

## 강건한 얼굴 검출 알고리즘을 위한 YCbCr 컬러 모델과 러프 집합 연구

변 오 성\*

### A Study on the YCbCr Color Model and the Rough Set for a Robust Face Detection Algorithm

Oh-Sung Byun \*

#### 요 약

본 논문에서는 특징 기반 방법인 YCbCr 컬러 모델을 이용하여 얼굴색 분포를 분할하고, 전처리 과정에서 양자화를 하여 특징 기반의 단점 중의 하나인 조명에 민감한 것을 둔감하도록 하였다. 또한 러프 집합을 이용하여 패턴의 형태로 가장 근사한 영상의 객체를 선택하는 특성을 가지게 함으로 영상 합성의 정확도를 높였다. 본 논문에서 제안된 얼굴 검출 알고리즘은 다양한 얼굴 크기 및 방향에 관계없이 기존의 알고리즘보다 약 2~3%정도 우수함을 시뮬레이션을 통해 확인하였다.

▶ Keyword : 생체 보안, 러프 집합, 영상 분할, 영상 합성

#### Abstract

In this paper, it was segmented the face color distribution using YCbCr color model, which is one of the feature-based methods, and preprocessing stage was to be insensitive to the sensitivity for light which is one of the disadvantages for the feature-based methods by the quantization. In addition, it has raised the accuracy of image synthesis with characteristics which is selected the object of the most same image as the shape of pattern using rough set. In this paper, the detection rates of the proposed face detection algorithm was confirmed to be better about 2~3% than the conventional algorithms regardless of the size and direction on the various faces by simulation.

▶ Keyword : Biometric Security, Rough Set, Image Segmentation, Image Synthesis

---

• 제1저자 : 변오성  
• 투고일 : 2011.03.28, 심사일 : 2011.04.25, 게재확정일 : 2011.05.16.  
\* 현대모비스 기술연구소 (R&D Center, HYUNDAI MOBIS)

## I. 서 론

정보화 시대에서는 컴퓨터, 인터넷, 통신 등에서 개인 정보의 관리와 보안이 중요하게 대두되고 있으나, 현재의 보안 기술은 많은 문제점들을 내포하고 있다. 최근에는 인간으로부터 얻을 수 있는 다양한 생체 신호를 이용한 생체 보안 기술에 대한 관심이 높아지고 있다. 그 중에 얼굴을 이용한 생체 보안은 그 자체의 유일성 때문에 사람을 인식하고 식별하는데 효과적인 특성을 제공한다[1]. 얼굴을 이용한 생체 보안에서 얼굴인식은 복잡한 배경을 포함한 영상에서 얼굴을 검출하고, 검출된 얼굴을 이용하여 인식을 수행하는 것으로 얼굴 검출은 얼굴인식에서 반드시 필요한 과정이다. 사람의 얼굴은 응시하는 방향에 따른 정면 혹은 측면의 각도, 고개를 좌우로 기울이는 정도, 다양한 표정, 얼굴의 크기 등과 같은 형태적 변화와 조명에 따른 얼굴 내에서의 밝기 정도의 차이, 복잡한 배경 혹은 얼굴과 구분이 어려운 다른 객체 등과 같은 외부적 변화에 따라 매우 다양하게 나타날 수 있기 때문에 얼굴 검출 연구는 많은 어려움을 가지고 있다[2,3].

현재까지 발표된 얼굴 검출 방법은 지식 기반 방법, 특징 기반 방법, 템플릿 매칭 방법, 외형 기반 방법 4가지로 정리되며 다음과 같이 설명된다[4].

먼저, 지식 기반 방법[5]은 사람의 얼굴이 눈썹, 눈, 코, 입 등을 포함하고 있고, 각각의 얼굴 성분들은 서로 일정한 거리와 위치 관계를 가지고 있다는 것을 전제로 하여 연구자의 지식을 기반으로 얼굴을 검출하는 방법이다. 이 방법은 정면 얼굴을 가진 영상에서는 얼굴 성분들의 위치와 크기에 관한 규칙을 이용해서 쉽게 얼굴을 찾을 수 있다. 하지만 얼굴의 기울기, 얼굴 정면 각도, 표정 등과 같은 얼굴의 다양한 변화가 있는 영상에서는 얼굴의 검출이 어렵기 때문에 다른 변화가 없거나 특별한 경우에만 적용이 가능하다는 단점을 가지고 있다.

특징 기반 방법[6-11]은 얼굴 특징 성분들의 크기와 모양, 상호 연관성, 얼굴의 색상과 질감 정보 등을 이용해서 얼굴을 검출하는 방법이다. 이 방법은 처리 시간이 빠르고 쉽게 얼굴을 찾을 수 있다는 장점을 가지고 있다. 그러나 피부색과 유사한 배경이나 개체에 대해 오인식 할 수 있고, 조명의 밝기 변화에 따라서 얼굴의 색상 및 질감 정보를 잃을 수도 있다. 그리고 본 논문에서 인용한 D. S. Baek 외[10]은 조명 밝기, 피부색과 유사한 배경이나 개체에 대한 오인식이 적어 성능면으로 우수하나, 얼굴의 색상을 검출하는데 프레임당 150~200ms 정도 시간이 소요된다는 단점을 가지고 있다.

템플릿 매칭 방법[12,13]은 대상이 되는 모든 얼굴에 대한 표준 템플릿을 만든 수, 입력 영상과 비교하여 얼굴을 검

출하는 방법이다. 이 방법은 얼굴의 특징 성분이 검출을 용이하도록 존재해야 할 필요가 없기 때문에 조명 변화나 배경의 영향을 덜 받게 되고, 복잡한 배경에서도 얼굴의 검출이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 거리에 따른 얼굴의 크기 변화와 응시 방향에 따른 얼굴의 회전각도, 기울어짐 등에 민감하다. 또한 개개인의 정보를 모두 포함하는 평균적인 템플릿의 생성이 어렵기 때문에 템플릿 제작에 상당한 노력이 필요하다라는 단점이 있다.

외형 기반 방법[14-18]은 학습 영상 집합에 의해 학습된 모델을 이용해서 얼굴을 검출하는 방법이다. 여기서는 주성분 분석(PCA)에 의해 생성되는 고유 얼굴(Eigenface)[14], 선형판별식 해석(LDA)[15], 신경망(Neural Network)[16,17], SVM(Support Vector Machine)[18] 등이 있다. 이러한 방법들은 복잡한 영상에서 얼굴영역을 검출하기 위해 기존의 얼굴 영역과 얼굴이 아닌 영역의 학습 데이터 집단을 이용해서 학습되어진 고유 벡터들을 만들어내고 이를 이용해 얼굴을 찾는다. 이 방법은 여러 제약 조건들이 학습을 통해 극복되어지기 때문에 인식률이 높지만, PCA나 NN, SVM 등과 같은 방법은 DB 학습에 많은 시간이 필요하고 DB가 변경되면 다시 학습을 해야한다. 그래서 계산량이 많기 때문에 실시간에 적용하기에는 어렵다는 단점을 가지고 있다.

본 논문은 특정 기반 방법을 사용한 D. S. Baek 외에서 제안한 구조를 이용하여 실시간으로 얼굴 검출이 가능한 알고리즘을 제안하고자 한다. 여기서 실시간으로 얼굴을 검출할 수 있도록 HMMD 컬러모델을 대신하여 YCbCr 컬러 모델을 사용하며, 전처리 과정에서 특징 기반의 단점 중의 하나인 조명에 민감한 것을 둔감하도록 하기 위해 양자화를 실시한다. 그리고 얼굴 피부 공간을 검출하는데 영향이 거의 없는 양자화 영상에 웨이블릿 형태학 및 러프 집합을 적용하여 얼굴 검출의 정확도를 높이고자 한다.

본 논문의 구성은 II장에서 특징 기반을 이용한 알고리즘에서 성능 비교를 위해 본 논문에서 사용한 구조와 다른 기존 얼굴 검출 알고리즘에 대해서 고찰하고, III장에서는 본 논문에서 이용한 색채 모델 방법과 얼굴 검출 접근 방법에 대해서 살펴보고, IV장은 모의실험으로 얼굴 크기와 방향이 다른 영상으로 제안된 알고리즘의 검출률과 처리 속도가 기존 알고리즘보다 우수함을 확인하고, 마지막으로 V장은 결론을 맺는다.

## II. 기존 피부 모델링 알고리즘

S. W. Park 외[18]은 적응적 조명 보정과 피부색 모델을 이용하여 다양한 배경 화면과 조명에 강건한 피부색 영역 검

출을 제안하였다. 여기서는 총 4단계의 방법으로 얼굴검출을 하였다. 조명 보정, 전처리 필터, 피부색 모델링, 피부색 영역의 후처리 단계로 구성되었다.

먼저 적응적 조명 보정 단계로 일반적인 환경에서 외부 조명의 영향으로 본래 영상의 컬러가 훼손되는 것을 막기 위해 GW(Grey World) 알고리즘[12]을 사용했으며, 식 (2.1)과 같다.

$$S_c = \frac{C_{std}}{C_{avg}} \dots\dots\dots (2.1)$$

여기서  $S_c$ 는 R, G, B의 한 특정 채널의 스케일 인자를 말하며,  $C_{std}$ 와  $C_{avg}$ 는 각각 평균 명암도값과 특정 채널의 평균값을 의미하는데,  $C_{std}$ 값을 이상적인 정규 명암의 50%로 고려한다. 그런데 GW 알고리즘이 실제의 다양한 형태의 영상에 적용적으로 변화되지 않는다는 것과 배경이나 물체의 컬러가 어두울 경우 영상이 너무 과하게 보정되는 단점을 개선하기 위해  $C_{std}$ 를 식 (2.2)와 같이 사용하였다.

$$C_{std} = \frac{\sum_{i=1}^m [\max(r, g, b) + \min(r, g, b)]}{2n} \dots\dots\dots (2.2)$$

여기서 m은 영상의 총 픽셀수이고, n은 검은색이 아닌 픽셀의 개수를 의미한다.  $C_{avg}$ 는 각 R, G, B 채널의 검은색이 아닌 픽셀들의 평균이 된다.

그리고 2단계로 전처리 필터는 식 (2.3)를 사용하여 명확하게 피부색 영역이 아닌 영상의 영역을 제거하는 단계이다.

$$O(x, y) = \begin{cases} I(x, y), & K \\ 0, & otherwise \end{cases} \dots\dots\dots (2.3)$$

여기서  $K = (R>95 \ \&\& \ G>40, \ B>20) \ \&\& \ (\max\{R, G, B\} - \min\{R, G, B\} >15) \ \&\& \ (|R-G|>15 \ \&\& \ (R>G) \ \&\& \ (R>B))$ 이다. 3단계로 피부색 모델링은 식 (2.4)와 같이 ST 컬러 공간을 사용한다.

$$S = [9/5 (r'^2 + g'^2)]^{1/2} \dots\dots\dots (2.4)$$

$$T = \begin{cases} \arctan(r'/g')/2\pi + 1/4, & g' > 0 \\ \arctan(r'/g')/2\pi + 3/4, & g' < 0 \\ 0, & g' = 0 \end{cases}$$

여기서  $r', g'$ 은 각각  $r-1/3$ 과  $g-1/3$ 이며, S, T값의 범위는 [0; 1.0]로 정규화 된다. 그리고 보다 정확한 피부색 영역으로 제한시키기 위해 식 (2.5)의 방법을 사용하여 ST 컬러 공간 스케일링을 했다.

$$S = (S - S_{min}) / (S_{max} - S_{min}) \dots\dots\dots (2.5)$$

$$T = (T - S_{min}) / (T_{max} - S_{min})$$

그리고 4단계로 피부색 영역의 후처리는 얼굴이 아니라고 판단되는 영역은 검출 결과에서 제외시키는 단계로 점들을 제거하기 위해 Median 필터링과 모폴로지 기법을 사용했다.

### III. YCbCr을 적용한 얼굴검출 알고리즘

본 논문은 특정 기반 방법을 사용한 D. S. Baek외[10]에서 제안한 구조를 이용하여 실시간으로 얼굴 검출이 가능한 알고리즘을 제안하고자 한다. 전체 4단계로 구성되고, 전처리 과정에서 특정 기반의 단점 중의 하나인 조명에 민감한 것을 둔감하도록 하기 위해 양자화를 실시한다. 그리고 HMMD 컬러모델을 대신하여 YCbCr 컬러 모델을 사용하여 실시간으로 얼굴 피부색을 검출하도록 하며, 얼굴 피부 공간을 검출하는데 영향이 거의 없는 양자화 영상에 웨이블릿 형태학 및 리프 집합을 적용하여 얼굴 검출의 정확도를 높이고자 한다.

먼저 1단계인 얼굴 범위에서의 피부 분포 정보를 줄이기 위해 양자화를 사용한다. 이것은 영상 범위에서 비슷한 피부 컬러 공간 분포를 줄이고, 또한 공통 컬러 공간 영역을 넓히기 위한 것이다. 기본 원리는 테이블로 구성된 값에 원 영상의 컬러 벡터 값을 적용하는 것으로 클러스터링의 평균값이라고 한다. 여기서는 병렬 양자화 구조를 적용하였으며, 16, 32, 64 비트 해상도를 사용한다. 여기서 원영상과 2, 4, 8, 128 단계의 해상도는 얼굴의 피부 공간 영역을 검출하는데 영향을 거의 주지 않으므로 제외한다. 그림 1은 원 컬러 영상을 각 해상도에 적용하여 얻은 결과로 그림 1(a)은 원 영상이고, (b)는 16 비트 컬러 양자화를 한 결과 영상이고, (c)는 32 비트 컬러 양자화를 한 결과 영상이며, (d)는 64비트 컬러 양자화를 한 결과 영상이다.



(a) 원 영상 (b) 16 비트 (c) 32 비트 (d) 64 비트  
 (a) Original image (b) 16 bit (c) 32 bit (d) 64 bit  
 그림 1. 각 해상도의 컬러 양자화 영상  
 Fig. 1. Color quantization image of each resolutions

2단계인 YCbCr 컬러 모델은 컬러 정보로부터 광도를 분리하는 것으로 MPEG에서 사용하는 컬러 모델이다[19,20]. 광도는 Y(휘도)로 기호화되고 비디오 신호의 색상 부분인 푸른 정보와 붉은 정보는 Cb와 Cr로 기호화된다. YCbCr 컬러 모델은 식 (3.1)과 같다.

$$Y = 0.29900R + 0.58700G + 0.11400B$$

$$Cb = -0.16874R - 0.33126G + 0.50000B$$

$$Cr = 0.50000R - 0.41869G - 0.08131B \dots\dots (3.1)$$

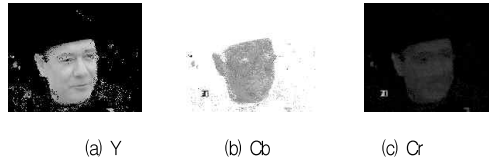
본 논문에서는 병렬 구조인 양자화에 컬러 공간 분포 모델인 YCbCr 모델을 이용하여 각 해상도에서 얼굴의 피부 공간 영역을 식 (3.1)을 이용하여 검출하였다. 그림 2는 식 (3.1)을 이용하여 Y, Cb, Cr을 분리한 영상이며, 붉은 정보를 나타내는 Cr과 광도인 Y값은 피부 컬러 영역을 찾는 데 아주 중요한 정보를 가진 파라미터로 본 논문에서는 그림 2(a)인 Y 영상과 그림 2(c)인 Cr 영상을 이용하여 피부 컬러 영역을 검출하였다.



(a) Y (b) Cb (c) Cr  
그림 2 Y, Cb, Cr 정보에 의한 결과 영상  
Fig. 2. Result images by Y and Cb and Cr informations

그리고 YCbCr 컬러 모델을 통하여 얻은 결과 Y범위는 데이터가 일정하게 구성되었다. Garcia 등[9]이 Y값을 기준으로 2개 영역인 어두운 부분과 밝은 부분으로 나누었으며, 128을 기준으로 하였다. 이는 아주 밝거나 아주 어두운 영상이 입력이 되면 영상에서 얼굴 부분을 인식하기 어려웠으며, 전체 영상의 밝기가 밝은 영상에서 얼굴 영역이 밝다면 분할하기가 어려웠다. 여기서는 적응적인 컬러 모델을 적용하기 위해 컬러 영역을 4개 영역인 아주 어두운 영상, 약간 어두운 영상, 중간 영상, 밝은 영상으로 나누었으며, 전체 400개 영상들을 가지고 피부 컬러 영역의 분포 데이터를 얻었다. Y값이 140보다 크면 밝은 피부 영상으로, 100보다 작으면 아주 어두운 피부 영상, 100부터 120까지는 약간 어두운 피부 영상, 나머지는 중간 피부 영상으로 간주하였다.

그림 3은 Cr과 Y의 범위 정보를 이용하여 얼굴 영상을 얻은 결과로서, 그림 3(a)와 그림 3(c)에서와 같이 피부 컬러 영역을 정확하게 찾아냈다. 그림 4는 위의 조건을 이용한 Y와 Cb, Cr 범위를 통하여 얻은 컬러 피부 검출 결과 영상으로 거의 정확한 피부 컬러 영역을 검출함을 알 수 있다.



(a) Y (b) Cb (c) Cr  
그림 3. 제안된 피부 컬러 영역 범위 정보를 적용한 각 결과 영상  
Fig. 3. Each result images obtained by applying proposal skin color area region informations



그림 4. 제안된 YCbCr 모델을 적용한 결과 영상  
Fig. 4. A result image by proposal YCbCr model

또한 클러스터에 웨이블릿 형태학 연산[21-23]을 적용하여 간단한 잡음이나 다른 영상 분포의 영역을 쉽게 제거하였다. 합성(synthesis) 부분에서는 기존의 min-max 혹은 tree 구조를 사용하지 않고 리프 집합을 적용하였으며, 필요한 영상 데이터를 범위로 인식하여 얻어진 여러 개의 범위 중 원하는 영상이라고 판단되면 선택되는 합성 선택기를 사용하였다. 그림 5는 웨이블릿 형태학 연산자를 Y값 휘도 영상에 적용하여 얻은 결과 영상이다.



(a) 웨이블릿 closing (b) 웨이블릿 opening (c) 웨이블릿 CC  
(a) Wavelet closing (b) Wavelet opening (c) Wavelet CC  
그림 5. 웨이블릿 형태학 연산자를 적용한 결과 영상  
Fig. 5. Result images applying wavelet morphology operators

여기서는 얼굴 영역 외의 작은 영역이 검출되면 1차적으로 제거가 하고, 얼굴 형태의 윤곽을 얻었다. 이는 시간적으로 아주 빠르게 동작을 하므로 실시간적으로 사용하기에는 아주 적합하다. 마지막으로 영상 합성 단계에서는 검출된 영역간의 유사성 비교하여 최적의 얼굴을 검출하도록 리프집합을 적용하였다[24-26]. 영역간의 유사성을 비교를 위해서 식 (3.2)과 식 (3.3)를 이용하였으며, 이는 두 점간의 Diff와 Sum을 이용하여 유사 관계를 찾는 것이다.

$$Diff = \frac{\sqrt{2}(Max - Min)}{2}$$

$$Sum = \frac{\sqrt{2}(Max + Min)}{2} \dots\dots\dots (3.2)$$

두 점을  $q_1$  과  $q_2$  라면, 두 점  $q_1$  과  $q_2$  사이의 유사도는 식 (3.3)과 같다.

$$sim(q_1, q_2) = 1 - \left[ \sqrt{\frac{s^2 + d^2}{2}} \right] \dots\dots\dots (3.3)$$

여기서  $s = \sum_1 - \sum_2$  이고,  $d^2 = (Diff_1 \times \sin(h_1) - Diff_2 \times \sin(h_2))^2 + (Diff_1 \times \cos(h_1) - Diff_2 \times \cos(h_2))^2$  이다.

집합이 부정확하다는 것은 경계 영역이 있기 때문이고, 이 집합의 경계 영역이 커질수록 그 집합의 정확성(exactness)은 떨어진다. 이를 정확히 나타내기 위해 식 (3.4)인 정확성 척도(accuracy measure)를 사용한다.

$$\alpha_R(X) = \frac{card R}{card \bar{R}} \dots\dots\dots (3.4)$$

여기서  $X \neq \emptyset$  이다. 그리고 모든  $R$  과  $X \subseteq U$  는  $0 \leq \alpha_R(X) \leq 1$  이고,  $\alpha_R(X) = 1$  이면  $X$  의  $R$ -경계영역은 공집합이 되며 집합  $X$  는  $R$ -정의 가능하다라고 한다.  $\alpha_R(X) < 1$  이면  $X$  는  $R$ -경계 영역을 가지며 집합  $X$  는  $R$ -정의 불가능하다라고 한다. 이것을 집합  $X$  의 부정확성의 정도로 나타내면 식 (3.5)와 같다

$$\rho_R(X) = 1 - \alpha_R(X) \dots\dots\dots (3.5)$$

여기서  $\rho_R$  은  $R$ -리프정도라 한다. 이는 집합  $X$  에 대한 지식  $R$  의 불완전성의 정도를 나타낸다. 예를 들면 그림 6과 같다.  $K = (U, R)$ ,  $U = \{x_0, \dots, x_{25}\}$ ,  $R \in D(K)$  라 하고

동치류는 다음 식 (3.6)과 같다.

$$E_1 = \{x_1, x_2, x_3, x_4, x_5, x_6\}, E_2 = \{x_7, x_8, x_9\},$$

$$E_3 = \{x_{10}, x_{11}\}, E_4 = \{x_{12}, x_{13}, x_{14}\}, E_5 = \{x_{15}, x_{16}\},$$

$$E_6 = \{x_{17}, x_{18}, x_{19}\},$$

$$E_7 = \{x_{20}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25}\}$$

$$A = \{x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\}$$

$$B = \{x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\}$$

$$C = \{x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{15}, x_{17}, x_{18}, x_{19},$$

$$x_{22}, x_{23}, x_{24}\} \dots\dots\dots (3.6)$$

여기서 A, B, C는 각각의 집합이다.

$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$
$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$
$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$
$x_{16}$	$x_{17}$	$x_{18}$	$x_{19}$	$x_{20}$
$x_{21}$	$x_{22}$	$x_{23}$	$x_{24}$	$x_{25}$

그림 6. 리프 집합을 적용하기 위한 기본 블록  
Fig. 6. Standard block in order to apply rough set

이 집합들의 상·하한 근사, 경계영역, 정확성 척도, 리프 정도 척도는 식 (3.7)과 같다.

$$\underline{RA} = E_2 \cup E_4 \cup E_6 = \{x_7, x_8, x_9, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\}$$

$$\overline{RA} = E_2 \cup E_3 \cup E_4 \cup E_5 \cup E_6 = \left\{ x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19} \right\}$$

$$BN_R(A) = E_3 \cup E_5 = \{x_{10}, x_{11}, x_{15}, x_{16}\}$$

$$\alpha_R(A) = 9/13$$

$$\rho_R(A) = 1 - 9/13 = 4/13$$

$$\underline{RB} = E_2 \cup E_4 \cup E_6 = \{x_7, x_8, x_9, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\}$$

$$\overline{RB} = E_2 \cup E_3 \cup E_4 \cup E_5 \cup E_6 = \left\{ x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19} \right\}$$

$$BN_R(B) = E_3 \cup E_5 = \{x_{10}, x_{11}, x_{15}, x_{16}\}$$

$$\alpha_R(B) = 9/13$$

$$\rho_R(B) = 1 - 9/13 = 4/13$$

$$\begin{aligned} RC &= E_2 \cup E_3 \cup E_6 \\ &= \{x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \overline{RC} &= E_2 \cup E_3 \cup E_4 \cup E_5 \cup E_6 \cup E_7 \\ &= \left\{ \begin{array}{l} x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{11}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, \\ x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}, x_{20}, x_{21}, x_{22}, x_{23}, x_{24}, x_{25} \end{array} \right\} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BN_R(C) &= E_4 \cup E_5 \cup E_7 \\ &= \left\{ \begin{array}{l} x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{16}, x_{20}, x_{21}, x_{22}, \\ x_{23}, x_{24}, x_{25} \end{array} \right\} \end{aligned}$$

$$\alpha_R(C) = 8/19$$

$$\rho_R(C) = 1 - 8/19 = 11/19 \dots\dots\dots (3.7)$$

식 (3.7)의 결과에서  $\alpha_R$ 과  $\rho_R$ 에서  $\alpha_R$ 이 가장 작은  $C$ 는 결과에서 생략한다.  $\rho_R$ 가 가장 크다는 것은 러프 정도 즉 불완전성 척도이며, 가장 거리가 먼 범위라 간주하며, 이 결과 후, 코어와 리덕트를 구하여 픽셀을 감소한다. 위의 예에서  $A, B, C$ 에서  $C$ 는 생략되고, 기준 범위  $Y, A, B$  3개 집합의 집합족은  $F = \{A, B, Y\}$ 라 하고 다음과 같다.

$$A = \{x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{15}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\},$$

$$B = \{x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{16}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\},$$

$$Y = \{x_7, x_8, x_9, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\}$$

먼저  $\cap F = A \cap B \cap Y = \{x_7, x_8, x_9, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\}$ 가 된다.

$$\cap (F - \{Y\}) = A \cap B = \{x_7, x_8, x_9, x_{10}, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\},$$

$$\cap (F - \{B\}) = A \cap Y = \{x_7, x_8, x_9, x_{12},$$

$$x_{13}, x_{14}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\}, \cap (F - \{A\}) = B \cap Y$$

$$= \{x_7, x_8, x_9, x_{12}, x_{13}, x_{14}, x_{17}, x_{18}, x_{19}\}$$

여기서 집합  $A$ 와  $B$ 는 집합족  $F$ 내에서 불필요하며, 집합족  $F$ 는 종속이고, 집합  $Y$ 는  $F$ 의 코어이다. 집합  $\{A, Y\}$ 와  $\{B, Y\}$ 는  $F$ 의 리덕트이고,  $\{A, Y\} \cap \{B, Y\} = \{Y\}$ 는  $F$ 의 코어가 된다. 여기서  $Y$ 는 최종적으로 선택된 집합이 된다.

### IV. 모의실험

제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 다양한 영상에 대해 실험을 실시하였다. 평가 실험 영상에는 DiVAN 프로젝트 평가 단계에서 사용된 영상 그리고 인터넷 사진, 증명 사진 등을 포함하고 있다. 또한 테스트 영상은 200개이며, 그 중 정면 얼굴이 154개, 측면 얼굴이 53개, 기울어진 얼굴이 14개로 전체 얼굴은 221개 포함하고 있다. YCbCr 모델을 이용한 피부색 모델링은 Matlab을 이용하였으며, 전체적인 구성된 제안된 알고리즘은 펜티엄 D 2.8Ghz 4GB RAM 컴퓨터에서 실험하였다.

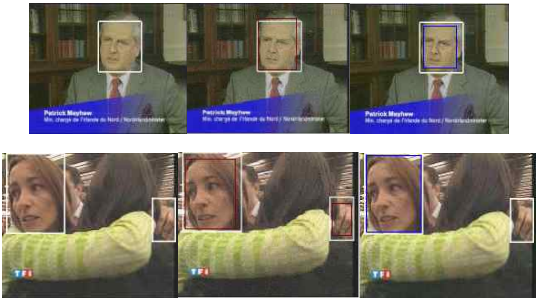
그림 7은 본 논문에서 제안한 방법과 기존 방법인 DiVAN, S. W. Park 등이 제안한 SRE(Skin Region Extraction) 방법[18]을 정면 얼굴을 포함한 영상에 적용한 결과 영상이다. 대부분이 결과가 비슷하였으나, 기존 알고리즘들은 일부 영상에서 얼굴을 검출하지 못함을 보였다. 그림 8은 약간 측면 얼굴 영상에 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘들을 적용하였다. 그 결과 기존 알고리즘 일부는 얼굴색과 유사한 부분인 손을 얼굴로 검출하였다. 그리고 그림 9는 영상에 2명 이상이 포함된 것으로 기존 알고리즘 중 일부는 2개 영상 중 얼굴 컬러색이 약간 다를 경우 그림 9(b)와 같이 얼굴을 검출하지 못한 결과를 보였다.



(a) DiVAN (b) 기존 알고리즘 (c) 제안된 알고리즘  
(a) DiVAN (b) Convention (c) Proposal

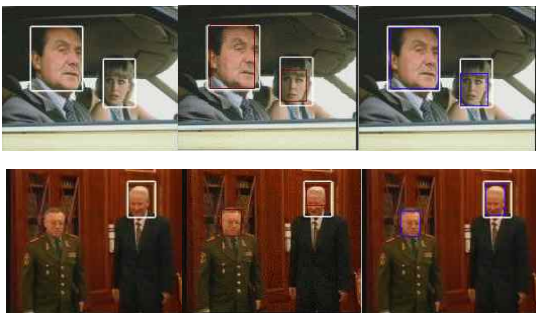
그림 7. 정면 얼굴 결과 영상  
Fig. 7. The result images of the front face





(a) DIVAN (b) 기존 알고리즘 (c) 제안된 알고리즘  
(a) DIVAN (b) Convention (c) Proposal

그림 8. 측면 얼굴 결과 영상  
Fig. 8. The result images of a side face



(a) DIVAN (b) 기존 알고리즘 (c) 제안된 알고리즘  
(a) DIVAN (b) Convention (c) Proposal

그림 9. 2명 이상 결과 영상  
Fig. 9. The result images of over the 2 people

그리고 그림 7~9에서 보는 것과 같이 제안된 알고리즘을 적용한 결과 영상이 기존 알고리즘을 적용한 결과 영상보다 정확한 얼굴 영역을 검출함을 알 수 있다. 또한 전체적으로 제안된 알고리즘을 적용한 결과 영상들이 기존 알고리즘을 적용한 결과 영상보다 정확한 얼굴 부분이 검출됨을 보였다. 그림 10은 테스트 영상 200개 중 제안된 알고리즘을 이용하여 얼굴을 검출한 결과 영상으로, 다양한 얼굴의 크기, 컬러, 기울기 등을 포함한 영상에서 얼굴을 검출함을 알 수 있다.

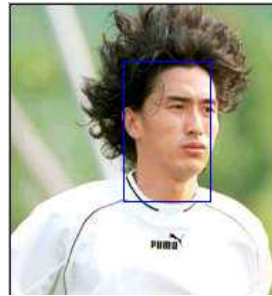
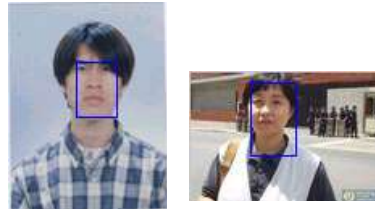


그림 10. 제안된 알고리즘의 결과 영상  
Fig. 10. The result image of the proposal algorithm

표 1은 221개의 얼굴을 포함한 200개 테스트 영상에 제안된 알고리즘과 기존 알고리즘들을 적용하여 얼굴을 검출한 결과를 나타낸 것으로, 제안된 알고리즘의 검출율은 약 95%이며 기존 알고리즘 중 DiVAN은 92%, SRE는 93%로 제안된 알고리즘이 우수함을 알 수 있다. 또한 본 논문에서 기본 구조로 이용한 D. S. Baek의 알고리즘과 검출률이 거의 유사하며, 처리 속도는 HMMD 컬러 모델 대신 YCbCr 컬러 모델을 사용한 것과 원영상의 해상도가 얼굴의 피부 공간 영역을 검출하는데 거의 영향이 없어 25 단계의 처리 영상에서 제외함으로 전체적으로 110~150ms 소요되며, 25% 정도 개선됨을 확인하였다.

표 1. 얼굴 검출률  
Table 1. Face Detection Rate

	제안된 알고리즘	DiVAN	SER
검출률	95%	92%	93%
실패율	5%	8%	7%

그리고 그림 79은 영상의 질이나, 정확도면에서 기존 알고리즘보다 제안된 알고리즘이 우수함을 직접 확인할 수 있다.

### V. 결론

본 논문에서는 실시간적으로 얼굴을 검출할 수 있도록 특징 기반 방법 중 YCbCr 컬러 모델을 이용하였으며, 전처리 과정에서 양자화를 실시하여 특징 기반의 단점인 조명의 민감도에 둔감하도록 하였다. 그리고 형태학 및 리프 집합을 이용하여 크기, 방향에 민감함 정도를 개선하여 얼굴 검출의 정확도를 높이고자 4단계로 구성된 알고리즘을 이용하였다. 그 결과 표 1에서와 같이 제안된 알고리즘의 검출율이 기존 알고리즘인 DiVAN 보다 약 3% 정도, SER 보다 2% 정도 우수함을 확인하였다. 또한 본 논문의 기본 구조로 이용한 D. S. Baek의[10] 알고리즘에서 얼굴 피부 공간을 검출하는데 영향이 거의 없는 원영상에서 처리 단계를 제외하고, YCbCr 컬러 모델을 사용하여 처리 속도가 25%정도 개선됨을 확인하였다.

향후, 제안된 알고리즘은 보안, 차량용 인식기 등에 사용함으로써 정확한 얼굴인식의 성능향상에 기여할 것으로 사료된다.

### 참고문헌

[1] K. S. kim, J. N. Kang, and D. H. Nyang and K. H. Lee, "The Security Problem Analysis for Reversibility of Transformed Biometric Information Data on Eigenvector-based Face Authentication," Journal of KIISC, Vol. 18, No. 3, pp. 51-59, Jun. 2006.  
 [2] D. K. Yang and N. Ahuja, "Detecting Faces in Image s: A Survey," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, No. 1, pp. 34-59, 2002.

[3] P. Vadakkepat, P. Lim, L. C. De Silva, and L. Jing, and L. L. Ling, "Multimodal Approach to Human-Face Detection and Tracking," IEEE Trans. on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 3, pp. 1385-1393, 2008.  
 [4] <http://cafe.naver.com/ttapt/1196>, Face Detection Technology Standard Trend, TTA Advertising team  
 [5] T. Aach and A. Kaup, "Statistical Model-based Change Detection in Moving Video," Signal Processing (Elsevier), Vol. 31, pp. 165-180, March 1993.  
 [6] M. A. Berbar, H. M. Kelash and A. A. Kandeel, "Faces and Facial Features Detection in Color Images," Geometric Modeling and Imaging--New trends 2006, pp. 209-214, Jul. 2006.  
 [7] G. Yepeng and Y. Lin, "An unsupervised face detection based on skin color and geometric information," Intelligent Systems Design and Applications 2006, Vol. 2, pp. 272-276, Oct. 2006.  
 [8] S. W. Park, J. K. Park and J. W. Park, "Skin Region Extraction Using Color Information and Skin-Color Model," Journal of IEEK, Vol. 45IE, No. 4, Dec. 2008.  
 [9] C. Garcia and G. Tziritas, "Face Detection Using Quantized Skin Color Regions Merging and Wavelet packet Analysis," IEEE Trans. on Multimedia, Vol. 1, no. 3, pp. 264-277, September 1999.  
 [10] D. S. Baek, O. S. Byun and Y. H. Baek, "A study on Face Object Detection System using spatial color model," Journal of IEEK, Vol. 43, No. 2, pp. 30-38, Jun. 2006.  
 [11] A. Tirakis, P. Katalagarianos, and M. Papathomas, and C. Hamilakis, "Distributed audioVisual Archives Network (DiVAN)," IEEE International Conference on Multimedia Computing and Systems, Vol. 2, pp. 1086-1088, Jul. 1999.  
 [12] H. Wu, Q. Chen and M. Yachida, "Face Detection from Colour Images Using a Fuzzy Pattern Matching Method," IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 21, No. 6, pp. 557-563, 1999.  
 [13] K. Nallaperumal, R. Subban, K. Krishnaveni, L. Fred and R. K. Selvakumar, "Human face detection in



- color images using skin color and template matching models for multimedia on the Web," 2006 IFIP International Conference on Wireless and Optical Communications Networks, Vol. 5, Aug. 2006.
- [14] G. Rajkiran and K. A. Vijayan, "An improved face recognition technique based on modular PCA approach," *Pattern Recognition Letters*, Vol. 25, pp. 429-436, Mar. 2004.
- [15] N. B. Peter, P. H. Joao, and J. K. David, "Eigenfaces vs. Fisherfaces: Recognition using class specific linear projection," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligences*, Vol. 19, No. 7, pp. 711-720, Jul. 1997.
- [16] A. N. Shahrin, O. Nazaruddin, F. J. Khairol and K. Marzuki, "Face Detecting using Artificial Neural Network Approach," *Modelling & Simulation 2007*, pp. 394-399, Mar. 2007.
- [17] H. A. Rowley, S. Baluja, and T. Kanade, "CMU CS Technical Report CMU-CS-97-201", 1997.
- [18] S. H. Park and N. J. Kwak, "Local Appearance-based Face Recognition Using SVM and PCA," *Journal of IEEK*, Vol. 47, No. 3, pp. 54-60, Mar. 2010.
- [19] <http://mpeg.telecomitalia.com/>, The MPEG Home.
- [20] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, "Digital Image Processing, 3/E," Prentice Hall Inc., 2008.
- [21] Y. Y. Tang, L. H. Yang, and J. Liu, and H. Ma, "Wavelet Theory and Its Application to Pattern Recognition," *Series in Machine Perception Artificial Intelligence*, vol. 36, World Scientific Publishing Co, 2000.
- [22] C. S. Burrus, R. A. Gopinath, and H. Guo, "Introduction to Wavelets and Wavelet Transforms : A Primer," Prentice-Hall International, Inc., 1998.
- [23] O. S. Byun, "The Proposal of the Robust Fuzzy Wavelet Morphology Neural Networks Algorithm for Edge of Color Image," *Journal of KSCI*, Vol. 12, No. 2, pp. 53-62, May, 2007.
- [24] Y. K. Bang and C. H. Lee, "Multiple model Fuzzy Prediction Systems with Adaptive Model Selection Based on Rough Sets and its Application to Time Series Forecasting," *Journal of KIIS*, Vol. 19, No. 1, pp. 25-33, Feb. 2009.
- [25] E. Y. No and H. M. Jung, "The Optimal Reduction of Fuzzy Rules using a Rough Set," *Proceedings of KIIS Autumn Conference 2007*, Vol. 17, Num. 2, pp. 261-264, 2007.
- [26] S. J. Oh and C. W. Park, "A Clustering Algorithm for Sequence Data Using Rough Set Theory," *Journal of KSCI*, Vol. 13, No. 2, pp. 113-119, Mar. 2008.

## 저자 소개



### 변 오 성

2000: 원광대학교, 전자공학과 공학 석사.

2003: 원광대학교, 전자공학과 공학 박사.

2003~2010: 삼성전기, ISM 개발팀 책임연구원

현재: 현대모비스, 기술연구소 책임연구원

관심분야: 영상처리, 패턴인식, 임베디드 시스템, 지능형 전장시스템 등

Email : byunoh@naver.com