

論 文

Acoustooptic 효과를 이용한 시간 적분 상관기에 관한 연구

正會員 金 慶 泰* 正會員 朴 漢 奎**

A Study on the Time Intergrating Correlator Using Acoustooptic Effect

Kyung Tae KIM* Han Kyu PARK** *Regular Members*

要 約 두 신호의 상관을 실시간으로 처리하는 AOTIC(Acoustooptic Time Intergrating Correlator) 시스템을 구성하였다. 이 시스템은 AOD(Acoustooptic Device)와 CCD(Charge Coupled Device)를 사용한다. 신호의 상관을 얻는 AO 기술을 다룬다. 상관기의 출력 SNR_o에 대한 통계적인 해석을 제시하고 AO기술에 의한 실험의 결과를 보여준다. 상관적분이 공간상보다는 시간상으로 되므로 시스템의 SNR_o을 크게 개선시킬 수 있음을 알 수 있었다.

ABSTRACT An AO TIC system for performing real-time correlation of two signals is constructed. It uses AOD (Acoustooptic Device) and CCD(Charge Coupled Device). An acoustooptic technique for achieving signal correlation is described. The statistical analysis for correlator's output SNR_o 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_o of this system can be greatly improved.

1. 序 論

신호를 광으로 처리하는 방법이 개발된 이후로 광신호 처리 시스템을 광범위하게 연구하여 왔다. 과거에 광마스크를 사용하여 OSP(Optical Signal Processor)를 만들때 입력 신호가 증가할수록 광마스크상에 웨이팅함수를 부호화 하는 작업이 증가하므로 실시간으로 신호처리를 하는데 문제가 된다. 이러한 문제를 해결하기 위하여

광변조기인 AOD를 사용하면 입력신호를 전기신호에 의해 변조시킬 수 있으므로 실시간 신호처리에 광범위하게 응용이 될 수가 있어서 광신호 처리 시스템 개발에 박차를 가하게 되었다^{(2), (3)}.

일반적으로 통신에서 noise에 묻힌 신호 검출 및 송신신호와 수신신호간의 지연 시간등과 같은 것을 정확히 감지하기 위하여 수신신호의 검출이 가장 큰 문제가 된다. 따라서 수신신호를 검출 및 분석하기 위하여 신호 상관기가 필요하다. 종래에는 디지털 신호 상관기로서 고주파 신호를 분석하여 왔다. 이 상관기는 광신호 상관기에 비해 TBW가 높은 신호를 실시간으로 처리하는데 어려움이 따른다.

*, ** 延世大學校大學院 電子工學科
Dept. of Electronics, Yon-Sei University, Seoul 120, Korea.
論文番號 : 86-38 (接受 1986. 9. 21)

이와같은 단점을 개선하기 위하여 실시간으로 수신신호를 고속으로 처리하는 방법이 요청되고 있으며 송신신호와 수신신호간의 스펙트럼을 비교 분석하기 위하여 실시간으로 상관을 이행하는 방법이 요구된다^{(4), (5)}.

이와같이 요구되는 바를 해결하기 위하여 AOD/CCD을 사용하여 신호를 실시간으로 처리할 수 있는 AO TIC에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 AOTIC 시스템을 구성한 뒤 실험을 통하여 얻은 상관출력 SNR₀을 평가함과 아울러 시스템 설계에 필요하는 파라미터들이 시스템에 주는 효과들을 고찰하고자 한다.

2. AO TIC의 概要

1. AO cell의 동작영역과 동작모드 AOM(Acoustooptic Modulator)와 AO cell (긴 time aperture을 갖는 AOD)을 총칭하여 AOD라고 부르겠다.

광파가 음파와 상호작용을 일으켜서 회절되어 나오는 광에 따라 bragg 회절과 raman-nath 회절로 구분한다.

前者는 회절광이 오직 한방향으로 출력되지만 後者는 회절광이 여러 방향으로 나오게 되는데 이들의 구분은 schmidt⁽¹⁾에 의하여

$$Q = 2\pi\lambda L / nA^2 \quad (1)$$

이고 $Q < 1$ 이면 raman-nath 영역, $Q > 7$ 이면, bragg 영역에 속한다.

여기서 $\lambda = 2\pi/k$ 는 사용되는 광의 파장, $A = 2\pi/k$ 는 음파의 파장, L 은 광파와 음파가 서로 만나는 상호작용길이, n 은 AO cell의 굴절율, k 는 사용되는 광의 wave vector, K 는 음파의 wave vector이다.

AOD의 bragg 회절에 대한 기하학적 모양은 그림 1 이고 음파의 진행방향에 대해 입사광의 임계각에 따라 AO cell 동작영역이 구분되기도 한다. bragg 영역에서 임계각은

$$\theta_b = \sin^{-1} \lambda / 2A \quad (2)$$

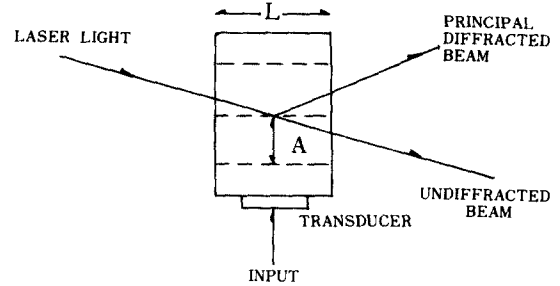


그림 1 AOD의 bragg 회절
bragg diffraction of AOD.

이고 이 식은 결정체 내에서 X 레이 회절의 1차 bragg 조건과 같은 형태이므로 θ_b 를 bragg 角이라 한다.

광을 θ_b 로 입사시키면 회절되어 나오는 광과 회절되지 않은 광이 이루는 각은 $2\theta_b$ 가 되며 음파의 주파수가 낮으면 θ_b 는 작아지고 음파의 주파수가 증가할수록 커진다. 그러나 λ/A 가 상당히 적으므로 θ 는 매우 작다.

raman-nath 영역에서 임계각은 90° 이며 이때의 AO cell의 출력광은 $\sin^{-1}(m\lambda/A)$ 의 각도로 나오게 되는데 그 세기는 $m=0$ 일 때 최대가 되며 $m=1, 2, \dots$ 의 순으로 된다.

AO cell은 동작모드는 α 파라미터에 의하여 구분된다.

$$\alpha = 2\pi\Delta n L / \lambda = \pi L n C |S_s| / \lambda \quad (3)$$

여기서 Δn 은 AO cell 매질의 굴절율변화, C 는 Δn 에 관련된 상수, $|S_s|$ 는 sound field의 실효 크기를 나타낸다. α 파라미터에 의한 AO cell의 동작모드는,

- i) $\alpha \ll 1$ (진폭변조모드)
- ii) $\alpha \gg 1$ (강도변조모드)으로 구분된다.

AO cell이 raman-nath 영역에 있을 경우, n 차 회절광의 진폭⁽⁶⁾은

$$E_n = (-j)^n E_1 J_n(K_c |S_s| L / 2) \quad (4)$$

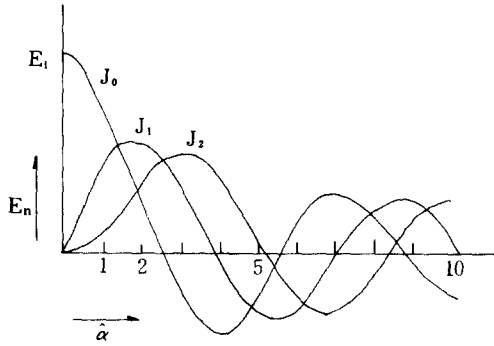


그림 2 raman-nath 영역에서 동작하고 있는 AO cell의 회절광 진폭대 α
Amplitude of diffracted orders versus α for an AO cell operated in the raman-nath regime.

으로 주어진다. 여기서 E_i 는 입사광의 진폭이고 J_n 은 Bessel 함수이다.

그림 2는 (4)의 결과를 보여준다.

AO cell이 bragg 영역에 있을 경우, 0次 및 1次 회절광의 진폭⁽⁷⁾은

$$E_0 = E_i \cos [K_c |S_s| L / 4] \quad (5)$$

$$E_{\pm 1} = -j E_i \sin [K_c |S_s| L / 4] \quad (6)$$

으로 주어진다.

(5)와 (6)의 관계는 그림 3과 같다. AO cell이 진폭변조모드로 동작하는 경우에는 ± 1 次 회절광만이 중요하며 (5)와 (6)는

$$E_0 = E_i \quad (7)$$

$$E_{\pm 1} = -j E_i \left(\frac{1}{4} \right) K_c |S_s| L \quad (8)$$

으로 근사화 되어서 ± 1 次 회절광의 진폭이 선형적으로 변화된다. 한편 AO cell이 강도변조모드로 동작하는 경우에는 ± 1 次 회절광의 강도가 선형적으로 변화된다.

선형적인 강도변화를 얻기 위해서는 회절효율 $\eta = |E_{\pm 1}|^2 / |E_i|^2$ 가 50%되는 점에서 AO cell을 바이아스 시켜야 한다.

그림 3의 P점은 $\eta = 50\% \left(\hat{\alpha} = \frac{\pi}{2} \right)$ 을 나타내

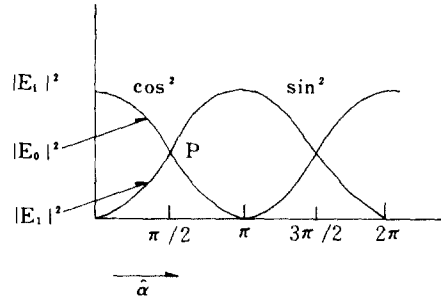


그림 3 bragg 영역에서 동작하고 있는 AO cell의 회절광 강도대 α
Intensity of diffracted orders versus α for an AO cell operated in the bragg regime.

주는 점이 된다. 강도변조모드로 동작하는 경우에 AO cell의 transducer에 가하는 입력은 RF 입력이어야 한다.

AO cell이 강도변조모드 동작 및 bragg 영역에 있을 경우에 ± 1 次 회절광의 강도는 입력신호에 비례한다. raman-nath 영역에 있을 경우에 J_1 이 그림 2에서 보는 바와같이 sin으로 근사화 되므로 ± 1 次 회절광의 강도는 bragg 영역에 있을 경우와 비슷하다.

2. AO TIC의 상관과 개념

AO TIC의 종류로는 간섭성 TIC와 비간섭성 TIC가 있다. 본 논문에서는 비간섭성 TIC에 대해서만 언급하고자 한다. 비간섭성 TIC의 개념은 그림 4의 도움으로 이해 할 수가 있다.

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

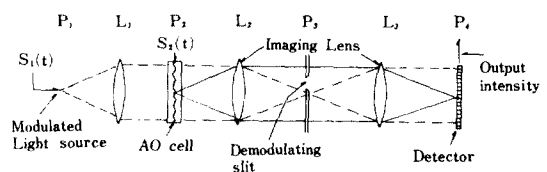


그림 4 비간섭성 Acoustooptic 시간적분상관기
Noninterferometric Acoustooptic time integrating correlator.

RF캐리어를 진폭변조시킨다. 따라서 $S_1(t)$ 와 $S_2(t)$ 는

$$S_1(t) = [B_1 + S_a(t)] \cos W_c t \quad (11)$$

$$S_2(t) = [B_2 + S_b(t)] \cos W_c t \quad (12)$$

가 된다. P_1 을 떠나는 1次회절광의 강도는

$$I_1(t) = B_2 + S_b(t) \quad (13)$$

에 비례하게 되며 이 광범이 렌즈 L_1 에 의하여 균일하게 P_2 에 있는 AO cell을 조사시키게 된다.

P_2 에 있는 AO cell으로부터 빠져 나오는 1次회절광의 강도는

$$I_2(t, x) = [B_2 + S_b(t)] [B_1 + S_a(t - x/v)] \quad (14)$$

에 비례한다. 여기서 x 는 AO cell 내에서 음파가 진행하는 거리이고 v 는 음파의 속도이다.

렌즈 L_2 , L_3 및 P_3 에 있는 slit의 역할은 회절광과 회절되지 않은 광을 분리시킴과 동시에 1次회절광만을 P_4 에 있는 광검출기 어레이(detector array)에 image시키는 역할을 하고 있다. 특히, slit는 광검출기 어레이를 조사하는 $I_3(t, x)$ 와 $I_2(t, x)$ 가 같도록 하는 역할을 하는 동시에 0次광을 차단시킨다.

신호의 상관을 얻으려면 (14)를 적분해야하므로 적분기능은 광검출기어레이로서 수행되어야한다. 광검출기어레이의 적분시간을 T_1 , 이면 최종상관출력 $I_4(x)$ 은

$$I_4(x) = \int_{-T_1/2}^{T_1/2} [B_2 + S_b(t)] \cdot [B_1 + S_a(t - x/v)] dt \quad (15)$$

가 된다. 여기서 $T_1 \gg 1/BW_s$ (신호의 3dB 대역폭)이다.

그림 4와 같은 시스템은 AO cell 대신에 포토마스크를 사용하는 bromley의 시스템과 유사하므로 기본개념은 같다. 그러나 AO TIC시스템이 bromley의 시스템에 비해 우수한 점은 다음과

같다.

1) 시스템 구성이 간단하다.

2) AO cell이 시간상으로 길게 뻗을 수 있는 신호마스크를 실시간으로 제공해 준다.

$S_a(t)$ 및 $S_b(t)$ 가 평균값이 Zero 값을 갖는다면, (15)은 간단히 (16)으로 된다.

$$I_4(t) = B_1 B_2 T_1 + \int_{-T_1/2}^{T_1/2} S_a(t) S_a(t - x/v) dt \quad (16)$$

식(16)의 첫째항은 신호의 상관과 무관한 바이아스를 나타내며 식(16)의 둘째항은 $S_a(t)$ 와 $S_b(t)$ 간의 상관을 나타낸다.

3. AD TIC의 상관출력 SNR₀.

AO TIC의 상관출력 SNR₀는 SNR₁⁽⁹⁾ 및 SNR₂⁽⁸⁾로 구분하며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$SNR_1 = \frac{E^2[C(0)]}{\text{Var}[C(0)]} \quad (17)$$

$$SNR_2 = \frac{E^2[C(0)]}{\text{Var}[C(\tau)]} \quad |\tau \gg 0 \quad (18)$$

여기서 $C(0)$ 는 상관변수 $\tau = 0$ 에서 상관피크값, $C(\tau)$ 는 $\tau = 0$ 에서 떨어진 점($\tau \gg 0$)의 상관값, E 는 기대값이고 Var 는 분산값을 나타낸다. SNR₁은 식(17)에서 보는바와 같이 상관피크 값을 제외한 다른 상관값(sidelobe 값)을 내포하지 않으므로 레이더 및 spread spectrum 시스템에서 잡음에 묻힌 신호의 존재를 파악하는데 사용된다. SNR₂는 식(18)에서 보는 바와 같이 상관피크 대 상관sidelobe의 비로 되므로 레이더 통신에서 목표물의 위치 및 도착시간 등과 같은 파라미터추정에 사용된다.

상관을 시키고자하는 신호인 $S_a(t)$ 와 $S_b(t)$ 가 다음과 같은 Scenario에서 그림 4와 같이 강도 변조모드로 동작하는 AO TIC의 SNR₁과 SNR₂을 통계적으로 해석하고자 한다.

$$S_a(t) = [B_1 + S(t - \tau)] \quad (19)$$

$$S_b(t) = [B_2 + S(t - \tau_0) + n(t)] \quad (20)$$

광검출기어레이에 입사하는 광강도 $I(t, \tau)$ 는

$$I(t, \tau) = [B_1 + S(t - \tau)] \\ [B_2 + S(t - \tau_0) + n(t)] \quad (21)$$

이 된다. 여기서 τ_0 는 송신신호와 수신신호간의 지연시간이고 $n(t)$ 는 잡음이다. $N+1$ 개의 element으로 구성된 광검출기어레이를 포함시켜서 n 번째의 광검출기의 상관출력을 나타내면 다음과 같다.

$$I_n = \frac{1}{T_1} \int_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \int_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} \omega_n(\tau) [B_1 + S(t - \tau)] \\ \times [B_2 + S(t - \tau_0) + n(t)] d\tau dt \quad (22)$$

여기서 $\tau = x/v$, $D = D_s/V$ (D_s 는 거리 단위로 광검출기크기), $n = -N/2 \dots, 0 \dots N/2$ 이고 $\omega_n(\tau)$ 는 n 번째 광검출기의 웨이팅함수이다. 해석을 간단히 하기 위해서, $\omega_n(\tau) = 1$ 및 $B_1 = B_2 = B$ 라고 가정하고 B_1, B_2 에 대한 적분(상관출력의 바리아스)를 생략하면 식(22)은 다음과 같이 된다.

$$I_{(n)} = \frac{B}{T_1} \int_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \int_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} S(t - \tau) d\tau dt \\ + \frac{B}{T_1} \int_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \int_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} S(t - \tau_0) d\tau dt \\ + \frac{B}{T_1} \int_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \int_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} n(t) d\tau dt \\ + \frac{1}{T_1} \int_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \int_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} S(t - \tau) n(t) dt \\ + \frac{1}{T_1} \int_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \int_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} S(t - \tau) S(t - \tau_0) d\tau dt \quad (23)$$

$S(t)$ 와 $n(t)$ 가 서로 독립적이고 평균값이 Zero인 경우 식(23)의 첫번째부터 네번째까지의 적

분들은 Zero가 되어서 마지막 항만 남게 된다. 마지막 항의 자승기대값은 다음과 같다.

$$E^2[I(n)] = \left[\int_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} R_s(\tau - \tau_0) d\tau \right]^2 \quad (24)$$

신호와 잡음이 가우시안분포라고 가정 하였을때 여기서 $R_s(\tau)$ 는 신호의 자기상관함수를 나타낸다.

$I(n)$ 의 분산 $\text{Var}[I(n)]$ 은

$$\text{Var}[I(n)] = E[I(n)]^2 - E^2[I(n)] \\ = \frac{B^2}{T_1^2} \iint_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \iint_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} \\ \cdot R_s(t-u-\tau+\tau') d\tau d\tau' dt du \\ + \frac{B^2 D^2}{T_1^2} \iint_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} R_s(t-u) dt du \\ + \frac{B^2 D^2}{T_1^2} \iint_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} R_n(t-u) dt du \\ + \frac{1}{T_1^2} \iint_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \iint_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} \\ R_s(t-u-\tau+\tau') R_n(t-u) d\tau d\tau' dt du \\ + \frac{1}{T_1^2} \iint_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \iint_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} \\ R_s(t-u) R_s(t-u-\tau+\tau') d\tau d\tau' dt du \\ + \frac{1}{T_1^2} \iint_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \iint_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} \\ R_s(t-u-\tau+\tau_0) \\ R_s(t-u+\tau'-\tau_0) d\tau d\tau' dt du \\ + \frac{2B^2 D}{T_1^2} \iint_{-T_{1/2}}^{T_{1/2}} \iint_{(n-1/2)D}^{(n+1/2)D} \\ R_s(t-u-\tau+\tau_0) d\tau dt du \quad (25)$$

이다.

신호의 자기상관함수 (R_s)와 잡음의 자기상관함수 (R_n)이 같다고 하면 식(25)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Var}[I(n)] &= \frac{B^2}{T_1^2} \int_{-T_1}^{T_1} \iint_{(n-\frac{1}{2})D}^{(n+\frac{1}{2})D} \cdot \\ &\quad (T_1 - |z|) R_s(z - \tau + \tau') d\tau d\tau' dz \\ &\quad + \frac{B^2 D^2}{T_1^2} \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) \int_{-T_1}^{T_1} \cdot \\ &\quad (T_1 - |z|) R_s(z) dz \\ &\quad + \frac{1}{T_1^2} \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) \int_{-T_1}^{T_1} \iint_{(n-\frac{1}{2})D}^{(n+\frac{1}{2})D} \\ &\quad \cdot (T_1 - |z|) R_s(z) \cdot \\ &\quad R_s(z - \tau + \tau') d\tau d\tau' dz \\ &\quad + \frac{1}{T_1^2} \int_{-T_1}^{T_1} \iint_{(n-\frac{1}{2})D}^{(n+\frac{1}{2})D} \\ &\quad \cdot (T_1 - |z|) R_s(z - \tau + \tau_0) \\ &\quad \cdot R_s(z + \tau' - \tau_0) d\tau d\tau' dz \\ &\quad + \frac{2B^2 D}{T_1^2} \int_{-T_1}^{T_1} \int_{(n-\frac{1}{2})D}^{(n+\frac{1}{2})D} \\ &\quad \cdot (T_1 - |z|) R_s(z - \tau + \tau_0) d\tau dz \quad (26) \end{aligned}$$

여기서 $\text{SNR}_1 = \frac{R_s}{R_n}$ 을 나타낸다.

$T_1 \gg 1/BW_s$ 이면 $|z|$ 를 생략할 수 있으므로 식(26)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \text{Var}[I(n)] &= \frac{B^2}{T_1} \int_{-T_1}^{T_1} \int_{-D}^D [D - |q|] \cdot \\ &\quad R_s(z+q) dq dz + \frac{B^2 D^2}{T_1} \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) \\ &\quad \cdot \int_{-T_1}^{T_1} R_s(z) dz \\ &\quad + \frac{1}{T_1} \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) \int_{-T_1}^{T_1} \int_{-D}^D \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\quad \cdot [D - |q|] R_s(z) R_s(z+q) dq dz \\ &\quad + \frac{1}{T_1} \int_{-T_1}^{T_1} \iint_{(n-\frac{1}{2})D}^{(n+\frac{1}{2})D} R_s(z - \tau + \tau_0) \\ &\quad \cdot R_s(z + \tau' - \tau_0) d\tau d\tau' dz \\ &\quad + \frac{2B^2 D}{T_1} \int_{-T_1}^{T_1} \int_{(n-\frac{1}{2})D}^{(n+\frac{1}{2})D} \\ &\quad \cdot R_s(z - \tau + \tau_0) dz dz \quad (27) \end{aligned}$$

상관피이크가 $n=0$ 번째 광검출기에 있다고 하면, 식(24)는 식(28)이 되고 식(27)은 식(29)가 된다.

$$E^2[I(0)] = \left[\int_{-D/2}^{D/2} R_s(t - \tau_0) d\tau \right]^2 \quad (28)$$

여기서 τ_0 는 $-\frac{D}{2} \leq \tau_0 \leq \frac{D}{2}$ 의 범위를 갖게 된다.

$$\begin{aligned} \text{Var}[I(0)] &= \frac{B^2}{T_1} \int_{-T_1}^{T_1} \int_{-D}^D [D - |q|] \\ &\quad \cdot R_s(z+q) dq dz \\ &\quad + \frac{B^2 D^2}{T_1} + \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) \\ &\quad \cdot \int_{-T_1}^{T_1} R_s(z) dz \\ &\quad + \frac{1}{T_1} \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) \int_{-T_1}^{T_1} \int_{-D}^D \\ &\quad \cdot [D - |q|] R_s(z) R_s(z+q) dq dz \\ &\quad + \frac{1}{T_1} \int_{-T_1}^{T_1} \iint_{-D/2}^{D/2} R_s(z + \tau + \tau_0) \\ &\quad \cdot R_s(z + \tau' - \tau_0) d\tau d\tau' dz \\ &\quad + \frac{2B^2 D}{T_1} \int_{-T_1}^{T_1} \int_{-D/2}^{D/2} \\ &\quad \cdot R_s(z - \tau + \tau_0) d\tau dz \quad (29) \end{aligned}$$

가우시안 자기상관함수 ($R_s(z) = R_0 \exp(-\pi\beta^2 z^2)$), 여기서 β 는 신호의 3[dB] 대역폭이고 R_0 는 신

호전력이다)을 갖는 신호인 경우, 평균피이크 전력을 나타내는 $E^2[I(0)]$ 는

$$E^2[I(0)] = \left[R_0 \int_{-D/2}^{D/2} \exp[-\pi\beta^2(\tau - \tau_0)^2] \right]^2$$

$$= (R_0/\beta)^2 \{ E_{rf}(\sqrt{2\pi}\beta(D/2 - \tau_0)) - E_{rf}(\sqrt{2\pi}\beta(-D/2 - \tau_0)) \}^2 \quad (30)$$

이고 $\text{Var}[I(0)]$ 와 $\text{Var}[I(n)]$ 은 다음과 같다.

$$\text{Var}[I(0)] = \frac{B^2 D^2 R_0}{T_1 \beta} \left(5 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) + \frac{1}{T_1} \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) \phi_1 + \frac{R_0^2}{T_1} \phi_2 \quad (31)$$

$$\text{Var}[I(n)] = \frac{B^2 D^2 R_0}{T_1 \beta} \left(5 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) + \frac{1}{T_1} \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) \phi_1 \quad (32)$$

여기서

$$\phi_1 = \int_{-T_1}^{T_1} \int_{-D}^D \{ DR_0^2 \exp[-\pi\beta^2(z^2 + (z+q)^2)] - |q| R_0^2 \exp[-\pi\beta^2(z^2 + (z+q)^2)] - \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right)^{-1} |q| \beta^2 R_0 \exp[-\pi\beta^2(z+q)^2] \} dq dz \quad (33)$$

$$\phi_2 = \int_{-T_1}^{T_1} \iint_{-D/2}^{D/2} \exp[-\pi\beta^2((z - \tau + \tau_0)^2 + (z + \tau - \tau_0)^2)] d\tau' d\tau dz \quad (34)$$

이다.

식(30)과 식(31)를 식(17)에 대입하면 SNR_1 이 구해지고 식(30)과 식(32)을 식(18)에 대입하면 SNR_2 가 구해진다.

$$\text{SNR}_1 =$$

$$\frac{[E_{rf}(\sqrt{2\pi}\beta(D/2 - \tau_0)) - E_{rf}(\sqrt{2\pi}\beta(-D/2 - \tau_0))]^2}{\frac{\beta}{T_1} D^2 \frac{1}{(\text{SBR})^2} \left[5 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right] + \frac{\beta^2}{T_1 R_0^2} \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) \phi_1 + \frac{\beta^2}{T_1} \phi_2} \quad (35)$$

$$\text{SNR}_2 =$$

$$\frac{[E_{rf}(\sqrt{2\pi}\beta(D/2 - \tau_0)) - E_{rf}(\sqrt{2\pi}\beta(-D/2 - \tau_0))]^2}{\frac{\beta D^2}{T_1 (\text{SBR})^2} \left(5 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) + \frac{\beta^2}{T_1 R_0^2} \left(1 + \frac{1}{\text{SNR}_1} \right) \phi_1} \quad (36)$$

단, $\beta = BW_s$ 이다.

여기서 SBR 은 신호대 바이아스 비를 나타낸다.

식(35)와 식(36)으로부터 AO TIC의 SNR_0 의 시뮬레이션 결과는 그림 5, 그림 6, 그림 7 및 그림 8이며 이것으로부터 알 수 있는 바는 다음과 같다.

- 1) T_1 증가는 SNR_0 을 개선시키고 T_1 를 2배 증가시키면 SNR_0 는 3[dB] 만큼 증가된다.
- 2) D 의 증가는 상관신호보다 상관잡음을 증가시키므로 SNR_1 및 SNR_2 를 감소시킨다.
- 3) D 의 최적선택은 β 와 관련된다.
- 4) D 의 증가와 더불어 SNR_1 가 감소됨에 따라 SNR_1 및 SNR_2 이 감소된다.

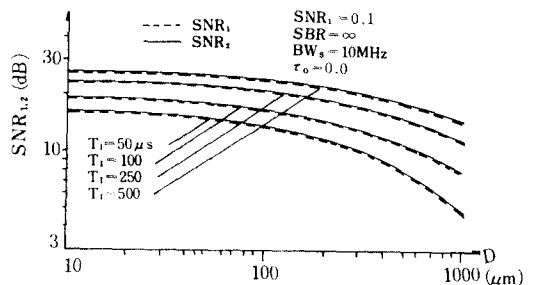


그림 5 광검출기의 크기 D 및 적분시간 T_1 가 SNR_1 및 SNR_2 에 끼치는 영향
Effects of detector size D and intergration time T_1 on SNR_1 and SNR_2 .

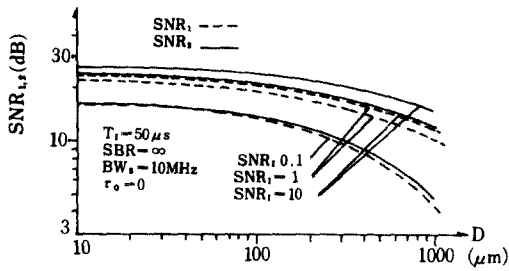


그림 6 입력 SNR₁ 및 광검출기 크기 D가 SNR₁ 및 SNR₂에 끼치는 영향
Effects of input SNR₁ and detector size D on SNR₁ and SNR₂.

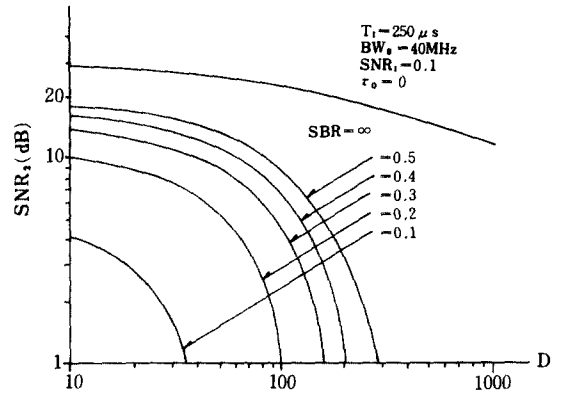


그림 8 신호대 바이아스비(SBR) 및 광검출기 크기 D가 SNR₁에 끼치는 영향
Effects of signal-to-bias ratio(SBR) and detector size D on SNR₁.

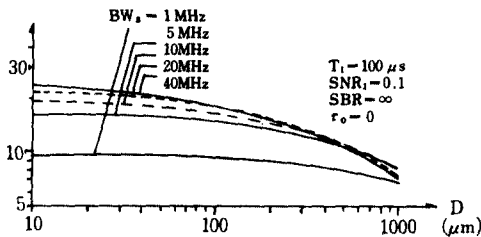


그림 7 신호대역폭 BW_s 및 광검출기 크기 D가 SNR₁에 끼치는 영향
Effects of signal band with BW_s and detector size D on SNR₁.

- 5) 비교적 큰 β 인 경우 D가 증가됨에 따라 SNR₂의 감소율은 증가한다.
- 6) D의 증가와 더불어 SBR이 감소됨에 따라 SNR₂는 감소된다.
- 7) AO TIC를 진폭변조모드(SBR = ∞)로 동작시키는 경우가 강도변조모드(SBR ≠ ∞)로 동작시키는 경우보다 높은 SNR₂를 갖는다.

4. 실험 및 結果考察

비 간섭성 TIC는 사용하는 광원의 형태에 따라 그림 4와 같이 변조된 광원을 갖는 TIC와 광원을 직접 변조시키지 않는 TIC로 구분된다. 실험은 後者로 선정하였으며 실험시스템은 그림 9와 같다.

광원은 1mw He-Ne laser를 사용하였으며 laser 광을 변조시키기 위해 대역폭이 15MHz 인 AOM을 사용하였다. AOM은 그림 4의 P₁에 있는 변조된 광원과 같은 역할을 한다. 입력신호 S₁(t)에 의하여 bragg角으로 입사한 laser beam이 AO 효과에 의하여 AOM을 빠져나오는 광을 구경이 작은 spherical lens l₀을 사용하여 -1

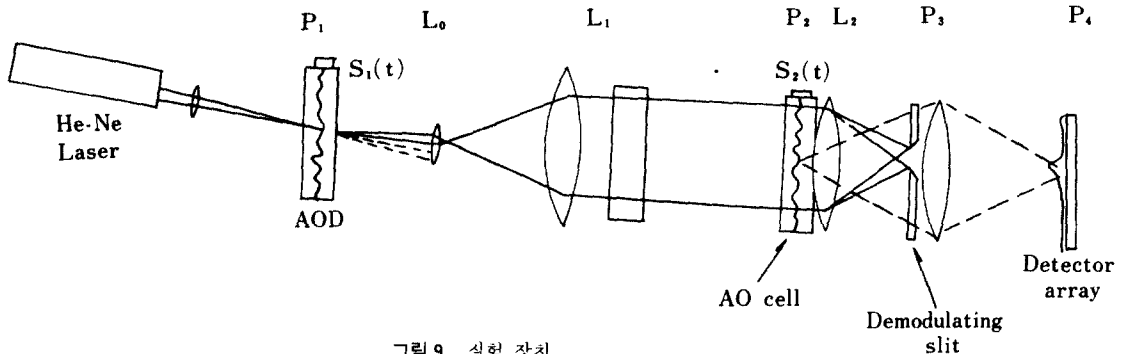


그림 9 실험 장치
Experimental setup.

次회절광만을 선정하였다. L_1 에 포함된 cylindrical 렌즈는 대역폭이 30MHz이고 time aperture 가 $50\mu\text{sec}$ 을 갖는 AO cell 을 조사하기 위하여 첨가시켰다. slit에 의하여 AO cell 의 +1 次 회절광만을 선정하였다. 광검출기어레이는 one element 의 D 가 $13\mu\text{m}$ 인 1024element CCD 를 사용하였으며 CCD를 구동시키는 회로를 설계하여 적분시간 T_i 를 변화시켰다. CCD앞에 slit를 두어서 D 의 크기를 조정하였다. AOM 및 AO cell 의 transducer에 가하는 신호는 DSB 변조이다. 특히 입력신호($S_a(t)$, $S_b(t)$)가 없을 때에는 AOM 및 AO cell 의 회절효율 $\eta = 50\%$ 가 되도록 바이아스를 조정하였다. 전체 시스템을 강도변조모드($SBR=0.5$)로 동작시켰다.

실험은 AO TIC의 입력신호로서 PRN(pseudorandom) code를 사용하였다. 그림10은 PRN code의 $BW_s = 1\text{MHz}$, $SNR_1 = \infty$, $SBR = 0.5$, $T_i = 2.5\text{ms}$ 일때 자기상관(auto correlation)의 SNR_1 및 SNR_2 에 대한 실험결과를 보여준다.

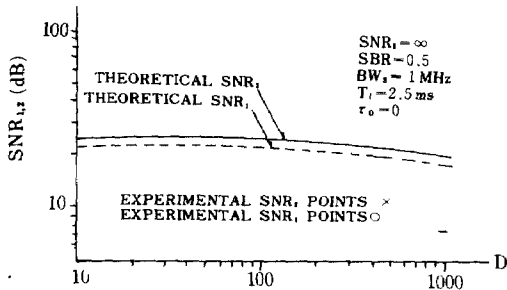
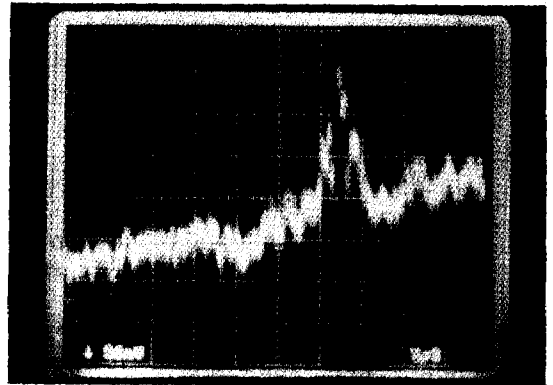
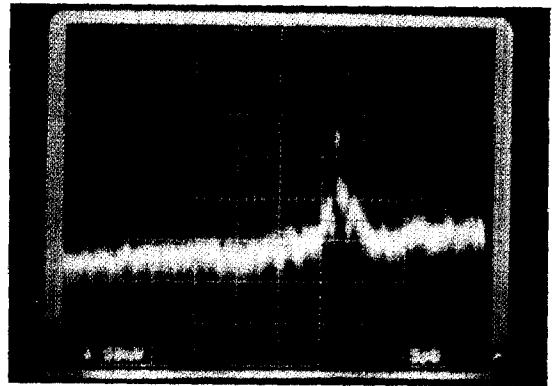


그림10 광검출기 크기 D 가 SNR_1 및 SNR_2 에 끼치는 영향에 대한 이론적인 Data와 실험적인 Data
Theoretical and experimental data on the effect of the detector size D on SNR_1 and SNR_2 .

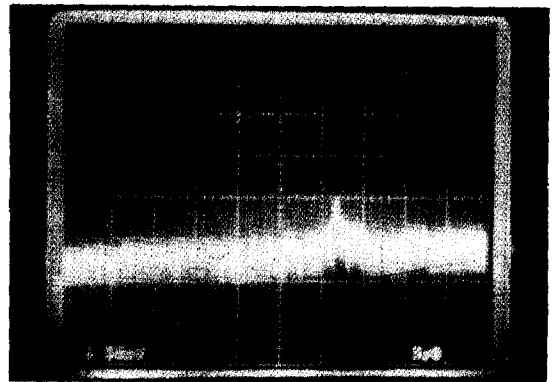
실험값은 이론값과 거의 일치하였으며 그림10으로부터 실험값이 이론값에 비해 2[dB]만큼 낮고 SNR_2 는 SNR_1 보다 이론에서 예견해 주듯이 높음을 알 수 있었다. 2[dB] 차이 원인은 광검출기어레이의 잡음, background 광잡음 및 PRN code 신호발생기에서 나오는 잡음의 영향 탓이



(a)



(b)



(c)

그림11 여러가지 S/N비에 대한 그림 4와 같은 시스템의 상관출력
Correlation output from the system of Fig. 4 for various input signal-to-noise ratios (a) $SNR_1 = +\infty$ (b) $SNR_1 = -10\text{dB}$; (c) $SNR_1 = -25\text{dB}$.

라 생각된다. AOM의 입력에 PRN code와 백색 가우시안 잡음을 투입하였을 때의 상관출력은 그림11과 같다.

5. 결 론

AOD와 CCD를 이용한 TIC시스템은 실시간으로 신호를 고속처리할 수 있음을 실험적으로 확인하였으며 시스템이 강도변조모드로 동작 할 때 SBR=0.5로 선정하는 것이 최적 상태가 됨을 실험을 통하여 알 수 있었다.

적분시간 T_i 신호의 3dB 대역폭 β , SBR 및 D의 크기 선정이 상관출력 SNR_o에 미치는 효과를 실험을 통하여 이론과 비교 확인하였다.

본 연구는 spread spectrum 시스템의 신호처리 뿐만아니라 광신호처리 시스템에 응용되리라 본다.

参 考 文 献

- (1) Schmidt, "Acoustooptic diffraction of guided optical wave in Linbo 3", Appl. Phys. Lett., vol. 23, pp 417-419, Oct. 1973.
- (2) A. Vander Lugt, "Bragg cell diffraction patterns", Applied optics, vol. 21, no. 6, pp 1092-1100, 1982.
- (3) N. J. Berg, B. J. udelson, etc, "Large time-bandwidth acoustooptic signal processors", in 1977 ultrasonic symp. proc., pp 451-455.
- (4) Special Issue on Real-Time Signal Processing, Proc. Proc. SPIE, vol. 241, 1980.
- (5) Special Issue on Real-Time Signal Processing, Proc. SPIE, vol. 298, 1981.
- (6) C. Raman and N. Nath, "The diffraction of light by high frequency wave sounds", Proc. Ind. Acad. Sci., vol. 2, pp 406-420, 1965.
- (7) P. Vvan cittert, "Zur theorie der licht-beugung an ultraschallwellen", physica IV, pp 590-594, 1967.
- (8) B. V. K. Vijaya Kumar, etc., "Space-blur bandwidth product in correlator performance evaluation", JOSA, 70, no. 1, pp 103-110, Jan. 1980.
- (9) H. L. Van Trees, "Detection, estimation and modulation theory: part I, wiley, New York, 1968.



金 慶 泰(Kyung Tae KIM) 正會員
1954年12月19日生
1978年2月:慶北大學校 電子工學科(學士)
1980年8月:延世大學校大學院 電子工學科(碩士)
1982年9月~現在:延世大學校 大學院 電子工學科 博士 過程



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(소르본느대학교) 博士課程修了(DEA)
1975年:불란서 파리6대학(ph. D)
1976年~現在:延世大學校工科大学電子工學科教授