

RBF를 이용한 적은 수의 MRI 이미지로부터 3차원 조직 재구성

신영석* · 김형석**

*동의대학교 디지털미디어공학과

**동의대학교 멀티미디어공학과

3D Reconstruction of Tissue from a few of MRI Images using Radial Basis Function

Youngseok Shin* · Hyoungeok B Kim**

*Dept. of Digitalmedia Eng., Dong-Eui University

**Dept. of Multimedia Eng., Dong-Eui University

E-mail : hskim@deu.ac.kr, youngsuk@deu.ac.kr

요 약

MRI 기계의 성능에 따라서 사용되는 슬라이스의 수가 적을 수 있다. 결과적으로 적은 슬라이스를 이용해 3D surface를 재구성하게 되면 퀄리티가 낮아지는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 적은 수의 슬라이스를 이용하여 높은 퀄리티의 3D surface를 얻는 방법을 제안한다. 이를 위한 알고리즘은 먼저 원하는 영역의 경계를 찾아서 그 경계선들의 점을 찾는다. 이러한 점들을 이용하여 Radial Basis Function을 이용해서 슬라이스와 슬라이스 사이를 보간하고 이렇게 보간된 데이터들을 이용하여 Marching cube 알고리즘을 이용하여 렌더링 한다.

키워드

3D reconstruction, Radial Basis Function, Boundary detection

I. 서 론

MRI 의료진단영상장비는 많은 발전을 이루어 일반 병원에서도 이용할 수 있을 정도로 많이 보편화되었다. MRI는 인체에 무해하고, 3D 영상화가 가능하며 컴퓨터단층촬영(CT)에 비해 대조도와 해상도가 더 뛰어나다. 그리고 횡단면 촬영만이 가능한 CT와는 달리 관상면과 시상면도 촬영할 수 있고, 필요한 각도의 영상을 검사자가 선택하여 촬영할 수 있다. 이러한 장점으로 인해 널리 쓰이고 있지만, 검사료가 비싸며 촬영시간이 오래 걸리는 단점이 있다. 환자가 MRI 촬영을 한 뒤에는 2D 이미지로 볼 수가 있는데 논문에서는 이 2D 이미지들의 슬라이스로부터 3D 형태의 surface를 만들고자 한다. 그러나 MRI 기계의 성능에 따라서 사용되는 슬라이스의 수가 적을 수 있다. 결과적으로 적은 슬라이스를 이용해 3D로 surface를 재구성하게 되면 퀄리티가 낮아지는 문제가 발생한다. 본 논문에서는 적은 수의 슬라이스를 이용하여 좀 더 높은 퀄리티의 3D surface를 얻는 방법을 제안한다. 먼저 MRI에서 surface로 만들고자 하는 영역을 뽑아

낸다. 논문에서는 머리영상에서 뇌 부분의 경계선을 찾아서 사용하였다. 찾아낸 경계선의 점들로부터 Radial Basis Function을 이용하여 슬라이스와 슬라이스 사이를 보간한다. 적은 수의 슬라이스로 surface를 만들게 되면 폭이 좁아서 퀄리티가 낮았던 문제가 있었는데 Radial Basis Function을 이용하여 보간하게 되면 슬라이스와 슬라이스 사이에 슬라이스를 생성한 것과 같은 효과가 있기 때문에 결과적으로 슬라이스의 수가 증가된 것과 같아서 surface를 재구성하게 되면 폭이 증가하여 높은 퀄리티의 surface를 만들 수 있게 된다. 그 다음 화면에 렌더링하기 위해서 논문에서는 표면 렌더링의 대표적인 방법인 마칭큐브(Marching Cube)알고리즘[1]을 사용하여 보간된 점들을 이용하여 폴리곤을 생성하여 화면에 렌더링하였다.

II. RBF를 이용한 3D Reconstruction

2.1 뇌 영역 경계선 찾기

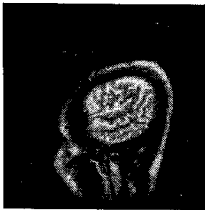
한 장의 MR 슬라이스에서 뇌 영역의 경계선

을 찾는 방법을 제안한다. 먼저 MR 슬라이스에서 한 점(x, y)를 선택하여 시작점으로 선택한다. 그리고 시작점의 R, G, B값과 그 주변의 8픽셀의 각각의 R, G, B값의 차의 합이 threshold값보다 작으면 그 픽셀의(x, y)좌표를 저장하고 차의 합이 threshold값보다 크면 그 점의 좌표를 경계선이라고 체크하게 된다. 그래서 R, G, B값의 차의 합이 threshold값보다 작아서 저장된 좌표(x, y)가 없어질때 까지 이것을 반복 수행하게 된다. 구체적인 절차는 다음과 같다.

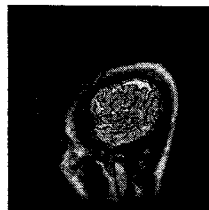
- ① 한 장의 MR 슬라이스에서 한 점(x, y)를 선택한다.
- ② 한 점과 주변 8픽셀들 중 한 점이 바운더리라고 체크되어 있지 않으면 각각의 R, G, B값의 차의 합을 구한다.

x-1, y+1	x, y+1	x+1, y+1
x-1, y	x, y	x+1, y
x-1, y-1	x, y-1	x+1, y-1

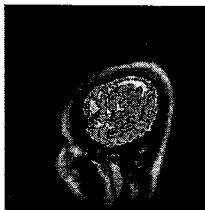
- ③ 그 점이 바운더리라고 체크되어 있으면 8 픽셀중 다음 픽셀로 넘어간다.
- ④ 차의 합이 threshold값보다 작으면 그 픽셀의 좌표를 저장한다.
- ⑤ 차의 합이 threshold값보다 크면 그 픽셀의 좌표를 바운더리라고 체크한다.
- ⑥ ④에서 저장된 좌표들을 다시 ②부터 반복한다.
- ⑦ 저장된 좌표들이 없을때 까지 이 알고리즘을 계속한다.
- ⑧ 저장된 좌표들이 없으면 바운더리라고 체크된 좌표들을 렌더링한다.(그림2)



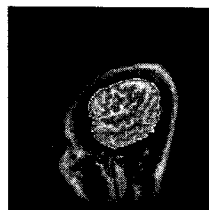
(그림1) 원본이미지



(그림2) 결과이미지



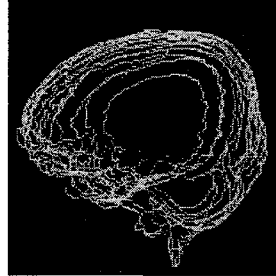
(그림3) 경계선 찾기



(그림4) 경계선

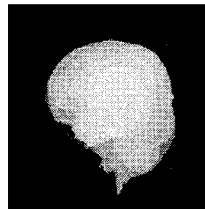
2.2 RBF를 이용한 데이터 보간

2.1장에서 사용한 방법으로 MR 슬라이스 15장에 적용시켜 점들만 렌더링하게 되면 그림(5)가 나온다.

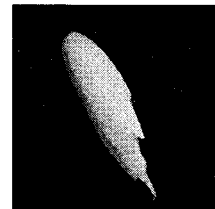


(그림5) MR 슬라이스 15장 바운더리 결과

그림(5)에서 보이는 점들로 뇌의 형태를 만들어 보면 그림(6), (7)과 같이 나온다.



(그림6) 정면 렌더링



(그림7) 측면 렌더링

본 논문에서는 15장의 MR 슬라이스를 사용하였다. 15장의 슬라이스로 뇌의 형태를 표현하기에는 데이터가 부족하여 뇌 오브젝트의 폭이 좁아서 뇌의 형태를 잘 표현할 수가 없었다. 그래서 본 논문에서는 그림(5)에서 뽑아낸 점들을 RBF(Radial Basis Function)을 이용하여 슬라이스와 슬라이스 사이를 보간시키는 방법에 대해서 연구해 보았다.

RBF의 함수 형태는 다음과 같이 정의된다.

$$s(x) = p(x) + \sum_{i=1}^N \lambda_i \phi(|x - x_i|) \quad (1)$$

p(x)는 저차원의 다항식, λ_i 는 가중치, $|\cdot|$ 는 유클리디안 거리, x에서 x_i 까지의 거리이고 ϕ 는 basic function이다.

basic function $\phi(r)$ 은 r의 함수로 유클리디안 거리를 뜻한다. $\phi(r)$ 의 종류로는 다음과 같다.

<i>thin - plate spline</i>	$\phi(r) = \gamma^2 \log(r)$, 2차원
	$\phi(r) = \gamma^3$, 3차원
<i>Gaussian</i>	$\phi(r) = e^{-\alpha^2 r^2}$
<i>Multiquadric</i>	$\phi(r) = \sqrt{r^2 + c^2}$

2차원 RBF보간법에서는 일반적으로 thin-plate spline RBF를 사용하고 논문에서 사용할 3차원 보간법의 basic function은 $\phi(r)=r^3$ 이다. RBF보간 $s(x)$ 는 다항식의 계수 p 와 가중치 λ_i 에 의해서 결정이 난다. λ_i 는 $f_i=s(x_i)$ 라는 보간 조건을 만족해야만 한다. (1)로부터

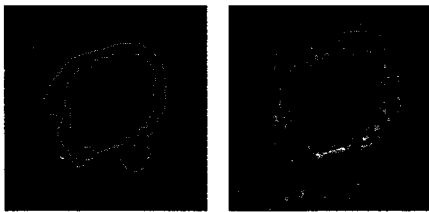
$$f_j = p(x_j) + \sum_{i=1}^N \lambda_i \phi(|x_j - x_i|) \quad (2)$$

(2)를 얻을 수 있다.

위 식은 linear system이기 때문에 $Ax=b$ 의 형태로 바꿀 수 있다. 여기서 $x_j=(x_j, y_j, z_j)$, $\phi_{ij}=\phi(|x_j - x_i|)$ 로 둔다. 이러한 linear system은 아래와 같다.

$$\begin{pmatrix} \phi_{11} & \dots & \phi_{1N} & 1 & x_1 & y_1 & z_1 \\ \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \phi_{N1} & \dots & \phi_{NN} & 1 & x_N & y_N & z_N \\ 1 & \dots & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ x_1 & \dots & x_N & 0 & 0 & 0 & 0 \\ y_1 & \dots & y_N & 0 & 0 & 0 & 0 \\ z_1 & \dots & z_N & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \lambda_1 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_1 \\ \vdots \\ f_N \\ a \\ b \\ c \\ d \end{pmatrix} \quad (3)$$

(3)식을 이용하여 가중치 λ 와 다항식의 계수 p 를 구할 수 있고, 따라서 $s(x)$ 를 구할 수 있다.



(그림 8)

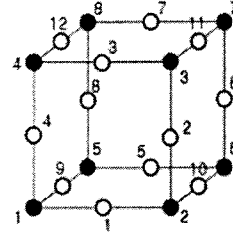
(그림 9)

(그림8)은 15장의 슬라이스중 1, 2번 슬라이스의 바운더리 점들을 나타낸 그림이고, (그림9)는 1, 2번 슬라이스를 RBF를 이용하여 보간된 점들을 나타낸 그림이다.

2.3 Marching Cube를 이용한 렌더링

표면 렌더링의 대표적인 방법인 마칭큐브(Marching cube) 알고리즘을 사용하여 (3)에서 구한 값들의 폴리곤을 생성하였다. Marching Cube 알고리즘은 1987년 W. Lorensen과 H. Cline에 의해 발표된 알고리즘으로 3차원 입체적인 데이터 셋으로부터 등가면(isosurface)을 추출하기 위해 접근하는 표준화된 방법으로 픽셀값을 이용하여 큐브를 형성하고 각각의 픽셀 명암값을 이용하여 등가면을 추출하여 오브젝트를 생성하는 실용적인 알고리즘이다. 동등한 2차원

의 메소드는 마칭스퀘어(Marching squares) 알고리즘이라 불린다.

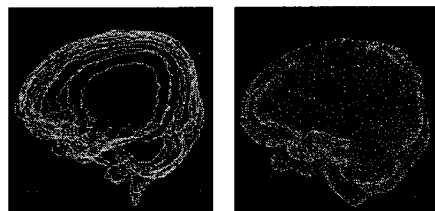


(그림 10) 마칭큐브

(그림10)의 마칭큐브(Marching cube)는 검은 점으로 표현한 8개의 점과 흰 점으로 표현한 12개의 선으로 이루어져 있다. 격자점에 해당하는 8개의 점으로부터 스칼라 값을 취해서 임의의 값을 기준으로 크거나 작음으로 분류하여, 두 개로 나누는 면을 삼각형으로 생성하는 알고리즘이다. 격자점은 총 8개이므로 경우의 수는 모두 $2^8=256$ 가지이다. 예를 들어, 3번 점을 뺀 모든 점이 임의의 값보다 크고, 3번 점은 임의의 값보다 작다면, 3번 점과 이웃해 있는 2, 3, 11번 선을 잇는 것으로 삼각형을 생성할 수 있다. 이 경우들은 6면체의 대칭성 때문에 15가지로 줄어든다.

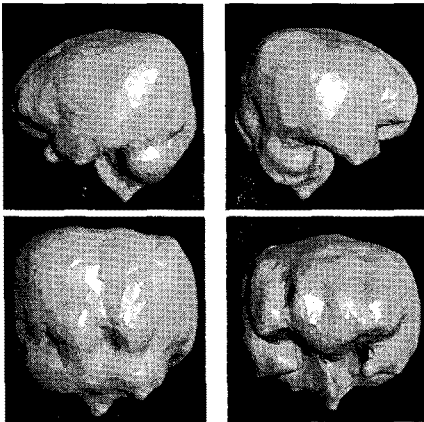
III. 결론

본 논문에서는 적은 수의 MR 슬라이스로부터 뇌 부분만 surface로 재구성하였을때 어떻게 하면 높은 퀄리티를 얻을 수 있을가에 대해서 연구해 보았다. 먼저 머리 이미지의 요소 중 뇌 영역 경계선 추출을 하였다. 한 점과 그 주변 각각의 8픽셀의 R, G, B값의 차의 합이 threshold값보다 작으면 그 픽셀의 좌표를 저장하고, threshold값보다 크면 그 픽셀은 바운더리라고 체크하여 이것들을 반복 수행하여 뽑아낸 점들을 Radial Basis Function을 이용하여 뇌 영역 경계점들을 보간한 뒤 그 점들을 Marching Cube 알고리즘을 이용하여 렌더링하였다.



(그림11)뇌 영역 추출

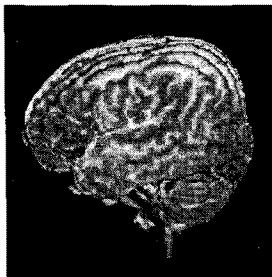
(그림12)RBF로 보간



(그림 13) 렌더링(좌, 우, 앞, 뒤)

15장의 슬라이스로 만든 (그림6), (그림7)과 비교하였을때 Radial Basis Function을 이용하여 보간한 뒤 렌더링한 (그림13)이 높은 퀄리티를 보임을 알 수 있다.

향후 연구로는 스네이크 알고리즘을 이용하여 좀더 정확한 뇌 경계선을 추출할 계획이고, (그림14)는 (그림11)의 경계선 추출한 부분 내부에 MR 슬라이스의 픽셀값을 보여주는 그림인데 논문에서는 경계선만 추출하여 RBF 보간을 이용하였는데 향후 연구로 내부값들도 보간을 해볼 계획을 하고 있다.



(그림14)

참고문헌

- [1] William E. Lorensen, Harvey E. Cline, "Marching cubes: A high resolution 3D surface construction algorithm", 1987
- [2] Huong Quynh Dinh, Greg Turk, Greg Slabaugh, "Reconstructing Surfaces by Volumetric Regularization Using Radial Basis Functions," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, Vol. 24, No. 10, October 2002, pp. 1358-1371
- [3] Greg Turk, James F. O'Brien, "Modelling with Implicit Surfaces that Interpolate," ACM Transactions on Graphics, Vol. 21, No. 4, October 2002, pp. 855-873.