

푸리에 광 신호 처리

(Fourier Optical Signal Processing)

김은수*

(*광운대학교 전자공학과 교수)

1. 서 론

광 신호 처리 기술은 빛을 매개체로 사용하여 각종 정보의 표현 및 변환, 전송, 인식, 재생 및 회복 등의 유용한 기능을 행하는 것을 말한다. 기술의 발달과정에서 볼 때 광 신호 처리 기술의 배경에는 홀로그래피, 공간필터링(Spatial Filtering), 푸리에 광학(Fourier Optics)에 의한 아날로그 영역의 광 신호 처리 기술이 자리잡고 있으며, 레이저 응용 기술과도 같은 연관을 갖고 있다.

광 신호 처리에서 가장 오래된 형태인 푸리에 광 신호 처리(Fourier Optical Processing)의 역사는 1893년 Abbé의 연구까지 백년을 거슬러 올라 간다. 푸리에 광학 처리의 기본적인 특징은 이 광학 시스템내의 렌즈의 전후 초점간에 실시간 2차원 푸리에 변환 관계가 있어서 2차원 영상신호의 스펙트럼 분석, 패턴인식, 영상처리등에 응용할 수 있으며, 1964년 VanderLugt[1]에 의해 처음으로, 가간섭광을 이용하여 광 신호의 진폭과 위상정보를 동시에 기록할 수 있는 홀로그래피 공간정합필터(Spatial Matched Filter)가 제시됨으로서 광 상관기를 이용할 실시간 패턴 인식 기술이 활발히 연구되기 시작하였다.

특히, 푸리에 변환을 이용하여 영상의 특징을 보존하기 위해서는 변환된 신호의 진폭 보다 위상정보가 보다 중요한 것으로 알려진[2] 이후, 상관을 통한 신호판별력 개선과 실질적인 응용도구를 목적

으로 Horner 등에 의하여 새롭게 제안된 POF(Phase Only Filter)[3]는 Coherent 광 상관기 구성에서 VanderLugt에 의하여 제안된 공간정합필터의 진폭을 단위 값으로 하고 위상신호만을 이용하는 형태로 주로 두가지 요소에서 다루어 진다. 먼저, 광 상관 시스템에서 위상만의 기록은 이상적으로 입력 광 정보의 무손실 상태로 출력을 나타내게 되어 결과적으로, 광 회절 효율이 100%에 이르게 되며, 광 상관기의 성능저하 없이 공간필터 평면에 포함된 정보량을 줄이므로 정합필터 구성을 위한 고해상도 기록 매질의 필요성이 완화되어 상대적으로 해상도가 낮은 공간 광 변조기를 위상형태의 공간필터로서 이용할 수 있게 된다.

또한, 판별력면에서 Kawata 등에 의하여 제안된 POC(Phase-Only Correlator)[4]는 필터와 함께 입력함수도 위상성분으로만 구성함으로써 신호판별력을 한층 더 높일 수 있게 되었으며, 최근에는 위상정보만을 기록하는 공간 광 변조기의 개발로 실시간적으로 위상필터의 구현이 가능하게 되었으나, 아직은 공간 광 변조기에서 나타낼 수 있는 위상이 완전한 선형성을 이루지 못할 뿐만 아니라 위상 값의 표현이 한정되어 기존의 공간 광 변조기의 응용이 용이하도록 위상을 2진 모드로 양자화하여 사용하고 있다. 따라서, 보다 효과적으로 상용 공간 광 변조기를 이용할 수 있는 BPOF(Binary POF)[5-6], BPOC(Binary POC)[7] 등 이진위상을 이용하는 공간필터에 대한 응용연구가 활발히

진행되고 있다.

또 다른 형태의 광 상관기로서, 입력과 기준영상을 하나의 푸리에 입력평면에 구성함으로써 별도의 정합필터 구성이 필요치 않는 JTC(Joint Transform Correlator)가 Goodman과 Weaver[8]에 의해 제안연구되어 왔으며, 최근에는 공간 광 변조기 및 CCD 광 검출기등과 같은 소자의 개발로 실시간 광 상관 시스템 구성이 가능하게 되었다. 또한 기존 광 JTC가 공간정합필터와 유사한 특성을 나타내므로 비교적 판별력이 낮고 DC의 발생으로 인하여 광효율이 낮았으나, Javidi[9]는 기존 JTC의 광 세기 분포인 JTPS(Joint Transform Power Spectrum)를 이진화함으로써 구성할 수 있는 새로운 BJTC(Binary JTC)를 제안하고, 이러한 시스템이 보다 개선된 판별력을 갖는 POF와 유사한 특성을 나타냄을 분석한 바있다.

따라서, 본 고에서는 먼저 푸리에 광 신호 처리기술의 발달에 따라 광학적으로 구현 할 수 있는 실시간 공간정합필터, 위상형태의 정합필터 그리고, JTC를 살펴보고 특히, 최근 발달하고 있는 실시간 공간 광 변조기를 이용하기에 알맞은 이진위상 형태의 광상관기와 BJTC의 특성을 분석하고, 이를 응용한 예로서 이동영상의 실시간 인식 및 변화를 검출할 수 있는 실시간 패턴인식 및 이동표적 추적 분야를 소개하고자 한다.

2. 주파수 평면 광 상관기 (Frequency Plane Optical Correlator)

그림1과 같이 구성되는 광 상관기 시스템은 일반적으로 기준 함수 $r(x,y)$ 와 입력 함수 $s(x,y)$ 사이의 상관을 수행하게 되며, 이는 자기상관 이론과 렌즈 그리고 Coherent 광의 푸리에 변환 성질에 근거하게 된다. 필터함수 구성을 위한 기준함수 $r(x,y)$ 의 푸리에 변환은 식(1)을 이용하여 나타낼 수 있다.

$$R(u,v) = |R(u,v)| \exp[j\phi(u,v)] \quad (1)$$

여기서 $R(u,v)$ 는 $r(x,y)$ 의 푸리에 변환을 나타내며, $|R(u,v)|$ 와 $\exp[j\phi(u,v)]$ 는 각각 $R(u,v)$ 의 진폭과 위상을 나타내고 있다. 그리고, 입력함수 $s(x,y)$ 도 기준함수와 동일한 형태로 주어지게 되

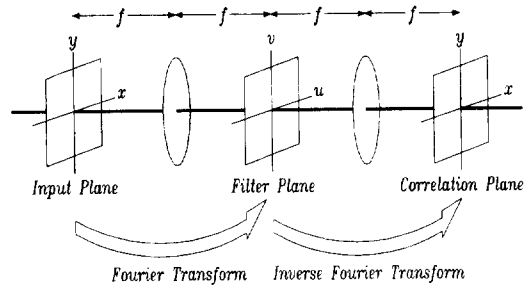


그림 1. 공간정합필터를 이용한 광 상관 시스템

며 두 함수의 상관결과는 식(2)로 나타낼 수 있다.

$$C(x,y) = FT^{-1}\{R^*(u,v)S(u,v)\} \quad (2)$$

여기서, $S(u,v)$ 와 $R^*(u,v)$ 는 입력함수와 기준함수로 구성된 필터함수를 나타내며, $C(x)$ 는 상관함수이고, *는 복소공역을 나타낸다. 공간정합필터를 이용한 광 상관기는 그림1과 같은 2차원 푸리에 변환 시스템에 의하여 구현할 수 있게 된다.

그림1의 필터평면을 구성하는 VanderLugt의 공간정합필터는 기준영상의 복소정합 함수로서 광 홀로그래피[1], CGH(computer generated hologram)[10]등으로 구현될 수 있다.

기존의 영상해석과 합성에 대한 연구에서, 푸리에 평면에서 위상정보를 이용한 영상복원이 진폭정보 보다 중요하게 취급되고[2] 또한, 광학적으로 공간정합필터를 이용하는 그림1의 상관출력은 진폭성분의 영향으로 판별력이 저하되고 광효율이 낮아지므로 진폭을 제거하고 위상함수를 이용하는 필터들이 제안되었다.

진폭성분을 제거하기 위하여 홀로그래픽으로 제안된 정합필터를 hard-clipping 함으로써 구현하려는 시도[11] 이후, Horner 등이 처음으로 푸리에 신호의 위상을 이용하여 공간정합필터와 유사하게 신호구성을 제안하고 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 POF의 실현 가능성을 제시하였다[3].

$$R_{pha}(u,v) = R(u,v) / |R(u,v)| \\ = \exp[j\phi(u,v)] \quad (3)$$

식(3)을 이용하여 구성할 수 있는 POF는 기존의 공간정합필터에 비하여 높은 공간 주파수 성분을 강조함으로써 상관침두치가 무시할만한 sidelobe를 갖는 하나의 첨예한 값이 되어 AOF

표 1. 위상함수를 이용한 공간정합필터 형태

입력함수	필터함수	$R^*(u, v)$	$ph\{R^*(u, v)\}$	$bph\{R^*(u, v)\}$
$S(u, v)$		Matched Filter	POF	BPOF
$ph\{S(u, v)\}$			POC	
$bph\{S(u, v)\}$				BPOC

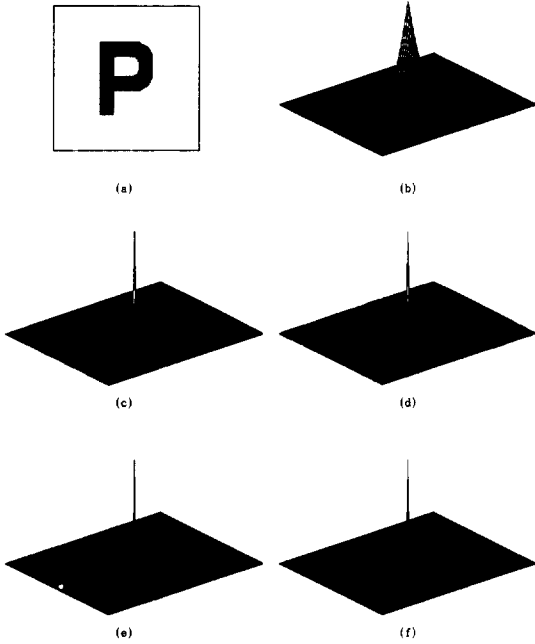


그림 2. 정합필터 상관결과
 (a) 입력영상 (b) 공간정합필터 (c) POF
 (d) BPOF (e) POC (f) BPOC

(Amplitude Only Filter)나 정합필터에 비하여 자기상관첨두치폭이 매우 좋아지고, 이중상관 신호는 감소되어 우수한 판별력과 함께 상관첨두치 높이가 공간정합필터보다 50~500배 높게 나타나게 된다. 필터 평면에서 순수한 위상함수만을 갖는 광학 시스템은 광효율이 없으므로 광회절 효율이 100%가 되는 반면에 정합필터는 진폭 부분이 필름과 같은 감광소자에 기록되므로 인하여 광투과율은 수십% 이하가 되고 DC를 포함한 저주파 성분이 크게 발생하게 된다. 또한, 100%의 광효율을 갖는 POF는 진폭에 의한 흡수가 없으므로 모든 에너지

가 필터 평면을 통해서 나가므로 낮은 출력으로 발생할 수 있는 문제에 유연하게 된다. 또한, 상관을 통해 나타나는 에너지는 거의 delta 함수에 가까운 보다 날카로운 첨두치로 모이게 된다.

또한, POF의 판별력을 더욱 높일 수 있는 방법으로 입력과 필터함수를 모두 위상신호로만 구성하는 POC가 또한 제안되었으며, 이진 위상 모드로 동작하는 공간 광 변조기를 효과적으로 이용할 수 있도록 위상함수를 이진화함으로써 구성되는 BPOF, BPOC도 제안되었다. 이들 각 시스템의 상관 출력은 식(2)의 필터를 대치하여 구성되는 각각의 필터함수와 입력함수를 나타낸 표1의 함수들을 조합하여 얻을 수 있다. 그리고, 이들의 특성을 비교하기 위해 'P'자를 이용하여 각 필터를 구성하고, 'P'자를 입력으로 이용하여 상관시킨 컴퓨터 시뮬레이션 결과를 그림2에 나타내었다. 그림2에 나타난 결과에 따르면 위상성분이 신호의 판별력에 중대한 영향을 미치게 되고, 이진위상 형태의 필터들도 연속함수에 비하여 약간의 성능차이가 있지만 비교적 유사한 상관첨두치가 나타남을 알 수 있다.

3. Joint 변환 광 상관기 (Joint Transform Optical Correlator)

Joint 변환 광 상관기는 그림3과 같이 기준신호와 입력신호를 동시에 입력평면에 인가하여 렌즈에 의해 Joint 푸리에 변환시킨 후, 이러한 푸리에 간섭신호는 다시 에너지 검출기에 의해 Joint 변환 푸리에 파워 프로펙트럼으로 바뀐 후, 이를 또 다시 푸리에 변환시킴으로서 기준 및 입력신호사이의 상관값을 얻을 수 있는 광 상관기를 말한다.

일반적으로, 광 JTC 시스템의 입력평면은 좌우 혹은 상하 두 평면으로 분할하여 구성하게 된다. 즉, 입력평면의 길이를 $2L$ 이라하고 상하단으로 분

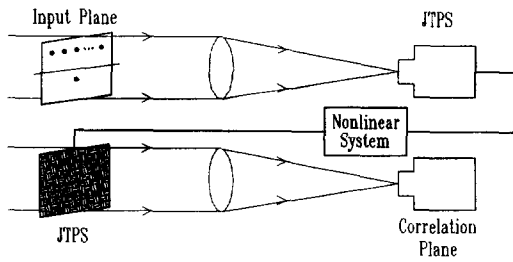


그림 3. Joint transform correlator의 구성도

리하여 상단에 기준영상을 구성하고 하단에는 입력영상을 위치시키면 각각의 영상 함수를 $f_r(x-x_r, y-y_r-L/2)$ 과 $f_s(x-x_r-\Delta x_s, Y-Y_r-\Delta y_s+L/2)$ 로 나타낼 수 있다. 여기서, r 과 s 는 기준과 입력을 나타내는 것이며, $(\Delta x_s, \Delta y_s)$ 는 기준영상에 대한 입력영상의 위치 변화량으로 공간정합필터의 기준영상에 대한 입력영상의 위치 변화량과 일치하게 된다.

따라서, Joint푸리에 변환에 의해 생긴 주파수 평면에서 두 영상간의 푸리에 간섭신호는 식(4)와 같이 주어지게 된다. 즉, 푸리에 입력평면에 기준과 입력영상이 동시에 나타나므로,

$$F(u,v) = F_r(u,v) \exp\{-i2\pi[ux_r+v(y_r+L/2)]\} + F_s(u,v) \exp\{-i2\pi[u(x_r,\Delta x_s) + v(y_r+\Delta y_s-L/2)]\} \quad (4)$$

와 같이 주어진다. 여기서, $F(u,v)$ 는 $f(x,y)$ 의 푸리에 변환을 나타내며 이러한 Joint푸리에 변환된 신호는 푸리에 평면에서 광세기 분포인 JTPS로 검출된다. 그리고, 상관을 위해서 JTPS를 역푸리에 변환시키면 식(5)와 같이 나타나게 된다.

$$F(x,y) = F^{-1}\{|F(u,v)|\} = F_r, r(x,y) + F_s, s(x,y) + F_r, s(x-\Delta x, y-\Delta y+L) + F_r, s(x+\Delta x, y+\Delta y-L) \quad (5)$$

여기서

$$F_r, s(x,y) = F^{-1}\{F_r(u,v)F_s^*(u,v)\} = \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} f_r(u,v)f_s^*(u-x, v-y)dudv$$

식(5)의 처음 두항은 기준영상과 입력영상으로

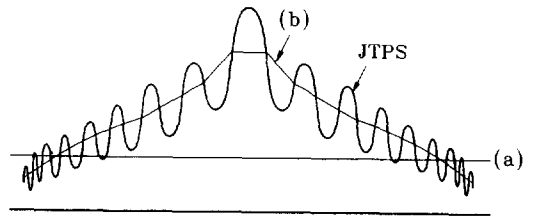


그림 4. JTPS와 이진화 절단선

인한 상관 값을 나타내며 출력 평면의 원점에서 검출되고, 기준과 동일한 입력영상으로 인한 상관 값인 $F_{r,s}$ 은 $(\Delta x, \Delta y-L)$ 와 $(-\Delta x, -\Delta y+L)$ 에 대칭적으로 위치하게 된다.

따라서, 대칭평면중 한쪽 평면만을 선택하면, 동일한 입력영상에 대한 상관 침두치는 $(\Delta x, \Delta y+L)$ 에 위치하게 되며, 이 상관 침두치를 기준영상과 연관시키면 식(6)과 같이 이 기준영상에 대한 입력영상의 위치는 상관 침두치의 위치로 표현할 수 있다.

$$x_s = (x_r, +\Delta x_s), y_s = (y_r + \Delta y_s + L) \quad (6)$$

이러한 상관으로 얻은 식(6)에서 x_r, y_r, L 은 이미 알려진 상수로 $(\Delta x_s, \Delta y_s)$ 만을 선택하게 되면, 기준영상으로 공간정합필터를 구성하여 입력영상을 정합시킨 상관기와 동일한 위치에서 상관침두치를 검출할 수 있게 된다.

기존의 정합필터를 이용한 광 상관기와는 다른 형태로 구성되는 JTC 시스템은 그림 3과 같이 기준 함수와 임의의 입력함수를 입력평면에 동시에 구성하고, 하나의 렌즈를 이용하여 함께 푸리에 변환하게 되고[8], Joint 푸리에 변환결과를 다시 에너지 검출기로 기록하고 역푸리에 변환함으로써 두 신호 사이의 상관을 발생시키는 JTC 시스템은 기존의 주파수평면 광 상관기와 달리 별도의 정합필터가 필요없고, 필터함수 구성 대신에 단순히 입력평면 옆에 기준함수를 두는 것으로 구성이 가능하다. 따라서, 푸리에 평면에서 사진필름 마스크 대신에 CCD 검출기를 입력필름 대신에 공간 광 변조기를 이용함으로써 실시간 광 상관이 가능하게 된다. 특히, 위상 형태의 공간 광 변조기를 이용하여 JTC의 판별력을 높이려는 시도와 더불어 JTPS의 이진화를 통하여 위상을 추출하려는 연구가 계속되고 있다.

Javidi의 연구 결과에 따르면, 기존 광 JTC의

쌍 세포 분포인 JTPS를 메디안 값(그림 4의 직선 (a))으로 임계치를 설정하여 이진화함으로써 구성되는 BJTC는 POF와 유사하게 보다 높은 상관첨두치, 보다 큰 peak-to-sidelobe를 갖으므로 유사한 영상들에 대하여 보다 우수한 판별력을 지니는 것으로 분석되고 있다.[9] 이진화 특성은 입력을 'P'자로 구성하여 비교한 기존의 JTC 상관결과(그림 5(b))와 메디안 방법으로 구성한 BJTC의 상관결과(그림 5(c))를 나타낸 그림 5를 통하여 이해할 수 있다. 그러나, JTC는 이진화에 관계없이 출력평면에서 상관 패턴의 분리를 확실하게 하기 위하여 입력평면에서 유용한 공간대역폭을 요구하게 될 뿐만 아니라, 배경잡음이 존재하는 경우 이진화 과정에서 신호의 Joint 변환 신호 정보가 배경잡음에 의해 유실될 가능성이 있으므로 효과적인 이진화 임계치의 선택이 대단히 중요하게 된다.

따라서, 기존의 메디안 방법과 같은 고정된 임계치(그림 4의 직선 (a))는 단지 절단선을 가로지르는 영역내의 변화만을 정보로 유지함으로 신호정보의 상당부분이 유실되므로 최근, 그림 4의 곡선(b)와 같은 임계치를 설정하여 모든 주파수를 최대한으로 이용하려는 연구가 시도되고 있으나[14-16], 배경잡음에 대한 신호까지도 포함되는 문제가 발생하게 된다. 또한, 동일다중영상에 POF와 유사한 상관을 얻을 수 있는 메디안 방법을 이용하게 되면 이진화 과정의 고차회절에 의하여 그림 6(b)과 같이 상관 오류 및 유실등이 발생함으로써 동일다중영상에는 적용할 수 없게 된다[12]. 이러한 현상은 그림 6(c)에서 나타난 것과 같이 POC에서도 발생[13]하

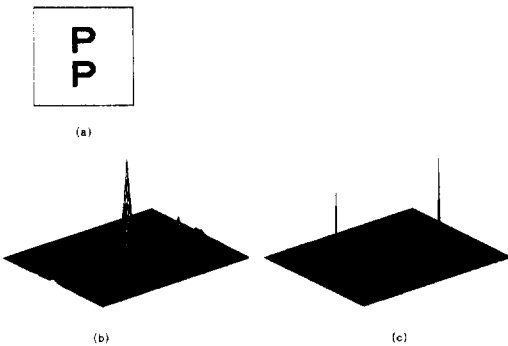


그림 5. JTC를 이용한 상관 결과
(a) 입력 영상 (b) 기존의 JTC (c) BJTC

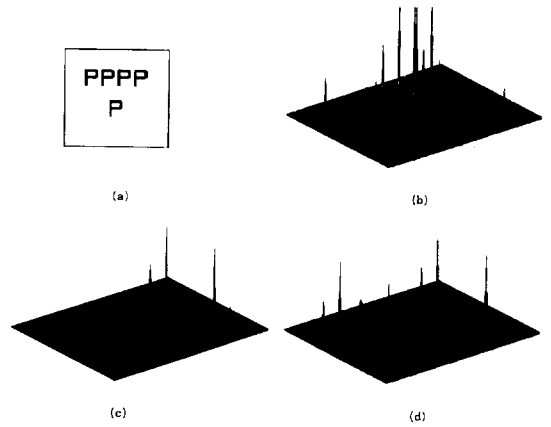


그림 6. 동일다중영상에 대한 상관
(a) 입력영상 (b) BJTC (c) POC
(d) Binary phase extraction JTC[18].

게 되므로 위상만으로 구성된 시스템을 동일다중영상에 적용하는 것은 극히 제한된다. 따라서 JTC에서 자기상관과 불필요한 상관을 제거하도록 JTPS를 재구성하고 그림 4(b)와같은 이진화 방법을 적용하여 진폭이 보상된 위상형태의 JTC를 구성하려는 연구[16-18]와 JTPS를 재구성하여 위상만을 추출하여 실시간 POC를 구성하려는 연구[19]가 동시에 진행되고 있으나, 동일다중영상에 대한 문제는 여전히 해결해야 할 과제로 남아있다.

4. 광 상관기의 실시간 구현 및 응용

디지털 신호처리에 의한 패턴 인식이나 추적은 방대한 데이터 계산량등에 의해 실시간적 응용이 크게 제한되고 있다. 따라서, 최근 실시간 광 소자의 발달과 새로운 디지털 필터 알고리즘을 상호보완적으로 구성하는 광/디지털 하이브리드 인식 시스템의 구현 및 응용이 활발히 시도되고 있다.

특히, 광 상관기의 실질적 응용에서 실시간 구현은 대단히 중요하게 되는데 일반적으로, 신호나 영상 패턴을 입력하는 공간 광 변조기에 의해 상관 성능이 제한되는데 특히, 공간대역폭과 속도가 중요한 요소가 되고 있다. 대부분의 공간 광 변조기에서 요구되는 것은 VanderLugt 상관기의 푸리에 평면에서 실시간 정합필터변조로서, 정합필터는 일반적으로 복소함수로서 위상과 진폭을 독립적으로 조절

할 수 있도록 요구하고 있다. 기록방식(전기적 혹은 광학적)과 변조형태(진폭과 위상)에 따라서 크게 두가지로 분류되는 공간 광 변조기는 정상적인 동작모드에서 대부분 진폭변조만으로 이루어 지나, 종종 독립적으로 조정되지는 않을지라도 부수적인 위상변조가 동반된다. 그러나, 일반적으로 공간 광 변조기의 해상도와 공간대역폭이 실제 홀로그램을 기록하기에 충분하지 않으므로 정합필터로 이용하는 경우 낮은 광효율과 함께 대부분의 광은 광축상으로 몰리게 되어, 주파수, 평면 중심부의 높은 광 세기가 실험상에서 광 검출기를 포화시켜 낮은 광 세기 신호를 얻기가 어렵게 된다.

따라서, 기존의 공간정합필터는 진폭과 위상이 동시에 존재하는 복소함수로써 실제응용에서 그 구성이 크게 제한되므로 최근, 위상함수를 실수값으로 이진화하여 구성할 수 있는 BPOF와 BPOC 등의 개발로 기존의 2진 위상모드의 실시간 공간 광 변조기를 이용한 이진위상필터 구성이 가능하게 되었다.

$$R_{bph}(u,v) = \begin{cases} 1 & \text{Re}[R(u,v)] \geq 0 \\ 0 & \text{Re}[R(u,v)] < 0 \end{cases} \quad (7)$$

Cosine-BPOF의 이진위상을 구성하는 기본적인 이진화 방법은 식(7)과 같으며 이를 도시적으로 나타낸 것이 그림 7과 같다. 여기서, 푸리에 변환의 연속적인 위상이 (a)로 표시되어 있고, (b)는 이진화된 신호를 나타내고 있으며 $\text{Re}[\cdot]$ 는 복소함수의 실수부를 나타낸다.

BPOF를 구성하기 위하여 이용된 푸리에 변환의 이진화축의 각도 선택은 Kallman[20]의해 연구되어 이진화축의 각도로써 제안되었으며, Thresholding Line Angle(TLA)이라 불린다. Hor-

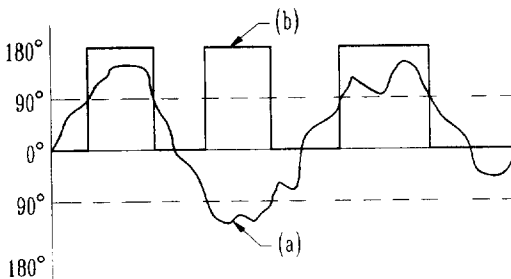


그림 7. 임계치에 의한 이진화

ner등에 의하여 제안[5]되어 푸리에 변환의 실수부를 이진화하는 BPOF는 Cosine-BPOF라 불리며 이 경우 $TLA = 0^\circ$ 이 된다. 그리고, Psaltis 등이 제안한 방법[6]으로 허수부를 이진화함으로써 구성되는 BPOF는 Sine-BPOF라 불리며 $TLA = 90^\circ$ 이 된다. Hartley 변환의 이진화에 기인한 Hartley-BPOF[21]는 $TLA = 45^\circ$ 로, 이러한 형태의 BPOF는 기수와 우수 기준패턴의 동일 성분을 혼합하여 이진화한다. 그리고, CGH (Computer Generated Hologram)를 도입하여 수학적으로 합성된 정합필터를 기록[7, 22]함으로써 시스템 구성이 가능하게 된다. 특히, 위상형태의 필터를 이용하는 경우 단지 위상만이 남아 있기 때문에 저장을 위해 요구되는 데이터량이 적게된다. 예를 들어, 8-level Lohmann형 CGH에 128×128 샘플의 공간정합필터는 저장을 위하여 131KB를 요구하는 반면에 POF는 16KB를 그리고, BPOF는 2KB만을 요구하게 되어 공간정합필터에 비해 약 16배 줄어든다.

그러나, 공간정합필터에 근간을 두고 있는 광 상관기들은 정합필터를 이진화함으로써 특성 개선등을 기대할 수 있으나 근본적으로, 입력영상에 대한 기준 영상함수의 필터구성을 요구하게 되므로 실질적인 실시간 광 상관 시스템을 구성하기에는 많은 제한점이 따르게 된다.

따라서, 공간정합필터 구성없이 기준영상과 입력을 동시에 푸리에 변환하여 광 세기 분포를 이용하는 JTC가 실시간 광 상관기 시스템으로써 보다 유리하다고 할 수 있다. 입력을 Joint 푸리에 변환함으로써 구성되는 JTPS는 배경잡음등으로 인한 상관성분과 물체신호의 상관성분이 포함한 주파수 변조로써, 판별력과 광 효율을 보다 개선하기 위한 방법으로 이진화된 JTC시스템이 구성되고 있다. 최근들어 공간적으로 구성된 영상을 비디오 프레임으로 나타낼 수 있는 고해상도 공간 광 변조기와 광 세기 분포를 비디오 프레임으로 검출할 수 있는 CCD 카메라의 발달로 실시간 JTC시스템의 구성이 또한 가능하게 되었다. 그러나, 푸리에 변환을 이용한 상관은 shift 대하여 불변할지라도 회전에는 민감하게 되므로 자연계에서 이동하는 물체영상에 적용하기에는 제한이 있다. 따라서, SDF[28](synthetic discriminant function)와 같은 복합필터를

이용하여 적응적으로 인식 및 추적을 시도하려는 노력과 함께, 광 JTC의 실시간 처리를 이용하여 순차적으로 입력되는 신호의 이전 프레임을 기준신호로 구성하고 현재 프레임을 입력신호로 분리하여 연속적으로 상관시키므로써 적응적으로 실시간 표적영상인식 및 추적 시스템을 구성하려는 시도[16, 22-25]와 여러형태의 입력과 비교영상을 실시간으로 상관시켜 수학적 연산[29] 및 인식 시스템 구성[28, 30]을 위한 시도가 이루어지고 있다. 예를 들어 위상 및 진폭 변조가 가능한 공간 광 변조기인 Epson LCD와 CCD를 이용하여 구성한 실시간 JTC 광 상관기를 그림 6(a)와 같이 회전하는 항공기 영상 70프레임을 연속으로 상관시키며 추적한

결과[26]를 그림 6(b)에 나타내었으며, 이때 입력은 진폭형태의 공간 광 변조기(LCD1)에, JTPS는 위상형태의 공간 광 변조기(LCD2)에 나타내었다. 그리고, 1-f 시분할 방식의 JTC 광 상관 인식시스템을 이용하여 지문인식을 수행한 결과는 그림 7과 같다.

특히, JTPS를 구성하는 시스템과 상관결과를 얻는 시스템이 동일함으로 시분할 방식을 이용하여 하나의 공간 광 변조기와 CCD로 구성된 시스템을 이용함으로써 시스템 크기를 최소화할 수 있다 [23].

5. 결론

광 상관기에서 위상만을 이용한 공간정합필터에 대한 연구는 비교적 최근에 발전이 이루어 졌으며, 최근 2진 위상모드의 공간 광 변조기의 개발로 실시간적 상관을 위한 이진위상필터들의 구현 연구가 활발히 진행되고 있다.

즉, 실시간 광 상관기 구성에서 기존의 공간 광 변조기의 제한을 해결할 수 있는 방법으로 필터의 저장용량을 높이고 진폭에 의한 광 효율 감소를 억제시킬수 있는 POF가 제안되고, 연속함수와 유사한 특성을 나타낼 수 있는 이진화 방법들이 제안되어 BPOF를 이용한 실시간 상관이 가능하게 되었다. 또한, JTC는 자기상관으로 인하여 광 효율면에서 성능이 저하되고, 특히 동일다중영상에 대하여 불필요한 이중상관과 상관오류 및 유실이 발생함으로 이진화 방법 및 JTPS의 재구성성을 통하여 위상형태의 필터에서 발생하는 문제점을 극복하려는 연구가 진행되고, 유사한 방법으로 POC를 구성하므로써 실시간으로 공간정합필터를 구성하려는 연구가 진행되고 있다.

앞으로 21세기 기술선도사업으로 고속성 및 병렬성의 장점을 지닌 퓨리에 광 신호처리 기술은 광통신 기술, 광 소자 기술등과 병행하여 미래의 종합 정보통신 시스템에서 커다란 비중을 차지할 것으로 예상되며 특히, 자동감시, 로봇등 비전등 산업적 응용분야뿐만 아니라, 미사일 유도, 자동표적 인식 및 추적등의 분야에서 첨단기술로서 그 응용이 크게 기대되어 이에 대한 연구 개발이 활발히 진행되고 있다.

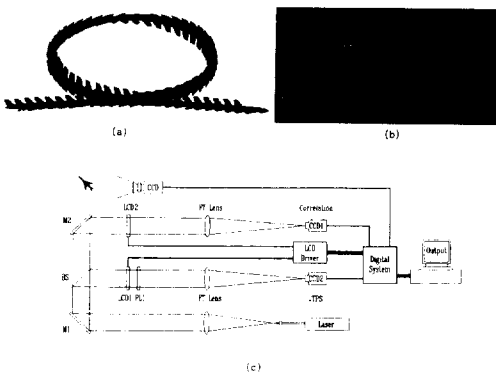


그림 8. JTC 광 상관 추적 시스템
(a) 연속 표적 프레임 (b) 추적결과
(c) 추적시스템

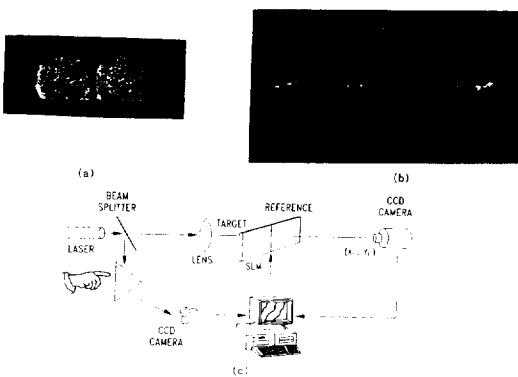


그림 9. JTC 광 상관 인식 시스템
(a) 입력지문 (b) 지문인식 결과
(c) 지문인식 시스템도

참 고 문 헌

- [1] A. B. VanderLugt, *Trans. Inf. Theory*, vol. IT-10, pp.139-145, 1964.
- [2] A. V. Oppenheim and J. S. Lim, *Proc. IEE-E*, vol.69, no.5, pp. 529-541, 1981.
- [3] J. L. Horner and P. D. Gianino, *Appl. Opt.*, vol.23, no.6, pp.812-816, 1984.
- [4] S. Kawata, T. Noda, and S. Minami, *Appl. Spectrosc.*, vol.41, no.7, pp.1176-1182, 1987.
- [5] J. L. Horner and J. R. Leger, *APPL. Opt.*, vol.24, no.5, pp.609-611, 1985.
- [6] D. Psaltis, E. Peak, and S. Venkatesh, *Opt. Eng.*, vol.23, no.6, pp.698-704, 1984
- [7] T. Nomura, K. Itoh, K. Matsuoka, and Y. Ichioka, *Opt. Lett.*, vol.15, no.14, pp. 810-811, 1990.
- [8] C. S. Weaver and J. W. Goodman, *Appl. Opt.*, vol.5, no.7, pp.1248-1249, 1966.
- [9] B. Javidi, *Appl. Opt.*, vol.28, pp.2358-2367, 1989.
- [10] D. Casassent, *Opt. Eng.*, vol.23, pp. 1620-1627, 1984.
- [11] A. Kozma and D. Kelly, *Appl. Opt.* vol.4, pp.1248-1249, 1965.
- [12] F. T. S. Yu, F. Cheng, T. Nagata, and D. A. Gregory, *Appl. Opt.*, vol.28, no.15, pp. 2988-2990, 1989.
- [13] T. Kotzer, J. Rosen, and J. Shamir, *Appl. Opt.*, vol.31, no.8, pp.1126-1137, 1992.
- [14] S. K. Rosers, M. Kabrisky, and J. P. Mill, *Opt. Eng.*, vol.29, no.9, pp.1088-1093, 1990.
- [15] W. B. Harn Jr. and D. L. Flannery, *Opt. Eng.*, vol.31, no.5, pp.888-895, 1992.
- [16] B. Javidi, J. Wang, and Q. Tang, *Appl. Opt.*, vol.30, no.29, pp.4234-4244, 1991.
- [17] E. S. Kim, S. Y. Yi, and J. H. Lee, *Proc. SPIE*, vol.1812, 1992.
- [18] S. Y. YI and E. S. Kim, 'submitted to Optics Letters.
- [19] K. Chalasincka - Macukow and C. Gor-ecki, *Opt. Comm.*, vol.93, no.1,2, pp.11-18, 1992
- [20] R. R. Kallman, *Appl. Opt* vol.25, no.23, 4216-4217, 1986.
- [21] D. M. Cottrell, R. A. Lilly, J. A. Davis, and T. Day, *Appl. Opt.*, vol.26, no.18, pp. 3755-3761, 1987.
- [22] J. Campos, F. Turon, M. J. Yzuet, and S. Vallmitjama, *Appl. Opt.*, vol.29, no.35, 5232-5234, 1990.
- [23] K. H. Fielding and J. L. Horner, *Opt. Eng.*, vol.29, no.9, pp.1081-1087, 1990.
- [24] E. C. Tam, F. T. S. Yu, D. A. Gregory, and R. D. Juday, *Opt. Eng.* vol.29, no.4, pp. 314-320, 1990.
- [25] S. Y. Yi, S. H. Lee, and E. S. Kim, *J. of KITE*, vol.29-A, no.5, pp.386-393, 1992.
- [26] S. Y. Yi, C. W. Suh, and E. S. Kim, *KICS*, vol.17, no.7, pp.749-757, 1992.
- [27] E. S. Kim, S. H. Lee, and S. R. Yoon, *IJC-NN*, vol.3, pp.185-190, 1992.
- [28] B. V. K. Vijaya Kumar, *Appl. Opt.*, vol.31, no.23, pp.4773-4801, 1992.
- [29] M. S. Alam and M. A. Karim, *Appl. Opt.*, vol.31, no.23, pp.4693-4699, 1992.
- [30] K. H. Fielding, J. L. Horner, and C. K. Makekau, *Opt. Eng.*, vol.30, no.12, 1991.



김은수(金恩洙)

1955년 8월 1일생, 1978년 연세대학교 전자공학과 졸업. 1984.년 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사). 1987. 2~1988.8 미국 Caltech 전기공학과 객원교수. 1981.3~ 현재 광운대학교 전자공학과 교수. 대한전자공학회, 한국통신학회 전문위원 및 위원장.