

AOD/CCD 를 이용한 광신호 상관기의 신호검출에 관한 연구

김 경 태                      오 창 석                      박 한 규  
 연세대학교                  전자공학과

A Study on Signal Detections of Optical Signal  
 Correlator using AOD/CCD

KIM KYUNG TAE                  OH CHANG SUK                  PARK HAN KYU  
 Yonsei Univ.

ABSTRACT

An acousto optic correlator system for performing real-time correlation of two signals is constructed. It uses AOD is described. The statistical analysis for correlator's output SNR is presented and experimental procedure for implementation of this technique are result shown. Since the correlation intergration is performed in time rather than space, the SNR of this system can be greatly improved.

1. 서론

최근 광통신 시스템에서 송수신 신호간의 지연시간 등을 감지하기 위하여 광신호 상관기를 사용해야 할 필요성이 요구되며 잡음에 묻힌 신호를 용이하게 검출 하려면 광신호 상관기의 출력 SNR 을 높이는 방법이 요청되고 있다.

본 연구에서는 공간적으로 출력상관신호를 얻는 종래의 광신호 상관기에 비하여 출력 SNR 을 높일수 있고, 시간적으로 출력상관신호를 얻는 기존의 광신호 상관기보다 시스템 구성이 간단하며 신호의 검출이 용이한 광신호 상관기를 구현하기 위하여 AOD 를 강도 변조모드로 동작시키고 CCD 의 적분시간을 증가시켜 출력상관신호의 SNR 을 높이는 방법을 연구한다. 그리고 AOD 에 가해진 입력신호에 의해 회절강도가 변조되어 CCD 로 검출된 출력상관신호의 SNR 이 광신호 상관기의 여러가지 파라미터에 의하여 받는 영향에 대한 이론적인 해석 및 실험결과를 제시한다.

2. AOD 의 동작모드

AOD 의 동작모드는  $\alpha$  파라미터에 의하여 구분된다

$$\alpha = 2\pi\Delta n L/\lambda - \pi L n C |S_a|/\lambda \quad (1)$$

여기서  $\Delta n$  은 AOD 매질의 굴절율변화,  $C$  는  $\Delta n$  에 관련된 상수,  $|S_a|$  는 acoustic field 의 실효 크기를 나타낸다.  $\alpha$  파라미터에 의한 AOD 의 동작 모드는

- i)  $\alpha < 1$  (강도 변조모드)
- ii)  $\alpha > 1$  (진폭 변조모드)으로 구분된다.

AOD 가 Bragg 영역에 있을경우, 0차 및 1차 회절광의 진폭은

$$E_0 = E_i \cos(K_c |S_a| L/4) \quad (2)$$

$$E_{\pm 1} = -j E_i \sin(K_c |S_a| L/4) \quad (3)$$

으로 되며  $E_i$  는 입사광의 진폭이다.

(2)식과 (3)식의 관계는 그림1와 같으며 AOD 가 진폭변조모드로 동작하는 경우에는 1차 회절광만이 중요하므로 (2)식과 (3)식은

$$E_0 = E_i \quad (4)$$

$$E_{\pm 1} = -j E_i \left(\frac{1}{4}\right) K_c |S_a| L \quad (5)$$

으로 근사화 되어서  $\pm 1$ 차 회절광의 진폭이 acoustic field 의 크기에 선형적으로 변화된다. 그러므로 AOD 가 강도변조모드로 동작할때에는  $\pm 1$ 차 회절광의 강도가 선형적으로 변화하게 된다.

선형적인 강도변화를 얻기 위해서는 회절효율  $\eta =$

$$|E_{\pm 1}|^2 / |E_0|^2 \text{ 가 } 50\% \text{ 되는 점에서 AOD 를 바이}$$

아스 시켜야 한다. 그림 1의 P 점은  $-50\% (\alpha = -\pi/2)$  을 나타내 주는점이 된다.

AOD 가 강도변조모드 동작 및 Bragg 영역에 있을때  $\pm 1$ 차 회절광의 강도는 입력신호에 비례한다.

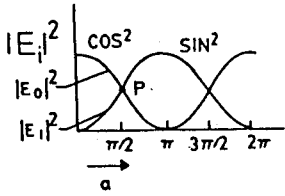


그림 1. AOD 의 a 대 회절광의 강도

3. AOD/CCD 를 이용한 광신호 상관기

(1) 출력 상관신호의 검출

그림2와 같은 광신호 상관기에서 상관을 시키고자 하는 신호는  $S_a(t)$  와  $S_b(t)$  이다. 강도변조모드로 하기 위하여 바이아스  $B_1$  및  $B_2$  에 상관을 시키고자 하는 신호를 가하여 RF 캐리어를 진폭변조시켜야 하므로  $S_1(t)$ 와  $S_2(t)$ 는

$$S_1(t) = [B_1 + S_a(t)] \cos \omega_c t \quad (6)$$

$$S_2(t) = [B_2 + S_b(t)] \cos \omega_c t \quad (7)$$

가 된다.  $P_1$  을 떠나는 1차 회절광의 강도는

$$I_1(t) = B_1 + S_a(t) \quad (8)$$

에 비례하며  $P_2$  에 있는 AOD 로부터 빠져 나오는 1차 회절광의 강도는

$$I_2(t, x) = [B_2 + S_b(t)] [B_1 + S_a(t-x/v)] \quad (9)$$

에 비례한다. 여기서  $x$  는 AOD 내에서 음파가 진행하는 거리이고  $v$  는 음파의 속도이다.

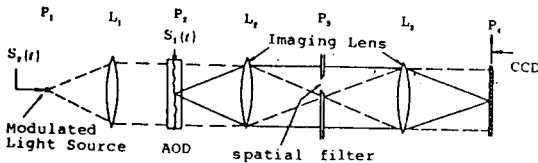


그림 2. 광신호 상관시스템

렌즈  $L_2$ ,  $L_3$  및 Spatial filter 의 역할은 회절광과 회절되지 않은 광을 분리시키고 동시에 1차 회절광만을  $P_4$  에 있는 광검출기 어레이에 조사시킨다. 신호의 상관을 얻으려면 (9)식을 적분해야하므로 광검출기 어레이의 적분시간  $T_1$  이면 출력상관신호는

$$I_1(x) = \int_{-T_1/v}^{T_1/v} [B_1 + S_a(t)] \cdot [B_2 + S_b(t-x/v)] dt \quad (10)$$

$S_a(t)$  및  $S_b(t)$  의 평균값이 0가 되면

$$I_1(x) = B_1 B_2 T_1 + \int_{-T_1/v}^{T_1/v} S_a(t) S_b(t-x/v) dt \quad (11)$$

이 되며,

(11)식의 첫째항은 신호의 상관과 무관한 바이아스이며 둘째항은  $S_a(t)$  와  $S_b(t)$  간의 상관을 나타낸다.

(2) 출력상관신호의 SNR

그림2와 같은 광신호 상관기에서  $S_a(t)$ 와  $S_b(t)$  가 다음과 같다고 하자

$$S_a(t) = S(t) \quad (12)$$

$$S_b(t) = S(t - \tau_0) + n(t) \quad (13)$$

여기서  $\tau_0$  는 두신호간의 시간지연이고  $n(t)$ 는 잡음이다.

$X/V = \tau, B_1, B_2$  이면 광검출기 어레이의 출력  $C(\tau)$  는 다음과 같다

$$C(\tau) = B_1 B_2 + \frac{B_1}{T_1} \int_{-T_1/v}^{T_1/v} S(t-\tau) dt + \frac{B_2}{T_1} \int_{-T_1/v}^{T_1/v} n(t) dt + \frac{B_1}{T_1} \int_{-T_1/v}^{T_1/v} S(t-\tau) dt + \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/v}^{T_1/v} S(t-\tau) n(t) dt + \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/v}^{T_1/v} S(t-\tau) S(t-\tau_0) dt$$

시간지연이 없고  $\tau=0$  일때 상관피크가 있다고 하면 기대값  $E(C(0))$  는

$$E(C(0)) = \frac{1}{T_1} \int_{-T_1/v}^{T_1/v} E(S(t) S(t)) dt = R_S(\tau) |_{\tau=0} = R_S(0) \quad (15)$$

으로 되며  $R_S(0)$  는 자기상관을 나타낸다.

$S(t)$  를 가우시안분포 신호라고 가정하고 가우시안랜덤 변수들에 대한 4차 모멘트 정리를 이용하면  $V_{sr}(C(\tau))$  는 다음과 같다.

$$V_{sr}(C(\tau)) = (B_1^4/T_1^4) \int_{-T_1}^{T_1} (T_1 - |z|) \{2R_s(z) + R_s(z) + (1/B_2^2) R_s^2(z) + (1/B_2^2) R_s(z) R_n(z) + R_n(z) + (1/B_2^2) R_n(z) R_n(z) + 2R_n(z) R_n(z)\} dz \quad (16)$$

$S(t)$  가 가우시안분포 신호이므로  $R_S(z)$  는

$$R_S(z) = R_0 \exp(-\beta^2 z^2) \quad (17)$$

이 된다. 여기서  $\beta$  는 신호의 3[dB] BW 이고  $R_0$  는 신호전력을 나타낸다.

(17)식을 (16)식에 대입한 뒤  $\beta T_1$  가 10보다 크면  $V_{ar}(C(0))$ 는

$$V_{ar}(C(0)) = (R_0/T_1)(2+1/SNR_1)(1/\sqrt{2}\beta) + (R_0B^2/T_1)(4+1/SNR_1)(1/\beta) \quad (18)$$

으로 된다.

$$SNR = \frac{E^2(C(0))}{V_{ar}(C(0))} \Big|_{\tau > 0} \quad (19)$$

(19)식과 같은 SNR 정의로부터 출력상관신호의 SNR는 다음과 같다

$$SNR = \frac{T_1\beta}{\sqrt{2}/2(1+1/SNR_1) + 1/(SBR)^2(4+1/SNR_1)}$$

20

여기서  $SNR_1 = R_0/R_n$ ,  $R_n$ 은 잡음전력, SBR은 신호대 바이아스비이다.

$SNR_1$ 와 SBR을 선정하여 TBWP에 대하여 출력상관신호의 SNR을 계산한 결과는 그림3및 그림4와 같다. SNR (dB)

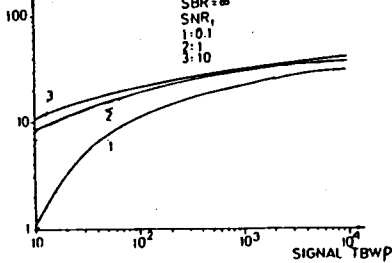


그림3. TBWP에 대한 출력의 SNR

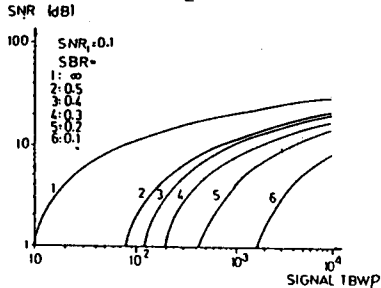


그림4. TBWP에 대한 출력의 SNR

이 결과로부터 광신호 상관기의 출력 SNR는  $\beta$ ,  $T_1$ ,  $SNR_1$  및 SBR을 증가시킴에 따라 개선되며 광신호 상관기를 진폭변조모드로 동작시키는 경우 ( $SBR = \infty$ )가 강도변조모드로 동작시키는 경우 ( $SBR \neq \infty$ )보다 더 높은 SNR을 갖게 됨을 알 수 있다.

4. 실험 및 결과 고찰

광원 1mw He-Ne 레이저를 사용하였으며 레이저광을 변조시키기 위해 대역폭이 15MHZ 인 AOM을 사용하였다. AOM은 그림2의  $P_1$ 에 있는 변조된 광원과 같은 역할을 한다. 신호  $S_2(t)$ 에 의하여 Bragg 각으로 입사한 레이저광이  $A_0$  효과에

의하여 AOM을 빠져 나오는 광을 구경이 작은  $L_0$ 을 사용하여 -1차 회절광을 선정하였다.

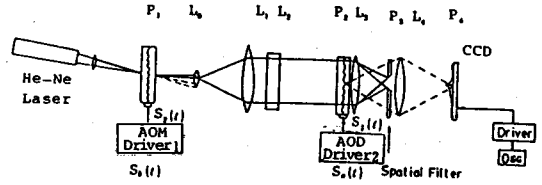


그림 5. 광신호 상관기의 구성도

$L_1$ 에 포함된 cylindrical lens는 대역폭이 30 MHz이고 time aperture가 50μsec을 갖는 AOD를 조사하기 위하여 첨가시켰으며 spatial filter에 의하여 AOD의 +1차 회절광만을 선정하였다. 광검출기 어레이는 1024element CCD를 사용하였고 적분시간  $T_I$ 를 9.7ms까지 변 화시켈수 있는 CCD의 구동회로를 설계하였다. 그리고 AOM 및 AOD의 회절효율이 50%가 되도록 Driver의 바이아스를 조정하여 전체 시스템을 강도 변조모드 ( $SBR = 0.5$ )로 동작시켰다.

실험은 광신호 상관기의 입력신호로서 PRN Code를 사용하였다. 그림6은 PRN Code의  $BW_c = 1MHz$ .

$SNR_1 = \infty$ ,  $SBR = 0.5$ ,  $T_1 = 2.5ms$  일때 자기 상관의 SNR이다.

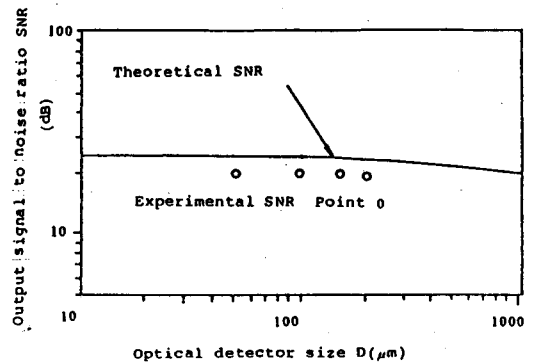
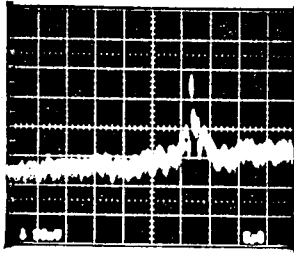


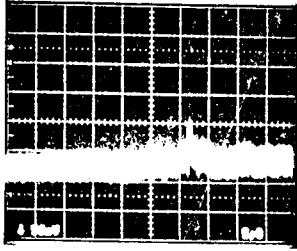
그림6. 광검출기 크기에 대한 출력의 SNR

그림6으로부터 실험치는 이론치에 비해 2 [dB]만큼 낮음을 알 수 있는데 이에 대한 원인은 광검출기 어레이의 잡음, background 광잡음 및 PRN Code 신호발생기에서 나오는 잡음의 영향 탓이라 생각된다.

AOM의 입력에 PRN Code와 백색 가우시안 잡음을 투입하였을때의 출력상관신호는 그림7와 같다.



a)  $SNR_i = 0.3 (-5dB)$



b)  $SNR_i = 0.1 (-10dB)$

그림 7. 출력상관신호

4. D.F.Hotz, "Bulk Acoustic-Optic Signal Processor for Continuous Fourier Transform", Appl. Opt., Vol.23, PP. 1613-1619, May.1984
5. A.V.Lugt, "Fresnel Transforms and Bragg Cell Processors", Appl. Opt., Vol.24, PP.3846-3859, Nov.1985

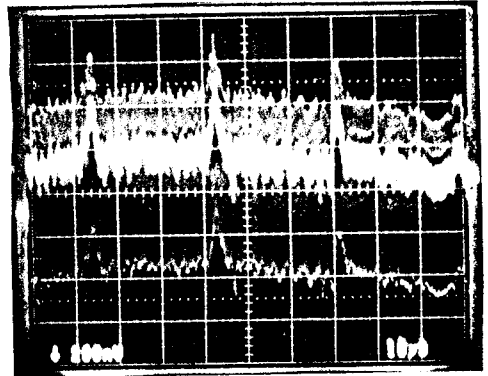


그림. 8

5. 결 론

본 시스템에 의하여 상관함수를 실시간으로 고속처리할 수 있으며 시스템이 저전력 및 강도변조모드로 동작 하려면  $SBR = 0.5$  가 최적  $SBR$  이 됨을 확인하였다. 또한 CCD 의 적분시간을 증가시킴

으로서 출력상관신호의 TBWP 를 높이게 하여  $SNR$  이 개선되고 있음을 볼수 있었고 통계적 해석으로부터 구한 그림3와 그림4는 시스템의 설계지침이 되리라 본다.

본 광신호 상관기에 의하여 잡음에 묻힌 신호를 효율적으로 검출할 수 있었다.

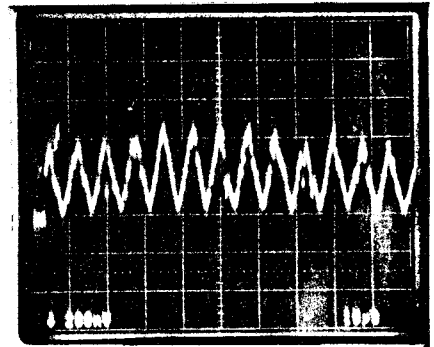


그림. 9

참 고 문 헌

1. A.V.Lugt, "Coherent Optical Processing" Proc. IEEE, Vol. 62, PP.1300-1318, Oct.1974
2. P.Kellman, "time Integrating Optical Signal Processing", Proc.SPIE, Vol.204 PP 63-73, Nov.1976
3. J.L.Horner, "Light Utilization in Optical Correlator", Appl. Opt., Vol. 21, PP 4511-4514, Dec.1982

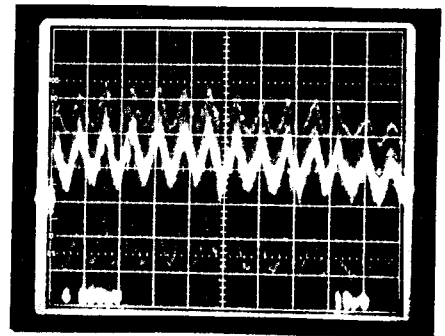


그림. 10