

두 단계 합성 기울기 맵을 이용한 활성 외곽선 모델 기반 자동 얼굴 추적

(Automatic Face Tracking based on Active Contour Model using Two-Level Composite Gradient Map)

김수경[†] 장유진[†] 흥헬렌^{**}
(Soo Kyung Kim) (Yujin Jang) (Helen Hong)

요약 본 논문에서는 연속 프레임에서 움직임이 큰 얼굴을 자동으로 추적하기 위해 두 단계 합성 기울기 지형 생성 방법을 제안한다. 본 제안 방법은 다음과 같은 세 가지 단계로 이루어진다. 첫째, 활성 외곽선이 빠르게 수렴하기 위한 두 단계 해상도 기울기 맵을 생성한다. 둘째, 연속하는 프레임 간의 변위를 파악하고 주변 배경을 제거하기 위하여 이전 프레임과 현재 프레임의 합성 기울기 맵과 차별 마스크를 산정하여 가중 합성 기울기 맵을 구성한다. 셋째, 활성 외곽선이 지역적 최소값에 수렴하는 것을 막기 위해 닫기 연산을 사용하여 에너지 비탈면을 생성한다. 이 때, 닫기 연산의 계산 비용 문제는 빠른 닫기 연산을 통해 해결한다. 제안방법의 정확성을 평가하기 위해 기존 활성 외곽선 모델 기반 방법들과 제안방법의 수행 결과를 통한 육안 평가와 활성 외곽선의 평균 에너지 변화를 통한 견고성 평가를 수행하고, 수행 시간을 분석한다. 실험 결과 제안방법의 경우 배경의 영향을 받지 않으면서 얼굴의 움직임이 큰 경우에도 빠르고 정확하게 추적할 수 있었다.

키워드 : 자동 얼굴 추적, 활성 외곽선, 두 단계 해상도, 합성 기울기 맵, 닫기 연산

Abstract In this paper, we propose a construction technique of two-level composite gradient map to automatically track a face with large movement in successive frames. Our method is composed of three main steps. First, the gradient maps with two-level resolution are generated for fast convergence of active contour. Second, to recognize the variations of face between successive frames and remove the neighbor background, weighted composite gradient map is generated by combining the composite gradient map and difference mask of previous and current frames. Third, to prevent active contour from converging local minima, the energy slope is generated by using closing operation. In addition, the fast closing operation is proposed to accelerate the processing time of closing operation. For performance evaluation, we compare our method with previous active contour model-based face tracking methods using a visual inspection, robustness test and processing time. Experimental results show that our method can effectively track the face with large movement and robustly converge to the optimal position even in frames with complicated background.

Key words : automatic face tracking, active contour, two-level resolution, composite gradient map, closing operator

· 본 연구는 2009학년도 서울여자대학교 컴퓨터과학연구소 교내학술특별연구비의 지원에 의해 수행되었습니다.

[†] 학생회원 : 서울여자대학교 미디어학부
sookyung@swu.ac.kr
yujin.jang@swu.ac.kr

^{**} 정회원 : 서울여자대학교 미디어학부 교수
hlhong@swu.ac.kr
(Corresponding author)

논문접수 : 2008년 11월 6일
심사완료 : 2009년 9월 19일

Copyright©2009 한국정보과학회: 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 컷 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지: 소프트웨어 및 응용 제36권 제11호(2009.11)

1. 서론

연속 프레임에서 움직이는 얼굴을 자동으로 추적하는 기술은 얼굴의 움직임에 따라 적절한 상호작용을 필요로 하는 HCI(Human Computer Interaction) 분야에서 중요하게 요구되며, 사용자의 얼굴 위치에 자동으로 초점을 맞추기 위한 카메라 기술, 얼굴 정보가 중요한 부분을 차지하는 화상 통신 기술 등 다양한 분야에서 활용 가능하다. 따라서 얼굴의 움직임이 크거나 배경이 복잡하더라도 정확하고 견고하게 얼굴을 추적하는 기술이 필요하다. 연속 프레임에서 움직이는 얼굴 추적을 위해서는 얼굴의 움직임에 대한 변위를 파악하고 얼굴의 윤곽을 포착 할 수 있는 기술이 요구되며, 이를 위해 일반적으로 에너지 계산을 통한 활성 외곽선 모델을 사용한다.

얼굴 추적을 위한 기존 연구로는 활성 외곽선 모델(ACM: Active Contour Model) 기법, 다중 해상도 기법(HDC: Hierarchical Discrete Correlation Method), 기울기 벡터 흐름(GVF: Gradient Vector Flow) 기법 등이 있다.

활성 외곽선 모델[1,2] 기법은 기울기 정보를 이용한 에너지 계산을 통해 활성 외곽선의 정점을 이동시켜 추적하는 방법으로 물체의 변형을 잘 파악할 수 있지만, 외곽선 주위에만 기울기 에너지를 갖기 때문에 외곽선이 경계로부터 멀리 떨어져 있을 때 수렴하기 힘들고, 물체의 이동이 빠르거나 변형이 큰 경우 움직임을 잘 포착하지 못한다는 한계점이 있다. 이러한 한계점을 보완하기 위해 추적하고자 하는 물체의 변위를 파악하는 방법들이 추가적으로 연구되었다. Montsen[3] 활성 외곽선 모델에 블록 매칭과 동적 프로그래밍 등을 사용한 방법을 제안하였고, Xiong은[4] 모션 벡터를 사용하여 움직임 영역을 찾는 방법을 제안하였다. Lee는[5] 이전과 현재 기울기 맵을 합성하고 불필요한 배경을 제거하여 큰 변위를 갖는 물체를 추적하는 방법을 제안하였다. 그러나, 형태학적 연산으로 계산이 복잡하고, 활성 외곽선 수렴을 위한 시간이 오래 걸리는 한계점이 있다.

Leymarie[6], Ogden[7], Burt[8] 등은 연속 프레임에서도 얼굴을 효과적으로 추적하기 위하여 활성 외곽선 모델에 다중 해상도 기법을 적용함으로써 활성 외곽선의 포착 범위를 넓힌 HDC 방법을 제안하였다. 다중 해상도 기법을 통해 낮은 해상도에서는 활성 외곽선의 포착 범위를 넓히고 수행속도를 빠르게 하며, 높은 해상도에서는 정확한 형태를 포착하여 ACM 방법보다 빠르고 정확하게 활성 외곽선을 수렴할 수 있다. 하지만, 낮은 해상도에서 발생한 오류가 높은 해상도에 전달되어 부

정확한 결과를 보이기 쉽고 여전히 활성 외곽선이 추적하고자 하는 물체의 경계에서 멀리 떨어져 있을 때 물체를 추적하지 못하는 한계점이 있다.

Xu[9]는 얼굴 추적의 정확성을 높이기 위해 기울기 벡터 흐름을 이용하여 활성 외곽선 모델 방법을 제안하였다. 물체의 경계인 기울기 값을 광학적 확산 과정을 통해 원거리까지 확산시킴으로써 외곽선이 경계로부터 멀리 떨어져 있어도 물체의 윤곽을 따라 충분히 수렴할 수 있다. 또한, 얼굴 추적의 효율을 높이기 위하여 광 흐름 알고리즘(optical flow)을 이용하여 변위를 파악하고 기울기 벡터 흐름 방법을 적용하는 방법도 제안되었다[10,11]. 그러나 기울기 벡터 흐름을 계산함에 있어 많은 계산 시간을 필요로 하기 때문에 실시간으로 다수의 프레임을 처리하는데 있어 한계가 있다. 이외에도 Xia 등[12,13]은 YCrCb 컬러 모델을 이용하여 피부 컬러 정보를 지정하고 피부색에 해당하는 영역을 추적하는 방법을 제안하였으며, Yanjiang 등[14]은 얼굴 추적을 위한 방향과 이동 변위 파악을 위해 평균 위치 방향 알고리즘을 이용한 추적 방법을 제안하였다. 하지만, 조명 및 외부 잡음에 민감하고, 얼굴 윤곽을 정확히 추출해 내지 못한다는 한계점이 있다.

본 논문에서는 배경 및 잡음에 영향 받지 않으면서 얼굴의 움직임이 큰 경우에도 정확하고 빠르게 추적하기 위한 두 단계 합성 기울기 지형 생성 방법을 제안한다. 두 단계 합성 기울기 지형 생성은 첫째, 소벨 연산자(sobel operator)[15]를 이용한 기울기 맵을 두 단계 해상도로 적용하여 두 단계 해상도 기울기 맵을 생성한다. 둘째, 이전 프레임과 현재 프레임의 두 단계 해상도 기울기 맵을 현재 프레임에 가중치를 두어 합성 기울기 맵을 생성하고, 이전 프레임과 현재 프레임의 차이를 이용한 차별 마스크를 합성 기울기 맵에 적용하여 가중 합성 기울기 맵을 구성한다. 셋째, 생성된 가중 합성 기울기 맵에 닫기 연산을 적용하여 에너지 비탈면을 생성한다. 이 때, 닫기 연산으로 인한 계산 비용 문제는 빠른 닫기 연산으로 해결한다. 넷째, 제안방법으로 생성한 두 단계 합성 기울기 지형의 에너지를 활성 외곽선 모델의 외부에너지로 적용하여 얼굴을 추적한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 두 단계 합성 기울기 지형 생성 방법에 대한 구체적인 내용을 제시하고, 3장에서는 기존의 연구 방법들과 제안 방법에 대해 비교 실험하여 육안평가와 에너지 수렴 그래프를 통한 견고성 평가, 그리고 각 방법에 대한 수행 시간을 비교한 결과를 제시한다. 마지막으로 4장에서 본 논문에서 제안한 두 단계 합성 기울기 지형 생성을 통한 얼굴 추적 방법에 대한 결론을 맺는다.

2. 두 단계 합성 기술기 지형 생성을 통한 얼굴 추적

그림 1은 본 논문에서 제안한 두 단계 합성 기술기 지형 생성 과정을 나타낸다. 첫째, 활성 외곽선의 빠른 수렴을 위하여 두 단계 해상도의 기술기 맵을 생성한다. 둘째, 프레임 간 변위를 식별하고 배경을 제거하기 위하여 이전 프레임과 현재 프레임의 가중 합성 기술기 맵을 구성한다. 가중 합성 기술기 맵은 차별 연산자를 사용하여 배경을 제거하고 현재 프레임에 가중치를 두어 추적이 용이하도록 구성한다. 셋째, 지역적 최소값에 수렴하는 오류를 방지하기 위해 단기 연산을 이용한 에너지 경사면을 생성한다. 이 때, 빠른 단기 연산을 적용하여 계산 비용이 많이 들어 수행 속도가 느려지는 문제를 해결한다. 마지막으로 두 단계 합성 기술기 지형의 에너지를 계산하여 외곽선의 정점을 이동하고, 추적하고자 하는 얼굴로 활성 외곽선을 수렴하게 한다. 이 때, 활성 외곽선은 얼굴을 추적하는 외곽선을 의미하며, 초기 활성 외곽선은 첫 번째 프레임의 기술기 정보를 이용하여 생성한다.

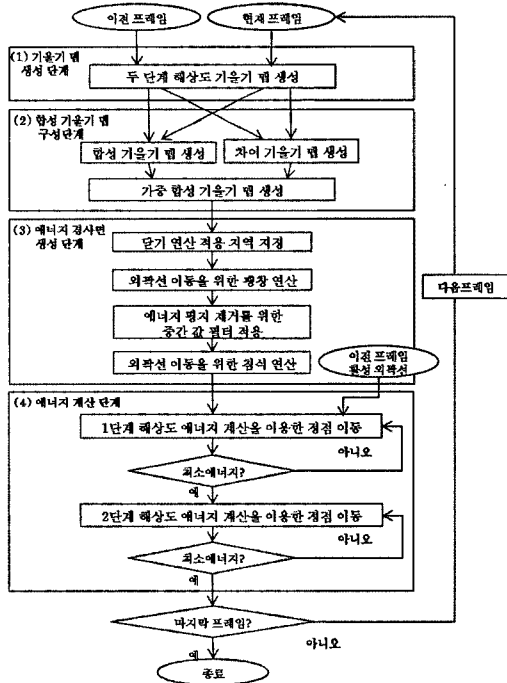


그림 1 제안 방법의 순서도

2.1 두 단계 해상도 기술기 맵 생성

활성 외곽선이 잡음에 견고하면서 추적하고자 하는 물체로 빠르게 수렴하기 위해 두 단계 해상도 기술기

맵을 생성한다. 기존 활성 외곽선 모델은 추적하고자 하는 물체의 변위가 크면 활성 외곽선의 수렴이 어렵고, 주변 잡음에 의해 지역적 최소값에 수렴하는 문제점이 있다. 이를 위해 해상도를 여러 단계로 구성하는 다중 해상도 기법[16]을 사용하여 활성 외곽선의 포착 범위를 넓히는 방법을 사용한다. 그러나 다중 해상도 기법을 사용하면 낮은 해상도에서 갖는 오류가 높은 해상도까지 전달되어 정확성이 떨어지고, 여러 단계의 해상도를 구성함에 따른 불필요한 계산비용을 갖게 된다. 따라서 활성 외곽선의 포착 범위를 넓히고 해상도 변화에 따른 오류를 최소화하여 정확하게 추적할 수 있도록 두 단계 해상도 기술기 맵을 생성한다.

두 단계 해상도 기술기 맵을 생성하기 위해 첫째, 이전 프레임과 현재 프레임의 기술기 맵을 생성한다. 기술기 맵 계산은 주변 잡음의 영향을 줄이면서 두꺼운 기술기 정보를 얻기 위하여 소벨 연산자를 사용한다. 둘째, 생성된 기술기 맵에 두 단계 해상도 기법을 적용한다. 1단계 해상도에서 기술기 맵은 소벨 연산자를 이용한 기술기 맵으로 구성하고, 2단계 해상도에서 기술기 맵은 이웃 픽셀 정보의 평균값을 산정하여 구성한다. 그림 2는 두 단계 해상도 기술기 맵 생성 방법을 나타내며 이 때, g_0 는 1단계 해상도 픽셀을 의미하고, g_1 은 2단계 해상도 픽셀을 의미한다. 식 (1)은 2단계 해상도 구성을 위해 이웃 픽셀을 보간 하는 수식이다. 그림 3은 두 단계 해상도 기술기 맵 생성 결과를 나타낸다. 그림 3(a)-(b)는 소벨 마스크를 적용하여 생성한 각 해상도에 대한 기술기 맵이다.

$$G_{level}(i, j) = \sum_{m=-2}^2 \sum_{n=-2}^2 G_s(2i+m, 2j+n) \quad (1)$$

이 때, 식 (1)의 G_s 는 소벨 연산을 이용한 기술기 맵이고, i, j 는 프레임의 각 픽셀 좌표를 나타내며, m 과 n

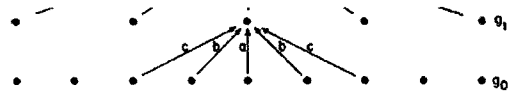


그림 2 두 단계 해상도 기술기 맵 생성 방법



(a) 1단계 해상도 기술기 맵 (b) 2단계 해상도 기술기 맵
그림 3 두 단계 해상도 기술기 맵 생성 방법 및 결과

은 이웃 정점들을 의미한다.

두 단계 해상도 기울기 맵을 이용하여 활성 외곽선의 포착범위를 넓히고, 다중 해상도 적용 시 발생하는 오류 누적을 줄인다.

2.2 가중 합성 기울기 맵 구성

연속하는 프레임에서 얼굴을 추적하기 위해서는 추적하고자 하는 물체의 변위를 파악하고, 배경과 같은 잡음의 영향에 견고해야 한다. 본 논문에서는 추적하고자 하는 물체의 변위 파악을 위해 이전 프레임에 가중치를 둔 합성 기울기 맵을 산정하고 배경과 같은 잡음의 영향력을 감소시키기 위해 차이 기울기 맵을 산정한다.

합성 기울기 맵[17]은 식 (2)와 같이 가중치를 둔 이전 프레임의 기울기 맵과 현재 프레임의 기울기 맵을 논리합 연산으로 합성하여 산정한다.

C_i = \omega G_{i-1} + G_i (2)

이 때, G_i는 i번째 프레임의 두 단계 해상도 기울기 맵이고, \omega는 0부터 1사이의 가중치 값을 가지며, 이전 프레임 보다 현재 프레임의 영향력을 크게 하여 활성 외곽선이 현재 프레임 쪽으로 이동하기 위하여 이전 프레임에 0.3의 가중치를 준다.

차이 기울기 맵[18]은 이전 프레임과 현재 프레임의 기울기 맵에 차별 연산자를 적용하여 산정한다. 차이 기울기 맵에 이진화 과정을 적용하여 이진 차별 마스크를 생성하고, 생성된 이진 차별 마스크와 합성 기울기 맵의

논리 곱 연산을 통해 추적하고자 하는 물체의 영역을 추출한다. 그림 4는 가중 합성 기울기 맵을 구성하는 과정으로 그림 4(a)와 (b)는 이전 프레임과 현재 프레임의 기울기 맵을 나타내고, 그림 4(c)는 이전 프레임과 현재 프레임의 합성 기울기 맵을 나타낸다. 그림 4(d)는 가중치를 준 이전과 현재 프레임의 차별 연산자를 이용하여 얻은 이진 차별 마스크이다. 그림 4(e)는 합성 기울기 맵과 이진 차별 마스크에 논리 곱 연산을 적용한 가중 합성 기울기 맵으로 추적하고자 하는 물체의 윤곽 정보를 갖는다.

그림 5는 가중 합성 기울기 맵을 구성하는 과정에 따른 기울기 그래프로 프레임에서 임의의 한 행에 대한 기울기 맵을 분석한 결과이다. 그림 5(a)와 (b)는 이전 프레임과 현재 프레임의 기울기 정보를 나타내고, 그림 5(c)는 이전 프레임과 현재 프레임의 합성 기울기 맵으로 배경 정보는 차별 마스크에 의해 제거된다. 그림 5(d)는 가중치를 준 이전 프레임과 현재 프레임의 기울기 합성한 가중 합성 기울기 맵이다. 이 때, P는 이전 프레임의 기울기 정보를 의미하고, C는 현재 프레임의 기울기 정보를 의미하며, P'는 가중치로 작아진 이전 프레임의 기울기 정보를 의미한다. 이전 프레임의 기울기 정보 P가 현재 프레임의 기울기 정보 C보다 크기 때문에 활성 외곽선이 현재 프레임의 추적하고자 하는 물체에 수렴하지 못하고 그림 5(c)처럼 이전 프레임에 남아



(a) 이전 프레임 기울기 맵 (b) 현재 프레임 기울기 맵 (c) 합성 기울기 맵



(d) 이진 차별 마스크 (e) 가중 합성 기울기 맵

그림 4 가중 합성 기울기 맵 구성 과정

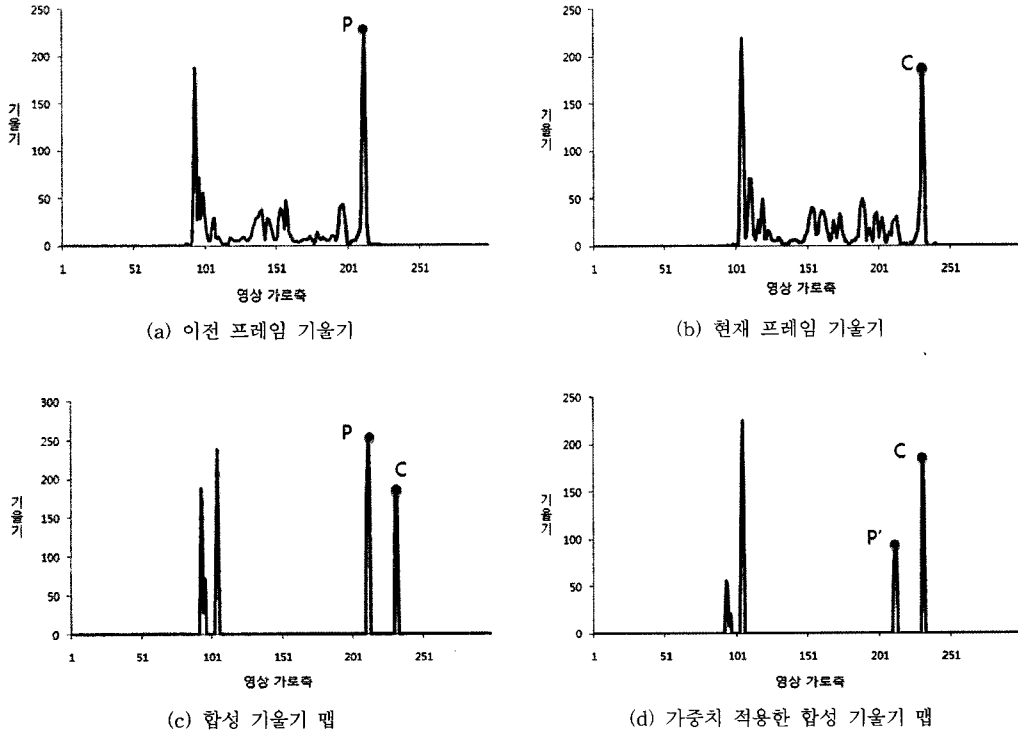


그림 5 가중치에 따른 가중 합성 기울기 맵

있게 된다. 따라서 이전 프레임에 가중치를 주어 그림 5(d)처럼 가중치를 준 이전 프레임의 기울기 정보 P'가 현재 프레임 정보 C보다 작아져 활성 외곽선이 현재 프레임의 추적하고자 하는 물체로 수렴할 수 있다.

합성 기울기 맵을 생성하여 추적하고자 하는 물체의 변위를 파악할 수 있으며, 가중치를 주어 이전 프레임의 영향력을 줄이고 추적하고자 하는 물체로 추적할 수 있다. 또한 차이 기울기 맵을 통해 배경을 제거함으로써 잡음의 영향을 받지 않고 관심 영역에 한해서 추적할 수 있다.

2.3 빠른 닫기 연산을 사용한 에너지 경사면 생성

가중 합성 기울기 맵 생성 시, 추적하고자 하는 물체의 변위가 큰 경우 지역적 최소값으로 인해 활성 외곽선이 추적하고자 하는 물체로 수렴하기 어렵다. 이러한 한계점을 해결하기 위해 닫기 연산(closing operator) [19]을 이용하여 에너지 경사면을 생성한다. 이 때, 불필요한 부분에 대한 계산 비용 낭비를 줄이기 위해 빠른 닫기 연산을 적용한다.

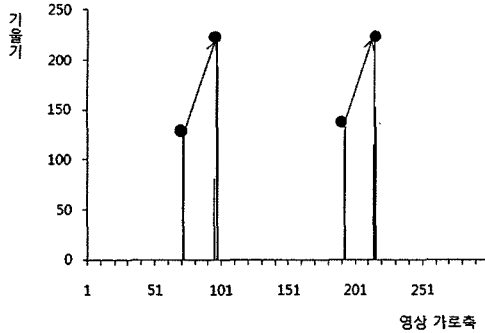
에너지 경사면을 생성하기 위한 닫기 연산은 식 (3)과 같이 확장 연산과 침식 연산을 차례로 적용한 연산으로 지역적 최소값을 갖는 영역을 그림 6(b)와 같이 부드럽게 매워줘 에너지 경사면을 생성한다.

$$C_i = G_c \bullet M = (G_c \oplus M) \ominus M \tag{3}$$

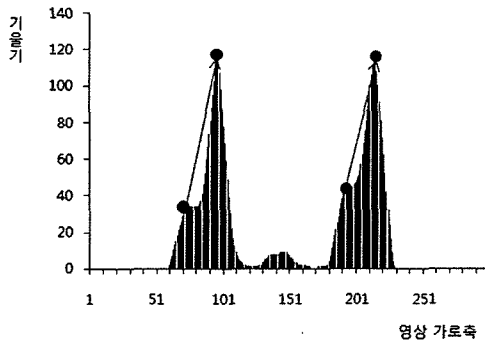
이 때, M은 닫기 연산을 위한 마스크이고, G_c는 가중 합성 기울기 맵이다. 가중 합성 기울기 맵에 확장 연산(⊕)과 침식 연산(⊖)을 차례로 수행한 닫기 연산(•)을 적용하여 에너지 경사면을 생성한다.

확장 연산을 통해 얻은 에너지가 그림 6(c)와 같이 평지의 형태로 나타나는 경우에도 활성 외곽선이 수렴할 수 있도록 평균 값 필터(average filter)[20]를 사용하여 평지를 경사지게 생성한다. 그림 6는 프레임의 임의의 한 행에 대한 기울기 그래프로 에너지 경사면 생성 전후를 비교한 결과이다. 그림 6(a)는 가중 합성 기울기 맵의 기울기 그래프이고, 그림 6(b)는 닫기 연산을 이용한 에너지 경사면의 기울기 그래프이다. 이전 프레임과 현재 프레임의 변위 사이에 기울기 정보가 부족하여 에너지를 계산하지 못하는 영역에 에너지 경사면을 생성하여 활성 외곽선이 부드럽게 이동할 수 있게 한다.

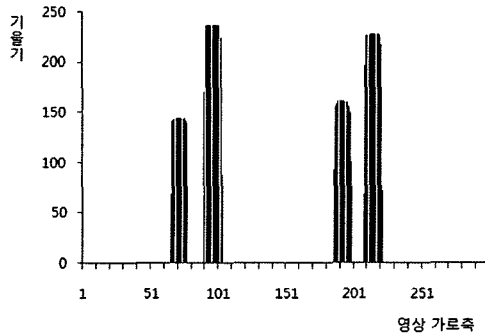
닫기 연산의 수행 속도를 빠르게 하기 위하여 제안한 빠른 닫기 연산은 크게 두 가지 개선점을 갖는다. 첫째, 닫기 연산의 적용 범위를 추적하고자하는 물체의 주변 영역으로 축소한다. 둘째, 닫기 연산 시 변위에 따른 적응적 마스크를 사용하여 계산 비용을 줄인다. 그림 7은 관심 영역에서 에너지 경사면을 생성한 결과로, 그림



(a) 가중 합성 기울기 맵 생성 시



(b) 에너지 경사면 생성 후

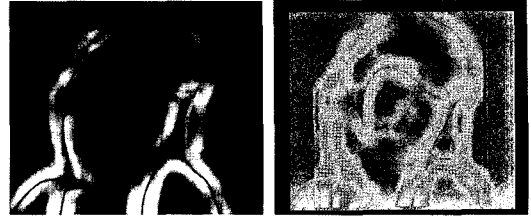


(c) 평균값 필터 적용하지 않은 경우

그림 6 단기 연산을 사용한 에너지 경사면 생성 전 후 비교

7(a)는 프레임의 전체 영역에 단기 연산을 적용한 경우이고, 그림 7(b)는 관심 영역에 빠른 단기 연산을 수행한 결과이다.

단기 연산이 전체 이미지 영역(N)에서 적용 되었을 경우보다 관심 영역(n)으로 한정되면 계산 비용은 $O(N^2)$ 에서 $O(n^2)$ 으로 줄어든다. 그림 8은 단기 연산 시 변위에 따른 적응적 마스크를 사용하는 방법으로, 마스크의 크기는 이전 프레임과 현재 프레임 사이의 변위 크기로 결정 된다. 따라서 프레임 간 변화가 작을 때는



(a) 기존 단기 연산

(b) 관심 영역 내

단기 연산 수행

그림 7 관심 영역에서 에너지 경사면 생성 결과



(a) 변위가 큰 경우 :
5×5 마스크

(b) 변위가 작은 경우 :
3×3 마스크

그림 8 적응적 단기 연산 마스크

3×3의 마스크를 사용하고 변화가 큰 경우에는 5×5의 마스크를 사용하여 계산 비용을 낮춘다.

본 절에서 제안한 에너지 경사면 생성으로 가중 합성 기울기 맵 생성 시 추적하고자 하는 물체의 변위가 큰 경우 발생하는 지역적 최소값을 부드럽게 연결하고 빠른 단기 연산을 적용함으로써, 추적하고자 하는 물체를 정확하고 빠르게 추적한다.

2.4 활성 외곽선의 에너지 계산

본 논문에서는 연속하는 프레임에서 얼굴을 추적하기 위해 활성 외곽선 모델을 사용하였다. 활성 외곽선은 얼굴 추적을 위해 매개화된 곡선으로 식 (4)[3]과 같이 표현되며 에너지를 최소화 하는 위치로 정점을 움직인다.

$$V(S) = (x(s), y(s)) \quad s \in [0,1]$$

$$E_{snake} = \int (E_{int} + E_{ext}) ds$$

$$E_{snake} = \int_0^1 (\alpha(s) |V_s|^2 + \beta(s) |V_{ss}|^2) + E_{ext}(v(s)) ds \quad (4)$$

이 때, V(s)는 활성 외곽선의 벡터이고, 물체를 추적하는 활성 외곽선의 에너지 E_{snake} 는 내부 에너지와 외부 에너지로 이루어진다. E_{int} 는 내부 에너지로 활성 외곽선의 고유 에너지를 표현하며 외곽선을 수축시키는 탄성 에너지와 부드럽게 만드는 강성 에너지의 합이고, E_{ext} 는 외부 에너지로 주로 물체의 경계를 나타내는 기울기 정보를 사용한다. 이 때, 오일러-라그랑제 방정식 (Euler-Lagrange Equation)[21]을 이용하여 활성 외곽

선의 에너지가 최소화 하는 최적의 해를 찾아 활성 외곽선의 정점을 이동시킨다.

기존 활성 외곽선 모델에서는 외부 에너지로 기술기 정보를 사용하였으나, 본 논문에서는 두 단계 합성 기술기 지형을 사용한 새로운 외부에너지를 통해 잡음에 견고하면서 빠르고 정확하게 활성 외곽선을 수렴하는 방법을 제안한다. 식 (5)는 제안방법을 통한 활성 외곽선

에너지 식으로 최소화하는 최적의 해를 구하고 활성 외곽선의 정점들을 이동시키는 과정을 반복적으로 수행하여 활성 외곽선을 수렴한다.

$$E_{snake} = \int (E_{int} + E_{comp}) ds$$

$$E_{snake} = \int \frac{1}{2} (\alpha(s) |V_s|^2 + \beta(s) |V_{ss}|^2) + E_{comp}(v(s)) ds \quad (5)$$



(a) 배경이 없는 영상에서의 프레임 별 자동 얼굴 추적 결과



(b) 배경이 있는 영상에서의 프레임 별 자동 얼굴 추적 결과

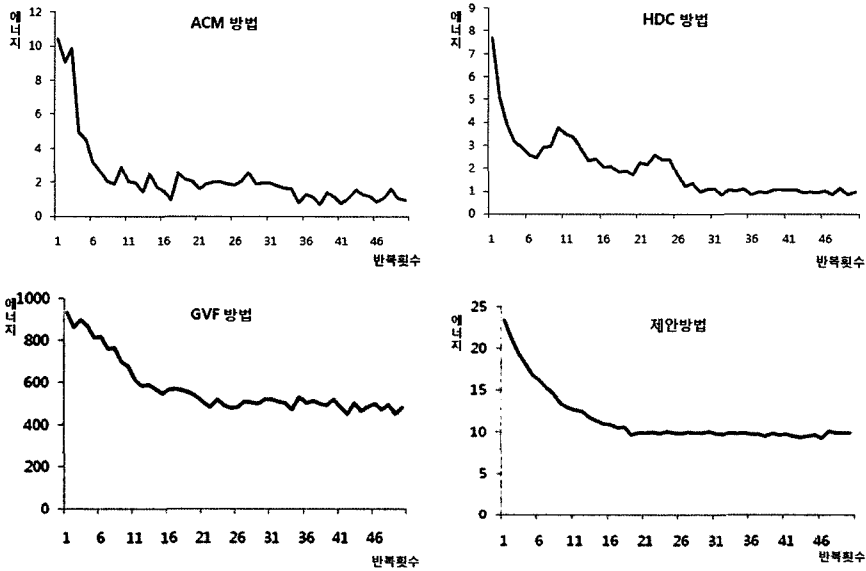
그림 9 기존 방법과 제안방법 간 육안평가 결과

이 때, E_{int} 는 강성 에너지와 탄성 에너지로 이루어진 내부 에너지를 의미하고, E_{comp} 는 제안방법으로 생성한 두 단계 합성 기술기 지형의 에너지를 의미한다.

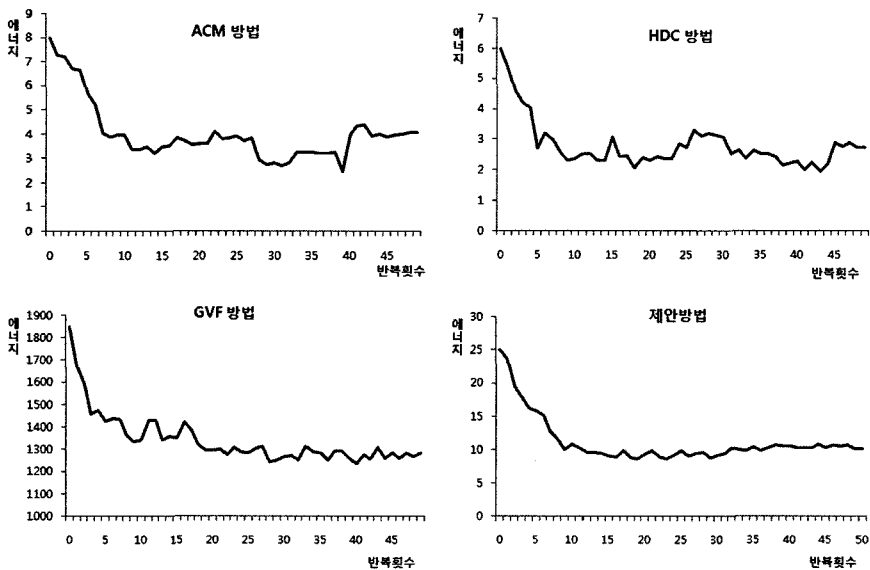
3. 실험 및 결과 분석

본 실험은 인텔 코어2듀어 6600 2.4GHz CPU에

3.0GB 메모리를 장착한 PC에서 수행하였다. 실험 영상은 배경이 없는 영상과 배경이 복잡한 영상으로 추적하고자 하는 물체의 이동 변위가 크고 얼굴의 정면과 측면 등의 다양한 변형을 갖는 영상을 사용하며, 크기는 300×250 픽셀의 해상도를 갖고, 각 영상은 5개 프레임으로 구성된다. 실험에 대한 평가는 기존에 연구된 방법



(a) 배경이 없는 영상의 활성 외곽선 에너지 수렴 결과



(b) 배경이 있는 영상의 활성 외곽선 에너지 수렴 결과

그림 10 기존 방법과 제안 방법의 활성 외곽선 에너지 수렴 결과

과 제안 방법을 적용한 결과에 대한 육안 평가와 평균 에너지 변화 측정을 통한 견고성 평가 및 수행 시간으로 분석한다.

그림 9는 육안 평가를 위해 기존에 연구된 ACM[3], HDC[7], GVF[10] 방법과 본 논문의 제안방법을 적용한 프레임별 결과로 그림 9(a)의 배경이 없는 영상과 그림 9(b)의 복잡한 배경이 있는 영상을 사용한다. 반복 횟수는 200회로 동일하게 적용하고 활성 외곽선이 수렴되면 반복을 중단 하고 다음 프레임을 수행하도록 하였다. 그림 9(a)와 (b)의 ACM과 HDC방법은 활성 외곽선이 추적하고자 하는 물체에서 멀리 떨어져 있는 경우 활성 외곽선을 끌어당기는 에너지를 받지 못하기 때문에 추적하고자 하는 물체의 오목한 형태를 갖는 부분과 이동 변위가 큰 경우 추적하지 못하는 결과를 보였다. 반면 GVF 방법은 그림 9(a)의 배경이 없는 영상에서는 활성 외곽선을 끌어당기는 에너지를 전체이미지로 확장 시킴으로써 오목한 형태를 갖는 부분과 이동 변위가 큰 경우에도 정확하게 추적하였으나, 그림 9(b)의 배경이 복잡한 영상에서는 잡음에 견고하지 않아 배경이 갖는 지역적 최소값에 빠지는 것을 볼 수 있었다. 제안방법의 경우, 배경이 없는 영상과 복잡한 배경이 있는 두 영상에서 배경 및 잡음의 영향을 받지 않았고 이동 범위가 큰 영역에서도 정확하게 추적하였다.

그림 10은 견고성 평가를 위한 기존 방법과 제안방법의 평균 에너지 변화 그래프로 그림 10(a)의 배경이 없는 영상과 그림 10(b)의 배경이 있는 영상의 활성 외곽선 에너지가 수렴하는 과정을 보여준다. ACM 방법의 경우, 활성 외곽선의 수렴이 느리고 에너지가 불안정 하여 지역적 최소값에 수렴되기 쉬우며, HDC 방법은 다중 해상도 기법으로 에너지 포착 범위를 넓힘으로써 ACM에 비해 부드럽게 수렴하지만, 낮은 해상도의 오류가 높은 해상도로 전달되는 불안전성으로 인한 지역적 오류에 빠질 수 있다. GVF 방법은 에너지의 진동 현상이 작게 나타나기 때문에 활성 외곽선이 ACM과 HDC 방법보다 견고하게 수렴하지만, 그림 10(b)와 같이 배경

이 있는 경우 배경에 따른 지역적 최소값에 빠지기 쉽다. 반면 제안방법은 에너지 비탈면 생성을 통해 부드럽게 수렴하며 에너지의 진동 현상 없이 견고하게 수렴할 뿐만 아니라 또한 배경의 영향을 받지 않아 안정적으로 수렴한다.

표 1은 각 방법에 대한 수행 시간을 측정하여 비교한 결과이다. 수행 시간은 활성 외곽선 수렴을 위한 지형 생성 시간과 각 프레임에서 활성 외곽선이 수렴되는 시간으로 측정하였다. ACM 방법은 지형 생성 시 기울기 맵 생성을 위한 비용만 들기 때문에 지형을 빠르게 생성하지만, 활성 외곽선이 추적하고자 하는 물체에서 멀리 떨어져 있을 경우 활성 외곽선이 작은 에너지를 받기 때문에 많은 수렴 시간을 필요로 한다. HDC 방법은 지형 생성 시 다중 해상도의 피라미드 영상을 만들기 위한 추가적인 시간이 소요 되었으나, 활성 외곽선의 포착 범위가 넓기 때문에 활성 외곽선이 ACM 방법보다 약 2배 정도 빠르게 수렴함을 볼 수 있었다. GVF 방법은 활성 외곽선 포착 범위를 확산시키기 위해 영상 전체에 에너지를 계산 하므로 ACM과 HDC 방법에 비해 약 20배에 가까운 시간이 소요되었고, 활성 외곽선을 끌어당기는 에너지가 안정적이므로 ACM 방법보다 약 0.6 초 정도 빠르게 수렴하였다. 제안 방법은 두 단계 해상도를 통해 에너지 계산 영역을 확장함으로써 활성 외곽선이 기존 방법들에 비해 평균 1.5배 빠르게 수렴하였고, 빠른 단기 연산을 통해 계산 비용을 줄임으로써 GVF 보다 약 8배 정도 빠르게 지형을 생성하였으며, 전체 수행시간은 약 5배 정도 빠르게 수행하였다. 이때, 표 1의 제안방법 중 기존 단기 연산을 적용한 결과는 5x5의 일정한 크기의 마스크로 프레임 전체에 적용하여 계산 비용이 많이 들기 때문에 지형 생성 시 많은 시간을 필요로 하는 한계점이 있다. 빠른 단기 연산은 추적하고자 하는 물체의 변위 정보를 이용하여 자동으로 마스크의 크기를 산출하고 적용범위를 관심 영역으로 한정하여 기존 단기 연산의 한계점을 보완함으로써, 계산 비용을 약 1/5 정도 줄일 수 있었다.

표 1 기존 방법과 제안방법 간 수행 시간 평가.

(단위 : 초)

방법	실험 영상	배경 없는 영상			배경 있는 영상		
		지형생성	활성 외곽선 수렴	수행시간	지형생성	활성 외곽선 수렴	수행시간
ACM 방법		0.11	1.90	2.01	0.12	1.91	2.03
HDC 방법		0.26	0.98	1.24	0.26	0.99	1.25
GVF 방법		4.02	1.02	5.04	4.02	1.41	5.43
제안방법 (기존 단기 연산)		2.25	0.98	3.23	2.27	1.01	3.28
제안방법 (빠른 단기 연산)		0.54	0.97	1.51	0.55	1.00	1.55

4. 결론

본 논문에서는 배경의 잡음에 영향을 받지 않으면서 얼굴의 큰 움직임을 빠르고 정확하게 추적하게 하기 위해 두 단계 합성 기울기 지형을 이용한 추적 방법을 제안한다. 이를 위해 첫째, 두 단계 해상도를 갖는 기울기 맵을 생성하여 잡음에 견고하면서 활성 외곽선이 빠르게 추적하게 하였고, 둘째, 이전 프레임과 현재 프레임의 합성 기울기 맵과 차별 마스크를 산정하여 기중 합성 기울기 맵을 구성함으로써, 배경의 영향을 제거하고 움직임이 큰 경우에도 정확하게 추적 하였다. 셋째, 단기 연산을 이용한 에너지 경사면을 생성하여, 활성 외곽선이 지역적 최소값에 빠지는 문제를 해결하였다. 이때, 계산 비용이 많이 드는 단기 연산은 추적하고자 하는 얼굴의 변위를 이용하여 자동으로 마스크를 산정하고, 관심 영역에서만 단기 연산을 적용함으로써 계산 비용을 줄였다. 제안방법을 평가하기 위하여 배경이 복잡하고 움직임 변위가 큰 연속 영상과 배경이 없는 영상을 사용하여 실험하였고, 기존 활성 외곽선 모델 기반 방법들과 비교하여 정확성과 견고성 그리고 수행시간을 분석하였다. 육안 평가 결과 제안방법은 기존 활성 외곽선 모델 기반 방법들에 비해 배경의 영향을 받지 않으면서 추적하고자 하는 물체를 정확하게 추적하였다. 또한, 배경이 없는 영상에서 정확하게 수렴하지만 복잡한 배경의 영상에서 정확성이 떨어지는 GVF 방법에 비해 제안방법은 배경에 상관없이 추적하고자 하는 물체를 정확하게 추적하였다. 견고성 평가 결과 기존 활성 외곽선 모델 기반 방법들은 복잡한 배경 및 잡음의 영향으로 활성 외곽선의 수렴 시간에 영향을 주었지만, 제안방법은 배경 및 잡음의 영향을 최소화함으로써 견고하게 수렴하였다. 수행 시간 평가 결과 제안 방법의 수행시간은 1.5초로 두 단계 해상도와 빠른 단기 연산을 적용함으로써 ACM 방법 2.01초 GVF 방법 5.04초 보다 빠르게 수행하였다. 본 제안방법은 기존 활성 외곽선 모델 기반 방법으로는 추적 할 수 없었던 추적하고자 하는 물체의 변위가 크고 복잡한 배경을 가지는 영상에서 빠르고 정확하게 추적하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Kass, A. Witkin, D. Terzopoulos, "Snakes: active contour models," *Int. J. Computer Vision*, vol.1, pp.321-331, 1988.
- [2] Won K., SunGi H., Jujung L., "An Active Contour Model using Image Flow for Tracking a Moving Object," *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on*, vol.1, pp.216-221, 1999.
- [3] M. Pardas, E. Sayrol, "Motion Estimation based Tracking of Active Contours," *Pattern Recognition Letters* 22, pp.1447-1456, 2001.
- [4] Bing, X. Wei, Y. Charoensak, C., "Face Contour Tracking in Video using Active Contour Model," *Image Processing, International Conference on Image Processing(ICIP)*, vol.2, pp.1024-1024, 2004.
- [5] J.H. Lee, H.G. Oh, H.Hong, "Active Contour Model for Object Tracking with Large Motion Displacement," *Korea Computer Congress*, vol.33, pp.464-469, 2006.
- [6] Leymarie, F.; Levine, M.D., "Tracking Deformable Object in the Plane Using an Active Contour Model," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol.15, no.6, pp.617-634, 1993.
- [7] J.M. Ogden, E.H.Adelson, J R. Bergen, P.J Burt, "Pyramid-based Computer Graphics," *RCA Engineer*, vol.30(5), pp.4-15, 1985.
- [8] Peter j. Burt, Edward H. Andelson, "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code," *IEEE Transactions on Communications*, vol. Com-31, no. 4, 1983.
- [9] Chenyang Xu, Prince, J.L., "Gradient Vector Flow: A New External Force for Snakes," *Computer Vision and Pattern Recognition, Proceedings, IEEE Computer Society Conference on*, pp. 66-71, 1997.
- [10] P.K.Biswas, Madhukar Pandit, "Opti-GVF Snake Model For Face Segmentation from Video Sequences," *Proceedings of the Third Indian Conference on Computer Vision, Graphics Image Processing (ICVGIP)*, 2002.
- [11] M.Vatsa, R.Singh, P.Gupta, "Face Detection Using Gradient Vector Flow," *Proceedings of the Second International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, 2005.
- [12] Xia Siyu, Li Jiuxian, Xia Liangzheng, "Robust Face Tracking Using Self-Skin Color Segmentation," *International Conference on Signal Processing Proceedings (ICSP)*, 2006.
- [13] Iraj, R. Manzuri-Shalmani, M.T. Jamalian, A.H. Sefidpour, A.R., "A Real Time Color Independent Method for Multiple Face Tracking," *Cognitive Informatics, 6th IEEE International Conference on*, pp.99-105, 2007.
- [14] Yanjiang Wang, Baodi Liu, Wuli Wang, "Human Face Tracking with Adaptive Facial Orientation Template by Mean Shift Alogorithm," *Signal Processing, 2006 8th International Conference on*, vol.3, 2007.
- [15] R.C.Gonzalez, R.E. Woods, Digital Image Processing, Prentice Hall(2002) pp.136, 578-584.
- [16] Petrovic, V.S. Xydeas, C.S., "Gradient-based multi-resolution image fusion," *Image Processing, IEEE Transactions on*, vol.13, issue.2, pp.228-237, 2004.
- [17] Patton, Ron, Brzakovic, Dragana, "Rule based composite gradient edge operator," *Proceedings of*

the Meeting, Orlando, 1987(A88-44528 18-35). *Society of Photo-Optical Instrumentation Engineers*, pp.122-129, 1987.

- [18] Bernd Girod, Charles A. Bouman, Eckehard G. Steinbach, "Video object extraction based on adaptive background and statistical change detection," *Proceeding of Society of Photographic Instrumentation Engineers (SPIE)*, vol.4310, 2003.
- [19] R.C.Gonzalez, R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall (2002), 550-551.
- [20] R.C.Gonzalez, R.E. Woods, *Digital Image Processing*, Prentice Hall (2002), 119, 231, 581.
- [21] Morse, P. M. and Feshbach, H. "The Variational Integral and the Euler Equations," *Methods of Theoretical Physics*, pp.276-280, 1953.



김 수 경

2004년 3월~2008년 2월 서울여자대학교 멀티미디어학과 학사. 2008년 3월~현재 서울여자대학교 대학원 컴퓨터학과 석사과정. 관심분야는 영상분할, 의료영상처리, 컴퓨터 그래픽스



장 유 진

2003년 3월~2007년 2월 서울여자대학교 멀티미디어통신공학 학사. 2007년 3월~2009년 2월 서울여자대학교 대학원 컴퓨터학과 석사. 2009년 3월~현재 서울여자대학교 대학원 컴퓨터학과 박사과정. 관심분야는 의료영상처리, 컴퓨터 비전



홍 헬 렌

1994년 2월 이화여자대학교 전자계산학과 학사. 1996년 2월 이화여자대학교 전자계산학과 석사. 2001년 8월 이화여자대학교 컴퓨터학과 박사. 2001년 9월~2003년 7월 서울대학교 컴퓨터공학부 BK 박사후연구원. 2002년 12월~2003년 4월 (주)인피니트테크놀로지 책임연구원. 2003년 8월~2006년 2월 서울대학교 컴퓨터공학부 BK 계약조교수. 2006년 3월~2008년 2월 서울여자대학교 미디어학부 전임강사. 2008년 3월~현재 서울여자대학교 미디어학부 조교수. 관심분야는 의료영상처리, 영상매칭, 컴퓨터 그래픽스, 가상증강현실, HCI