

곡면 분할 및 텍스처 매핑을 사용한 삼각 메쉬의 미세형상 생성

김현수^o 최한균 이관행
광주과학기술원

{hskim^o, korwairs}@gist.ac.kr, lee@kyebek.gist.ac.kr

Small feature creation on the parameterized surface
by using subdivision and texture mapping

Hyunsoo Kim^o Hankyun Choi, Kwan H. Lee
Gwangju Institute of Science and Technology

요 약

본 논문에서는 곡면 분할 및 텍스처 매핑 기법을 적용하여 자유 형상의 삼각 메쉬 위에 텍스처 이미지를 이용한 미세 형상 정보를 표현하는 기법에 대한 연구를 하였다. 텍스처 이미지 상의 특징 형상을 3차원 메쉬에 표현하기 위해 먼저 삼각 메쉬를 파라미터화(parameterization)하여 꼭지점의 텍스처 좌표를 획득한 후, 이미지의 픽셀 값과 꼭지점의 법선 벡터를 사용하여 메쉬의 형상을 변화시킨다.

1. 서 론

곡면 분할 기법(subdivision)은 메쉬를 잘게 쪼개어 부드러운 형상의 곡면을 만드는 방법으로써 컴퓨터 그래픽스, 캐드(CAD) 등의 분야에 널리 사용된다. 그러나 선행된 연구들은 subdivision 곡면을 생성할 때 부드러운 곡면이 생기는 대신 미세한 특징 형상을 표현하지 못하는 단점이 있다. 최근의 연구들은 이를 보완하기 위해 기하학적인 제약 조건(특징 점 또는 곡선)을 사용자가 추가로 지정하여 특징 형상을 만드는데 초점을 두고 있다. 그러나 3차원 형상 복원 과정에서 미세한 특징 형상은 3차원 스캐너를 사용하여 정확하게 얻어낼 수 없다. 또한 양각이나 음각으로 표현된 도자기 등의 형상을 표현하기 위해 선행된 특징 형상 생성 알고리즘을 적용할 때 표면의 수많은 세부형상 정보를 사용자가 직접 디자인 하여 입력하는 것은 매우 비효율적이고 정밀한 기하 형상의 복원이 불가능하다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 그림 1의 과정을 통해 텍스처 이미지를 사용한 3차원 미세 형상 생성 기법에 관한 연구를 수행하였다.

2. 관련 연구

2.1 곡면의 파라미터화(Parameterization)

곡면의 파라미터화는 3차원 곡면을 임의의 공간에 일대일 매핑하는 기법이다. 파라미터화는 크게 삼각형의 내각의 비율을 유지하는 방법과 면적의 비율을 유지하는 방법을 사용하게 되는데, 어느 방법을 사용하든지 항상 곡면의 변형이 생기게 된다. 이러한 변형을 최소화하는 하면서 삼각형의 각도의 비율을 유지하는 파라미터화 방법을 conformal mapping이라고 하고, 반대로 면

적을 유지하는 방법을 equiareal mapping이라고 한다.

본 연구에서는 크게 2가지 conformal mapping 기법을 사용하였다.

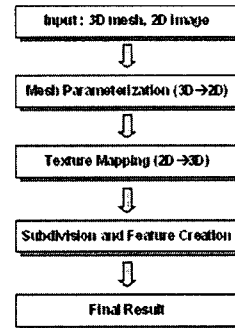


그림 1. 미세 형상 생성 과정

첫 번째 파라미터화 방법은 [1]에서 제안한 방법으로 conformal mapping 기법을 사용하여 구에 매핑하는 방법이다. 이 방법이 적용되기 위해서는 대상이 되는 곡면이 구와 같은 위상(topology)을 가져야 한다. 그림 2는 [1]에서 제안한 파라미터화를 구현한 결과이다.

두 번째 파라미터화 방법은 위상이 경계(boundary)를 1개 같은 2-manifold 메쉬에 대한 파라미터 방법이다 [2]. 복잡한 위상이나 형상을 갖는 메쉬의 경우, 영역분할(segmentation)기법을 사용하면 평면 위상과 같이 단순한 조각(patch)으로 모델을 나눌 수 있다. 나누어진

각각의 조각에 [2]에서 제안된 Mean value coordinate 을 구하여 파라미터화 한다. 그림 3은 [2]의 파라미터화 방법을 구현한 결과로 경계 조건은 (0,0), (1,0), (0,1), (1,1)의 파라미터 좌표를 갖는 경계 꼭지점을 사용자가 선택하면 경계 엣지(edge)들간의 거리 비를 경계 조건으로 하여 conformal mapping 을 계산하였다.

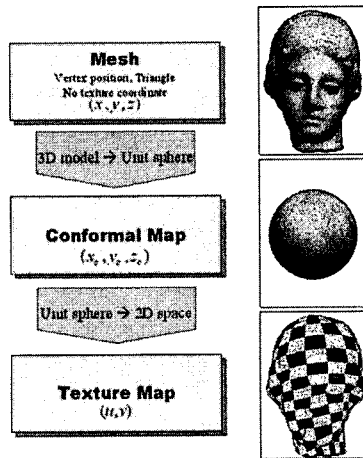


그림 2. Spherical conformal map; (x, y, z) 는 꼭지점의 좌표, (x_s, y_s, z_s) 는 구로 conformal mapping을 적용했을 때 꼭지점의 좌표, (u, v) 는 2D 평면에서의 꼭지점 파라미터 좌표

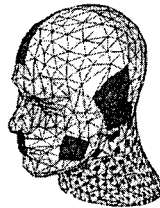


그림 3. Mean value coordinate

2.2 곡면 분할(Subdivision)

곡면 분할 기법은 임의의 위상을 갖는 메쉬 모델을 부드럽게 표현하는 효과적인 방법이다. 대부분의 곡면 분할 기법은 반복적인 분할과 이전 꼭지점의 위치를 재 계산 함으로서 저해상도 모델을 부드러운 고해상도의 곡면으로 만든다. 삼각 메쉬를 분할하는 여러 방법 중에 본 논문에서는 [3]에서 제안한 Loop subdivision과 [4]에서 제안한 $\sqrt{3}$ subdivision 방법을 사용하였다. 또한

최근의 subdivision에 관한 연구들[5,6,7,8]은 특징형상 생성 및 보존에 대해 수행되었다.

3. 미세 형상 생성

이번 절에서는 본 연구에서 수행된 미세 형상 생성에

대한 알고리즘을 설명한다. 곡면의 파라미터화가 수행되면 텍스처 이미지를 쉽게 곡면에 매핑할 수 있다. 기본적으로 텍스처 이미지의 각 픽셀들은 곡면 위의 점들의 위치변화량을 저장하고 있다고 가정한다. 대용량의 고해상도 메쉬를 다루기 위해서 텍스처 이미지 역시 고해상도 이미지를 사용해야 한다. 텍스처 매핑이 수행된 후에 입력된 메쉬를 부드러운 곡면으로 표현하기 위해 2.2 절에서 설명한 곡면 분할기법을 적용한다. 곡면 분할이 적용된 후에 각각의 꼭지점은 해당하는 텍스처 이미지의 픽셀 값에 따라서 꼭지점의 법선 방향으로 변형된다. 그림 4는 이 과정을 설명한다. 각 꼭지점의 최종 위치는 수식화 하면 다음과 같다

$$x_{final} = x_{original} + h \times d \quad (1)$$

x_{final} : 꼭지점의 최종 위치 벡터

$x_{original}$: 꼭지점의 처음 위치 벡터

h : 꼭지점의 법선 벡터, d : 꼭지점의 변화량

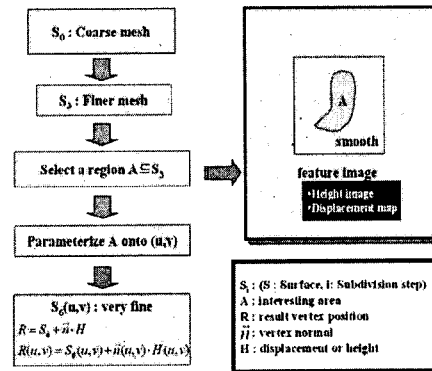


그림 4. 메쉬 에디팅 과정

실제 위 과정을 적용하면 그림 5와 같은 결과를 얻게 된다. 그림 5를 보면 알 수 있듯이 텍스처 이미지의 픽셀의 위치와 꼭지점의 파라미터 값이 정확히 일치하지 않기 때문에 충분한 고해상도 모델이 아닐 경우 에디팅 되는 부분과 되지 않는 부분 사이에서 톱날 모양의 부드럽지 않은 형상이 생기게 된다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 각 삼각형 내부에 에디팅 영역의 경계가 통과 하는 경우 삼각형의 무게 중심에 가장 가까운 경계 픽셀에 해당하는 파라미터 값에 의해 삼각형을 부분적으로 다시 한 번 분할한다. 그림 6은 위에서 설명한 삼각형 부분 분할 과정을 나타낸다.

4. 결과

그림 7은 에디팅 영역의 경계 부분을 선택적으로 분할한 결과와 분할 후 에디팅을 적용하여 미세 형상을 생성한 결과를 나타낸다.

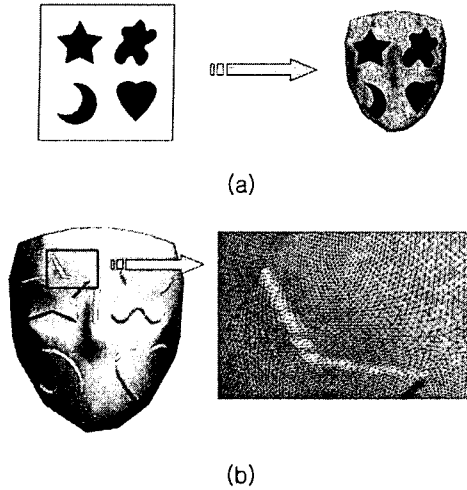


그림 5. (a) 텍스처 매핑, (b) 에디팅 영역 경계에서의 형상

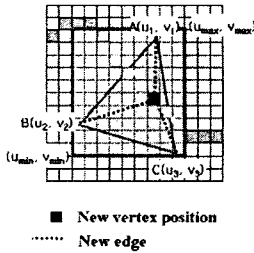


그림 6. 1-to-3 refinement

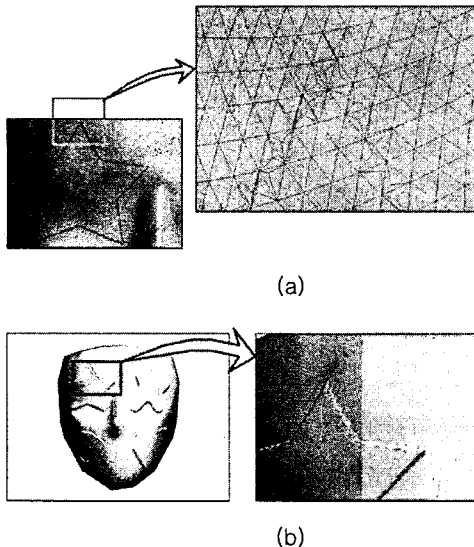


그림 7. 부분 분할 후 메쉬 에디팅을 적용한 결과

그림 7을 보면 부분 분할을 적용한 경우 그림 5의 결과에 비해서는 톱날 형상이 적어졌으나 확대하면 여전

히 톱날 형상이 부분적으로 생성됨을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 곡면의 파라미터화와 삼각형 분할 방법을 사용하여 텍스처 이미지로부터 미세 형상을 생성하는 알고리즘에 대한 연구를 수행하고 구현하였다. 이 방법은 미세한 3차원 형상을 포함하지 않는 곡면에 복잡한 기하학적 제약 조건 없이 미세 형상을 만드는 것을 가능하게 한다. 그러나 메쉬 에디팅시 미세형상 경계에서 이미지의 픽셀 위치와 3차원 메쉬의 꼭지점의 위치가 정확히 일치하지 않으므로 톱날 형상이 생성되는 결과가 나타났다. 이러한 문제점을 메쉬 이완 (relaxation) 기법을 사용하여 제거하는 것이 향후 연구 방향이 될 것이다.

감사의 글

본 연구는 광주과학기술원 실감방송 연구센터를 통한 정보통신부 대학IT연구센터(ITRC) 사업의 지원과 광주과학기술원 실감콘텐츠 연구센터를 통한 과학기술부 특정 연구개발 사업의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] S. Haker, S. Angenent, A. Tannenbaum, R. Kikinis, G. Sapiro and M. Hall, "Conformal Surface Parameterization for Texture Mapping," IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 5, No. 2, April-June 2000.
- [2] M. S. Floater, "Mean value coordinates," Computer Aided Geometric Design, Vol. 20, 19-27, 2003.
- [3] C. Loop, "Smooth subdivision surfaces based on triangles," Master's thesis, University of Utah, Department of Mathematics, 1987.
- [4] L. Kobbelt, " $\sqrt{3}$ subdivision," SIGGRAPH 2000 proceedings.
- [5] A. Khodakovsky and P. Schröder, "Fine level feature editing for subdivision surfaces," Proceeding of ACM Solid Modeling 99.
- [6] H. Hoppe, T. DeRose, T. Duchamp, M. Halstead, H. Jin, J. McDonald, J. Schweitzer, and W. Stuetzle, "Piecewise smooth surface reconstruction," Proceeding of SIGGRAPH 94, pp. 295-302, 1994.
- [7] T. DeRose, M. Kass, and T. Truong, "Subdivision surfaces in character animation," Proceeding of SIGGRAPH 98, pp. 85-94, 1998.
- [8] H. Biermann, Ioana M. Martin, D. Zorin and F. Bernardini, "Sharp features on multiresolution subdivision surfaces," Proceeding of Pacific Graphics 2001.