

論文95-32A-3-7

다중 표적 상관에 기인한 상관오류와 유실 제거를 위한 광 HPEJTC 시스템

(Optical HPEJTC System for Removing False Alarm and Missing in the Multitarget Correlation)

李相二*, 柳忠相*, 金恩洙*

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

요약

본 논문에서는 기존의 광 JTC 시스템 구성 과정에서 발생하는 광 간섭 세기 분포인 JTPS로부터 입력함수의 진폭을 유지하며 기준함수의 위상신호를 추출함으로써 보다 판별력이 높으면서도 실시간으로 다중 표적 인식 및 추적이 가능한 새로운 HPEJTC 시스템을 제시하였다. 그리고, HPEJTC의 상관 판별력 분석을 위하여 유사한 다중 표적 입력과 동일한 다중 표적이 주기적으로 배치시켜 상관오류 및 유실을 발생시킬 수 있는 입력 영상을 구성하고 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 상관실험하였다. 또한, 복소 함수로 구성되는 상관기인 POF와 비교 분석하고, 공간 광 변조기와 CCD 검출기 등을 이용한 광 HPEJTC 시스템 구성 방법을 제시함으로써 POF의 실시간적 구현 가능성을 제시하였다.

Abstract

In this paper, we present a new HPEJTC system which is capable of real-time multi-target recognition and tracking with better discrimination by extracting the phase signal of reference function from the JTPS of the conventional optical JTC retaining the amplitude signal of the input function. In order to test the correlation discrimination performances of the HPEJTC system, some experiments are carried out on the scenarios susceptible to the false alarms and missing in which many similar targets are periodically located. And, the proposed HPEJTC is analyzed to be the real function version of the POF and finally the possibility of the real-time implementation of the POF is suggested, because it can be implemented by using spatial light modulator, CCD detector and some other optical components.

1. 서론

자연환경에 존재하는 표적을 실시간으로 인식 및 추적하기 위하여 이용되는 광 정보 처리 방법은 2차원

영상의 실시간 및 병렬처리가 가능할 뿐만 아니라 배경잡음으로부터 인식에 필요한 상관 정보의 추출이 가능하게 된다.

광 간섭으로 구성되는 VanderLugt의 공간정합필터¹⁾는 2차원 공간상에서 광 상관을 발생시킬 수 있는 대표적인 정합필터이다. 진폭 신호를 제거하고 위상 신호를 활용하기 위하여 반 위상형태의 상관기로 제안된 POF(phase-only filter)는 공간정합필터를 위상 함수만으로 구성하여 상관시킴으로써 광 투과율과 상관

* 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 3月 16日

특성을 높일 수 있었다.^[2] 위상 신호를 보다 강조하기 위하여 필터 마스크뿐만 아니라 입력까지도 위상 함수로 구성된 POC(phase-only correlator)는 완전 위상형태의 상관기로 제안되어 상관 판별력을 더욱 개선하였다.^[3] VanderLugt의 공간정합필터는 홀로그램을 이용하여 광학적으로 구현이 가능한 반면에, 복소 위상 함수를 표현해야 하는 POC와 POF는 광학적으로 필터 구성은 어려운 상태이다. 따라서, 컴퓨터를 이용하여 위상정보를 추출하여 간섭 무늬를 표현하는 컴퓨터 형성 홀로그램(CGH: computer generated hologram)을 이용한 필터 구성방법이 제안되어 있다.^[4] 이와 같이 공간정합필터에 기초하는 상관기들은 모든 입력 함수에 대하여 필터 함수 구성을 요구하고 복소 필터 함수의 구성이 복잡하게 되어 실질적인 실시간 상관 응용에는 제한되고 있다.

최근 들어 별도의 필터 함수를 이용하지 않고 단지 입력영상과 기준영상을 동시에 푸리에 변환하는 것만으로 상관이 가능한 광 JTC(joint transform correlator)^[5]를 이용하여 실수 함수로써 상관 시스템을 구현하려는 분야에 대한 관심이 증대하고 있다. 특히, 고해상도 공간 광 변조기와 CCD 광 검출기의 개발로 비디오 프레임으로 광 JTC 시스템을 구현할 수 있게 되어 실시간 표적 추적 및 인식 시스템 구성에서 중요한 관심 분야가 되고 있다.^[6-9]

광 JTC는 근본적으로 자기상관이 발생하므로 배경 잡음 및 표적수의 증가에 따라 DC가 급격히 증가하여 상관 및 광효율이 감소하고, peak-to-sidelobe 비율이 낮아 신호의 판별력이 저하되므로, 푸리에 변환된 광 간섭 세기 분포인 JTPS(joint transform power spectrum)로부터 위상특성을 얻기 위한 연구가 진행되었다. Javidi는 JTPS를 메디안 값으로 이진화함으로써 구성되는 BJTC(binary JTC)를 제안하여 단일 표적에 적용한 결과 POF와 유사한 특성을 얻을 수 있었다.^[6] 그러나, 다중 표적에서는 자기상관에 기인한 DC 증가를 피할 수 없었고, 동일평면의 표적들 간에 상호상관이 발생하므로 표적의 분리조건이 요구되었다.

최근에는 JTPS를 재구성하여 광 JTC로부터 공간정합필터와 동일한 특성을 유도해냄으로써 광 JTC로부터 공간정합필터에서 발달된 위상형태의 필터들과 동일한 특성을 얻을 수 있게 되었다. Chalasinska-Macukow는 단일 표적에 대하여 순수하게 위상만으로 구성되는 quasi-phase correlator^[10]를 제안하여 실시간 상관 시스템을 구성하였다. 또한, 판별력을 개선하기 위하여 위상 신호가 발생시키는 고주파 성분을 강조하도록 재구성된 JTPS에 변형된 Laplacian 경계 추출필터를 적용한 BJTC가 제안되었다.^[8] 광 BPE-

JTC(binary phase extraction JTC)는 JTPS의 재구성과 이진위상 추출과정을 통해 완전 이진위상 함수로 상관을 가능하게 하여 JTC에서도 POC와 유사한 특성을 얻을 수 있게 되었다.^[11]

위상 함수만으로 구성되는 POC, 광 BPEJTC, 그리고 Javidi의 BJTC는 다중 표적이 주기적 배열로 위치한 경우 기존의 공간정합필터나 광 JTC와는 달리 sinusoidal 함수에 의한 상관오류 및 유실이 발생되었다.^[12,13] 이러한 문제는 진폭이 제거되고 순수하게 위상 함수로만 구성되는 상관기에서 발생하는 현상으로 진폭이 보상되는 상관기에서는 나타나지 않는 문제점이다. 따라서, 본 논문에서는 실수 값으로 구성되는 JTPS를 재구성하여 기준영상에 대한 위상 함수를 추출하고 입력의 진폭성분은 유지함으로써 POF와 유사하게 입력영상의 주기적 배치에 탄력적이면서도 상관 판별력을 높일 수 있는 새로운 광 HPEJTC(half phase extraction JTC) 시스템을 제시하고, 이를 이용한 실시간 다중 표적 추적 및 인식 시스템의 구현 가능성을 제시하고자 한다. 그리고, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 순수하게 위상만으로 구성되는 POC와 광 BPEJTC등에서 발생하는 상관 오류 및 유실 현상을 검증하고 동일한 조건에서 새로이 제안된 HPEJTC 시스템을 적용한 다중 표적 인식 성능을 비교 분석하고자 한다.

II. 상관기의 위상 함수

기존의 공간정합필터에서 기준영상의 필터 함수 $r(x, y)$ 에 대한 푸리에 변환은 진폭과 위상으로 구성되며, 식(1)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} R(u, v) &= R_0 \iint r(x, y) \exp[-j2\pi(ux + vy)] dx dy \\ &= |R(u, v)| \exp[j\phi_r(u, v)] \end{aligned} \quad (1)$$

여기서, $R(u, v)$ 는 $r(x, y)$ 의 푸리에 변환으로 R_0 는 상수이고, (u, v) 는 공간주파수 좌표로서 $u = x/\lambda f$, $v = y/\lambda f$ 로 발생하며, λ 와 f 는 빛의 파장과 푸리에 변환 렌즈의 초점거리를 나타낸다. $|R(u, v)|$ 와 $\exp[j\phi_r(u, v)]$ 는 $R(u, v)$ 의 진폭과 위상을 나타낸다. 따라서, 복소 함수로 구성된 필터 함수를 진폭으로 나누게 되면 위상 함수만을 추출할 수 있으며 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$R_{\text{pha}}(u, v) = R(u, v)/|R(u, v)| = \exp[j\phi_r(u, v)] \quad (2)$$

식(2)로 구성된 위상 필터를 식(3)과 같이 n 개의 표적이 포함된 입력영상에서 위상 함수만을 추출하여 상

관시킴으로써 구성되는 POC의 상관결과는 식(4)로 나타낼 수 있다.

$$s(x, y) = \sum_{i=1}^n s_i(x-x_i, y-y_i) \quad (3)$$

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

여기서, *는 복소공액을 나타내며 연산자 $F^{-1}\{\cdot\}$ 는 역푸리에 변환을 나타낸다. 식(4)에 의한 상관출력은 진폭 함수가 완전히 제거되고 순수하게 위상 함수로만 구성되어 있다. 이것은 입력영상이 이상적인 경계 함수로만 구성된 것과 같은 효과를 갖게 되므로 상관점두치는 보다 침예하게 나타나게 된다. 그러나, 복잡한 입력영상에 관하여, 그것을 푸리에 변환한 진폭의 분포는 표적 들간의 상대적 위치에 의하여 형성되는 위상성분과 마찬가지로 독립된 각각의 표적에 대한 중요한 정보를 포함하게 된다. 따라서, 이들 위치에 관련한 중대한 정보 손실이 발생할 수 있다. 즉, POC는 입력영상 및 필터 함수의 진폭 향이 무시된 상태이므로 상관기 지나치게 위상에 의존하게 될 뿐만 아니라, n개의 동일 다중 표적이 주기적 배치를 이루는 경우 식(4)의 지수 함수의 합으로 표현된 향이 sinusoidal 함수의 합으로 구성되어 상관 표적 오류와 유실을 발생하게 된다.¹¹⁰⁾ 필터만을 위상 함수로 구성하는 POF는 식(5)으로써 상관결과를 나타낼 수 있으며, 상관출력에서는 입력영상의 진폭성분이 peak-to-sidelobe 비율을 저하시켜 POC에 비하여 침예한 상관점두치는 얻을 수 없을지라도 sinusoidal 함수로 출력이 나타나는 것을 진폭으로 보상하고 있으므로 상관오류 및 유실이 나타나지 않게 된다.

$$\begin{aligned} C_{POF}(x, y) &= F^{-1}\{|S(u, v)|\exp[-j\phi_r(u, v)] \\ &\quad \exp[j\phi_s(u, v)] \\ &\quad \times \left\{ \sum_{i=1}^n \exp[-j2\pi(ux_i + vy_i)] \right\}\} \end{aligned} \quad (5)$$

결론적으로 다중 표적 상관에서 POC는 POF에 비하여 상관 판별력이 우수하지만 표적수가 증가함에 따라 상관오류 및 유실이 나타나게 되므로 진폭성분이 보상된 POF를 이용하면 보다 효과적으로 시스템을 구성할 수 있다.¹¹³⁾

따라서, 본 논문에서 별도의 복소 공간정합필터를 요구하지 않는 기존 광 JTC의 JTFS에서 기준영상의 진폭을 제거하고, 입력영상의 진폭과 위상 기준영상의 위

상을 이용하는 새로운 HPEJTC 시스템을 구성하여 다중 표적의 주기적 배치에 기인하여 발생할 수 있는 상관오류 및 유실을 해결하고자 한다.

III. 광 HPEJTC 시스템

다중 표적 추적 및 인식을 위하여 이용되는 HPEJTC 시스템을 해석하고 위상형태의 공간정합필터들과 비교하기 위하여, 기존 광 JTC의 입력평면을 그림 1과 같이 상하단으로 분리하고 하단평면에 필터 함수에 해당하는 기준영상 $r(x, y)$ 를 식(6(a))와 같이 이동시켜 구성하고, 상단평면에 n개의 다중 표적으로 구성된 입력영상을 식(6(b))와 같이 구성하여 푸리에 입력평면을 구성하였다.

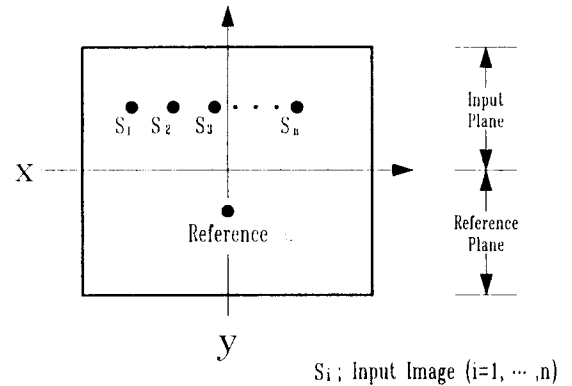


그림 1. 광 JTC의 입력 평면
Fig. 1. Input plane of optical JTC.

$$r(x, y) = r(x-x_0, y-y_0) \quad (6(a))$$

$$s(x, y) = \sum_{i=1}^n s_i(x-x_i, y-y_i) \quad (6(b))$$

기존 광 JTC의 상관특성을 분석하기 위하여 식(6)을 동시에 푸리에 변환하면, 광 간섭 세기 분포로 검출되는 JTFS는 실수 값을 갖게 되며 식(7)로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} E(u, v) &= |R(u, v)|^2 + \sum_{i=1}^n |S_i(u, v)|^2 \\ &\quad + \sum_{i=1}^n R(u, v)S_i^*(u, v) \exp[-j\{(x_0-x_i)u + (y_0-y_i)v\}] \\ &\quad + \sum_{i=1}^n R^*(u, v)S_i(u, v) \exp\{j\{(x_0-x_i)u + (y_0-y_i)v\}\} \\ &\quad + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n S_i(u, v)S_k^*(u, v) \exp[-j\{(x_i-x_k)u + (y_i-y_k)v\}] \\ &\quad + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n S_i^*(u, v)S_k(u, v) \exp\{j\{(x_i-x_k)u + (y_i-y_k)v\}\} \end{aligned} \quad (7)$$

JTPS에는 입력과 기준함수의 간섭 성분인 두번째와 세번째 항의 불필요한 항이 포함되어 있다. 처음 두 항은 역푸리에 변환에 의하여 자기상관 신호로 발생하며, 위상 신호가 없으므로 DC 주변에 회절된다. 입력 평면의 다중 표적으로 인하여 발생한 5번째와 6번째 항의 간섭 신호는 기준표적에 무관한 상호상관 성분으로 표적 오류를 발생시키게 된다. 식(7)에서 자기상관과 동일평면에 의한 상호상관은 선형적으로 합성되어 있으므로 기준영상과 입력영상 각각의 파워스펙트럼을 구하여 식(7)에서 감산하게 되면 자기상관 신호와 입력평면내의 표적간에 발생하는 상호상관 신호가 제거된 새로운 JTPS를 구할 수 있으며 식(8-2)로써 나타낼 수 있게 된다.

$$E_{NEW}(u, v) = 2 \sum_{i=1}^n |R(u, v)| S_i(u, v) \times \cos\{\phi_i(u, v) - \phi_{s_i}(u, v) - (x_0 - x_i)u - (y_0 - y_i)v\} \quad (8-1)$$

$$= \sum_{i=1}^n R(u, v) S_i^*(u, v) \exp\{-j\pi (x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v\} + \sum_{i=1}^n R^*(u, v) S_i(u, v) \exp\{j\pi (x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v\} \quad (8-2)$$

식(8-1)에는 순수하게 기준표적에 대한 입력영상의 상관 신호만으로 구성되어 있으며, 식(8-2)는 입력과 기준영상이 상호간에 필터 함수와 입력 함수를 교대로 구성하며 합성된 두개의 정합 필터가 중첩된 형태를 나타내고 있다. 그리고, 식(8)에서 $R(u, v)$ 와 $S_i(u, v)$ 를 제거함으로써 표적의 거리차이에 의한 위상 함수만을 추출할 수 있게 된다. 식(8-1)에서 $r(x, y)$ 와 $s_i(x, y)$ 가 같다면, 위상성분은 상쇄되고 $|R(u, v)|^2$ 만 남게 되고 항상 '0'보다 크거나 같은 값을 지니게 되어 신호는 cosine 값에 종속되어 부호가 변하게 되므로 cosine 축을 따라 이진화하게 되면 진폭에 무관하게 위상성분에 따른 이진 JTPS를 구성할 수 있게 된다.^[11] 그러나, 두 가지 경우 모두 순수하게 위상 함수로만 구성되므로 입력영상의 구성 및 배치가 주기적 함수를 갖는 경우 sinusoidal 함수를 나타내게 되어 상관오류 및 유실을 발생시키므로 다중 표적에는 적용할 수 없게 된다.^[13] 연속위상으로 JTPS를 재 구성하기 위하여 $S(u, v)$ 내에는 $S(x, y)$ 에서 발생하는 자기상관외에 상호상관이 포함되어 있으므로 단순히 $|S_i(u, v)|$ 를 검출하여 제거하는 것은 대단히 어렵게 된다. 그러나, 기준함수는 하나의 표적영상으로 구성되어 있으므로 기준평면에서 발생하는 파워스펙트럼은 위상 함수가 제거되고 단순히 진폭 함수의 제공으로 구성된다. 따라서, 기

준함수의 파워스펙트럼의 제공근을 이용하여 식(8)을 나누면 식(9)를 얻을 수 있게 된다.

$$E_{NEW}(u, v) = \sum_i |S_i(u, v)| \exp[-j\phi_i(u, v)] \exp[j\phi_{s_i}(u, v)] \times \exp[-j2\pi (x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v] + \sum_i |S_i(u, v)| \exp[j\phi_i(u, v)] \exp[-j\phi_{s_i}(u, v)] \times \exp[j2\pi (x_0 - x_i)u + (y_0 - y_i)v] \quad (9)$$

식(9)는 위상 함수로 구성된 JTPS에 입력영상에 의한 진폭이 보상된 형태로 첫번째 항은 기준영상의 위상 함수에 입력이 곱해지는 POF와 동일하게 되며, 두 번째 항은 기존의 공간정합필터에 위상만으로 구성된 입력이 곱해진 형태가 된다. 따라서, JTPS를 역푸리에 변환하여 구할 수 있는 상관결과는 식(10)과 같다.

$$C(x, y) = \sum_i \{edge[r(x, y)] \otimes s_i(x, y)\} * \delta(x_0 - x_i, y_0 - y_i) + \sum_i \{edge[r(x, y)] \otimes s_i(x, y)\} * \delta(-x_0 + x_i, -y_0 + y_i) \quad (10)$$

위식에서 $edge[\cdot]$ 는 영상의 이상적인 경계를 나타내며, \otimes 는 convolution을 그리고 $*$ 는 상관을 나타낸다. 주어지는 입력평면에 n 개의 동일 표적영상이 존재한다면 상관평면에서 원점대칭의 상관첨두치가 $2n$ 개 나타내게 된다. 결과적으로 HPEJTC에 의한 상관 첨두치는 2개의 POF가 원점대칭으로 구성된 결과와 유사한 현상을 나타내므로, 입력영상에 표적들이 주기함수를 구성할지라도 입력영상의 진폭 함수가 보상되어 표적오류나 표적유실을 발생하지 않게 되고, 필터 함수가 위상으로 구성된 것과 같은 효과를 나타내므로 기존의 광 JTC나 공간정합필터에 비하여 보다 첨예한 상관첨두치를 얻을 수 있게 된다.

IV. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서는 새로운 HPEJTC 시스템을 Vander-Lugt의 공간정합필터, POF, POC와 광 JTC, 재구성된 JTPS에 의한 상관기 그리고 이진위상형태의 광 BPEJTC와 상관특성을 서로 비교함으로써, HPEJTC의 상관 판별력 및 다중 표적 인식력을 비교 분석하고자 한다.

첫번째 컴퓨터 시뮬레이션에서는 새로이 제안된 HPEJTC의 상관 판별력을 조사한다. 하단의 항공기 영상을 기준함수로 설정하고 상단평면을 입력평면으로 구성하여 그림 2(a)와 같이 서로 다른 영상-좌측상단: 동일표적, 좌측하단: 확대된 표적, 우측상단: 경계추출된 표적, 우측하단: 후미 부분이 파손된 표적-을 입력함수로 구성하여 위상성분과 진폭성분이 상관에 미치

는 영향을 조사하고자 한다. 그리고, 두번째 시물레이션에서는 기존의 상관기들과 위상만으로 구성되는 상관기들에서 나타나는 표적위치의 주기성에 따른 특성을 조사한다. 그림 2(b)와 같이 상단평면에서 y축을 고정시키고, x축으로 표적영상 T1, T2, T3, T4를 등간격으로 배치함으로써 위상 함수가 상관 시스템에 미치는 영향을 분석하였다. 각각의 표적은 이진 값으로 구성되어 128 × 128 입력평면에 위치시키고 128 × 128 2D-FFT를 수행하여 상관시켰다.

시물레이션에 이용된 입력영상들은 모두 다중 표적으로 구성되어 있으므로 기존의 광 JTC에 의한 상관 결과들은 그림 2(c)와 (d)에 나타낸 것과 같이 낮은 peak-to-sidelobe 비율과 함께 모든 표적간에 상관 발생하여 중첩되어 나타나므로 실제표적들에 의한 상관 신호를 판별할 수 없게 된다.

특히, 그림 2(d)에서는 입력평면에 등간격으로 위치한 항공기 영상 들간에 발생한 상관 신호들이 중첩되어 DC를 중심으로 x축으로 높은 상관 값을 나타내고 있다. 실제 기준입력에 대한 입력표적들의 상관 신호는 DC를 중심으로 상하단에 대칭적으로 미약하게 나타나고 있으며, 보다 높은 상관첨두치는 기준입력에 무관하게 동일평면상에서 입력표적간에 발생되었으므로 상관오류로 분류된다. 따라서, 광 JTC는 실수 함수만으로 구성되어 광학적으로 실시간 시스템 구성은 용이할 지라도 상관오류가 발생하므로 별도의 후처리 장치없이 다중 표적에 응용할 수는 없게 된다. 이것은 입력과 기준영상을 동시에 푸리에 변환하여 JTPS를 구성하는 과정에서 모든 표적간에 발생하는 상관에 기인하는 것으로 입력과 필터영상이 각기 다른 평면에서 구성되는 공간정합필터에는 발생하지 않는 현상이다.

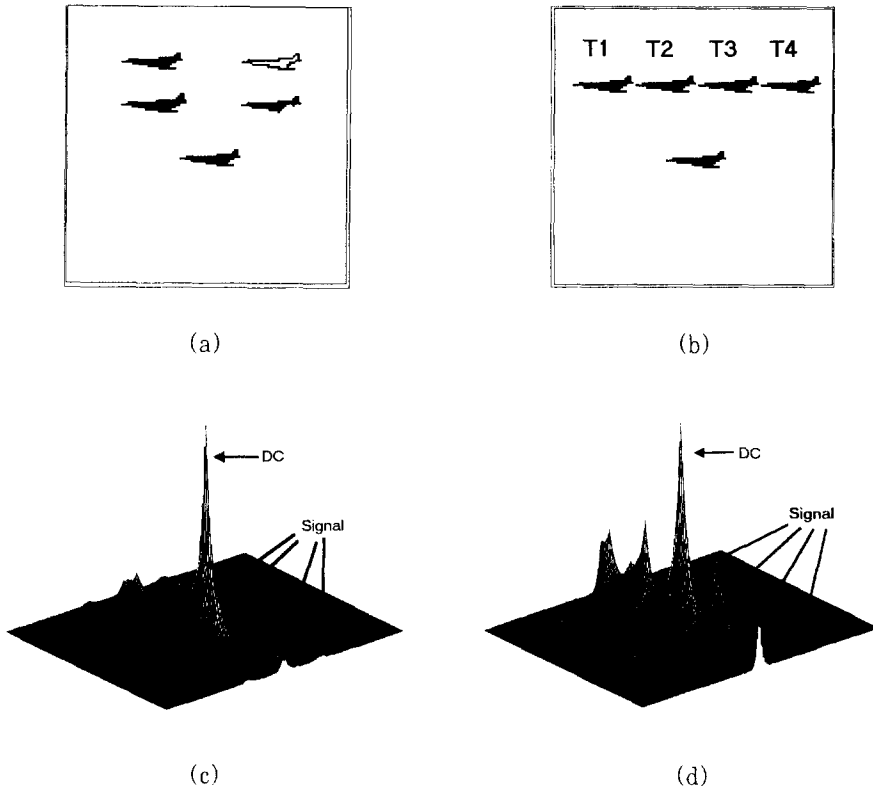


그림 2. 광 JTC를 이용한 상관출력

(a) 판별력 측정을 위한 입력영상 (b) 주기함수 특성분석을 위한 입력영상

(c) (a)에 대한 광 JTC 상관 출력 (d) (b)에 대한 광 JTC 상관 출력

Fig. 2. Correlation output based on the optical JTC

(a) Input image for the test of correlation discrimination

(b) Input image for analyzing the correlation characteristics of the periodically arrayed image

(c) Correlation output of optical JTC for (a)

(d) Correlation output of optical JTC for (b)

그러나, 공간정합필터 역시 복소 함수를 구현해야 하는 문제점을 지니고 있다. 각각의 상관기에서 나타난 단점을 해결하려는 연구가 공간정합필터와 광 JTC 분야에서 동시에 이루어지고 있으며, 보다 나아가 공간정합필터에 근거한 상관기들을 광 JTC를 이용하여 구현함으로써 공간정합필터에 근거한 상관 시스템을 실시간으로 구현하려는 노력이 제기되고 있다.

시뮬레이션에서 공간정합필터에 기초한 상관기와 광 JTC에 기초한 상관기들의 상관첨두치의 높이, 위치 및 peak-to-sidelobe 비율, 그리고 잡음상태를 정확히 비교하기 위하여, 일반적으로 기준함수를 필터평면 중심에 위치시키고 필터 함수를 구성하는 경우와 달리 그림 2의 (a)와 (b)에서 상단표적들을 제거하고 하단 표적을 변화없이 이용하여 필터를 구성하고 상단부를 입력으로 받아들여 상관시킴으로써 광 JTC에 근거한 상관기와 상관출력을 비교하기 용이하도록 하였다.

그림 3에는 그림 2(a)를 이용하여 필터 함수와 입력을 구성하고 상관시킨 결과들을 보였는데 그림 3(a)는 기존의 공간정합필터에 의한 상관평면을 나타내고 있으며, 그림 3(c)와 (e)는 필터만을 위상 함수로 구성된 POF의 상관결과 및 가장 첨예한 상관첨두치를 나타내는 것으로 알려진 POC의 상관결과를 나타내고 있다. 또한, 그림 3(b)는 재구성된 JTPS에 의한 상관 결과를 나타내고 있으며, 그림 3(d)에는 POC와 같이 순수하게 위상 함수로 구성된 광 BPEJTC의 상관 결과를 나타내고 있다. 그리고, 그림 3(f)에 HPEJTC의 상관결과를 나타내었다.

그림 3의 상관결과에 의하면 재구성된 JTPS에 의한 상관은 공간정합필터와 동일하며, HPEJTC와 POF가 동일한 상관특성을 나타내고, 광 BPEJTC가 POC에 유사한 특성을 나타내고 있으나, POC에서 동일표적에 의한 상관첨두치 높이가 서로 다르게 나타난 반면에 광 BPEJTC에서는 동일한 높이를 이루므로 오히려 우수한 특성을 나타내고 있다.

그림 3의 상관실험을 통하여 위상과 진폭이 상관에 미치는 특성을 비교하면, 진폭 및 위상손실없이 구성된 그림 3(a)에서 확대된 표적은 단지 상관첨두치 폭만을 증가시켰을 뿐 높이는 실제표적과 동일하게 나타난 상태에서 실제표적-부분 파손된 표적-경계추출된 표적 순서로 상관첨두치 높이를 나타내고 있다. POC와 광 BPEJTC의 상관결과에 따르면 경계추출된 표적이 실제 표적과 식별되지 않는 상태에서 실제표적-부분 파손된 표적-확대된 표적 순서로 상관첨두치 높이를 나타내고 있다. 그러나, 기준영상의 위상 신호를 추출하여 이용하는 HPEJTC와 POF의 경우에는 실제표적-경계추출된 표적-부분파손된 표적-확대된 표적 순서

로 상관첨두치가 발생되어 보다 정확하게 실제표적을 식별하고 있음을 알 수 있다.

따라서, 확대된 표적은 진폭 면에서 실제표적을 포함하고 있으며, 위상 신호는 단지 경계부분에만 의존하고 있음을 알 수 있다. 그리고, 상관 시스템의 구성에 있어서 진폭 혹은 위상에만 의존하게 되면 입력표적의 형태에 따라 판별력이 현저하게 저하될 수 있음을 알 수 있다.

그림 4는 동일입력이 주기적으로 배치된 그림 2(b)를 입력으로 이용하여 그림 3과 동일한 상관실험한 결과로 진폭신호가 이용되는 공간정합필터에 비하여 위상 신호를 이용하는 상관기들의 상관성능이 우수하게 나타남에도 불구하고 POC, 광 BPEJTC와 같이 순수하게 위상 함수로 구성되는 경우에는 첨예한 상관첨두치에도 불구하고 입력영상의 주기적 배치로 상관오류 및 T2와 T3의 유실이 발생되고 있다. 그러므로, 만일 단일 표적이 주기적 구성을 회피할 수 있는 경우에는 광 BPEJTC로서 판별력을 높일 수 있을지라도 다중 표적이 주기함수를 발생시킬 경우에는 적용될 수 없게 된다. HPEJTC의 경우는 POC나 광 BPEJTC에 비하여 peak-to-sidelobe는 다소 저하될지라도 위상 함수를 입력영상의 진폭 함수가 보상하므로 다중 표적의 위치를 보다 정확하게 나타내게 된다.

이상의 시뮬레이션을 통해 위상 신호와 진폭신호가 상관에 미치는 특성을 살펴보면 위상 신호를 강조할수록 영상의 경계부분이 강조되어 상관첨두치가 첨예해지며 완전히 위상만으로 상관을 발생시키면 오직 경계 부분에서만 상관이 발생하는 문제가 나타나고, 다중 표적 영상이 주기함수를 구성하며 존재하는 경우 지수함수들이 sinusoidal 함수를 구성하게 되어 상관오류 및 유실을 발생시키므로 POC, 광 BPEJTC 시스템 등은 2개 이하의 표적 혹은 비주기 구성을 이루는 다중 표적에만 적용되어야 하고 일반적으로 발생할 수 있는 다중 표적 환경에 대해서는 진폭성분을 보성한 상관 시스템을 적용해야 한다. 그리고, 실시간 상관 시스템 구성을 위해서는 구현이 간편하고 별도의 필터를 요구하지 않으며 일반적인 광학소자로서 구현이 용이해야 한다.

이상에서 제안한 HPEJTC 시스템을 광학적으로 구현하기 위해서는 광전자 시스템으로 구성되어 이미 표적 추적 성능이 입증된 광 BPEJTC 시스템^[14]과 동일한 광학적 시스템 구성을 이루게 된다. 두 시스템간의 차이는 단지 JTPS를 재구성하는 디지털 시스템과 JTPS를 나타내는 공간 광 변조기에 있다. 광 BPEJTC가 LCLV(liquid crystal light valve) 등과 같이 이진 위상 특성이 우수한 공간 광 변조기를

이용하는 반면에 광 HPEJTC에서는 LCTV- SLM (liquid crystal television spatial light modulator)과 같은 연속 진폭 소자를 이용하게 된다.

두대의 공간 광 변조기(SLM: spatial light modulator)와 4개의 CCD 광 검출기를 이용하여 구

성되는 광 HPEJTC 시스템의 광학 시스템도를 그림 5에 나타내었다. 광학 시스템 구성은 크게 두부분으로 이루어져 있다. 상단부에서는 SLM1에 나타난 영상을 광분할기(BS: beam splitter)와 영상 차단막(stopper)을 이용하여 전체 평면, 기준 평면, 그리고

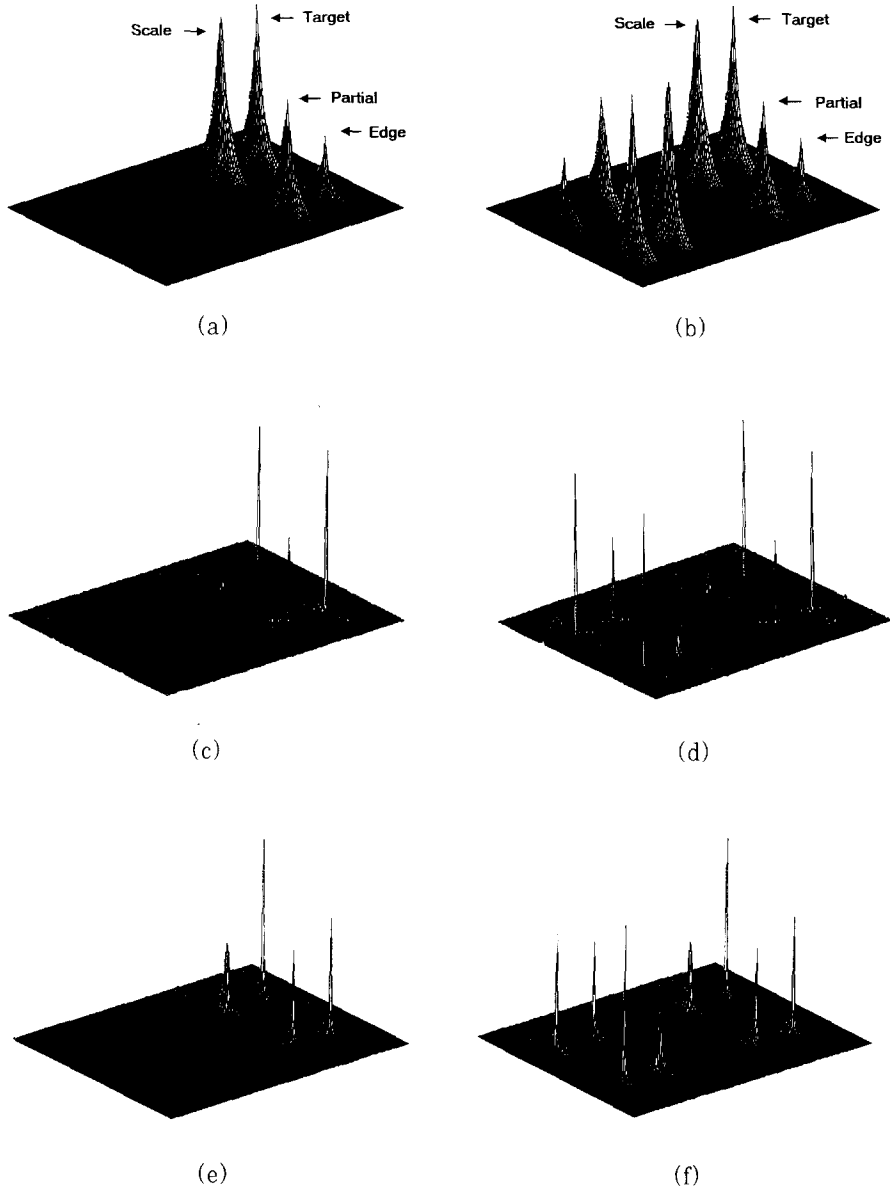


그림 3. 상관 신호 판별력의 비교

- (a) 공간정합필터 (b) 재구성된 JTPS에 의한 상관
(c) POC (d) 광 BPEJTC (e) POF (f) HPEJTC

Fig. 3. Comparison of the correlation discrimination performances
(a) Matched spatial filter (b) Correlation by reconstruct JTPS
(c) POC (d) Optical BPEJTC (e) POF (f) HPEJTC

입력 평면을 형성하고, 푸리에 변환 렌즈(FT Lens)를 이용하여 각각의 파워스펙트럼을 얻는다. 디지털 시스템은 영상 grabber 기능과 함께 식(8)과 식(9)에 따라 스펙트럼을 재구성할 수 있는 기능을 포함하게 된다. 디지털 시스템에서 재구성된 출력은 SLM2로 전송하게 되며, 푸리에 변환에 의하여 최종 상관 결과를

얻을 수 있다. 그림 5에 따라 구성되는 광 HPEJTC 시스템에 초당 30프레임을 나타낼 수 있는 LCTV 공간 광 변조기와 CCD 광 검출기를 이용하고 FPGA 등과 같은 디지털 집적회로 기술을 이용하면 입력을 받아들여 최종 출력을 얻기까지는 약 1/5초의 시간이 요구될 것으로 분석된다. 특히, CCD와 SLM에서 표현

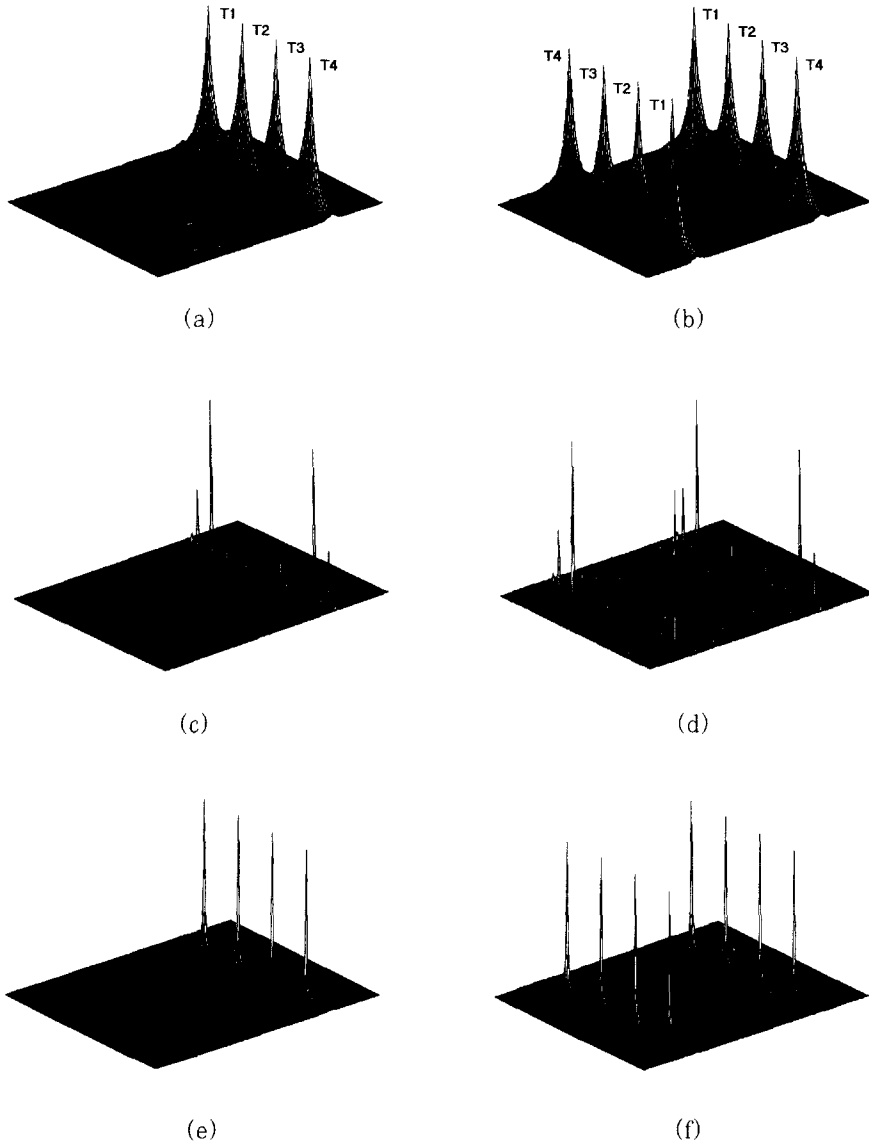


그림 4. 주기적 배열의 입력에 따른 상관 특성

- (a) 공간정합필터 (b) 재구성된 JTPS에 의한 상관 (c) POC
- (d) 광 BPEJTC (e) POF (f) HPEJTC

Fig. 4. Correlation characteristics for the periodically arrayed input images
 (a) Matched spatial filter (b) Correlation by reconstruct JTPS (c) POC
 (d) Optical BPEJTC (e) POF (f) HPEJTC

되는 값이 제한되어 있으므로 컴퓨터 시뮬레이션과 달리 진폭을 구하기 위하여 제곱근을 취하는 과정은 메모리 테이블을 이용하면 효과적일 것이다.

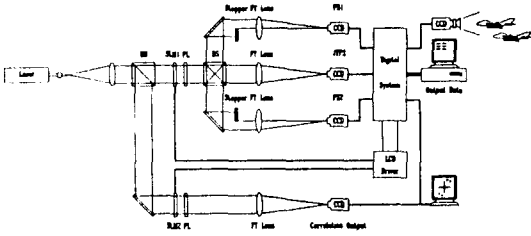


그림 5. 광 HPEJTC 구현을 위한 광전자 시스템
Fig. 5. Optoelectronic system for optical HPEJTC implementation.

이러한 조건을 만족시키도록 구성되는 광 HPEJTC 시스템은 광 JTC 특성상 별도의 복소 공간정합필터가 불필요하고, 위상 함수의 특성을 이용하면서 위상 함수에 따른 문제를 진폭성분으로 보상한 상관 특성을 실시간적으로 얻을 수 있게 된다. 그리고, 공간 광 변조기 및 CCD의 해상도가 지원하는 범위에서 표적의 수와 위치에 보다 탄력적인 실시간 다중 표적 추적 및 인식이 가능하게 되어 인식에 근거한 실시간 다중 표적 추적 시스템이 가능하게 될 것이다.

V. 결 론

본 논문에서는 공간정합필터와 광 JTC에 위상성분을 강조하여 위상 신호가 상관판별력에 미치는 영향을 조사함으로써 위상 함수만으로 구성되는 상관기에서 발생하는 상관오류 및 유실을 분석하고 진폭보상을 이용하여 제거할 수 있음을 조사하였다. 그리고, 기존 광 JTC의 JTCS를 재구성하여 기준영상의 위상 신호를 효과적으로 추출하고 입력영상의 진폭으로 보상할 수 있는 HPEJTC 시스템을 제시하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 유사한 표적들에 대한 상관 판별력 개선을 분석하고, 주기적으로 배치된 동일한 다중 표적에 따른 상관오류 및 유실을 방지할 수 있는 가능성을 조사하였다. 또한, 복소 함수로 구성되는 POF와 상관 특성 비교를 통하여 광 HPEJTC 시스템을 이용하여 실시간적으로 POF의 상관 성능을 구현할 수 있음을 입증하였다.

따라서, 공간 광 변조기와 CCD 검출기를 이용하여 구성되는 광 HPEJTC를 다중 표적 추적 및 인식 시스템에 응용하게 되면 인식에 근거한 실시간 다중 표적 추적 시스템의 구성 가능하게 될 것이다.

참 고 문 헌

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

[2] J.L.Horner and P.D.Gianino, "Phase-Only Matched Filtering," *Appl. Opt.*, vol.23, no.6, pp.812-816, 1984.

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

[4] D.Psaltis, E.G.Peak, and S.S.Venkatesh, "Optical Image Correlation with a Binary Spatial Light Modulator," *Opt. Eng.*, vol.23, no.6, pp.698-704, 1984.

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

[6] B.Javidi, "Nonlinear Joint Power Spectrum based Optical Correlation," *Appl. Opt.*, vol.28, pp.2358-2367, 1989.

[7] S.Y.Yi, S.H.Lee, and E.S.Kim, "Implementation of OptoDigital Multi-Target Tracking System," *J. of KITE*, vol.29-A, no.5, pp.386-393, 1992.

[8] 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, pp.138-149, 1992.

[9] K.H.Cha, H.G.Yang, and E.S.Kim, "Optoelectronic Implementation of BPEJTC Tracking System," *Proc. SPIE*, vol.2423, 1995.

[10] K.Chalasincka-Macukow and C.Gorecki, "Optoelectronic Implementation of the Quasi-Phase Correlator," *Opt. Comm.*, vol.93, no.1,2, pp.11-18, 1992.

[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] 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.

[13] T.Kotzer, J.Rosen, and J.Shamir, "Phase Extraction Pattern Recognition," *Appl. Opt.*, vol.31, no.8, pp.1126- 1137, 1992.

----- 저 자 소 개 -----

李 相 二(正會員) 第 31卷 A編 第 10號 參照
현재 광운대학교 대학원 전자공학과 박사과정

柳 忠 相(正會員) 第 31 卷 A編 第 10號 參照
현재 광운대학교 대학원 전자공학과 박사과정

金 恩 洙(正會員) 第 31 卷 A編 第 10號 參照
현재 광운대학교 전자공학과 교수