

햅틱 컨트롤러를 이용한 매복 사랑니 발치 수술 시뮬레이션

윤상연, 성수경, 신병석
인하대학교 전기컴퓨터공학과
sangyeunyoon@inha.edu, rebirth87@inha.edu, bsshin@inha.ac.kr

Impacted Wisdom Tooth Extraction Simulation using Haptic Controllers

Sang-Yeun Yoon, Su-Kyung Sung, Byeong-Seok Shin
Department of Electrical and Computer Engineering, Inha University

요 약

이 논문에서는 변형 가능한 햅틱 컨트롤러와 포스 피드백 장치를 이용한 치과 수술 시뮬레이션 시스템을 제안한다. 이 시스템은 가상 환경에서 매복 사랑니 발치 수술을 수행하도록 설계되었다. 햅틱 하드웨어들은 신체와 수술도구의 상대적 위치를 계산하여 충돌여부를 파악하고 저항감과 진동감을 제공한다. 특히 길이 변화, 굽힘 발생과 같은 변형이 가능한 햅틱 컨트롤러는 사용하는 수술도구에 따라 느껴지는 촉감을 표현할 수 있다. 정교한 3 차원 모델로 구강내부와 치과용 수술도구를 표현한 후 햅틱 컨트롤러의 움직임과 버튼 클릭 등의 입력 값을 전달하는 모듈을 통해 가상 객체와 상호 작용하고 이에 대한 햅틱 피드백을 컨트롤러로 전달하여 사용자에게 현실적인 수술 경험을 제공한다.

1. 서론

외과수련의들에게 수술 훈련은 전문적인 수술 기법과 도구에 대한 숙련도를 높여 환자의 안전을 보장하고 수술 후 회복기간을 단축시키기 위해 필수적이다. 많은 수술 훈련 방법 중에서 수술 시뮬레이션은 모형을 이용하는 방법에 비해 장소와 시간에 구애받지 않고 여러 번 반복할 수 있다는 장점이 있다.

보다 현실적인 시뮬레이션을 위해 촉감과 역감(force feedback)을 표현하는 햅틱 장치를 이용하는 연구들이 진행되어 왔다. 햅틱 장치는 사용자에게 촉각 피드백을 제공하여 눈으로 보게 되는 가상 환경과 현실 사이의 이질감을 줄이는데 도움을 준다.

이 논문에서는 치과 수술 중 하나인 매복 사랑니 발치 수술을 훈련할 수 있는 시뮬레이션 시스템을 소개한다. 이 시뮬레이션 시스템에서는 사용자가 매복 사랑니 발치 수술에 사용되는 다양한 수술 도구들과 수술 중 신체부위와의 접촉에서 발생하는 감각을 느낄 수 있도록 포스 피드백 장치를 부착한 변형 가능한 햅틱 컨트롤러(MHC: Morphable Haptic Controller)를 사용한다. 기존 시뮬레이터는 수술도구의 종류에 따라 여러가지 장치를 사용해야하는 문제가 있었지만

MHC 는 도구의 형태에 따라 길이가 변하고 일정 각도 내에서 굽힘이 발생하여 단일 컨트롤러로 다양한 수술도구의 감각을 재현할 수 있다. 또한 수술 도구와 인체 모델과의 충돌시 발생하는 역감을 표현함으로써 수술 과정에 대한 현실적인 경험을 제공한다. 범용 그래픽 엔진인 유니티를 이용하여 매복 사랑니 발치 수술의 과정을 훈련하는 애플리케이션을 구현하였다.

2. 관련 연구

수술 시뮬레이션에 사용되는 햅틱 장치는 데스크톱 햅틱 장치와 웨어러블(wearable) 햅틱 장치로 구분할 수 있다. 책상 등에 햅틱 장치를 올려놓고 스타일러스 형태의 핸들을 잡고 움직이는 데스크톱 햅틱 장치와 달리 웨어러블 햅틱 장치는 햅틱 장갑[1]과 같이 손이나 손가락의 움직임을 직접 표현하여 가상 환경과 상호 작용할 수 있기 때문에 더 몰입감이 높다. 최근에는 탈착이 어려운 웨어러블 햅틱 장치를 사용하는 대신 HTC VIVE 컨트롤러와 같은 리모컨 형태의 햅틱 장치가 널리 사용되고 있다.

시뮬레이션의 몰입도를 높이기 위해 범용 햅틱 컨트롤러 대신 전용 햅틱 컨트롤러를 사용할 수 있도록 확장하는 방법들이 많이 연구되고 있다. 두 개의 햅

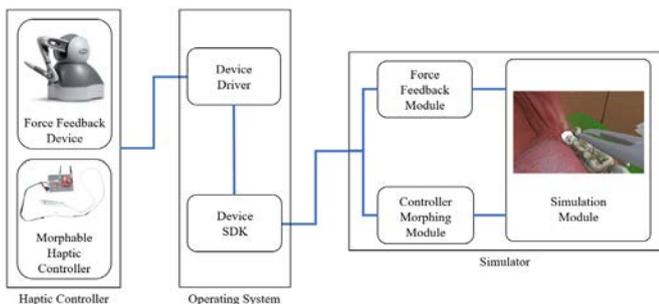
틱 장치와 페달을 사용하는 내시경 부비동 및 두개골 기저 질환 수술 훈련을 위한 시뮬레이션[2], 입체 안경을 착용했을 때 수술 과정을 3D 가상 환경에서 볼 수 있는 햅틱 장치를 이용한 크라운 치료 훈련[3] 등이 제안되었다. 본 연구진은 기존 연구인 정형외과 수술 시뮬레이션[4]에서 여러 수술 도구를 단일 장치로 표현하여 사용자가 하나의 장치로 다양한 운동감각과 촉각을 경험할 수 있는 방법을 제안하였다. 기존에 개발한 정형외과 시뮬레이터와 달리 이 논문에서 제안하는 것은 신체와 수술 도구간의 충돌 시 발생하는 역감을 사실적으로 표현할 수 있도록 했다.

3. 매복 사랑니 발치 수술 시뮬레이션

3.1 시스템 구성

이 연구에서는 햅틱 컨트롤러를 이용하여 매복 사랑니 발치 수술의 과정을 훈련할 수 있도록, 사용되는 수술 도구를 보여주고 그 사용방법을 재현하는 시뮬레이션 시스템을 구현하였다. 이 시스템은 사용자가 실제 수술 도구처럼 손에 쥐고 사용할 수 있는 햅틱 컨트롤러와 가상 환경 내의 수술 도구와 치아의 상호 작용을 제공하는 시뮬레이터로 구성되어 있다.

햅틱 컨트롤러는 사용자의 손 움직임에 의한 위치 변화, 버튼 클릭과 같은 입력 값을 시뮬레이터로 전달한다. 시뮬레이터는 이를 이용해 가상 환경 내의 수술 도구위치와 방향을 변경한다. 이때 수술도구와 치아가 충돌한 것으로 감지되면 햅틱 컨트롤러를 제어하여 저항감이나 진동과 같은 포스 피드백을 표현한다. 또한 시뮬레이터는 수술에 사용되는 도구의 형태에 따른 길이 변화, 굽힘과 같은 변형을 표현할 수 있다. 그림 1 은 이 연구에서 제안하는 가상 수술 시스템의 구성도를 보여준다.



(그림 1) 제안하는 시뮬레이션 시스템의 구성도.

3.2 햅틱 컨트롤러

제안하는 시스템에서는 사용자의 몰입감을 높이기 위해 포스 피드백을 제공하는 장치가 부착된 MHC 를 사용했다.

가상 객체와 햅틱 컨트롤러 사이의 포스 피드백을

위해 3D Systems 의 Touch 장치를 사용하였다. 이는 x, y, z, roll, pitch, yaw 의 6 자유도를 가지므로 3 차원 공간상의 위치와 3 방향 회전 감지 기능을 제공하며 x, y, z 의 3 축 자유도 포스 피드백을 제공한다. 시뮬레이터에서의 객체 사이 충돌로 인해 장치에 전달된 포스 피드백 신호는 장치의 모터를 작동시켜 사용자가 컨트롤러를 움직이는 동안 특정 방향으로 작용하는 힘을 느끼게 한다. 이를 이용하여 치아나 잇몸 등 매복 사랑니 발치 수술 시 객체들과 상호 작용하고 이를 통해 발생하는 마찰, 진동 등의 피드백을 경험할 수 있도록 한다.

MHC 의 길이 변형과 굽힘, 진동은 내장된 모터를 작동시켜 이루어진다. 시뮬레이터가 길이 변형 명령어를 보내면 햅틱 컨트롤러 내부의 모터로 하단의 길이 변형 모듈을 이동시켜 길이를 조정한다. 굽힘 명령어를 내리면 모터에 연결된 관절을 회전시켜 최대 90 도까지 각도를 바꿀 수 있다. 내장된 진동 모터는 지속 시간, 주파수, 세기가 포함된 명령어를 수신하여 특정한 진동을 발생시킨다. 이러한 기능들을 이용하여 수술 도구가 바뀔 때마다 그에 맞춰서 길이, 각도를 변형시킨다. 예를 들어, 치아 분리 과정에서 발생하는 이물질 흡입을 위한 도구인 흡인기를 모사할 때는 컨트롤러의 길이가 길어지며 굽힘이 발생하여 사용자가 흡인기의 형태를 실제처럼 느끼게 한다. 또 다른 예로, 치아 절삭을 위해 수술 도구를 드릴로 변경한 경우는 컨트롤러에 부착된 버튼을 누를 때 컨트롤러의 모터가 진동하여 사용자에게 실제 드릴과 동일한 운동감각을 제공한다.

3.3 시뮬레이터

제안된 시뮬레이터는 포스 피드백 장치와 MHC 를 제어하기 위한 모듈과 3D 모델을 이용하여 수술 과정을 재현하는 시뮬레이션 모듈로 구성되어 있다.

보다 현실적인 수술 시뮬레이션을 위해서는 가상 환경 내의 충돌로 인한 포스 피드백을 사용자가 조작하는 햅틱 컨트롤러에 전달하는 것이 필요하다. 이를 위해 포스 피드백 장치를 제어하기 위한 모듈을 사용하였다. 포스 피드백 모듈은 사용자의 손 움직임을 시뮬레이터에 전달하고 가상 환경에서 객체들이 충돌하는 경우 움직임을 제한하는 포스 피드백을 햅틱 컨트롤러에 전달하여 현실적인 도구의 움직임을 경험할 수 있게 한다.

시뮬레이션 과정 동안 바뀌는 도구의 특성을 표현하기 위해 사용된 변형 가능한 햅틱 컨트롤러는 시뮬레이터에 포함된 컨트롤러 변형 모듈과 데이터를 주고받는 것으로 작동한다. 가상 환경 내의 다양한 수술 도구를 하나의 장치로 시뮬레이션하기 위해 컨트롤러

롤러 변형 모듈은 햅틱 컨트롤러의 길이 변화와 굽힘, 진동을 발생시키는 API 를 제공한다. API 를 통해 시뮬레이터가 수술 도구의 변경에 따른 길이 변화, 굽힘 명령을 내리면 컨트롤러 변형 모듈은 각 변형 명령에 매핑된 문자열 데이터를 스트림을 통해 햅틱 컨트롤러에 전달한다. 진동의 경우 컨트롤러 변형 모듈이 햅틱 컨트롤러의 버튼을 클릭하여 발생하는 입력 데이터를 수신하면 진동 명령에 매핑된 데이터를 햅틱 컨트롤러에 전달한다.

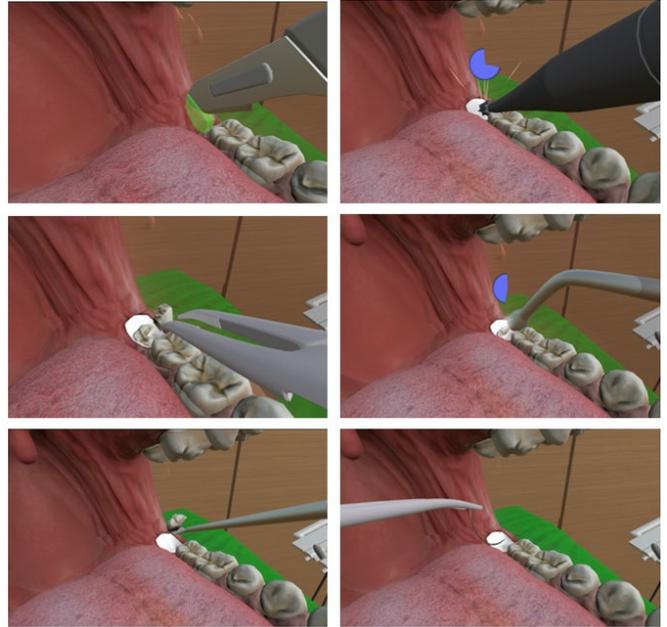
시뮬레이션 모듈은 햅틱 컨트롤러의 움직임과 버튼 클릭을 통한 수술 도구와 가상 객체들의 상호 작용을 제공함으로써 시뮬레이션 과정을 제어한다. 시뮬레이션 모듈에 정의된 수술 단계는 구강 내부의 잇몸과 치아 모델이 실제 수술과 동일한 방식으로 변화하도록 설계되어 있다. 예를 들어 메스로 잇몸을 절개하는 단계에서 실제 잇몸이 갈라지는 듯한 애니메이션을 적용하였다. 또한 시뮬레이션 모듈은 각 수술 단계에서 사용되는 도구의 형태에 맞는 변형 상태를 정의하고 이를 포스 피드백 모듈과 컨트롤러 변형 모듈을 통해 햅틱 컨트롤러에 전달한다. 예를 들어 치아 절삭 단계에서 사용자가 햅틱 컨트롤러의 버튼을 클릭하면 햅틱 컨트롤러가 실제 드릴과 같이 진동하도록 하였다.

3.4 실험 결과

실험은 인텔 i9-9900K 3.60GHz CPU 와 32GB 메모리가 장착된 PC 에서 수행되었다. GPU 는 8GB 메모리를 탑재한 NVIDIA GeForce RTX 2080 이 사용되었다. VR 시뮬레이터는 유니티 엔진을 사용하여 구현되었다.

그림 2 는 개발된 매복 사랑니 발치 수술 시뮬레이터의 작동화면을 보여준다. 사용자가 시뮬레이션을 수행하는 동안 실제 수술과 동일한 방식으로 수술의 각 단계에서 수술 도구를 사용할 수 있도록 구현하였다. 또한 우리는 햅틱 컨트롤러가 실제 도구의 형태와 유사하게 변형되는지 확인하였다. 실제 도구의 진동과 유사한 감각을 느낄 수 있는지에 대한 검증도 수행하였다.

제안하는 햅틱 컨트롤러는 메스, 드릴, 흡인기, 수술 겸자, 수술용 올림기를 사용할 때 길이 변형, 굽힘, 진동을 발생하여 사용자에게 실제 수술 도구의 감각을 제공하는 것을 확인하였다. 또한 도구를 조작하는 동안 치아나 잇몸 등 가상 객체들과의 상호 작용에 의한 햅틱 피드백이 발생하는 것을 확인하였다. 그 결과 여러 수술 도구를 하나의 햅틱 장치로 모사함으로써 장치가 차지하는 공간을 줄이고, 하나의 장치로 다양한 수술 도구를 사용하는 감각을 제공하는 등의 사용자 편의성을 높일 수 있었다.



(그림 2) 사랑니 발치 시뮬레이션 결과.

4. 결론

이 논문에서는 햅틱 피드백을 제공하는 장치를 부착한 변형 가능한 햅틱 컨트롤러로 다양한 수술 도구를 사용하는 시뮬레이션 시스템을 제안하였다. 제안된 시뮬레이션 시스템은 다양한 수술 도구를 하나의 햅틱 컨트롤러로 지원하여 사용자에게 현실적인 수술 경험을 제공할 수 있다. 이 논문에서 제안한 시뮬레이션 시스템을 다양한 분야의 교육 시뮬레이션에 적용하여 적합한 햅틱 피드백을 제공하는 햅틱 컨트롤러를 사용할 수 있는 시스템을 개발할 수 있다.

참고문헌

- [1] D. Wang, M. Song, and A. Naqash, "Toward whole-hand kinesthetic feedback: a survey of force feedback gloves," *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 12, pp. 189–204, 2019.
- [2] D. H. Kim, H. M. Kim, J.-S. Park, and S. W. Kim, "Virtual reality haptic simulator for endoscopic sinus and skull base surgeries," *Journal of Craniofacial Surgery*, vol. 31, pp. 1811–1814, 2020.
- [3] F. Wang, Y. Liu, M. Tian, Y. Zhang, S. Zhang and J. Chen, "Application of a 3D Haptic Virtual Reality Simulation System for Dental Crown Preparation Training," 2016 8th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME), 2016, pp. 424-427
- [4] Sang-Won Han, Su-Kyung Sung, and Byeong-Seok Shin, "Virtual Reality Simulation of High Tibial Osteotomy for Medical Training", *Mobile Information Systems*, vol. 2022, 2022.