
잡음을 갖는 물체의 크기불변인식을 위한 광 웨이브렛 POfSDF-FSJTC

Optical Wavelet POfSDF-FSJTC for Scale Invariant Pattern Recognition
with Noise

김종윤*, 박세준**

경동대학교 컴퓨터·미디어공학부*, 구미1대학 디지털정보미디어전공**

Jong-Yun Kim(kjyuni@k1.ac.kr)*, Se-Joon Park(psj0675@kornet.net)**

요약

본 논문에서는 크기 불변 패턴인식을 위하여 광 웨이브렛 PO-fSDF(WPOfSDF) 필터 및 개선된 필터 합성알고리즘을 제안하였다. 제안한 필터는 크기가 변화된 영상을 학습영상으로 사용하여 PO-fSDF로 합성한 후 입력을 위한 웨이브렛 함수를 필터에 곱하여 합성한다. 컴퓨터 모의실험을 통하여 제안된 필터가 크기불변 인식을 할 수 있고, 잡음을 가지는 입력영상의 경우 SNR이 개선되며 필터합성시 반복횟수도 줄어들음을 확인할 수 있었다. 그리고 광실험시 발생하는 광축정렬 문제는 전체 시스템을 FSJTC로 구성함으로써 해결하였다.

■ 중심어 : | 패턴인식 | 이진 위상 홀로그램 | 상관 | JTC |

Abstract

In this paper, we proposed a wavelet phase-only filter modulation synthetic discriminant function joint transform correlator(WPOfSDF-JTC) for scale invariant pattern recognition, and an improved algorithm to reduce the filter synthesis time. Computer simulation showed that the proposed filter has better SNR than CWMF if input image has random noise and the improved synthesis algorithm can reduce the iteration time. We used frequency selective JTC to solve the problem of the optical alignment and eliminate the autocorrelation and crosscorrelation between each input image.

■ keyword : | Pattern recognition | Binary phase hologram | JTC |

1. 서론

1964년 Vander Lugt[1]가 4f 광 상관 시스템에 의한 복소 공간 정합필터를 실현한 이래 이에 기초를 둔 여러 가지 필터들에 대한 연구가 활발히 진행되었다. 그러나 이러한 전통적인 정합필터들은 입력의 크기나 회전

등의 작은 변화에도 출력 상관평면에서의 상관세기가 크게 감소하므로 왜곡된 물체를 정확하게 인식하기가 어렵다.

물체의 크기불변 인식을 위해 Mendlovic[2]은 MRH(mellin radial harmonic)필터를 제안하였으나 이 필터는 기준영상을 Mellin 변환시킨 후 하나의 고조

성분(harmonic)만을 이용하므로 SNR이 낮고 유사한 물체를 분리인식하기가 어려웠다. 그 후 크기변화된 영상을 학습영상으로 사용하여 구성된 합성필터로 제한된 범위 내에서 크기불변 인식을 하는 연구[3]가 진행되어 왔으며, 이때 주로 사용되는 합성필터는 Jared 등[4]이 제안한 정합필터의 선형조합으로 합성되는 fSDF(filter modulation synthetic discriminant function) 필터이다. 이 필터는 공간영역에서 인식하고자 하는 여러 개의 영상을 학습영상으로 하여 반복과정 알고리즘으로 상관결과를 제어하여 구한 필터계수로 합성된다. 그러나 fSDF 필터에 의한 상관결과는 변별력이나 SNR이 좋지 않으므로 fSDF 필터의 위상성분만을 이용한 PO-fSDF(phase only fSDF) 필터가 제안되어 변별력 및 SNR을 개선하였다.

80년대 중반이후 웨이브렛 변환(wavelet transform)이 신호처리분야에서 관심을 받기 시작하였다. 웨이브렛 함수와 임의의 신호와의 내적으로 표현되는 웨이브렛 변환은 신호를 시간영역과 주파수영역에서 동시에 국한(localization)시키며 신호의 특징점 추출에 용이하고 잡음에 강한 특성을 갖는다. 특히 Sheng 등[5]에 의해 4f 광 상관 시스템에 적용할 수 있는 광 웨이브렛 정합필터(optical wavelet matched filter, OWMF)가 제안된 이래 광 웨이브렛 변환을 이용한 패턴인식이 활발히 연구되었으며, 1994년 Roberge 등[6]은 PO-fSDF 필터를 웨이브렛 정합필터 형태로 구성된 합성 웨이브렛 정합필터(composite wavelet matched filter, CWMF)를 제안하여 변별력과 SNR을 개선시켰다. 그러나 CWMF는 위상 필터링한 영상을 다시 웨이브렛 변환시켜 정합필터 형태로 합성하였기 때문에 정보의 손실이 발생할 수 있고, 입력에 잡음이 있는 경우 SNR이 떨어질 수 있다.

따라서 본 논문에서는 크기가 변화된 영상을 학습영상으로 사용하여 PO-fSDF로 합성한 후 입력을 위한 웨이브렛 함수를 필터에 곱하여 합성한 광 웨이브렛 PO-fSDF(WPOfSDF) 필터를 제안하였다. 이때 여러 가지 웨이브렛 함수를 사용하여 크기불변 인식에 적합한 웨이브렛 함수를 찾았으며, 필터합성에 걸리는 시간을 줄이기 위하여 필터계수를 구할 때 기존의 반복알고리즘을 수정하여 필터를 합성하였다. 컴퓨터 모의실험을

통하여 제안된 필터가 제한된 범위 내에서의 크기불변 인식이 가능하고, 입력영상에 무작위 잡음이 있는 경우 SNR이 개선되며, 수정된 반복알고리즘에 의해서 필터 합성에 걸리는 반복횟수도 줄어들음을 확인할 수 있었다.

그리고 제안한 필터의 광학적 실험을 위해 4f 광 상관 시스템의 광축정렬 문제와 결합변환상관기(joint transform correlator, JTC)[7] 상에서 오인식을 유발하는 자기상관성분을 제거하여 오인식을 줄이기 위해 전체 시스템을 주파수 선택적 결합변환상관기(frequency selective JTC, FSJTC)[8]로 구성하여 제안한 필터의 성능을 시험하였고, 컴퓨터 모의실험과 광 실험을 통하여 제안한 필터의 성능과 그 결과를 확인하였다.

II. 고전적 공간정합필터

1. fSDF 필터

fSDF 필터는 공간영역에서 인식하고자 하는 영상을 학습영상으로 하여 반복적인 알고리즘에 의해 구한 필터계수와 곱해 이들의 선형조합으로 구성된다. N 개의 학습영상 $t_n(x,y)$ 으로 구성된 fSDF 필터의 임펄스 응답 $g_{fSDF}(x,y)$ 는

$$g_{fSDF}(x, y) = \sum_{n=1}^N \alpha_n t_n(x, y) \quad (1)$$

와 같다. 이 임펄스 응답과 임의의 k 번째 학습영상 $t_k(x,y)$ 와의 원하는 상관출력을 얻기 위해서 식 (1)에서의 필터계수 α_n 의 초기값 α_n^0 을 정한 후 모든 학습영상들과의 상관을 통해 상관값을 구하면서 이들 상관치들이 균일한 범위에 들도록 반복적으로 상관을 수행한다.

그러나 이 fSDF 필터는 변별력에 문제가 있으므로 이의 개선을 위해 PO-fSDF 필터가 제안되었는데 이것은 fSDF의 임펄스 응답을 위상 필터링한 것으로

$$g_{PO-fSDF}(x, y) = \frac{\sum_{n=1}^N \alpha_n t_n(x, y)}{|\sum_{n=1}^N \alpha_n t_n(x, y)|} \quad (2)$$

와 같다. 일반적으로 푸리에 영역에서 위상정보는 진폭

정보보다 더 중요한 요소이며 위상필터링은 고역통과필터의 특성을 나타낸다. 따라서 상대적으로 작은 크기를 가지는 높은 공간주파수 성분을 보상해 주는 효과를 가지므로 예리한 상관 결과를 얻을 수 있고 부엽의 크기도 줄어든다.

2. 웨이브렛 변환

웨이브렛 변환은 신호 $s(x,y)$ 와 딸웨이브렛(daughter wavelet) 함수 $h_{a,b}(x,y)$ 와의 원점에서 상관이며 딸웨이브렛 함수 $h_{a,b}(x,y)$ 는 모웨이브렛함수 $h(x,y)$ 를 천이(translation) 및 팽창(dilation)시켜서 얻을 수 있다.

$$h_{a,b}(x,y) = \frac{1}{\sqrt{a_x a_y}} h\left(\frac{x-b_x}{a_x}, \frac{y-b_y}{a_y}\right) \quad (3)$$

단, a_x, a_y : 팽창모수 b_x, b_y : 천이모수

여기서 $a_x = a_y = a$ 라 두고 임의의 신호 $s(x,y)$ 를 웨이브렛 변환하여 주파수 영역에서 표현하면

$$W_f(u,v) = a S(u,v) H^*(au, av) \quad (4)$$

와 같다.

웨이브렛 변환된 기준영상(W_r)과 웨이브렛 변환된 입력영상(W_l)간의 상관결과는 주파수 영역에서

$$O_u(u,v) = a^2 S_f(u,v) S_l^*(au, av) |H(au, av)|^2 \quad (5)$$

로 나타난다. 여기서

$$G(u,v) = a^2 S_l^*(au, av) |H(au, av)|^2 \quad (6)$$

라 두면 이 $G(u,v)$ 를 광웨이브렛 정합필터라 하며 입력을 따로 웨이브렛 변환시키지 않아도 되므로 4f 광상관 시스템에 그대로 적용될 수 있다. 웨이브렛변환은 팽창모수를 변화시켜 대역폭을 조정할 수 있으며 웨이브렛 변환된 영상은 대개 가장자리가 강조되는데 팽창모수의 크기 및 웨이브렛 함수의 종류에 따라 가장자리의 강조 효과가 차이가 난다. 따라서 적절한 팽창모수의 선택과 웨이브렛 함수의 선택이 중요하다.

웨이브렛 변환을 광학적으로 구현하는 것을 광웨이브

렛 변환(optical wavelet transform, OWT)이라 하며 이것은 광상관기의 원래 특성인 천이 불변 성질을 갖고 있어 천이모수의 의미가 없어진다. 따라서 광웨이브렛 변환시에는 천이모수의 값을 0으로 두고 해석한다. 본 논문에서는 주로 영상의 경계선 검출에 인식률이 높은 Mexican-hat 함수를 사용하였다. 2차원 Mexican-hat 웨이브렛 함수는 공간영역에서

$$h(x,y) = \frac{1}{a^2} \left(\frac{x^2+y^2}{a^2} - 2 \right) \exp\left(-\frac{x^2+y^2}{2a^2} \right) \quad (7)$$

와 같으며 주파수 영역에서는

$$H_a(u,v) = 4\pi^2 a^2 (u^2 + v^2) \exp\{-2\pi^2 a^2 (u^2 + v^2)\} \quad (8)$$

로 나타나며 이를 그림 1에 나타내었다.

3. JTC

JTC는 기준영상과 입력영상을 동일한 입력평면에 함께 둠으로서 정합필터의 광축정렬 문제를 피할 수 있다. 그러나 상관평면의 중심에 나타나는 기준영상과 입력영상의 자기상관성분, 그리고 다중 입력영상일 경우 나타나는 입력영상들 간의 상호 상관성분들은 오인식을 유발시키므로 이들 자기상관성분과 입력영상들 간의 상호 상관 성분을 주파수 선택적(frequency selective: FS) JTC로 제거할 수 있다. 그림 2에 나타난 FSJTC의 시스템 블록도와서와 같이 FSJTC 출력단의 광세기 함수

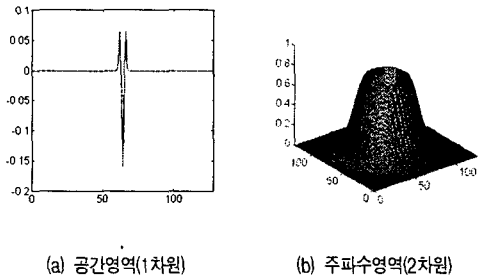


그림 1. Mexican-hat 웨이브렛

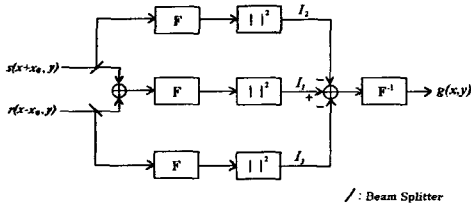


그림 2. FSJTC 시스템 블록도

에서 자기상관항과 입력영상들간의 상호상관항을 제거한 후 최종 광세기 함수를 푸리에 역변환시키면 출력상관평면에서 광분포 함수는

$$g(x, y) = s \star r \star \delta(x + 2x_0, y) + r \star s \star \delta(x - 2x_0, y) \quad (9)$$

과 같고 최종적인 출력상관 결과는 기준영상과 각각의 입력영상들간의 상호상관 성분만 나타나므로 다중 물체인 경우 오인식을 없앨 수 있다. 그리고 JTC 구조에서 SNR이 좋을수록 입력영상간의 간격을 더 좁힐 수 있으므로 보다 많은 입력영상을 받아들일 수 있다.

III. 제안한 WPOfSDF-JTC 시스템

영상신호의 스펙트럼은 dc 성분이 가장 크고 고주파 성분일수록 작은 값을 가진다. 일반적으로 유사한 물체의 분리인식을 위해서는 영상의 고주파 성분을 이용하는 것이 부엽을 줄일 수 있고 변별력을 향상시킬 수 있다. 그러나 고주파 성분을 이용하는 필터는 인식하고자 하는 영상의 작은 변화에도 크게 영향을 받으므로 크기 불변 인식에 있어서는 부적합할 수 있다. 또한 무작위 잡음은 전 주파수 상에 거의 균등한 값을 가지므로 저주파 성분보다는 상대적으로 작은 값을 가지는 영상의 고주파 성분에 더 큰 영향을 주어 고주파 성분을 이용한 필터의 변별력을 떨어뜨리게 한다. 따라서 잡음을 가지는 크기변화된 영상의 인식을 위해서는 대역통과특성을 가지는 웨이브렛 변환을 이용하는 것이 바람직함을 알 수 있다. Roberge 등이 제안한 CWMF는 위상 필터

링한 정보를 다시 웨이브렛 변환시켜서 정합필터 형태로 합성시키므로 상대적으로 정보손실을 가져올 수 있으며 잡음이 있는 경우 SNR이 떨어질 수 있다. 본 논문에서는 크기불변 인식을 위해서 크기변화된 학습영상들로 합성한 PO-fSDF 필터에 입력을 위한 웨이브렛 함수만을 곱해서 합성한 WPOfSDF를 제안한다. 이 필터는

$$G(u, v) = \varphi(u, v) H_a(u, v) \quad (10)$$

$$\text{단, } \varphi(u, v) = \frac{\sum_{n=1}^N \alpha_n t_n(u, v)}{\left| \sum_{n=1}^N \alpha_n t_n(u, v) \right|}$$

로 나타나며 여기서 $H_a(u, v)$ 는 입력을 웨이브렛 변환하기 위해서 필터에 곱해준 웨이브렛 함수이다. 임의의 입력영상 $f(x, y)$ 와 WPOfSDF 필터와의 상관은 주파수 영역에서

$$\begin{aligned} O(u, v) &= F(u, v) G(u, v)^* \\ &= F(u, v) H_a(u, v)^* \varphi(u, v) \\ &= W_f(u, v) \varphi(u, v) \end{aligned} \quad (11)$$

단, $W_f(u, v)$: wavelet transform of $f(x, y)$

와 같고 푸리에 역변환시키면 공간영역에서는

$$\begin{aligned} o(x, y) &= \mathcal{F}^{-1}\{O(u, v)\} \\ &= \mathcal{F}^{-1}\{F(u, v) G^*(u, v)\} \\ &= \mathcal{F}^{-1}\left\{F(u, v) \frac{1}{a} H^*(au, av) \phi^*(u, v)\right\} \\ &= \mathcal{F}^{-1}\left\{\left[\frac{1}{a} F(u, v) H^*(au, av)\right] \phi^*(u, v)\right\} \\ &= \mathcal{F}^{-1}\{W_f(u, v) \phi^*(u, v)\} \\ &= \mathcal{F}^{-1}\{W_f(u, v)\} \star \mathcal{F}^{-1}\{\phi(u, v)\} \\ &= w_f(x, y) \star \phi(x, y) \end{aligned} \quad (12)$$

과 같이 나타나므로 4f 광상관 시스템이나 JTC 시스템에서 입력을 웨이브렛 변환하는 전처리를 해 줄 필요가 없다. 그리고 크기불변 인식에 가장 적합한 팽창모수를

찾기 위해서 팽창모수를 변화시키며 필터를 합성할 때 반복 알고리즘을 적용하면 필터계수가 진동하면서 수렴하므로, 기존의 반복알고리즘에서 임펄스 응답과 임의의 n 번째 및 초기 학습영상과의 상관결과 c_n 과 c_0 를 1로 하고 학습영상 중에서 가장 큰 에너지를 갖는 영상을 m_0 로 두어 상관값을 정규화하여 반복알고리즘을 수정하여 필터를 합성하였다. 수정된 반복알고리즘에 의해서 구해지는 필터계수는 거의 진동을 하지 않고 수렴하므로 필터합성에 소요되는 시간이 줄어든다. 필터계수를 구하는데 필요한 상관값은

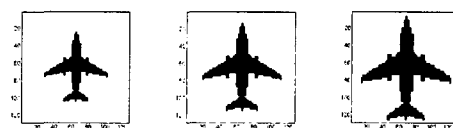
$$c_k = \left\langle t_k(x, y) | F^{-1} \left| \frac{\sum_{n=1}^N a_n T_n(u, v)}{\left| \sum_{n=1}^N a_n T_n(u, v) \right|} H_a(u, v) \right| \right\rangle \quad (13)$$

로 구해진다. 이렇게 합성한 필터를 사용하여 4f 광상관 시스템으로 구현할 때 광축정렬의 어려움이 발생하므로 전체 시스템을 FSJTC 구조로 하여 광실험시 발생하는 광축정렬 문제를 해결하고 오인식을 유발하는 자기상관항을 제거하였다.

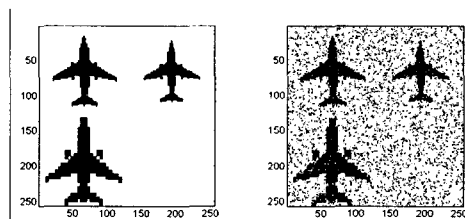
IV. 실험

1. 컴퓨터 모의실험

그림 3(a)처럼 128×128 화소크기를 가지는 DC10 비행기를 80%에서 120%까지 5%간격으로 크기변화시킨 9개의 영상을 참영상으로 하여 필터를 합성하였으며, B747 비행기를 학습영상과 동일한 간격으로 크기변화시켜 인식하지 않고자 하는 거짓영상으로 하였고 크기 불변 인식을 측정하기 위한 영상은 DC10 비행기를 83%에서 118%까지 5% 간격으로 크기변화시킨 8개의 영상으로 하였다. 입력에 사용한 영상의 배치는 그림 3(b)처럼 학습영상, 비학습 참영상, 그리고 거짓영상 순으로 하였으며 잡음에 대한 성능을 측정하기 위하여 입력영상에 5% 간격으로 최대 20%까지의 무작위 잡음을 넣어 측정하였다. 그림 3(c)는 입력영상에 15% 잡음을 넣은 영상이다.



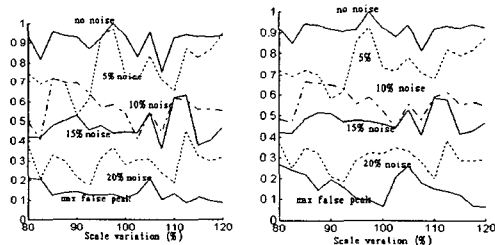
(a) 학습영상(크기: 80% 100% 120%)



(b) 입력영상(no noise)

(c) 입력영상(15% 무작위 잡음)

그림 3. 컴퓨터 모의 실험에 사용된 영상들



(a) WCMF

(b) WPOfSDF

그림 4. 정규화된 최대 상관첨두치

웨이브렛 함수로는 Haar, Mexican-hat, Morlet 함수 중 상관결과가 가장 좋은 Mexican-hat 함수를 사용하였고, 이 함수의 팽창모수의 값을 변화시키며 상관특성을 조사한 결과 제안한 WPOfSDF 필터는 1.75일 때 CWMF는 1.5일 때 가장 좋은 결과를 보였다. 이 때의 상관값의 첨두치와 SNR은 그림 4, 5와 같다. 첨두치의 값은 최대상관첨두치를 1로 정규화하였으며 그 식은

$$SNR = 10 \log_{10} \left(\frac{r_{\max}}{r_{rms}} \right) \quad (14)$$

와 같다. 그림 4에서 거짓영상의 최대 상관값은 참 영상의 최대 상관값의 30% 이상을 넘지 못하므로 15%의 잡음을 가지는 경우에도 적절한 문턱값을 선택하면 크기 불변 인식이 가능함을 알 수 있다. 상관첨두치의 값은 CWMF와 제안한 필터가 거의 비슷한 값을 가지며 잡

음이 없는 경우에는 신호 대 잡음비도 거의 비슷함을 알 수 있다. 그러나 잡음이 첨가된 영상인 경우 그림 5에서와 같이 제안한 필터가 신호 대 잡음비가 더 좋으며 그 편차도 적게 나타남을 알 수 있다. 그리고 필터합성시 팽창모수의 변화에 따른 반복알고리즘의 반복횟수를

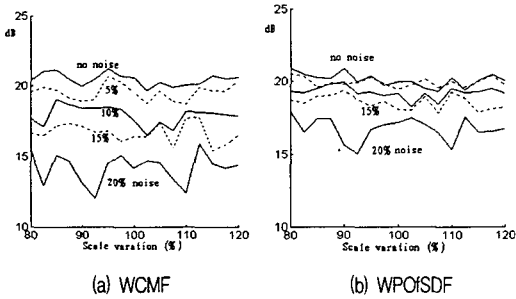
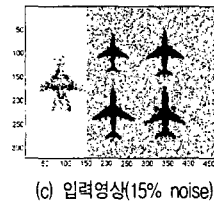
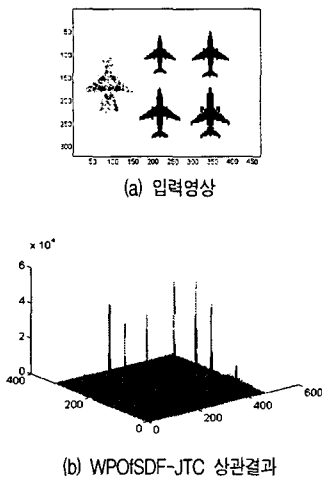


그림 5. 신호 대 잡음비

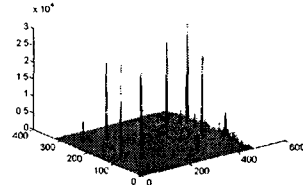
표 1. 팽창모수 변화에 따른 필터 합성 반복횟수

dilation parameter	1.0	1.5	1.75	2.0	2.5	3.0	3.5
CWMF	16	35	60	61	97	165	255
WPOfSDF	15	23	35	37	49	91	152

표1에 나타내었으며 제안한 필터의 반복횟수가 적음을 알 수 있다. 제안한 WPOfSDF 필터를 사용하여 전체적인 시스템을 FSJTC 구조로 구성한 후 컴퓨터 모의 실험을 하였으며 그림 6(a)와 6(c)는 JTC에 사용한 영상이다. 그림 6(a)에서 보듯이



(c) 입력영상(15% noise)



(d) WPOfSDF-JTC 상관결과

그림 6. WPOfSDF-JTC의 상관결과

좌측평면 중앙에 WPOfSDF 필터를 두고 우측평면에 4개의 입력영상을 두었으며, 입력영상은 왼쪽 위에서 서부터 시계방향으로 학습영상, 비학습 참영상, 학습영상 그리고 거짓영상으로 배치하였다. 그림 6(c)는 그림 6(a)에 15% 무작위 잡음을 첨가한 입력영상이다. 그림 6(b)와 6(d)는 제안한 시스템의 최종 상관결과이며 그림에서 보듯이 FSJTC의 출력은 입력영상과 기준영상의 자기상관항이 제거되어 입력과 WPOfSDF 필터와의 상관결과만이 좌우 평면에 대칭으로 나타남을 알 수 있다. 그림 6(a)에 대한 상관결과는 그림 6(b)이며 우반평면의 우측 하단이 거짓영상의 상관결과이다. 이때 거짓영상의 상관값은 참영상의 최대 상관값의 24%이며 양호한 상관결과를 가짐을 알 수 있다. 그림 6(d)는 15% 무작위 잡음이 첨가된 입력영상과의 상관결과이며 상관값의 크기가 잡음이 없는 경우에 비해 약 반으로 떨어져 있음을 알 수 있다. 이때 인식하고자 하는 참영상의 상관값의 크기는 잡음이 없는 입력의 최대상관값의 약 42%의 값을 가지며 거짓영상의 상관값은 최대상관값의 약 10% 정도의 크기를 가진다. 따라서 최대상관치의 40% 정도의 크기로 문턱치를 정해 줌으로써 15%의 무작위 잡음이 있는 입력에 대해서도 크기불변 인식이 가능하다는 것을 알 수 있다. 그림 6(b)와 6(d)에서 볼 수 있듯이 제안한 필터가 JTC 출력 상관평면에서 예리한 상관값을 가지며 부엽의 크기도 작아서 그 성능이 비교적 양호함을 알 수 있다.

2. 광실험

본 논문에서는 물체파의 위상과 크기정보를 함께 기록하면서 위상만이 기록된 홀로그램과 같은 광효율을 얻을 수 있는 이중 위상 홀로그램(Double phase hologram, DPH)방법[9]을 이용하여 필터평면에 사용될 형태소를 제작하였다. 먼저 연속적인 물체파의 푸리에 변환을 정규화하여 크기와 위상함수로 표현한다. 그리고 이의 진폭정보를 위상정보로 변환하여 두 개의 위상함수로 분리한다. 분리된 위상함수들은 두개의 부화소로 분리하여 기록하며 DPH의 회절효율을 높이기 위해 개방슬릿의 위치를 조절하였다. DPH에 의해 구현된 필터평면의 형태소함수는 각 단위화소들을 레이저프린터를 사용하여 나타내었으며, 하나의 단위화소에는 10×10 화소크기의 레이저빔 도트를 할당하였다. 이렇게 만든 CGH를 필름에 기록하여 광실험을 위한 시스템을 구현하였으며 DPH에 의해 구현된 CGH 모양은 그림 7과 같다.

실험에 사용한 입력은 그림 6(a)의 영상을 사용하였으며 광실험 구성도는 그림 8와 같다. 평면 P1에는 입력영상만이, P2에는 입력과 기준영상이 같이, P3에는 기준영상만이 LCTV상에 올려지게 되고 L1, L2, L3,

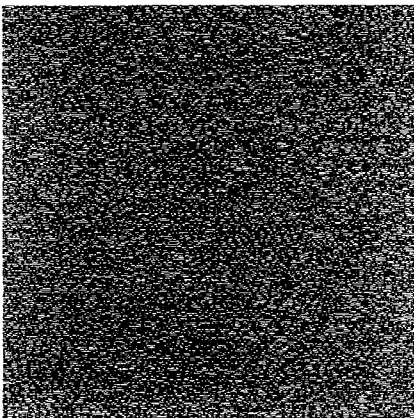


그림 7. DPH에 의한 컴퓨터형성홀로그램의 구현

L4 렌즈는 입력평면으로 평면파(plane wave)가 입사되면 광의 회절성과 렌즈의 위상변환 특성에 의해 입력 영상함수의 푸리에 변환된 형태가 나타나게 하는 푸리에 변환 렌즈이다. CCD와 digital processor에 의해 간섭세기의 가감산이 이루어지게 되고 이 과정에서 자기

상관성분과 입력영상들간의 상호상관성분을 제거하게 된다. 마지막으로 L4 렌즈를 통해 푸리에 역 변환되어 P5 평면에 최종적인 상관결과가 나타난다. 실제 광학적인 실험에서는 그림 8에서 컴퓨터 처리로 간섭세기의 가감산 결과 즉 P4 평면에 올려지는 함수 형태를 DPH 방법으로 CGH를 제작하였다. 그림 6(a)의 입력을 CGH로 제작하려면 512×512 화소 크기의 영상이 되는데 256×256 이상의 화소 크기를 가지는 영상을 CGH로 제작하는데 많은 어려움이 발생하므로 그림 6(a) 입력 영상을 각각 두 개의 256×256의 화소 크기로 나누어 CGH를 제작하여 실험하였다.

이렇게 제작된 CGH를 36mm 흑백 필름에 12.7mm 크기로 축소하여 P4 평면의 LCTV 대신 사용하였다. 실험에 사용된 광원은 파장이 6328Å이며 30mW 출력을 가지는 He-Ne 레이저빔을 사용하였고, 초점거리가 100 cm인 푸리에 변환 렌즈를 사용하였다. 이렇게 구현된 광상관기에 대해 입력영상과 기준영상의 상관관계를 조사하였으며 광학적 실험 결과는 그림 9와 같다. 표 1로 상관첨두치를 나타내었으며 실험시 주위의 진동, 먼지 등으로 인한 잡음을 고려하여 보면 광실험 결과 역시 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 일치함을 볼 수 있다.

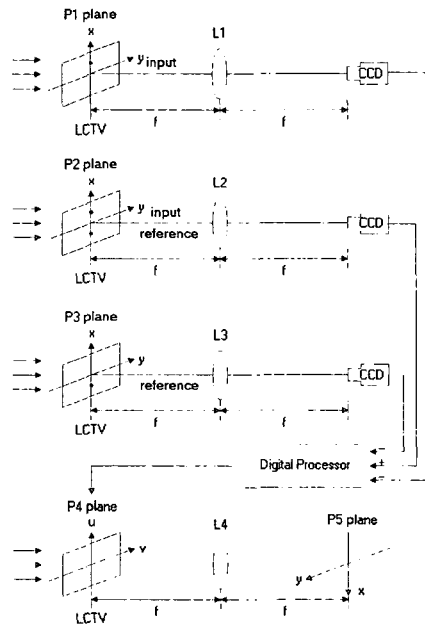


그림 8. FSJTC의 실험 구성도

V. 결론

본 논문에서는 크기불변 인식을 위한 필터를 제안하고 4f 광상관 시스템에서 발생하는 광축 정렬문제를 해결할 수 있는 광 웨이브렛 PO-fSDF-FSJTC를 제안하였다. 웨이브렛 변환은 영상의 특징점 추출이 용이하고 잡음에 강한 특성을 가지고 있으므로 제안한 필터는 크기변화된 영상을 학습영상으로 하여 PO-fSDF로 만든 후 웨이브렛 함수를 곱하여 합성하였다.

여러 가지 웨이브렛 함수 가운데서 Mexican-hat 웨이브렛 함수가 가장 좋은 상관결과를 가졌으며, 이를 이용하여 팽창모수를 변화시켜 크기불변 인식에 적합한 팽창모수를 찾은 결과 제안한 필터는 1.75일 때 가장 좋은 성능을 보였다. 그리고 반복알고리즘을 수정하여 감쇠상수 β 의 값을 변화시키지 않고 필터를 합성하였으며 제안한 필터의 반복횟수가 기존의 CWMF 필터보다 적어서 합성시간에 걸리는 시간을 단축할 수 있었다.



(a)



(b)

그림 9. 그림 6(a)의 (a) 좌반평면 및 (b) 우반평면의 결합입력영상에 대한 광실험 결과

컴퓨터 모의실험 결과 제한된 범위 내에서 크기변화된 비학습 참영상도 인식할 수 있으며 최대 15%의 무작위 잡음을 가지는 영상도 인식이 가능함을 보였다. 상관점두치의 값은 CWMF와 WPOfSDF 필터가 거의 비슷한 값을 가졌으나 잡음이 있는 경우에는 제안한 필터가 더 나은 SNR을 가지며 편차도 작아 안정함을 알 수 있었다. JTC 시스템 구조에서는 SNR이 클수록 입력영상들간의 간격을 더 좁힐 수 있으므로 제안한 필터가 더 적합함을 확인하였다.

참고 문헌

- [1] A. Vander Lugt, "Signal detection by complex signal filtering," IEEE Trans. Infor. Theory, Vol. IT-10, pp. 139-144, 1964
- [2] D. Mendlovic, E. Marom, and N. Konofroti, "Shift and scale invariant pattern recognition using Mellin radial harmonics," Opt. Comm, Vol.67, No.3, pp. 172-176, 1988.
- [3] D. Roberge and Y. Sheng, "Continuous scale-invariant optical composite wavelet matched filters with adaptive wavelets," SPIE, Vol. 2242, Wavelet Applications II, pp. 441-450, 1995.
- [4] D. A. Jared and D. J. Ennis, "Inclusion of filter modulation in synthetic discriminant function construction," Appl. Opt., Vol. 28, No.2, pp. 232-239, 1989.
- [5] D. Roberge and Y. Sheng, "Optical wavelet matched filter," Appl. Opt., Vol. 33, No.23, pp. 5287-5293, 1994.
- [6] D. Roberge and Y. Sheng, "Optical composite wavelet matched filters," SPIE, Vol.2242, Wavelet Applications, pp. 584-591, 1994.
- [7] C. S. Weaver and J. W. Goodman, "A technique for optically convolving two functions," Appl. Opt., Vol.5, No.8, pp. 1248-

1249, 1966.

- [8] C. J. Kuo, "Joint transform correlation improved by means of the frequency selective technique," Opt. Eng., Vol.33, No.2, pp. 522-527, 1994.
- [9] C. K. Hsueh and A. A. Sawchuk, "Computer-generated double-phase hologram," Appl. Opt., Vol.17, No.24, pp. 3874-3883, 1978.

저 자 소 개

김 종 윤(Jong-Yun Kim)

정회원



- 1995년 2월 : 경북대학교 전자공학
학과 졸업(공학사)
- 1997년 2월 : 경북대학교 전자공
학과 졸업(공학석사)
- 2001년 2월 : 경북대학교 전자공
학과 졸업(공학박사)

• 2001년 3월~현재 : 경동대학교 컴퓨터·미디어공학
부 교수

<관심분야> : 콘텐츠 보호, 교육·IT 콘텐츠

박 세 준(Se-Joon Park)

정회원



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공
학과 졸업(공학사)
- 1997년 2월 : 경북대학교 전자공
학과 졸업(공학석사)
- 2002년 2월 : 경북대학교 전자공
학과 졸업(공학박사)

• 1999년 3월~현재 : 구미I대학 디지털정보미디어
전공 겸임교수

<관심분야> : 콘텐츠 보호, 패턴 인식