

혈관표면의 3차원 재구성을 위한 Deformable model의 정확성 검증에 관한 연구

A Verification of the Accuracy of the Deformable Model in 3 Dimensional Vessel Surface Reconstruction

김호철*, 오장석**, 김형률**, 조성범***, 선 경****, 김민기*****
H. C. Kim*, J. S. Oh**, H. R. Kim**, S. B. Cho***, K. Sun****, M. G. Kim*****

Abstract - Vessel boundary detection and modeling is a difficult but a necessary task in analyzing the mechanics of inflammation and the structure of the microvasculature. In this paper we present a method of analyzing the structure by means of an active contour model(using GVF Snake) for vessel boundary detection and 3D reconstruction. For this purpose we used a virtual vessel model and produced a phantom model. From these phantom images we obtained the contours of the vessel by GVF Snake and then reconstructed a 3D structure by using the coordinates of snakes.

Key Words : deformable model, active contour model, snake, segmentation, gradient vector flow, vessel boundary detection, 3D reconstruction

1. 장 서론

영상분석은 관찰자가 원하는 물체를 선택적으로 추출해내는 방법을 다루는 분야이며, 영상 분할은 이에 있어서 가장 기본적이며 중요한 기술이다. 영상분할은 관심영역과 그 이외의 영역으로 구별시키는 기술로서 생체인식, 문자인식, 시각 추적, 움직임을 추적, 원격감지, 의료 영상처리 분야 등 다양한 분야에 적용이 가능하다. MRI, CT, 초음파, PET 등의 의료 영상장비에서 인체장기의 특정 부분을 수동적으로 분할하는 예전의 방법은 시간과 인력의 낭비, 그리고 주관적인 판단의 개입으로 문제가 제기 되어 왔다. 이런 문제점들을 해결하기 위해서 현재까지 여러 가지 많은 알고리즘들이 제안 되어왔다.

그 중에서 본 연구에서는 현재 가장 활발히 연구가 진행되고 있으며, 전체적으로 최적의 윤곽 검출이 가능한 Active Contour model(GVF Snake)라는 알고리즘을 사용하여 혈관의 윤곽을 찾고 이로부터 혈관을 3차원으로 재 복원함을 목적으로 한다. 혈관의 윤곽을 찾고 복원하여 3차원 모델링 하는 작업은 매우 어려운 작업이지만 혈관 내에서 일어나는 염증반응의 구조를 분석할 수 있으며, 미세혈관의 구조를 분석하고 혈관 내에서의 혈류 해석을 하기위해서 반드시 필요한 작업이다. 본 연구에서는 실제 인체혈관에 적용하기에 앞서 직접 제작한 팬텀모델을 사용하여 Snake의 정확성 검증을 위해 전체적인 실험을 수행하였다.

2. 장 본론

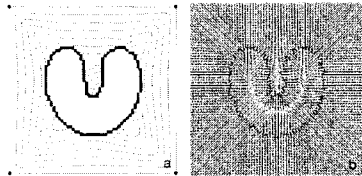
2.1 절 Active Contour Model을 이용한 혈관모델의 3차원 복원

(1) Active Contour Model (GVF Snake)

기존의 Snake 알고리즘의 단점을 보완한 알고리즘으로써 새로운 외부힘으로 식(1)의 에너지 함수를 최소화하는 vector field $u(x, y) = (u(x, y), v(x, y))$ 를 gradient vector flow field로 정의한다.

$$E = \int \int \mu(u_x^2 + u_y^2 + v_x^2 + v_y^2) + |\nabla f|^2 |v - \nabla f|^2 dx dy \quad (1)$$

여기서, f는 원하는 물체의 경계에서 큰 값을 갖는 Edge map이다. $|\nabla f|^2$ 가 작다면 에너지 E는 첫 번째 항에 의해 결정 좌우되고 매우 완만하게 변하는 필드를 제공한다. 반면 $|\nabla f|^2$ 가 크면 두 번째 항에 의해 좌우되며, $v = \nabla f$ 일때 에너지 E는 최소화 된다. 따라서 gradient vector flow field를 이용하여 외부힘을 정의하게 되면 경계정보가 없는 지역에서는 외부힘을 완만하게 변화하여 경계정보를 확산시키고 경계 정보가 많은 지역에서 $v = \nabla f$ 가 됨으로서 원하는 경계가 가변윤곽선을 유도할 수 있게 된다. 그림 1의 (a)에서는 4개의 initial point로부터 GVF Snake가 윤곽선을 검출해나가는 과정을 보여주고 있으며, (b)는 원 이미지에 의해서 생성된 Gradient Vector Flow field를 보여주고 있다.



(a) 가변 윤곽선의 수렴 (b) Gradient Vector Flow field
그림 1. Active Contour Model (GVF Snake)

*高麗大學 醫學科 博士課程

**高麗大學 電子情報工學科 碩士課程

***高麗大學 醫科大學 助教 教授 · 醫博

****高麗大學 醫科大學 教授 · 醫博

*****高麗大學 電子情報工學科 教授 · 工博

• 본 연구는 산업자원의 지원을 받아서 이루어진 것임.

• 본 연구는 보건복지부 보건의료기술연구개발사업의 지원을 받아서 이루어진 것임. (02-PJ3-PG6-EV09-0001)

• 본 연구는 교육인적자원의 부처한국21 프로그램의 지원을 받아서 이루어진 것임.

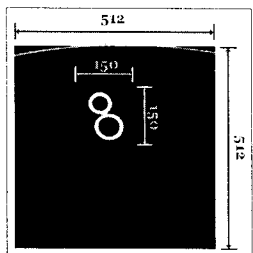


그림 7. 전체 영상에서 원하는 부분의 영상분리

이렇게 분리해낸 영상을 실험을 위해서 256*256과 512*512 사이즈 두 개의 영상으로 확대를 합니다.(그림 8.) 이렇게 다른 사이즈의 영상으로 실험하는 이유는 영상 사이즈와 영상 분할과의 관계를 알아내기 위해서다.

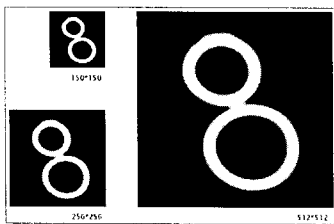


그림 8. 실험을 위한 확대된 이미지들
(좌측 상단 : 분리된 원본 이미지, 좌측 하단 : 256*256 이미지, 우측 : 512*512 이미지)

256*256 이미지에서는 그림9에서 보듯이 잘못된 결과가 나왔기 때문에 본 논문에서는 512*512 이미지에 대한 실험에 대한 내용만 기술한다.

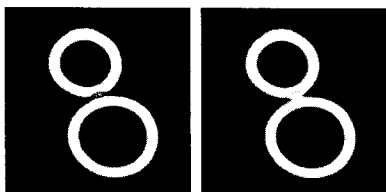


그림 9. 256*256 영상에서의 실험

1) 512*512 사이즈 영상에서의 실험

그림 11의 왼쪽 영상은 윤곽선을 찾기 위한 과정을 보여주고 있으며 오른쪽 영상은 그 결과이다. 오른쪽 영상에서 붉은색 선이 최종 윤곽선 분할의 결과이며 그림에서 보듯이 위쪽 물체의 바깥쪽 윤곽선이 원했던 방향으로 분할된 것을 확인할 수가 있었다. 이 실험을 통하여 밀착된 부분에서의 영상분할이 영상의 확대를 통해서 가능하다는 것을 확인할 수가 있었다.

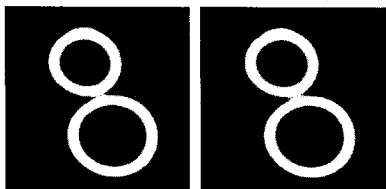


그림 10. 512*512 영상에서의 실험

그림 11의 왼쪽 그림은 512*512 사이즈 영상에서 두 물체가 밀착된 부분에서의 Gradient Vector Flow field를 보여주고 있으며 오른쪽 그림은 붉은색 사각형 부분의 확대된 영상이다. 두 화살표가 만나는 곳이 두 물체의 경계 부분이다. 두 물체가 밀착된 부분에서의 화살표를 보면 서로 마주보고 있는 것을 확인할 수 있다. 이런 이유로 밀착된 부분에서의 경계 분할이 가능하였다.

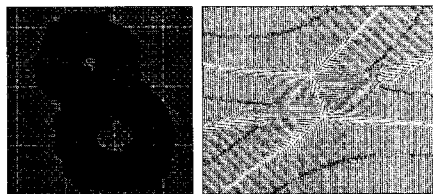


그림 11. 512*512 영상에서의 Gradient Vector Flow field

이번 실험을 통하여 Snake가 두 물체의 윤곽선을 분할하기 위해서는 Gradient Vector Flow field가 충분히 형성되어야 한다는 사실을 확인할 수 있었다. 그러나 영상에서 분할하고자 하는 물체의 크기가 작다면 Gradient Vector Flow field가 충분히 형성되지 못하여 두 영상을 분할할 수가 없었다. 그러나 분할하고자 하는 물체의 영역을 따로 확대하여 Gradient Vector Flow field를 충분히 형성시켜 주게 되면 Snake가 두 물체의 윤곽선을 분할할 수 있게 된다는 사실을 확인할 수 있었다. 이번 실험으로 복잡하거나 동일재질로 이루어진 물체의 밀착된 부분에서 Snake의 영상분할 가능성을 확인할 수 있었다.

3. 장 결론

혈관의 3차원 기하학적 재구성은 어려운 일이지만 염증반응의 구조와 미세혈관 구조 분석, 혈류해석에 반드시 필요한 작업이다. 본 연구에서는 이런 혈관의 3차원 재구성을 위해서 GVF Snake라는 경계 검출 알고리즘을 사용하여 혈관의 경계 검출과 재구성에 관하여 PVC로 제작된 팬텀의 혈관모델에 의하여 연구하였다. 실제 인체혈관에 적용하기에 앞서 팬텀을 사용한 혈관모델을 대상으로 실험한 결과 내용이지만 실제 혈관모델에도 적용이 가능할 것으로 판단된다.

참고 문헌

- [1] M. Kass, A. P. Witkin, D. Terzopoulos, "Snakes: Active Contour Model", International Journal of Computer Vision, 1(4):321-331, 1987.
- [2] C. Xu, J. L. Prince, "Snakes, shapes, and gradient vector flow", IEEE Trans. On Image Processing, pp. 359-369, March, 1998.
- [3] J. Tang, S. T. Acton, "Vessel Boundary Tracking for Intravital Microscopy Via Multiscale Gradient Vector Flow Snakes", IEEE Trans. On Biomedical Engineering, Vol. 51, No. 2, Feb, 2004.