

패턴인식을 위한 Off-Axis SDF Filter

Off-Axis SDF Filter for Pattern Classification

임종태, 육종관, 김명수, 박한규

연세대학교 전자공학과

본 논문에서는 off-axis 평면 기준파의 각분할(angular multiflexing) 방식과 pseudo-inverse 알고리즘에 의한 SDF 필터를 결합하여 상관기를 구성하고 상관면에서의 상관반응을 관측하여, off-axis SDF 필터가 유행분류에 유용함을 입증하고, 공상관계도의 적용가능성을 보여주고자 한다.

I. 서 론

지금까지 크기(scale), 천이(translation), in-plane 회전, out-of-plane 회전등의 변형된 입력에 대한 상관면에서의 SNR의 급격한 저하 문제를 해결하기 위한 많은 연구가 진행되어 왔다. 즉, 공간 좌표기법을 이용한 Fourier-Mellin 변환, CHF(circular harmonic filter), 모멘트를 이용한 특징 벡터 추출 방법, SDF(synthetic discriminant function) 등의 알고리즘을 이용한 상관기를 대표적인 예로 들 수 있다. 이들 중에서 SDF 정합 필터는 표본학습(training) 입력 패턴으로 부터 그들의 선형 조합의 합으로 구할 수 있으며 서로 다른 클래스에 속해 있는 이미지간의 판별이나 동일 클래스 내의 변형된 입력 패턴을 인식 할 수 있다.

본 논문에서는 SDF의 여러 형태 중에서 pSDF(projection SDF)를 pseudo-inverse 알고리즘을 이용하여 구하고 여기에 기준 평면파를 캐리어로 사용하여 상관값을 공간적으로 분리하는 off-axis SDF를 위상필터(phase only filter) 형태로 구성한다.

II. Off-axis SDF 필터

표본 학습 이미지(training image)를 길이 N 의 열벡터(column vector)인 $X_j^{(i)}$ 로 나타 내기보 하자.

여기서, $i=1, 2, \dots, K$ 는 이미지 클래스를, K 는 전체 클래스의 갯수를 나타낸다. 또한 $j=1, 2, \dots, M_i$ 는 표본 이미지를 M_i 은 i 번째 클래스 내의 표본 이미지 갯수를 의미한다. 이때 모든 표본 학습 이미지들은

$(N \times (\sum_{i=1}^K M_i))$ 의 행렬 W 로 나타낼 수 있다. 즉

$$W = \{X_1^{(1)} \dots X_{M_1}^{(1)}, X_1^{(2)} \dots X_{M_2}^{(2)}, \dots, X_1^{(k)} \dots X_{M_k}^{(k)}\} \quad (1)$$

이다. 표본 학습 이미지 간의 상관행렬 R_{IM} 은

$$R_{IM} = W^T \cdot W \quad (2)$$

으로 표시되며, 각 클래스가 M 개의 표본 학습 이미지를 가진 K -클래스인 경우에 표본 학습 이미지의 데이터 베이스 W 는 $(N \times KM)$ 의 행렬로 나타나고 $(K \times KM)$ 의 직교 행렬 U 를

$$U = \begin{bmatrix} [1]_M & 0 & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & [1]_M & \dots & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \dots & \dots & 0 & \dots & [1]_M \end{bmatrix} \quad (3)$$

(여기서 $[1]_M$ 은 M 개의 요소로 구성된 단위 행 벡터(unity row vector) 를 의미함) 로 정의할 때 구하고자 하는 $(K \times K)$ 의 선형 변환(linear transformation) 행렬 S 는 다음의 식

$$S \cdot W = U \quad (4)$$

를 만족해야 한다.

따라서, $KM < N$ 인 underdetermined 인 경우에 pseudo-inverse 알고리즘에 의해 구하고자 하는 선형 변환 행렬 S 는

$$S = U \cdot R_{KM}^{-1} \cdot W^T \quad (5)$$

로 주어진다. 즉 길이 N 의 행 벡터 $S_i, i = 1, 2, \dots, K$ 를 이용하여

$$S = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \vdots \\ S_K \end{bmatrix}$$

로 나타 낸다면

K 개의 클러스터에 대해서 K 개의 선형 변환 벡터를 얻을 수 있다.

한편 전형적인 홀로그래피 방식에 의한 Vander Lugt 형태의 정합 필터는 식(6)의 전달함수

$$S(u,v) = A^2 + S(u,v) \cdot 2 + AS(u,v) \exp[j2\pi(au+bv)] + AS^*(u,v) \exp[-j2\pi(au+bv)] \quad (6)$$

를 만족하며 (이때 $S(u,v) = \mathcal{F}\{S(x,y)\}$ 이며 $A \exp[-j2\pi(au+bv)]$ 는 off-axis 기준파이다.) 전달 함수

의 수가 지나치게 크지 않은 한은 다중 노출 방식과 기존 빔의 각 분할(angular multiflexing) 방식에 의하여 다수의 전달 함수 $S_i(u,v)$ 를 결합할 수 있다. 즉

$$S(u,v) = \sum_{i=1}^k S_i(u,v) \cdot \exp[j2\pi(au + b_i v)] \quad (8)$$

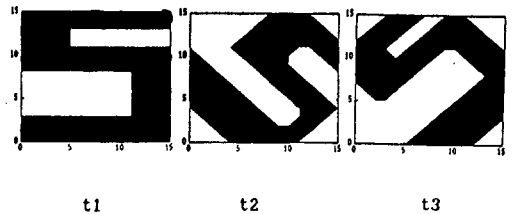
로 나타낼 수 있으며 식(8)에서 a_i 와 b_i 는 1번째 평면 기준파의 방향 코사인(directional cosine) 을 의미한다.

따라서, a_i 와 b_i 의 적절한 선택에 의하여 상관면(correlation plane)에서 원하는 클러스터의 상관 침투치를 분리해낼 수 있다.

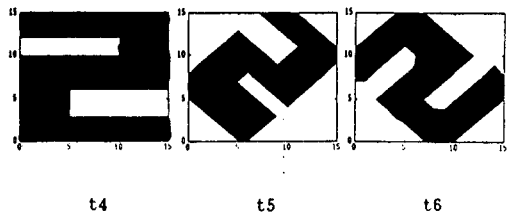
III. 컴퓨터 시뮬레이션

본 논문에서 사용한 표본 학습 이미지는 (16×16) 의 이진 데이터 형태를 지니며 각 클러스터는 3개의 이미지로 구성되어 있다. (그림 1)은 4 종류의 학습 이미지클러스터를 나타낸다.

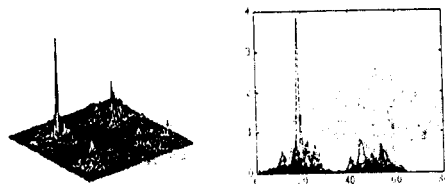
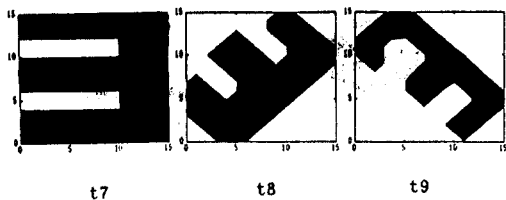
(a) 클러스터 1



(b) 클러스터 2

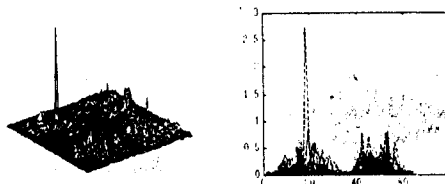
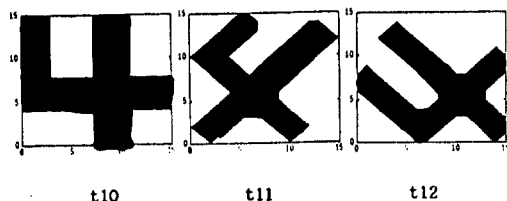


(c) 클래스 3



(b) 이미지 t2에 대한 필터의 상관반응

(d) 클래스 4

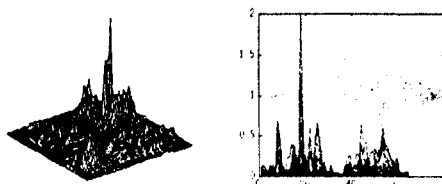


(c) 이미지 t3에 대한 필터의 상관반응

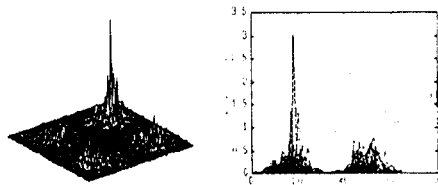
그림 1. 표본 학습 이미지

식(5)와 식(8)에 의하여 구해진 off-axis SDF filter 는 (64X64)의 pixel로 구성된 위상 필터로 변환되며, 클래스 1은 상관면의 (16,16), 클래스 2는 (48,16), 클래스 3은 (48,16), 클래스 4는 (48,48)에서 상관 점두치를 나타내도록 설계되었다.

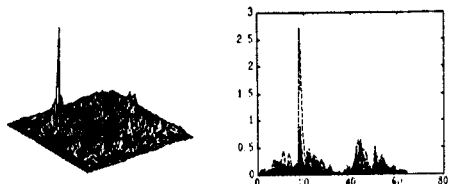
(그림 2)는 표본 학습 이미지에 대한 상관면에서의 상관 점두치를 나타낸다.



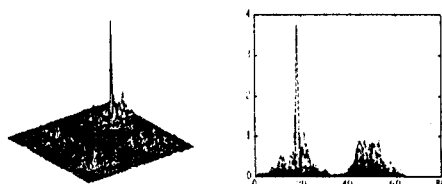
(d) 이미지 t4에 대한 필터의 상관반응



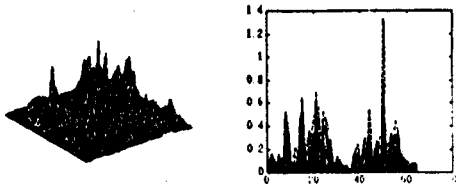
(e) 이미지 t5에 대한 필터의 상관반응



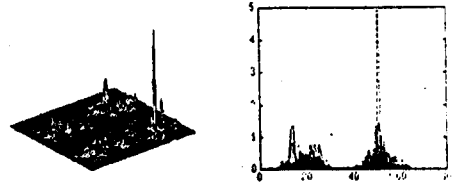
(a) 이미지 t1에 대한 필터의 상관반응



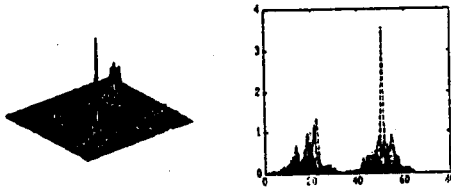
(f) 이미지 t6에 대한 필터의 상관반응



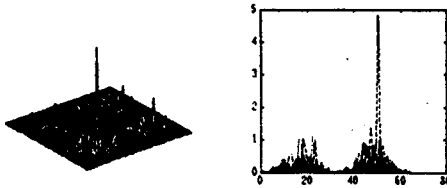
(g) 이미지 t7에 대한 필터의 상관반응



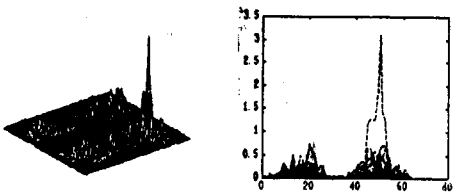
(i) 이미지 t12에 대한 필터의 상관반응



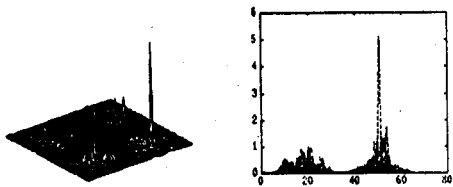
(h) 이미지 t8에 대한 필터의 상관반응



(l) 이미지 t9에 대한 필터의 상관반응



(j) 이미지 t10에 대한 필터의 상관반응



(k) 이미지 t11에 대한 필터의 상관반응

그림 2. 학습 이미지에 대한 상관면에서의 Off-Axis SDF 필터의 상관 반응

IV. 결 론

본 논문에서는 off-axis 평면 기준파의 각 분할 (angular multiflexing) 방식과 pseudo-inverse 알고리즘에 의한 SDF 필터를 구성하고 상관면에서의 상관 반응을 관찰하였다.

컴퓨터 시뮬레이션 결과 각 클래스의 학습 이미지에 대해 상관면의 원하는 지점에서 상관 첨두치가 분리되어 나타남을 볼 수 있었다. 따라서 본 논문에서 구성된 off-axis SDF 필터는 유형 분류에 유용하며, BPOF(binary phase only filter)나 QPOF(quad POE) 등의 필터 변조에 의해 광 상관기초의 적용이 가능함을 알 수 있다.

V. 참고문헌

1. Xian-Yu Su, Guan-shen Zhang and Lu-Rong Guo, Opt. Eng. Vol.26, No.6, 520 (1987)
2. Q. Tian, Y. Fainman, Z.H. Gu, and Sing H. Lee, J. Opt. Soc. Am. A, Vol. 5, No. 10, 1655 (1988)
3. Qing Tang, Erwin Jager, and Theo Tschudi, Opt. Eng., Vol. 29, No. 11, 1421 (1990)
4. 임종태, 정상규, 김경태, 박한규, 한국광학회지 Vol. 1, No. 2, 130 (1990)