

# 색상정보와 PCA-LDA를 이용한 얼굴검출

## Face Detection using PCA-LDA and Color Information

李柱承\*, 韓永煥\*\*, 洪勝弘\*\*\*

Ju-Seung Lee\*, Young-Hwan Han\*\*, Seung-Hong Hong\*\*\*

### 요 약

본 논문에서는 복잡한 배경의 영상에서 얼굴을 검출하는 효과적인 알고리즘을 제안한다. 제안된 알고리즘은 색상정보와 PCA-LDA(Principal Component Analysis - Linear Discriminant Analysis)에 의하여 구해진 고유얼굴(eigenface)을 이용한다. 색상정보는 다른 어떤 방법보다 얼굴을 검출하는데 유용하게 사용된다. 고유얼굴은 전체 학습 얼굴들의 평균정보를 포함하고 있기 때문에 얼굴 후보영역에 대하여 얼굴인지를 판별할 수 있는 기능을 갖는다. 전체적인 과정은 두 단계로 이루어진다. 첫 번째 단계는 영상내에서 색상정보를 이용하여 살색영역의 1차 얼굴 후보영역을 찾아 후보영역의 위치와 크기를 결정한다. 두 번째 단계는 1차 얼굴 후보영역에 대하여 PCA-LDA에 의한 얼굴의 유사성을 측정하여 얼굴인지 아닌지를 판별한다.

제안한 검출 방법을 사용한 실험 결과, 색상정보를 사용하여 1차 얼굴 후보영역의 크기와 위치를 결정함으로써 검출속도의 향상을 가져올 수 있었다. 또한 PCA-LDA에 의한 고유얼굴과의 비교를 통해 복잡한 배경이 있는 영상에서도 97%의 검출률을 얻을 수 있었다.

### Abstract

This paper presents an efficient face detection algorithm for color images with a complex background. The presented algorithm utilizes the color information and eigenface that is calculated by PCA-LDA (Principle Component Analysis - Linear Discriminant Analysis). The method of using the color information is faster than any other methods. Eigenface includes average information of the whole test faces. Therefore eigenface can decide that the candidate region is a face. The whole process is composed of two steps. First, it finds first face candidates region of skin tone using a color information in image. We can get a size and position of face candidate region. Second, we compare first face candidate region with eigenface, so decide that an image whether include a face or not.

The advantages of the proposed approach include that increasing the detection speed by deciding a size and position of first face candidates region. Also, getting 97% of the detection rate by comparing the eigenfaces calculated in PCA-LDA.

*Key-Words : PCA, LDA, eigenface, detection, color information*

\* 三星電子 情報通信總括 通信研究所  
(Telecommunication R&D Center, Samsung Electronics)

\*\* 尙志大學校 컴퓨터情報工學部  
(School of Computer, Info. & Comm. Eng., Sangji Univ.)

接受日 : 2002年 4月 30日, 修正完了日 : 2002年 7月 28日

\*\*\* 仁荷大學校 電氣電子工學部  
(Dept. of Electronic Eng., Inha Univ.)

## I. 서론

정보화시대의 붐을 타면서 컴퓨터나 인터넷에서 개인 정보의 관리와 보안이 문제가 되고 있다. 그러나, 현재의 보안기술은 암호기술의 허점으로 인하여 많은 문제점들을 내포하고 있다. 최근에는 인간의 생체로부터 얻을 수 있는 다양한 신호를 이용하는 생체 보안 기술에 대한 관심이 높아지고 있다.

얼굴은 그 자체의 유일성 때문에 사람을 인식하고 식별하는데 효과적인 특성을 제공하므로 얼굴의 각 부분을 검출하거나 얼굴을 인식하려는 연구가 활발히 진행되고 있다.

얼굴 인식은 복잡한 배경의 영상에서 얼굴을 검출하고 그 결과를 이용하여 인식을 수행한다. 그러므로, 얼굴 검출 단계는 얼굴 인식에서 반드시 필요한 중요 과정이다. 지금까지 제시된 얼굴 검출 방법은 모양기반 시스템, 특징 기반 시스템, 패턴 기반 시스템, 색상 기반 시스템, 움직임 기반 시스템 등이 있다[1][2]. 모양기반 시스템은 얼굴을 특징짓는 여러 가지 모양의 곡선을 이용하여 얼굴을 찾는다. 그러나, 얼굴마다 모양의 변화가 크기 때문에 복잡한 배경을 가진 영상의 경우 얼굴 영역의 검출이 어렵다. 특징 기반 시스템은 눈, 코, 입 등의 기하학적인 관계[3][4][5]를 이용하는 방법으로 얼굴의 방향변화 등에 효과적으로 대처할 수 있다. 특징들을 찾는 방법으로는 템플릿 정합과 공간필터를 사용하는 방법이 있다. 전자의 경우 얼굴의 표정 변화와 조명의 변화에 매우 민감한 단점을 가지고 있으며, 후자의 경우 위와 같은 변화에 비교적 둔감한 특징을 가지고 있다. 패턴 기반 시스템은 신경망[6]이나 영역의 질감 패턴을 이용하는 방법으로 비교적 좋은 성능을 보이나 영상 상태 변화에 따른 알고리즘의 일반화가 어렵다는 단점이 있다. 색상 기반 시스템[7][8][9]은 피부색의 특성을 이용하는 것으로 빠른 속도가 장점이지만, 조명이나 카메라의 차이에 민감한 단점이 있다. 움직임 기반 시스템은 프레임간의 차영상으로 얼굴영역을 쉽게 찾을 수 있으나 움직이는 물체가 여러개 존재할 경우 영역탐색이 어렵다는 단점이 있다.

본 논문에서는 실시간 얼굴 검출을 위하여 색상정보와 PCA-LDA를 통하여 얻어진 고유얼굴을 이용하는 알고리즘을 제안하였다. 먼저, 색상정보를 이용하여 얼굴이라 생각되는 1차 후보영역들을 검출하고 검출된 후보영역들의 크기와 위치를 구한다. 그후, 고유얼굴과의 유사도를 측정하여 후보영역을 얼굴과 얼굴이 아닌 부분으로 나누어 얼굴 영역을 검출한다. 제안한 알고리즘에 의한 실험결과, 복잡한 배경과 다수의 얼굴이 포함된 영상에서도 효과적으로 얼굴 영역을 검출할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 색상영상을 피부색의 영역만을 강조한 명암영상으로 변환하는 과정과 1차 후보 영역을 선정하는 과정에 대해서 설명한다. III장에서는 PCA-LDA와 고유얼굴의 생성에 대해서 설명하고 고유얼굴을 이용하여 얼굴을 검출하는 과정을 소개한다. IV장에서는 실험 결과에 대하여 기술하고, 마지막으로 V장에서 결론을 기술한다.

## II. 얼굴영역 검출

본 논문에서 얼굴영역을 검출하기 위한 과정은 다음과 같다. 우선, 데이터베이스내의 얼굴 데이터를 가지고, PCA-LDA를 통하여 고유얼굴을 구한다. 새로운 영상이 입력되면 빛에 의한 영향을 최대한 줄이기 위하여 HSI 색상공간으로 색상변환 한다. 그 후 피부색 영역을 검출하고 검출된 영역을 이진영상으로 변환한다. 변환된 이진영상에 누적 투영 기법을 통하여 얼굴 후보영역의 위치와 크기, 개수를 정한다. 각각의 후보영역에 대하여 고유얼굴의 크기를 변화시켜 후보영역과 고유얼굴간의 유사도를 측정한다. 측정된 유사도에 의해 영상내의 모든 얼굴을 검출하게 된다. 본 논문에서 제안한 전체적인 알고리즘의 흐름도는 그림 1과 같다.

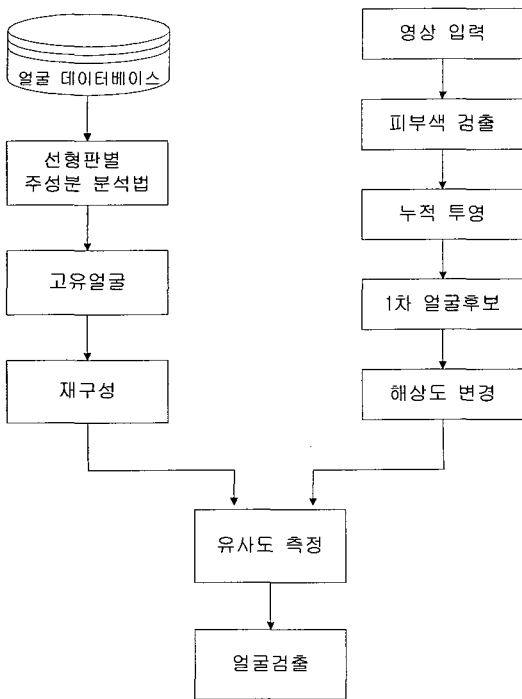


그림 1. 제안한 알고리즘의 흐름도  
Fig. 1 The flowchart of proposed algorithm

2.1 색상 정보에 의한 얼굴 후보영역 추출

얼굴영역의 검출에 매우 유용하게 이용될 수 있는 것이 색상정보이므로, 얼굴 후보 영역을 검출하기 위하여 전체영상에서 피부색 영역만을 추출한다. 이는 얼굴 피부색이 영상내의 좁은 부분에 존재한다는 사실을 이용하는 것이다. 얼굴을 검출하기 위하여 빛과 색상의 정보를 분리해서 처리할 수 있는 HSI 컬러 모델을 사용하였다. HSI 컬러 모델은 인간 시각 시스템의 색채 감지 특성에 기초한 알고리즘 개발에 이상적인 도구이다.

본 논문에서 사용한 HSI 컬러 모델의 H, S, I성분은 다음 식 (1), (2) (3)에 의하여 R, G, B성분으로부터 변환되어 사용된다.

$$I = \frac{1}{3}(R + G + B) \tag{1}$$

$$S = 1 - \frac{3}{(R + G + B)} [\min(R, G, B)] \tag{2}$$

$$H = \cos^{-1} \left[ \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}} \right] \tag{3}$$

변환 후, 명암도 정보인 I성분을 제외한, H와 S성분을 이용하여 얼굴 피부색 부분을 검출하게 되며 검출된 부분은 이진화 영상으로 바뀌게 된다.

얼굴 피부색의 색상부분과 채도 성분의 분포를 얻기 위하여 다수의 영상에서 살색 부분을 검출한 결과, 색상값은 45° 에서 56° 사이에 분포하고 채도값은 0.01에서 0.12의 범위에 분포하고 있었다.

2.2. 누적 투영

피부색부분이 검출된 영상에서 얼굴의 후보 영역은 여러 곳에 존재하게 된다. 이 과정에서 검출 속도의 향상과 검출의 정확성을 위하여, 누적 투영에 의한 후보영역의 위치와 마스크의 크기를 결정하게 된다. 누적 투영의 개요는 그림 2와 같다.

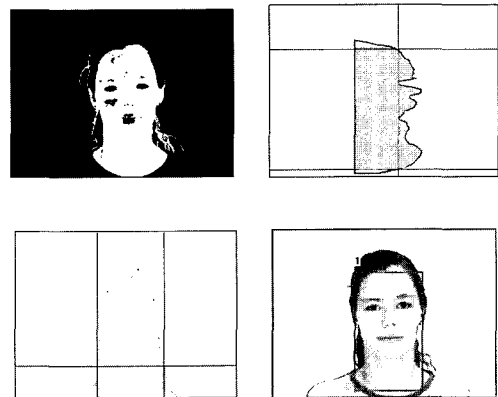


그림 2. 누적 투영의 개요  
Fig. 2 Outline of integral projection

$[x_1, x_2] \times [y_1, y_2]$  장방형에서  $I(x,y)$ 의 수직 누적 투영은 식(4)와 같고, 수평 누적 투영은 식(5)와 같다. 여기서  $I(x,y)$ 는 이진화된 영상이다.

$$V(x) = \sum_{y=y_1}^{y_2} I(x, y) \tag{4}$$

$$H(y) = \sum_{x=x_1}^{x_2} I(x, y) \quad (5)$$

먼저 세로방향의 누적 히스토그램을 구한다. 임계값은 각 방향의 히스토그램 넓이의 평균으로 정하여 다양한 영상에 대해 유동적으로 적용될 수 있게 하였다. 임계값과 히스토그램이 만나는 점의 개수가 네 개 이상인 경우, 만나는 점을 각각  $x_1, x_2, \dots, x_{2n}$  이라 하면  $n$ 은 얼굴의 개수가 된다. 홀수 번째 근은 각 얼굴 마스크의 좌측 점의 위치가 되며 짝수 번째 근은 오른쪽 점이 된다.

얼굴 마스크의 세로길이는 먼저 구해진 마스크의 가로길이를 폭으로 하고 입력영상의 높이를 세로로 가지는 각각의 직사각형에 대해 가로방향 누적 투영을 적용시켜서 구한다. 이때 각각의 직사각형은 얼굴의 개수 ( $n$ ) 만큼 나오게 된다. 그림 3은 1차 얼굴 후보 영역의 검출 방법과 예를 보여준다.

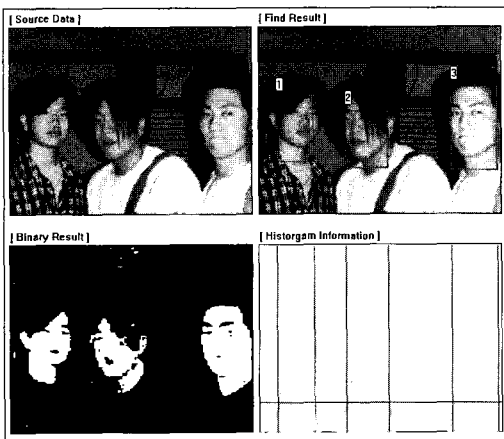


그림 3. 1차 얼굴 후보 영역  
Fig. 3 First face candidate region

### III. PCA-LDA에 의한 얼굴 검출

PCA-LDA(Principal Component Analysis - Linear Discriminant Analysis)에 의한 접근 방식은 W. Zhao 와 R. Chellappa[10] 그리고 Peter N. Belhumeur,

Joao P. Hespanha, David J. Kriegman[11]에 의해서 제안되었다.

PCA-LDA는 서로 연관된 원시변수들을 상호 연관성이 없는 새로운 변수들로 변환하는 방법으로 요약될 수 있다. PCA-LDA는 변수의 수를 감소시킬 뿐만 아니라 주성분들이 상호 연관성이 없으므로 매우 유용하게 사용되어진다.

얼굴인식을 위해 PCA를 사용한 방법은 영상들 간의 차이를 특징으로 이용한다. 그러나 동일인 내에서의 변화를 다른 특징으로 취급하는 단점이 있다. PCA-LDA는 PCA를 개선한 것으로 동일인 내에서의 변화와 다른 사람들간의 변화의 비를 고려한 것이다. PCA-LDA는 빛의 변화나 얼굴 표정의 변화와 같은 클래스의 분류에 부적절한 영향을 미치는 요소를 줄일 수 있다.

색상정보와 누적 투영을 이용하여 검출한 1차 얼굴 후보 영역에는 얼굴영역도 있지만, 얼굴 피부색과 유사한 배경물체도 있다. 이 중에서 얼굴만을 검출하기 위하여 PCA-LDA에 의하여 현재 데이터베이스 내의 영상들에 대해 고유얼굴을 구한다. 얻어진 고유얼굴과 얼굴 후보영역의 유사도를 비교하여 얼굴영역만을 검출한다.

#### 3.1. PCA-LDA

학습을 위한 영상들을  $\Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots, \Gamma_M$ 이라고 하면, 이 영상들의 평균 이미지는 식 (6)과 같이 구해진다.

$$\psi = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \Gamma_n \quad (6)$$

위의 식에서 M은 학습을 위한 영상들의 개수를 의미한다. 학습을 위한 영상들은 다음 식(7)에 의해 구해진다.

$$\phi_i = \Gamma_i - \psi \quad (7)$$

각각의 영상과 평균 영상과의 차이를 나타내는 벡터  $\phi$ 를 Karhunen-Loeve 변환하면, M개의 직교 벡

터  $u_m$ 과 고유치  $\lambda_k$ 를 구할 수 있다.  $\Gamma_M$ 의 공분산 행렬은 다음과 같고 대각행렬이다.

$$C = \frac{1}{M} \sum_{n=1}^M \phi_n \phi_n^T = \frac{1}{M} AA^T \quad (8)$$

공분산  $C$ 를 이용해서 고유값 문제를 풀기 위해서는 고유값 문제를 구한 후에 선형적인 연산을 수행해야 하며 이는 다음과 같다.

$A^T A$ 의 고유벡터를  $v_i$ , 고유치를  $\mu_i$ 라 한다면,

$$A^T A v_i = \mu_i v_i \quad (9)$$

이다. 식(9)의 양변에  $A$ 를 곱하면,

$$AA^T A v_i = \mu_i A v_i \quad (10)$$

이다. 식 (10)을 보면  $A v_i$  는  $C = AA^T$ 의 고유벡터임을 알 수 있다.

특징 벡터는 다음 식(11)에 의해 구해진다.

$$y_i = \sum_{k=1}^M v_k \phi_k, \quad i=1,2,\dots,M \quad (11)$$

구해진 특징벡터를 이용하여 동일한 내의 분산 행렬  $S_w$ 와 다른 사람들 간의 분산 행렬  $S_b$ 를 만든다.

$$S_w = \sum_{i=1}^C \sum_{j=1}^{n_i} (y_j - M_i)(y_j - M_i)^T \quad (12)$$

$$S_b = \sum_{i=1}^C (M_i - M)(M_i - M)^T \quad (13)$$

$M_i$ 는  $y_k$ 의 클래스 평균이고,  $M$ 은 전체클래스의 평균이다.

고유얼굴을 생성하는 과정은 원 얼굴 영상의 밝기 정보를 상관 행렬로 정의된 분산 행렬로 구성을 한다. 분산 행렬을 구성하는 과정에서  $S_w$ 는 최소화하고,

$S_b$ 는 최대화시키는 방향으로 선형 변환을 시킨 후 분산 행렬을 학습하는 방법이다. 학습과정은 정의된 분산 행렬을 벡터공간에서 최대화시키는 고유벡터를 찾는 것이며, 이 고유벡터 중에서 큰 값을 갖는 것만 취해서 고유얼굴이라고 부른다.

그림 4는 데이터베이스내의 영상으로부터 위의 과정에 의해 계산된 12개의 고유 얼굴을 나타낸다.

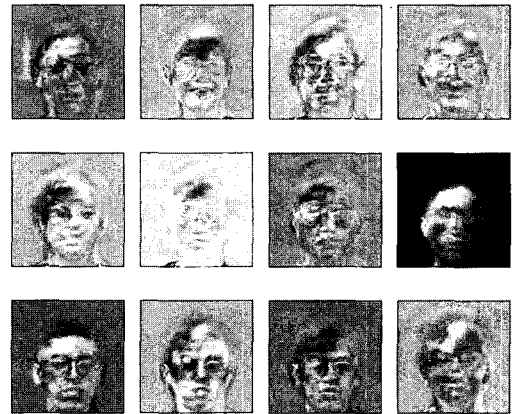


그림 4. 고유얼굴  
Fig. 4 Eigenfaces

### 3.2 유사도 측정

색상정보와 누적 투영을 이용하여 검출한 1차 얼굴 후보에는 얼굴영역도 있지만, 살색을 띠고 있는 배경 물체도 있다. 이 중에서 얼굴을 검출하기 위하여 고유얼굴과 얼굴후보 영역들의 유사도를 비교하게 된다. 입력된 얼굴과 비교되는 얼굴과의 유사도를 측정하는 가장 간단한 방법은 식 (14)와 같이 유클리디안 거리를 이용하는 것이다.

$$\epsilon_k = \|\Omega - \Omega_k\|^2 \quad (14)$$

$\Omega_k$ 는 k번째의 얼굴을 나타내는 벡터이다.  $\Omega$ 는 입력 얼굴을 나타내는 벡터이다.

IV. 실험 결과

제안한 알고리즘을 위한 실험은 Windows2000 운영 체제하의 펜티엄 III 667Mhz, 256MB RAM에서 Visual C++ 6.0을 이용하여 실험하였다. 실험에 사용한 영상은 배경이 없는 100개의 AR(Alexi Martinez and Robert Benavente) 얼굴 데이터베이스와 복잡한 배경과 얼굴이 존재하는 100개의 320×240해상도의 정지영상을 디지털 카메라로 취득하여 사용하였다. 그림 5에 AR 얼굴 데이터베이스에 등록되어 있는 얼굴의 예를 나타내었다.



그림 5. AR 얼굴 데이터베이스에 등록되어 있는 얼굴의 예  
Fig. 5 Some example in AR face database

그림 6은 그림 5의 AR 얼굴 데이터베이스를 이용하여 실험한 얼굴 검출 결과를 보여주고 있다. AR 데이터베이스의 얼굴들은 영상내에 복잡한 배경이 없기 때문에 모든 영상들에 대해서 좋은 검출 결과를 보여주고 있다.

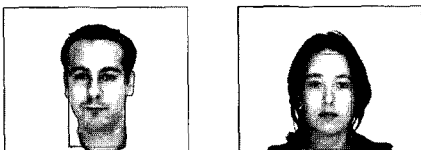


그림 6. AR 데이터베이스를 사용한 얼굴검출 실험결과  
Fig. 6 Experimental results of face detection using AR database

그림 7은 임의의 입력 영상에 대해서 실험한 결과

를 보여주고 있다. (a)는 원 영상이며 (b)는 HSI 색상 좌표계를 이용한 이진화 영상이다. (c)는 1차 얼굴 후보 영상으로 2개의 후보영역을 보여주고 있다. (d)는 유사도 측정에 의해 결정된 최종 검출 결과이다. 그림 8은 배경이 존재하는 또 다른 입력 영상에 대해서 실험한 검출 결과를 보여준다.

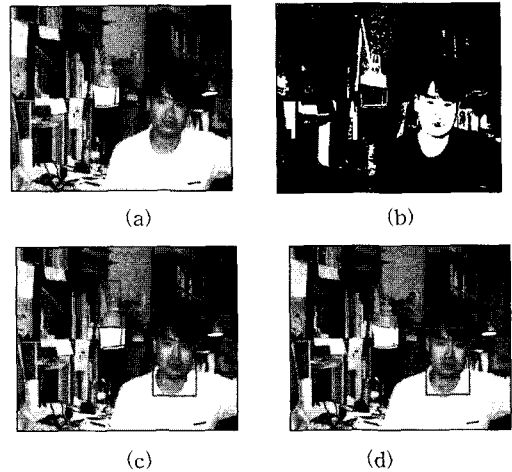


그림 7. 얼굴검출 실험결과  
(a) 원영상 (b) 이진화 영상  
(c) 1차얼굴후보영상 (d) 얼굴검출결과

Fig. 7 Experimental results of face detection  
(a) Original image (b) Binary image  
(c) First face candidate image (d) Face detection result



그림 8. 얼굴검출 실험결과 II  
Fig. 8. Experimental results of face detection II

표 1은 배경이 없는 100개의 AR 얼굴 데이터베이스와 복잡한 배경과 다수의 얼굴이 존재하는 100개의 입력 영상을 사용하여 얼굴을 검출한 실험결과를 나타낸다.

표 1. 얼굴 검출 결과

Table 1. Experimental result of face detection

구 분		개수	백분률(%)
AR 얼굴 데이터베이스 (배경 없음)	성공	100	100 %
	실패	0	0 %
복잡한 배경과 다수의 얼굴이 존재하는 경우	성공	97	97 %
	실패	3	3 %

## V. 결 론

본 논문에서는 색상정보와 PCA-LDA를 이용하여 얼굴을 검출하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법의 검증을 위하여 배경이 없는 AR 얼굴 데이터베이스와 복잡한 배경과 다수의 얼굴이 존재하는 입력 영상을 사용하여 실험하였다.

실험결과, 색상정보와 투영을 이용하여 얼굴 탐색영역을 미리 결정함에 따라 기존의 고유 얼굴만을 이용한 검출 방법에 비하여 속도 향상을 얻을 수 있었다. 또한 PCA-LDA에 의한 고유얼굴과의 비교를 통하여 복잡한 배경이 존재하는 경우에도 97%의 검출률로 얼굴을 정확하게 검출할 수 있었다. 단지 영상내에 존재하는 얼굴의 크기가 너무 작은 경우 검출에 어려움이 있었다.

제안한 검출 방법과 최적의 분류 알고리즘이 결합된 얼굴 인식 시스템이 개발되면 출입 통제 시스템, 보안 시스템, 컴퓨터 시각에 의한 시스템 자동화, 범죄자 식별 등 많은 응용 분야에 적용될 수 있을 것이다.

## 참 고 문 헌

- [1] Kin Choong Yow, "Automatic human face detection and localization," Ph.D. Dissertation, UNIVERSITY OF CAMBRIDGE, 1998.
- [2] Rama Chellappa, C. L. Wilson, and S. Sirohey, "Human and Machine Recognition of Faces: A Survey," Proc. IEEE, vol. 83, no. 5, pp. 705-740, May, 1995.
- [3] T. Kanade, "Picture processing by computer complex and recognition of human faces," PhD Thesis, Kyoto university, 1973.
- [4] R. Brunelli and T. Poggio, "Face recognition : features versus templates," IEEE Trans. on PAMI, vol. 15, no. 10, pp. 1042~1052, Oct. 1993.
- [5] Z. Q. Hong, "Algebraic feature extraction of image for recognition of human faces," J. pattern recognition, vol. 24, no. 3, pp. 211~219, 1991.
- [6] R. Brunelli and T. Poggio, "HyperBF networks for gender classification," Proceeding DARPA image understanding workshop, pp. 311~314, 1992.
- [7] T. C. Chang, T. S. Huang and C. Novak, "Facial feature extraction from color images," Proceeding of 12th international conference on pattern recognition, vol.2, pp. 39-43, 1994.
- [8] Y. Dai and Y. Nakano, "Extraction of facial images from complex background using color information and SGLD matrices," Proceedings of international workshop on automatic face and gesture recognition, Zurich, pp. 238-242, 1995.
- [9] Y. Dai and Y. Nakano, "Face-texture model based on SGLD and its application in face detection a color scene," Pattern recognition, vol. 29, no. 6, pp. 1007-1017, 1996.
- [10] Peter N. Belhumeur, João P. Hespanha, and David J. Kriegman, "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition Using Class Specific Linear Projection," Journal of IEEE Trans. on PAMI, vol.19, no.7, pp.711-720, 1997.
- [11] K. Etemad and R. Chellappa, "Discriminant Analysis for Recognition of Human Face

Images," Journal of Optical Society of America,  
vol.14, pp.1724-1733, Aug. 1997.

저자 소개

李柱承 (正會員)



1999년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)  
2001년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 정보공학전공(공학석사)  
2001년 3월 ~ 현재 삼성전자 정보통신총괄 통신연구소 연구원  
<주관심 분야> 영상신호처리

韓永煥 (正會員)



1989년 2월 인하대학교 전자공학과(공학사)  
1991년 2월 인하대학교 대학원 전자공학과 정보공학전공(공학석사)  
1995년 8월 인하대학교 대학원 전자공학과 정보공학전공(공학박사)  
1996년 3월 ~ 현재 상지대학교

컴퓨터정보공학부 부교수  
<주관심 분야> 영상처리, 생체신호처리, 마이컴 응용

洪勝弘 (正會員)

제 2권 제 1호 논문 98-01-22 참조

현재 인하대학교 전자공학과 교수