

논문 2009-46SP-3-6

# 최적화된 비선형 합성필터를 이용한 얼굴인증 시스템

## (Face Verification System Using Optimum Nonlinear Composite Filter)

이주민\*, 엄석원\*\*, 홍승현\*\*\*

(Ju-Min Lee, Seokwon Yeom, and Seung-Hyun Hong)

### 요약

본 논문에서는 상관에 기반한 비선형 합성필터를 이용한 왜곡과 잡음에 강인한 얼굴인식 방법을 연구한다. 상관도 기반 방법은 얼굴 영역의 검출과 인증을 동시에 수행하여 보다 신속한 처리를 할 수 있다는 장점이 있다. 최적화된 비선형 합성필터는 학습영상의 출력 값을 일정하게 유지하면서 입력 영상과 잡음의 필터 출력에너지를 최소화함으로써 얻어진다. 입력 영상의 출력에너지를 최소화하여 허위표적과의 식별력을 부여하고 잡음의 출력에너지를 최소화하여 가산성 잡음에 대한 강인성을 증대한다. 본 논문에서는 비선형 합성필터를 두 개의 학습 영상으로 구성하여 표적의 왜곡과 저해상도 그리고 잡음 환경 하에서 얼굴 인증을 실험하였다. 실험결과는 비선형 합성필터가 SDF(synthetic discriminant function) 필터와 비교하여 ROC(receiver operating characteristics) 커브에서 우수한 성능을 보인다.

### Abstract

This paper addresses a face verification method using the nonlinear composite filter. This face verification process can be simple and speedy because it does not require any preprocessing such as face detection, alignment or cropping. The optimum nonlinear composite filter is derived by minimizing the output energy due to additive noise and an input scene while maintaining the outputs of training images constant. The filter is equipped with the discrimination capability and the robustness to additive noise by minimizing the outputs of the input scene and the noise, respectively. We build the nonlinear composite filter with two training images and compare the filter with the conventional synthetic discriminant function (SDF) filter. The receiver operating characteristics (ROC) curves are presented as a metric for the performance evaluation. According to the experimental results the optimum nonlinear composite filter is shown to be a robust scheme for face verification in low resolution and noise environments.

**Keywords:** face recognition, face identification, nonlinear composite filter, low resolution, noise image

### I. 서론

영상과 컴퓨터를 이용하여 얼굴의 인식(face recognition)과 인증(verification)을 자동으로 처리하는 기술은 출입 통제와 감시 카메라 등의 보안 시스템과

신용카드, 신분증, 전자여권을 이용한 개인 인증 시스템(personal identification system) 및 로봇비전, 휴먼-컴퓨터 인터페이스 등을 포함하여 여러 자동화 및 엔터테인먼트 서비스에서 유용하게 활용되고 있다<sup>[1-3]</sup>.

얼굴인식은 영상 신호 처리와 컴퓨터 비전, 패턴인식의 여러 기법들이 다양한 환경에서 얼굴인식의 정확도를 높이기 위하여 연구되고 있다. 또한 향후 생체여권이나 멀티미디어응용에서 이용될 수 있는 표준 포맷을 제정하는 표준화 작업 또한 이루어지고 있다<sup>[4]</sup>.

주로 연구되는 방법으로 특징 기반 방법과 외형 기반 방법이 있다. 특징기반 방법은 얼굴의 부분적인 특징 성분인 눈, 코, 입, 외곽선, 명암도, 형태, 색상 등을 이용하거나 그 크기와 모양, 상호 연관성 혹은 이러한 요

\* 학생회원, \*\* 정회원, 대구대학교 정보통신공학과 (Daegu University, Dept. of Information and Communication Engineering)

\*\*\* 정회원, 코네티컷대학교 컴퓨터공학과 (University of Connecticut, Dept. of Computer Science)

※ 본 연구는 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술 연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-331-D00330).

접수일자: 2008년9월10일, 수정완료일: 2009년4월14일

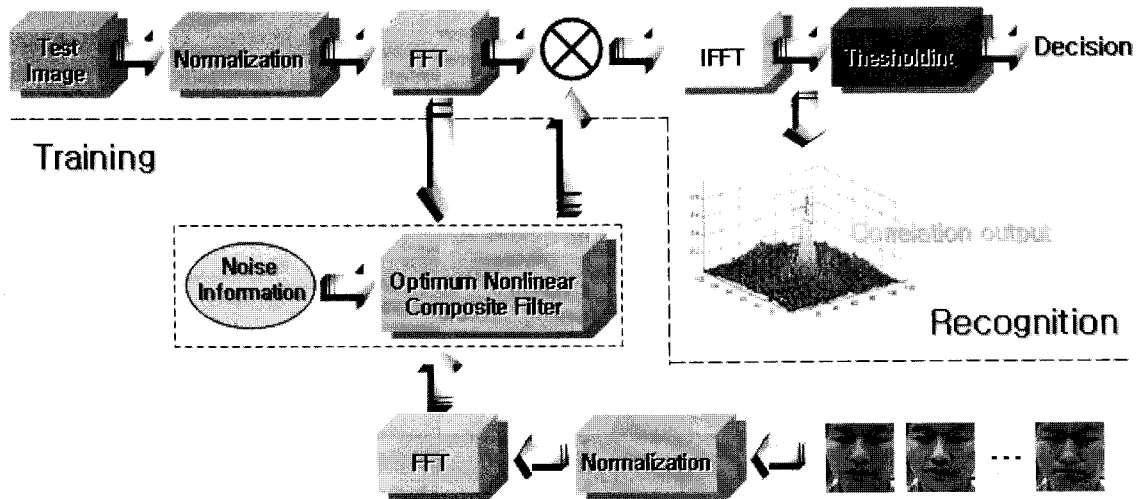


그림 1. 비선형 합성필터에 의한 얼굴인식 방법  
 Fig. 1. Face recognition system using optimum nonlinear composite filter.

소들의 혼합된 형태의 정보를 이용하여 얼굴의 위치를 찾는다. 이 방법은 처리 시간이 빠르고 구조가 간단하며 쉽게 얼굴을 인식 수 있지만, 얼굴의 Invariant한 특징 성분을 검출하기 어렵기 때문에 조명과 포즈(pose), 또는 안경과 콧수염 같은 부가적인 객체들에 기이한 잡음에 민감하다는 단점이 있다.

외형 기반 방법은 학습 영상 집합에 의해 학습된 모델을 이용해서 얼굴을 인식하는 방법이다. 대표적인 기법들로 주성분 분석(principal component analysis: PCA)에 의해 생성되는 고유 얼굴(Eigen face)<sup>[5]</sup>, Fisher 선형판별법(linear discriminant analysis: LDA)에 의한 Fisher face<sup>[6]</sup>, 신경회로망(neural network: NN), 서포트 벡터 머신(support vector machine: SVM)<sup>[7]</sup>을 이용하는 방법이 있다. 또한 SDF(synthetic discriminant function) 필터와 같은 상관도 기반(correlation-based) 방법이 있다<sup>[8~10]</sup>.

상관도 기반의 얼굴인식 방법은 미리 주어진 입력 영상과 학습영상 템플릿으로 설계 된 필터 간의 상호 상관의 출력으로 수행된다. 검출(detection)하고자하는 표적 영상의 입력 영상 내 존재 여부와 위치는 필터 출력에 의하여 결정 된다. 이와 같은 상관도 기반 방법은 검출과 인식이 동시에 이루어지며 얼굴 정렬과 cropping과 같은 전처리 과정이 필요 없다는 장점이 있다.

본 논문에서는 최적화된 비선형 합성(optimum nonlinear composite) 필터를 이용한 얼굴인증을 연구한다. 최적화된 비선형 합성필터는 입력 영상과의 상관도(correlation) 기반 방법으로 자동표적인식기(automatic

target recognition: ATR)에 적용되었다<sup>[11]</sup>. 이러한 비선형 합성필터는 학습영상의 출력 값을 일정하게 유지하며 입력 영상과 잡음에 의한 필터 출력에너지를 최소화 함으로 얻어진다. 입력영상에 의한 필터의 출력에너지를 최소화하여 허위표적(false target)과의 식별력을 증대하고 잡음의 출력에너지를 최소화하여 가산성 잡음에 강인성을 구현한다. 본 논문에서는 두 개의 학습 영상으로 구성된 비선형 합성필터를 이용하여 포즈와 표정 변화와 같은 왜곡과 저해상도 그리고 잡음 환경 하에서 얼굴 인증을 실험하였다. 실험결과는 비선형 합성필터가 SDF(synthetic discriminant function) 필터와 비교하여 ROC(receiver operating characteristics) 커브에서 우수한 성능을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 최적화된 비선형 합성필터의 알고리즘을 제시하고 III장은 왜곡과 잡음 그리고 저해상도 영상에서의 실험 결과를 기존의 SDF필터와 비교한다. IV장에서는 결론과 향후 연구 방향을 제시한다.

## II. 얼굴인증 시스템

그림 1에 보이듯이 얼굴영상 데이터베이스에 존재하는 학습 영상을 정규화 과정을 통하여 히스토그램 스트레칭을 한 후 사전(prior) 잡음정보와 함께 최적화된 비선형 합성필터를 구성한다. 최적화된 비선형 합성필터 알고리즘은 다음과 같이 유도 된다<sup>[11]</sup>.  $s$ 는 입력 영상이고 학습 영상을  $r_t$ 라 하고,  $t = 1, 2, \dots, N_t$ .  $N_t$ 는 학습

영상의 수이다.  $n$ 은 평균이 0이고 분산이  $\sigma^2$ 인 가우시안(Gaussian) 잡음이라고 가정한다. 본 논문에서는 수식의 편의를 위하여 1차원으로 표현하였다.

입력 영상 화소  $i$ 의 명암도(intensity)  $s(i)$ 는

$$s(i) = \sum_{t=1}^{N_t} v_t r_t(i - \tau_t) + n(i) \quad (1)$$

로 표현된다.  $\tau_t$ 는  $t$ 번째 학습 영상의 랜덤 위치이다.  $v_t$ 는 표적의 유무를 지시하는 0 또는 1의 이진 랜덤 변수이다.  $v_t$ 의 확률질량함수(probability mass function)는  $p(v_t = 1) = 1/N_t$ ,  $p(v_t = 0) = 1 - 1/N_t$ 이라고 가정한다.

각 입력 영상이  $r_t(i)$ 일 경우 비선형 합성필터  $h(i)$ 에 의한 출력결과는 다음과 같다는 제한조건을 세운다.

$$o_t(0) = \sum_{i=0}^{M-1} h(i) * r_t(i) = C_t \quad (2)$$

위의 식에서 \*기호는 공액복소수이다.  $M$ 은 영상 안의 화소의 수,  $C_t$ 는 임의의 양의 실수이다. 식 (2)을 푸리에(Fourier) 도메인에서 표현하면 다음 식과 같다.

$$\sum_{k=0}^{M-1} H(k) * R_t(k) = MC_t \quad (3)$$

식 (3)에서  $H(k)$ 와  $R_t(k)$ 는  $h(i)$ 와  $r_t(i)$ 의 푸리에 변환이다.

최적화된 합성필터는 다음과 같이 만들어진다. 잡음에 강인한 필터를 얻기 위해 잡음의 출력에너지를 최소화한다. 푸리에(Fourier) 도메인에서 출력에너지의 기대치(expected value)를 표현하면 다음 식과 같다.

$$E \left[ \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} |H(k)|^2 |N(k)|^2 \right] = \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} |H(k)|^2 E|N(k)|^2 \quad (4)$$

여기서  $E$ 는 예상 연산자이고  $N(k)$ 는  $n(i)$ 의 푸리에 변환이다.

판별 성능을 위해 입력 영상의 필터 출력에너지를 최소화한다. 이를 푸리에 도메인에서 출력에너지를 표현하면 식 (5)와 같고  $S(k)$ 는  $s(i)$ 의 푸리에 변환이다.

$$\frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} |H(k)|^2 |S(k)|^2 \quad (5)$$

따라서 최적화된 합성필터는 식 (3)을 제한조건으로 식 (6)을 최소화함으로 얻어진다.

$$\frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} |H(k)|^2 E|N(k)|^2 + \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} |H(k)|^2 |S(k)|^2 \quad (6)$$

$H(k)$ 의  $k$ 번째 요소가  $a_k + jb_k$ 이고  $R_t(k)$ 의  $k$ 번째 요소가  $c_{tk} + jd_{tk}$ 로 가정한다. 그리고  $D(k) = [E|N(k)|^2 + |S(k)|^2]/M$ 이면 식 (3)과 식 (6)은 다음과 같이 표현 된다.

$$\sum_{k=0}^{M-1} (a_k c_{tk} + b_k d_{tk}) = MC_t \quad (7)$$

$$\sum_{k=0}^{M-1} (a_k d_{tk} - b_k c_{tk}) = 0 \quad (8)$$

이고

$$\begin{aligned} & \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} |H(k)|^2 E|N(k)|^2 + \frac{1}{M} \sum_{k=0}^{M-1} |H(k)|^2 |S(k)|^2 \\ &= \sum_{k=0}^{M-1} |H(k)|^2 \left( \frac{E|N(k)|^2 + |S(k)|^2}{M} \right) \\ &= \sum_{k=0}^{M-1} (a_k^2 + b_k^2) D(k). \end{aligned} \quad (9)$$

이다.

식 (7)과 식 (8)에서와 같이  $2N_t$ 개인 제약조건 하에서 라그랑주 승수법(lagrange multiplier method)으로  $J$ 을 최소화한다.

$$\begin{aligned} J \equiv & \sum_{k=0}^{M-1} (a_k^2 + b_k^2) D(k) \\ & + \sum_{t=1}^{N_t} \lambda_{1t} \left( MC_t - \sum_{k=0}^{M-1} a_k c_{tk} - \sum_{k=0}^{M-1} b_k d_{tk} \right) \\ & + \sum_{t=1}^{N_t} \lambda_{2t} \left( 0 - \sum_{k=0}^{M-1} a_k d_{tk} + \sum_{k=0}^{M-1} b_k c_{tk} \right) \end{aligned} \quad (10)$$

다음의 식 (11)과 식 (12)에 의하여  $a_k$ ,  $b_k$ 와  $\lambda_{1t}$ ,  $\lambda_{2t}$ 을 구할 수 있다.

$$\frac{\partial J}{\partial a_k} = 2a_k D(k) - \sum_{t=1}^{N_t} \lambda_{1t} c_{tk} - \sum_{t=1}^{N_t} \lambda_{2t} d_{tk} = 0 \quad (11)$$

$$\frac{\partial J}{\partial b_k} = 2b_k D(k) - \sum_{t=1}^{N_t} \lambda_{1t} d_{tk} + \sum_{t=1}^{N_t} \lambda_{2t} c_{tk} = 0 \quad (12)$$

위의 식을 이항하여 다음과 같이  $a_k$ 와  $b_k$ 을 구한다.

$$a_k = \frac{\sum_{t=1}^{N_t} (\lambda_{1t}c_{tk} + \lambda_{2t}d_{tk})}{2D(k)} \quad (13)$$

$$b_k = \frac{\sum_{t=1}^{N_t} (\lambda_{1t}d_{tk} - \lambda_{2t}c_{tk})}{2D(k)} \quad (14)$$

$\lambda_{1t}$ ,  $\lambda_{2t}$ 을 구하기 위해 식 (13)과 식 (14)으로 정의된  $a_k$ ,  $b_k$ 을 식 (7)과 (8)에 대입하여 다음의 두 식으로 유도한다.

$$\begin{aligned} & \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{t=1}^{N_t} \left[ \left( \frac{\lambda_{1t}c_{tk} + \lambda_{2t}d_{tk}}{2D(k)} \right) c_{pk} + \left( \frac{\lambda_{1t}d_{tk} - \lambda_{2t}c_{tk}}{2D(k)} \right) d_{pk} \right] \\ &= \sum_{k=0}^{M-1} \frac{1}{2D(k)} \sum_{t=1}^{N_t} [\lambda_{1t}(c_{tk}c_{pk} + d_{tk}d_{pk}) \\ & \quad + \lambda_{2t}(d_{tk}c_{pk} - c_{tk}d_{pk})] \\ &= MC'_p, \\ & p = 1, 2, \dots, N_t \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} & \sum_{k=0}^{M-1} \sum_{t=1}^{N_t} \left[ \left( \frac{\lambda_{1t}c_{tk} + \lambda_{2t}d_{tk}}{2D(k)} \right) d_{pk} - \left( \frac{\lambda_{1t}d_{tk} - \lambda_{2t}c_{tk}}{2D(k)} \right) c_{pk} \right] \\ &= \sum_{k=0}^{M-1} \frac{1}{2D(k)} \sum_{t=1}^{N_t} [\lambda_{1t}(c_{tk}d_{pk} - d_{tk}c_{pk}) \\ & \quad + \lambda_{2t}(d_{tk}d_{pk} + c_{tk}c_{pk})] \\ &= 0, \\ & p = 1, 2, \dots, N_t \end{aligned} \quad (16)$$

식 (15)와 식 (16)의 각각에 대하여 실수와 허수 부분을 식 (20)과 식 (21)에서의 A와 B로 표기한다.

$$\lambda_1 \equiv [\lambda_{11} \lambda_{12} \dots \lambda_{1N_t}]' \quad (17)$$

$$\lambda_2 \equiv [\lambda_{21} \lambda_{22} \dots \lambda_{2N_t}]' \quad (18)$$

$$C = [C_1 C_2 \dots C_{N_t}]' \quad (19)$$

$$A_{xy} = \sum_{k=0}^{M-1} \frac{(c_{xk}c_{yk} + d_{xk}d_{yk})}{2D(k)} \quad (20)$$

$$B_{xy} = \sum_{k=0}^{M-1} \frac{(d_{xk}c_{yk} - c_{xk}d_{yk})}{2D(k)} \quad (21)$$

여기서 “'”는 전치행렬을 나타내고 A와 B는  $N_t$ 차 정방 행렬이고,  $x$ 와  $y$ 는 A와 B에 행과 열을 나타낸다. 식 (15)

와 식 (16)을 식 (22)과 식 (23)으로 다시 정리하여 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\lambda_1' A + \lambda_2' B = MC' \quad (22)$$

$$\lambda_2' A - \lambda_1' B = 0' \quad (23)$$

다시 이를  $\lambda_1'$ 와  $\lambda_2'$ 으로 정리하면 식 (24)과 식 (25)으로 표현된다.

$$\lambda_1' = MC'(A + BA^{-1}B)^{-1} \quad (24)$$

$$\lambda_2' = MC'(B + AB^{-1}A)^{-1} \quad (25)$$

그리고 식 (13)과 식 (14)에서  $H(k)$ 의  $k$ 번째 요소로 식 (26)과 같이 얻을 수 있다<sup>[11]</sup>.

$$\begin{aligned} a_k + jb_k &= \frac{1}{2D(k)} \sum_{t=1}^{N_t} [\lambda_{1t}(c_{tk} + jd_{tk}) + \lambda_{2t}(d_{tk} - jc_{tk})] \\ &= \frac{1}{2D(k)} \sum_{t=1}^{N_t} (\lambda_{1t} - j\lambda_{2t})(c_{tk} + jd_{tk}) \end{aligned} \quad (26)$$

식 (26)을 간단하게 정리하면  $H(k)$ 는 다음과 같다.

$$H(k) = \frac{\sum_{t=1}^{N_t} (\lambda_{1t} - j\lambda_{2t})R_t(k)}{2[E|N(k)|^2 + |S(k)|^2]} \quad (27)$$

여기서  $E|N(k)|^2 = M\sigma^2$ 이고  $\sigma^2$ 은 가우시안 잡음의 분산이다. 식 (21)에서  $B_{xy}$ 가 0에 가까운 경우 식 (24)와 식 (25)에서  $\lambda_1' \approx MC'A^{-1}$ ,  $\lambda_2 \approx 0$ 이 된다. 따라서 합성필터  $H(k)$ 는 식 (28)과 같이 쓸 수 있다.

$$H(k) = \frac{\sum_{t=1}^{N_t} \lambda_{1t}R_t(k)}{2[M\sigma^2 + |S(k)|^2]} \quad (28)$$

필터의 출력  $y_o$ 는 합성필터( $H$ )에 공액복소수를 취하고 입력 영상( $S$ )에 곱한 후 공간 도메인 영상을 얻기 위해 역 푸리에 변환을 한다.

$$y_o = IFFT(H^* S) \quad (29)$$

### III. 실험 및 평가

본 실험에서 최적화된 비선형 합성필터를 SDF 필터와 비교한다.

#### 1. 잡음 환경에 적응

그림 2의 CMU의 facial expression database<sup>[12]</sup>를 이용하여 비선형 합성필터를 실험하였다. 실험에 사용한 영상은 표정과 포즈가 각기 다른 5명의 정면 얼굴 영상으로, 각 인물 당 10장씩 총 50장으로 구성한다. 각 영상 사이즈는  $64 \times 64$  화소이고 화소 값은 최소 -0.5 최대 0.5로 히스토그램 스트레칭을 하였다. True-class의 영상 중에서 2개의 영상을 학습에 사용하고, 나머지 8개의 true-class 영상과 다른 4명의 얼굴영상 40개를 false-class 영상으로 테스트한다.

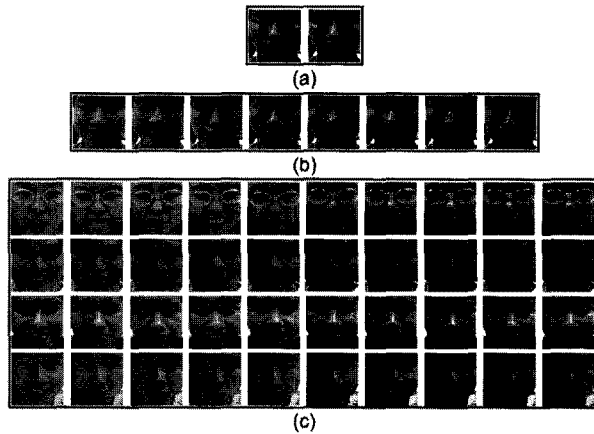


그림 2. 실험에 사용된 얼굴영상 ( $64 \times 64$  화소)  
(a) true-class의 학습 영상, (b) true-class의 비 학습 영상, (c) false-class 영상

Fig. 2. Face images used in the experiments.  
(a) true-class training image, (b) true-class non training image, (c) false-class image.

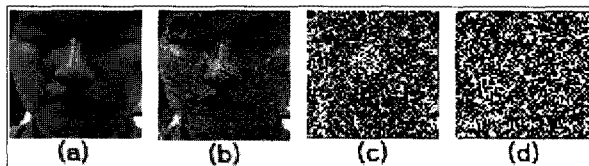


그림 3. 잡음이 추가된 영상의 예  
(a)  $\sigma = 0.0$  (원 영상) (b)  $\sigma = 0.1$   
(c)  $\sigma = 0.5$  (d)  $\sigma = 1.0$

Fig. 3. Face images corrupted by additive Gaussian noise.  
(a)  $\sigma = 0.0$  (original image), (b)  $\sigma = 0.1$ , (c)  $\sigma = 0.5$ , (d)  $\sigma = 1.0$ .

그림 3은 인식 실험에 사용된 입력 영상의 예로 표준편차( $\sigma$ )가 0.1, 0.5, 1.0인 가우시안 잡음을 첨가한 영상의 예이다.  $\sigma = 1.0$ 일 경우  $SNR \approx -17$ dB이다. 여기서 신호 대 잡음비(SNR: signal to noise ratio)는 다음과 같이 정의한다.

$$SNR = 10 \log \frac{\sum_{i=1}^M (s_o(i) - \bar{s}_o)^2}{\sum_{i=1}^M n(i)^2} [\text{dB}] \quad (30)$$

$$\bar{s}_o = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M s_o(i) \quad (31)$$

이 때,  $s_o(i)$ 는 원 영상이고  $n(i)$ 은 평균이 0인 가우시안 잡음 영상이다. 그림 4는 잡음의 표준편차가 0.5인 경우 필터의 출력이다.

그림 5와 그림 6은 SDF 필터와 검출 성능 비교를 보인 ROC 커브이다. ROC 커브에서 검출확률(probability detection,  $P_D$ )과 허위확률(false alarm,  $P_{FA}$ )은 각각 다음과 같이 정의된다.

$$P_D = \frac{\text{true-class로 인증된 표적의 수}}{\text{true-class 비 학습 표적의 수}} \quad (32)$$

$$P_{FA} = \frac{\text{true-class로 인증된 표적의 수}}{\text{false-class 표적의 수}} \quad (33)$$

잡음이 첨가된 경우 100회 몬테카를로(Monte Carlo) 시뮬레이션으로 평균을 구하였으므로 ROC 커브에서는 평균 검출확률과 평균 허위확률이 나타난다. 그림 5에서 SDF 필터의 ROC 커브는 평균허위확률  $\overline{P_{FA}} = 0.1$ 일 경우  $\sigma = 0.1$ 과 0.5에서 평균검출확률  $\overline{P_D} = 1$ 인 인식률을 보이고  $\sigma = 1.0$ 에서  $\overline{P_D} \approx 0.9$ 인 인식률을 보인다. 비선형 합성필터를 이용한 그림 6에서  $\overline{P_{FA}} = 0.1$ 일 경우  $\sigma = 0.1$ 과 0.5에서  $\overline{P_D} = 1$ 인 인식률을 보이고  $\sigma = 1.0$ 에서  $\overline{P_D} \approx 0.96$ 의 인식률을 보인다.

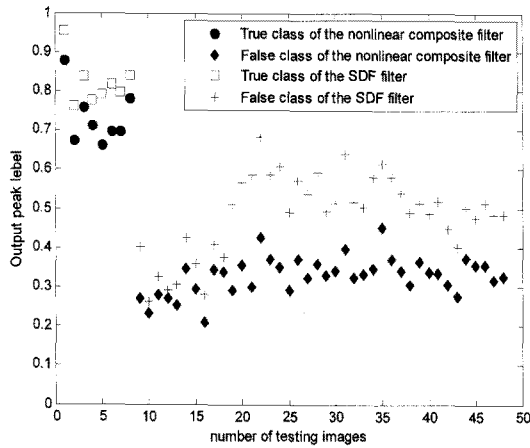


그림 4. 필터 출력( $\sigma = 0.5$ )  
Fig. 4. Output peak of the filter when  $\sigma = 0.5$ .

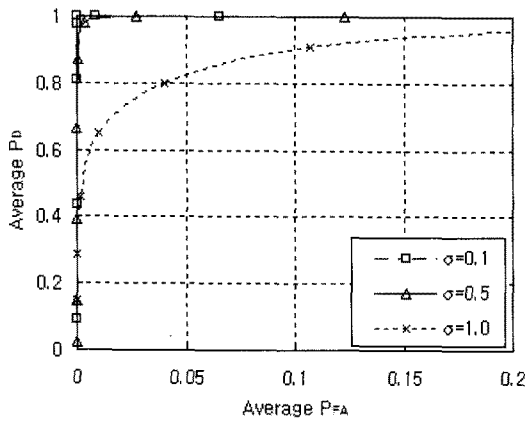


그림 5. SDF 필터를 적용 시 ROC 커브  
Fig. 5. ROC curves of the SDF filter.

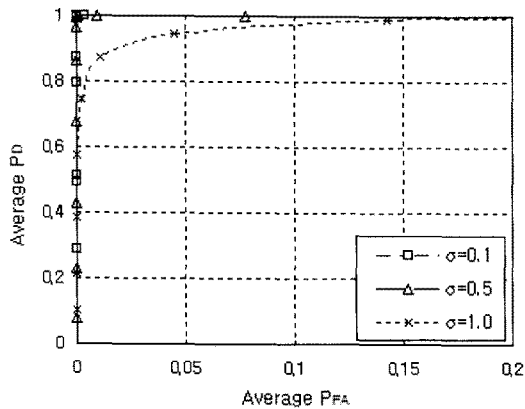


그림 6. 비선형 합성필터를 적용 시 ROC 커브  
Fig. 6. ROC curves of the optimum nonlinear composite filter.

2. 저해상도 영상에서의 적용

본 실험에서는 그림 2의 CMU 얼굴 데이터베이스의 영상 사이즈를 그림 7과 같이  $25 \times 25$  화소로 축소한다.

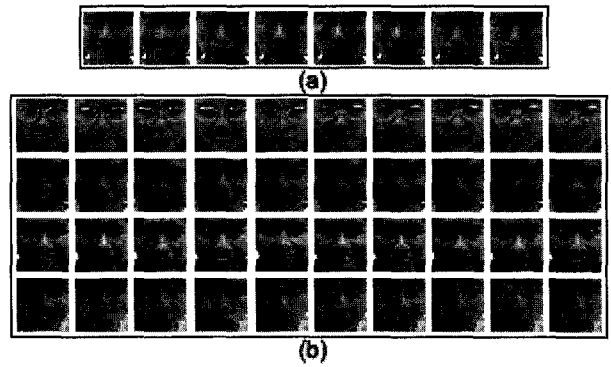


그림 7. 실험에 사용된 저해상도 얼굴영상 ( $25 \times 25$  화소) (a) true-class의 비학습 영상 (b) false-class 영상

Fig. 7. Low resolution face images in the experiments (a) true-class non training image, (b) false-class image.

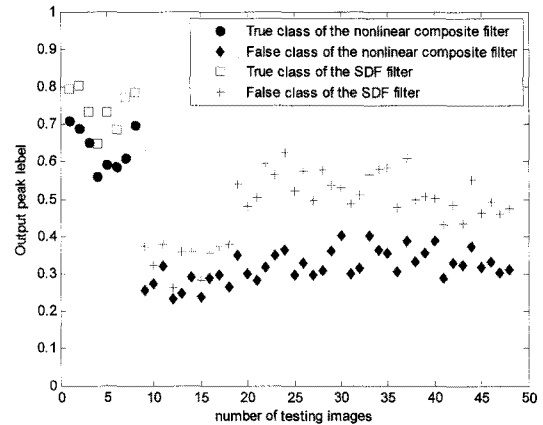


그림 8. 필터 출력( $\sigma = 0.5$ )  
Fig. 8. Output peak of the filter when  $\sigma = 0.5$ .

축소된 얼굴 데이터베이스에 앞서 같은 방법으로 기존의 SDF 필터와 비선형 합성필터를 사용하여 저해상도 얼굴영상 인식을 테스트 한 결과이다. 이 때, 저해상도 영상은 양선형 보간법(bi-linear interpolation)으로 구하였다.

그림 8은  $\sigma = 0.5$ 인 경우 필터의 출력이다. 그림 9는 SDF 필터의 ROC 커브로  $\overline{P_{FA}} = 0.1$ 일 경우  $\sigma = 0.1$ 과  $0.5$ 에서  $\overline{P_D} = 1$ 인 인식률을 보이고  $\sigma = 1.0$ 에서  $\overline{P_D} \approx 0.8$ 의 인식률을 보인다. 비선형 합성필터를 이용한 그림 10은  $\overline{P_{FA}} = 0.1$ 일 때  $\sigma = 0.1$ 과  $0.5$ 에서  $\overline{P_D} = 1$ 의 인식률을 보이고  $\sigma = 1.0$ 에서  $\overline{P_D} \approx 0.9$ 의 인식률을 보인다. 그러므로 기존의 SDF 필터에 비해 비선형 합성필터가 더 높은 인식률을 가지는 것을 확인할 수 있다.

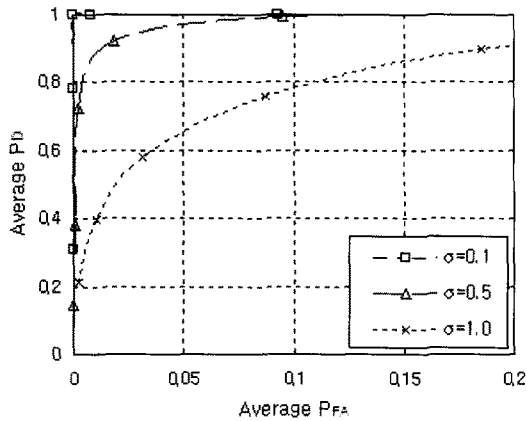


그림 9. SDF 필터를 적용 시 ROC 커브  
Fig. 9. ROC curves of the SDF filter.

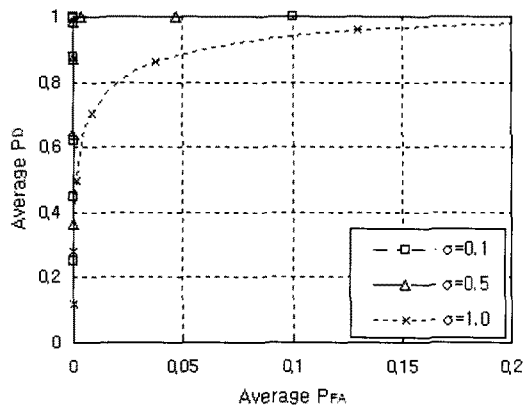


그림 10. 비선형 합성필터를 적용 시 ROC 커브  
Fig. 10. ROC curves of the optimum nonlinear composite filter.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 잡음과 저해상도 환경에 강인한 최적화된 비선형 합성필터를 얼굴인증에 적용하였다. 이러한 필터는 학습영상의 출력을 일정하게 유지하면서 입력 영상과 잡음의 필터 출력에너지를 최소화함으로써 얻어진다.

성능 검증을 위해서 비선형 합성필터와 SDF 필터를 잡음 및 저해상도 영상에서의 얼굴인식 성능을 테스트 하였다. 비선형 합성 필터링 기술은 선형 필터링 기술과 비교했을 때 상관 피크가 예리하고 잡음에 강하며 판별 성능이 상대적으로 우수하다.

실험 결과분석을 통하여 제안된 알고리즘이 기존의 SDF 필터를 사용한 얼굴인식 알고리즘보다 잡음과 저해상도의 경우 각각 6%와 10%정도 더 나은 인식률을

보이는 것을 확인하였다. 앞으로의 연구방향은 저해상도에서도 높은 인식률을 얻기 위해 알고리즘을 개선하고 크기가 다른 영상에 적합한 성능을 나타내도록 보완하는 것이다.

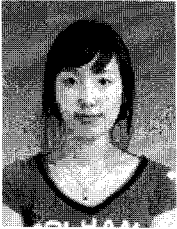
#### 참 고 문 헌

- [1] R. Chellappa, C. L. Wilson and S. Sirohey, "Human and machine recognition of faces: a survey," Proc. of IEEE, vol. 83, no. 5, pp. 705-740, May 1995.
- [2] 조재수, 강현수, 김홍수, 김성득, "멀티미디어 신호 처리", 사이텍미디어, pp. 688, 2006.
- [3] M. H. Yang, D. J. Kriegman and N. Ahuja, "Detecting faces in images: a survey," IEEE Trans, Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 1, pp. 34-58, January 2002.
- [4] 이상윤, "[바이오인식] 얼굴검출 기술 표준화 동향," 한국정보통신협회(TTA), TTA간행물(IT Standard Weekly), 2007년 7월.
- [5] 장혜경, 오선문, 강대성, "PCA 기반 LDA 혼합 알고리즘을 이용한 실시간 얼굴인식 시스템 구현," 전자공학회논문지, 제41권 SP편, 제4호, 473-478쪽, 2004년 7월.
- [6] 김현철, 김대진, 방승양, "LDA 혼합 모형을 이용한 얼굴인식," 정보과학회논문지, 제32권 소프트웨어 및 응용, 제8호, 789-794쪽, 2005년 8월.
- [7] 이호근, 정성태, "빠른 얼굴 검출을 이용한 실시간 얼굴인식 시스템," 정보과학회논문지, 제32권 소프트웨어 및 응용, 제12호, 1247-1260쪽, 2005년 12월.
- [8] M. Savvides, B.V.K. Kumar and P. Khosla, "Face verification using correlation filters," Proc. of the Third IEEE Automatic Identification Advanced Technologies, pp. 56-61, Tarrytown, NY, March 2002.
- [9] C. K. Ng, M. Savvides and P. K. Khosla, "Real time Face verification system on a cell-phone using advanced correlation filters," Fourth IEEE Workshop on Automatic Identification Advanced Technologies, pp. 57-62, October 2005.
- [10] 이주민, 염석원, 홍승현, "Optimum 비선형 합성필터를 이용한 얼굴인증(Face verification using optimum nonlinear composite filter)," 2008년도 전자공학회 하계종합학술대회(The Institute of Electronics Engineers of Korea), 강원도, 2008년 6월.
- [11] S. H. Hong and B. Javidi, "Optimum nonlinear composite filter for distortion-tolerant pattern recognition," Applied Optics, vol. 41, no. 11, pp.

2172-2178, April 2002.

[12] www.amp.ece.cmu.edu : Advanced multimedia processing lab at electrical and computer eng., cmu.

저 자 소 개



이 주 민(학생회원)  
 2007년 대구대학교 정보통신 공학과 학사 졸업.  
 2009년 대구대학교 정보통신 공학과 석사 졸업.  
 <주관심분야 : 영상처리, 신호처리, 패턴인식>



염 석 원(정회원)-교신저자  
 1995년 인하대학교 물리학과 학사 졸업.  
 1997년 고려대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 1999년 고려대학교 전자공학과 석사 졸업.  
 2006년 University of Connecticut 전자공학과 박사 졸업.  
 2007년~현재 대구대학교 정보통신공학부 조교수.  
 <주관심분야 : 신호처리, 영상처리, 광정보처리, 패턴인식>



홍 승 현(정회원)  
 1983년 한양대학교 전자공학과 학사 졸업.  
 1985년 ETRI 연구원.  
 1990년 ETRI 선임연구원.  
 2000년 University of Connecticut 전자공학과 석사 졸업.

2005년 University of Connecticut 전자공학과 박사 졸업.

2005년~현재 University of Connecticut 연구교수.

<주관심분야 : 신호처리, image processing, image analysis, pattern recognition, automatic histmorphometry>