

실시간 표적인식을 위한 ACJTC 시스템

(ACJTC System for Real-Time Target Recognition)

李相二*, 柳忠相*, 金恩洙*

(Sang-Yi Yi, Chung-Sang Ryu and Eun-Soo Kim)

要約

광 JTC는 실시간 상관 시스템에 응용이 가능하다는 장점에 반하여 위상 혹은 진폭성분만을 별도로 처리하기는 어려운 상태에 있었으나, 최근 POC와 POF에 유사한 상관특성을 나타낼 수 있는 광 BPEJTC, HPEJTC등이 제안되면서 위상과 진폭이 별도로 처리될 수 있게 되었다. 그러나, 이러한 시스템들은 위상과 진폭이 상관성능에 어떠한 영향을 미치는지 평가하기는 어려운 상태에 있었다. 따라서, 본 논문에서는 진폭이나 위상 성분의 비중을 변동시키며 상관성능을 분석할 수 있는 것으로 알려진 ACMF를 기초로하는 새로운 JTC 시스템인 ACJTC를 제안하고, 수학적 해석을 통해 비교분석하였다. 제안된 ACJTC는 ACMF의 특성상 위상과 진폭 성분의 비중을 가변시킬 수 있으므로 잡음 및 유사표적에 대하여 우수한 상관 판별력을 나타내게 된다. 이러한 특성을 조사하기 위해 자연계 배경에 3개의 동일 표적 영상을 주기적으로 배치하고 컴퓨터 시뮬레이션하였으며, 광 JTC를 통한 실시간 상관 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

Abstract

The optical JTC system has the advantage of being applied to the real-time correlation system, but it has some difficulties that its amplitude and phase signals cannot be separately processed. Recently to solve those problems the BPEJTC and HPEJTC systems having the same characteristics of that of the POC and POF have been proposed. But there is no quantitative analysis how much the amplitude and phase signals are contributed to the correlation outputs respectively. In this paper, a new ACJTC system based on the conventional ACMF is proposed and discussed through the mathematical analysis. The good correlation discrimination of the proposed system is also analyzed by changing the relative contributions of the phase and amplitude signals for some similar targets. From the successful computer simulation results on the the scenario where three same targets are periodically located on the natural background, the possibility of the high performance real-time correlation system based on the optical ACJTC is suggested.

1. 서론

*正會員, 光云大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Kwangwoon Univ.)
接受日字: 1994年 2月 1日

자연환경에서 임의로 이동하는 표적들의 실시간 추적 및 인식 분야에서 공간정합필터(matched spa-

tial filter)^[1] 및 광 JTC(joint transform correlator)^[2]를 이용한 2차원 광 상관 기법에 대한 관심이 증대되고 있다. 광 간섭으로 구성되는 공간정합필터는 광흡수의 원인이 되는 진폭성분을 억제시키고 위상신호를 사용하여 상관시킴으로써 광 투과율 및 회절효율을 향상시키고, 첨예한 상관 침두치와 높은 상관 판별력을 얻으려는 부문에서 많은 발전을 이루고 있다.^[3,4]

공간정합필터에 기초하는 상관기들은 우수한 상관 성능에도 불구하고 필터 구성이 복잡하고 모든 입력 영상에 대한 필터가 요구되어 실시간 상관이 실질적으로 불가능한 상태이다. 이러한 문제를 극복하기 위한 방법으로 별도의 필터 구성없이 입력영상과 기준 영상을 나란히 배치하고, 동시에 푸리에 변환하는 것으로 상관이 가능한 광 JTC에 대한 관심이 증대되고 있다. 광 JTC는 푸리에 임출력함수로 실수함수를 요구하고, 최근 들어 고해상도의 공간 광 변조기와 고속처리용 CCD 광 검출기가 개발되고 있으므로 광전자 하이브리드 시스템을 구성하여 비디오 프레임으로 상관시스템을 구현할 수 있게 되었다.^[5-6]

광 JTC는 실시간 구현의 장점을 지닌 반면에 공간정합필터와 달리 자기상관이 발생하고 푸리에 출력이 광 간섭 세기 분포 형태로 검출되므로 상관 판별력에 중요한 요소인 위상 및 진폭함수를 별도로 처리하기가 어려운 상태에 있었다.^[10] 이러한 문제를 해결하기 위하여 제시된 광 BPEJTC(binary phase extraction JTC) 시스템은 기존 광 JTC의 광 간섭 세기 분포인 JTSPS(joint transform power spectrum)로 부터 완전 이진위상특성을 얻을 수 있음을 보였다.^[11,12] HPEJTC(half phase extraction JTC) 시스템^[13]은 위상만으로 구성되는 상관기의 문제점을 보상하기 위하여 POF(phase only filter)^[3]와 같이 반 위상 형태로 JTC를 구성하여 위상에 의한 상관 오류 및 유실을 진폭으로 보상하는 방법으로 제시되었다. JTSPS에서 위상신호를 추출하여 구성한 두 시스템은 광효율, peak-to-sidelobe 비율 및 판별력등에 중요한 요소인 위상 및 진폭신호 이용 정도가 완전 위상 혹은 반 위상이라는 하나의 형태로 고정되어 있으므로 다양한 입력환경에 따라 탄력적으로 적용하기는 어려운 상태에 있었다. 따라서, 본 논문에서는 기존 공간정합필터의 위상과 진폭성분을 적절히 조절하며 상관이 가능한 ACMF(amplitude compensated matched filter)^[9]와 유사한 상관특성을 나타낼 수 있는 ACJTC(amplitude compensated JTC)를 새로이 제안한다. 입력환경 변화에 따라 진폭과 위상성분의 비중을 적절히 변동시키며 상관 효율을 검증함으로써

보다 일반적인 환경에 응용될 수 있는 광 상관 시스템 구성의 가능성을 살펴본다.

상관 성능 평가를 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 순수하게 위상만으로 구성되는 상관기와 반 위상 형태로 존재하는 상관기에서 발생할 수 있는 문제점을 분석하고, 동일한 조건에서 새로이 제안된 ACJTC 시스템을 적용하여 영상잡음과 유사표적에 대한 상관판별력과 다중표적 식별력을 분석한다. 그리고, 기존의 ACMF와 ACJTC를, 동일한 조건에서 상관특성을 비교 분석함으로써 ACJTC를 통한 ACMF의 실시간 구현 가능성을 제시하고자 한다.

II. 상관기의 위상함수와 ACMF

기존의 공간정합필터에서 필터 구성은 기준영상 $r(x,y)$ 에 대한 푸리에 변환에 복소공역을 취함으로써 이루어지며, 식(1)과 같은 방법으로 위상함수만을 추출할 수 있다.^[3]

$$\begin{aligned} R_{\text{phase}}^*(u,v) &= R^*(u,v) / |R(u,v)| \\ &= \exp[-j\phi_s(u,v)] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $R(u,v)$ 는 $r(x,y)$ 의 푸리에 변환으로 (u,v) 는 공간주파수 좌표로서 $u=x/\lambda f$ $v=y/\lambda f$ 로 구성되며, λ 와 f 는 파장과 푸리에 변환 렌즈의 초점거리를 나타낸다. 그리고, $|R(u,v)|$ 와 $\exp[-j\phi_s(u,v)]$ 는 $R^*(u,v)$ 의 진폭과 위상이며, *는 복소공역을 나타내는 것이다. 만일, n 개의 동일표적이 포함된 입력영상을 푸리에 변환하여 위상함수만을 추출하면 표적의 위상과 위치에 따른 지수함수의 합으로 구성되며 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$S_{\text{phase}}(u,v) = \exp[j\phi_s(u,v)] \left\{ \sum_{i=1}^n \exp[-j2\pi(ux_i + vy_i)] \right\} \quad (2)$$

공간정합필터에서 위상을 이용하는 대표적인 상관기는 필터만을 위상으로 구성하는 POF와 입력까지도 위상으로 구성하는 POC^[8]를 들 수 있으며 각각의 상관결과는 식(3)과 식(4)로 나타낼 수 있으며, 식(4)에서 $F^{-1}\{\cdot\}$ 는 역푸리에 변환을 나타낸다.

$$\begin{aligned} C_{\text{POF}}(x,y) &= F^{-1} \left\{ |S(u,v)| \exp[-j\phi_s(u,v)] \exp[j\phi_s(u,v)] \right. \\ &\quad \left. \times \left\{ \sum_{i=1}^n \exp[-j2\pi(ux_i + vy_i)] \right\} \right\} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} C_{\text{POC}}(x,y) &= F^{-1} \left\{ \exp[-j\phi_s(u,v)] \exp[j\phi_s(u,v)] \right. \\ &\quad \left. \times \left\{ \sum_{i=1}^n \exp[-j2\pi(ux_i + vy_i)] \right\} \right\} \end{aligned} \quad (4)$$

식(3)의 POF의 상관 출력은 위상필터로 인하여 공간정합필터보다 광효율이 개선되고, 상관 판별력이 우수하게 나타난다.^[3] 그러나, 입력영상의 진폭성분인 $|S(u,v)|$ 가 peak-to-sidelobe 비율을 저하시켜 식(4)로 나타낸 POC에 비하여 첨예한 상관 첨두치를 얻을 수 없다. POC의 상관출력은 진폭함수가 완전히 제거되고 순수하게 위상함수만으로 구성되어 있으므로 입력영상이 이상적인 경계함수만으로 구성된 것과 같은 효과를 발생시킨다. 경계함수만으로 구성된 필터 영상과 입력영상이 동일하다면 크기성분 없이 지수함수간에 상관관계가 발생하여 상관평면에서 영상에 대한 정보는 사라지고 위치정보만이 남게 된다. 따라서, 다중표적이 주기적 배치를 이루는 경우 지수함수의 합이 sinusoidal 함수의 합으로 구성되어 상관 표적 오류와 유실이 발생하게 된다.^[15]

식(4)의 POF는 POC에 비하여 판별력이 낮을지라도 sinusoidal 함수발생을 진폭으로 보상하고 있으므로 상관오류 및 유실이 나타나지 않게 되어 다중표적의 경우 진폭성분이 보상된 POF가 보다 적합함을 알 수 있다. 따라서, 다중표적의 경우 POC에 가까운 상관 판별력을 지니면서도 표적의 주기적 배치에 효과적으로 대처할 수 있는 새로운 형태의 상관기가 요구된다.

ACMF는 POF에서 POC 사이에 존재할 수 있는 위상성분과 진폭성분의 비중변화에 따른 상관을 효과적으로 이용하기에 적합한 상관기로서, 필터 구성은 식(5)의 조건을 만족시킬 수 있는 R_0 를 설정함으로써 이루어 진다. R_0 는 $|R(0,0)|$ 를 기준으로 0과 1 사이에 존재하는 실수값을 곱함으로써 결정되며, R_0 의 선택에 따라 상관 판별력과 효율을 변동시킬 수 있게 된다. 이와 같이 위상과 진폭 성분을 적절한 변화시킬 수 있는 특성이 복잡한 잡음배경 및 유사표적으로부터 실제 표적에 의한 상관신호만을 효과적으로 분리할 수 있도록 한다.^[9]

$$R_{ACMF}^*(u,v) = \begin{cases} R_0 \exp(-j\phi_c(u,v)) / |R(u,v)|, & \text{if } |R(u,v)| > R_0 \\ \exp[-j\phi_c(u,v)], & \text{otherwise} \end{cases} \quad (5)$$

식(5)에 대하여 입력영상을 상관시켜 얻은 결과는 식(6)으로서 나타낼 수 있으며 R_0 값에 의존하게 된다.

식(6)에서 R_0 가 $|R(0,0)|$ 와 같게 설정되면 식(5)의 아래쪽식이 결정되어 POF와 동일한 상관결과를 얻게 되고, R_0 가 작아짐에 따라 식(5)의 상단식의 비중이 높아져 상관 첨두치가 δ -함수에 가깝게 된다. 입력영상과 기준영상이 동일한 경우에는 R_0 를 제외하면 식(6)의 상단식은 POC와 동일한 상관결과를 나타내고 있으며, 하단식은 POF와 동일한 형태로 구성되어 있다. 따라서, ACMF를 효과적으로 이용하면

다중표적에 대해서도 첨예한 상관 첨두치를 얻을 수 있게 된다.

$$C_{ACMF}(x,y) = \begin{cases} F^{-1} \left\{ R_0 \left[\frac{|S(u,v)|}{|R(u,v)|} \exp[-j\phi_c(u,v)] \right] \right. \\ \left. \times \exp[j\phi_c(u,v)] \sum_{i=1}^n \exp[-j2\pi(ux_i + vy_i)] \right\}, & \text{if } |R(u,v)| > R_0 \\ F^{-1} \left\{ |S(u,v)| \exp[-j\phi_c(u,v)] \exp[j\phi_c(u,v)] \right. \\ \left. \times \sum_{i=1}^n \exp[-j2\pi(ux_i + vy_i)] \right\}, & |R(u,v)| < R_0 \end{cases} \quad (6)$$

III. ACJTC 시스템

진폭성분과 위상성분에 따른 ACMF의 상관 특성을 실시간으로 구현하기 위하여 실시간 광 JTC의 JTFS에 위상과 진폭특성을 변동적으로 부여하는 ACJTC 시스템을 제시한다. ACJTC는 푸리에 입력평면을 상하단으로 분리하여 하단평면에 필터함수에 해당하는 기준영상 $r(x,y)$ 를 식(7a)과 같이 위치시키고, 상단평면에 n개의 동일표적으로 구성된 입력영상을 식(7b)와 같이 배열시켜 푸리에 입력평면을 구성하였다.

$$r(x,y) = r(x-x_0, y-y_0) \quad (7a)$$

$$s(x,y) = \sum_{i=1}^n s_i(x-x_i, y-y_i) \quad (7b)$$

그림 1은 식(7)의 두 평면을 동시에 푸리에 변환함으로써 상관 결과를 얻을 수 있는 광 JTC 시스템을 나타낸 것으로 실시간 처리를 위하여 푸리에 입력영상은 SLM을 통해 나타내고 있으며 푸리에 변환된 광 간섭 세기 분포는 CCD 광 검출기를 이용하여 검출하고 있다.

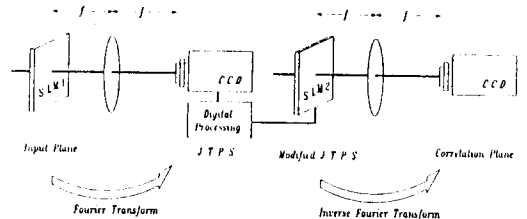


그림 1. 광 JTC 시스템도
Fig. 1. Optical JTC system.

그림 1에서 SLM1에 나타난 식(7a)과 식(7b)의

영상을 동시에 푸리에 변환함으로써 광 간섭 세기 분포로 검출되는 JTPS는 실수값을 갖게 되며 식(8)로 표현할 수 있다.

$$E(u, v) = |R(u, v)|^2 + \sum_{i=1}^n |S_i(u, v)|^2 \quad (8)$$

$$+ \sum_{i=1}^n R(u, v) S_i^*(u, v) \exp\{-j[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\}$$

$$+ \sum_{i=1}^n R^*(u, v) S_i(u, v) \exp\{j[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\}$$

$$+ \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n S_i(u, v) S_k^*(u, v) \exp\{-j[(x_i - x_k)u + (y_i - y_k)v]\}$$

$$+ \sum_{i=1}^n \sum_{k=i+1}^n S_i^*(u, v) S_k(u, v) \exp\{j[(x_i - x_k)u + (y_i - y_k)v]\}$$

여기서, $R(u, v)$ 와 $S_i(u, v)$ 는 각각 $r(x, y)$ 와 $S_i(x, y)$ 의 푸리에 변환을 나타낸다. 식(8)의 JTPS를 역푸리에 변환하면, 처음 두 항에 의한 자기상관이 DC 주변에 회절되어 DC가 높아지고, 입력의 다중 표적간에 발생한 4번째항의 상호상관이 기준표적에 무관한 표적오류를 발생시키게 된다. 자기상관과 동일평면에 의한 상호상관은 선형적으로 합성되어 있으므로 기준영상과 입력영상 각각의 PS(power spectrum)를 제거하면 자기상관 신호와 입력평면내 표적간의 상호상관 신호가 제거된 새로운 JTPS를 구할 수 있으며, 식(9)로써 나타낼 수 있다. ^{[11][14]}

$$E_{NEW}(u, v) = \sum_{i=1}^n R(u, v) S_i^*(u, v) \exp\{-j[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\}$$

$$+ \sum_{i=1}^n R^*(u, v) S_i(u, v) \exp\{j[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\}$$

$$= 2 \sum_{i=1}^n |R(u, v)| |S_i(u, v)| \cos\{\phi_i(u, v) - \phi_s(u, v) - (x_0 - x_i)u - (y_0 - y_i)v\} \quad (9)$$

식(9)는 입력과 기준영상이 상호간에 필터함수와 입력함수를 교대로 구성하며 합성된 두개의 정합필터가 중첩된 형태를 나타내고 있다. 그리고, 영상의 형태에 의한 신호인 $R(u, v)$ 와 $S_i(u, v)$ 를 제거하면 거리차에 따른 위상함수를 추출할 수 있게 된다.

식(7)에서 $r(x, y)$ 와 $S_i(x, y)$ 가 동일한 영상이라면 표적영상의 위상성분은 상쇄되어 $|R(u, v)|^2$ 가 된다. 기준함수를 하나의 표적영상으로 구성하였으므로 기준평면에서 발생하는 PS는 기준영상의 진폭함수의 제곱으로 구성된다. 따라서, 제곱근을 이용하여 나누게 되면 기준영상의 진폭은 제거되고 입력영상에 대한 진폭만이 남게 되며, 역푸리에 변환에 의하여 HPEJTC의 상관결과를 얻을 수 있다. 이와 같이 구

성된 JTPS를 입력영상의 PS의 제곱근으로 나누게 되면 순수하게 위상함수만을 추출할 수 있다. ^[14] 식(9)에서 진폭성분은 항상 '0'보다 크거나 같은 값을 갖는 대부분의 신호는 cosine 값에 의존하여 부호가 변하게 되므로 cosine축을 따라 이진화하면 진폭에 무관하게 위상성분에 따른 이진 JTPS를 구성할 수 있게 된다. ^[11] 이때의 이진 JTPS는 순수하게 이동변위의 위상함수에 기초한 이진 위상값으로 광 BPEJTC의 JTPS가 된다.

이상의 방법으로 얻을 수 있는 JTPS는 순수위상 형태 혹은 반 위상 형태로 고정되어, 중간형태로 존재할 수 있는 상관기를 구성할 수 없었다. 따라서, 본 논문에서는 위상의 가중치를 변동시킬 수 있는 ACMF와 유사한 개념을 도입하여 기준영상의 PS로부터 $|R(0, 0)|$ 와 R_0 를 설정하고 식(10)에 따라 ACJTC의 JTPS를 새로이 구성하였다.

$$E_{ACJTC}(u, v) = E_{NEW} / \left(2 \sqrt{|R(u, v)|^2} \right) \quad \text{if } |R(u, v)| < R_0$$

$$= \sum_{i=1}^n |S_i(u, v)| \exp[-j\phi_i(u, v)] \exp[j\phi_s(u, v)]$$

$$\times \exp\{j2\pi[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\}$$

$$= \sum_{i=1}^n |S_i(u, v)| \exp[j\phi_i(u, v)] \exp[-j\phi_s(u, v)]$$

$$\times \exp\{-j2\pi[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\} \quad (10a)$$

$$E_{ACJTC}(u, v) = R_0 E_{NEW} / \left(2 |R(u, v)|^2 \right) \quad \text{if } |R(u, v)| > R_0$$

$$= R_0 \sum_{i=1}^n \left[|S_i(u, v)| / |R(u, v)| \right] \exp[-j\phi_i(u, v)] \exp[j\phi_s(u, v)]$$

$$\times \exp\{j2\pi[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\}$$

$$= R_0 \sum_{i=1}^n \left[|S_i(u, v)| / |R(u, v)| \right] \exp[j\phi_i(u, v)] \exp[-j\phi_s(u, v)]$$

$$\times \exp\{-j2\pi[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\} \quad (10b)$$

식(10a)은 입력영상의 진폭이 POC에 곱해진 형태를 이루는 HPEJTC의 JTPS와 동일한 형태를 이루고 있으며, 식(10b)에서 R_0 를 제외하면 quasi-phase correlator ^[16]와 유사하게 완전위상형태로 이루어져 있다. 식(10)은 ACMF에 푸리에 변환된 입력영상이 곱해진 것과 동일하게 해석할 수 있으며, R_0 의 변화에 상관 특성이 좌우된다. 이상의 방법으로 구성된 JTPS는 역푸리에 변환에 의해 ACMF와 유사한 상관출력을 발생시키게 된다. 만일 입력평면에 n 개의 동일영상이 존재한다면 상관평면에서 원점대칭의 상관 침두치가 $2n$ 개 나타나게 되고, 2개의 ACMF가 원점대칭으로 구성된 결과와 동일한 현상

을 나타내는 것으로 해석할 수 있다.

따라서, 본 논문에서 새로이 제시한 ACJTC는 ACMF를 실수함수로 구성된 것으로 해석할 수 있으며, 필요에 따라 위상과 진폭 비율을 변동적으로 이용하는 것이 가능하게 된다.

이상의 결과에 따라 본 논문에서 새로이 제시한 ACJTC 시스템의 가장 중요한 요소인 JTPS 재구성을 광 JTC 측면에서 살펴보면 다음과 같이 간단히 정리할 수 있으며, 그림 2에 나타낸 시스템을 이용하여 구현이 가능하게 된다.

- i) $JTPS_{NEW} = JTPS - PS_{reference} - PS_{scene}$
- ii) 만일 R_0 가 $|R(u,v)|$ 보다 크다면 HPEJTC 수행,
 $JTPS_{ACJTC} = JTPS_{NEW} / \{2\sqrt{PS_{reference}}\}$
- iii) 만일 R_0 가 $|R(u,v)|$ 보다 작다면 quasi-phase correlator 혹은 광 BPEJTC 수행,
 $JTPS_{ACJTC} = R_0 \times \{JTPS_{NEW} / (2 PS_{reference})\}$

그림 2의 상단부에서 광전자적으로 구현되는 JTPS 재구성은 먼저 상단평면과 하단평면의 PS1, PS2를 광학적으로 검출하여 반전시킨 후 기존 광 JTC의 JTPS와 더하게 된다. 두번째 과정은 설정된 R_0 에 따라 하단평면의 진폭을 제거하거나 상단과 하단평면의 진폭을 제거하고 R_0 를 곱하는 것으로 디지털적으로 간단히 이루어지게 된다. 입력영상과 PS, JTPS는 실수로 구성되어 있으므로 시스템 입력단을 그림 2의 LCD1, LCD2와 같이 공간 광 변조기로 구성하고, JTPS, PS의 검출단을 CCD등과 같은 광세기 검출기를 이용함으로써 ACJTC 시스템의 실시간 구현이 가능하게 된다.

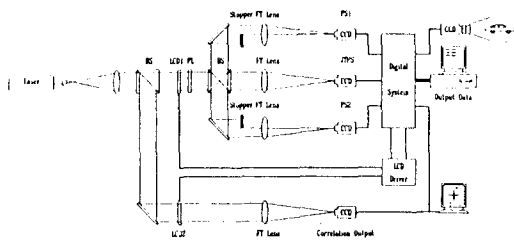


그림 2. 광 JTC구현을 위한 광전자 시스템
 Fig. 2. Opto-electronic system for optical ACJTC implementation.

표1은 푸리에 변환된 기준함수와 입력함수의 구성 상태에 따라 상관기들을 분류한 것으로 공간정합필터에 근거한 상관기와 JTC에 근거한 상관기의 대응관계를 나타낸 것이다. 여기서, *는 복소공액, $Ph[\circ]$ 는 위상함수를 나타낸다. 좌측의 도표는 공간정합필터

에서 발달한 상관기들로 위상 이용 정도에 따라 기존의 공간정합필터, POF, POC, ACMF로 분류할 수 있다. 우측은 이에 대응하여 JTC에 근거하여 구성되는 상관기로서 재구성된 JTPS를 이용한 상관기, HPEJTC, BPEJTC, ACJTC를 나타낸 것이다.

표 1. 공간정합필터에 기초한 상관기와 JTC에 기초한 상관기의 비교

Table 1. Comparison of the correlator based on matched spatial filter with the correlator based on JTC.

| 공간정합필터 | 필터영상 | | JTC | 기준영상 | |
|--------------|----------|--------------|--------------|-----------------------|--------|
| 입력영상 | $R(u,v)$ | $Ph[R(u,v)]$ | 입력영상 | $R(u,v)$ $Ph[R(u,v)]$ | |
| $S(u,v)$ | 공간정합필터 | POF | $S(u,v)$ | 재구성된 JTPS | HPEJTC |
| | ACMF | | | ACJTC | |
| $Ph[S(u,v)]$ | POC | | $Ph[S(u,v)]$ | BPEJTC | |

공간정합필터의 위상 이용 정도에 따라 분류된 POF, POC, ACMF는 광 JTC에 근거한 상관측면에서 서로간에 유사한 특성을 얻을 수 있으므로 복소함수의 실수적 구현으로 해석이 가능하게 된다. 광 JTC 특성상 그림 2의 광학 시스템을 변화없이 유지하며 디지털 시스템만을 변화시키는 것으로 표 1의 관계를 실시간으로 구현할 수 있게 된다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션

컴퓨터 시뮬레이션에서는 ACJTC의 변수로 설정된 R_0 를 변동시키며 위상과 진폭이 상관에 미치는 영향을 조사하며, 배경잡음이 상관에 미치는 영향과 주기적 배치를 이루는 표적들이 상관에 미치는 영향을 살펴보고자 한다. 또한, 동일한 R_0 값을 ACMF에 적용하여 ACJTC와 ACMF의 유사성 및 관계성을 상관평면에서 분석한다.

복소함수로 구성되는 필터를 이용하는 ACMF와 실수함수로 구성되는 ACJTC의 상관 판별력을 살펴보기 위하여 CCD카메라를 통해 한대의 흰색 자동차(현대 그랜저) 영상을 입력받아 그림 3(a)의 하단에 기준영상으로 위치시키고 상단에는 기준영상과 동일한 표적영상과 유사한 표적영상을 동시에 위치시켰다. 유사표적은 기준영상과 기준영상의 y축 대칭인 영상을 중첩시켜 구성함으로써 진폭면에서 기준영상을 완전히 포함하도록 하였다. 잡음환경하에서 상관 성능과 다중표적으로 인한 상관 특성을 조사하기 위하여 그림 2와 같이 자연환경을 CCD 카메라로 촬영

하여 배경잡음으로 이용하였다. 상관오류 문제를 고려하기 위하여 그림 3(a)에 이용된 자동차 영상을 정수배가 되도록 그림 3(b)와 같이 주기적 배치하여 입력영상을 구성하였다.

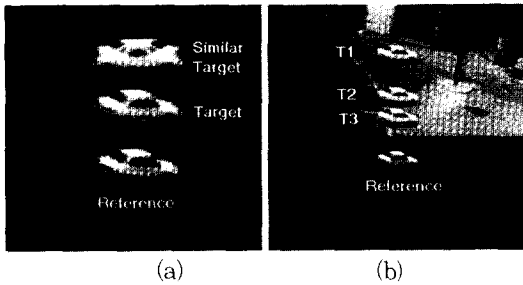


그림 3. ACJTC의 상관 성능 분석을 위한 입력영상
(a) 유사표적 판별을 위한 영상 (b) 배경 잡음하의 다중표적 영상

Fig. 3. Input images for the analysis of correlation performance of ACJTC.
(a) Images for the discriminantion of similar targets
(b) Multi-target images in background noises

시뮬레이션에 이용된 입력영상들은 모두 다중 표적으로 구성되어 있으므로 기존의 광 JTC나 공간정합 필터를 이용하게 되면 낮은 peak-to-sidelobe 비율로 인하여 상관 침두치의 sidelobe들이 중첩되므로 표적에 의한 상관 신호를 판별하기 어렵게 된다.¹¹⁰⁾
¹²⁾ 그림 3(a)에서는 유사표적이 기준영상의 진폭을 완전히 포함하고 있으므로 진폭의 제거가 요구되고, 그림 3(b)는 잡음배경에 의한 상관량을 최대한 억제할 필요가 있다.

제안된 ACJTC의 성능분석을 위하여 ACMF를 이용한 상관기와 ACJTC를 상관 침두치의 높이 및 peak-to-sidelobe 비율, 그리고 잡음상태를 정확히 비교함으로써 상관 판별력을 측정하였다. 일반적으로, ACMF를 이용한 상관기는 기준영상을 필터평면 중심에 위치시키고 필터함수를 구성하게 된다. 그러나, 본 논문에서는 ACJTC와 상관출력을 정확히 비교하기 위하여 그림 3(a)와 (b)의 상단부를 제거하고 하단의 영상을 변화없이 이용하여 필터를 구성하고, 상단부를 입력으로 받아들여 상관실험하였다. ACMF와 ACJTC에서 위상과 진폭이용 정도를 결정하는데 중요한 요소인 R_0 는 기준영상의 PS에서 가장

큰 값을 지니는 $|R(0,0)|$ 에 임의의 α 값을 곱하여 설정하고 분석하였다.

그림 4는 α 값을 1과 0.1로 설정한 경우 상관 실험한 결과로 $\alpha=1$ 은 POF 및 HPEJTC와 같은 상관출력을 나타내게 되며, $\alpha=0.1$ 에서 상관 침두치가 보다 침예해지는 것을 알 수 있다.

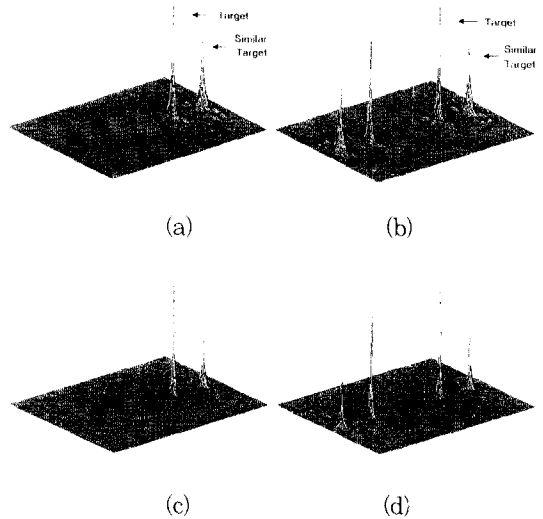


그림 4. 유사표적에 대한 상관결과
(a) $\alpha=1$ 의 ACMF (b) $\alpha=1$ 의 ACJTC
(c) $\alpha=0.1$ 의 ACMF
(d) $\alpha=0.1$ 의 ACJTC

Fig. 4. Correlation results for similar targets.
(a) ACMF with $\alpha=1$
(b) ACJTC with $\alpha=1$
(c) ACMF with $\alpha=0.1$
(d) ACJTC with $\alpha=0.1$

표 2는 ACMF와 ACJTC의 R_0 값을 변동시키며 표적과 유사표적의 상관 침두치 높이와 폭을 비교한 것이다. 여기서, 상관 침두치는 컴퓨터 시뮬레이션 편의를 위하여 C-언어에서 정수표현의 한계로 지원하는 32,767 준위로 상관평면을 양자화하여 실행하였다. 상관 침두치 폭은 일반적으로 상관 침두치 높이의 1/2 위치에서 측정하고 있으나, 보다 정교한 비교를 위하여 1/5 위치에서 측정하여 상관 침두치 폭이 존재하는 x축과 y축의 화소수로서 나타내었다. 표 2에 나타낸 값들은 상관 평면에서 가장 큰 값(32,767)을 100 %로 정하고 상대적인 크기를 백분율로 나타낸 것이다.

표 2의 결과들을 살펴보면 R_0 의 값이 작아질수록

즉, 위상함수의 비중이 증가할수록 표적과 유사표적에 의한 상관 침투치 모두가 침예한 형태를 이루고 있으며, 특히 α 값이 0.01에 이르게 되면 모든 상관 침투치들은 거의 δ -함수에 가까운 형태로 나타남을 알 수 있다. 또한, α 값이 작아짐에 따라 유사표적의 상관 침투치는 표적에 상관 침투치에 비하여 상대적으로 작게 나타나고 있는데, 이것은 시플레이션을 위하여 구성된 유사표적이 표적을 중첩시켜 구성되었으므로 비록 외형은 달리보일지라도 진폭면에서 표적을 완전히 포함하는데 기인한 것으로 분석된다.

표 2. R_0 변화에 따른 상관 침투치 의존도
Table 2. Dependence of correlation peak on the variable R_0 .

$$(R_0 = |R(0,0)| \times \alpha)$$

| α | ACMF | | | | ACJTC | | | |
|----------|----------|--------|----------------------------|------------|----------|--------|----------------------------|------------|
| | 상관침투치 높이 | | 상관침투치 폭 (x-축, y-축, 회소수) | | 상관침투치 높이 | | 상관침투치 폭 (x-축, y-축, 회소수) | |
| | 표적 | 유사표적 | 표적 | 유사표적 | 표적 | 유사표적 | 표적 | 유사표적 |
| 1.0 | 100 * | 59.5 * | (11, 4, 33) | (5, 3, 13) | 100 * | 59.0 * | (11, 4, 32) | (5, 3, 13) |
| 0.5 | 100 * | 56.3 * | (9, 4, 24) | (5, 3, 11) | 100 * | 56.1 * | (9, 4, 24) | (5, 3, 11) |
| 0.1 | 100 * | 46.1 * | (5, 3, 9) | (3, 1, 3) | 100 * | 45.2 * | (5, 3, 9) | (3, 1, 3) |
| 0.05 | 100 * | 42.1 * | (4, 2, 6) | (3, 1, 3) | 100 * | 40.5 * | (4, 3, 5) | (3, 1, 3) |
| 0.01 | 100 * | 35.8 * | (1, 1, 1) | (1, 1, 1) | 100 * | 35.7 * | (1, 1, 1) | (1, 1, 1) |

이상의 결과를 통해서 R_0 값이 작아질수록 우수한 상관 판별력을 얻을 수 있음을 알 수 있으나, R_0 가 지나치게 작아지면 상관에 필요한 신호가 손실되어 상관 오류가 발생할 수 있다. 표 2의 동일한 α 값에서 ACMF와 ACJTC를 비교하면, ACJTC가 ACMF에 비하여 상관 침투치 폭이 좁고, 유사표적의 상관 침투치가 낮게 나타나고 있다. 이것은 ACJTC의 JTPS 항을 분리해 보면 절반은 ACMF와 완전히 동일하나, 나머지 한 항은 입력영상의 위상이 필터로 동작하는데 기인한 것으로 해석되며, 유사표적에 대한 상관 판별력은 ACJTC에서 보다 우수한 것으로 분석되었다.

그림 5는 α 값을 1로 설정한 경우와 0.1로 설정하고 배경잡음과 함께 존재하는 다중표적을 상관 실험한 결과로 $\alpha=1$ 은 POF 및 HPEJTC와 같은 상관출력을 나타내게 된다. 그리고, 진폭과 위상이 상관에 미치는 영향을 비교하기 위하여 순수하게 위상함수로만 구성되는 POC와 광 BPEJTC의 상관결과를 그림 5(e)와 (f)에 나타내었다. 또한, 표 3에는 표 2와 동일한 R_0 을 설정하고 ACMF와 ACJTC를 상관실험한 결과와 POC와 광 BPEJTC의 상관결과를 나타내었다. 여기서, 표적 1, 2, 3은 그림 3(b)의 표적을 위쪽에서부터 차례로 나타낸 것으로 상관평면에 T1,

T2, T3로 표기하였으며, 표 2와 동일한 방법으로 상관 침투치를 측정하였다. 잡음이 상관에 미치는 영향을 조사하기 위하여 상관평면 전체의 메디안 값과 평균값을 측정하였다. 메디안 값은 주로 임펄스 형태의 신호에 비교적 영향을 적게 받으므로 상관 침투치의 영향을 최소화하여 측정할 수 있으며, 평균값은 전체적으로 지닌 에너지를 해석하는데 도움이 된다.

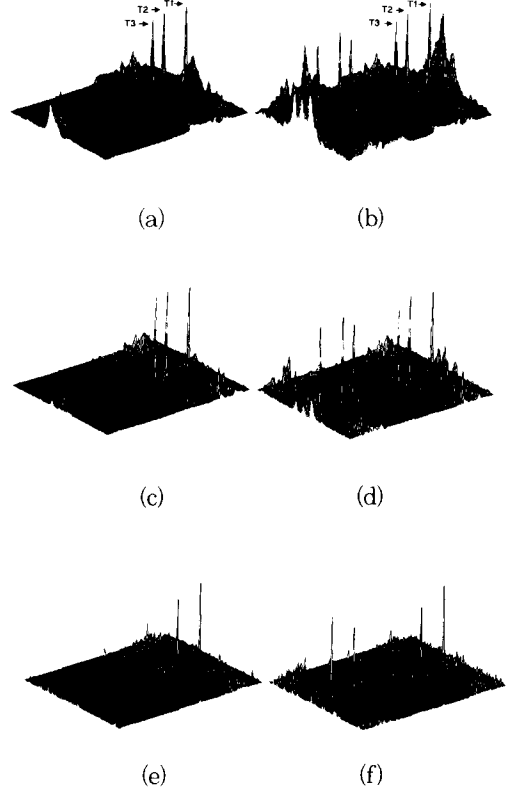


그림 5. 잡음 배경하의 다중 표적 상관결과
(a) $\alpha=1$ 의 ACMF (b) $\alpha=1$ 의 ACJTC
(c) $\alpha=0.1$ 의 ACMF (d) $\alpha=0.1$ 의 ACJTC (e) POC (f) 광 BPEJTC

Fig. 5. Correlation results for the multiple targets in background noise.

(a) ACMF with $\alpha=1$ (b) ACJTC with $\alpha=1$ (c) ACMF with $\alpha=0.1$ (d) ACJTC with $\alpha=0.1$ (e) POC (f) Optical BPEJTC

그림 5에 나타난 ACMF와 ACJTC의 상관 평면을 살펴보면, ACJTC는 상관결과들이 원점대칭으로 나타나는 특성으로 인하여 두개의 ACMF가 원점대칭

되어 중첩된 것과 같다. 따라서, ACMF와 ACJTC의 평균과 메디안 값을 보다 정확히 비교하기 위하여 ACMF의 상관평면을 인위적으로 원점대칭시켜 중첩시킨 후 측정하였다.

표 3에서 3개의 표적이 모두 동일표적임에도 불구하고 서로간에 다른 높이를 이루는 것은 각 표적 주변의 배경잡음에 비하여 표적의 명도 변화량이 서로간에 다르기 때문이다. 그림 3에서 ACJTC의 상관평면 양끝이 ACMF와 다른 것은 ACMF가 두개 원점대칭으로 중첩된 것으로 해석된다.

표 3. 다중표적의 상관침두치와 상관평면
Table 3. Correlation peaks and correlation plane of multiple targets.

$$(R_0 = |R(0,0)| \times \alpha)$$

| x α | ACMF | | | | | ACJTC | | | | |
|------|--------------|---------------|--------|--------|--------|----------|--------|--------|--------|--------|
| | 상관침두치 높이 | | | 상관 평면 | | 상관침두치 높이 | | | 상관 평면 | |
| | 표적 1 | 표적 2 | 표적 3 | 평균 | 메디안 | 표적 1 | 표적 2 | 표적 3 | 평균 | 메디안 |
| 1.0 | 99.9 * 100 * | 90.3 * 5.87 * | 2.88 * | 97.9 * | 100 * | 89.4 * | 6.30 * | 3.31 * | | |
| 0.5 | 99.7 * | 100 * | 87.0 * | 2.94 * | 1.30 * | 99.8 * | 100 * | 85.9 * | 2.98 * | 1.24 * |
| 0.1 | 99.8 * | 100 * | 86.0 * | 1.16 * | 0.40 * | 99.8 * | 100 * | 84.7 * | 1.14 * | 0.33 * |
| 0.05 | 99.2 * | 100 * | 80.7 * | 1.19 * | 0.43 * | 100 * | 100 * | 77.8 * | 1.13 * | 0.34 * |
| 0.01 | 84.1 * | 100 * | 47.8 * | 1.80 * | 0.78 * | 91.9 * | 100 * | 45.3 * | 1.62 * | 0.56 * |
| 완전위상 | 100 * | 87.9 * | 36.8 * | 0.09 * | 0.12 * | 100 * | 81.8 * | 33.4 * | 0.08 * | 0.09 * |

표 3에서 R₀의 변화에 따라 표적들의 상관 침두치를 비교하면 α=0.01 에서 표적 3의 상관 침두치가 급격히 작아지게 되어 위상형태의 상관기들에서는 배경잡음으로부터 표적분리가 어렵게 된다. 이것은 상관 판별력의 저하보다는 다중표적이 주기적 배치를 이루는데 기인하는 것으로 배경잡음없는 상관실험을 통해 확인할 수 있다. [3] R₀가 너무 작게 되면 다중 표적에 적용이 어렵게 되나, 표 3에 나타난 평균과 메디안 값을 살펴보면 R₀가 작아짐에 따라 함께 작아짐을 볼 수 있다. 즉, 메디안 값이 낮아지는 것은 표 2의 결과와 같이 R₀가 작아질수록 상관 침두치는 침예해지는 것이며, 평균값이 낮은 것은 전체적으로 에너지가 낮아지는 것을 알 수 있다. 결과적으로 전체 에너지에 영향을 미치는 배경잡음은 진폭면에서는 표적과 유사할지라도 위상면에서는 많은 차이를 나타내는 것을 알 수 있다.

ACMF와 ACJTC를 비교하면 유사표적 판별성능 분석결과와 유사하게 ACJTC에서 표적간에 상관 침두치 변화가 심하게 나타날 뿐만 아니라, 평균과 메디안 값이 낮게 분포하고 있다. ACMF에 비하여 ACJTC가 영상신호의 변화에 민감하게 반응하는 것

으로 해석할 수 있으며, 상관 판별력이 우수한 것으로 분석된다. 그러나, 서로간의 차이는 사실상 미미한 것으로 ACMF와 ACJTC를 동일하게 해석하여도 무방한 것으로 분석되었다 앞으로, 자연계에서는 다중표적이 임의의 상태로 존재할 수 있으므로 표적의 주기적 배치에 탄력적이며, 배경잡음으로부터 표적의 상관신호를 효과적으로 분리하기 위해서는 R₀의 선택이 중요한 요소로 지속적인 연구가 요구된다.

V. 결론

본 논문에서는 복소함수로 구성되는 기존의 ACMF를 실수함수로 구성이 가능한 광 JTC에 기초한 새로운 ACJTC를 분석하고 ACMF의 실시간 구현의 가능성을 제시하였다. 제안된 ACJTC와 ACMF 특성상 위상과 진폭의 가중치를 변동시키며 컴퓨터로 상관 실험하여 상관 침두치의 높이 및 peak-to-sidelobe를 측정함으로써 위상과 진폭이 상관 판별력에 미치는 영향을 조사하였으며, 자연계 영상을 잡음으로 이용하여 상관 성능을 점검함으로써 잡음으로부터 표적을 효과적으로 분리할 수 있는 가능성을 제시하였다.

그러나, 보다 정밀한 시스템 구성을 위해서는 R₀값을 효과적으로 선택하는 연구가 계속되어야 하며, 광학적 시스템 구성을 위해서 연속적인 값으로 존재하는 JTPS를 공간 광 변조기를 이용해 나타낼 수 있는 값으로 양자화하는 문제가 연구되어야 할 것이다.

參考文獻

[1] A. VanderLugt, "Signal Detection by Complex Spatial Filtering," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-10, pp.139-145, 1964.

[2] C. S. Weaver and J. W. Goodman, "A Technique for Optically Convoluting Two Function," *Appl. Opt.* vol.5, no.7 pp. 1248-1249, 1966.

[3] J. L. Horner and P. D. Gianino, "Phase-only matched filtering," *Appl. Opt.*, vol.23, no.6, pp.812-816, 1984.

[4] S. Kawata, T. Noda, and S. Minami, "Spectral Searching by Fourier-Phase Correlation," *Appl. Spectrosc.*, vol.41, no.7, pp.1176-1182, 1987.

[5] S. Y. Yi, S. H. Lee, and E. S. Kim,

- "mplementation of OptoDigital Multi-Target Tracking System," *J. of KITE*, vol.29-A, no.5, pp.386-393, 1992.
- [6] E. S. Kim, S. Y. Yi, and J. H. Lee, "Real-Time Tracking System based on Joint Transform Correlator and Neural Network Algorithm," *Proc. SPIE*, vol. 1812, 1992.
- [7] S. Y. Yi, C. S. Ryu, S. H. Lee, and E. S. Kim, "OptoNeural Multitarget Tracking System based on Optical BJTC and Neural Networks," *J. of KITE*, vol.31-A, no.3, 1994.
- [8] C. S. Ryu, S. Y. Yi, and E. S. Kim, "Target Tracking System using Optical JTC Peaks and Hopfield Networks," *IJCNN 93*, pp.821-824, 1993.
- [9] G. G. Mu, X. M. Wang, and Z. Q. Wang, "Amplitude-Compensated matched filtering," *Appl. Opt.*, vol.27, no.16, pp.3461-3463, 1988.
- [10] S. Y. Yi, C. W. Suh, and E. S. Kim, "The effective binarization method of optical JTC for multitarget tracking," *J. of KITE*, vol.31-A, no.4, 1994.
- [11] S. Y. Yi, C. S. Ryu, and E. S. Kim, "Optical BPEJTC System for Improving the Correlation Discrimination," *J. of KITE*, vol.31-A, no.6, pp.705-714, 1994.
- [12] S. Y. Yi, C. S. Ryu, and E. S. Kim, "Multitarget Tracking System based on Binary Phase Extraction Joint Transform Correlator and Neural Data Association algorithm," *Proc. SPIE*, vol.2237, pp.283-293, 1994.
- [13] S. Y. Yi, C. S. Ryu, and E. S. Kim, "Optical HPEJTC System for Removing False Alarm and Missing in the Multitarget Correlation," submitted to, *J. of KITE*.
- [14] H. Inbar and E. Marom, "Matched, Phase-only, or Inverse Filtering with Joint- Transform Correlators," *Opt. Lett.*, vol.18, no.19, pp.1657-1659, 1993.
- [15] T. Kotzer, J. Rosen, and J. Shamir, "Phase Extraction Pattern Recognition," *Appl. Opt.*, vol.31, no.8, pp.1126-1137, 1992.
- [16] K. Chalasinska-Macukow and C. Gorecki, "Optoelectronic implementation of the quasi-phase correlator," *Opt.Comm.*, vol.93, no.1,2, pp.11-18, 1992.

 著者紹介

李相二(正會員) 第31卷A編第6號 參照
 현재 광운대학교 대학원 전자공학과
 박사과정

柳忠相(正會員) 第31卷A編第3號 參照
 현재 광운대학교 대학원 전자공학과
 박사과정

金恩洙(正會員) 第31卷A編第6號 參照
 현재 광운대학교 전자공학과 교수