

## 상관신호의 판별력 개선을 위한 광 BPEJTC 시스템

### (Optical Binary Phase Extraction Joint Transform Correlator System for Improving the Correlation Discrimination)

李相二\*, 金恩洙\*

(Sang Yi Yi and Eun Soo Kim)

#### 要約

본 논문에서는 기존의 광 JTC(joint transform correlator) 시스템 구성 과정에서 발생하는 광 간섭 세기 분포인 JTSPS(joint transform power spectrum)로부터 자기상관 신호와 동일 평면에서 발생하는 상호상관 성분이 제거되도록 JTSPS를 재구성하여 DC와 상관오류를 제거하고, 재구성된 JTSPS의 위상 값에 따라 이진위상함수를 추출하여 상관시킴으로써 광효율을 개선하고 상관신호의 판별력을 높일 수 있는 새로운 이진위상형태의 상관기인 BPEJTC(binary phase extraction joint transform correlator) 시스템을 제시하였다. 또한, 컴퓨터 시뮬레이션과 광학적 실험을 통해 실시간 다중 표적 추적 및 인식 시스템의 구현 가능성을 제시하였다.

#### Astract

In this paper, a binary phase extraction joint transform correlator (BPEJTC) system is proposed as a new phase-type optical correlator in which the correlation errors and DC component are dramatically reduced and optical efficiency and correlation performance are also improved by reconstructing the joint transform power spectrum(JTSPS) of the conventional joint transform correlator(JTC) system from which the autocorrelation and crosscorrelation signals generated in each self-plane are removed, and the binary phase function is extracted from the phase value of the reconstructed JTSPS. Through some computer simulation and optical experimental results, the possibility of the implementation of the real-time multi-target tracking and recognition system is also suggested.

#### I. 서론

광 신호 처리에서 배경잡음으로부터 영상을 인식

및 추적하기 위하여 홀로그래를 이용한 공간정합필터가 VanderLugt에 의해 제안되었다.<sup>[1]</sup> 이후, Horner와 Gianino<sup>[2]</sup>는 상관신호 판별력 개선을 위해 공간정합필터의 진폭성분을 제거하고 위상만을 이용하는 POF(phase-only filter)를 제시한 바 있다. POF는 공간정합필터만을 위상함수로 구성된 반면에 Kawata<sup>[3]</sup> 등에 의하여 제안된 POC(phase only

\* 正會員, 光云大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Kwangwoon Univ.)  
接受日字 : 1993年 9月 17日

correlator)는 필터와 함께 입력함수도 위상함수로 구성하므로써 상관신호의 판별력을 크게 개선할 수 있었다. 특히, 최근 발전을 이루고 있는 실시간 공간 광 변조기를 이용하여 위상형태의 공간정합필터들의 구현이 가능하게 되었다. 그러나, 공간 광 변조기에서 나타낼 수 있는 위상이 완전한 선형성을 이루지 못할 뿐만 아니라 위상 값의 표현이 한정되어 이진위상을 이용하는 공간정합필터에 대한 연구가 진행되고 있다.<sup>4,5</sup>

이상의 공간정합필터에 기초하는 광 상관기들은 입력영상에 대한 기준영상의 정합필터 구성을 요구하게 되므로 실시간적 구현에는 많은 제한이 따르게 된다. 반면에, 입력과 기준영상을 하나의 푸리에 입력평면에 구성하므로써 입력에 대한 별도의 정합필터 구성이 필요치 않은 형태의 광 상관기인 JTC(joint transform correlator)가 Weaver와 Goodman<sup>6</sup>에 의해 제안되었고, 최근, 공간 광 변조기 및 CCD 등의 소자를 이용하여 광 JTC 상관 시스템의 실시간 구성의 가능성이 제시되었다.

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 JTSP(joint transform power spectrum)를 일정한 임계치로 이진화하여 구성할 수 있는 BJTC(binary JTC)<sup>7,8</sup>가 제안되었다. 특히, JTSP의 베디안 값을 임계치로 이용하면 POF와 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 나타나므로, JTSP를 재구성하여 필요한 상관신호만을 추출하려는 연구가 진행되고 있다.<sup>9,10</sup>

따라서, 본 논문에서는 위상함수를 효과적으로 추출할 수 있도록 JTSP를 재구성하고, 입력과 기준함수에 대한 이진위상을 추출하여 상관시키므로써 완전한 이진위상형태의 JTC인 광 BPEJTC(binary phase extraction joint transform correlator)를 새로이 제안하고자 한다.

본 논문에서는 먼저, 기존의 위상형태의 상관기들의 구성을 살펴보고, 새로이 제안된 광 BPEJTC가 기존 공간정합필터로부터 발달한 POC와 유사한 특성을 나타냄을 분석한다. 그리고, 다중 입력영상의 상관에 대한 컴퓨터 시뮬레이션과 광학적 실험을 통하여 새로이 제시된 광 BPEJTC 시스템의 보다 개선된 상관신호 판별력을 분석하고자 한다.

## II. 위상함수를 이용한 광 상관기

기존의 공간정합필터에서 기준영상  $r(x, y)$ 로 필터 함수를 구성하고, 일정거리 이동된 입력영상  $s(x-x_0, y-y_0)$ 이 입력되는 경우, 각각의 푸리에 변환은 진폭과 위상으로 구성되며 상관출력은 식(1)과 같이 주어진다.<sup>1</sup>

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

여기서,  $|S(u, v)|$ 와  $|R(u, v)|$ 는 각각 푸리에 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 그리고,  $\exp[-j2\pi(ux_0 + vy_0)]$ 은 이동성분에 대한 항으로 상관평면에서 상관 점두치의 위치를 결정하는 요소가 된다. 그리고, 연산자  $F^{-1}\{\cdot\}$ 는 역푸리에 변환을 나타낸다. 식(1)에 의한 상관출력은 진폭성분의 영향으로 sidelobe가 증가되어 판별력이 저하되고 필터 마스크의 진폭에 의한 광흡수로 광효율을 저하시키는 요인이 된다. 이를 개선하기 위한 방법으로 위상함수를 이용한 상관기들이 제안되었으며, 필터만을 위상함수로 구성하는 POF<sup>2</sup>와 입력과 필터 모두를 위상함수로 구성하는 POC<sup>13</sup>가 대표적인 것이다. 그리고, 각각의 상관 출력은 식(2) 및 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

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

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

또한, 신호의 판별력은 POF, POC에 비하여 다소 뒤질지라도 공간 광 변조기를 이용하여 시스템 구성이 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)<sup>15</sup> 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.

<sup>15</sup> 또한, POC의 이진위상형태인 BPOC는 필터함수 외에 입력함수가 푸리에 변환되어 이진화된다. 따라서, BPOF의 필터구성에서 발생하는 문제가 입력함수에서도 발생함으로 비록 BPOF에 비하여 판별력

은 개선될 수 있을지라도 필터함수 구성과 함께 입력 함수 구성에도 제약이 발생하게 된다.

따라서, 복소함수에 근거하여 실수 이진 값을 이용하는 방법으로도 정합필터 구성상에 문제점을 극복할 수 없을 뿐만 아니라, 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 상관기 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 푸리에 변환하여 광세기 형태로 검출하고 다시, 역푸리에 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.<sup>[6,9]</sup>

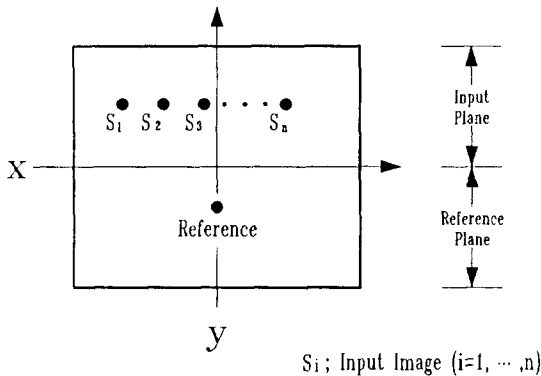


그림 1. 광 JTC 입력평면  
Fig. 1. Input plane of optical JTC.

광 JTC 시스템은 푸리에 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.

$$r(x, y) = r(x - x_0, y - y_0), \quad s(x, y) = \sum_{i=1}^n S_i(x - x_i, y - y_i) \quad (4)$$

$r(x, y)$ 와  $s_i(x, y)$ 를 동일한 영상으로 가정하고, 식

(4)의 기준영상과 다중 입력영상을 동시에 푸리에 변환하고 제곱하므로써 JTPS를 얻을 수 있으며 식(5)와 같이 나타낼 수 있다.

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

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.

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

여기서,  $\otimes$ 와  $*$ 는 convolution과 상관을 나타내고, 첫번째 항과 두번째 항은 기준함수와 입력영상 자체에서 발생하는 자기상관 성분으로 상관 침투치는 DC를 중심으로 이동 없이 나타나게 된다. 두번째 항과 세번째 항은 기준영상과 입력영상간에 발생하는 상호상관 결과이고, 네번째와 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 세번째와 네번째 항만을 분리하여 이용할 필요가 있다.

특히, 식(6)의 모든 상관 항은 진폭과 위상 향이 유지되며 선형적으로 구성되어 있으므로 신호간의 판별력면에서 공간정합필터와 유사하게 된다. 또한,

JTPS가 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 JTPS를 이진화함으로써 구성된다.<sup>[7,8,11]</sup> 이진 값으로 구성되는 JTPS는 공간 광 변조기를 이용하여 구성이 용이하게 되고 특히, 단일 입력영상에 대하여 메디안 값을 기준으로 JTPS를 이진화하게 되면 비선형 특성으로 자기상관 성분이 제거되고 POF와 유사한 상관 판별력을 나타내는 것으로 알려져 있다.<sup>[7]</sup> 그러나, 메디안 방법을 이용하는 BJTC를 다중표적에 적용하는 경우에는 역시 자기상관성분이 나타나게 되고, 판별성능이 분리 조건에 의존하게 되며, 상관 오류와 유실이 발생하는 등의 문제점을 가지고 있다.<sup>[11,16]</sup>

#### 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 나타낸 영상 각각의 광 간섭 세기 분포가 필요하게 되며 식(7) 및 식(8)과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_r(u, v) = |R(u, v)|^2 \quad (7)$$

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

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

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

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.<sup>[9-14]</sup>

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

$$+ \sum_{i=1}^n R^*(u, v) S_i(u, v) \exp[j(x_i - x_0)u + (y_i - y_0)v] \quad (9)$$

$$= 2 \sum_{i=1}^n |R(u, v)| |S_i(u, v)| \cos[\phi_r(u, v) - \phi_{s_i}(u, v) - (x_i - x_0)u - (y_i - y_0)v]$$

식(9)에는 자기상관과 동일평면에서 발생하는 상호상관 성분이 제거되어 있으며, 식(3)과 비교하면 입력과 기준영상 상호간에 필터함수와 입력함수를 교대로 구성하며 합성된 두개의 공간정합필터가 중첩된 형태를 나타내고 있다. 또한, 기준영상과 입력영상의 진폭성분인  $|R(u, v)|$ 와  $|S_i(u, v)|$ 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 이진 위상 형태의 JTPS가 구성될 수 있다.

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

$E_{bnv}(u, v)$ 는  $E_{NEW}(u, v)$ 의 부호변화에 따르면  $E_{NEW}(u, v)$ 는 cosine 함수에 영향을 받고 있으므로  $E_{bnv}(u, v)$ 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.

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

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

위식에서  $edge[\cdot]$ 는 영상의 위상신호를 발생시킨 이상적인 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 발생했음지라도 이미 JTPS가 복소함수의 제곱에 의해 구성되었으므로 필터의 복소함수 중 실수부 혹은 허수부에 근거하여 이진화한 BPOF, BPOC와 달리 실수부와 허수부가 모두 고려되어 있다. 그리고, 기준영상과 입력영상의 합성된 위상으로 구성되어 있으므로 POF 보다는 입력과 필터함수 모

두가 복소 위상으로 구성된 POC와 유사한 상관 결과를 얻을 수 있다 따라서, 새로이 제안된 광 BPEJTC 시스템은 자기상관에 따른 DC 성분과 다중 입력영상으로 인하여 동일평면에서 발생하는 상관 오류를 제거할 수 있을 뿐만 아니라, 공간정합필터에서 가장 우수한 peak-to-sidelobe를 나타내는 것으로 알려진 POC와 유사한 특성을 나타낼 수 있게 된다. 특히, 디지털적 연산처리가 단순화 감소와 '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. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서 제시한 광 BPEJTC를 기존의 BJTC 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 세부분으로 분리하여 구성하였다. 먼저, 기존의 JTC는 입력영상과 기준영상을 동시에 퓨리에 변환하여 JTPS를 구하고, 역퓨리에 변환을 통하여 상관시켰다. 그리고, BJTC는 JTPS의 메디안 값을 임계치로 설정하고 JTPS를 이진화한 이후 역퓨리에 변환하여 상관결과를 얻었다. 마지막으로, 광 BPEJTC는 입력 및 기준영상에 대한 각각의 파워스펙트럼을 구하여 부호를 반전시키고 JTPS에 더하여 새로운 스펙트럼을 합성하였다. 그리고, 위상추출을 위하여 '0' 값을 기준으로 이진화하고 역퓨리에 변환하여 상관결과를 얻었다. 또한, 공간정합필터에 근거하여 구성된 위상형태의 상관기들은 그림 2에 나타난 기준영상 평면을 필터로 구성하고 입력영상을 퓨

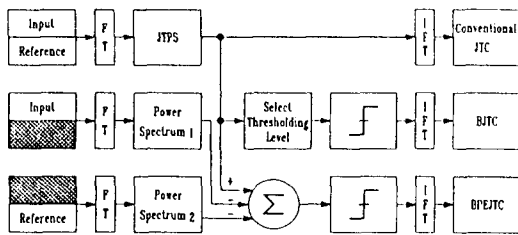


그림 2. 광 BPEJTC의 시뮬레이션 흐름도  
Fig. 2. Simulation flow chart of optical BPEJTC.

리에 변환하여 곱하므로써 수행하였다.

시뮬레이션을 위하여 퓨리에 입력 및 출력평면을 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 3(a)는 광 BPEJTC 시스템의 위상특성을 해석하기 위하여 구성된 JTC 입력 영상으로 하단에 '표'가 기준영상이 되며 상단에 나타난 4개의 글자가 시스템의 입력영상들이 된다. 우측상단과 좌측하단의 영상은 기준과 표적간의 거리에 따른 특성을 조사하기 위하여 기준영상과 동일하게 구성한 실제 표적영상이고, 좌측상단의 '표'는 가운데 가로축이 위쪽으로 평행 이동한 형태이고, 우측하단의 영상은 선의 굵기만을 변화시킨 것으로 두가지 모두 허위 표적으로 작용하게 된다.

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(b)와 (c)는 기존의 공간정합필터와 POF의 상관 평면을 나타내며, 그림 3(d)는 판별력이 가장 우수한 것으로 알려진 POC의 상관결과를 나타내고 있다.

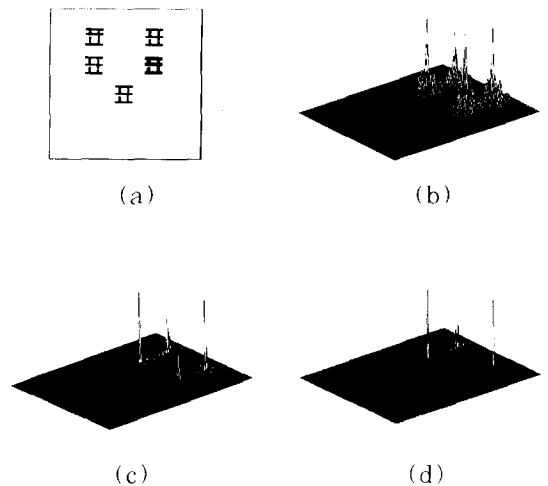


그림 3. 여러가지 공간정합필터들에 의한 상관출력  
(a) JTC의 입력영상 (b) 공간정합필터 (c) POF (d) POC

Fig. 3. Correlation outputs of various matched spatial filters. (a) Input images of JTC. (b) Matched spatial filter. (c) POF. (d) POC.

표 1. 여러가지 공간정합필터들에 의한 상관 첨두치  
Table 1. Correlation peaks of various matched spatial filters.

		공간정합필터				POF				POC			
		S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
상관첨두치 높이 (%)		65.03	100.0	100.0	100.0	45.06	100.0	99.21	46.68	26.72	97.78	100.0	6.84
FWHM	FWHMx (pixels)	3	3	3	5	1	1	1	3	1	1	1	1
	FWHMy (pixels)	4	1	1	3	3	1	1	2	1	1	1	1

그리고, 표 1은 각 상관기들에서 발생한 상관 첨두치를 높이와 그 절반위치에서 상관 첨두치 폭(FWHM:full correlation width at half-maximum) [10]으로 나타내었다. 여기서, S1과 S2는 그림 3(a)에서 위쪽 두 표적에 의한 상관 첨두치를 그리고, S3, S4는 아래쪽 두 표적에 대한 것을 나타내는데, 그중 S2와 S3가 실제 기준영상과 동일한 표적에 의한 상관 첨두치이다. 상관 첨두치 높이는 전체 상관평면에 나타난 최대값을 100.0%로 설정하고 각각의 상관첨두치를 백분율로 나타내었다.

그리고, 상관 첨두치 폭을 나타내는 FWHM은 x 방향과 y방향에서 측정하여 검출된 화소 수로 나타내었다 그림 3(b)와 표 1에 나타난 상관결과에서 굵기를 변화시킨 영상은 진폭의 영향으로 상관 첨두치의 폭이 증가했을 뿐 높이 면에서 실제 표적과 판별이 불가능한 상태이다. 그러나, 필터가 위상만으로 구성된 POF의 상관결과(그림 3(c))에서는 형태변화가 이루어진 영상(S1)과 굵기 변화된 영상(S4)이 유사한 상관 첨두치 높이를 나타내고 있다. 그리고, 완전히 위상만으로 구성된 POC의 상관 출력인 그림 3(d)에서는 굵기 변화된 영상에 의한 상관 첨두치(S4)는 검출이 어렵게 된다. 3가지 상관결과를 비교하면, 위상이용 정도에 따라서 모든 상관 첨두치가 보다 첨예해지며 sidelobe가 감소하고 있다. 그중 굵기 변화된 영상과 유사하게 형태가 변화된 영상에서 발생하는 상관 첨두치의 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 POC가 보다 우수한 판별력을 나타내게 된다.

그림 4는 그림 3(a)를 입력으로 구성하고 광

BPEJTC의 위상특성을 조사하기 위하여 상관시킨 결과들을 나타내고 있다. 첫번째로, 기존의 JTC 및 BJTC를 이용한 상관결과를 각각 그림 4(a)와 (b)에 나타내었다. 그리고, 그림 4(c)는 새로이 구성된 JTPS를 이용한 JTC의 상관결과가 공간정합필터의 상관출력인 그림 3(b)와 일치함을 조사하기 위하여 시뮬레이션하였으며, 광 BPEJTC의 상관출력을 그림 4(d)에 나타내었다. 그리고, 각 상관결과 해석을

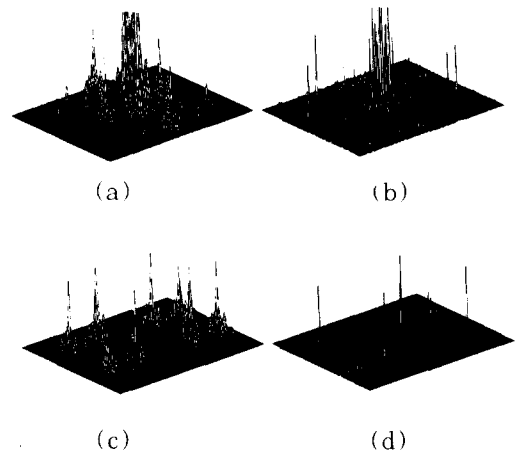


그림 4. 여러가지 JTC 구조에 의한 상관결과  
(a) 기존의 JTC  
(b) 메디안 방법을 이용한 BJTC  
(c) 새로운 JTPS를 이용한 JTC  
(d) 광 BPEJTC

Fig. 4. Correlation outputs of various JTC structures.

- (a) Conventional JTC.
- (b) BJTC using the median method.
- (c) JTC using new JTPS.
- (d) Optical BPEJTC.

위하여 먼저 자기상관 성분인 DC 높이를 측정하고 공간종합필터와 동일한 방법으로 상관 침두치의 높이와 그 절반위치에서 상관 침두치 폭을 측정하여 나타내었다. 단지, 과도한 DC가 발생하는 JTC와 BJTC는 상관침두치 높이를 비교하기 용이하도록 정밀도를 1/1000로 높여서 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. 또한, BJTC를 이용하는 경우(그림 4(b))도 신호의 판별력은 우수해지더라도 DC와 동일평면의 상관신호가 발생되어 신호 판별이 어렵게 되므로 두 경우 모두 다중영상에는 적용할 수 없게 된다. 따라서, 새로이 JTPTS를 구성하게 되면 그림 3(c)와 같은 두개의 공간종합필터가 DC 없이 원점대칭으로 나타나게 된다. 그러나, 공간종합필터의 진폭에 의한 특성과 동일한 현상으로 넓은 상관 침두치폭 즉, 낮은 peak-to-sidelobe를 나타내고 있음을 그림 4(c)와 표 2를 통하여 알 수 있다. 반면에, JTPTS의 완전한 이진위상을 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 침두치가 첨예하게 나타나는 결과를 얻을 수 있게 되어 필요한 신호만을 정확히 판별할 수 있게 된다.

표 2. 여러가지 JTC 구조에 근거한 상관 침두치 결과

Table 2. Correlation peak outputs of various JTC structures.

D C (%)	JTC				BJTC				
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
상관침두치 높이 (%)	100.0				100.0				
FWHM	FWHM (pixels)	3	3	3	5	1	1	1	1
	FWHM (pixels)	4	1	1	3	1	1	1	1

D C (%)	재구성된 JTPTS				BPEJTC				
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	
상관침두치 높이 (%)	0.00				0.00				
FWHM	FWHM (pixels)	3	3	3	5	1	1	1	1
	FWHM (pixels)	4	1	1	3	1	1	1	1

결과적으로, 광 BPEJTC에 의한 상관결과는 별도의 필터를 요구하지 않는 JTC에 위상특성을 부여하므로 POC에 유사하게 위상특성을 나타낼 뿐만 아니라 BPOF와 같이 이진화를 위한 특정 위상각을 합성할 필요가 없으므로 보다 간단히 이진 값으로 상관기를 구성할 수 있게 되어 광학적 처리가 용이하게 된다.

VI. 실험 및 결과분석

그림 5는 본 논문에서 제안된 광 BPEJTC 시스템의 실험 구성도를 나타낸 것으로 기준신호와 입력신호는 하나의 공간 광 변조기를 상하로 분리하여 상단에 입력평면을 구성하게 되며 전체 시스템은 6-f로써 구성할 수 있다. 시스템은 처음에 기준영상을 편광기가 부착된 LCD2에 나타내고 CCD3으로 검출한 파워스펙트럼을 메모리에 저장한 이후에 CCD 카메라로 입력을 받아들이므로써 시스템의 동작을 시작한다. 그리고, 상단의 입력면을 푸리에 변환하기 위하여 CCD2와 영상차단막이 이용되고 있으며 전체 영상의 JTPTS를 구하기 위하여 CCD3이 이용된다.<sup>9-12)</sup> 그리고, 이진위상형태로 합성된 JTPTS를 나타내기 위하여 편광기가 제거된 LCD1을 이용하므로써 광효율을 높일 수 있으며, CCD3에서 상관결과를 얻을 수 있다.

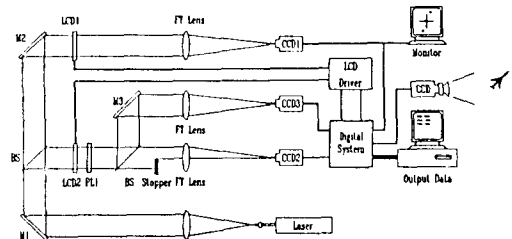


그림 5. 광 BPEJTC (6-f) 시스템의 실험 구성도  
Fig. 5. Experimental setup for optical BPEJTC (6-f) system.

그러나, 이러한 시스템은 처리속도를 증가시킬 수 있는 반면에 시스템 구성이 복잡하게 되므로, 본 논문의 실험에서는 6-f 시스템에 근거하여 그림 5의 시스템중 LCD1과 CCD1 그리고 하나의 푸리에 변환 렌즈만으로 2-f 상관 시스템을 구성하였다. 그리고, 시분할 방식<sup>8-13)</sup>을 이용하여 기준영상, 입력영상, 전체영상을 순차적으로 나타내고 각각의 파워스펙트럼을 검출하여 DT2851 Image grabber에서 JTPTS를 재구성하였다. 재구성된 JTPTS는 시스템 구성상

LCD의 편광기를 제거하지 않은 LCD1에 다시 나타내므로서 상관결과를 얻었다. 시스템 구성을 위하여 공간 광 변조기로 Epson LCD(liquid crystal display)를 이용하였으며, He-Ne 레이저(10mW)를 광원으로 이용하였다. 그리고, JTPS와 상관출력은 금성하니웰 CCD로써 검출하였다.

그림 6은 광학적 상관실험과 컴퓨터 시뮬레이션의 상관결과를 비교하기 위하여 시뮬레이션에서 사용한 그림 3(a)의 한글 '표'자 영상들을 3배 확대하여 퓨리에 입력영상으로 이용하여 얻은 상관결과이다. 그림 6(a)는 메디안 방법을 이용한 BJTC의 상관결과이며, 그림 6(b)는 광 BPEJTC의 상관결과를 나타낸 것이다.

그림 6에서 t1, t2는 실제 표적영상에 의해서 발생한 상관 침두치이고, t3과 t4는 변형된 영상과 굵기 변화된 영상에 의한 상관 침두치를 나타낸다. 그리고, t5, t6, t7은 다중표적으로 인하여 발생한 상관 침두치를 나타내고 있다.

상관실험에 의하면 BJTC의 상관결과는 비록 실제 표적에 대한 상관 침두치가 나타나고 있을지라도 자기상관으로 DC 성분인 광축 주변에 과도한 회절이 발생하고 있다. 그리고, 유사한 입력영상들이 광 회절을 분산시키게 되어 상대적으로 상관 침두치들의 값이 낮게 나타나고 있다. 특히, 광축을 중심으로 좌우 및 상하에 명확하게 나타난 t6, t7은 동일평면의 유사표적간에 발생한 상관신호가 중첩되어 나타난 것이다. 우측상단과 좌측하단에 미약하게 나타난 t5는 동일평면에서 발생한 상관신호로 동일영상에 기인한 상관신호이나 광학기의 영향<sup>17)</sup>으로 컴퓨터 시뮬레이션과 달리 미약하게 나타나 있다.

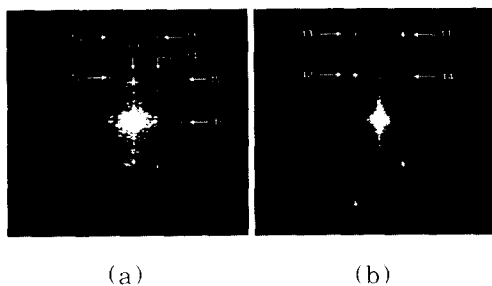


그림 6. 상관실험 결과

(a) BJTC의 상관결과

(b) 광 BPEJTC의 상관결과

Fig. 6. Results of correlation experiments.

(a) Correlation output of BJTC.

(b) Correlation output of Optical BPEJTC.

반면에, 광 BPEJTC는 동일평면에서 발생한 상관신호가 제거되었을 뿐만 아니라 광효율이 증가하여 상관 침두치들의 위치가 비교적 정확히 나타나고 있다. 그리고, 위상특성을 분석하기 위하여 광 BPEJTC 및 POC를 컴퓨터 시뮬레이션한 상관결과와 광학적으로 상관시킨 그림 6(b)를 비교하면, 위상 성분에서 차이가 심한 굵기 변화된 영상의 상관 침두치(t4)는 상대적으로 미약하게 나타나고 있다. 따라서, 광학적으로도 광 BPEJTC는 위상특성이 나타나고 있음을 이해할 수 있다. 그러나, 광 BPEJTC 시스템에서도 역시 커다란 DC 성분이 나타나고 있는데, 이는 상관으로 발생한 신호로 보다는 사용된 LCD의 광 투과 면적(63 X 57 $\mu$ m)으로 인하여 발생한 것으로 분석된다. 그리고, CCD에서 광세기는 256 준위로 양자화되어 검출되므로 JTPS를 정확히 재구성하지 못하고, 사용된 LCD의 화소가 Grid 구조를 이루며, 가우시안 형태의 광 분포로 인하여 상관 침두치가 DC로 부터 멀어짐에 따라 낮게 나타나고 있다.<sup>17)</sup> 따라서, 광학실험 결과는 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 다소 다른 상관 침두치간의 비율을 나타내었다.

이상의 실험결과에 의하면 광 BPEJTC 시스템은 동일평면에서 발생하는 상호상관 성분을 제거하므로서 기존 JTC 및 BJTC에서 문제점으로 나타나는 상관오류를 제거할 수 있음을 알 수 있다. 그리고, 기존에 가장 우수한 peak-to-sidelobe를 나타내는 것으로 알려진 BJTC와 비교하면, 비록 저해상도의 광학소자로 DC가 발생하였지만 자기상관 성분과 동일평면에서 발생하는 상호상관이 제거되므로 광효율이 크게 증가하여 실제 표적에 의한 상관 침두치가 보다 첨예하게 발생됨을 검증할 수 있었다.

광학소자로 인한 DC 발생은 단지 광학소자에 의한 것으로 무입력 상태에서 기록된 영상을 DC 차단막으로 이용하거나 보다 고해상도의 공간 광 변조기를 이용하므로서 제거될 수 있을 것이다. 그리고, 상관평면에 위치에 따른 침두치 변화는 사전에 소자특성에 따라 상관 침두치 변화율을 조사하여 보상하므로서 보다 정확한 상관 값을 얻을 수 있을 것으로 분석된다.

## Ⅶ. 결론

본 논문에서는 위상형태의 정합필터를 통하여 몇 가지 대표적인 상관기의 판별력을 조사하므로서 위상 함수가 상관신호에 미치는 영향을 조사하고, 기존 광 JTC 시스템에 위상특성을 부여한 광 BPEJTC 시스



템을 새로이 제시하였다. 특히, 새로이 제시된 광 BPEJTC 시스템을 자기상관 및 동일평면의 상호상관으로 인한 상관 침투치를 제거하도록 재구성된 JTFS를 이용함으로써 DC와 표적오류가 발생하지 않았다. 그리고, JTFS에 이진위상 특성을 부여함으로써 sidelobe가 급격히 감소하고 유사영상에 대한 상관 신호의 판별력을 개선할 수 있었다.

광 BPEJTC에 이용되는 이진위상의 JTFS는 BPOF보다 간단한 방법으로 구성되며, 실수부와 허수부가 모두 고려된 이진 실수 값이므로 신호 이용 효율이 높게 나타났다. 그리고, 기준함수와 입력의 진폭이 모두 제거되므로 POC와 유사한 상관신호 판별력 특성을 나타내며 또한, JTFS가 이진 값으로 구성되므로 비교적 실험특성이 저하된 공간 광 변조기를 이용한 실시간적 구현의 가능성을 제시하였다.

#### 參考文獻

- [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 Filters," *Opt. Eng.*, vol.23, no.6, pp.698-704, 1984.
- [5] T.Nomura, K.Itoh, K.Matsuoka, and Y.Ichioka, "Binary Fourier Phase-Only Correlation," *Opt. Lett.*, vol.15, no.14, pp.810-811, 1990.
- [6] C.S.Weaver and J.W.Goodman, "A Technique for Optically Convolution Two Function," *Appl. Opt.*, vol.5, no.7 pp.1248-1249, 1966.
- [7] B.Javidi, "Nonlinear Joint Power Spectrum based Optical Correlation," *Appl. Opt.*, vol.28, no.12, pp.2358-2367, 1989.
- [8] 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.
- [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.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.
- [11] 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.
- [12] C.S.Ryu, S.Y.Yi, E.S.Kim, "Target Tracking System using Optical JTC Peaks and Hopfield Networks," *IJCNN*, pp.821-824, 1993.
- [13] K.Chalasincka-Macukow and C.Gorecki, "Optoelectronic Implementation of the Quasi-Phase Correlator," *Opt. Comm.*, vol.93, no.1,2, pp.11-18, 1992.
- [14] 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.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] 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.

---

著 者 紹 介

李 相 二(正會員) 第 31卷 A編 第 5號 參照  
현재 광운대학교대학원전자공학과  
박사과정

金 恩 洙(正會員) 第 31卷 A編 第 5號 參照  
현재 광운대학교 전자공학과 교수