

삼차원 초음파 의료 영상의 입체 묘사 기법 연구

최 정필[○], 하 명환^{*}, 나 종범

한국 과학기술원 전기 및 전자 공학과

^{*} 한국방송공사 기술 연구소

A Study on Volume Visualization Method of Three-Dimensional Ultrasonic Medical Image

J. P. Choi, M. H. Ha^{*}, J. B. Ra

Department of Electrical Engineering, KAIST

^{*} Technical Research Institute, KBS

Abstract

Visualization of three dimensional medical images has been studied in many ways. For CT and MRI data, 3D rendering schemes are commercially available and widely used. However visualization of ultrasonic 3D data is not popular yet, even though its potential in medical diagnosis seems very high. In this paper we try to visualize 3D ultrasonic data. The basic method is adopted from the volume rendering technique. Based on the characteristics of the ultrasonic images, 3D visualization algorithm is developed and applied for the 3D image set of a dog heart.

1. 서론

의료용 영상 진단기에서 얻은 영상은 일반적으로 단면 영상이다. 이러한 단면 영상을 일정한 규칙으로 여러장을 얻으므로써 3차원 데이터가 구해진다. 이렇게 얻어진 3차원 데이터를 적절한 방법으로 도시하는 경우 진단에 많은 도움을 줄 수 있다.

3차원 데이터를 2차원 화면에 입체적으로 도시하는 방법은 크게 두 가지가 있다. 3차원 데이터에서 기하학적인 모양을 추출하여 이를 이용하는 방법과 3차원 데이터 하나 하나를 그 투명도와 경사도에 따라 2차원 평면에 mapping하는 방법이 있다.

3차원 데이터에서 기하학적인 모양을 추출하여 도시하는 방법을 surface rendering 이라 한다. 이 방법은 3차원 데이터를 합성하여 도시하는 경우는 용이하지만 주어진 3차원 데이터에서 기하학적인 모양을 추출하기가 쉽지 않고 현저한 artifact를 동반할 수 있다는 단점이 있다.

이러한 기하학적 모양의 추출 없이 3차원 데이터 도시하고자 하는 체적소(voxel) 하나하나에 대하여 2차원 영상으로 변환하는 방법이 volume rendering이다. 이 방법은 체적소의 값은 물론 그 주변 체적소 값과의 관계를 이용하여 입체묘사에 필요한 값을 구한 후 2차원 영상에 mapping한다. 이 방법은 surface rendering에 비해 계산 시간이 오래 걸린다는 단점이 있으나 매우 양질의 입체적인 영상을 제공한다. 초음

파 데이터와 같이 noise가 많은 경우는 surface를 추출하기가 용의하지 않기 때문에 volume rendering 방법이 더욱 적절하다.

본 논문에서는 3차원 초음파 영상을 그 특성을 고려하여 빠르게 도시하는 방법을 연구하였다. 2장에서는 volume rendering 기법을 이용한 3차원 데이터의 2차원 도시에 대하여 살펴 보았고 이를 근간으로 하여 3장에서는 초음파 데이터의 특성(즉 그 밝기가 서로 다른 매질에서의 반사에 의해서 결정된다는 것과 데이터의 신호대 잡음비가 작다는 것)을 고려한 도시방법에 대하여 살펴 보았다. 4장에서는 모의 실험 결과에 대하여 살펴 보았고 5장에서는 결론을 서술하였다.

2. Volume Rendering 기법

3차원 CT나 MRI 영상을 2차원에 입체 도시하는 것은 오랫동안 연구되어 왔다. 초기에는 처리속도 기억장치의 부족 등으로 각 단면 영상에서 윤곽선을 추출하여 이것을 이어서 작은 면을 만들어 이것을 도시하는 방법이 사용되었다 [1]. 지금도 이러한 방법들이 계속 연구되고는 있으나 복잡한 구조의 도시에는 적합하지 않다. 그 다음에 나온 방법이 3차원 데이터에서 3차원적인 표면을 구하여 도시하는 방법인 marching cube 알고리즘을 이용한 surface rendering 방법이 있다 [2]. 이 방법은 3차원 데이터에서 경계면을 하나하나 구하기 때문에 경계를 추출하기가 용이하고 각 윤곽선을 이어주는 번거러움이 없다. 그러나 찾아야 할 경계면의 수가 많아지므로 많은 계산 시간을 필요로 한다.

여기서는 최근에 제안된 volume rendering에 대하여 살펴보기로 한다. 이 방법은 우수한 화질을 제공하는 반면 체적소(voxel)단위로 operation하므로 surface rendering과 같은 polygon을 이용한 방법에 비해 입체 도시에 있어 많은 계산 시간이 요구되는 단점이 있으나 최근 꾸준한 연구로 그 속도가 점차 개선되고 있는 추세이다.

2.1 Volume rendering 일반적 방법

Volume rendering은 3차원 데이터를 체적소(voxel) 하나하

나직 2차원 영상 평면에 입체 도시하는 방법이다. 이것은 크게 두가지 부분으로 나눌 수 있다. 먼저 3차원 데이터를 어떠한 값으로 대응시켜 도시 할 것인가와 이렇게 얻어진 데이터를 어떠한 방식으로 도시할 것인가 하는 것이다.

먼저, 3차원 데이터를 어떠한 값으로 대응시킬 것인가하는 점에 대하여 살펴 보겠다. CT 영상의 값을 예를 들면 살, 뼈, 지방질에 따라 서로 다른 값을 가진다. 그리고 영상의 입체 도시에 있어서는 경계가 되는 부분을 강조하여야 도시가 자연스럽게 된다. 이러한 성질을 이용하여 3차원 데이터 값을 도시할 부분(살, 뼈 등)에 따라 서로 다른 불투명도(opacity)를 부여하고 또한 경계를 강조하기 위해서 gradient가 큰 부분에 큰 값을 대응시킨다.

3차원 데이터의 mapping이 끝나면 이값을 2차원 평면에 도시하여야 한다. 이때 도시하는 방법은 크게 두가지 방법으로 나뉜다. 먼저 2차원 영상평면에서 3차원 데이터로 시선을 쏘아 이것을 도시하는 방법[3]과 3차원 데이터를 2차원 평면으로 projection시키는 방법이 있다[4]. 이때 물체의 입체감을 살리기 위해서 빛과 surface normal을 이용하여 shading을 해준다[3].

2.2 Volume rendering 방법의 개선

2.1절에서 설명한 방법으로 3차원 영상을 도시하는 경우 데이터 양이 많기 때문에 도시하는데 많은 시간이 걸린다. rendering시에 속도를 빠르게 하기 위해서 많은 연구가 진행되어 왔다. 그러한 방법들 중 성공적인 방법의 하나가 shear and warp 방법이다[5].

3차원 데이터의 도시에 있어서 속도가 가장 많이 걸리는 이유는 3차원 데이터의 좌표와 2차원 영상 평면으로 mapping시 많은 3차원 interpolation이 필요하기 때문이다. 그림 1은 2차원 평면상에서 이 문제점을 나타낸다. 그림 1에서 보는 것처럼 도시 좌표에서 이에 해당하는 3차원 물체의 좌표를 계산하기 위해서는 일정한 실수 벡터를 더하면서 전진해 나간다[6]. 그리고 sampling할 지점에서는 주위의 값들로 보간을 해주어야 하는데 이때의 weighting factor는 항상 변하므로 매번 계산 해주어야 한다. 이러한 계산은 rendering 속도를 매우 느리게 하는 주요 요인이다.

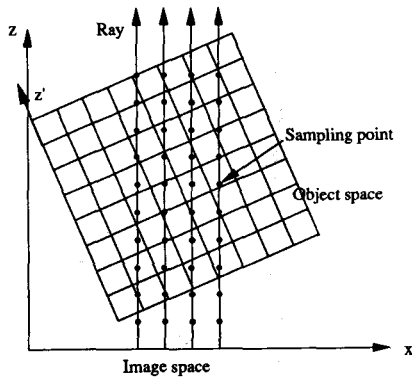


그림 1. 3차원 데이터의 좌표축과 도시 평면의 좌표축

이러한 점들을 개선하기 위해서 도입된 방법이 shear and warp 방법이다. 도시 평면의 좌표의 간격을 조절하면 sampling point가 3차원 데이터에 일정한 간격으로 만나게 된다. 그림 2는 이것을 나타낸다. 이렇게 sampling point가 3차원 데이터에 일정한 간격으로 만나게 되는 것은 다음과 같은 장점이 있다.

그림 3은 그림 2의 3차원 데이터를 z' 방향으로 본 것으로 데이터의 위치와 sampling point의 위치를 나타내는 그림이다. 이 그림에서도 알 수 있듯이 sampling point가 데이터 사이에 일정하게 위치한다. 그러므로 훨씬 적은 계산으로 interpolation을 행할 수 있음을 알 수 있다. 이러한 방식으로 각각의 slice에 대하여 rendering을 해 준 영상을 중간 영상(intermediate image)라고 한다. 이 중간 영상은 도시 평면에서의 간격을 임의대로 조절하였기 때문에 실제의 영상과 다르다. 이것을 실제로 보이는 영상으로 만들어 주기 위해서는 warping이라는 작업이 필요하다. 그림 4는 이 warping에 대하여 나타낸다. 이 그림에서 구하고자 하는 값은 시선이 데이터와 만나는 점 P1에서의 값이다. 그런데 중간 영상에서 구한 값은 P2와 P3에서의 값이다. 이 P2와 P3를 이용하여 P1에서의 값을 구한다. 이때 그림 4의 warping 과정은 2차원 연산으로 그 계산량이 그림 3의 3차원 interpolation에 비해 매우 작으므로 전체 시간에 영향을 주지 않는다.

이와같이 shear and warp 방법은 3차원 interpolation시의 계산량을 크게 줄임으로써 rendering 시간을 줄이는 방법이다. 이와 더불어 3차원 공간에서 데이터가 존재하지 않는 부분을 계산에서 효과적으로 배제하기 위한 run length encoding을 이용하여 계산량을 더욱 줄일 수 있다.

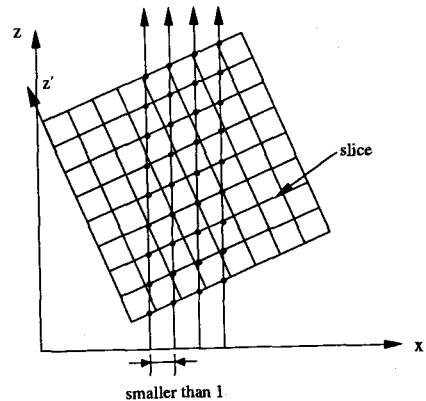


그림 2. Shear된 도시 평면의 좌표축

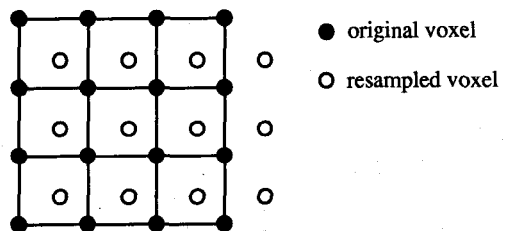


그림 3. 도시평면이 shear 되었을 경우의 sampling point

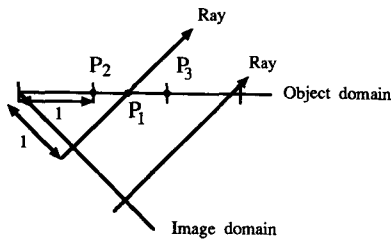


그림 4. Warpping 방법

3. 초음파 데이터의 입체 도시

초음파 영상 데이터의 경우 얻는 방식이 CT나 MRI와 다르기 때문에 영상의 성질도 다르다. 즉 초음파 영상은 관찰하고자 하는 대상에 초음파를 주사하여 이 초음파가 매질의 경계에서 일어나는 반사에 의하여 영상이 구성된다. 그러므로 초음파 영상은 매질에 따라 고유한 값을 가지는 CT나 MRI와는 달리 두개의 매질의 성질이 다른 곳에서 큰값을 가지는 특성이 있다. 그리고, 다른 하나의 특성으로써 신호대 잡음비가 CT나 MRI 영상에 비하여 낮다. 그림 5는 초음파 단면 영상의 한 예이다. 이 두가지의 특성이 volume rendering시에 어떠한 영향을 주며 이것을 잘 도시하기 위해서는 어떠한 작업이 필요한지에 대하여 살펴 보았다.



그림 5. 초음파 단면 영상

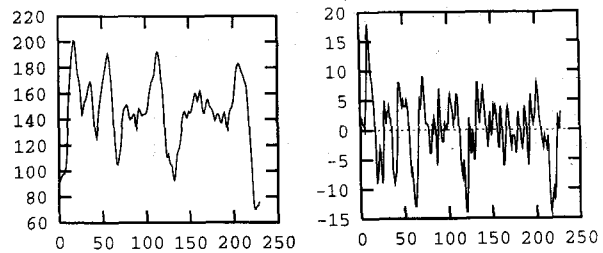
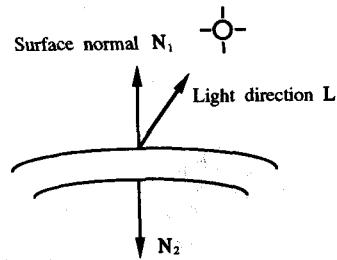


그림 6. 초음파 단면 영상(그림 5)의 한 line에서의 값의 분포와 이의 1차원 gradient 값

3.1 반사 영상이므로 생기는 문제점

초음파 영상은 매질의 경계에서 생기는 반사에 의하여 영상이 구성된다. 이것은 경계를 강조하여 도시하는 volume rendering에 있어서 이로운 점이다. 그러나 도시에 있어서 입체감이 나게하는 shading을 해주기 위해서는 경계의 정도뿐만 아니라 경계의 방향까지 알아야한다. 이러한 경계의 방향(surface normal vector)을 알기 위해서는 gradient를 취하여 구해야 한다. 그림 6a)는 그림 5에서 줄을 그은 부분에 해당하는 영상의 값이다. 그리고 그림 6b)는 a)에서 1차원 gradient를 취한 값이다. 그림 7a)처럼 일반적인 shading을 할 경우 방향을 고려하기 때문에 두번째 경계는 물체의 반대면으로 고려되어 검게 나타나며 이는 우리가 원하는 결과가 아니다. 그러므로 초음파 영상과 같은 반사 영상의 경우 shading은 그림 7b)와 같이 양방향 shading을 택하였다.



$N_1 \cdot L > 0$ 일 때 $N_1 \cdot L$ $N_1 \cdot L > 0$ 일 때 $N_1 \cdot L$
 $N_2 \cdot L < 0$ 일 때 0 $N_2 \cdot L < 0$ 일 때 $-N_2 \cdot L$
 a) 일반적인 shading 방법 b) 양방향 shading 방법

그림 7. Shading 방법

3.2 낮은 신호대 잡음비와 그 해결책

초음파 영상의 경우 여러가지 원인으로 하여 신호대 잡음비가 낮고 영상이 매우 noisy해 보인다. 물론 이러한 noise를 전처리(pre-processing)로 줄이는 방법이 있겠으나 이러한 전처리는 원래의 데이터를 잃어버리는 결과를 초래하므로 주의가 요구 된다.

3.1절에서 언급한것처럼 경계를 강조하기 위해서 gradient operator를 사용한다. 이러한 gradient operator는 초음파 영상과 같은 noise가 큰 영상에서는 noise를 증가시키는 결과를 초래하므로 gradient에 적절한 weighting을 줌으로써 보다 부드러운 영상을 얻을 수 있다.

4. 모의 실험 결과

3장에서 살펴 본 초음파 영상의 특성을 이용하여 3차원 초음파 데이터를 입체 도시하였다. 본 논문의 실험은 인체 데이터를 사용하지 않고 수조에 적출된 개의 심장을 넣은 뒤 이것을 일정한 각도로 회전 시키면서 3차원 데이터를 얻었다. 본 논문에서 사용한 초음파 진단기는 메디슨의 SONACE 4800HD 장비이다.

데이터를 얻을 때 회전하면서 얻었기 때문에 데이터가 cylindrical 좌표로 얻어진다. 이것을 도시하기 위해서는 직교 좌표로 변환이 필요하다[7]. 직교좌표계로 바뀌어진 데이터는 도시의 시간을 줄이기 위해 관심있는 데이터는 도시를 위해서 저장하고 그렇지 않은 데이터는 버리는 run length encoding을 하였다.

그림 8은 실험에 사용한 개의 심장 사진이고 그림 9는 초음파의 특성을 고려한 3차원 입체 도시 결과이다.

5. 결론

본 논문에서는 초음파 3차원 데이터의 volume rendering 기법을 초음파 영상의 특성을 고려하여 입체 도시하는 기법에 대해 기술하였다. 초음파 데이터는 반사에 의한 영상이고 신호대 잡음비가 낮기 때문에 CT나 MRI와는 달리 전처리 과정 및 opacity 구하는 과정 그리고 shading에도 주의가 필요하다.

실제 실험을 통해서 얻어진 입체 도시 결과를 볼 때 초음파 영상의 입체 도시의 의료 진단에서의 유용성이 기대된다.

참고 문헌

- [1] Keppel, E., "Approximation of Complex Surfaces by Triangulation of Contour Lines" IBM Journal of Research and Development 19 pp 2- 11, 1975
- [2] Lorensen, W. E. and Cline, H. E., "Marching cubes: A High Resolution 3D Surface Construction Algorithm" Computer Graphics 21 pp163-169, 1987
- [3] Levoy, M. "Display of Surfaces from Volume Data" IEEE CG&A 8(3) pp29 - 37, May 1988
- [4] Westover, L. "Footprint Evaluation for Volume Rendering" Computer Graphics 24(4) pp267- 376, 1990
- [5] Lacroute, P. and Marc Levoy "Fast Volume Rendering Using a Shear Warp Factorization of the Viewing Transformation" Computer Graphics 28 pp451 - 458 1994
- [6] Tuy, Heang K. and Lee Tan Tuy "Direct 2-D Display of 3-D Objects" IEEE CG&A 4(10) pp29 - 34, 1984
- [7] 최 정필, 나 중범 "삼차원 초음파 영상의 투영 도시법" 신호처리 합동 학술대회 논문집 pp127 - 131, 1993

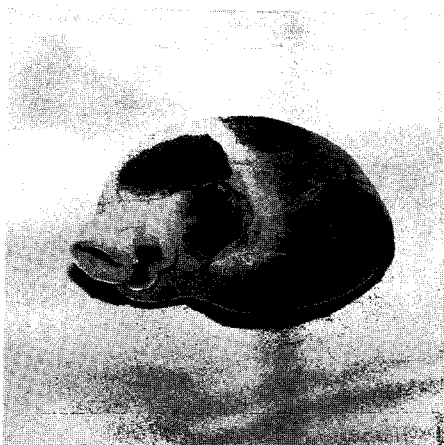


그림 8. 실험에 사용한 개의 심장 사진



그림 9. 초음파 영상의 특성을 고려한 입체 도시