

점데이터 샘플링 기법을 통한 셸 형상의 중립곡면 추출에 관한 연구

A Study on Medial Surface Extraction for Shell Shapes by Point Sampling Techniques

*#우혁제¹

*#H. Woo¹ (wooh@kinst.ac.kr)

¹ 경기공업대학 정밀기계과

Key words : Medial Surface, Shape analysis, Point Sampling, Voronoi Diagram, Mesh Generation

1. 서론

3 차원 형상에 있어서의 중립곡면이란 그 형상을 대표할 수 있는 일종의 뼈대(Skeleton)를 표현하는 형상정보라 할 수 있으며 컴퓨터 그래픽스, 형상 해석, FEM 해석 분야 등 여러 분야에서 활용될 수 있다. 특히 최근 상용 소프트웨어 개발 회사를 중심으로 산업분야에 있어서 필요한 FEM 해석에 필요한 셸 형상에 대한 중립곡면 자동 추출을 위해 해당 곡면들의 페어링(Pairing) 또는 근사화에 의한 방법 기법[1-4]에 관한 연구가 많이 진행되어 왔는데 사용자가 서로 짝이 되는 곡면을 지정하는 과정을 거치며, 비대칭 형상의 경우나 여러 피처가 조합된 경우에 있어서는 완벽한 중립곡면 추출이 어렵고 더욱이 사용자의 입력을 제한한 추출과정의 자동화가 이루어져 있지 못하다. 따라서 본 연구에서는 과거 개발된 바 있는 non-smooth 폐곡면의 중립축 추출 기법[5]을 향상하여 셸 형상에 대해 Voronoi 계산을 기반으로 한 자동화된 중립곡면 추출 방법을 개발하였다.

2. 기존 연구 고찰

중립곡면이란 바운더리(boundary)를 포함하지 않는 곡면 $S \subset R^3$ 가 존재할 때 곡면 S 와 적어도 두 점에서 접하게 되는 볼(ball)을 미디얼(medial)이라고 정의하고, 이러한 모든 미디얼 볼(medial ball)의 중심 C_M 들의 집합을 S 의 중립축(Medial axis) 또는 중립곡면(Medial surface) M 이라고 정의한다.

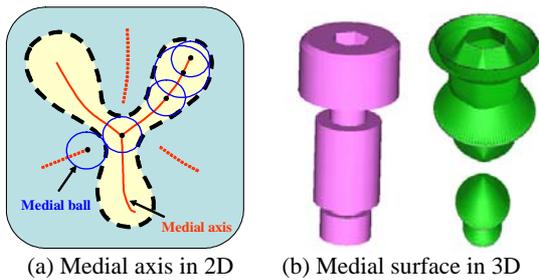


Fig. 1 Examples of Medial Axis/Surfaces

이러한 미디얼 곡면을 계산하고자 하는 과거의 연구들을 살펴보면 크게 해석적인 방법과 근사화한 방법들로 나눌 수 있다. 해석적인 방법의 경우는 복잡한 형상의 경우 많은 계산 시간을 필요로 하며 조그만 형상에도 매우 민감한 결과를 얻게 되는 반면 근사화 방법의 경우 일정 간격 별로의 샘플링 또는 트레이싱(tracing) 기법을 통해 중립곡면에 가까운 형상을 재구성하게 된다. 근사화 방법의 대표적인 방법으로 점데이터군으로부터의 Voronoi 다이어그램을 통한 해당 Voronoi 면을 추출하는 하는 방법에 관한 연구가 많이 이루어져 왔는데 이의 경우 셸과 같은 얇은 두께의 경우에도 Fig. 2 와 같이 각 모서리부분을 향하게 되는 Voronoi 면들도 함께 추출되는 브랜칭 문제와 정확히 모서리를 지나지 않는 문제점, 그리고 근사화용 위한 점데이터

샘플링 조건에 따른 홀 발생 문제점 등을 가지게 된다.[5]

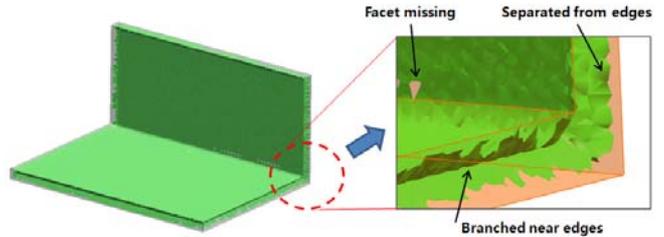


Fig. 2 Problems on Medial surfaces

3. 셸 형상의 중립곡면 추출

본 연구에서는 앞서 언급한 문제점들을 해결하기 위하여 셸 형상으로 생성된 솔리드 모델을 입력으로 하여 아래 Fig 3 과 같은 절차로 구성된 중립곡면 추출 알고리즘을 개발하였고, Fig. 4 에서 보여지고 있는 수정된 중립곡면 추출을 위해 다음 내용과 같이 진행하였다.

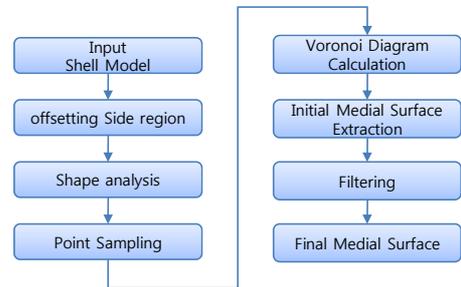


Fig. 3 Overall process of the proposed algorithm

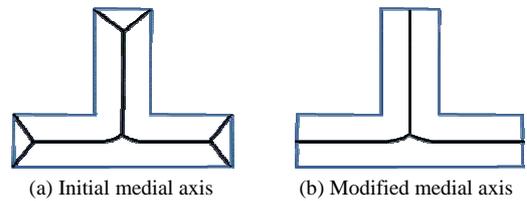


Fig. 4 Modified medial surfaces for shell shapes

3.1 사이드면의 읍세팅

3 차원 형상만을 고려할 때 일정각도를 갖는 깎여진 모서리(non-smooth edges)에 있어서는 전체적인 형상을 대표하는 중립곡면으로부터 각각의 모서리 방향으로 향하는 중립곡면으로 나뉘어지는 브랜칭 현상이 일어난다. 하지만 FEM 해석, 형상변형 등의 응용분야를 고려할 때 셸 형상의 경우 중립곡면은 모든 모서리를 고려하는 것보다는 CAT(Cordal axis transformation)로 얻어지는 결과와 같이 전체적인 형상을 대표하는 형태로 얻어지며 솔리드 두께에 해당되는 사이드 면(side face)에 접하도록 수정된 중립곡면을 구성하는 것이 바람직하다 할 수 있다. 따라서 수정된 중립곡면을 위해서 Fig. 4 와 같이 사이드 면에 해당되는 영역에 대해 읍세팅을 주어 입력모델을 재구성하도록 하였다.

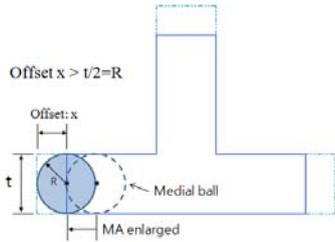
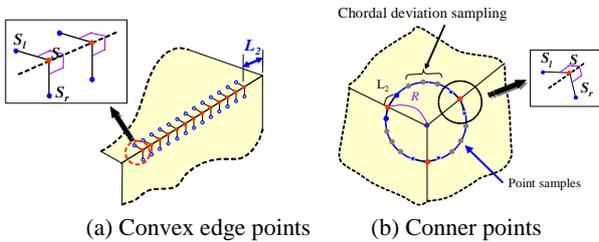


Fig. 5 Region offset for enlarging medial surfaces

3.2 형상 분석 및 점데이터 샘플링

3 차원 곡면 S 상의 임의로 샘플링된 점데이터군 P 로부터 Voronoi 다이어그램을 계산하면 Voronoi 면 (facet)은 일정각을 이루고 있는 모서리를 통과하지 않게 되며 샘플링 비율에 따라 중립곡면 품질이 달라지게 된다. 따라서 모서리부분을 통과하고 중립곡면들간의 연결성을 확립하기 위해서는 중립곡면 계산방법을 고려한 점데이터 추출이 이루어져야 하는데 이를 위해 Convex/concave 모서리, 꼭지점, 내부곡면들을 자동으로 구분하고 각각의 경우에 맞는 형태로 점데이터를 추출하게 된다. 이 단계에서는 옵션된 형상 모델로부터 Fig. 5 의 기법을 통하여 점데이터를 추출한다.



(a) Convex edge points (b) Conner points
Fig. 6 Point sampling on solid models

3.3 Voronoi 다이어그램을 통한 초기 중립곡면의 생성

샘플링된 점데이터군의 경우 이미 솔리드 모델에 대한 정보를 가지고 있는 경우에 해당하므로 계산된 Voronoi Diagram 으로부터 중립곡면 추출을 위해 기존 Dey 와 Zhao 가 제안한 각도 조건식(angle condition)과 비율 조건식(ratio condition)[6]을 샘플링된 점데이터의 노말(normal) 벡터를 이용하여 수정하여 사용하였고, 이들 조건식을 통해 얻어진 중립곡면으로부터 Convex 모서리와 Non-concave 꼭지점을 연결하는 새로운 면(facet)들을 추가하여 초기 중립곡면을 완성한다.

3.4 필터링을 통한 중립곡면 완성

셀 형상의 경우 Fig. 4(b)와 같은 중립곡면을 얻는 것을 목적으로하는데 앞 단계에서 얻어진 초기 중립곡면에 대해 아래 단계를 거쳐 필터링을 하게 된다. Fig. 7 는 이러한 필터링을 거쳐 얻어질 수 있는 2 차원 중립축 예를 보여주고 있다.

- Step 1. 초기 중립곡면의 각 면들(facet) 중 셀 형상의 내부에 존재된 면(fascet)들만을 추출함.
- Step 2. 모서리 또는 꼭지점과 연결된 면(facet)을 초기치(seed)로 하여 일정각도 이하로 연결된 면들을 검사 제거함.

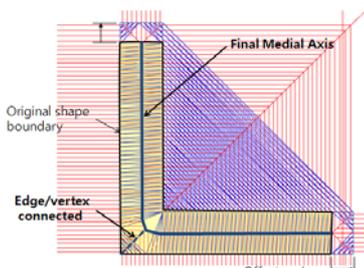


Fig. 7 Filtering initial medial axis in 2D

4. 적용 예제

앞서 설명한 알고리즘은 C++ 언어를 기본으로 샘플링과 필터링을 위해서는 Parasolid 커널[7]을 이용하여 구현하였고 Voronoi 및 Delaunay 계산을 위해 CGAL 함수[8]를 활용하였다. Fig. 7 은 기초적인 형상으로 3 갈래의 fin 형태로 이루어진 셀 모델에 적용된 것을 보여주고 있다.

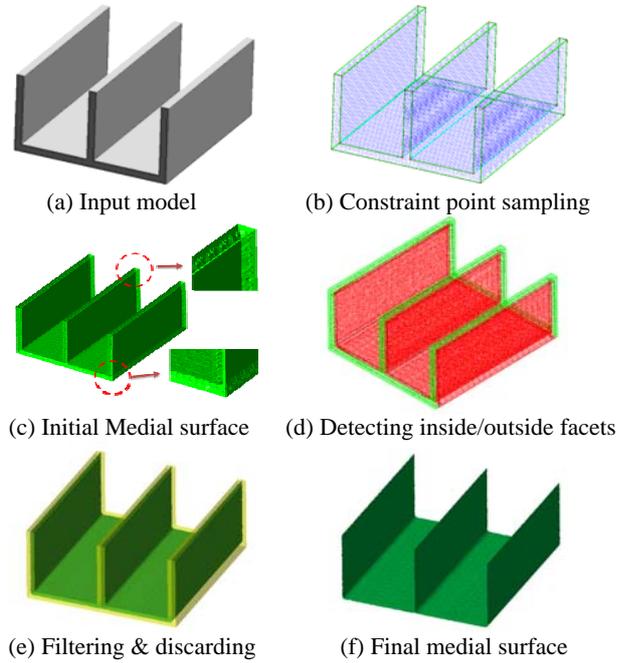


Fig. 8 Example of detecting medial surfaces

5. 결론

본 연구를 통하여 3 차원 셀 형상 모델에 대해 점데이터 샘플링을 수행한 후 중립곡면 추출할 수 있는 알고리즘을 개발하였고, 이는 기존 개발된 방식과 다른 형태로 사용자의 판단적 입력 없이 자동추출이 가능하다 할 수 있다.

후기

본 연구는 2007 년 정부의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임.(KRF-2007-331-D00034)

참고문헌

1. Brandt, J. W. and Algazi, V. R. "Continuous skeleton computation by Voronoi diagram," Comput. Vision, Graphics, Image Process, pp. 329-338, 1992.
2. Amenta, N., Bern, M. and Eppstein, D., "The crust and the beta-skeleton: combinatorial curve reconstruction," Graphical Models and Image Processing, pp.125-135, 1998.
3. Attali, D. and Montanvert, A. "Computing and simplifying 2D and 3D continuous skeletons," Computer Vision and Image Understanding, pp. 261-273, 1997.
4. Kwon, K., Lee, B., and Chae, S., "Medial Surface generation using chordal axis transformation in shell structures," Computers and Structures, Vol. 84, pp.1673-135, 2006.
5. Dey, T. K, Woo, H. and Zhao, W., "Approximate medial axis for CAD models," Solid Modeling and Applications, pp. 280-285, 2003.
6. Dey, T. K and Zhao, W., "Approximate medial axis as a Voronoi subcomplex," Computer Aided Design, Vol. 36, Issue 2, pp.195—202, 2003
7. Parasolid on-line documentation web, Parasolid V20.0.118, 2008
8. www.cgal.org