

CT 와 IVUS 이미지의 정합을 이용한 혈관 상세 모델링 Three-dimensional blood vessel reconstruction through registration of CT and IVUS images

*장치엔치엔¹, #최영²

*Q. Q. Zhang¹, #Y. Choi(yychoi@cau.ac.kr)²

¹중앙대학교 대학원 기계공학과, ² 중앙대학교 기계공학부

Key words : Medical imaging, CT, IVUS, 3D reconstruction, 2D-2D registration.

1. 서론

현재 임상의학에서는 심혈관 질환의 진단을 위해서 일반적으로 2 차원 DSA (digital subtraction angiography) 이미지를 많이 사용한다. 하지만 혈류 유동 특성의 정량적인 분석을 위해서는 혈관의 내벽과 외벽을 포함하는 혈관의 3 차원 모델의 생성이 필요 불가결하다. 현재의 진단 기술로는 한 가지의 이미지 데이터로부터 혈관의 3 차원 모델을 생성해 내기는 불가능한 실정이다. 예를 들어 혈관 변형과 혈류유동을 포함하는 FSI (fluid-solid interaction) 해석을 위해서는 혈관의 내/외벽을 포함한 완전한 모델이 요구된다. 이를 위해서는 보통 X-ray angiogram 이미지와 IVUS(intravascular ultrasound) 이미지로부터 3D 혈관 모델을 생성한다[1,2].

본 연구에서는 CT (computed tomography) 데이터로부터 혈관 내벽의 형상을 곡면으로 모델링하고, 이 내벽 곡면의 단면들과 IVUS 이미지의 혈관 내벽 단면들과 정합을 통하여 전체적인 혈관 모델을 구성하는 방법을 제안하였다. 즉 IVUS 데이터로부터 얻은 혈관의 2D 내벽 형상 데이터를 CT로부터 구한 혈관의 3D 내벽 형상에 정합시키는 변환을 계산하고, 이 변환을 IVUS의 외벽 형상에 동일하게 적용함으로써 3D 공간상에 외벽 단면을 위치시킨다. 이렇게 구한 단면 곡선들에 경계 블렌드를 적용하여 혈관의 곡면모델을 완성한다.

2. 연구 개요

본 연구는 CT 데이터로부터 얻은 혈관 내벽의 3D 형상과 IVUS 이미지들로부터 혈관 내

벽과 외벽을 포함하는 혈관의 3D 곡면 모델을 구성하는 것이 목적이며 모델링 과정은 다음과 같이 Fig. 1에 정리되어 있다.

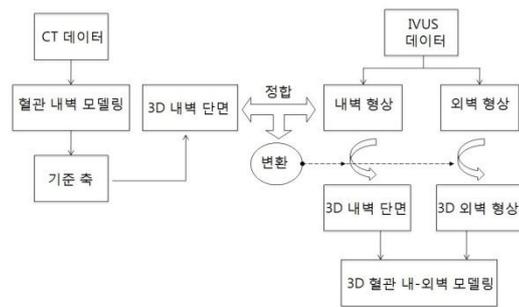


Fig. 1 혈관 모델링 계산 과정과 데이터 흐름

3. 혈관 외벽 곡면 구현

3.1 혈관 기준곡선 계산

혈관 CT 데이터를 의료이미지 처리 소프트웨어인 3D-Doctor[3]를 이용하여 수동으로 처리하고 혈관 내벽 모델을 STL 데이터 형태로 저장하였다. 혈관의 수직 단면을 계산하기 위해 필요한 기준 곡선을 정의하기 위한 첫 단계로 혈관 폴리곤 모델의 MAT (medial axis transform)를 폴리곤 형태로 구한다. 다음 단계로 MAT의 OBB (oriented bounding box) 트리를 구성하고, 트리를 구성하는 OBB들의 중심점들을 보간하여 기준 곡선을 정의한다. 기준 곡선은 중심점들을 보간하는 3 차 B-spline 곡선으로 표현한다. 원하는 혈관 위치에서의 혈관 단면은 이렇게 구한 B-spline 곡선에 수직인 평면

과 혈관 모델의 교차 계산에 의해서 구할 수 있다.

3.2 CT 데이터와 IVUS 데이터의 정합

CT 에서 얻어진 혈관 모델의 내벽 단면은 기준곡선에 수직인 평면에 의한 혈관 폴리곤 모델의 단면(cross-section)을 계산함으로써 얻어진다. 이 단면 곡선은 3D 폴리라인 형식으로 표현된다.

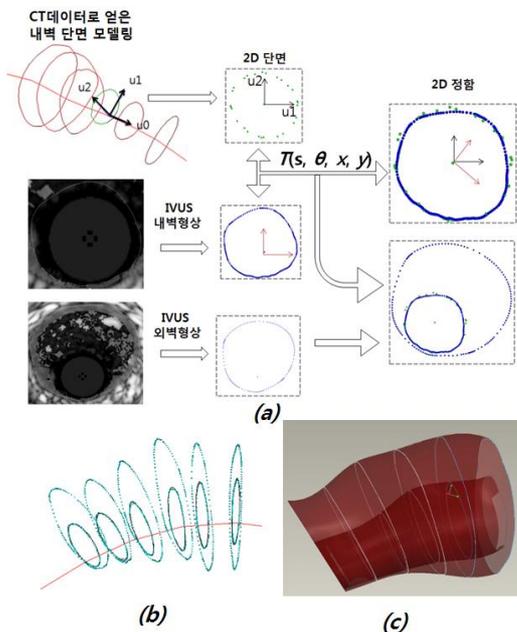


Fig. 2 CT 데이터와 IVUS 데이터의 정합 과정

이 단면 곡선은 IVUS 데이터와의 정합 단계를 위해서 단면을 정의하는 2 차원 평면 상에서의 2D 단면 곡선으로 표현해서 사용한다.

IVUS 이미지 데이터는 숙련된 작업자가 육안으로 경계를 판단하고 수작업에 의해서 형상을 폴리라인으로 그리는 방법으로 내벽과 외벽의 2 차원 경계곡선 정보를 획득한다. CT 모델의 단면계산으로 생성한 2D 내벽 단면 곡선을 기준으로 하여 IVUS 의 2D 내벽 경계곡선을 정합한다. 이때 정합을 위한 확대/축소, 회전 각도, 이동(x, y 방향) 변환을 최적화 방법으로 구한다. 정합 최적화를 위해서는 Simplex 알고리즘을 사용하였다. Fig. 2(a)는 2D 정합 과정을 보여 준다. 최적화 해를 구해서 결정된 변환을

IVUS 내-외벽 경계곡선에 적용하여 해당 단면에 위치시키면, Fig. 2(b) 에서처럼 3D 공간의 내-외벽 단면곡선의 위치가 결정된다. 외벽단면의 단면곡선에 Pro-E 의 경계 블렌드 도구를 적용하여 내, 외벽의 곡면을 모델링 하였다. Fig. 2(c)는 블렌드된 곡면의 형상을 보여주고 있다.

4. 결론

본 논문에서는 CT 데이터와 IVUS 이미지들로부터 컴퓨터를 이용한 해석이나 진단에 활용될 수 있는 혈관 3D 모델 생성 방법에 대해 논의하였다. CT 데이터로부터 얻은 혈관 내벽 모델에 MAT 와 OBB 를 적용하여 수직단면을 계산하기 위한 기준 곡선을 정의하였다. 이렇게 계산된 CT 데이터의 단면 곡선과 IVUS 이미지의 내벽 단면 곡선을 정합하고, 이에 필요한 변환을 외벽에 동일하게 적용함으로써 혈관의 내-외벽 단면 곡선을 정렬하였다. 추후 IVUS 이미지에서 경계곡선이 자동으로 추출될 수 있다면 혈관 3D 모델의 생성 비용과 시간이 대폭 줄어들어 그 활용도가 크게 증가될 수 있을 것이다.

후기

이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업의 결과임(No. 2011-0001144, 2010-0015897).

참고문헌

1. Subramanian, K.R., Thubrikar, M.J., Fowler, B., Mostafavi, M.T. and Funk, M.W., "Accurate 3D Reconstruction of Complex Blood Vessel Geometries from Intravascular Ultrasound Images: in vitro study," Journal of Medical Engineering & Technology, 04, 131-140,2000.
2. Sun, Z., "3D Reconstruction of Vessel Based on Fusion of IVUS and X-Ray Angiograms," Journal of Engineering Graphics, 01, 116-123, 2010.
3. Able Software, 3D-DOCTOR, <http://www.ablesw.com/3d-doctor/>, 2010.