

부드러운 곡면 근사를 위한 3차원 메쉬 편집기의 구현

신복숙[○], 우영운

동의대학교 컴퓨터공학과

boyaci@netian.com, ywwoo@hyomin.dongueui.ac.kr

Implementation of a 3D Mesh Editor for Smooth Surface Fitting

Shin, Bok Suk[○] Woo, Young Woon

Dept. of Computer Engineering, Dong-Eui University

요 약

본 논문에서 구현한 메쉬 편집기는 편집할 메쉬의 몇몇 점을 편집할 경우, 편집 정보가 그 점에 이웃한 점들에게도 영향을 미치게 되어, 편집 결과가 근사된 부드러운 곡면으로 표현하도록 하는 데 있다. 그러기 위해서는 3차원의 메쉬를 2차원 평면으로 매핑할 때, 매핑되는 원래의 메쉬의 모양이 크게 변형되지 않도록 하여야 하는데, 여기에 모양 유지 매개 변수화 방법을 사용하고 있다. 편집에 사용된 점의 편집 정보는 2차원 평면 다각형 안에 있는 서로 대응되는 점으로 매핑 되고, B-스플라인 보간으로 편집 정보는 2차 평면 안에 있는 다른 점들에게도 영향을 주게 된다. 이런 결과는 3차원 메쉬로 환원되어 부드럽게 근사된 곡면으로 표현된다

1. 서론

컴퓨터 그래픽에서 메쉬(mesh)는 물체를 모델링 하는데 널리 사용되고 있다. 그리고 기존의 다양한 메쉬를 편집하여 물체를 원하는 형태로 만들기 위해 편집 기술이 필요하게 된다. 메쉬를 편집하기 위해서는 메쉬를 표현하고 있는 점들을 움직여야하고, 이것은 바로 점들의 위치정보가 바뀌음을 의미한다. 바뀌어진 점의 위치정보는 메쉬를 재구성하여 새로운 결과로 표현된다. 그러나 원하는 형태의 물체를 만들기 위해 메쉬의 점들을 하나씩 움직여 수천 개의 점을 조작해야 한다면 매우 힘든 작업이 될 것이다. 따라서 메쉬를 편집하기 위해 한번에 여러 개의 점들을 바로바로 제어하는 효과적인 편집 기술이 필요하게 된다.

본 논문에서 구현한 메쉬 편집기는 편집할 메쉬의 일 부분의 점을 편집할 경우, 편집 정보가 그 점에 이웃한 점들에게도 영향을 미치게 되어,

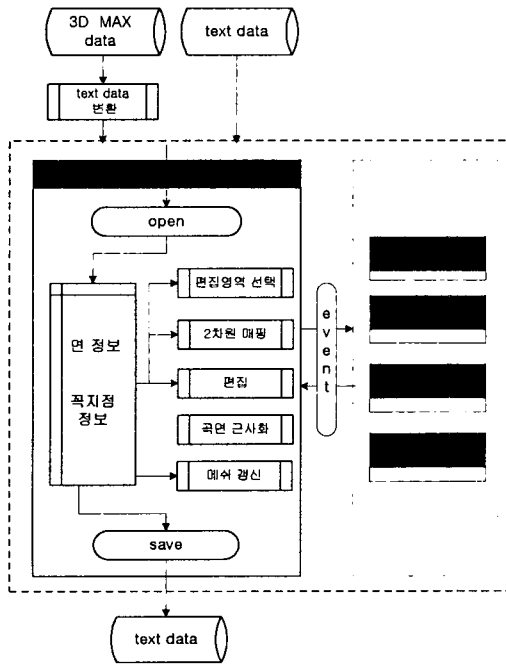
편집 결과가 근사(fitting)된 부드러운 곡면(smooth surface)으로 표현하도록 하는 데 있다. 그러기 위해서는 먼저 3차원 메쉬(3D mesh)를 2차원 평면(2D plane)으로 매핑(mapping)해야 하는데 이때, 매핑되는 원래의 메쉬의 모양이 크게 변형되지 않도록 모양 유지 매개 변수화(shape preserving parametrization)[1]를 사용한다. 3차원 메쉬는 2차원 평면으로 매핑되고 사용자는 메쉬를 편집할 것이다. 메쉬의 편집 정보는 이미 매핑된 2차원 평면 안에 있는 서로 대응되는 점으로 매핑하게 되고, B-스플라인 보간(B-spline interpolation)[2],[3]으로 편집 정보는 2차 평면 안에 있는 다른 점들에게도 영향을 주게 된다. 이러한 결과는 3차원 메쉬로 환원되어 부드럽게 근사된 곡면으로 표현된다.

본 논문의 구성은 2장에서는 메쉬 편집기의 구조를 알아보고, 3장은 2차원 매핑, 4장은 편집방

법, 5장은 곡면을 근사하기 위한 방법, 6장에서는 구현 및 처리 결과, 7장에서는 결론을 내린다.

2. 3차원 메쉬 편집기 구조

3차원 메쉬 편집기는 데이터를 불러오고, 저장하고, 내부적으로 계산 처리하는 도큐먼트 모듈(document module)과 처리된 데이터를 받아서 보여 주는 기능을 하는 뷰 모듈(view module)로 나눈다. 각 모듈을 분리함으로써, 각 모듈의 역할을 분담시키고, 각 모듈의 구현을 조금이라도 단순화시킬 수 있다. 각각의 뷰 모듈(perspective view, top view, front/right/left view, 2D mapping view)은 메쉬를 각각의 방향에서 그려 주고, 메쉬를 확대 또는 이동, 회전과 같은 변환이 가능하다. 메쉬를 편집하기 위해서 선택 영역을 결정하게 되는데, 이때 메쉬의 점들을 하나씩 선택한다. 사용자가 임의의 점을 편집 할 경우 여러개의 뷰에서 점을 선택하게 되면 이동 변위를 쉽게 계산할 수 있다. 추가적으로 3차원 모델에 재질과 조명을 주고 있는데, 각 메쉬마다 평균 수직 벡터를 계산하여 빛을 받는 방향을 지정하고 있어 모델이 좀더 현실감 있게 표현되게 설계하고 있다.



3. 2차원 매핑

3.1 내부점 매핑

메쉬를 편집하기 위해 편집할 영역을 설정하였다. 선택된 영역을 편집하기 위해 우리는 2차원 매핑이라는 과정을 거치게 되고, 2차원 평면으로 매핑할 때 매핑되는 원래의 메쉬의 모양이 크게 변형되지 않도록 하기 위해 모양 유지 매개 변수화 방법을 이용한다. Floater는 그래프 이론과 볼록 조합(convex combination)[4],[5]을 이용하여 모양 유지 매개 변수화 방법을 제시하였다.

선택영역에 있는 점 $x_i \in R^3$ 가 평면에 있는 내부점 u 와 내부점 u 의 이웃한 경계 점 u_1, \dots, u_{d_i} 으로 매핑하기 위한 볼록 조합 계수 $\lambda_{i,j}$ 는 수식(1)과 같이 결정된다.

$$\lambda_{i,j} = \frac{1}{d_i} \sum_{k=1}^{d_i} u_{k,i}, \quad k=1, \dots, d_i \quad (1)$$

Floater는 메쉬를 2차원 평면 다각형으로 매핑할 때 다각형 내부의 점들이 그 이웃하는 점들의 볼록 조합으로 나타내어 질 수 있음을 보여주고, 볼록 조합은 항상 존재하며, 유일하다는 것을 증명하고 있다[1]. 따라서, 수식(1)에 의해 결정된 볼록 조합 계수 $\lambda_{i,j}$ 와 2차원 다각형 경계 점을 이용하면 수식(2), 수식(3)에서 보는 것처럼 다각형 내부의 점의 위치(u, v)를 알아 낼 수 있게 된다.

$$u_i = \sum_{j=1}^n \lambda_{i,j} u_j = \sum_{j=n+1}^N \lambda_{i,j} u_j \quad i=1, \dots, n \quad (2)$$

$$AU=b_1, \quad AV=b_2 \quad (3)$$

여기서 U 는 (u_1, \dots, u_n) 의 열 벡터, V 는 (v_1, \dots, v_n) 의 열 벡터이며, A 는 $n \times n$ 인 행렬로 $a_{i,j} = 1, a_{i,j} = -\lambda, j \neq i$ 의 값을 가진다.

3.2 경계 점 매핑

선택한 편집 영역을 A 라 하고, 2차원 평면 다각형을 D 라고 할 때, A 의 모서리들을 ∂A , D 의 모서리들을 ∂D 이라 한다.

∂A 에서 ∂D 로 일대 일 대응될 점들은 D 내부에 매핑 될 점들의 위치(u, v)를 결정하는데 이용된다. 매핑 시킬 다각형 D 의 형태를 여러 가지 모양으로 결정할 수 있으나, 본 논문에서는 A 에 4개의 점을 선택하여 4개의 모서리를 가진 다각형 D 에 매핑시키고 있다. 4개의 모서리를 가진 사각형의 매핑영역을 사용하는 것은 곡면 근사를 위해 적용될 B-스플라인의 제어점을 쉽게 찾아내기 위한 방법으로 활용하고 있다. A 에서 선택한 4개의 점은 사각형 D 의 꼭지점에 해당되고, ∂A 에 있는 경계 점들 모두는 ∂D 에 일대 일 대응하는 점으로 바뀌게 된다. 선택한 점 사이에 있는 경계 점들간의 전체 거리에서 경계 점들 하나하나 차지하는 비율은 4각형 한 변에 차지하는 길이 비율로 바뀌게 된다.

4. 편집

본 편집기에서는 편집할 점들을 하나씩 드래그(drag)하여 점들의 위치를 변경한 후 갱신하는 방법을 사용한다. 메쉬를 편집하기 위해 점을 선택하여 편집함으로써 다양한 편집 정보를 메쉬에 바로 반영 할 수 있다.

그리고 편집하고자 하는 점을 기본적으로 4개 선택하도록 하고 있는데, 이러한 제약은 다음에 설명될 B-스플라인의 제어점을 쉽게 찾을 수 있도록 해준다.

5. 곡면 근사

점들의 위치 변경으로 그 점들 주위에 있는 점들 또한 영향을 받게 된다. 이러한 접근을 위해 B-스플라인 보간을 사용하고 있다. B-스플라인은 국부적으로 곡면의 모양을 제어 할 수 있을 뿐만 아니라 편집 결과가 편집 영역의 경계 점들을 에게는 영향을 미치지 않게 하기 위해, 경계 점을 고정시켜야 하는데 B-스플라인에서는 이러한 것이 쉽게 구현되는 장점이 있다.

x_i 의 위치 변경으로 얻은 변위 $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ 는 다각형 D 안에 있는 p_i 즉 x_i 와 대응되는 점의 변위로 사용된다. 그리고 변위는 B-스플라인의 제어점을 계산하는데도 사용된다. 다각형 D 에 있는 p_i 의 $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ 는 수식(4)처럼 함수에 의해 결정되는 값이다.

$$f_x(p_i) = \Delta x_i,$$

$$f_y(p_i) = \Delta y_i, \quad (4)$$

$$f_z(p_i) = \Delta z_i$$

다각형 D 에 있는 모든 p_i 의 $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ 은 4×4 크기의 제어점을 가진 B-스플라인 함수에 의해 근사 된다. B-스플라인 다항 함수는 수식(5)과 같다

$$f(u, v) = \sum_{j=0}^3 \sum_{i=0}^3 \Phi_{ij} B_i(u) E_j(v) \quad (5)$$

여기서 $\Phi_{ij} = (x, y, z)$ 는 제어점이고 $i=0, \dots, 3, j=0, \dots, 3$ 이다.

편집하기 위해 선택한 점들의 이동변위를 이용하여 위 보간 함수의 제어점 $\Phi_{ij} = (x, y, z)$ 를 결정할 수가 있다.

이렇게 결정된 제어점을 이용하여, 다각형 D 에 포함된 모든 p_i 의 $\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i$ 를 찾아낼 수 있게 된다. 그리고 편집영역 A 를 편집할 때 A 경계 부분에 포함되어 있는 경계 점들은 편집에 영향을 주지 않고 고정시키고 있다. 따라서 다각형 D 에 포함되어 있는 경계 점의 $f(u, v)$ 값은 모두 zero로 설정된다. 편집 명령으로 A 안에 있는 점 $x_{i(olde)}$ 는 B-스플라인 보간으로 얻어진 변위 만큼 $(\Delta x_i, \Delta y_i, \Delta z_i)$ 새로운 점 $x_{i(new)}$ 로 갱신된다. 이것은 수식(6)과 같이 표현된다.

$$x_{i(new)} = x_{i(olde)} + \Delta x_i + \Delta y_i + \Delta z_i \quad (6)$$

6. 구현 및 처리 결과

3차원 메쉬 편집기 개발환경은 Microsoft Visual C++ 6.0을 기반으로 구현하고 있으며, 3차원 그래픽을 효율적으로 제어하기 위해 Silicon Graphics사의 그래픽 라이브러리 OpenGL 1.1을 사용하고 있다. 사용한 모델은 Autodesk사의 3D Studio MAX에서 제공하고 있는 데이터이다. 이것을 ASE포맷으로 변환한 다음, ASE포맷 파일에서 꼭지점 정보와 면 정보를 추출하여 텍스트 파일로 변환한 것을 사용한다.

그림(a)는 본 논문에서 구현한 편집기의 레이아웃이다. 그림(b)는 본 메쉬 편집기에서 모양유지

매개변수화 방법으로 코의 일부분을 매핑한 결과를 보여주고 있다. 그림(c), 그림(d), 그림(e), 그림(f)은 구현한 메쉬 편집기에서 코와 턱을 편집한 결과를 보여주고 있다.

7. 결론

본 논문에서 구현한 3차원의 메쉬 편집기는 부드러운 곡면을 표현하기 위해 Floater가 제시한 모양 유지 매개 변수화 방법을 사용하여 3차원의 메쉬를 2차원으로 매핑할 때 뒤틀림과 같은 변형 없이 원래의 메쉬를 그대로 매핑되도록 했다. 그리고 흩어진 점들의 정보를 근사시키기 위해서 B-스플라인 보간을 사용했다.

구현한 메쉬 편집기는 편집하기 위해 기본적으로 4개의 점을 선택하여 편집을 하도록 하고 있다. 이러한 제약은 흩어져 있는 다른 점들을 근사화시키기 위해 필요한 제어점을 쉽게 찾아준다. 그러나, 사용자가 다양한 형태로 메쉬를 변형하기 위해서는 다른 처리과정으로 제어점을 찾도록 해야한다.



그림 (c)



그림 (d)



그림 (e)



그림 (f)

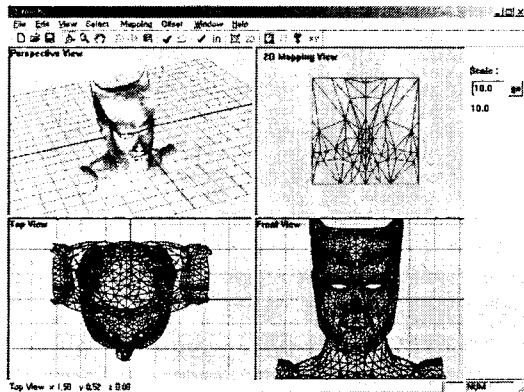


그림 (a)

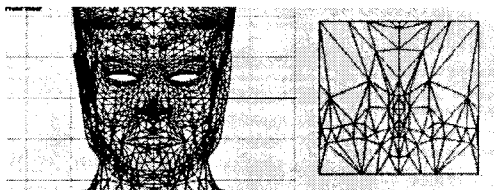


그림 (b)

참고 문헌

- [1] M. S. Floater, Parametrization and smooth approximation of surface triangulation, Computer Aided Geometric Design 14, pp231-250, 1997
- [2] S. Lee, G.Wolberg, and S. Y. Shin, Scattered data interpolation with multilevel b-splines, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 3(3): pp.228-244, 1997
- [3] S. Lee, Interactive Multiresolution Editing of Arbitrary Meshes, (Proc. SIGGRAPH'99), 18(3), 1999.
- [4] Tutte, W.T, Convex representations of graphs, Proc. London Math. Soc, 10: pp304-320, 1960.
- [5] Tutte, W.T, How to draw a graph, Proc. London Math. Soc 13: pp743-768, 1963.