

빛 보상과 외형 기반의 특징을 이용한 얼굴 특징 검출[☆]

A Facial Feature Detection using Light Compensation and Appearance-based Features

김진옥*
Kim, Jin Ok

요약

얼굴 특징 검출은 HCI, 얼굴 인식, 얼굴 추적, 표정 인식 및 이미지 데이터 검색등과 같은 응용분야의 근간 기술이다. 실시간 환경에서 얼굴 특징 검출을 처리하기 위해서는 검출 알고리즘의 속도가 중요한 관건으로 작용하고 있다. 또한 빛의 변화, 대상의 위치, 각도, 복잡한 배경등과 같은 요인들은 얼굴 특징 검출 알고리즘의 검출율을 낮추는데 영향을 미치므로 이를 개선한 방법이 필요하다. 본 연구에서는 검출율과 검출 속도를 동시에 개선한 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 얼굴 이미지에 빛 보상 알고리즘인 CLAHE를 이용하여 빛의 변화에 강건하도록 이미지를 개선한 다음 얼굴 피부 영역을 검출한다. 검출한 피부 영역에서 얼굴 특징 포인트를 추출하기 위해 얼굴 특징의 외형기반 기하학적 성질을 이용한다. 제안 알고리즘은 얼굴 특징 검출의 정확도를 높일 뿐 아니라 빠른 검출 속도를 보임으로써 얼굴 추적, 인식 등과 같은 실시간 응용분야에 적용할 수 있다.

Abstract

Facial feature detection is a basic technology in applications such as human computer interface, face recognition, face tracking and image database management. The speed of feature detection algorithm is one of the main issues for facial feature detection in real-time environment. Primary factors like a variation by lighting effect, location, rotation and complex background give an effect to decrease a detection ratio.

A facial feature detection algorithm is proposed to improve the detection ratio and the detection speed.

The proposed algorithm detects skin regions over the entire image improved by CLAHE, an algorithm for light compensation against varying lighting conditions. To extract facial feature points on detected skin regions, it uses appearance-based geometrical characteristics of a face.

Since the method shows fast detection speed as well as efficient face-detection ratio, it can be applied in real-time application to face tracking and face recognition.

☞ Keyword : facial feature detection, light compensation, feature extraction, face recognition

1. 서론

생체인식 기술 중 한 분야인 얼굴 인식은 비디오 감시 시스템, HCI, 이미지 DB관리, 생체여권 등 다양한 분야에 응용되면서 지속적으로

연구되고 있다.

특히 보안, 모니터링 분야에서는 사용자 편의성이 높은 보안 시스템에 대한 요구가 강하기 때문에 사용자가 보안 시스템에 대한 사전 지식이나 의도적 행위가 없는 상태에서 자동적으로 생체 정보를 인식하여 보안을 처리하는 얼굴 인식에 대한 선호도가 증가하고 있다.

얼굴을 인식하기 위한 첫번째 단계는 이미지에서 얼굴의 위치와 특징을 검출하는 것으로 얼굴 특징 검출 연구는 복잡한 장면에서 실시간으로 얼굴 특징을 신속하게 잡아 얼굴 영역을

* 종신회원 : 대구한의대학교 정보경영대학 모바일콘텐츠학부 교수 bit@dhu.ac.kr

[2005/10/24 투고 - 2005/11/18 심사 - 2006/03/11 심사완료]

☆ 이 논문은 2005년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임(KRF-2005-204-D00040)

정확하게 검출하는 일을 다룬다. 얼굴 검출 연구에서 이미지의 크기, 검출 대상의 위치, 각도, 자세뿐만 아니라 얼굴 표정의 변화, 객체간의 겹침, 빛의 조건은 검출율을 낮추는 요인들로 작용하기 때문에 이 요인들을 해결하면서 검출율을 높이는 것이 과제이다.

또한 실시간으로 처리되어야 하는 얼굴 인식 및 추적 분야에서는 이미지에서 얼굴 특징을 매우 빨리 포착해 처리해야 하기 때문에 검출 알고리즘의 처리 속도 역시 중요한 관건이다.

복잡하고 다양한 이미지에서 얼굴영역을 검출해 내는 얼굴 검출 분야에서는 지식기반 방법 [1], 형상 정합 방법[2], 특징 불변 접근 방법 [3], 외형기반의 방법[4] 등이 제안되고 있으며 얼굴 인식의 기초가 되는 얼굴 특징 추출에는 PCA[4], 유전자 알고리즘[5], 템플릿 정합[6], 신경망[7], SVM[8]의 얼굴 특징간의 기하학적 특성[9] 및 피부 색조[5]등의 얼굴 형상과 텍스처 모델링을 결합한 모델기반의 알고리즘들이 제안되면서 효과적인 얼굴 특징 검출을 시도하고 있고 두 가지 이상의 방법들을 동시에 적용한 연구[5]를 통해 검출의 정확성과 검출 속도를 동시에 만족시키려는 노력이 계속되고 있다.

하지만 기존의 제안 연구들은 카메라로 찍은 이미지 상태와는 무관하게 바로 얼굴 특징 및 형상 등을 다루게 되므로 이미지 자체에 대한 전처리 과정이 생략되어 있다.

본 연구에서는 얼굴 특징 검출을 시도하기 전 이미지에 빛 보상 과정을 전처리하여 이미지의 상태를 최적화한 후 얼굴 특징 검출 과정을 처리하여 검출의 정확성을 높이는 방법을 제안한다. 색조를 이용한 피부 영역 검출 등에 가장 큰 영향을 미치는 빛은 검출 오류를 발생시키는 요인이 되므로 이미지에서 빛의 영향을 줄이면 검출율을 개선할 수 있기 때문이다.

본 연구에서는 의학 영상의 화질 개선에 쓰인 CLAHE 알고리즘[10]을 얼굴 이미지의 빛 보상에 이용함으로써 이미지가 노출되어 있는 다양한 빛의 영향을 정규화할 수 있는 방법을 제시

한다. 또한 제안 연구에서는 검출 속도를 개선하기 위해 빛 보상처리한 이미지에서 피부 색조를 이용하여 얼굴 후보 영역을 포착한 후 빠른 계산 속도로 피부 영역을 분류하고 얼굴 특성간의 기하학적 성질을 이용하여 얼굴 특징을 추출하도록 한다.

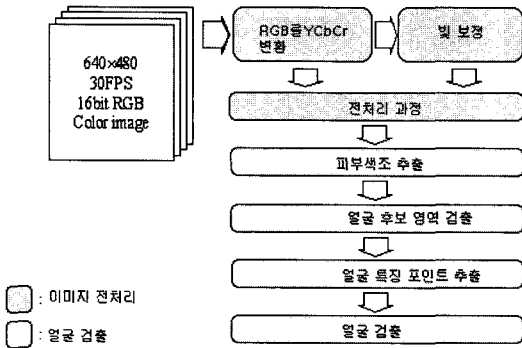
즉 YCbCr 색상 공간에서 피부 색조 모델을 구축하여 이미지에서 피부 영역만을 분류한 후 얼굴 색조 특징간의 형태학적인 연산에 의한 픽셀 결합성을 이용하여 얼굴 후보 영역을 찾아낸다. 그리고 외형 기반의 얼굴 특징 포인트를 이용하여 얼굴 후보 영역에서 눈과 입 등의 얼굴 특징을 추출함으로써 전체적으로 얼굴 특징 검출의 정확성과 검출 속도를 높인다.

2. 얼굴 특징 검출 시스템

본 연구에서 제안한 얼굴 특징 검출 방법은 먼저 대상 이미지에 빛의 영향을 최소화할 수 있도록 이미지를 빛 보상 처리한다. 그리고 비디오 압축 표준과 멀티미디어 스트리밍 등에서 폭넓게 적용되고 있는 YCbCr 색상 공간[11]을 이용하여 먼저 전체 이미지에서 피부 영역을 검출한 후 눈과 입 등의 부위별 피부 색상 조각을 얼굴 구조에 따라 공간적으로 배치하여 얼굴 후보 영역을 생성한다. 그리고 얼굴 후보 영역을 확인하기 위해 얼굴 특징 포인트를 얼굴 구조의 기하학적 특성에 따라 판단하여 얼굴 특징을 추출하는 단계로 이루어져 있다. 본 연구에서 제안하는 얼굴 특징 검출 시스템은 그림 1과 같다.

제안 알고리즘은 크게 두 부분으로 구성되는데 첫번째는 얼굴 후보 영역을 찾기 위한 얼굴 영역 처리 부분이고 두번째는 검출한 얼굴 후보 영역이 확실히 얼굴 영역인지 확인하기 위한 얼굴 특징 추출 부분이다.

이미지에서 얼굴의 위치를 결정하는 얼굴 영역 처리는 피부 색상으로 얼굴 영역을 구분할 수 있다는 점을 바탕으로 실시하는데 먼저 빛 보상을 통해 이미지 전체에 퍼져 있는 빛의 영



〈그림 1〉 얼굴 특징 검출 시스템

향을 정규화 함으로써 피부 색조를 이용한 검출율의 오류를 줄인다. 그리고 피부 색상 정보를 이용하기 위해 이미지를 RGB 칼라를 $YCbCr$ 변환하여 색상 공간을 구성한 후 얼굴 후보 영역을 찾는다. 찾은 얼굴 후보 영역에서 얼굴 구조의 기하학적 특성을 이용하여 눈과 입, 코 등 얼굴 특징을 추출하면 얼굴 영역 검출에 성공한 것이다.

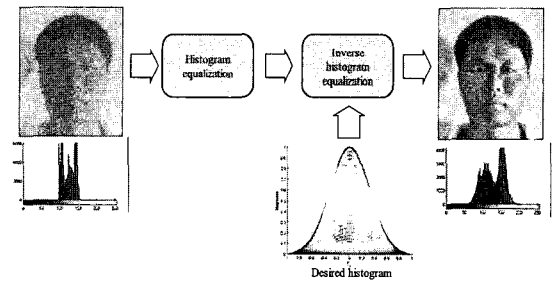
3. 제안 알고리즘

3.1 빛 보상 알고리즘

카메라를 통해 찍은 이미지를 대상으로 하는 얼굴 특징 검출 연구에서 얼굴 외형의 다양성, 서로 다른 피부색, 얼굴에 드리워진 그림자, 카메라의 특성 등이 이미지 내 얼굴 피부 색상 노출에 영향을 미치고 이들이 결국 피부 색조를 이용한 얼굴 특징 검출의 효과를 결정하는 요인이 된다. 이러한 요인들의 가장 큰 원인은 빛이기 때문에 피부 색조는 결국 빛의 조건에 따라 다양하게 나타난다고 볼 수 있다. 그래서 이미지에 별도의 빛 보상 절차를 적용하여 빛의 조건과 카메라의 특성으로 치우친 색상을 조정해야 한다.

본 연구에서 빛 보상에 이용한 CLAHE

(Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization) [10]은 윈도우와 레벨 적용 과정 없이 원 이미지에서 가장 적절한 색상의 이미지를 얻을 수 있는 알고리즘으로 사용자 간섭 없이도 이미지를 자동적으로 개선하여 보여준다. 원래 CLAHE는 포탈필름과 같이 낮은 대비치의 이미지를 개선하는데 효과적이어서 의학 이미지의 화질을 개선하는데 쓰인 알고리즘이다. CLAHE는 그림 2와 같이 이미지를 문맥상의 영역으로 잘라 각 영역에 히스토그램 평활화를 적용한다. 회색조 값의 분포를 평활화하여 이미지를 더 시각적으로 잘 보이도록 하여 숨은 특징을 드러내 준다. 전체적으로 회색 스펙트럼이 이미지를 표현하는데 이용된다.

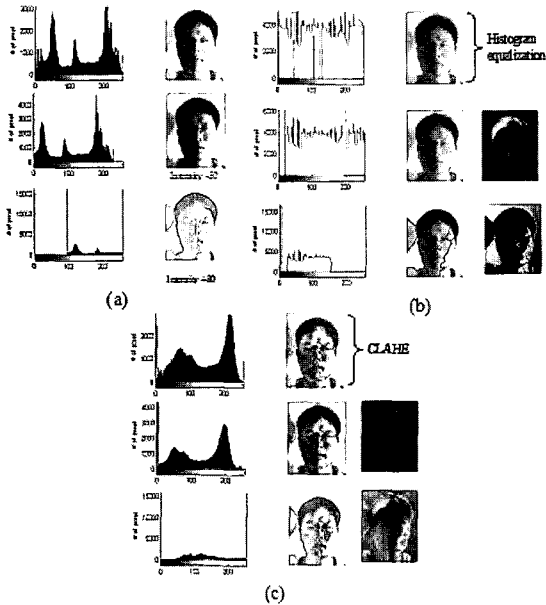


〈그림 2〉 CLAHE 알고리즘

CLAHE 알고리즘을 적용하여 다양한 빛의 영향에 노출되어 있는 이미지의 색상상태를 정규화하기 위해 본 연구에서는 ‘참조백색’을 이용하였다. 이미지에서 빛 수치의 상위 5%에 해당하는 픽셀값이 타 픽셀값에 비해 충분히 클 경우 이를 참조 백색으로 하여 이 값을 조정함으로써 빛의 영향을 최소화하였다. 그림 3의 (a)는 원 이미지이며 (b)는 (a)에 히스토그램평활화를 한 결과이며 (c)는 CLAHE 알고리즘을 적용하여 이미지에서 빛의 영향을 보상하여 이미지 상태를 개선한 결과이다.

그림 3과 같이 (a)의 원 영상에 (b)와 같이 일반적인 히스토그램 평활화를 시도하면 얼굴

특징이 전체적으로 공개지지만 (c)와 같이 CLAHE를 적용하면 얼굴의 각 특징이 선명하게 드러나 피부 색조 추출이 용이해 진다.



(a)원 이미지 (b)히스토그램평활화 (c)CLAHE
 <그림 3> 개선된 이미지

그림 4는 본 연구에서 제안한 얼굴 이미지의 빛 보상 결과이다. 그림 4의 (a)와 같은 다양한 빛 조건하에 있던 이미지가 (b)와 같이 보상됨을 알 수 있다.



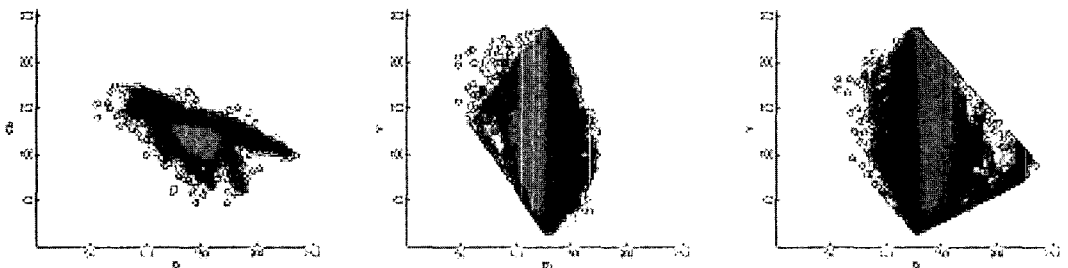
(a)입력 이미지 (b)보상된 이미지
 <그림 4> 빛 보상 결과

3.2 얼굴 후보 영역 검출

본 연구에서는 이미지에서 얼굴 후보 영역을 검색하기 위해 피부 색조를 이용한다[12-13].

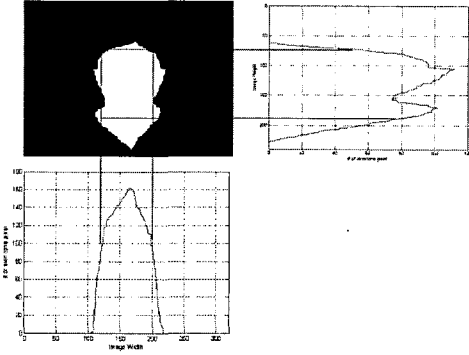
그림 5는 IMDB[9]에서 수집한 얼굴 피부 색조 데이터를 이용하여 분석한 피부색조의 Y_C, C_r 색상공간에서의 휘도 종속성을 설명하고 있다. 많은 연구에서 피부색조의 색도성분은 휘도 성분과는 독립적이라고 했으나 실제로 피부색조는 비선형적으로 휘도에 종속적이다. 다양한 색상공간에서 피부색조의 휘도 종속성을 그림 5에서와 같이 볼 수 있다.

그림 5의 (a)는 C_b, C_r 하위공간에서 학습 데이터의 클러스터를 이용하여 피부 색조를 검출한 결과이다. 피부 색조 픽셀들은 그림 5의 (b)와 (c)에서 나타나는 것처럼 Y_C, C_r 공간에서 전체적



(a) C_b, C_r 하위공간에서의 2D 투영 (b) Y_C, C_r 하위공간에서의 2D 투영 (c) Y_C, C_r 하위공간에서의 2D 투영
 <그림 5> Y_C, C_r 색상공간과 피부색조 모델 (가운데 붉은 점들이 피부색조)

으로 확장된 클러스터모양을 형성하고 휘도의 고저에서 줄어드는 특성을 보인다.



〈그림 6〉 얼굴 색조의 x, y 단면

위 결과를 바탕으로 본 연구에서는 이미지에서 피부 색조를 기반으로 얼굴 후보 영역을 검출한다. 그림 6과 같이 얼굴 이미지의 투영을 통해 서로 관련 있는 색조영역 정의에 기여 역할을 하도록 했다. 즉 얼굴 영역의 이진영상에서 구멍이 없는 특정 영역의 넓이와 높이가 최고수평, 수직값이 됨을 이용, 이를 x, y 좌표로 하여 이미지에서 얼굴 피부 영역을 검출한다. 그림 6은 얼굴 색조 영역의 넓이와 높이를 x, y 좌표로 나타낸 예제이다.

그림 7은 그림 6의 피부색조 공간을 이용하여 이미지에서 얼굴 피부 색조를 추출한 결과이다.



〈그림 7〉 얼굴 영역에서의 피부 색조 추출 결과

얼굴 후보 영역에서는 눈과 입이 색차 측면에서 C_b, C_r 에 대해 얼굴의 나머지 영역과 다른 결과를 보이기 때문에 이를 기반으로 얼굴 특징 확인이 가능하다. 따라서 피부 색조 추출시 더 정확하게 눈과 입의 위치를 파악하기 위한 방법으로 색조를 이용한 얼굴 특징 지도를 이용할 수 있다. 이를 위해서는 피부 색조의 색조 성분과 휘도 성분을 이용하여 먼저 각각 두 개의 눈 지도를 구축한다. 이는 색조성분의 눈 지도는 높은 C_b 값과 낮은 C_r 값이 눈 주위에 나타난다는 결과를 바탕으로 하고 있다. 색조성분의 눈 지도는 식 1과 같이 구축된다

$$C_{eye} = \frac{1}{3}(C_b^2) + (\tilde{C}_r)^2 + (C_b/C_r) \quad (1)$$

여기서 $C_b^2, (\tilde{C}_r)^2$ 과 $\frac{C_b}{C_r}$ 는 $[0,255]$ 범위내에 정규화된 값이고 \tilde{C}_r 은 C_r 값의 음수값이다

눈은 휘도성분상에서 어두운 픽셀과 밝은 픽셀을 같이 가지고 있어서 눈 주위의 휘도성분에서 더 밝고 어둡게 픽셀을 강조하기 위해 회색스케일의 형태학상의 연산 방법을 이용한다.

본 연구에서는 휘도성분에서 눈 지도를 구축하기 위해 식 2와 같이 Jackway가 제안한 다비울의 형태적 팽창과 침식을 다룬 함수 연산을 이용하여 반구상 구조의 요소를 나타내는 회색조의 팽창과 침식을 나타냈다[10].

$$L_{eye} = \frac{Y(x,y) \oplus g(x,y)}{Y(x,y) \ominus g(x,y) + 1} \quad (2)$$

Jackway[10]는 $f: F \subset R^n \rightarrow R$ 와 $g: G \subset R^n \rightarrow R$ 로 함수의 공간을 표기하고 평활화 커널로서 가우시안 함수인 구조함수 $g(x)$ 를 이용했는데 $g(x)$ 에 의한 함수 $f(x)$ 의 팽창은 $(f \oplus g)(x)$ 로 표기하고 팽창 $(f \oplus g)(x) = \sup_{t \in G \cap \hat{D}_x} \{f(x-t) + g(t)\}$

로 정의하며 구조함수 $g(x)$ 에 의한 $f(x)$ 의 침식은 $(f \ominus g)(x)$ 로 표기하고 침식 $(f \ominus g)(x) = \inf_{t \in G \cap \hat{D}_x} \{f(x+t) - g(t)\}$ 로 정의했다. 여기서 $D_x = \{x+t: t \in D\}$ 이며 \hat{D} 는 D 의 투영으로 $\hat{D} = \{x: -x \in D\}$ 를 의미한다. $su(f)$ 와 $iinf(f)$ 는 각각 least upper bound와 greatest lower bound를 뜻한다.

따라서 식 2에서는 $f(x)$ 함수를 대신한 휘도 성분 함수와 구조 함수 $g(x)$ 를 이용하여 회색조의 팽창과 침식으로 강조한 눈 지도를 구축했다.

색조성분의 눈 지도는 다시 한번 CLAHE 알고리즘으로 개선된 후 AND 연산으로

식 3을 통해 휘도성분의 눈 지도와 합쳐져 눈 지도가 구축된다

$$Eye Map = (Eye Map C) AND (Eye Map L) \quad (3)$$

여기서 $Eye Map C$ 는 색조성분의 눈 지도이며 $Eye Map L$ 은 휘도성분의 눈 지도이다.

입주변의 색상은 강한 붉은 색 성분과 약한 푸른색 성분을 포함하고 있다. 그래서 입 영역은 색조성분 C_r 값이 C_b 값보다 크다. 입은 관계적으로 $\frac{C_r}{C_b}$ 특징에서 낮은 값을 나타내고 C_r^2 에 높은 값을 나타낸다. 색조성분의 입 지도는 식 4에 의해 구축된다.

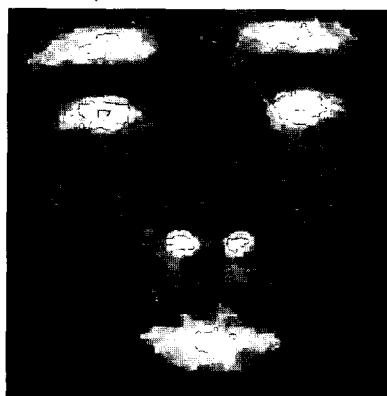
$$Map_{mouth} = C_r^2 \times (C_r^2 - \eta \times \frac{C_r}{C_b})^2 \quad (4)$$

$$\eta = 0.95 \times \frac{\frac{1}{n} \sum_{(x,y) \in FG} C_r(x,y)^2}{\frac{1}{n} \sum_{(x,y) \in FG} \frac{C_r(x,y)}{C_b(x,y)}}$$

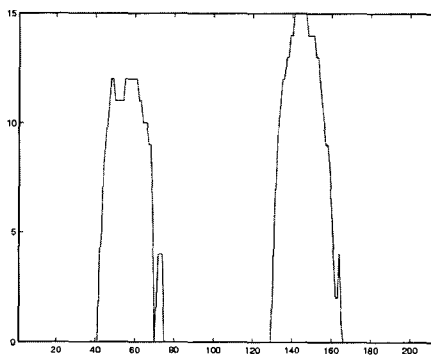
C_r^2 와 $\frac{C_r}{C_b}$ 은 $[0,255]$ 사이의 값으로 정규화된 다. n 은 얼굴마스크 FG 의 픽셀 수이고 파라미

터 η 는 $\frac{C_r}{C_b}$ 평균에 대한 C_r^2 의 평균 비율을 나타낸다.

이 과정을 거쳐 생성한 눈과 입 지도를 통해 검출알고리즘은 이미지 상에서 얼굴 후보 영역을 더 정확하게 검색한다. 그림 8(a)는 눈과 입 지도를 합쳐서 생성한 얼굴 지도 이미지이고 8(b)는 지도 이미지의 x 축 단면값을 나타낸다.



(a) 얼굴 지도 이미지



(b) 지도 이미지의 x 축 단면
<그림 8> 얼굴 지도 이미지

3.3 얼굴 특징 추출

이미지에서 피부 색조를 추출함으로써 얼굴 후보 영역이 생성되면 후보 영역에서 얼굴 특징을 추출하여 후보 영역이 얼굴 영역인지 확인한다.

본 연구에서는 검색한 얼굴 후보 영역에 얼굴

특징의 기하학적 성질을 이용한 처리 기법을 적용하여 얼굴 특징을 추출하도록 한다.

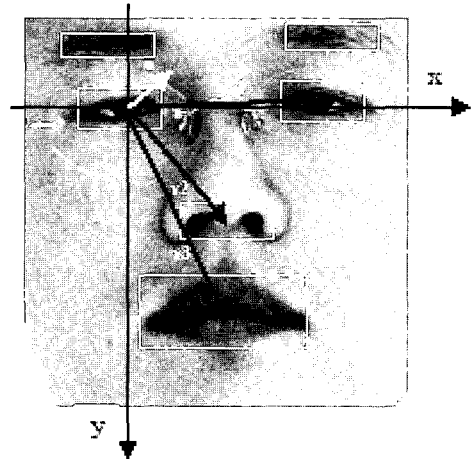
그림 8의 지도 이미지에서 투영된 얼굴에서 얼굴 특징 후보를 찾기 위해 그림 6의 y 축의 가장 최상의 최대 값부터 시작해 x 축의 최대, 최소 값을 찾는데 눈의 경우 머리넓이와 회색조의 유사값 사이에 거리 비율을 고려해 눈에 해당하는 두 개의 최대 값을 찾아 위치를 결정한다. 입은 입영역의 경계선을 결정하는 2개의 최대값을 통해 찾는다.

얼굴 특징 후보가 결정되며 Bookstein의 얼굴 좌표 시스템[15]을 이용하여 얼굴 특징간의 기하학적인 형상을 추출한다. 좌표 값의 두 개 카테고리는 각 성분의 형상과 위치를 지정하고 메인 좌표시스템은 눈썹, 눈, 입, 코의 중심을 표시한다. 좌표의 시작점은 왼쪽 눈의 중심으로 하고 왼쪽과 오른쪽 눈 사이의 거리를 단위거리로 정한다. 정면을 바라보는 얼굴에서 두 눈 간의 거리는 대략 눈의 수평 거리와 비슷하다. 오른쪽 눈의 좌표 값은 $(1, y_{re})$ 로 한다. 왼쪽 눈의 중심에서 눈썹의 시작점까지의 거리를 설정하고 왼쪽 눈에서 두 콧구멍 사이의 중점간의 거리, 왼쪽 눈에서 입의 중심점까지의 거리를 설정한다. 이렇게 하면 좌우 총 6개 얼굴 특징점이 추출된다.

3.4 얼굴 특징 벡터 구축

왼쪽과 오른쪽 눈 중심의 스크린 좌표값을 (x_{\leq}, y_{\leq}) 와 (x_{re}, y_{re}) 라 하고 그들의 해당 얼굴 좌표 값을 각각 $(0,0)$ 그리고 $(1, \frac{y_{re} - y_{\leq}}{x_{re} - x_{\leq}})$ 라 한다. 그래서 모든 6개 성분의 중심은 9개 차원 벡터 $(y_{re}, x_{\leq}, y_{\leq}, x_{re}, y_{rb}, y_{rb}, x_m, y_m, x_n, y_n)$ 를 이용하여 결정된다. 이는 오른쪽 눈의 y , 왼쪽 눈썹과 오른쪽 눈썹 거리의 x, y 그리고 입과 코의 x, y 벡터이다. 얼굴 성분의 형상은 몇 개의 특징벡터에 의해 형성된다. 각 성분은 성분을 나타내는

좌표시스템으로 설명되는데 그 원점은 성분의 중심으로 그 단위 벡터는 메인좌표의 단위 벡터와 동일하게 결정된다.



〈그림 9〉 얼굴 특징 좌표값

얼굴의 특징을 결정하는 특징 벡터는 그림 9에 u, v_1, v_2, v_3 로 분포되어 있다.

얼굴 특징 벡터 u 와 v 를 이용한 각 θ 는 식 (4)에 의해 그 값이 결정된다.

$$\|u\| \|v\| \cos\theta = u \cdot v$$

$$\cos\theta = \frac{u \cdot v}{\|u\| \|v\|} \tag{4}$$

얼굴 특징 벡터 v 의 크기는 식 (5)에 의해 결정된 non negative 스칼라 $\|v\|$ 이다.

$$\|v\| = \sqrt{v \cdot v} = \sqrt{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_n^2},$$

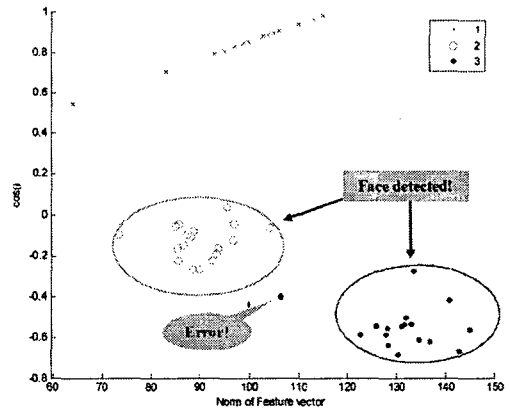
$$\|v\|^2 = v \cdot v \tag{5}$$

각 얼굴 특징 포인트의 특징은 그 특징의 얼굴 좌표로 나타내어 매핑된 이미지에서 찾아낸다. 이 때 입술은 코보다 오른쪽 눈에서 더 멀다는 것을 고려한다. 본 연구에서는 얼굴 특징을 분류하는데 각 특징 벡터 간의 각 θ 와 특

징 벡터의 길이 v 그리고 얼굴 성분의 기하학적 위치점 8개를 포함한 총 10개의 특징 점을 이용한다. 특징 점과 또는 특징 벡터 \vec{v} 를 2차원 특징 공간에 구현하여 그림 10과 같이 얼굴 특징 벡터의 분포를 통해 얼굴 특징을 분류한다. 벡터들의 클러스터는 검출이 가능한 얼굴 특징들이고 별도로 떨어져 분포하거나 선형으로 분포된 벡터는 얼굴 특징으로 간주할 수 없다. 이 과정을 통해 얼굴 특징 후보 영역에서 얼굴 특징점을 검출하면 이는 얼굴 영역으로 확인하게 되고 얼굴 특징을 추출하게 된다.

그림 10은 얼굴 특징 벡터의 분포를 보여주고 있다. 벡터들의 클러스터는 검출이 가능한 얼굴 특징들이고 별도로 떨어져 분포하거나 선형으로 분포된 벡터는 얼굴 특징으로 간주할 수 없다. 이 과정을 통해 얼굴 후보 영역에서 얼굴 특징점을 검출하면 이는 얼굴 영역으로

확인하게 되고 결과적으로 시스템은 얼굴 특징을 추출하게 된다.



〈그림 10〉 얼굴 특징 벡터의 분포

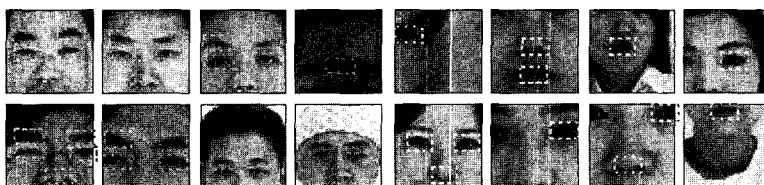
4. 실험 및 검토

본 연구에서는 106사람 (각 17 이미지)의 1802개 정면 이미지로 구성된 POSTECH IMDB[13]를 이용하였다. 이미지는 256×256 픽셀의 색상 이미지이며 이미지상의 조명 조건은 측면 조명, 상측 조명 등 이미지마다 다른 상태이다.



(a) 남성의 얼굴 (b) 여성의 얼굴

〈그림 11〉 검출된 얼굴과 얼굴 특징 추출



(a) 남성의 얼굴 (b) 여성의 얼굴

〈그림 12〉 잘못 검출된 얼굴 특징

그림 11은 제안 연구가 성공적으로 얼굴 후보 영역을 검출함을 보여주고 그림 12는 얼굴 검출이 제대로 이루어지지 않은 결과를 보여준다.

표 1은 본 연구의 얼굴 특징 검출 결과이다. 여자일 경우와 남자일 경우 얼굴 특징별로 각각 다른 검출 결과를 보임을 알 수 있다.

〈표 1〉 특징 추출 결과(%)

	left eye	right eye	nose	mouth	left brow	right brow
female	90.5	92.1	92.0	90.0	90.2	90.2
male	92.2	92.5	91.5	90.4	91.2	91.2

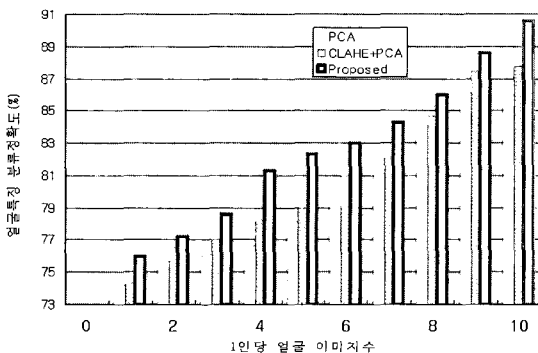
그림 13은 얼굴 특징을 분류하는데 본 연구에서 제안한 방법과 PCA를 적용한 결과 그리고 CLAHE알고리즘을 PCA에 적용한 결과를 비교한 것이다. 얼굴 특징 분류 정확도는 주어진 얼굴 이미지에서 얼굴의 특징인 눈과 입을 제대로 포착했을 때의 결과 값으로 한다. 동일 인물의 얼굴 이미지 수 1-10개에 차례로 해당 방법을 적용한 결과 이미지 수를 늘릴수록 적용 방법들은 얼굴 특징을 잘 분류해 냈으며 이미지 수가 10개일 때 PCA를 적용하여 얼굴 특징을 분류한 결과는 약 86.5%의 정확도를 보였으며 CLAHE 알고리즘을 적용한 후 PCA를 통해 특징을 분류한 결과는 이보다 개선된 87.8%의 정확도를 보였다. 제안한 연구 방법은 90.6%의 정

확도를 보여 다른 방법보다 더 높은 특징 분류 결과를 나타냈다.

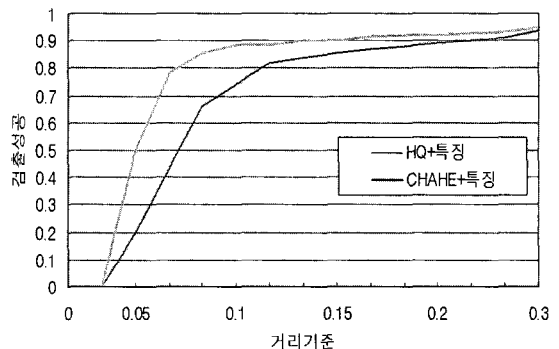
그림 14는 본 연구에서 제안한 ‘CLAHE + 특징 추출 방법’과 얼굴 이미지에 히스토그램 평활화만을 적용한 후 특징 추출 방법을 추가한 ‘히스토그램 평활화(HQ) +특징 추출방법’을 비교하여 얼굴 특징 검출 알고리즘이 어떠한 상황에서 더 정확한 얼굴 특징 검출을 보이는지 실험한 결과이다. 이를 위해 실험용 데이터인 IMDB의 얼굴 이미지의 눈과 입의 위치 값을 조사하여 평균 위치값을 계산 한 후 평균 대비 검출 대상인 얼굴 특징의 위치 오류 m_e 를 찾아냈다. 그리고 위치 오류값 대비 본 연구에서 제안하는 특징 검출 연구 방법과 비교 방법의 검색 성공 정도를 축적 확률 분포도로 나타냈다. 즉 얼굴의 특징 위치를 조금씩 잘못 잡았을 때의 값을 축적해 가면서 이에 대한 얼굴 특징 검출 성공률을 알아보았다.

제안 연구 방법의 경우 m_e 의 문턱치가 0.15보다 적을 때 검색 성공율이 90%이상을 나타낼 수 있다. HQ+추출방법의 경우 거리 기준 값이 0.15일 때 75%정도의 검출 성공률을 보인다. 이에 따라 초기에 얼굴 특징의 위치가 잘못 설정되면 검출 성공율이 낮아짐을 알 수 있다.

IMDB 이미지에 대해 Viola [16,17]의 방법을 이용한 검출에는 150ms의 시간이 소요되었으



〈그림 13〉 얼굴 특징 분류 정확도



〈그림 14〉 평균 위치 오류 대비 얼굴 특징 검출 비교

며 제안 연구는 120ms의 시간이 소요되었다. 이미지에서 얼굴 특징을 검출하는데 1초 미만의 시간이 소요되었기 때문에 제안 연구의 얼굴 특징 검출 시간이 더 빠름을 알 수 있다.

5. 결 론

일반적으로 디지털영상은 복잡한 배경, 조명의 영향 때문에 얼굴 특징 검출의 오류율이 높아진다. 본 연구에서는 검출 오류를 낮추고 빠른 속도로 실시간 얼굴 특징 검출을 구현하기 위해 얼굴 이미지에 빛보상 전처리 과정을 수행하여 빛의 간섭에 영향을 덜 받게 한 후 피부색조와 얼굴특징간의 기하학적 특성을 이용하여 빠른 속도로 얼굴 특징의 검출을 수행하는 방법을 제안한다. 이를 위해 본 연구에서는 얼굴 이미지에 다양한 조명 및 빛의 조건에 강건한 CLAHE 알고리즘을 적용하여 빛의 영향을 줄인 후 $YCbCr$ 색상공간에서 피부 색조 성분을 이용하여 얼굴 후보 영역을 검출한다. 얼굴 후보 영역에는 얼굴 특징의 기하학적 특성을 이용, 눈과 입 등 얼굴 특징 포인트를 추출하여 얼굴 특징 검출율을 높이도록 한다.

실험 결과를 통해 빛 보상과정을 통해 개선된 이미지는 얼굴 특징 검출의 오류율을 낮추는데 기여했으며 피부색조 및 얼굴 특징의 기하학적 특성은 얼굴 특징 검출의 속도를 낮추는데 기여함으로써 본 연구의 특징 검출 과정이 빠르게 진행되어 검출 시간이 타 방법에 비해 개선된 검출 결과를 보였다.

본 연구는 얼굴 특징 검출이 실시간으로 처리되어 얼굴 인식, 얼굴 추적 등 다양한 응용분야의 전 과정으로 이용될 수 있도록 검출을 뿐 아니라 검출 속도를 높이는데 주력했다. 향후 본 연구를 훈련되지 않은 자연스러운 상태의 얼굴 이미지에 적용하여 다양한 환경에서의 얼굴 특징 검출 신뢰도를 높여야 하여 얼굴 특징 검출율을 개선하는 것이 과제로 남아 있다.

참 고 문 헌

- [1] G. Yang, T. S. Hung, "Human Face Detection in Complex Background," Pattern Recognition, vol. 27, no. 1, pp. 53-63, 1994
- [2] I. Craw, D. Tock, A. Bennett, "Finding Face Features," proc. Second European Conf. Computer Vision, pp. 92-96, 1992
- [3] R. Kjeldsen, J. Kender, " Finding Skin in Color Images, "Proc. Second Int'l Conf. Automatic Face and Gesture Recognition, pp.312-317, 1996
- [4] M. Turk, A. Pentland, "Eigenfaces for Recognition," J. Cognitive Neuroscience, vol. 3, no .1, pp. 71-86, 1991
- [5] M. Yang, D. Kriegman, N. Ahuja, "Detecting Faces in Images: A Survey", IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 24, no. 1, pp. 34-58, 2002
- [6] E. Hjelmas, B. Low, "Face detection : A survey." Computer Vision and Image Understanding, vol. 83, pp. 236-274, 2001
- [7] R. Feraud, O. Bernier, J. E. Viallet, M. Collobert, "A fast and accurate face detection based on neural network." IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 23, pp. 42-53, 2001
- [8] Dihua Xi, Igor T. Podolak, "Facial component extraction and face recognition with support vector machines."IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition (FGR), 2002
- [9] D. Maio, D. Maltoni, "Real-time face location on gray-scale static images." Pattern Recognition vol. 33, pp. 1525-1539, 1999
- [10] E. Pisano, S. Zong, M. Hemminger, M. De Luca, R. Johnsoton, K. Muller, M. Braeuning, S. Pizer, "Contrast Limited

- Adaptive Histogram Equalization Image Processing to Improve the Detection of Simulated Spiculations in Dense Mammograms." *Journal of Digital Imaging*, vol. 11 (4), pp. 193-200, 1998.
- [11] R. L. Hsu, M. Abdel-Mottaleb, "Face detection in color images," *IEEE Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 24, no. 1, pp. 96-706, 2002
- [12] R. O. Duda, P. E. Hart, D. G. Stork, "Pattern Classification 2nd Ed," John Wiley & sons, 2001
- [13] IMDB. Intelligent Multimedia Laboratory, POSTECH, KOREA. 2001
- [14] P. T. Jackway, M. Deriche, "Scale-Space Properties of the Multiscale Morphological Dilation-Erosion," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, no. 1, pp. 38-51, 1996
- [15] F. L. Bookstein, "A statistical method for biological shape comparison," *Journal of Theory. Biology*, vol. 107, pp. 475-520, 1984
- [16] P. Viola, M. Jones, "Rapid object detection using a boosted cascade of simple features," *computer vision and pattern recognition conference 2001*, vol. 1. pp. 511-518, 2001
- [17] D. Christinacce, T. F. Cootes, "A Comparison of Shape Constrained Facial Feature Detectors," *Proceedings of 6th IEEE International Conference on Automatic Face and Gesture Recognition 2004*, pp. 375-380, 2004.

● 저자 소개 ●



김진옥 (Kim Jin Ok)

1989년 성균관대학교 졸업(학사)

1998년 성균관대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(석사)

2002년 성균관대학교 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(박사)

2004~현재 대구한의대학교 정보경영대학 모바일콘텐츠학부 조교수

관심분야 : 멀티미디어공학, 패턴인식, 영상처리, 유비쿼터스 컴퓨팅 등

E-mail : bit@dhu.ac.kr