

# 심장 자기공명영상의 4 차원 재구성

◦이동혁,\*\*김종호,\*송인찬,\*\*\*조순섭,\*\*박재형\*\*한만칭,\*민병구  
서울대학교 대학원 협동과정 의용생체공학전공,\* 의과대학 의공학교실,  
\*\*서울대학교 의과대학 방사선학교실,\*\*\*서울대학병원 진단방사선과

## 4D Reconstruction of Cine Cardiac MR Images

◦D.H.Lee,\*\*J. H. Kim,\*I. C. Song,\*\*\*S.S.Cho,\*\*J.H.Park,\*\*M.C.Han,\*B.G.Min

Department of Biomedical Engineering, College of Engineering, Seoul National University

\*Department of Biomedical Engineering, College of Medicine, Seoul National University

\*\*Department of Radiology, College of Medicine, Seoul National University

\*\*\*Department of Radiology, Seoul National University Hospital

### Abstract

To diagnose cardiac malfunctions, various imaging techniques have been applied to heart : DSA(Digital Subtracted Angiography), Doppler Ultrasound, MR Angio. But it is difficult to observe three dimensional heart motion which is the most intuitive tool for diagnosis, only by using these methods. In this research, we have suggested 4-Dimensional reconstruction scheme of heart motion images that can be acquired by ECG-gated cine MR imaging. One cardiac cycle was divided into 9~15 phases and for each phase 3D reconstructed volume heart was made. We can observe 3D volumes along the cardiac cycle, time. So the results were 4-D reconstructed data.

Keyword : 4D Reconstruction, ECG-gated MR Image, Heart

### 서 론

심장의 움직임과 심실내의 혈류 분석은 심질환에 관한 유용한 정보로 이를 분석하기 위해 DSA(Digital Subtracted Angiography), Doppler Ultrasound, MR Angio 등의 기법들이 사용되어 왔다. 하지만 이들 기법은 심장 움직임의 한 단면만을 관찰할 수 밖에 없기 때문에 입체적인 심장의 움직임을 관찰하기가 어려웠다. 본 연구에서는 심장의 Cine MRI 영상을 3 차원으로 재구성 함으로써 심장의 3 차원적 움직임을 시간의 변화에 따라 관찰할 수 있는 4 차원 재구성 방법을 제안하였다.

MRI은 임의의 단면의 생체 내부를 비관혈적으로 관찰하기에 가장 좋은 영상장비이나 영상획득 시간이 길어 도플러 초음파와 같이 심장의 동적 움직임을 보여

주기가 어려웠었다. 이러한 제한점을 극복하기 위해 심전도에 동기화하여 신호를 받아 영상으로 재구성하는 ECG-gated Imaging 기법이 개발되어 움직임으로 인한 오차 없이 심장 영상을 얻는데 사용되고 있다.[1] 이로 인해 도플러 초음파 영상과 같은 동영상을 얻을 수 있으나, 이것은 한 단면에서의 심장의 움직임으로 전체적인 움직임을 직관적으로 이해하기는 어렵다. 심장은 3 차원적인 구조를 이해하려면 심장 움직임의 각 단계마다 3 차원 구성을 하여 이를 임의의 방향에서 관찰할 수 있도록 하여야 한다.

컴퓨터 그래픽스 분야에서는 Surface Rendering, Volume Rendering 등의 3 차원 구성 기법들이 꾸준히 개발되고 있고 Visible Human 과 같은 의학 영상의 3 차원 가시화 연구들도 진행되고 있다. 또한 3 차원 가시화를 수행하기 위해 요구되었던 고속 연산 및 고속 가시화 기능이 고가의 일부 워크스테이션에서 뿐 아니라 Pentium Pro 급은 일반 컴퓨터에서도 지원할 수 있게 되고 있다.

본 연구에서는 이러한 3 차원 가시화 기법을 이용하여 심장의 MR 단면 동영상들을 3 차원으로 구성함으로써 심장의 4 차원적 움직임을 가시화하는 기법을 개발하였다. 이를 위해 먼저 ECG-gated MR Imaging 의 최적 프로토콜을 정하는 실험을 반복하였고, 촬영된 의학 영상을 DICOM 형식으로 획득하는 기법을 연구하였으며, 3 차원 구조의 등방성을 확보하기 위한 Slice 방향의 영상 보간(Interpolation) 기법을 연구하여 보간처리 한 후, 이를 Shear Warp 이라는 Volume Rendering 기법을 적용하여 3 차원 시리즈 영상들을 구성하였다.

# 심장 자기공명영상의 4차원 재구성

## 방 법

정상인의 심장에 대한 ECG-gated Cine 2D MRI 영상을 획득한 후 이를 Segmented Volume Rendering 기법을 이용하여 3차원으로 재구성하였다. Cine MRI는 5mm 간격의 28개 Slice에 대해 각각 9개의 Phase 영상을 획득하였다. 다시말하면 한 Cardiac Cycle을 9단계로 나누어 각 상태의 영상을 얻은 것이다. 총 252개의 원시 영상을 이용하여 심박동의 9단계의 3차원 영상을 구성할 수 있었다. 본 기법의 동적인 움직임은 개인용 컴퓨터 상에서 운용되도록 개발된 프로그램을 통해 관찰할 수 있도록 하였다.

영상은 GE사의 Signa Horizon MR Scanner을 사용하여 획득하였다. 코일은 Torso Coil을 사용하였고 ECG-Gating 기법으로는 Fast Cardiac Gating을 이용하였다. Slice Thickness는 5mm 이었고 Slice 간격은 4.5mm 였다. 2차원 원시 영상의 획득 단면은 심장의 장축 방향이 잘 보이는 경사(Oblique) 방향이 되도록 하였다.[2]

3차원 재구성은 지금까지 제안된 직접 볼륨 렌더링 기법 중 소량의 결과 자료와 빠른 계산 속도를 지원하는 기법 중 하나인 Shear Warp을 이용하여 구성하였다.

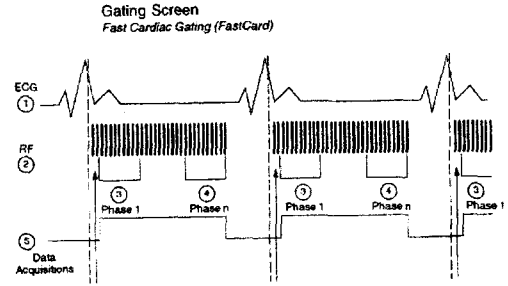
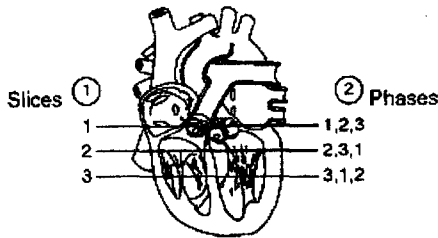


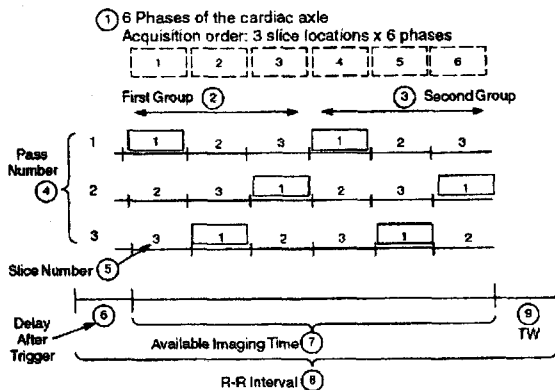
그림 1. ECG-Gated MR Imaging 기법의 원리. 한번의 심박동 사이의 시간을 일정 간격으로 나누어 각 슬라이드 영상별로 할당하고 해당 시간에 영상화에 필요한 신호를 얻는다.

## 결 과

심박동의 자기공명영상을 4차원으로 구성해본 결과 진단자가 원하는 임의의 방향에서 심장의 3차원 움직임을 관찰할 수 있었고, 한 단면에 대해서는 박동의 각 단계를 일정한 시간 간격으로 단면 영상을 바꾸어 줌으로써 혈액의 흐름의 변화도 가시화 할 수 있었다.



(a) 멀티 슬라이스 동영상 획득 원리



(b) 영상 획득시 Slice와 Phase 과의 관계

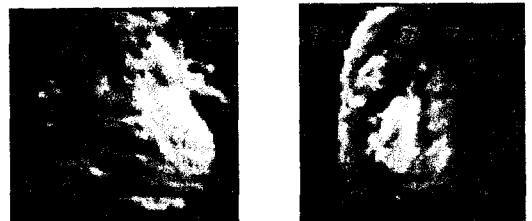


그림 2. 정상인의 Cine MRI Heart 영상을 한 Phase에 대해 3차원 객체로 재구성한 모습. 3차원 객체를 정면과 측면에서 본 영상.

한사람의 심박동의 4차원적으로 관찰하기 위해 획득되어야 할 자기공명 원시 영상은 약 30분 정도의 스캐닝을 통해 얻을 수 있어서 일반 자기공명 촬영과 비슷한 촬영시간을 소요되었다.

획득된 영상을 PACS(Picture Archiving & Communication System)을 통해 저장하고 이를 Pentium Pro 200 Mhz CPU에 메모리가 64 M Byte인 개인용 컴퓨터에서 3차원 구성을 하였다. 한 Phase의 원시 영상을 3차원 객체로 만드는 시간은 원시 영상을 256x256x28의 해상도로 획득하였을 경우 약 12초가 소요되었고 이로 부터 10개의 볼륨 단면은 만드는데는 3.4초가 소요되었다.

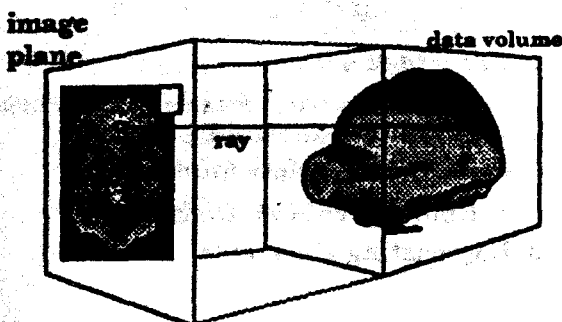
아래 그림은 재구성된 9단계의 3차원 심장의 볼륨 데이터에서 얻어진 볼륨의 단면상이다. 볼륨의 임의의 단면에서의 혈류의 흐름을 순차 영상을 통해 관찰할 수 있다.

토 의

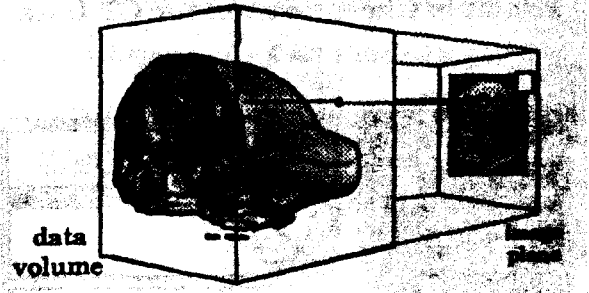
영상 획득시 슬라이스 간격은 줄어 들수록 보간되어야 할 슬라이스의 수가 줄어들기 때문에 3차원 구성은 용이해지나 획득 영상의 화질이 열화되거나 관찰 가능한 심박동 단계의 수가 줄어들게 되는 단점이 있다.

2차원 원시 영상의 획득 단면은 심장의 장축 방향이 잘 보이는 경사(Oblique) 방향이 되도록 하였다. 일반적인 횡단면(Axial) 심장 영상의 경우 심장과 횡경막 사이의 구분이 불명확하고 심장내의 유동 흐름이 횡단면 보다 심장의 장축 방향에서 더 잘 관찰되기 때문이다.

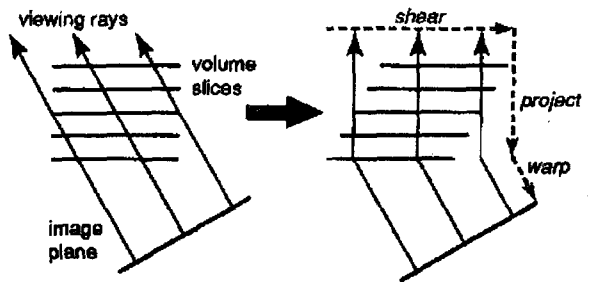
의학 영상으로 구성하고자 하는 3차원 객체는 대부분 그 구조가 단순한 도형의 집합으로 표현될 수 있는 것이 아니므로 경계를 일일이 구분하여 표면들을 만들어 주어야 하는 Surface Rendering 기법 보다는 Volumn Data 전체를 적절히 가시화 할 수 있는 Volumn Rendering 기법을 많이 사용한다. 그러나 Volumn Rendering은 대량의 데이터를 저장하고 있어야 하고 각 볼륨 단면들을 보고자 할 때 소요되는 계산량이 많은 단점이 있다. 이러한 단점들을 보완하기 위해 splatting, shear-warp, marching cube, contour connection, shell rendering 등의 기법이 개발되었다. 이들 중 간접 볼륨 렌더링에 해당되는 marching cube 나 contour connection 과 같은 방법은 시점이나 빛의 위치의 변화에 빠르게 대처할 수 있는 장점이 있으나, 본 연구와 같은 의학 영상은 보고자 하는 부분이 자주 바뀌기 때문에 그때마다 새로운 등가면을 만들어야 하고 이진 분류를 사용해야 하기 때문에 부정확한 표현이 많아지게 되는 단점이 있어 이용하기에 부적절하다. 지금까지 제안된 직접 볼륨 렌더링 기법 중 소량의 결과 자료와 빠른 계산 속도를 지원하는 기법 중 하나가 Shear Warp 이다. 이 기법은 광선 추적법은  $O(n^3)$ 의 복잡도를 가진 보간 연산이 필요하나 shear-warp 알고리즘은 하나의 볼륨 단면마다 한번의 무게 요소 계산만이 필요하기 때문에  $O(n)$  복잡도의 계산만이 필요하다. 대신 이 알고리즘은 warp 단계에서 두 번째 보간이 추가로 필요하나 2차원 영상에서 2차원 영상으로 옮기는 연산이므로  $O(n^2)$  만큼의 무게 요소 계산만이 필요하게 되므로 광선 추적법에 비해 많은 성능 향상을 가져온다. 또한 투명하지 않은 Voxel 과 2차원 화소의 불투명도의 임계치가 일정값을 넘어서지 않은 경우에만 처리되므로 빠른 렌더링 결과를 얻을 수 있다.[3]



(a) Ray-casting Algorithm



(b) Projection Algorithm



(c) Shear-warp Factorization

그림 3. 본 연구에 적용된 Shear Warp 볼륨 렌더링 기법.

결 론

본 연구에서는 2D Cardiac Cine 영상을 3차원 재구성함으로써 시간에 따른 3차원적 움직임을 관찰 가능케 하는 심질환 진단의 유용한 도구를 제시하였다. 앞으로 심박움직임의 정량 분석과 Cine PC(Phase Contrast)기법을 이용한 혈류 속도의 정량적 분석에 관한 연구가 이루어질 예정이다.[4]

참고 문헌

- [1] P.Irarrazabal, T.Sachs, et al, "Fast Volumetric Imaging of the Heart", Mag.Res.Med.,1393,1995.
- [2] GE Medical Systems, "Signa Horizon Scan Reference Manual"
- [3] Philippe Lacroute, Marc Levoy, "Fast Volume Rendering Using a Shear-Warp Factorization of the Viewing Transformation, Proc. SIGGRAPH '94, Computer Graphics Proceeding,1994, pp. 451-458
- [4] Jinah Park, Dimitri Metaxas, et al,"Deformation Models with Parameter Functions for Cardiac Motion Analysis from Tagged MRI Data", IEEE Trans. Medical Imaging, Vol.15, No.3, June 1996.