

다중 해상도 레벨 세트 방식을 이용한 기하 활성 모델

김성곤[†] · 김두영^{††}

요 약

레벨 세트나 활성 모델은 컴퓨터 비전에서 영상 분할이나 윤곽 추출시 많이 이용되고 있다. 영상으로부터 윤곽을 추출하기 위해 활성 모델은 에너지 최소화 개념을 그리고 레벨 세트 방식은 곡선 전개법을 이용한다. 일반적으로 이 두 모델은 각기 단점을 갖고 있다. 예를 들면, 활성 모델의 snake이 찾기 원하는 윤곽 부근에 설정되지 않으면 제대로 동작하지 않으며, 그리고 동시에 추출할 대상이 여러개일 경우 처리에 어려움이 있다. 그러나 레벨 세트 방식은 초기 설정 곡선의 위치에는 큰 제약이 없으며, 그리고 추출 대상이 다수일 경우 위상처리도 간단하다. 그럼에도 불구하고 레벨 세트 방식은 활성 모델에 비해 계산량이 많고 시간이 많이 걸린다. 본 연구에서는 두 모델의 장점을 이용하고 아울러 추출 성능을 저하시키지 않고 처리 속도를 높이기 위해 다중 해상도 레벨세트 방식을 적용한 기하 활성 모델을 제안한다.

A Geometric Active Contour Model Using Multi Resolution Level Set Methods

Seong-Kon Kim[†] · Doo-Young Kim^{††}

ABSTRACT

Level set, and active contour(snakes) models are extensively used for image segmentation or shape extraction in computer vision. Snakes utilize the energy minimization concepts, and level set is based on the curve evolution in order to extract contours from image data. In general, these two models have their own drawbacks. For instance, snake acts poorly unless it is placed close to the wanted shape boundary, and it has difficult problem when image has multiple objects to be extracted. But, level set method is free of initial curve position problem, and has ability to handle topology of multiple objects. Nevertheless, level set method requires much more calculation time compared to snake model. In this paper, we use good points of two described models and also apply multi resolution algorithm in order to speed up the process without decreasing the performance of the shape extraction.

1. 서 론

변형이 많은 물체의 2차원 또는 3차원 영상으로부터 대상 물체의 경계선이나 윤곽선 추출을 위해 최근에 많이 사용되는 방법으로 크게 두 가지 접근 방식이 있다.

첫째는, 에너지 최소화 방식을 이용한 활성 윤곽(active contour), 일명 snakes 모델이 있으며 두 번째는, 임의의 폐곡선을 안정되게 팽창 또는 수축시키면서 특정한 경계선을 추적해 나가는 레벨 세트 곡선 전개(level set curve evolution)방식이 있다.

대표적인 snake 방식으로는 Kass 등이 이용한 에너지 최소화 모델[1], Kass의 snake 초기값 설정 문제

[†] 정 회 원 : 지산대학 전자계산과 교수

^{††} 정 회 원 : 동아대학교 전자공학과 교수

논문접수 : 1999년 4월 15일, 심사완료 : 1999년 9월 9일

를 개선하기 위한 Cohen의 inflation force를 추가한 모델[2] 등이 있으며, 곡선 전개를 이용한 형태(shape) 추출 방식으로서는 Malladi의 추출 모델 [3] 및 Kimmel의 모델 [4] 등이 있다.

본 연구에서는 snake 방식과 곡선 전개 방식의 장점을 살리고 레벨 세트 알고리즘의 계산량을 감소시킬 수 있는 다중 해상도 기하 활성 윤곽 모델을 제안하며, 아울러 기존의 영상잡음 처리시 발생하는 에지 성분들의 흐림(blurring) 현상을 방지하고 정확한 에지 부분을 유지하기 위해 비등방성(anisotropic) 확산 방식을 이용하여 원영상을 전처리한다[5].

Snake 방식은 계산량은 적은 반면, 초기 snake 위치 설정시 snake 위치를 대상 물체의 경계 가까이 두어야 한다는 단점이 있으며, 특히 영상으로부터 추출할 대상 물체가 다수일 경우 위상 처리의 어려움이 있다. 반대로 곡선 전개 방식은 위상 처리나 초기 곡선 설정이 간단하나 계산량이 많다는 단점이 있다.

이와 같은 두 방식의 장점을 이용하고 계산량을 줄이기위해 다중 해상도 알고리즘을 이용하였다. 먼저 원영상을 1/2 또는 1/4 스케일로 줄여 샘플링한 다음, 거칠게 스케일된 이들 영상에 대해 곡선 전개 방식을 이용하여 1차적인 윤곽 추출을 시도한다.

샘플링 수를 1/2로 줄인 영상 경우, 레벨 세트 방식을 이용한 1차 윤곽 추출에 필요한 계산량은 1/4 정도로 감소된다. 다음 단계로, 1차 추출된 윤곽 추출 곡선을 다음 스케일의 원영상에 대한 위치로 대응시켜 초기 snake 위치로 하고 snake 방식을 적용하면, 이미 snake 위치는 추출하려는 목표지점에 거의 근접해 있는 상태이므로 간단한 반복 계산으로 물체의 윤곽을 추출해 낼 수 있다.

2. 기하 활성 윤곽 모델

2.1. 레벨 세트 곡선 전개 방식

원래 레벨 세트(level set) 모델식 [8]은 성질이 다른 유체 사이의 시간에 따른 경계 부분의 모양이나 상태를 추적하기 위해 사용되었다. 특히, 연소되는 불꽃 모양이나 수정의 성장 형태 등의 모델식으로 이용되었다. 최근엔 영상 처리나 컴퓨터 비전 분야에도 많이 응용이 이루어지고 있다. 그림 1(a)과 같은 2차원 공간 상에서, 서로 교차되지 않는 어떤 폐곡선

$$\mathbf{v} = [(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_N, y_N)] \text{ 가 시}$$

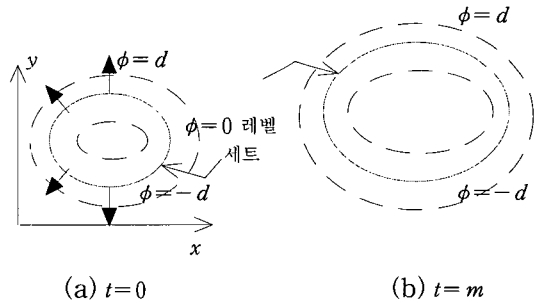
간에 따라 곡선의 법선 벡터 방향으로 곡률에 의한 속도 $F(k)$ 로 움직일 때 이 폐곡선의 변화 모습을

거리 함수 $\phi: \mathbf{R}^2 \times [0, t) \rightarrow \mathbf{R}$ 를 이용하여 오일러 수식 형태로 표현한 것이 레벨 세트 방정식이다[6, 7, 8].

여기서 $\phi = \pm \text{distance}$ 로서, 초기 폐곡선 (그림 1)의 실선 표시)상의 점들은 ϕ 값은 영(0 레벨 곡선)으로 두고 공간상의 다른 점들에서의 ϕ 값은 각 점 $\mathbf{p} = (x_i, y_i)$ 에서 0 레벨 곡선, 즉 $\mathbf{v}(t=0)$ 까지의 최소 거리를 나타낸다.

\mathbf{p} 가 0 레벨 곡선 내부에 존재하면 음수값 반대로 외부에 존재하면 양수값으로 한다. (그림 1)(b)는 시간 $t=m$ 에서 0 레벨 곡선을 포함한 전체 레벨 곡선들의 모습을 나타내며, 초기에 주어진 2차원 폐곡선 $\mathbf{v}(t=0)$ 의 현재 위치는 어떤 시각에서든 항상 0 레벨 값을 가지는 점들을 구하면 알 수 있다. 0 레벨 세트값을 가지는 함수 ϕ 를 시간함수로 표현하면,

$$\phi(\mathbf{p}(t), t) = 0 \tag{1}$$



(그림 1) 시간에 따른 $\phi=0$ 레벨 세트 전개

체인법칙을 적용하면

$$\phi_t + \nabla\phi(\mathbf{p}(t), t) \mathbf{p}'(t) = 0 \tag{2}$$

식 (2)의 $\phi_t = \frac{\partial\phi}{\partial t}$ 를 의미한다.

0 레벨값들을 가지는 곡선상의 한 점 \mathbf{p} 의 ϕ 값이 곡선의 법선벡터, $\mathbf{n} = \frac{\nabla\phi}{|\nabla\phi|}$ 방향으로 곡률에 의한 속도 $F(K)$ 로 변한다고 가정하면, 즉

$$F(K) = \mathbf{p}'(t) \cdot \mathbf{n} \tag{3}$$

로 둘 수있고, 식(1)은 다음처럼 표현이된다.

$$\phi_t + F(K) |\nabla\phi| = 0 \tag{4}$$

식 (4)가 레벨 세트 곡선 전개 방정식이다.

아울러, 어떤 시간 $t=m$ 에서 0 레벨 곡선 \mathbf{v} 의 위치는 항상 $\phi=0$ 인 식으로 구할 수 있다. 즉,

$$\mathbf{v}(t=m) = (\mathbf{p} | \phi(\mathbf{p}, t=m) = 0) \quad (5)$$

K 는 ϕ 에 대한 곡률로서

$$K = \nabla \cdot \frac{\nabla \phi}{|\nabla \phi|} = - \frac{\phi_{xx} \phi_y^2 - 2 \phi_x \phi_y \phi_{xy} + \phi_{yy} \phi_x^2}{(\phi_x^2 + \phi_y^2)^{3/2}} \quad (6)$$

2.2 윤곽 추출을 위한 레벨 세트 이산식

영상에서 대상 물체의 형태나 윤곽을 추출하기 위한 모델식을 위해선 식 (4)의 곡선 전개식에 추가로 식 (7)과 같은 곡선의 전개를 제어할 수 있는 종료함수 $g(x, y)$ 가 포함되어야 한다[9].

$$g(x, y) = \frac{1}{1 + |\nabla (D_{Aniso}(x, y) * I(x, y))|^2} \quad (7)$$

식 (7)의 D_{Aniso} 는 원영상을 전처리 하기위한 필터링 함수로서, 본 논문에서는 에지 부분의 왜곡 현상을 방지하고 잡음 처리가 뛰어난 비등방성(anisotropic) 확산 함수를 [5] 사용하였으며, $I(x, y)$ 는 원영상의 밝기 함수이다. 식 (7)로부터 알 수 있는 것은 영상의 그래디언트 값이 클수록 $g(x, y)$ 의 값은 0에 가까워진다. 그래디언트 값의 변화가 거의 없는 영역에서는 $g(x, y)$ 값은 1에 가깝다. 그러므로 식 (7)은 대상 영역의 에지 부분에서 곡선 전개가 종료 될 수 있는 제어함수로서 적합하다. 식 (4)와 (7)를 포함한 최종적인 윤곽 추출 모델식이 식 (8)이다.

$$\phi_t + g(x, y) F(K) |\nabla \phi| = 0 \quad (8)$$

본 논문에서는 식 (8)의 곡선의 법선 방향 속도 $F(K)$ 를 곡률 K 에 의한 속도항과 상수 속도항 c 의 합으로 하였다.

$$\phi_t + g(x, y)(c + K) |\nabla \phi| = 0 \quad (9)$$

상수 속도항 c 는 곡선이 일정한 방향으로 팽창 또는 수축을 할 수 있게 해주며, 안정된 전개를 위해 ± 1 로 하며 Cohen의 snake 모델에서 inflation force와

같은 역할을 한다. c 가 -1일 경우엔 곡선이 수축하며 +1 경우엔 팽창하게 된다. 식 (9)의 미분 방정식에 대해 시간 미분에 대해서는 전향 또는 후향 유한미분, 그리고 공간 미분은 중간 미분법을 이용하여 최종 표현한 이산식이 식 (10)이다.

$$\phi_{i,j}^{n+1} = \phi_{i,j}^n - \Delta t g_{i,j}^n (c + K_{i,j}^n) \cdot \{ A^2 + B^2 + C^2 + D^2 \}^{1/2} \quad (10)$$

식 (10)에서,

$$A = \max(D_x^- \phi_{i,j}, 0), B = \min(D_x^+ \phi_{i,j}, 0) \\ C = \max(D_y^- \phi_{i,j}, 0), D = \min(D_y^+ \phi_{i,j}, 0)$$

나타내며

$$D_x^- \phi_{i,j} = \frac{\phi_{i,j}^n - \phi_{i-1,j}^n}{\Delta x} \text{ 와 } \\ D_x^+ \phi_{i,j} = \frac{\phi_{i+1,j}^n - \phi_{i,j}^n}{\Delta x} \text{ 는}$$

x 방향의 전향, 후향 미분치를 의미하며 Δt 는 시간 증분치이다[8].

식 (10)을 이용하여 ϕ 값을 반복적으로 계산해 나가다 전체적으로 ϕ 값의 변화가 거의 없을 경우 계산을 종료하고, 그리고 $\phi=0$ 인 점들을 찾으면 1차 윤곽 추출이 완료된다. 추출된 윤곽점들로 구성된 \mathbf{v} 는 다음 snake 모델의 초기 곡선으로 이용된다.

2.3 Snake 모델

Snake 방식이란 초기에 주어진 snake의 모양이나 위치를 에너지가 최소로 되는 방향으로 변화시켜 가면서 snake 전체에너지가 최소가 되는 특징점(feature point)들을 찾아가는 방법이다. snake이란 움직이는 곡선 또는 폐곡선을 의미하며 서로 교차되지 않는 것으로 간주한다. snake의 전체 에너지는 내부 에너지와 외부에너지로 구성된다. 영상으로부터 원하는 특징을 추출해 내기 위해 Kass, Witkin, 그리고 Terzopoulos등은 다음과 같은 에너지 함수 형태의 snake 모델을 사용하였다. [1]

$$E(\mathbf{v}(s)) = \int_0^1 E_I(\mathbf{v}(s)) + E_E(\mathbf{v}(s)) ds \quad (11)$$

식 (11)의 $\mathbf{v}(s)$ 는 snake를 나타내며 매개변수 s 로 전체 snake 점들을 나타낸다. 즉,

$$\mathbf{v}(s) = (x(s), y(s)), s \in [0, 1] \quad (12)$$

즉, snake의 전체 에너지를 snake 모양을 스무딩하게 유지하는 내부에너지(E_I)와 찾고자 하는 영상의 특징으로부터 정의되는 외부에너지(E_E)의 합으로 표현하며, 에너지가 최소가 되도록 snake을 이동하면서 원하는 특징점들을 찾아낸다. 여기서,

$$E_I = \alpha(s) |\mathbf{v}'(s)| + \beta(s) |\mathbf{v}''(s)| \quad (13)$$

$$E_E = -|\nabla(D_{Aniso} * I(\mathbf{v}(s)))|^2 \quad (14)$$

식 (13)의 $\mathbf{v}'(s)$ 는 s 에 대한 1차 미분으로서, 절대값의 크기를 snake의 탄성력(elasticity force)이라 하며 snake의 각 점들을 가까이 유지되도록 작용하는 힘이 된다. 그리고 $\mathbf{v}''(s)$ 는 s 에 대한 2차 미분으로서, snake의 강성력(stiffness force)을 나타내며 snake 모양을 완만하게 유지되도록 작용하는 힘이다.

α 와 β 는 snake의 탄성과 강성의 크기를 제어하는 가중치이다.

식 (14)의 외부에너지는 영상의 그래디언트 값의 크기로 설정되며 snake을 이동시키는 힘으로 작용하며, 음수값을 부여하여 물체 경계와 같은 그래디언트 크기가 큰 부분들을 추출시 에너지함수로 많이 이용된다.

식 (11)에 대하여 최소화를 만족하는 $\mathbf{v}(s)$ 를 구하기 위한 오일러 방정식은 초기조건 $\mathbf{v}(0)$, $\mathbf{v}(1)$, $\mathbf{v}'(0)$, $\mathbf{v}'(1)$ 이 주어졌을 경우, 다음과 같은 식 (15)로 표현된다.

$$-(\alpha(s) \mathbf{v}'(s))' + (\beta(s) \mathbf{v}''(s))'' + \nabla E_E = 0 \quad (15)$$

2.4. Snake 모델 이산식

Snake 모델식 (15)에 대해 유한 미분법으로 근사화하면

$$\begin{aligned} (\alpha(s) \mathbf{v}'(s))' &= \alpha_{i+1}(\mathbf{v}_{i+1} - \mathbf{v}_i) \\ &\quad - \alpha_i(\mathbf{v}_i - \mathbf{v}_{i-1}) \end{aligned} \quad (16)$$

$$\begin{aligned} (\beta(s) \mathbf{v}''(s))'' &= \\ &\beta_{i-1}(\mathbf{v}_{i-2} - 2\mathbf{v}_{i-1} + \mathbf{v}_i) \\ &- 2\beta_i(\mathbf{v}_{i-1} - 2\mathbf{v}_i + \mathbf{v}_{i+1}) \\ &+ \beta_{i+1}(\mathbf{v}_i - 2\mathbf{v}_{i+1} + \mathbf{v}_{i+2}) \end{aligned} \quad (17)$$

식 (16)과 (17)을 식 (15)에 대입하여 정리하면 식

(18)과 같다.

$$\begin{aligned} &\beta_{i-1} \mathbf{v}_{i-2} \\ &- (\alpha_{i+2} \beta_{i-1} + 2\beta_i) \mathbf{v}_{i-1} \\ &+ (\alpha_i + \alpha_{i+1} + \beta_{i-1} + 4\beta_i + \beta_{i+1}) \mathbf{v}_i \\ &- (\alpha_{i+1} + 2\beta_i + 2\beta_{i+1}) \mathbf{v}_{i+1} \\ &+ \beta_{i+1} \mathbf{v}_{i+2} + (f_x(i), f_y(i)) = 0 \end{aligned} \quad (18)$$

식 (18)의 $f_x(i) = \frac{\partial E_E}{\partial x_i}$, $f_y(i) = \frac{\partial E_E}{\partial y_i}$ 이다.

식 (18)의 snake 점들을 $x-y$ 좌표계로 나타내면, $\mathbf{v}_i = (x_i, y_i)$ 가 되며 식 (15)는 다음과 같이 식 (19)와 같은 행렬식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} A \mathbf{x} + \mathbf{f}_x(\mathbf{x}, \mathbf{y}) &= 0 \\ A \mathbf{y} + \mathbf{f}_y(\mathbf{x}, \mathbf{y}) &= 0 \end{aligned} \quad (19)$$

식 (19)에서 행렬 A 의 원소를 $a_{i,j}$, 그리고 $0 \leq i, j \leq N-1$ 로 하면,

행렬 A 는 다음과 같은 항들로 구성되는 5선 띠의 대각행렬이 된다.

$$\begin{aligned} a_{i,i-2} &= \beta_{i-1} \\ a_{i,i-1} &= -(\alpha_i + 2\beta_{i-1} + 2\beta_i) \\ a_{i,i} &= \alpha_i + \alpha_{i+1} + \beta_{i-1} + 4\beta_i + \beta_{i+1} \\ a_{i,i+1} &= -(\alpha_{i+1} + 2\beta_i + 2\beta_{i+1}) \\ a_{i,i+2} &= \beta_{i+1} \end{aligned}$$

그 외 항은 0이다.

식 (19)의 $\mathbf{x} = [x_0, x_1, \dots, x_{N-1}]^T$,

$\mathbf{y} = [y_0, y_1, \dots, y_{N-1}]^T$ 는

snake의 위치를 나타낸다. 그리고,

$$\begin{aligned} \mathbf{f}_x(\mathbf{x}, \mathbf{y}) &= [f_x(x_0, y_0), f_x(x_1, y_1), \\ &\quad \dots, f_x(x_{N-1}, y_{N-1})], \\ \mathbf{f}_y(\mathbf{x}, \mathbf{y}) &= [f_y(x_0, y_0), f_y(x_1, y_1), \\ &\quad \dots, f_y(x_{N-1}, y_{N-1})] \end{aligned}$$

는 snake에 작용하는 외부 에너지의 x, y 방향으로의 편미분에 해당된다.

식 (19)를 시간에 대해 반복적으로 풀기위해 다음과 같이 식 (20)으로 둔다.

$$\begin{aligned}
 A \mathbf{x}_t + \mathbf{f}_x(\mathbf{x}_{t-1}, \mathbf{y}_{t-1}) &= \\
 &\quad -\tau(\mathbf{x}_t - \mathbf{x}_{t-1}) \\
 A \mathbf{y}_t + \mathbf{f}_y(\mathbf{x}_{t-1}, \mathbf{y}_{t-1}) &= \\
 &\quad -\tau(\mathbf{y}_t - \mathbf{y}_{t-1}) \quad (20)
 \end{aligned}$$

여기서 τ 는 시간 간격이며, $\mathbf{x}_t, \mathbf{y}_t$ 에 대한 최종 이산식이 식 (21)이다.

$$\begin{aligned}
 \mathbf{x}_t &= (A + \tau I)^{-1} \cdot \\
 &\quad (\tau \mathbf{x}_{t-1} - \mathbf{f}_x(\mathbf{x}_{t-1}, \mathbf{y}_{t-1})) \\
 \mathbf{y}_t &= (A + \tau I)^{-1} \cdot \\
 &\quad (\tau \mathbf{y}_{t-1} - \mathbf{f}_y(\mathbf{x}_{t-1}, \mathbf{y}_{t-1})) \quad (21)
 \end{aligned}$$

여기서 I 는 identity 행렬이다[1].

3. 다중 해상도 레벨 세트 알고리즘

다중 해상도 처리 방식이란 연속된 다중 해상도 영상에서 반복적인 처리를 통해 원하는 해를 찾아가는 방법이다. 즉, 저 해상도 영상에서 원하는 해를 찾은 뒤, 다음 레벨의 고 해상도 영상에서 이전 레벨에서 구한 해를 초기값으로 하여 반복적으로 해를 찾아가면서 최종적으로 원영상에서 해를 찾아내는 방식이다. 이렇게 함으로써 레벨 세트 값의 반복 계산에 필요한 양을 스케일 영상의 크기에 따라 많이 줄일 수 있다.

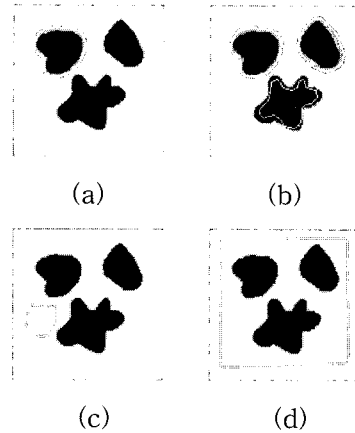
본 논문에서 기존의 활성 모델에 다중 해상도 레벨 세트 알고리즘을 적용하는 이유는 다음과 같은 snake 모델의 초기 snake 위치 설정 문제와 위상 처리의 어려움을 해결하고 동시에 레벨 세트 알고리즘 적용시 필요한 계산량을 줄이는 데 있다.

Snake 모델에서 초기 snake 위치는 (그림 2)(a) 경우와 같이 추출하고자 하는 대상 영역의 경계 부근에 두거나, 또는 (그림 2)(b)처럼 세 영역의 경계를 동시에 모두 추출 시 추출할 각각의 영역에 대해 초기 snake를 설정해야만 원하는 경계나 윤곽 추출이 가능하다. 이러한 이유로 snake의 위상 처리의 복잡함과 자동화 처리의 어려움이 있다.

하지만 레벨 세트 방식은 (그림 2)(c)와 (그림 2)(d)처럼 영상의 임의의 한 부분이나 추출할 대상 전체를 포함하는 위치에 초기 곡선을 설정하면 대상 영역들의

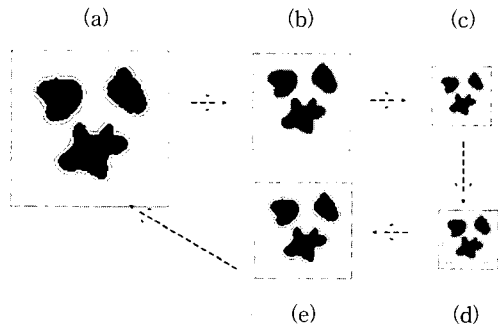
분할과 윤곽 추출이 가능하기 때문에 기하학적 위상처리나 자동화 처리가 용이하다.

윤곽 추출을 위한 제안하는 기하 활성 모델의 전체적인 처리 과정은 다음과 같은 같다.



(그림 2) 초기 곡선 위치

(1) 스케일 레벨 0, 즉 원영상에서 스케일 레벨 s 까지 스케일된 영상을 생성한다. 원영상 크기가 $2^n \times 2^n$ 일 경우 $2^{n-s} \times 2^{n-s}$ 로 스케일 된 영상들이 생성된다. (그림 3)은 스케일 레벨 $s=2$ 로 했을 경우의 예이다. 스케일 레벨 s 를 크게 설정해도 최종적으로 원영상에서의 추출 결과에는 영향이 없다. 왜냐하면



(a) $s=0$ 원영상($2^n \times 2^n$) 및 최종 추출 결과
 (b) $s=1$ 영상($2^{n-1} \times 2^{n-1}$)
 (c) $s=2$ 영상($2^{n-2} \times 2^{n-2}$) 및 초기 곡선
 (d) 1차 윤곽 추출 결과(레벨 세트 방식)
 (e) 2차 추출 결과(snake 방식)

(그림 3) 윤곽 추출 과정 예

스케일 레벨이 가장 큰 영상에서의 일차적인 윤곽 추출은 단지 다음 스케일 레벨 영상에서 이차적인 윤곽 추출을 하기 위한 초기 snake 위치의 근사치를 구하는 과정이기 때문이다. 그렇지만 스케일을 심하게 하여 중요한 에지(edge)정보가 손상되거나 영역간의 거리가 너무 가까울 경우엔 곡선 전개에 좋지 못한 영향을 줄 수 있다.

(2) 스케일 레벨 s에서 주어진 초기곡선 v_{init}^s 을가지고 레벨 세트 식 (10)을 이용하여 영상 밝기 값의 그래디언트 값이 큰 경계점들 v_{shape}^s 을 추출한다. 식(10)의 ϕ 값이 전체적으로 변화가 없을 때, 즉 제로 레벨 세트 곡선이 대상 물체의 에지 부분에 이르렀을 때 일차적인 윤곽 추출이 이루어진 것이다.

영상 각 픽셀에서의 $\phi(i, j)$ 는 2장에서 설명했듯이 0 레벨 세트 곡선에 대한 최소 거리 함수이다. 만약 원영상 크기가 $N \times N$ 이고 0 레벨 세트곡선이 L개의 픽셀로 되어있다면 원영상 전체픽셀에서 일회 ϕ 값 계산량 $\approx LN^2$ 이 되며, $s=1$ 인 스케일 영상에서는 $\frac{LN^2}{4}$, $s=2$ 인 경우엔 $\frac{LN^2}{16}$ 등으로 계산량이 줄어든다. 즉, $\frac{1}{4^s}$ 정도로 감소한다.

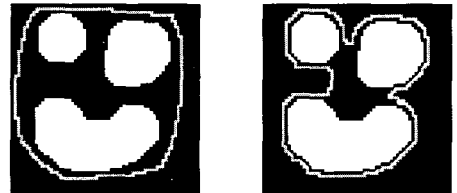
추출된 점들로 이루어진 곡선은 다음 스케일 영상에서 추출하려는 물체의 경계에 거의 근접 한 위치에 와 있는 상태이다. v_{init}^s 는 스케일 레벨 s에서의 초기 설정 곡선, v_{shape}^s 는 레벨 s에서의 추출 결과를 의미한다.

(3) 곡선 전개로 추출된 v_{shape}^s 을 다음 스케일 레벨 s-1 영상에 대응시켜 초기 snake v_{init}^{s-1} 로 하여 식 (22)를 이용해서 v_{shape}^{s-1} 을 구한다. 3의 과정을 스케일 레벨 s=0 즉, 원영상까지 반복하여 최종 v_{shape}^0 을 구한다. 이 처리 과정은 이미 초기 snake 위치가 추출 대상 물체의 에지 부분에 근접해 있는 상황이므로 몇 번의 반복 계산으로 윤곽 추출이 이루어진다.

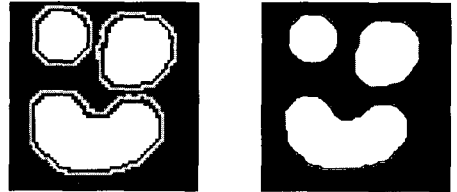
4. 실험 및 고찰

실험을 위한 입력 영상으로 (그림 4)의 합성 영상과, (그림 5)의 의료영상을 이용하였다. (그림 4)(a)는 128x128 크기의 원영상을 64x64로 스케일 한 영상이며 초기 곡선을 함께 나타내고 있다. 식 (10)의 레벨 세트 방정식을 이용하여 80회 정도 진행했을 때의 0 레벨 곡선 모

습이 (그림 4)(b)이며, (그림 4)(c)는 130회 정도 진행되어 ϕ 값이 거의 변화가 없어 1차 추출을 완료한 결과 그림이다. (그림 4)(c)에서 보듯 윤곽 추출할 대상 물체가 3개 경우에도 각 물체들을 잘 분리해 내었다. 또한, 스케일이 가장 작은 영상에 레벨 세트 알고리즘을 적용해 제로 레벨 세트 곡선을 구한 뒤 이 곡선을 다음 레벨이나 원영상의 초기 snake 위치로 함으로서

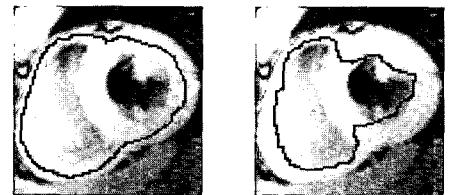


(a) 초기 곡선 64X64 확대 영상 (b) 추출 중간 과정 64X64 확대 영상

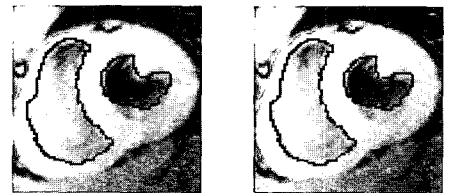


(c) 1차 추출 64X64 확대 영상 (d) 최종 윤곽 추출 128X128 영상

(그림 4) 다수 대상 물체의 윤곽 추출 예



(a) 초기 설정 곡선 64X64 확대 영상 (b) 추출 중간 과정 64X64 확대 영상



(c) 1차 윤곽 추출 64X64 확대 영상 (d) 최종 윤곽 추출 128X128 원영상

(그림 5) 심장 심실 윤곽 추출 예

snake 모델의 초기 snake 위치 설정의 문제점을 해결했다.

(그림 4)(d)는 snake 모델 식 (22)를 이용하여 원영상에 대해 최종 윤곽 추출한 결과를 나타낸다.

(그림 5)는 심장 MRI 영상에 대한 윤곽 추출 예로서, (그림 5)(c)는 레벨 세트식을 이용하여 1차 윤곽 추출한 결과 그림이며 (그림 5)(d)는 snake방식을 이용하여 추출한 윤곽선들의 최종 모양을 나타낸다. 추출한 대상은 심장 MRI 영상에서 좌심실과 우심실으로서 복잡한 의료 영상에서도 마찬가지로 임의의 주어진 초기 곡선으로부터 특정 부위의 경계가 양호하게 추출됨을 확인하였다.

5. 결 론

레벨 세트 방식은 실험 결과 기존에 많이 사용되는 snake 방식이나 또는 영역기반 윤곽 추출 방식들에 비해 처리과정이 간단하며 잡음에 강하며 특히 동시에 여러 대상물체 들을 분할 추출해 낼 수 있음으로 위상 불변한 특성을 가진다. 하지만 윤곽 추출 시 많은 계산량이 요구되므로 이에 대한 해결 방법으로 본 논문에서는 계산량도 많이 줄이고 위상 처리도 쉽게 처리할 수 있는 다중 해상도 레벨 세트 알고리즘을 적용한 기하 활성 모델을 이용하여 윤곽 추출을 시도하였다. 실험 결과 동시에 여러 대상 물체의 분할은 물론 변형이 많은 물체 들의 경계 추출도 가능하였다. 앞으로 움직이는 물체 추적 등의 응용과 심장 MRI 같은 연속적인 의료 영상 등을 이용하여 심장의 진단 등에도 이용 가능하리라 생각되며 향후 연구 과제이다.

참 고 문 헌

[1] M. Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes : Active Contour Models," *International Journal of Computer Vision* 1, pp.321-331, 1988,
 [2] L. D. Cohen, "On Active Contour Models and Balloons," *CVGIP : Image Understanding* 53, pp. 211-218, 1991.
 [3] R. Malladi, J. A. Sethian and B. C. Vemuri, "Shape Modeling with Front Propagation : A Level Set Approach," *IEEE Trans. on PAMI* 17, pp.158-175, 1995.
 [4] 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.

[5] P. Perona and J. Malik. "Scale-space and edge detection using anisotropic diffusion," *EEE Trans. on PAMI* 12(7), pp.629-639, 1990.
 [6] S. J. Osher and J. A. Sethian, "Fronts Propagation with Curvature Dependent Speed : Algorithms Based on Hamilton-Jacobi Formulations," *Journal of Computational Physics* 79, pp.12-49, 1988.
 [7] J. A. Sethian, "Numerical Algorithms for Propagating Interfaces : Hamilton-Jacobi Equations and Conservation Laws," *Journal of Differential Geometry*, 31, pp.131-161, 1990.
 [8] J. A. Sethian, "Level Set Methods : Evolving Interfaces in Geometry, Fluid Mechanics, Computer Vision, and Materials Science," Cambridge University Press, 1996.
 [9] 김성곤, 신문걸, 김두영, "레벨 세트 방식을 이용한 형태 추출", *대한전자공학회 학술발표 논문집*, Vol.21, No.1, pp.765-768, Jun., 1998.



김 성 곤

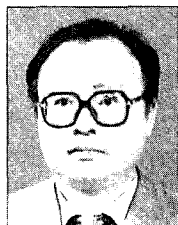
e-mail : skkim@jisan.ac.kr

1983년 경희대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1985년 경희대학교 전자공학과(공학석사)

1995년~현재 동아대학교 전자공학과 박사과정

1992년~현재 지산대학 전자계산과 조교수
 관심분야 : 컴퓨터 비전, 의료 영상 처리 등.



김 두 영

e-mail : dykim@daunet.donga.ac.kr

1972년 부산대학교 전자공학과(학사)

1975년 부산대학교 대학원 전자공학과(석사)

1983년 경북대학교 대학원 전자공학과(박사과정 수료)

1977년~현재 동아대학교 전자공학과 교수
 관심분야 : 디지털 신호처리, 영상처리 및 컴퓨터비전