

분포맵에 기반한 얼굴 영역 검출

조 한 수[†]

요 약

얼굴 검출은 개인 인증이나 보안 등 그 응용분야가 다양하여 활발히 연구가 진행되고 있다. 본 논문에서는 분포맵에 기반한 얼굴 검출의 새로운 방법을 제안한다. 제안한 방법은 먼저, 빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 입력 영상에 적용하여 일차적으로 얼굴 후보영역을 구하고, 이 영역에서 눈동자색 분포맵을 이용하여 눈 후보영역을 결정함으로써 얼굴 구성 요소를 탐색하는 탐색공간을 축소한다. 결정된 눈 후보영역에서 가장치가 있는 윈도우를 이용하여 휘도성분과 색상성분의 상관값을 특징벡터로 한 템플릿 정합 방법으로 눈 후보점을 검출한다. 최종적으로 각 눈 후보점 쌍에 대하여 눈과 입의 위치관계 정보와 입을 인식하는 평가함수를 이용하여 얼굴을 검출하였다. 실험 결과, 제안된 방법은 좋은 성능을 보였다.

Face Detection Based on Distribution Map

Han-Soo Cho[†]

ABSTRACT

Recently face detection has actively been researched due to its wide range of applications, such as personal identification and security systems. In this paper, a new face detection method based on the distribution map is proposed. Face-like regions are first extracted by applying the skin color map with the frequency to a color image and then, possible eye regions are determined by using the pupil color distribution map within the face-like regions. This enables the reduction of space for finding facial features. Eye candidates are detected by means of a template matching method using weighted windows, which utilizes the correlation values of the luminance component and chrominance components as feature vectors. Finally, a cost function for mouth detection and location information between the facial features are applied to each pair of the eye candidates for face detection. Experimental results show that the proposed method can achieve a high performance.

Key words: Face Detection(얼굴검출), Distribution Map(분포맵), Luminance Component(휘도성분), Chrominance Components(색상성분)

1. 서 론

최근 컴퓨터 관련 기술의 급격한 발달로 인해 인간과 컴퓨터간의 인터페이스를 향상하는 기술에 대한 관심이 고조되고 있는 가운데, 컴퓨터비전 기술의 실

제 응용에 대한 다양한 연구가 활발히 전개되고 있다. 특히 전자상거래의 발달과 더불어 보안의 중요성이 부각되면서 개개인의 얼굴영상 정보를 실생활에 이용하고자 하는 연구가 주목을 받고 있다.

얼굴검출은 얼굴인식을 위한 필수적인 전처리 기술로서도 중요한 역할을 할 뿐만 아니라, 비디오 인덱싱, 검색, 추적, 감시 등 얼굴영상 정보를 이용한 다양한 실제 응용분야의 핵심기술로 부각되고 있다. 그러나 얼굴은 그 다양성 때문에 복잡한 배경으로부터 얼굴영역을 정확히 분리해 내는 데는 많은 어려움

※ 교신저자(Corresponding Author): 조한수, 주소: 강원도 동해시 지흥동 산 119번지(240-713)
전화: 033)520-9304, FAX: 033)521-9907, E-mail: hansoocho@hanmail.net

접수일: 2004년 11월 1일, 완료일: 2005년 7월 20일

[†]정회원, 한중대학교 디지털정보공학부

이 따르고 있다.

얼굴영역을 검출하는 기법으로는 템플릿을 이용하는 방법[1,2], 신경망을 이용하는 방법[3,4], 얼굴특징을 이용하는 방법[5,6], 사례 기반(example-based) 방법[7] 등 여러 방법이 연구되어 왔다. 그러나 이러한 방법 중 대부분은 처리시간이 오래 걸리고 정면에서 가까운 얼굴을 대상으로 하고 있기 때문에 실시간 응용을 위해서는 새로운 방법이 요구되고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 컬러정보를 이용한 방법[8-12]이 얼굴검출의 새로운 방법으로 제시되어 활발히 연구되고 있다.

Dai[8]는 RGB 컬러공간을 YIQ 컬러공간으로 변환하고 SGLD(space gray-level dependence) Matrix에 기반한 얼굴의 질감을 이용한 모델을 이용하여 얼굴영역을 검출하였다. 이 방법은 비교적 좋은 성능을 보이지만 추출할 얼굴의 크기를 제한하였다. Wu[9]는 피부색 분포모델과 머리색 분포모델을 사용하여 퍼지 패턴 매칭으로 배경에서 얼굴을 검출하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 두 모델에서 정의된 패턴과 다른 모양을 한 경우에는 정확히 얼굴영역을 추출하지 못하는 단점이 있다. Wang[10]은 정규화된 RGB 컬러공간과 HSV 컬러공간을 이용하여 얼굴 후보영역을 추출하고 웨이블릿 변환을 이용하여 검증하는 방법을 사용하였고, Chai[11]는 YCbCr 컬러공간에서 색상성분을 이용하여 얼굴 후보영역을 검출하였다. 이러한 방법들은 높은 정확성을 보이고 있으나 빛의 반사나 조명의 영향으로 얼굴영역에 생기는 그림자와 같은 변화가 비교적 없는 영상만을 대상으로 하였다. Hsu[12]는 조명에 따른 피부색의 변화를 줄이기 위하여 빛을 보정하는 기법(lighting compensation technique)과 비선형 컬러 변환(nonlinear color transformation)을 사용하여 얼굴검출을 시도하였다. 이 방법은 높은 정확성을 보이지만 많은 처리시간이 요구된다.

이러한 컬러 정보에 기반한 얼굴 검출 방법은 일반적으로 미리 구성된 피부색 분포맵과 입력화소를 비교하여 피부영역을 결정하는 방법으로 비교적 좋은 성능을 보이나, 조명의 변화나 피부색과 유사한 색상이 있을 경우 높은 성능을 기대하기 어렵다는 단점이 있다. 또한, 피부색 분포맵에서 피부색으로 설정한 영역에는 피부색과 유사한 색상이나 실제 피부색에서 나타나지 않은 영역도 다소 포함된다. 그러나 이

영역에 속하는 화소를 모두 동일하게 취급하여 피부 영역의 화소로 결정하고 있기 때문에 이를 적용한 이진 영상에서는 얼굴 후보영역이 크게 나타나서 얼굴 특징 요소 검출의 성능이 저하된다.

이에, 본 논문에서는 빈도수를 고려한 피부색 분포맵과 눈동자색 분포맵을 이용한 얼굴 검출 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 피부색 분포맵에서 설정한 피부영역을 모두 동일하게 피부영역의 화소로 취급하지 않고 빈도수에 따른 몇 개의 군집으로 분류하여 분류된 군집정보를 피부영역의 화소 결정에 반영하여 얼굴 후보영역을 검출한다. 본 논문에서 구성한 빈도수를 고려한 피부색 분포맵은 실제 조명의 영향으로 인해 얼굴 영상에서 나타나는 왜곡된 색상이나 그림자와 같은 어두운 부분, 아주 밝은 부분 등을 포함하여 YCbCr 컬러공간에서 휘도성분 Y값에 따른 색상성분 Cb와 Cr값의 분포를 고려한 피부영역을 설정하였다. 또한, 기존의 방법에서는 피부색 분포맵에 의해 검출된 얼굴 후보영역에서 얼굴 특징 요소를 탐색하여 얼굴을 검출하는 방법을 사용하고 있으나, 얼굴 후보영역에는 피부색과 유사한 배경영역이 함께 포함되어 있기 때문에 탐색 공간이 커져 얼굴 검출 성능이 떨어진다. 이에, 본 논문에서는 빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 이용하여 검출된 얼굴 후보영역 안에서 눈동자색 분포맵을 적용하여 눈 후보영역을 검출함으로써 눈 탐색 공간을 축소할 수 있어 얼굴 검출의 성능을 높일 수 있다. 이렇게 하여 검출된 눈 후보영역에서 가중치가 있는 탐색 윈도우를 이용하여 눈 후보점을 검출하고 눈 후보점의 모든 쌍에 대하여 눈과 입의 위치관계 정보와 입술 색상정보를 이용한 입 인식 평가함수로 입을 인식하여 최종적으로 얼굴 영역을 검출하였다. 제안한 방법을 검증하기 위하여 POSTECH 얼굴 데이터베이스와 챔피언 데이터베이스 및 웹에서 획득한 영상을 사용하여 실험한 결과, 조명의 영향으로 색상이 왜곡된 영상이나 배경이 복잡한 영상, 입의 형태가 다양한 영상 등에서도 좋은 성능을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 빈도수를 고려한 피부색 분포맵과 눈동자색 분포맵을 이용한 얼굴 후보영역과 눈 후보영역 검출에 대하여 설명하고, 3장에서는 눈 후보점과 얼굴영역을 검출하는 방법에 대하여 설명한다. 4장에서는 제안된 방법을 이용한 실험 결과를 보이고, 5장에서는 본 논문의 결

론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 얼굴 후보영역 및 눈 후보영역 검출

2.1 빈도수를 고려한 피부색 분포맵

피부색은 컬러공간에서 영상의 다른 부분에 비해 비교적 좁은 범위에 한정되어 분포하고 있기 때문에 얼굴영역을 추출하는 첫 단계로 피부색 정보를 이용하여 탐색공간을 줄이는 방법이 많이 사용된다. 피부색 정보를 이용한 얼굴 검출 방법에는 RGB영상을 휘도성분과 색상성분으로 분리할 수 있는 컬러공간으로 변환하고 조명의 영향이 비교적 적은 색상성분만을 이용하는 방법, 휘도성분에 따른 색상성분을 이용하는 방법 등이 있다. 이러한 방법에서 피부영역을 검출하기 위해 사용되는 분포맵에서 설정한 영역에는 피부색과 유사한 색상이나 실제 피부색에서 나타나지 않은 영역, 빈도수가 낮은 영역, 빈도수가 아주 높은 영역 등 다양한 형태의 영역이 존재한다. 그러나 대부분의 방법에서는 화소가 피부색 분포맵에서 미리 설정한 임계영역 내의 값이면 모두 일률적으로 피부영역으로 판단하고 있어 이를 적용한 이진영상에서는 얼굴 후보영역이 크게 나타나서 얼굴 특징 요소 검출을 어렵게 하는 요인이 된다.

본 논문에서는 피부 영역을 검출하기 위해 빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 이용한다. 다양한 얼굴

영상에서 피부영역의 화소를 추출하여 RGB값을 YCbCr 컬러공간으로 변환하고 조명의 영향으로 인해 색상이 왜곡되는 경우를 고려하여 그림 1과 같이 휘도성분 Y값에 따른 색상성분 Cb와 Cr값의 분포를 나타내는 YCb, YCr 분포맵을 구성하였다. 이 분포맵을 구성하는데 사용된 화소는 약 82만개로서 실제 응용을 고려하여 보통 얼굴영상, 조명으로 인해 얼굴 한쪽은 어둡고 다른 쪽은 아주 밝은 영상, 여러 각도에서 조명이 있을 때의 영상, 전체적으로 어두운 영상 등 실제 환경의 변화에 따른 다양한 영상에서 추출하였다.

이렇게 얻어진 YCb, YCr 분포맵의 피부영역 각각에 대해 가로, 세로의 간격을 2로 하는 사각형 영역 L_1, L_2, \dots, L_n 으로 분할하고, 각 영역 L 에 포함되는 화소의 빈도수 $f(L_1), f(L_2), \dots, f(L_n)$ 를 계산하여 k-means 알고리즘을 사용하여 빈도수가 비슷한 영역을 군집화하여 32개의 클러스터(S_1, S_2, \dots, S_k)로 분류하였다(식(1)). 즉, 화소의 (Y, Cb)값과 (Y, Cr)값이 각각 그림 1의 피부색 분포맵의 영역 내에 위치해 있으면 그 화소는 피부색 분포맵의 어느 한 영역 L 에 포함되어 있고 그 영역은 S_1, S_2, \dots, S_k 중에 어느 한 클러스터에 속해있다. 따라서 피부색 분포맵 영역 내에 있는 모든 화소 $P(x, y)$ 는 식(2)로 표현할 수 있다. 여기서 $c1, c2$ 는 각각 YCb, YCr 분포맵에서 분류된 클러스터를 빈도수 오름차순으로 정렬할 때 나타나

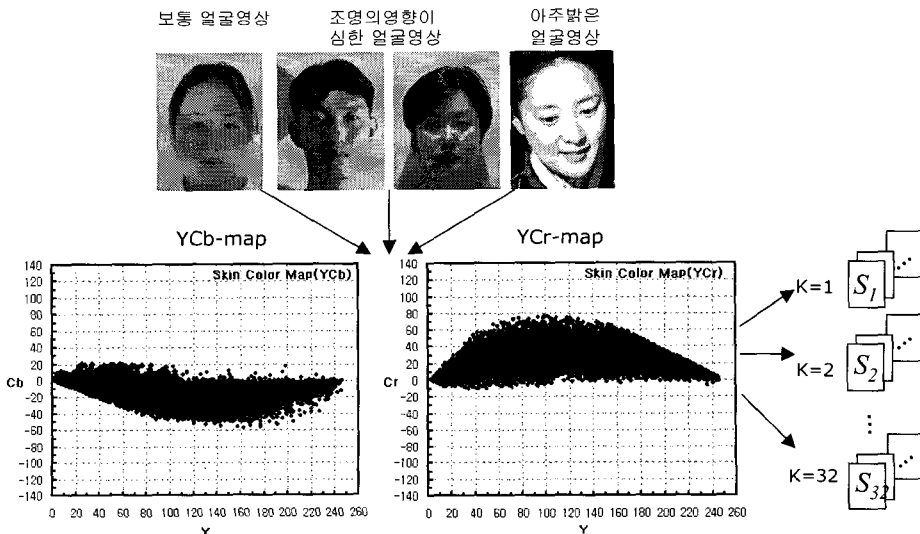


그림 1. 빈도수를 고려한 피부색 분포맵 구성

는 클러스터 순서를 의미한다.

$$sMAP = \{L_1, L_2, \dots, L_n\} = \{S_1, S_2, \dots, S_k\}$$

$$\text{where, } f(S_1) \leq f(S_2) \leq \dots \leq f(S_k),$$

$$k = 32, S_j = \sum_{L \in S_j} L.$$
(1)

$$P(x, y) = (Y, Cb, Cr, c1, c2)^T$$

$$\text{where, } P(x, y) \in sMAP,$$

$$1 \leq c1 \leq k, 1 \leq c2 \leq k$$
(2)

본 논문에서 피부 영역은 이 분포맵을 이용하여 식(3)에 의해 결정된다. 즉, 입력 영상의 화소 $P(x, y)$ 의 (Y, Cb) 와 (Y, Cr) 값 각각에 대하여 1) 피부색 분포맵 영역 내에 위치해 있으며 2) 이웃 화소의 클러스터 순서의 평균 $\bar{c1}$ 과 $\bar{c2}$ 가 임계값 $Th(=6)$ 이상이면 그 화소를 피부영역의 화소라고 판단한다.

$$P_{skin}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } [sMAP_{Y,Cb}(y, b) = 1] \\ & \cap [\bar{c1} \geq Th] \cap [sMAP_{Y,Cr}(y, r) = 1] \\ & \cap [\bar{c2} \geq Th] \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases}$$

where, $y = P_Y(x, y), b = P_{Cb}(x, y), r = P_{Cr}(x, y),$

$$\bar{c1} = \frac{1}{N} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 P_{c1}(x+i, y+j),$$

$$\bar{c2} = \frac{1}{N} \sum_{i=-1}^1 \sum_{j=-1}^1 P_{c2}(x+i, y+j),$$

$(N=9, Th=6).$

(3)

여기서, $sMAP_{Y,Cb}$ 와 $sMAP_{Y,Cr}$ 은 각각 YCb 평면과

YCr 평면에서의 피부색 분포맵이고 y, b, r 은 각각 화소 $P(x, y)$ 에서 Y, Cb, Cr 값이며, $P_{c1}(x, y)$ 와 $P_{c2}(x, y)$ 는 각각 화소 $P(x, y)$ 의 $c1$ 값과 $c2$ 값이다.

그림 2는 빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 이용하여 피부영역을 검출한 예를 보이고 있다. 입력영상 (a)는 배경이 피부색과 유사한 색상이며 조명으로 인해 얼굴 한쪽은 밝고 다른 쪽은 어두운 경우의 영상이고, (b)와 (c)는 각각 입력영상(a)에 대해 빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 이용하여 피부영역을 검출한 결과영상과 빈도수를 고려하지 않은 피부색 분포맵을 이용한 결과영상으로서 두 경우 모두 얼굴 영역의 밝은 부분이나 어두운 부분이 피부영역으로 검출되었다. 이는 본 논문에서 구성한 피부색 분포맵은 조명의 영향 등을 고려하여 다양한 영상으로부터 피부영역을 구성한 결과로 판단된다. 특히, 빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 이용한 (b)는 빈도수를 고려하지 않은 피부색 분포맵을 적용한 (c)와 비교해 보면 피부색과 유사한 배경의 밝은 부분이 제거된 것을 알 수 있다.

빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 적용하여 얻어진 피부영역에서 모폴로지 연산(morphology operation)과 레이블링(labeling) 과정을 거치고 피부영역의 홀을 매워 얼굴 후보영역을 검출한다. 이 때 가로 세로의 비율이 지나치게 큰 영역과 면적이 일정 이하의 영역은 얼굴 후보영역에서 제외하고 다른 제한은 두지 않았다.

2.2 눈동자색 분포맵을 이용한 눈 후보영역 검출

앞 절에서 얼굴 후보영역을 결정하기 위하여 휘도 성분 Y값에 따른 색상성분 Cb와 Cr값의 영역을 정의한 빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 이용하였다. 이 분포맵을 적용하여 얻어진 얼굴 후보영역에는 피부



(a) (b) (c)

그림 2. 빈도수를 고려한 피부색 분포맵의 적용결과

색과 유사한 배경 영역이나 얼굴이 아닌 피부영역 등이 함께 포함된다. 기존의 많은 연구에서는 일차적으로 피부색 정보를 이용하여 추출된 얼굴 후보영역을 대상으로 얼굴의 특징 요소인 눈이나 눈썹, 입술 등을 탐색하여 얼굴영역을 검출한다. 그러나 이러한 방법은 얼굴 특징요소를 찾기 위해 얼굴 후보영역 전체를 탐색해야하기 때문에 많은 시간을 필요로 한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 본 논문에서는 얼굴 후보영역 안에서 눈동자색 분포맵을 적용하여 눈 후보영역을 검출한다. 검출된 눈 후보영역에는 얼굴 후보영역의 많은 부분이 제거되어져서 눈을 찾기 위해 얼굴 후보영역 전체를 탐색하는 것에 비해 효율적이어서 얼굴 검출의 성능을 높일 수 있다.

그림 3은 본 논문에서 사용한 눈동자색 분포맵으로 실내 및 실외에서 조명의 변화가 다양한 영상에서 다양한 인종의 눈동자를 구성하는 화소를 추출하여 얻은 결과이다. 눈 후보영역은 식(4)를 만족하는 화소들의 집합으로 눈동자색 분포맵을 이용하여 식(5)에 의하여 구해진다.

$$P(x, y) \in R_{FC} \quad (4)$$

$$P_{eye}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } [EMAP_{Y,Cb}(y, b) = 1] \\ & \cap [EMAP_{Y,Cr}(y, r) = 1] \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$\begin{aligned} \text{where } y &= P_Y(x, y); \\ b &= P_{Cb}(x, y); \\ r &= P_{Cr}(x, y). \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, R_{FC} 는 빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 적용하여 최종적으로 얻어진 얼굴 후보영역이고, $EMAP_{Y,Cb}$ 와 $EMAP_{Y,Cr}$ 은 각각 눈동자색 분포맵의

YCb, YCr 평면이며, y, b, r은 각각 화소 P(x, y)에서 Y, Cb, Cr값이다. 얼굴 후보영역 각 화소의 (Y, Cb)값과 (Y, Cr)값이 눈동자색 분포맵 영역에 위치해 있으면 그 화소는 눈 후보영역의 화소로 결정하였다. 그림 4의 (c)는 식(5)을 이용하여 얼굴 후보영역에서 눈 후보영역을 검출한 결과를 나타낸 것으로 얼굴 후보영역 (b)에서 눈을 찾는 것과 비교하여 탐색 영역이 현저히 감소한 것을 알 수 있다. 눈 후보점과 얼굴영역 검출은 다음절에서 자세히 설명한다.

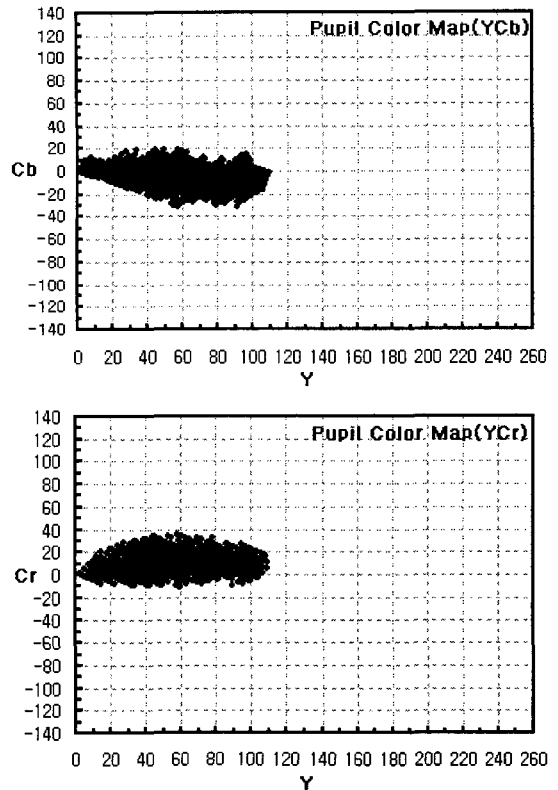


그림 3. YCb, YCr평면에서의 눈동자색 분포맵

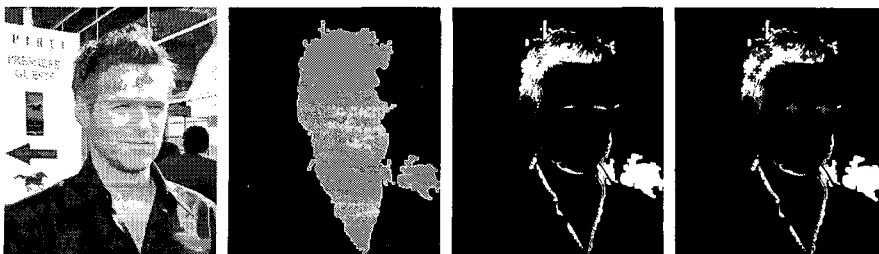


그림 4. 눈 후보영역 및 눈 후보점 검출: (a) 입력영상, (b) 얼굴후보영역, (c) 눈 후보영역, (d) 눈 후보점 검출.

3. 얼굴 영역 검출

그림 4의 (c)에서처럼 눈 후보영역으로 검출된 영역은 주로 눈, 눈썹, 머리카락이나 얼굴의 경계선부근과 같이 명암이 짙은 눈동자색과 유사한 영역이다. 이 영역에서 눈 후보점을 찾고 각 눈 후보점 쌍에 대하여 눈과 입의 위치관계 정보를 이용하여 입술을 찾음으로써 얼굴영역을 검출한다.

3.1 눈 후보점 검출

비교적 복잡한 배경에서 얼굴과 같은 특정 영역을 추출하기 위해서는 찾고자하는 영역의 표준 템플릿을 미리 구성해 놓고 입력영상에 탐색 윈도우를 주사시켜 추출한 영상과 표준 템플릿과의 유사도를 계산하는 방법이 많이 사용되고 있다. 이러한 방법은 비교적 쉽게 템플릿을 구성할 수 있으나, 포즈, 방향, 조명 등의 영향으로 얼굴 특징 요소가 다양하게 나타나는 경우, 이러한 변화를 대표할 수 있는 템플릿을 구성하기 어렵다는 단점이 있다. 그러나 눈은 얼굴에 비해 매우 단조로운 형상과 색상을 하고 있어 제안된 방법에서는 눈 후보점을 검출하기 위하여 템플릿 매칭방법을 사용한다. 먼저, 눈 템플릿을 구성하기 위해 임의의 여러 영상으로부터 눈에 외접하는 직사각형 모양의 눈 영역을 추출한다. 추출된 눈 영역영상은 크기가 서로 다르기 때문에 일정한 크기로 정규화 과정을 거친 다음, 이들의 평균 영상을 눈 템플릿으로 사용했다. 본 논문에서는 28x10 크기를 가지는 영상으로 정규화 하였고 사용한 눈 영역 영상의 개수는 50개 정도이다.

눈 후보점 검출은 직사각형의 가중치가 있는 탐색 윈도우를 이용하여 눈 후보영역을 주사하여 얻어진 윈도우 패턴과 눈 템플릿 패턴과의 유사도를 계산함으로써 이루어진다. 눈 후보영역은 눈동자색 분포맵을 적용하여 얻어진 영역이므로 눈동자가 위치할 가능성이 높은 영역이다. 이 영역의 각 화소에 탐색 윈도우의 중앙을 위치시켜 탐색을 수행한다. 이 때 눈 후보영역의 경계선 부근의 화소에서 얻어지는 윈도우 패턴에는 눈 후보영역에 포함되지 않는 화소도 포함되나, 이 화소들은 눈 영역(눈동자를 제외한 눈 영역)일 가능성이 높은 화소이다. 특히, 얼굴 크기가 작은 영상이나 응시방향 등으로 인해 눈 영역이 아주 작은 영상에서 단 지 몇 개의 화소만 눈 후보영역으

로 검출되는 경우에도 그 화소를 중심으로 윈도우 패턴을 구하여 유사도를 계산하므로 눈 검출의 성능을 보다 높일 수 있다. 본 논문에서 사용한 가중치가 있는 탐색 윈도우는 영상에서 눈의 크기가 다른 점을 고려하여 고정된 크기를 사용하지 않고 크기가 다른 여러 개로 구성하였다.

그림 5는 가중치가 있는 윈도우 패턴으로 외곽으로 가면 갈수록 가중치가 높다. 이것은 눈 후보영역이 주로 눈, 눈썹, 그림자 진 영역과 같이 명암이 짙은 눈동자색과 유사한 영역에서 나타난다. 그에 비해서 실제 눈의 외곽은 피부색으로, 눈동자색과 비교하여 비교적 밝은 영역이다. 따라서 눈 탐색 윈도우의 외곽영역에 높은 가중치를 설정함으로써 패턴의 변별력을 높이는 방법을 사용했다.

유사도를 결정하는 파라미터는 눈 템플릿 패턴과 탐색 윈도우 패턴간의 Y, Cb, Cr값에 대한 상관계수(correlation coefficient) r_Y, r_{Cb}, r_{Cr} 를 이용하였다(식(6)~식(8)).

$$r_Y(X_1, X_2) = \frac{\sum (X_{1i}^Y - \mu_{X_1}^Y)(X_{2i}^Y - \mu_{X_2}^Y)}{\sqrt{\sum (X_{1i}^Y - \mu_{X_1}^Y)^2 \sum (X_{2i}^Y - \mu_{X_2}^Y)^2}} \quad (6)$$

$$r_{Cb}(X_1, X_2) = \frac{\sum (X_{1i}^{Cb} - \mu_{X_1}^{Cb})(X_{2i}^{Cb} - \mu_{X_2}^{Cb})}{\sqrt{\sum (X_{1i}^{Cb} - \mu_{X_1}^{Cb})^2 \sum (X_{2i}^{Cb} - \mu_{X_2}^{Cb})^2}} \quad (7)$$

$$r_{Cr}(X_1, X_2) = \frac{\sum (X_{1i}^{Cr} - \mu_{X_1}^{Cr})(X_{2i}^{Cr} - \mu_{X_2}^{Cr})}{\sqrt{\sum (X_{1i}^{Cr} - \mu_{X_1}^{Cr})^2 \sum (X_{2i}^{Cr} - \mu_{X_2}^{Cr})^2}} \quad (8)$$

여기서, X_1, X_2 는 각각 탐색 윈도우 패턴과 템플릿 패턴을 특징벡터로 나타낸 것이며, μ_{X_1}, μ_{X_2} 는 특징벡터의 평균이다. 이 상관계수의 값을 이용하여 식(9)을 만족하는 탐색 윈도우의 중심화소 위치를 눈 후보점으로 결정하였다. 그림 4의 (d)는 눈 후보점이 검출된 결과를 보이고 있다.

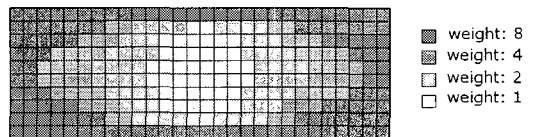


그림 5. 가중치가 있는 윈도우 패턴

$$P_{C_{YE}}(x, y) = \begin{cases} 1, & \text{if } r_Y + r_{Cb} + r_{Cr} \geq 1.3 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

3.2 얼굴 영역 검출

눈 후보점이 결정되면 위치관계 정보를 이용하여 눈 후보점에 대응하는 위치에서 입술을 찾고 이것으로부터 얼굴영역을 검출하여야 한다. 본 논문에서 얼굴영역을 검출하는 방법은 다음과 같다. 먼저, 식(9)의 조건을 만족하는 눈 후보점에 대해 가능한 모든 쌍을 만들고 이 쌍들의 거리를 기준으로 눈과 입의 위치관계 정보를 이용하여 입 영역을 설정하고 두 눈 후보점의 상관계수 값과 입 영역에서 나타나는 입술색상 정보를 결합한 평가함수를 이용하여 얼굴영역을 결정한다. 이때, 눈 후보점 쌍을 잇는 선분이 심하게 기울어져 있거나(18도 이상), 길이가 얼굴 후보영역의 크기에 비해 일정이하이거나 이상인 쌍은 모두 제외시켰다. 또한, 얼굴 후보영역의 하단 경계선 부근에 위치하는 눈 후보점들도 눈 위치로 부적절하므로 대상에 포함시키지 않았다. 본 논문에서는 입술의 개폐에 무관한 영상을 대상으로 하고 있기 때문에 실제 발생할 수 있는 입의 형태는 매우 다양하다. 이러한 경우를 고려하여 입 영역을 결정하는 사각형의 가로(L_H)와 세로(L_W)는 두 눈동자 사이의 거리(D_E)를 기준으로 하여 각각 $0.75 \times D_E$, $0.35 \times D_E$ 로 설정하여 입을 다물었을 때의 크기보다 약간 크게 설정하였다. 입 영역 사각형의 위치는 눈 후보점 쌍을 잇는 선분의 중점에서 수직인 방향으로 D_E , $1.1 \times D_E$, $1.2 \times D_E$ 만큼 떨어진 위치와 이 세 점 각각을 중심으로 좌, 우로 약간 유동적인 위치에 입 영역 사각형의 중심이 위치하도록 하여, 하나의 눈 후보점 쌍에 대해 9개의 입 영역을 설정하였다. 이 중에서 식(12)의 평가함수 값이 최대가 되는 사각형 영역을 눈 후보점 쌍에 대한 입 영역으로 결정하였다. 이는 좌, 우를 응시하는 얼굴의 경우는 정면을 응시하는 얼굴에 비해 D_E 가 짧게 나타나서 입 영역 위치를 정확히 찾지 못하고 또한, 입을 벌리고 있을 때 그 형태가 다양하게 나타나므로 이러한 경우를 고려하여 입 영역 사각형의 위치를 탄력적으로 설정하였다.

본 논문에서는 검출된 눈 후보점 쌍으로부터 입을 인식하여 얼굴 영역을 검출하기 위하여 식(10)과 같은 두 눈 후보점의 상관계수 값과 입 영역에서 나타나는 입술 색상정보를 결합한 평가함수 f_{FACE} 를 이

용한다. 여기서, 평가함수 f_{EYE} 는 앞 절에서 구한 두 눈 후보점의 상관계수 합의 자승이며, f_{LIPS} 는 입 인식 평가함수이다. 얼굴 영역은 피부색 분포맵에 나타나 있는 것과 같이 Cr성분은 주로 “+”영역이고 Cb성분은 “-” 영역으로, Cb성분에 비해 Cr성분이 높은 값으로 분포하고 있다. 또한, (Cr+Cb)성분은 입술 주위의 뺨 영역에 비해 입 영역에서 강하게 나타난다. 이점에 착목하여 얼굴영역에서 입술영역의 변별력을 높여서 입을 검출하기 위하여 식(12)에서처럼 입 영역 사각형 내의 모든 화소에 대하여 입술 색상의 임계값으로 설정한 범위를 만족하는 화소에 대하여 $(Cr + Cb)^3$ 값의 평균을 입 인식 평가함수(f_{LIPS})로 설정하여 각 눈 후보점 쌍에 대하여 얼굴 평가함수 f_{FACE} 를 계산하여 그 평가치가 최대가 되는 영역을 얼굴 검출 결과로 판단하였다.

$$f_{FACE} = f_{EYE} \times \max(f_{LIPS}^k) \quad (k = 9). \quad (10)$$

$$f_{EYE} = [\text{left}(r_Y + r_{Cb} + r_{Cr}) + \text{right}(r_Y + r_{Cb} + r_{Cr})]^2 \quad (11)$$

$$f_{LIPS} = \frac{1}{N} \sum_j \sum_i^{L_H, L_W} P_{(Cr+Cb)^3}(x_i, y_j), \quad (N = L_H \times L_W).$$

$$49 \leq P_Y(x_i, y_j) \leq 212,$$

$$-30 \leq P_{Cb}(x_i, y_j) \leq -5,$$

$$20 \leq P_{Cr}(x_i, y_j) \leq 60. \quad (12)$$

여기서, $P_Y(x_i, y_j)$, $P_{Cb}(x_i, y_j)$, $P_{Cr}(x_i, y_j)$ 는 각각 입 영역 사각형에서 화소 $P(x_i, y_j)$ 의 Y, Cb, Cr값이고, $P_{(Cr+Cb)^3}(x_i, y_j)$ 는 $(Cr + Cb)^3$ 값이다.

얼굴 영역은 위에서 검출된 두 눈과 입 영역의 중심점을 잇는 삼각형을 중심으로 가로 세로의 길이가 각각 $2 \times D_E$ 크기의 사각형 영역을 최종 얼굴 영역으로 판단하였다.

4. 실험 결과

본 논문의 실험에 사용된 영상은 정면을 응시하는 얼굴이나 약간 좌우를 응시하는 영상들을 기본 대상으로, 남녀, 안경의 유무, 입의 개폐 상태, 배경 및 조명에 특별한 제한은 두지 않았고, 인종의 구분 없이 다양한 표정을 하는 영상을 실험 대상으로 하였

다. 또한, 본 실험에 사용된 영상의 크기는 150×200~400×600 정도이며 얼굴영역의 크기는 약 30×40~220×260이다. 실험은 Intel PentiumIV 1.7GHz PC를 사용하여 윈도우XP 운영체제에서, Visual C++6.0으로 프로그래밍 하여 진행되었다.

그림 6은 챔피언 데이터베이스[13]에서 227개의 영상을 대상으로 눈 후보점을 결정하는 임계값에 따른 얼굴 검출 인식률의 변화를 나타내는 실험결과이다. 본 논문에서는 눈 후보영역에서 검출된 눈 후보점으로부터 얼굴을 검출하므로 눈 후보점을 결정하는 임계값이 얼굴 인식에 많은 영향을 미친다. 임계값이 1.2~1.3일 경우 92.95%의 높은 인식률을 보이고 있는 반면에 임계값이 1.2보다 낮은 경우에는 눈 후보점이 많이 검출되어 인식률이 점점 감소하고 있음을 알 수 있다. 이는 검출된 눈 후보점으로부터 눈 후보점 쌍을 만들고 이로부터 입을 인식하는 과정에서 오류가 발생하여 인식률이 떨어짐을 알 수 있었다. 또한, 임계값이 1.4보다 큰 경우에는 실제 눈 위치에 눈 후보점이 검출되지 않아 오류가 발생했다. 본 논문에서는 눈 후보점을 검출하기 위하여 식(9)에서처럼 임계값을 1.3으로 설정하였다.

본 논문에서 피부영역을 추출하기 위하여 사용한 빈도수를 고려한 YCb, YCr 분포맵의 유효성을 명확히 하기 위해 웹에서 획득한 영상과 남자 56명, 여자 51명에 대해 정면 얼굴, 조명, 표정, 포즈 변화를 갖는 17장으로 구성되어 있는 POSTECH 얼굴 데이터 PF01[14]을 사용하여 실험을 수행하였다. PF01에서 영상의 크기는 1280×960이나 본 실험에서는 이를 384×288로 축소하여 실험을 하였다. 표 1은 빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 사용한 경우(FSMAP)와 빈도수를 고려하지 않은 피부색 분포맵(NFSMAP)을 사용한 경우 각각에 대해서 웹 영상과 PF01을 사

용하여 비교 실험을 한 결과를 보이고 있다. 배경과 색상이 단조로운 PF01을 사용한 실험에서는 FSMAP을 사용한 경우가 NFSMAP의 경우에 비하여 약 1.0%의 인식률 향상을 보이고 있다. 이에 비하여 배경과 색상이 다양한 웹에서 획득한 영상을 사용한 실험에서는 FSMAP을 사용한 경우가 NFSMAP의 경우에 비하여 3.3%의 인식률 향상을 나타내고 있음을 알 수 있다. 이와 같은 실험 결과에서 배경과 색상이 단조로운 영상과 복잡한 영상 모두 빈도수를 고려한 피부색 분포맵을 적용하여 피부영역을 추출한 경우가 더 나은 결과를 얻을 수 있음을 알 수 있었다.

본 논문에서 제안한 얼굴 검출 방법의 유효성을 검증하기 위하여 피부색 분포맵을 사용한 Hsu 등이 제안한 방법[12]과 비교 실험을 하였다. 실험 조건은 이들이 제안한 방법에서 얼굴 검출 실험에 사용한 챔피언 데이터베이스[13]의 227개의 동일한 영상을 대상으로 하여 비교 실험을 수행하였다. 표 2에서는 실험 결과를 보여준다. 이 실험에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 얼굴 검출 방법이 Hsu 등이 제안한 방법에 비해 약 1.3% 향상된 결과를 얻었다. 인식

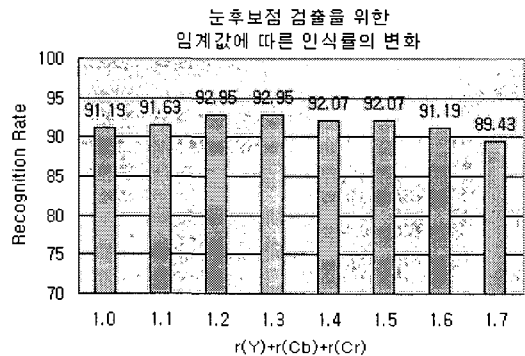


그림 6. 임계값에 따른 인식을 변화

표 1. 웹 영상과 POSTECH 얼굴 데이터베이스(PF01)를 이용한 실험 결과

	얼굴 개수	NFSMAP			FSMAP			
		얼굴추출 성공	얼굴추출 실패	성공률	얼굴추출 성공	얼굴추출 실패	성공률	
웹 영상	120	95	25	79.2%	99	21	82.5%	
POSTECH 얼굴DB PF01[14]	normal	106	104	2	98.1%	104	2	98.1%
	illum	88	73	15	83.0%	76	12	86.4%
	pose	96	93	3	96.9%	94	2	97.9%
	expression	96	90	6	93.8%	90	6	93.8%

표 2. 비교 실험 결과

	영상개수	얼굴개수	얼굴추출 성공	얼굴추출 실패	성공률
제안한 방법	227	227	211	16	92.95%
참고문헌[12]	227	227	208	19	91.63%

표 3. 오류 분석

	피부영역 검출오류	눈 후보점 검출 오류	입 인식오류	오인식
제안한 방법	4	5	7	16/227

실패는 표 3에서와 같이 주로 피부영역 검출 단계, 눈 후보점 검출 단계, 입 인식 단계에서 고르게 나타났다.

그림 7과 그림 8은 POSTECH 얼굴 데이터베이스 PF01을 사용한 인식 결과이다. 그림 7은 위, 아래, 왼쪽, 오른쪽에서 조명이 있는 경우이고 그림 8은 표정이 있는 영상에서의 실험 결과이다. PF01을 사용한 경우 정면 얼굴이나 표정, 포즈 변화를 갖는 영상에서는 각각 98.1%, 93.8%, 97.9%의 높은 인식률을 얻었다. 조명의 영향이 심한 영상의 인식률은 86.4%로 정면 얼굴이나 표정, 포즈 변화가 있는 경우에 비해 인식률이 낮게 나타났다.

그림 9는 챔피언 데이터베이스를 이용한 인식 결과의 예이다. (a)는 안경을 착용한 경우이며, (b)는 흑인을 대상으로 한 얼굴 검출 결과이고, (c)와 (e)는 비교적 얼굴이 작은 영상의 실험결과이다. 챔피언 데이터베이스를 이용하여 얼굴을 검출한 경우는 92.95%의 인식률을 얻었다.

그림 10은 웹에서 획득한 영상의 인식 결과로서 챔피언 데이터베이스와 비교하면 얼굴의 크기, 조명 변화, 배경 등이 다양하다. (a)와 (b)는 조명의 영향이 심한 영상에 대한 실험결과이다. (a)는 조명의 영향으로 얼굴 한 쪽은 밝고 다른 쪽은 어두운 영상에 대한 실험 결과이다. (b)는 배경은 어두운 반면에 일

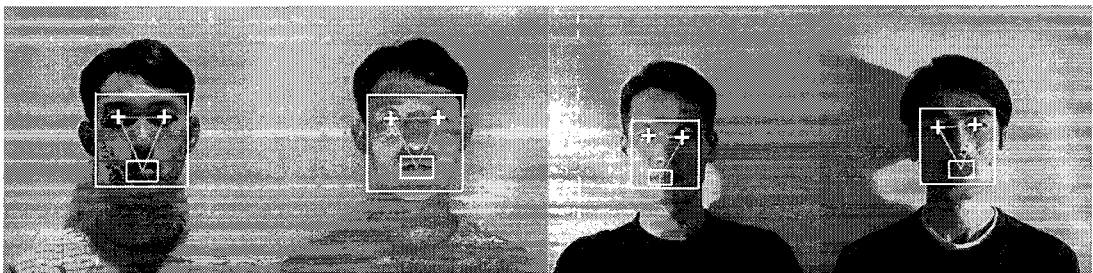


그림 7. PF01을 이용한 조명의 영향이 심한 영상에서의 인식 결과: (a) up, (b) down, (c) left, (d) right.

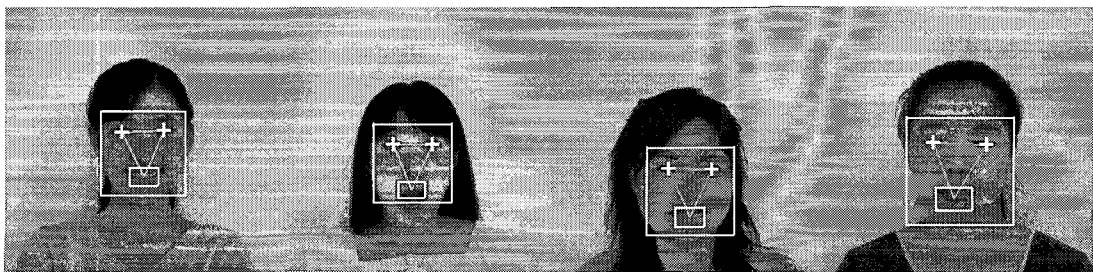


그림 8. PF01을 이용한 표정이 있는 영상에서의 인식결과: (a) happy, (b) surprised, (c) irritated, (d) closed-eye

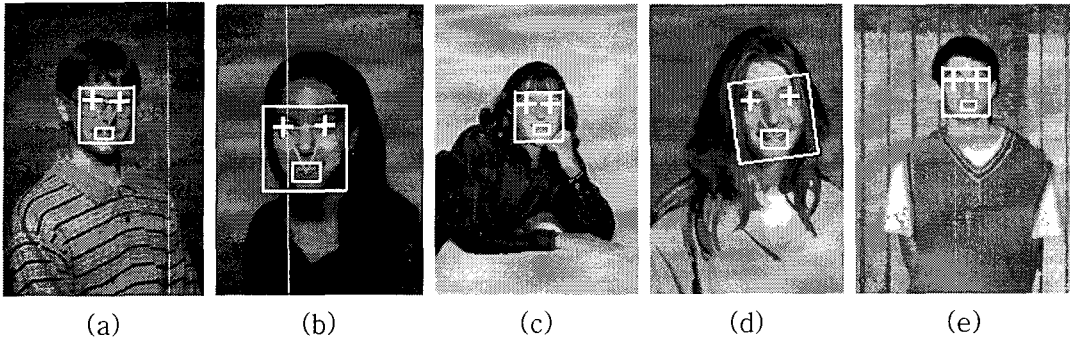


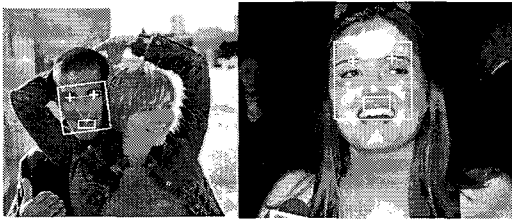
그림 9. 챔피언 데이터베이스를 이용한 인식결과



그림 10. 웹에서 획득한 영상의 인식결과

굴에 강한 조명으로 인해 이마와 뺨 일부분의 색상 값이 심하게 왜곡된 경우의 실험 결과이다. (c)는 얼굴 주위가 피부색과 유사한 색상이 있는 경우이다. (d)~(f)는 두 개 이상의 얼굴이 존재하는 영상에서 성공적으로 얼굴을 검출한 결과로서 본 논문에서 제안한 방법으로 여러 개의 얼굴도 잘 추출할 수 있음을 보이고 있다. 그러나 두 개의 얼굴이 연결해 있는 경우나 배경이 피부색과 유사하여 얼굴 영역 간의

배경을 명확히 분리하지 못하여 하나의 얼굴 후보영역에 두 개의 얼굴이 존재할 경우(그림 11의 (a)), 본 논문에서는 평가치가 최대가 되는 얼굴만 검출하므로 오류가 발생하였다. 그림 11의 (b)는 눈 후보점 검출에서 입술을 인식하는 과정에서 오류가 발생한 경우이다. 또한, 심하게 어두운 영상에서 눈 후보점이 많이 검출되어 입 위치가 부정확하게 인식되는 경우도 발생했다.



(a) (b)
 그림 11. 얼굴 검출에 실패한 경우

5. 결 론

본 논문에서는 분포맵에 기반한 얼굴 검출 방법을 제안하였다. 얼굴 영역을 검출하기 위해 YCbCr 컬러 공간에서 휘도성분에 따른 색상성분의 분포를 고려한 피부색 분포맵과 눈동자색 분포맵을 구성하였다. 특히, 피부색 분포맵에서 설정한 영역을 모두 동일하게 피부영역의 화소로 결정하지 않고 빈도수에 따른 몇 개의 군집으로 분류하여 분류된 군집정보를 피부영역의 화소 결정에 반영함으로써 얼굴 후보영역을 축소하여 얼굴 검출 성능을 향상하였다. 또한, 얼굴 후보영역에서 눈동자색 분포맵을 이용하여 눈 후보영역을 결정하여 얼굴 구성요소를 탐색하는 공간을 축소하였다. 가중치가 있는 윈도우를 이용하여 눈 후보영역에서 눈 후보점을 검출하고, 눈과 입의 위치관계 정보와 입을 인식하는 평가함수를 이용하여 최종적으로 얼굴을 검출하였다. 제안한 방법을 검증하기 위해 POSTECH 얼굴 데이터베이스와 챔피언 데이터베이스 및 웹에서 획득한 영상을 대상으로 실험을 수행한 결과, 조명의 변화나 화장 등의 요인으로 인해 얼굴 전체의 색상이 왜곡된 영상이나 배경이 복잡한 영상, 입의 형태가 다양한 영상 등에서도 좋은 성능을 보였다.

앞으로, 얼굴 후보영역과 눈 후보영역을 효율적으로 축소한 알고리즘 개발과 눈 후보점 검출방법 및 입 인식 평가함수의 개선을 통하여 얼굴 검출의 성능을 높이고자 한다.

참 고 문 헌

[1] R. Brunelli and T. Poggio, "Face Recognition: Features versus Templates," *IEEE Trans. PAMI.*, Vol. 15, pp. 1042-1052, 1993.

[2] J. Miao, B. Yin, K. Wang, L. Shen, and X. Chen, "A hierarchical multiscale and multi-angle system for human face detection in a complex background using gravity-center templates," *Pattern Recognition* Vol. 32, No. 7, pp. 1237-1248, 1999.

[3] H.A. Rowley, S. Baluja, and T. Kanade, "Neural Network-based face detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* Vol. 20, No. 1, pp. 23-38, 1998.

[4] P. Juell and R. Marsh, "A hierarchical neural network for human face detection," *Pattern Recognition* Vol. 29, No. 5, pp. 781-787, 1996.

[5] G. Yang and T.S. Huang, "Human face detection in a complex background," *Pattern Recognition* Vol. 27, No. 1, pp. 53-63, 1994.

[6] Chiunhsiun Lin and Kuo-Chin Fan, "Triangle-based approach to the detection of human face," *Pattern Recognition* Vol, 34, No. 6, pp. 1271-1284, 2001.

[7] K.K. Sung and T. Poggio, "Example-based learning for view-based human face detection," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* Vol. 20, No. 1, pp. 39-51, 1998.

[8] Y. Dai and Y. Nakano, "Face-texture model based on SGLD and its application in face detection in a color scene," *Pattern Recognition* Vol. 29, No. 6, pp. 1007-1017, 1996.

[9] H. Wu, Q. Chen, and M. Yachida, "Face detection from color images using a fuzzy pattern matching method," *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* Vol. 21, No. 6, pp. 557-563, 1999.

[10] Yanjiang Wang and Baozong Yuan, "A novel approach for human face detection from color images under complex background," *Pattern Recognition* Vol. 34, pp. 1983-1992, 2001.

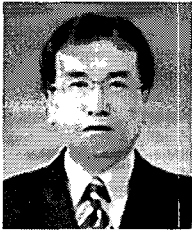
[11] D. Chai and K.N. Ngan, "Face segmentation using skin-color map in videophone applications," *IEEE Trans. Circuits System Video Technol.* Vol. 9, No. 4, pp. 551-564, 1999.

[12] Rein-Lien Hsu, M.Abdel-Mottaleb, and A.K. Jain, "Face detection in color images," *IEEE*

Trans. Pattern Anal. Machine Intell. Vol. 24,
No. 5, pp. 696-706, 2002.

[13] The Champion Database, <http://www.huskeralum.com/events/bfc/index.php>.

[14] Asian Face Image Database PF01, <http://nova.postech.ac.kr>.



조 한 수

1987년 2월 부산대학교 계산통계
학과 (학사)

1990년 8월 성균관대학교 정보처
리학과 (석사)

1999년 3월 (일) 法政(Hosei)대학
공학연구과 패턴인식전
공 (박사)

1986년 12월 ~ 1993년 10월 한화정보통신 중앙연구소 주
임연구원

2000년 3월 ~ 현재 한중대학교 디지털정보공학부 조교수
관심분야 : 컴퓨터비전, 패턴인식, 멀티미디어 정보처리