

광 BPEJTC를 이용한 이동표적 추적시스템 (Moving Target Tracking System using Optical BPEJTC)

김 은 수
Eun-Soo Kim

광운대학교 전자공학과
Dept. of Electronic Eng., Kwangwoon Univ.
TEL:940-5118 / FAX:941-5979
Email:eskim@daisy.kwangwoon.ac.kr
서울특별시 노원구 월계동 447-1

Abstract

In this paper, we propose a new EOTS by using the optical JTC(joint transform correlator) as the feature extraction part, because the JTC can adaptively detect the relative displacements of moving targets. Firstly, we derive the BPEJTC(binary phase extraction JTC) which is a phase type JTC and can remove the intraclass correlation peaks of the conventional JTC. Then, especially we present a hardware construction for driving the BPEJTC in real time, and with the Kalman target estimation algorithm, we carried out a target tracking experiment only to show the possibility of real-time implementation of the EOTS.

I. 서 론

진략적인 이동 표적 추적 시스템은 레이더에 의해 이루어지고 있지만 사정권 내의 근거리 추적시스템으로는 인식기반의 EOTS (electro-optical tracking system)를 병행하여 이용할 수밖에 없다. EOTS는 근거리 다중 표적 감시 장치로 사용되거나 레이더 기지에 부가적으로 장착되어 특정 표적 감시 장치로 이용될 수 있으며 더 나아가서는 탱크나 장갑차 등 이동체에 탑재되어 단일표적의 추적 및 포신 제어 등에 응용될 수 있다. 표적영상의 감시 장치로 CCD 카메라나 적외선 카메라를 이용하는 EOTS에 방대한 2차원 입력 영상으로부터 표적의 이동 범위 특징을 얻기 위해서는 표적의 상관도를 알 수 있는 공간정합필터가 요구된다.

하지만 공간정합필터에 기초하는 광 상관기들은 입력영상에 대한 기준영상의 정합필터 구성을 요구하게 되므로 실시간 구현에는 많은 제한이 따르게 된다. 반면에, 입력과 기준영상을 하나의 퓨리에 입력평면에 구성하므로써 입력에 대한 밀도의 정합필터 구성이 필요치 않은 형태의 광 상관기인 JTC(joint transform correlator)가 Weaver와 Goodman^[1]에 의해 제안되었고, 최근, 공간 광 변조기 및 CCD등의 소자를 이용한

여 광 JTC 상관 시스템의 실시간적 구성의 가능성이 제시되었다. 광 JTC를 이용하여 연속되는 두 프레임의 영상 신호를 입력 평면에 동시에 위치시키고, 현재 프레임과 이전 프레임 영상을 서로 상관시키면 이동 표적의 상대적 위치 변화와 진후 프레임간 표적의 유사성을 검출할 수 있다.

그러나, 기존의 JTC는 공간정합필터와 유사한 특성을 나타내게 되어 판별력이 저하되고 자기상관의 발생으로 광효율이 낮아지는 단점을 지니고 있었다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 광 간섭 세기 분포인 JTPS(joint transform power spectrum)를 일정한 임계치로 이진화하여 구성할 수 있는 BJTC(binary JTC)^[2-3]가 제안되었다. 특히, JTPS의 매디안 값을 임계치로 이용하면 POE와 유사한 상관판별력을 지니는 것으로 알려져 있다. 그러나, 이진 비선형 특성을 이용하는 단순한 이진화 방법을 다중 입력영상에 적용하는 경우 DC 주변에 자기상관이 발생하고, 동일평면에 존재하는 영상들 간의 상호상관이 나타나게 된다.

따라서, 본 논문에서는 JTPS로 부터 입력과 기준함수에 대한 합성 이진위상성분을 효과적으로 추출함으로써 상관판별력을 극대화시킬 수 있는 광 BPEJTC(binary phase extraction joint transform correlator)를 새로이 제안한다. 본 논문에서는 BPEJTC의 실시간적 구동을 위한 하드웨어 구성을

보이고 이 시스템을 이동표적의 특징추출장치로 응용하여 추적시스템을 구성하였다. 표적의 상태추정 알고리즘으로는 Kalman 필터를 이용하여 실험함으로써 광학을 이용한 실시간 추적시스템의 구현가능성을 보인다.

II. 위상형 공간정합필터

기존의 공간정합필터에서 기준영상 $r(x, y)$ 로 필터함수를 구성하고, 일정거리 이동된 입력영상 $s(x-x_0, y-y_0)$ 이 입력되는 경우, 각각의 퓨리에 변환은 진폭과 위상으로 구성되며 상관출력은 식(1)과 같이 주어진다.^[4]

$$C(x, y) = |S(u, v)| |R(u, v)| \times \exp[j\phi_s(u, v)] \times \exp[-j\phi_r(u, v)] \times \exp[-j2\pi(ux_0 + vy_0)] \quad (1)$$

여기서, $|S(u, v)|$ 와 $|R(u, v)|$ 는 각각 퓨리에 변환된 $s(x, y)$ 와 $r(x, y)$ 의 진폭을 나타내며, $\exp[j\phi_s(u, v)]$ 와 $\exp[-j\phi_r(u, v)]$ 은 위상, $\exp[-j2\pi(ux_0 + vy_0)]$ 는 이동성분에 대한 항으로 상관평면에서 상관 침두치의 위치를 결정하는 요소가 된다. 그리고, 연산자 $F^{-1}(\bullet)$ 는 역퓨리에 변환을 나타낸다. 식(1)에 의한 상관출력은 진폭성분의 영향으로 sidelobe가 증가되어 판별력이 저하되고 필터 마스크의 진폭에 의한 광축수로 광효율을 저하시키는 요인이 된다. 이를 개선하기 위한 방법으로 위상함수를 이용한 상관기들이 제안되었으며, 필터만을 위상함수로 구성하는 POF^[5]와 입력과 필터 모두를 위상함수로 구성하는 POC^[6]가 대표적인 것이다. 그리고, 각각의 상관 출력은 식(2) 및 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$C_{POF}(u, v) = F^{-1} \{ |S(u, v)| \times \exp[j\phi_s(u, v)] \times \exp[-j\phi_r(u, v)] \times \exp[-j2\pi(ux_0 + vy_0)] \} \quad (2)$$

$$C_{POC}(u, v) = F^{-1} \{ \exp[j\phi_s(u, v)] \times \exp[-j\phi_r(u, v)] \times \exp[-j2\pi(ux_0 + vy_0)] \} \quad (3)$$

또한, 신호의 판별력은 POF, POC에 비하여 다소 뒤질지라도 공간 광 변조기를 이용하여 시스템 구성

이 용이하도록 위상함수를 이진화하여 이용하는 방법으로 식(2)와 식(3)에 관련하여 필터만을 이진위상형태로 기록하는 BPOF(binary POF)와 입력과 필터 모두를 이진위상으로 구성하는 BPOC(binary POC)^[7]등이 있다. 이진화는 위상각에 기초하여 구성할 수 있게 되는데, 특정 위상각으로 이진화하는 특성 때문에 필터함수로 기록되는 입력의 형태와 위치에 따라 영상의 오류 및 유실이 발생할 수 있다.^[8] 또한, POC의 이진위상형태인 BPOC는 필터함수 외에 입력함수가 퓨리에 변환되어 이진화된다. 따라서, BPOF의 필터구성에서 발생하는 문제가 입력함수에서도 발생함으로 비록 BPOF에 비하여 판별력은 개선될 수 있을지라도 필터함수 구성과 함께 입력함수 구성에도 제약이 발생하게 된다.

따라서, 복소함수에 근거하여 실수 이진 값을 이용하는 방법으로도 정합필터 구성상에 문제점을 극복할 수 없을 뿐만 아니라^[17], 공간정합필터에 기초하고 있는 상관기들은 모든 입력함수에 대한 정합필터를 필요로 하게 되어 실질적으로 실시간 시스템 구성이 어렵게 되므로, 최근 별도의 필터함수 없이 공간 광 변조기와 에너지 검출기를 이용하여 효과적인 상관이 가능한 광 JTC에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

III. 광 JTC 시스템

공간정합필터와 또다른 형태로 구성되는 광 JTC는 입력영상과 기준영상을 그림 1과 같이 하나의 입력평면에 구성하고 동시에 퓨리에 변환하여 광세기 형태로 검출하고 다시, 역퓨리에 변환하므로써 상관 결과를 얻을 수 있다. 특히, 광 JTC는 입력과 출력이 모두 실수형태로 구성되므로 공간 광 변조기를 이용하여 입력평면을 구성하고, CCD등과 같은 에너지 검출기를 이용하여 시스템을 구성하므로써 실시간적으로 영상상관이 가능하게 된다.^[1-3,9]

광 JTC 시스템은 퓨리에 입력평면을 그림 1과 같이 상하단으로 분리하여 하단에 기준영상을 위치시키고, 상단에는 시스템의 입력영상을 위치하여 구성되는데 식(4)와 같은 다중 입력영상에 대한 광 JTC 시스템을 분석하면 다음과 같다.

$$r(x, y) = r(x-x_0, y-y_0), \quad (4)$$

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

$r(x, y)$ 와 $s_i(x, y)$ 를 동일한 영상으로 가정하고, 식(4)의 기준영상과 다중 입력영상을 동시에 퓨리에 변환하고

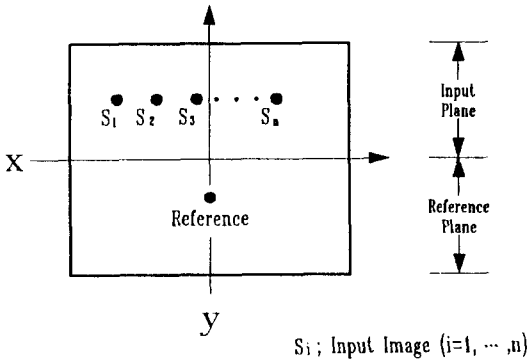


그림 1 광 JTC 입력평면
Fig. 1 Input plane of optical JTC

제공하므로서 JTPTS를 얻을 수 있으며 식(5)와 같이 나타낼 수 있다. 여기서, $R(u,v)$ 와 $S_i(u,v)$ 는 $r(x,y)$ 와 $s_i(x,y)$ 의 푸리에 변환을 각각 나타낸다. 그리고, 식(5)는 다시 역푸리에 변환을 통하여 식(6)과 같은 최종 상관 결과를 얻게 된다.

$$\begin{aligned}
 E(u, v) = & |R(u, v)|^2 + \sum_{i=1}^n |S_i(u, v)|^2 \\
 & + \sum_{i=1}^n R(u, v) S_i^*(u, v) \exp\{-j[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\} \\
 & + \sum_{i=1}^n R^*(u, v) S_i(u, v) \exp\{j[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\} \\
 & + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n S_i(u, v) S_k^*(u, v) \exp\{-j[(x_i - x_k)u + (y_i - y_k)v]\} \\
 & + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n S_i^*(u, v) S_k(u, v) \exp\{j[(x_i - x_k)u + (y_i - y_k)v]\}
 \end{aligned} \tag{5}$$

$$\begin{aligned}
 C(x, y) = & r(x, y) \otimes r(x, y) + \sum_{i=1}^n [s_i(x, y) \otimes s_i(x, y)] \\
 & + \sum_{i=1}^n [r(x, y) \otimes s_i(x, y)] * \delta(x + x_0 - x_i, y + y_0 - y_i) \\
 & + \sum_{i=1}^n [r(x, y) \otimes s_i(x, y)] * \delta(x - x_0 + x_i, y - y_0 + y_i) \\
 & + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n [s_i(x, y) \otimes s_k(x, y)] * \delta(x + x_i - x_k, y + y_i - y_k) \\
 & + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n [s_i(x, y) \otimes s_k(x, y)] * \delta(x - x_i + x_k, y - y_i + y_k)
 \end{aligned} \tag{6}$$

여기서, \otimes 와 $*$ 는 convolution과 상관을 나타내고, 첫 번째 항과 두 번째 항은 기준함수와 입력영상 자체에서 발생하는 자기상관 성분으로 상관 침투치는 DC를 중심으로 이동 없이 나타나게 된다. 두 번째 항과 세 번

째 항은 기준영상과 입력영상간에 발생하는 상호상관 결과이고, 네 번째와 마지막 항은 입력영상간에 발생하는 상호상관 성분을 나타내고 있다. 그리고, 각각의 상호상관 침투치는 DC를 중심으로 영상간의 분리간격에 따라 원점대칭으로 나타나게 된다. 따라서, 광 JTC를 인식 및 추적에 이용하는 경우 처음 두 항은 DC와 함께 나타나는 불필요한 성분이 된다. 그리고, 영상간의 분리조건에 따라 마지막 두 항은 상관오류를 발생시킬 수 있으므로 실제 필요한 세 번째와 네 번째 항만을 분리하여 이용할 필요가 있다.

특히, 식(6)의 모든 상관 항은 진폭과 위상 항이 유지되며 선형적으로 구성되어 있으므로 신호간의 판별력 면에서 공간정합필터와 유사하게 된다. 또한, JTPTS가 광 세기 형태로 구성되어 있으므로 위상성분만을 추출하기도 어려울 뿐만 아니라, 연속적인 값으로 나타나므로 공간 광 변조기를 입력장치로 이용하려면 양자화가 불가피하다. 이러한 문제를 해결하기 위한 방법으로 제시된 BJTC는 JTPTS를 이진화함으로써 구성된다.^[2,3,10] 이진 값으로 구성되는 JTPTS는 공간 광 변조기를 이용하여 구성이 용이하게 되고 특히, 단일 입력영상에 대하여 메디안 값을 기준으로 JTPTS를 이진화하게 되면 비선형 특성으로 자기상관성분이 제

거되고 POF와 유사한 상관 판별력을 나타내는 것으로 알려져 있다.^[2,15] 그러나, 메디안 방법을 이용하는 BJTC를 다중표적에 적용하는 경우에는 역시 자기상관성분이 나타나게 되고, 판별능력이 분리조건에 의존

하게 되며, 상관 오류와 유실이 발생하는 등의 문제점을 가지고 있다.^{[10],[11]}

IV. 광 BPEJTC 시스템

본 논문에서 제안하는 광 BPEJTC 시스템은 기존의 광 JTC 및 BJTC 시스템을 다중표적에 적용하는 경우에 발생하는 과도한 DC, 상관오류등을 제거하고 분리조건에 보다 탄력적으로 대처하기 위하여 구성되었다. 시스템 구성은 광 간섭 세기 분포로 나타나는 JTPS에서 자기상관 성분과 동일영상 평면에서 나타나는 상호상관을 제거한다. 그리고, 효과적으로 위상 함수만을 추출하므로써 상관판별력을 보다 개선하고, 광효율을 극대화하게 된다.

광 BPEJTC 시스템의 이진위상 JTPS를 구성하려면, 불필요한 상관 성분제거를 위하여 기존 광 JTC의 JTPS외에 기준영상평면 및 입력평면 각각의 광 간섭 세기 분포가 요구된다. 즉, 식(4)에 나타난 영상 각각의 광 간섭 세기 분포가 필요하게 되며 식(7) 및 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_r(u, v) = |R(u, v)|^2 \tag{7}$$

$$E_s(u, v) = \sum_{i=1}^n |S_i(u, v)|^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n S_i(u, v) S_k^*(u, v) \exp\{-j[(x_i - x_k)u + (y_i - y_k)v]\} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n S_i^*(u, v) S_k(u, v) \exp\{j[(x_i - x_k)u + (y_i - y_k)v]\} \tag{8}$$

자기상관과 동일평면에서 발생하는 상관성분이 제거된 JTPS를 구성하기 위하여 먼저, 모든 영상을 동시에 푸리에 변환하여 구성한 식(6)에서 기준영상평면 및 입력평면의 광 간섭 세기 분포인 식(7)과 식(8)을 제거하게 되면 식(9)의 결과를 얻을 수 있다.^[9-12]

$$E_{NEW}(u, v) = \sum_{i=1}^n R(u, v) S_i^*(u, v) \exp\{-j[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\} + \sum_{i=1}^n R^*(u, v) S_i(u, v) \exp\{j[(x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v]\} = 2[\sum_{i=1}^n |R(u, v)| |S_i(u, v)| \times \cos\{\phi_r(u, v) - \phi_s(u, v) - (x_0 - x_i)u - (y_0 - y_i)v\}] \tag{9}$$

식(9)에는 자기상관과 동일평면에서 발생하는 상호상관 성분이 제거되어 있으며, 식(3)과 비교하면 입력과 기준영상 상호간에 필터함수와 입력함수를 교대로 구

성하며 합성된 두개의 공간정합필터가 중첩된 형태를 나타내고 있다. 또한, 기준영상과 입력영상의 진폭성분인 $|R(u, v)| |S_i(u, v)|$ 는 항상 '0'보다 크거나 같은 값을 나타내므로 $E_{NEW}(u, v)$ 의 부호는 단지 cosine 값에 영향을 받게 된다. 따라서, 식(10)에 따라 새로이 구성된 JTPS를 이진화하므로써 이진위상 형태의 JTPS가 구성될 수 있다.

$$E_{biny}(u, v) = \begin{cases} 1 & E_{NEW}(u, v) \geq 0 \\ -1 & E_{NEW}(u, v) < 0 \end{cases} \tag{10}$$

$E_{biny}(u, v)$ 는 $E_{NEW}(u, v)$ 의 부호 변화에 따르고 $E_{NEW}(u, v)$ 는 cosine 함수에 영향을 받고 있으므로 $E_{biny}(u, v)$ 가 나타내는 값은 $\cos(\pi)$ 혹은 $\cos(-\pi)$ 가 되고, 식(10)은 순수한 위상함수로써 해석이 가능하게 된다. 또한, cosine 값은 입력과 기준영상의 위상을 동시에 지니고 있으므로 상관평면에서 얻는 결과는 POC와 유사하게 된다. 따라서, 상관결과는 식(11)과 같이 얻을 수 있다.

$$C(x, y) = \sum_{i=1}^n \{ \text{edge}[s_i(x, y)] \otimes \text{edge}[r(x, y)] \} * \delta(x + x_0 - x_i, y + y_0 - y_i) + \sum_{i=1}^n \{ \text{edge}[r(x, y)] \otimes \text{edge}[s_i(x, y)] \} * \delta(x - x_0 + x_i, y - y_0 + y_i) \tag{11}$$

위식에서 $\text{edge}[\cdot]$ 는 영상의 위상신호를 발생시킨 이산적인 경계를 나타내며, \otimes 는 convolution 연산을 그리고 $*$ 는 상관 연산을 나타낸다. 그리고, 입력평면에

n개의 동일 다중 영상이 존재한다면, 2n개의 상관 침투치가 DC를 중심으로 하여 대칭적으로 나타나게 된다. 상관결과는 비록 cosine 값에 따른 이진위상에 의해 발생했는지라도 이미 JTPS가 복소함수의 제곱에 의해 구성되었으므로 필터의 복소함수중 실수부 혹은 허수부에 근거하여 이진화한 BPOF, BPOC와 달리 실수부와 허수부가 모두 고려되어 있다. 그리고, 기준영상과 입력영상의 합성된 위상으로 구성되어 있으므로 POF 보다는 입력과 필터함수 모두가 복소 위상으로 구성된 POC와 유사한 상관 결과를 얻을 수 있다.

따라서, 새로이 제안된 광 BPEJTC 시스템은 자기 상관에 따른 DC 성분과 다중 입력영상으로 인하여 동일평면에서 발생하는 상관유무를 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 공간 정합필터에서 가장 우수한 peak-to-sidelobe를 나타내는 것으로 알려진 POC와 유사한 특성을 나타낼 수 있게 된다. 특히, 디지털적 연산처리부가 단순히 감산과 '0'으로 고정된 임계치로 구성되므로 매번 메디안 값을 구하여 임계치로 구성하는 기존의 BJTC 시스템에 비하여 디지털적 계산 량도 크게 줄일 수 있게 되어 실시간적 광 상관이 가능하게 된다.

V. BPEJTC의 성능분석

본 논문에서 제시한 광 BPEJTC를 기존의 BJTC²¹ 및 위상형태의 정합필터들과 상관특성을 비교하기 위하여 이상적인 상태에서 컴퓨터로 시뮬레이션하였다.

그림 2에 나타난 순서도는 광 BPEJTC의 성능을 평가하기 위하여 구성한 컴퓨터 시뮬레이션 절차로서 기타 기존의 JTC 및 BJTC와 구성상의 차이를 비교할 수 있도록 세부적으로 분리하여 구성하였다. 먼저, 기존의 JTC는 입력영상과 기준영상을 동시에 푸리에 변환하여 JTPS를 구하고, 역푸리에 변환을 통하여 상관시켰다. 그리고, BJTC는 JTPS의 메디안 값을 임계치로 설정하고 JTPS를 이진화한 이후 역푸리에 변환하여 상관결과를 얻었다. 마지막으로, 광 BPEJTC는 입력 및 기준영상에 대한 각각의 파워 스펙트럼을 구하여 부호를 반전시키고 JTPS에 더하여 새로운 스펙트럼을 합성하였다. 그리고, 위상추출을 위하여 '0' 값을 기준으로 이진화하고 역푸리에 변환하여 상관결과를 얻었다. 또한, 공간정합필터에 근거하여 구성된 위상형태의 상관기들은 그림 3에 나타난 기준영상 평면을 필터로 구성하고 입력영상을 푸리에 변환하여 곱하므로써 수행하였다.

시뮬레이션을 위하여 푸리에 입력 및 출력평면을

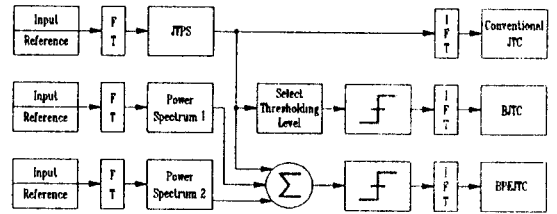
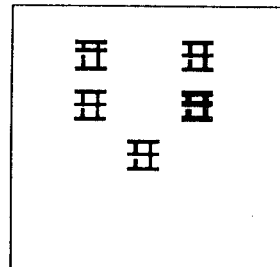


그림 2 광 BPEJTC의 시뮬레이션 흐름도
Fig. 2 Simulation flow chart of optical BPEJTC

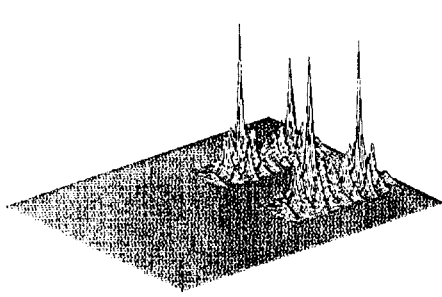
128 X 128 크기로 설정한 후 위상특성을 해석하기에 용이한 형태인 한글 '표'자를 15 X 15 크기의 이진 값으로 구성하여 표적영상으로 나타내고 2D-FFT로써 수행하였다.

그림 3은 광 BPEJTC를 위상형태의 공간정합필터들과 상관특성을 비교하기 위하여 하단의 '표'를 위치변화 없이 필터함수로 구성하고 상단의 영상을 입력시켜 상관시킨 결과들을 나타내고 있다. 그림 3(a)는 광 BPEJTC 시스템의 위상특성을 해석하기 위하여 구성된 JTC 입력영상으로 하단에 '표'가 기준영상이 되며 상단에 나타난 4개의 글자가 시스템의 입력영상들이 된다. 우측상단과 좌측하단의 영상은 기준과 표적간의 거리에 따른 특성을 조사하기 위하여 기준영상과 동일하게 구성된 실제 표적영상이고, 좌측상단의 '표'는 가운데 가로축이 위쪽으로 평행 이동한 형태이고, 우측하단의 영상은 선의 굵기만을 변화시킨 것으로 두가지 모두 허위 표적으로 작용하게 된다.

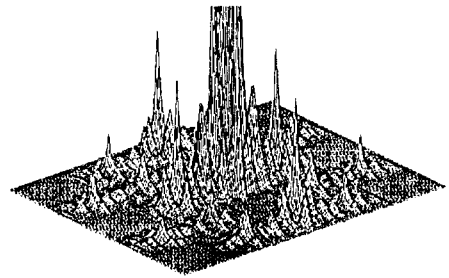
그림 3(b)와 (c)는 기존의 공간정합필터와 POF의 상관 평면을 나타내며, 그림 3(d)는 판별력이 가장 우수한 것으로 알려진 POC의 상관결과를 나타내고 있다. 그림 3(b)에 나타난 상관결과에서 굵기를 변화시킨 영상은 진폭의 영향으로 상관 침투치의 폭이 증가했을 뿐 높이 면에서 실제 표적과 판별이 불가능한 상태이다.



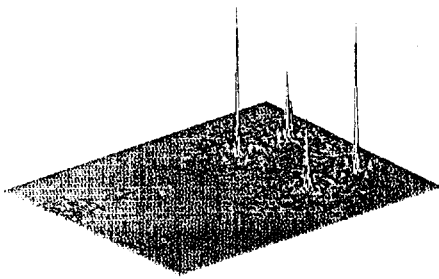
(a)



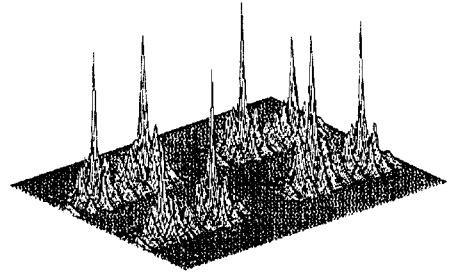
(b)



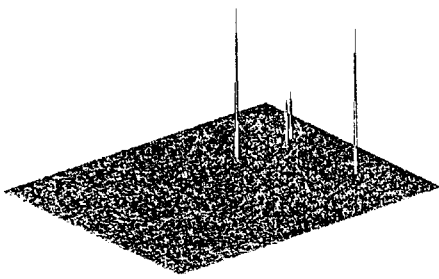
(a)



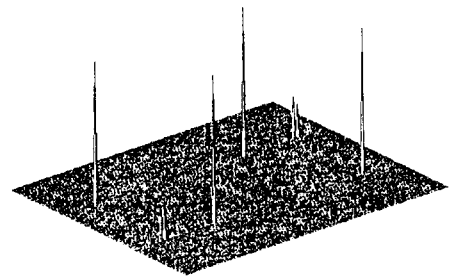
(c)



(b)



(d)



(c)

그림 3 여러가지 공간정합필터들에 의한 상관출력

- (a) JTC의 입력영상
- (b) 공간정합필터
- (c) POF
- (d) POC

Fig. 3 Correlation outputs of various matched spatial filters

- (a) Input images of JTC
- (b) Matched spatial filter
- (c) POF
- (d) POC

그림 4 여러가지 JTC 구조에 의한 상관결과

- (a) 기존의 JTC
- (b) 새로운 JTPS를 이용한 JTC
- (c) 광 BPEJTC

Fig. 4 Correlation results of various JTC structures

- (a) Conventional JTC
- (b) JTC using new JTPS
- (c) Optical BPEJTC

그러나, 필터가 위상만으로 구성된 POF의 상관결과(그림 3(c)에서는 형태변화가 이루어진 영상(S1)과 굵기 변화된 영상(S4)이 유사한 상관 침투치 높이를 나타내고 있다. 그리고, 완전히 위상만으로 구성된 POC의 상관 출력인 그림 3(d)에서는 굵기 변화된 영상에 의한 상관 침투치(S4)는 검출이 어렵게 된다. 3 가지 상관결과를 비교하면, 위상이용 정도에 따라서 모든 상관 침투치가 보다 침해해지며 sidelobe가 감소하고 있다. 그중 굵기 변화된 영상과 유사하게 형태가 변화된 영상에서 발생하는 상관 침투치의 높이는 실제 표적에 비해 점차 낮게 나타나고 있다. 이것은 굵기 변화된 영상은 진폭 면에서는 기준영상을 포함하고 있을지라도 위상 면에서는 완전히 다른 신호가 되기 때문이다. 따라서, 위상신호가 상관에 의한 판별력에 대단히 중요한 요소로 작용하게 되므로, 필터함수와 입력영상 모두가 위상으로 기록되는 POC가보다 우수한 판별력을 나타내게 된다.

그림 4는 그림 3(a)를 입력으로 구성하고 광 BPEJTC의 위상특성을 조사하기 위하여 상관시킨 결과들을 나타내고 있다. 첫번째로, 기존의 JTC를 이용한 상관결과를 그림 4(a)에 나타내고, 그림 4(b)에는 새로이 구성된 JTPS를 이용한 JTC의 상관결과를 나타내어 그림 3(b)의 공간정합필터의 상관결과와 비교하였으며, 광 BPEJTC의 상관출력은 그림 4(c)에 나타내었다.

그림 4(a)의 상관결과를 나타내는 기존의 JTC는 별도의 필터구성을 요구하지 않는 장점은 있으나 실제 신호를 판독하기 어렵게 함을 알 수 있다. 이것은 자기상관에 의해 과도한 DC가 발생하고, 동일평면에서 상호상관이 발생되어 판별력이 저하시키기 때문이다. 따라서, 새로이 JTPS를 구성하게 되면 그림 3(c)와 같은 두개의 공간정합필터가 DC 없이 원점대칭으로 나타내게 된다. 그러나, 공간정합필터의 진폭에 의한 특성과 동일한 현상으로 넓은 상관 침투치폭 즉, 낮은 peak-to- sidelobe를 나타내고 있음을 그림 4(c)와 표 2를 통하여 알 수 있다. 반면에, JTPS의 완전한 이진 위상을 추출할 수 있는 광 BPEJTC를 이용하게 되면 진폭함수가 제거된 형태가 되어 POC와 유사한 특성을 얻을 수 있게 된다. 따라서, 굵기 변화된 영상에 의한 상관 신호는 제거되고, 형태 변화된 신호는 미약해질 뿐만아니라 상관 침투치가 침해하게 나타나는 결과를 얻을 수 있게 되어 필요한 신호만을 정확히 판별할 수 있게 된다. 결과적으로, 광 BPEJTC에 의한 상관결과는 별도의 필터를 요구하지 않는 JTC에 위상특성을 부여하므로써 POC에 유사하게 위상특성을 나타낼 뿐만 아니라 BPOF와 같이 이진화를 위한 특정 위상각을 합성할 필요가 없으므로 보다 간단히 이

진 값으로 상관기를 구성할 수 있게 되어 광학적 처리가 용이하게 된다.

V. 광 BPEJTC 시스템의 광학적 구성과 신호흐름의 제어

그림 5는 광 BPEJTC 추적 시스템의 구성도를 나타낸 것으로 기준 영상과 입력 영상은 하나의 공간 광 변조기를 상하로 분리하여 상단에 입력평면을 구성하게 되며, 전체 시스템은 6-f로 구성 된다. 시스템은 처음에 기준 영상을 편광기가 부착된 LCD₂에 나타내고 CCD₃ 로 검출한 파워 스펙트럼을 메모리에 저장한 이후에 CCD 카메라로 입력을 받아 들임으로써 시스템의 동작을 시작한다. 그리고 상단의 입력만을 푸리에 변환하기 위하여 CCD₂와 영상 차단막이 이용되고 있으며 전체 영상의 JTPS를 구하기 위하여 CCD₃이 이용된다^[13].

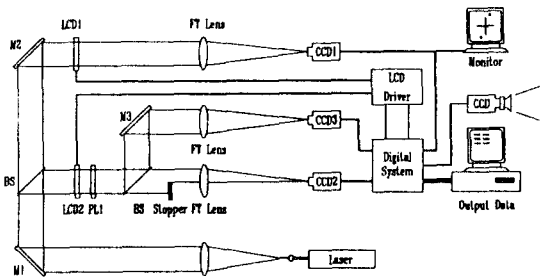


그림 5. 광 BPEJTC 표적 추적 시스템
Fig. 5. Optical BPEJTC target tracking system

그리고, 이진 위상 형태로 합성된 JTPS를 나타내기 위하여 편광기가 제거된 LCD₁을 이용하므로써 광 효율을 높일 수 있게 되며^[16], CCD₃에서 상관 결과를 얻을 수 있다.

본 논문에서는 광 BPEJTC 추적 시스템의 실시간 구현하기 위하여 초당 15 프레임의 처리 능력을 가질 수 있도록 그림 6에서 나타낸 것과 같이 신호 처리에 대한 타이밍을 고려하여 신호 흐름 제어 방법을 제안하고자 한다.

그림 6에서는 주기 T₁의 ODD 동안 영상을 입력 받는 동시에 SLM에 기록하며, 주기 T₂에서는 입력 영상에 대한 파워 스펙트럼과 JTC 입력 영상에 대한 파워 스펙트럼, 비퍼에 이미 저장되어 있는 기준(이진) 영상에 대한 파워 스펙트럼을 이용 이진화 시킴과 동시에 이진화 파워 스펙트럼을 SLM에 띄워 상관

결과를 얻을 수 있도록 고려 하였다.

그림 7은 그림 6의 신호 처리 흐름을 기준으로 제안한 광 BPEJTC 추적 시스템의 하드웨어 구성도이다. 시스템 구성은 4개의 8 bit A/D 변환기, 2개의 LCD 구동형 D/A 변환기와 2개의 LCD, 4개의 CCD 카메라, 이전 영상에 대한 파워 스펙트럼을 저장하는 128K×8bit FIFO, 기준 영상과 표적 영상을 저장하는 버퍼, 감산기와 비교기로 구성한다.

이 시스템의 동작은 이전 프레임에 대한 푸리에 변환한 값을 PS1, 현재 프레임의 푸리에 변환 값을 PS2, 그리고 두 프레임에 동시에 변환한 값을 PS3라 하면, PS1의 파워 스펙트럼은 FIFO 버퍼에 위치한다. 검출기 1에는 PS2, 검출기 2에는 PS3가 시스템에 동기되어 동시에 입력된다.

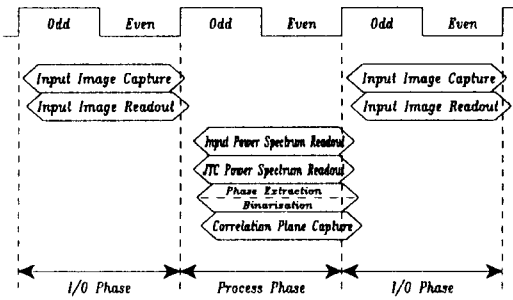


그림 6. BPEJTC 시스템의 신호처리 흐름도
Fig. 6. Signal processing flow of BPEJTC system

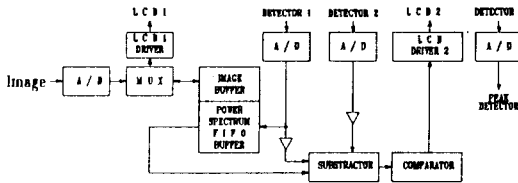


그림 7. 광 BPEJTC 추적 시스템의 신호흐름 제어를 위한 하드웨어 구성도
Fig. 7. Schematic diagram for signal flow control of optical BPEJTC tracking system

PS2는 FIFO로 입력되는 동시에 PS3와 함께 감산기로 보내지며, FIFO에 있던 PS1도 FIFO에 입력되는 PS2에 의해 순차적으로 출력되어 감산기로 보내진다. 감산기에서는 단지, PS3-PS1-PS2의 연산만으로 PS3에 나타나 있던 동일 프레임 내의 표적들간의 상관값들이 제거될 수 있고, 광학 시스템에 의해 발생하는 DC 또한 제거되므로 역푸리에 변환을 통하여 순수하게 두 프레임간의 상관 값만을 얻을 수 있다. 여기에서 감산 연산에 의해 구해진 JTPS를 비교기에서 이진화하므로써 위상 함수로 변환되는 효과를 얻을 수 있고, 이 이진화된 JTPS를 역푸리에 변환하면 특히, 자기 상관 성분만이 크게되고 상호 상관 성분은 작아져서 표적 식별 능력이 배가된다.

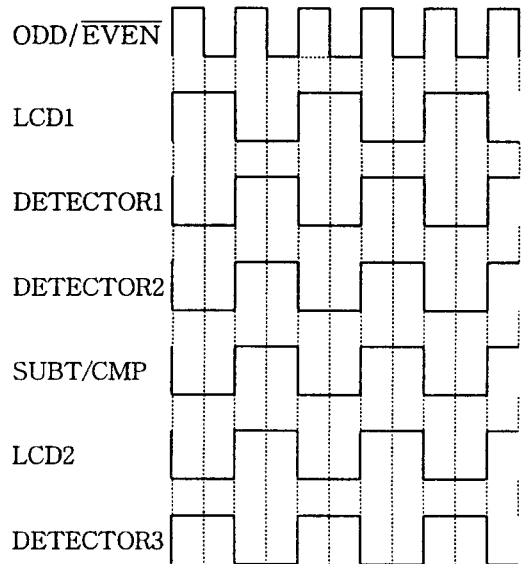


그림 8. 광 BPEJTC 추적 시스템의 타이밍도
Fig. 8. Timing diagram of optical BPEJTC tracking system

그림 8은 본 논문에서 제안한 광 BPEJTC 추적 시스템의 신호 흐름 제어를 위한 타이밍을 나타내었다. 광 BPEJTC 신호 흐름 제어의 하드웨어 구현을 위해 시스템의 level 속도를 50MHz 이상 증진 시킬 필요가 있으므로 시스템의 동기 신호 및 이진화 회로를 HP의 0.8μm CMOS process를 이용하여 제조된 ACT™2 시스템으로 구성한다. ACT™2 시스템은 4ns의 전파 지연을 갖고 시스템 level 속도를 66MHz 까지 증진 시킬 수 있으며, 1,000에서 10,000 게이트 이상의 집적도를 갖는다^[18]. 16 bit 카운터는 125 MHz

10ns clock-to-Q time에서 입력할 수 있는 I/O 회로의 구성이 가능하다.

광 BPEJTC 시스템의 신호 흐름 제어를 위해 동기 신호의 타이밍 제어 회로와 감산기, 비교기를 ACTTM2의 FPGA를 이용하여 구성하고, 영상 버퍼는 17ns 이하의 access time을 갖는 2개의 128K×8bit SRAM, 파워 스펙트럼 버퍼는 20ns 이하의 read/write cycle time을 갖는 128K×8bit FIFO 회로로 구성하며, NTSC 신호의 입·출력 회로는 20ns transition time을 갖는 A/D 및 D/A 변환기를 사용하고, 시스템 전반에 대한 감시와 인터럽트 처리를 위해 50MHz 이상의 마이크로프로세서를 사용하여 디지털 신호를 분산 처리 하면 본 논문에서 제안한 광 BPEJTC 추적 시스템의 하드웨어 구성을 초당 15 프레임의 처리 능력을 갖도록 하여 실시간 구현이 가능하다.

VI. 광 BPEJTC 시스템을 이용한 다중 표적 추적 실험

VI-1. JTC 평면상에서의 표적 상태 추정

JTC 평면상에서 측정된 위치는 표적 추적 평면에서의 이동 거리를 나타내고 이 이동거리는 곧 프레임당 속도를 나타내므로 이들 측정값들을 Kalman 필터의 상태변수로 설정하면 표적의 상태 벡터는 식 (12)와 같이 된다.

$$x^T = [v_x \ a_x \ v_y \ a_y] \quad (12)$$

여기에서 v_x 는 x 축 박향의 속도 즉, JTC 침두값의 x 축 좌표값을 나타내고 v_y 는 y 축 박향의 속도 즉, JTC 침두값의 y 축 좌표값을 나타내며, a_x 와 a_y 는 각각 v_x 와 v_y 의 시간축 미분항이다. Kalman 필터의 상태 변수에 적합하도록 구한 상태 천이 행렬과 외부 입력에 대한 이득 행렬은 식 (13)과 같이 주어지며,

$$F = \begin{bmatrix} 1 & \Delta & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \Delta \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} \frac{\Delta^2}{2} & 0 \\ \Delta & 0 \\ 0 & \frac{\Delta^2}{2} \\ 0 & \Delta \end{bmatrix} \quad (13)$$

표적의 상태로 부터 측정값을 추출하기 위한 계수행렬 H 는 식 (14)와 같이 정해진다.

$$H = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (14)$$

또한, 표적의 상태 천이중 발생할 것으로 예상되는 잡음의 분산행렬 Q 와 표적의 측정잡음의 분산행렬 R 은 식(15)로 표시된다.

$$Q = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & q_x & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & q_y \end{bmatrix}, R = \begin{bmatrix} r_x & 0 \\ 0 & r_y \end{bmatrix} \quad (15)$$

이제까지 기존의 JTC/NN 추적 시스템에서 가장 큰 문제점으로 대두되었던 좌표계 변환 오류를 줄이기 위하여 JTC 평면상에서 표적의 상태를 추정할 수 있도록 Kalman 상태 변수를 설정하였다. 그러나 JTC 평면상에서 추정된 최종 출력은 표적의 추정된 변위량이므로 표적의 궤적을 감시하는 관점에서 볼 때 JTC 좌표계를 절대 위치 좌표계로 변환하는 것은 필요불가결하다 하겠다.

BPEJTC로 측정된 표적의 이동 변위는 프레임당 표적의 속도를 나타내므로, 상태추정 샘플링 주기를 시간으로 표기하지 않고 프레임으로 표기하면, 이는 트랙 추적 평면에서의 속도항과 차원이 일치하게 된다. 본 논문에서는 이들 두 변수간의 정합을 위하여 Nearest Neighbor^[14] 알고리즘을 사용하였다. 이를 위하여 식 (16),(17),(18)을 정의한다.

$$\hat{y}(k) = K \hat{x}(k) \quad (16)$$

$$\hat{v}(kk-1) = M \hat{x}_{track}(kk-1) \quad (17)$$

$$d^2(\hat{y}) = [\hat{y}(k) - \hat{v}(k)]^T S^{-1}(k) [\hat{y}(k) - \hat{v}(k)] \quad (18)$$

여기서 K 는 추정된 상태 변수 $\hat{x}(k)$ 로 부터 추정 이동 변위 $\hat{y}(k)$ 를 추출하는 계수 행렬이고, M 은 궤적 추적 평면의 예측된 표적 상태 변수 $\hat{x}_{track}(kk-1)$ 로 부터 예측 속도 변수 $\hat{v}(kk-1)$ 를 추출하기 위한 계수 행렬이다. 또한, 각 측정값에 대하여 식(18)의 d^2 이 가장 작은 트랙을 연관시켜 주는 방법이 Nearest Neighbor 알고리즘이다.

즉, 식 (19)와 같이 궤적 감시 평면상의 t 번째 표적의 예측 속도와 JTC 평면상의 i 번째 표적의 추정 변위와의 거리가 가장 가까운 대상의 지수 j 를 구하여 JTC 평면상의 j 번째 추정 상태를 궤적 감시 평면의 t 번째 표적에 정합시켜 주는 방법이다.

$$j = \underset{i}{\operatorname{argmin}} d^2(\hat{y}_i) \quad (19)$$

이렇게 하면 기존의 JTC/NN 알고리즘에 비하여 표적의 궤적을 감시하는데 가상표적이 발생되지 않아 감시평면에서의 혼란을 방지할 수 있다.

VI-1. 실험 및 결과고찰

본 논문의 실험에서는 실제 대공 상황을 고려하여 흰색 바탕의 회전 원판에 두대의 흰색 비행체 모양을 위치시키고 CCD를 통하여 받아들인 영상을 시나리오로 사용하였다. 그림 9에 보인 시나리오는 두 표적이 계속 등가속 운동을 하고 있으므로 기존의 JTC/NN 추적 시스템에서는 상대 비행체의 가상 측정값에 의하여 트랙이 합류되는 현상을 보일 수 있다.

본 실험을 위하여 BPEJTC를 이동표적 특징 추출 장치로 도입하였고, 광학 시스템의 입력 평면의 구성을 위해서는 Epson사의 LCD 공간광변조기를 사용하고 JTC 파워 스펙트럼과 상관 침투값 영상의 검출장치로는 금성 Honeywell CCD 카메라를 사용하였다. 그리고, 파워스펙트럼의 이진화 및 침투값의 검출은 DT2851 이미지 그래버(image grabber)를 이용하고 Kalman 필터 알고리즘은 486DX 컴퓨터를 이용하여 시뮬레이션 하였다.

연속되는 두 프레임의 시나리오는 그림 10(a)와 같이 BPEJTC의 LCD 입력 평면상의 상반부와 하반부에 놓이게 된다. 입력 평면상에서 이미 y축으로 L만큼 이동된 형태이므로 이 영상에 대한 상관 침투값은 그림 10(b)에 보인 바와 같이 중앙의 DC를 중심으로 $L-\Delta y$ $-L+\Delta y$ 의 위치에 대칭적으로 나타나게 되는데 여기에서는 상반부에 나타난 침투값만을 표시하였다. 그림 10(b)의 우상단의 표기는 침투값의 상관정도를 255레벨로 정규화시켜 나타낸 것이고 좌상단의 표기는 상관평면의 침투값 위치를 보인 것이다. 이렇게 측정된 침투값 위치에서 표적이 고정된 상태에서 구한 기준 상관 위치를 빼면 전 프레임과 후 프레임 표적간의 변위를 구할 수 있다. 이 변위값이 바로 Kalman 상태 추정 알고리즘의 실측값으로 입력되는 것이다. 여기서 검출되는 표적 상관값들은 잡음이나 클러터 등에 의하여 실제 표적의 갯수 이상 또는 미만으로 검출되기 때문에 표적의 상태추정 알고리즘이 요구된다.

광 BJTC에 대한 이론적 분석과 컴퓨터 시뮬레이션에 따르면 상관 평면에 나타나는 전체 상관 침투치의 수는 자기 상관 성분에 해당하는 DC를 제외하고 모든 표적간에 상호상관이 발생한다. 따라서, 상관 평면

에서 검출되는 상관침투치는 $2_n C_2(n$: 표적수, C : combination)개가 원점대칭으로 나타나게 된다. 이러한 광 BJTC 상관침투치 수 계산에 의하면 본 실험에 이용되는 표적의 수가 2개이며 상하 평면에 나타나 있으므로 전체 표적 수는 4개가 되어 상관침투치 수는 $2_4 C_2$ 가 된다. 그러나, 광 BPEJTC의 이론과 컴퓨터 시뮬레이션에 따르면 광 BJTC와 비교하여 자기상관이 발생하지 않고 동일평면 상관이 발생하지 않으므로 상관 평면에는 침투치 수가 급격히 감소하게 된다. 따라서, 광효율이 증가하게 된다. 광 BPEJTC의 상관 평면인 그림 10(b)를 살펴보게 되면, DC 주변에 sidelobe와 주변의 상관 성분이 매우 미약함을 알 수 있다.

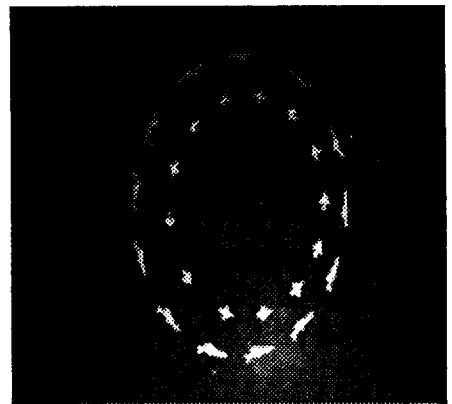
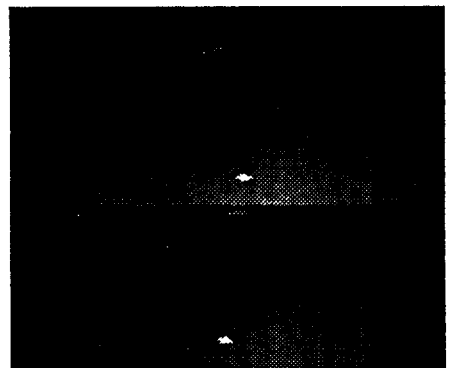


그림 9. 회전하는 두표적 시나리오
Fig. 9. Two circulating target scenario



(a)

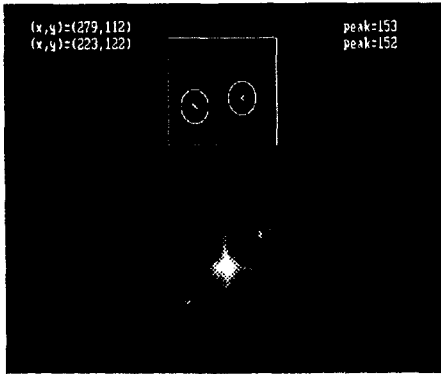
VII. 결 론

본 논문에서는 JTC의 광세기 분포로부터 이전 위상성분을 추출하므로써 그 상관특성이 이상적인 정합 필터인 POC(phase only correlator)와 동일하면서도 실수함수로 구성되므로 실시간적으로 구현이 가능한 BPEJTC(binary phase extraction JTC)를 제안하고 성능을 분석하였다. 그리고 하드웨어적 설계관점에서 분석하여 제안된 시스템의 실시간적 응용가능성을 증명하였다. 또한, 이 시스템을 EOTS의 표적 특징 추출장치로 응용하여 추적시스템을 구성하였다. 표적의 상태추정 알고리즘으로는 Kalman 필터를 이용하여 실험한 결과 기존의 광 JTC를 이용한 경우 보다 가상 측정값에 의한 표적의 유실이나 오경보를 제거할 수 있음을 보였다. 본 연구의 결과는 스마트 위폰(smart weapon) 체계의 핵심으로 미사일 유도 및 항공기 자동 관제 시스템 개발에 이용될 수 있고, 전투기 탑재형 차세대 EOTS의 국산화 기술로 응용될 수 있으리라 기대된다.

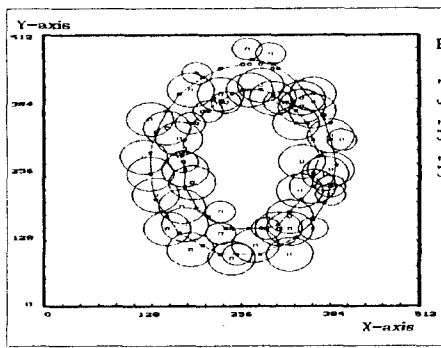
※ 본 연구는 국방과학연구소 장기기초 연구비 지원에 의해 이루어짐.

참 고 문 헌

- [1] C.S.Weaver and J.W.Goodman, "A Technique for Optically Convolution Two Function," *Appl. Opt.* vol.5, no.7 pp.1248-1249, 1966.
- [2] B.Javidi, "Nonlinear Joint Power Spectrum based Optical Correlation," *Appl. Opt.*, vol.28, no.12, pp.2358-2367, 1989.
- [3] S.Y.Yi, C.W.Suh, and E.S.Kim, "A Study on the Moving Target Tracking System using Joint Transform Correlator," *J. of KICS*, vol.17, no.7, pp.749-757, 1992.
- [4] A.B.VanderLugt, "Signal Detection by Complex Spatial Filtering," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-10, pp.139-145, 1964.
- [5] J.L.Horner and P.D.Gianino, "Phase-Only Matched Filtering," *Appl. Opt.*, vol.23, no.6, pp.812-816, 1984.
- [6] S.Kawata, T.Noda, and S.Minami, "Spectral Searching by Fourier-Phase Correlation," *Appl. Spectrosc.*, vol.41, no.7, pp.1176-1182, 1987.



(b)



(c)

그림 10. BPEJTC 추적시스템의 실행결과

- (a) BPEJTC의 입력평면
- (b) 상관 결과
- (c) 표적상태의 추정

Fig.10. The tracking results of BPEJTC tracker

- (a) The input plane of BPEJTC
- (b) The correlation results
- (c) The estimation of target state

그림 10(b)의 상관 침두치 위치를 Kalman 필터의 입력으로 이용하여 표적의 상태를 추정하면서 보인 궤적의 모양이다. 그림에서 보듯이 BPEJTC는 EOTS에 장착되어 움직이는 표적의 상대 변위를 쉽게 추출할 수 있고 실시간적 추적을 가능하게 해 준다. 뿐만 아니라 두 신호의 상관도를 이용한 인식 기반의 추적 시스템을 구성할 수 있으므로 기존의 Centroid 추적 시스템과는 달리 유사 표적과의 교차나 교란등에도 적응적인 추적을 행할 수 있다.

- [7] T.Nomura, K.Itoh, K.Matsuoka, and Y.Ichioka, "Binary Fourier Phase-Only Correlation," *Opt. Lett.*, vol.15, no.14, pp.810-811, 1990.
- [8] D.M.Cottrell, R.A.Lilly, J.A.Davis, and T.Day, "Optical Correlator Performance of Binary Phase-Only Filters using Fourier and Hartley Transforms," vol.26, no.18, pp.3755-3761, 1987.
- [9] 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.
- [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.5, 1994.
- [11] F.T.S.Yu, F.Cheng, T.Nagata, and D.A.Gregory, "Effects of Fringe Binarization of Multiobject Joint Transform Correlation," *Appl. Opt.*, vol.28, no.15, pp.2988-2990, 1989.
- [12] 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, pp.238-246, 1994.
- [13] K.Chalasinska-Macukow and C.Gorecki, "Optoelectronic Implementation of the Quasi-Phase Correlator," *Opt. Comm.*, vol.93, no.1,2, pp.11-18, 1992.
- [14] Y.Bar-Shalom, "Tracking methods in a multitarget environment," *IEEE Trans. on Automatic Control*, vol.AC-R3, pp.618-626, 1978.
- [15] F.Cheng, P.Andres, and F.T.S.Yu, "Removal of Intra-Class Associations in Joint Transform Power Spectrum," *Opt. Comm.*, vol.99, no.1,2, pp.7-12, 1993.
- [16] S.Y.Yi, C.S.Ryu, C.W.Suh, and E.S.Kim, "A Study on the Effects of the Grid Structure of SLM on Optical JTC Tracking System," *Proc. of KITE Conf.*, vol.15, no.1, pp.563-566, 1992.
- [17] D.Psaltis, E.G.Peak and S.S.Venkatesh, "Optical Image Correlation with a Binary Spatial Light Modulator Filters," *Opt. Eng.*, vol.23, no.6, pp.698-704, 1984.
- [18] Integrated Device Technology, Military and commercial temperature ranges, pp.1-19, 1992.