

다중표적 추적을 위한 광 JTC의 효과적인 이진화 방법

(The Effective Binarization Method of Optical JTC for Multitarget Tracking)

李相二*, 徐春源*, 金恩洙*

(Sang Yi Yi, Choon Weon Seo and Eun Soo Kim)

要約

최근, 다중 표적을 실시간으로 추적하기 위한 새로운 접근 방법으로 광 BJTC 추적 시스템에 대한 연구가 활발히 진행되고 있으나, 이진화 방법에 따라 표적오류 및 표적유실등과 함께 상관효율에 많은 영향을 받게 되므로, 본 논문에서는 기존의 공간정합필터와 같은 특성을 지닌 새로운 JTFS를 구성하고, 고주파 성분을 효과적으로 이용할 수 있는 효율적인 이진화 방법을 도입하여 판별력은 물론, 광학적 효율도 높일 수 있는 BJTC 시스템을 제시하고, 컴퓨터 시뮬레이션과 LCD 공간 광 변조기 및 CCD를 이용한 광학실험을 통하여, 새로운 이진화 방법의 성능을 비교 분석하였다. 또한, 다중 표적의 경우 기존의 메디안 방법을 이용한 BJTC와 비교하므로써 새로운 이진화 방법의 개선된 추적성능을 제시하였다.

Abstract

Recently, Optical BJTC as a new approach for real-time multi-target tracking has been intensively studied. But the conventional system has some problems in the practical applications such as the false alarm and target missing and low correlation efficiency, and these poor performances are analyzed to be deeply dependent on the binarization method. So, in this paper, a new BJTC system which has the improved performances in target discrimination and diffraction efficiency is suggested, which is based on the JTFS having the same properties with those of the matched filter and new power spectrum binarization method to use effectively the high frequency components of the JTFS signal.

Through the computer simulation and some experiments, the performances of the new BJTC tracking system are analyzed and proved to be superior to those of the conventional systems based on Median method in multi-target tracking problems.

1. 서론

광 신호 처리에서 배경잡음으로부터 표적의 추적

및 인식을 위하여 홀로그래름을 이용한 공간정합필터¹⁾가 제안된 이래, 신호 판별력 개선을 위해 진폭성분이 제거되어 광효율이 크게 개선된 POF(phase-only filter)²⁾가 제안되었으나, 모든 입력영상에 대한 위상정합필터의 구성이 요구되므로 실질적인 추적 시스템에 응용은 제한되고 있다.

반면에, 입력과 기준영상을 동일평면에 구성하므로

* 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 6月 26日

서 별도의 필터 구성이 필요없는 JTC(joint transform correlator)시스템이 Weaver와 Goodman^[3]에 의하여 제안되어 실질적인 응용 가능성이 제기되었다. 특히, 최근들어 공간적으로 구성된 영상을 비디오 프레임으로 나타낼 수 있는 공간 광 변조기와 광 세기 분포를 비디오 프레임으로 검출할 수 있는 CCD 광검출기의 발달에 따라 실시간 표적 추적 시스템^[3,4]의 구성을 위한 시도가 이루어지고 있다.

최근의 연구 결과들에 의하면, 기존 광 JTC의 광 세기 분포인 JTPS(Joint Transform Power Spectrum)를 이진화함으로써 구성되는 BJTC(binary JTC)는 POF와 유사한 특성으로 높은 상관 침투치와 큰 peak-to-sidelobe를 가지므로 유사한 표적들에 대하여 우수한 판별력을 지니는 것으로 알려지고 있다.^[4] 그러나, 기존의 이진화 방법으로 주로 사용되는 메디안 방법을 다중 표적 추적 시스템에 이용하는 경우 clutter 존재에 무관하게 표적 오류 및 표적유실등이 발생하므로 다중 표적에 대하여 제한점^[5]이 나타나게 되므로, 보다 효과적인 이진화 방법에 대한 연구가 요구되고 있다.^[8-10]

따라서, 본 논문에서는 JTC를 다중 표적 추적 시스템에 이용하는 경우 JTC의 고유한 특성으로 인하여 나타나는 동일영상평면에서 발생하는 상호상관 성분을 제거함으로써 표적오류를 최소화하고, DC를 제거하는 새로운 JTPS의 구성 방법을 제시하고자 한다. 또한, 높은 상관 침투치 세기와 판별력 개선을 위하여 변형된 Laplacian 경계추출 필터를 이용하여 적응적으로 이진화할 수 있는 임계치 절단선을 구성함으로써 POF에 유사한 새로운 BJTC 시스템을 제시하고자 한다. 특히, 새로이 제시되는 이진화 방법은 전체 광 세기 분포에 무관하게 신호의 변화량을 이용할 수 있는 경계추출방법을 통해 Grid 구조를 갖는 공간 광 변조기에서 발생하는 문제^[1]를 극소화하게 된다.

또한, 새로이 제시된 이진화 방법과 기존의 메디안 방법을 실제 다중 표적에 적용한 컴퓨터 시뮬레이션과 실험 결과를 비교 분석하고자 한다.

II. 새로이 구성한 광 BJTC 추적 시스템

일반적으로, 기존의 JTC의 JTPS를 이진화하므로서 구성되는 BJTC 시스템에서 JTPS의 적절한 임계치의 선택은 BJTC 시스템의 성능 및 효율 개선에 매우 중요하게 되므로 효과적인 JTPS 이진화 방법에 대한 연구가 요구된다.

기존에 메디안 및 평균치 방법^[6] 등과 같이 JTPS

의 공간 주파수축을 따라 단일값으로 설정된 임계치를 이진화에 이용하는 경우, 임계치를 높게 설정하게 되면 상대적으로 높은 값에서 변하는 DC 주변의 낮은 주파수 성분만이 이진화되고, 보다 낮게 설정된 임계치는 DC 주변의 주파수는 손실되는 반면에 DC로부터 멀리 떨어져 낮게 분포하는 높은 주파수를 이진화하게 되어 넓은 대역통과를 나타내므로 임계치에 따라 상관출력의 변화가 심하게 된다. 즉, 하나의 값으로 고정된 임계치는 단지 절단선을 가로지르는 영역내의 fringe 변화만을 정보로 유지하게 됨으로 임계치 이상이나 이하에서 발생하는 fringe 변화는 검출할 수 없게 된다. 또한, 다중표적의 경우에 모든 표적간의 상호상관과 DC 주변에 나타나는 높은 자기상관으로 인하여 회절 효율이 급격히 감소하게 되고 특히, 단일표적에 대하여 POF와 유사한 상관결과를 갖는 기존의 메디안 값을 임계치로 선택하는 경우, 이진화 과정의 고차회절에 의한 상관 침투치가 나타나므로 표적오류나 표적유실을 발생하게 된다.^[5]

따라서, 대부분의 fringe를 효과적으로 유지할 수 있는 최적의 임계치 결정방법으로 최근, 고정된 임계치를 피하고 고역통과필터를 이용하여 국부적으로 평균 값을 취하여 이진화하는 방법등이 제시되고 있으나^[10], 이러한 국부적 이진화 방법에서는 모든 신호를 고려할 수 있다는 장점으로 표적신호를 최대로 이용할 수 있게 되나, 표적이외의 신호까지도 모두 포함하게 되므로, 결과적으로 상관평면에는 불필요하고 불균일한 상관침투치가 발생하므로서 일반적인 환경에서 표적 추적시스템의 구성이 어렵게 된다. 따라서, 본 논문에서는 다중 표적을 추적하는 경우 기존의 JTC에서 발생하는 불필요한 상관침투치와 DC를 효과적으로 제거할 수 있는 JTPS를 새로이 구성하고, 이에 fringe를 효과적으로 유지할 수 있는 필터를 이용하여 광 효율 및 판별력을 개선할 수 있는 새로운 이진화 방법을 적용하므로서 다중 표적 추적에 효과적인 BJTC 시스템을 제시하고자 한다.

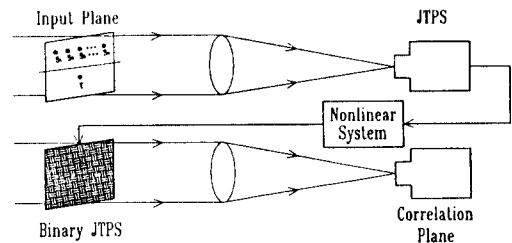


그림 1. 광 BJTC 시스템
Fig. 1. Optical BJTC System.

그림 1은 다중표적 추적에 본 논문에서 제시하는 BJTC 시스템을 적용할 때 나타나는 효과를 해석하기 위한 것으로, 기준영상은 $r(x-x_0, y-y_0)$ 에 위치하고, 입력영상은 다중표적들이 $[s_1(x-x_1, y-y_1), s_2(x-x_2, y-y_2), \dots, s_n(x-x_n, y-y_n)]$ 에 위치한다고 가정하면, 각각의 위치를 식(1)과 같이 나타낼 수 있는데 이러한 경우, 상관신호에는 기준영상과 입력 표적들의 자기상관, 기준영상과 입력표적들간의 상호상관 그리고 동일영상내 표적들간의 상호상관 성분들이 포함된다.

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

여기서, 자기상관 성분은 출력 평면의 광축상에 회절되어 광효율에 영향을 미치게 되며, 잡음으로 나타나는 입력영상내 표적간의 간격이 기준영상과 거리보다 멀어지면 표적위치 신호인 기준영상과 입력표적들간의 상관함수와 겹쳐질 수 있다. 따라서, 효과적인 표적 추적을 위해서 기준영상과 입력표적들간의 거리는 식(2)와 같은 조건을 만족해야 한다.^[8,11]

$$\max(Ds, s_j) < \min(Ds, r) \quad (i, j = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

여기서, Ds, s_j 는 임의의 두 표적 s_i 와 s_j 사이의 거리를, Ds, r 은 기준영상과 임의의 입력표적 거리를 나타낸다. 따라서, JTC 시스템을 다중 표적에 응용하는 경우 이러한 분리 조건을 만족 시키기 위해서는 넓은 공간 대역폭이 요구된다.

이상의 조건을 만족하는 기준입력과 입력영상은 푸리에 변환을 위하여 공간 광 변조기에 나타내게 되는데 식(1)과 같이 주어지는 다중 표적을 포함하는 입력영상은 푸리에 변환된 후 CCD에 의해 검출되는 광 세기 분포는 식(3)과 식(4)로 각각 주어지게 된다.

$$E_r(u, v) = |R(u, v)|^2 \quad (3)$$

$$E_s(u, v) = \sum_{i=1}^n |S_i(u, v)|^2 + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n S_i(u, v) S_k^*(u, v) \exp\{-j[(x_i - x_k)u + (y_i - y_k)v]\} + \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{k=i+1}^n S_i^*(u, v) S_k(u, v) \exp\{-j[(x_i - x_k)u + (y_i - y_k)v]\} \quad (4)$$

여기서, $R(u, v)$ 와 $S(u, v)$ 는 기준영상 $r(x, y)$ 와 비교입력 $s(x, y)$ 의 파워스펙트럼(power spectrum)을 그리고, (u, v) 는 공간 주파수 좌표를 각각 나타낸다. 식(3)과 식(4)의 첫번째항은 DC 주변에 회절되

는 성분을 나타내고, 식(4)의 두번째항은 입력 표적 영상간에 발생하는 성분으로 JTC를 이용하는 경우 모두가 불필요한 신호로 광효율을 낮출 뿐만 아니라 표적 오류로써 나타나게 된다.

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

또한, 식(1)의 영상을 동일 평면에 구성하고 동시에 푸리에 변환하므로서 얻을 수 있는 합성된 파워스펙트럼인 JTFS는 식(5)와 같이 주어지게 된다.

식(5)에서 두번째항과 세번째항만이 기준표적에 대하여 입력영상에서 발생한 상관추적에 필요한 신호이므로, 식(5)로부터 불필요한 성분인 식(3)과 식(4)를 제거하므로서 새로운 JTFS인 $E_{NEW}(u, v)$ 를 구성할 수 있다.^[7,12-13]

$$E_{NEW}(u, v) = \sum_{i=1}^n R(u, v) \exp\{-j(x_0 u - y_0 v)\} S_i^*(u, v) \exp\{j(x_i u - y_i v)\} + \sum_{i=1}^n R^*(u, v) \exp\{j(x_0 u - y_0 v)\} S_i(u, v) \exp\{-j(x_i u - y_i v)\} \quad (6)$$

즉, 식(6)은 입력 및 표적영상이 두개의 정합 필터로 서로 합성된 형태로 구성되어 있음을 알 수 있다. 따라서, 결과적으로 나타나는 상관 출력은 두개의 공간정합필터 출력의 합으로 주어지게 되며 식(7)로 나타낼 수 있다.

$$C(x, y) = \sum_{i=1}^n [r(x, y) \otimes s_i(x, y)] * \delta(x - x_0 - x_i, y - y_0 - y_i) + \sum_{i=1}^n [s_i(x, y) \otimes r(x, y)] * \delta(x + x_0 - x_i, y + y_0 - y_i) \quad (7)$$

여기서, \otimes 는 convolution 그리고 $*$ 는 상관을 나타낸다. 새로이 구성된 JTFS로 부터 상관출력을 구한 식(7)은 동일평면의 표적들로 인한 상관신호 없이 기준신호와 입력영상에 존재하는 표적들간의 상호상관으로 구성되므로, 식(2)에서 주어진 표적들간의 분리 조건에 탄력적으로 대처할 수 있게 된다. 그러나, 공간정합필터는 sidelobe가 크게 나타나므로 신호대 잡음비와 판별력 개선을 위하여 JTFS의 이진화가 요구된다. 그런데, 새로이 구성된 JTFS는 상관에 불필

요한 성분이 제거된 상태이므로 주파수 평면에 나타난 모든 신호를 보다 효과적으로 활용할 수 있는 새로운 이진화 방법이 요구된다. 따라서, 본 논문에서는 광효율과 판별력을 높이기 위하여 전대역에 걸친 모든 신호 스펙트럼 성분을 효과적으로 이진화할 수 있는 2차원 Laplacian 경계 추출 필터를 변형하여 식(8)과 같이 경계로 인식되는 부분을 '1'로 나머지는 '0'으로 처리하여 이진화하였다.^[12]

$$E_{BNY}(u,v) = \begin{cases} 1, & \text{if } Edge[E_{new}(u,v)] \geq 0 \\ 0, & \text{if } Edge[E_{new}(u,v)] < 0 \end{cases} \quad (8)$$

여기서, $E_{BNY}(u,v)$ 는 $E_{NEW}(u,v)$ 의 이진화된 JTPS를 나타내는 것으로 공간 광 변조기에 나타내는 경우, 화소의 ON/OFF만으로 구성이 가능하게 된다. 이상의 이진화 방법을 이용하게 되면, 필터의 변화율 검출을 조정하는 정도에 따라서 전체 광 세기에 무관하게 검출영역의 변화율을 이용하여 임계치를 설정할 수 있으므로 필요한 신호만을 효과적으로 이진화할 수 있게 된다. 따라서, 고주파 대역의 신호 이용효율을 증가시켜 판별력을 높일 수 있고, 광학 시스템에서 레이저 광 및 입력소자의 구조등으로 인하여 나타날 수 있는 완만한 광 세기 분포변화에 효과적인 필터로 이용될 수 있다.

III. 컴퓨터 시뮬레이션 결과

그림 2는 본 논문에서 새로이 구성한 BJTC 추적 시스템의 컴퓨터 시뮬레이션을 위해 구성한 BJTC의 입력평면으로 상단절반을 입력으로 구성하고 표적 '이'와 clutter '상'을 나타내었고, 기준영상을 하단절반에 설정하고 기준영상 '이'를 나타내었다. 각 영상은 '0' 값으로 채워진 128×128 평면에 9×9의 크기를 설정하고 이진영상으로 구성하였다. 각 표적의 위치는 이진화 특성조사를 위하여 표적오류와 표적유실이 발생할 수 있도록 주기함수를 이루며, 분리조건에 위반되는 특별한 형태로 표적간의 거리가 (d^2+d^2) ^[12]를 이루도록 x축과 y축의 간격을 일정하게 구성하고 128×128의 2-D FFT로써 수행하였다.

새로운 JTPS는 두개 평면이 서로 입력과 필터를 바꾸며 구성된 공간정합필터와 같다고 해석한 식(7)을 검증하기 위하여, 그림 2의 하단평면을 공간정합필터의 필터함수로 구성하고 상단평면을 입력으로 이용하여 구한 상관출력과 새로운 JTPS를 이진화하지 않고 구한 출력을 그림 3(a)와 그림 3(b)에 나타내었다.

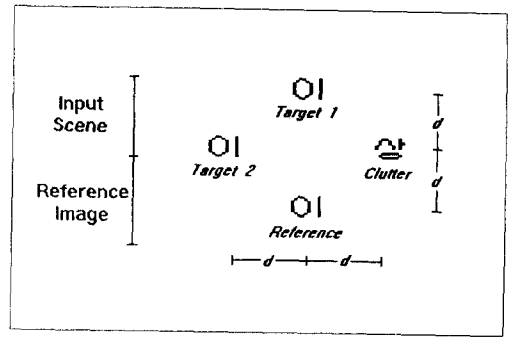


그림 2. 컴퓨터 시뮬레이션을 위한 BJTC 입력영상
Fig. 2. Input images of BJTC for computer simulation.

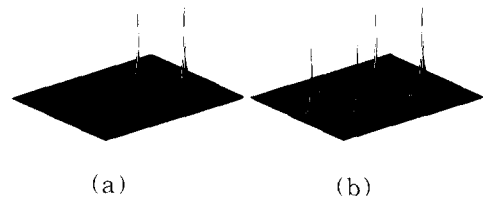


그림 3. (a) 공간정합필터에 의한 상관출력
(b) 새로운 JTPS에 의한 상관출력
Fig. 3. (a) Correlation output by matched filter (b) Correlation output by new JTPS.

그림 3(a)는 공간정합필터를 이용하여 구한 상관출력으로 높은 상관첨두치는 동일영상간에 발생한 것이고, 상대적으로 낮은 상관첨두치는 clutter에 의한 상관신호이다. 새로운 JTPS를 이용한 상관 출력인 그림 3(b)는 공간정합필터의 입력영상이 원점 대칭되어 중첩된 것과 같이 나타나게 된다. 이것은 공간정합필터에서 필터와 입력이 상호 교환되어 새로운 필터를 구성하고 상관시켜 중첩한 것과 같은 결과로 새로운 JTPS는 두개의 공간정합필터 합으로 해석할 수 있다.

또한, 위상은 진폭보다 빠른 변화율을 가지므로, 새로운 JTPS의 고주파 성분을 이용하여 역푸리에 변환을 하면 위상추출 효과를 기대할 수 있으므로 경계추출필터를 이용하여 이진화하고, 메디안 값을 이용하는 기존의 이진화 방법과 비교 분석하였다. 그림 4(a)에는 JTPS를 메디안으로 이진화한 BJTC 상관출력을 나타내었으며, 새로운 JTPS와 경계추출필터를 이용한 이진화 방법에 의해서 발생한 상관평면은 그림 4(b)에 나타내었다.

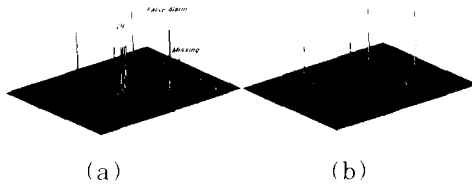


그림 4. BJTC의 상관출력

(a) 메디안 방법 (b) 새로운 방법

Fig. 4. The correlation output of binary JTC (a) Median method (b) New binarization method.

그림 3(b)와 비교하여 메디안 방법을 이용하게 되면 판별력은 개선될 수 있을지라도 모든 표적간의 상관관이 발생하여 전체 상관첨두치수는 $2(C_1C_2)$ 개로 증가하게 된다. 그리고, clutter에 의한 상관은 미약할지라도, 기준입력과 가장 가까운 표적 사이의 거리가 입력평면의 표적간의 간격을 초과해야한다는 분리조건을 정확히 만족하지 않으므로, 기준표적과 표적 2의 상관첨두치가 입력평면의 표적 1과 clutter간의 상관신호와 중첩되어 표적만의 상관첨두치보다 높게 나타난 것으로 분석할 수 있다. 또한, 기준표적과 입력영상의 clutter로 표시된 '상'의 상관신호가 표적 1과 표적 2에 의해 발생한 상관첨두치와 중첩되므로 clutter의 위치에 표적오류가 나타나고 있다. 특히, 메디안 방법의 경우, 다중 표적의 위치가 주기함수를 이루게 되면 표적오류 및 표적유실이 발생하게 되는데¹⁵⁾ 본 논문에서 구성한 상관 시스템에서는 표적의 주기적인 위치에 따라 표적유실이 발생되었고 분리조건에 따라 표적오류를 나타내었다. 반면에, 새로운 BJTC 시스템에서는 JTPS를 재구성하는 과정에서 DC와 함께 동일영상내 표적간의 상관관이 제거된 상태에서 이진화하였으므로 그림 4(b)에서와 같이 표적유실이나 표적오류가 발생하지 않고 기준영상과 표적간의 상관첨두치만이 첨예하게 나타나고 있음을 볼 수 있다.

이상의 시뮬레이션을 통하여 복소함수를 구현함으로써 구성할 수 있었던 공간정합필터를 이용한 광 상관관이 실수함수로써 구성된 JTPS의 재구성을 통하여 실시간적으로 구현이 가능함을 살펴볼 수 있었다. 특히, Laplacian 경계추출필터를 응용하여 구성한 필터로 재구성된 JTPS의 변화율을 따라 이진화를 시도함으로써 고주파 성분을 충분히 활용할 수 있었다.

또한, 본 논문에서 제안한 BJTC의 판별력 측정을 위하여 유사한 단일표적에 적용하게 되면, DC제거가

가능하고 유사표적 판별력이 우수한 것으로 알려진 메디안 방법과 유사한 상관결과를 얻을 수 있게 된다. 그리고, 제안된 BJTC를 유사다중표적에 적용하는 경우에도 각각의 표적에 대한 상관판별력은 단일 표적과 동일하게 나타나게 된다.

IV. 추적 실험 및 결과 분석

그림 5는 본 논문에서 새로이 구성한 BJTC 추적 시스템의 구성도를 나타낸 것으로 CCD 카메라에 의해 비디오 프레임으로 검출되는 영상신호를 BJTC 시스템에 전송하므로써 동작이 시작된다. 기준신호(이전 프레임)와 입력신호(현재 프레임)는 하나의 공간 광 변조기를 상하로 분리하여 입력평면을 구성하게 되는데, 이전 프레임의 표적영상을 기준영상으로 하여 현재 프레임을 상관시키며 이동표적의 위치변화를 측정하게 된다. 이때 이동하지 않은 표적에 의한 상관신호는 공간 광 변조기의 절반의 위치에서 나타나게 되고 이점에서 이탈된 정도로써 표적의 움직임을 측정하게 된다. 그리고, 표적의 급격한 변화 이전에 다음 영상을 받아들여 현재 프레임이 기준신호가 되고 새로이 받아들인 영상이 입력신호를 구성하게 되면, 상관첨두치 높이는 일정 범위내에서 변동되게 된다. 따라서, 순차적으로 입력되는 신호를 연속적으로 처리하게 되면 표적이 심각한 변화를 일으켜도 효과적인 추적이 가능하게 된다.^{6, 7, 12, 14)} 이상의 추적방법을 이용하는 상관 추적시스템은 시간차(프레임 간격)에 따른 표적의 변화에 민감하게 동작된다. 따라서, 시스템은 고속처리능력을 지녀야하며, 미약하게 이동한 표적이 이동하지 않은 표적에 근접한 경우 상관첨두치간의 분리를 위하여 peak-to-sidelobe가 높아야 한다.

컴퓨터 시뮬레이션을 통해 살펴보았듯이, 본 논문에서 제안한 BJTC 시스템은 다중표적에 대한 상관 성능 개선과 함께 상관첨두치를 첨예하게 발생시키므로 상관첨두치 분리가 용이하다. 따라서, 본 시스템을 광학적으로 구성하게 되면 퓨리에 변환이 실시간적으로 이루어지고, 공간 광 변조기와 CCD의 처리속도는 소자에 따라 비디오 프레임(1/30초) 이내에 이루어지므로 본 시스템은 이진화 처리시간이 영향을 받게 된다. 그러나, 본 시스템에서 제안한 이진화 방법은 Laplacian 경계추출필터의 마스크로 경계면을 판정하여 이진출력을 나타내므로 하드웨어적 구현이 용이하고 고속처리가 가능하게 된다.

본 논문에서 구성하는 BJTC 추적 시스템은 그림 5와 같이 구성되며 퓨리에 입력평면 구성을 위한 공

간 광 변조기로서 Epson LCD(Liquid Crystal Display)를 이용하였다. 시스템에서 입력영상과 이진화된 JTPTS는 LCD에 나타내고, He-Ne 레이저 (35mW)와 LCD의 grid 간격을 고려하여 Nyquist 공간 주파수를 형성하기에 알맞은 초점거리 1m의 퓨리에 변환 렌즈를 이용하여 퓨리에 변환하였으며, JTPTS와 상관출력은 CCD 광 검출기로 검출하였다. 전체 영상의 JTPTS를 구하고 현재 프레임의 파워스펙트럼을 구하기 위하여 영상 차단막을 이용하였으며, 이전 프레임은 메모리에서 출력되어 새로운 JTPTS 구성에 이용된다. 그리고, 현재 프레임의 파워스펙트럼은 다음 연산에서 이전 프레임으로 사용하기 위하여 메모리에 저장된다.

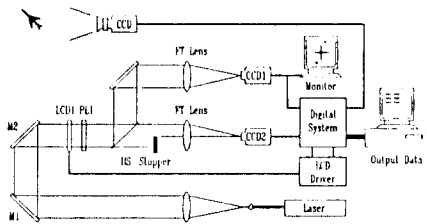


그림 5. BJTC 추적 시스템의 구성
Fig. 5. Setup of binary JTC tracking system.

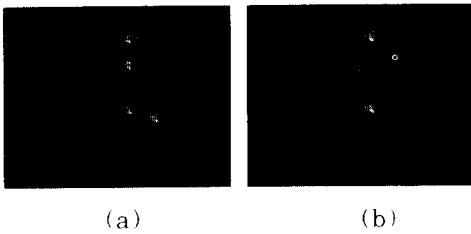


그림 6. 실험에 이용한 표적 영상 (a) 동일 표적에 대한 경우 (b) 서로 다른 표적에 대한 경우
Fig. 6. Target images used in the experiments (a) Same targets (b) Different targets.

그림 6은 CCD 카메라로 포착한 구름 배경에 MIG-21 항공기 영상들을 나타낸 것으로 그림 6(a)는 2대의 동일영상이 이전 프레임과 현재 프레임으로 구성되어 있으며, 그림 6(b)는 서로 반대방향으로 이동하는 영상으로 상호간에 clutter로 작용하도록 구성한 것이다. 다중표적으로 구성된 표적간의 위치는 기준표적을 2개로 구성하여 분리조건을 엄격하게 지

키고, 주기함수를 회피하도록 위치시켰다.

그림 7은 그림 6(a)의 입력영상에 메디안 방법을 적용하여 구한 BJTC의 상관결과를 나타낸 것으로, 그림 7(a)는 512 X 512 크기로 구성된 그림 6(a)를 128 X 128 크기로 압축하고 컴퓨터 시뮬레이션하여 얻은 상관평면을 나타낸 것이며, 그림 7(b)는 3차원으로 나타낸 것이다. 그림 7(c)는 그림 6(a)를 입력으로 이용하여 실험적으로 구한 상관평면을 나타낸 것이고, 그림 7(d)는 3차원으로 표현한 것이다.

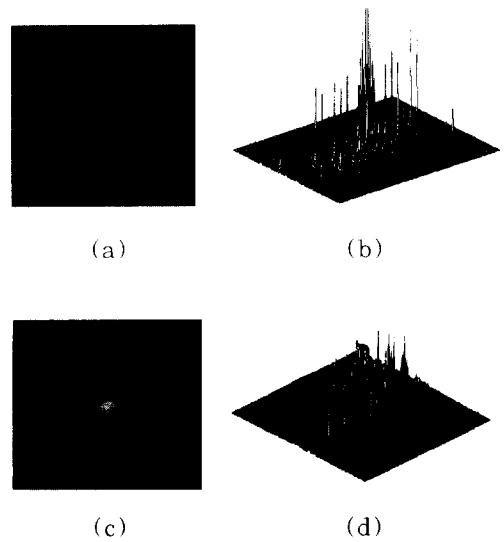


그림 7. 그림 6(a)를 입력으로한 메디안 방법의 BJTC의 상관결과 (a) 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 상관평면 (b) (a)의 3차원 그림 (c) 광학 실험에 의한 상관평면 (d) (c)의 3차원 그림

Fig. 7. Correlation results of the BJTC with median method using Fig. 6(a).

(a) Correlation plane by computer simulation (b) 3-D plotting of (a) (c) Correlation plane by optical experimental (d) 3-D plotting of (c).

압축된 그림 6(a)에 새로운 BJTC를 적용하고 컴퓨터 시뮬레이션하여 얻은 상관결과를 그림 8(a)와 (b)에 나타내었고, 원영상을 입력으로 그림 5의 BJTC 추적 시스템을 이용한 상관 실험결과를 그림 8(c)와 (d)에 각각 나타내었다. 실험에서 컴퓨터를 이용한 상관 결과가 실험 결과에 비하여 보다 정밀하게 나타나 있으나 광학 시스템의 잡음으로 나타난 주

변잡음과 DC 성분을 제외하고 상관침두치 위치만을 비교하면 컴퓨터 시뮬레이션과 실험결과가 거의 일치하게 됨을 알 수 있다. 또한, JTPS의 재구성성이 없는 그림 7에 비하여 본 논문에서 새로이 구성한 JTPS에 의한 상관결과인 그림 8에서는 DC를 중심으로 상,하단에 명확하게 그리고 좌, 우측에 미약하게 상관침두치가 나타나고 있는데 이것은 동일평면에서 발생한 상호상관에 기인한 것으로 추적과정에서 표적오류로 나타나게 된다. 즉, 분리조건이 지켜지고 비주 기함수로 구성될지라도 기존의 이진화 방법은 별도의 후처리¹⁶ 없이 다중표적에 적용하기는 어렵게 된다. 특히, 두가지 경우 모두 광축상에서 큰 DC 성분이 나타나고 있는데, 이것은 사용된 LCD가 차단상태에서 화소를 완전히 차단하지 못할 뿐만아니라 화소의 광 투과 면적($55 \times 60 \mu m$)에 기인되는 것으로 분석된다. 그러나, 그림 7(c)보다 그림 8(c)의 DC 및 상관 침두치 주변에 sidelobe가 줄어든 것은 새로이 구성된 BJTC의 JTPS 재구성성에 의한 DC 성분의 제거 및 이진화 특성에서 기인됨을 알 수 있다.

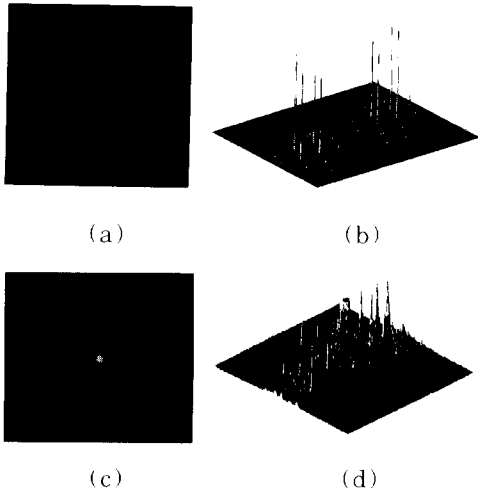


그림 8. 그림 6(a)를 입력으로한 새로운 BJTC의 상관결과 (a) 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 상관평면 (b) (a)의 3차원 그림 (c) 광학 실험에 의한 상관평면 (d) (c)의 3차원 그림

Fig. 8. Correlation results of new BJTC using Fig. 6(a)

- (a) Correlation plane by computer simulation
- (b) 3-D plotting of (a)
- (c) Correlation plane by optical experimental
- (d) 3-D plotting of (c).

그림 9는 그림 6(b)의 clutter 존재시 다중 표적 추적에 대한 실험결과를 나타낸 것이다. 그림 9(a)는 메디안방법을 이용한 BJTC의 상관결과이며, 그림 9(b)는 그림 8(c)와 동일한 조건으로 구성된 새로운 이진화 방법에 의한 BJTC의 상관결과를 나타낸 것으로 메디안 방법에 비하여 새로운 BJTC 시스템의 회절효율이 크게 향상됨을 알 수 있다.

실험에 사용한 레이저의 광세기 분포가 완전한 변화율을 갖고, 사용된 LCD의 grid 구조로 인하여 상관평면에서 광 세기 분포는 sinc 함수적인 영향을 받게 되므로 JTPS의 이진화 과정에서 메디안 방법의 고정된 임계치는 광학시스템으로 인한 신호변화를 고려할 수 없을 뿐만아니라 DC에 가까울수록 상관 침두치가 높게 나타나게 된다.¹¹ 그러나, 그림 7(c)와 8(b)에 나타낸 새로운 BJTC의 상관평면은 경계추출 필터가 JTPS의 변화율을 따라 적응적으로 이진화하며, 고주파 성분을 발생시킬 수 있도록 경계부분만으로 구성되었으므로 회절효율이 높아져 DC로부터 멀리 떨어진 상관침두치가 높게 나타나게 되고 따라서, 상관침두치는 상관평면 위치에 영향을 적게 받고 있음을 알 수 있다.

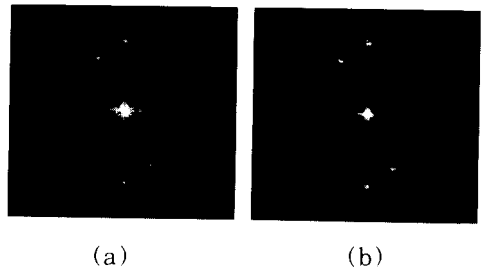


그림 9. 그림 6(b)를 입력으로한 BJTC의 상관 출력 (a) 메디안 방법에 의한 상관결과 (b) 새로운 이진화 방법에 의한 상관결과

Fig. 9. Correlation outputs using Fig 6(b) (a) Correlation results by median method (b) Correlation results by new binarization method.

V. 결론

본 논문에서는 기존 공간정합필터와 같은 특성을 지닌 새로운 JTPS를 구성하고 고주파 성분을 효과적으로 이용할 수 있는 효율적인 이진화 방법을 도입하여 판별력은 물론, 광학적 효율을 높일 수 있는

BJTC 추적 시스템을 제시하고, 컴퓨터 시뮬레이션과 LCD 공간광변조기 및 CCD를 이용한 광학실험을 통하여 새로운 이진화 방법의 성능을 비교 분석하였다. 분석결과, 새로이 구성된 BJTC 시스템을 다중표적 추적에 응용하는 경우 BJTC의 고유한 특성으로 나타나는 동일 영상평면에서 발생하는 상호상관 성분을 제거하므로서 표적유실과 표적오류를 최소화하고, DC를 제거하는 새로운 JTPS 구성방법을 제시하였다. 또한, 높은 상관침투치 세기와 판별력 개선을 위하여 변형된 Laplacian 경계추출필터를 이용하여 적응적으로 이진화할 수 있는 임계치 절단선을 구성하므로서 POF와 유사한 새로운 BJTC 시스템을 제시하였다.

또한, 다중표적의 경우 추적실험을 통해 기존의 메디안 방법을 이용한 BJTC와 비교하므로서 새로운 BJTC 시스템의 개선된 추적성능을 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] C.S.Weaver and J.W.Goodman, "A Technique for Optically Convoluting Two Functions," *Appl. Opt.*, vol.5, no.7, 1966.
- [4] B.Javidi, "Nonlinear Joint Power Spectrum based Optical Correlation," *Appl. Opt.*, vol.28, pp.2358-2367, 1989.
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.
- [8] B.Javidi, J.Wang and Q.Tang, "Multiple-Object Binary Joint Transform Correlation using Multiple-Level Threshold Crossing," *Appl. Opt.*, vol.30, no.29, pp.4234-4244, 1991.
- [9] 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.
- [10] W.B.Harn Jr. and D.L.Flannery, "Design Elements of Binary Joint Transform Correlation and Selected Optimization Techniques," *Opt. Eng.*, Vol.31, No.5, pp.888-895, 1992.
- [11] S.Y.Yi, C.S.Ryu, S.W.Suh and E.S.Kim, "A Study on the Effect of the Grid Structure of SLM on Optical JTC Tracking System," *Proc. of KITE Conf.*, vol.15, no.1, pp.563-566, 1992.
- [12] S.Y.Yi, C.S.Ryu, S.W.Suh and E.S.Kim, "The Adaptive Binarization Methods in JTC for Effective Multi-Target Tracking," *Proc. of KITE Conf.*, vol.15, no.2, pp.536-539, 1992.
- [13] K.Chalasinaska-Macukow and C.Gorecki, "Optoelectronic Implementation of the Quasi-Phase Correlator," *Opt. Comm.*, Vol.93, No.1,2, pp.11-18, 1992.
- [14] E.S.Kim, S.H.Lee and S.R.Yoon, "Implementation of OptoNeural Multi-Target Tracking System," *IEEE/IJCNN '92*, vol.3, pp.185-190, 1992.

著者紹介

李 相 二(正會員) 第 31卷 A編 第 4號 參照
현재 광운대학교 대학원 전자공학과
박사과정

徐 春 源(正會員) 第 26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 4號 參照
현재 광운대학교 전자공학과 교수