

3차원 메쉬를 다단계 제어하기 위한 편집기 구현

신복숙*, 우영운**, 김형석***

*게임산업 연구소

**동의대학교 컴퓨터영상공학부

***동의대학교 멀티미디어공학과

*boyaci@netian.com {**ywwoo, ***hskim}@dongeui.ac.kr

Implementation of Editor for Multiresolution Control of 3D Meshes

Bok-Suk Shin* Young-Won Woo** Hyoung-Seok Kim***

*Game Research Institute

**Faculty of Computer Visual Engineering, Dongeui University

***Multimedia Engineering Major, Faculty of Computer Visual Engineering, Dongeui University

요약

본 논문에서는 메쉬를 편집하는 편집 기술을 위해서 결과 메쉬의 질을 향상시키면서도 다양한 형태로 표현 될 수 있는 편집기를 구현하고 있다. 구현한 편집기에서는 원래 3차원 메쉬가 가지고 있는 모양을 그대로 유지하면서 매핑하기 위해 Floater가 제시한 모양 유지 매개 변수화 방법을 사용한다. 그리고 다단계 B-스플라인 함수를 이용하여 결과 메쉬에 나타날 점들의 새로운 위치를 결정하도록 하며, 메쉬의 형태를 계층적으로 제어하여 다양한 형태를 만들 수 있도록 한다.

1. 서론

메쉬로 표현된 다양한 물체를 수정하여 원하는 형태로 만들기 위해서는 여러 가지 편집 기술이 필요하다. 따라서 메쉬를 효과적으로 다양하게 편집하기 위해 한 번에 여러 개의 점들을 제어할 수 있는 편집 기술이 필요하다.

메쉬를 편집하기 위한 편집 기술로는 메쉬를 구성하고 있는 점들을 직접 선택하여 이동시키는 직접 조정(direct manipulation)방식과 이와 대비적으로 제어격자와 같은 도구를 이용하여 변형시키는 간접 조정(indirect manipulation)방식이 있다. 직접조정 방식은 점을 직접 선택하여 이동시키므로 정확한 모양을 만들 수 있다. 간접조정 방식의 대표적인 방법인 FFD(free-form deformation)는 제어 격자 변형 도구를 이용하여 메쉬의 형태를 변형한다. 이것은 적은 수의 제어격자를 이용하여 모양을 쉽게 변형할 수는 있지만, 정확하게 제어하기에는 어려움이 있다.

이러한 다양한 편집 기술에 대한 연구는 최근 Multiresolution editing[1]에서 볼 수 있다. 이 연구는 매개 변수화 방법과 매핑된 점들을 이용하여 새로운 점의 이동 위치를 찾아내고, 다양한 메쉬 형태를 만들기 위해서 다단계 B-스플라인(multilevel B-spline)을 이용하고 있다. 그리고 매개 변수화를 위해 사용하는 하모닉 매핑은 3차원 메쉬의 모서리의 찌그러짐을 최소화시키면서 매핑한다. 그러나 2차원 평면에 매핑 되는 동안 생성된 메쉬들 간에 접힘이 발생 할 수도 있다.[2]

따라서 본 논문에서는 편집 결과의 질을 향상시킬 수 있는 다단계 편집 기술을 위해서 하모닉 매핑 방법에서 발생할 수 있는 접힘 현상을 해결하고자 Floater가 제시한 모양 유지 매개 변수화 방법을 사용한다.[3] 그리고 다단계 B-스플라인[4]을 이용하여 편집 정보에 이웃한 점들에게 영향을 미치도록 하는 영역들을 계층적으로 제어할 수 있도록 한다.

2장에서는 구현한 편집기의 구조를 알아보고, 3장은 3차원 메쉬를 2차원 평면으로 매핑하는 방법을 알아본다. 4장에서는 편집절차를 알아보고, 5장은 근사화와 단단계 제어를 하는 방법에 대해 살펴본다. 6장은 개발 환경 및 처리 결과, 7장에서는 결론 및 향후 연구로 끝을 맺는다.

2. 메쉬 편집기 구조

3차원 메쉬를 단단계 제어하기 위한 편집기는 데이터를 불러오고, 저장하고, 내부적으로 계산 처리하는 모듈(module)과 처리된 데이터를 받아서 보여 주는 기능을 하는 모듈로 크게 분리하여 설계하였다. 분리설계는 각 모듈의 역할을 분담시키고, 모듈의 구현을 조금이라도 단순화시킬 수 있다. 그리고 여러개의 뷰잉 모듈을 설계해서 메쉬를 확대 또는 이동, 회전과 같은 변환과 편집시에 결정해야하는 메쉬의 편집 정보를 쉽게 처리할 수 있도록 하였다.

그림 1은 단단계 제어를 위한 편집기의 내부 처리 절차를 보여준다.

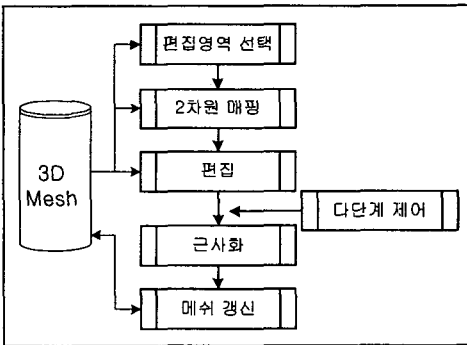


그림 1 : 편집기의 내부 처리 과정

3. 3차원 메쉬의 매핑

메쉬를 편집하기 위해 편집할 영역을 설정한다. 그런 다음 선택된 영역을 편집하기 위해 우리는 2차원 매핑이라는 과정을 거치게 되는데, 2차원 평면으로 매핑할 때 하모닉 매핑에서 발생하는 접힘 현상을 제거하고, 원래 메쉬의 모양이 크게 변형되지 않도록 하기 위해 모양 유지 매개 변수화 방법을 이용한다.

Floater는 그래프 이론과 블록 조합(convex combination)[5,6]을 이용하여 모양 유지 매개 변수

화 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 블록 조합 계수 λ_{i,j_k} 는 수식(1)와 같이 결정된다.

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

Floater는 메쉬를 2차원 평면 다각형으로 매핑할 때 다각형 내부의 점들이 그 이웃하는 점들의 블록 조합으로 나타내어 질 수 있음을 보여주었고, 블록 조합은 항상 존재하며, 유일하다는 것을 증명하고 있다[3]. 따라서, 수식(1)에 의해 결정된 블록 조합 계수 $\lambda_{i,j}$ 와 2차원 다각형 경계 점을 이용하면 수식(2),(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.

위와 같은 과정으로 편집 영역은 4개의 모서리를 가진 다각형에 매핑 된다. 그리고 4개의 모서리를 가진 사각형의 매핑영역을 사용하는 것은 근사를 위해 적용될 B-스플라인의 제어점을 쉽게 찾아 낼 수 있기 때문이다. 그리고 편집 영역 경계에 있는 점들은 4각형 매핑영역 모서리에 일대 일 대응하는 점으로 바뀌게 된다.

4. 편집

4.1 편집 영역 선택

구현한 편집기에서는 편집 영역을 선택하기 위해서 편집 영역을 모두 포함하는 가장 바깥쪽에 위치한 점들을 일정한 방향으로 진행하면서 선택한다. 이 같은 방법은 둘러싸고 있는 경계 점 내부에 존재하는 점들을 쉽게 찾을 수 있을 뿐 아니라 다양한

형태의 편집 영역을 선택적으로 설정할 수 있는 장점이 있다.

4.2 편집 정보

본 논문에서는 메쉬의 점들을 편집하기 위해서 2가지 방법을 사용한다. 첫 번째는 편집할 점들의 변경될 변위를 메뉴에서 지정하고 갱신하는 방법과 두 번째는 편집할 점들을 하나씩 드래그(drag)하여 점들의 위치를 변경한 후 갱신하는 방법이다. 첫 번째 방법은 변위를 독립적으로 지정은 할 수 있으나 본 편집기에서는 글로벌 좌표를 사용하기 때문에 사용자가 편집 정점의 정보를 미리 알고 있어야 한다. 두 번째 방법은 대화형 방식을 사용하기 때문에 사용자가 메쉬의 편집할 위치를 직관적으로 확인 할 수 있다. 이러한 직접 조정 방식의 편집은 다양한 편집 정보를 메쉬에 바로 반영 할 수 있는 장점을 가진다.

5. 곡면 근사화와 다단계 제어

5.1 B-스플라인 근사화

선택 영역에 해당되는 점 $\{P_c\}$ 의 위치 변경으로 변위 $\{\Delta x_c, \Delta y_c, \Delta z_c\}$ 를 얻게 된다. 그리고 이를 이용하여 B-스플라인 보간 함수의 제어점을 결정할 수 있는데 여러 개 존재할 수 있는 제어점의 값의 범위를 최소한 줄이기 위해서 최소제곱방법[4]을 사용한다. 이렇게 결정된 B-스플라인 함수를 이용하면 평면 다각형 안에 있는 모든 점들에 대한 이동 변위까지도 결정할 수 있다. 수식(4)는 B-스플라인 근사 함수이다.

$$f(u, v) = \sum_{i=0}^3 \sum_{j=0}^3 \Phi_{ij} B_i(u) B_j(v) \quad (4)$$

이때, $0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$ 이고, B_i 와 B_j 는 B-스플라인의 혼합 함수이며, 제어점은 $\Phi_{ij} = (x, y, z)$, $i=0, .3, j=0, .3$ 이다.

5.2 다단계 B-스플라인 근사화

다양하게 편집된 3차원 메쉬 결과를 만들기 위해서 최소한의 4 x 4 제어 격자의 수를 계층적으로 늘리게 되면 메쉬의 모양을 단계적으로 제어할 수 있다. 이것은 다단계 B-스플라인 보간을 통해 다각형

D안에 있는 점들에게 영향을 미칠 영역을 계층적으로 구분하고 그 결과 메쉬의 형태를 다양하게 조절할 수 있게 된다.

매핑 다각형 D에 계층적으로 생성될 제어 격자의 단계를 $\Phi_0, \Phi_1, \dots, \Phi_h$ 라고 하자. Φ_0 의 제어 격자는 $(m+3) \times (m+3)$, $m=1$ 이고 다음 단계 Φ_1 의 격자는 Φ_0 가 가지고 있는 격자와 격자간에 차지하는 공간 중간에 새로운 격자를 추가 생성시킴으로서 결정된다. 이때 Φ_k 는 $(2m_k+3) \times (2m_k+3)$ 의 제어 격자를 가지게 된다. 이때 m_k 는 각 단계를 말한다.

단계를 조정하여 제어 격자의 수를 줄이게 될 경우, 제어 격자의 간격은 넓고 격자 안에 영향을 받게 되는 점들도 많아져서 완만한 형태의 곡면을 만든다. 한편, 제어 격자를 계속적으로 추가시켜 제어 격자의 간격을 조밀하게 짜여지게 하면 제어점에 의해 영향을 받는 영역은 줄어들고 세분화 된 제어 격자 안에 놓이게 될 점들은 상대적으로 적어지게 된다. 그러면 점점 더 뾰족한 형태를 만들 수 있게 된다.

6. 개발 환경 및 처리 결과

3차원 메쉬 편집 결과를 위해 Microsoft Visual C++ 6.0을 기반인 메쉬 편집기를 구현하였고, 3차원 그래픽 라이브러리 OpenGL 1.1을 사용하고 있다. 다양한 실험 결과를 보여주기 위해 사용된 3D 모델은 <http://www.3dcafe.com> 웹사이트에서 제공하고 있는 공개 데이터를 이용하였다.

그림 2는 (a)초기 모델을 다단계 제어하기 위해서 제어 격자의 간격을 달리하여 변화된 모델들을 보여주고 있다. (b)는 모델의 정수리부분을 제어하기 위해 제어 격자의 간격 단계가 3인 경우이며, (c)는 단계가 4인 경우이다. 그림 2의 (d),(e)는 모델의 귀를 단계 2, 단계 4로 제어한 결과이다.

그림 3은 제어 격자의 영향을 받게 될 범위에 따라 다양하게 나타나는 곡면의 형태를 보여주고 있다. 그림 3의 (a)는 그림 2의 (b)와 같이 단계 3으로 제어 할 때, x,y,z축에 대해 나타나는 변위를 곡면으로 보여주고 있다. 그림 3의 (b)는 단계 4로 제어한 그림 2의 (c)에 대한 변위 곡면으로서 단계 3으로 제어한 변위 곡면보다 영향을 받는 범위가 상대적으로 좁아져서 더 뾰족한 모양을 나타내고 있다. 그림 3의 (c)는 단계 2로 제어한 그림 2의 (d)에 대한 변

위 곡면이며, 그림 3의 (d)는 단계 4로 제어한 그림 2의 (e)의 변위 곡면이다. 단계가 높아질수록 영향을 미치는 범위는 좁아지고 점점 더 뾰족한 형태를 보여 주고 있다.

7. 결론 및 향후 연구

이 논문에서는 편집 결과의 질을 향상시키면서 편집 결과가 다양하게 표현시킬 수 있는 편집기를 구현하고 있다. 이러한 편집 기술을 가진 편집기에서는 원래 메쉬가 가지고 있는 모양을 그대로 유지하면서 매핑하기 위해 Floater가 제시한 모양 유지 매개 변수화 방법과 메쉬의 형태를 계층적으로 제어하기 위해 다단계 B-스플라인을 사용하고 있다. 그리고 향후 연구로는 임의의 점을 선택 편집할 때, 편집 점들간의 범위가 지나치게 넓어 질 경우, 결과 메쉬에 새로운 점을 추가시켜서 보다 자연스럽게 부드러운 결과를 표현할 수 있도록 해준다.

'99, 18(3), 1999.
 [2] M. Eck, T. DeRose, T. Duchamp, H. Hoppe, M. Lounsbery and W. Stuetzle, "Multiresolution analysis of arbitrary meshes," ACM Computer Graphics (Proc. of SIGGRAPH '95), 1995
 [3] M. S. Floater, "Parametrization and smooth approximation of surface," Computer Aided Geometric Design, 14, pp.231-250, 1997.
 [4] 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.
 [5] W. T. Tutte, "Convex representations of graphs," Proc. London Math. Soc, 10, pp.304-320, 1960.
 [6] W. T. Tutte, "How to draw a graph," Proc. London Math. Soc, 13, pp.743-768, 1963.

참고문헌

[1] S. Lee, "Interactive Multiresolution Editing of Arbitrary Meshes," Proc. EUROGRAPHICS



그림 2 : 다단계 제어를 통해 나타난 다양한 편집 결과

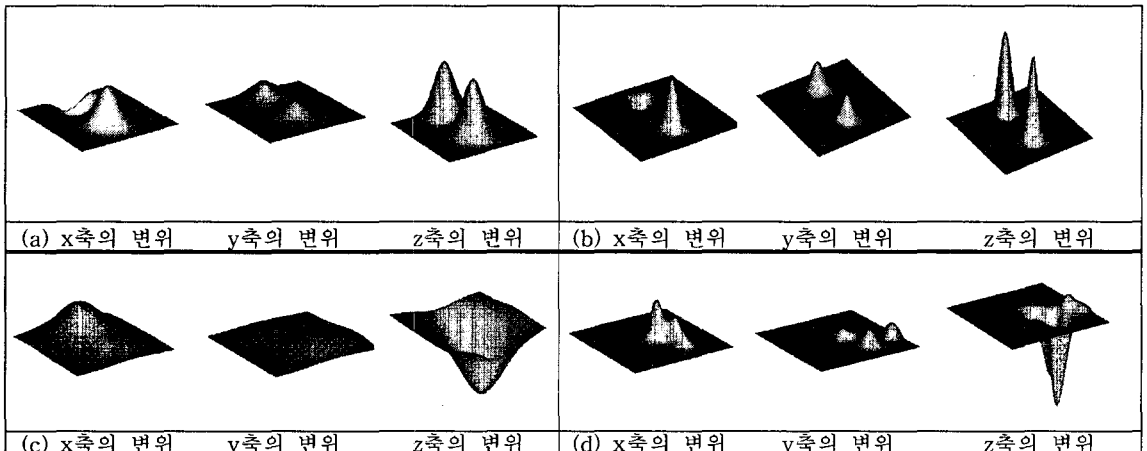


그림 3 : 편집 결과에 대한 x, y, z축 주변 곡면에 영향을 미치는 정도