

햅틱 워크벤치 상에서의 가상객체 조작

임아영¹, 박주영², 최유주¹, 김명희^{1,2}

이화여자대학교 컴퓨터학과¹

이화여자대학교 컴퓨터그래픽스/가상현실연구소²

{myzzing^o, sindy, yjchoi, smrhee, mhkim}@ewha.ac.kr

Handling Virtual Objects on Haptic Workbench

Ah-Young Lim^o, Joo-Young Park, Yoo-Joo Choi, Myoung-Hee Kim

Dept. of Computer Science & Engineering, Ewha Womans University

Center for Computer Graphics/Virtual Reality, Ewha Womans University

요 약

컴퓨터 가상현실 기술은 반복적인 교육과 훈련을 필요로 하는 의료 시뮬레이션 분야에 도입되어 시술 훈련, 수술 계획 및 수술 시뮬레이션 등의 영역에 응용되고 있다. 3차원적 가시화나 네비게이션에 치중하던 기존의 의료 시뮬레이션에 보다 현실감을 증진시키기 위해서는 인체 해부학적 기관의 변형성과 사용자와 대상 기관 사이의 물리적인 상호작용이 반영되어야 한다. 본 연구에서는 기존의 2차원 및 3차원 마우스만을 사용하던 상호작용 환경을 개선하여 시술 동작시 물리적인 역감을 전달받을 수 있는 햅틱 인터페이스를 도입하고, 보다 현실감 있는 시각적 디스플레이를 위해 햅틱 워크벤치를 사용하였다. 사용자의 햅틱 인터페이스 조작에 따른 가상 인체 기관의 물리적 변형 및 이에 따른 물리적 역감은 삼각매쉬를 이용한 매스-스프링 모델을 사용하여 구현하였고, 가상 시술 도구와 가상 인체 기관과의 빠른 충돌 감지를 위해서는 OBBTree를 적용하였다.

1. 서 론

의료 분야는 최첨단 가상 현실 기술의 활용 가능성 및 실효성이 매우 큰 분야이다. 의사들이 숙련된 의료 시술을 제공하기 위해서는 반복 훈련을 필요로 하지만, 실제 환자들을 대상으로 할 수 있는 훈련 기회는 매우 제한적이다. 반면 컴퓨터 상에서 가상의 인체 모델을 대상으로 하는 시술 시뮬레이션은 의사들이 의료 시술 과정을 경제적인 방법으로 반복 훈련 할 수 있는 환경을 제공하기 때문에 의료 시뮬레이션의 경제적이고 효과적인 수단이 될 수 있다.

그러나 기존의 의료 시술 시뮬레이션은 대부분 해부학적 구조의 기하학적 표현을 바탕으로 한 인체 내부 기관의 3차원적 가시화 및 네비게이션만을 제공하였다 [2][3]. 보다 현실감 있는 의료 시술 시뮬레이션을 위해서는 시술과정의 현실감 있는 가시화 뿐 아니라 시술 동작시 발생하는 물리적인 실시간 상호작용 또한 반영되어야 한다. 사용자는 가시화된 모델이 시각적으로는 조금 덜 실제적이라 하더라도 실시간 상호작용이 가능한 환경을 보다 더 현실감 있게 느낀다 [4]. 시술 시에 주로 일어

나는 상호작용은 시술 도구와 인체 기관간의 접촉과 이에 대한 인체 기관의 즉각적인 반응이다. 인체 대부분의 기관은 비강체(non-rigid object)이기 때문에 시술 도구와의 접촉에 의해서 그 형태가 변형될 수 있다. 따라서 시술 과정의 상호 작용을 현실감 있게 표현하기 위해서는 접촉감을 느낄 수 있게 하는 장비의 도입과 변형 가능한 인체 기관의 물리적 모델링이 필요하다.

본 연구에서는 가상 인체 모델의 수술 동작에 대한 시각 피드백 및 햅틱 피드백을 연동시켜 동시에 제공함으로써 의료 시술 시뮬레이션의 현실감을 증진시킬 수 있는 환경을 구현하였다. 인체 모델의 물리적 변형에 대한 역감을 사용자에게 전달할 수 있도록 하기 위해서 햅틱 인터페이스를 사용하였고, 햅틱 인터페이스에 의한 사용자의 시술 동작과 모니터 화면상의 인체 모델 변형을 동시에 볼 수 있도록 하기 위해서 햅틱 워크벤치를 사용하였다. 인체 모델은 매스-스프링 모델에 의해 표현하였고, 인체 모델에 대한 빠른 충돌 감지를 위해서는 OBBTree를 사용하였다.

2. 시각/햅틱 피드백 연동 시스템 구조

본 연구에서 구현한 시각 및 햅틱 피드백 연동 시술 시뮬레이션 시스템은 햅틱 인터페이스, 시각 인터페이스, 그리고 햅틱 및 시각 인터페이스 제어기의 세 부분으로 구

* 본 연구는 한국 과학재단 우수연구센터(ERC) 지원사업, 정보통신부 대학정보통신연구소(ITRC) 지원사업, 과학기술부 국가 지정연구실(NRL) 사업에 의해 부분적으로 지원 받았음.

성된다(그림 1). 햅틱 인터페이스는 사용자에게 촉감을 전달해주는 장비로, 사용자는 햅틱 인터페이스를 통해 가상 객체를 움직이거나 변형시킬 수 있으며, 역으로 대상 객체에 의해 발생한 물리적 역감을 느낄 수 있다. 시각 인터페이스는 사용자 조작에 의한 가상 객체의 물리적 반응을 가시적으로 디스플레이 한다.

시각 및 햅틱 인터페이스 제어 모듈은 사용자에게 의해 입력 받은 정보를 처리하여 시각 인터페이스와 햅틱 인터페이스에 전달해 주는 역할을 한다. 햅틱 인터페이스가 햅틱 장비의 물리적 위치 및 방향을 제어 모듈에 전달하면, 제어 모듈에서는 입력 받은 위치와 가상 공간 상에서의 위치를 일치시켜 가상 객체와의 충돌여부를 검사한다. 만약 충돌이 감지되면 입력 받은 힘의 크기에 대응하는 정도로 대상 객체의 형태를 변형한다. 변형 정보는 햅틱 인터페이스에는 역감으로, 시각 인터페이스에는 가시적으로 각각 피드백 된다.

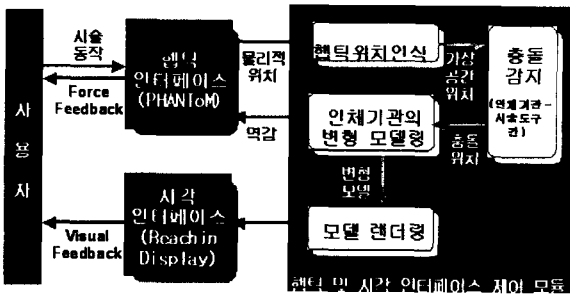


그림 1. 시각/햅틱 피드백 연동 시스템 구성

3. 햅틱 워크벤치 상에서의 시각적 디스플레이

시각적 디스플레이는 가상 환경에서의 사람과 컴퓨터 상호작용에 있어서 가장 중요한 요소이다. 그러나 기존의 모니터를 시각 인터페이스로 사용하면, 의사들이 정면에 위치한 모니터상의 수술 대상 객체와 모니터 옆에 놓인 햅틱 장비를 번갈아 보면서 시술 시뮬레이션을 수행해야 하기 때문에 실제 수술시의 현실감을 떨어뜨리는 요인이 된다.

따라서, 본 연구에서는 시술자가 햅틱 인터페이스에 의한 시술 동작과 모니터 화면상의 가상 인체 모델 움직임을 동시에 볼 수 있도록 하기 위하여 햅틱 워크벤치를 사용하였다. 햅틱 워크벤치는 CRT 스테레오 모니터를 앞으로 기울여 수평으로 놓인 반투명 유리 위에 화면을 투영시키고 반투명 유리 아래에 햅틱 인터페이스를 위치시킴으로써 시각 피드백과 햅틱 피드백을 연동할 수 있게 한다(그림 3).

4. 햅틱 인터페이스를 이용한 촉각적 디스플레이

햅틱 인터페이스를 이용한 물리적 상호작용에서 중요한 두 가지 요소는 충돌 감지(collision detection)와 충돌 반응(collision response)이다. 충돌 감지는 햅틱 프로브

(probe-본 연구에서는 햅틱 장비의 스타일러스에 해당)의 단말점과 가상 객체 사이의 충돌 여부를 감지하는 것이고, 충돌 반응은 충돌에 따른 가상 객체의 변형과 사용자에게 전달될 힘을 계산하기 위한 것이다.

4.1 충돌 감지

수술 시뮬레이션에서 사용자에게 자연스러운 역감 피드백이 전달되기 위해서는 빠른 충돌 감지 방법이 요구된다. 따라서, 본 연구에서는 충돌 감지 방법으로 바운딩 박스를 계층적으로 표현한 OBBTree를 사용하였다. OBB(Oriented Bounding Box)는 3차원 공간상에서 임의의 방향을 갖는 사각형 바운딩 박스이고, OBB를 계층적인 구조로 표현한 것이 OBBTree이다. OBBTree는 실행 전에 미리 만들어 데이터로 저장해두기 때문에 시뮬레이션 실행 시에 충돌 여부를 검사하는 시간을 감소시킬 수 있다.

OBBTree를 구축하기 위해서는 첫째, 가상 인체 모델의 구성 삼각메쉬들을 둘러싸는 최소의 OBB를 만들고, 둘째, 내포된 OBB를 그룹화하여 top-down 방식으로 트리 구조를 만든다. 가상 인체 모델과 가상 수술 도구에 대한 OBBTree들이 주어지면, 충돌 알고리즘은 OBB들 사이의 오버랩 발생 여부를 테스트하여 충돌을 감지한다.

4.2 충돌 반응

수술 시뮬레이션에서는 시술 과정에서 일어나는 가시적이고 촉각적인 상호작용을 직관적으로 제공해야 하기 때문에 가상 인체 모델의 실시간 변형이 매우 중요하다. 따라서, 본 연구에서 인체 기관의 물리적 변형은 정확성이 다소 부족하지만 상대적으로 빠르게 시뮬레이션 할 수 있는 매스-스프링 모델을 사용하였다.

매스-스프링 모델에서 노드 i의 움직임은 라그랑제 운동 방정식에 의해 제어된다.

$$m_i \ddot{x}_i + \gamma_i \dot{x}_i + k_i x_i = f_i + g_i$$

여기에서 $x_i, \dot{x}_i, \ddot{x}_i$ 는 노드 i에서의 위치, 속도, 가속도를 나타내고, m_i, γ_i, k_i 는 노드 i에서의 매스값, 감쇠 상수, 스프링 상수를 표현한다. g_i 는 스프링을 통해 노드 i에 연결된 다른 노드들에 의해 노드 i에 적용되는 힘(내력)을 나타내며, f_i 는 노드 i에 주어지는 외부힘(외력)이다.

외력은 사용자에게 의해서 햅틱 인터페이스를 통해 전달되는 힘으로 뉴턴의 법칙을 적용하여, 햅틱 장비 단말점의 이동 속도 및 가속도에 의해 계산한다. 햅틱 장비 단말점의 이전 위치와 현재 위치의 차이로 속도를 계산하고, 이전 속도와 현재 속도의 차이로 가속도를 계산하여, f=ma 식에 대입하여 외력을 구한다.

내력은 스프링의 특성값과 감쇠성에 의해 노드에 적용되는 힘으로, 초기값은 0이고 노드의 위치가 변경될 때 발생한다. 스프링을 통해 연결된 두 노드에 작용하는 힘은 후크의 법칙(Hooke's law)을 따른다. 스프링을 통해 연결된 두 노드 a와 b에서의 위치를 각각 x_a, x_b 라 하고,

속도를 각각 v_a, v_b 라 하면, 각 노드에 적용되는 내력 g_a, g_b 는 식3, 식4와 같다. 이 때, k_s, k_d 는 각각 스프링 상수값(stiffness constant)과 감쇠 상수값(damping constant)이고, $\Delta x = x_a - x_b$ 는 두 노드 위치 사이의 거리이며, $\Delta v = v_a - v_b$ 는 두 노드 속도의 차이이다.

$$f_{internal} = g_i$$

$$g_a = - \left[k_s (|\Delta x| - r) + k_d \left(\frac{\Delta v \cdot \Delta x}{|\Delta x|} \right) \right] \frac{\Delta x}{|\Delta x|}$$

$$g_b = -g_a$$

5. 구현 환경 및 구현 결과

본 연구에서는 햅틱 인터페이스로 SensAble Technologies의 Phantom premium 1.0(그림 2)을 사용하였고, 햅틱 워크벤치로는 Reachin사의 Reachin Developer Display(그림 3)를 사용하였다. 시각 및 햅틱 인터페이스 제어기는 C++, OpenGL, GHOST 라이브러리, Rapid 라이브러리를 사용하여 구현하였다.



그림 2. Phantom 1.0



그림 3. Reachin Display

본 연구에서 구현한 시스템을 사용하여 인체 내부 기관 중 간과 위를 대상으로 간단한 실험을 수행하였다. 의료 기술 시뮬레이션을 수행할 도구는 핀셋 모델을 사용하였고 대상 기관에 대한 간단한 조작은 핀셋 모델이 기능할 수 있는 누름 및 당김 동작으로 제한하여 수행하였다. 그림 4는 텍스처 매핑한 간 모델에 대해 누름 동작을 수행한 예이고, 그림 5는 텍스처 매핑한 위 모델에 대해 누름 동작을 수행한 예이다. 다음 그림 6은 햅틱 워크벤치 상에서 의료 시뮬레이션을 수행한 예이다.

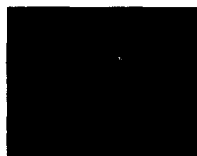


그림 4. 간 모델에 대한 누름 동작 수행 예



그림 5. 위 모델에 대한 누름 동작 수행 예

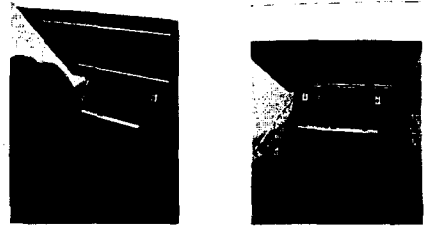


그림 6. 햅틱 워크벤치 상에서 시뮬레이션 수행 예

6. 결론 및 향후 연구

본 연구에서는 다중 감각을 사용하여 간단한 의료 기술 시뮬레이션을 수행할 수 있는 환경을 구현해 보았다. 이를 위해 시각 인터페이스(햅틱 워크벤치-Reachin Display)와 햅틱 인터페이스(PHANTOM)를 사용하였고, 이 두 인터페이스를 연동시켜 주기 위한 햅틱 및 시각 인터페이스 제어 모듈에서는 충돌 감지 방법으로 OBBTree 방법을 사용하고, 충돌반응(모델 변형 및 force feedback)을 위해서 매스-스프링 모델을 사용하여 실시간 변형이 가능하도록 하였다.

본 연구에서는 현재 누름 및 당김 동작만을 제공하는 핀셋 모양의 의료 도구를 사용하였지만, 향후에는 이외에 다른 의료 도구들(가위, 바늘, 칼 등)을 모델링 하여 의료 시뮬레이션 시 다양한 대상 인체 기관 모델(심장, 폐, 신장 등 내부 장기)에 대해 보다 다양한 기술 동작(절개, 봉합 등)을 시뮬레이션 할 수 있게 할 예정이다. 또한, 현재 한 손만을 사용하는 햅틱 인터페이스 환경을 양손을 사용하는 환경으로 개선하여 실제 기술 환경과 보다 유사한 환경을 구현할 것이다.

참고문헌

- [1] "What's VR? (가상 현실이란)", http://tedar.kookmin.ac.kr/vr/vr_frame.htm, 국민대학교 테크노디자인 전문대학원 건축전공
- [2] Herve Dellinger, "Toward Realistic Soft-Tissue Modeling in Medical Simulation", Proceedings of the IEEE, Vol. 86, No. 3, March, 1986
- [3] R. Satava, "Medical Virtual Reality: The current status of the future", 4th Conf. Medicine Meets Virtual Reality(MMVR 4), San Diego, CA, 1996, pp 100-106
- [4] Yagel R., Stredney D., Wiet G.J., Schmalbrock P., Rosenberg L., Sessanna D.J., Kurzion Y., King S., "Multisensory Platform for Surgical Simulation", in Proc. IEEE Virtual Reality Annual Int. Symp., pp. 72-78, 1996
- [5] Nesbitt K., Gallimore R., Orenstein B., "Using Force Feedback for Multi-sensory Display", Proceedings of the 2nd Australasian conference on User interface, January 2001
- [6] Nesbitt K., Orenstein B., "Multisensory Metaphors and Virtual Environments applied to Technical Analysis of Financial Markets", Proceedings of the Advanced Investment Technology, 1999. pp 195-205