
뉴럴 네트워크 구조를 이용한 햅틱 질감 표현 시스템

Haptic texture synthesis system using neural network structure

신성환, Sunghwan Shin*, 최승문, Seungmoon Choi**

요약 햅틱 질감의 모델링 및 렌더링을 위한 시스템을 제시하였다. 햅틱 질감의 모델링을 위해서는 뉴럴 네트워크 구조를 이용하여 진동 패턴을 모델링 하였고, 이를 포스 피드백 장치 및 진동 액추에이터를 이용해서 렌더링 하였다. 해당 시스템 이용하여 실제 물체의 질감 정보를 얻어 모델링 및 렌더링을 실시하였으며, 모델링 결과 생성된 진동 패턴은 실제 진동 패턴과 유사한 특성을 보여주었다.

↓

Abstract We proposed a framework for haptic texture modeling and rendering. The framework consists of a data acquisition module, a haptic texture modeling algorithm by neural network method, and a haptic rendering algorithm using a force feedback device and a vibrotactile actuator. We evaluated our framework using four different materials, and the vibration pattern modeled by our framework showed similar characteristic to the measured one.

↓

핵심어: *Haptic texture, neural network, data-driven modeling, virtual reality*
햅틱 질감, 뉴럴 네트워크, 데이터 기반 모델링, 가상 현실

본 논문은 2012 년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 도약연구지원사업(No. 2012-0006267)과 기초연구실육성사업(No. 2012-0008835), 그리고 미래융합기술파이오니어사업(No. 2012-0000455)의 지원을 받아 수행된 연구임.

*주저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 박사과정 e-mail: scaut11@postech.ac.kr

**교신저자 : 포항공과대학교 컴퓨터공학과 부교수: e-mail: choism@postech.ac.kr

1. 서론

가상 현실은 인간이 현실에서 부딪힐 수 있는 각종 물리적, 공간적 제약을 뛰어넘어 다양한 환경을 체험할 수 있는 좋은 도구가 된다. 특히 시각 및 청각 부분의 발달과 더불어 다양한 햅틱 장치의 발달은 가상 현실 상에서 인간에게 촉각이라는 또 하나의 탐사 장비를 부여함으로써 가상 현실에 실재감 및 몰입감을 더해주었다. 하지만 가상 현실에서 물체의 질감은 촉각을 통해서 느끼는 정보 중 매우 중요한 정보를 차지하여 촉각 가상 환경의 현실감을 결정하는 데 중요한 역할을 수행하나 구현이 쉽지 않다. 특히 물체의 기하학적 형태에서 비롯되는 macro-scale 질감에 비해서 재질의 특성으로 인해 발견되는 micro-scale 질감의 경우 생성되는 기제가 정확히 규명되지 않아 더욱 어려운 문제가 된다.

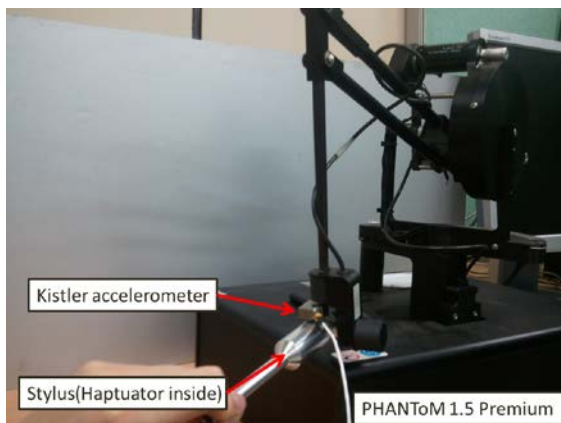
이 논문에서는 물체 표면을 탐색 시 발생하는 진동 패턴을 뉴럴 네트워크를 사용하여 모델링하고 렌더링 하기 위한 시스템을 소개하고자 한다. 기존 연구들[1,2,3]에 비해 뉴럴 네트워크를 사용함으로써 가질 수 있는 장점은 비선형의 함수 형태를 지닐 것으로 가정되는 가속도 함수를 모델링 할 수 있을 뿐만 아니라, 시스템을 통해 데이터 수집과 동시에 모델링이 가능하기 때문에 모델링 및 렌더링이 간편하다는 점이 있다.

2. 본론

2.1 하드웨어 구축

햅틱 질감 표현을 위한 프레임워크의 하드웨어는 크게 두 부분으로 나뉘어 있다. Macro-scale 질감을 표현하기 위한 포스 피드백 햅틱 장치와 micro-scale 질감을 표현하기 위한 진동 액추에이터가 내장된 스타일러스 부분이다. 이 하드웨어는 [그림 1]에 표현되어 있다.

이 연구에서는 포스 피드백 햅틱 장치로 Sensable 사의 PHANToM Premium 1.5 를 사용하였으며, 진동 액추에이터로는 Tactile Lab 의 Haptuator 를, 질감 모델링 시 데이터 수집을 위하여 Kistler 8794A500 3 축 가속도 센서를 이용하였다. PHANToM Premium 1.5 는 다른 포스



[그림 1] 햅틱 질감 표현을 위한 하드웨어

피드백 햅틱 장치에 비해서 높은 공간 해상도를 가지고 있고 작업 공간도 넓은 편으로, 햅틱 질감을 표현하기에 적합하다. 또한 micro-scale 질감을 진동 자극으로 표현하기 위해서는 넓은 주파수 대역을 가지는 진동 액추에이터가 필요한데, Haptuator 는 이러한 요구사항을 만족시켜준다. PHANToM 과 Haptuator 의 연결을 위해서는 PHANToM 의 기본 스타일러스 대신 Haptuator 를 내장할 수 있는 커스텀 스타일러스를 제작하였다.

2.2 햅틱 질감 모델링

일반적으로 macro-scale 질감의 모델링의 경우 기하학적인 정보를 바탕으로 모델링 하기 위한 방법이 많이 알려져 있기 때문에, 이 연구에서는 micro-scale 질감을 모델링 하기 위한 방법에 집중하였다.

Micro-scale 질감의 경우 물체의 표면과 신체의 상호작용에 의해서 생성되는 진동 자극을 통해서 모델링이 가능하다. 이 경우 질감을 모델링 하기 위해서는 진동 자극의 패턴을 수식화하기 위한 방법이 필요한데, 이를 위해서 뉴럴 네트워크를 이용하여 진동 자극의 패턴을 모델링 하였다. 뉴럴 네트워크를 이용한 질감 모델링은 물체의 표면과 신체 사이의 상호작용에 대한 물리적 이해가 필요 없기 때문에 간편하고, 뉴럴 네트워크의 구성을 통해서 비선형 함수 또한 모델링이 가능하기 때문에 복잡한 형태일 것으로 예상되는 진동 자극의 패턴을 모델링 하기에 매우 적합한 방법이라고 할 수 있다. 뉴럴 네트워크의 알고리즘으로는 패턴 및 변동 추이 분석에 주로 이용되는 back propagation 알고리즘이 사용되었다.

2.1.1 데이터 수집

질감 모델링을 위한 데이터를 얻기 위해서 실제 물체의 표면을 햅틱 질감 표현 프레임워크의 스타일러스를 이용해서 중단하면서 가속도 센서를 통해 생성되는 진동 자극을 기록하였다. 이때 진동 자극은 물체의 표면에 수직한 방향으로 생성되는 가속도가 주요 성분인므로[4,5] 이를 기준으로 측정하였으며, 물체의 표면을 중단하는 속도가 진동 자극의 세기에 영향을 미칠 수 있기 때문에 포스 피드백 햅틱 장치의 인코더를 이용해서 계산된 중단 속도 또한 진동 자극과 함께 기록되었다.

이번 연구에서는 프레임워크의 성능을 알아보기 위해서 플라스틱, 청바지, 나무, 사포의 총 4 가지 재질에 대해서 데이터 수집을 행하였다. 가속도 데이터의 수집은 800 Hz 로 행해졌으며 서로 다른 총 다섯 가지의 중단 속도로 물체의 표면을 중단하며 진동 패턴 데이터를 수집하였다.

2.1.2 뉴럴 네트워크를 이용한 모델링

뉴럴 네트워크를 이용한 패턴 분석 시 모델링의 성능 및 계산 시간은 입력 단자에 들어가는 데이터의 샘플 개수 및 샘플 간격 등의 몇 가지 변수에 의해서 변화한다. 특히 분석하고자 하는 패턴의 주파수 대역에 따라서 낮은 주파수를 분석하고 싶을 경우 긴 샘플 간격 및 많은 샘플

개수의 경우가, 높은 주파수의 경우 짧은 샘플 간격의 경우가 좋은 성능을 보여준다. 하지만 질감 모델링의 경우 상대적으로 낮은 주파수부터 비교적 높은 주파수까지의 넓은 주파수 대역을 분석해야 하므로, 특별한 방법이 필요하다.

Ron lazebnik 은 이러한 경우에 적용할 수 있는 방법인 frequency decomposed neural network 방법을 발표하였다[6]. 이 방법의 주된 내용은 넓은 주파수의 대역을 하나의 뉴럴 네트워크를 이용해서 분석하는 것이 아니라, 주파수 대역을 나누어 각각의 다른 뉴럴 네트워크를 이용해서 분석함으로써 전체 구조를 분석하는 방법이다.

2.3 햅틱 질감 렌더링

2.2 장에 언급된 방법을 이용해서 모델링 된 진동 패턴을 이용해서 햅틱 질감을 렌더링 하였다. 뉴럴 네트워크를 이용해서 진동 패턴을 모델링 하였기 때문에 초기 값을 부여한 후 뉴럴 네트워크를 이용해서 후속 값을 예측하여 실제 물체 표면에서 생성되는 진동과 유사한 패턴을 생성할 수 있다.

질감을 렌더링할 때는 포스 피드백 햅틱 장치로 가상 물체의 외관을 렌더링 하면서 현재 HIP 가 가상 물체와 접촉해 있는지를 판별한 뒤 접촉이 일어났을 경우 현재 중단 속도와 기존 진동 패턴의 값을 입력 값으로 하여 진동 패턴의 값을 도출해 내었다.

3. 시스템 성능 평가

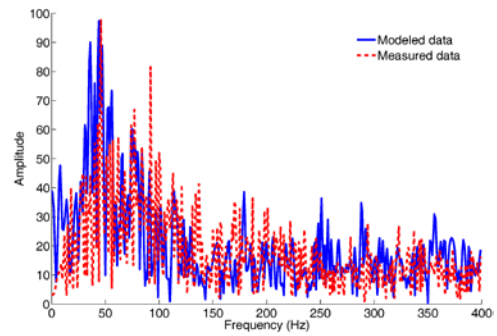
완성된 시스템의 평가를 위해서, 앞서 설명한 4 가지 재질에 대해서 모델링을 수행한 뒤 모델링 된 결과를 실제 측정된 진동 패턴과 교차 검증을 통해서 평가하였다. 먼저 첫 번째 방법으로 시간 축에서 생성되는 진동 패턴간의 유사성을 비교하였다. [표 1]에 각 재질에 대해서 모델링 된 진동 패턴과 실제 진동 패턴 간의 correlation 을 이용해 비교한 결과가 있다.

Error metric	플라스틱	형바지	나무	사포
Correlation(%)	0.4421	0.5623	0.5094	0.5903
RMS error(m/s ²)	1.9085	1.4536	1.5443	0.7834

[표 1] 햅틱 질감 모델링 시 시간 축에서의 오차

시간 축에서 나타난 결과를 볼 때는 모델링 된 진동 패턴과 실제 진동 패턴 간의 유사성을 크게 확인할 수 없다. 하지만 실제로 진동 패턴간의 유사성을 느낄 때는 시간 축에서 생성되는 데이터보다 FFT 를 통해 나타난 주파수 축에서의 유사성이 큰 영향을 미칠 수 있기 때문에, 주파수 축에서의 경향도 비교해 보았다.

앞의 [그림 2]을 보면 모델링 된 진동 패턴이 실제 진동 패턴과 유사한 주파수 분포를 가짐을 확인할 수 있으며, 따라서 모델링 된 진동 패턴이 실제 진동 패턴과 유사한 정보를 전달한다고 볼 수 있다.



[그림 2] 주파수 영역에서 진동 패턴 간의 비교

4. 결론

이 논문에서는 햅틱 질감을 표현하기 위한 전체적인 시스템을 제시하였으며, 이때 햅틱 질감 모델링을 위한 방법으로 뉴럴 네트워크를 이용하였다. 이 방법은 기존에 알려진 방법에 비해서 사용이 간편하면서도 복잡한 진동 패턴을 표현할 수 있는 가능성이 있다는 장점이 있다.

실제 모델링을 통해 시스템의 성능을 평가 한 결과 주파수 영역에서 유사한 진동 패턴을 보여주어 실제 진동 패턴과 유사한 정보를 전달하는 것으로 보인다. 다만 상대적으로 낮은 주파수 대역에서 오차가 상대적으로 크게 발생한 점과, 시간 영역에서 실제 진동 패턴과 유사도가 낮은 점은 개선해야 될 점으로 생각된다.

참고문헌

[1] Allison M. Okamura, Jack T. Dennerlein and Robert D. Hoew, Vibration Feedback Models for Virtual Environments, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 1998.

[2] J. M. Romano, T. Yoshioka, and K. J. Kuchenbecker, Automatic filter design for synthesis of haptic textures from recorded acceleration data, In Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2010.

[4] Nils Landin, Joseph M. Romano, William McMahan and Katherine J. Kuchenbecker, Dimensional Reduction of High-Frequency Accelerations for Haptic Rendering, In Proceedings of the EuroHaptics'10, 2010.

[5] W. McMahan and K. J. Kuchenbecker, Haptic display of realistic tool contact via dynamically compensated control of a dedicated actuator, In Proceedings of the IEEE Conference (IROS), St. Louis, MO, Oct. 2009, pp. 3170-3177.

[6] Ron lazebnik, Using Frequency Decomposed Parallel Neural Networks For System Identification (Thesis), 2006.