

## Shear-Warp Volume Rendering에 의한 3차원 의료영상 정보 표현

Visualization of three-dimensional medical information based on Shear-Warp Volume Rendering

○ 채 은미\*, 허 준성\*\*, 사 종엽\*\*\*

Eunmi Chae, Junsung Huh and Jongyoub Sah

This thesis presents applications of three dimensional visualization technique based on shear-warp volume rendering to medical information. Volume rendering is compared to surface rendering and acceleration technique is also presented. The presented rendering techniques by using three-dimensional arrays of data are a widely used representation for computational fluid dynamics and geological structures as well as medical information.

### 1. 서론

볼륨 데이터(Volume Data)란 3차원 정규 격자계(Regular Grid)상에 정의된 데이터 값의 조합을 의미하며 샘플링(Sampling), 시뮬레이션(Simulation), 모델링(Modeling)등에 의해 얻어진다. 컴퓨터 기술의 비약적인 성장과 데이터 획득 방법의 발전으로 3차원 볼륨 데이터는 학문과 산업 그리고 의료분야의 중요한 일부가 되었다. 자기 공명(Magnetic Resonance)과 전산 단층 촬영(Computed Tomography)과 같은 의료영상 기술은 3차원 볼륨 데이터를 구성할 수 있으며 인체 내부의 장기를 실제적으로 표현할 수 있어 의사가 절개 시술 없이 진단을 내릴 수 있다. 또한 전산유체역학에 기초한 시뮬레이션의 경우 3차원 격자상의 데이터를 생성하여 자동차 설계, 공기 유동의 예측에 사용될 수 있으며 국소 영역의 기온분포와 같은 예측 결과 분석에 사용할 수 있다.

3차원 볼륨 데이터를 용이하게 분석하기 위해서는 그래픽에 의한 가시화(Visualization) 기법이 필수적이며 서피스 렌더링(Surface Rendering) 기법과 볼륨 렌더링(Volume Rendering) 기법이 많이 사용되고 있다.

서피스 렌더링은 볼륨 데이터 상에서의 특정

스칼라 값을 삼각형 등의 기본 도형으로 표시해주는 기법으로 알고리즘이 간단하나 데이터의 복잡성에 영향을 많이 받는다.

볼륨 렌더링 기법은 볼륨 데이터를 이차원 출력 화면에 직접적으로 투영하는 강건하고 융통성 있는 가시화 방법이나 서피스 렌더링에 비해 알고리즘의 복잡하여 결과적으로 렌더링 시간이 길다는 단점이 있다. 본 연구에서는 서피스 렌더링과 볼륨 렌더링 방법을 비교하였으며 렌더링 시간을 단축한 새로운 볼륨 렌더링 방법인 쉬어-웁(Shear-Warp) 볼륨 렌더링의 수학적 개념을 알아본다.

### 2. 서피스 렌더링 알고리즘

서피스 렌더링은 볼륨 데이터에서 특정 스칼라값의 위치를 기본 도형으로 표현하는 가시화 방법으로 이차원의 등고선(Contour)이 3차원으로 확장된 개념이다. 현재 널리 사용되고 있는 방법은 Lorensen과 Cline의 Marching Cube 알고리즘이다.

Marching Cube 알고리즘은 설정된 스칼라를 찾기 위해 볼륨 요소(육면체) 별로 계산을 수행하므로 단혀진 형태의 방정식을 푼다. 먼저 이 알고리즘에서 볼륨 요소의 각 절점 값과 특정 스칼라 값을 비교하여 0이나 1의 값을 할당한다. 만약 모든 절점이 같은 값으로 할당되면 이 요소에 서피스가 존재하지 않으므로 다음 볼륨

\* 영남대학교 기계공학부 대학원

\*\* 온디맨드소프트

\*\*\* 영남대학교 기계공학부



요소의 계산으로 넘어간다. 0과 1이 같이 존재하는 경우에는 Marching Cube의 256가지 경우로 나뉘어진 테이블을 참조하면 몇 개의 삼각형 요소가 어느 모서리에 놓이는지를 알 수 있게 된다.

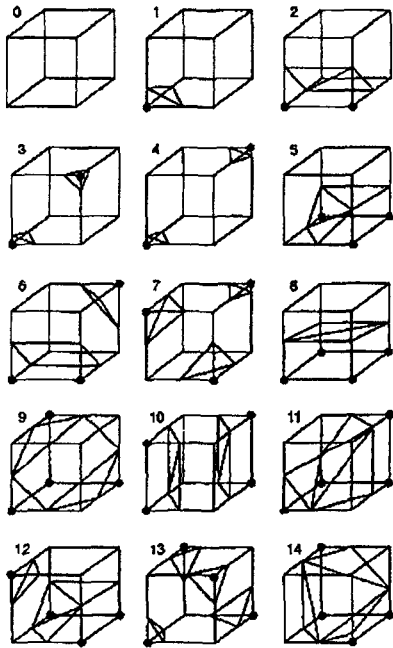


Fig 1. Marching Cube 알고리즘

Fig. 1은 Marching Cube의 256가지 경우 중에서 위상이 다른 15가지 경우에 대한 볼륨 요소상의 서피스의 위치를 나타낸 것이다.

### 3. 볼륨 렌더링 알고리즘

서피스 렌더링 방법은 다음과 같은 주요 단점이 존재한다.

(1) 원래의 데이터(Original)에 포함된 특정 스칼라 값을 기본 도형으로 근사화 한 것이며 충분한 정밀도의 근사화는 과도한 량의 기본도형을 생성하게 된다. 그러므로 정확성과 시스템 요구량과의 절충이 필요하다.

(2) 서피스 렌더링은 데이터에 포함된 많은 정보가 손실된다.

예를 들어 CT의 스캔된 데이터에는 유용한 정보가 특정 스칼라 값에만 있는 것이 아니라 전체 데이터가 유용한 정보를 표시한다. 또한 구름이나 화염과 같은 정해진 형상이 없는 데이터는 서피스를 이용하여 적절히 표현할 수 없다. 이러한 단점을 보완하기 위해 볼륨 렌더링 기법이 제시되었으나 렌더링 시간이 길다는 단점이 있다.

볼륨 렌더링은 볼륨 데이터의 칼라값과 불투명도를 이용하여 이미지 출력면에 투영시키는 방법으로 이미지를 중심으로 렌더링을 하느냐 볼륨 데이터를 중심으로 렌더링을 하느냐에 따라 이미지 중심(Image Order) 알고리즘과 오브젝트 중심(Object Order) 알고리즘으로 나뉘어진다.

이미지 중심 알고리즘은 레이 캐스팅 알고리즘이라고도 하며 2차원 이미지 출력평면의 각 픽셀에서 시선 방향으로 광을 출발시켜 볼륨 데이터와 교차하는 위치에서의 색상과 불투명도를 샘플링 하여 누적시키는 방법이다. 시선 방향에 따라 광이 볼륨데이터를 임의 방향으로 통과하기 때문에 광선과 볼륨 데이터간의 샘플링 좌표 계산에 많은 시간을 사용하게 된다.

오브젝트 중심 알고리즘은 볼륨 데이터의 모든 절점을 탐색하면서 필터링 처리된 볼륨요소의 칼라값과 불투명도를 이미지 평면의 국소 영역에 투영하는 방법이다. 이 방법은 이미지 평면에 값을 누적시키는 과정과 필터링 계산이 복잡하다는 단점이 있다.

### 3.1 쉬어-웁 볼륨 렌더링 알고리즘

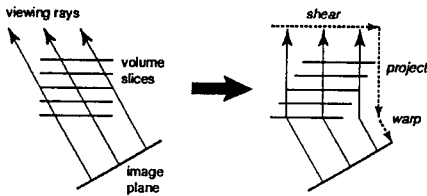


Fig. 2. Shear-Warp 개념도

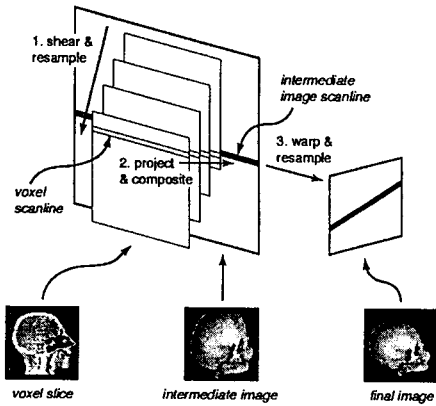


Fig. 3. Shear-Warp 알고리즘

쉬어-왁(ShearWarp) 방법은 볼륨 렌더링의 계산 시간을 줄이기 위해 개발된 방법으로 이미지 중심 알고리즘의 장점을 포함시킨 오브젝트 중심 알고리즘이다.

Fig. 2와 Fig. 3은 쉬어-왁 알고리즘을 나타낸 것으로 프로젝션을 용이하게 하기 위해 2축에 대해 슬라이스면을 평행 이동시키는 쉬어(Shear) 과정과 시선 방향의 회전 특성을 보완하기 위한 왁(Warp) 과정으로 이루어진다. Fig. 3에서의 각 단계별 세부 내용은 아래와 같다.

- (1) 볼륨데이터의 슬라이스를 주 슬라이스 축에 수직인 방향으로 평행 이동 시킨다.
- (2) 쉬어진 이미지를 2차원 중간 이미지 평면에 투영시킨다.
- (3) 중간 이미지 평면상의 이미지는 왜곡된 형상이며 최종 이미지 면으로 변환한다.

위의 과정을 수행하기 위해서는 뷰잉 매트릭스를 이용하여 주 슬라이스 축(principal slice axis)을 계산하여야 한다. 이 축은 시선 방향의 수직 방향과 가장 작은 각을 이루는 X, Y, Z 축 중의 하나를 의미한다. 위의 3단계 과정을 수식으로 전개하면 아래와 같다. 여기서 주 슬라이스 축은 Z 축으로 설정하였다.

$$M_{view} = M_{warp2D} \cdot M_{shear3D} \quad (1)$$

여기서  $M_{view}$  : 뷰잉 매트릭스

$M_{warp2D}$  : 왁 매트릭스

$M_{shear3D}$  : 쉬어 매트릭스

볼륨 데이터에 대한 시선 방향의 회전은 뷰잉 매트릭스(Viewing Matrix)를 이용하여 표현되며 쉬어-왁 방법은 뷰잉 매트릭스를 2개의 매트릭스로 분해하여 단순화된 매트릭스 식으로 변환하였다.

시선 벡터를  $v_i$ 라 하고 뷰잉 매트릭스에 의해 회전된 시선 벡터를  $v_0$ 라 하면

$$v_i = M_{view3D} \cdot v_0 \quad (2)$$

크레머(Cramer) 규칙에 의해  $v_0$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_0 = \begin{vmatrix} m_{12}m_{23} - m_{22}m_{13} \\ m_{21}m_{13} - m_{11}m_{23} \\ m_{11}m_{22} - m_{21}m_{12} \end{vmatrix} \quad (3)$$

여기서  $m_{ij}$ 는 뷰잉 매트릭스의 요소이다.

고정된 Z축에 대한 쉬어진 X, Y축의 기울기를 나타내면 다음과 같다.

$$S_x = -\frac{v_{0,x}}{v_{0,z}} = \frac{m_{22}m_{13} - m_{12}m_{23}}{m_{11}m_{22} - m_{21}m_{12}}$$

$$S_y = -\frac{v_{0,y}}{v_{0,z}} = \frac{m_{11}m_{23} - m_{21}m_{13}}{m_{11}m_{22} - m_{21}m_{12}}$$

그러므로 쉬어 매트릭스와 왁 매트릭스는 다음 식으로 계산한다.



$$M_{3D} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & s_x & 0 \\ 0 & 1 & s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$M_{warp2D} = M_{view} \cdot M_{shear3D}^{-1}$$

$$= M_{view} \cdot \begin{pmatrix} 1 & 0 & -s_x & 0 \\ 0 & 1 & -s_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (5)$$

이 방법은 오브젝트 중심 알고리즘의 3차원 샘플링 방법을 2차원 계산으로 변환시켰으며 데이터의 컬러와 불투명도의 계산은 이미지 중심의 방법을 적용하므로 매우 효과적이며 속도가 빠른 렌더링 방법이다. 또한 일반적인 볼륨 렌더링 기법의 가속화 방법을 모두 적용할 수 있어 사용자의 응답속도를 높여 현실성(Reality)을 부여할 수 있다.

### 3.2 볼륨 렌더링 가속화 기법

볼륨 렌더링의 속도를 높이기 위한 많은 최적화 알고리즘이 제시되어져 왔으며 널리 사용되는 가속화 기법은 다음과 같다.

먼저 관심 데이터가 존재하는 영역의 정보를 별도로 추가하여 이미지 렌더링을 더욱 효과적으로 처리하게 하는 방법이다. 많이 사용되는 데이터 구조는 8개의 부영역으로 세분화하면서 정보의 유무를 저장하는 옥트리(Octree)[4]이다. 이 방법은 전처리 과정이 필요하며 오브젝트 중심 알고리즘에 적합한 가속화 기법이다.

두 번째 방법은 볼륨 데이터를 투과하는 광의 샘플링 깊이를 조절하는 방법으로 광의 불투명도가 임계치에 도달하면 탐색을 중단하게 한다. 이미지 오더 방법에 적합한 가속화 방법[5]이다. Levoy report[6]는 메디칼 데이터에 대해 95% 정도의 불투명도에서 광의 진행을 중단할 경우 1.6-2.2 배 정도, Octree 기법과 결합할 경우 5-11배의 속도 증가를 가져온다고 한다.

### 4. 결론

의료나 시뮬레이션 그리고 모델링 등에서 생성되는 3차원 볼륨데이터를 효과적으로 가시화하는 방법은 서피스 렌더링과 볼륨 렌더링 방법이 있다.

특정 스칼라 값을 기본 도형의 조합으로 표현하는 서피스 렌더링에 대해 볼륨 데이터의 절점값을 2차원 이미지 평면상에 그대로 투영시키는 볼륨 렌더링의 장점은 볼륨 데이터의 복잡성에 무관하다는 것과 출력된 이미지에서 얻



Fig. 4 Surface Rendering



Fig. 5 Volume Rendering



어낼 수 있는 정보의 량이 많다는 것이다. 쉬어-와arp 볼륨 렌더링 방법은 볼륨 렌더링 방법의 단점인 렌더링 시간을 대폭적으로 감소 시킬수 있으므로 3차원 볼륨데이터의 가시화 분야에서 널리 사용될 것이다. 본 연구에서는 서피스 렌더링에 의해 Fig. 4의 결과를, 볼륨 렌더링에 의해 Fig. 5의 결과를 생성하였으며 차후 볼륨 렌더링에 폴리곤으로 구성된 인공 조형물을 같이 가시화하는 방법을 개발하고자 한다.

### 참고 문헌

- [1] Richard, S. G., "Computer Visualization", CRC Press (1994), p.113
- [2] Lorensen, W. E., "Marching cubes: A high Resolution 3D surface construction algorithm", SIGGRAPH '87 Proceeding, Vol. 21, Anaheim, p.163-169
- [3] Philippe, G. L., "Fast Volume Rendering Using a Shear-Warp Factorization of the Viewing Transformation", CSL-TR-95-678 (1995), p.1-38
- [4] Meagher, D. J., "Efficient synthetic image generation of arbitrary 3-D objects", Proceeding of the IEEE Conference on Pattern Recognition and Image Processing, (1982) p.473-478
- [5] Arvo, J. & Kirk, D., "Practical transport and image synthesis", SIGGRAPH '90 Proceeding, Vol 24, Dallas, p.63-66
- [6] Levoy, M., "Efficient ray tracing of volume data", ACM Transactions on Graphics 9(3), (1990) p.245-261