

pSDF 와 비선형 상관기를 이용한 광패턴 인식에 관한 연구

정창규 · 임종태 · 김경태 · 박한규
연세대학교 전자공학과

(1990년 7월 2일 반음)

본 논문에서는 클래스 차별(interclass discrimination) 광패턴 인식을 위해 pSDF(projection synthetic discriminant function)를 기반으로 기준 이미지를 구현하고, 비선형 상관기인 이진위상필터(binary phase only filter) 합성법을 도입하여 실시간 입력

비선형 상관기의 공간 주파수 영역에서 이진위상필터(binary phase only filter) 합성법을 도입하여 실시간 입력이 가능한 액정 표시 소자(liquid crystal device)를 사용하였다.

광패턴 인식 실험 결과, 두 클래스간의 상관 침투차 세기가 2배 차이가 나서 판별 능력이 우수함을 알 수 있었다.

I. 서 론

광패턴 인식은 1964년 Vander Lugt⁽¹⁾가 빛의 코하이런트한 성질을 이용한 공간 정합 필터 제작방식을 제안함으로써 시작되었으며 비선형 상관기는 주파수 평면 상관기에 비해 광학적 구성이 간단하고 상관 침투차 세기가 크며 상관폭이 훨씬 작다.⁽²⁾

1987년 Yu⁽³⁾는 공간 주파수 평면에 공간 광변조기를 도입하여 실시간 처리를 하였으며 1989년 Javidi⁽⁴⁾는 이미지 배열을 통한 기준 이미지 선택으로 동일 클래스 인식(intraclass identification) 패턴 인식을 수행하였다.

본 논문에서는 기존의 주파수 평면 상관기의 필터 합성에 이용된 pSDF 필터 합성이론을 바탕으로 기준 이미지를 구현하였으며 광상관기의 주파수 평면에서의 이진화를 위해 이진위상필터 합성법을 이용하였다.

II. pSDF 와 비선형 상관기

1. pSDF 기준 이미지

비선형 상관기의 기준 이미지를 $h(x, y)$, 학습 이미지를 $t_n(x, y)$, 상관 출력을 u 라고 하면 상관관계식은 다음과 같이 주어진다.⁽⁶⁾

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

여기서 \otimes 는 상관(correlation)을 의미한다. 식 (1)

* 본 연구는 한국과학재단 레이저장비연구센터의 지원을
부분적으로 받아 수행되었습니다.

을 만족하는 기준 이미지를 기저함수(basis function) $\phi_m(x, y)$ 로 나타내면

$$h(x, y) = \sum_m a_m \phi_m(x, y) \quad (2)$$

$$\phi_m(x, y) = \sum_n b_{mn} t_n(x, y) \quad (3)$$

가 되고 식 (2)와 식 (3)으로부터 기준 이미지는

$$h(x, y) = \sum_m e_m t_m(x, y) \quad (4)$$

이다. 따라서 식 (1)은

$$\sum_m e_m r_{nm} = u \quad (5)$$

이고, 행렬-벡터 형태로 나타내면

$$\mathbf{R} \cdot \mathbf{E} = \mathbf{U} \quad (6)$$

$$\mathbf{U} = [0 \cdots 0; 1 \cdots 1]^T \quad (7)$$

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \cdots & r_{1m} \\ r_{21} & & \cdots & \vdots \\ \vdots & & & \vdots \\ r_{m1} & & \cdots & r_{mm} \end{bmatrix} \quad (8)$$

이 된다. 여기서 r_{mn} 은 m 번째 n 번째 학습 이미지간의 상관계수이고, \mathbf{U} 는 상관 출력 벡터로서 false 클래스에 대해서는 '0', true 클래스에 대해서는 '1'의 상관 출력을 나타낸다. 따라서 기중치 벡터 \mathbf{E} (원소 e_m)를 구하기 위해서는 상관 행렬의 역행렬과 상관 출력 벡터와의

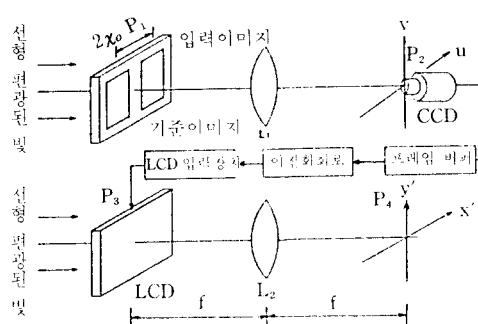


Fig. 1. Nonlinear correlator

곱으로 표현되고 pSDF 기준 이미지는 학습 이미지의 선형 조합으로 표현됨을 알 수 있다.

2. 비선형 상관기와 기준 이미지의 설계

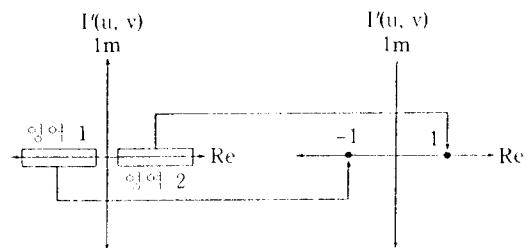
그림 1의 비선형 상관기의 입력 이미지 $s(x, y)$ 와 기준 이미지 $r(x, y)$ 는 P_1 평면의 공간 광변조기를 통하여 빛의 투과도가 1과 -1인 값으로 이진화되어 $2\chi_0$ 간격을 두고 놓여져 있을 때 주파수 평면 P_2 에 퓨리에 변환된 두 이미지의 간섭에 의한 빛의 세기 분포가 나타난다. 따라서 주파수 평면에 놓인 CCD 카메라는 빛의 세기에 상응한 출력신호를 발생한다.

본 논문에서는 주파수 평면에서의 이진화를 위해 기준 이미지 및 입력 이미지의 자기 상관함수를 제거한 다음 이진화 회로에 입력시켰다. 이 때 빛의 세기 분포는

$$\begin{aligned} I(u, v) &= R(u, v) S^*(u, v) \exp(-i \frac{2\pi}{\lambda f} 2\chi_0 u) \\ &\quad + R^*(u, v) S(u, v) \exp(+i \frac{2\pi}{\lambda f} 2\chi_0 u) \\ &= 2|R(u, v)| |S(u, v)| \cos[\phi_R(u, v) \\ &\quad - \phi_S(u, v) + i \frac{2\pi}{\lambda f} 2\chi_0 u] \end{aligned} \quad (9)$$

이 된다. 여기서 (u, v) 는 공간 주파수 좌표, $R(\cdot)$, $S(\cdot)$ 는 각각 입력신호 $r(x, y)$, $s(x, y)$ 의 퓨리에 변환함수, f 는 퓨리에 변환렌즈의 초점거리, λ 는 사용된 광의 파장이며, $*$ 는 공액 복소수를 의미한다.

이진위상필터 합성시 요구되는 필터 변조이론을 이용하여 이진화를 하면 이진화된 빛의 세기 분포 $I'(u, v)$ 는

Fig. 2. Nonlinear mapping from $I(u, v)$ to $I'(u, v)$

$$I'(u, v) = \begin{cases} 1 & \text{if } \operatorname{Re}(I(u, v)) > 0 \\ -1 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

로 정의되어, 양의 실수축 상의 값을 가지는 빛의 세기 분포 $I(u, v)$ 는 1, 음의 실수축 상의 값을 -1으로 대응시킬 수 있으며 따라서 주파수 영역에서의 비선형 매핑이 나타난다.

본 논문에서 사용된 표본학습 이미지들은 90°의 방위각을 갖는 비행 물체를 out-of-plane 상에서 좌우로 20°씩 회전시킨 이미지 5개의 이미지이며 32×32 의 해상도를 갖는다. 클래스 판별 패턴 인식을 위해 오른쪽으로 20°씩 회전된 2개의 이미지를 false 클래스(t_1, t_2)로, 왼쪽으로 20°씩 회전된 3개의 이미지를 true 클래스(t_3, t_4, t_5)로 정하였다. 또한, 0~255의 계조도(gray level)를 갖는 표본학습 이미지를 먼저 정규화한 다음 이 값의 히스토그램을 보기 순서대로 분류하여, 그 중앙값(median value)을 문턱값(threshold value)으로 하여 이진화된 표본학습 이미지를 구하면 그림 3과 같다.

5개의 표본학습 이미지 중 true 클래스는 '1', false 클래스는 '0'으로 상관 출력이 나오므로

$$U = [0 \ 0 \ 1 \ 1 \ 1]^T \quad (11)$$

이 된다. 따라서 식 (4)~식 (8)을 이용하여 가중치 벡터와 기준 이미지를 구한 후 1과 -1로 이진화하면 그림 4와 같다.

III. 광패턴 인식 시스템 구성 및 실험

1. 액정 표시 소자의 광변조 실험

이진위상변조 이후에 의하면 패턴이 ON 상태와 OFF 상태에서 두 출력광의 진폭은 같고 위상은 π radian의 훌수배가 되어야 한다. 본 논문에서는 Radio Shack사의 Realistic Model 16-156 액정 TV를 이진위상변조기로 이용하기 위하여 Mach-Zehnder 간섭계를 구성하

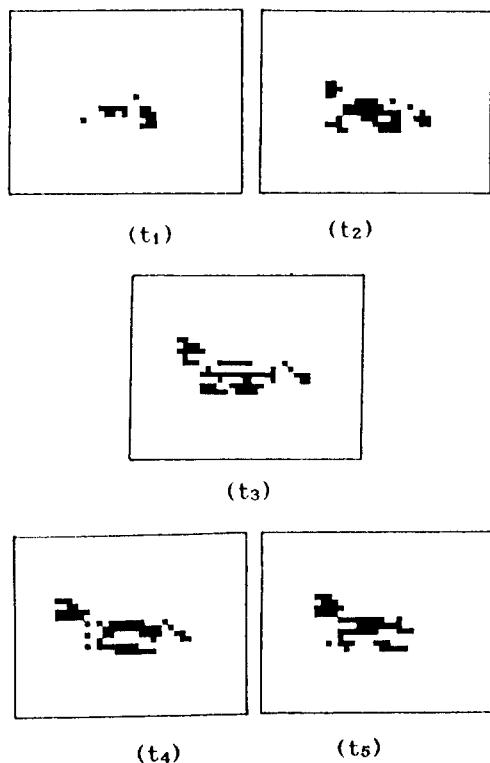


Fig. 3. Binarized training images

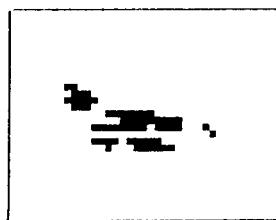


Fig. 4. Reference image

였다.

실험결과 액정 TV에 '0'과 '1'로된 테스트 이미지를 입력시켰을 경우, 그림 5와 같이 '0'인 정보에 의한 간섭무늬와 '1'인 정보에 의한 간섭무늬의 위상차가 π radian의 홀수배가 되어 간섭무늬의 모양이 엇갈리게 나타났으며, '0'인 부분과 '1'인 부분의 빛의 세기가 거의 동일하게 되었다.

2. 광패턴 인식 실험 및 결과 고찰

광패턴 인식 시스템의 구성도는 그림 6과 같다. 레이저(5.7 mW He-Ne)의 출력광은 렌즈 L_2 와 핀홀 PH에



Fig. 5. Interference fringe pattern in binary phase modulation

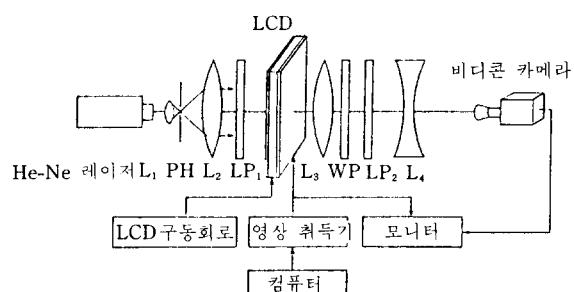


Fig. 6. Optical pattern recognition system

의해 평행광이 되어 액정 표시 소자 LCD에 조사되며 편광자 LP_1 과 $\lambda/4$ 위상판 WH, 검광자 LP_2 는 이진 위상 변조조건을 만족하도록 조절하였다. 빛의 세기 분포는 영상 취득기를 통하여 액정표시소자에 입력되고 렌즈 L_3 와 L_4 에 의해 퓨리에 변환되어 상관 패턴이 상관 평면에 나타나며 상관 평면에 놓여 있는 비디콘 카메라를 이용 모니터상에 보여준다. 여기서 L_3 와 L_4 의 초점거리는 각각 54 cm, -15 cm이며 L_3 만의 퓨리에 변환인 경우 LCD의 격자 패턴 중 0 차와 1 차 회절광의 간격이 좁아 그 사이에 존재하게 될 상관항과의 구별이 어려우므로 초점거리가 긴 렌즈를 사용하여 0 차와 1 차 회절광의 간격을 넓혀야 한다. 따라서 L_3 와 L_4 를 조합하여 초점거리가 긴 렌즈와 동일한 기능을 갖도록 하였다.

그림 7은 클래스 판별을 위한 패턴 인식 실험결과 얻은 상관 출력으로서 (a)는 false 클래스 결과이고 (b)는 true 클래스인 경우이다. 각 그림 상단에 나타난 실선은 사용한 비디콘 카메라의 photo-cell의 손상으로 인한 결과이다. 상관 특성을 조사하기 위하여 모니터에 나타난 상관 패턴의 상관 침두치의 계조도값을 비교하여 표 1에

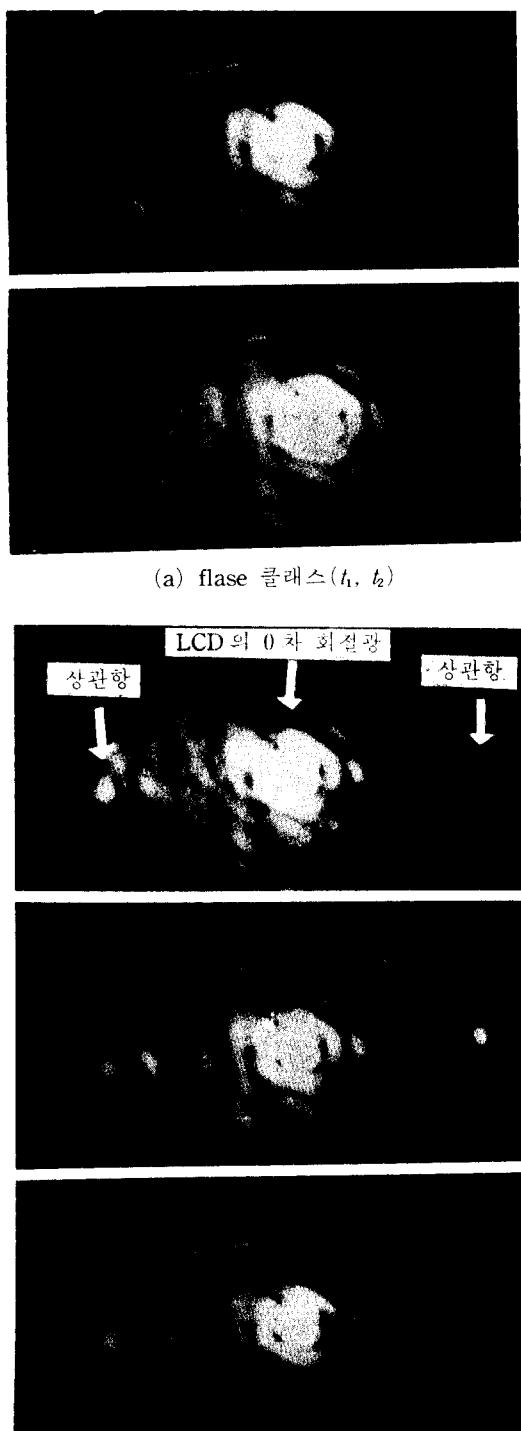


Fig. 7. Experimental results for interclass discrimination

Table 1. Gray level value of correlation peak intensity

입 력		계조도 값
false 클래스	t_1	66
	t_2	94
true 클래스	t_3	143
	t_4	204
	t_5	129
평 균		true: 159 false: 80

나타내었다.

윗 표에서 true 클래스에 대한 상관 첨두치 세기는 false 클래스보다 2배 크게 나타났다. 그러므로 본 패턴 인식 시스템을 응용할 경우, true 클래스와 false 클래스의 광검출기의 출력 전류는 2배 차이가 나므로 광 검출기를 상관 첨두 반응이 나타나는 위치에 정확히 맞추고 적절한 문턱값을 지정하면 클래스 판별이 가능하다.

IV. 결 론

본 논문에서는 광학적 처리방식의 고속성, 병렬성의 장점과 디지털 처리방식이 갖는 프로그램에 의한 제어 특성을 혼합하여 광패턴 인식을 수행하였다. 공간 광변조기로 사용된 액정표시소자의 광변조 특성을 실험하여 이진 위상변조특성을 가지고 있음을 확인하였고, 비선형 상관기를 이용하여 광패턴 인식 실험을 한 결과 판별해야 할 두 클래스간의 상관 첨두치 세기가 2배 차이가 나므로 문턱값을 적절히 설정한 후 광검출기를 상관 위치에 정확히 맞추면 효율적인 인식이 가능할 것이다.

본 논문에서 사용한 광패턴 인식 시스템은 자동생산 검사나 자료 검색 등의 패턴 인식 시스템에 응용되리라 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] L. A. Vander Lugt, IEEE Trans. on Inf. Theory **IT-10**, 139 (1964).
- [2] D. Casasent, Optical Data Processing (Springer-Verlag, Berlin Heidelberg, 1978).
- [3] F. T. S. Yu, S. Jutamulia and D. A. Gregory, Appl. Opt. **28**, 1370 (1987).
- [4] B. Javidi and S. F. Odeh, Opt. Eng. **27**, 295 (1988).
- [5] F. T. S. Yu, F. Cheng and D. A. Gregory, Appl. Opt., **28**, 2988 (1989).
- [6] D. Casasent, Appl. Opt. **23**, 1620 (1984).

- [7] B. Javidi, *Appl. Opt.* **28**, 2490 (1989).
- [8] 전석희, 박사학위논문, 연세대학교, 서울, p.35 (1990).
- [9] 정창수, 김남수, 조동래, 박찬규, *한국통신학회논문지*, **15**, 678(1990).

A Study on the Optical Pattern Recognition using pSDF and Nonlinear Correlator

Chang Kyoo Jung, Jong Tae Ihm, Kyung Tae Kim and Han Kyu Park

Department of Electronic Engineering Yonsei University

(Received: July 2, 1990)

In this paper, pSDF-based reference image is realized. Using BJTC(binary joint transform correlator) as nonlinear correlator, optical pattern recognition for interclass discrimination is performed. Experimental results show that correlation peak intensity of one class is two times higher than that of the other class, which indicates its superiority in discrimination sensitivity.