

인체장기의 정밀한 NURBS 곡면 모델링 사례연구

김호찬*(안동대학교 기계공학부), 배용환(안동대학교 기계교육과), 서태원(안동대학교 기계공학부),
이석희(부산대학교 기계공학부)

A Case Study on Precise NURBS Modeling of Human Organs

H. C. Kim(School of Mecha. Eng., ANU), Y. H. Bae(Mecha. Edu. Dept., ANU), T. W. Soe(School of Mecha.
Eng., ANU), S. H. Lee(School of Mecha. Eng., PNU)

ABSTRACT

Advances in Information Technology and in Biomedicine have created new uses for CAD technology with many novel and important biomedical applications. Such applications can be found, for example, in the design and modeling of orthopedics, medical implants, and tissue modeling in which CAD can be used to describe the morphology, heterogeneity, and organizational structure of tissue and anatomy. CAD has also played an important role in computer-aided tissue engineering for biomimetic design, analysis, simulation and freeform fabrication of tissue scaffolds and substitutes. And all the applications require precision geometry of the organs or bones of each patient. But the geometry information currently used is polygon model with none solid geometry and is so rough that it cannot be utilized for accurate analysis, simulation and fabrication. Therefore a case study is performed to deduce a transformation method to build free form surface from a rough polygon data or medical images currently used in the application. This paper describes the transformation procedure in detail and the considerations for accurate organ modeling are discussed.

Key Words : Organ modeling(장기모델링), Bone modeling(뼈모델링), Biomedicine(생체임상의학), Biomimetics(생체모방기술), Polygon model(다각형모델), NURBS modeling(NURBS 모델링), Freeform surface(자유곡면), Reverse engineering(역공학)

1. 서론

정보공학과 생체임상의학 기술의 발전은 CAD 기술의 많은 새롭고 중요한 생체의학적 응용분야를 창출하였다. 정형외과적 모델링과 의학적 삽입물(implants) 및 조직의 모델링 등의 분야에서 CAD 기술은 조직이나 해부체의 형태나 성분 및 장기의 구조를 기술하는데 사용될 수 있다. 또한 CAD 기술은 생체의학적인 설계, 해석, 시뮬레이션 및 조직 뼈대와 대체물의 자유형상제조(freeform fabrication) 등을 위한 컴퓨터이용조직공학(computer aided tissue engineering)에서 매우 중요한 역할을 수행한다.¹⁾ 그리고 이상의 분야들은 모두 장기나 뼈대의 정밀한 형상정보를 필요로 한다. 그러나 현재 사용되고 있는 형상정보는 대부분의 경우에 매우 거친 다각형

겉질 데이터(polygon skin geometry)이며, 이것은 많은 경우에 설계나 해석, 시뮬레이션 및 제작에 이용되기 불충분하다. 따라서 기존의 다각형 겉질 정보를 자유곡면(freeform surface)을 가진 솔리드모델(solid model)로 변환하는 기술과 그 정밀도를 높이는 기술을 개발할 필요가 있다. 그런데, 기존에 활발히 연구가 진행되고 있는 뼈의 경우와는 달리 연한 조직인 장기는 의학적 영상이미지가 선명하지 않고 움직이고 있는 경우가 있어서 여러 가지의 어려움이 있을 것으로 예상된다. 따라서, 본 연구는 장기의 정밀한 형상모델링기술을 개발하기 위하여 연조직(soft tissue)의 의학적 이미지로부터 정밀한 자유곡면을 갖는 솔리드로 된 형상정보를 얻기 위해 필요한 기술 사항들을 구체적인 경우에 대한 사례연구를 통해 분석하여 정리하였다.

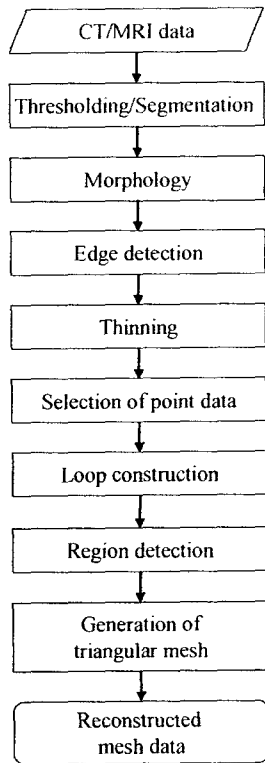


Fig. 1 Mesh data construction

2. 다각형 메쉬의 생성

장기나 뼈의 형상 모델을 생성하기 위하여 사용되는 기초 이미지는 Computed Tomography(CT)와 Magnetic Resonance Imaging(MRI) 장치로부터 얻어질 수 있다. CT는 어떤 축에 따라 가깝게 배열된 2차원의 픽셀(pixels)화된 단층사진을 제공해 줄 수 있다. 그러나 CT의 경우 방사선 흡수선량이 30~40mGy 나 되므로 이를 이용하여 살아있는 사람의 장기를 정밀하게 모델링 하기 위하여 많은 수량의 단층 이미지를 얻는 것은 유해하다. 반면에 MRI는 CT에서의 이온화한 방사선이 방출되지 않는다. 뼈와 같이 굳은 조직의 경우는 CT나 MRI 모두 충분히 경계선을 구별할 수 있는 단면 이미지 데이터를 제공할 수 있다. 그러나 연한 조직인 장기의 경우에는 MRI를 이용해 선명한 이미지를 얻는 좋다.

Fig. 1는 이상에서 설명한 CT나 MRI로부터 얻어진 단면 이미지를 이용하여 장기의 입체적 가치화나 해석, 시뮬레이션 및 의료용 임플란트(medical implant)의 제작에 사용되는 다각형 메쉬데이터를

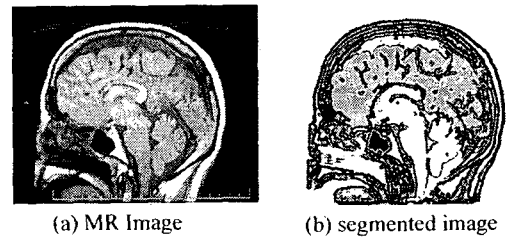


Fig. 2 Segmentation process of an MR Image

생성하는 절차를 보이고 있다. CT 이미지로부터 경질의 조직의 윤곽선을 추출하기 위해서는 모든 픽셀을 특정 임계 값이 이상과 이하로 나누는 thresholding 기법이 사용될 수 있다. 반면 연질의 조직의 윤곽선을 추출하기 위해서는 다소 복잡한 이미지의 처리가 필요하며, 이것은 Fig. 2(a)에 보인 바와 같이 장기의 경계선이 분명하지 않거나 혹은 특별한 처리를 하기 전에는 전혀 나타나지 않기 때문이다.²⁾ 픽셀화된 단면의 이미지 데이터는 몇 가지 화상처리 기술에 의해 2차원적 단면형상 정보로 바뀌게 되며 Fig. 2(b)는 이러한 기술을 이용하여 주어진 MRI 이미지를 분할(segmentation)한 결과를 보인다.

모폴로지(morphology)는 이미지상에 나타나는 물체의 형상 구분을 분명히 하기 위하여 사용되며, 물체의 외곽선을 간단하게 하고 닫혀지지 않은 영역을 닫아 주면서 잡음 부위를 제거하는 작업이다. 이 작업까지의 결과로 연조직과 경조직의 구분이 없어지게 되며 이후의 작업순서는 기존의 경조직 재구성 작업과 같다. 즉, 경계선추출(edge detection)은 이미지상의 원하는 특정 분할의 경계선을 픽셀 단위로 추출하는 것이다. 세선화(Thinning)는 추출된 경계선의 굵기를 1 픽셀로 줄이는 작업이다.³⁾ 세선화된 이미지로부터 단면의 윤곽선을 만들기 위한 점들이 추출되며 이 점들을 특정한 방향으로 연결하여 루프(loop)를 구성하게 되며, 이때 불필요한 점들은 제거된다. 얻어진 루프의 단면과 아래 단면을 삼각형 또는 사각형의 다각형으로 이어 주게 되면 다각형의 메쉬로 된 서피스모델(surface model)이 완성된다. 각 공정에 대한 좀 더 자세한 설명은 선행 연구를 참조하기 바란다.⁴⁾

이상과 같은 단계로 단면의 이미지정보를 재구성하여 3차원적인 형상정보가 재구성된다. 재구성된 형상정보는 대부분은 삼각형 또는 사각형 등의 다각형 메쉬이다. 일부 상용의 소프트웨어들은 이들 다각형을 블렌딩 처리하여 곡면처럼 부드럽게 보이도록 하나 이것은 실제적인 형상정보가 아니며 재구성된 형상정보의 활용성과 정확성을 높이기 위하여 단면 형상 전체를 NURBS 곡면 등으로 근사하는 기술이 필요하다.

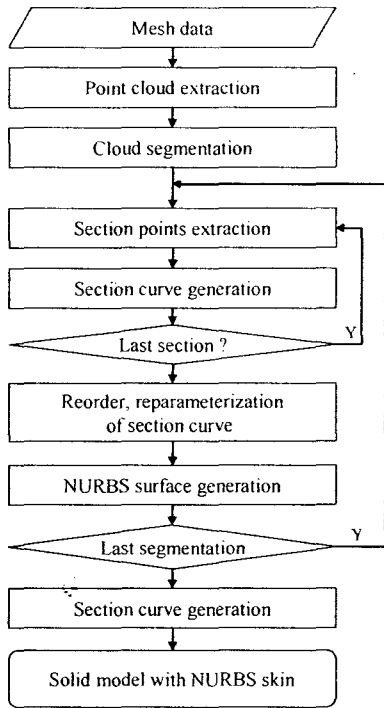


Fig. 3 NURBS surface reconstruction

3. NURBS 곡면의 재생성

본 논문에서는 전형적인 연조적인 인후부의 사례를 이용하여 메쉬데이터로부터 NURBS 곡면 또는 솔리드 모델을 생성하는 Fig. 3의 프로세스를 설명하겠다. 메쉬에 포함된 각 노드들의 공간좌표를 추출하여 점군(point cloud) 데이터를 생성할 수 있다. 본 연구에서는 Fig. 4(a)와 같은 사각형 메쉬를 Fig. 4(b)에 보인 삼각형 망을 이용해 형상을 나타내는 CAD 데이터 포맷인 STL 파일로 변환하는 변환기와 이 형상으로부터 점데이터를 추출하여 점군 정보를 출력하는 소프트웨어를 개발하여 이용하였다. Fig. 4(c)는 추출된 점군의 정보를 보이고 있다.

전체 점군을 하나의 곡면으로 만들게 되면 곡률이 높은 부분에서 매우 큰 오차가 유발된다. 따라서 균일한 등매개변수곡선(isoparameter curve)을 갖는 곡면들의 조합으로 형상을 나타내어야 하며 이를 위하여 Fig. 4(d)에 보인 바와 같이 점군들을 이후에 생성할 곡면 별로 분할 한다.⁵⁾ 분할은 주로 형상이 급격히 변화하는 영역을 기준으로 실시한다.

분할된 점군을 곡면으로 만들기 위하여 loft를 이용하였으며 이 방법은 공간상에 연속적으로 배치된 복수의 단면 곡선을 보간하여 곡면을 생성하는

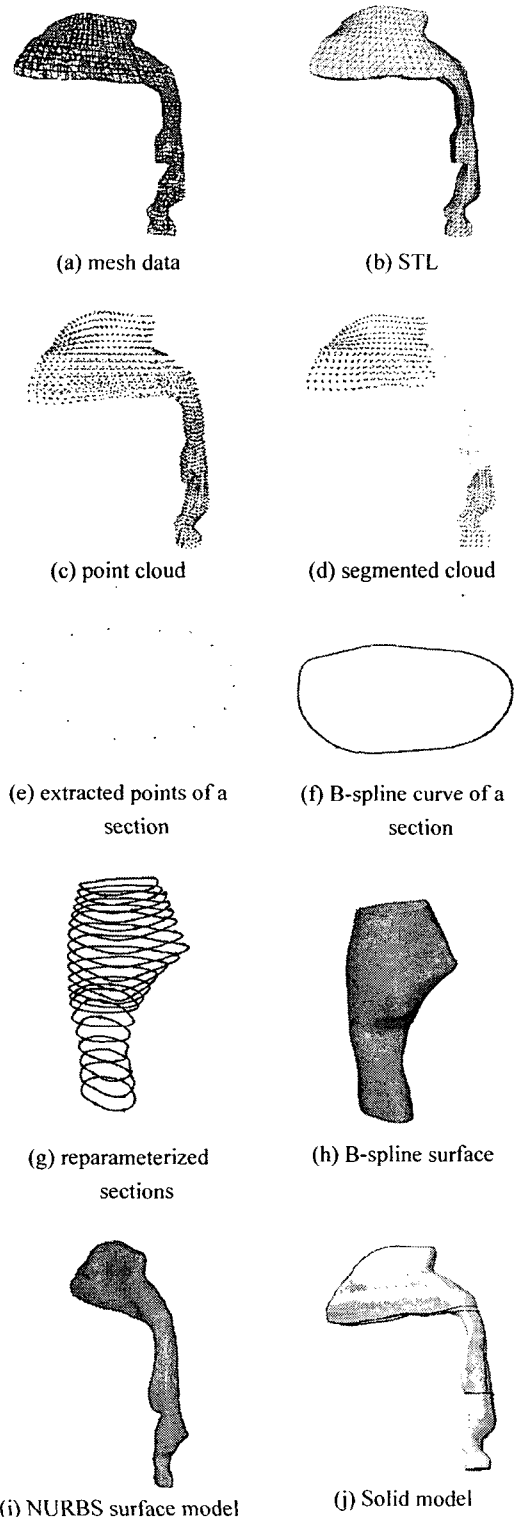


Fig. 4 An illustrative example of the throat

모델링 기법이다. Fig. 4(e)는 단면곡선을 만들기 위하여 추출된 하나의 단면을 이루는 점들이다. 이 점들을 보간하는 순서를 정하고 적절한 차수의 복합곡선(spline curve)으로 근사한 것이 Fig. 4(f)에 보인 단면곡선이다. Fig. 4(g)에는 하나의 곡면을 생성하기 위하여 준비된 단면곡선들을 보이고 있다.

Loft 기법을 이용하여 곡선을 곡면으로 보간하기 위하여 모든 단면곡선들의 차수를 동일하게 변경하고 뾰족(knot value)을 조정하고 방향과 시작점을 일정하게 변경한다. 만일 단면곡선들의 수정이 적절하지 못하다면 불균일하고 울퉁불퉁한 곡면이 생성될 것이다.

Fig. 4(h)에는 loft로 생성된 B-spline 곡면을 보였으며, 이상과 같은 절차를 분할된 각 점군에 반복적으로 적용하면 전체 형상에 대한 곡면데이터를 얻을 수 있다. 각 곡면들의 경계에서 특정 차수의 기하 또는 미분 연속이 만족되도록 곡면을 수정하면 최종적인 NURBS 곡면이 Fig. 4(i)와 같이 생성된다.

해석이나 시뮬레이션 및 뼈나 임플란트의 제작을 위해서는 솔리드 모델이 필요한 경우가 많으므로 Fig. 4(j)와 같이 구멍을 막고 곡면으로 된 스킨을 갖는 솔리드 모델을 생성하여 활용할 수 있다.

본 연구의 2 장과 3 장의 프로세스를 비교해 보면 일부 프로세스에 중복을 찾을 수 있다. 의료영상의 단면정보로부터 영상분할, 모르폴로지, 모서리 인식, 세선화, 점데이터의 선택, 루프생성 및 영역탐지 후에 이루어지는 삼각형망의 생성, 점데이터 추출의 작업들은 전체적인 프로세스에서 제거가 가능하며, 이후 점군의 분할에서 영역탐지의 결과를 직접 이용하는 알고리즘을 개발한다면 더욱 신속하고 오차가 적은 모델링이 가능할 것이다.

4. 결론

본 연구는 생체의학적인 설계, 해석, 시뮬레이션 및 조직 뼈대와 대체물의 제작 등을 위하여 필수적인 장기의 정밀한 형상데이터를 획득하는 기술을 개발하기 위하여 실시 되었다. 연조직(soft tissue)인 장기의 의학적 이미지로부터 정밀한 자유곡면을 갖는 솔리드로 표현된 형상정보를 얻기 위해 필요한 여러 가지 기술 사항들을 인후부의 구체적인 경우에 대한 사례를 통하여 연구하였다.

본 사례는 CT 나 MRI 로부터 획득된 사진으로부터 해당 장기의 윤곽을 나타내는 윤곽선을 추출하여 이를 이용하여 다각형의 메쉬로된 형상데이터를 생성하고 이를 다시 이용하여 자유곡면과 솔리드 모델을 생성하는 여러 공정을 보임으로써 장기의 정밀한 모델링 데이터를 얻기 위하여 필요한 기

술 사항들을 도출하였다. 또한 장기의 정밀한 모델링 시스템을 개발하기 위하여 영역탐지(region detection)의 결과를 직접 활용하는 점군의 분할 알고리즘의 개발이 필요함을 밝혔다. 본 사례연구에서 이용된 공정의 결과로 생성된 솔리드 모델은 정밀한 해석을 위해 임의 크기의 메쉬로 만들어 해석에 이용되거나 각종 시뮬레이션이나 시각화 및 가상수술 등에 활용 될 수 있다.

장기의 모델링은 호흡이나 심장박동 등을 멈출 수 없는 등 인체의 특성상 정규적인 데이터를 획득하기가 어려운 경우가 있으며, 연조직의 이미지 처리 또한 3 차원 측정기나 레이저 스캐너 등에서 얻어지는 매우 정밀한 데이터와 달리 모호하고 경계가 분명치 않은 특성이 있다. 결국 정밀하게 장기를 모델링하기 위해서는 기존의 기계부품을 재구성하는 역공학의 기술을 그대로 적용할 수 없으므로 장기 특성을 고려한 모델링기술의 개발이 필요하다

참고문헌

1. Sun, W., Starly, B., Nam, J., and Darling, A., *및 io-CAD modeling and its applications in computer-aided tissue engineering,? Computer-Aided Design, Article in press, 2005.*
2. Bondiau, P. Y., Malandain, G. Chanalet, S., Marcy, P. Y., Habrand, J. L., Fauchon, F. Paquis, P. Courdi, A. Commowick, O., Rutten, I. Ayache, N., *및 tlas-based Automatic segmentation of MR Images: Validation Study on the Brainstem in Radiotherapy Context,? International Journal of Radiation Oncology Biology and Physics, Vol. 61, No. 1, pp. 289 - 298, 2005*
3. 허성민, 한동구, 이기현, 이석희, 최병욱, 단면 영상 데이터에 의한 두상 인골모형 제작에 관한 연구, *한국정밀공학회지 제 17 권, 제 5 호, pp. 76 - 83, 2000*
4. Lee, Seok-hee, Kim, Ho-chan, Hur, Sung-min, and Yang, Dong-Yul, *및 TL file generation from measured point data by segmentation and Delaunay triangulation,? Computer-Aided Design, Vol. 34, No. 10, pp. 691-704*
5. Kim, Ho-chan, Hur, Sung-min, and Lee, Seok-hee, *및 egmentation of the Measured Point Data in Reverse Engineering,? International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Vol. 20, No. 8, pp. 571 ? 580, 2002*