

# 3D Data Set에서 Transfer Function를 이용한 경계 영역의 가시화 방법

박재영\*, 이병일, 최현주, 최흥국  
인제대학교 전산학과

## Visualization Method for Boundary Region Using Transfer Function in 3D Data Set

Jae-Young Park, Byong-Il Lee, Hyun-ju Choi, Heung-Kook Choi  
Dept. of Computer Science, Inje University.

### 요 약

2차원 슬라이스 영상으로부터 volume rendered 이미지를 생성하기 위해서는 2차원 영상의 pixel 데이터를 voxel 기반으로 재구성해야 한다. 영상을 재구성하면서 생성되는 voxel value는 3차원 영상을 2차원 화면으로 원근 투영할 때 최종 픽셀 값을 결정하는 기본 요소가 된다. 따라서 본 논문에서는 조합되는 voxel value를 결정하는 Transfer Function를 이용한 intensity와 gradient magnitude의 조작을 통하여 최종 3차원 이미지에서 오브젝트의 surface뿐만 아니라 내부의 서로 다른 조직끼리의 경계 영역을 가시화 하여 보았다.

### 1. 서론

CT나 MRI로 촬영된 2D 슬라이스 영상은 오브젝트의 내부속성까지도 가시화 할 수 있기 때문에 3차원 영상의 재구성에 많이 쓰인다. 이런 2차원 슬라이스 영상들을 재구성하여 3차원 영상으로 가시화를 하면 오브젝트의 내부까지도 표현하게 하는 volume rendering을 통하여 보다 사실적이고 직관적으로 3차원 영상을 구성 할 수 있다 [1][3].

컴퓨터 그래픽에서 생성된 3차원 영상은 surface 정보만 가지는 반면에 2차원 data set으로부터 재구성된 3차원 volume rendered 이미지는 surface와 boundary정보를 모두 포함하고 있다. 따라서 volume rendering은 의

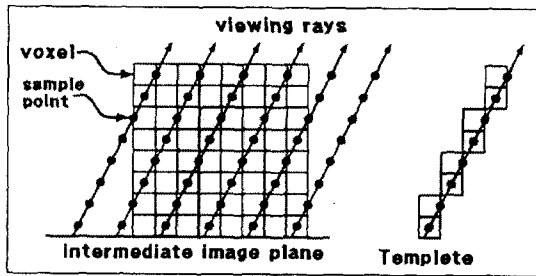
학, 지질학, 기계응용 분야 등에 광범위하게 사용되고 있다. Volume rendering은 voxel value로 이루어지는데 각각의 ray cast에 따라 voxel value를 구한 다음 voxel들을 모두 조합해서 2D plane의 픽셀들로 투영시킨다 [2]. 이런 과정에서 어떻게 voxel들을 조합하는지 결정하는 함수가 필요한데 이 함수가 transfer function이다. Transfer function을 이용하여 voxel value의 intensity를 조합함으로써 오브젝트 내부의 모습을 다양하게 가시화 할 수 있다.

본 논문에서는 transfer function를 통해서 voxel value를 조합함으로써 volume rendered 이미지에서 오브젝트의 내부 모습을 보다 잘 가시화 하고 관심 있는 조직의 경계영역 볼 수 있도록 하였다.

## 2. Voxel과 transfer function

### 2.1 Image pixel vs. voxel

2차원 디지털이미지는 color나 light intensity로 이루어 지는데 이런 데이터 요소들을 pixel이라고 한다. 반면 volume rendering의해 생성되는 영상은 voxel로 이루어 지는데, voxel은 다음과 같이 두가지로 생각 할 수 있다. 하나는 인접한 두 픽셀 사이의 위치를 계산하여 매우 작은 cube형태로 나타내는 것이며, 두번째는 3차원 공간에서 일정한 크기가 없고 표본화된 point 위치로 작은 공간들을 만드는 것이다 [1]. 본 논문에서는 후자의 경우를 voxel의 기본 단위로 한다.



[그림 1] Image plane에 투영되는 ray caster에서의 Voxel

### 2.2 Gradient Estimator

Volume rendering은 segmentation, gradient computation, resampling, classification, shading 그리고 compositing 단계로 이루어진다. Gradient은 classification 단계에서 계산하는데, data set에서 얼마나 빨리 voxel intensity가 변하는지를 측정하는 것이다. 서로 다른 속성을 가지는 오브젝트의 적당한 edge나 boundary를 계산할 때 gradient가 매우 유용하게 쓰일 수 있다.

Gradient magnitude를 다음과 같이 x,y,z축의 vector 크기로 표현할 수 있다.

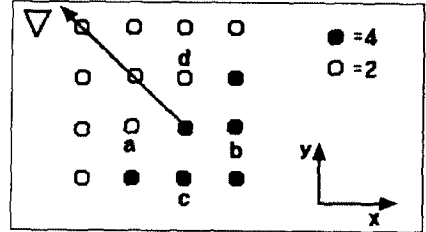
$$| | = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad [식 1]$$

Gradient magnitude가 0이면 인접한 voxel 사이의 intensity 변화가 없다는 뜻인데, 이것은 인접한 오브젝트의 속성 변화가 없다고 할 수 있다.

Gradient를 계산하는 방법에는 몇가지 방법이 있는데

본 논문에서는 Central Difference Gradient Estimator방법을 사용하였다.

$$\begin{aligned} D_x &= f(x-1, y, z) - f(x+1, y, z) \\ D_y &= f(x, y-1, z) - f(x, y+1, z) \\ D_z &= f(x, y, z-1) - f(x, y, z+1) \end{aligned} \quad [식 2]$$



[그림 2] Central difference gradient operator in 2D

### 2.3 Transfer Function

Classification단계에서 복셀에 opacity속성을 할당하는데 여기에 쓰이는 함수가 intensity나 local gradient magnitude등이 있다. 이런 함수를 transfer function이라고 한다. Volume rendering의 장점이 내부 구조의 모습을 가시화 하는 것인데 transfer function의 결정이 매우 중요한 단계이다.

Transfer function은 보통 intensity 하나만으로 표현하거나 다음 식[3]과 같이 intensity와 gradient와 같이 표현하는 경우도 있다.

$$\alpha_i = O(I_i, | |, \dots) \quad [식 3]$$

위의 식에서  $O(\dots)$  = opacity transfer function,  $I_i$  = Intensity value,  $| |$  = local gradient magnitude 을 뜻한다.

### 2.3 Boundary 가시화

Volume rendering는 오브젝트의 surface뿐만 아니라 내부 오브젝트들도 볼 수 있는 것이 가장 큰 장점인데 intensity값의 밝고 어두운 정도만으로는 내부 오브젝트를 가시화하기에는 한계가 있다. 서로 다른 2개 이상의 오브젝트가 같은 ray 상에서 겹쳐져 있을 경우 뒷부분에 있는 오브젝트는 intensity만으로는 표현

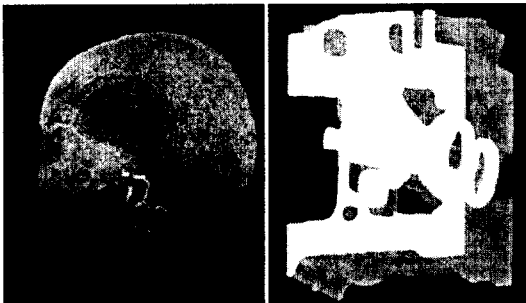
하기가 힘들다. 따라서 주변 voxel value와 연관성을 고려하여 렌더링 할 때 계산을 해야 하며, 가장 일반적인 방법이 voxel vector를 구하는 것이다. 본 연구에서는 식[2]의 방법으로 local gradient를 구해서 voxel의 vector 정보로 이용하였으며 intensity와 gradient값을 transfer function의 기본 요소로 사용하였다. Transfer function 결과값을 렌더링 할 때 적용하여 오브젝트의 내부 boundary를 보다 잘 가시화 할 수 있도록 하였다.

### 3. Transfer function를 이용한 voxel-based rendering

2차원 슬라이스 영상의 3D Data Set으로부터 내부 오브젝트의 속성이 가시화 될 수 있도록 다음과 같은 방법들을 적용시켜 보았다.

#### 3.1 MIP(Maximum Intensity Projection)

MIP rendering 방법은 ray가 통과하는 voxel value중에서 가장 큰 값을 가지는 voxel의 intensity값을 구해서



(a) MRI Head

(b) CT-Engine-block

[그림 3] 3D Data Set (256x256x109)에서의 MIP방법을 이용한 Volume rendering.

최종적으로 화면에 투영하는 방법이다. 최대 intensity 값이 rendering의 최종 픽셀값으로 결정되므로 물체의 내부 boundary를 표현하는 데는 적당하지 않는 방법이다.

$$I = \text{Max}(f(I,j,k)) * \text{Intensity} \quad \text{[식 4]}$$

[식 4]에서  $f(I,j,k)$ 는 voxel의 위치이고 I는 MIP를 위한 최종 픽셀값이다.

[그림 3]의 (a)와 (b)는 MIP방법을 이용하여 rendering한 결과인데, (a)의 경우 skin부분에서 voxel intensity들이 대부분 최대값이 가지기 때문에 brain, skull같은 내부 오브젝트가 거의 보이지 않으며, (b)의 경우도 엔진 겉면의 금속재질의 intensity가 최대이므로 내부 부품들이 거의 보이지 않고 있다.

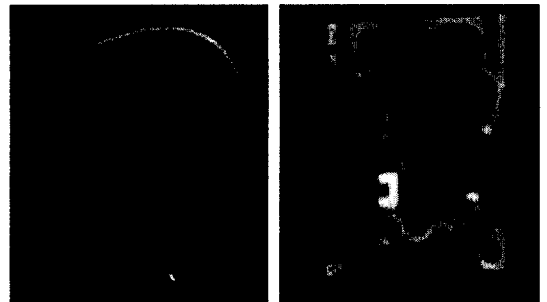
#### 3.2 Average compositing

Ray가 통과하는 모든 voxel intensity의 평균을 구해서 rendering을 하면 내부 오브젝트의 voxel intensity도 최종결과 픽셀값에 영향을 주기 때문에 내부 오브젝트의 공간 해상도를 향상시킬 수 있다. [그림 4]는 average composition한 결과 영상들을 보여주고 있다.



(a) 3D HEAD

(b) Engine Block



(c) 3D HEAD 50-70슬라이스 (d) Engine Block 50-70 슬라이스

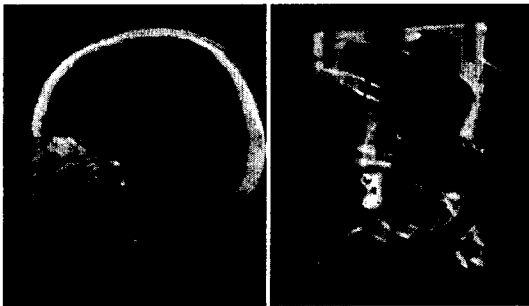
[그림 4] Average Composition을 이용한 결과 영상

[그림 4]의 (a)와 (b)영상은 전체 슬라이스 영상에서 각각의 ray에 따라서 참조되는 voxel intensity의 전체 합을 구해서 voxel 개수 만큼 나누어준 voxel intensity 평균을 구한 것이다. (c)와 (d)영상은 50-70번째 슬라이스 data set만으로 평균을 구해서 rendering한 결과이

다. MRI-Head영상에서는 brain, skull, oral, gullet등의 내부 오브젝트들이 표현되었으며, engine-block영상의 경우에는 엔진의 내부구조와 골격을 확인할 수 가 있었다.

### 3.3 Voxel value threshold and gradient-based rendering

Transfer function를 조작하여 voxel value들을 조합하는 과정에서 임의의 gradient 범위에 있는 voxel intensity를 서로 다르게 주어서 내부 오브젝트의 boundary를 보다 잘 가시화되도록 하였다.



(a) 3D Head-MIP- gm>100 (b)Engine-Average

[그림 5] Gradient 크기를 조절한 결과

[그림 5]에서 (a)영상은 50-70번째 슬라이스 영상의 MIP값에서 gm(gradient magnitude)이 100보다 큰 voxel intensity value를 5만큼 더해서 표현한 결과이다.

```
if(gm < 100) value = value
else value +=5
```

(b)영상은 50-70번째 슬라이스 영상을 가지고 average compositing transfer function를 적용시킨뒤 (a)영상과 동일하게 gradient 임계 값을 적용시킨 결과이다. 두 영상 모두 내부 오브젝트의 boundary가 잘 나온 것을 확인 하였다.

### 4. 구현 및 고찰

본 연구에 필요한 function들을 구현하여 결과를 확인하기 위해서 Win32-API와 C언어를 사용하였으며 컴파일러는 Visual C++ 6.0으로 하였다. Rendering된 결과 이미지를 3차원 공간에 투영시키기 위해서 OpenGL Transformation Matrix 방식을 사용했으며, 다양한 파

일 타입이 지원되도록 한다면 의료진단, 기계, 병리 영상연구등에 널리 쓰일 수 있을 것이다 [4].

### 5. 결론과 향후연구 방향

본 논문에서는 intensity와 gradient를 기본 소로 하는 transfer function를 이용하여 3차원 오브젝트의 내부 경계영역을 보다 잘 가시화 할 수 있도록 구현해 보았다. Volume rendering은 보이지 않는 내부 오브젝트들을 가시화 해 주는 것이 가장 강력한 기능이므로 내부 오브젝트의 서로 다른 material들의 경계를 표현하기 위한 보다 유용한 transfer function을 만드는 것이 매우 중요하며 영상 향상을 위한 연구가 병행되어야 할 것이다.

향후 연구방향은 volume rendering의 속도 개선과 다양한 의료영상에 적용될 수 있고, 임상 병리진단영상에서 활용될 수 있는 3D 재구성 및 분석도구가 개발되어야 할 것이다. [5][6]

### [참고문헌]

- [1] 이태경, 임인성. 2차원 샘플링에 기반을 둔 광선추적법 속도 향상 기법", 한국컴퓨터그래픽스학회, pp1-6, 1999.
- [2] G. Frieder, D. Gordon, and R.A Reynolds. "Back-to-Front Display of Voxel-Based Objects".IEEE Computer Graphics and Application, 5(1):52-60, January 1985.
- [3] R.A. Drebin L. Carpenter, and P.Hanrahan. "Volume Rendering. Computer Graphics", 22(4):65-74, August 1998.
- [4] OpenGL Architecture Review Board. OpenGL Reference Manual. Addison-Wesley Press, 2nd ed., 1997.
- [5] Philippe G. Lacroute. "Fast volume rendering using a shear-warp factorization of the viewing transformation", Stanford Center for Integrated system, September 1995.
- [6] B.H Kim. "Volume Based 3D Interactive Atlases," [http://cglab.snu.ac.kr/index\\_k.html](http://cglab.snu.ac.kr/index_k.html).