

論文 90-27-11-15

pSDF와 이진 결합 변환 상관기를 이용한 광 패턴 인식에 관한 연구

(A Study on the Optical Pattern Recognition Using pSDF and Binary Joint Transform Correlator)

鄭 倉 圭*, 趙 東 來*, 吉 相 瑾*, 朴 漢 奎*

(Chang Kyoo Jung, Dong Rae Cho, Sang Keun Gil, and Han Kyu Park)

要 約

본 논문에서는 pSDF (projection synthetic discriminant function) 공간 불변 필터 개념을 적용하여 기준 이미지를 구현하고, 공간 평면 상관기인 이진 결합 변환 상관기를 이용하여 동일 클래스 인식 및 클래스 판별을 위한 광 패턴 인식을 수행하였다. 컴퓨터 시뮬레이션 결과, 이진 결합 변환 상관기가 기존의 결합 변환 상관기보다 상관 침두치 세기, 상관 침두치 세기대 부로브비, 신호대 잡음비, 상관 폭 부분에서 뛰어난 상관 특성을 보였다.

이진 결합 변환 상관기를 이용한 광 패턴 인식 실험을 한 결과, 동일 클래스 인식인 경우 4.1~9.6% 오차 범위 내에서 상관 침두치 세기가 일정하게 나타났으며, 클래스 판별인 경우 두 클래스간의 상관 침두치 세기가 2배 차이가 나서 판별 능력이 우수함을 알 수 있었다.

Abstract

In this paper, pSDF-based reference image is realized. Using BJTC (binary joint transform correlator) as the spatial plane correlator, optical pattern recognition for interclass identification and interclass discrimination is performed.

Computer simulation shows that the correlation performance of BJTC is superior to that of JTC. Experimental results using BJTC reveal that correlation peak intensity is constant within the error range from 4.1% to 9.6% in interclass identification and correlation peak intensity of one class is two times higher than that of the other class in interclass discrimination, which indicates its superiority in discrimination sensitivity.

I. 서 론

1964년 Vander Lugt⁽¹⁾가 빛의 코히어런트한 성질을 이용한 공간 정합 필터 제작 방식을 제안함으로써

시작된 광 패턴 인식은 공간 정합 필터 이론에 기반을 둔 주파수 평면 상관기와 입력 평면에 기준 이미지와 입력 이미지를 나란히 놓는 공간 평면 상관기로 나눌 수 있으며,⁽²⁾ 공간 평면 상관기인 이진 결합 변환 상관기(BJTC: binary joint transform correlator)는 주파수 평면 상관기에 비해 광학적인 구성이 간단하고 상관 침두치 세기가 크며, 또한 상관폭이

*正會員, 延世大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Yonsei Univ.)
接受日字: 1990年 7月 9日

훨씬 작다.^[3]

1987년 Yu^[4]는 공간 주파수 평면에 공간 광 변조기(SLM:spatial light modulator)를 도입하여 실시간 처리를 하였으며, 1989년 Horner^[5]는 하나의 이미지를 기준 이미지로 하여 입력 이미지와의 상관 특성을 연구하였다. 1989년 Javidi^[6]는 인식해야될 이미지들을 입력 평면에 배열할 기준 이미지를 선택하여 회전 불변 패턴 인식을 하였다. 그러나 입력 평면에 여러 이미지를 배열할 경우 배열 간격에 의해 상관 평면에서 원치 않는 상관 특성이 발생하여 오인하는 경우가 발생한다.^[7]

이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 주파수 평면 상관기에서 적용된 pSDF 필터 합성 이론을 이용하여 표본 학습 이미지의 선형 조합으로 기준 이미지를 구현하였으며 주파수 평면에서의 이진화를 위해 기존의 결합 변환 상관기(JTC:joint transform correlator)와 달리 연속 위상을 이진 레벨로 한정 시킨 이진 위상 필터 합성법을 이용하였다.

II. pSDF와 이진 결합 변환 상관기

1. pSDF 공간 불변 필터 특성

SDF는 초월 공간(hyperspace)내에서 특징 벡터로 각 입력 이미지를 나타내며, 판별하려는 두 클래스의 구성 이미지들은 초월 공간 내에서 분리되어져 있고, 각 클래스 내의 이미지는 밀집해 있어서, 서로 다른 클래스에 속해 있는 이미지간의 판별이나 동일 클래스 내의 변형된 입력 패턴을 인식할 수 있다.

일반적으로 필터 함수를 $h(x, y)$, 클래스 내의 학습(training) 이미지를 $\{f_n(x, y)\}$ 라고 하면,

$$f_n(x, y) \otimes h(x, y) = u \quad (1)$$

과 같이 상관 출력 u 를 얻는다.^[8] 여기서 \otimes 는 상관(correlation)을 나타낸다. 식(1)을 만족하는 필터 함수는

$$h(x, y) = \sum_m e_m f_m(x, y) \quad (2)$$

이 된다. 여기서 가중치 벡터 \mathbf{E} 의 원소 e_m 은

$$\mathbf{E} = \mathbf{R}^{-1} \cdot \mathbf{U} \quad (3)$$

이 되고, 여기서 \mathbf{R} 은 학습 이미지의 상관 행렬, \mathbf{U} 는 상관 출력 벡터이다. 따라서 SDF는 학습 이미지의 선형 조합으로 표현됨을 알 수 있다.

동일 클래스 인식을 위한 pSDF인 경우, ECP SDF(equal correlation peak SDF)를 적용시켜 상관 출력 벡터 \mathbf{U}_{ECP} 는 원소가 모두 '1'이고, 2개 클래스 판별을 위한 pSDF인 경우, MOF SDF(mutual orthogonal SDF)를 적용시켜 false 클래스의 학습 이미지에 대해서는 '0'의 상관 출력을 나타내고, true 클래스의 학습 이미지에 대해서는 '1'의 상관 출력을 낸다.

2. 이진 결합 변환 상관기와 기준 이미지의 설계
그림 1에서 입력 평면 P_1 에 있는 공간 광 변조기에 기준 이미지와 입력 이미지 $r(x, y), s(x, y)$ 가 1과 -1로 이진화되어 $2x_0$ 간격을 두고 놓여져 있을 때 주파수 평면 P_2 에 푸리에 변환된 이미지의 간섭에 의한 빛의 세기 분포가 나타난다.^[9]

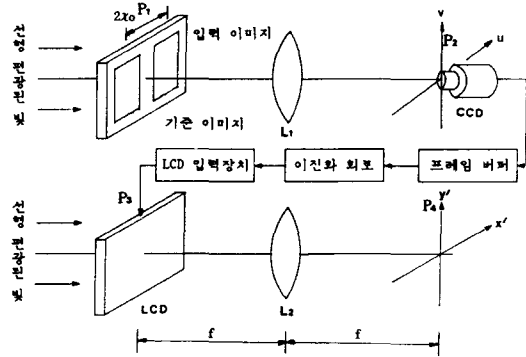


그림 1. 이진 결합 변환 상관기
Fig. 1. Binary joint transform correlator.

본 논문에서는 빛의 이용 효율 향상과 이진화를 위하여 기준 이미지와 입력 이미지의 자기 상관항에 해당하는 DC성분을 제거한 다음, 이진화 회로에 입력시켰다. 이때 빛의 세기 분포는

$$\begin{aligned} I(u, v) &= R(u, v) S^*(u, v) \exp(-i \frac{2\pi}{\lambda f} 2x_0 u) \\ &+ R^*(u, v) S(u, v) \exp(+i \frac{2\pi}{\lambda f} 2x_0 u) \\ &= 2 |R(u, v)| |S(u, v)| \\ &\quad \cos[\phi_R(u, v) - \phi_S(u, v) + 2\chi_0 u] \quad (4) \end{aligned}$$

이 된다. 여기서 (u, v) 는 공간 주파수 좌표, $R(\cdot), S(\cdot)$ 는 각각 입력 신호 $r(x, y), s(x, y)$ 의 푸리에 변환

함수, f 는 푸리에 변환 렌즈의 초점 거리, λ 는 사용한 코히어런트 광의 파장이며, $*$ 는 공액 복소수를 의미한다. 식(4)의 위상 항에는 기준 이미지와 입력 이미지의 위상 함수 ϕ_R, ϕ_S 가 포함되어 있으므로 이진 위상 필터 합성시 요구되는 필터 변조 이론을 이용하여 이진화를 할 수 있다.

이진화된 빛의 세기 분포 $I'(u, v)$ 는 $I(u, v)$ 를 변조함으로써 얻을 수 있다.

$$I'(u, v) = M[I(u, v)] \tag{5}$$

여기서 M 은 필터 변조 연산자로서

$$I'(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{if } \text{Re}[I(u, v)] > 0 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \tag{6}$$

로 정의되어, 실수축 상의 값을 가지는 빛의 세기 분포 $I(u, v)$ 는 1과 -1을 갖는 $I'(u, v)$ 으로 대응될 수 있다.

본 논문에서 사용된 표본 학습 이미지들은 그림 2와 같이 90°의 방위각을 갖는 비행 물체를 out-of-plane 상에서 좌우로 20°씩 회전시킨 5개의 이미지이며 32×32의 해상도를 갖도록 하였다. 기준 이미지는 동일 클래스 인식인 경우 5개의 회전된 비행 물체를 동일한 물체로 인식하기 위해서 ECP SDF 합

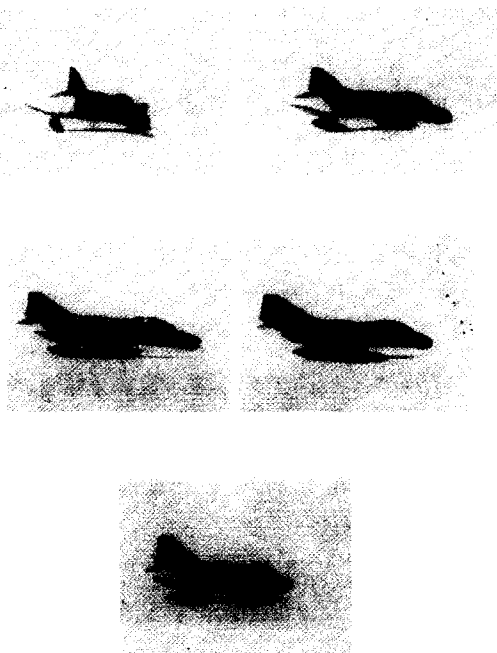


그림 2. 표본 학습 이미지
Fig. 2. training images.

성법을 이용하였으며 클래스 판별 패턴 인식을 위해 왼쪽으로 20°씩 회전된 3개의 이미지를 true 클래스로, 오른쪽으로 20°씩 회전된 2개의 이미지를 false 클래스로 정하여 MOF SDF 합성법을 적용하였다.

또한 기준 이미지는 0~255의 계조도(gray level)를 갖는 표본 학습 이미지를 먼저 정규화한 다음 이 값의 히스토그램을, 크기 순서대로 분류하여, 그 중앙값(median value)을 문턱값(threshold value)으로 하여 정규화된 표본 학습 이미지를 이진화 한다.

상관 출력 벡터는 동일 클래스 인식인 경우

$$U_{ECP} = [1 \ 1 \ 1 \ 1 \ 1]^T \tag{7}$$

로 주어지며 클래스 판별인 경우

$$U_{MOF} = [0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1]^T \tag{8}$$

가 된다. 따라서 식(2)와 식(3)을 이용하여 가중치 벡터와 기준 이미지를 구한 후, 1과 -1을 이진화하면 그림 3과 같다.

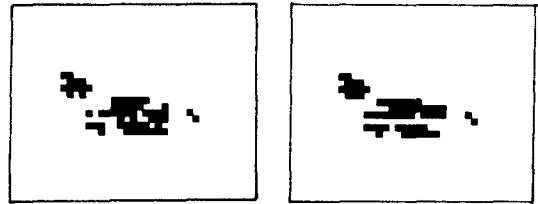


그림 3. 기준 이미지
Fig. 3. Reference images.

III. 광 패턴 인식 시스템 구성 및 실험

1. 액정 표시 소자의 광 변조 실험

빛의 세기를 이진 위상 변조시키기 위해서 본 논문에서는 액정 표시 소자(LCD)를 공간 광 변조기(SLM)로 이용하였다.

이진 위상 변조 이론에 의하면 편광이 ON 상태와 OFF 상태에서 두 출력 광의 진폭은 같고, 위상이 π radian의 홀수배가 되도록 하여야 한다. 본 논문에서 사용한 액정 표시 소자는 외부 비디오 입력 단자를 가지고 있는 Radio shack사의 realistic model 16-156 액정 TV(LCTV:liquid crystal TV)이다.

액정 표시 소자의 이진 위상 변조 조건을 확인하기 위하여 그림 4와 같은 mach-zehnder 간섭계를 구성하여 위상차를 측정하였다.

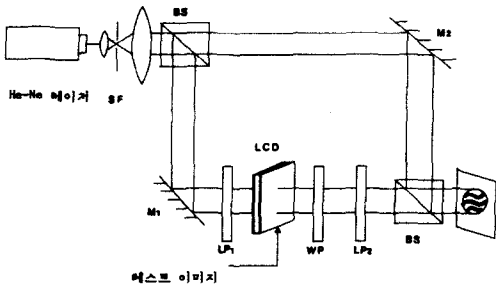
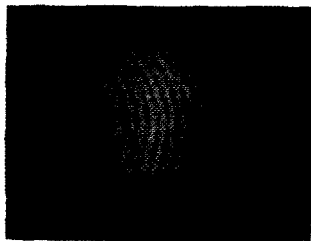
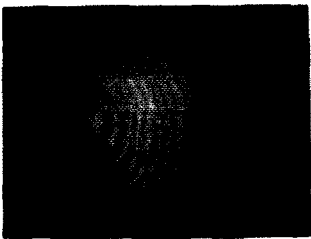


그림 4. 이진 위상 변조 실험을 위한 Mach-Zehnder 간섭계
 Fig. 4. Mach-zehnder interferometry for binary phase modulation.

액정 표시 소자에 '0'과 '1'로 된 테스트 패턴을 입력시켰을 경우, '0'인 정보에 의한 간섭 무늬와 '1'인 정보에 의한 간섭 무늬의 위상차가 π rad이 되어 간섭 무늬의 모양이 서로 엇갈리게 나타나며 동시에 '1'인 부분과 '0'인 부분의 빛의 세기가 동일하도록 편광자(polarizer), $\lambda/4$ 위상판, 검광자(analyzer), 액정 표시 소자의 휘도 조절기를 조합하여 조절함으로써 이진 위상 변조 조건을 구하였다. 사진 1은 이때의 간섭 무늬 패턴을 나타낸다.



(a) 입력이 '0'일 때



(b) 입력이 '0'과 '1'일 때

사 진 1. 이진 위상 변조 조건일 때 간섭 무늬 패턴
 Photo 1. Interference fringe pattern in binary phase modulation.

2. 광 상관기의 구성
 이진 결합 변환 상관기를 광학적으로 구현하기 위해서 공간 주파수 평면 P_3 에 공간 광 변조기인 액정 표시 소자를 설치하였다. 볼록 렌즈만으로 푸리에 변환을 할 경우 상관 출력 평면에서의 상관 신호는 액정 표시 소자의 격자 구조에 의한 Fraunhofer 회절 패턴과 액정 표시 소자의 입력 신호에 의한 회절 패턴을 분간해 낼 수 없다. 따라서 볼록 렌즈와 오목 렌즈를 조합하여 푸리에 변환을 해야 한다.

본 논문의 광 상관기 구성에 사용한 렌즈 L_1 과 L_2 의 초점 거리는 각각 $f_1=540\text{mm}$, $f_2=-150\text{mm}$ 이고, 렌즈 간격은 $d_1=40\text{cm}$, $d_2=221\text{cm}$ 가 된다. 그리고 LP_1 과 LP_2 는 편광자와 검광자이고, WP는 $\lambda/4$ 위상 지연판으로서 이진 위상 조건을 만족하도록 조절하였다.

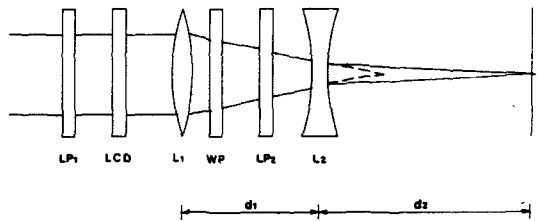


그림 5. 광 상관기 구성도
 Fig. 5. Schematic diagram of optical correlator.

위의 조건에서 순수한 액정 표시 소자의 격자 구조에 의한 회절 패턴을 사진 2에 나타내었으며 1차 회절광은 렌즈 조합의 결과로 중심의 0차 회절 광에서 상당히 떨어져 존재하게 된다.



사 진 2. 액정 표시 소자의 격자 패턴에 의한 fraunhofer 회절 패턴
 Photo 2. Fraunhofer diffraction pattern of the grid of LCD.

3. 상관 특성의 컴퓨터 시뮬레이션

시뮬레이션은 PC/AT와 matlab 소프트웨어를 사용하였고, 2-D FFT 해상도는 64×64로 하였다. 결합 변환 상관기와 이진 결합 변환 상관기의 상관 출력 특성을 비교하기 위하여 ECP SDF 기준 이미지를 이용한 동일 클래스 인식과 MOF SDF 기준 이미지를 이용한 클래스 판별로 나누었다.

첫째, 동일 클래스 패턴 인식인 경우, 대표적인 예로 ECP SDF 기준 이미지와 t_3 표본 학습 이미지와의 상관 출력 결과를 그림 6에 나타내었다.

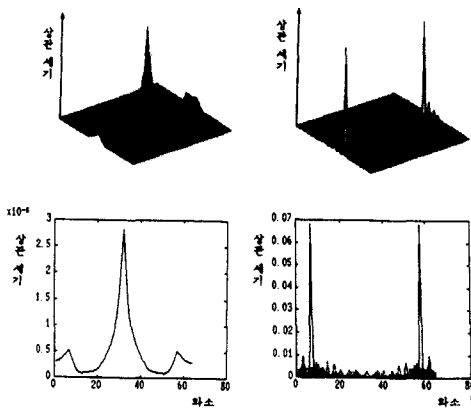


그림 6. 동일 클래스 패턴 인식의 상관 출력
Fig. 6. Correlation performance of class identification.

시뮬레이션을 통하여 얻은 결과를 정리하면 표 1과 같다.

표 1. 동일 클래스 패턴인식인 경우 JTC와 BJTC의 비교

Table 1. Comparison between JTC and BJTC in class identification.

상관 특성	Ro^2	PSR	SNR	FWHM	CW
JTC	1.55	0.94	8.55	(10, 19)	(12, 32)
BJTC	1.48×10^4	2.67	14.51	(1, 1)	(1, 2)
향상도(배)	9.55×10^3	2.84	1.70	14.50	14.70

여기서

Ro^2 : 상관 첨두치 세기

PSR: 상관 첨두치 세기와 최대 상관 부로브 세기

FWHM: 상관 세기가 상관 첨두치 세기의 1/2 이상 되는 지점이 점유하는 상관폭(full correlation width)

CW: 상관 첨두치 세기가 최소되는 지점까지의 상관폭

SNR: 상관 첨두치 진폭과 잡음 진폭의 rms 값

둘째, 클래스 판별 패턴 인식의 경우, 대표적인 예로 MOF SDF 기준 이미지와 false 클래스에 속하는 t_1 표본 학습 이미지간의 상관 출력 결과와 true 클래스에 속하는 t_3 표본 학습 이미지의 상관 출력 결과를 각각 그림 7, 그림 8에 나타내었다.

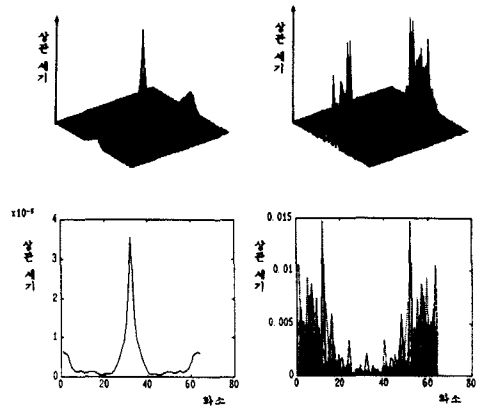


그림 7. False 클래스의 상관 출력
Fig. 7. Correlation performance of false class.

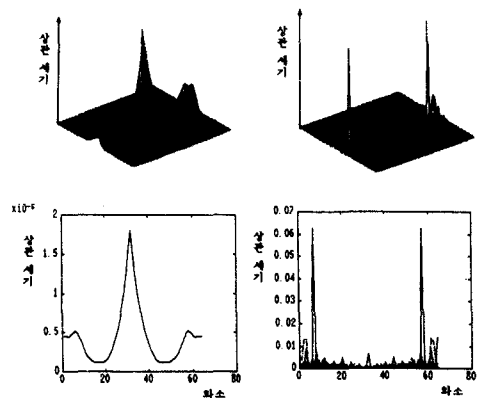


그림 8. True 클래스의 상관 출력
Fig. 8. Correlation performance of true class.

시뮬레이션을 통하여 구한 표본 학습 이미지의 상관 출력 특성은 표 2와 표 3과 같다. 여기서 t_1, t_2 는 false 클래스, t_3, t_4, t_5 는 true 클래스에 각각 속한다. 판별력($\Delta\%$)을 다음과 같이 정의할 때

$$\Delta\% = \frac{R_t^2 - R_f^2}{R_t^2} \times 100 \quad (9)$$

이진 결합 변환 상관기가 결합 변환 상관기보다 19.15% 크게 나타나, true와 false 클래스를 보다 잘 판별할 수 있다.

표 2. 클래스 판별에서 false 클래스 비교
Table 2. Comparison of false class in class discrimination.

상관 특성	R_f^2	PSR	SNR	FWHM	CW
JTC	1.32	0.35	9.79	(13, 14)	(21, 22)
BJTC	1.23×10^4	2.01	9.85	(2, 2)	(2, 2)
향상도(배)	9.35×10^2	5.74	1.01	6.75	10.75

표 3. 클래스 판별에서 true 클래스 비교
Table 3. Comparison of true class in class discrimination.

상관 특성	R_t^2	PSR	SNR	FWHM	CW
JTC	3.39	1.06	8.66	(7, 14)	(20, 24)
BJTC	4.53×10^4	4.56	18.15	(1, 2)	(1, 2)
향상도(배)	1.34×10^4	4.30	2.10	7.00	14.70

4. 광 패턴 인식 실험 및 결과 고찰

본 논문에서는 프로그램을 통한 제어, 데이터 해석, 특징 추출등의 디지털 처리가 갖는 장점과 고속성과 높은 병렬성 등의 광학적 처리가 갖는 장점을 혼합시켜 패턴 인식 시스템을 구성하였다.

실험에 사용한 광 패턴 인식 시스템의 구성도는 그림 9와 같다. 레이저의 출력광은 렌즈 L_1 과 L_2 편광 PH에 의해 평행광이 되어 액정 표시 소자 LCD에 조사되며 편광자 LP_1 과 $\lambda/4$ 위상판 WH, 검광자 LP_2 는 이진 위상 조건을 만족하도록 조절하였다.

기존 이미지와 표본 학습 이미지를 이용하여 만든 공간 주파수 평면의 빛의 세기 분포를 영상 취득기를 통하여 액정 표시 소자에 입력시키고 렌즈 L_3 와 L_4 에 의해 푸리에 변환되어 상관 패턴이 상관 평면에 나타나게 된다. 이때 상관평면에 놓여 있는 비디콘 카메라로 잡은 상관 패턴을 모니터 상에 보여준다.

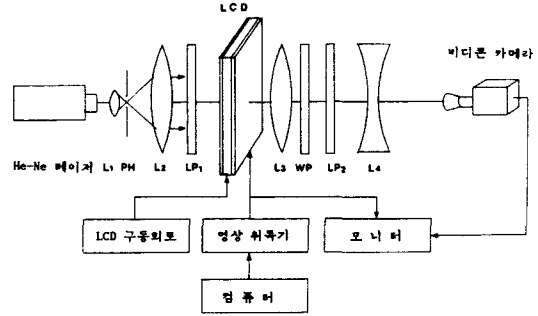


그림 9. 광 패턴 인식 시스템
Fig. 9. Optical pattern recognition system.

광원으로는 파장이 $0.6328\mu\text{m}$ 이고 출력 5.7 mW인 NEC사의 GLG 5700 He-Ne 레이저를 사용하였으며 공간 광 변조기로는 radio shack사의 16-156 액정 TV를 사용하였다. 상관 출력의 검출은 OPC사의 비디콘 카메라를 사용하였고, 표본 학습 이미지는 CCD 카메라로 받은 512×480 의 해상도를 갖는 이미지를 32×32 로 줄인 이미지이다. 또한 영상 취득기는 Imaging technology사의 ITEX PC-Plus를 사용하였다.

사진 3은 표본 학습 이미지($t_1 \sim t_5$)전체를 동일한 물체로 인식하는 동일 클래스 패턴 인식 결과이다. 중앙에는 액정 표시소자의 격자구조에 의한 0차 회절광이 존재하고 0차와 1차 회절광 사이에 첨예한 상관 첨두치가 나타났다.

사진 4는 클래스 판별을 위한 패턴 인식 실험을 한 결과로 얻어진 상관 출력 사진이다.

사진 4에서 (a)는 false 클래스 판별 결과이고 (b)는 true 클래스 판별결과로서 (a)에서는 상관 첨두치가 주변으로 번지거나 빛의 세기가 작아 첨예한 상관을 나타낸 (b)와 구별될 수 있다. 따라서 true 클래스와 false 클래스 간의 판별이 가능함을 알 수 있다.

실험 결과 나타난 상관 특성을 정량화하기 위하여 모니터에 나타난 상관 첨두치의 제조도 값을 비교하여 표 4에 나타내었다.

윗 표에서 true 클래스에 속하는 t_3, t_4, t_5 에 대한 상관 결과는 false 클래스보다 2배 크게 나타나므로 본 패턴 인식 시스템을 응용할 경우 true 클래스와 false 클래스의 광 검출기의 출력 전류는 2배 차이가 나므로 광 검출기를 상관 첨두 반응이 나타나는 위치에 정확히 맞추고 적절한 문턱값을 지정하면 클래스 판별이 가능하다. 또한 동일 클래스 인식인 경우 4.1~9.6% 오차 범위 내에서 상관 첨두

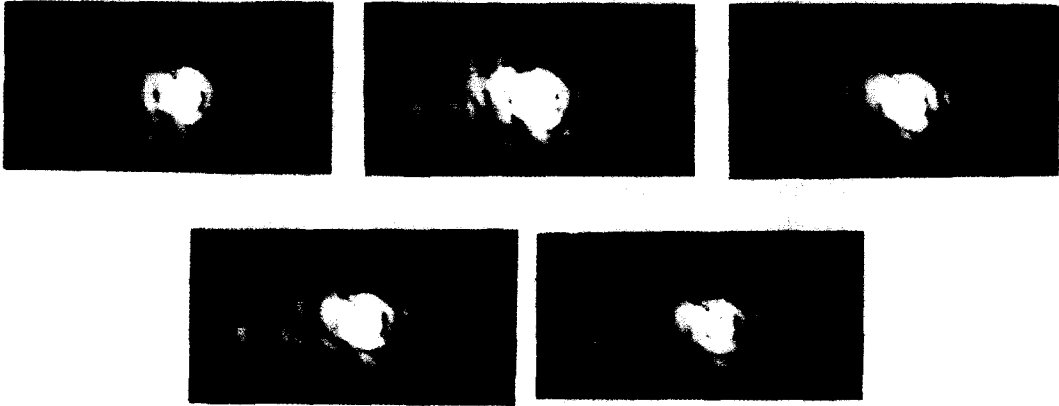
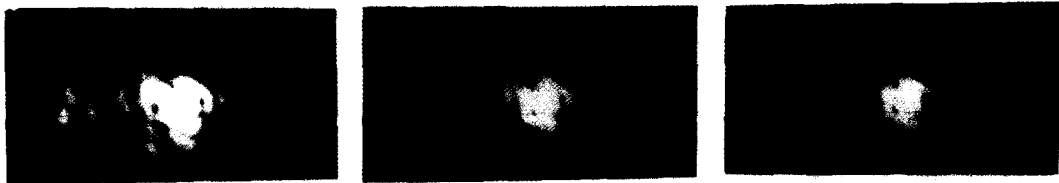


사진 3. 동일 클래스 인식 실험 결과
Photo 3. Experimental results of class identification.



(a) false 클래스 (t_1, t_2)



(b) true 클래스 (t_3, t_4, t_5)

사진 4. 클래스 판별 실험 결과
Photo 4. Experimental results of class discrimination.

표 4. 상관 첨두치 세기 측정 결과
Table 4. Gray level value measurement of correlation peak intensity.

입력	동일 클래스 인식	클래스 판별
t_1	120	66
t_2	140	94
t_3	154	143
t_4	160	204
t_5	155	129
평균	146 오차 4.1~9.6%	true : 159 false : 80

치 세기가 일정하게 유지되어 동일 클래스로 인식함을 알 수 있다. 여기서 오차는 평균 계조도 값에 대한 상대 오차이다.

IV. 결 론

본 논문에서는 광 패턴 인식을 위하여 고속성과 병렬성의 장점을 갖는 광상관기 구조와 프로그램에 의한 제어 특성을 갖는 디지털 처리 방식의 특징을 도입하여 광 패턴 인식을 하였다.

입력 이미지는 out-of-plane 상에서 회전된 5개의 이미지를 32×32 이 이진 데이터로 처리하여 사용하였

고, 기준 이미지는 입력 이미지를 중첩시켜 구하는 pSDF 공간 불변 필터 방식으로 구현하였으며, 광 상관기로는 이진 결합 변환 상관기를 이용하였다.

공간 광 변조기로 사용된 액정 표시 소자의 광 변조 특성을 실험하여 이진 변조 특성을 갖고 있음을 확인하였고, 액정 표시 소자의 격자 구조에 의한 회절 패턴과 기준 이미지와 입력 이미지에 대한 상관 패턴을 분리하기 위하여 렌즈 조합을 이용하였다.

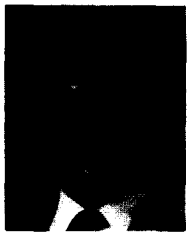
상관 특성에 대한 시뮬레이션 결과, 동일 클래스 인식인 경우, 이진 결합 변환 상관기가 결합 변환 상관기보다 상관 침두치 세기에서 9.55×10^3 배, 상관 침두치 세기대 부로브비는 2.84배, 신호대 잡음비는 1.70배, 상관폭은 14.5배 향상되었으며, 클래스 판별인 경우, true 클래스가 false 클래스보다 상관 침두치 세기에서 3.67배, 상관 침두치 세기대 부로브비는 2.27배, 신호대 잡음비는 1.84배, 상관폭은 2배 향상된 결과를 나타내었다.

이진 결합 변환 상관기를 이용하여 광학적 상관기를 구현하여 실험한 결과, 동일 클래스 인식인 경우에는 4.1~9.6%의 오차 범위 내에서 상관 침두치 세기가 일정하게 나타났으며, 클래스 판별인 경우 판별해야 할 두 클래스간의 상관 침두치 세기가 2배 차이가 나므로 문턱값을 적절하게 선정한 후 광 검출기를 상관 위치에 정확히 맞추면 효율적인 인식이 가능할 것이다.

參 考 文 獻

- [1] A. Vander Lugt, "Single detection by complex spatial filtering," *IEEE Trans. Inf. Theory*, vol. IT-10, pp. 139, 1964.
- [2] D. Casasent, "Optical data processing," Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, pp. 1978.
- [3] B. Javidi, "Comparison of binary joint transform correlators and phase-only matched filter correlator," *Opt. Eng.*, vol. 28, no. 3, pp. 267-272, 1989.
- [4] F.T.S. Yu, S. Jutamulia and D.A. Gregory, "Adaptive real-time pattern recognition using a liquid crystal TV based joint transform correlator," *Appl. Opt.*, vol. 26, no. 8, pp. 1370-1372, 1987.
- [5] B. Javidi and J.L. Horner, "Single spatial light modulator joint transform correlator," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 5, pp. 1027-1032, 1989.
- [6] B. Javidi and S.F. Odeh, "Multiple object identification by bipolar joint transform correlation," *Opt. Eng.*, vol. 27, no. 4, pp. 295-300, 1988.
- [7] F.T.S. Yu, F. Cheng and D.A. Gregory, "Effects of fringe binarization of multiobject joint transform correlation," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 15, pp. 2988-2990, 1989.
- [8] D. Casasent, "Unified synthetic discriminant function computational formulation," *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 10, pp. 1620-1627, 1984.
- [9] B. Javidi, "Synthetic discriminant function-based nonlinear optical correlator," *Appl. Opt.*, vol. 28, no. 13, pp. 2490-2495, 1989.
- [10] 전석희, "공간 광 변조기와 CGH를 이용한 광 패턴 인식 시스템에 관한 연구," 연세대학교, 박사 학위 논문, 1990

著 者 紹 介



鄭 倉 圭 (準會員)

1965年 6月 22日生. 1988年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1990年 8月 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 현재 연세대학교 전자공학과 연구조교, 주관심분야는 광 패턴인식, 광 신호처리 등임.

吉 相 瑾 (正會員) 第26卷 第8號 參照

현재 연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중



趙 東 來 (正會員)

1950年 9月 23日生. 1973年 2月 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사). 1979年 2月 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사). 현재~연세대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중. 주관심분야는 광 패턴인식, 적응신호처리, 초고주파 등임.

朴 漢 奎 (正會員) 第26卷 第8號 參照

현재 연세대학교 전자공학과 교수