

삼차원 모델을 이용한 좌심실의 지역적 파라미터 측정 및 가시화*

진수경⁰ 최유주 김명희
이화여자대학교 공과대학 컴퓨터학과
(chinsk⁰, choirina, mhkim)@ewha.ac.kr

Assessment and Visualization of Regional Left Ventricular Parameters using Three-Dimensional models

Soo-Kyung Chin⁰ Yoo-Joo Choi Myoung-Hee Kim
Dept. of Computer Science & Engineering, Ewha Womans University

요 약

좌심실의 파라미터는 심장의 기능을 분석하기 위해 측정되는 정량적인 표현으로, 특히 지역적 파라미터인 두께와 두께 변화는 심근 기능을 분석하기에 적합한 파라미터이다. 본 연구에서는 이러한 좌심실의 지역적 파라미터를 측정하고, 이를 위해 사용되는 삼차원적 측정 방법을 개선하여 구현함으로써 기존의 측정 방법의 제약을 극복하고자 하였다. 또한, 측정 결과를 가시화하여 직관적인 분석이 가능하도록 하고, 이를 시스템에 구축하여 임상에서 직접적으로 활용할 수 있도록 하였다.

1. 서 론

좌심실의 기능은 주로 MR영상을 이용하여 분석되며, 촬영기술의 발달로 인해 그 유용성이 인정되고 있다 [3]. 분석을 위해 사용되는 좌심실의 파라미터로는 크게 부피, 질량 등과 같은 전역적인 값과, 두께, 두께 변화와 같은 심근의 기능을 측정하는 지역적 파라미터로 나누어 볼 수 있다. 두께의 경우 심근의 기능 장애나 정도를 나타내는 척도가 되며, 두께 변화 측정은 심근 괴사의 확장과 같은 위험을 계층화하고 치료를 모니터링 하는데 유용하다.

그러나, 이러한 지역적 파라미터를 측정하는데 있어서 주로 사용하는 방법은 단면 영상을 직접 이용하는 이차원적 측정 방법과 이를 개선하여 등장한 삼차원적 측정 방법이 있다. 이차원적 측정 방법은 단면 영상을 일정 간격으로 나누어 측정하는데 직교선, 방사선, 중간선을 이용하는 방법 등이 있다. 그러나, 이러한 방법은 이차원 단면상에서 수행되므로 촬영 각도에 의존적이며 두께와 같은 삼차원적 측정에는 한계가 있다. 삼차원적 측정 방법은 두개의 단면 영상을 연결하여 기울기를 이용하는 방법 [4]과 삼차원의 중간 표면 모델을 이용하는 방법이 있다. 그러나, 기울기를 이용하는 방법은 시간에 따른 기능의 변화를 분석하기 위한 추이분석에는 적합하지 않다. 다른 시점에서 촬영된 영상을 비교하기 위해서는 단면의 개수나 촬영 위치가 일치하여야 하는데, 이러한 조건을 만족하기가 쉽지

않기 때문이다. 반면에 삼차원 모델을 이용하는 방법은 추이 분석에도 적합하고, 중간 표면 모델을 생성하여 이용하므로 비교적 정확한 측정이 가능하다. 그러나, 삼차원 내외벽 모델을 이루는 메쉬의 개수와 삼차원 모델 구축시 생성 방향이 일치해야 하는 제약이 따른다.

따라서, 본 연구에서는 삼차원 모델을 이용하는 방법으로 앞서의 중간 표면 모델 대신 타원체를 이용하는 방법을 사용하여 기존의 제약을 극복하고자 한다. 또한, 측정 결과는 삼차원 모델상의 색채로 가시화하고, 이를 시스템의 인터페이스로 구축하여 직접적인 활용이 가능하도록 한다.

2. 타원체를 이용한 지역적 파라미터의 측정과 가시화

타원체는 주로 복잡한 물체를 간략화하여 표현하는데 이용되는 모델로서, 충돌감지를 위해 자세한 기하학적 정보를 근사시켜 객체간 거리를 추정하는데 사용하거나, 비강체의 형상 복원 초기모델로서 이용되기도 한다. 본 논문에서는 이러한 타원체의 특성을 살려, 좌심실의 외벽 모델에 적합한 모델을 생성하는데 타원체를 이용한다. 또한, 좌심실의 복잡한 움직임을 분석하기 위해 일정 영역으로 나누어 파라미터를 측정하는 지역적 방법을 이용하고, 이를 위해 타원체를 구성하는 메쉬를 사용한다. 이 메쉬는 지역적 파라미터 측정을 위한 단위 지역으로 정의된다.

* 본 연구는 부분적으로 정보통신부 대학정보통신연구센터(ITRC) 육성 지원 사업과 한국 과학재단 가상현실 연구센터 지원사업, 과학기술부 국가지정 연구실 사업의 지원에 의해 수행됨.

2.1 타원체의 생성과 지역분할

타원체는 super-ellipsoid로부터 생성하며, super-ellipsoid는 몇 개의 변수를 조절하여 여러 형태로의 변형이 가능하다는 장점이 있다. 정의는 다음과 같다.[1]

$$\begin{aligned} x &= r_x \cos^{s1} u \cos^{s2} v & -\pi/2 \leq u \leq \pi/2 \\ y &= r_y \cos^{s1} u \sin^{s2} v & -\pi \leq v \leq \pi \\ z &= r_z \sin^{s1} u \end{aligned} \quad (1)$$

r의 변수는 타원체의 크기를 조절하며, u,v변수는 타원체를 구성하는 메쉬의 개수를 결정한다. 본 논문에서 타원체의 크기는 좌심실의 외벽 모델에 의해 정해지므로, 외벽 모델의 각축에서의 최대값이 r_x, r_y, r_z 가 되도록 하였다. u,v변수는 의료에서 제안하는 u는7등분, v는 24 등분이 되도록 하여 총 168개의 메쉬로 구성되도록 한다.

2.2 교점 계산 알고리즘을 이용한 파라미터 측정

타원체를 이용하여 두께를 측정하는 방법은 다음과 같은 과정을 거친다. 먼저 타원체의 한 메쉬로부터 법선을 내려 내벽모델과 외벽 모델의 각각에서 만나는 교점을 계산한다. 두께는 이 교점간의 거리를 계산하여 구한다. 교점 계산은 직선과 삼각형의 교점계산 알고리즘을 사용하였다[2].

두께 변화 계산은 두 시점에서 구한 두께를 이용하여 이뤄지는데 두께 변화 WT(Wall thickening) 계산은 다음과 같은 식을 이용한다.

$$WT = \frac{(EST - EDT)}{EDT} \times 100 \quad (2)$$

EST (End systole thickness): 최대 수축기시 두께
EDT(End diastole thickness): 최대 확장기시 두께

3. 파라미터 측정과 가시화 구현

구현을 위하여 우선 시스템에 붙이기 전 단계인 모듈로서 구현한 후, 시스템과의 연결을 위한 구현의 과정으로 이루어졌다. 각각의 과정을 살펴보면 다음과 같다.

3.1 모듈 구현

좌심실의 삼차원 내외벽 모델의 정보를 입력받아 지역적 두께 측정과 가시화 기능을 가지는 모듈을 구현하고, Windows기반으로 c와 opentGL을 이용하였다.

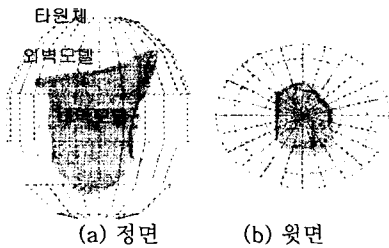


그림1. 내외벽 모델과 생성된 타원체

먼저, 외벽 모델에 적합한 타원체 생성을 위해 입력 받은 외벽 모델의 좌표값을 비교하여 각 축에 대한 최대값을 구하고, 이 값을 이용해 타원체의 크기를 결정하였다. 그림 1.은 외벽 모델을 이용하여 생성한 타원체를 보여주고 있다.

타원체를 이루는 표면모델은 지역적 파라미터 측정을 위한 지역(region)의 역할을 하고, 모듈에서는 이를 이용하여 각각의 지역에 대한 두께를 측정하였다. 또한, 측정값을 외벽 모델에 색채가시화 하는 기능을 구현하였다. 색채가시화는 외벽 모델의 좌표에 해당하는 지역을 찾아 해당 지역의 측정값에 대응하는 색채를 정함으로써 수행된다.

3.2 시스템과의 연결 구현

시스템은 심장영상분석 시스템으로서, 임상에서 사용하는 단면 영상의 로드가 가능하고, 삼차원 모델 구축 및 다이나믹 모델을 이용한 정량적 분석이 가능한 시스템이다[6]. 객체지향 설계로 구축되어 있어 시스템 확장이 용이하며, 크게 세부분으로 구성되어 있다. 초기 및 조작과정에서 발생하는 데이터를 저장하는 repository, 사용자의 조작에 따라 데이터 처리를 담당하는 manipulator, 인터페이스를 담당하는 workbench의 세부분이다. 이 중 시스템과의 연결을 구현하기 위하여 repository와 workbench 부분에 추가적인 작업을 하였다. 시스템은 SuSE Linux기반으로 c++언어로 구축되었다.

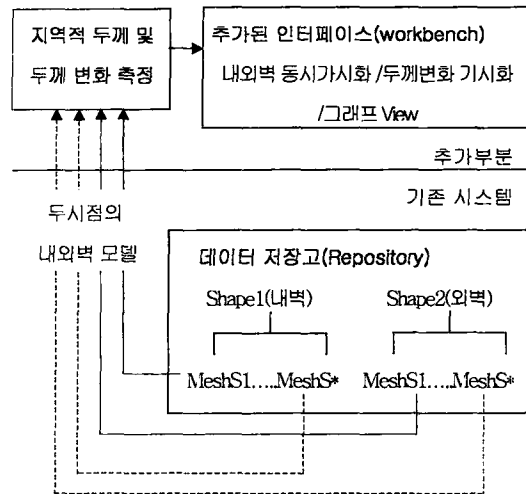


그림2. 모듈과 시스템과의 연결

그림2.에서 볼 수 있듯이 시스템의 repository부분에서는 삼차원 모델을 내벽과 외벽으로 나누고 하위계층으로 모든 시점에 대한 표면모델들을 저장하고 있다. 모듈에서는 이러한 표면모델 중 특정 두 시점인 확장기와 수축기 때의 표면모델을 결정하여 파라미터를 측정하고, 추가한 인터페이스를 통해 결과를 가시화하게 된다.

4. 결과

4.1 사용모델

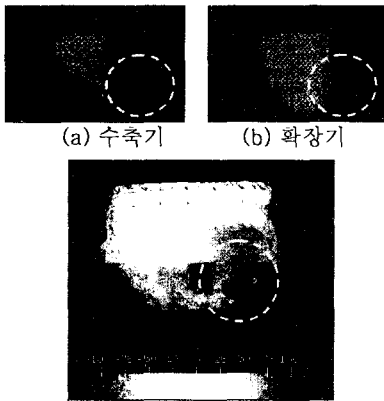
총 135장의 MR단면영상을 사용하여 시스템에서 구축된 시점별 삼차원 내외벽 모델을 사용한다. MR 단면영상은 15개의 시점과 9개의 단면으로 구성되어 있다. 시스템에서는 이러한 단면영상을 이용하여 같은 시점에 대한 내외벽 모델들을 구축하여 저장한다. 그림 3.은 시스템에서 저장하고 있는 일부 시점의 삼차원 모델들을 보여주고 있다.



그림 3. 시스템이 저장하는 삼차원 내외벽 모델

4.2 두께 변화 색채 가시화 결과

두께 변화 계산을 위한 수축기와 확장기의 두시점은 모든 시점의 내벽모델을 비교함으로써 결정한다. 즉, 수축기는 내벽모델의 크기가 가장 작으므로 내벽 모델을 이루는 꼭지점의 개수가 가장 작을 때로 결정한다. 확장기의 시점 역시 반대의 조건을 이용하여 결정한다. 다음은 결정된 두 시점에서의 내외벽 모델과 두께 변화 색채 가시화 결과 그림이다. 두께가 두꺼워질수록 붉은 색을 띠는데, 그림에서 점선으로 표시된 부분에서 볼 수 있듯이 두께 변화가 큰 부분에서 붉은 색을 띠고 있음을 알 수 있다.



(c) 두께 변화 색채 가시화

그림 4. 두 시점의 내외벽 모델과 색채 가시화

4.3 시스템의 인터페이스

시스템은 총 4개의 view로 구성되며, 각각의 view는 확대, 축소, 이동, 회전이 가능하다. 그림 5.는 이러한 시스템의 인터페이스를 보여주고 있다.

상단의 두개의 view는 각각 수축기와 확장기의 내외벽 모델을 색깔을 달리하여 보여주고 있다. 하단의 왼쪽 view는 앞서 설명한 두께 변화 색채 가시화 결과이며, 오른쪽은 두께변화를 그래프로 표현한 결과이다.

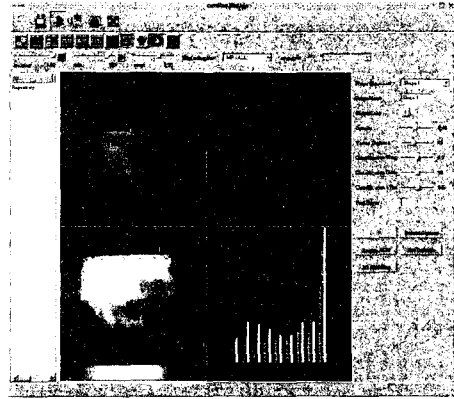


그림 5. 시스템의 인터페이스

5. 결론 및 추후 연구

본 논문에서는 좌심실의 지역적 파라미터인 두께와 두께 측정에 있어서, 3차원적 측정 방법을 구현하고, 기존의 삼차원 모델을 이용하는 방법의 제약을 극복하고자 하였다. 중간 표면 모델 대신 타원체를 이용함으로써 삼차원 모델에 대한 제약을 보완하고, 지속적인 추이분석에 적용될 수 있도록 하였다. 또한, 측정 결과를 색채 가시화하여 하나의 영상에서 좌심실의 움직임을 설명할 수 있도록 하였다. 구현한 내용은 시스템으로 구축함으로써 의료 영상을 이용한 직접적인 활용이 가능하도록 하였다.

앞으로 본 시스템을 이용한 여러 환자들의 데이터에 대한 분석과 이를 통한 향후 연구가 고려되어야 한다. 또한, 불스아이(bull's eye) 그래프와 같은 데이터 가시화 방법을 적용하여 삼차원적 분석에 이용되도록 한다.

참고 문헌

[1] Donald Hearn, M.Pauline Baker, *Computer Graphics C version*, Prentice Hall, pp 395-404, '97
 [2] Paul S.H., *Graphics Gems IV*, AP Professional, 1994
 [3] Haag UJ, maier SE, et al, *Left Ventricular Wall Thickness Measurements by Magnetic Resonance: A validation study*, Int J Cardiac Imag, 7, pp 31-41, '91
 [4] Vincent G.M.Bullter et al, *Assessment of Regional Left Ventricular Wall Parameters form Short Axis Magnetic Resonance Imaging using a Three-Dimensional Extension to the Improved Centerline Method*, Invest Radiol, 32, 9, pp529-539, '97
 [5] J.Behr et al, *Modeling, Visualization, and Interaction Techniques for Diagnosis and Treatment Planning in Cardiology*, Computers&Graphics, 24, pp741-753, '00