

IVUS영상에서 웨이블릿 기반의 관상동맥 벽의 추출

이나영^o 김계영

송실대학교 일반대학원 컴퓨터학과

white^o@vision.ssu.ac.kr, gykim@computing.ssu.ac.kr

Extraction of Coronary Arteries Wall based on Wavelet in IVUS Image

NaYoung Lee^o GyeYoung Kim

Dept of Computing, SoongSil University

요 약

혈관내부의 초음파는 혈관 벽(vessel wall) 전체를 관찰할 수 있는 단면적 영상(cross-sectional image) 으로부터 혈관 벽의 서로 다른 층을 평가할 수 있다. IVUS(Intravascular Ultrasound)영상은 잡음에 매우 민감하고 해상도가 낮기 때문에 혈관 벽의 서로 다른 층을 구분된다. IVUS영상이 내강, 혈관 벽, 외막을 둘러싸는 영역으로 구성되어있다고 가정하면 내부와 외부의 두 경계선으로 구분할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 IVUS영상을 웨이블릿 변환하여 주파수 공간에서 관상동맥 벽의 두 경계선을 추출한다. 실험결과를 통하여 관상동맥 벽의 두 경계선이 잘 추출되는 것을 확인할 수 있다.

1. 서 론

심장 영상은 심장 질환의 진단에 필수적인 요소로서 다양한 형태의 촬영 장비의 발전으로 인하여 이에 대한 연구가 빠른 속도로 발전하여 왔다. 심장 영상을 만드는데 가장 널리 사용되는 영상 장비 중 하나는 초음파 심장 촬영 장비이며, 심초음파는 심실내벽의 움직임과 수축과정을 실시간으로 묘사할 수 있어 국소 좌심실벽 운동장애를 평가하는데 광범위하게 사용되고 있다. 심초음파는 비관혈적 방법이기 때문에 위험이 적고 간편하게 검사할 수 있으며 민감도가 높다는 장점을 가지고 있다. 좌심실벽 운동장애는 심근경색증과 같은 허혈성 심질환, 심근염, 심근병증 등의 원인에 의해서 발생할 수 있으며 이러한 질병이 예상되는 경우 진단을 확정짓는 혈관조영과 같은 관혈적 방법의 전 단계 과정으로 심초음파 검사를 하여 질병을 진단하고 있다. 심초음파 분석은 보통 의사의 눈에 의해서 이루어지므로 객관적이지 못하며 결과분석이 연구실간의 오차를 가져올 수 있는 문제점을 가지고 있다. 또한 분석을 정량화할 수 없기 때문에 병세의 심하고 가벼운 정도를 표현할 수 없다. 다른 하나의 심초음파 분석방법은 수작업에 의하여 프레임별로 좌심실내벽을 따라 선을 긋고 그것을 비교하는 방법이다. 이 방법은 작업량이 많아지고 시간이 많이 소모되는 작업을 거쳐야하기 때문에 실제로 잘 사용되지 않고 있다. 이러한 이유 때문에 컴퓨터를 이용하여 좌심실벽의 경계를 검출하고 그것을 정량적으로 분석하는 연구가 여러 연구자들에 의해서 수행되고 있다[2]. 따라서 본 논문에서는 IVUS영상을 웨이블릿 변환하여 주파수 공간에서 관상동맥 벽의 두 경계선을 추출하는 방법을 제안한다.

관상동맥 혈관내부에 있는 벽은 내강(lumen), 내막(intima), 중간막(media), 외막(adventitia)으로 구성되어 있다.

그림 1은 IVUS영상에서 관상동맥의 내부구조를 보여준다. 그림 1에서 보듯이 관상동맥 벽은 밝음-어두움-밝음-어두움 패턴을 가지고 있기 때문에 밝은 곳에서 어두운 곳이나 어두운 곳에서 밝은 곳으로 바뀌는 부분에서 경계선이 생기는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문에서는 IVUS 영상에서 관상동맥 벽의 두 경계선을 분류하기 위하여 웨이블릿 변환하여 주파수 공간에서 내강과 내막 사이의 경계면인 내부 경계선(inner boundary)과 중간막과 외막 사이의 경계면인 외부 경계선(outer boundary)을 추출한다.

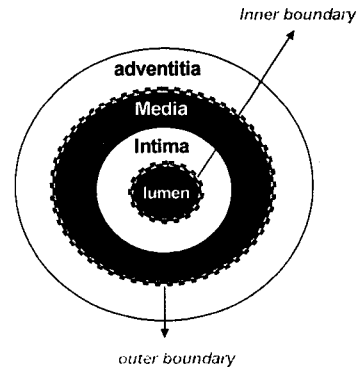


그림 1. IVUS영상에서 관상동맥의 내부구조

2. 제안하는 방법

2.1 웨이블릿 변환

IVUS영상은 잡음에 매우 민감하고 해상도가 낮기 때문에 혈관 벽의 서로 다른 층을 구분하기가 어렵다. 따라서 웨이블릿 변환하여 저주파 영역에서 관상동맥 벽의 두 경계선을 추출함으로써 잡음에 강건하다. 웨이블릿 변환은 시간 및 주파수에 대하여 국부성을 가지며, 비정상상태의 신호를 해석하는데 유용하다. 또한 주어진 시간함수를 실수의 2차원 평면 $L^2(R)$ 에서 직교기저함수(orthogonal basis function)들의 집합을 형성하고 있는 웨이블릿평면으로 투사하여 서로 다른 분해능을 갖는 신호들을 변환시킴으로서 주어진 시간함수의 신호를 각각 다른 분해능에서 해석할 수 있는 변환이다. 웨이블릿 변환에서의 기저함수들은 원형(mother) 웨이블릿을 천이(translation) 및 확장/수축(dilation)을 시킴으로서 만들어진다. 이에 대한 웨이블릿 기저함수들의 선형결합은 수식 (1)처럼 표현할 수 있다.

$$\psi_{m,n}(t) = \frac{1}{\sqrt{|a|}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad b \in R, a \neq 0 \quad (1)$$

여기서 a 는 원형 웨이블릿을 확장/수축시키는 스케일 변수이고, b 는 천이를 나타내는 천이변수이다. 수식 (2)는 어떤 신호 $f(t)$ 에 대한 웨이블릿 변환이다.

$$Wf(a, b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dx \quad (2)$$

본 논문에서는 2-레벨 웨이블릿 변환하여 저주파 영역에서 관상동맥 벽의 두 경계선을 추출한다.

2.2 에지 추출 및 추적

IVUS영상을 웨이블릿 변환하여 저주파 영역에서 관상동맥 벽의 두 경계선을 추출하기 위하여 LoG 연산자를 사용하여 에지를 추출한다. LoG 에지 검출기는 라플라시안을 적용하기 전에 가우시안 스무딩을 수행한다. 라플라시안과 가우시안 연산을 아래 수식(3)의 마스크를 이용하여 회선함으로써 수행될 수 있다.

$$\begin{aligned} F(x) &= \nabla^2 \{G(x) * I(x)\} = \nabla^2 G(x) * I(x) \quad (3) \\ G(x) &= \exp\left\{\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right\} \\ \nabla^2 G(x) &= \frac{x^2 - \sigma^2}{\sigma^4} \cdot \exp\left\{\frac{-x^2}{2\sigma^2}\right\} \end{aligned}$$

Nevatia 연산자의 경계선 검출은 인접하는 에지들을 추적해 가면서 연결성을 분석하여 수행한다[5]. 에지들의 연결은 각 에지에 할당되는 계승자(successor)와 전임자

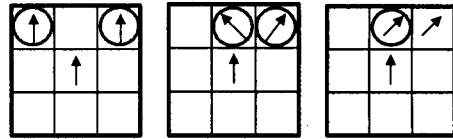
(predecessor)에 의하여 구현되는데, 계승자를 할당하는 과정은 현 에지에 대한 3개의 전방화소에 에지들이 어떠한 형태를 취하는가에 따라 다음과 같이 수행된다.

CASE 1

: 1개의 계승자 후보를 계승자로 결정

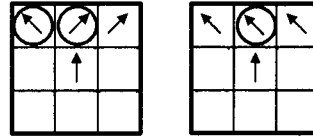
CASE 2

: 분기점 + 가장 가까운 후보를 계승자로 결정



CASE 3 :

: 분기점 + 가장 가까운 후보를 계승자로 결정



이처럼 생성된 두 개의 연결정보(계승자와 전임자)는 경계선을 추출하는데 사용된다. 경계선을 추출하는 알고리즘은 다음과 같이 영상을 두 번 scanning하여 수행한다.

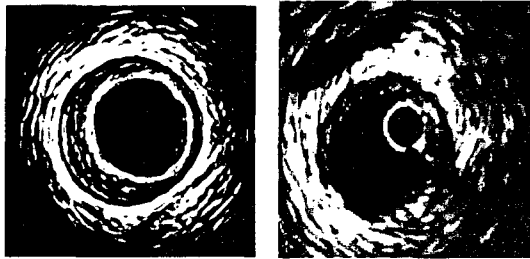
<Step1> look for open curves
 For each $EDGE_i$ in the image
 IF ($EDGE_i$ is not traced yet) && (PRED($EDGE_i$) is not an edge)
 THEN mark $EDGE_i$ as traced and
 continue tracing $EDGE_i$ following its successor

<Step2> look for closed curves
 For each $EDGE_i$ in the image
 IF ($EDGE_i$ is not traced yet)
 THEN mark $EDGE_i$ as traced and
 continue tracing $EDGE_i$ following its successor

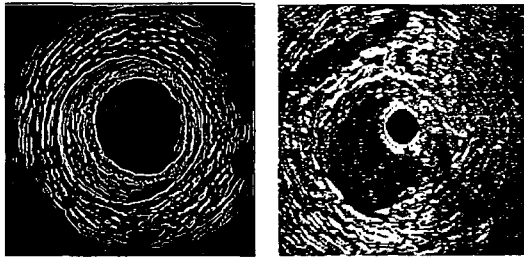
3. 실험 결과

실험을 위해서 사용한 컴퓨터는 Pentium4 3GHz이고 운영체제는 마이크로소프트사의 윈도우 XP를 사용하였으며 컴파일러는 VC++6.0을 사용하였다. 그림 2는 IVUS영상을 공간 영역에서 Robert 연산자와

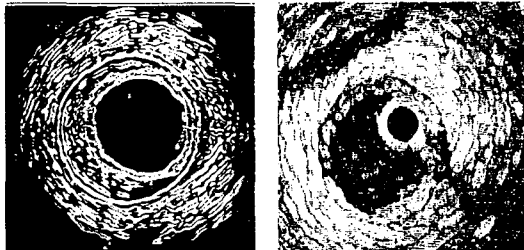
Prewitt 연산자를 사용하여 에지를 추출한 결과를 보여준다.



(a) IVUS영상



(b) Roberts 연산자



(c) Prewitt 연산자

그림 2. 에지 추출

그림 3은 IVUS영상을 웨이블릿 변환하여 저주파수 공간에서 에지를 추출 및 추적한 결과를 보여준다. 본 논문에서 제안한 방법으로 IVUS영상에서 관상동맥 벽의 두 경계선이 잘 추출되는 것을 볼 수 있다.

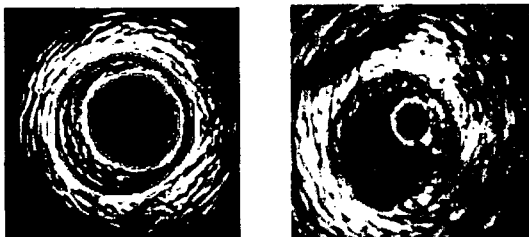


그림 3. 제안한 방법으로 에지 추출

4. 결 론

본 논문에서는 IVUS영상에서 웨이블릿 영역을 기반으로 관상동맥의 두 벽을 추출하는 방법을 제안하였다. 실험결과를 통하여 관상동맥 벽의 두 경계선이 잘 추출되는 것을 확인하였다.

Acknowledgement

본 연구는 과학재단 특정목적기초연구 지원으로 이루어 졌음.

참고문헌

- [1] M.Kass, A. Witkin, and D. Terzopoulos, "Snakes: active contour models", International Journal of Computer Vision, 1, pp.321-331, 1988.
- [2] Hui Zhu, Yun Liang, and Morton H.Friedman, "IVUS image segmentation based on contrast", Medical Imaging 2002:Image Processing, Milan Sinka, J.Michael Fitzpatrick, Editors, Proceedings of SPIE Vol.4684, pp.1727-1734, 2002.
- [3] Lobregt S. Viergever MA, "Discrete dynamic contour model", IEEE Trans Med Imaging, Vol.14, pp.12-24, 1995.
- [4] Kass M, Witkin A, Terzopoulos D.Snakes: active contour models. Int. J. Comput. Vision, pp.321-331, 1988.
- [5] Ramakant Nevatia, K.Ramesh Babu, "Linear Feature Extraction and Description", Computer Graphics and Image Processing, 13, pp.257-269, 1980.