

## An Initialization of Active Contour Models(Snakes) using Convex Hull Approximation<sup>1)</sup>

Young-Tae Kwak<sup>2)</sup>

### Abstract

The Snakes and GVF used to find object edges dynamically have assigned their initial contour arbitrarily. If the initial contours are located in the neighboring regions of object edges, Snakes and GVF can be close to the true boundary. If not, these will likely to converge to the wrong result. Therefore, this paper proposes a new initialization of Snakes and GVF using convex hull approximation, which initializes the vertex of Snakes and GVF as a convex polygonal contour near object edges. In simulation result, we show that the proposed algorithm has a faster convergence to object edges than the existing methods. Our algorithm also has the advantage of extracting whole edges in real images.

**Keywords** : Active contour model, Convex hull approximation, Snakes

### 1. 서론

물체의 윤곽선 추출은 영상처리, 패턴인식, 이동물체의 추적 등 컴퓨터비전과 영상을 다루는 응용분야에 사용되는 중요한 특징 중의 하나이다. 일반적으로 많이 사용되는 윤곽선 추출 방법은 마스크를 이용하는 것으로 소벨, 프리위트, 로버트, 라플라시안 그리고 캐니 윤곽선 검출 등이 있다. 이러한 윤곽선 추출 방법들은 올바른 윤곽선 추출을 위한 전 단계로써 잡음을 제거해야 하며, 윤곽선 추출을 위해서 임계치를 설정을 해야 하는 문제를 내포하고 있다(Petrou(1999)).

이러한 정적인 윤곽선 추출 방법을 극복하기 위해, Kass(1987)는 스네이크(Snakes)라 불리는 동적인 윤곽선 모델을 제안하였다. 스네이크는 정점들의 집합으로 이루어진 곡선으로써 영상내 관심있는 물체의 주변에 초기화된 후, 에너지 함수와 에너지 최소화 알고리즘에 의해 물체의 윤곽선을 추출하는 모델이다.

---

1) 이 논문은 2003년도 익산대학 산업기술연구소의 지원에 의하여 연구되었음.

2) 전북 익산시 마동 194-5 익산대학 컴퓨터학과 조교수  
E-mail : kwak@iksan.ac.kr

이후 Xu(1998)는 스네이크를 에지 기울기 벡터의 분포를 이용한 GVF(Gradient Vector Flow)로 발전시켰다. 이것은 윤곽선의 오목한 경계면까지도 추출가능하나, 에너지항의 계수와 GVF의 구현에 대한 최적화가 필요하며 이미지의 크기에 따라 계산 시간과 반복 횟수가 상대적으로 증가하는 단점이 있다.

스네이크에서 정확하고 빠른 윤곽선 추출이란 추출하고자 하는 물체의 주위에 스네이크의 초기 정점들을 어떻게 위치시키느냐에 좌우된다. 그러나 Kass의 스네이크와 Xu의 GVF는 모두 물체의 주위에 스네이크의 정점들을 임의적으로 지정하여 초기화하였다. 또한, Leroy(1996)는 다중해상도 방법을 제안하였으나, 상이한 해상도에 따른 스네이크의 이동에 어려움이 있었다.

따라서, 본 논문에서는 블록 다각형 근사화를 이용하여 추출 대상 물체에 가장 근접한 스네이크 정점을 초기화하여 스네이크의 성능을 높이고 계산 시간을 단축시키는 방법을 제안한다. 본 논문의 구성으로 2장에서는 Kass의 스네이크 알고리즘을 간략하게 설명하고 GVF의 특징을 알아본 후, 3장에서 블록 다각형 근사화를 이용한 스네이크의 초기화를 제안한다. 4장에서는 기초 영상과 실제 영상을 대상으로 실험하여 결과를 분석하고 5장에서 결론을 맺는다.

## 2. Active Contour Models과 GVF

### 2.1 스네이크(Snakes) 알고리즘

일반적인 윤곽선 추출 방법은 마스크 필터를 적용하여 밝기의 차이가 나타나는 부분을 모두 윤곽선으로 추출한다. 따라서 관심 영역에서 여러 개의 윤곽선이 추출되고 그 중 최종 윤곽선을 추출하는 후처리 작업이 필요하다. 그러나 스네이크는 초기 정점을 기준으로 윤곽선이 동적으로 움직이는데 이러한 스네이크는 2차원 영상 평면에서 스플라인 곡선 위의 정점들로 표현되며, 식(1)과 같이 정의된다.

$$\Omega = [0,1] \Rightarrow R^2 \quad v(s) = (x(s), y(s)) \quad (1)$$

스네이크는 자신에게 작용하는 총에너지를 최소화 하는 방향으로 움직이는데, 거기에 작용하는 총에너지  $E_{snake}^*(v)$ 는 내부에너지와 외부에너지로 구성된다. 내부에너지는 스네이크의 형태에 영향을 주고, 외부에너지는 영상의 특징들로 끌어당기는 역할을 한다.

$$\begin{aligned} E_{snake}^*(v) &= \int_0^1 E_{snake}(v(s)) ds \\ &= \int_0^1 (E_{int}(v(s)) + E_{ext}(v(s))) ds \end{aligned} \quad (2)$$

여기서 내부에너지는 식(3)과 같이 정의되며, 정점들이 서로 가까워지도록 스네이크의 불연속을 방지하기 위한 항과 정점들이 서로 동일한 거리를 유지한 채 스네이크의 급격한 꺾임을 방지하는 에너지항으로 구성된다. 여기서  $v_s, v_{ss}$ 는 s에 대한 1차 미분과 2차 미분을 나타낸다. 또한, 외부에너지는 영상의 명암 기울기 함수로써 밝기값의

차이가 큰 부분에서 작은 값을 가지게 되어 스네이크는 큰 밝기값을 가지는 곳(에지)을 찾아간다.

$$\begin{aligned} E_{int}(v(s)) &= \alpha(s) |v_s(s)|^2 + \beta(s) |v_{ss}(s)|^2 \\ E_{ext}(v(s)) &\approx -|\nabla I(x,y)| \end{aligned} \quad (3)$$

식(2)에 정의된 총에너지를 전개하면 다음과 같다.

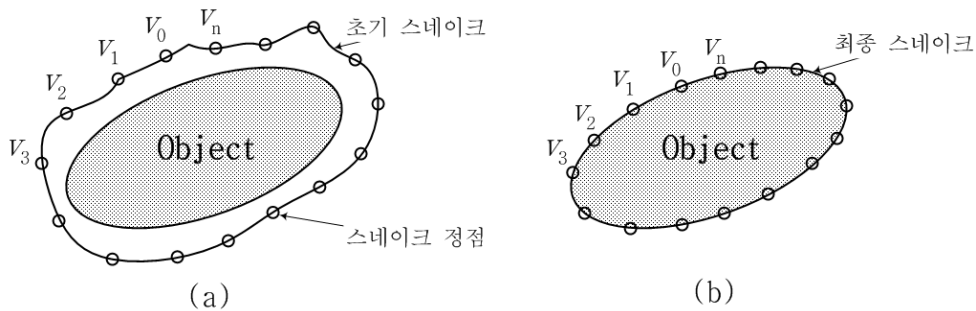
$$E_{snake}^*(v) = \int_0^1 (E_{ext}(v(s)) + \frac{1}{2}(\alpha(s) |v_s(s)|^2 + \beta(s) |v_{ss}(s)|^2)) ds \quad (4)$$

$E_{snake}^*(v)$ 을 최소화 하는  $v(s)$ 를 찾기 위해서는 변분법을 이용한다. 스네이크에 작용하는 총에너지가 최소값을 가지기 위한 필요조건은 식(5)의 Euler-Lagrange equation을 만족해야 한다. 식(5)에서  $F_v$ 는  $v$ 에 대한 편미분,  $F_{v_s}$ 는  $\frac{dv}{ds}$ 에 대한 편미분,  $F_{v_{ss}}$ 는  $\frac{d^2v}{ds^2}$ 에 대한 편미분에 해당한다.

$$F_v - \frac{\partial}{\partial s} F_{v_s} + \frac{\partial^2}{\partial s^2} F_{v_{ss}} = 0 \quad (5)$$

식(5)에 따라 각 항을 전개하고 정리한 후, 초기 상태에 따라 Euler-Lagrange equation을 풀기 위해 반복적인 방법을 사용하여 식(6)과 같은 최종식을 얻을 수 있다 (박찬모(1995); 김원(1998)). 여기서 A는 5단 대각행렬이며  $f_x(x, y)$ 는 외부에너지의 x, y 방향의 편미분이고  $\gamma$ 은 step size이다.

$$\begin{aligned} x_t &= (A + \gamma I)^{-1} (\gamma x_{t-1} - f_x(x_{t-1}, y_{t-1})) \\ y_t &= (A + \gamma I)^{-1} (\gamma y_{t-1} - f_y(x_{t-1}, y_{t-1})) \end{aligned} \quad (6)$$



<그림 1> 초기 스네이크와 최종 스네이크

<그림 1>의 (a)와 (b)는 초기 스테이크의 정점 설정과 총에너지를 최소화 하는 알고리즘을 사용하여 물체의 윤곽선을 추출한 최종 스테이크의 위치를 보여준다. 이러한 Kass의 스테이크는 초기 정점들이 윤곽선에서 멀리 설정되면 잘못된 결과를 얻을 수 있다는 단점과 오목한 윤곽선 지역에서는 스테이크의 활동이 지체되는 문제점을 가지고 있다.

이 외에도 해상도를 좋게 하기 위해 많은 수의 정점들을 취하면 역행렬의 계산과정에서 많은 시간이 소모되고, 컴퓨터 계산상의 오차로 인하여 최종 스테이크의 위치가 예상치 않았던 곳으로 수렴하는 수학적 불완전성이 발생한다. 그리고 임의의 x점에서 물체의 경계로 이동시키는 영상력이 0이 되어 x점에서는 물체의 경계가 아니더라도 정지 상태에 존재하게 되고, 이 위치에서 스테이크는 단지 내부에너지만 움직이게 되는 영상에 의한 불완전성이 발생한다(이진우(1992)). 따라서 오목한 윤곽선과 영상력에 의한 불완전성을 해결하기 위해 Xu는 GVF를 제안했다.

## 2.2 Gradient Vector Flow

Xu(1998)는 스테이크의 총에너지중 내부에너지항과 외부에너지항의 균등함으로 인하여 오목한 부분의 윤곽선 추출이 어렵다는 것을 확인하였다. 따라서 이진 영상이나 그레이 영상에 대한 에지맵을 계산한다. 그리고 에지맵을 이용하여 식(7)과 같은 외부에너지항을 정의하였다. 즉, 기존 스테이크의 외부에너지항을 식(7)로 대체한 것이다. 식(7) 또한, Euler-Lagrange equation에 의하여 식(8)과 같은 해를 얻을 수 있고, 이에 대한 수치적인 계산법은 기존 스테이크 알고리즘과 비슷하다.

$$\exists = \text{dint } u(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + |\nabla f|^2 | \mathbf{v} - \nabla f |^2 dx dy \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \mu \nabla^2 u - (u - f_x)(f_x^2 + f_y^2) &= 0 \\ \mu \nabla^2 v - (v - f_y)(f_x^2 + f_y^2) &= 0 \end{aligned} \quad (8)$$

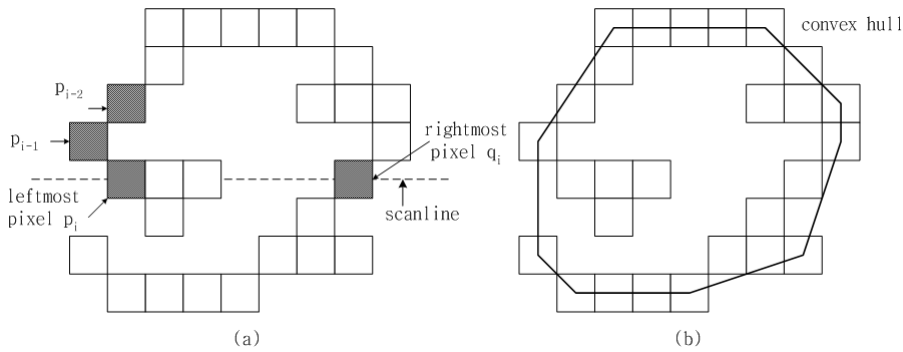
이런 GVF의 가장 큰 장점은 오목한 부분의 윤곽선 추출이 가능하고, 스테이크의 초기 정점 범위가 기존 스테이크보다 넓다. 즉, 초기 정점의 위치가 다르더라도 윤곽선 추출 결과는 비슷했다. 그러나 외부에너지항의 계수와 GVF의 구현에 대한 최적화가 필요하며, 이미지의 크기에 따라 계산 시간과 반복 횟수가 상대적으로 크게 늘어나는 단점이 있다. 따라서 본 논문에서는 기존 스테이크와 GVF에서 모두 사용할 수 있는 스테이크의 초기 정점 설정방법을 제안한다.

### 3. 블록 다각형 근사화와 스네이크의 정점 초기화

우선 원영상에서 관심 있는 물체의 윤곽선을 추출하기 위해서는 관심 물체가 있는 영역을 분할해야 한다. 분할 방법으로는 전체 영상에 대해 수평, 수직 히스토그램을 구하고 임계값을 정하여 분할하는 방법이 있으나, 영상이 복잡한 경우 임계값을 정하기 어렵다. 따라서 본 논문의 목적은 영상 분할이 아닌 윤곽선 추출이므로 관심 영역의 분할은 원영상에 윈도우를 씌워 수동으로 분할한다.

분할된 영상은 이진화를 하여 대략적인 물체의 형태를 얻는다. 그러나 이진화된 영상은 노이즈를 포함하고 있으며 물체내부에 빈 공간이 생길 수도 있다. 이것을 해결하기 위해 원영상에 포함된 물체 영역을 크게 하는 팽창(dilation)과 물체 영역을 줄이는 침식(erosion)을 수행하는 모폴로지 필터를 적용한다. 모폴로지 필터는 침식과 팽창 순서로 3x3이나 5x5 마스크를 적용함으로써 수행된다.

일단 모폴로지 필터가 적용된 영상은 잡음이 제거되고 내부의 빈 공간이 채워짐으로 물체의 대략적인 윤곽을 얻는다. 이러한 영상에 스네이크의 초기 정점을 설정하기 위하여 다음과 같은 블록 다각형 근사화를 수행한다(이철훈(2000)).



<그림 2> 블록 다각형 근사화

블록 다각형 근사화를 위한 영상의 원점은 2차원 영상에서와 같이 위쪽 좌측을 원점으로 한다. <그림 2>는 블록 다각형 근사화 알고리즘에 대한 기본 개념을 나타낸다. 먼저, 알고리즘은 첫 번째 scanline에서 시작하게 되고 각 scanline에서 맨 왼쪽과 맨 오른쪽 점을 찾게 된다.  $p_i, q_i$ 는 현재 scanline에서의 맨 왼쪽과 오른쪽 점이다. 여기서, 왼쪽 부분만 고려하여  $p_i$  이전에 검출된 두 끝점을  $p_{i-2}=(x_{i-2}, y_{i-2})$ 와  $p_{i-1}=(x_{i-1}, y_{i-1})$ 라 하자. 현재 scanline에서 선택되는 맨 왼쪽 혹은 맨 오른쪽 점을  $p_i=(x_i, y_i)$ 라 하고, 그 이전의 정점  $p_{i-1}$ 이 블록한 위치의 정점인지는 식(9)로 판별되며

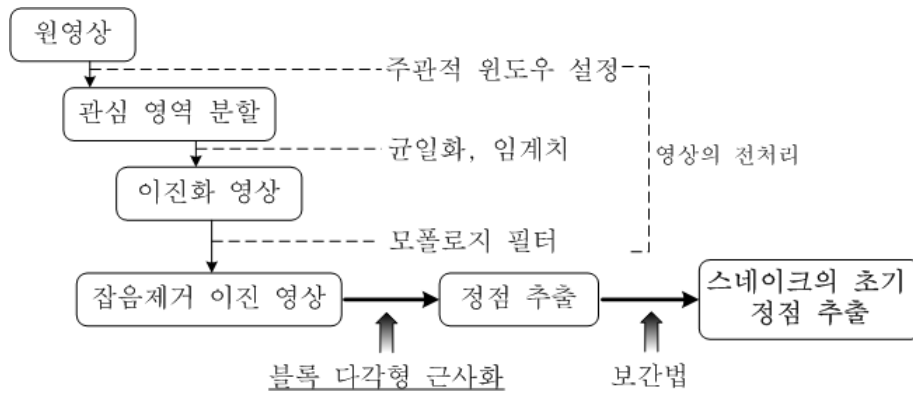
$$H_{i-1} \begin{cases} \leq 0 & \text{for } p_{i-1} \text{ on the left side} \\ > 0 & \text{for } p_{i-1} \text{ on the right side} \end{cases} \quad (9)$$

$$H_{i-1} = \begin{vmatrix} x_{i-2} & y_{i-2} & 1 \\ x_{i-1} & y_{i-1} & 1 \\ x_i & y_i & 1 \end{vmatrix} \quad (10)$$

여기서  $H_{i-1}$ 는 세점의 방향을 결정하는 것으로 식(10)과 같은 행렬식이 된다.  $p_{i-1}$  점이 식(9)을 만족하는 정점이라면 블록 다각형의 정점에서  $p_{i-1}$ 을 제거하고  $p_i$ 점을 새로운 정점으로 등록하게 된다. 이와 같은 블록 다각형 근사화를 수행하면 <그림 2>의 (b)와 같은 다각형의 각 꼭지점들을 얻을 수 있다.

근사화된 꼭지점들이 그대로 스네이크의 정점들로 이용되지는 않는다. 만약, 근사화된 정점들의 수가 많으면 스네이크의 수학적 불완전성을 야기시킬 수 있다. 반대로 정점의 수가 적으면 스네이크의 수렴 속도를 지연시킬 수 있고 잘못된 윤곽선 추출을 할 수도 있다. 또한, 근사화된 정점들의 분포가 한곳에 밀집되어 있다면 스네이크의 정점들이 물체의 중심으로 수축되는 결과를 일으킬 수도 있다.

이런 현상을 방지하기 위하여 근사화된 정점들 사이를 균일하게 하고, 일정하게 하는 보간법을 사용한다. 이렇게 보간법으로 얻어진 정점을 스네이크의 초기 정점으로 사용한다. <그림 3>은 논문에서 제안된 알고리즘의 전체적인 흐름도를 나타낸다.

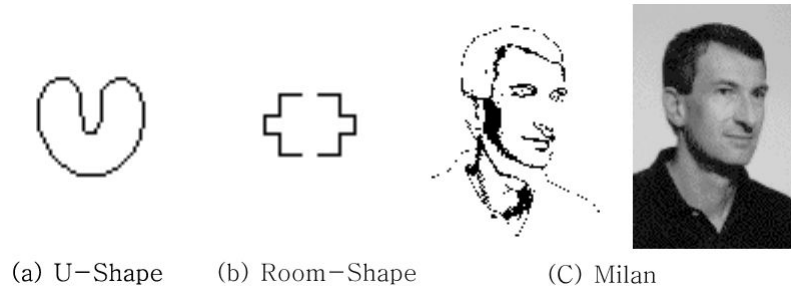


<그림 3> 스네이크의 정점 초기화 과정

#### 4. 실험 결과

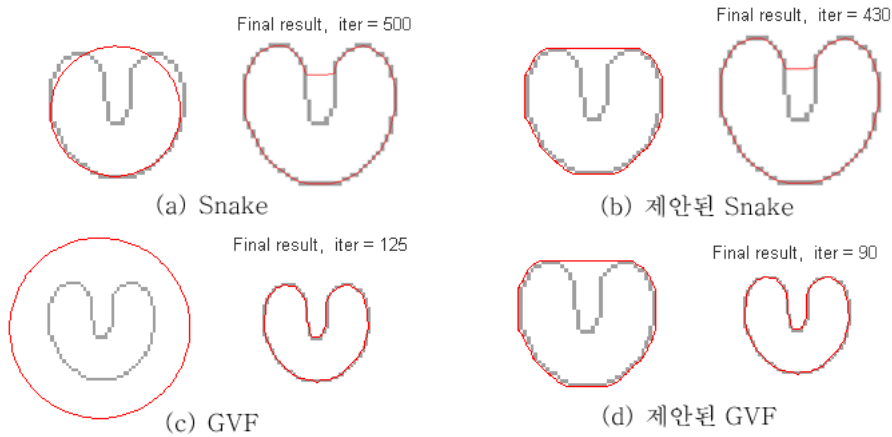
제안된 알고리즘의 실험은 <그림 4>와 같은 기초 영상 2개와 실제 영상 1개로 실험하였다. <그림 4>의 (a)와 (b)는 64x64의 pgn 파일이고 (c)는 84x122의 gif 파일을 pgn 파일로 변환시킨 후 사용하였다. 또한, 스네이크와 GVF의 구현은 Matlab을 사용하였는데, 논문에서 사용한 실험 영상과 Matlab 소스 파일은 Xu의 원본 파일을 수정

하여 사용하였다(참고문헌: 9번 사이트).



<그림 4> 실험 영상

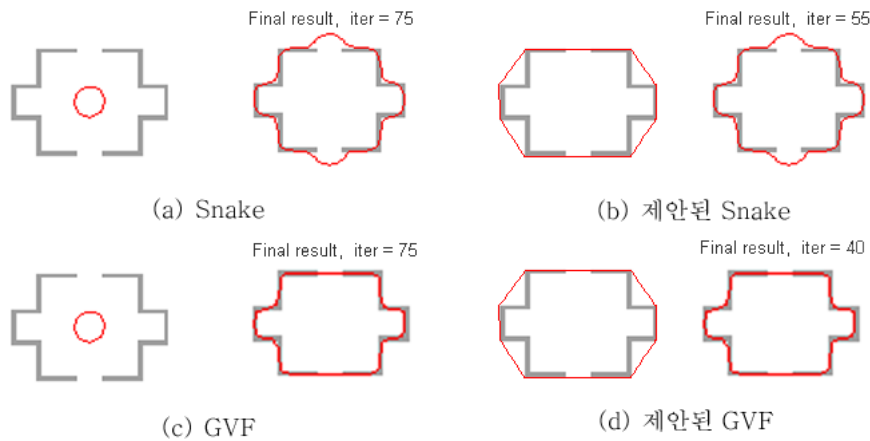
우선, U-Shape을 스네이크와 GVF에서 사용한 초기 정점 설정과 제안된 방법으로 실험한 결과가 <그림 5>에 있다. <그림 5>에서 (a)와 (c)는 스네이크와 GVF에서의 기존 정점 설정 방법을 이용하였고, (b)와 (d)는 제안된 초기 설정을 사용하였다. 그 결과 제안된 방법은 윤곽선을 추출하고자 하는 물체의 인접지역에 초기 정점이 설정되므로 윤곽선의 수렴속도가 빠르다. 또한, GVF와 같은 경우 볼록 다각형 근사화 방법이 볼록한 형태의 초기 정점을 설정하지만, 윤곽선의 추출 결과는 오목한 지역까지 추출할 수 있었고, 그 수렴 속도가 기존 방법보다 빠른 결과를 얻었다.



<그림 5> U-Shape의 결과

<그림 6>은 Room-Shape에 대한 결과이다. 기존 방법은 <그림 6>의 (a)에서처럼, 스네이크의 초기 정점이 너무 멀리 설정되므로, 스네이크 방법으로는 Room-Shape의 윤곽선을 추출할 수 없었다. 그래서 윤곽선이 외부로 증가할 수 있는 힘을 에너지항

에 강제적으로 추가하였다. 그 결과, <그림 6>의 (a)에서는 위쪽과 아래쪽에 윤곽선이 부풀어 오르는 결과를 얻었다. (c)의 GVF는 비록 윤곽선이 멀리 초기화되어 있어도 올바른 결과를 얻었다. 그리고 제안된 방법의 결과인 (b)와 (d)에는 초기 윤곽선 정점이 블록 다각형으로 설정되므로 기존 방법보다 윤곽선의 수렴 속도가 빨랐다. 그리고 (b)에서도 에너지항의 강제적인 힘이 존재하기 때문에 아직도 풍선효과가 그대로 있었다.

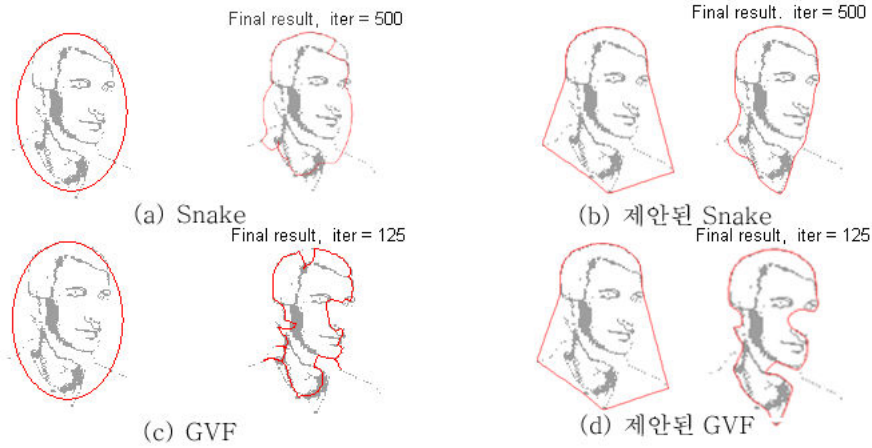


<그림 6> Room-Shape의 결과

기초 영상이 아닌 실제 영상에 대한 실험 결과인 <그림 7>은 다양한 결과를 보여 준다. 우선, 이 결과에서는 반복 횟수를 고정시키고 윤곽선의 수렴 결과를 비교했다. (a)와 (c)의 기존 방법은 임의의 타원으로 스네이크의 정점을 초기화했다. 그 결과 전체적인 얼굴의 윤곽선에는 수렴할 수 없었다. 그 원인은 얼굴의 윤곽선이 하나만 존재하는 것이 아니라 여러 윤곽선이 존재하고 이 중 첫 번째의 윤곽선에서 그대로 수렴하는 결과를 얻었다. 반면에 (b)의 제안된 방법은 스네이크의 정점이 얼굴을 블록한 형태로 초기화 하지만, 스네이크의 단점인 오목한 부분에서는 윤곽선을 수렴할 수 없었다. 그리고 (d)에서는 (b)에서 해결하지 못한 오목한 부분의 윤곽선을 추출할 수 있다.

그러나 여러 윤곽선 중 최적의 윤곽선을 찾지 못한 단점이 있고 이에 대한 연구가 더 필요하다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법은 물체의 경계 지역에 블록 다각형 형태로 스네이크 정점을 초기화하여 윤곽선의 수렴 속도를 단축시키고 전체적인 윤곽선 추출에 적용할 수 있는 특징을 가지고 있다.





<그림 7> Milan-Shape의 결과

## 5. 결론

영상에서 동적인 윤곽선 추출에 사용되는 스네이크와 GVF는 초기 정점을 임의로 설정하여 사용한다. 따라서 물체의 경계 지역에 초기 정점이 설정되면 윤곽선 추출이 성공할 수 있지만, 초기 정점이 물체의 경계 지역에서 멀리 떨어진다면, 올바른 윤곽선 추출을 할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 볼록 다각형 근사화 방법을 이용하여 물체의 경계 지역에 근접한 볼록 다각형으로 스네이크의 정점을 초기화하는 방법을 제안한다.

제안된 방법의 실험 결과, 기초 영상에서는 윤곽선 수렴 속도가 기존 방법보다 단축되었고, 실제 영상에서는 전체적인 윤곽선 추출에 적용할 수 있는 장점을 보였다. 그러나 초기 정점이 오목한 부분을 처리하지 못하므로 좀 더 최적화된 알고리즘이 요구되며 이에 대한 연구가 앞으로 필요하다.

## 참고문헌

1. 김원(1998), *이동물체 추적을 위한 이미지 플로우를 이용한 Active Contour 모델*, 한국과학기술원, 석사학위 논문.
2. 박찬모(1995). *Active Contour Models(Snakes)를 이용한 사용자의 손가락 추적에 관한 연구*, 포항공과대학, 석사학위 논문.
3. 이진우(1992), *Active contour model을 이용한 추적 기법 개발에 관한 연구*, 한국과학기술원, 석사학위 논문.
4. 이철훈, 설성욱, 주재흠, 남기곤(2000). "도로영상에서 움직이는 물체 추적을 위한 윤곽선 및 특징 파라미터 추출", *전자공학회논문지*, 37(1), pp. 11-20.

5. Kass M., Witkin A., and Terzopoulos D.(1987), "Snakes: Active contour models", *Int. J. Computer Vision*, 1(4):321-331.
6. Leroy B., Herlin I., and Cohen L. D.(1996). Multi-resolution algorithms for active contour models. In *12th International Conference on Analysis and Optimization of Systems*, pp. 58-65.
7. Petrou M., and Bosdogianni P.(1999), *Image Processing : The Fundamentals*, John Wiley & Sons
8. Xu C., and Prince J. L.(1998), " Snake, Shapes, and Gradient Vector Flow", *IEEE Trans on Image Processing*, Vol. 7, No. 3, March
9. <http://iacl.ece.jhu.edu/projects/gvf>

[ 2006년 6월 접수, 2006년 8월 채택 ]