

의료 영상의 3차원 Visualization을 위한 표면 모델링 기법의 연구 동향

최 영 규

(LG산전연구소 지능화연구실 선임연구원)

1. 머릿말

3차원 영상 기술은 최근 각광받고 있는 컴퓨터 그래픽스나 가상 환경 등의 분야에서뿐만 아니라 병원에서 환자를 진단하고 치료하는데 있어서도 매우 중요하고 가치 있는 기술로 인식되어지고 있다. 종양을 발견해내고 위치, 모양, 크기 등을 파악함으로써 치료에 도움을 줄 수 있으며, 정형외과 등의 수술에 있어서 실제 수술 전에 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 모의수술을 함으로써, 수술시 발생할 수 있는 상황들을 미리 예측할 수도 있고, 수술부의 정확한 부피를 계산할 수도 있으며, 수술부의 형태도 미리 예측할 수 있다. 또한 흉부외과 영역에서도 복잡한 심혈관 기형(complex cardiovascular anomaly)이나 기관 및 기관지의 종괴나 협착 병변의 정도와 범위를 수술 전에 쉽게 파악하도록 돕는 등, 의료분야에서 3차원 영상기술의 응용분야는 매우 다양하다.

이러한 의료영상은 일반적으로 CT나 MRI와 장비로부터 단층영상의 형태로 얻어지게 되는데, 이들 영상으로부터 원하는 부위나 기관에 대한 모델을 구하는 과정은 매우 중요한 과정이다.

본고에서는 의료영상의 3차원 visualization을 위한 표면 모델링 방법에 대하여 살펴보기로 한다. 먼저 다음 장에서는 visualization방법들을 여러 가지 관점에서 간단히 분류하고, 3장과 4장에서는 표면 재구성법과 체적 재구성법에 대해 다룬다.

2. 방법의 분류

의료영상의 3차원 visualization을 위한 방법들은 여러 가지 관점으로 분류해 볼 수 있는데, 수행하는 방법에 따라 하드웨어적인 수행과 소프트웨어적인 수행으로 나누어 볼 수 있으며, 영상을 렌더링 하는 방법의 관점에서 표면 렌더링(surface rendering) 방법과 체적 렌더링(volume rendering) 방법으로 나뉘어 진다.

3차원 영상화를 위해 알고리즘을 하드웨어화 하여 이용하는 방법은 성능은 향상되지만 알고리즘의 변화에 융통성 있게 대처하지 못하며, 알고리즘의 수정과 성능 향상을 위하여 많은 투자가 요구된다. 이에 비하여 소프트웨어만으로 3차원 영상화를 수행하는 경우 알고리즘의 수정이나 개선 등이 훨씬 용이하며 목적에 따라서 보다 정확하고 깨끗한 영상을 얻을 수 있다. 현재 이용되고 있는 많은 3차원 의료 영상 시스템들은 소프트웨어에 주로 의존하고 있다. 또 하드웨어에 의한 방법에 비하여 속도가 느리지만 급속한 컴퓨터 성능의 향상에 따라서 이들간의 격차가 계속 줄어들고 있다. 또 Gouraud 명암법과 같이 자주 사용되는 컴퓨터 그래픽스 알고리즘들을 하드웨어 모듈화 해놓은 워크스테이션들이 시판됨으로써 3차원 영상화의 기술이 더욱 발전하고 있다.

3차원 영상을 만드는 렌더링의 관점에서 보면 이들은 표면 렌더링 방법과 체적 렌더링 방법으로 크게 분류할 수 있다. 표면 렌더링(surface rendering)방법은 주어진 입력 영상으로부터 원하는 물체의 표면을 점(point)이나 선분, 다각형, 표면 조각(patch), 및 큐브(cube)와 같은 기본 구성요소로 먼저 표현하고, 일반적인 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용해 렌더링 하여 화면에 도시하는 방법이다. 3, 4장에서 이 방법들에 대하여 구체적으로 다룬다. 단층 영상을 원하는 물체부와 배경부로 분리하게 되므로 선명한 표면 영상을 얻을 수 있고 체적이나 표면적 등의 대상체의 기하학적인 정보를 얻을 수 있는 장점이 있다. 그러나 잡음의 영향에 의하여 물체와 배경과의 분리가 정확하게 되지 않는 경우가 발생할 수 있는데, 연조직을 정상적인 뼈로 간주하는 등과 같은 오분류가 나타날 수 있다. 그러나 시간과 필요한 메모리 측면에서 체적 렌더링에 비해 우월하므로 현재 많은 시스템에서 채택되고 있는 방법이다.

한편 체적 렌더링(volume rendering)기법은 영상을 물체와 배경으로 분리하지 않고, 복셀에서 직접 계산한 표면 법선 벡터(surface normal)을 이용하여 직접 화면에 렌더링 하는 방법이다. 따라서 오분류와 같은 문제가 발생하지 않으며, 보다 생동감 있고 세밀한 영상을 만들 수 있다는 장점이 있다. 그러나 일반적으로 계산량이 매우 많고 모든 층

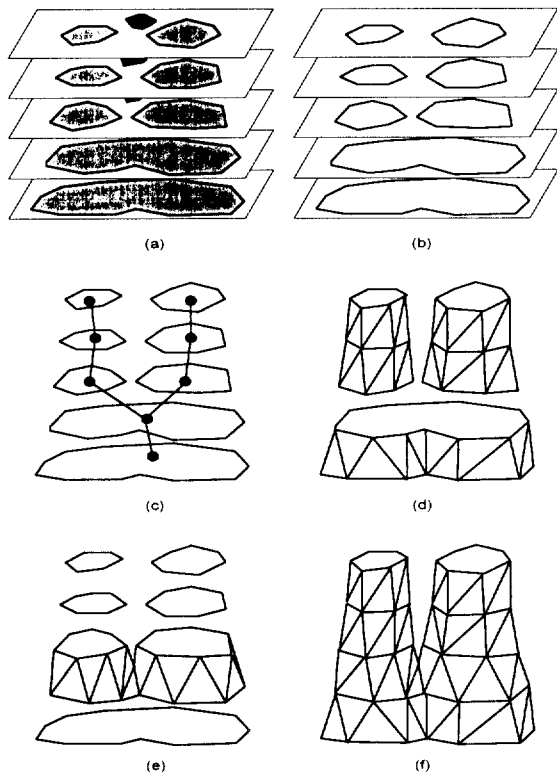
의 영상을 동시에 메모리에 올려놓고 처리해야 하므로 고성능의 컴퓨터가 필요하고, 화면 도시까지의 시간이 매우 길다는 단점이 있다. 또한 선명한 표면을 보기가 어렵고 대상 물체의 체적과 같은 정보를 전혀 구할 수 없으므로 단지 화면도시의 목적으로만 사용하게 된다. 컴퓨터의 급속한 성능 향상에 따라 앞으로 10년내에는 의료영상의 3차원 화면도시에서는 섬세한 영상을 만들어 주는 체적 렌더링기법만이 사용될 것이라는 예측이 있지만 표면 렌더링 방법 특유의 많은 장점이 있으므로 계속 연구되어지고 있다.

본고에서는 표면기반 렌더링 방법에 초점을 맞추어 설명한다. 이들은 입력 데이터의 종류에 따라 표면 재구성법(Surface Reconstruction)과 체적 재구성법(Volume Reconstruction)으로 다시 분류할 수 있다. 3장과 4장에서 표면 재구성법과 체적 재구성법에 대해 구체적으로 다룬다.

3. 표면 재구성법

3차원 영상을 얻기 위해 물체를 모델링 하는 방법으로는, 역사적으로 볼 때 표면 재구성법(surface reconstruction)이 먼저 시도되어졌다. 이것은 물체를 임의의 높이의 평면으로 절단하였을 때 절단면과 물체 표면이 만나는 선, 즉 등치선(contour 혹은 등고선)을 먼저 구하고, 인접한 층(cross-section)에 위치하는 등치선들 사이를 3차원 표면 조각들로 채움으로써 물체를 재구성하는 방법이다.

다음 그림은 단층 영상으로부터 표면 재구성법에 의해



물체의 3차원 모델을 재구성하는 전체과정을 나타내고 있는데 이들은 등치선 추출부, 등치선간의 연결성 결정부, 두 등치선간의 표면조각 생성부, 표면 분기 및 홀(hole)처리부 및 후처리부 등으로 나눌 수 있다.

등치선 추출부: (a)→(b)

먼저 (a)와 같이 CT나 MRI 등의 의료장비를 이용하여 구한 2차원 영상이 주어지면 이 영상들에서 모델링하기를 원하는 부분을 (b)와 같이 추출하여 경계선 (boundary 또는 contour)을 추출한다. 원하는 부분을 추출하는 방법은 여러 가지가 있으나 일반적으로 적당한 문턱치를 설정하여 영상을 이진화하여 원하는 물체를 배경에서 분리하거나, 영역합병 등의 일반적인 영상의 영역화법(segmentation)을 사용할 수 있다. 모델링 하고자 하는 부분이 배경에서 분리되면 경계선 추적법 (boundary following) 등을 이용하여 (b)와 같이 등치선을 구해낸다.

등치선의 연결성 결정부: (b)→(c)

각 단층에서 등치선들이 구해지게 되면 이들 사이를 표면조각들로 채우기 전에 먼저 어느 등치선이 인접한 층에 있는 어느 등치선과 표면으로 연결되어야 하는가를 결정해야 하는데, 이것을 Correspondence Problem이라고 한다.

NMR 등에 의해 얻어지는 영상들은 일반적으로 단층촬영의 층과 층 사이가 좁은데 이러한 경우에는 보통 등고선의 중첩성을 이용하여 인접한 층에 있는 두 등치선들이 서로 연결되어야 하는지 아닌지를 결정하게 된다. 즉, 두 등치선을 단층면과 수직방향으로 projection하였을 때, 두 등치선의 내부 영역들이 중첩되는 정도가 전체 면적에 대하여 임계치 이상으로 큰 경우, 이들은 연결되어야 한다고 판단하게 된다.

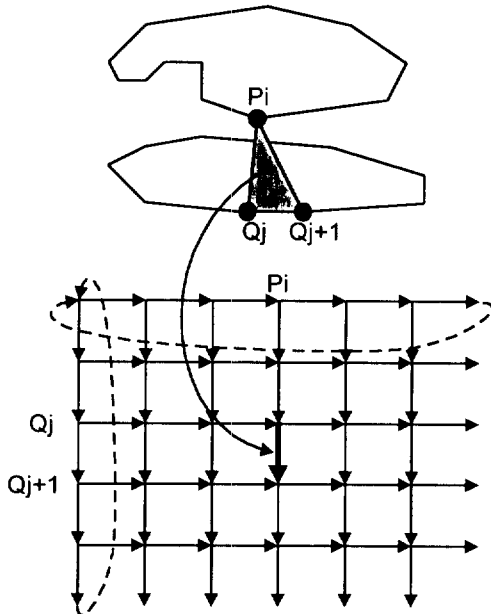
응용분야에 따라서는 이러한 중첩성만으로는 등치선간의 연결성 문제가 해결되지 않는 경우가 발생한다. 이것은 인체 내의 동맥이나 정맥 등과 같은 혈관을 모델링 할 때와 같이, 단층사이의 거리가 비교적 멀고 모델링 하고자 하는 대상체의 크기가 비교적 작은 경우에 흔히 발생하게 된다. 이러한 경우에는, 연결이 먼저 결정된 등치선들을 실린더로 모델링하고 이들을 성장시키는 방법(Cylinder Growing)을 사용하는 등의 여러가지 휴리스틱을 적용하여야 하는 경우도 있다.

다음 장에서 설명하게 될 체적 재구성법에서는 근본적으로 등치선의 중첩성만을 이용하게 되므로 단층간의 거리가 먼 의료영상의 경우 실제로는 연결되어 있는 기관이지만 모델링 결과로는 이들이 떨어져 있는 다블 물체인 것처럼 나타날 수도 있다. 따라서 단층사이의 거리가 비교적 멀고 모델링 하고자 하는 대상체의 크기가 비교적 작은 경우에는 표면 재구성법에 의해 표면 모델을 얻어야 자연스러운 표면이 구해지게 된다.

등치선 간의 표면 생성: (c)→(d)

등치선 사이의 연결성이 결정되면 인접한 층에 있는 두 등치선 사이의 공간을 삼각형으로 모델링하는 과정이 이어지는데 이것을 표면조각 생성 문제(tiling problem)이라 한다. 이러한

등치선사이의 표면조각 생성문제는 Toroidal Graph에 의해 잘 표현되어 있는데 아래 그림은 두 인접한 단층 사이의 한 쌍의 등치선과 이들의 가능한 연결을 나타내는 Troidal Graph를 보여주고 있다. 인접한 등치선 사이의 하나의 표면조각은 Toroidal Graph의 하나의 에지(edge)로 대칭되며 결과적으로 이 그래프의 하나의 경로는 두 등치선 사이의 하나의 가능한 표면 구성에 해당하게 된다.



이러한 표면 생성문제를 해결하기 위한 방법들은 크게 최적해 방법(optimal method)와 경험적 방법(heuristic method)으로 크게 나눌 수 있다. 최적해 방법은 주어진 문제를 Troidal Graph의 탐색 문제로 변환하고 주어진 비용함수에 대해 최적의 경로를 찾아내는 방법이다. 이에 비하여 경험적 방법은 등치선의 국부적인 탐색으로 삼각형 조각을 생성한다. 최적해 방법이 그래프의 전역 탐색에 의해 이루어지므로 계산량이 많아지는데 비하여 이 방법은 국부적인 정보만을 이용하여 삼각형 조각을 생성해 내므로 계산량이 훨씬 적다. 또 결과적으로 얻어지는 삼각형 조각들이 "최적"의 의미는 없지만 시각적으로는 타당하게 보이는 경우가 많으므로 많은 사람들에 의해 연구되어 왔다. 예를 들어 Christiansen과 Sederburg는 두 개의 가능한 삼각형 조각 중 변의 길이가 작은 것을 연속적으로 선택하는 방법을 제안하였고 Cook과 Batinisky는 두 등고선의 무게중심을 연결하는 선분의 방향을 이용하는 방법을 제시하였다. 또 Gapanathy와 Dennehy는 두 등고선의 길이를 먼저 정규화시키고 시작점에서부터의 거리가 가능한한 비슷하게 유지하면서 표면을 얻는 방법을 제시하였다. Ekoule은 등고선을 불록다각형으로 계속 분할하는 방법으로 표면조각들을 구하였으며, 등치선 사이의 표면 생성문제를 두 등고선 사이의 체인(Chain)사이의 표면 생성 문제로 연속적으로 단순화시킴으로써 해결하고자 한 시도도 있었다.

표면 분기 및 홀 처리부: (d)→(e)

그림의 (c)의 둘째 층과 셋째 층 사이와 같이 아래 층에 있는 하나의 등치선이 윗 층의 두 개 이상의 등치선으로 분기되는 경우 표면을 생성하는데 모호성이 발생하게 된다. 이 문제는 어떤 방법으로도 "완전히" 해결될 수는 없으며 적용 분야에 따라 경험적인 방법을 사용하여 해결하여야 한다. 일반적인 접근방식은 분기가 발생하는 가지 등고선(Branch Contour)들의 정보를 이용하여 가상의 등고선을 뿌리 등고선(Root Contour)과 가지 등고선들 사이의 가상의 층에 만들고 이를 이용하여 아래층과 윗층의 등고선을 연결하는 것이다. 이 가상의 등고선으로는 가지 등고선의 무게중심들의 불록겅질(Convex Hull)이 많이 사용된다. 또 Meyers는 가지 등고선 사이를 계곡(Canyon)이라 정의하고 그 계곡의 바닥을 삼각형 표면으로 채워서 먼저 표면 모델을 얻고 후처리(Post-processing)과정에서 계곡의 골을 만드는 방법을 취하였다. 또 Boissonnat은 Voronoi Diagram을 이용하여 이 문제를 해결하고자 하였고, 저자는 이 문제를 2분기 문제(Double Branching)와 다분기 문제로 세분화하고 다분기 문제를 연속적인 2분기 문제로 단순화하여 해결하고자 하였다.

후처리부

주어진 입력 의료 영상에 대해 이와 같은 모든 처리가 끝나면 (f)와 같이 원하는 부분에 대한 3차원 표면 모델이 구해지게 된다. 구해진 표면 모델은 다양한 표면 및 조명조건을 가정한 가상의 환경에서 다양한 각도로 회전하여 화면에 도시할 수 있으며, Phong Shading이나 Gouraud Shading과 같은 일반적인 컴퓨터 그래픽스 기술을 이용하여 명암효과를 주거나 필요하면 표면에 텍스처(texture)를 입혀 실감나는 3차원 영상으로 화면도시 할 수 있다.

이와 같은 표면에 근거한 물체의 재구성법은 다음과 같은 장점이 있다.

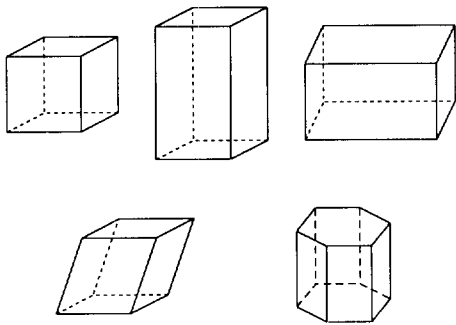
- 등치선이 선형으로 interpolation되어 있으므로 anti-aliasing 과정이 필요 없다.
- 각 단층에 대한 영상을 저장할 필요가 없이 추출된 경계선만을 이용하여 모델링 할 수 있으므로 데이터 양이 적다.
- 등치선에 직선근사화법(polygonal approximation) 등을 적용하여 근사화 할 수 있어 체적에 근거한 방법에 비하여 표면조각의 수가 훨씬 적다.
- Gouraud shading이나 Phong shading 등을 적용하거나 Ray-casting법 등 고화질의 영상을 만들 수 있는 렌더링 기법을 적용할 수 있다.

이와 같은 장점에도 불구하고 이 방법은 입력 등고선의 형태에 따라 경우에 따라서는 매우 부자연스러운 표면을 만들 수 있다는 단점이 있다. 이것은 특히 표면 표면이 여러 가닥으로 복잡하게 분기되는 경우나, 물체 표면에 홀(hole)들이 존재하는 경우, 혹은 매우 형태의 차이가 많이

나는 두 인접한 등고선 사이를 모델링 하는 경우에 매우 심각하게 발생하게 된다. 따라서 이 방식의 여러 가지 좋은 특징에도 불구하고 일반적으로 의료영상 시스템에 광범위하게 사용되고 있지 못하고 있는 것이 실정이다.

4. 체적 재구성법

이 방법은 물체에 대한 정보가 복셀(voxel)이라고 하는 3차원 격자로 된 공간에서 주어진다 가정으로부터 시작된다. 2차원 영상에서의 정규적인 격자인 화소(pixel)와 같이 공간이 정규적인 체적소 (voxel)의 집합으로 구성되어 있다는 것이다. 이것은 각 층의 영상들이 일정한 두께를 가지고 있고, 모든 단층영상이 높이에 따라 낮은 층에서부터 높은 층으로 연속적으로 쌓여 있다고 생각함으로써 쉽게 상상해 볼 수 있다. 이때 체적소는 반드시 정육면체나 직육면체일 필요는 없으며, 아래의 그림과 같이 평면을 균등분할 할 수 있는 삼각형이나 육각형의 기둥들도 될 수 있다. 그러나 일반적인 단층 영상들이 사각형 격자구조로 되어 있으므로 본고에서는 체적소가 정육면체의 구조로 되어 있다고 가정한다.

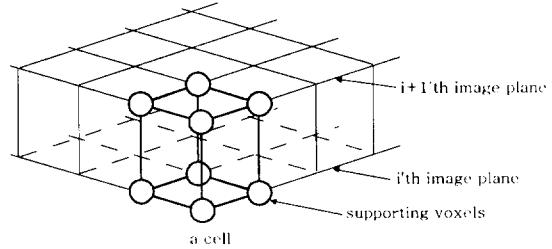


Voxel-Technique라고도 하는 이 방법은 3차원 영상을 얻기 위해 렌더링 하는 방법에 따라 앞에서 설명한 체적 렌더링(Volume Rendering)방법과 표면기반 렌더링 방법으로 크게 나눌 수 있는데, 본고에서는 다루는 초점이 표면 모델링 방법에 맞추어져 있으므로 이 장에서는 표면기반 렌더링 방법에 대해서만 살펴보기로 한다.

표면기반 렌더링 방법은 일반적인 표면 재구성법과 같이 단층 영상들로부터 원하는 부분에 대한 물체 표면 모델을 먼저 구하게 된다. 즉 단층 영상들로부터 먼저 isosurface라고 불리는 같은 밀도의 표면을 여러 가지 방법으로 모델링하고 이들을 Gouraud Shading이나 Phong Shading등과 같은 렌더링 기법을 이용하여 3차원 영상을 구하게 된다.

이 방법은 표면을 재구성하기 위한 공간의 구조를 관점으로 하여 큐베릴(cuberille) 공간에서 직접 모델링하는 방법과 이에 대응하는 가상의 공간인 셀(cell) 공간에서 모델링 하는 방법으로 나누어 볼 수 있다. 다음 그림은 셀(cell) 공간을 나타내고 있는데, 그림에서 원들은 복셀들을 의미하

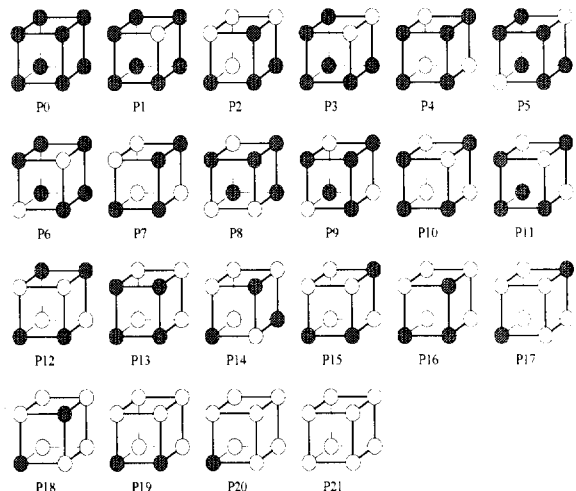
고 여덟 개의 복셀을 꼭지점으로 하는 가상의 큐브를 하나의 셀이라 한다(많은 문헌들에서는 이와 유사한 개념의 공간을 사용하면서도 셀공간이라는 용어를 사용하지 않았으나 본고에서는 셀공간이라는 용어로 큐베릴 공간의 대응공간을 총칭하기로 함).



Herman과 Liu 등이 초기에 이 방법에 관한 논문들을 발표하였는데, 이들은 큐베릴 공간이라는 용어를 처음 만들고 이 공간상에서 경계 복셀들을 이용하여 표면을 모델링 하였다. 가능한 표면 조각의 방향이 복셀의 표면 방향(즉 6방향)밖에 되지 않으므로 정확한 표면 모델을 만들지는 못하지만 렌더링시에 밀도 법선벡터 (density normal)을 이용하고, 결과 영상을 저주파 필터링함으로써 어느 정도 완만하고 자연스러운 3차원 영상을 얻을 수 있었다.

그러나 체적 재구성법의 가장 대표적이고 유명한 방법은 Lorensen과 Cline이 제안한 Marching Cube 알고리즘이다. 위의 그림에서와 같이 셀 공간상에서 물체의 표면을 정확히 모델링 하는 방법인데, 먼저 각 셀은 8개의 지지복셀의 종류에 따라 다음 그림과 같이 임의의 방향으로의 회전에 무관한 22가지의 토폴로지(topology)중 하나로 정의되며, 표면이 만들어지는 topology에 해당하는 셀들에 대해서는 인접한 복셀의 밀도차에 따라 subvoxel 연산을 하여 복셀과 복셀 사이에서 매우 정밀한 표면(isosurface)을 만들 수 있게 된다.

그러나 결과적으로 생성되는 삼각형 표면 조각의 수가



너무 많다는 단점을 가진다. 표면 모델의 표면 조각의 수가 너무 많으면 이들을 저장하기 위해 많은 기억장치가 필요하고, 또 렌더링에 걸리는 시간도 그만큼 증가하게 된다. 또한 표면 생성시에 모호성이 생기는 경우도 발생하게 된다. 이 논문이 발표되고 난 이후의 논문들은 Marching Cube방식의 장점들을 살리면서, 보다 적은 수의 표면조각을 생성하고 보다 빨리 모델링 하며 표면 생성시의 모호성을 해결하고자 하는데 초점이 맞추어 졌다.

Kelvin과 Wallin 등은 subvoxel처리를 하지 않는 표면 근사화 알고리즘을 제안하였다. 또한 Yun과 Park은 체적소를 몇 가지 종류로 분류하고 이들을 이용하여 표면을 모델링 하는 PVP 알고리즘을 제안하였고 Lee등은 이 PVP 방법을 일반화시킨 셀 경계 표현법(cell-boundary representation)을 제안하였다.

이와는 조금 다른 접근 방법으로 Udopa는 반경계 표현법(semi-boundary representation)을 제안하고 큐브의 각면을 렌더링 하지 않고 이를 view point방향으로 projection하였을 때의 6각형을 렌더링 하는 방법을 제안하였다.

이러한 방법의 가장 큰 단점은 표면조각의 크기가 셀의 크기를 넘을 수 없으므로 평평하고 넓은 표면을 모델링 하더라도 매우 많은 수의 표면조각이 발생하는 것인데, 이러한 표면조각의 수를 줄이기 위하여 최근에는 전체 영상을 동시에 메모리에 올려놓고 이를 점진적으로 분할하여 굴곡이 심한 부분들만 자세히 분할하는 방법들이 많이 제안되고 있는데, Octree를 이용한 Bloomenthal의 방법이나, Allgower 등의 simplicial pivoting알고리즘, Schmidt의 cutting cube 알고리즘, Oh와 Park의 type merging알고리즘 등이 그것이다.

이러한 체적 재구성법은 표면 재구성법에 비하여 다음과 같은 장점을 지닌다.

- 대부분의 알고리즘이 복셀들의 기하학적인 근접성을 기반으로 하므로 일반적으로 매우 단순하고 강건하다. 즉 표면 재구성법의 알고리즘들이 손으로 만든 반대에(Counter-Example)에 대하여 표면구성을 실패하거나 매우 부자연 표면을 만들어 내는데 비하여 체적 재구성법은 항상 어느 정도 자연스러운 표면을 얻어낸다.
- 등치선 추출(contour extraction)이나 경계선 추적(boundary following)등과 같은 전처리 과정이 필요 없다.

이에 비하여 다음과 같은 단점도 가지고 있다.

- 동시에 처리해야 할 데이터량이 매우 많다. 즉 표면 재구성법이 등고선(contour)과 같이 매우 효율적인 데이터 구조를 이용하는데 비하여 이 방법은 연속적인 단층 영상을 직접 다루어야 하므로 보다 많은 컴퓨터의 주메모리를 필요로 하게 된다.
- 인접한 단층 영상 간의 실제 거리가 먼 경우, 깔죽깔죽(jagged)한 거친 표면이 만들어지게 되며 이를 보상하기 위한 표면 보상(surface interpolation) 알고리즘이 필요할 수 있다. 일반적으로 이러한 거친 표면이 생기는 것을 완화시키기 위하여 렌더링시에 표면 모델에서

바로 구할 수 있는 법선, 즉 polygon normal을 사용하지 않고 입력 단층영상에서 직접 구한 밀도 법선(density normal)을 이용하는 경우가 많다. 이 방법은 표면을 보다 평탄하게 보여주시는 하지만 모델링시에 이 법선 성분들을 추가로 계산하여야 하며 결과적으로 이들을 저장하기 위한 공간, 즉 표면 모델을 저장하기 위한 기억공간이 많이(거의 2배 이상) 필요하다는 단점이 있다.

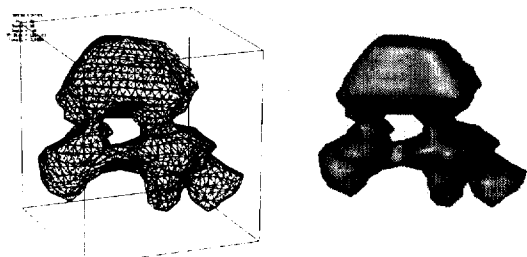
5. 표면/체적 재구성법의 비교

다음 그림 표면 재구성법과 체적 재구성법을 이용하여 인간의 척추뼈를 모델링한 결과와 이들 표면 모델을 Phong명암법을 이용하여 렌더링한 결과를 각각 보여주고 있다. 이 예제에서는 등치선의 형태가 그리 복잡하지 않기 때문에 표면 재구성법을 이용하여 자동으로 표면 모델을 구할 수 있었다.

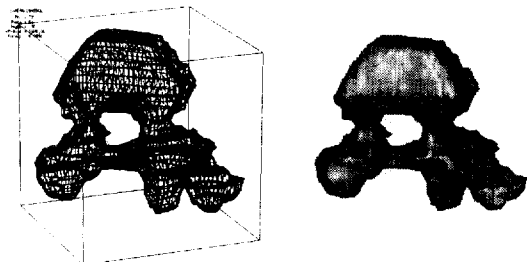
그러나 등치선의 형태가 복잡하고 다양하게 분기되는 경우에는 사용자의 간섭이 필요한 경우가 실제로 흔히 발생한다.

체적 재구성법의 경우 polygon normal을 사용해 렌더링한 결과인데 평탄한 부분에서 울퉁불퉁한 표면(jagged surface)이 발생하는 것을 알 수 있다. Marching Cube알고리즘을 사용하거나, 렌더링시 복셀의 density normal을 이용하면 보다 매끄러운 영상을 얻을 수 있으나 이것은 체적 재구성법의 근본적인 문제점이다.

두 모델의 표면 조각의 수를 비교해 보면 체적 재구성법의 경우가 훨씬 많게 나타난다. 따라서 복잡하지 않은 형태를 모델링하는데는 표면 재구성법이 보다 효율적이고 자연스러운 표면을 만들어 내며, 물체의 형태가 복잡해질수록 체적 재구성법이 성능을 발휘한다. 실제로 여러 의료장비로



표면 재구성법에 의한 모델링 결과



체적 재구성법에 의한 모델링 결과

부터 얻어지는 단층 영상들은 매우 복잡한 형태의 인간의 내장기관이나 많은 잡음성분 등을 포함하고 있으므로 표면 재구성법으로는 많은 전처리 과정이 없이는 좋은 영상을 자동으로 얻지 못하는 경우가 대부분이다.

6. 결 론

본 고에서는 의료영상의 3차원 visualization을 위한 표면 모델링 기법에 대해 기술하였다. 각각의 방법들이 장단점들을 가지고 있으며, 계속적으로 연구가 활발히 진행되고 있다.

표면 재구성법에서는 분기나 홀이 있을 경우나 등치선의 형태가 매우 복잡한 경우에도 자연스러운 표면조각을 생성하기 위한 방법들이 많이 연구되어 지고 있으며, 체적 재구성법에서는 표면조각의 수를 가능한 한 줄이기 위하여 적응성(adaptive) 알고리즘들이 최근 문헌에 활발히 발표되어 지고 있다. 또한 후처리 과정으로 표면모델에서 작은 표면 조각들을 보다 큰 표면조각들로 근사하여 표면조각의 수를 크게 줄이는 알고리즘도 발표되고 있으며, 체적 렌더링분야에서는 영상을 주파수 도메인으로 변환하여 렌더링 하고자 하는 시도와, 체적 렌더링 방법과 표면 렌더링 방법의 장점들을 모두 살리기 위한 hybrid approach도 시도되고 있다.

초고속 정보통신망과 함께 이러한 의료영상의 3차원 visualization기술의 중요성이 보다 강조되고 있으며 모의 수술이나 원격 진료등 응용분야도 광범위해 질 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] E. Keppel, "Approximating complex surfaces by triangulation of contour lines," IBM. J. Res. Develop., no. 19, pp. 2-11, Jan. 1975.
- [2] A. B. Ekoule, F. Peyrin, and C. L. Odet, "A triangulation algorithm from arbitrary shaped multiple planar contours," ACM Transactions of Graphics, vol. 10, no. 2, pp. 182-199, Apr. 1991.
- [3] H. Fuchs, Z. M. Kedem, and S. P. Uselton, "Optimal surface reconstruction for planar contours," Communication of the ACM, vol. 20, no. 10, pp. 693-702, Oct. 1977.
- [4] H. N. Christiansen and T. W. Sederberg, "Conversion of complex contour line definition into polygonal element mosaics," Comput. Graph., vol.20, pp. 693-702, 1978.
- [5] D. Meyers, S. Skinner, and K. Sloan, "Surfaces from contours," ACM Transactions of Graphics, vol. 11, no. 3, pp. 228-258, July 1992.
- [6] Y. K. Choi and K. H. Park, "A triangulation algorithm for multiple planar contours using extended double branching procedure," The Visual Computer, vol. 10, no. 7, pp. 372-387, 1994.
- [7] K. Hohne and R. Bernstein, "Shading 3d-images from ct using gray-level gradients," IEEE Trans. Medical Imaging, pp. 45-47, 1986.
- [8] M. Levoy, "Display of surfaces from volume data," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 8, no. 3, pp. 29-37, 1988.
- [9] G. Herman and H. Liu, "Three-dimensional display of human organs from computed tomograms," Computer Graphics and Image Processing, vol. 9, pp. 1-21, 1979.
- [10] W. E. Lorensen and H. E. Cline, "Marching cubes: a high resolution 3-d surface construction algorithm," Comput. Graph., vol. 21, no. 4, pp. 163-169, 1987.
- [11] A. Kalvin, C. Cutting, B. Haddad, and M. Noz, "Constructing topologically connected surfaces for the comprehensive analysis of 3d medical structures," SPIE Vol. 1445 Image Processing, pp. 247-258, 1991.
- [12] A. Wallin, "Constructing isosurfaces from CT data," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 24, pp. 28-33, 1991.
- [13] H. J. Yun and K. H. Park, "Surface modeling method by polygonal primitives visualizing three-dimensional volume data," The Visual Computer, vol. 8, pp. 246-259, 1992.
- [14] J. Udupa, S. Srihari, and G.T.Herman, "Boundary detection in multidimensions," IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 4, no. 1, pp. 41-50, 1982.
- [15] J. Udupa and D. Odhner, "Fast visualization, manipulation, and analysis of binary volumetric objects," IEEE Computer Graphics and Applications, vol. 4, no. 1, pp. 53-62, 1991.
- [16] Ee-Teak Lee, Young-Kyu Choi, Kyu Ho Park, "A Method of 3D Object Reconstruction from a Series of Cross-Sectional Images," IEICE Trans. Inf. & Syst., vol. E77-D, no. 9, pp. 996-1004, September 1994.

저 자 소 개



최영규(崔潑圭)

1967년 12월 12일생. 1989년 2월 경북대 공대 전자공학과 졸업. 1991년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(석사). 1995년 2월 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업(공학박). 1995년 3월~현재 LG 산전 연구소 지능화 연구실 선임연구원. 관심분야: Volume Visualization, 컴퓨터 그래픽스, 계산 기하학, 영상처리 및 화상 인식