

스네이크 알고리즘에 의한 CCD 카메라 영상에서의 얼굴 및 얼굴 요소 추출

김영원*, 김정연*, 판데홍**†, 전병환**

* 공주대학교 대학원 컴퓨터공학과, ** 공주대학교 정보통신공학부
e-mail: {forever, bhjun@konju.ac.kr}

Face and Facial Element Extraction in CCD-Camera Images by using Snake Algorithm

Young Won Kim*, Jeong Yeon Kim*, Hung The Phan**†, Byung Hwan Jun**

*Dept. of Computer Engineering, Graduate School, Kongju National University

**Division of Information and Communication Engineering, Kongju National University

요 약

최근 IT 산업이 급성장하면서 화상 회의, 게임, 채팅 등에서의 아바타(avatar) 제어를 위한 자연스러운 인터페이스 기술이 요구되고 있다. 본 논문에서는 동적 윤곽선 모델(active contour models; snakes)을 이용하여 복잡한 배경이 있는 컬러 CCD 카메라 영상에서 얼굴과 눈, 입, 눈썹, 코 등의 얼굴 요소에 대해 윤곽선을 추출하거나 위치를 파악하는 방법을 제안한다.

일반적으로 스네이크 알고리즘은 잡음에 민감하고 초기 모델을 어떻게 설정하는가에 따라 추출 성능이 크게 좌우되기 때문에 주로 단순한 배경의 영상에서 정면 얼굴의 추출에 사용되어왔다. 본 연구에서는 이러한 단점을 극복하기 위해, 먼저 YIQ 색상 모델의 I 성분을 이용한 색상 정보와 차 영상 정보를 사용하여 얼굴의 최소 포함 사각형(minimum enclosing rectangle; MER)을 찾고, 이 얼굴 영역 내에서 기하학적인 위치 정보와 에지 정보를 이용하여 눈, 입, 눈썹, 코의 MER을 설정한다. 그런 다음, 각 요소의 MER 내에서 1차 미분과 2차 미분에 근거한 내부 에너지와 에지에 기반한 영상 에너지를 이용한 스네이크 알고리즘을 적용한다. 이때, 에지 영상에서 얼굴 주변의 복잡한 잡음을 제거하기 위하여 색상 정보 영상과 차 영상에 각각 모폴로지(morphology)의 팽창(dilation) 연산을 적용하고 이들의 AND 결합 영상에 팽창 연산을 다시 적용한 이진 영상을 필터로 사용한다.

총 7명으로부터 양 눈이 보이는 정면 유사 방향의 영상을 20장씩 취득하여 총 140장에 대해 실험한 결과, MER의 오차율은 얼굴, 눈, 입에 대해 각각 6.2%, 11.2%, 9.4%로 나타났다. 또한, 스네이크의 초기 제어점들 얼굴은 44개, 눈은 16개, 입은 24개로 지정하여 MER 추출에 성공한 영상에 대해 스네이크 알고리즘을 수행한 결과, 추출된 영역의 오차율은 각각 2.2%, 2.6%, 2.5%로 나타났다.

키워드 : 스네이크 알고리즘, 동적 윤곽선 모델, 얼굴 추출, 얼굴 요소 추출

I. 서론

21세기 디지털 정보화 시대가 도래하고 영상처리 기술이 급속도로 발전하면서 얼굴 영상을 이용하는

연구가 여러 응용 분야에서 활발하게 진행되고 있다. 생체 보안 시스템을 위한 얼굴 인식, 화상 회의에서의 얼굴 추적, 감성 공학을 위한 표정 분석, 휴먼 인터페이스를 위한 헤드 제스처 인식, 아바타(avatar)의 제어나 애니메이션 생성을 위한 퍼포먼스(performance) 등이 대표적인 예이며, 앞으로 훨씬 다양한 분야에 적용될 것으로 예상된다.

Hjelmas[1]은 얼굴 추출 기법을 크게 특징기반

※ 본 연구는 한국과학재단 지정 공주대학교 자원재활용 신소재 연구센터의 지원에 의한 것입니다.

† BK21 대전·충남 정보통신 인력양성 사업단 연구조교 (RA) 수혜

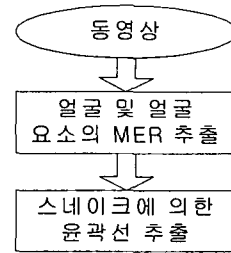
방법과 영상기반 방법으로 구분하고 있다. 먼저, 특징기반 접근법은 에지, 명암도, 색상, 움직임, 일반화된 측정 등을 이용하는 저수준 분석 방법과, 특징 탐색이나 성운 분석 등의 특징 분석 방법, 그리고 스네이크, 가변 형판, 점 분포 모델 등의 동적 형태 모델을 사용하는 방법으로 구분된다. 또한, 영상기반 접근법은 선형 부분 공간법, 신경망, 통계적 방법으로 구분된다.

앞서 언급한 다양한 응용에서의 섬세한 조작을 위해서는, 단순히 얼굴 및 얼굴 요소의 위치나 대략적인 영역을 포착하는 것이 아니라 정교한 윤곽선 추출이 요구되는데, 이를 위해서는 동적 형태 모델 방법이 가장 적합하다.

예로써, Yuille 등[2]은 파라미터로 변형되는 가변 형판을 사용하여 얼굴 영상에서 눈과 입의 윤곽선을 추출하였다. 그러나 정면 얼굴에서의 눈과 입 형태에 국한되기 때문에 다양한 자세에서의 변형에 적용하기 어렵고 처리 시간도 많이 소요된다. Hoch 등[3]은 동영상에서 입술의 움직임 방향을 광류를 이용하여 예측하면서 스네이크로 아래 윤곽선을 추적하였다. 이 방법은 입술의 일부 윤곽선만을 대상으로 하고 있으며 초기 설정을 수작업에 의존하고 있다. Rdeva 등[4]은 러버 스네이크(rubber snakes)를 이용하여 눈, 눈썹, 입의 윤곽선을 비교적 자연스럽게 추출하였다. 그러나 초기 설정을 위해, 형판 정합과 누적 프로젝션을 사용하는데 이는 정면 얼굴 영상에 국한된다. Gunn 등[5]은 동적 프로그래밍과 스네이크를 사용하여 먼저 머리의 윤곽을 찾은 후 얼굴의 윤곽을 찾는 방법을 제안하였다. 그러나 이 방법은 단순한 배경의 정면 영상에 국한된다. Yokoyama 등[6]은 저주파 잡음에 영향을 덜 받으면서도 텍스처의 약한 에지 성분을 강조할 수 있도록 두 가지 크기의 필터로 에지를 추출하고 반복적인 초기화를 한 후 스네이크로 얼굴의 윤곽선을 추출하였다. 이 방법에서는 복잡한 배경은 허용하고 있지만 정면 얼굴의 대칭성에 의존하고 있다. 조용진 등[7]은 에너지 함수의 최적화를 위해 동적 프로그래밍을 적용한 스네이크를 이용하여 움직임을 예측하면서 동영상에서 머리의 윤곽선을 추출하였다. 그러나 이 방법은 비교적 단순한 배경에 있는 정면의 머리를 추출하고 있다. 이경희 등[8]은 에지 영상의 프로젝션으로 구한 최소 포함 사각형(minimum enclosing rectangle; MER)에 초기 설정

된 스네이크 모델을 이용하여 얼굴과 눈, 입, 눈썹의 윤곽선을 추출하였다. 그러나 단순한 배경에 있는 정면 얼굴에 국한된다. 이상과 같이, 대부분의 윤곽선 추출은 단순한 배경에 있는 정면 얼굴 영상에서 수행되었음을 알 수 있다.

본 논문에서는 복잡한 배경이 있는 컬러 동영상에서 얼굴 및 얼굴 요소의 윤곽선을 추출할 수 있는 방법을 제안한다. 전체 과정은 [그림 1]과 같이, 크게 얼굴 및 각 요소의 MER 추출과 스네이크에 의한 윤곽선 추출로 구분된다.

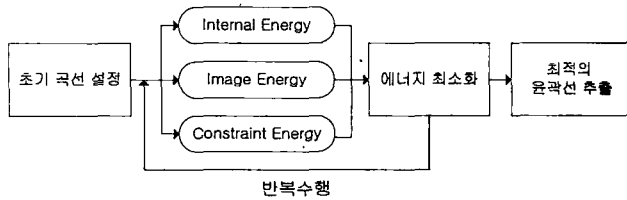


[그림 1] 전체 흐름도

II. 스네이크(Snakes) 알고리즘

1988년 Kass 등[9]은 전통적으로 사용되어 온 에지 검출과 그것들을 연결하는 방법을 대신해서 영상에서의 윤곽선 추출을 효과적으로 수행할 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 즉, 외부의 제한 힘이나 라인이나 에지에 근접하려는 영상 힘 등에 의한 에너지 함수로 정의되는 동적 윤곽선 모델을 스네이크(snakes)라고 정의하고, 변분법으로 그 에너지를 최소화하는 해를 구하였다. Amini 등[10]은 이 방법이 갖는 수치적인 불안정성과 제어 점들이 강한 에지로 물리는 현상 등의 문제점을 지적하고, 동적 프로그래밍을 사용하여 보다 안정적인 알고리즘을 제안하였으며 강한 제한을 가할 수 있도록 하였다. 그러나 연산 속도가 너무 느린 단점을 가지고 있었다. Williams 등[11]은 안정성과 유연성의 향상 그리고 강한 제한의 포함뿐만 아니라, Greedy 알고리즘으로 처리 속도를 향상시킨 방법을 제안하였다.

본 논문에서는 에너지 최소화를 위해 Williams가 제안한 Greedy 알고리즘을 사용한다. [그림 2]는 일반적인 스네이크 알고리즘의 수행과정이다.



[그림 2] 스네이크 알고리즘의 수행 과정

III. 얼굴 및 얼굴 요소의 추출

1. 최소 포함 사각형(MER) 추출

가. 얼굴의 MER 추출

본 논문에서는 컬러 동영상에서 복잡한 배경이 제거된 얼굴 영역의 MER을 검출하기 위해, 색상 정보와 움직임 정보를 이용하는 방법[12]에 모폴로지 기법을 추가하여 사용한다.

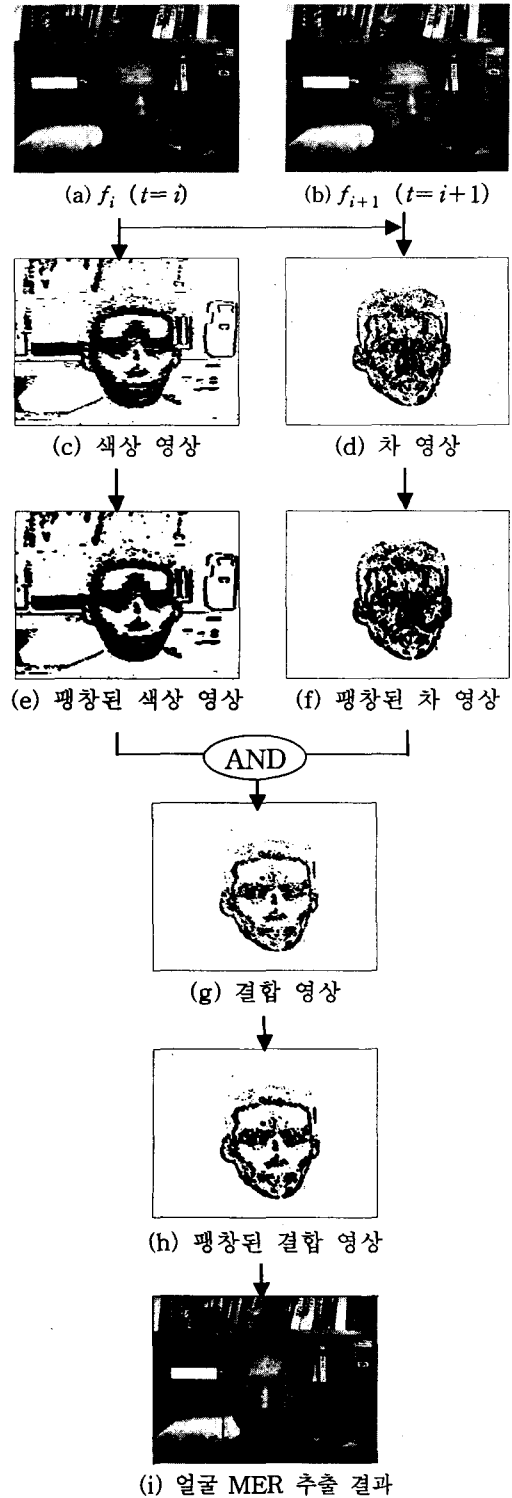
먼저, YIQ 컬러 모델의 색상 성분인 I(in-phase)를 0~255로 나타낼 때 최적의 얼굴색 구간 130~150에 해당하는지 여부를 색상 정보로 사용한다. 또한, 현재 프레임 f_i 와 이전 프레임 f_{i-1} 간에 밝기 차이가 일정 임계치 이상인지 여부를 나타내는 이진 차 영상을 움직임 정보로 사용하되, 차이가 발생한 화소의 수가 전체 화소 수에 비해 일정 비율(15%) 미만이면 그 이전 프레임 f_{i-2} 와의 차 영상을 구하는 방식으로 적응적인 움직임 정보를 구한다.

색상 정보와 움직임 정보를 함께 사용하기 위해, 이진 색상 영상과 이진 차 영상 각각을 팽창한 후 AND 연산을 수행하여 결합한다. 이때, 구축 요소 B 에 의한 집합 X 의 팽창(dilation)은 식 (1)과 같이 정의한다[13]. 여기서 X 는 주어진 이진 영상이고 B 는 십자(+) 형태를 사용한다.

$$\delta_B = \{x \mid B_x \cap X \neq \emptyset\} \quad (1)$$

AND 결합 영상을 다시 팽창하여 구해진 이진 영상에 수평과 수직 프로젝션을 수행하여 얼굴 영역을 내포하는 MER을 추출하게 된다.

[그림 3]은 얼굴의 MER 추출 과정의 예이다.



[그림 3] 얼굴의 MER 추출 과정의 예

나. 눈의 MER 추출

얼굴의 MER 내에서 눈 영역 추출을 위해, 두 눈이 얼굴 MER의 상반부에 위치하고 눈이 눈썹보다 아래에 위치한다는 기하학적 정보와 소벨 연산자에 의한 에지 영상을 이용한다. 이때, 에지 영상을 이진화하기 위해 자동으로 임계치를 설정하는 Robinson이 제안한 LAT(locally adaptive threshold)[14]를 이용한다.

$$LAT(x, y) = \frac{Max\{|w_k(x, y)|, k=0,1,2,3\}}{m_0(x, y)} \quad (2)$$

$$M_0 = \frac{1}{\alpha} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

식 (2)에서 w_k 는 4 방향 소벨 에지 검출 연산자에 의해 계산된 각각의 에지 강도이고, m_0 는 저주파 통과 필터 M_0 에 의해 필터된 값이다. 최종적으로, 각 화소에서 LAT 값이 1보다 크면 에지로 결정한다. 이때, 산출되는 에지의 양은 α 값에 비례한다. 본 논문에서는 눈과 눈썹의 에지를 가장 잘 산출하는 값(16)을 사용한다.

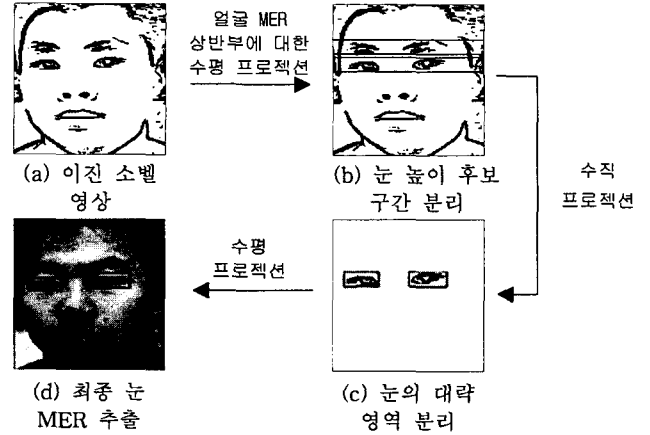
[그림 4]는 눈의 MER 추출 과정을 보여준다. 얼굴 MER에 대한 이진 소벨 영상의 상반부를 수평 프로젝션하여 눈 높이 후보 구간들을 분리해낸다. 기하학적 정보를 이용하여 눈 높이 구간 후보를 선택한 후 수평으로 분리된 영역 내에서 다시 수직 프로젝션을 수행하여 눈의 대략 영역을 분리해낸다. 그런 다음, 눈의 상하 여백이나 잘못 포함된 눈썹을 제거할 수 있도록 다시 한번 수평 프로젝션을 수행하여 눈의 최종 MER을 결정한다.

다. 입의 MER 추출

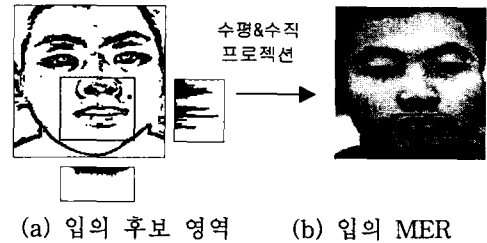
입의 후보 영역을 설정하기 위해, 눈 MER의 하단부터 얼굴 MER 높이의 10% 아래를 상단으로 하고 얼굴 MER 높이의 40% 아래를 하단으로 결정한다. 또한, 양 눈 MER의 바깥쪽에서 1/3 지점을 각각 좌측단과 우측단으로 결정한다.

[그림 5]의 (a)와 같이, 이진 에지 영상의 입 후보 영역에 대해, 수평 프로젝션을 수행하고 최대 피크를 윗입술과 아랫입술의 경계로 설정한다. 최대 피크로부터 위쪽과 아래쪽으로 탐색하여 입의 상단과 하단을 설정한다. 이때, 일반적으로 윗입술의 상단 경계에 비해 아랫입술의 하단 경계가 분명

하지 않기 때문에, 만일 윗입술보다 아랫입술의 높이가 상대적으로 작을 때에는 윗입술의 높이만큼 아랫입술의 영역을 확장한다. 이 영역에 대해 다시 수직 프로젝션을 수행하여 입의 좌우 영역을 결정한다. 추출된 입의 MER이 [그림 5]의 (b)에 나타나 있다.



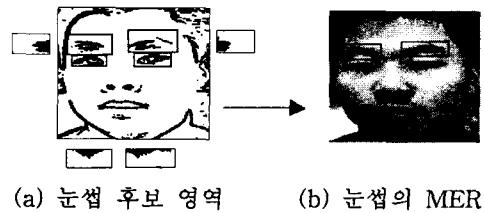
[그림 4] 눈의 MER 추출 예



[그림 5] 입의 MER 추출 예

라. 눈썹의 MER 추출

눈썹은 눈의 위쪽에 위치하므로, 눈 MER의 상단을 눈썹 후보 영역의 하단으로 정하고, 위쪽으로 눈 MER 높이의 2배가 되는 지점을 상단으로 설정한다. 또한, 눈썹 후보 영역의 폭은 눈 MER의 폭을 좌우로 10%씩 확장한 것으로 설정한다.



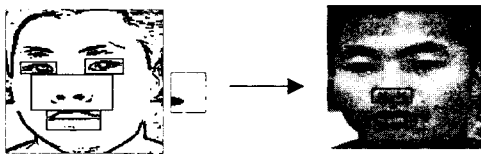
[그림 6] 눈썹의 MER 추출 예

[그림 6]은 이렇게 설정된 후보 영역에 대해 수평과 수직 프로젝션을 수행하여 눈썹 MER을 구하는 예이다.

마. 코의 MER과 콧구멍 위치 추출

눈과 입 영역 사이에 코가 존재하므로, 코 후보 영역의 높이 구간은 눈 MER의 하단부터 입 MER의 상단 사이로 정한다. 그리고 양 눈 MER의 바깥쪽에서 1/3 지점을 각각 좌측단과 우측단으로 결정한다.

[그림 7]과 같이, 이 후보 영역에 대해 수평과 수직 프로젝션을 수행하여 코의 MER을 찾고 최대 피크가 나타나는 곳을 콧구멍의 위치로 설정한다.



(a) 코의 후보 영역 (b) MER과 콧구멍 위치
[그림 7] 코의 MER과 콧구멍 위치 추출 예

바. 귀와 목 제거에 의한 얼굴 MER 조정

앞서 찾은 얼굴 MER에는 얼굴색과 유사한 귀나 목 부분이 포함될 수 있다. 귀 부분을 제거하기 위해서는 각 눈 MER의 높이 구간에 대해 바깥쪽 경계부터 이진 에지의 수직 프로젝션 값이 임계치 이상 발생하는 곳을 얼굴의 좌우 경계로 재조정한다.

일반적으로 턱 선의 에지는 약하게 나타날 수 있으므로, 입 MER의 중앙부분의 하단부터 아래쪽으로 탐색하여 수평 에지 성분이 가장 강하게 나타나는 지점을 턱 선으로 인정하여 얼굴의 하단부를 재조정한다. [그림 8]은 얼굴 MER의 폭 구간과 하단의 조정 과정을 나타내고, [그림 9]는 조정된 얼굴 영역의 결과 예이다.



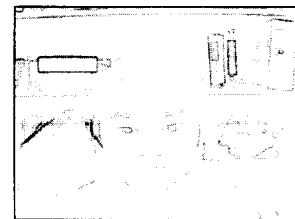
(a) 좌우 조정 (b) 하단 조정
[그림 8] 얼굴 MER의 조정 과정



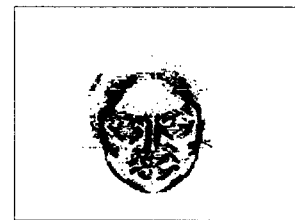
(a) 조정 전 (b) 조정 후
[그림 9] 얼굴 MER의 조정 예

2. 얼굴 및 얼굴 요소의 윤곽선 추출

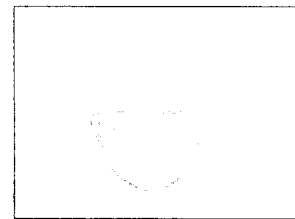
스네이크에 의한 윤곽선 추출은 초기 설정과 잡음에 크게 영향을 받는다. 본 논문에서는 얼굴 및 얼굴 요소의 MER에 내포되는 평균적인 형태의 초기 곡선을 설정하고, [그림 10]과 같이, 얼굴 MER 내의 배경 잡음을 제거하기 위하여 앞서 [그림 3]에서 언급한 색상 영상과 차 영상의 팽창된 결합 영상을 수평 수직 소벨 에지 영상의 필터로 사용한다. 이와 같이, 배경이 제거된 소벨 에지 영상은 영상 에너지로 사용된다.



(a) 소벨 에지 영상



(b) 필터: 팽창된 결합 영상



(c) 배경이 제거된 소벨 에지 영상

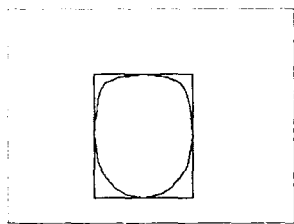
[그림 10] 영상 에너지로 사용될 소벨 에지 영상

얼굴 및 얼굴 요소의 윤곽선 추출을 위해 사용된 에너지 함수는 식 (3)과 같다. 크게 1차 미분과 2차 미분의 내부 에너지와 소벨 에지 영상 에너지로 구성된다.

$$E = \int_0^1 \alpha(s) \left| \frac{dv}{ds} \right|^2 + \beta(s) \left| \frac{d^2v}{ds^2} \right|^2 - \gamma |\nabla I(v)| ds \quad (3)$$

가. 얼굴의 윤곽선 추출

얼굴의 초기 스네이크는, [그림 11]과 같이, 44개의 정점으로 구성되고 각 정점의 탐색 영역은 7×7 크기의 윈도우를 이용하여 비교적 넓은 지역을 탐색하도록 한다. 이때, 에너지 함수의 가중치는 $\alpha=1.0$, $\beta=1.0$, $\gamma=1.0$ 으로 설정한다.



[그림 11] 얼굴의 초기 스네이크 설정

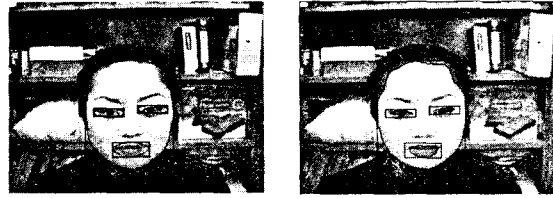
나. 눈의 윤곽선 추출

눈의 스네이크 초기 곡선은 MER 내에 16개의 정점을 사용하여 설정하고, 얼굴의 경우보다 작은 5×5 영역에서 탐색을 수행한다. 이때, 에지 성분이 많이 발생하는 눈동자 쪽으로 수축하려는 경향을 억제하기 위해 스네이크 정점들이 유사한 거리를 유지하도록 하는 2차 미분항의 가중치를 증가시켜 타원에 가까운 형태를 유지하도록 한다. 가중치는 $\alpha=1.0$, $\beta=1.2$, $\gamma=1.0$ 으로 설정한다.

다. 입의 윤곽선 추출

입의 스네이크 초기 곡선은 MER에 24개의 정점을 사용하여 설정하고, 5×5 영역에서 탐색을 수행한다. 가중치는 눈의 경우와 마찬가지로 $\alpha=1.0$, $\beta=1.2$, $\gamma=1.0$ 으로 설정한다.

[그림 12]는 얼굴, 눈, 입의 스네이크 초기 설정과 추출된 윤곽선 결과의 예를 보여준다.



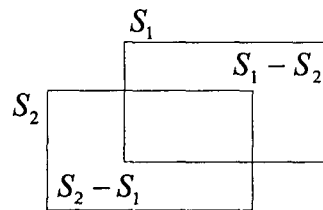
(a) 초기 스네이크 설정 (b) 윤곽선 추출 결과
[그림 12] 전체 윤곽선 추출의 예

IV. 실험 결과

실험을 위해, 복잡한 배경이 있는 실내 환경에서 총 7명으로부터 머리를 상하좌우로 움직이게 하면서 320×240 화소 크기의 칼라 동영상을 CCD 카메라로 수집하였다. 이 중에서, 양 눈이 보이는 상태의 정면과 상하좌우 영상을 각각 5장씩 선택하여 실험에 사용하였다.

1. MER 추출 결과

얼굴 및 얼굴 요소의 MER 추출 성능은 스네이크 초기 곡선의 설정에 직접적으로 영향을 끼치며, 이는 결과적으로 윤곽선 추출의 정확도에도 큰 영향을 주게 된다.

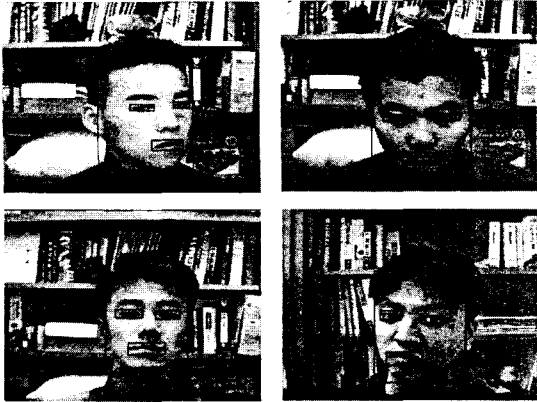


[그림 13] MER의 실제 및 추출 영역

MER의 추출 성능을 평가하기 위하여, [그림 13]과 같이, 사용자에게 의해 설정된 실제 영역 S_1 과 제안한 방법에 의해 추출된 영역 S_2 를 정의한다. 그리고 추출된 MER의 오차율 R 은 식 (4)와 같이 측정한다.

$$E_m = \frac{|(S_2 - S_1) \cup (S_1 - S_2)|}{|S_1|} \quad (4)$$

[그림 14]는 MER 추출에 성공한 예이고, [그림 15]는 MER 추출에 실패한 예이며, [표 1]은 MER 추출의 평균 오차율을 나타낸다.



[그림 14] MER 추출에 성공한 예



[그림 15] MER 추출에 실패한 예

[표 1] MER 추출의 평균 오차율

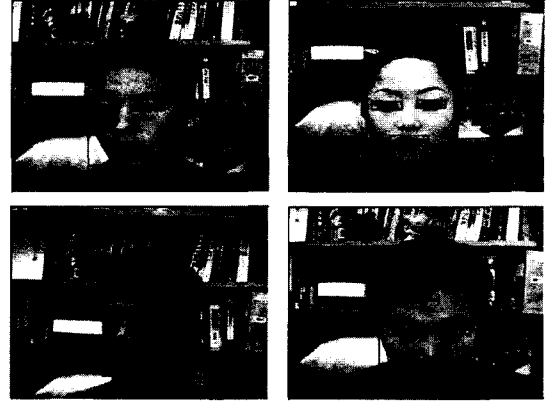
구성 요소	오차율(E_m)
얼굴	6.2 %
눈	11.2 %
입	9.4 %
평균	8.9 %

2. 윤곽선 추출 결과

윤곽선 추출의 평균 오차율은, 식 (5)와 같이, N 개의 스네이크 정점 s_i 에서 최단 거리에 위치하는 사용자가 지정한 실제 윤곽선 상의 점 a_j 까지의 거리를 실제 MER의 폭 W 로 정규화한 값의 평균으로 정의한다.

$$E_c = \frac{\sum_i \min_j |s_i - a_j|}{WN} \quad (5)$$

[그림 16]은 스네이크를 이용한 윤곽선 추출의 결과 영상이고, 평균 오차율은 [표 2]와 같다.



[그림 16] 윤곽선 추출 결과

[표 2] 윤곽선 추출의 평균 오차율

구성 요소	오차율(E_c)
얼굴	2.2 %
눈	2.6 %
입	2.5 %
평균	2.4 %

V. 결론

본 논문에서는 사무실 환경에서 CCD 카메라를 통해 입력된 복잡한 배경이 있는 동영상에서 얼굴과 얼굴 요소의 MER을 검출하고 스네이크를 사용하여 윤곽선을 탐색할 수 있는 방법을 제안하였다.

초기 스네이크를 수작업에 의존하지 않고 자동으로 수행하기 위해, 모폴로지의 팽창을 적용한 색상 영상과 차 영상을 함께 사용하여 보다 정확한 MER을 추출할 수 있었다. 또한, 복잡한 배경 잡음을 제거하기 위해 팽창된 결합 영상을 소벨 에지 영상의 필터로 사용함으로써 보다 정교하고 안정된 윤곽선을 추출할 수 있었다.

향후에는 동영상에서 얼굴이 기울어지거나 크게 회전되는 경우에도 스네이크의 초기 설정을 예측하면서 윤곽선을 추출할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

[참고 문헌]

- [1] E. Hjelmas, "Face Detection: A Survey", *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 83, pp.236-274, 2001.

- [2] A. L. Yuille, P. W. Hallinan, and D. S. Cohen, "Feature Extraction from Faces Using Deformable Templates", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 8, No. 2, pp.99-111, 1992.
- [3] M. Hoch and P. C. Litwinowicz, "A Practical Solution for Tracking Edges in Image Sequence with Snakes", *The Visual Computer*, Vol. 12, No. 2, pp.75-83, 1996.
- [4] P. Radeva and E. Marti, "Facial Features Segmentation by Model-Based Snake", *Proc. of Int'l Conf. on Computer Analysis and Image Processing*, pp.49-54, 1995.
- [5] S. Gunn and M. Nixon, "Global and Local Active Contours for Head Boundary Extraction", *International Journal of Computer Vision*, Vol. 30, No. 1, pp.43-54, 1998.
- [6] T. Yokoyama, Y. Yagi, and M. Yachida, "Active Contour Model for Extracting Human Faces", *Proc. of Int'l Conf. on Pattern Recognition*, Vol. 1, pp.673-676, 1998.
- [7] 조용진, 양현승, "Snakes 모델을 이용한 얼굴 윤곽선 추적 시스템," *한국정보과학회 논문지*, B편, 제24권, 제1호, pp.62-72, 1997.
- [8] 이경희, 변혜란, "얼굴 요소의 영역 추출 및 Snakes를 이용한 윤곽선 추출," *한국정보과학회 논문지*, 제27권, 제7호, pp.731-741, 2000.
- [9] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Models" *Int'l Journal of Computer Vision*, pp.321-331, 1988.
- [10] A. Amini, S. Tehrani, and Terry E. Weymouth, "Using Dynamic Programming for Minimizing the Energy of Active Contours in the Presence of Hard Constraints," *Proc. of the IEEE*, pp.95-99, 1988.
- [11] D. J. Williams and M. Shah, "A Fast Algorithm for Active Contours and Curvature Estimation", *CVGIP: Image Understanding* Vol. 55, No. 1, pp.14-26, Jan. 1992.
- [12] 박형철, 전병환, "동영상에서 최적의 얼굴색 정보와 움직임 정보에 기반한 얼굴 영역 추출," *한국정보과학회 논문지*, 제27권 제2호, pp.193-200, 2000.
- [13] P. Soille, *Morphological Image Analysis: Principles and Applications*, Springer, 1999.
- [14] G. S. Robinson, "Edge Detection by Compass Gradient Masks," *Computer Graphics and Image Processing* 6, pp.492-501, 1977.