

복합 칼라모델과 얼굴 특징자를 이용한 실시간 얼굴 검출 추적과 기울어진 얼굴보정 시스템

이 응 주^{*}

요 약

본 논문에서는 복합 컬러모델과 얼굴특징 정보를 이용하여 실시간으로 얼굴영역을 검출 추적하고 기울어진 얼굴영상을 보정하는 시스템을 제안하였다. 제안한 시스템은 YCbCr과 YIQ 컬러모델을 사용하여 얼굴 후보영역을 검출하였다. 얼굴 후보영역에서 수평 수직 투영기법을 사용하여 얼굴을 검출하고 하우스도르프 정합 방법을 사용하여 얼굴을 추적하였다. 또한 검출된 얼굴영상으로부터 눈 특징자의 기울기 정보를 보정함으로써 얼굴 기울기를 보정하였다. 실험결과 제안한 알고리즘이 주위환경 변화가 있는 실시간 얼굴검출과 추적 및 기울어진 얼굴인식에 강인하였다. 실험에서는 110개의 테스트 얼굴 영상을 사용하여 좋은 성능결과를 얻었다. 실험결과 얼굴검출과 얼굴추적율은 각각 92.27%와 92.70%를 나타내었고 얼굴 정보들로부터 90.0%의 얼굴 인식율을 얻었다.

Real-Time Face Detection, Tracking and Tilted Face Image Correction System Using Multi-Color Model and Face Feature

Eung-Joo Lee^{*}

ABSTRACT

In this paper, we propose a real-time face detection, tracking and tilted face image correction system using multi-color model and face feature information. In the proposed system, we detect face candidate using YCbCr and YIQ color model. And also, we detect face using vertical and horizontal projection method and track people's face using Hausdorff matching method. And also, we correct tilted face with the correction of tilted eye features. The experiments have been performed for 110 test images and shows good performance. Experimental results show that the proposed algorithm robust to detection and tracking of face at real-time with the change of exterior condition and recognition of tilted face. Accordingly face detection and tilted face correction rate displayed 92.27% and 92.70% respectively and proposed algorithm shows 90.0% successive recognition rate.

Key words: Face Detection(얼굴검출), Face Recognition System(얼굴인식시스템), Face Tracking(얼굴 추적), Color Model(칼라모델), Tilted Face Correction System(얼굴회전보정시스템)

1. 서 론

현재 컴퓨터 사용자의 급속한 증가 추세와 초고속

인터넷이 대중화됨에 따라 보안 기술에 대한 중요성이 날로 증가하고 있으며 이들 분야에 많은 연구들이 진행 중에 있다. 그 중에서 특히 얼굴, 홍채, 지문

※ 교신저자(Corresponding Author) : 이응주, 주소 : 부산광역시 남구 용당동 535번지(608-740), 전화 : (051)610-8372, FAX : (051)610-8846, E-mail : ejlee@tit.ac.kr
접수일 : 2005년 9월 29일, 완료일 : 2006년 1월 9일

^{*} 정회원, 동명대학교 정보통신공학과

※ 본 연구과제는 2005년도 동명대학교 교수해외파견 연구사업의 수행 결과입니다.

제스처, 음성 등 생체 정보들을 이용한 보안인증 분야가 활발히 연구되고 있다. 보안인증 분야 중에서 개인의 얼굴정보를 이용한 생체인증 분야는 비접촉식으로서 사용자의 거부감 없이 개인의 신원을 인증 판독하는 장점이 있고 응용분야가 다양하므로 주로 많이 연구되고 있다.

그러나 현재까지 개발된 얼굴인증 시스템은 주로 정면얼굴을 인증하거나 표준환경하에서 인증 하는 등, 사용 환경의 제약이 많으며 사용자 얼굴의 기울어짐과 움직임에 적응적으로 인식되기 보다는 인식 시스템에 사용자가 인증 될 수 있도록 중심을 맞추어야 하므로 편이성 측면에서 좀 더 보완이 필요하므로 얼굴검출은 물론 얼굴영역 추적과 기울어짐에 무관한 얼굴인식 기술 개발이 절실히 요구되고 있다.

일반적으로 얼굴인증 시스템의 완성을 위해서는 얼굴검출, 얼굴인식 그리고 시스템 구현 단계로 나눌 수 있으며 성능 향상을 위해서는 무엇보다도 얼굴검출에 대한 정확성이 필수 전제적이다. 현재까지 진행된 얼굴영역 검출에 대한 방법은 주로 HSI 컬러모델의 색상성분을 이용한 칼라기반 검출 방법[1], 칼라 정보와 움직임정보를 복합적으로 얼굴검출에 이용하는 방법[2], 그리고 칼라정보와 영상의 에지정보를 이용하여 얼굴영역을 검출하는 방법[3] 등이 있다.

색상성분을 이용한 칼라기반 얼굴검출 방법은 얼굴영상에서 색상성분을 추출하여 투영기법을 사용해서 얼굴영역을 검출하는 방법과 레이블링 방법을 사용하여 얼굴영역을 검출하는 방법 등이 사용되고 있다. 색상성분을 이용한 얼굴검출 방법은 일정한 조명과 단순한 배경 상태에서 얼굴영역을 검출하는 경우에 얼굴검출 성능향상에 많은 장점을 가지고 있다. 그러나 일반적으로 카메라를 사용한 영상획득 시스템은 인간시각시스템과는 달리 외부조명의 종류, 세기 그리고 변화에 따라 얼굴색상 성분이 각기 다르게 인지되기 때문에 외부환경 변화에 대하여 색상성분을 검출하는데 어려움이 있으며 따라서 적응적으로 얼굴영역을 검출하지 못하는 단점이 있다.

또한 색상정보와 움직임정보를 이용한 얼굴검출 방법은 얼굴검출 성능은 우수하나 외부조명에 따라 얼굴색상 성분이 각기 다르게 재현되기 때문에 얼굴검출에 어려움이 있고 현재영상과 이전영상과의 차 정보를 사용하여 얼굴의 움직임 정보를 찾기 때문에 입력영상에서 얼굴의 움직임이 없는 경우에 차 영상

을 획득하는데 단점이 있다.

마지막으로 영상의 색상과 에지정보를 이용한 얼굴검출 방법은 영상획득용 카메라를 사용하여 적응적인 에지를 검출하고 각 에지 영역에 대해 컬러정보를 이용하여 에지병합 후 최종 얼굴영역을 추출하는 방법으로서 외부조명에 강인하며 적응적인 에지추출이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 그러나 배경이 복잡하거나 배경에 얼굴 피부색과 유사한 물체가 존재하는 경우 병합할 때 얼굴영역에 잡음영역이 포함되는 단점을 가지고 있다.

따라서 본 논문에서는 YC_bC_r 칼라모델과 YIQ 칼라모델의 피부색상 정보를 포함하는 C_r 성분과 I(In-Phase)성분을 복합적으로 사용하여 얼굴검출 성능을 개선하고 눈 특징자의 기울기 각도를 보정함으로써 기울어진 얼굴의 인식 성능을 개선한 복합 칼라모델과 얼굴특징자를 이용한 얼굴검출 추적 및 얼굴기울기보정 시스템을 제안하였다.

2. 칼라모델 기반의 얼굴영역 검출

일반적으로 실시간으로 얼굴을 추적하고 최종적으로 얼굴인식을 원활히 완성하기 위해서는 무엇보다도 획득한 영상으로부터 정확한 얼굴검출 전처리 과정이 필수적이며 이를 위하여 인간의 얼굴피부색 정보를 이용한 칼라모델 기반의 얼굴검출 방법이 많이 적용되고 있다. 얼굴검출을 수행하기 위하여 획득된 영상에서 배경영역과 얼굴피부색을 가지는 영역으로 분리할 필요가 있고 이를 위해 본 논문에서는 칼라모델 기반으로 얼굴영역을 검출하는 방법을 사용하였다. 칼라모델 기반의 얼굴 영역 검출 방법에는 HSI, YC_bC_r , YIQ 칼라모델을 사용하는 방법들이 있다.

한편 먼셀 칼라모델의 표준 피부색에 대한 정의는 5.0YR 8/5로서 인간의 피부색상 정보가 적색과 황색의 중간값 정도로서 구성되어 있음을 알 수 있다[14]. HSI 칼라모델을 사용하여 얼굴피부색 정보를 검출하면 얼굴피부색 정보는 칼라색도도에서 인종별 얼굴에 관계없이 비슷하게 좁은 범위의 색도도 값을 가지고 있으며, 광원의 종류와 세기 등 외부조명환경이 변화할때 칼라 값의 변화보다는 명암도 값의 변화 폭이 상대적으로 커지는 특성이 있다[15]. 또한 YC_bC_r 칼라모델은 한 화소에서 청색정도와 적색 정도를 수치로 표현할 수 있으므로 C_r 성분의 분포를

분석함으로써 피부색 정보를 검출할 수 있고 YIQ 칼라모델의 I(In-Phase) 성분 역시 인간의 피부색 정보에 근접한 가장 가까운 색상성분을 포함하고 있다.

2.1 YCbCr 칼라모델 기반의 얼굴영역 검출

YCbCr 칼라모델은 광도(Y), 청색정도(Cb) 그리고 적색정도(Cr)를 나타내는 성분들로 구성되어 있으며 얼굴영역 검출을 위하여 RGB 칼라모델에서 YCbCr 칼라모델로 변환하여 얼굴피부색 성분이 포함된 Cr 성분을 추출한다. RGB 칼라모델에서 YCbCr 칼라모델로 변환하는 식을 식 (1)~식 (3)에 나타내었다.

$$Y = (0.299 \times R) + (0.587 \times G) + (0.144 \times B) \quad (1)$$

$$C_b = (-0.168 \times R) + (-0.331 \times G) + (0.5 \times B) \quad (2)$$

$$C_r = (0.5 \times R) + (-0.418 \times G) + (-0.081 \times B) \quad (3)$$

YCbCr 칼라모델 기반의 외부조명 변화에 따른 얼굴피부색 변화와 검출을 위하여 주간과 야간상태에서 형광등과 자연광을 이용하여 실험을 수행하였으며 그림 1에 얼굴피부색 정보를 추출한 결과를 나타내었다. 실험에서는 YCbCr 칼라모델로 변환하는 식 (1)~(3)중 식 (3)을 이용하여 얼굴피부색 성분을 포함하는 Cr 성분을 추출하여 이진화한 결과를 나타내었다.

그림 1과 같이 주간과 야간에 자연광과 형광등의 조명상태별로 YCbCr 칼라모델을 기반으로 얼굴피부색 성분 성분을 가지는 Cr 성분을 추출한 결과, 얼굴피부색 영역이 뚜렷하게 추출할 수 있었다. 그림 1(d)와 그림 1(e)와 같이 조명의 변화에 상대적으로 크게 영향을 받지 않음을 알 수 있고, 그림 1(f)와 같이 배경

잡음을 제거함으로써 얼굴과 목 영역까지 뚜렷하게 추출할 수 있다. 실험결과에서와 같이 다양한 조명상태에서 얼굴영역을 검출한 결과, YCbCr 칼라모델의 Cr 성분을 사용한 방법이 HSI 칼라모델의 H 성분을 사용한 결과보다 외부조명의 변화에 상대적으로 영향을 적게 받는 것을 알 수 있다.

2.2 YIQ 칼라모델 기반의 얼굴영역 검출

YIQ 칼라모델은 광도(Y, luminosity), 주황-청록 색상 정도(I, In-Phase) 그리고 녹-자홍색상 정도(Q, Quadrature) 성분으로 구성되어 있으며 RGB 칼라모델에서 YIQ 칼라모델로 변환하여 얼굴피부색을 성분을 포함하는 I 성분을 검출하여 사용한다. 다음 식 (4)~(6)는 RGB 칼라모델에서 YIQ 칼라모델로 변환하는 식을 나타낸다.

$$Y = (0.299 \times R) + (0.587 \times G) + (0.144 \times B) \quad (4)$$

$$I = (0.596 \times R) + (-0.275 \times G) + (-0.321 \times B) \quad (5)$$

$$Q = (0.212 \times R) + (-0.523 \times G) + (0.311 \times B) \quad (6)$$

YIQ 칼라모델 기반의 외부조명 변화에 따른 얼굴피부색 변화와 검출을 위하여 주간과 야간상태에서 형광등과 자연광을 이용하여 실험을 수행하였으며 그림 2에 얼굴피부색 정보를 추출한 결과를 나타내었다. 실험에서는 YIQ 칼라모델로 변환하는 식 (4)~(6)중 식 (5)를 이용하여 얼굴피부색 성분을 포함하는 I 성분을 추출하여 이진화한 결과를 나타내었다.

그림 2와 같이 YIQ 칼라모델 기반의 피부색영역 추출 결과 주간시간대의 형광등 조명상태 변화에 무관하게 배경잡음이 거의 없는 얼굴영역을 뚜렷하게 추출할 수 있었고, 야간시간대의 형광등 조명상태에

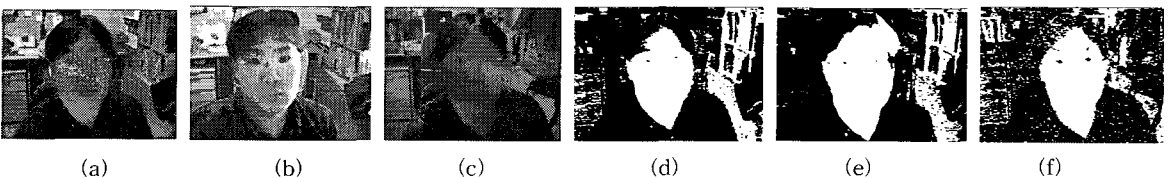


그림 1. 주간과 야간에 자연광과 형광등 조명상태에서 YCbCr 칼라모델 기반의 얼굴피부색 영역 추출: (a) 주간에 형광등 조명상태의 영상; (b) 주간에 자연광 조명상태의 영상; (c) 야간에 형광등 조명상태의 영상; (d) 주간에 형광등 조명상태의 얼굴피부색상(Cr) 성분 추출 결과; (e) 주간에 자연광 조명상태의 얼굴피부색상(Cr) 성분 추출 결과; (f) 야간에 형광등 조명상태의 얼굴피부색상 (Cr) 성분 추출 결과

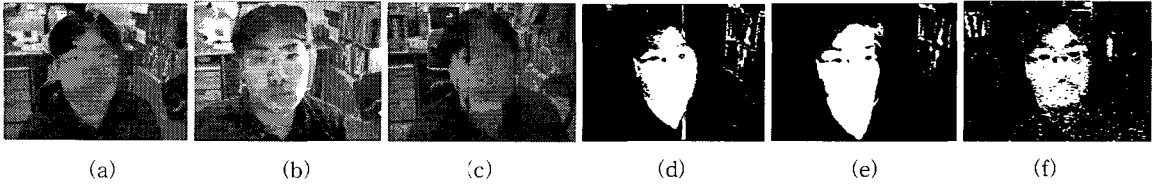


그림 2. 주간과 야간에 자연광과 형광등 조명상태에서 YIQ 칼라모델 기반의 얼굴피부색 영역 추출: (a) 주간에 형광등 조명상태의 영상; (b) 주간에 자연광 조명상태의 영상; (c) 야간에 형광등 조명상태의 영상; (d) 주간에 형광등 조명상태의 얼굴피부색상 I(In-Phase) 성분 추출 결과; (e) 주간에 자연광 조명상태의 얼굴피부색상 I(In-Phase) 성분 추출 결과; (f) 야간에 형광등 조명상태의 얼굴피부색상 I(In-Phase) 성분 추출 결과

서도 다른 칼라모델에 비해 상대적으로 배경잡음이 적게 추출되는 장점을 보였다. 실험결과 비교에서와 같이 HSI 칼라모델 기반의 H 성분으로 추출한 결과보다 YIQ 칼라모델 기반의 I 성분으로 얼굴영역을 추출한 것이 더욱 뚜렷하고 정확하게 추출할 수 있었다.

3. 복합 칼라모델과 수직수평 투영법 이용한 얼굴영역 검출과 추적

본 논문에서는 다양한 외부 조명상태에서 획득한 얼굴영상으로부터 얼굴영역 검출을 위하여 얼굴피부색 성분을 가장 많이 포함하는 $YCbCr$ 칼라모델의 Cr 성분과 YIQ 칼라모델의 I 성분을 논리곱 연산 처리를 통해 복합적으로 사용하여 외부조명의 영향을 상대적으로 적게 받으면서 얼굴영역 검출을 효과적으로 수행하는 방법을 사용하였다. 또한 검출된 얼굴 후보 영역으로부터 얼굴특징자 정보를 이용하여 얼굴 정보를 추적하고 얼굴영역의 눈 특징자 기울기 정보를 보정함으로써 기울어진 얼굴정보를 보정하는 알고리즘을 제안하였다. 제안한 얼굴검출 추적 및 기울기 보정 알고리즘의 구성도를 그림 3에 나타내었다.

그림 4에 주간에 자연광 조명상태에서 HSI 칼라모델, $YCbCr$ 그리고 YIQ 칼라모델을 사용하여 얼굴피부색 영역을 검출한 결과를 나타내었다. 그림 4(a)는 주간에 자연광 상태에서 획득된 영상이며 그림 4(b)는 주간에 HSI 칼라모델의 색상성분으로 얼굴영역을 추출한 결과영상으로서 얼굴영역 뿐만 아니라 배경도 많이 추출되며 얼굴영역이 조명에 따라 영향을 많이 받는 단점이 있음을 알 수 있다. 또한 그림 5에 야간에 형광등 조명상태에서 HSI 칼라모델, $YCbCr$ 그리고 YIQ 칼라모델을 사용하여 얼굴피부색 영역을 검출한 결과를 나타내었다.

그림 4(c)에서와 같이 주간에 $YCbCr$ 칼라모델의

Cr 성분을 사용하여 추출한 결과를 HSI 칼라모델의 H 성분을 사용하여 추출한 결과와 비교 하였을때 추출된 영상의 배경은 비슷하나 얼굴영역이 뚜렷하게 추출되는 점을 알 수 있고 그림 5(c)에서와 같이 야간에 Cr 성분을 사용하여 추출한 결과는 주간에 H 성분을 사용하여 추출한 결과영상과 비슷하게 외부조명의 영향을 받음을 알 수 있다. 또한 YIQ 칼라모델의 I 성분을 사용하여 추출한 결과는 그림 4(d)와 같이 주간에 자연광 조명상태에서는 뒷 배경이 추출되지 않고 얼굴영역만 뚜렷하게 추출됨을 알 수 있으나 얼굴추적을 위한 단계에서 움직임 정보가 없을때 효율이 떨어지는 단점이 있다.

본 논문에서는 얼굴피부색 검출을 위해 복합 칼라모델 정보를 사용하여 얼굴피부색 정보를 추출한 후 수평수직 투영기법을 적용하여 얼굴후보 영역을 추출하며 후보영역으로부터 각 성분값을 정규화한 후

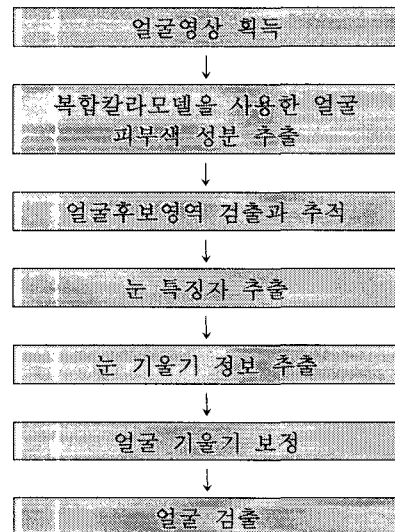


그림 3. 얼굴검출 추적과 기울기보정 구성도

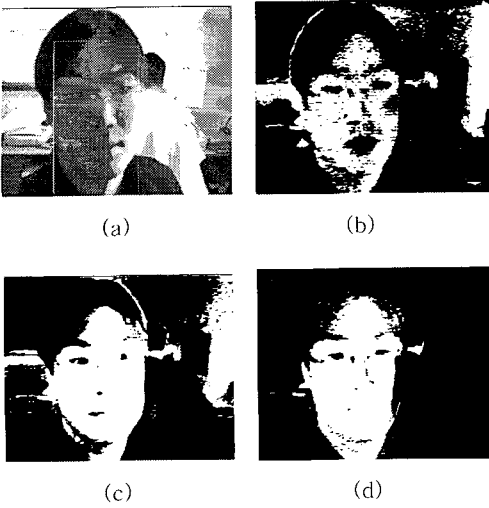


그림 4. 주간에 칼라모델 성분을 사용한 얼굴영역 검출: (a) 주간에 자연광 상태에서 획득한 영상, (b) HSI 칼라 모델의 Hue 성분을 사용한 검출 결과: (c) YCbCr 칼라모델의 Cr 성분을 사용한 검출 결과: (d) YIQ 칼라모델의 In-Phase 성분을 사용한 검출 결과

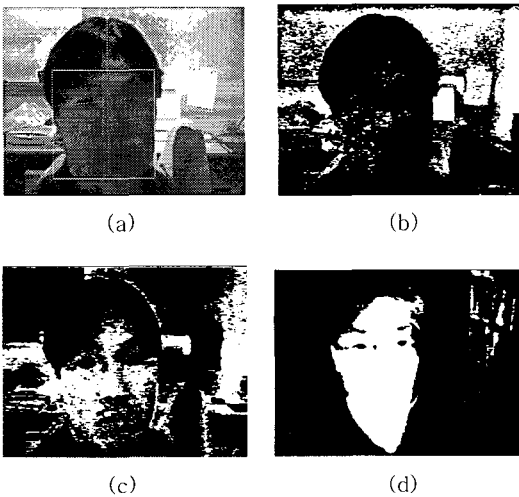


그림 5. 야간에 형광등 조명상태에서 칼라모델을 사용한 얼굴 영역 검출: (a) 야간에 형광등 조명상태에서 획득한 영상, (b) HSI 칼라모델의 Hue 성분을 사용한 검출 결과: (c) YCbCr 칼라모델의 Cr 성분을 사용한 검출 결과: (d) YIQ 칼라모델의 In-Phase 성분을 사용한 검출 결과

식 (7)와 식 (8)과 같이 평균값으로 이진화하여 얼굴 영역을 검출하도록 하였다.

$$I_{(Cr)} = \begin{cases} \text{if } (Cr) > \text{Average} & 255 \\ \text{Otherwise} & 0 \end{cases} \quad (7)$$

$$I_{(In-Phase)} = \begin{cases} \text{if } (In-Phase) > \text{Average} & 255 \\ \text{Otherwise} & 0 \end{cases} \quad (8)$$

여기서 $I_{(Cr)}$ 은 Cr 성분을 $I_{(In-Phase)}$ 는 I 성분을 이진화한 결과 값이며 식 (9)와 같이 추출된 Cr 성분과 I 성분의 논리곱 연산처리를 한 후 얼굴영역을 검출하였으며 추출 결과를 그림 6에 나타내었다.

$$I_{(Cr \text{ and } I)} = I_{(Cr)} \cdot I_{(In-Phase)} \quad (9)$$

그림 6(c)는 이진화된 Cr 영상과 I 영상을 논리 곱 연산한 결과이다. Cr 영상과 I 영상을 논리 곱 연산한 결과 뒷 배경의 잡음도 제거되면서 얼굴영역만 뚜렷하게 추출되는 결과를 얻을 수 있었다. 복합 칼라정보로 추출된 얼굴피부색 영역을 수직 투영기법을 적용하여 얼굴의 세로좌표(F_{Top} , F_{Bottom})를 찾은 후 그 영역 내에서 다시 수평 투영기법을 사용하여 얼굴의 가로좌표(F_{Left} , F_{Right})를 찾아 얼굴후보 영역의 좌표로 한다. 얼굴후보 영역의 폭(F_{Width})과 머리에서 목까지 포함되는 높이(F_{Height})의 비율(Ratio)이 일반적인 얼굴형태 비율인 1:(1.3~2)으로 검증하면서 얼굴영역(F_{Left} , F_{Right} , F_{Top} , F_{Bottom})좌표를 검출하여 최종 얼굴영역을 추출한다. 그림 7에 논리연산과 수평 수직 투영 처리 결과를 나타내었다.

한편 본 논문에서는 검출된 얼굴영역으로부터 얼굴을 계속 추적하기 위하여 검출된 얼굴영역의 중심좌표(C_c)와 이전에 검출된 얼굴 중심좌표(C_p)를 구

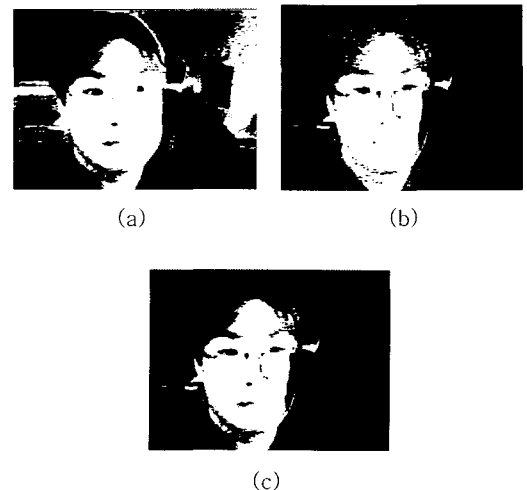


그림 6. Cr 영상과 I 영상의 논리곱 연산 결과: (a) Cr 영상: (b) I 영상: (c) 논리 곱 결과 영상

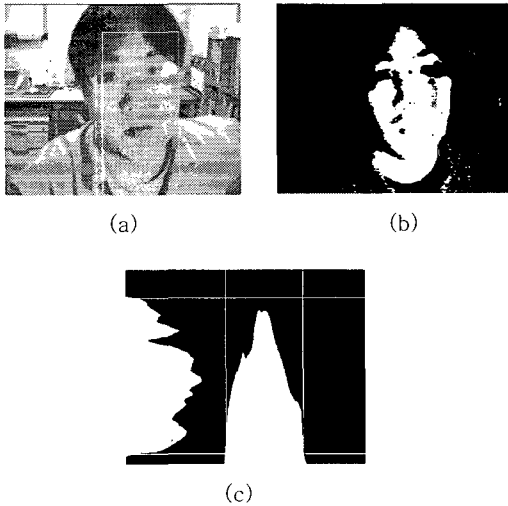


그림 7. 논리연산과 수평수직투영: (a) 얼굴영상; (b) Cr과 | 논리곱 결과; (c) 수평수직투영 결과

하여 유클리디언 거리가 최소가 되는 영역을 얼굴추적을 위한 중심영역으로 설정하였으며 이를 식 (10)에 나타내었다.

$$Face\ Tracking_{(C_p, C_c)} = \min | C_p - C_c | \quad (10)$$

중심영역 설정 후 검출된 얼굴영역을 실시간으로 추적하기 위하여 카메라로부터 획득한 영상에서 물체를 검출한 후 다음 프레임에서 탐색할 물체와의 하우스도르프 거리를 측정하여 이동물체를 추적하는 하우스도르프 정합(Hausdorff Matching)[6,7] 방법을 사용하였다. 검출된 얼굴 영상을 소벨과 세션화 전처리 과정을 수행한 후 추적대상 모델을 다음 프레임에서 검출된 얼굴과의 하우스도르프 거리를 측정하여 정합 임계값 이상이면 추적대상 물체로 설정하고 이동물체를 추적하게 된다. 그리고 임계값 이하이면 다음 프레임에서 검출된 얼굴영역을 추적 대상물체로 재설정하여 다시 하우스도르프 정합을 재 측정하여 추적과정을 반복한다. 그림 8에 검출된 얼굴영역에서 전처리 과정과 하우스도르프 정합법을 적용한 실시간 얼굴추적 알고리즘 구성도를 나타내었다.

본 논문의 윤곽선검출 알고리즘은 시간이 적게 소모되는 소벨 연산자를 이용하였으며, 소벨연산을 거친 다음 임계값을 적용하여 이진화를 수행하였다. 하우스도르프 정합 방법을 이용하여 이동물체를 추적하기 위해서는 얼굴의 윤곽선 정보를 추출하여야 하며 이때 소벨연산 처리된 두꺼운 에지를 하나의 선으

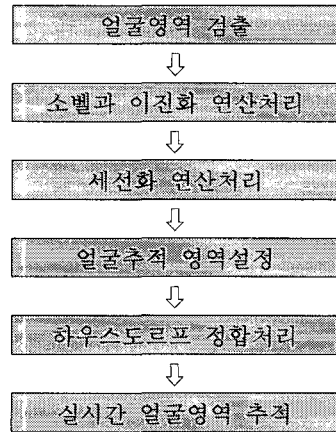


그림 8. 실시간 얼굴영역추적 알고리즘 구성도

로 추출하는 세션화 과정을 수행하도록 하였다. 또한 검출된 이동물체를 다음 프레임 영상에서 탐색하기 위해 추적 대상영역과 추적 탐색영역들 사이의 하우스도르프 거리를 측정하여 정합율이 높은 영역을 추적 대상이 되도록 하였다. 하우스도르프 거리는 두 개의 유한집합 내 점들의 유사정보를 비교하기 위한 최소-최대(Min-Max) 거리로서 형태정합(Shape Matching)에 많이 사용되어 왔다. 유한개의 점을 포함하는 두 개의 집합 M(검출된 얼굴 영상)과 I(다음 프레임 영상)의 하우스도르프 거리는 식 (11)과 같이 정의된다.

$$h(M, I) = \max_m \min_{i \in I} \| m - i \| \quad (11)$$

여기서 $\| m - i \|$ 는 추적 대상모델의 점 m과 추적 탐색영역의 점 i사이의 거리를 나타내기 위한 척도로서 일반적으로 유클리디언 거리(Euclidean Distance)를 사용한다. $h(M, I)$ 는 추적 대상모델의 M과 추적 탐색영역의 I와의 화소 간의 거리를 나타낸다.

$$h_k(M, I) = \min_{m \in M} \min_{i \in I} \| m - i \| \quad (12)$$

$$h_k(M, I) \leq \delta \quad (13)$$

여기서 $h_k(M, I)$ 는 추적 대상모델 M과 부분영상 I 사이의 정합정도를 나타내는 것이며 계산된 $h_k(M, I)$ 값이 식 (13)을 만족하면 화소단위의 위치변화를 허용할 수 있다. 여기서 이동물체의 형태변화의 허용정도를 정의하는 변수로써, $\delta = 0$ 인 경우는 형태의 변화를 허용하지 않으며 $\delta = n$ 인 경우는 n개 화소단위를 위치변화를 허용함을 의미한다. $K_\delta(M, I)$ 는 식

(13)이 성립되게 하는 K의 최대 값으로 정의하며 식 (14)와 같이 나타낼 수 있다. $K_\delta(A, B)$ 는 집합 M에서 식 (13)을 만족하는 점의 개수가 된다.

$$K_\delta(M, I) = \{m|h(m, I) < \delta, m \in M\} \quad (14)$$

식 (13)을 만족하지 않는 점의 개수를 $E_\delta(M, I)$ 로 하고, 모델 내의 전체 점의 개수를 |M|로 표시한다면, $E_\delta(M, I) = |M| - K_\delta(M, I)$ 가 된다. 여기서 추적대상 모델과 탐색대상 모델의 하우스도르프 정합율(HMR: Hausdorff Matching Ratio)은 다음 식 (15)와 같이 정의할 수 있다.

$$R_\delta = \frac{K_\delta(M, I)}{|M|} \quad (15)$$

R_δ 는 임계값을 δ 로 할 때, 모델과 영상의 HMR을 나타내며, R_δ 의 값이 1이면 임계값 δ 가 허용하는 오차범위 내에서 모델과 영상이 100% 일치함을 의미하는 것이다. 이를 이용하여 실시간 얼굴영역을 추적하도록 하였으며 그림 9에 하우스도르프 정합 알고리즘($\delta = 30$)을 사용하여 실시간으로 얼굴영역을 추적한 결과를 나타내었다.

4. 얼굴의 눈 특징자 검출과 기울기 보정

현재 많이 사용되고 있는 얼굴인식 방법으로는 주 성분 기반 방법, 얼굴특징자 기반 방법, 정합 방법 등이 있으며 입력영상으로는 대부분 정면 얼굴정보를 사용하는 알고리즘으로써, 기울어진 얼굴영상에 대해서는 인식율이 현저히 떨어지며 오인식되는 단

점이 있다. 그러나 인식율을 개선하고 실 환경에서 적용될 수 있는 얼굴인식시스템을 구현하기 위해서는 얼굴의 기울어짐에 관계없이 얼굴 기울기를 보정하여 얼굴을 인식하는 방법이 필요하다. 즉, 검출된 얼굴영역으로부터 얼굴인식을 용이하게 하기 위해서는 얼굴기울기 보정이 필요하며 이때 기울어진 얼굴을 보정할 특징영역을 설정하여야 한다. 본 논문에서는 얼굴기울기 보정을 위하여 검출된 얼굴영역 내에서 대칭을 이루고 있는 얼굴특징자를 추출하고 두 개의 특징자로 구성된 직선의 기울기를 구하여 회전 보정할 각도를 계산하도록 하였다.

얼굴특징자 중에서 대칭을 이루고 있는 특징자는 눈썹과 눈이 있으나 이 중에서 눈썹은 머리카락으로 가려져 있거나 안경착용에 의해 정확히 눈썹의 위치를 찾는데 애로 사항이 있다. 반면에 상대적으로 눈은 머리카락 또한 안경착용의 영향을 적게 받으면서 찾을 수 있기 때문에 기울기 보정을 위한 특징자로 사용하였다.

양 눈 특징자를 검출하기 위해서 레이블링 연산을 수행한 얼굴 객체들에 대해 수직 수평좌표를 이용하여 수평선 위에 y좌표 왼쪽에 존재하는 객체들 중에서 대칭되는 y좌표 내에 또 다른 객체가 존재하는지의 여부를 가려낸다. 또한 기울어진 눈을 추출하기 위해 왼쪽 눈 객체의 수평중심에서 $30^\circ \sim -30^\circ$ 범위 사이에 객체가 존재하는지의 여부도 조사한다. 검출된 객체에서 좌우로 대칭되는 객체가 두개 이상 존재하면 두 객체 중에 아래쪽에 위치하는 것이 눈 객체로 검출한다. 좌우 대칭인 두 객체 사이의 거리가 임계값 이하인 객체를 눈 영역으로 최종 결정하게 된다.

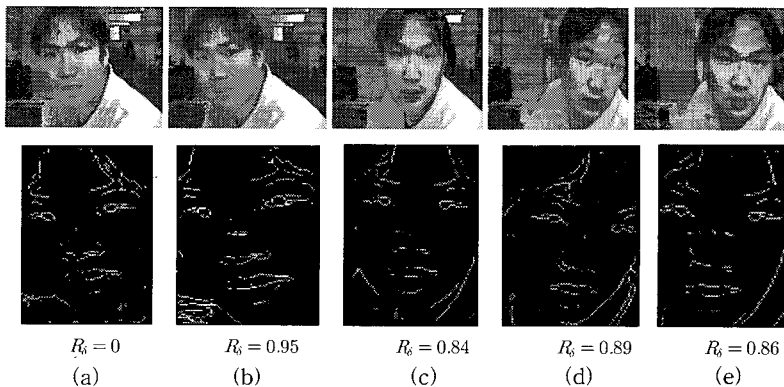


그림 9. 하우스도르프 정합 알고리즘을 사용한 얼굴영역 추적 결과: (a) $t=i$; (b) $t=i+1$; (c) $t=i+2$; (d) $t=i+3$; (e) $t=i+4$

눈 위치 탐색영역(S_{eye})은 그림 10과 같이 통계적인 얼굴특징자 정보를 기준으로 검출된 얼굴영역의 높이 H/2에서 3H/4 영역 안에 위치하고 있고 중심(W/2)으로부터 좌우대칭을 이루고 있다. 따라서 검출된 얼굴영역 내에서 수평 소벨연산으로 에지를 추출하고 식 (16)과 식 (18)을 이용하여 수평 및 수직으로 눈 영역의 에지를 누적시킨 후, 식 (17)과 식 (18)을 이용하여 눈 중심좌표를 찾는다. 각 눈의 위치를 찾은 좌표를 식 (20)을 사용하여 검증하여 눈 영역으로 추출하여 기울기보정 과정을 수행한다.

$$LE_Hori = \sum_{x=0}^{W/2} (I_{(x,y)}) \quad (16)$$

$$LEye.y = Max(LE_Hori) \quad (17)$$

$$LE_Vert = \sum_{y=LEye.y}^{H/2} (I_{(x,y)}) \quad (18)$$

$$LEye.x = Max(LE_Vert) \quad (19)$$

$$if \begin{cases} LEye.x < W/2, H/2 < LEye.y < 3H/4 \\ Otherwise \end{cases} \quad (20)$$

여기서 LEye.x는 왼쪽 눈의 가로좌표이고 LEye.y는 세로좌표이다. 그림 11은 정면 및 기울어진 얼굴영상에 대해 눈 특징자 검출영역 결과이다.

본 논문에서 사용한 눈 기울기 보정 방법은 언급한 바와 같이 검출된 얼굴영역에서 눈 영역을 검출하고 눈 특징자를 추출 후 눈 특징자의 기울기 각도를 구함으로써 기하학적 회전보정을 통해 얼굴 기울기 보정을 수행하였다. 눈 높이 차이값(HeightEye)과 눈 폭 차이값(WidthEye)을 이용하여 얼굴 회전각을 구하는 방법은 식 (21)에 나타내었고 눈 특징자 검출 범위와 기울기 정보를 그림 12에 나타내었으며 이를

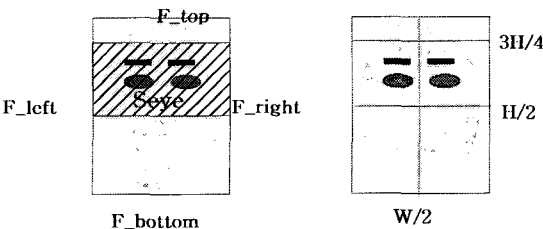


그림 10. 얼굴의 눈 특징자 탐색영역

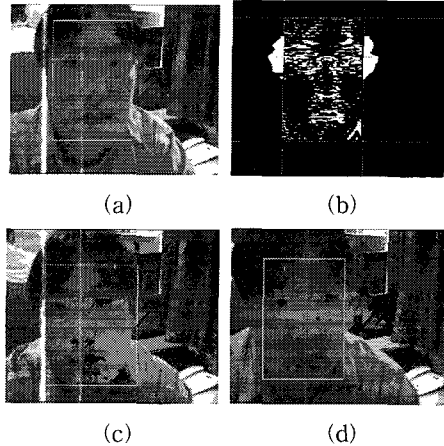


그림 11. 정면 및 기울어진 얼굴영상에 대한 눈 특징자 영역 검출: (a) 정면 영상에 대한 눈 특징자 영역 검출; (b) 눈 특징자 수평 누적히스토그램; (c) 기울어진 영상(+10°)에 대한 눈 특징자 영역 검출; (d) 기울어진 영상(+15°)에 대한 눈 특징자 영역 검출

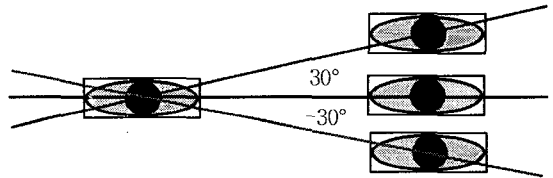


그림 12. 눈 검출영역과 기울기 정보

이용하여 얼굴기울기를 보정하는 회전보정식은 식 (22)와 같다.

$$Face\ Angle = \tan^{-1} \left(\frac{Height\ Eye}{Width\ Eye} \right) \quad (21)$$

$$\begin{pmatrix} x' \\ y' \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \end{pmatrix} \quad (22)$$

그림 13은 다양하게 기울어진 얼굴영상에 대한 얼굴기울기 보정 결과로써 상하로 기울어진 영상에서 복합 칼라정보로 얼굴영역을 검출한 후 얼굴의 눈 특징자를 검출하고 눈 특징자의 기울기 각도를 기하학적으로 보정함으로써 기울어진 얼굴을 보정한 결과 영상을 보여주고 있다.

5. 실험 결과

본 논문의 실험에서는 복합 칼라모델을 사용하여

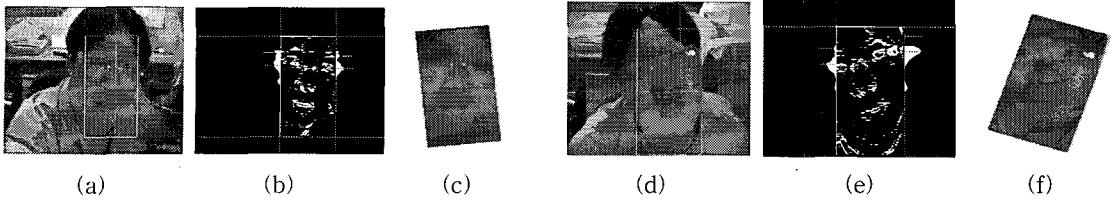


그림 13. 상하로 기울어진 얼굴영상에 대한 얼굴기울기 보정: (a) 위쪽으로 기울어진(-15°) 영상; (b) 눈 특징자 검출; (c) 기울기 보정 결과; (d) 오른쪽으로 기울어진(+30°) 영상; (e) 눈 특징자 검출; (f) 기울기 보정 결과

얼굴영역을 검출하고 외부 환경변화에 대한 얼굴검출과 기울어진 얼굴영상 보정에 대한 실험을 수행하였다. 실험환경으로는 CPU 처리속도가 2Ghz인 PC와 Visual C++, Progressive CCD 카메라와 Metro-II 영상획득보드를 사용하였다. 또한 조명변화와 기울어진 영상에 대한 결과 분석을 위하여 주간 야간상태에 자연광과 형광등 조명 그리고 정면 얼굴영상과 ±30° 범위내에서 상하 기울어진 얼굴영상을 가지고 실험을 수행하였다.

실험결과 기존의 얼굴인식 알고리즘은 얼굴을 정확하게 검출하기 위해 사용자 스스로가 얼굴인식 시스템의 표준방향에 교정하면서 영상을 입력하는 단

점이 있었으나 본 논문에서는 기울기를 실시간으로 보정하여 인식이 가능하였다. 또한 하우스도르프 정합 기법을 이용하여 얼굴을 추적처리한 결과 평균 약 0.8초 정도 처리 속도를 나타내었다.

그림 14는 주위환경 변화에 복합칼라모델 성분을 사용하여 얼굴영역을 추출한 결과로써 일반 조명에서는 얼굴 피부색상을 가지는 Hue 성분이 추출되지 않고 복합칼라정보 성분에서 얼굴피부색이 가지는 영역만 추출되었으며 안경을 착용한 얼굴에서도 눈의 위치를 일부 찾을 수 있었다. 표 1에 복합 칼라모델을 이용하여 얼굴검출, 기울기보정 및 인식 결과를 나타내었으며 기존의 알고리즘[1]은 기울어진 얼굴

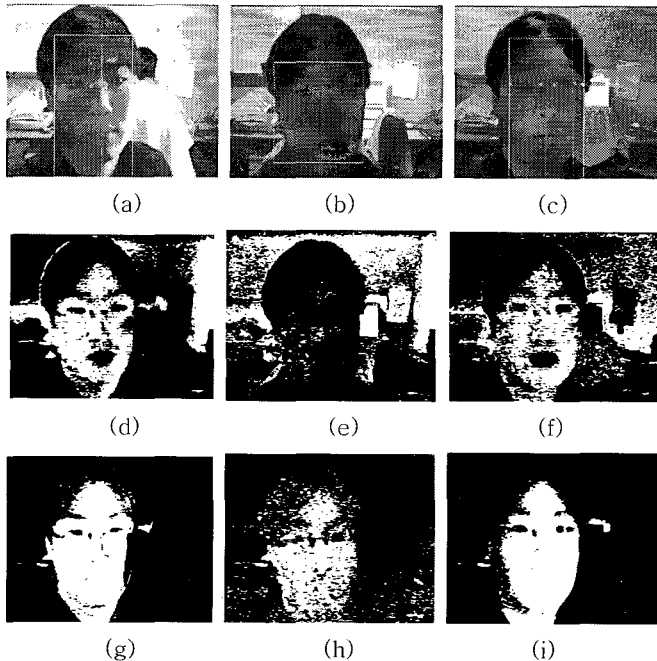


그림 14. 다양한 외부조명 상태에서 기존 방법과 복합 칼라모델을 사용한 얼굴영역 추출: (a) 주간 자연광 직접입력 상태에서 얼굴 영상, (b) 주간 자연광 간접입력 상태에서 얼굴 영상, (c) 야간 형광등 조명상태에서 얼굴 영상, (d)(e)(f) 각 조명상태에서 Hue 성분을 사용한 얼굴검출 결과, (g)(h)(i) 각 조명상태에서 복합 칼라모델 성분을 사용한 얼굴검출 결과

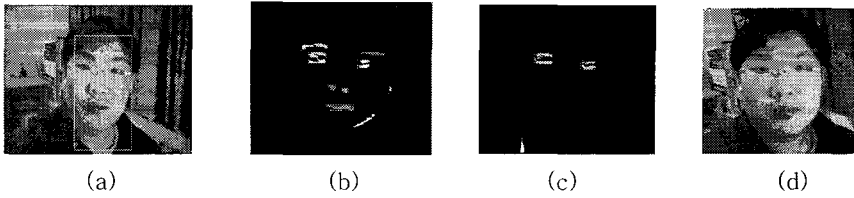


그림 15. 기울어진 얼굴영상에 대한 얼굴기울기 보정: (a) 얼굴영역 검출; (b) 얼굴특징자 검출; (c) 눈 특징자 검출과 기울기 검출; (d) 얼굴기울기 보정 결과

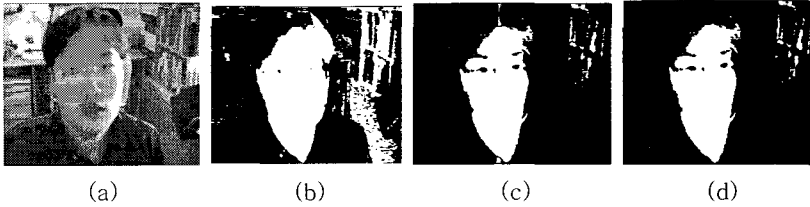


그림 16. 복합 칼라모델을 사용한 얼굴영역 검출: (a) 원 영상; (b) Cr 성분 영상; (c) I(In-Phase) 성분 영상; (d) 복합 칼라정보 결과 영상.

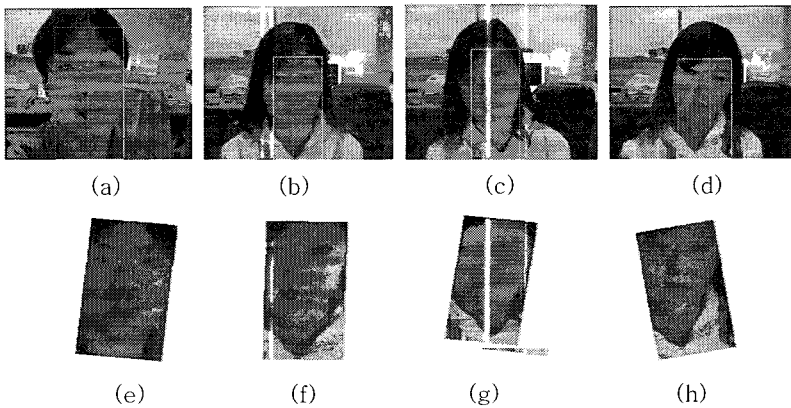


그림 17. 다양한 얼굴기울기 보정 결과: (a)기울어진 영상(+10); (b) 정면 얼굴영상; (c) 기울어진 얼굴영상(+15); (d) 기울어진 얼굴영상(-20); (e)(f) (g)(h); 각 경우에 대한 기울기보정 결과

영상을 사용하였을 경우 얼굴검출과 인식시에 인식 오류가 발생하였으나 제안한 알고리즘은 얼굴기울기 보정 후 인식하므로 인식성능이 향상되었음을 알 수 있다.

그림 15에 기울어진 얼굴영상에 대해 제안한 알고리즘을 적용한 얼굴영역검출, 얼굴특징자 검출, 눈 특징자 검출과 기울기 정보추출 및 기울기 보정 결과를 나타내었다.

또한 그림 16에 획득된 영상에서 복합 칼라모델 성분별로 얼굴검출을 수행한 결과를 나타내었고 그림 17에 눈 기울기 각도에 따라 얼굴기울기 정보를 보정된 결과를 보여주고 있다. 제안한 얼굴 검출, 특

징자 추출 및 얼굴기울기 보정 알고리즘을 실험한 결과 초당 0.8 frame/sec을 처리 속도를 나타내었다.

표 1. 얼굴검출, 기울기 보정 및 인식율 비교

	기존 알고리즘[1] 영상개수(110)/ 인식율(%)	제안한 알고리즘 영상개수(110)/ 인식율(%)
정면 얼굴검출	103/93.64	107/97.27
기울어진 얼굴검출과 기울기보정	미 인식	102/92.70
얼굴 인식	96/87.23	99/90.00

6. 결 론

본 논문에서는 얼굴인식의 성능 개선을 위하여 복합 칼라모델을 사용하여 실시간으로 얼굴영역을 검출하고 하우스도르프 정합 방법을 사용하여 얼굴영역을 추적하며 검출된 얼굴의 눈 특징자 정보로부터 얼굴기울기정보를 추출하여 기하학적으로 얼굴 기울기를 보정하는 방법을 제안하였다. 제안한 방법은 기존의 알고리즘[1]에서 주로 사용하는 정면 얼굴영상인식과 인식시스템의 얼굴입력 표준에 맞추는 번거러움을 제거하였다. 제안한 얼굴검출추적 인식 시스템은 YCbCr 칼라모델의 Cr 성분과 YIQ 칼라모델의 I 성분을 복합적으로 사용하여 얼굴영역을 검출함으로써 배경과 같은 잡음을 제거하면서 얼굴영역 검출 성능을 개선하였고 주간과 야간에 자연광과 형광등과 같은 외부 조명상태 변화에서도 강인한 검출 결과를 나타내었다. 또한 실제 시스템 적용을 위하여 하우스도르프 정합방법을 적용하여 실시간 얼굴추적이 가능하여 사용자가 인식시스템의 영상입력 규격에 맞추는 번거러움을 개선하였다. 또한 기존의 얼굴인식시스템의 일반적 단점인 기울어진 얼굴영상 인식을 위하여 검출된 얼굴특징자 정보로부터 눈 특징자를 추출하여 얼굴기울기를 보정함으로써 기울어진 얼굴의 보정과 인식이 가능하였다. 기존의 얼굴인식 방법에서는 향후 계획으로는 머리카락 등과 같은 복잡한 얼굴배경 영상, 다양한 형태의 안경착용 영상 등에 강인한 얼굴인식 연구를 수행할 것이다.

참 고 문 헌

[1] Jung-Hoon Kim, Kyeong-Hoon Do, and Eung-Joo Lee, "Automatic Face Identification System Using Adaptive Face Region Detection and Facial Feature Vector Classification," *ITC-CSCC 2002*, Vol. 1, pp. 1252-1255, 2002.

[2] 박형철, 전병환, "동영상에서 최적의 얼굴색 정보와 움직임 정보에 기반한 얼굴 영역 추출," *한국정보과학회논문지*, Vol. 27, No. 2, pp. 193~200, 2000.

[3] 지은미, 윤호섭, 이상호, "컬러와 에지정보를 결합한 조명변화에 강인한 얼굴영역 검출 방법,"

한국정보과학회논문지, Vol. 29, No. 11, pp. 809~817, 2002.

[4] 강영미, 정성환, "신경회로망을 이용한 내용기반 얼굴 검색 시스템," *한국통신학회 하계종합 학술발표회 논문집*, 제16권, 제1호, pp. 573~576, 1997.

[5] 박상용, 이창우, 이연철, 김항준, "주성분분석을 통한 실시간 얼굴검출 및 추적," *한국정보처리학회 춘계학술발표논문집*, Vol. 9, No. 1, pp. 717~720, 2002.

[6] T. Meier, K. N. Ngan, "Video Object Plane Segmentation Using a Morphological Motion Filter and Hausdorff Object Tracking," *IEEE ICIP'98, Paper TP 5.05*, Oct., 1998.

[7] D. Huttenlocher, D. Klanderman, A Rucklidge, "Comparing Image Using The Hausdorff Distance," *IEEE Transcation on PAMI*, Vol. 15, No. 9, pp. 850~863, 1993.

[8] Chang-Hoon Hyun, "Real-time Face Detection and Tracking Method for Web camera," *제14회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵발표논문집*, Vol. 14 No. 1, pp. 147~150, 2002.

[9] C. L. Huang, C. W. Chen, "Human facial Feature Detection For Face Interpretation and Recognition," *Pattern Recognition*, Vol. 25, No. 12, 1992.

[10] R. Brunelli and T. Poggio, "Face Recognition: Feature versus Templates," *IEEE Traction on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.15, No.10, pp.1042~1052, 1993.

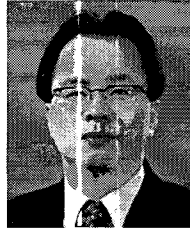
[11] A. S. Geroghiades, P. N. Belhumeur and D. J. Kriegman, "From Few to Many: Illumination Cone Models for Face Recognition Under Variable Lighting and Pose." *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.23, No.6, pp.643~660, 2001.

[12] Robert Brunelli and Tomaso Poggio, "Face recognition: Feature Versus Templates," *PAMI*, Vol. 15, No. 10, pp. 1042~1052, 1993.

[13] A. Pentland, B. Moghaddam, T. Starner, and M. Turk, "View-Based and Modular Eigenfaces for face Recognition," *Proc. IEEE Conf. Com-*

puter Vision and Pattern Recognition, pp. 84~91, 1994.

- [14] Eung-Joo Lee, "Favorite Color Correction for Reference Color," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 44, No. 2, pp. 10~15, 1998.
- [15] Eung-Joo Lee, "Automatic Flesh Tone Reappearance for Color Enhancement in TV," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, Vol. 44, No. 2, pp. 1153~1159, 1997.



이 응 주

1992년 2월 경북대학교 대학원
전자공학과 공학석사

1996년 8월 경북대학교 대학원
전자공학과 공학박사

1992년 3월 국방과학연구소 부
설 품관소 연구원

2000년 7월~2002년 2월 (주)디
지털넷뱅크 대표이사

2005년 7월~2006년7월 중국 대련경공업대학교 초빙 연
구교수

2005년 1월~현재 한국멀티미디어학회 국제이사

1997년 3월~현재 동명대학교 정보통신대학 정보통신공
학과 교수

관심 분야: 영상처리, 컴퓨터비전, 생체인식