

論文97-34D-6-9

## 음악기보 인식을 위한 다중필터의 설계 및 유사판별 성능분석

## (Design of Optimal Multiplexed Filter and an Analysis on the Similar Discrimination for Music Notations Recognition)

尹 鎮 善 \*, 金 男 \*

(Jin Seon Yeun and Nam Kim)

## 요 약

본 논문에서는 크기와 모양 및 위치 등이 다양하고 유사한 패턴이 다수인 음악기보의 패턴들을 광 패턴인식 시스템을 이용하여 인식하기 위해, SA(simulated annealing) 최적화기법을 이용하여 출력 평면의 원하는 위치에 상관결과가 출력되도록 하는 인식 및 판별용 다중필터(SA-multiplexed filter)를 설계하였다. 즉, 음악기보를 크기 및 회전 변형시켜 학습 과정을 거친후 하나의 필터로써 동일한 클래스로 인식하고, 유사한 클래스를 함께 학습시켜 상이한 클래스로 분류해 낼 수 있는 특성을 갖는다. 또한, 패턴의 변형에 따른 최적필터의 유사판별 특성의 성능을 분석하기 위해, SA 최적화기법을 이용하여 원하는 위치에 판별 결과가 출력되도록 하고, 높은 광 회절 효율과 첨예한 세기의 빔을 발생시키는 필터를 설계하였다. 시뮬레이션 확인결과, 기존의 POF, Cosine-BPOF와 비교하여 원 패턴과의 상이율이 정량적으로 0.1% 인 패턴에 대해서도 확연히 판별될 수 있음을 알 수 있었다.

## Abstract

In this paper, SA-multiplexed filter is designed using SA(simulated annealing) to recognize music notation patterns varying in size, shape, position and having considerably many similar shapes for optical pattern recognition system. This filter has correlation result at wanted location and can identify same class, classify similar class for scale-variant or rotation-variant music notation patterns having learning process. Also, the optimum filter is oriented to analyze on the similar discrimination performance according to the gradual variation of pixel values. This filter makes discrimination result at acquired position using SA and enhances optical diffractive efficiency as well as peak beam intensity. Compared with POF(phase only filter), Cosine-BPOF(cosine-binary phase only filter), that has excellent discrimination capability even if the different rate is 0.1% quantitatively.

## I. 서 론

음악기보 인식(music notation recognition)은 두가지 분야에서 다루어지는 문제이다. 즉, 패턴 인식 분야와 지식 표현(knowledge representation)<sup>[1]</sup> 분야에

서 다루어지는 것으로서, 음악기보의 복잡성때문에 자동 인식 작업은 상당히 어렵다. 두 분야의 상호작용은 인식 시스템 설계의 단순화(unify), 인식률(recognition rate)의 개선, 인식 신뢰도(recognition confidence)의 증대, 획득 지식(acquired knowledge)의 보전성 점검에서 잇점을 준다.<sup>[2,3]</sup>

\* 正會員, 忠北大學校 情報通信工學科

(Dept. of Computer &amp; Comm. Eng., Chungbuk Nat'l Univ.)

接受日字:1996年10月24日, 수정완료일:1997年5月27日

지식 표현 분야는 AI(artificial intelligence) 시스템의 문제를 다루는 과정에서 지식이 표현되어야만 하므로 이에 관한 연구를 수행하는 분야로서, 음악기보 패

턴들의 인식은 두가지 엔티티들 즉, 지식 레벨(facts)과 심볼 레벨(representation of the facts)로 구성되어 수행되어진다. 사실상, 음악기보는 기호들(symbols) 사이에 기하학적인 관계가 기호들 자체와는 비교될 수 있다는 점에서 2차 언어(two dimensional language)이다.<sup>[2,3]</sup>

패턴 인식 분야는 주어진 데이터와 추출된 특징으로부터 원하는 목적물이나 신호의 존재를 확인(identification) 및 분류(classification)를 하는 분야로써, 군사적 및 산업적인 분야 등 그 응용범위가 날로 확대되고 있다. 특히, 광 패턴인식(optical pattern recognition)에 대한 연구는 1964년 VanderLugt<sup>[4]</sup>가 코히어런트 광원을 이용하여 광진폭과 위상정보를 동시에 기록한 전형적인 공간정합 필터 제작방식을 제시함으로써 시작되었고, 여러가지 시도들이 활발히 진행되어 왔다.

그러나, 기존의 필터 알고리즘들은 유사패턴이나 입력의 천이(translation), 크기(scale)의 변화, 회전 등의 변형된 패턴에 대하여 인식 및 판별 능력이 떨어질 뿐만 아니라 상관 출력의 신호대 잡음비가 현저하게 떨어지는 단점을 지니고 있어 실시간의 응용에 많은 제약을 받아 왔고, 이러한 문제점들을 개선하기 위한 연구가 많이 진행되고 있다.

본 논문에서는 공간 평면에서 푸리에 변환한 입력 패턴과 푸리에 평면에 위치한 필터가 상관을 일으켜 출력 평면에 상관 패턴이 나타나도록 구성되는 광 패턴인식 시스템을 이용하여 음악기보의 패턴들을 인식하는 문제를 다루고자 한다. 음악기보의 패턴들은 크기와 모양 및 위치 등이 다양하고 유사한 패턴이 다수이므로, 기존의 전형적인 정합 필터나 POF(phase only filter) 및 Cosine-BPOF(cosine-binary phase only filter)를 이용한 광상관에 의한 인식 및 유사한 패턴의 판별은 이루어지기 힘들다. 따라서, SA 최적화기법<sup>[5]</sup>을 이용하여 출력 평면의 원하는 위치에 상관결과가 출력되도록 하는 다중필터(SA-multiplexed filter)를 구성하여 인식 및 판별용 필터를 설계하고자 한다.

## II. 최적화 기법 및 패턴 인식용 필터의 설계

광학적으로 패턴의 상관을 수행하는 장치로는 푸리에 상관기가 있다. 푸리에 상관기를 이용하기 위해서는 전형적인 정합 필터(classical matched filter:CMF)<sup>[4]</sup>

의 변형을 토대로 한 홀로그래프를 필요로 한다. 예를 들면 POF(phase only filter)<sup>[6]</sup>, 순환 고조파 필터(circular harmonic filter:CHF)<sup>[7]</sup>, composite filter, SDFs(synthetic discrimination filters)<sup>[8,9]</sup>, Flavin과 Horner가 제안한 AEBPOF(amplitude encoded binary phase only filter)<sup>[10]</sup> 등이 있다.

영상  $f(x, y)$ 은 우함수(even part)와 기함수(odd part)의 합

$$f(x, y) = f_e(x, y) + f_o(x, y) \quad (1)$$

으로 표현될 수 있다. 여기서,

$$\begin{aligned} f_e(x, y) &= 0.5f(x, y) + 0.5f(-x, -y), \\ f_o(x, y) &= 0.5f(x, y) - 0.5f(-x, -y) \end{aligned} \quad (2)$$

이고, 각각의 푸리에 변환(FT)은

$$\begin{aligned} FT[f_e(x, y)] &= Re\{FT[f(x, y)]\} = F_R(\mu, \nu), \\ FT[f_o(x, y)] &= Im\{FT[f(x, y)]\} = F_I(\mu, \nu) \end{aligned} \quad (3)$$

이 성립된다. 그러므로,

$$\begin{aligned} FT[f(x, y)] &= FT[f_e(x, y)] + FT[f_o(x, y)] \\ &= F_R(\mu, \nu) + jF_I(\mu, \nu) \end{aligned} \quad (4)$$

이다. 여기서, 상관에 이용되는 필터를  $H(\mu, \nu)$ 라 하면, 여러가지 형태로 만들어질 수 있으며 그 중에서, POF는

$$H_{po}(\mu, \nu) = \frac{F(\mu, \nu)}{|F(\mu, \nu)|} \quad (5)$$

로서, 복소 함수에 해당하므로 필터 매질의 비선형적 특성으로 인해 연속 위상 정보를 정확히 기록하기가 매우 어려울 뿐만 아니라 광학적인 제어가 어렵다. 또한, Cosine-BPOF는

$$H_{bpo}(\mu, \nu) = \begin{cases} +1.0 & F_R(\mu, \nu) > 0 \\ -1.0 & elsewhere \end{cases} \quad (6)$$

로서, d. c. 성분으로 인해 상관출력평면에 central 간섭을 발생함으로써 역상이 나타나 광효율을 떨어뜨리는 단점을 지닌다. 따라서, 본 논문에서는 POF나 Cosine-BPOF가 갖는 단점을 제거하기 위하여, 위상을 8 단계 즉, 0°, 45°, 90°, 135°, 180°, 225°, 270°, 315°로 나누어 기록하였고, 출력평면의 원하는 위치에

공간적으로 분리되어 상관결과가 나타나도록 하는 다중필터(multiplexed filter)에 SA(simulated annealing) 최적화기법을 적용한 128×128 화소의 SA-multiplexed filter를 설계한후, 기존의 필터와 비교하여 성능을 분석하고자 한다.

최적화 기법은 수치적 함수의 최적화, 컴퓨터 통신망의 최적 설계와 같은 이공학 분야, 환률 변화 예측과 같은 경제학 분야, 사회현상 분석과 같은 사회학 분야 등 각 분야에 있어서 큰 역할을 하고 있다. 주로 정적인 최적화문제를 취급하므로 주어진 비용함수를 최소 또는 최대로 하는 해를 찾기 위한 여러가지 방법들이 연구되어 왔다. 그 예로서 최급강하법, Fletcher-Powell법, 1차원 탐색법, Rosenbrock법 등이 있고, 신경망 알고리즘들 중의 하나인 SA 기법<sup>[11,12]</sup>이 있다.

1983년 Kirkpatrick 등이 제안한 SA 최적화기법은 통계적 메카니즘을 이용한 것으로<sup>[13]</sup>, 방문 판매원 문제(traveling salesmen problem)와 같은 조합 최적화(combinatorial optimization) 문제의 해결을 위하여 최초로 최적화에 적용된 이래로 영상 복원 등의 많은 분야에서 응용되어 왔다.<sup>[4,14]</sup> 특히, 광 패턴인식 시스템의 경우 multimodal형 즉, 국부 최소치가 여러개 존재하므로 SA 최적화기법이 유용하게 쓰이고 있다. 본 논문에서는 SA 최적화기법을 이용하여 최적화 과정에서 종종 발생하는 지역 최소점에 트래핑(trapping)되는 문제점을 해결하여 비용함수(cost function)의 전역적 최소점으로서의 수렴이 가능하도록 하였다.

최적화하는 문제에서 입력 패턴과 필터와의 상관에 의해 기록되는 상관출력평면의 비용함수로서 에너지 함수를 설정할 수 있다. 학습패턴을  $j$  개라고 하고,  $j$  번째 학습 패턴과 필터에 대한 상관값을  $C_j$ 라 정의하면, 에너지 함수  $E_j$ 는

$$E_j = [Target - C_j]^2 \quad (7)$$

이 성립한다. 여기서, Target 은  $E_j$ 를 최소로 하기 위한 목표값을 나타내며, 인식하고자 하는 동종 클래스의 패턴에 대해서는 '1' 이상의 값으로, 판별되어야 할 상이 클래스의 패턴에 대해서는 '0' 으로 설정되었다. 따라서 각 학습 패턴에 대한 전체 에너지  $E_i$ 는

$$E_i = \sum_{j=1}^J E_j, \quad J: \text{학습 패턴의 수} \quad (8)$$

이 된다. 여기서  $E_i$ 가 실수값을 취하고 유한집합  $S$

상에서 정의된다고 할 때,  $E_i$ 를 최소로 하는  $S$ 의 원소를 탐색하는 것이 최적화 문제이다.  $E_i$ 가 최소값  $E_{\min}$ 을 갖게 되는  $S$ 의 원소 집합을

$$S_o \equiv \{ x \mid E_i(x) = E_{\min} \},$$

$$E_{\min} \equiv \min \{ E_i(x) \mid x \in S \} \quad (9)$$

라고 할 때 다음과 같이 주어지는 확률분포  $q_o(x)$ 를  $E_i$ 의 최적분포라 한다.

$$q_o(x) \equiv \begin{cases} \frac{1}{n(S_o)} & x \in S_o \\ 0 & elsewhere \end{cases} \quad (10)$$

여기서  $n(S_o)$ 는 집합  $S_o$ 의 원소 수이다. 즉, 식 (10)은 에너지 함수를 최소로 하는 상태가 확률 1로서 발생한다는 것으로, 만약 이 분포에 따르는 난수를 발생시킬 수만 있다면  $E_i$ 의 최소값을 확률 1로 구할 수 있다는 것을 의미한다. 그러나  $S_o$ 의 집합은 미지의 집합이므로 바로 최적분포를 구할 수 없기 때문에, 마르코프 연쇄(Markov chain)의 상태분포를 가능한 최적분포에 유사하도록 접근시키는 방법을 생각할 수 있다. 이를 위하여 유한집합  $S$ 상의 확률 분포를 볼츠만(Boltzmann) 분포(또는 깁스(Gibbs) 분포)의 수정된 형태로 가정할 때, 상태전이확률  $P(\Delta E)$ 는 다음과 같다.

$$P(\Delta E) = \frac{1}{1 + \exp(\Delta E/T)} \quad (11)$$

여기서  $T$ 는 온도이고,  $\Delta E$ 는 에너지 차로써, 온도  $T$ 를 잘 조정하여 줄여가면 볼츠만 분포를 최적분포로 근사시킬 수 있다. 즉, 임의의 확률 상태분포에서 출발하여 볼츠만 기계를 충분한 횟수만큼 반복시키면 최적분포로 수렴하기 때문에 충분히 큰 확률로서 에너지 함수를 최소로 하는 상태에 도달할 수 있음을 의미한다. 이것이 바로 SA의 기본 전략에 해당한다.

본 논문에서는 온도  $T$ 를  $10^{-2}$ 에서  $10^{-7}$ 로 낮추어 가며 100회 반복실행하여 최적화 과정을 수행하였다. 그러나, SA를 이용한 최적화 기법은 많은 처리 시간이 요구되므로 실시간 처리의 문제에는 적용이 곤란하게 된다. 그러므로 실시간 처리가 필요한 경우에도 적용이 가능한 알고리즘의 지속적인 연구가 필요하며, 계산 시간에 크게 제약받지 않고 정밀한 최소치가 요구되는 경우에 적용이 가능하다.

### Ⅲ. 패턴의 변형에 따른 최적필터의 유사 판별 특성

원 패턴(origin)과 유사한 패턴의 판별 특성을 조사하기 위해 판별용 필터는 128×128 화소로 구성하였고, 전역 최소치로 최적화시키기 위해 SA 최적화기법을 이용하여 원하는 위치(32, 96)에 판별 결과가 출력되도록 설계하였으며, 높은 광 회절 효율과 첨예한 세기의 빔을 발생시키는 다위상 필터(SA-multi phase only filter : SA-MPOF)를 8 단계의 위상으로 구성하였다.

학습패턴은 32 × 32 화소로 설계하였고, 원 패턴(origin)과 유사한 패턴들을 구성하여 설계된 필터와 상관을 일으켜 출력 평면에 나타난 결과를 이용하여 유사패턴에 대한 판별 특성을 다른 필터들과 비교하여 분석하였다. 원 패턴으로는 문자 'A'를 적용하였고, 유사 패턴들의 변형은 6 화소 내지 12 화소씩 변화시켰으며, 원 패턴과 다른 정도를 백분율로 표시하면 원 패턴은 0.00%, SIM\_6은 0.15%, SIM\_12은 0.29%, SIM\_24은 0.59%, SIM\_36은 0.88%, SIM\_48은 1.17%, SIM\_60은 1.46%로 나타낼 수 있다. 본 논문에서는 설계된 필터에 대하여 원 패턴과 유사 패턴간의 판별 정도를 표현하기 위해 판별계수(discrimination coefficient)  $PR$  을 사용하였다.

$$PR = \frac{\text{유사 패턴과 해당 필터와의 최대 상관 첨두치}}{\text{원 패턴과 해당 필터와의 최대 상관 첨두치}} \quad (12)$$

여기서, 판별계수  $PR$  값이 '0'에 근접할수록 필터는 우수한 판별 특성을 나타내는 것이고,  $PR$  값이 '1'에 근접할수록 판별 능력이 없음을 나타낸다.

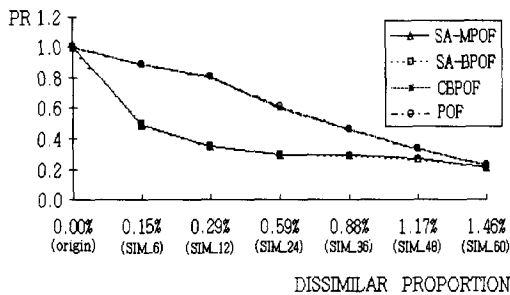


그림 1. 유사 패턴들에 대한 각 필터의 판별특성  
Fig. 1. Discrimination characteristics for similar images and each filter.

그림 1은 유사하지 않은 정도를 백분율로 표시한 패턴들에 대하여 SA 기법을 이용하여 설계된 다위상 필터(SA-MPOF)와 이진위상 필터(SA-BPOF), 그리고 SA 기법이 이용되지 않은 POF와 Cosine-BPOF를 각각 적용하여 상관을 일으켜 각 필터의 판별력을 비교하여 특성을 나타낸 결과이다. SA 기법이 이용되지 않은 POF와 Cosine-BPOF가 필터로 각각 적용되었을 경우,  $PR$  값이 거의 같게 출력되었으며, 유사 패턴 SIM\_6, SIM\_12, SIM\_24는  $PR$  값이 '0.5' 이상으로 판별이 거의 불가능이나, 유사 패턴 SIM\_36, SIM\_48, SIM\_60, SIM\_72는  $PR$  값이 '0.5' 이하로 떨어짐으로써 원 패턴과는 다른 패턴으로 판별이 가능하였다. 즉, 기존의 POF와 Cosine-BPOF는 원 패턴과 적어도 정량적으로 0.8% 상이한 패턴이어야 정확하게 판별이 가능함을 알 수 있다. 그러나 SA 기법을 이용하여 학습된 SA-MPOF와 SA-BPOF가 필터로 각각 적용되었을 경우는 정량적으로 0.1% 정도 원 패턴과 상이한 유사 패턴에 대해서도  $PR$  값이 '0.5' 이하로 떨어짐으로써 확연히 원 패턴과 분리되어 판별될 수 있음을 알 수 있다.

표 1. 각 필터에 대한 최대 상관 첨두치  
Table 1. Correlation peak values for each filters.

(UNIT : 10<sup>9</sup>)

IMAGE \ FILTER	SA-MPOF	SA-BPOF	CBPOF	POF
origin	7.214	2.898	6.651	16.56
SIM_6	3.531	1.435	5.918	14.70
SIM_12	2.533	1.034	5.363	13.36
SIM_24	2.126	0.853	4.008	10.07
SIM_36	2.119	0.836	3.106	7.808
SIM_48	1.949	0.757	2.218	5.523
SIM_60	1.560	0.614	1.519	3.804

표 1은 원 패턴 및 유사 패턴들과 각각의 필터에 대한 최대 상관 첨두치를 비교한 것으로, SA-MPOF는 역상이 제거됨으로써 SA-BPOF에 비해 약 2.5배의 상관 첨두치를 나타내었으므로 SA 기법이 동일하게 적용된 필터의 경우, 2 단계의 위상을 사용한 필터보다 8 단계의 위상을 사용한 필터가 더 첨예한 상관 첨두치의 세기를 나타내었고, 공간대역폭곱(spatial-bandwidth product : SBWP)을 2배로 증가시킴을 확인할 수 있었다.

#### IV. 음악기보 인식을 위한 다중필터의 설계 및 분석

##### 1. 다중필터의 학습 과정

크기와 모양 및 위치 등이 다양하고 유사한 패턴이 다수인 음악기보의 패턴들을 광 패턴인식 시스템을 이용하여 인식하기 위해 높은 광 회절효율과 침예한 세기의 빔을 발생시키는 SA-multiplexed filter를 8 단계의 위상으로 구성하였다. 인식 및 판별용 다중필터는 128×128 화소로 구성하였으며, 최적화 기법을 이용하여 입력패턴과 필터와의 상관이 출력 평면의 원하는 위치에 공간적으로 분리되어 나타나도록 다중으로 학습시켜 필터를 설계하였다.

상관출력평면 A(96, 30)위치에서는 원형 클래스 1 'cla1' 을, B(96, 60)위치에서는 클래스 1의 회전변형된 패턴들 'cla1\_ro\_1', 'cla1\_ro\_2' 을, C(96, 90)위치에서는 클래스 1의 크기변형된 패턴들 'cla1\_sc\_1', 'cla1\_sc\_2' 을 인식시켰다. 상관출력평면 A'(32, 30) 위치에서는 원형 클래스 2 'cla2' 를, B'(32, 60)위치에서는 클래스 2의 회전변형된 패턴들 'cla2\_ro\_1', 'cla2\_ro\_2' 을, C'(32, 90)위치에서는 클래스 2의 크기변형된 패턴들 'cla2\_sc\_1', 'cla2\_sc\_2' 을, 클래스 1과는 다른 상이클래스로 판별되도록 다중으로 학습시켰다. 클래스 1과 클래스 2의 학습패턴들은 32 × 32 화소로 구성하였고, 원형클래스 1과 원형클래스 2의 상이율은 0.22 % 로서, 4096 pixels 중 9 pixels 만이 다른 유사클래스이다.

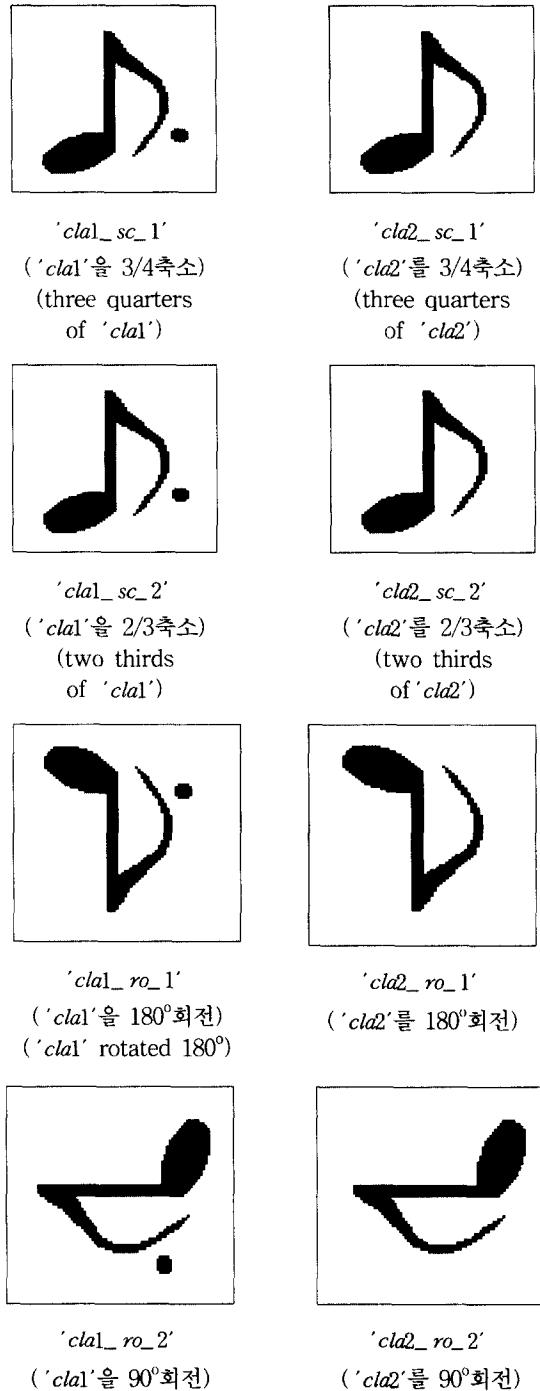
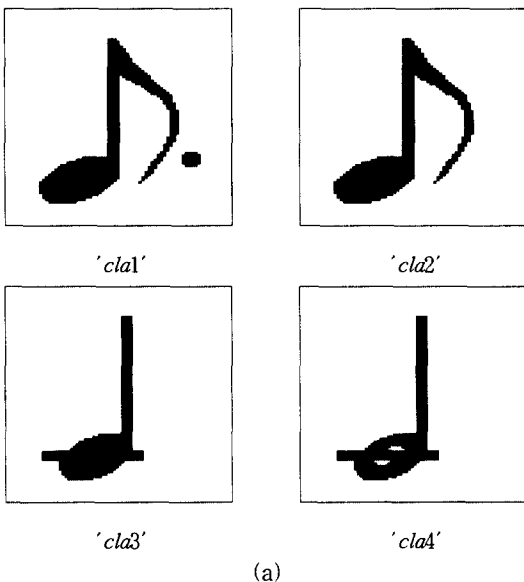


그림 2. 학습영상으로 사용된 패턴들  
 (a) 원형의 패턴들 (b) 크기변형된 패턴들 (c) 회전변형된 패턴들  
 Fig. 2. Learning patterns.  
 (a) original patterns (b) scale-variant patterns (c) rotation-variant patterns

학습패턴으로 사용된 원형 클래스 1 'cla1' 과 원형 클래스 2 'cla2' 는 그림 2(a)에 나타내었고, 클래스 1 과 클래스 2의 크기변형된 패턴들은 그림 2(b)에, 클래스 1과 클래스 2의 회전변형된 패턴들은 그림 2(c)에 나타내었다.

클래스 1 패턴과 유사한 클래스 2 패턴간의 판별 척도를 나타내기 위해 상관판별계수 R 을 사용하였다.

$$R = \frac{OCCP - SCCP}{OCCP} \quad (13)$$

여기서, OCCP 는 원형클래스(original class)에 대한 상관 첨두치(correlation peak value)이고, SCCP 는 유사 클래스(similar class)에 대한 상관 첨두치로서, 하나의 상관평면에서 출력되는 첨두치들이다. 상관판별계수 R 값이 '1'에 가까울수록 필터의 판별 특성은 우수한 것으로 간주될 수 있다.

설계된 인식 및 판별용 다중필터의 특성을 기존의 필터와 비교하기 위해 POF를 다음과 같이 구성하였다. 상관출력평면 A(96, 30)에는 원형 클래스 1 'cla1' 을, B(96, 60)에는 클래스 1의 회전변형된 패턴 'cla1\_ro\_1' 을, C(96, 90)에는 클래스 1의 크기변형된 패턴 'cla1\_sc\_1' 을 위치시켰다. 상관출력평면 A'(32, 30)에는 원형 클래스 2 'cla2' 를, B'(32, 60)에는 클래스 2의 회전변형된 패턴 'cla2\_ro\_1' 을, C'(32, 90)에는 클래스 2의 크기변형된 패턴 'cla2\_sc\_1' 을 위치시켜 구성하였다.

2. 크기변형된 패턴의 인식결과 및 유사 클래스의 판별결과

클래스 1의 크기변형된 패턴들 'cla1\_sc\_1' , 'cla1\_sc\_2' 을 입력패턴으로 하고 SA-multiplexed filter 와 상관을 일으킨 결과, 클래스 1로 인식되어 C(96, 90)위치에 상관첨두치가 출력되었고 클래스 2와는 확실히 판별되었다. 또한 클래스 2의 크기변형된 패턴들 'cla2\_sc\_1' , 'cla2\_sc\_2' 을 입력패턴으로 하고 SA-multiplexed filter와 상관을 일으킨 결과도 마찬가지로, 클래스 2로 인식되어 C'(32, 90)위치에 상관첨두치가 출력되었고 클래스 1과는 상이 클래스로 판별되었다. 그러나 기존의 POF와 상관을 일으킨 결과, 원형 클래스 1 'cla1' 은 A(96, 30)에, 클래스 1의 크기변형된 패턴 'cla1\_sc\_1' 은 C(96, 90)에 위치시켰으므로, 'cla1' 과 'cla1\_sc\_1' 이 입력패턴일 경우는 클래스 1로 인식이 되나, 'cla1\_sc\_2' 이 입력패턴으로 사용된

경우는 인식이 되지 않았다. 또한, 원형 클래스 2 'cla2' 와 'cla2\_sc\_1' 이 입력패턴일 경우, 클래스 1과 판별이 되지 않았고, 'cla2\_sc\_2' 이 입력패턴으로 사용된 경우는 인식이 불가능하였다. 따라서, SA 기법을 이용하여 학습을 거친 SA-multiplexed filter의 인식 및 판별특성은 크기변형된 패턴에 대해서 인식능력이 우수하였고, 유사 클래스의 판별능력도 뛰어난을 알 수 있다.

3. 회전변형된 패턴의 인식결과 및 유사 클래스의 판별결과

클래스 1의 회전변형된 패턴들 'cla1\_ro\_1' , 'cla1\_ro\_2' 을 입력패턴으로 하고 SA-multiplexed filter 와 상관을 일으킨 결과, 클래스 1로 인식되어 B(96, 60)위치에 상관첨두치가 출력되었고 클래스 2와는 판별되었다. 또한 클래스 2의 회전변형된 패턴들 'cla2\_ro\_1' , 'cla2\_ro\_2' 을 입력패턴으로 하고 SA-multiplexed filter와 상관을 일으킨 결과도 마찬가지로, 클래스 2로 인식되어 B'(32, 60)위치에 상관첨두치가 출력되었고 클래스 1과는 상이 클래스로 판별되었다.

표 2. 각 필터에 대한 OCCP 와 SCCP 및 상관 판별계수 R

Table 2. OCCP and SCCP , correlation discrimination parameter R for each filters

(OCCP 와 SCCP 의 단위 : ×108)

입력 패턴	SA-multiplexed filter			POF		
	OCCP	SCCP	R	OCCP	SCCP	R
'cla1'	4.858	1.675	0.6552	20.95	6.908	0.6660
'cla1_sc_1'	4.582	1.951	0.5743	10.76	3.172	0.7051
'cla1_sc_2'	4.422	1.785	0.5964	인식불능		
'cla1_ro_1'	4.804	1.733	0.6393	19.98	6.376	0.6808
'cla1_ro_2'	4.829	1.759	0.6357	인식불능		
'cla2'	4.788	1.633	0.6589	11.78	12.02	-0.0201
'cla2_sc_1'	4.382	1.881	0.5707	5.760	5.721	0.0067
'cla2_sc_2'	4.230	1.877	0.5563	인식불능		
'cla2_ro_1'	4.674	1.713	0.6334	10.92	11.32	-0.0360
'cla2_ro_2'	4.699	1.697	0.6387	인식불능		

OCCP : correlation peak value of original class  
 SCCP : correlation peak value of similar class  
 R : correlation discrimination parameter

그러나 기존의 POF와 상관을 일으킨 결과, 클래스 1의 회전변형된 패턴 'cla1\_ro\_1'은 B(96, 60)에 위치시켰으므로, 'cla1\_ro\_1'이 입력패턴일 경우는 클래스 1로 인식이 되나, 'cla1\_ro\_2'이 입력패턴일 경우는 인식이 되지 않았다. 또한, 클래스 2의 회전변형된 패턴 'cla2\_ro\_1'이 입력패턴일 경우, 클래스 1과 판별이 되지 않았고, 'cla2\_ro\_2'이 입력패턴으로 사용된 경우는 인식이 불가능하였다. 따라서, SA-multiplexed filter의 인식 및 판별특성은 SA 기법을 이용하여 학습 과정을 거치므로 회전변형된 패턴에 대해서 인식능력이 우수하였고, 유사 클래스의 판별능력도 뛰어난을 알 수 있다.

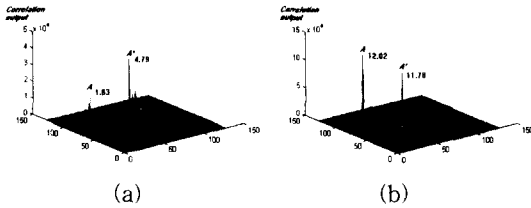


그림 3. 입력패턴 'cla2'와의 인식 결과  
(a) SA-multiplexed filter의 경우 (b) POF의 경우

Fig. 3. Correlation outputs for input pattern 'cla2' and  
(a) SA-multiplexed filter (b) POF

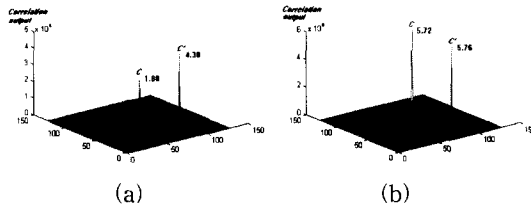


그림 4. 크기변형된 입력패턴 'cla2\_sc\_1'와의 인식 결과  
(a) SA-multiplexed filter의 경우 (b) POF의 경우

Fig. 4. Correlation outputs for scale-variented input pattern 'cla2\_sc\_1' and (a) SA-multiplexed filter (b) POF

표 2는 각 필터에 대한 OCCP와 SCCP 및 상관 판별계수 R을 나타낸 결과이다. 설계된 인식 및 판별용 필터(SA-multiplexed filter)의 경우, 상관첨두치들이 첨예하게 출력되었고, 상관첨두치들의 절대편차의 평균은 '0.178'로서 극히 적다. 또한, 상관판별계수 R이 '0.556' 이상이므로 판별특성이 우수함을 알 수 있다.

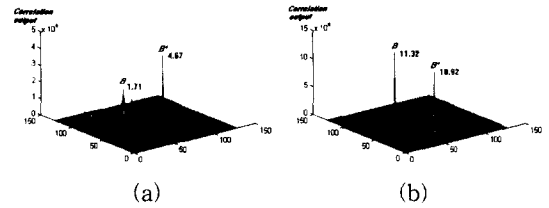


그림 5. 회전변형된 입력패턴 'cla2\_ro\_1'와의 인식 결과  
(a) SA-multiplexed filter의 경우 (b) POF의 경우

Fig. 5. Correlation outputs for rotation-variented input pattern 'cla2\_ro\_1' and (a) SA-multiplexed filter (b) POF

그림 3(a)와 (b)는 원형 클래스 2 'cla2'를 입력패턴으로 하고, SA-multiplexed filter와 POF를 각각 적용하였을 때 출력평면에서의 상관결과로서, 설계된 SA-multiplexed filter를 적용하면 OCCP가  $4.79 \times 10^8$ 이고, SCCP가  $1.63 \times 10^8$ 으로 출력되어 클래스 2의 인식 및 클래스간 판별이 가능하나, POF를 적용하면 OCCP가  $11.78 \times 10^8$ 이고, SCCP가  $12.02 \times 10^8$ 으로 거의 같은 값으로 출력되어 클래스 판별이 불가능하였다. 그림 4(a)와 (b)는 클래스 2의 크기변형된 패턴 'cla2\_sc\_1'을 입력패턴으로 하였을 때의 상관결과로서, SA-multiplexed filter를 적용하면 OCCP가  $4.38 \times 10^8$ 이고, SCCP가  $1.88 \times 10^8$ 으로 출력되어 클래스 2의 크기변형된 패턴으로 인식 및 클래스간 판별이 가능하나, POF를 적용하면 OCCP가  $5.76 \times 10^8$ 이고, SCCP가  $5.72 \times 10^8$ 로서 거의 같은 값으로 출력되어 클래스 판별이 되지 않았다. 또한, 그림 5(a)와 (b)는 클래스 2의 회전변형된 패턴 'cla2\_ro\_1'을 입력패턴으로 하였을 때의 상관결과로서, SA-multiplexed filter를 적용하면 OCCP가  $4.67 \times 10^8$ 이고, SCCP가  $1.71 \times 10^8$ 으로 출력되어 클래스 2의 회전변형된 패턴으로 인식 및 클래스간 판별이 되었으나, POF가 적용되면 OCCP가  $10.92 \times 10^8$ 이고, SCCP가  $11.32 \times 10^8$ 로서 거의 같은 값으로 출력되어 클래스 판별이 되지 않음을 알 수 있다.

4. 클래스 수의 증가에 따른 인식 및 판별결과  
광 패턴인식 시스템을 이용하여 음악기보를 인식하는 과정에서, 클래스 수의 증가에 따른 상관특성을 비교 분석하기 위해,  $128 \times 128$  화소로 구성된 SA-multiplexed filter를 설계하였다. 즉, 1)절 - 3)절에서

설계된 다중필터는 클래스의 수를 2개의 클래스로 하여 학습과정을 거친 반면, 본 절에서 설계된 필터는 4개의 클래스를 학습시켜 구성함으로써, 보다 많은 양의 입력영상을 동일 클래스로 인식 및 상이 클래스를 판별해낼 수 있는 학습능력을 갖는 필터를 설계하여 특성을 POF와 비교한다.

상관출력평면  $D(96, 20)$ 위치에서는 'cla1' 을,  $E(96, 50)$ 위치에서는 클래스 1의 회전변형된 패턴들 'cla1\_ro\_1', 'cla1\_ro\_2' 을,  $F(96, 80)$ 위치에서는 클래스 1의 크기변형된 패턴들 'cla1\_sc\_1', 'cla1\_sc\_2' 을,  $G(96, 110)$ 위치에서는 원형 클래스 3 'cla3' 를 인식시켰다. 또한, 상관출력평면  $D'(32, 20)$ 위치에서는 'cla2' 를,  $E'(32, 50)$ 위치에서는 클래스 2의 회전변형된 패턴들 'cla2\_ro\_1', 'cla2\_ro\_2' 을,  $F'(32, 80)$  위치에서는 클래스 2의 크기변형된 패턴들 'cla2\_sc\_1', 'cla2\_sc\_2' 을,  $G'(32, 110)$ 위치에서는 원형 클래스 4 'cla4' 를 학습시켰다. 원형 클래스 3과 원형 클래스 4의 학습패턴들은 각각  $32 \times 32$  화소로 구성하였고, 그림 2(a)에 원형 클래스 3 'cla3' 과 원형 클래스 4 'cla4' 를 나타내었다.

설계된 인식 및 판별용 다중필터의 특성을 비교분석하기 위해 POF를 다음과 같이 구성하였다. 상관출력평면  $D(96, 20)$ 에는 'cla1' 을,  $E(96, 50)$ 에는 'cla1\_ro\_1' 을,  $F(96, 80)$ 에는 'cla1\_sc\_1' 을,  $G(96, 110)$ 에는 'cla3' 를 위치시켰다. 또한, 상관출력평면  $D'(32, 20)$ 에는 'cla2' 를,  $E'(32, 50)$ 에는 'cla2\_ro\_1' 을,  $F'(32, 80)$ 에는 'cla2\_sc\_1' 을,  $G'(32, 110)$ 에는 'cla4' 를 위치시켜 구성하였다.

시뮬레이션 결과 출력된 OCCP와 SCCP 및 R을 표 3에 나타내었다. SA-multiplexed filter의 경우, 1) 절 - 3)절에서 설계된 SA-multiplexed filter보다 상관첨두치들이 약 0.77-0.9배로 더 낮게 출력되었으나, 상관첨두치들의 절대편차의 평균은 '0.156' 으로서 극히 적다. 또한, 상관판별계수 R이 '0.57' 이상으로 클래스 1과 클래스 2의 변형된 입력영상에 대하여 인식능력이 우수할 뿐만 아니라 클래스 1, 클래스 2, 클래스 3, 클래스 4에 대한 각각의 판별특성이 우수함을 알 수 있다. 즉, 표 2와 비교하여 볼 때, 하나의 필터에 대하여 학습개수가 증가할수록 상관첨두치가 더 낮아지고 부엽은 증가하지만, 입력 영상이 주어질 경우 그 영상의 클래스가 명확히 판별되고 공간적인 정확한 위치에 상관결과가 출력됨으로써 인식 및 판별 성능이 우

수함을 알 수 있었다.

표 3. 각 필터에 대한 OCCP와 SCCP 및 상관 판별계수 R

Table 3. OCCP and SCCP, correlation discrimination parameter R for each filters.

(OCCP와 SCCP의 단위:  $\times 108$ )

입력 패턴	SA-multiplexed filter			POF		
	OCCP	SCCP	R	OCCP	SCCP	R
'cla1'	3.90	1.55	0.60	14.9	5.52	0.63
'cla1_sc_1'	3.95	1.29	0.67	16.7	6.66	0.60
'cla1_sc_2'	4.00	1.32	0.67	인식불능		
'cla1_ro_1'	3.73	1.49	0.60	6.76	2.33	0.66
'cla1_ro_2'	3.71	1.50	0.60	인식불능		
'cla3'	4.23	0.91	0.79	11.5	1.92	0.83
'cla2'	3.81	1.56	0.59	8.72	8.89	-0.02
'cla2_sc_1'	3.90	1.25	0.68	10.1	10.2	-0.01
'cla2_sc_2'	3.81	1.54	0.59	인식불능		
'cla2_ro_1'	3.56	1.52	0.57	3.69	4.07	-0.10
'cla2_ro_2'	3.61	1.54	0.57	인식불능		
'cla4'	4.12	1.08	0.73	7.64	2.20	0.71

## V. 결론

음악기보 패턴들의 인식 및 판별 특성을 알아보기 위하여, 상관출력평면에 공간적으로 분리되어 나타나도록 다중으로 학습시켜 인식 및 판별용 필터(SA-multiplexed filter)를 설계하여 클래스의 상이율이 0.22%인 패턴에 대한 클래스 판별결과, 상관첨두치들의 절대편차의 평균은 '0.178' 로서 극히 적게 출력되었고, 상관판별계수 R이 '0.556' 이상이므로 뛰어난 인식 및 판별특성을 나타내었다.

또한, 클래스 수를 증가하여 시뮬레이션한 결과, 상관첨두치가 더 낮아지고 부엽이 증가하지만, 주어진 입력 영상에 대하여 공간적인 정확한 위치에서 클래스가 판별 출력되어 뛰어난 인식 및 판별 성능을 보임을 알 수 있었다.

극소의 변형에 따른 최적필터의 유사 판별 특성의 성능을 분석하기 위해, SA 최적화기법을 이용하여 학습된 다위상 필터(SA-MPOF)와 이진위상 필터(SA-



BPOF)를 적용하여 판별력을 비교한 결과, 정량적으로 0.1% 상이한 패턴에 대해서도 판별될 수 있음을 알 수 있었다. 특히, SA-MPOF는 SA-BPOF에 비해 약 2.5배의 상관 첨두치를 나타내었고 더 높은 광효율을 출력하였으므로 극소의 변형을 갖는 유사패턴에 대하여 더 우수한 상관특성을 나타내었다. 그러나, 기존의 POF나 Cosine-BPOF가 적용되었을 경우, 원 패턴과 적어도 정량적으로 0.8% 상이한 패턴이어야 정확하게 판별이 가능하였다.

본 논문은 잡음의 영향을 고려하지 않은 상태(noise-free)에서 음악기보 패턴들에 대하여 128 x 128 화소를 갖는 필터를 설계하여 광 패턴인식 시스템을 이용하여 인식 및 판별에 관한 성능을 분석하였다. 따라서, 실제 광 패턴인식 시스템에서 완벽한 noise-free 상태는 불가능하므로 실용되기 위해서는 잡음 레벨과 판별력 간에 절충(trade-off)을 고려하여 설계되어야 한다.

#### 참 고 문 헌

- [1] R. Evans and G. Gazdar, "DATR : A Language for lexical knowledge representation," *Computational Linguistics*, vol. 22, no. 2, pp. 167-216, 1996.
- [2] W. Homenda, "Optical pattern recognition for printed music notation," *SPIE*, vol. 2490, pp. 230-239, 1995.
- [3] 윤진선, 김남, 서호형, 이일항, 전석희, "음악기보 패턴인식을 위한 다중필터의 설계," 제13회 광학 및 양자전자 학술 발표회 논문요약집, p. 20, 1996
- [4] A. Vander Lugt, "Signal detection by complex spatial filtering," *IEEE Trans. on Information Theory*, vol. 10, pp. 139-145, 1964.
- [5] L. Davis, Genetic algorithms and simulated annealing, Morgan Kaufmann Publishers, pp. 8-11, 1987.
- [6] J. L. Horner and P. D. Gianino, "Phase-only matched filtering," *Appl. Opt.*, vol. 23, pp. 812-816, 1984.
- [7] H. H. Arsenault and Y. Sheng, "Properties of the circular harmonic expansion for rotation-invariant pattern recognition," *Appl. Opt.*, vol. 25, no. 18, pp. 3225-3229, 1986.
- [8] C. D. Hendrix and B. V. K. Vijaya Kumar, "A comparative evaluation of binary phase-only synthetic discriminant function filters," *SPIE*, vol. 2237, pp. 102-113, 1994.
- [9] D. Casasent, "Unified synthetic discriminant function computational formulation," *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 10, pp. 1620-1627, 1984.
- [10] M. A. Flavin and J. L. Horner, "Amplitude encoded phase-only filters," *Appl. Opt.*, vol. 28, pp. 1692-1696, 1989.
- [11] A. Khan and P. K. Rajan, "Design of SLM-constrained MACE filter using simulated annealing optimization," *SPIE*, vol. 1959, pp. 284-289, 1993.
- [12] 최창운, 이태홍, "시물레이티드 어닐링 기법을 이용한 정칙화 영상 복원," 한국통신학회논문지, vol. 20, no. 2, pp. 433-447, 1995
- [13] S. Kirkpatrick, C. D. Gelatt, Jr. and M. P. Vecchi, "Optimization by simulated annealing," *Science*, 220, p. 671, 1983.
- [14] J. S. Yeun, Y. S. Lee, N. Kim, S. H. Kim, J. U. Um, R. S. Kim, "Multi phase only filter design by simulated annealing algorithm in similar pattern recognition," *SPIE*, vol. 2778, pp. 535-536, 1996.
- [15] S. Chang, P. Gagne and H. H. Arsenault, "Optical intensity filters for pattern recognition," *Journal of Modern Optics*, vol. 42, no. 10, pp. 2041-2050, 1995.
- [16] B. Javidi and A. Fazlollahi, "Performance of the optimum receiver designed for pattern recognition with non overlapping target and scene noise," *SPIE*, vol. 2490, pp. 33-40, 1995.
- [17] 김상운, 식별알고리즘을 중심으로 한 패턴인식 입문, 홍릉과학출판사, pp. 91-104, 1995
- [18] O. Rashkovskiy and L. Sadovnik, "Scale, rotation and shift invariant wavelet transforms," *SPIE*, vol. 2237, pp. 390-401, 1994.
- [19] S. P. Kozaitis and R. H. Cofer, "Design of distortion-invariant correlation filters using supervised learning," *SPIE*, vol. 1959, pp. 214-219, 1993.

## 저 자 소 개



尹鎭善(正會員)

1969년 2월 4일생. 1992년 2월 충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학사).

1997년 2월 충북대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사). 1993년 9월 ~ 1995년 9월 우천직업훈련원 정보통신공과 교사. 1997년 3월 ~

현재 충북대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정. 주관 심분야는 Optical Pattern Recognition, Optical Information Processing, 3D Image Display

金 男(正會員) 第 33卷 A編 第 3 號 參照

현재 충북대학교 정보통신공학과 부  
교수