

Active Contours를 사용한 얼굴 검출

정도준*, 장재식*, 박세현**, 김향준*

*경북대학교 컴퓨터공학과

**조선대학교 컴퓨터공학과

Face Detection Using Active Contours

Do-Joon Jung*, Jae-Sik Chang*, Se-Hyun Park**, Hang-Joon Kim*

* Dept. of Computer Engineering, Kyungpook National University

** Dept. of Computer Engineering, Chosun University

E-mail: * {djjung, jschang, kimhj}@ailab.knu.ac.kr

** sehyun@chosun.ac.kr

요 약

본 논문에서는 주어진 입력 이미지에서 얼굴 영역을 검출하기 위한 액티브 컨투어 모델(active contour models)을 제안한다. 제안한 모델은 스킨 칼라 모델(skin color model)에 의해 표현되는 사람 얼굴의 칼라 정보를 이용한다. 본 논문에서는 첨점(cusps), 모서리 (corners), 그리고 자동 위상 변화(automatic topological changes)를 고려한 레벨 셋 메소드(level set method)를 사용하여 액티브 컨투어를 진화 시킨다. 실험 결과는 제안한 방법이 얼굴 영역 검출에 효과가 있음을 보여준다.

1. 서론

사람 얼굴을 자동으로 인식하는 것은 비디오 컨퍼런스(video conference)나 보안 시스템과 같은 응용분야에서 매우 중요하게 여겨져 왔다. 얼굴 영역 검출은 완전히 자동으로 사람 얼굴을 인식하고자 하는 인식기의 구현에 있어서 가장 중요한 단계이므로 흥미 있는 것이다. 최근까지 많은 연구자들이 이미지에 나타난 사람 얼굴을 검출하고자 할 때 사람 얼굴의 스킨-칼라(skin-colors)의 특징을 나타내는 확률적 모델을 사용하여 왔다[6]. 본 논문에서는 [1]에서 소개된

"액티브 컨투어 모델"로 잘 알려진 deformable model에 의해 하나 혹은 여러 개의 얼굴 영역의 윤곽선을 검출하는데 초점을 맞춘다. 커브(curve)를 따라 에너지 함수를 최소화하는 방향으로 커브를 진화시키는 액티브 컨투어 모델(스네이크스(snakes)라고도 함)은 주어진 이미지에서 물체의 윤곽선을 검출 하는데 널리 사용되고 있다[1][2][3]. 액티브 컨투어 모델의 목적은 에너지의 감소 과정을 반복 수행 함으로써 영상 내에서 찾고자 하는 영역의 윤곽선을 검출하는 것이다. 이 방법은 초기 컨투어를 사용자에게 입력 받는 세미-오토메틱(Semi-automatic)한 영상 분할 방법이다. 액티브 컨투어는 에너지 함수를 최소화하

는 방향으로 진화 하므로, 커브(혹은 스네이크)는 내부 법선 방향으로 움직이다가 물체의 경계에서 정지한다[2]. R 을 실수(real value), $I(x,y) = R$ 을 주어진 이미지, $C(p) = \{x(p), y(p)\}$ 를 파라미터로 나타내어진 커브(parameterized curve), (x, y) 를 이미지의 좌표, $p \in [0,1]$ 를 임의의 변수라 하면 에너지 함수는 아래와 같이 표현된다.

$$E = \alpha \int_0^1 |C'(p)|^2 dp + \beta \int_0^1 |C''(p)| dp - \lambda \int_0^1 |\nabla I(x(p), y(p))|^2 dp,$$

커브 진화의 문제에서 Osher-Sethian[5]이 제안한 레벨 셋 메소드가 널리 쓰여져 왔다. ϕ 가 레벨 함수일 때 C 는 다음과 같이 zero level set으로 표현되고,

$$C = \{(x, y) : \phi(x, y) = 0\}$$

C 를 속도 F 만큼 법선 방향으로 진화 시키는 것은 주어진 편미분 방정식을 푸는 것과 같다[5].

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = |\nabla \phi| F, \quad \phi(0, x, y) = \phi_0(x, y),$$

이때, 집합 $\{(x, y) | \phi_0(x, y) = 0\}$ 은 초기 컨투어를 나타낸다. 이 방정식은 고정된 x, y 좌표계 위에서 커브의 진화를 가능하게 한다. 레벨 셋에 기반한 많은 다른 액티브 컨투어 모델이 제안되었다[2].

본 논문에서는 주어진 입력 이미지에서 얼굴 영역을 검출하기 위한 액티브 컨투어 모델을 제안한다. 제안한 모델은 스킨 칼라 모델에 의해 표현되는 사람 얼굴의 칼라 정보를 사용하고 레벨 셋 메소드를 사용하여 액티브 컨투어를 진화 시킨다. 실험 결과는 제안한 방법이 얼굴 영역 검출에 효과가 있음을 보여준다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 제안된 방법에 사용된 스킨 칼라 모델, 에너지 함수, 레벨 셋 메소드 그리고 제안된 방법의 개략적인 구성에 대해 설명하고, 3절에서는 실험 결과를 보여주고, 마지막 4절에는 결론이 이어진다.

2. 제안된 방법

2.1 스킨 칼라 모델(Skin Color Model)

스킨 칼라로 얼굴 영역을 검출하는 것은 얼굴을 검출하고 추적하는 일에 있어서 신뢰할 수 있는 방법이다. 대부분의 비디오 카메라에서는 입력 영상을 RGB공간의 칼라(color)로 표현한다. 그 RGB공간은 칼라 뿐만 아니라 밝기도 표현하게 되므로 스킨 칼라로 얼굴 영역을 검출하기 위한 좋은 칼라 표현은 아니다[6]. 그러나, 이미지의 밝기(brightness)는 칼라 픽셀의 세가지 구성요소(R, G, B)를 각각 밝기값(intensity)으로 나눔으로써 제거할 수 있다. 칼라에서 밝기가 제거된 이 영역에서 두 가지 구성요소(r, g)는 밝기가 표준화된 색깔 벡터인 색채(chromatic) 칼라로 알려져 있다. 사람 얼굴의 칼라 분포는 색채 공간의 작은 영역에서 군집을 이루고, 2D 가우시안(2D-Gaussian) 분포로 근사화 될 수 있다[6]. 따라서 스킨 칼라 모델은 색채 칼라 공간(Chromatic color space)에서 얼굴 피부 색깔의 r, g 성분이 2D 가우시안 모델을 따른다고 가정하고 근사화 시킨 모델이며 아래와 같이 표현된다.

$$r = \frac{R}{r+g+b}, \quad g = \frac{G}{r+g+b}$$

$$N(m, \Sigma^2), \text{ where } m = (\bar{r}, \bar{g})$$

$$\bar{r} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S r_i, \quad \bar{g} = \frac{1}{S} \sum_{i=1}^S g_i, \text{ and } \Sigma = \begin{bmatrix} \sigma_r^2 & \rho_{x,y} \sigma_r \sigma_g \\ \rho_{x,y} \sigma_r \sigma_g & \sigma_g^2 \end{bmatrix}$$

2.2 에너지 함수

액티브 컨투어 모델은 에너지 함수를 사용하여 정의 되는데, 이 에너지 함수를 최소화하는 과정을 통하여 액티브 컨투어 모델이 물체의 윤곽선으로 수렴하도록 한다. 본 논문에서 제안된 액티브 컨투어 모델의 에너지 함수는 다음과 같이 주어진다.

$$E(\bar{r}, \bar{g}, c, C) = \mu \cdot \text{Length}(C) + \nu \cdot \text{Area}(i)$$

$$+ \lambda_1 \int_{\text{inside}(C)} (|\bar{r} - r(x, y)|^2 + |\bar{g} - g(x, y)|^2) dx dy$$

$$+ \lambda_2 \int_{\text{outside}(C)} |I(x, y) - c|^2 dx dy$$

$\mu, \nu, \lambda_1, \lambda_2$ 는 상수이고, c 는 컨투어 C 의 바깥부분에

대한 밝기의 평균이고, $inside(C)$ 와 $outside(C)$ 는 각각 C 의 안쪽과 바깥부분을 의미한다.

2.3 레벨 셋 메소드

레벨 셋 메소드는 동적으로 변화하는 곡선과 곡면을 근사화 하기 위한 수리적인 방법(numerical algorithms)이다. 이 방법을 사용하면 곡선의 변화량을 알고 있을 때 변화하는 곡선의 진화를 추론할 수 있다. $N-1$ 차원의 임의 레벨의 곡면 λ 가 시간이 지남에 따라 법선 방향으로 곡률에 의한 속도 F 로 움직일 때 이동하는 곡면들의 전체 집합 $\lambda(t)$ 에 대해 N 차원 공간상에서 associated Euler-Lagrange 식으로 나타낸 것이 레벨 셋 방정식이다[5].

본 논문에서 컨투어는 레벨 셋 함수인 ϕ 의 zero level set으로 나타내어진다.

$$\begin{cases} C = \{(x, y) : \phi(x, y) = 0\}, \\ C_{inside} = \{(x, y) : \phi(x, y) > 0\}, \\ C_{outside} = \{(x, y) : \phi(x, y) < 0\}. \end{cases}$$

2차원 폐곡선인 zero level set(C)의 시간에 따른 모양을 나타내기 위해, 레벨 셋 함수를 3차원 함수인 ϕ 로 두면(즉, $C = \lambda_{\phi=0}$) 어떤 임의의 시각 t 에서 곡선의 현재 진행된 모습은 $\phi = 0$ 가 되는 부분을 구하면 알 수 있다. 따라서 에너지는 변수 C 가 ϕ 로 교체되어지는 레벨 셋 공식으로 표현될 수 있다.

$$\begin{aligned} E(\bar{r}, \bar{g}, c, \phi) &= \mu \int_0^{M-1} \int_0^{N-1} \delta(\phi(x, y)) |\nabla \phi(x, y)| dx dy \\ &+ \nu \int_0^{M-1} \int_0^{N-1} H(\phi(x, y)) dx dy \\ &+ \lambda_1 \int_0^{M-1} \int_0^{N-1} (|\bar{r} - r(x, y)|^2 \\ &\quad + |\bar{g} - g(x, y)|^2) H(\phi(x, y)) dx dy \\ &+ \lambda_2 \int_0^{M-1} \int_0^{N-1} |I(x, y) - c|^2 (1 - H(\phi(x, y))) dx dy, \end{aligned}$$

$N * M$ 은 주어진 이미지의 크기이고, $H(j)$ 는 Heaviside 함수이며, (j) 는 dirac delta 함수이다. 상세한 내용은 [2]를 참조하기 바란다.

$$H(j) = \begin{cases} 1, & \text{if } j \geq 0 \\ 0, & \text{if } j < 0 \end{cases}, \quad \delta(j) = \frac{d}{dj} H(j)$$

함수 ϕ 를 위한 associated Euler Lagrange 식을 계산하기 위해, 함수 H 와 δ 의 보다 일반화된 형태인 $H_r(j) = \arctan(j)$ 와 $\delta_r(j) = 1 / (1 + j^2)$ 을 사용한다. associated Euler-Lagrange식은 아래와 같이 유도될 수 있다.

$$\frac{\partial \phi}{\partial t} = \delta_r \left[\mu \operatorname{div} \left(\frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} \right) - \nu - \lambda_1 \{ (\bar{r} - r)^2 + (\bar{g} - g)^2 \} + \lambda_2 (I - c)^2 \right]. \quad (1)$$

2.4 구현

본 논문에서는 주어진 입력 이미지에서 얼굴 영역을 검출하기 위하여 다음과 같은 방법으로 알고리즘을 구현하였다.

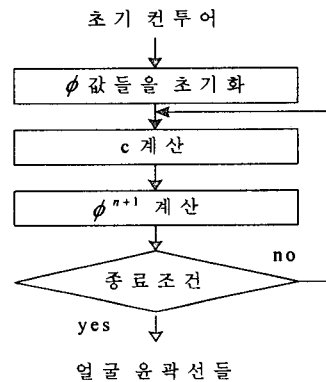


그림 1. 구현된 알고리즘의 블록 다이어그램

1. 컨투어를 입력 받아 zero level set으로 초기화한다. $n=0$
2. 컨투어 외부 픽셀들의 밝기값 평균인 c 를 계산한다.
3. (1)의 PDE를 계산하여 ϕ^{n+1} 을 구한다.

$$\phi^{n+1} = \phi^n + \frac{\partial \phi}{\partial t}$$

4. 종료 조건을 만족할 때 까지 단계 1, 2, 3을 반

복한다.

종료 조건은 컨투어 내부에 속하는 픽셀의 개수의 변화가 threshold 보다 작은 경우이다.

3. 실험결과

제안된 방법은 펜티엄 4 시스템에서 Visual C++ 6.0 으로 구현되었고 얼굴 영역이 포함되어진 200개의 칼라 이미지에 대해서 실험하였다. 우리는 200개의 샘플 이미지로부터 스킨 칼라 모델의 평균과 공분산 행렬을 구하였다. 표 1.은 스킨 칼라 모델의 파라미터를 보여준다. 모델이 단지 여섯개의 파라미터를 가지기 때문에 다른 사람이나 빛의 조건에 대해 쉽게 추정하고 적용할 수 있다.

표 1. 2D-가우시안 파라미터들

Parameters	Values
\bar{r}	117.588
\bar{g}	79.064
σ_r^2	24.132
$\rho_{x,y}\sigma_r\sigma_g$	-10.085
$\rho_{x,y}\sigma_r\sigma_g$	-10.085
σ_g^2	8.748

실험에서 $\mu_r = 1$, $\mu_g = 0$, $\sigma_r = 5$, $\sigma_g = 1$ 의 파라미터 값을 사용하였다. 그림 2.는 하나의 얼굴이 나타난 이미지에 대해서 제안된 액티브 컨투어 모델의 진화과정을 보여준다. (a)는 입력 이미지에서 사용자로부터 입력된 초기 컨투어를 나타낸 것이며, (b)-(c)는 iteration이 진행되면서 컨투어가 진화하는 모양을 나타낸 것이다. 컨투어의 진화는 iteration이 24번 수행되었을 때((f)) 종료 조건을 만족하였으며, 그 때 컨투어는 원하는 얼굴 영역의 경계면에서 정지하였다. 종료 조건의 threshold는 10으로 하였다.

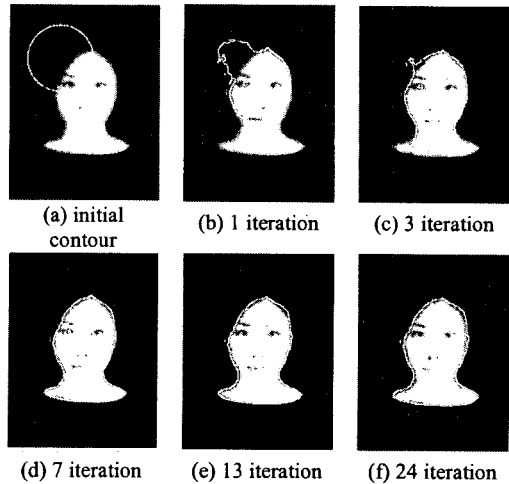


그림 2. 액티브 컨투어의 진화 과정.

$$\text{초기 } \theta = 38 - [(x-58)^2 + (y-61)^2]^{1/2}$$

영상에서 한 개 이상의 얼굴 영역을 포함하는 경우가 빈번히 발생한다. 이때 영상에 포함된 여러 개의 얼굴 영역을 모두 검출 해야 할 경우가 있다. 그림 3.은 2개의 얼굴 영역을 검출하는 과정을 보여줌으로써 제안된 방법이 얼굴 영역의 개수에 독립적으로 동작함을 보여주고 있다. 종료 조건의 threshold는 0으로 하였다.

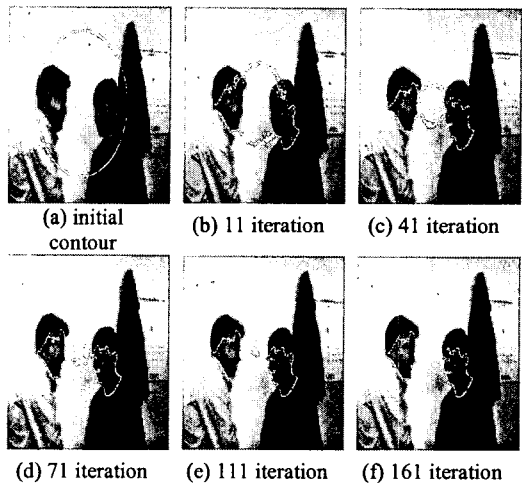


그림 3. 두개의 얼굴이 나타난 이미지에서 액티브 컨투어의 진화 과정. 초기 $\theta = 83 - [(x-135)^2 + (y-111)^2]^{1/2}$

제안된 방법에서는 얼굴의 색상 정보와 밝기 정보를 이용하여 얼굴 영역을 검출 하였다. 실험 결과, 배경이 얼굴과 유사한 색상을 포함하거나 얼굴 영역의 조명이 고르지 않은 경우에 오류가 발생 하였다. 보다 좋은 결과를 위해서 얼굴의 모양, 질감, 이목구비의 위치 정보와 같은 얼굴에 대한 사전 정보를 추가적으로 사용해야 할 것이다.

4. 결론

본 논문에서는 주어진 이미지에서 사람의 얼굴을 검출하기 위한 액티브 컨투어 모델을 제안하였다. 얼굴 영역을 검출하기 위해서 스킨 칼라 모델을 레벨 셋 메소드에 기반한 액티브 컨투어 모델과 결합하였다. 제안된 방법은 복잡한 배경을 가진 이미지에서도 여러 개의 사람 얼굴을 검출할 수 있었다. 실험 결과는 제안된 방법이 얼굴 영역 검출에 효과가 있음을 보여준다.

[참고문헌]

- [1] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: Active contour models," *Int. J. Comput. Vis.*, vol. 1, pp.321-331, 1988.
- [2] Tony F. Chan, and A.Vese, "Active Contours Without Edges," *IEEE Transactions On Image Processing*, vol. 10, No. 2, pp.266-277, 2001
- [3] W. N. Lie, C. H. Chuang, "Fast and accurate snake model for object contours detection," *IEE Letters*, vol. 37, No. 10, pp.624-626, 2001
- [4] R. Goldenberg, R Kimmel, E Rivlin, and M Rudzsky, "Fast Geodesic Active Contours," *IEEE Transactions On Image Processing*, vol. 10, No. 10, pp.1467-1475, 2001
- [5] S. Osher and J. A. Sethian, "Fronts propagating with curvature-dependent speed: Algorithms based on Hamilton-Jacobi Formulation," *J.Comput. Phys.*, vol. 79, pp.12-49, 1988.
- [6] J. Yang, A. Waibel, " A real-time face tracker,"

- Proceedings of the Third IEEE Workshop on Applications of Computer Vision, Sarasota, Florida, 1996, pp.142-147 ("Tracking Human Faces in Real-Time," Technical Report, CMU-CS-95-210, 1995).
- [7] O. Amadieu, E. Debreuve, M. Barlaud, G. Aubert, "Inward and Outward Curve Evolution Using Level Set Method", Proc. IEEE ICIP, Vol. 3, pp. 188-192, October 1999