

# 리본스네이크와 원형템플릿을 이용한 관상동맥혈관 추출

이종재<sup>o</sup> 박성호 김계영 최형일

송실대학교 일반대학원 컴퓨터학과

{lijhop<sup>o</sup>, shpark}@vision.ssu.ac.kr {gykim, hic}@computing.ssu.ac.kr

## Extraction of Coronary Artery using Ribbon Snake and Circular Template

Joongjae Lee<sup>o</sup> Sungho Park Gyeyoung Kim Hyungil Choi

Dept. of Computer Science, Soongsil University

### 요 약

본 논문에서는 리본스네이크와 원형템플릿을 이용한 관상동맥추출 방법을 제안한다. 이 방법은 조영사진 술로부터 획득된 관상동맥영상으로부터 동맥경화 유무를 쉽고 정확하게 진단하는데 필요한 혈관영역만을 추출하는 방법이다. 기존 방법에서는 혈관영역전체를 동일한 방법으로 추출하지만 본 논문에서는 혈관을 구성하는 각 세그먼트별로 적합한 추출방법을 적용한다. 즉 혈관에서 평행선을 이루는 부분에 대해서는 항공사진 또는 위성영상에서 도로영역을 추출하는데 사용되는 리본스네이크를 적용하고 혈관의 분지부에 대해서는 원형템플릿과 혈관벽과의 교점의 개수를 분석하는 방법을 사용한다. 이때 원형템플릿의 중심과 교점들이 이루는 각도의 변화율을 고려함으로써 보다 정확한 혈관분지부를 검출할 수 있다.

### 1. 서 론

동맥경화는 최근에 우리나라에서 나타나는 사망원인 중 큰 비중을 차지하는 병으로서 임상적으로 관상동맥질환, 뇌동맥질환, 폐쇄성 말초혈관질환 등으로 발병한다[1]. 특히, 동맥경화는 경동맥 분지부(carotid artery bifurcation), 관상동맥 분지부(coronary artery bifurcation), 그리고 장골동맥 분지부(iliac artery bifurcation)등과 같이 동맥혈관이 분지되는 곳에서 주로 발생한다. 대표적인 동맥경화 판단방법으로 혈관조영사진술이 있는데 이 방법은 환자의 동맥에 조영제를 투입한 뒤 X선 촬영을 통해 동맥의 활류를 촬영한다. 촬영된 혈관조영사진에서 혈관의 협착(stenosis)현상을 조사함으로써 동맥경화의 발생여부를 판단할 수 있다. 따라서 혈관조영사진으로부터 혈관영역을 추출하는 방법은 동맥경화의 진단과 환자치료에 중요한 부분이므로 이에 대한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다.

영상으로부터 혈관영역을 추출하는 방법에는 영상내의 시간적, 공간적, 구조적정보를 종합적으로 이용하여 혈관영역을 분할하는 방법, 스네이크 모델 그리고 원형템플릿과 같은 모델을 기반으로 하는 방법등이 있다[2][5].

기존 방법에서 나타나는 대표적인 문제점은 다음과 같다. 영상의 특징을 이용하는 방법은 실제 임상적으로 사용하는 영상의 질이 낮, 근육과 같은 이물질의 발생으로 현저히 떨어지고 X선 촬영시 발생하는 심한 조영변화로 인해서 영상의 특징으로만 혈관영역을 추출하기가 쉽지 않다. 그리고 모델을 기반으로 하는 방법에서는 사용하는 모델이 혈관의 구조를 반영하는데 부족하다. 일반적인 스네이크 모델은 그 정의로부터 혈관 모양으로 수렴하기가 어려우며 특히 혈관분지부에 대한 검출이 부정확하다는 단점이 있다.

본 논문에서는 혈관영역을 추출하기 위해서 혈관의 구조적인 정보를 이용한 구조적 혈관영역 추출방법을 제안한다. 이것은 전체 혈관을 구성하는 기본혈관을 그림 1과 같이 해석하는 방법으로 하나의 혈관은 혈관의 분지부를 기준으로 하나의 부모 혈관 세그먼트와 두 개의 자식혈관 세그먼트로 구성이 된다. 따라서 기존 방법에서는 전체혈관에 대해 동일한 추출방법을 사용하는데 반하여 본 논문에서는 각 세그먼트별로 적합한 추출방법을 적용한다. 즉, 혈관평행선부에 대해서는 위성사진으로부터 도로영역을 추출하는데 사용되는 리본스네이크를 이용하여 혈관영역 중에서 평행선분이 존재하는 영역을 추출한다.

그리고 각 세그먼트가 만나는 혈관분지부에 대해서는 리본스네이크를 적용할 수 없기 때문에 원형템플릿을 적용한다.

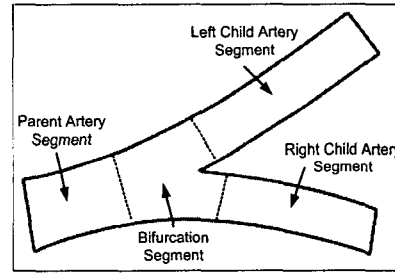


그림1. 혈관 구조

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 리본스네이크를 이용하여 혈관의 평행선부를 추출하는 알고리즘을 기술하고 3장에서는 원형템플릿을 이용한 혈관분지부 추출방법에 대해서 설명한다. 4장에서는 실험영상과 실제 혈관영상에 대한 실험결과를 기술하며 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

### 2. 리본스네이크를 이용한 혈관평행선부 추출

혈관 영역을 추출하는 다양한 방법 중에서 많이 사용되는 방법은 객체의 윤곽선을 추출하는데 적합한 스네이크(snake)모델이다. 그런데 일반적인 스네이크 모델을 혈관사진에 적용할 때는 다음과 같은 문제가 발생한다. 첫째, x선의 투과량에 따라 조영사진의 영암대비가 매우 민감하므로 객체의 윤곽선에 수렴하는 특징을 가진 스네이크가 지역적 최소화에 빠지는 문제점을 가질 수 있다. 둘째, 추출하고자 하는 혈관구조는 분기점을 가지고 있는 구조로서 기존의 스네이크는 분기점을 제대로 추출할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하면서 혈관 영역을 정확하게 추출하기 위해 기존의 스네이크 모델에 너비(width) 정보를 추가한 리본 스네이크모델을 사용한다. 그림2는 리본 스네이크 모델의 구조를 보여준다. 그림2에서 볼 수 있듯이 리본 스네이크 모델은 정선으로 표시된 중심선으로부터 좌우로 일정한 너비를 유지하면서 윤곽선을 추출할 수 있는 모델로서 대표적인 응용분야로는 항공사진 또는 인공

사진으로부터 도로영역을 추출하는 것이다[3]. 본 연구에서는 도로와 유사하게 혈관이 일정한 너비를 유지한다는 특징을 이용하여 리본 스네이크 모델을 혈관영역 추출에 적용하고자 한다.

그림2는 리본 스네이크 모델의 구성을 보여준다. 혈관의 중심을 기준으로 좌우 혈관벽으로 일정한 너비를 유지하면서 모델이 구성됨을 알 수 있다.

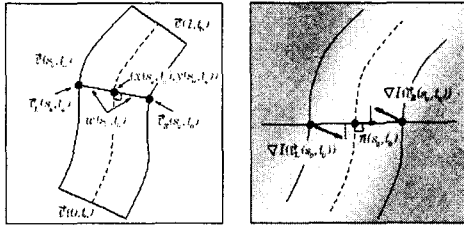


그림2. 리본스네이크 모델

식(1)은 리본스네이크의 정의를 보여준다. 식(1)에서 알 수 있듯이 리본스네이크는 일반적인 스네이크 모델에 너비정보  $w$ 를 추가시킨 것이다.

$$v(s, t) = (x(s, t), y(s, t), w(s, t)), \quad 0 \leq s \leq 1 \quad (1)$$

식(2)는 리본스네이크 모델에 사용되는 에너지 함수의 정의이다. 식(2)에서 첫 번째 항은 영상에너지를 나타내고 두 번째 항은 내부 에너지를 나타낸다.

$$E(v) = - \int_0^1 P(v(s, t)) ds + \frac{1}{2} \int_0^1 a(s) \left| \frac{\partial v(s, t)}{\partial s} \right|^2 ds + \beta(s) \left| \frac{\partial^2 v(s, t)}{\partial s^2} \right|^2 ds \quad (2)$$

$$P(v(s, t)) = (\nabla I(v_L(s, t)) - (\nabla I(v_R(s, t))) \cdot n(s, t)$$

리본스네이크를 이용하여 혈관평행선부를 추출하는 과정은 다음과 같다. 스네이크 초기화단계로 각 세그먼트에 대한 초기 스네이크 포인트를 설정해준다. 초기 포인트를 포함하여 이점들을 연결하는 선분사이에 일정한 간격으로 샘플링한 포인트에 대한 수직선분을 찾는다. 수직선분상의 점들에 대해 식(2)에서 정의한 에너지 크기를 계산한 후 에너지를 최소화하는 점을 혈관벽으로 판단하며 이 과정을 마치면 혈관벽을 이등분하는 혈관 중심점과 선분을 재조정한다. 최종적으로 혈관벽에 수렴된 점들을 연결하면 혈관영역을 추출할 수 있다.

### 3. 원형템플릿을 이용한 혈관분지부 추출

혈관영역 중에서 평행선부를 추출할 때에 적용한 리본스네이크는 두 혈관사이의 일정한 너비를 유지해야 한다는 제약사항을 에너지 함수에 반영하고 있기 때문에 혈관의 너비정보가 가변적인 혈관분지부에 적용하기에는 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 원형템플릿을 이용하여 혈관의 분지부를 독립적으로 추출한다. 이것은 부모혈관 세그먼트의 마지막 중심점을 원형템플릿의 중점으로 하여 일정한 상수배 만큼 확장시킨 원형템플릿과 혈관벽과의 교점의 개수를 이용하여 분지부 영역을 판단하는 방법이다[5]. 그러나 이 방법에서는 혈관 분지부와 분지점을 두 개의 혈관벽이 처음으로 나타난 곳으로만 판단하기 때문에 자식혈관들이 이루는 각도와 혈관의 너비정보등에 따라 부정확한 결과를 보일 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점

을 개선하기 위해서 원형템플릿의 중점과 각각의 측 원쪽, 오른쪽 혈관외벽에 존재하는 교점들이 이루는 각도의 변화율을 고려한다.

그림 3은 본 논문에서 적용하는 원형템플릿의 구조를 보여준다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 혈관영역을 포함할 수 있도록 원형템플릿의 크기를 조절하여 자식혈관 세그먼트의 혈관벽과의 교점의 위치와 개수를 검출한다.

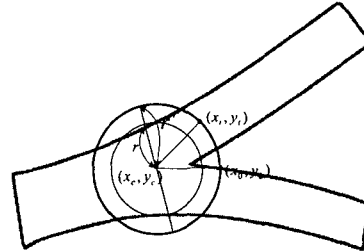


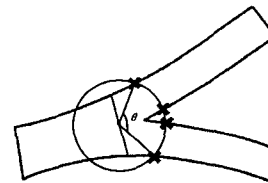
그림3. 원형템플릿

식 (3)은 원형템플릿의 원주상에 존재하는 점의 좌표를 계산하는 방법을 보여준다. 식 3에서  $x_c, y_c$ 는 현재 템플릿의 중점을 나타내고  $r'$ 은 원형템플릿의 반지름의 길이이며 이 길이는 혈관너비의 반인  $r$ 에 상수배( $\alpha=1.4$ )를 하여 구해진다.

$$\begin{cases} x_i = x_c + r' \cos(i \times \theta) \\ y_i = y_c + r' \sin(i \times \theta) \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{where } \begin{cases} \theta = \frac{2\pi}{\lfloor 2\pi r' \rfloor} \\ r' = \alpha \cdot r \\ i = 0, 1, \dots, \lfloor 2\pi r' \rfloor - 1 \end{cases}$$

본 논문에서는 식 3에서 획득된 좌표상에서의 에지정보를 이용하여 혈관벽과의 교점의 개수를 계산한다. 교차점의 개수를 분석해 보면 교차점이 존재하는 영역이 어떤 영역인지를 파악할 수 있는데 예를 들어 부모혈관 세그먼트에서는 2개, 분지부시작점에서는 3개, 분지부에서는 4개의 교차점을 갖는다. 이때 교차점의 개수는 원형템플릿의 진행방향에 대해 반원만을 탐색 범위로 사용한다. 원형템플릿을 재귀적으로 진행시켜나가면서 혈관분지부를 추출해 나가는데 이때 필요한 중요조건으로 기존 방법에서는 최초로 교점의 개수가 4개가 나타나는 지점을 만나는 것으로 한다. 그러나 이 방법은 자식혈관이 이루는 각도와 각각의 혈관너비등에 따라 혈관분지부의 위치와 범위가 변하기 때문에 정확한 혈관분지부와 분지점을 추출할 수 없다. 따라서 본 논문에서는 가변적인 혈관분지부를 정확하게 추출하기 위해 원형템플릿의 중점과 혈관외벽의 교점이 이루는 혈관분지각도를 이용한다. 즉, 원형템플릿을 진행해 나가면서 검출된 교점과의 각도를 계산한 뒤 이 각도의 변화율을 통해 혈관분지부의 시작과 끝을 판단한다. 또한 중요조건으로 각각의 자식혈관 세그먼트 시작부분과 만나거나 교차하는지에 대한 검사를 이용한 다.



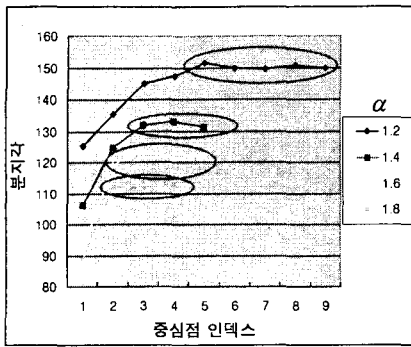


그림4. 혈관 분지각도 측정

그림4는 그림5의 실현영상에 대한 원형템플릿의 중점과 혈관 외벽의 교점이 이루는 혈관분기각 측정방법과 원형템플릿의 크기를 조절하는  $\alpha$ 값에 따른 분지각도 측정결과를 보여준다. 그림4에서 알 수 있듯이 분지부에서는 거의 유사한 분지각을 갖음을 알 수 있다.

4. 실험 및 결과

본 논문에서는 그림5와 같은 그래픽 혈관영상과 그림7에서 볼 수 있는 관상동맥 중 좌관상동맥의 1차 분지부를 포함하는 혈관영역에 대해서 실험을 수행하였다. 그림5는 리본스네이크를 이용하여 혈관평행선부를 추출하는 과정을 보여준다.

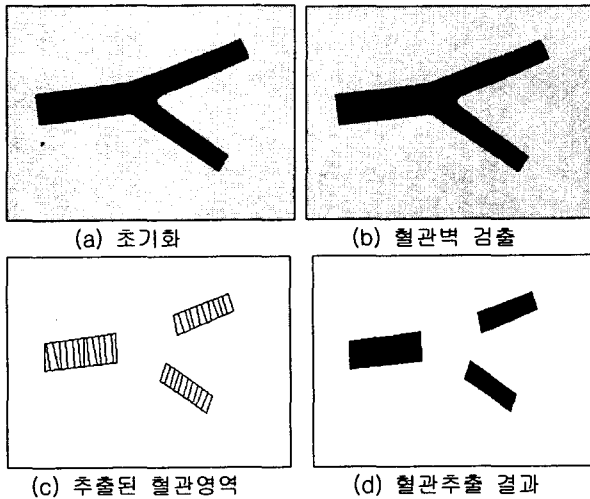


그림5. 혈관평행선부 추출과정

그림6은 원형템플릿을 이용하여 혈관분기부를 추출하는 과정을 보여준다.

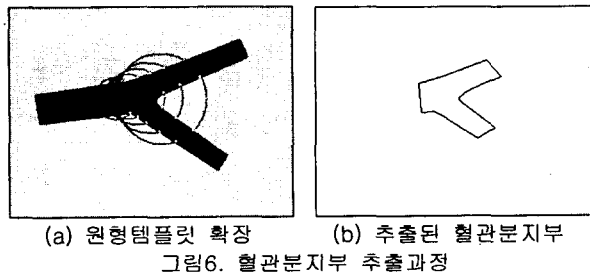


그림6. 혈관분기부 추출과정

그림7은 좌관상동맥에 대한 혈관영역 추출 결과를 보여준다.

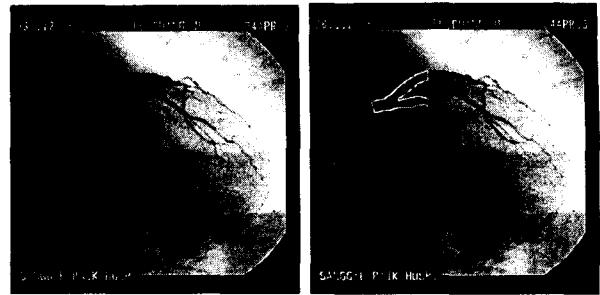


그림7. 좌관상동맥에 대한 혈관영역 추출

5. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 리본스네이크와 원형템플릿을 이용한 관상동맥 추출 방법을 제안하였다. 이 방법은 하나의 혈관은 혈관의 분지부를 기준으로 하나의 부모혈관 세그먼트와 두 개의 자식혈관 세그먼트로 구성이 된다는 구조적 특징을 감안하여 혈관의 평행선부 검출에 리본스네이크를 적용하고 혈관의 분지부 검출에는 원형템플릿을 사용한다. 각각 혈관의 구조적 특징에 적합한 검출방법을 적용한 후 그 결과를 통합하기 때문에 단일한 검출방법을 적용하는 것보다 더 좋은 추출결과를 얻을 수 있다. 향후연구과제로는 리본스네이크 초기화를 자동화시킬 수 있는 방법과 연속적인 분지점이 존재할 때 혈관영역을 레이블링하는 방법에 대한 연구가 있다.

Acknowledgement

본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(ROI-2202-000-00561-0(2202)) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

[1]서상호, 유상신, 권혁문, 노형운, "좌관상동맥 분지부 내에서 정상혈류의 속도와 전단응력분포", '95 추계 대한기계학회, pp.490-493, 1995.  
 [2]James F. O'Brien and Norberto F. Ezquerro, "Automated Segmentation of Coronary Vessels in Angiographic Image Sequences Utilizing Temporal, Spatial and Structural Constraints", Visualization in Biomedical Computing Proceedings, Vol.2359, pp.25-37, 1994.  
 [3]I. Laptev, H. Mayer, T. Lindeberg, W. Eckstein, C. Steger, and A. Baumgartner, "Automatic extraction of roads from aerial images based on scale-space and snakes", Machine Vision and Applications, vol.12, pp.23-31, 2000.  
 [4]Gao, X.W., Bharath, A., Stanton,A., Hughes, A., Chapman,N.,Thom,S.,"Quantification and Characterization of Arteries in Retinal Images", Computer Methods and Programs in Biomedicine, Vol.63(2), pp.133-146, 2000.  
 [5]Haris, K., S.N. Efstratiadis, N. Maglaveras, Costas Pappas, J. Gourassas, and G. Louridas, "Model-Based Morphological Segmentation and Labeling of Coronary Angiograms", IEEE Transaction on Medical Imaging, Vol.18, No.10, pp.1003-1015, 1999.