

2차원 단면 데이터로부터 복합 G^1 자유곡면 생성

박형준, 조선대학교 산업공학과 교수
나상욱, 조선대학교 산업공학과 대학원생
배채열, 조선대학교 산업공학과 대학원생

Composite G^1 surface construction from 2D cross-sections

Hyungjun Park, Industrial Engineering, Chosun University
Sangwook Na, Industrial Engineering, Chosun University
Chaeyeol Bae, Industrial Engineering, Chosun University

Abstract

This paper proposes an approach for composite surface reconstruction from 2D serial cross-sections, where the number of contours varies from section to section. In a triangular surface-based approach taken in most reconstruction methods, a triangular G^1 surface is constructed by stitching triangular patches over a triangular net generated from the compiled contours. In the proposed approach, the resulting surface is a composite G^1 surface consisting of three kinds of surfaces: skinned, branched, and capped surfaces. Each skinned surface is first represented by a B-spline surface approximating the serial contours of the skinned region and then transformed into a mesh of rectangular Bezier patches. On branched and capped regions, triangular G^1 surfaces are constructed so that the connections between the triangular surfaces and their neighboring surfaces are G^1 continuous. Since each skinned region is represented by an approximated rectangular C^2 surface instead of an interpolated triangular G^1 surface, the proposed approach can provide more visually pleasing surfaces and realize more efficient data reduction than the triangular surface-based approach. Some experimental results demonstrate its usefulness and quality.

Keywords: surface construction, cross-sections, B-splines, Bezier surface patches, skinning, branching, capping

1. 서론

의료분야와 의공학, CAD/CAM 등의 여러 연구 및 응용 분야에서는 물체 형상이 연속한(serial) 2차원 단면들(cross-sections)로 표현된다. CT(computed tomography)나 자기공명영상(MRI, magnetic resonance imaging), 초음파영상(ultrasound imaging)등과 같은 데이터 획득 장비나 이미지 처리 기술의 발전으로 물체의 단면 영상들을 쉽게 얻을 수 있게 되었다[1,2].

본 논문에서는 주어진 단면들로부터 부드러운 자유곡면을 생성하는 문제를 다룬다. 여기서, 각 단면에는 한 개 이상의 물체의 윤곽선들(contours)이 존재할 수 있다. 단면 데이터로부터 형상을 재구성하는 기존 방법들은 대부분 편집된(compiled) 윤곽선들로부터 다면체 모델(polyhedral model)에 해당하는 삼각형망을 만들고[3-7], 삼각형망 위에 삼각단위곡면들(triangular patches)을 연결하여 삼각곡면을 생성하는 방식인 삼각곡면 기반 접근방식(triangular surface-based approach)을 이용하였다[8-12]. 그림 1은 삼각곡면 기반 접근방식으로 형상을 재구성한 예를 보여주고 있다. 윤곽선 편집(contour compilation) 과정에 근사 방식이 포함될 수 있지만, 삼각곡면 기반 접근방식은 대부분 보간 방식에 기초하고 있다. 그래서 삼각형망이 많은 수의 삼각형들로 이루어졌을 때, 최종 곡면 모델은 메모리 및 계산 측면에서 비효율적인 모델이 된다. 몇몇 근사 방법들[10,11]은 적은 수의 삼각형 단위곡면을 이용하여 삼각형망을 근사하는 방법을 제안하였으나, 그 방법들은 추가적인 계산 시간이 필요하며 알고리즘이 매우 복잡하다.

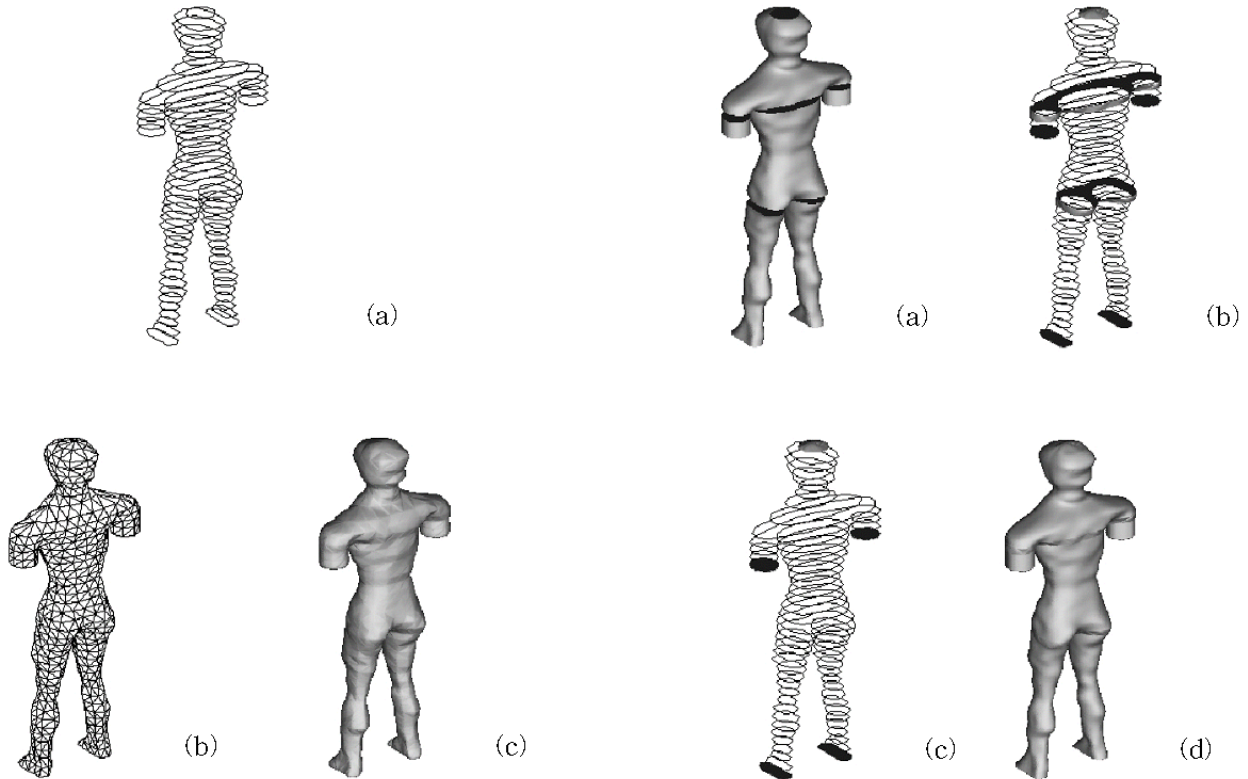


그림 1. Triangular surface-based approach: (a) cross-sectional data; (b) triangular net; (c) triangular surface.

그림 2. Hybrid surface-based approach: (a) skinned surfaces; (b) branched surfaces; (c) capped surfaces; (d) resulting surface.

본 논문은 연속한(serial) 2차원 단면들로부터 부드러운 자유곡면을 생성하는 새로운 접근방법을 제안한다. 결과 곡면은 삼각형 또는 사각형 Bezier 단위곡면들로 표현되는 복합 G^1 곡면이다. 이는 스킨(skinned), 브랜치(branched), 캡(capped) 곡면의 세 가지 종류의 곡면으로 구성되어 있으며, 그림 2는 세 가지 형태의 곡면들과 복합곡면을 보여주고 있다. 제시된 접근방식은 먼저 각각의 스킨 영역(skinned region)에 존재하는 윤곽선들(contours)을 B-spline 곡면으로 근사하여 스킨곡면을 생성한 후, 사각형 Bezier 단위곡면들로 변환한다. 브랜치와 캡 영역(branched or capped region)에서는 이웃하는 곡면들과 G^1 연속하도록 삼각 곡면들을 생성한다. 제안된 접근 방식은 스킨 영역을 삼각 G^1 곡면으로 보간하는 대신 사각 C^2 곡면으로 근사하므로 삼각 곡면 기반 접근방식보다 시각적으로 부드러운 곡면 모델을 생성하고, 곡면모델의 용량을 효율적으로 줄일 수 있다.

2. 제안된 접근방식

각 단면은 XY 평면에 놓여 있고, 인접한 단면들 사이의 간격은 충분히 작아서 물체의 한 부분에서 나온 연속한 두 윤곽선들은 해당 단면 위에서 근사적으로 동일한 위치를 갖는다고 가정한다. 이 가정을 바탕으로 이웃하는 두 단면 사이에는 그림 3에서와 같이 isolation, one-to-one link, one-to-many link, many-to-many link의 4가지 종류의 윤곽선들의 연결 관계를 고려할 수 있다.

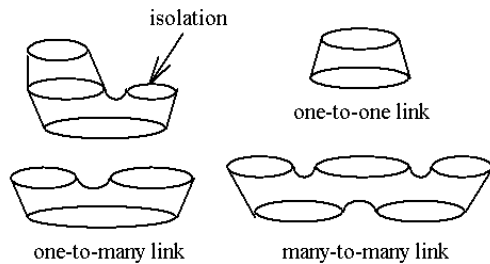


그림 3. Four kinds of contour links

본 논문에서는 2차원 단면들로부터 부드러운 곡면을 생성하는 일을 입력데이터 편집(input compilation), 영역 검출(region detection), 스킨 영역의 사각곡면 근사(rectangular surface approximation in skinned regions), 그리고 브랜치와 캡 영역의 삼각곡면 생성(triangular surface

construction in branched and capped regions)의 4 가지 작업을 통해서 완성하였다. 입력데이터 편집 단계에서는 단면 영상들로부터 관심 영역들 또는 윤곽선들을 추출해낸 후, 적은 메모리를 차지하고 다루기 쉬운 다각형 형태로 압축시킨다[13,14].

2.1 영역 검출

영역 검출(region detection) 단계에서는 앞 단계에서 편집된 단면들로부터 스킨, 브랜치, 캡 영역을 가려낸다. 복합곡면을 구성하는 곡면들은 이제 가지 영역에서 정의되는데, 스킨 영역(skinned region)은 이웃하는 두 윤곽선들이 one-to-one link를 이루는 연속한(serial) 윤곽선들에 의해서 둘러싸인 곡면 영역을 가리킨다. 브랜치 영역(branched region)은 one-to-many link나 many-to-many link에 의해 정의되는 곡면 영역을 가리킨다. 캡 영역(capped region)은 격리된 윤곽선에 의해 정의되는 곡면 영역을 가리킨다.

윤곽선들 간의 연결 관계 결정(correspondence decision)을 위한 견고하고 신뢰성 있는 알고리즘은 제안된 방법의 영역 검출에서 중요한 역할을 한다. 이러한 윤곽선들 간의 연결 관계를 결정하는 문제는 한 단면에 여러 개의 윤곽선들이 존재할 때마다 발생하는데[3-7], 이웃하는 단면들의 윤곽선들 간의 위상적인 연결이나 관계를 결정하는 것을 의미한다. 본 연구에서는 Park and Kim에 의해서 제안된 연결 관계 결정 알고리즘을 이용하였다[6,7].

2.2 스킨곡면 근사

스킨곡면(skinned surface) 근사 단계에서는 각 스킨영역에 있는 윤곽선들을 B-spline 곡면으로 근사시킨 후[1,7,15,16], B-spline 형태의 스킨곡면을 Bezier 사각단위곡면들(rectangular patches)로 변환한다. 그런 다음, 스킨 영역과 인접한 브랜치 또는 캡 영역의 윤곽선들을 스킨곡면의 해당 경계곡선들로 대체한다.

연속한 윤곽선들을 bicubic C^2 B-spline 곡면으로 근사하는 효율적인 방법이 이미 Park and Kim[1]에 의해서 연구되었다. 본 논문에서는 이 방법을 채택하였다. 이 방법은 공통노트벡터(common knot vector)의 knots의 개수를 효율적으로 감소시킨다. 이러한 특징은 단면들로부터 생성된 곡면 모델의 용량을 효율적으로 감소시키는데 중요한 역할을 한다.

2.3 브랜치와 캡 곡면의 생성

스킨 영역을 사각곡면으로 만든 다음, 브랜치와 캡 영역 상에 정의되는 삼각 G^1 곡면을 만든다. 이때, 각 삼각곡면과 이웃하는 사각 혹은 삼각곡면 간의 G^1 연속성이 유지되도록 한다. 각 브랜치나 캡 곡면은 브랜치 혹은 캡 영역에 있는 윤곽선들로부터 형성된 삼각형망 위에서 정의되는 삼각 G^1 Bezier 곡면으로 표현된다. 여기에서는 캡 영역에 있는 윤곽선에 contour closing 기법을 적용하고, 브랜치 영역에 있는 multiple (one-to-many 혹은 many-to-many) link를 이루는 윤곽선들에 multiple branching 기법을 적용함으로써 삼각형망

을 생성한다. Contour closing 또는 capping은 물체의 곡면에 구멍을 남기지 않도록 하기위해 삼각면들(triangular facets)로 해당 윤곽선 안을 채우는 것을 말한다[6,7]. Multiple branching은 multiple link로 정의된 윤곽선들로부터 삼각면들을 생성하는 것을 말한다. 그림 4는 multiple branching의 예를 보여준다. 본 논문에서는 Park and Kim[6,7]에 의해 제안된 contour closing과 multiple branching 알고리즘을 적용하였다.

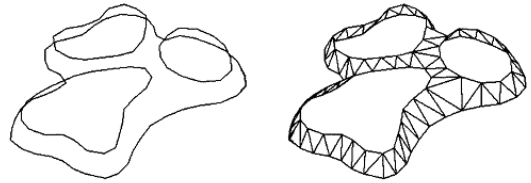


그림 4. Example of a multiple branching

다음으로, 해당 삼각형망 위에서 정의되는 삼각 G^1 Bezier 곡면으로 표현되는 브랜치와 캡 곡면을 생성한다. Clough-Tocher scheme에 근거하여 각 삼각형망의 삼각면 위에 3개의 4차 삼각 Bezier 단위곡면(triangular Bezier patches)을 생성한다[6-9]. 브랜치와 캡 곡면 생성에 대한 자세한 내용은 참고문헌[2,7]에 기술되어 있다.

3. 실험 결과

여러 개의 단면 데이터를 이용하여 제안된 방식을 실험하였다. 본 논문에서는 제안한 방식의 유용성과 성능을 보여주기 위해 두 가지의 데이터를 이용하였다. 첫 번째로, 42개의 평행한 단면들로 주어진 인간의 몸 형상을 이용하였다. 각 단면은 하나에서 세 개까지의 윤곽선들(contours)을 포함하고 있다. 스킨, 브랜치, 캡 영역은 주어진 단면들로부터 자동으로 검출되었다. 그림 2(a)는 스킨 영역에서 생성된 스킨곡면을 나타낸다. 그림 2(b)~(c)는 브랜치와 캡 영역에서 생성된 삼각곡면들을 보여준다. 그림 2(d)는 이를 조합한 복합곡면을 나타낸다. 제안된 접근방법의 적용 결과와 그림 1에서 보여준 삼각곡면 기반 접근방법의 적용 결과를 비교했을 때, 스킨 영역에서 복합곡면이 삼각곡면 기반 접근방법에 의해 생성된 곡면보다 시각적으로 더 부드럽다.

두 번째로, 절단 간격(slicing interval)이 5인 35개의 단면 영상으로 구성된 고관절 CT 데이터를 이용하였다. 각 영상은 8bit gray level 영상으로서 절단평면 상에서 256*256 배열로 이루어진다. 각 영상에 있는 윤곽선들은 닫힌 다각형으로 분할 및 압축되었다. 각 단면은 하나 또는 두 개의 윤곽선들을 포함하고 있다. 스킨과 브랜치, 캡 곡면은 그림 5(a)~(c)에 나와 있다. 복합곡면은 그림 5(d)에 나타난다.

References

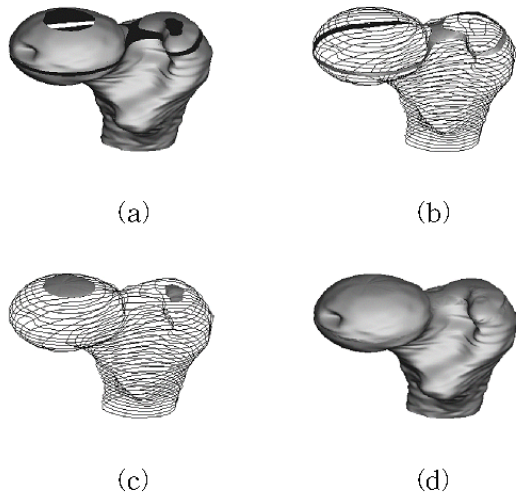


그림 5. Application to the CT data of the femur: (a) skinned surfaces; (b) branched surfaces; (c) capped surfaces; (d) resulting surface.

위의 실험결과를 통해 본 논문에서 제안된 접근방식은 복잡한 형상의 물체를 표현하기 위한 좋은 해를 제공한다는 것을 알 수 있다. 표 1은 제안된 접근방식과 삼각곡면 기반 접근방식과의 비교 결과를 나타낸다. 제안된 접근방식에 의해 생성된 각 복합곡면의 삼각 및 사각 Bezier 단위곡면들의 수가 삼각곡면 기반 접근방식에 의해 생성된 삼각 단위곡면의 수보다 훨씬 적은 것을 알 수 있다.

표 1. 두 접근방식의 결과 비교

		Human body-shaped object	CT data of a femur
No. of cross sections		42	35
No. of points		722	1371
Triangular surface-based approach	No. of triangular facets	1440	2718
	No. of triangular patches	4320	8154
Hybrid surface-based approach	No. of triangular facets	143	181
	No. of triangular patches	429	543
	No. of rectangular patches	651	988

4. 결론

본 논문은 연속한(serial) 단면 데이터들로부터 부드러운 자유곡면을 생성하는 새로운 접근방식을 제시하였다. 결과곡면은 스킨, 브랜치, 캡 곡면의 3가지 종류를 포함하는 G^1 복합곡면으로 표현된다. 복합곡면은 사각 혹은 삼각 Bezier 단위곡면들로 구성되어 있다. 각 스킨 영역을 삼각 G^1 곡면으로 보간하는 방법 대신 사각 C^2 곡면으로 근사하는 방법을 이용함으로써 제안된 방식은 삼각곡면 기반 접근방식보다 시각적으로 더 부드러운 형상을 제공하며, 결과 곡면 모델의 용량을 효율적으로 감소시킨다.

1. H. Park and K. Kim, Smooth surface approximation to serial cross-sections, Computer-Aided Design, 28(12), pp. 995-1005, 1996.
2. H. Park, A hybrid approach to smooth surface reconstruction from 2D cross-sections, International Journal of Advanced Manufacturing Technology, Accepted, 2003.
3. J. D. Boissonnat, "Shape reconstruction from planar cross sections," Computer Vision, Graphics, and Image processing, 44, pp. 1-29, 1988.
4. A. B. Ekoule, F. C. Peyrin, and C. L. Odet, A triangulation algorithm from arbitrary shaped multiple planar contours, ACM Transactions on Graphics, 10(2), pp. 182-199, 1991.
5. D. Meyers, S. Skinner, and K. Sloan, Surfaces from contours, ACM Transactions on Graphics, 11(3), pp. 228-258, 1992.
6. H. Park and K. Kim, 3-D shape reconstruction from 2-D cross-sections, Journal of Design and Manufacturing, 5(3), pp. 171-185, 1995.
7. H. Park, Surface modeling for 3D shape reconstruction from measurement data, PhD Thesis, POSTECH, Korea, 1996.
8. B. Piper, Visually smooth interpolation with triangular Bezier Patches in Geometric Modeling: Algorithms and New Trends, SIAM, pp. 221-234, 1987.
9. L. A. Shirman, and C. H. Sequin, Local surface interpolation with Bezier patches, Computer Aided Geometric Design, 4, pp. 279-295, 1987.
10. F. Schmitt, X. Chen, W. Du, F. Sair, Adaptive G^1 approximation of range data using triangular patches in Curves and Surfaces, Academic Press, pp. 433-436, 1991.
11. H. Park and K. Kim, An adaptive method for smooth surface approximation to scattered 3D points, Computer-Aided Design, 27(12), pp. 929-939, 1995.
12. G. Farin, Curves and Surfaces for Computer Aided Geometric Design: A Practical Guide, Academic Press, 1993.
13. D. H. Ballard and C. M. Brown, Computer Vision, Prentice Hall, 1982.
14. T. Pavlidis, Algorithms for Graphics and Image Processing, Computer Science Press, 1982.
15. L. Piegl, and W. Tiller, The NURBS Book, Springer-Verlag, 1995.
16. J. Hoschek and D. Lasser, Fundamentals of Computer Aided Geometric Design, A K Peters, 1993.