

# 활성 윤곽선 모델의 영상 에너지 제어를 위한 개선된 영상 필터

강 종욱\*, 최 경민\*, 박 용희\*, 선 병호\*\*, 김 태균\*

\*충남대학교 컴퓨터공학과

\*\*공주전문대학 산업영상과

The improved image filter for the purpose of controlling the image energy  
in the Active Contour Model

Joung-Wuk Kang\*, Kyung-Min Choi\*, Yong-Hee Park\*, Byeong-Ho Jeon\*\*, Tae-Kyun Kim\*

\*Dept. of Computer Engineering, Chungnam National University

\*\*Dept. of Visual Industry, Kongju National Junior College

## 요약

활성 윤곽선 모델(Active Contour Model : Snake)을 이용한 윤곽선 추출에서는 물체를 검출하기 위해 잠재적 표면(potential surface) 위에서 지역 최소치를 향하여 다양한 힘을 가짐으로써 물체의 윤곽선으로 활성 윤곽선 모델을 움직이게 한다. 활성 윤곽선 모델에서 영상의 관심있는 물체를 검출하기 위해서는 영상의 잠재적 표면 위에서 활성 윤곽선 모델이 지역 최소치를 향하여 활동적으로 움직이도록 다양한 힘을 효과적으로 재어해야 한다. 본 논문에서는 활성 윤곽선 모델이 적합한 지역 최소치를 향하여 적절하게 수렴하도록 활성 윤곽선 모델이 움직이는 잠재적 표면을 변형할 수 있는 영상 필터를 제안한다.

## 1. 서론

컴퓨터 비전 분야에서 물체를 추출하기 위해 윤곽선을 검출하거나 영역을 분리하는 것은 핵심적인 분야로 많은 연구가 이루어져 왔으며 윤곽선 추출이나 동영상 추적, 입체 영상 매칭 같은 하위 주제의 작업들이 고립된 상당수 방법으로 생각되어 왔다.

활성 윤곽선 모델은 상위 수준의 프로세서가 사용할 수 있는 몇 개의 대안을 포함한 지역 최소치를 계산해 내는 에너지 함수를 사용하여 에너지 최소화 함수를 구현한다[1][2][3][4][5]. Kass[1]는 상위 수준과 하위 수준 사이의 대화식 방법을 사용하여 지역 최소치의 수가 적고 시작점에 자유로운 효과적인 에너지 함수를 개발하였다. Amini[2]는 동적 프로그래밍에 기초한 개별적 에너지 최소화 모델을 제안하였지만 많은 계산량과 기억 공간을 필요로 한다. Cohen[4]은 다른 접근을 시도하였다. 영상에 평가한 일부 제약 에너지를 기초로 지역 최소치에 점진적으로 접근해가는 풍차 모델(Balloon Model)을 제안하여 2-D, 3-D 영상에 적용하였다. Leymarie[3]는 에너지 함수의 상호 훈련을 상세히 정의하고, 비정형 물체의 2-D 동영상 추적에 적용하였다.

이상과 같이 활성 윤곽선 모델은 대화식 윤곽선 검출 방법으로 조명이나 물체의 특성에 의해 일반적인 윤곽선 검출과 영상 분할 방법의 적용이 어려운 영상에 대해 효과적으로 적용되어 왔다. 그러나, 윤곽선이 뚜렷하지 않은 영역에서는 에너지 함수가 인접 요소간의 상호 보완적인 관계에만 의존하므로 적합한 윤곽선 추출이 어렵다.

본 논문에서는 이런 문제점을 개선하기 위해 요소간의 상호 보완적인 관계뿐만 아니라 영상 에너지의 상보적인 관계를 고려하여 활성 윤곽선 모델이 적합한 지역 최소치에 수렴할 수 있는 개선된 영상 필터를 제안한다.

제2장에서는 활성 윤곽선 모델을 기술하고, 제3장에서는 개선된 영상 필터를 제안한다. 제4장에서는 실험 결과를 비교하며, 제5장에서 결론을 끝낸다.

## 2. 활성 윤곽선 모델

활성 윤곽선 모델은 비정형 곡선으로 3 차원 공간상 두 변수의 함수  $f(x,y)$ 에 의해 변화한다. 이 3 차원 공간상의 표면은  $H$ 로 표현되고, 잠재적 표면이라 일컫는다. 일반적으로 표면  $H$ 는 영상의 밝기 값(intensity) 또는 그 차이 값에 관련된다.

전체 공간  $\Omega$ 와 전체 시간  $T$  내의 임의 공간  $s$ 와 임의 시간  $t$ 에서 정의된 비정형 곡선  $v(s,t)$ 를 고려한다. 즉 공간 좌표 변수  $x$ 와  $y$ 의 함수로 고려된 비정형 곡선은 다음과 같이 정의 된다.

$$v(s,t) = (x(s,t), y(s,t)) \quad (1)$$

활성 윤곽선 모델의 전체 에너지 함수  $E_{snake}(v)$ 는 다음과 같이 정의 된다.

$$E_{snake}(v) = \frac{1}{2} \int_{\Omega} [E_{int}(v) + E_{ext}(v) + E_{image}(v)] ds \quad (2)$$

여기서  $E_{int}(v)$  와  $E_{image}(v)$ 는 각각 외부 제약 에너지와 공간적 하강 에너지를 의미한다.  $E_{int}(v)$ 는 활성 윤곽선 모델의 내부 에너지를 표현하여 다음과 같이 정의될 수 있다.

$$E_{int}(v(s)) = \omega_1(s) |v_s|^2 + \omega_2(s) |v_{ss}|^2 \quad (3)$$

$$\text{단, } v_s = \frac{\partial v}{\partial s}, \quad v_{ss} = \frac{\partial^2 v}{\partial s^2}$$

외부 잠재 에너지  $E_{ext}(v)$ 는 뺄고 당기는 두 가지 힘의 상호 보인적 관계로써 이루어진다. Kass[1]는 이 두 가지 힘의 모델로써 스프링(spring)과 화산(volcano)을 세안하였다. 스프링은 점제적 에너지 표면상의 선택된 절과 활성 윤곽선 모델 요소 사이의 장력을 성의 함으로써 만들어진다. 반면 화산은 원추형 기둥 모양의 표면을 잠재적 표면의 원하는 위치에 첨가하는 방법 등에 의한 강제적 에너지 표면의 변형에 의해 만들어지고 다음과 같이 정의된다.

$$E_{image}(v) = \mu z(v(s,t)) \quad (4)$$

여기서  $\mu$ 는 활성 윤곽선 모델의 밀집 비중(mass density)을 표

현하는 상수이고,  $z(v(s,t))$ 는 표면 H, 시간 t에서 활성 윤곽선 모델 요소의 크기(높이) 함수이다.

초기 위치에 대한 활성 윤곽선 모델의 잠재적 에너지 함수  $E_{\text{shape}}(v)$ 가 주어지면, 에너지 분해 함수(energy dissipation function)를 통하여 잠재적 에너지를 운동 에너지로 변환시킴으로써 활성 윤곽선 모델이 보다 안정된 에너지 상태에 도달할 수 있도록 최소화 프로시쥬어를 적용할 수 있다. 이런 경우 다음과 같은 Euler-Lagrange 방정식을 적용할 수 있다 [3]

$$\begin{aligned} \mu x_n + \gamma x_s - \frac{\partial}{\partial s}(\omega_1(s)x_s) + \frac{\partial^2}{\partial s^2}(\omega_2(s)x_{ss}) \\ = -\frac{1}{2}(E_{\text{ext},s}(v) + E_{\text{image},s}(v)) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\text{단. } x_n = \frac{\partial^2 x}{\partial t^2}, \quad E_{\text{ext},s} = \frac{\partial}{\partial x}(E_{\text{ext}}) \cdot E_{\text{field}}, \quad \equiv \frac{\partial}{\partial x}(E_{\text{heat}})$$

$y$  방향도 같은 방식으로 고려된다.  $\gamma$ 는 감소 비중(damping density)에 대한 상수이다. 식(5)과 같은 편미분 방정식(PDE Partial Differential Equation)은 시간과 공간에 대한 초기 조건과 경계 조건(boundary condition)에 의존한다.

식(5)의 수치적 적분을 수행하기 위해서 시간과 공간상으로 활성 윤곽선 모델의 이산화를 고려한다. 공간적 이산화(partial discretization)는 M 개의 활성 윤곽선 모델 요소들로 활성 윤곽선 모델 곡선을 샘플링(sampling)하므로써 수행된다.

시간에 대한 이산화(temporal discretization)는 보다 간단한 방식으로 고려될 수 있다 즉 초기 시작 시간을 정의하고 고정된 시간 간격  $\Delta\bar{t}$ 만큼씩 증가하는 진짜 시간  $\bar{t}$ 를 정의한다.

이산화에 의해 식(1)은 다음과 같은 벡터 형태로 표현될 수 있다.

$$V(\bar{s}, \bar{t}) = (\mathbf{X}(\bar{s}, \bar{t}), \mathbf{Y}(\bar{s}, \bar{t})) \quad (6)$$

여기서 벡터 좌표  $\mathbf{X}, \mathbf{Y}$ 는 이미지 격자에서 값을 취한다.

우선 공간적으로 Kass[1]가 사용한 방법인 FDM(Finite Difference Method)을 적용한다. 수립 및 수치적 안정성이 기인해 간단한 FDM이 적절하다 식(5)에 FDM을 적용하고 행렬식으로 표현하면 다음과 같다

$$\mathbf{M}_n + \mathbf{C}_s + \mathbf{K}_x = \mathbf{R}_v \quad (7)$$

여기서  $\mathbf{M} (= \mu\mathbf{I}), \mathbf{C} (= \gamma\mathbf{I}), \mathbf{K}$ 는 각각 밀접, 감소, 스티프 행렬을 의미한다. 스티프 행렬  $\mathbf{K}$ 는 활성 윤곽선 모델의 모든 내부 유연 관계를 표현하며 다음과 같다

$$\mathbf{K} = \left[ \begin{array}{cccccc} c_1 & b_1 & a_1 & & a_{\bar{M}-1} & b_{\bar{M}} \\ b_1 & c_2 & b_2 & a_2 & & a_{\bar{M}} \\ a_1 & b_2 & c_3 & b_3 & a_3 & \\ & a_2 & b_3 & c_4 & b_4 & a_4 \\ & & & \ddots & & \\ & & & a_{\bar{M}-4} & b_{\bar{M}-3} & c_{\bar{M}-2} & b_{\bar{M}-2} & a_{\bar{M}-2} \\ & & & a_{\bar{M}-3} & b_{\bar{M}-2} & c_{\bar{M}-1} & b_{\bar{M}-1} & a_{\bar{M}-1} \\ a_{\bar{M}-1} & b_{\bar{M}} & a_{\bar{M}} & & a_{\bar{M}-2} & b_{\bar{M}-1} & c_{\bar{M}} \end{array} \right] \quad (8)$$

단  $h^1(\bar{s})a_i = \omega_1(\bar{s}+1)$ .

$h^1(\bar{s})b_i = -2\omega_2(\bar{s}) - 2\omega_2(\bar{s}+1) - h^2(\bar{s})\omega_1(\bar{s}+1)$ .

$h^1(\bar{s})c_i = \omega_2(\bar{s}-1) + 4\omega_2(\bar{s}) + \omega_2(\bar{s}+1) + h^2(\bar{s})\omega_1(\bar{s}) + h^2(\bar{s})\omega_1(\bar{s}+1)$ .

$\mathbf{R}_v$ 는 이산  $\circ$  이미지 격자에서 계산되는 외부 힘에 의한 벡터(external load vector)이다.  $\mathbf{X}_u, \mathbf{X}_v$ 는 각각 활성 윤곽선 모델의 속도와 가속도 벡터를 의미한다.

시간적 이산화를 위하여 다음과 같은 FDM을 선택할 수 있다.

$$x_s(\bar{s}, \bar{t} - \Delta\bar{t}) \approx \frac{1}{2\Delta\bar{t}} [\bar{x}(\bar{s}, \bar{t}) - \bar{x}(\bar{s}, \bar{t} - 2\Delta\bar{t})] \quad (9a)$$

$$\begin{aligned} x_u(\bar{s}, \bar{t} - \Delta\bar{t}) \\ \approx \frac{1}{(\Delta\bar{t})^2} [\bar{x}(\bar{s}, \bar{t}) - 2\bar{x}(\bar{s}, \bar{t} - \Delta\bar{t}) + \bar{x}(\bar{s}, \bar{t} - 2\Delta\bar{t})] \end{aligned} \quad (9b)$$

시간  $\bar{t} - \Delta\bar{t}$ 에서 계산된 식(7)에 식(9)를 대입하고, 시간  $\bar{t}$ 에 대해 정리하면 다음과 같다

$$\begin{aligned} & \left( \frac{1}{(\Delta\bar{t})^2} \mathbf{M} + \frac{1}{2\Delta\bar{t}} \mathbf{C} + \mathbf{K} \right) \mathbf{X}(\bullet, \bar{t}) \\ & = R_v(\bullet, \bar{t} - \Delta\bar{t}) + \left( \frac{2}{(\Delta\bar{t})^2} \mathbf{M} \right) \mathbf{X}(\bullet, \bar{t} - \Delta\bar{t}) \\ & - \left( \frac{1}{(\Delta\bar{t})^2} \mathbf{M} - \frac{1}{2\Delta\bar{t}} \mathbf{C} \right) \mathbf{X}(\bullet, \bar{t} - 2\Delta\bar{t}) \end{aligned} \quad (10)$$

$\mathbf{Y}$  방향도 같은 방식으로 고려된다.

식(10)은 활성 윤곽선 모델에 적용되는 모든 힘을 표현하며 최소화 프로시쥬어에 의해 활성 윤곽선 모델 요소들의 새로운 좌표값을 생성한다.

### 3. 제안된 영상 필터

활성 윤곽선 모델이 잠재적 표면 위에서 지역적 최소치를 향하여 움직이기 위해서는 공간적 위치 에너지를 하강 에너지로 변환하여야 한다. 이를 위하여 잠재적 표면에 에지나 윤곽선과 같은 특징을 만들어야 하며 효과적인 지역 이산화 필터링(local digital filtering) 기술이 필요하다. 두 가지의 기본적인 영상 필터를 사용하는데, 저역 필터와 고역 필터가 그것이다. 전자는 영상의 잡음을 제거하고, 원 영상을 평활화하기 위해서 적용되며, 본 논문에서는 GHDC(Gaussian Hierarchical Discrete Correlation) 필터를 사용했다. 후자는 영상에서 에지와 윤곽선과 같은 특징들을 강조하기 위해서 사용되며 본 논문에서는 3x3 Sobel 필터를 적용하였다.[3]

활성 윤곽선 모델을 움직이는 잠재적 표면으로 영상의 밝기 값의 그래프에 대한 1차 기울기(gradient)값에 의한 표면 ( $E_{\nabla I}(v)$ )과 2차 기울기 값에 의한 표면 ( $E_{\nabla^2 I}(v)$ )을 적용할 수 있다. 하지만  $E_{\nabla I}(v)$ 만을 고려할 경우 활성 윤곽선 모델은 지역 최소치에 근접하는 경향을 보이며 실제 윤곽선 인접 부근에 수렴하게 된다. 정확한 지역 최소치에 활성 윤곽선 모델을 빠르게 하기 위해서는  $E_{\nabla^2 I}(v)$ 를 잠재적 표면으로 적용하는 것이 합리적이다. 즉 Cohen[4]은 다음과 같은 잠재적 표면을 제안하였다.

$$E_{\text{shape}}(v) = -\frac{\nabla^2 I}{|\nabla^2 I|} \quad (12)$$

여기서  $I$ 는 이미지 격자 각각의 밝기값을,  $E_{\text{shape}}(v)$ 는 영상의 잠재적 표면 에너지를 의미한다.

하지만 물체의 음영이 나타나는 부분, 즉 어두운 부분에서 밝은 부분으로 영상의 밝기값이 단조 증가(감소)하는 영역이나 영상의 힘이 아주 약한 부분에 대해서 식(12)의  $E_{\nabla^2 I}(v)$ 만을 적용할 경우 활성 윤곽선 모델이 영상의 잠재적 표면 위에서 적절한 힘을 받을 수 없게 되며, 결국 진동하는 경향을 보이게 된다.

이를 보완하기 위하여  $E_{\nabla^2}(v)$ 에 의한 힘을 활성 윤곽선 모델에 가하는 것이 합리적이며, 본 논문에서는 다음과 같은 영상 필터를 제안한다

$$E_{image}(v) = - \left( \left( 1 - \left| \frac{\nabla^2 I}{|\nabla^2 I|} \right| \right) E_{\nabla^2}(v) + \left| \frac{\nabla^2 I}{|\nabla^2 I|} \right| E_{\nabla^2}(v) \right) \quad (13)$$

식(13)의  $E_{\nabla^2}(v)$ 와  $E_{\nabla^2}(v)$  힘의 상보적 관계에 의해 만들 어진 잠재적 표면 위에서 활성 윤곽선 모델은 영상의 밝기값이 단조 증가(감소)하는 물체의 음영 지역에서도 충분한 힘을 받아 활동적으로 지역 최소치를 향하여 움직일 수 있게 된다.

#### 4. 실험 결과

그림 1(a)에서 우리가 관심 있는 물체는 중앙에 있는 원형구이다. 이 영상의 sobel 필터 결과를 도시한 그림 1(b)를 살펴보면 구의 우측 하단은 잠재적 표면 에너지가 아주 작은 것을 알 수 있고, 일반적인 윤곽선 검출과 일상 분할 방법의 적용으로는 추출이 어렵다. 그러나 활성 윤곽선 모델을 적용하면 효과적으로 구의 윤곽선을 검출할 수 있다.

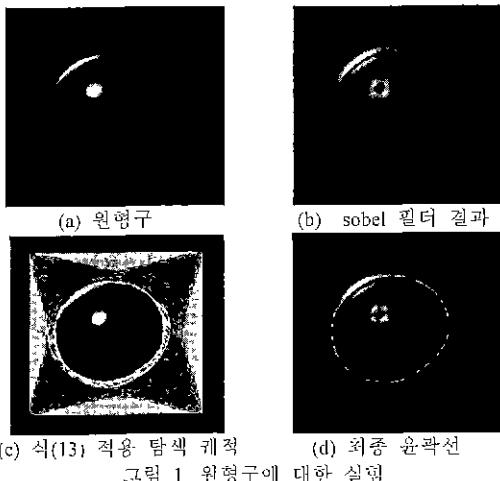


그림 1 원형구에 대한 실험

$E_{\nabla^2}(v)$ 에 의한 힘을 도시하기 위하여 그림 1(a)에 대해 단조 감소하는 약한 에너지를 구의 주변에 추가하였다. 구의 윤곽선에서 비교적 거리가 있는 초기 활성 윤곽선의 경우 식(12)을 적용한 활성 윤곽선 모델은 활성 윤곽선 모델을 지역 최소치로 수렴시킬 힘이 내부 에너지에만 의존하므로 적합한 구의 윤곽선 검출이 어렵다. 하지만 본 논문에서 제안하는 식(13)의 필터를 적용하면 그림 1(c)와 같이 활동적으로 구의 윤곽선 부근으로 활성 윤곽선 모델에  $E_{\nabla^2}(v)$ 에 의한 힘을 가할 수 있고, 그림 1(d)와 같이 구의 윤곽선을 찾을 수 있다.

그림 2(a)는 달에서 바라본 지구의 모습이다. 이 영상의 경우 잡음이 심하고, 그림 2(d)에서 알 수 있듯이 하단의 음영 부분에 의해 윤곽선을 결정하기가 매우 곤란하다. 식(13)을 적용한 활성 윤곽선 모델의 탐색 케이스인 그림 2(c)의 결과를 보면 지구 윤곽선의 상부에 비해 하부는 활성 윤곽선 모델의 내부에

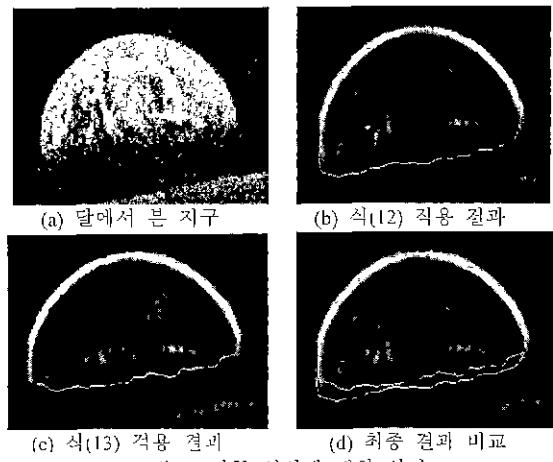


그림 2 지구 영상에 대한 실험

에너지와 약한 잠재적 표면 에너지의 힘에 의해 지역 최소치를 향하여 활성 윤곽선 모델을 수렴시키는데 한계가 보인다. 하지만 그림 2(c)의 땅색 키트에서 알 수 있듯이 제안된 필터에 의해 잠재 에너지의 힘을 가하면 음영 부근의  $E_{\nabla^2}(v)$ 에 의해 쉽게 윤곽선 쪽으로 활성 윤곽선 모델을 적절하게 움직일 수 있게 됨을 알 수 있다. 그림 2(d)에 그림 2(b)와 그림 2(c)를 비교하였다.

#### 5. 결론

활성 윤곽선 모델을 이용한 윤곽선 추출 방법에서는 물체를 검출하기 위해 잠재적 표면 위에서 지역 최소치를 향하여 다양한 힘을 기합으로써 물체의 윤곽선으로 활성 윤곽선 모델을 움직이게 한다. 활성 윤곽선 모델에서 영상의 관심 있는 물체를 검출하기 위해서는 영상의 잠재적 표면 위에서 활성 윤곽선 모델이 지역 최소치를 향하여 활동적으로 움직이도록 다양한 힘을 효과적으로 제어해야 한다. 본 논문에서 제안된 영상 에너지는  $E_{\nabla^2}(v)$ 와  $E_{\nabla^2}(v)$ 의 상보적인 관계를 이용하여 활성 윤곽선 모델이 적합한 지역 최소치를 향하여 수렴하였음을 볼 수 있다.

#### 6. 참고 문헌

- [1] Michael Kass, A Witkin, and D Terzopoulos, "Snake: Active Contour Models", IJCV, pp. 321~331, 1988
- [2] A A Amini, T E. Weymouth, and R.C.Jain, "Using Dynamic Programming for Solving Variational Problems in Vision", PAMI, Vol 12, No.9, 1990
- [3] Frederic Leymarie and Martin D Levine, "Tracking Deformable Objects in the Plane Using an Active Contour Model", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Intelligence, Vol.15, No.6, 1993 6
- [4] Laurent D Cohen and Isaac Cohen, "Finite-Element Methods for Active Contour Models and Balloons for 2-D and 3-D Images", IEEE Transaction on Pattern Analysis and Intelligence, Vol 15, No.11, 1993
- [5] 박종승, 한준희, "활성 모델을 이용한 효과적인 윤곽선 움직임의 주정", 정보과학회 노문지(B), 제23권, 제8호, 1996 8