

## fSDF /POF, BPOF 공간 정합 필터의

## 광 상관 특성에 관한 연구

(A Study on the Optical Correlation Characteristics for the fSDF/ POF, BPOF Spatial Matched Filters)

全 石 熙\*

(Seok Hee Jeon)

## 要 約

본 논문에서는 fSDF/POF, BPOF(filter synthetic discriminan function/phase only filter, binary POF) 공간 정합 필터를 설계하고 이를 CGH(computer generated hologram)로 제작하여 변형 왜곡된 입력 이미지에 대한 필터의 상관 특성을 분석하였다. 90°의 방위각으로 회전된 10개의 training 이미지로 부터 원하는 중앙 상관값을 갖도록 fSDF 함수의 해를 구하였으며, 동일 물체 인식 및 클래스 분류 특성을 조사하였다. 광 패턴 인식 시스템을 구성하여 실시간 입력이 가능하도록 액정 표시 소자를 공간 광 변조기로 이용하였고 제작된 CGH 마스크를 퓨리에 평면상에 위치시켰으며, 상관기 길이는 렌즈조합을 이용하여 148.8cm로 축소하였다. 시뮬레이션 및 실험 결과 fSDF 알고리즘을 적용한 POF, BPOF 위상 필터는 광상관기에서 왜곡 변형된 동일한 물체를 인식하거나 클래스를 판별할 수 있음을 알 수 있었다.

## Abstract

In this paper, fSDF/POF, BPOF spatial matched filters are designed and implemented by CGH. The correlation characteristics for the suggested filters are analyzed for the distorted input images. Input patterns are obtained from the out-of-plane aircraft images by gradually rotating it, and then used for SDF training images. Modified version of LCD is used for a real-time input device of an optical correlator, and CGH-based fSDF filters are fabricated on film mask for spatial matched filter in order to recognize the distorted images. Total optical correlator system size is effectively reduced to 148.8cm by using lens combinations. Computer simulations and experimental results show that the suggested phase filters have nearly uniform correlation characteristics and have good classification capabilities between two classes.

## I. 서 론

광학적 패턴 인식에 대한 연구는 주로 광의 회절 현상과 퓨리에 광학 이론을 근거로 하는 광 상관 처리(optical correlation)에 중점을 두고 있다.<sup>[1]</sup>

광학 소자를 이용한 광학 처리 방식은 반복적인 처리 능력의 부족, 정밀도의 결핍 등의 단점을 가지나 공간상에서 상호 작용없이 독립적으로 전파되면서 이차원 신호를 고속 병렬 처리할 수 있는 장점을 갖고 있다. 그러나, 크기, 천이, 회전, out-of-plane 회전 등의 변형된 입력에 대해서는 상관 출력면에서의 인식 특성이 현저하게 떨어지게 된다.<sup>[2,3]</sup>

이러한 문제를 해결하기 위한 한 방법으로서, training

\*正會員, 仁川大學校 電子工學科  
(Dept. of Elec. Eng., Incheon Univ.)

接受日字: 1992年 1月 27日

입력 패턴의 선형 조합으로 부터 얻을 수 있는 SDF(synthetic discriminant function) 필터는 변형된 패턴에 대해 공간 불변의 특성을 가지며 또한 설계 방법에 따라 인식과정에서 한 개의 필터로서 다양한 입력 패턴들을 인식(recognition) 및 분류(classification) 할 수 있는 장점을 갖고 있다.<sup>[4,5,6]</sup>

한편, 광상관기의 푸리에 평면상에 놓여지는 공간 정합 필터(spatial matched filter)는 여러가지 형태로 만들어질 수 있으며 그 중에서 위상 성분만을 갖도록 한 POF(phase only filter)는 진폭과 위상 성분을 모두 갖는 고전적인 CAPF(continuous amplitude phase filter)에 비해 광 이용 효율이 높을뿐만 아니라 뛰어난 상관 특성을 갖고 있는 것으로 알려져 있다.<sup>[7]</sup> 또한 연속 위상 성분을 이진 레벨로만 한정시킨 BPOF(binary phase only filter)는 POF의 특성을 잃지 않으면서 이진 입력 패턴과의 상관 출력이 매우 양호하게 나타남이 확인되었다.<sup>[8,9]</sup> 따라서 현존하는 공간 광 변조기에 쉽게 적용하므로써 실시간 광 패턴 인식의 성능을 향상시킬 수 있다.

본 연구에서는 SDF 필터를 POF와 BPOF로 적용하기 위하여, 필터 변조 과정을 포함시킨 fSDF 알고리즘으로부터 필터의 해를 구하였으며, 이를 CGH(computer generated hologram)로 제작하여 입력 패턴에 대한 광 상관 특성을 실험하였다.

## II. fSDF/ POF, BPOF 필터 이론 및 설계

### 1. SDF 이론

SDF는 서로 다른 클래스에 속해 있는 물체 간의 판별이나 한 클래스 내의 변형된 패턴들을 인식하기 위해 사용되고 있으며, 필터 합성에 대한 기본 개념은 training 이미지 집합에 대한 상관 행렬로부터 이들 이미지의 선형 조합인 SDF 함수를 합성하는 것이다.<sup>[10]</sup> 일반적으로 SDF 함수는 다음과 같이 정의된다.

$$s(x,y) = \sum_n a_n t_n(x,y) \quad (1)$$

여기서,  $t_n(x,y)$ 는 training 이미지이고  $a_n$ 은 이들에 대한 상관 행렬의 요소이다.  $s(x,y)$ 는 각각의 training 이미지에 대한 원하는 상관 반응(correlation response)  $c_n$ 을 갖도록 다음과 같이 구성한다.

$$\iint t_n(x,y) s^*(x,y) dx dy = \langle t_n(x,y) | s(x,y) \rangle = c_n \quad (2)$$

광상관기에 위치하는 SDF 공간 정합 필터  $S(u,v)$ 는

$s(x,y)$ 를 푸리에 변환하고 공액 복소수를 취함으로써 얻을 수 있다. 그러나 training 이미지의 수가 많아질수록 상관 특성이 떨어질뿐만 아니라 인식율도 저하된다. 따라서 광 이용 효율을 높이고 첨예한 상관 특성을 얻기 위해 위상 성분만을 취한 POF 및 이를 이진 레벨로 제한한 BPOF 방식을 사용하였으며 이는 현재 상용화 되어있는 공간 광 변조기로 쉽게 구현할 수 있으므로 실시간 시스템 구성하는데 매우 유리하다.

### 2. fSDF /POF, BPOF 필터 설계

SDF 함수에 대해서 위상 및 이진 위상만을 취하는 경우 원하는 상관 반응을 얻기 위한 최적의 상관 계수를 구하기는 매우 어려울 뿐만 아니라 이진화 과정의 비선형성으로 인하여 임펄스 응답 특성이 떨어지게 된다.<sup>[11]</sup> 이는 SDF 합성시 필터 변조 과정을 포함시키지 않았기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 필터 변조 과정을 SDF 합성시에 포함시킨 fSDF(filter SDF)로 부터 상관 행렬 요소의 해를 구하였다.

이때, fSDF 는

$$s'(x,y) = F^{-1} M F \{s(x,y)\}^* \quad (3)$$

로 나타낼 수 있으며, 여기서  $M$ 은 필터 변조 연산자로서 다음과 같이 정의하였다.

$$POF \text{ 인 경우 : } S'(u,v) = S(u,v) / |S(u,v)| \quad (4a)$$

$$BPOF \text{ 인 경우 : } S'(u,v) = 1 : \text{Re}[S(u,v) \exp(j\phi)] < 0 \text{ 일때}$$

$$-1 : \text{그외의 경우} \quad (4b)$$

따라서, 특정한 상관 반응  $c_n$ 을 얻기 위한 fSDF 는 다음의 식을 만족하여야 한다.

$$\langle t_n(x,y) | F^{-1} M F | \sum_n a_n t_n(x,y) \rangle = c_n \quad (5)$$

필터 변조가 위상 만의 함수로 되었는데 경우에 대해  $a$ 의 해를 구하기 위해 다음과 같은 반복 과정 알고리즘을 적용하였다.<sup>[12]</sup>

$$a_n^{i+1} = a_n^i + [c_n - c_n(m_n^i / m_o^i)] \quad (6)$$

여기서,  $i$ 는 반복횟수,  $\beta$ 는 damping 상수이고  $m_n^i$ 는 계수 벡터  $a^i$ 로 구성된 필터와 training 이미지  $t_o(x,y)$ 과의 중앙 첨두 상관(center peak correlation)으로서 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$m_n^i = \langle t_o(x,y) | s'(x,y, a^i) \rangle \quad (7)$$

각 계수들은 요구하는 침투 상관 반응으로부터 실제 상관 값이 얼마만큼 떨어져 있는가에 비례하여 변하게 된다.

본 연구에 사용된 training 이미지들은 90°의 방위각을 갖는 모형 비행 물체를 out-of-plane 상에서 20° 간격으로 회전시켜 얻은 10개의 이미지를 화상 처리한 후에 이진화하여 사용하였다. (그림 1)

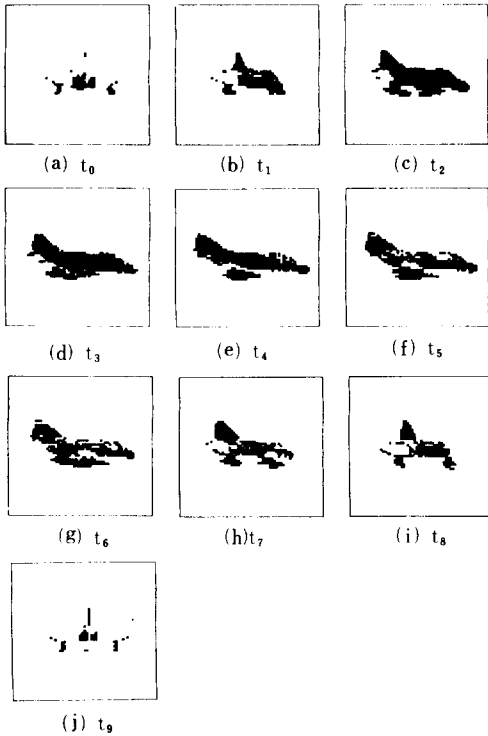


그림 1. 연구에 사용된 training 이미지  
Fig. 1. Training images used for this study.

다음의 두 경우에 대해서 fSDF/POF, fSDF/BPOF 를 설계하고 요구되는 필터 반응을 고찰해 보았다.

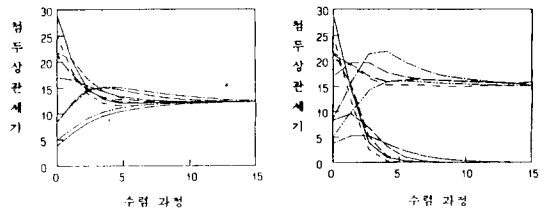
$$\text{case 1 : } c_n = 1 \tag{8a}$$

$$\begin{aligned} \text{case 2 : } c_n = 1, \text{ True 클래스}(t_0, t_1, t_2, t_3, t_4) \\ 0, \text{ False 클래스}(t_5, t_6, t_7, t_8, t_9) \end{aligned} \tag{8b}$$

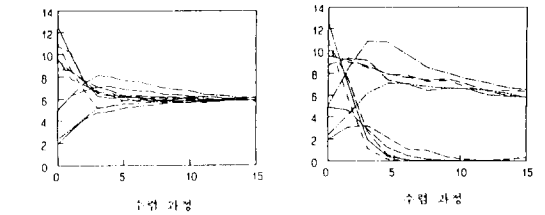
case 1은 회전된 10개의 이미지가 동일한 물체로 인식 되는가를 알아보기 위한 것으로 동일 침투 반응(equal correlation response)을 얻기 위한 것이고, case 2는 클래스 판별을 위해 임의로 5개씩 나눈 것이다. 즉, 다섯 개의 패턴은 1에 해당하는 상관 출력이 나타나도록 training 시키고 나머지 다섯은 0에 해당하는 중앙 상관 출력

이 나타나도록 클래스를 분류하였다. 중앙 침투 상관값이 설계치에 수렴하도록 (6)식을 사용하여 계수 a의 해를 구하였다. 각 경우에 대한 필터의 상관 반응의 수렴 과정을 그림 2에 나타내었다. 그림에서 10개의 선은 필터와 각 10개의 이미지와의 상관 세기를 나타내고 있고 요구하는  $c_n$  레벨로 training 되어 가는 것을 볼 수 있다.

case 1에서는 15회의 반복 과정 후에 각 training 이미지와 fSDF 함수와의 침투 상관 반응이 시뮬레이션 결과, POF에서는 1.7%, BPOF에서는 4.0%이내의 오차 범위 내에서 비교적 양호한 상관 특성을 얻을 수 있었다.



(a) fSDF/ POF (case 1) (b) fSDF/ POF (case 2)



(c) fSDF/ BPOF (case 1) (d) fSDF/ BPOF (case 2)

그림 2. 원하는 상관 반응을 얻기위한 fSDF 필터의 수렴 과정

Fig. 2. Iteration process to the required fSDF filter response.

Training 이미지와 각 경우에 대한 fSDF/POF 및 BPOF 필터와의 상관 결과를 일차원 스캔 데이터로 그림 3에 나타내었다. Case 1에서는 POF에서 뿐만 아니라 BPOF에서도 중앙(그림에서는 33point) 상관값이 거의 동일하게 나타나며, case 2에서는 5개씩 클래스 간의 중앙 상관값의 차가 크게 나타남을 알 수 있다. 그림에서 true인 경우(그림 (a)와 (b)의 I~V)와 false인 경우(그림 (a)와 (b)의 VI~X)의 상관 세기 스케일은 각각의 최고 상관치를 기준으로 하여 나타내었다.

### III. fSDF 필터의 CGH 구현

본 연구에서는 fSDF 알고리즘으로부터 구한 POF,

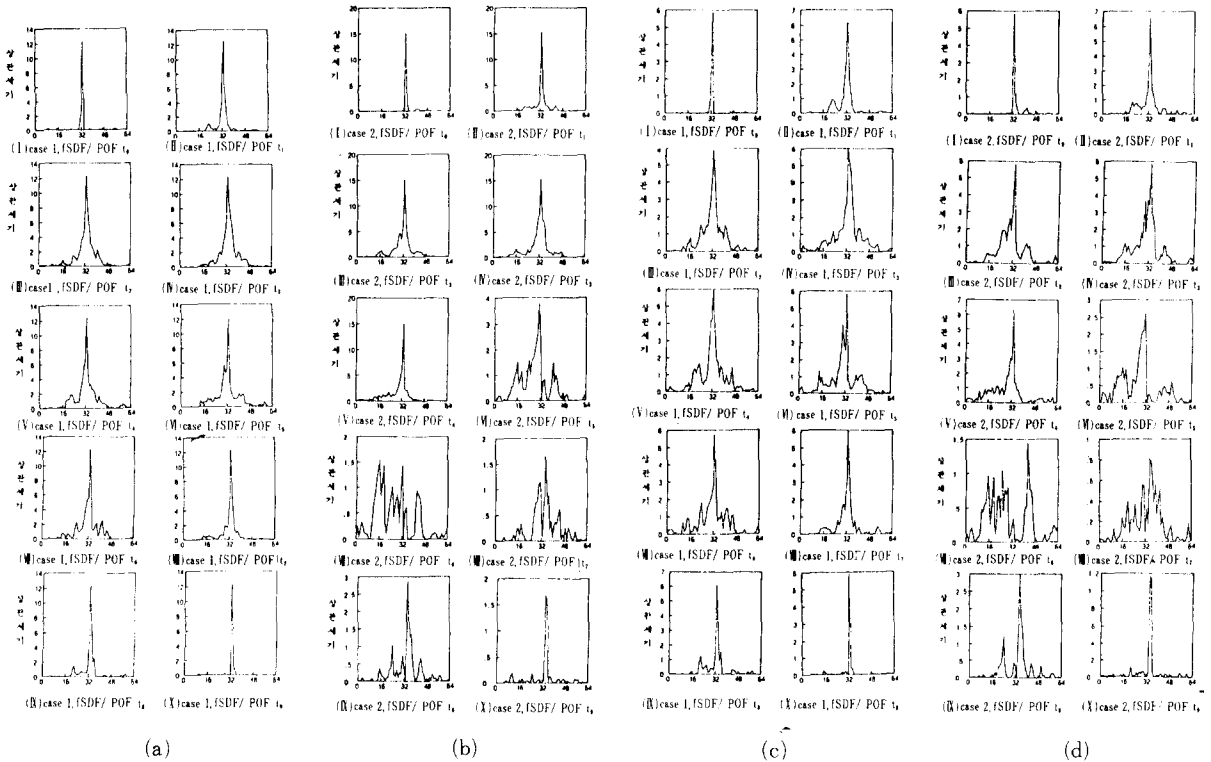


그림 3. (a) fSDF/POF에 대한 상관 반응 : case 1일때  
 (b) fSDF/POF에 대한 상관 반응 : case 2일때  
 (c) fSDF/BPOF에 대한 상관 반응 : case 1일때  
 (d) fSDF/BPOF에 대한 상관 반응 : case 2일때

Fig. 3. (a) Correlation response for the fSDF/POF(case 1),  
 (b) Correlation response for the fSDF/POF(case 2),  
 (c) Correlation response for the fSDF/BPOF(case 1),  
 (d) Correlation response for the fSDF/BPOF(case 2).

BPOF 공간 정합 필터를 우회 위상 홀로그램(detour phase hologram) 방식으로 CGH를 제작하였다.<sup>[5]</sup> CGH 각 셀의 개구면의 위치는  $-\pi$ 에서  $\pi$ 의 범위 내에서 위상과 대응하도록 결정해 주었다. 입력 마스크의 크기와 CGH 필터 마스크의 크기를 같게 할 경우 광 상관기에 사용되는 필터의 크기는 입력 화소의 수가  $N \times N$ 이면 아래의 식으로 구할 수 있다.

$$f = N \ell_x \ell_y / \lambda \tag{9}$$

여기서,  $f$ 는 광 상관기의 초점 거리,  $\lambda$ 는 광원의 파장,  $\ell_x$ 와  $\ell_y$ 는 각각 화소의 가로, 세로의 길이를 말한다.

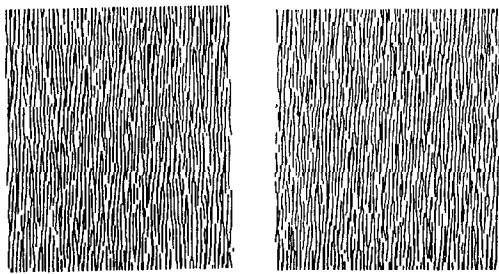
본 연구에서는  $240 \times 220$ 개의 화소를 갖고 화소의 크기가  $160 \times 130 \mu\text{m}$ 인 EPSON ET-20 LCTV에서  $64 \times 64$ 개

의 화소를 사용하였다. He-Ne 레이저의 파장은  $0.6328 \mu\text{m}$ 이고 마이크로 필름의 분해능을 고려하여 CGH 필터 마스크의 크기는 가로  $8.3 \text{mm}$ , 세로  $10.2 \text{mm}$ 로 하였다. 각 경우에 대해 제작된 fSDF/POF 및 BPOF CGH 필터의 패턴은 그림 4와 같다.

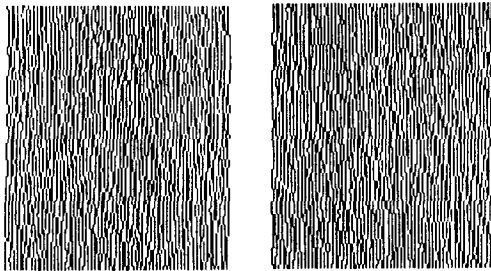
#### IV. 광 패턴 인식 시스템 구성 및 실험

##### 1. 광 패턴 인식 시스템 구성

광 패턴 인식을 위한 시스템 구성은 그림 5와 같이 기본적인 광 상관기 구조로 하였다. 입력 이미지를 실시간으로 처리하기 위해 공간 광 변조기로서 LCTV를 이진 위상 변조 조건으로 하여 광 상관기의 입력단에 위치시켰



(a) Case 1, fSDF/ POF (b) Case 2, fSDF/ POF



(c) Case 1, fSDF/BPOF (d) Case 2, fSDF/ BPOF

그림 4. 제작된 fSDF /POF, BPOF CGH 패턴

Fig. 4. Implemented fSDF /POF, BPOF CGH patterns.

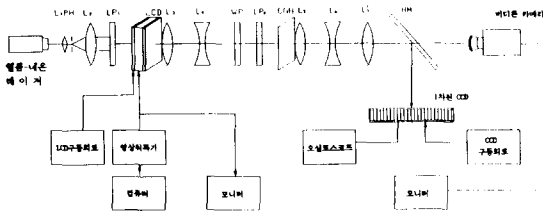


그림 5. 광 패턴인식 시스템의 구성도

Fig. 5. Schematic diagram of an optical pattern recognition system.

다. 입력 패턴이 유리에 변환되어 공간적으로 정합되도록 CGH필터 마스크를 유리에 평면상에 위치시키고 상관면의 출력을 측정하였다.

파장이 0.6328 $\mu$ m인 He-Ne 레이저를 광원으로 사용한 경우 광상관기를 구성하기 위한 렌즈의 초점거리는 2.1m 가 되어 전형적인 4f광상관기 시스템을 구성하기가 매우 어려워진다.

따라서 본 연구에서는 그림(6)과 같이 두 렌즈를 합성하여 광학 시스템의 길이를 축소하였다.

이때, 각 렌즈의 간격 $d_1$ 과  $d_2$ 는 각각

$$d_1 = f_1 + f_2 - (f_1 f_2 / f) \tag{10a}$$

$$d_2 = f_2 (f_1 - f) / f_1 \tag{10b}$$

이 된다. 여기서  $f$ 는 합성 렌즈의 초점 거리이다.

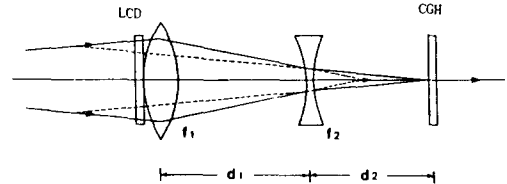


그림 6. 렌즈 조합을 이용한 광 상관기의 앞단

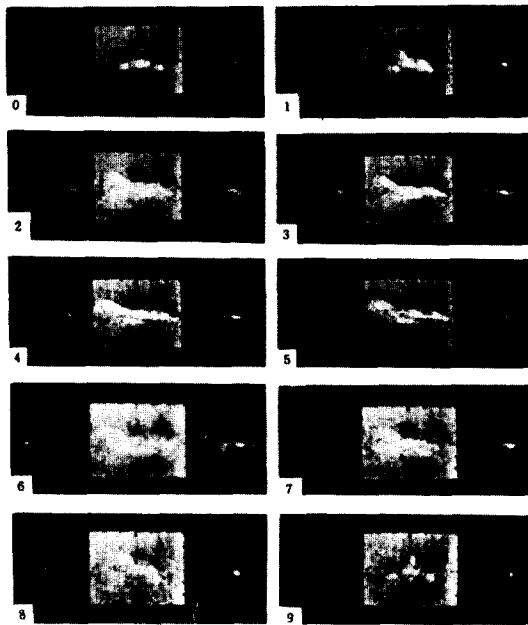
Fig. 6. Front side of the optical correlator using lens combination.

레이저의 출력광은 렌즈  $L_1$ 과 핀홀에 의해 평행광이 되어 액정 표시 소자에 조사되며, 편광기  $LP_1$ ,  $LP_2$  및  $\lambda/4$  플레이트 WP는 이진 위상 변조 특성을 만족 하도록 조절 하였다. 컴퓨터에 저장된 training 이미지가 영상 취득기를 통해 액정 표시 소자에 입력되고 이것이 유리에 평면 상에서 CGH로 제작된 fSDF /POF, BPOF 필터와 정합된 후, 역 유리에 변환되어 출력이 나타난다. 유리에 광학 이론에 의하여 출력면에는 DC항, 컨벌루션항 및 상관항이 나타나며 이를 비디콘 카메라로 모니터상에 나타내었다.  $L_3$ ,  $L_4$ ,  $L_6$ ,  $L_7$ 의 초점거리는 각각 50cm, -10cm, -10cm, 50cm이며 따라서  $d_1=42.4$ cm,  $d_2=32$ cm로 계산된다.  $L_3$ 는 주파수면에 생기는 이차계 위상성분을 보상해 주기 위해 사용하였다.  $L_6$ ,  $L_7$ 는  $L_3$ ,  $L_4$ 와 대칭으로 설치하였으며 따라서 광 상관기의 총길이는 기존의 8.4 m보다 훨씬 줄어든 148.8cm가 된다.

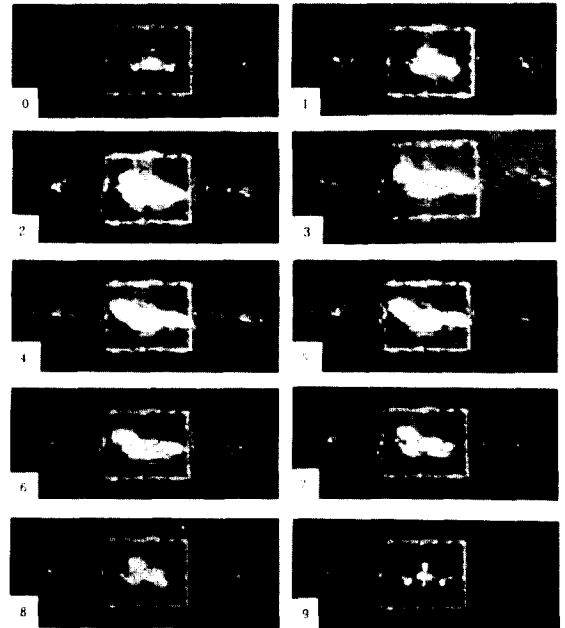
## 2. 결과 고찰

액정 표시 소자에 입력된 training 이미지와 식(8)의 두 경우에 대해 만들어진 fSDF /POF, BPOF CGH필터와의 상관 출력 결과를 사진(1)에서 (4)에 나타내었다.

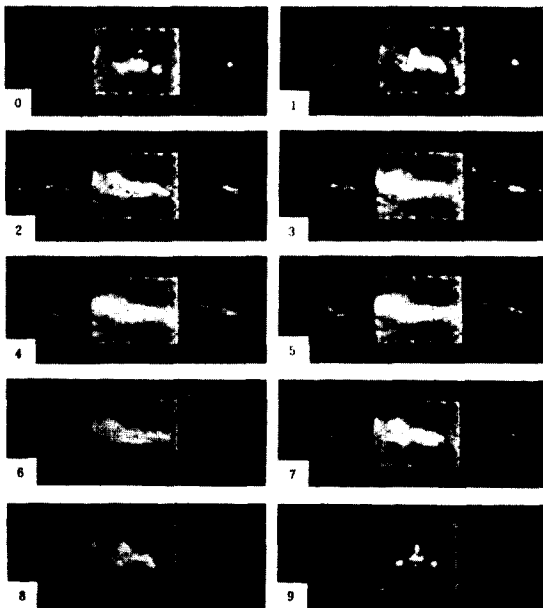
사진은 노출 시간 0.2초로 하여 비디콘 카메라를 통해 모니터에 나타난 영상을 촬영하였다. 중앙에는 입력 패턴이 DC항으로 존재하며, 왼쪽이 컨벌루션항, 오른쪽에 우리가 원하는 상관항이 나타남을 알 수 있다. 입력 이미지의 재생이 목적이 아니기 때문에 상관 모양의 분포형태에 중점을 두어 노출 시간을 맞추었다. 따라서 화소의 수가



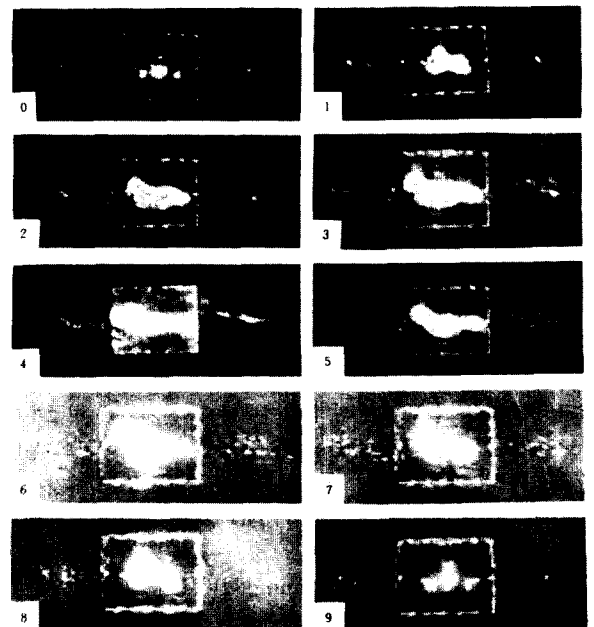
사 진 1. fSDF/ POF 필터에 대한 상관출력 결과 : case. 1 .  
 Photo 1. Correlation output result for a fSDF /POF : case 1.



사 진 3. fSDF /BPOF 필터에 대한 상관출력 결과 : case 1  
 Photo 3. Correlation output result for a fSDF / BPOF : case 1.



사 진 2. fSDF /POF 필터에 대한 상관출력 결과 : case 2  
 Photo 2. Correlation output result for a fSDF /POF : case 2.



사 진 4. fSDF /BPOF 필터에 대한 상관출력 결과 : case 2  
 Photo 4. Correlation output result for a fSDF /BPOF : case 2.

많은 입력 패턴의 경우에는 DC항의 광 강도가 크게되어 밝게 나타났다. 가장 첨예한 상관 출력을 갖는  $t_0$ 를 입력으로 했을때 1-D CCD(fairchild CCD 133)의 적분 구간에 나타난 중앙 침두 상관값을 오실로스코프의 일정한 눈금에 맞춘 후 동일한 위치에서 다른 입력에 대한 중앙 상관 출력을 측정하였다. (그림 (7))

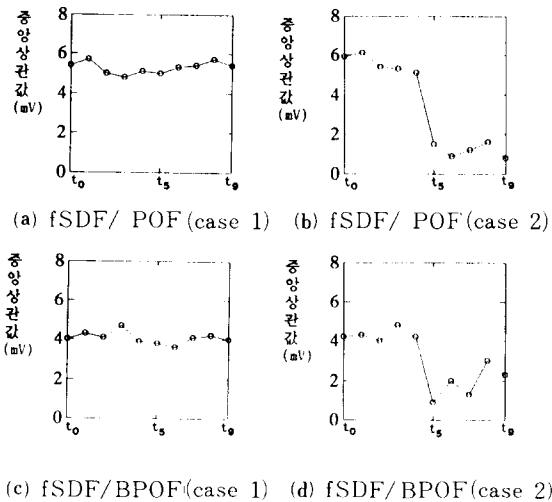


그림 7. fSDF 필터에 의한 중앙 상관값  
Fig. 7. Center correlation values for the fSDF filters.

동일 침두 상관 반응(equal correlation peak)을 갖도록 설계한 case 1에서는 fSDF/POF에 의한 상관 출력의 평균은 5.28mV, 최대 오차 범위 7.9%이고, fSDF/BPOF에 의한 상관 출력의 평균은 4.07mV, 최대 오차 범위 15%로 나타났다. 두개의 클래스를 판별하도록 한 case 2에서는 fSDF/POF의 true 클래스 평균은 5.56mV, false 클래스 평균은 1.9mV로 나타났다. 사진에서는 상관출력을 잘 보이기 위하여 카메라 노출 시간을 비교적 길게 하였고 따라서 중앙 상관 주위에 입력 이미지의 형태에 따라 밝은 점들이 길게 나타남을 볼 수 있다. 이것은 검출기의 임계 레벨을 낮추거나 ND 필터를 설치하므로써 제거될 수 있다.

사진(1)과 (3)는 각 training 이미지에 대해서 동일 침두 상관 반응을 얻도록 한 경우로써 그림(7)에서 알 수 있듯이 비교적 일정한 중앙 상관값을 얻을 수 있었다. 그러나 상관 펄스 폭이 넓을 수록(그림(3) 참고) 사진상에 나타난 것은 주위의 잡음과 함께 옆으로 길게 감광되어 나타났으며 이것은  $t_0$ 의 상관 출력을 기준으로하여 동일

한 조건으로 노출 시간을 맞추었기 때문이다.

사진(2)와 (4)에서 알 수 있듯이 false 클래스인 경우에는 상관 출력의 세기가 작을 뿐만 아니라 상관면 전체에 걸쳐 넓게 퍼져있다. 그러나  $t_0$ 와  $t_8$ 의 상관 패턴은 false 클래스로 분류하였음에도 불구하고 중앙 부위에 비교적 강한 스폿이 나타났으나 이것은 중앙에서 몇 픽셀 떨어진 곳에서의 상관으로 확인되었고 그림(3)의 시물레이션 결과와 일치하고 있다.

fSDF/BPOF에서도 POF와 유사한 형태를 가지나 위상 정보를 이진 레벨로만 제한시킴으로써 발생하는 정보 손실이 침두 상관의 펄스 폭을 넓게하고 부로브를 크게하는 요인으로 작용하고 있다. 그러나, 매우 다른 10개의 이미지를 중첩시키고 그것의 이진 위상만을 취하였음에도 불구하고 중앙 상관값은 필터 설계시 요구한 특정한 상관 반응에 가까운 값들을 얻을 수 있었다는 것은 매우 특기할 만한 사실이다.

Case1에서 fSDF/POF와 BPOF에 대한 오차는 시물레이션 결과 각각 1.7%, 4.0%인 반면에 측정 결과는 각각 7.9%, 15.0%로 나타났다. 이러한 오차의 원인으로는 광학 배열의 어려움과 CCD 광 검출기의 분해능 및 CGH의 낮은 효율에 기인하는 것으로 생각한다.

시물레이션 및 실험 결과로부터 알 수 있듯이 fSDF 방식으로 설계된 필터의 상관 응답은 중앙에서의 상관 세기가 설계시 요구하는 특정한 값을 갖도록 할 수는 있으나 상관면 전체의 에너지 분포를 제어하기에는 매우 어렵다는 것을 알 수 있다. 이것은 동일 침두 상관 반응을 얻는 경우에는 별 문제가 없으나 클래스를 판별하는 경우에는 중앙 바로 주위에 비교적 큰 부로브 상관값을 가질 수 있기 때문에 보다 정확한 광학 배열이 요구된다.

## V. 결 론

본 연구에서는 공간 불변 특성을 갖는 SDF 정합 필터를 설계하는 과정에서 필터 변조 과정을 포함시킨 fSDF/POF 및 BPOF 필터를 설계하고 이를 광학적으로 구현하기 위하여 우회위상 홀로그램 방식으로 CGH를 제작하였다. 제작된 필터의 상관 특성을 광 패턴 인식 시스템을 구성하여 실험하였으며 시물레이션 결과와 비교하였다.

90° 방위각에서 회전된 10개의 이미지를 동일한 물체로 인식하기 위한 case1에서는 POF와 BPOF가 시물레이션 결과 각각 1.7%, 4.0%의 오차 범위내에서 중앙 상관값을 얻었으며, 동일 물체를 5개씩 나누어 true 클래스와 false 클래스로 판별하기 위한 case2에서는 중앙 상관값의 차가 크게 나타나므로 training된 입력 이미지에 대한

분류가 가능함을 알 수 있었다. 상관 실험결과 각 경우 모두 상관 출력의 형태는 대체로 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였으나 false 클래스 판별시 두개의 입력 이미지에 대해서는 중앙 부위에 비교적 큰 상관 분포를 갖는 것으로 나타났다. 따라서 인식 오율을 줄이기 위해서는 임계 레벨을 적절히 조절한 후 광 검출기를 상관면의 중앙에 정확히 위치시켜야 하며, 더 나가서는 출력면 전체의 상관 분포를 제어할 수 있는 새로운 필터 방식의 도입이 필요하다. 향후, training 이미지의 수가 증가하거나 입력 패턴의 왜곡 형태에 따른 상관 패턴의 변화에 대한 연구가 진행되어야 하며, 본 연구에서 제안한 필터 방식을 분해능이 좋은 공간 광 변조기에 적용한다면 실시간 광-디지털 복합 패턴 인식 처리에 큰 도움이 될 수 있으리라 생각한다.

參 考 文 獻

[1] A. Vander Lugt, "Signal detection by complex spatial filtering," *IEEE Tran. Inf. Theory*, vol. IT-10, pp. 139, 1964.

[2] D. Casasent, "Coherent Optical Pattern Recognition: a review," *Opt. Eng.* vol. 24, no. 1, pp. 26, 1985.

[3] D. Casasent and D. Pasltis, "Position, rotation, Scale Invariant Optical Correlation," *Appl. Opt.*, vol. 15, no. 7, pp. 1795, 1976.

[4] C.F. Hester and D. Casasent, "Multivariate technique for multiclass pattern recognition," *Appl. Opt.*, vol. 19, no. 11, pp. 1758, 1980.

[5] D. Casasent, "Unified synthetic discriminant function computator formulation," *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 10, pp. 1620, 1984.

[6] J. Riggins and S. Butler, "Simulation of synthetic discriminant function optical implementation," *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp. 721, 1984.

[7] J.L. Horner and P.D. Gianino, "Phase-only matched filtering," *Appl. Opt.* vol. 23, no. 6, pp. 812, 1984.

[8] J.L. Horner and H.O. Bartelt, "Two bit correlation," *App. Opt.*, vol. 24, no. 18, pp. 2889, 1985.

[9] D. Psaltis, E.G. Baek and S.S. Venkatesh, "Optical image correlation with a binary spatial light modulator," *Opt. Eng.*, vol. 23, no. 6, pp. 698, 1984.

[10] J.L. Horner and P.D. Gianino, "Applying the phase only filter concept to the synthetic discriminant function correlation filter," *Appl. Opt.*, vol. 24, no. 6, pp. 851, 1985.

[11] 全石熙, 殷在定, 權元鉉, 朴漢奎, 왜곡불변 광패턴인식을 위한 fSDF 위상필터에 관한 연구, *電子工學會 論文誌*, 第27卷, 第1號, pp. 137, 1990.

[12] D.A. Jared and D.J. Ennis, "Inclusion of filter modulation in synthetic discriminant function construction," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 2, pp. 232, 1989.

著 者 紹 介



全石熙(正會員)

1960年 8月 16日生 1981年. 연세대 전자공학과 졸업. 1983년 연세대 대학원 전자공학과 공학석사. 1990년 연세대 대학원 전자공학과 공학박사. 1986년~1991년 동양공업전문대학 통신공학과 조교수. 1991년~현재

인천대학교 전자공학과 조교수. 주관심분야는 광패턴 인식, 홀로그래피 응용, 광전자공학 및 광통신 등임.