

햅틱장비를 이용한 표면모델의 조작 연구

임아영, 이선민, 최유주, 김명희
이화여자대학교 컴퓨터학과

e-mail:{myzzing, blue, choirina, mhkim}@ewha.ac.kr

A Study on Manipulating of the Surface Model using the Haptic Device

Ah-Young Lim, Seon-Min Rhee, Yoo-Joo Choi,
Myoung-Hee Kim
Dept. of Computer Science & Engineering,
Ewha Womans University

요약

가상현실 기술이 발달함에 따라 사용자들은 더 현실적이고 사실적인 느낌을 요구한다. 이런 요구를 충족시키고자 여러 기술이 발전해왔는데, 햅틱 기술도 그 중 하나이며, 조각, 디자인, 오락, 의료 등 다양한 분야에서 햅틱 기술을 채택하고 적용하는 추세이다. 이렇게 다양한 분야에서 햅틱 렌더링을 위해 사용하는 모델로는 표면모델이 가장 널리 사용된다.

본 논문에서는 햅틱 장비를 사용하여 다양한 분야에서 가장 많이 사용되는 삼각형 메쉬들로 구성된 표면 모델을 조작하는 실험 및 연구를 진행하였다. 햅틱 렌더링을 위해 필요한 방법들과 시스템의 속도향상을 위한 방법들도 제시한다.

1. 서론

지난 몇 년간 의료분야에서 컴퓨터 기술과 가상 현실 기술에 대한 관심이 계속해서 높아져 왔다. 특히 의료교육, 수술훈련 및 수술계획 등에 이런 기술을 응용하려는 노력이 많이 시도되었다. 이런 노력과 함께 의료 시뮬레이션을 위해서 사용되는 컴퓨터 그래픽스나 하드웨어들도 많은 발전을 거듭해왔다. 그 중에서 햅틱 장비도 많은 변화를 겪어왔다. 햅틱 장비는 사용자가 가상객체와 상호 작용하여 그것을 만지고 느낄 수 있게 해준다. 이 햅틱 장비는 사용자에게 촉감을 준다는 점 때문에 점점 더 많은

응용분야에서 활용되고있는 추세이고, 햅틱 렌더링에 대한 연구도 활발히 진행되고 있다[1][2].

기존의 2D 혹은 3D 마우스를 이용할 때에는 삼차원 객체에 대한 조작은 가능하지만 힘을 직접 느낄 수 없어서 현실감이 부족하다는 단점이 있었다. 그러나 햅틱 장비를 도입함으로써 시뮬레이션에 참여하는 사용자에게 좀 더 사실적인 느낌을 전달할 수 있고, 몰입할 수 있게 되었다.

햅틱 장비를 의료분야에 적용한 연구들에서는 햅틱 장비를 사용하여 변형 가능한 소프트 티슈 모델을 사용하여 현실감 있는 수술 시뮬레이션을 할 수 있는 연구가 진행되어 왔다[3][4]. 이와 더불어 수련의의 수술 훈련을 위한 내시경 수술 시뮬레이션에 대한 연구와 비침습적 복강경 시술에 대한 연구도 진행되어왔다[5].

삼각형 메쉬로 구성된 표면모델은 다른 모델에 비해 계산량이 적고 실행 속도가 빠르기 때문에, 다

* 본 연구는 한국과학재단 가상현실연구센터 지원사업, 정보통신부 대학정보통신연구센터(ITRC) 지원사업, 과학기술부 국가지정연구실(NRL) 사업에 의해 부분적으로 지원 받았습니다

양한 분야에서 가장 많이 활용되고 있다. 이에 본 논문은 햅틱 장비를 이용해서 가장 활용도가 높은 삼각형 메쉬로 구성된 표면모델에 대한 조작에 관한 실험 및 연구를 진행하였다.

2. 표면모델의 역감 구현을 위한 기본 테스트

본 논문에서 사용한 표면모델은 삼각형 메쉬 모델이므로, 이 모델을 인식하기 위한 기본 프로세스가 필요하다. 우선 시스템은 햅틱 장비의 끝점의 현재 위치를 인식한다. 그런 후, 가상 객체를 둘러싸는 가장 작은 육면체(Bounding Box)를 만들고, 영역을 분할하여 각 영역에 속하는 삼각형들을 영역별로 저장한다. 시스템에 의해 인식된 햅틱 장비의 끝점의 현재 위치를 포함하는 영역에 저장된 삼각형들에 대해서 평면 테스트 및 삼각형 내부 테스트를 수행한다. 이렇게 해서 햅틱 장비의 끝점의 현재 위치와 가상 객체가 충돌했다는 것이 확인되면, 충돌한 삼각형에 힘을 적용하여 표면 역감을 구현한다.

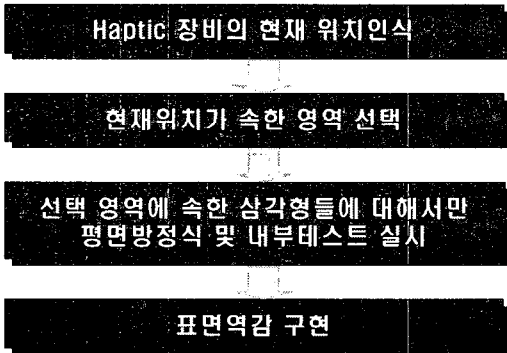


그림 1. 표면역감 구현 프로세스

본 장에서는 삼각형 메쉬 표면 모델에 대한 표면 역감을 구현하기 위해 기본적으로 사용한 2가지 테스트들-평면 테스트 및 삼각형 내부 테스트-과 계산량을 줄이기 위한 방법을 보여준다.

2.1 속도향상을 위한 영역분할 및 영역선택

햅틱 장비의 끝점의 위치가 변할 때마다, 표면모델을 구성하는 삼각형들의 계산이 필요하다. 이것은 삼각형의 개수가 시스템의 성능과 밀접한 관계를 갖는다는 것을 보여준다. 계산해야할 삼각형의 개수를 줄인다면 계산시간을 줄이고 성능을 향상시킬 수 있

을 것이다.

계산할 삼각형의 개수를 줄이기 위해서 영역분할을 하여 햅틱 장비의 현재위치와 가까운 곳에 있는 삼각형들을 우선 계산해야 할 대상으로 결정하였다. 이것을 위해 표면모델을 둘러싸는 가장 작은 육면체(Bounding Box)를 결정한 후, 이것을 16개의 영역으로 분할하였다.

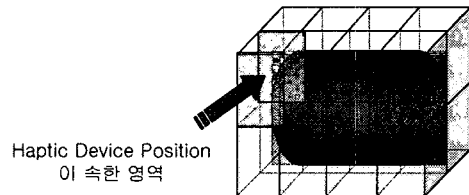


그림 3. Bounding Box의 영역분할

16개의 영역으로 분할한 후, 현재의 햅틱 장비의 끝점 위치를 인식하여 그 위치가 어느 영역에 속하는지를 결정하고 이 위치와 같은 영역에 속하는 삼각형들을 찾아서 햅틱 장비의 끝점이 같은 영역에 있는 삼각형들에 닿았는지를 체크한다.

2.2 평면 테스트

햅틱 장비를 사용하여 삼각형 표면모델을 인식하기 위해서는 우선 햅틱 장비의 끝점이 이 모델에 닿았는지를 알아야한다. 자세히 살펴보면, 이 모델은 작은 여러 개의 삼각형으로 이루어져 있는 것이므로 햅틱 장비의 끝점이 이 모델을 이루는 하나의 작은 삼각형의 평면에 닿았는지를 알아야 한다. 이것을 위해서 우선 평면 테스트를 한다.

평면 테스트는 각 삼각형의 surface normal vector를 필요로 한다. 각 삼각형을 이루는 3개의 vertex들을 이용하여 이 삼각형에 수직인 surface normal vector를 구한다. 그 다음 이 삼각형을 포함하고, normal vector에 수직인 평면을 구할 수 있다.

normal vector를 \vec{h} 라 하면,

$$\vec{h} = (a, b, c) \quad (1)$$

이 삼각형을 이루는 세 점 중 한 점을 $\vec{v1}$ 이라 하면 $\vec{v1} = (x, y, z)$ 이고, \vec{h} 와 $\vec{v1}$ 을 이용하여 이 삼각

형의 세 점과 햅틱 장비의 끝점 (x_0, y_0, z_0) 을 포함하는 평면의 방정식을 구할 수 있다.

$$a(x-x_0)+b(y-y_0)+c(z-z_0) = 0 \quad (2)$$

2.3 삼각형 내부 테스트

평면테스트를 통해 햅틱 장비의 끝점이 한 삼각형의 평면 위에 있다는 것을 알았다고 했을 때, 여전히 남아있는 한 가지 문제점은 이 평면은 무한하다는 것이다. 이 평면이 무한하기 때문에, 햅틱 장비가 닿은 곳은 삼각형을 포함하는 평면이기는 하지만 삼각형의 외부일 수 있다.

본 절에서는 세 점을 포함하는 무한한 평면에서 햅틱 장비의 끝점이 삼각형의 내부에 닿았는지를 정확히 인식하기 위한 삼각형 내부 테스트를 한다.

삼각형 내부 테스트는 이차원 평면상에서 이루어진다. 따라서 내부 테스트를 하기에 앞서 삼각형의 세 점과 햅틱 장비의 끝점을 이차원 평면상에 옮겨 놓기 위한 평행투영을 한다. 평행 투영시 삼차원 좌표 상에서 삼각형의 내부에 있던 점은 투영 후에도 삼각형의 내부에 존재하게 되기 때문이다. 이 때, 투영 방향을 제대로 선택해야 한다. 투영 방향을 제대로 선택하면 삼차원 좌표 상의 삼각형이 이차원 좌표 상에서 면으로 나타나지만, 투영 방향을 잘못 선택하게 되면 삼각형의 면이 이차원 좌표 상에서 선으로 나타나기도 한다. 이렇게 되면 삼각형 내부 테스트 시 정확한 판정을 할 수 없다. 투영 방향을 제대로 선택하기 위해서는 이 삼각형의 surface normal vector에서 크기가 가장 큰 좌표축으로 투영을 해야한다.

이차원 평면으로 평행투영을 시킨 후에는, 햅틱 장비의 끝점의 위치와 삼각형의 각 점을 연결하여 만든 하위삼각형을 이용해서, 햅틱 장비의 끝점의 위치가 삼각형의 내부에 있는지 외부에 있는지 판별한다. <그림 2.1>에서 보는 바와 같이 삼각형의 세 점이 반시계 방향으로 놓여 있고 햅틱 장비의 위치가 P라 할 때, 삼각형의 임의의 두 점과 P를 연결해서 만들어진 하위삼각형 각각의 꼭지점의 방향이 반시계 방향이면 점 P가 삼각형의 내부에 있는 것이고, 하나의 하위 삼각형이라도 꼭지점의 방향이 시계 방향이 되면 점 P는 삼각형의 외부에 있는 것이다. 즉, <그림 2>의 (a)에서 삼각형 ABP, BCP, CAP는 모두 꼭지점의 방향이 반시계 방향이므로

점 P는 삼각형 ABC의 내부에 있다. 반면, (b)에서는 삼각형 BCP, CAP는 꼭지점의 방향이 반시계 방향이지만, ABP는 시계 방향이므로 점 P는 삼각형 ABC의 외부에 있다. 만약 삼각형의 세 점 A, B, C가 시계 방향으로 놓여 있었다면, 하위삼각형 중 하나라도 꼭지점의 방향이 반시계 방향일 때 점 P가 외부에 있는 경우가 된다.

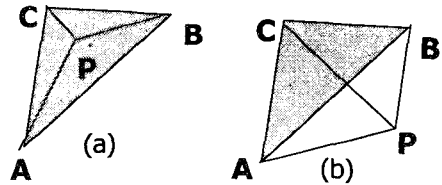


그림 2. (a) 삼각형의 내부 (b) 삼각형의 외부

3. 표면모델의 역감구현

햅틱 장비의 끝점의 위치를 인식하고 가상객체와의 충돌여부가 확인되면, 다음으로는 표면역감을 구현해야한다. 만약, 햅틱 장비의 끝점과 가상객체가 충돌했다면 적절한 힘을 주어야 하고, 만약 충돌하지 않았다면 힘을 0으로 준다. 이것을 위해 기본적인 역감구현 알고리즘을 사용한다.

$$F = K(x - x_m) - b \dot{x}_m \quad (3)$$

여기서 F는 햅틱 장비에 의해 사용자에게 전달되는 힘이고, K는 가상객체의 stiffness, b는 가상환경의 damping 상수이다. x는 햅틱 장비의 끝점의 현재위치이고, x_m 은 가상객체의 점의 위치이다. \dot{x}_m 은

x_m 의 미분값으로 점의 속도를 나타낸다. 속도가 느릴 때 힘을 더 크게 느끼게 된다.

force를 적용한 후에는 햅틱 장비를 사용하여 재체를 인식할 수 있게 되고, 또 조작성이 가능해진다.

4. 실험환경 및 실험결과

본 실험에서는 표면역감을 구현하기 위한 장비로 SensAble Technologies Inc. 의 PHANTOM Premium 1.0을 사용하였고, 그래픽 렌더링을 위해서 펜티엄 PC와 Windows NT를 이용하였다.

PHANToM의 stylus pen은 햅틱 장비의 끝점의 위치로 인식된다. (a)는 햅틱 장비로 조작하기 전이고, (b)는 조작한 후의 모습이다.

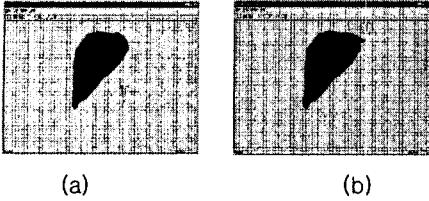


그림 4. (a) 당김조작 전, (b) 당김조작 후 도구를 사용한 대상모델의 당김조작

5. 결론 및 향후연구

가상현실 기술의 발달과 함께 현실감과 몰입감을 증폭시키고자 하는 요구가 높아져 왔다. 이런 요구를 충족시키려는 노력은 햅틱 기술의 발달과 적극적인 활용으로 이어지고 있다. 조각, 디자인, 건축, 의료 등 다양한 분야에서 햅틱 기술을 채택하고 적용하는 추세이다.

본 논문에서도 이런 중요한 역할을 하는 햅틱 기술을 가상 모델에 적용하는 연구를 해보았다. 모델로는 다양한 분야에서 가장 많이 활용되고 있는 삼각형 메쉬 표면 모델을 사용하였다. 여러 분야에서 햅틱 장비를 사용하여 삼각형 메쉬 표면 모델을 조작하기 위한 방법들과 계산량이 많은 햅틱 렌더링에서 속도를 향상시키기 위한 방법을 제시하였다.

앞으로의 연구에서는 이 가상 객체에 더 다양한 조작을 해 볼 수 있을 것이고, 가상객체의 물리적 특성을 반영하여 더 사실적이고 현실감 있는 힘을 적용할 수 있을 것이다. 또한 객체 자체의 사실감을 높이기 위해 텍스처 매핑을 적용해 볼 수 있다.

참고문헌

- [1] C. Basdogan, M. A. Srinivasan "Haptic Rendering in Virtual Environment" *Virtual Environments Handbook*, K. Stanney Ed., 2001
[Online] <http://www.eis.jpl.nasa.gov/~basdogan>
- [2] D. C. Ruspini, K. Kolarov, O. Khatib "The Haptic Display of Complex Graphical Environments" *Proceedings of the Computer*

Graphics, 1997

- [3] Herve Delingette "Toward Realistic Soft Tissue Modeling in Medical Simulation" *Proceedings of the IEEE : Special Issue on Surgery Simulation*, p.512-523, April 1998
- [4] Stephane Cotin, Herve Delingette, Nicholas Ayache "A Hybrid Elastic Model allowing Real-Time Cutting, Deformations and Force-Feedback for Surgery Training and Simulation" *Visual Computer*, Vol 16, No 8, p.437-452, 2000
- [5] U. Kuehnafel, H.K. Cakmak, H. Maass "Endoscopic surgery training using virtual reality and deformable tissue simulation" *Computers & Graphics*, Vol 24, p671-682, 2000