



## 얼굴 특징 검출에 의한 RBFNNs 패턴분류기의 설계

### Design of RBFNNs Pattern Classifier Realized with the Aid of Face Features Detection

박찬준\* · 김선환\* · 오성권\*<sup>†</sup> · 김진율\*\*

Chan-Jun Park, Sun-Hwan Kim, Sung-Kwun Oh<sup>†</sup>, and Jin-Yul Kim

\*수원대학교 전기공학과, \*\*수원대학교 전자공학과

<sup>†</sup>Department of Electrical Engineering, The University of Suwon

\*\*Department of Electronic Engineering, The University of Suwon

#### 요 약

본 연구에서는 HcCb 색 특징과 RBFNNs 패턴분류기를 이용하여 얼굴영상을 효과적으로 검출하고 인식하기 위한 방법에 대해 제안한다. 피부색을 검출하는 것은 계산이 빠르고 형태 변형에 강인하여 얼굴을 검출하기에 유용하지만 유사한 색을 갖는 다른 물체를 잘못 검출하기도 한다. 따라서 피부색 검출의 정확도를 높이기 위하여 HSI 색공간과 YCbCr 색공간으로부터 각각 H요소와 CbCr요소를 추출하고 이를 결합하는 방법을 제안하였다. 그리고 각각의 피부색 후보 영역에 대하여 Haar-like 특징을 사용하여 눈을 검출함으로써 얼굴의 정확한 위치를 찾아냈다. 마지막으로 제안된 FCM 기반 RBFNNs 패턴분류기를 이용하여 얼굴 인식을 수행하였다. 또 Cambridge ICPR 영상 DB에 대하여 제안된 방법의 모의실험을 수행하고 그 결과를 제시하였다.

키워드 : 피부색, RBFNNs 패턴분류기, HSI, YCbCr, HcCb

#### Abstract

In this study, we propose a method for effectively detecting and recognizing the face in image using RBFNNs pattern classifier and HcCb-based skin color feature. Skin color detection is computationally rapid and is robust to pattern variation for face detection, however, the objects with similar colors can be mistakenly detected as face. Thus, in order to enhance the accuracy of the skin detection, we take into consideration the combination of the H and CbCr components jointly obtained from both HSI and YCbCr color space. Then, the exact location of the face is found from the candidate region of skin color by detecting the eyes through the Haar-like feature. Finally, the face recognition is performed by using the proposed FCM-based RBFNNs pattern classifier. We show the results as well as computer simulation experiments carried out by using the image database of Cambridge ICPR.

Key Words : Skin Color, RBFNNs pattern classifier, HSI, YCbCr, HcCb

Received: Jan. 8, 2016  
Revised : Apr. 20, 2016  
Accepted: Apr. 20, 2016  
<sup>†</sup>Corresponding authors  
ohsk@suwon.ac.kr

## 1. 서 론

얼굴인식 기술은 차세대 바이오인식 기술 중 하나이며, 비접촉식으로 인식대상자의 불쾌감과 불편함이 적고 값비싼 입력 장치가 필요치 않아 현재 바이오인식 분야 중 활발히 연구가 진행 중이다. 하지만 얼굴인식은 실제적인 응용에 몇 가지 문제가 발생한다. 즉, 대상자의 포즈변화(회전변화) 또는 주변의 조명 변화에 의한 오차에 의한 오검출로 인해 정확한 얼굴인식에 있어 신뢰성이 떨어진다.

따라서 본 연구에서는 2차원 얼굴 검출의 단점을 보완하고자 제안하는 색 공간에서 피부색을 이용하여 얼굴을 검출하고, 인식성능을 신뢰하기 위해 지능형 알고리즘인 FCM 기반 RBFNNs 패턴분류기[1]를 이용하여 얼굴 인식을 수행한다. 얼굴을 검출하기 위한 색 공간은 YCbCr, HSI에서 제안하는 H,Cb,Cr 공간을 이용하여 피부색을 검출 후 얼굴 후보 영역을 생성하고 후보 영역 내에서 Haar-like 특징을 이용하여 눈을 검출하여 얼굴을 영역을 확정하여 얼굴을 검출한다. 검출된 얼굴을 인식을 수행하기 위해서 전처리 과정에서 PCA를 이용하여 입력 차원을 축소 후 FCM기반 RBFNNs 패턴분류기를 이용한다.[9,10] 이 결합된 색 공간을 이용하여 우리가 제안하는 패턴분류기에 결합한 통합모듈로서 제안됨을 기술하였다.

본 연구는 2015년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임 (NRF-2015R1 A2A1A15055365) 그리고 경기도의 경기도지역협력연구센터사업의 일환으로 수행하였음[GRRC 수원2015-B2, U-city 보안감시 기술협력센터]  
This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

주성분 분석법인 PCA는 다차원 특징 벡터로 이루어진 데이터에 대해 고차원의 특징을 유지하면서 저차원으로 축소하는 다변량 데이터 처리 방법 중 하나이다. 또한 인식에 사용되는 FCM기반 RBFNNs 패턴분류기는 기존의 신경회로망과는 다르게 다차원 문제해결 능력과 강인한 네트워크 특성 및 예측능력이 우수하다는 장점이 있다. 또한 제안된 피부색을 이용한 얼굴 검출과 인식결과를 확인하기 위해 Cambridge ICPR 데이터[2]를 사용하였다.

## 2. 색상 기반 얼굴 영역 검출

본 논문에서는 얼굴 후보 영역을 검출하기 위해 색 공간 변환 기법을 적용하여 얼굴의 피부색 영역을 검출하는 방법을 제안한다. 기존의 얼굴 후보 영역을 검출하는 방법은 특징기반 기법과 영상기반 기법으로 나누어진다.

여기서 특징 기반 기법은 피부색을 이용하는 방법, 얼굴의 주요 구성 성분인 눈, 코, 입 등의 상관관계를 이용하는 사전 지식 기반 방법이 있고 영상 기반 기법은 기계학습을 이용하여 선형 부분 공간을 생성하여 분류하는 방법이 등이 있다[3].

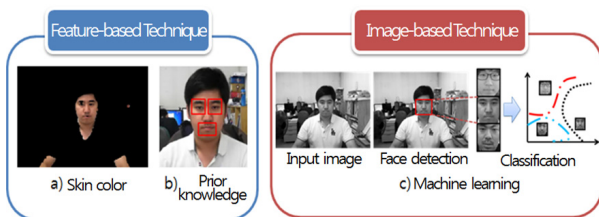


그림 1. 얼굴 영역을 검출하는 방법 예  
Fig. 1. A method for detecting a face region

### 2.1 색상 정보를 이용한 얼굴 영역 검출

본 논문에서는 피부색을 이용한 검출은 색 영상에서 얼굴의 피부색 영역은 일정한 분포의 색상 정보를 가짐으로서 피부색과 피부색이 아닌 영역을 구분하는 방법으로 RGB, YCbCr, YUV, HSI, HSV의 색 공간을 이용한다.[4,11] 하지만 하나의 색 공간에서는 피부 영역을 구분하기 어렵기 때문에 본 연구에서는 표 1의 밝은 실내와

표 1. 조명 변화에 따른 얼굴 이미지  
Table 1. Face images of different lighting

	RGB	HSI	YCbCr
Bright lighting			
Dark lighting			

어두운 실내에서 촬영한 얼굴 영상을 식(1)과 식(2)를 이용하여 YCbCr과 HSV 색 공간으로 변환하여 피부색 분포를 확인 한다.

$$\begin{bmatrix} Y \\ C_b \\ C_r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.144 \\ -0.168 & -0.331 & 0.5 \\ 0.5 & -0.418 & -0.081 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 128 \\ 128 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H = \begin{cases} \theta & , \text{if } B \leq G \\ 360 - \theta & , \text{if } B > G \end{cases}$$

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

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

각 색 공간의 피부색 분포를 그림 2~그림 4에 나타내었다. 분포 확인 결과 그림 2의 RGB 공간에서는 밝은 실내나 어두운 실내 모두

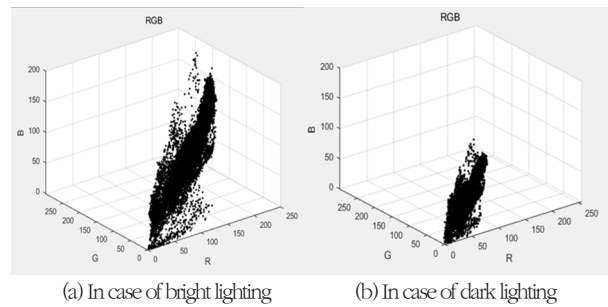


그림 2. RGB 공간의 피부색 분포  
Fig. 2. Skin color distribution of RGB

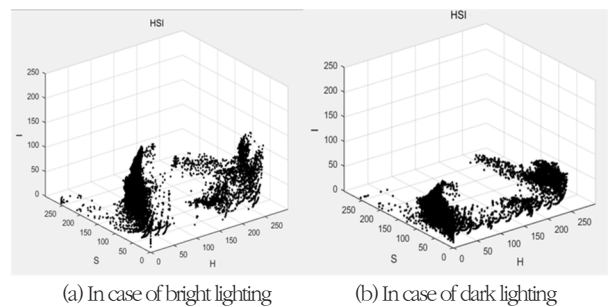


그림 3. HSI 공간의 피부색 분포  
Fig. 3. Skin color distribution of HSI

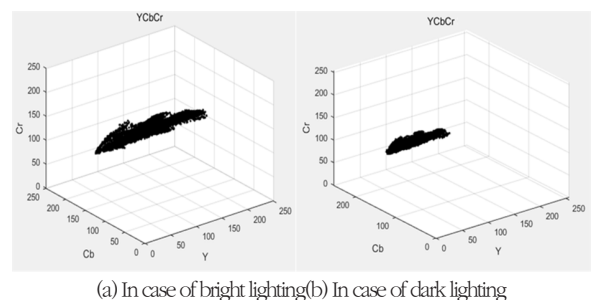


그림 4. YCbCr 공간의 피부색 분포  
Fig. 4. Skin color distribution of YCbCr

피부색 분포의 밀집은 높으나 조명의 변화에 의해 R, G, B 성분의 분포가 커지는 것을 볼 수 있었고 그림 3의 HSI 공간에서는 H, S의 성분의 밀집도가 크고 조명 변화에 민감하지 않았다, 그리고 YCbCr 공간에서는 Cb, Cr 성분이 밀집도가 크고 조명 변화 또한 민감하지 않음을 확인 하였다.

각 색 공간의 분포 비교 결과 조명과 배경 영향에 강한 HbCr 색 공간을 이용함에 아래 식(3)의 제안하는 피부색 참조 범위 값을 이용하여 피부 영역을 검출한다.

또한 제안하는 HbCr 공간에서 피부 영역 이외의 잡음을 제거하기 위해서 모폴로지 연산중 하나인 열림 연산(Opening)을 수행하였고 그 과정은 그림 5와 같다.

$$O(x,y) = \begin{cases} 1, & \text{if } [R_H(x,y) \cap R_{Cr}(x,y) \cap R_{Cb}(x,y)] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

여기서,  $R_H = [0^\circ, 25^\circ]$ ,  $R_{Cr} = [133, 173]$ ,  $R_{Cb} = [77, 127]$

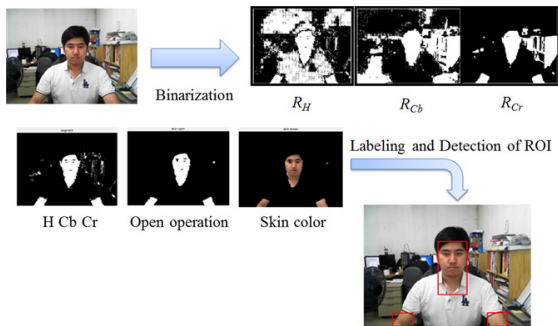


그림 5. 제안하는 피부 범위를 이용한 얼굴 후보 검출  
Fig. 5. Face candidate detection Using the skin color range to propose

검출된 피부색 영역은 입력 영상으로부터 얼굴 이외의 피부색을 포함한 목 또는 팔등이 같이 검출되기 때문에 정확한 얼굴후보를 결정하기 위해서 그림 6과 같이 Harr-like특징을 이용하여 눈을 검출 후 두 눈 사이의 거리를 이용하여 인식 할 얼굴 후보를 추출한다[5,6].

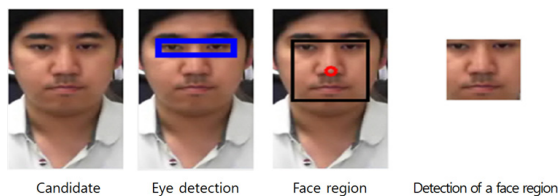


그림 6. 눈 검출을 통한 얼굴 영역 추출  
Fig. 6. Extracting Face Detection by the Eye Detection

## 2.2 주성분 분석법 (Principal Component Analysis)

앞 절에서 설명한 피부색을 이용한 얼굴 검출방법으로 검출된 얼굴은 이미지의 명암도 값을 입력으로 사용하기 때문에 이미지의 크기에 따라 분류기의 학습 속도 및 성능에 영향을 미친다. 이러한

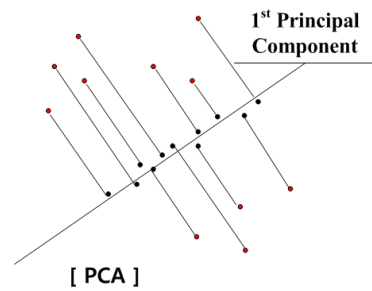


그림 7. 주성분 분석법(PCA)의 차원축소  
Fig. 7. Dimensional reduction of Principal Component Analysis

문제를 해결하기 위해 전처리 과정에서 주성분 분석법을 사용하여 이미지의 입력 차원을 축소한다. PCA는 다차원 특징 벡터로 이루어진 데이터에 대해 고차원의 특징을 유지하면서 저차원으로 차원을 축소하는 다 변량 데이터 처리 방법 중의 하나이다. 또한 주성분 분석법은 서로 다른 공간의 차원을 줄여서 간단히 표현하는 실용적인 방법에도 많이 사용된다.

앞 절에서 피부색과 눈 검출을 통해 추출한 이미지 크기는  $90 \times 90$  크기로 변환하여 특징을 추출하기 때문에 고차원의 8100개의 벡터를 30차원으로 축소한다. 다음은 주성분 분석법을 이용한 차원 축소 과정은 다음과 같다.

[Step 1] 인식을 위한 얼굴 벡터 집합 구성

$$S = \Gamma_1, \Gamma_2, \Gamma_3, \dots, \Gamma_M \quad (4)$$

[Step 2] 평균과 분산을 기준으로 이미지 정규화 수행

$$\Gamma_{ij} = (\Gamma_{ij} - \mu_i) \times \frac{\sigma}{\sigma_i} + \mu \quad (5)$$

[Step 3] 평균 얼굴 벡터를 계산

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

[Step 4] 인식후보 얼굴 벡터와 평균 얼굴 벡터와의 차 벡터를 계산

$$\Phi_i = \Gamma_i - \Psi \quad (7)$$

[Step 5] 인식후보 얼굴에서 공분산 행렬을 계산

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

[Step 6] M개의 고유벡터에서 가장 큰 고유값을 갖는 M개 만을 선택

$$C = U \Lambda U^T \quad (9)$$

[Step 7] 각 인식후보 얼굴과 고유벡터와의 사영을 통해 가중치를 획득

$$\Omega^T = [w_1, w_2, w_3, \dots, w_M] \quad (10)$$

### 3. FCM 기반 RBFNN 패턴 분류기를 통한 얼굴 인식

앞 절에서 설명한 피부색을 이용하여 추출한 얼굴을 인식하기 위해 FCM 기반 RBFNN 패턴 분류기를 이용한다. RBFNNs 패턴분류기는 그림 8과 같이 퍼지 규칙 기반으로 한 네트워크로 구조를 가지며. 신경망과 같은 입력층, 은닉층, 출력층으로 구성되고 이를 다시 조건부, 결론부, 추론부의 세가지 기능적 모듈로 분해되어 동작한다. 조건부의 활성화함수는 가우시안 함수대신 FCM 클러스터링 알고리즘을 사용하여 각 데이터가 가지고 있는 특성을 모델에 반영 할 수 있도록 하였다. 모델의 최종 출력은 조건부와 결론부의 다항식으로 표현된다[1,7,8].

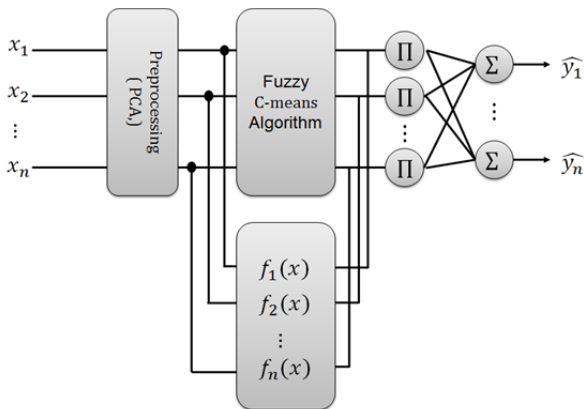


그림 8. FCM 기반 RBFNNs의 구조  
Fig. 8. Architecture of FCM based RBFNNs

#### 3.1 FCM (Fuzzy C-Means) 클러스터링

FCM(Fuzzy C-Means)클러스터링 알고리즘은 비슷한 패턴, 속성, 형태 등의 기준을 통해 데이터를 분류하는 알고리즘으로, 데이터와 각 클러스터와의 거리를 기준으로 소속정도를 측정하여 데이터를 분류한다. 이는 활성화 함수의 적합도 개념과 동일해 다항식 기반 RBFNNs 모델의 은닉층 활성화함수 형태를 표현할 수 있다. 아래 단계를 통해 FCM 전반부 동정은 수행된다.

단계 1: 클러스터의 개수를 결정하고, 소속행렬  $U^{(0)}$ 을 초기화한다.

$$U^{(r)} = \left\{ u_{ik} \in [0,1], \sum_{i=1}^c u_{ik} = 1 \forall k, 0 < \sum_{k=1}^n u_{ik} < n \forall i \right\} \quad (11)$$

단계 2 :  $U^{(r)}$ 값을 기반으로 각각의 클러스터에 대한 중심값과 소속함수의 값을 구한다.

$$v_i^{(r)} = \{v_{i1}^{(r)}, \dots, v_{ic}^{(r)}\}, v_{ij}^{(r)} = \left( \frac{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m \cdot x}{\sum_{k=1}^n (u_{ik})^m} \right) \quad (12)$$

$$u_{ik} = \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left( \frac{\|x_k - v_i^{(r)}\|}{\|x_k - v_j^{(r)}\|} \right)^{2/(m-1)}} \quad (13)$$

단계 3 : 각각의 클러스터 중심과 데이터와의 거리를 계산하여 새로운 소속행렬을 생성한다.

$$d_{ik} = d(x_k - v_i^{(r)}) = \left[ \sum_{j=1}^l (x_{kj} - v_{ij}^{(r)})^2 \right]^{1/2} \quad (14)$$

단계 4 : 오차가 허용범위 안에 도달하면 종료하고, 그렇지 않으면 단계 2로 돌아간다.

$$\|U^{(r+1)} - U^{(r)}\| \leq \epsilon \text{ (tolerance level)} \quad (15)$$

#### 3.2 최소자승법(Least Square Estimator)

후반부 다항식의 파라미터 계수는 Least Square Estimator(LSE) 학습방법을 사용하여 모델을 설계한다. LSE는 오차제곱의 합이 최소가 되도록 계수를 추정하며 후반부 다항식들의 계수를 한 번에 구하기 때문에 전역 모델의 학습에 수행 가능하다. LSE에서의 성능평가함수  $Q_L$ 을 행렬 형식으로 표현하면 식 (16)과 같다.

$$Q_L = (Y - XA)^T(Y - XA) \quad (16)$$

여기서  $A$ 는 후반부 다항식 파라미터 계수,  $Y$ 는 출력 데이터,  $X$ 는 FCM의 소속행렬이 곱해진 입력데이터의 행렬로  $x$ 는 입력행렬,  $u$ 는 소속행렬을 의미한다. 후반부 구조가 Linear일 경우  $X, Y, A$  행렬은 다음과 같은 식 (17)으로 표현 되며, 여기서  $m$ 은 데이터의 수이며,  $k$ 는 입력수의 수,  $c$ 는 규칙 수(클러스터 수)가 된다.

$$A = [a_{10}, a_{11}, \dots, a_{1k}, \dots, a_{c0}, a_{c1}, \dots, a_{ck}]^T$$

$$X = \begin{bmatrix} u_{11} & \dots & u_{c1} & x_{11}u_{11} & \dots & x_{11}u_{c1} & \dots & x_{k1}u_{11} & \dots & x_{k1}u_{c1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots & \vdots \\ u_{1m} & \dots & u_{cm} & x_{1m}u_{1m} & \dots & x_{1m}u_{cm} & \dots & x_{km}u_{1m} & \dots & x_{km}u_{cm} \end{bmatrix} \quad (17)$$

$$Y = \begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_m \end{bmatrix}$$

이에 전역 모델에 대한 행렬은 식 (18)과 같으며 후반부 다항식의 계수행렬  $A$ 는 확장행렬을 구하고 가우스 소거법(Gaussian elimination)을 이용하여 구하거나 식 (19)와 같이 역행렬에 의해 구해진다.



$$(X^T X)A = X^T Y \quad (18)$$

$$A = (X^T X)^{-1} X^T Y \quad (19)$$

### 4. 시뮬레이션 및 결과고찰

본 연구에서는 제안하는 HcCbCr 공간을 이용하여 피부색을 검출과 검출된 피부색 정보에 의한 얼굴 후보 영역을 생성하고 후보 영역내에서 Haar-like 특징을 이용하여 눈을 검출을 이용하여 추출한 얼굴을 FCM 기반 RBFNNs 패턴분류기를 통해 얼굴을 인식한다.

4장에서는 성능 평가를 위해 실험에 사용한 데이터는 Cambridge ICPR를 사용하였다. Cambridge ICPR 데이터는 총 14명의 인원으로 인식 대상자당 상하 ±60° 좌우 ±90°으로 91장을 포함 총 1,274장의 데이터로 구성된 영상이다[2].

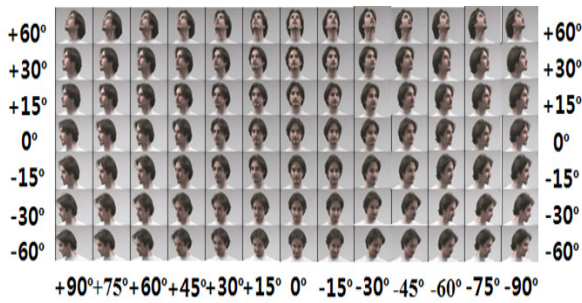


그림 9. Cambridge ICPR 데이터 구성  
Fig. 9. Cambridge ICPR dataset

RBFNNs 패턴분류기를 학습하기 위해 그림 9의 Cambridge ICPR 데이터 인식대상자의 상하좌우 ±15° 이용하고 테스트 데이터로 좌우 ±60° 를 사용하였다.

학습하는 RBFNNs 패턴분류기의 성능을 평가하기 위해 식 (20)의 오분류율(Misclassification Rate)을 이용하였다.

$$\text{오분류율}[\%] = 100 \times \left(1 - \frac{err}{N}\right) \quad (20)$$

err : 오분류수, N : 전체 분류 수 (데이터수)

학습에 사용된 FCM의 퍼지화 계수는 일반적으로 사용되는 2.0을 사용하였고 클러스터 수를 나타내는 규칙 수는 10, 후반부에

표 2. pRBFNNs 패턴분류기 파라미터  
Table 2. Parameters of pRBFNNs pattern classifier

Parameters	Value
Fuzzification Coefficient	2.0
Number of Inputs	30(PCA)
Number of Rules	2~10
Polynomial Type	Linear

사용되는 다항식 파라미터는 1차 선형식(Linear)을 이용하였다. 표 2는 학습하는 RBFNN 패턴분류기의 파라미터를 나타낸다.

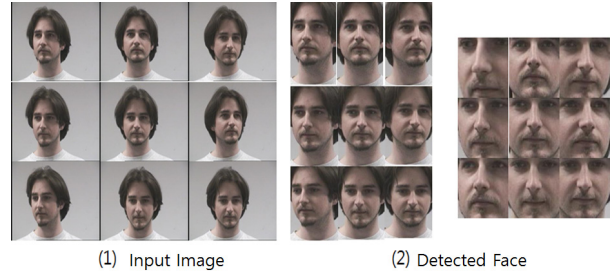


그림 10. Cambridge ICPR 검출된 얼굴과 학습이미지  
Fig. 10. Detected face and Training image in Cambridge ICPR

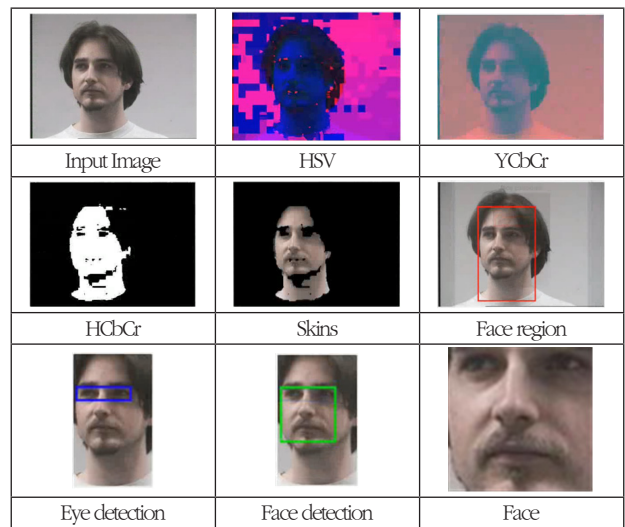


그림 11. 제안하는 방법에 의한 피부색과 얼굴 검출  
Fig. 11. Skin color and face detection by a proposed Method

그림 10은 실험에 사용된 Cambridge 데이터를 나타내었고 그림 11은 제안하는 HcCbCr 색 공간을 이용하여 피부색 영역과 Haar-like 이용한 눈 검출을 통해 얼굴을 검출한 결과를 나타낸다.

검출된 인식대상자 14명의 얼굴을 학습한 FCM 기반 RBFNNs 패턴분류기의 성능은 표 3과 같으며 가장 좋은 성능 나타낸 룰 5

표 3. RBFNNs 패턴분류기 성능  
Table 3. Face recognition results

Rules	Training	Testing
2	95.94%	93.03%
3	96.35%	94.27%
4	97.45%	95.70%
5	98.54%	98.35%
6	99.69%	97.37%
7	99.90%	60.32%
8	99.90%	83.90%
9	99.90%	80.52%
10	99.90%	78.26%

의 각 인식대상자의 인식률은 표 4에 나타내었다. 인식 결과 90% 이상의 인식 결과를 확인하였다.

표 4. 얼굴 인식 결과  
Table 4. Face recognition results

Recognition object	Recognition rate	Recognition object	Recognition rate
1	100	8	94.4
2	100	9	100
3	94.4	10	100
4	97.2	11	100
5	97.2	12	100
6	94.4	13	98.8
7	100	14	100
Mean recognition rate		98.31	

표 3에서는 규칙 수가 증가함에 따라 전형적인 과적합 현상을 보이고 있다. 또한 배경이 존재하는 상황에서의 얼굴 검출을 확인하기 위한 실험을 수행하였고, 아래의 그림 12에 결과를 나타내었다. 피부색 검출 결과, 배경이 있는 조명 영향에 강인한 피부색 영역을 검출이 가능한 것을 확인 하였다. 또한 기존의 피부색 검출 방법에서는 피부색과 유사한 갈색, 또는 적색 계열에 오차가 발생하는데 제안하는 HCbCr은 오차가 적은 것을 확인하였다.

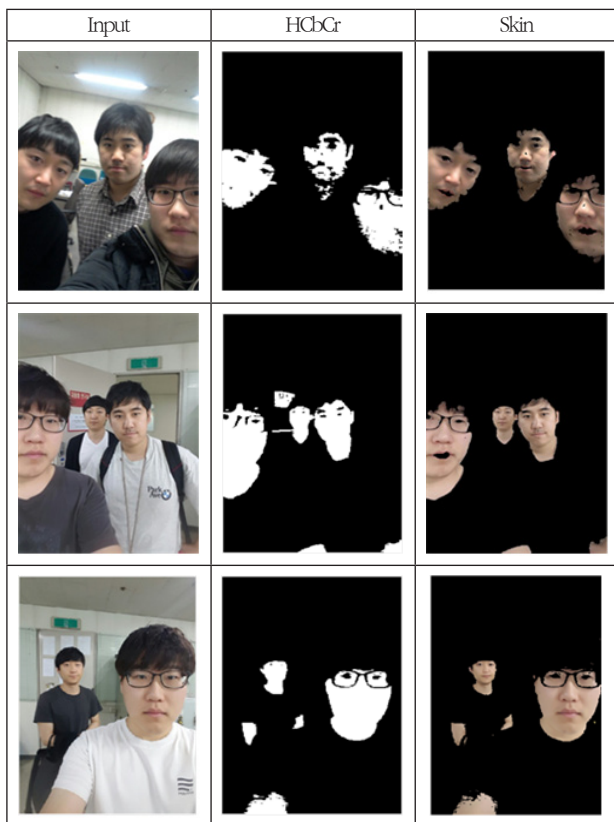


그림 12. 배경이 존재하는 상황에서의 피부색 검출  
Fig. 12. Skin color detection in situations where the background exists.

## 5. 결론 및 향후 연구

본 논문에서는 제안하는 HCbCr 색 공간을 이용하여 얼굴을 검출하고 이 얼굴에 대해서 FCM 기반 RBFNNs 패턴분류기를 이용하여 얼굴 인식을 수행하였다. 피부색을 검출하기 위해 RGB, HSI, YCbCr 색 공간에서 피부색 분포를 확인한 결과 H,Cb,Gr 공간이 조명의 영향이 적고 피부색 밀도가 높은 것을 확인 하였다. 이를 이용하여 검출된 피부 영역에서 얼굴을 추출하기 위해서 Haar-like 눈 검출을 통해 얼굴을 추출하였고 추출된 얼굴은 FCM 기반 RBFNN 패턴분류기를 통해 인식을 수행한 결과 90% 이상의 얼굴 인식률을 확인할 수 있었다.

향후 연구에서 영상을 이용한 감시 시스템에서 개인정보보호를 위한 얼굴 Blur 모듈을 통한 블러링하기 위한 전처리 이용과 피부색을 이용한 검출 방법의 성능 향상을 위해 배경 영상을 차영상 기법을 응용을 진행할 예정이다.

## References

- [1] S. K. Oh, W. D. Kim, and W. Pedrycz, "Fuzzy Radial Basis Function Neural Networks with information granulation and its parallel genetic optimization." *Fuzzy Sets and Systems*, Vol 237, pp 96-117, February 2014
- [2] Cambridge ICPR Head Pose Image Database : <http://www-prima.inrialpes.fr/Pointing04/data-face.html>
- [3] Yongjin Baek, "Face Detection Using Skin Color And Head Model And Face Recognition", Ph. D. Dissertation, Pusan National University, Pusan, 2005.
- [4] Hyein Kim and segrim Choi, "Face Detection Using The New Color Component be fit to skin color", *Korean Institute of Communications and Information Sciences*, 5b-95, P347-350, 2004.
- [5] Hjelmas, E., & Low, B. K. (2001). Face detection: A survey. *Computer vision and image understanding*, 83(3), 236-274.
- [6] Chai, D, & Ngan, K. N. (1999). Face segmentation using skin-color map in videophone applications. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 9(4), 551-564.
- [7] S. K. Oh, W. Pedrycz, B. J. Park, "Polynomial-based Radial Basis Function Neural Networks realized with the Aid of Particle Swarm Optimization," *Fuzzy Sets and Systems*, Vol. 163, pp. 54-77, 2011.
- [8] Roh, S. B., Joo, S. C., Pedrycz, W., & Oh, S. K. (2010).

The development of fuzzy radial basis function neural networks based on the concept of information ambiguity, *Neurocomputing*, 73(13), 2464-2477.

- [9] S. C. Lee, S. K. Oh and H. K. Kim, "Design of PCA-based pRBFNNs Pattern Classifier for Digit Recognition," *Korea Institute of intelligent systems*, vol. 25, no. 4, pp. 355-360, 2015.
- [10] S. K. Oh, S. H. Oh, H. K. Kim, "Design of Three-dimensional Face Recognition System Using Optimized PRBFNNs and PCA : Comparative Analysis of Evolutionary Algorithms", *Korea Institute of intelligent systems*, vol. 23, no. 6, pp. 539-544, 2013.
- [11] T. H. Kim, G. S. Kim, Y. C. Song, G. S. Ryu, B. J. Choi, K. H. Park, "A Color-Based Medicine Bottle Classification Method Robust to Illumination Variations", *Korea Institute of intelligent systems*, vol. 23, no. 1, pp. 57-64, 2013.



**오성권(Sung-Kwon Oh)**

1981년 : 연세대학교 전기공학사  
1983년~1989년 : 금성산전 연구소(선임연구원)  
1993년 : 연세대학교 전기공학과 공학박사  
1996년~1997년 : 캐나다 Manitoba 대학 전기 및 컴퓨터 공학과 Post-Doc

1993년~2004년 : 원광대학교 전지전자 및 정보 공학부 교수  
2005년~ 현재 : 수원대학교 전기공학과 교수  
2002년~ 현재 : 대한전기학회, 퍼지 및 지능시스템학회 편집위원  
2013년~ 현재 : Information Sciences 편집위원

관심분야 : Fuzzy System, Fuzzy-Neural Network, Automatic System, Advanced Computational Intelligence, Intelligent Control

Phone : +82-31-222-6544

E-mail : ohsk@suwon.ac.kr

**저자 소개**



**박찬준(Chan-Jun Park)**

2014년 : 수원대학교 전기공학과 졸업  
2014년~현재 : 동 대학원 석사과정

관심분야 : 퍼지추론 시스템, 뉴럴 네트워크, 패턴 인식, 진화론적 최적화 알고리즘, 얼굴인식 시스템

Phone : +82-31-222-6544

E-mail : kaggh@suwon.ac.kr



**김진율(Jin-Yul Kim)**

1986년 : 서울대학교 전자공학과 졸업,  
1988년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학 석사  
1993년 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 공학박사

1994~현재 : 수원대학교 전자공학과 부교수

관심분야 : 신호처리시스템 설계, 영상내 객체 추적

Phone : +82-31-220-2323

E-mail : jykim@suwon.ac.kr



**김선환(Sun-Hwan Kim)**

2015년 : 수원대학교 전기공학과 졸업  
2015년~ 현재 : 동 대학원 석사과정

관심분야 : 퍼지추론 시스템, 뉴럴 네트워크, 패턴 인식, 진화론적 최적화 알고리즘, 얼굴인식 시스템 등

Phone : +82-31-222-6544

E-mail : ksh0301@suwon.ac.kr