $x_i(1)$ 입력이 끝나고 $x_i(2)$ 가 입력되기 전

에 저장된 신호를 출력쪽으로 한 원소씩 이동시키면 $C(k)$ 원소의 신호는 $x_i(1)a(N+2-k) + x_i(0)a(N+3-k)$, 출력신호는 $x_i(0)a(2) + x_i(1)a(1)$ 에 비례하게 된다.

3) 위와 같이 계속 동작시키면 $x_i(n)$ 입력광이 입사될 때의 CCD 출력신호 $x_o(n)$ 은 식 (4)와 같이 되어 II장에서 나온 DPCM의 N차 선형 예측 신호와 같게 됨을 알 수 있다.

$$x_o(n) = \sum_{k=1}^N a(k)x_i(n-k) \quad (4)$$

3-2 입력신호와 마스크의 극성

앞절의 기본 시스템에서 알 수 있듯이 입력광이 전기적 신호 $x_i(n)$ 에, 마스크의 intensity transmittance가 임펄스 응답 $a(n)$ 에 각각 비례하여야 하는데 이들의 값은 모두 양의 값이어야 한다. 따라서 $x_i(n)$ 이나 $a(n)$ 의 값이 음일 때에는 DC성분을 추가하는 Biasing 법이나 극성 분리법 또는 이들의 혼용법을 고려할 수 있다. 그러면 이들 방법에 대하여 구체적으로 알아보자.

1) Biasing 법

식 (5)를 만족하게끔 Biasing 하여 입력신호와 마스크의 성분을 모두 양으로 하는 방법으로 식 (3) 및 그림 1-(b)에 식 (5)를 적용하면 예측오차 $d(n)$ 과 $d(n)$ 의 분산값 σ^2 은 식 (6)으로 계산된다.

$$x(n) + C(n) \geq q(n), \quad C(n) = \begin{cases} C, & n \geq 0 \\ 0, & n < 0 \end{cases} \quad (5)$$

$$a(n) + a \geq 0$$

$$d(n) = x(n) + C(n) - \sum_{j=1}^N (a(j) + a) \cdot (x(n-j) + C(n-j) + q(n-j))$$

$$\sigma^2 = \sigma_m^2 + a^2 \sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^N R(|k-j|) \quad (6)$$

여기서 σ_m^2 은 식 (3)의 σ_m^2 과 같고 $\sum_{k=1}^N \sum_{j=1}^N$

$R(|k-j|) = E \{ (\sum_{k=1}^N x(n-k))^2 \}$ 이므로 항상 양

의 값이다.

즉 $\sigma^2 > \sigma_m^2$ 이므로 Biasing 법을 사용하면 DPCM의 이득이 떨어진다.

2) 입력 Biasing 및 마스크 극성 분리법

$x(n)$ 을 식 (5)처럼 biasing하고 $a(n)$ 을 식 (7)처럼 음·양을 분리하여 두 개의 예측기를 사용하여 이들의 차로써 예측치를 얻는 방법이다.

$$a^+(k) = a(k) \geq 0 \quad (7)$$

$$a^-(k) = -a(k) \geq 0$$

이 경우 예측오차신호 $d(n)$ 및 $d(n)$ 의 분산값 σ^2 은 식 (8)로 계산된다.

$$d(n) = x(n) + C(n) - \sum_{k=1}^N a(k) (x(n-k) + C(n-k) + q(n-k)) \quad (8)$$

$$\sigma^2 = \sigma_m^2$$

따라서 원래의 DPCM의 이득(그림 2 및 식(3))과 동일한 이득을 얻을 수 있다.

3) 극성분리법

$x(n)$ 과 $a(n)$ 을 모두 음·양으로 분리하는 방법으로 $x(n)$ 의 극성에 따라 2)의 방법을 2개사

용하여야 되므로 비경제적이다.

이상의 3가지 방법 중에서 본 논문에서는 2)의 방법을 사용하기로 한다.

3-3 분산형 마스크

앞서 언급한 바와 같이 비감광성 원소가 있는 CCD는 입력에 비해 출력이 그만큼 지연되어 나온다.

비감광성 원소수가 D개, CCD의 한 원소 이동주기를 T라 하면, 입력광에 의한 전하의 저장 이 끝난 후에 전하를 이동시켜 출력이 나올려면 DT 시간이 필요하기 때문에(그림 3) DPCM의 선형예측기를 실현하려면 입력신호와 이동클락간의 동기가 필요하다. 이점을 고려하여 식(4)를 구현하기 위한 2가지 방법을 다음과 같이 제시하였다.

방법 1

그림 3에 보인 바와 같이 $x_i(0)$ 입력 ($0 \leq t \leq T$)에 대한 CCD의 출력은 $(D+1)T$ 부터 나타난다. 즉 감광성 원소의 첫째 원소에 의한 출력은 $(D+1)T$ 에서 $(D+2)T$ 까지 나온다. 그림 4와 같이 $D=3$ 인 CCD에 입사되는 입력신호 $x_i(n)$ 을 $(D+1)T$ 주기로 입사시키고, 마스크 구성은 CCD 출력쪽에서 $(D+1)$ 원소 간격으로 $k(D+1)$ 번째 원소에 $a(k)$ 의 값을 부여하고 나머지 원소는 불투명(그림 4에서 0로 표시)하게 하면 CCD출력신호는 입력에 비해 $(D+1)T$ 만큼 지

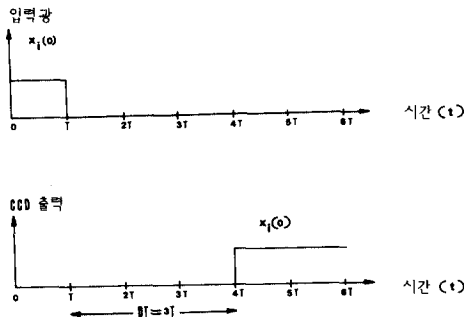


그림 3 비감광성 원소수가 D개인 CCD의 임펄스응답 ($D=3$) Impulse response of CCD having D-dummy pixels ($D=3$).

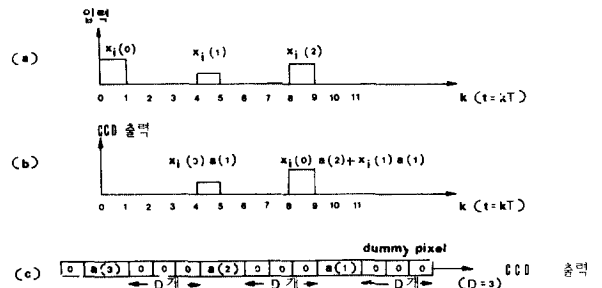


그림 4 Mask 형태(c)와 CCD의 입출력(a, b) (a, b): input/output signals of CCD. (c): mask structure.

연되어 나타난다. 이 CCD출력신호가 바로 식(4)의 예측신호가 됨을 알 수 있다. 한편 위 방법은 그림 1-(b)의 DPCM 시스템에서 $x(n)$ 의 값이 시작될 때에 예측치 $x_0(n)$ 이 나와야 하는 조건을 만족함을 알 수 있다.

그런데 방법 1은 CCD 한 원소에 해당하는 마스크의 하나의 원소에 $a(k)$ 값을 나타내야하는 기술적인 어려움이 있다. 즉, 마스크 제작상의 마스크의 분해능에 달려있기 때문이다.

방법 2 : 분산형 마스크

위 방법 1은 마스크의 제작이 어려운 점이 있다. 방법 2는 마스크 제작의 용이성을 위해 고안한 방법이다.

이 방법의 원리를 설명하기 위하여 우선 그림 5의 예를 들겠다. 그림 5의 (a)와 같이 CCD의 $C(k)$ 원소에 해당하는 마스크의 원소의 값이 $k=4, 5, 6$ 에서 각각 1, 2, 3의 값을 갖고 나머지는 불투명할 때에 입력신호를 6T동안 일정하게 입사시키면 ($0 \leq t \leq 6T$), CCD내부의 신호 분포는 그림 5의 (b)와 같게 된다. 즉 첫 T 동안은 저장만할 것이고 다음 T동안은 한 원소 이동하

면서 저장하게 됨으로 합산이 될 것이다. 이렇게 이동 합산을 되풀이하게 되면 그림 5의 (c)와 같은 CCD출력을 얻게 되는데 $6T \leq t \leq 10T$ 까지의 값이 바로 마스크의 원소의 합과 동일함을 알 수 있다. ($6=1+2+3$). 그림 5의 (b)도의 () 안의 숫자는 출력신호를 뜻한다.

이 결과에서 만약 마스크의 원소값이 $k=10, 11, 12$ 에서도 각각 1, 2, 3이라면 $0 \leq t \leq 6T$ 동안의 입력에 대한 출력은 그림 5의 (c)를 6T만큼 이동한 결과와 동일할 것임을 알 수 있다. 또한 입력신호를 6nT만큼 지연시키면 $k=4, 5, 6$ 의 마스크에 의한 CCD출력신호는 그림 5의 (c)에 비하여 6nT만큼 지연되어 나타날 것이다.

여기서 CCD의 $C(k)$ 원소에 해당하는 마스크의 원소를 $m(k)$ 라 하자.

입력 광신호 $x_i(n)$ 이 $6nT \leq t \leq 6(n+1)T$ 에서 6T동안 일정하게 holding한 값이고 $m(k), a(k)$ 가 각각 식 (9), (10)으로 주어지면, CCD출력신호는 $t=6nT$ 마다 예측 신호에 해당하는 $x_0(n)$ 을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 한편 $x_i(n)$ 과 $x_0(n)$ 이 동일구간(6T) 동안의 신호여야되기 때문에 CCD출력신호를 $t=6nT$ 에서 표본화하여 6T만큼 holding해야 한다.

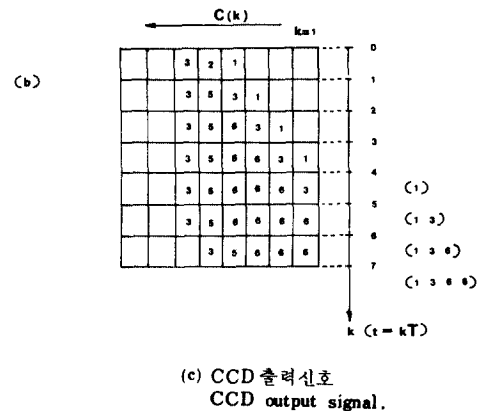
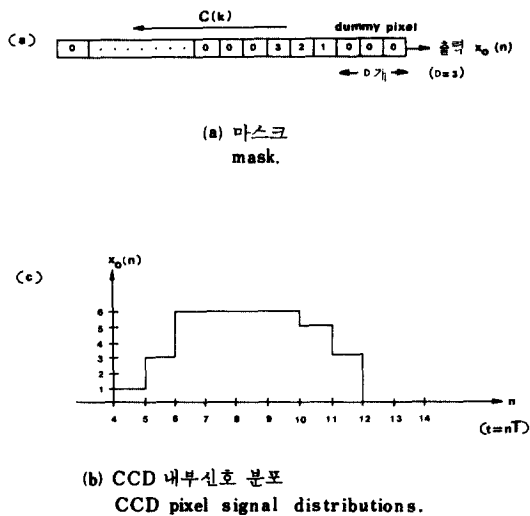


그림 5 유한 sequence 입력에 대한 CCD 내부 및 출력신호 CCD pixel signal and output signal with finite input sequence.

$$m(k) = \begin{cases} m(k), & 6i-2 \leq k \leq 6i \text{ (} i \text{는 양의 정수)} \\ 0, & \text{기타} \end{cases} \quad (9)$$

$$a(k) = \sum_{j=6k-2}^{6k} m(j) \quad (10)$$

위 과정에서 사용한 마스크가 본 논문에서 제시한 분산형 마스크이다. 즉, 예측계수 $a(n)$ 을 마스크의 여러 원소에 분산시키는 것을 말한다.

그러면 일반적인 분산형 마스크의 구조 및 CCD 출력 형태를 알아보자.

CCD의 비감광성 원소의 수를 D , $a(n)$ 을 분산시킨 원소의 수를 A , CCD의 $C(k)$ 원소에 대응되는 마스크의 원소를 $m(k)$, 한 표본 입사광의 시간폭을 $(D+A)T$ 라고 하자($D+A=P$).

$a(k)$ 를 A 개의 마스크 원소에 분산시킨 분산형 마스크는 그림 6과 같고, $a(k)$ 는 식 (11)로 표현된다.

$$a(k) = \sum_{j=kP-A+1}^{kP} m(j) \quad (11)$$

그림 7은 마스크의 원소가 식 (12)와 같은 분산형 마스크를 사용할 경우의 임펄스 응답이다.

$$m(k) = \begin{cases} 1, & D+1 \leq k \leq P-Z \\ 0, & \text{기타} \end{cases} \quad (12)$$

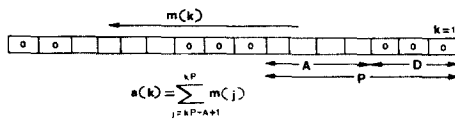


그림 6 분산형 마스크 구조
Dispersive mask structure.

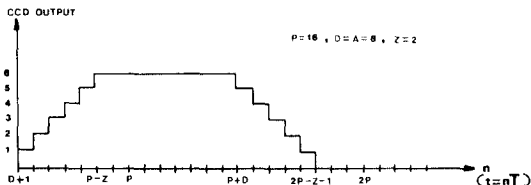


그림 7 식(12)분산형 마스크를 사용할 경우의 임펄스 응답.
Impulse response with the dispersive mask (11).

여기서 Z 는 정수이다($0 \leq Z \leq A$).

그림 8은 분산형 마스크를 사용하였을 때의 CCD의 입·출력 파형을 도시한 것이다. 여기서 S/H는 CCD 출력신호를 PT마다 표본하여 holding한 것을 뜻한다.

이상에서 분산형 마스크를 사용하게 되면 예측계수의 값을 A 개의 원소에 분산시키기 때문에 마스크의 분해능 문제는 방법 1보다는 감소한다. 반면에 방법 1의 신호주기는 $(D+1)T$ 였으나 방법 2는 $(D+A)T$ 로, 주어진 CCD의 원소수에서 사용할 수 있는 예측차수 N 의 값이 작게 되는 점이 있다.

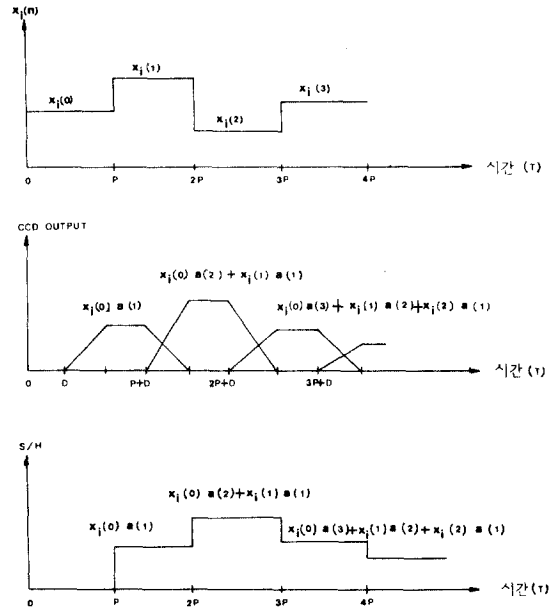


그림 8 분산형 마스크를 사용할 때의 입출력 파형
Input/output waveform with the dispersive mask.

4. 실험 및 결과

예측계수의 극성을 분리한 시스템(3-2)를 사용하여 그림 9 임펄스 응답으로 성능을 분석하였다.

그림 9에 필요한 예측계수, 입력광원, 수신영상센서, 마스크 등에 대한 실험준비 사항부터 살펴 보기로 한다.

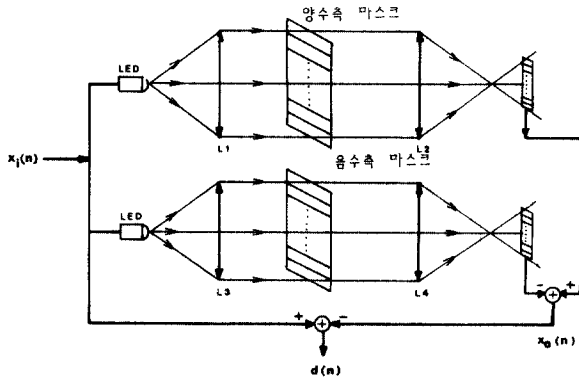


그림 9 실험 약도
Experimental Schema.

4-1 실험준비 사항

1) 선형 감광성 CCD

D=16, 감광원소수가 128, 화소의 크기가 28 × 32μm²인 선형 감광성 CCD이다. (TCD104C: Toshiba). 입력광의 파장이 650nm일때 가장 감도가 좋고 전체 전하 이동 손실율이 5% 정도이다.

2) 예측계수

음성신호를 10KHz로 표본화하여 자기상관함수 R(n)을 구하여 식 (3)에 의하여 예측계수 a(n)을 4~7차인 경우에 풀었다(표1,2). 표2에서 a(n)의 값이 n이 짝수이면 음수이고 n이 홀수이면 양수이므로 이들을 마스크로 분리하기 때문에 전하 이동 손실에 의한 간섭현상은 무시해도 되겠다.

표 1 자기상관함수
Autocorrelation.

R(0)	R(1)	R(2)	R(3)	R(4)	R(5)	R(6)	R(7)
1.0	.9302	.7930	.7475	.4871	.3224	.1512	-.0130

표 2 예측계수
Prediction Coefficients.

N	a(1)	a(2)	a(3)	a(4)	a(5)	a(6)	a(7)
4	1.5452	-.9742	.6460	-.3417			
5	1.5695	-1.0201	.7153	-.4516	.0711		
6	1.5943	-1.1776	.9647	-.8073	.6184	-.3487	
7	1.6524	-1.2806	1.0993	-.9681	.8146	-.6144	.1667

3) 입력광원

CCD가 적색 부근에서 감도가 양호하기 때문에 시중에서 여러가지 LED를 구입하여(규격 없음) 선형성과 공간적 조도의 특성이 가장 양호한 것을 택하였다.

4) 분산형 마스크

3-3절에서 고안한 분산형마스크를 제작하였다. 예측계수 N이 4, 5, 6, 7일 때 각각 입력광의 구간(PT)을 32T, 31T, 25T, 21T로 하였다. 그리고 1장에서 언급한 binary 형으로 마스크의 원소를 나타냈다.

실재마스크 제작은 0.2mm 굵기의 흑색 펜으로 마스크의 원소가 다 투명할 때에 0.1mm 간격으로 19번 직선을 그어 실제 폭은 2mm가 된다. 한 번 그을 때 선의 폭이 0.2mm가 되므로 한 원소의 분해능은 1/10이다. 그리고 CCD화소 간의 경계에는 감광성이 비균일하고 간섭현상이 있기 때문에 마스크의 원소 사이에 0.5mm 간격을 두었다. 따라서 완전한 마스크의 최소의 폭은 2.5mm, 전체 128원소의 길이가 32cm가 되도록 plot한다음 1/(2√200)배로 축소하여 고분해성 유리판에 음화로 현상한 것을 실제 마스크로 사용하였다.

5) 광의 공간적 비균일성

CCD를 TDI로 운영하지 않고 line image device 형으로 운영하여 집광렌즈(그림 9의 L1, L3)에 의한 공간적 조도특성을 촬영한 것이 그림 10과 같다. 여기서 중앙부에 비하여 가장자리부근이 조도가 약 85% 정도로 떨어지기 때문에 마스크의 각 원소의 값을 동일하다고 하여도 실제 출력은 중앙 부근의 마스크에 의한 값이 더 크게 된다. 따라서 이점을 고려하여 예측계수의 값을 분산시켜야 된다.

그림10의 조도 특성 I(n)을 식 (12)로 근사화하였다.

$$I(n) = \cos((n-64.5)/2) \tag{12}$$

여기서 I(1)=I(128)=0.85, I(64)=1임을 알 수 있다.

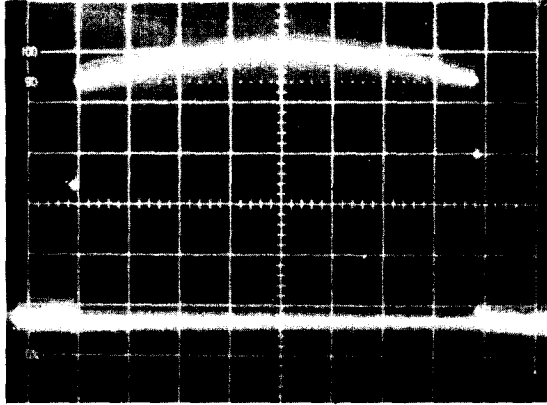


그림10 LED의 조도 특성
Intensity of illumination of LED.

6) 예측계수의 부호화

마스크의 각 원소의 값을 $m(n)$, 광의 공간적 비균일성에 의한 마스크의 각 원소의 값을 $m_0(n)$ 이라고 할때 $m_0(n)$ 및 예측계수 $a(k)$ 는 식(13)으로 표시할 수 있다(주의: 여기서는 CCD의 감광성 원소만 고려하기 때문에 여기서의 $m(1)$ 은 식(11), (12) 및 그림 6의 $m(D-1)$ 과 같다).

$$m_0(n) = I(n)m(n)$$

$$a(k) = \sum_{(k-1)P+1}^{(k-1)P+A} m_0(n) \tag{13}$$

표 2에서의 4차 예측기의 예측계수 중 가장 큰 값이 $a(1)$ 으로 1.5452이다. 위 4)의 과정에서 4차의 경우 A의 값은 16이므로 $a(1)$ 의 값을 마스크의 16원소내에 분산시키면 된다. 5)의 과정을 무시한다면 마스크의 원소가 다 투명할 때의 원소값을 0.1로 하면 $a(1)$ 은 마스크의 15원소를 다 투명하게 하고, 그리고 한 원소를 절반만 투명하게 하면 되겠다. 마찬가지로 7차인 경우에는 $A=5$, 가장 큰 계수는 $a(1)=1.6524$ 이므로 마스크의 단위 원소의 값을 약 0.33으로 하면 5개의 원소를 투명하게 하면 된다. 그러나 식(12)처럼 조도가 불균일하므로 식(13)의 관계를 고려하여야 한다. 즉, 광의 공간적 조도특성이 균일하다고 볼때의 마스크의 단위 원소값(원소가 다 투명할 때)을 N차 예측의 경우에 $S(N)$ ($N=4,$

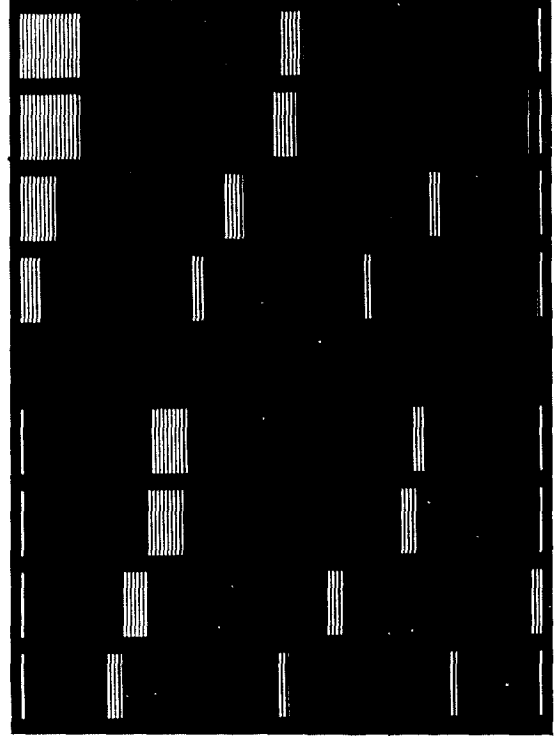


그림11 마스크(음화)
Negative print of mask.

5, 6, 7)이라 정한 다음 식(13)을 풀면 된다.

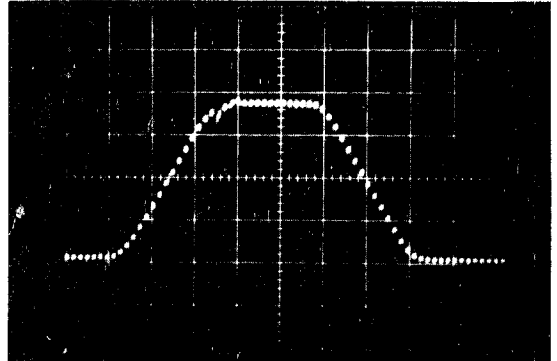
그림11은 $S(4)=.1165$, $S(5)=.1225$, $S(6)=.2095$, $S(7)=.3735$ 일 때의 음·양을 분리한 분산형 마스크의 확대한 음화로 위 4줄은 차례로 4, 5, 6, 7차의 양의 예측계수에 해당하고 아래 4줄은 차례로 4, 5, 6, 7차의 음의 예측계수에 해당한다. 그림11의 음수측 마스크의 맨 처음 원소와 음·양마스크의 맨 마지막원소는 CCD를 단순한 선형 영상 센서로 운용하여 마스크와 CCD 화소간의 일대일 대응여부를 알기 위하여 넣어 놓은 것이다.

4-2 실험 결과

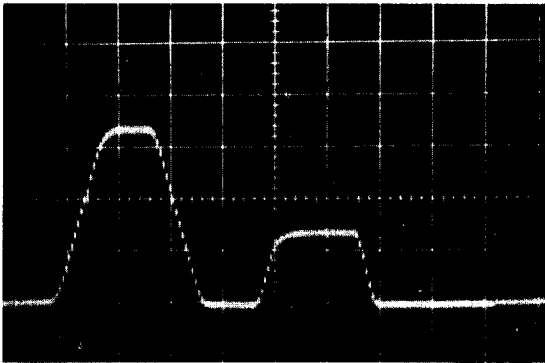
그림12-(a)는 실험장치도로 중앙 부분이 2개의 선형 감광성 CCD 이고 양단이 광원이고 좌우 중앙이 음과 양의 마스크이다. 그림12-(b)는 시험적인 분산형마스크의 실험결과이다. ($m(k) = 1, 1 \leq k \leq 16, m(k) = 0$, 기타; 입력은 32 T



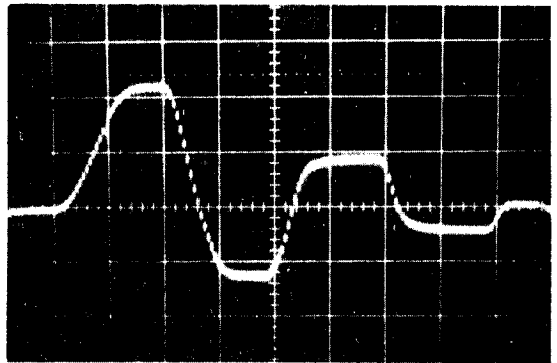
(a) 실험시스템
Experimental system.



(b) 시험마스크에 의한 임펄스 응답
Impulse response of test mask.



(c) 4차 양의 마스크에 의한 임펄스 응답
Impulse response of 4th order positive mask.



(d) 4차 음·양의 마스크에 의한 임펄스 응답
Impulse response of 4th order both positive and negative masks.

그림 12 실험 결과
Experimental results.

동안의 임펄스, $1/T=320\text{KHz}$). 여기서 rising 펄스의 16번째에 감쇄가 있는 것은 실험에 제작한 시스템의 분주 회로에 (16T구간)의 한 잡음에 기인한 것으로 보인다. 그림 12-(c)는 4차 예측기의 양의 계수에 의한 임펄스 응답이다. 그림 12-(d)는 4차 예측기의 음·양의 계수를 분리한 마스크를 사용하여 얻은 완전한 임펄스 응답이다. 그림 12-(d)의 결과를 토대로 표 3을 계산하였다. 이 표에서 $e(i)$ 는 $a(i)$ 의 실험 결과치이다. 본 실험에서 제작한 시스템의 오차 범위는 5% 이내였음을 알 수 있다. 이러한 오차가 나온 이유는 마스크의 분해능, 전하이동손실, 시스템의 불완전성, LED의 조도 특성에 기인되었다고 본다.

$$a(n, 1) \cong \frac{a(n)}{a(1)} \quad e(n, 1) \cong \frac{e(n)}{e(1)}$$

표 3 실험결과
Experimental result.

n	a(n, 1)	e(n)	e(n, 1)	$\frac{ a(n, 1) - e(n, 1) }{ a(n, 1) } \times 100$
1	1	2	1	0
2	-0.630	-1.25	-0.625	0.79
3	0.418	0.85	0.425	-1.67
4	-0.221	-0.42	-0.210	4.98

5. 결 론

CCD의 응용예의 하나로서, 선형 감광성 CCD를 TDI 형으로 운용하여 DPCM의 저차수 선형 예측기를 실현할 수 있는 광전자 시스템을 구성

하였다.

CCD 자체의 비감광성 원소의 의한 시간지연을 고려하고 마스크제작에 용이성을 위하여, 하나의 예측계수를 마스크의 여러 원소에 분산시키는 분산형 마스크를 고안하여 시스템의 입출력 관계를 분석하였고 실험으로 확인하였다.

실험 결과 약 5% 정도의 오차가 나타났는데, 이를 보완하기 위해서는 마스크의 공간분해능을 높이고 광학시스템을 안정하게 하여야 되겠다. 또한 마스크 제작시에 입력광의 조도특성, CCD의 전하이동효율 및 각 화소의 감도등을 고려하여 마스크의 각 원소의 단위값을 조정하여야 되겠다.

한편 본 논문에서 제안한 분산형 마스크는 주어진 CCD의 원소수에 따라 예측차수가 제한되지만 마스크 원소의 분해능이 예측계수의 dynamic range보다 작을 때 효과적으로 사용할 수 있어, 임펄스 응답 sequence의 길이나 변환행렬의 크기가 허용되는 범위내에서 CCD를 이용한 기존의 다중채널 FIR여파기나 1, 2차원 신호변환기에 분산형 마스크를 사용하면 마스크제작이 용이하리라 본다.

이 논문은 1984년도 한국과학재단 연구비에 의하여 이루어졌습니다.

參 考 文 獻

- (1) M. A. Monahan et al., "The use of Charge Coupled Devices in electro optical processing," Proc. International conference on the application of Charge Coupled Devices, San Diego, CA, pp. 217-227, 29-31 Oct. 1975.
- (2) K. Bromley et al., "Incoherent optical signal processing using Charge Coupled Devices(CCDs)," Proc. International Optical Computing Conference(IOCC '77), San Diego, CA, SPIE vol. 118, Opt. Signal & Image Processing(IEEE catalog no. 77 CH1265-8C vol. 1), pp. 118-123, 23-24 Aug. 1977.
- (3) M. A. Monahan et al., "Incoherent optical correlators," Proc. IEEE, vol. 65, no. 1, pp. 121-129, Jan. 1977.
- (4) J. W. Goodman and L. M. Woody, "Method for performing complex-valued linear operations on complex-valued data using incoherent light," App. Optics, vol. 16, no. 10, pp. 2611-2612, Oct. 1977.
- (5) J. W. Goodman et al., "Fully parallel, high-speed incoherent optical method for performing discrete Fourier Transforms," Optics letters, vol. 2, no. 1, pp. 1-3, Jan. 1978.
- (6) 최태영, "CCD를 이용한 행렬 계산," 대한전자공학회 하계종합학술대회논문집, vol. 6, no. 1, pp. 205-207, 1983년 7월.
- (7) 최태영, "광학적 신호처리," 전자공학회 잡지, vol. 12, no. 5, pp. 47-52 1985년 10월.
- (8) John G. Proakis, "Digital communications, McGraw-Hill, Inc., 1983.
- (9) L. R. Rabiner and R. W. Schafer, Digital processing of speech signals, Prentice-Hall, Inc., 1978.
- (10) J. No 11, Digital coding of waveforms, Prentice-Hall, I Inc., 1984.



崔太永(Tae Young CHOI) 正會員
 1950年10月24日生
 1970年2月~1974年2月: 서울대학교工科大學電子工學科卒業(工學士)
 1976年9月~1978年8月: 서울대학교大學院電子工學科(工學碩士)
 1979年10月~1982年12月: 프랑스 Aix-Marseill 3大學(工學博士)
 1978年9月~現在: 亞洲大學校工科大學電子工學科助教授



愼哲宰(Chull Chai SHIN) 正會員
 1941年6月4日生
 1960~64: 延世大學校 電氣工學科(工學士)
 1966~68: 延世大學校大學院電子工學科(工學碩士)
 1980~83: 延世大學校大學院 電子科(工博)
 1970~77: 光云工大 助教授
 1977~現在: 亞洲大學校 電子工學科教授 在任中(現在美 Florida大 訪問研修中)