

# 얼굴 요소의 영역 추출 및 Snakes를 이용한 윤곽선 추출

(Facial Feature Detection and Facial Contour Extraction  
using Snakes)

이 경 희 <sup>†</sup> 변 혜 란 <sup>\*\*</sup>

(Kyunghee Lee) (Hyeran Byun)

**요 약** 본 논문은 얼굴 인식 또는 표정 인식 분야에 있어서 중요한 특징인 얼굴과 얼굴의 주요소인 눈과 입, 눈썹의 영역 추출 및 그의 윤곽선 추출에 관한 방법을 제시한다. 얼굴요소의 영역 추출은 엣지 정보와 이진화 영상을 병합하여 이용한 프로젝트션 분석을 통하여, 얼굴 및 각 얼굴요소를 포함하는 최소포함사각형(MER: Minimum Enclosing Rectangle)을 추출한다. 윤곽선 추출은 얼굴요소 모양의 개인차가 반영되고 빠른 수렴을 할 수 있는 스네이크 모델을 정의하여 수행한다. 스네이크는 초기 윤곽선의 설정이 윤곽선 추출 결과에 큰 영향을 미치므로, 초기 윤곽선의 설정 과정이 매우 중요하다. 본 논문에서는 얼굴 및 각 얼굴요소를 포함하는 각각의 최소포함사각형(MER)을 추출하고, 추출된 MER 내에서 얼굴 및 각 얼굴요소의 일반적인 모양을 초기 윤곽선으로 설정하는 방법을 사용한다. 실험결과 눈, 입, 얼굴의 MER 추출은 성능이 모두 우수하고, 눈썹이 흐린 사람들의 경우에만 눈썹의 MER 추출 결과가 좋지 않았다. 추출된 MER을 기반으로 하여 스네이크 모델을 적용한 결과, 눈, 입, 눈썹, 얼굴의 다양한 모양을 반영한 윤곽선 추출 결과를 보였다. 특히 눈의 경우는 1차 유도 엣지 연산자에 의한 엣지와 2차 유도 연산자를 이용한 영점 교차점(Zero Crossing)과 병합한 에너지 함수를 설정하여 보다 더 나은 윤곽선 추출 결과를 얻었다. 얼굴의 윤곽선의 경우도 엣지값과 밝기값을 병합한 에너지 함수에 의해 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있었다.

**Abstract** This paper proposes a method to detect a facial region and extract facial features which is crucial for visual recognition of human faces. In this paper, we extract the MER(Minimum Enclosing Rectangle) of a face and facial components using projection analysis on both edge image and binary image. We use an active contour model(snakes) for extraction of the contours of eye, mouth, eyebrow, and face in order to reflect the individual differences of facial shapes and converge quickly. The determination of initial contour is very important for the performance of snakes. Particularly, we detect Minimum Enclosing Rectangle(MER) of facial components and then determine initial contours using general shape of facial components within the boundary of the obtained MER. We obtained experimental results to show that MER extraction of the eye, mouth, and face was performed successfully. But in the case of images with bright eyebrow, MER extraction of eyebrow was performed poorly. We obtained good contour extraction with the individual differences of facial shapes. Particularly, in the eye contour extraction, we combined edges by first order derivative operator and zero crossings by second order derivative operator in designing energy function of snakes, and we achieved good eye contours. For the face contour extraction, we used both edges and grey level intensity of pixels in designing of energy function. Good face contours were extracted as well.

## 1. 서 론

인간은 일생을 통해 대략 수백 명 혹은 심지어는 수 천 명 정도의 얼굴을 인식할 수 있으며, 별 어려움 없이 두 사람의 얼굴을 구별할 수 있다. 이러한 인간의 얼굴 인식 능력은 거리, 조명, 대상얼굴의 나이에 관계없이

<sup>†</sup> 비 회 원 : 연세대학교 컴퓨터과학과  
unicorn@csai.yonsei.ac.kr

<sup>\*\*</sup> 종신회원 : 연세대학교 컴퓨터과학과 교수  
hrbyun@csai.yonsei.ac.kr

논문접수 : 1999년 7월 28일

심사완료 : 2000년 4월 14일

구별할 수 있으며, 좋지 않은 조명하에서도 얼굴의 특징 점들의 위치와 얼굴의 윤곽선을 인지하여 얼굴을 인식할 수 있다. 컴퓨터에 의한 얼굴 인식에 대한 연구는 약 20년 전부터 시작되었다. 얼굴 인식의 응용분야는 매우 다양한데, 개인 식별을 위한 신분 증명 시스템, 범죄자 검색 시스템, 보안 시스템 등이 이에 해당된다.

또한 최근 하드웨어의 발달로 컴퓨터 기술이 보편화 되고 컴퓨터 그래픽스 등의 기술이 발달하게 되면서, 보다 친숙하고 현실감 있는 사용자 인터페이스에 관한 연구가 증대되고 있다. 따라서 기존의 사람과 컴퓨터간의 인터페이스가 특정 입력력 장치에 의존하는데 비해 최근에는 보다 자연스럽게 지능적인 인터페이스인 음성 인식, 문자 인식, 얼굴 인식 등의 방법을 이용한 인터페이스를 구현하고자 하는 연구들이 활발히 진행되고 있다. 예를 들어 비행 모의 실험에서 조종사의 눈동자의 위치를 알아내어 조종사가 응시하는 부분을 보다 고해상도로 디스플레이하여 조종사의 판단을 도울 수도 있고, 컴퓨터 작업시 마우스를 사용하지 않고 모니터 앞의 사용자의 눈동자의 방향에 따라 커서를 제어할 수도 있다. 또한 운전자 졸음 방지 시스템, 장애자용 컴퓨터 단말기 기능 등에도 이용될 수 있다.

얼굴 정보에 관련한 연구는 크게 3가지 분야로 분류할 수 있다. 입력된 영상으로부터 얼굴에 관한 특징 추출에 관한 연구[1-13], 얼굴 영상을 해석하여 영상 속의 사람을 식별하는 연구[14,15], 얼굴의 특정 부분들을 분석하여 그 사람의 표정을 알아내는 연구[16]로 나누어 볼 수 있다. 얼굴의 특징 추출에 관한 연구는 얼굴 전체의 영역 추출[1,2,12,13] 및 윤곽선 추출에 관한 연구[3,4]와, 눈, 입 등의 얼굴 주요소의 영역 추출[5,6,11] 및 특징점 또는 윤곽선 추출에 관한 연구[7-10]로 다시 나누어 생각할 수 있다.

얼굴 및 얼굴요소의 특징점 및 윤곽선 추출 시스템은 표정인식, 얼굴인식의 필수적인 기본 단계로 사용될 수 있다. 즉 추출된 각 얼굴요소의 특징을 분석하여, 해당 얼굴 영상의 사람이 누구인지 인식할 수 있고, 또 얼굴 영상 속의 사람의 내적상태를 추정할 수 있는 표정 인식 분야에도 적용할 수 있다. 또한 얼굴 및 얼굴요소의 윤곽선 추출 시스템은 2차원 얼굴 영상에서 3차원 얼굴 형상 모델로의 정합과정에서 사람이 손으로 일일이 특징점을 지정해 주던 것을 자동으로 정합할 수 있도록 하는데 이용될 수 있으므로, 2차원 얼굴 영상에서 3차원 얼굴 모델로의 합성을 필요로 하는 많은 응용 분야에도 이용될 수 있다. 차세대 영상 압축 전송시에 동영상에서 변화가 없는 배경으로부터 얼굴 및 얼굴 요소의 자동

추출에 의하여 필요한 정보만 전송하는 데에도 사용할 수 있다. 이 때 얼굴 영상을 나타낼 수 있는 모델인 FDP(Face Description Parameter)의 특징점을 자동으로 추출할 수 있다면 얼굴 영상의 압축 성능에 효과적인 영향을 미치리라 기대된다.

본 논문에서는 이러한 연구들에서 중요한 특징인 얼굴 및 얼굴의 주요소인 눈, 입, 눈썹의 영역 추출과 그의 윤곽선 추출에 관한 방법을 중점적으로 기술한다. 얼굴요소의 영역 추출에는 주로 프로젝션 분석(Projection Analysis)[14]과 색상 정보를 이용한 연구[12,13]들이 있다. 각 요소의 특성에 기반한 추출[11], 유전자 알고리즘과 결정트리를 병합하여 이용한 눈의 추출 연구[5]도 이루어지고 있다. 얼굴 영상에 관련된 윤곽선 연구에는 주로 가변 템플릿(Deformable Template)방법[7-10]과 스네이크(Snakes:Active Contour Model)를 이용한 연구[4,7]가 있다. 기존의 윤곽선 추출 연구에서는 기하학적인 모양을 갖는 눈과 입의 경우에는 주로 가변 템플릿 방법을 사용하여 특징을 추출하고[7-10], 비교적 다양한 모양을 갖는 눈썹, 얼굴의 윤곽선 추출에는 스네이크를 이용하였다[4,7]. 본 논문에서는 이러한 기존의 연구와는 달리 눈, 입, 눈썹, 얼굴의 윤곽선 추출에 모두 스네이크를 사용하여 사람마다 눈, 입, 눈썹, 얼굴의 모양이 조금씩 다른 개인차를 반영하고, 빠른 수렴을 할 수 있는 윤곽선 추출에 관한 연구를 수행한다. 또한 윤곽선 추출을 위한 전단계로서 얼굴 및 각 얼굴요소의 최소 포함 사각형(MER: Minimum Enclosing Rectangle) 추출에 관한 연구를 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 본 논문이 제안하는 시스템의 전체 구성을 살펴보고, 3장과 4장에서는 얼굴 및 얼굴요소 각각에 대하여 MER 추출 과정과 윤곽선 추출 과정에 대하여 사용된 기법을 중심으로 살펴보고, 5장에서는 실험결과를, 6장에서는 결론을 기술한다.

## 2. 시스템 구조

시스템의 전체적인 구조는 [그림1]과 같이 영역 추출 시스템과 윤곽선 추출 시스템으로 구성된다. 첫번째 단계로서 얼굴 요소의 영역 추출 시스템은 윤곽선 추출을 위한 필수 단계로서 먼저 현저한 특징이 있는 눈의 영역을 먼저 추출하고, 이 추출된 눈의 영역을 기준으로 하여 입, 눈썹의 영역을 추출한다. 얼굴의 영역 추출은 눈과 입의 영역 추출의 결과를 참조하여 수행한다. 각 얼굴요소의 영역 추출 과정은 각각 후보영역의 설정과, 이 후보영역 내에서 해당 얼굴요소를 포함하는 MER

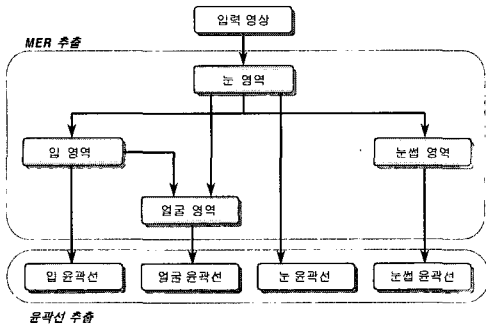


그림 1 전체 시스템 구조

(Minimum Enclosing Rectangle)을 추출하는 부분으로 구성되어 있다. 이 단계의 결과를 기준으로 하여 윤곽선 추출 시스템을 수행하므로 전체 시스템의 성능에 영향을 주는 중요한 단계이다. 다음으로 윤곽선 추출 시스템은 눈, 입, 눈썹, 얼굴 모두 각각 독립적으로 수행된다. 이 과정들 모두는 이전 단계의 영역 추출 시스템의 결과인 MER을 기준으로 하여 스네이크를 사용한다.

### 3. 얼굴요소의 최소 포함 사각형(MER) 추출

얼굴요소의 영역 추출에는 얼굴요소별로 구분할 수 있는 많은 정보를 가지고 있는 엣지 정보와 이진화 이미지를 같이 병합하여 이용한다. 엣지를 추출하는 방법으로는 비교적 성능이 좋은 소벨(Sobel)연산자를 사용하는데, 각 얼굴요소별 특성을 잘 반영할 수 있는 방법을 모색한 결과 수직, 수평으로 분리된 연산자를 적용하면 좋은 결과를 낼 수 있음을 실험으로 알아내었다. 즉 눈의 경우에는 눈동자에 의한 수직 성분의 강한 엣지가 검출되고, 입은 수평 성분의 엣지가 강하게 검출됨을 이용하여 각 요소별로 분리된 연산자로 엣지를 추출한다. 이러한 엣지의 프로젝션 히스토그램을 얼굴의 지형적 특징을 고려하면서 분석하여 눈, 입이 존재할 대략적인 후보 영역을 찾는다. 이렇게 찾아진 후보 영역에 엣지 영상과 이진화 영상의 프로젝션 히스토그램을 병합하여 이용하면서, 각 얼굴요소의 부분 특징을 이용한 분석 방법을 사용하여 눈, 입, 눈썹을 둘러싸고 있는 최소 사각형으로 이루어진 경계영역을 찾아낸다.

#### 3.1 눈의 MER(Minimum Enclosing Rectangle) 추출

얼굴 영상에서 눈의 후보 영역을 결정하기 위하여 다른 요소와 구별될 수 있는 가장 현저한 눈의 특성을 모색하여, [그림3]의 (b)와 같이 검은 눈동자의 경계선에 의한 강한 수직 성분의 엣지를 이용한다. 따라서 먼저

수직 성분의 엣지 영상을 얻고, 이 엣지 영상에 대하여 수평 프로젝션(Horizontal Integral Projection)(식1)을 하면 [그림3]의 (b)에서와 같이 눈 부분에서 봉우리(Peak)가 나타나는데, 이를 눈의 대략적인 Y좌표로 이용한다. 이 Y좌표를 이용하여 얼굴의 대칭성을 고려하여 영상의 가운데에서부터 [그림2]와 같은 마스크를 적용하여 식(3)과 같은 비유사도(dissimilarity) 계산으로 밝기값의 변화가 임계치보다 큰 두 점을 찾고, 그의 중심을 대략적인 눈동자 중심의 X좌표로 한다. 이 눈동자 중심은 영상의 눈의 중심에 항상 정확하게 일치되는 것이 아니라, 최소 포함 사각형(Minimum Enclosing Rectangle)을 찾기 위한 후보영역의 설정에 필요한 대략적인 위치이다. 이렇게 해서 찾아진 눈의 후보 영역은 [그림4]와 같다.

$$H(y) = \sum_{x=x_1}^{x_2} I(x, y) \tag{1}$$

$$V(x) = \sum_{y=y_1}^{y_2} I(x, y) \tag{2}$$

$(x, y-1)$	$(x+1, y-1)$	$(x+2, y-1)$	$(x+3, y-1)$
$(x, y)$	$(x+1, y)$	$(x+2, y)$	$(x+3, y)$
$(x, y+1)$	$(x+1, y+1)$	$(x+2, y+1)$	$(x+3, y+1)$

그림 2 눈동자의 중심을 추출하기 위한 마스크

$$Dissim = \frac{\sum_{k=x_1}^{x_2} \sum_{l=y_1}^{y_2} I(k, l)}{6} - \frac{\sum_{k=x_1+2}^{x_2} \sum_{l=y_1}^{y_2} I(k, l)}{6} \tag{3}$$

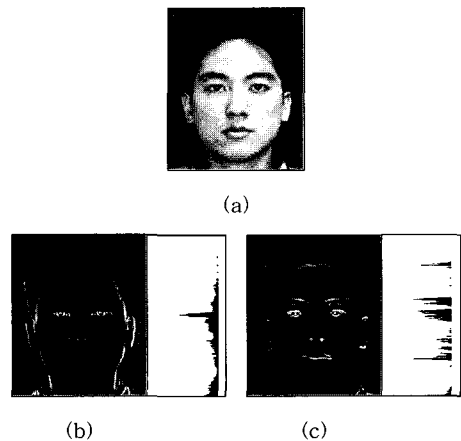


그림 3 엣지 영상과 프로젝션 히스토그램 (a)원영상 (b) 수직성분의 엣지영상 (c)수평성분의 엣지영상

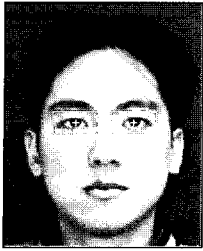


그림 4 추출된 눈의 중심 및 후보영역

추출된 눈의 후보영역에 대하여 최소 포함 사각형(MER)을 추출하기 위하여 이진화된 영상과 수평 성분의 엣지 영상을 이용한다. 먼저 MER의 위, 아래를 구하는 과정은, 눈동자의 밝기값(Intensity)이 작다는 것을 이용하기 위하여 [그림5](a)와 같은 이진화 영상을 만든다. 이렇게 얻어진 이진화 영상에서 눈의 후보영역의 높이 내에서 눈의 중심부터 위, 아래방향으로 각각 수평 프로젝션을 이용하여 눈동자의 위끝과 아래끝을 찾는다. 다음으로 눈의 MER의 왼쪽과 오른쪽을 구하는 과정은, 수평성분의 엣지 검출 연산자에 따른 수평성분의 엣지 영상을 이용한다. 이 수평성분의 엣지 영상에 대하여 수직 프로젝션(Vertical Integral Projection)을 하여 양눈에 대하여 각각 얼굴의 가운데 축에서부터 시작하여 왼쪽 눈의 오른쪽, 오른쪽 눈의 왼쪽 끝을 먼저 찾은 후 다시 왼쪽 눈의 왼쪽 끝, 오른쪽 눈의 오른쪽 끝을 찾는다.

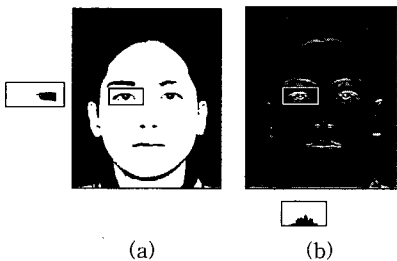


그림 5 눈의 MER 추출 과정

**3.2 입의 MER 추출**

입의 후보 영역은 앞 절에서 구한 눈의 MER을 참고로 하여 설정한다. 먼저 코와 입이 존재할 후보영역은 양눈의 MER의 중심 아래에서, 양눈의 MER간의 거리를 너비로 하고, 높이는 너비의 1.1배로 한다. 코, 입의 후보 영역에서 입의 위치를 구하기 위해서는 입은 수평 성분의 엣지가 강하게 검출됨을 이용한다. 추출된 수평

성분의 엣지 영상에 대하여 코와 입의 후보영역 내에서 수평 프로젝션을 수행하면, 입의 중심 근처에서 [그림6](a)에서 보듯이 봉우리가 나타나는데, 그 점을 입이 존재하는 대략적인 Y좌표로 한다.

다음으로 [그림6]의 (b)와 같은 이진화된 영상에 대하여 수평 프로젝션을 수행하여 위에서 얻은 Y좌표를 중심으로 하여 뒷방향, 아래방향으로 찾아가면서 입의 MER의 위와 아래를 구한다. 이렇게 구하면 [그림6]의 (c)에서 보듯이 입의 후보 영역이 추출되는데, 다시 이진화 영상에 대한 수직 프로젝션을 수행하여, 입 후보영역 내에서 왼쪽에서 오른쪽으로 찾고, 오른쪽에서 왼쪽으로 찾아가면서 입의 MER의 왼쪽과 오른쪽을 구한다.

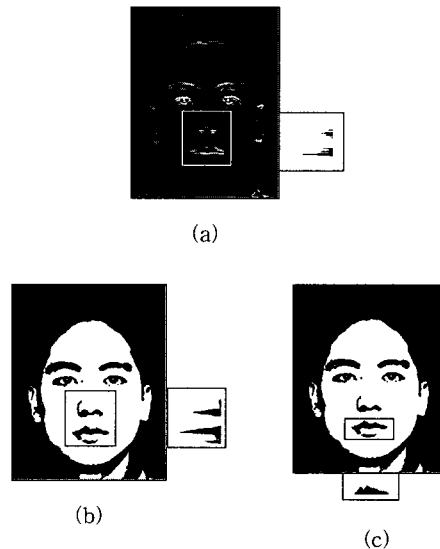


그림 6 입의 MER 추출과정

**3.3 눈썹의 MER 추출**

눈썹의 후보 영역도 앞 절에서 구한 눈의 MER을 참고로 하여 정한다. 먼저 눈썹이 존재할 후보 영역의 너비는 양눈의 MER의 위에서부터 각 눈의 MER의 너비의 1.6배로 하고, 높이는 눈의 MER의 높이의 2.0배로 한다. 눈썹의 후보 영역에서 정확한 눈썹의 위치를 구하기 위해서 눈썹은 수평 성분의 엣지가 강하게 검출됨을 이용한다. 추출된 수평 성분의 엣지영상에 대해 수평 프로젝션을 수행하여, 후보 영역 내에서 위에서 아래로, 아래에서 위로 찾아가면서 눈썹의 MER의 위, 아래를 찾는다. 또한 같은 수평 엣지영상에서 수직 프로젝션을 수행하여 후보 영역 내에서 왼쪽에서 오른쪽으로, 오른쪽

쪽에서 왼쪽으로 찾아가면서 눈썹의 MER의 왼쪽과 오른쪽을 구한다.

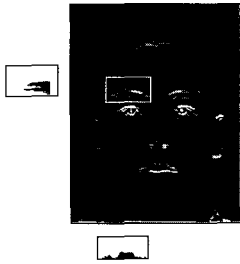


그림 7 눈썹의 MER 추출과정

### 3.4 얼굴의 MER 추출

얼굴 영역은 후보 영역을 따로 설정하지 않고 입력 영상에서 바로 MER을 추출한다. 얼굴 영역을 배경, 머리와 따로 분리해 내기 위해서, 실험 영상에서 대략적인 얼굴의 면적 정보를 이용한 P-타일 방법(P-Tile Method)을 적용하여 이진화를 수행하는데, 그 결과는 [그림8]과 같다. 이렇게 얼굴 영역이 분리된 영상에 대해, [그림8]에서 보듯이 수평 프로젝션을 적용하여 이마의 끝을 찾아내고, 수직 프로젝션을 적용하여 왼쪽, 오른쪽의 뺨의 끝을 각각 찾아낸다. 이 때, 턱의 끝은 목과 겹쳐지는 부분이어서 추출하기 어렵기 때문에 본 논문에서는 이미 앞에서 찾은 눈과 입의 MER을 참조하여 간단히 설정한다. 일반적으로 입의 중심 수평선에서부터 눈과 입의 중심 수평선 사이의 거리의 0.5배를 연장하면 턱이 그 근처에 존재함을 이용하여 턱의 끝을 설정한다.



그림 8 얼굴의 MER 추출과정

[그림9]는 이 장에서 기술한 각 얼굴 요소의 후보영역과 그에 따라 추출된 MER의 판계를 나타낸다. 가는 실선이 후보영역을 나타내고, 굵은 실선이 후보영역에서 추출된 MER을 나타낸다.



그림 9 얼굴요소의 후보영역과 추출된 MER

## 4. Snakes를 이용한 얼굴 요소의 윤곽선 추출

앞장에서 추출한 얼굴 요소의 최소 포함 사각형(MER) 내에서 초기 윤곽선 모델을 설정한 스네이크를 이용하여 각 얼굴 요소의 윤곽선 추출을 수행한다. 다음 절에서 본 논문에서 사용한 스네이크에 대해서 살펴보고, 각 얼굴 요소들의 윤곽선 추출 과정에 대하여 각각 살펴본다.

### 4.1 스네이크(Snakes:Active Contour Model)

스네이크는 외부의 제한적 힘에 의해 이끌어지고, 라인, 엣지 등과 같은 특징방향으로 당기는 이미지 힘에 의해 영향을 받는 에너지를 최소화하는 구조이다[18]. 스네이크는 엣지 근처에 수렴하게 되고, 엣지를 정확하게 지역화한다. 스네이크의 에너지 함수는 식(4)와 같이 정의된다.  $v(s)$  는 스네이크의 위치를 나타내고,  $E_{internal}$  은 윤곽선을 구부리는 내부 에너지이고,  $E_{images}$  는 이미지 힘을 나타내고,  $E_{constraint}$  는 외부 에너지를 나타낸다.

$$E_{snake} = \int_0^1 (E_{internal}(v(s)) + E_{images}(v(s)) + E_{constraint}(v(s))) ds \quad (4)$$

스네이크는 에너지 최소화 구조이기 때문에 지역적 최소가 가능한 해의 집합을 이루도록 에너지 함수를 개발해야 할 필요가 있다. 이러한 해의 집합으로부터의 해의 선택은 기대되는 해 쪽으로 모델을 밀 수 있는 에너지 항을 추가함으로써 이루어진다.

본 논문에서는 스네이크의 에너지 최소화하는 반복과정에서 빠른 반복을 위하여 Greedy Algorithm을 사용 [19]하여 구현한다. 이 방법은 여전히 전역적인 최소를 보장하지는 않지만 반복 속도는 훨씬 개선된다. 본 논문에서 이용한 기본적인 에너지 함수는 다음 식(5)와 같다 [19].

$$E_{snake} = \int_0^1 (\alpha(s)E_{continuity}(v(s)) + \beta(s)E_{curvature}(v(s)) + \gamma(s)E_{images}(v(s))) ds \quad (5)$$

$$= \int_0^1 \alpha(s) \left| \frac{dv}{ds} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{d^2v}{ds^2} \right|^2 - \gamma \nabla K(v) ds$$

연속성(Continuity), 곡률(Curvature), 이미지 힘(Image Force)으로 이루어진 에너지 함수에 의해 최소화하는 방향으로 수렴해가면서 윤곽선을 추출해 간다. 연속성(Continuity)은 커브를 움츠리게(shrink)하는 것인데, 이는 1차 유도함수로 나타내어지고 식(6)으로 근사화한다[19]. 이것은 실질적으로 각 점간의 거리를 최소화한다. 그러나 윤곽선의 강한 한 부분으로 모이게 하는 문제점이 있다. 따라서 두 점간의 거리를, 모든 점간의 거리의 평균(d)과의 차이  $|d - |v_i - v_{i+1}||$  를 이용하여 나타낸다. 각 점들이 평균에 가까운 거리에 있으면 최소값을 갖는다. 결국 연속성 항은 각 점들을 균일한 거리에 놓여 있게 하므로, 곡률(Curvature)은 식(7)과 같이 근사화하여 계산한다[19]. 이미지 힘으로는 1차 유도 엣지값을 이용한다.

$$\left| \frac{dv}{ds} \right|^2 \approx |v_i - v_{i+1}|^2 \quad (6)$$

$$\left| -\frac{d^2v}{ds^2} \right|^2 \approx |v_{i-1} - 2v_i + v_{i+1}|^2 \quad (7)$$

스네이크는 초기값에 영향을 많이 받는 단점이 있지만, 얼굴 및 얼굴요소의 영역 추출에서 각 요소에 근접한 최소 포함 사각형(MER)을 정확히 추출하여 이 MER 내에서 얼굴 및 각 얼굴 요소별로 일반적인 모양을 반영한 초기 윤곽선을 설정하여 이 점을 보완한다. 또한 에너지 함수에 있어서 적당한  $\alpha, \beta, \gamma$  의 값과 반복 과정에 사용되는 임계치의 조정이 윤곽선 추출의 성능에 커다란 영향을 주기 때문에, 여러 실험을 통하여 이러한 파라미터 값과 임계치들을 설정한 후 이를 이용한 윤곽선 추출을 수행한다.

#### 4.2 눈의 윤곽선 추출

눈의 경우 현재까지 연구된 엣지 연산자들이 가정하는 명도값의 이상적인 변화가 눈의 엣지에서는 드물다. 본 논문에서는 이와 같은 눈 주변의 엣지의 미흡성을 보완하기 위하여, 2차 유도 엣지 연산자에 의한 영점 교차(Zero Crossing)를 구하여 소벨(Sobel) 엣지 영상과 병합한 변형된 에너지 함수를 정의한다(식8). 여기서  $\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_2$ 와 같은 파라미터의 값은 여러 실험을 통하여 정하는데, 그 값은 각각 1.0, 1.9, 0.6, 0.6이다. 눈의 윤곽선은 전부 16개의 정점으로 구성하고, 초기 윤곽선은 [그림 10]에서 보듯이 눈의 MER을 중심으로 일반적인 눈의 모양을 고려하여 설정한다.

$$E_{snake} = \int_0^1 (\alpha(s) \left| \frac{dv}{ds} \right|^2 + \beta(s) \left| -\frac{d^2v}{ds^2} \right|^2 - (\gamma_1 |v I(v)| + \gamma_2 |v^2 I(v)|)) ds \quad (8)$$

#### ▶ 영점 교차(Zero Crossing)의 이용

영점 교차(Zero Crossing)를 구하기 위해서는 2차 유도 연산자(Second Order Derivative Operator)인 라플라시안(Laplacian)이 있는데, 이것은 잡음에 매우 민감하므로 Laplacian을 적용하기 전에 Gaussian Smoothing을 취한 LoG(Laplacian of Gaussian)을 이용한다(식9)[17]. 이러한 LoG는 계산량이 많으므로 일반적으로 이의 근접 계산 방법인 DoG(Difference of Gaussian)을 사용한다(식10)[17]. 이렇게 구한 DoG 영상에서 Zero Crossing을 추출하기 위하여 3x3 마스크를 이용하여 이 3x3 영역 안에 원래 영상의 명도값의 최대값과 최소값의 차이가 임계치보다 크면 엣지가 존재하는 것으로 판단한다. 따라서 임계치보다 큰 경우에만 현재 픽셀의 DoG값과 오른쪽의 픽셀의 DoG값, 또는 현재픽셀의 DoG값과 아래쪽의 픽셀의 DoG값의 부호를 비교하여 서로 다른 경우에 현재 픽셀을 Zero Crossing으로 정의한다.

$$LoG(x, y) = -\frac{1}{\pi \sigma^4} \left[ 1 - \frac{x^2 + y^2}{2\sigma^2} \right] e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}} \quad (9)$$

$$DoG(x, y) = \frac{e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma_1^2}}}{2\pi \sigma_1^2} - \frac{e^{-\frac{(x^2 + y^2)}{2\sigma_2^2}}}{2\pi \sigma_2^2} \quad (10)$$

#### 4.3 입, 눈썹의 윤곽선 추출

입, 눈썹의 윤곽선은 소벨 연산자에 의한 엣지 영상으로만 이미지 힘을 가하여 구한다. 이 때 입은 24개, 눈썹은 16개의 정점으로 구성된 윤곽선을 사용하였다. 입, 눈썹 각각의 초기 윤곽선은 [그림 10]에서 보듯이 각각의 MER을 중심으로 일반적인 모양을 고려하여 설정한다. 다음 식에서 사용한  $\alpha, \beta, \gamma_1$ 은 각각 1.0, 1.9, 1.2이다.

$$E_{snake} = \int_0^1 (\alpha(s) \left| \frac{dv}{ds} \right|^2 + \beta(s) \left| -\frac{d^2v}{ds^2} \right|^2 - \gamma_1 |v I(v)|) ds \quad (11)$$

#### 4.4 얼굴의 윤곽선 추출

얼굴의 윤곽선 추출은 엣지 영상과 밝기값(Intensity)을 병합한 변형된 에너지 함수(식12)를 정의하여 실험한다. 이 때 밝기값을 같이 이용한 것은, 이마인 경우 얼굴보다 밝기값이 어두운 머리 카락과의 경계선 쪽으로 수렴해 가도록 하기 위해서이다. 또한 그 외의 부분에서도 어두운 배경, 그늘에 따라 얼굴의 가장자리 부분의 밝기값이 경계선 쪽으로 갈수록 작은 특성을 이용하고자 함이다. 식(12)에서 사용한  $\alpha, \beta, \gamma_1, \gamma_3$ 은 각각 1.0, 1.9, 1.2, 2.0으로 밝기값의 영향을 크게 한다.

Greedy Algorithm을 적용할 때 눈, 입, 눈썹의 경우에 적용한 8-이웃 탐색영역 대신에 24-이웃 탐색 영역을 적용하여 좀 더 멀리 있는 픽셀에 대해서도 탐색하게 하여, 초기 윤곽선 모델인 타원 형태의 일반적인 얼굴 모양과는 많이 차이가 있는 사각형 또는 각진 얼굴 모양에 대해서도 근접해 갈 수 있도록 한다.

얼굴의 윤곽선은 모두 44개의 정점으로 구성되어 있으며, 초기 윤곽선은 얼굴의 MER을 중심으로 일반적인 얼굴의 모양을 고려하여 설정한다. [그림10]은 눈, 입, 눈썹, 얼굴 각각의 MER과 초기 윤곽선의 모양을 나타낸다.

$$E_{snake} = \int_0^1 (\alpha(s) \left| \frac{dv}{ds} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{d^2v}{ds^2} \right|^2 - (\gamma_1 |\nabla K(v)| + \gamma_3 |K(v)|)) ds \quad (12)$$



그림 10 초기 윤곽선 모델

### 5. 실험결과

얼굴과 얼굴의 주요소인 눈과 입, 눈썹의 최소 포함 사각형 추출과 그 추출된 영역에 대하여 스네이크를 이용한 윤곽선 추출을 실험하였다. 실험환경은 펜티엄II PC상에서 Visual C++6.0을 사용하여 MFC로 개발하였는데, 사용된 영상은 1280x960 해상도의 디지털 카메라로 촬영한 가로 256화소의 그레이 정면 얼굴 영상이다.

기존의 얼굴요소의 윤곽선 추출 연구인 Yuille[9]의 연구에서는 가변 템플릿(Deformable Templates)을 사용하여 눈, 입의 윤곽선 추출을 수행하였고, Huang[7]의 연구에서는 눈, 입의 윤곽선의 추출은 가변 템플릿을 사용하고, 얼굴, 눈썹의 윤곽선 추출에는 스네이크를 사용하였다. 이 연구들은 눈과 입의 윤곽선 추출에 가변 템플릿을 사용함으로써, 수행시간이 워스테이션에서 수분 이상 걸렸다. 이에 반해 본 논문에서는 눈, 입의 윤곽선 추출에도 스네이크를 이용함으로써, 눈, 입, 눈썹, 얼굴의 최소 포함 사각형 추출과 그에 따른 윤곽선 추출을 포함한 전체 시스템의 수행시간이 1초 이내로 훨씬 빠른 결과를 얻었다. 또한 기존의 연구들의 결과는 눈, 입의 윤곽선이 일정한 기하학적인 모양을 유지하는데 반해, 제안한 시스템의 결과는 다양한 모양의 결과를 얻

을 수 있었다. 또한 얼굴의 윤곽선 추출에 이미지 힘으로 각 화소의 밝기값을 병합함으로써, Huang[7]의 연구에서 추출된 턱 주위의 얼굴 윤곽선보다 좀 더 좋은 결과를 얻었다.

#### 5.1 최소 포함 사각형(MER) 추출

얼굴과 눈, 입, 눈썹과 같은 얼굴의 주요소에 대하여 제안한 시스템으로 MER을 추출한 결과, [그림11,12]에서 보듯이 눈과 입, 얼굴의 경우는 모두 정확하게 최소 포함 사각형을 추출하였고, 눈썹의 경우에는 해당 영상의 사람의 눈썹이 선명하지 않은 경우[그림12]에는 좋지 않은 결과를 내었다. 또한 [그림12]의 오른쪽 위의 얼굴 영상과 같이 약간 초점이 흐린 영상에서도 영역 추출은 비교적 좋은 결과를 보이고 있다.



그림 11 얼굴 및 얼굴요소의 MER 추출

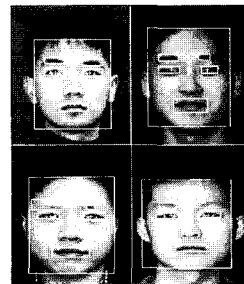


그림 12 얼굴 및 얼굴요소의 MER 추출

#### 5.2 윤곽선 추출

눈, 입, 눈썹, 얼굴의 각각의 추출된 MER에 대하여 제안한 시스템으로 윤곽선을 추출하는 실험을 하였다. 실험 결과에서 윤곽선을 나타내는 흰색선 중에서 나타난 검은 점들이 수렴해서 추출된 실제 특징점들을 나타낸다. [그림13]는 눈의 윤곽선 추출과정 중 초기 스네이크 모델로부터 실제 눈의 윤곽선으로 점차적으로 수렴해 가는 과정을 차례로 나타내고 있다.

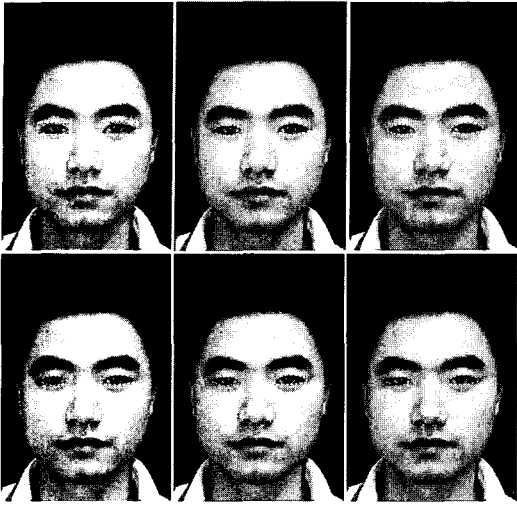


그림 13 눈의 윤곽선 추출 과정

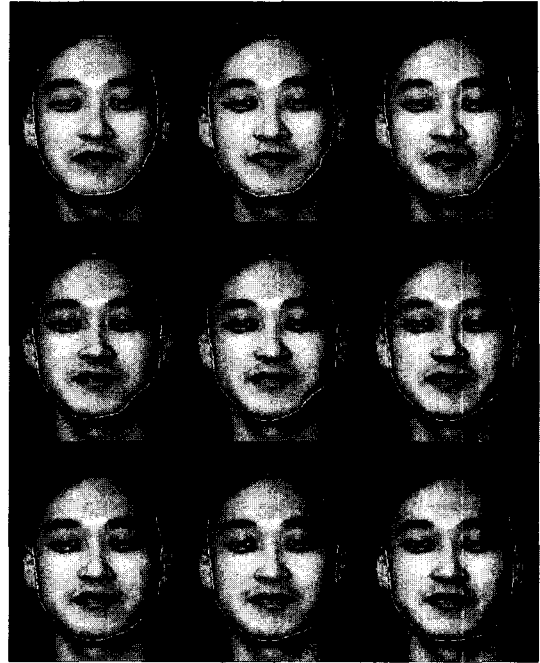
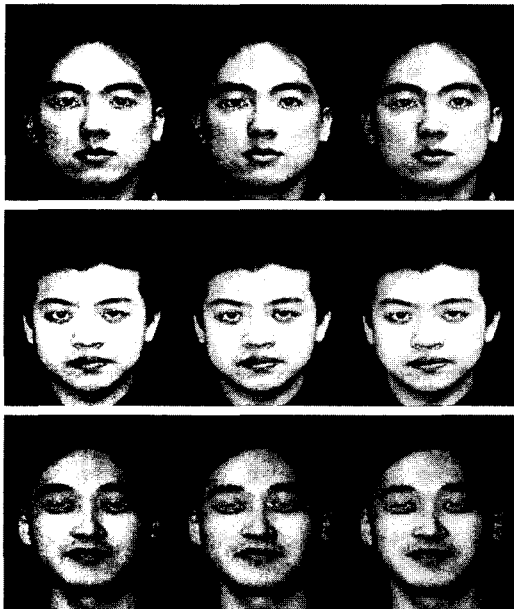


그림 15 얼굴의 윤곽선 추출 과정



(a) (b) (c)

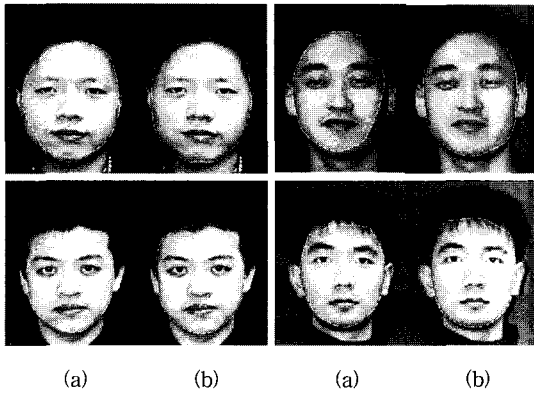
그림 14 눈의 윤곽선 추출 비교 (a) 엣지 사용 (b) Zero Crossing 사용 (c) 엣지와 Zero Crossing 사용 (제안된 방법)

눈의 윤곽선 추출의 경우에 Sobel 엣지 영상만 이용한 경우, DoG를 이용한 Zero Crossing만 이용한 경우, 본 논문에서 제안한 Sobel 엣지영상과 Zero Crossing

두 가지를 병합한 윤곽선 추출의 경우를 비교한 결과, [그림14]에서 보듯이 제안한 방법이 눈의 실제 윤곽선에 보다 더 가깝게 근접하는 결과를 얻을 수 있었다(각 사람의 좌측영상: 엣지 사용, 가운데영상: Zero Crossing 사용, 우측영상: 엣지와 Zero Crossing 사용). 특히 [그림14]에서 맨 아래 영상의 눈이 작고 눈아래 부분이 두툼한 사람인 경우는 (a)소벨 엣지 영상만 사용할 경우 눈아래 부분에 의한 엣지의 영향을 받아서 결과가 좋지 않은데, (c)Zero Crossing과 병합하여 사용한 결과 작은 눈의 윤곽선을 비교적 잘 추출하였다. 또한 가운데 사람의 영상에서는 눈동자에 의한 강한 엣지 성분에 의해 윤곽선이 눈동자 쪽으로 몰리는데, 이 경우에도 제안한 방법에 의해 더 좋은 결과를 보이고 있다. 이러한 결과는 눈의 주변에 큰 엣지값을 갖는 눈동자, 눈아래 그들이 존재하기 때문에, 엣지값의 크기만 에너지 함수에 사용할 경우 눈동자 또는 그늘 쪽으로 수렴해 가게 되는 것이다. 따라서 엣지의 정확한 위치 정보인 Zero Crossing을 같이 사용함으로써 이를 보완하였다.

다음으로 얼굴의 윤곽선 추출 결과를 살펴보면, [그림 15]는 초기 스네이크 모델로부터 실제 얼굴 윤곽선으로 수렴해 가는 과정을 보이고 있다. 앞장에서 기술한 바와 같이 얼굴의 윤곽선 추출 과정에서는 24-이웃 탐





(a) 엣지사용  
(b) 엣지와 명도값 사용(제한된 방법)

그림 16 얼굴의 윤곽선 추출 비교

색을 이용하여, [그림 15]의 오른쪽 턱 부분과 같이 초기 윤곽선이 실제 윤곽선과 먼 경우에도 수렴해 갈 수 있도록 하였다. 얼굴의 윤곽선 추출 경우에도 Sobel 엣지값만 사용한 경우와 원래 영상의 밝기값과 병합한 윤곽선 추출의 경우를 비교하였다. [그림16]에서 보듯이 각 사람의 좌측영상의 Sobel 엣지값만 사용한 경우보다, 우측영상의 제안한 방법이 얼굴의 실제 윤곽선에 훨씬 더 잘 수렴했음을 볼 수 있다. 특히 [그림16]의 위 두 사람의 경우에는 엣지값만 사용한 경우에는 이마와 뺨, 턱 부분의 윤곽선이 제대로 추출되지 않았는데, 밝기값을 같이 사용한 경우는 이러한 부분들이 제대로 잘 추출되었다. 또 아래 왼쪽 사람의 경우에서 보듯이 이마의 모양이 사각형에 가까운 각진 모양의 사람에 대해서도 밝기값을 병합한 경우가 이마의 윤곽선과 턱의 윤곽선이 훨씬 더 잘 추출됨을 보이고 있다. 또한 아래 오른쪽 영상과 같이 흐린 영상에 대해서도 제안한 방법이 훨씬 더 잘 수렴함을 볼 수 있다. 이러한 결과는 밝기값을 이용함으로써 머리카락, 어두운 배경 쪽으로 수렴해 갈 수 있게 하기 때문이다.

각 영상에 대해 제안한 전체 시스템을 적용한 결과는 [그림17,18]에서 보여 주고 있다. 남자의 경우는 입이 선명하지 않고 입 주변이 거무스름하여서 여자인 경우 보다는 입의 윤곽선 추출이 덜 정확한 결과를 보이고 있다. 또한 앞의 MER 추출 결과에서 눈썹의 영역이 제대로 추출되지 못한 영상은 초기 윤곽선이 실제 윤곽선에 대해 많이 벗어남으로 인해 [그림18]의 오른쪽 위 영상, 아래 두 개의 영상에서 보듯이 눈썹의 윤곽선 추출은 좋지 않은 결과를 나타내었다. [그림17,18]에서 보



그림 17 얼굴 및 얼굴요소의 윤곽선 추출

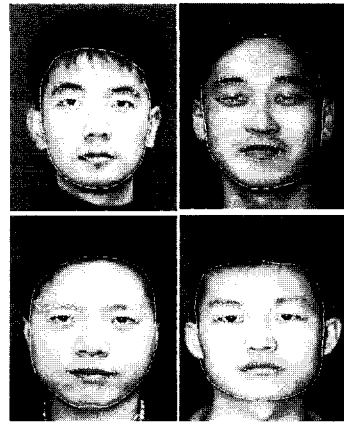


그림 18 얼굴 및 얼굴요소의 윤곽선 추출

듯이 눈의 모양은 해당 사람에 따라 타원형, 삼각형 등의 개인차가 비교적 잘 반영되었고, 얼굴 모양이 각진 사람들의 경우에도 윤곽선이 비교적 잘 추출되었음을 볼 수 있다. 또한 [그림18]의 왼쪽 위의 선명하지 못한 영상에서도 눈, 입, 눈썹, 얼굴의 윤곽선이 어느 정도 추출되었다.

## 6. 결론

현재까지 얼굴 및 얼굴요소의 추출과 관련한 다양한 연구들이 진행되어 왔다. 기하학적인 모양을 갖는 눈과 입의 경우에는 가변 템플릿을 사용하여 윤곽선 추출을 하였는데, 이 방법은 수행시간이 느리다는 단점과 추출된 윤곽선의 모양이 획일된 모양을 갖는다는 것이다. 사람의 눈인 경우 타원형의 눈도 있지만 동양인 또는 남

자인 경우는 삼각형 모양을 갖는 눈도 많다. 따라서 본 논문에서는 이러한 개인차가 반영되고 빠른 수렴을 할 수 있는 스네이크 모델을 정의하여 실험하였다. 스네이크는 초기 윤곽선의 설정이 윤곽선의 추출 결과에 큰 영향을 미치는 문제점이 있다. 따라서 초기 윤곽선의 설정 과정이 매우 중요하다. 본 논문에서는 엣지정보와 이진화 영상을 병합하여 이용한 프로젝트션 분석을 통하여 각 얼굴요소를 포함하는 최소 포함 사각형(MER)을 정확하게 추출하고, 이 추출된 MER 내에서 각 얼굴요소에 따른 일반적인 모양을 초기 윤곽선으로 설정하는 방법을 사용하였다. 또한 원래의 스네이크 모델이 사용자와의 피드백에 의해 이루어지는데, 제안한 시스템은 사용자의 개입이 전혀 필요하지 않는 자동 시스템이다.

단순한 배경하의 영상에 대하여 수행한 결과, 눈과 입, 얼굴의 MER의 추출은 모두 성공하였고, 눈썹은 3개의 영상에서 좋지 않은 결과를 보였다. 이는 눈썹이 흐린 사람의 영상들이었다. 또한 이렇게 추출된 영역을 기반으로 하여 스네이크 모델을 적용한 결과, 다양한 눈, 입, 눈썹, 얼굴의 모양을 반영한 윤곽선 추출의 결과를 보였다. 특히 눈의 경우는 눈동자 또는 눈아래 그들의 강한 엣지값의 영향을 감소시키기 위해 엣지의 위치 정보를 함께 사용하였다. 즉 1차 유도 엣지 연산자에 의한 엣지 뿐만 아니라, 2차 유도 연산자를 이용한 Zero Crossing과 병합한 에너지 함수를 설정하여 보다 더 나은 결과를 얻었다. 또한 얼굴의 경우 밝기값을 에너지 함수에서 이미지 힘으로 같이 사용하여, 머리카락, 어두운 배경 쪽으로 수렴해 갈 수 있도록 하여 훨씬 더 좋은 결과를 얻었다. 그레이 영상의 영역 추출 및 윤곽선 추출은 조명, 해상도에 영향을 크게 받는 문제이므로 균일한 조명하에서 얻은 영상들로 실험한다면 더욱 더 나은 결과를 얻을 수 있을 것이다.

본 논문의 연구를 바탕으로 하여, 그레이 영상이 아닌 컬러 영상에서 색상 정보를 사용하여 좀 더 정확하고 일반화된 눈, 입, 눈썹, 얼굴의 최소 포함 사각형을 추출한 후 윤곽선 추출을 수행할 수 있다. 또한 동영상에서 실시간으로 움직임 정보와 병합하여 얼굴 및 얼굴요소의 특징점 추적에 관한 연구를 하고, 이를 이용하여 FDP(Face Description Parameter)를 추출하여 차세대 영상 압축 전송에 사용할 수 있다. 아울러 2차원 얼굴 영상에서 3차원 얼굴 형상 모델로의 정합에 필요한 얼굴 및 얼굴요소들의 특징점들을 정확하게 추출하여 자동정합 시스템에도 응용할 수 있다. 또한 이러한 주요 특징요소인 얼굴 요소의 추출을 이용하여 얼굴인식에 관한 연구를 추진 중이다.

## 참 고 문 헌

- [ 1 ] Guangzheng Yang and Thomas S. Huang, "Human Face Detection in a Complex Background," Pattern Recognition, Vol.27, No.1, pp.53-63, 1994
- [ 2 ] Ying Dai and Yasuaki Nakano, "Extraction of Facial Images from Complex Background Using Color Information and SGLD Matrices," International Workshop on AFGR, pp.238-242, 1995
- [ 3 ] Xiaobo Li and Nicholas Roeder, "Face Contour Extraction From Front-View Images," Pattern Recognition, Vol. 28, No. 8, pp.1167-1179, 1995
- [ 4 ] Taro Yokoyama, Yasushi Yagi and Masahiko Yachida, "Facial Contour Extraction Model," IEEE Proceedings of ICAFG, pp.254-259, 1998
- [ 5 ] J. Bala, K. DeJong, J. Huang, H. Vafaei, and H. Wechsler, "Visual Routine for Eye Detection Using Hybrid Genetic Architectures," IEEE Proceedings of ICPR'96, pp.606-610, 1996
- [ 6 ] Ru-Shang Wang and Yao Wang, "Facial Feature Extraction and Tracking in Video Sequences," IEEE First Workshop on Multimedia Signal Processing, 1997
- [ 7 ] Chung-Lin Huang and Ching-Wen Chen, "Human Facial Feature Extraction For Face Interpretation and Recognition," Pattern Recognition, Vol.25, No.12, pp.1435-1444, 1992
- [ 8 ] Kin-Man Lam and Hong Yan, "Locating and Extracting the Eye in Human Face Images," Pattern Recognition, Vol.29, No.5, pp.771-779, 1996
- [ 9 ] Alan L. Yuille, Peter W. Hallinan, and David S. Cohen, "Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates," International Journal of Computer Vision, pp.99-111, 1992
- [ 10 ] Gloria Chow and Xiaobo Li, "Towards a System for Automatic Facial Feature Detection," Pattern Recognition, Vol. 26, No. 12, pp.1739-1755, 1993
- [ 11 ] 윤호섭, 소경, 왕민, 민병우, "고립 영역 분석에 의한 얼굴 요소 추출", 정보과학논문지, 23권, 7호, pp.752-765, 1996
- [ 12 ] 유태웅, 오일석, "색채 분포 정보에 기반한 얼굴 영역 추출", 정보과학회 논문지, 제24권, 제2호, pp.180-192, 1997
- [ 13 ] 김남호, 함상진, 안상철, 김형근, "색상 움직임을 이용한 실시간 얼굴/손 추적 알고리즘", HCI'98 학술대회 발표 논문집, pp.9-14, 1998
- [ 14 ] R. Brunelli and T. Poggio, "Face Recognition: Features versus Templates," IEEE Trans. PAMI. , Vol. 15, pp.1042-1052, 1993
- [ 15 ] Ching-Liang Su and Chidchanok Lursinsap, "Face Recognition by Feature Orientation and Feature Geometry Matching," IEEE Proceedings of ICPR'96, pp.401-405, 1996
- [ 16 ] Ifran A. Essa and Alex P. Pentland, "Facial Expression Recognition using a Dynamic Model and

- Motion Energy," IEEE ICCV'95, pp.360-367, 1995
- [17] Randy Crane, "A Simplified Approach to Image Processing," Prentice Hall PTR, pp.88-93, 1997
- [18] Michael Kass, Andrew Witkin, and Demetri Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models," International Journal of Computer Vision, pp.321-331, 1988
- [19] Donna J. Williams and Mubarak Shah, "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation," CVGIP: Image Understanding, Vol.55, No.1, January, pp.14-26, 1992



이 경 희

1989년 서울대학교 식품영양학과(학사).  
1993년 연세대학교 전산학과(학사).  
1993년 ~ 1996년 LG소프트(주) 연구원.  
1998년 연세대학교 컴퓨터학과(석사).  
1998년 ~ 현재 연세대학교 컴퓨터과학  
과 박사과정. 관심분야는 영상처리, 패턴

인식, 컴퓨터비전, 인공지능 등

변 해 란

정보과학회논문지 : 소프트웨어 및 응용  
제 27 권 제 1 호 참조