

# 레벨 세트 방식을 이용한 형태 추출

김 성 곤\*, 신 문걸\*\*, 김 두 영\*\*

\* 지산대 전자계산과

\*\* 동아대 전자공학과

## Shape Extraction by Using Level Set Methods

S. K. Kim\*, M. K. Shin\*\*, D. Y. Kim\*\*

\* Jisan College

\*\* Dong-A University

### Abstract

Level set method is used for extracting a shape within an image. This method is based on the ideas developed by Osher and Sethian to model propagating solid/liquid interfaces moving with curvature-dependent speeds. In this paper, we propose the new generalized formulation and stopping function of evolution for more accurate extraction of shape. Our method shows good results in some cases compared with the conventional ones.

### I. 서론

2D 또는 3D 영상 데이터를 이용하여 표면이나 경계 부위의 모습에 변화가 심한 특정 물체의 형태 추출을 위해 최근에 많이 사용되는 방법으로 에너지 최소화를 이용한 active contour(일명 snake)방식과 또는 임의의 폐곡선이 곡률에 의한 속도로 움직일 때 안정된 폐곡선 모양을 유지하면서 확장하거나 수축하는 특성을 이용한 곡선 전개(curve evolution)방식 등이 있다. 대표적인 snake 방법으로 Kassl 등이 이용한 에너지 최소화 모델,<sup>[1]</sup> Kass의 snake 초기 설정 문제를

개선하기 위한 Cohen의 inflation force를 추가한 active 모델<sup>[2]</sup>이 있으며, 그리고 곡선 전개 방법으로서 Kimmel이 제안한 geodesic active contour<sup>[3]</sup>및 Malladi<sup>[4]</sup> 등의 방법이 있다.

본 논문에서는 snake 방식의 문제점의 하나인 초기 snake 위치 설정시 최초 snake 위치가 대상 물체의 경계 가까이 있어야 한다는 제약에 강하고, 아울러 대상 물체들의 위상에 제약없이 형태 추출이 가능한 곡선 전개 방식을 이용하였다.

아울러 기존의 Malladi방식에 비해 영상 잡음 처리시 발생하는 에지 성분들의 흐림 현상을 방지하고 정확한 에지 부분을 유지하기 위해 비등방성 확산(anisotropic diffusion)방식<sup>[5]</sup>을 이용하여 원영상을 스무딩하였다.

아울러 시간에 따른 곡선의 안정된 전개를 위해, 곡률에 의한 속도 성분에 대하여 다양한 경우의 일반화된 수식을 제안하며, 안정된 이산식 표현을 위해 2D 또는 3D 공간상에서 전체적인 곡선, 곡면의 전개에 대해 안정성이 뛰어난 기하학적 위상 모델적인 Osher & Sethian 등이 소개한 레벨세트 방식<sup>[6]</sup>을 이용한다.

II. 곡선 전개 레벨세트 방정식

N-1차원의 임의 레벨의 곡면  $\gamma$ 가 시간에 따라 법선벡터 방향으로 곡면에 의한 속도  $F(K)$ 로 움직일 때 이동하는 곡면들의 전체 집합  $\gamma(t)$ 에 대해 N차원 공간상에서 오일러언(Eulerian)수식 표현으로 나타낸 것이 레벨세트 방정식이다. 예를들면, 그림 1(a)에서와 같이 제로 레벨의 2차원 폐곡선  $\gamma(t=0)$ 의 시간에 따른 모양을 나타내기 위해 3차원 함수  $\Phi$ 로 두면(즉,  $\Phi=0$ ) 어떤 임의의 시각  $t$ 에서 곡선의 현재 진행된 모습은 그림 1(b)처럼  $\Phi=0$ 가 되는 부분을 구하면 알 수 있다. 여기서 함수  $\Phi(x,0)=\pm d$ 이며,  $d$ 값은 공간상의 점  $x$ 로부터  $\gamma(0)$ 까지의 거리를 나타낸다.  $x$ 가  $\gamma(0)$ 의 내부에 존재하면 음수값 반대로 외부에 존재하면 양수값이다. 레벨세트 0에 대한  $\Phi$ 함수를 시간함수로 표현하면

$$\Phi(x(t),t)=0 \tag{1}$$

체인법칙을 적용하면

$$\Phi_t + \nabla \Phi(x(t), t) \cdot x'(t) = 0 \tag{2}$$

만약 법선벡터  $n = \nabla \Phi / |\nabla \Phi|$  방향으로의 속도 성분을  $F$ 로 두면

$$F = x'(t)n \tag{3}$$

그러므로 식(1)은 다음처럼 표현이된다.

$$\Phi_t + F \cdot \nabla \Phi = 0 \tag{4}$$

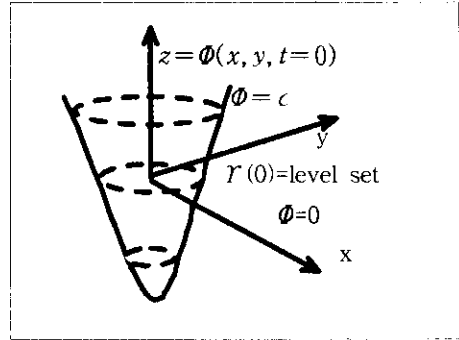
식(4)로 알 수 있는 중요한 사실은 임의의 시간에서 곡선  $\gamma$ 의 상태는  $\Phi = 0$ 인 식으로 항상 표현된다는 사실이다. 즉,

$$\gamma(t=m) = \{x \mid \Phi(x,t=m)=0\} \tag{5}$$

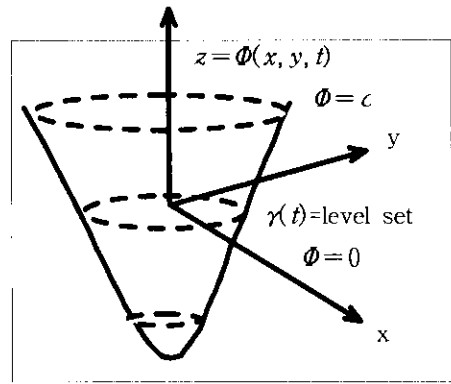
여기서  $m$ 은 임의의 시각을 나타낸다.

그리고,  $\Phi$ 의 각 레벨 세트들에 대한 곡률식은 다음과 같다.

$$K = \nabla \cdot \frac{\nabla \Phi}{|\nabla \Phi|} = \frac{\Phi_{xx} \Phi_y^2 - 2 \Phi_x \Phi_y \Phi_{xy} + \Phi_{yy} \Phi_x^2}{(\Phi_x^2 + \Phi_y^2)^{3/2}} \tag{6}$$



(a)



(b)

그림 1. 곡선 전개

(a) 초기 곡선

(b) 시간 t에서의 곡선 모양

III. 비등방성 확산을 이용한 스무딩

영상에서 복잡한 물체 경계를 정확히 추출하기 위해선 원영상에 포함된 잡음 성분이나 대상 물체 내부에 존재하는 고립된 에지 성분들에 대한 전처리 과정이 중요하다. 기존의 방식에서 많이 사용하던 가우시안 필터링은 대상 물체의 에지 부분의 정보가 훼손되거나 흐림 현상이 있어 정확한 물체의 형태를 추출시 문제가 된다. 본 논문

에서는 이러한 문제점을 해결하기 위해 에지 성분에서는 확산을 적게하고 반대로 영상 밝기값의 변화가 적은 비에지 부분에서는 확산을 크게할 수 있는 식(7)과 같은 Perona의 비등방성 확산 방식을 이용하여 원영상을 전처리하였다.

$$I_t = \nabla(c(x, y, t) \nabla I)$$

$$= c(x, y, t) \nabla^2 I + \nabla c \cdot \nabla I \quad (7)$$

여기서  $c(x, y, t)$ 는 스케일 매개변수  $t$ 에 따른 확산 계수로서 대체로 다음과 같은 함수일 때 양호한 결과를 나타내는 것으로 알려져있다.

$$c(x, y, t) = f(|\nabla I(x, y, t)|) \quad (8)$$

즉, 확산계수  $c$ 는 영상 밝기값의 그래디언 크기에 따라 달라지며  $f(\cdot)$ 는 단조 감소형이다.

#### IV. 형태 추출을 위한 이산식

대상 물체의 형태를 추출하기 위한 모델을 위해선 식(4)의 곡선 전개식에 추가로 식(9)와 같은 곡선의 전개를 제어할 수 있는 종료함수  $g(x, y)$ 가 포함되어야 한다.

$$g(x, y) = \frac{1}{1 + \|\nabla(D_{Aniso}(x, y) * I(x, y))\|^2} \quad (9)$$

여기서  $D_{Aniso}$ 는 비등방성 확산 함수,  $I(x, y)$ 는 원영상의 밝기 함수이다. 식(9)로부터 알 수 있는 것은 영상의 그래디언 값이 크면 클수록  $g(x, y)$ 의 값은 0에 가까워진다. 그래디언 값의 변화가 거의 없는 영역에서는  $g(x, y)$ 값은 1에 가깝다. 그러므로 대상 영역의 에지부분에서 곡선 전개가 종료될 수 있는 제어함수로서 적합하다.

식(4), 식(9)를 포함한 최종 모델식이 식(10)이다

$$\Phi_t + g(x, y) F |\nabla \Phi| = 0 \quad (10)$$

식(10)에서 곡선의 속도를 나타내는  $F$ 는 곡률  $K$ 에 의한 속도항과 상수 속도항  $V$ 로 구성된다.

$$\Phi_t + g(x, y) |\nabla \Phi| (K + V) \quad (11)$$

본 논문에선, 곡률 속도 성분  $K$ 에 대하여 일반화된 식(12)를 제안한다.

$$\Phi_t + g(x, y) |\nabla \Phi| (\text{sgn}(K) \cdot |K|^{\frac{1}{n}} + V) = 0 \quad (12)$$

$n=1$ 일 경우 식(11)이 되며,  $n$ 값이 크질수록  $K$ 의 영향을 적게하여 보다 세밀한 에지 추출이 가능하며 반대인 경우 보다 완만한 경계 추출이 이루어 진다. 식(12)의 미분 방정식에 대해 시간 미분에 대해서는 전향 또는 후향 유한미분 그리고 공간 미분은 중간 미분법을 이용하여 확장 또는 축소 전개에 대한 최종 표현식이 식(13)이다.

$$\Phi_{i,j}^{n+1} = \Phi_{i,j}^n \pm g(i, j) \Delta t \cdot (\text{sgn}(K(i, j)) |K(i, j)|^{\frac{1}{n}} + V) \cdot \{A^2 + B^2 + C^2 + D^2\}^{1/2} \quad (13)$$

여기서  $A = \max(D_x^+ \Phi_{i,j}, 0)$

$$B = \min(D_x^- \Phi_{i,j}, 0)$$

$$C = \max(D_y^- \Phi_{i,j}, 0)$$

$$D = \min(D_y^+ \Phi_{i,j}, 0)$$

를 표시하며  $D_x^+$ 와  $D_x^-$ 는 각각  $x$ 방향으로의 전향, 후향 미분치를 의미한다.

#### V. 형태 추출 과정

다음과 같은 과정들로 형태 추출이 이루어진다.

- 1) 초기 영상의 잡음 성분을 제거하고 에지 부분을 강조하기 위한 전처리 작업.
- 2) 추출하고자 하는 대상 영역 내부 또는 대상 영역 전체를 포함하는 초기 폐곡선 지정 및  $\Delta t, V, n$ 값 설정.
- 3) 추출 대상 영역의 에지 부분에서 곡선 전개가 정지될 수 있도록 종료 함수를 영상으로부터 획득.
- 4) 식(13)에 의한 곡선 전개를 수행하며 모든 화소에서의  $\Phi$  값이 불변시 곡선 전개 종료.
- 5)  $\Phi = 0$ 인 모든 화소들의 집합이 추출하고자 하는 대상 영역의 최종 경계점 들이다

#### VI. 실험 및 고찰

그림 2는 가우시안 잡음이 포함된 영상에 대해 가우시안 및 비등방성 확산 방식에 의한 스무딩 처리한 영상의 에지성분을 나타낸다. 그림 2(c)의 결과처럼 비등방성 확산법을 이용해 에지 부분의 스무딩 현상을 줄일 수 있었다.

아울러 형태 추출을 위한 입력 영상으로 그림 3(a), 그림 4(a)와 같은 64x64 크기의 그레이값 0과 255로 구성된 이진 합성 영상과 그림 5(a)와 같은 의료 영상을 이용하였다. 이 경우 시간 간격  $\Delta t=0.03$ ,  $V=1$ 로  $n=2$  등으로 주고 초기 곡선을 설정하였다. 그림 4(c)는 그림 4(a)와 같이 추출할 대상이 여러 개인 입력 영상에 대한 최종 추출 결과이다. 실험 결과에서 알 수 있듯이 초기 설정된 곡선이 시간 진행에 따라 안정적으로 분할 전개되어 각각의 대상 경계들을 정확히 추출해 나감을 확인할 수 있었다. 보다 복잡한 일반적인 의료영상에 대한 실험을 위해 그림 5(a)와 같은 영상에 대해 실험해 보았다.

**VII. 결 론**

원래 레벨 세트 방식은 성질이 서로 다른 유체 사이의 시간 변화에 따른 경계 부분의 모양이나 상태를 추적하기 사용되었다. 특히, 연소되는 불꽃 모양이나 수정의 성장 형태 등의 모델식으로 이용된다. 최근엔 영상처리 분야 응용에도 많은 연구들이 이루어지고 있다. 실험 결과 기존에 많이 사용되는 에지 기반이나 영역 기반 형태 추출 방식들에 비해 처리 과정이 간단하며 잡음에 강하며 특히 동시에 여러 대상 물체 들을 분할 추출해낼 수 있으므로 위상 불변한 특성을 가진다. 앞으로 움직이는 물체 추적이나 포착 등의 응용에도 이용 가능하리라 생각되며 연구 과제이다.



(a) (b) (c)

그림 2.

(a) 잡음 포함 영상 (b) 가우시안 스무딩 후 에지 성분 (c) 비등방성 확산 처리 후 에지 성분



그림 3. (a) (b) (c)



(a) (b) (c)

그림 4. (a) 초기 설정 곡선 (b) 중간 진행 모습 (c) 최종 추출 결과



(a) (b) (c)

그림 5. (a) 초기 설정 곡선 (b) 중간 진행 모습 (c) 최종 결과

**[참 고 문 헌]**

[1] M. Kass, A. Witkin "Snakes: Active Contour Models" International Journal of Computer Vision 1, 1988, pp. 321-331.  
 [2] L. D. Cohen, "On Active Contour Models and Balloons", CVGIP: Image Understanding 53, 1991, pp. 211-218.  
 [3] G. Sapiro, R. Kimmel, and V. Caselles, "Object Detection and Measurements in Medical Images via Geodesic Active Contours", Proc. SPIE-Vision Geometry, San Diego, July 1995.  
 [4] R. Malladi, J. A. Sethian and B. C. Vemuri, "Shape Modeling with Front Propagation: A Level Set Approach", IEEE Trans. on PAMI 17, 1995, pp. 158-175.  
 [5] P. Perona, J. Malik, "Scale-Space and Edge Detection Using Anisotropic Diffusion" IEEE Trans. PAMI Vol. 12, 1990, pp. 629-639.  
 [6] J. A. Sethian, "Level Set Methods: Evolving Interfaces in Geometry, Fluid Mechanics, Computer Vision, and Materials Science", Cambridge University Press, 1996.