

데이터 기반 멀티 모달 햅틱 모델링 및 렌더링

Data-driven Multi-modal Haptic Modeling and Rendering

조성원¹ · 차호준² · 신성환³ · 최승문^{4†}

Seongwon Cho¹, Hojun Cha², Sunghwan Shin³, Seungmoon Choi^{4†}

Abstract: We present a data-driven multi-modal haptic rendering framework that simultaneously presents force, tactile, and thermal feedback. We attached a vibration actuator and a peltier module to a force-feedback device in order to handle force, tactile, and thermal feedback together. Texture, friction, and viscoelasticity are considered as components of force rendering. To synthesize vibration signals of fine texture, we used an LPC-based model. Thermal sensations between a finger and an object rendered by considering both heat flux and skin temperature profiles. Rendering models for all the modalities are collected from real interaction and modeled in a data-driven manner. We expect that our multi-modal modeling and rendering system can improve the realism of haptic sensation in the virtual environment.

Keywords: Haptic rendering, Multi-modal rendering, Data-driven approach

1. 서 론

사람은 물체의 모양, 점탄성, 질감, 온감과 같은 다양한 촉각적 성질을 통해 물체의 특성을 인지한다. 이러한 물체의 촉각적 성질을 전달함으로써 사람이 가상 물체와 상호작용할 때의 사실성을 높일 수 있다. 물체의 촉각적 성질을 개별적으로 렌더링하는 방법은 많이 연구되어왔으나, 다양한 촉각적 성질을 통합하여 전달하는 연구는 많이 이루어지지 않았다. 본 연구에서는 물체의 다양한 촉각적 성질을 동시에 전달하기 위해 힘, 진동, 열을 사용하는 멀티 모달 햅틱 모델링 및 렌더링 방법을 제안한다. 보다 사실적인 촉각 자극을 만들기 위해 실제 물체로부터 데이터를 수집해 모델을 형성하는 데이터 기반 모델링 방법을 사용하였으며, 사용자에게 점탄성, 마찰력, 질감, 온감을 전달한다.

2. 본 론

2.1 데이터 수집 및 모델링

물체의 점탄성을 모델링하기 위해 물체를 수직 방향

으로 눌렀을 때 발생하는 힘을 6축 힘/토크 센서(ATI, Nano17)를 사용해 측정하였고, 랜덤 포레스트(Random Forest) 기반 점탄성 모델을 사용하였다[1]. 물체의 마찰 모델로는 Discrete Time Dahl 마찰 모델을 사용하였다[2]. Dahl 마찰 모델의 계수를 추정하기 위해 실제 물체를 문지를 때 발생하는 수평 방향 힘을 6축 힘/토크 센서(ATI, Nano17)를 통해 측정하여 사용하였다. 물체 질감 이미지를 얻기 위해 광원의 조건을 바꾸어가며 촬영한 사진으로 고화질의 이미지를 생성하는 Photometric stereo 알고리즘을 사용하였다[3]. 또한 세밀한 질감의 진동 모델을 만들기 위해 Linear Predictive Coding(LPC) 모델을 사용하였으며[4], 실제 물체를 펜으로 문지를 때 발생하는 가속도 데이터를 가속도계(Kistler, 8794a500)로 측정하여 사용하였다. 마지막으로 물체의 열 유속을 고려하는 데이터 기반 온감 모델을 사용하였다[5]. 열 유속 센서(Hukseflux, FHF-01)와 온도 센서(Semitec, 223Fu3122-07U015)를 사용해 다양한 온도 조건에서 사람이 물체를 만질 때 발생하는 열 유속과 손 온도를 측정하여 온감 모델을 형성하였다.

2.2 렌더링

2.2.1 렌더링 하드웨어

다양한 촉각적 성질을 힘, 진동, 열을 통해 전달하기 위한 렌더링 하드웨어를 디자인하였다 [Fig. 1]. 사용자

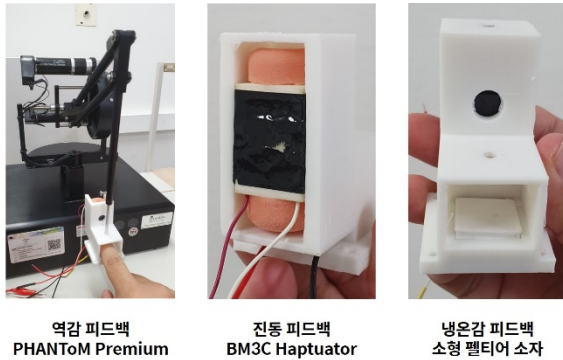
1. Ph.D student, Computer Science and Engineering, POSTECH, Pohang, Korea (kardv04@postech.ac.kr)

2. Ph.D student, Computer Science and Engineering, POSTECH, Pohang, Korea (hersammc@postech.ac.kr)

3. Ph.D, Samsung Research, Seoul, Korea (scaut11@postech.ac.kr)

4.† Professor, Corresponding author: Computer Science and Engineering, POSTECH, Pohang, Korea (chosim@postech.ac.kr)

가 가상 물체와 상호작용하며 발생하는 힘 피드백을 전달해 주기 위해 힘-반향 장치(3D Systems, PHANTOM Premium 1.5A HF)를 사용하였다. 진동을 전달하기 위해 Voice-coil 타입 진동자(Tactile Labs, BM3C Haptuator)를 사용하였다. 마지막으로 온감을 전달하기 위해 소형 펠티어 소자(TES1-4903)를 사용하였다. 힘-반향 장치에 진동자와 펠티어 소자를 부착하고 사용자가 손가락을 통해 가상 물체와 상호작용할 수 있도록 3D 프린팅으로 툴팁을 제작해 힘-반향 장치 끝에 부착하였다.

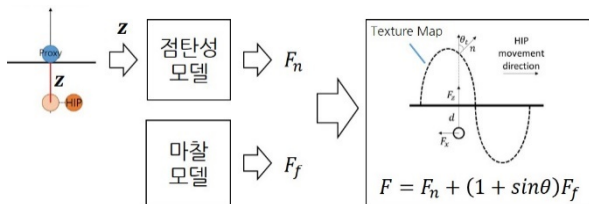


[Fig. 1] Rendering Hardware

2.2.2 렌더링 방법

[Fig. 2] 는 가상 물체와 상호 작용 시 발생하는 힘 렌더링 알고리즘의 개요도이다. 가상 물체와의 충돌이 발생했을 때 햅틱 인터랙션 포인트(Haptic Interaction Point)와 물체 표면 사이의 Penetration depth z 를 계산하고, z 를 점탄성 모델에 전달하여 현재 위치에 대한 점탄성 F_n 을 계산한다. 또한 Dahl 마찰 모델을 통해 물체 표면 위에서 움직일 때 발생하는 마찰력 F_f 을 계산한다. 마지막으로 질감 이미지의 픽셀 값을 높낮이 데이터로 사용하여 식 (1)을 통해 최종 힘을 계산한다.

$$F = F_n + (1 + \sin\theta)F_f \tag{1}$$



[Fig. 2] An Overview of the Force Rendering Algorithm

진동의 경우 현재 속력과 점탄성 모델로부터 계산된 수직 항력을 입력으로 받아 LPC 모델이 진동 신호를 합성한다.

온감의 경우 측정된 열 유속 양 q'' 과 손 온도

$T_{skin,s(t)}$ 데이터를 사용해 식 (2)와 같이 온감 디스플레이의 목표 온도를 계산하며[5], 온감 디스플레이에 부착된 온도 센서와 PID 제어를 통해 온감 디스플레이의 온도를 제어하였다.

$$T_{display} = T_{skin,s(t)} - q'' \cdot R_{skin-display} \tag{2}$$

온감 디스플레이와 손 사이의 열 저항 $R_{skin-display}$ 은 근사값인 $5.34 \cdot 10^{-4} m^2K/W$ 로 사용하였다[6].

3. 결론

본 연구에서는 데이터 기반 멀티 모달 햅틱 모델링 및 렌더링 방법을 제시하였다. 물체의 점탄성, 질감, 마찰력, 온감 모델을 실제 물체로부터 측정된 데이터를 기반으로 수립하였다. 힘, 진동, 열을 같이 전달하기 위한 하드웨어를 디자인하였으며, 이를 통해 성공적으로 가상 물체와 상호작용 시 발생하는 힘, 진동, 열을 사용자에게 전달할 수 있었다.

사사의 글

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (2017-0-00179, 디지털콘텐츠원천기술개발)

References

- [1] Hojun Cha, Amit Bhardwaj, Author, Chaeyong Park, and Seungmoon Choi, "Random Forest for Modeling and Rendering of Viscoelastic Deformable Objects," *International AsiaHaptics Conference*, 2018.
- [2] Mahvash Mohsen, and Allison M. Okamura, "Friction Compensation for a force-feedback tele-robotic system," *IEEE ICRA*, pp. 3268-3273, 2006.
- [3] Sunghwan Shin, and Seungmoon Choi, "Geometry-based Haptic Texture Modeling and Rendering Using Photometric Stereo," *IEEE Haptics Symposium*, pp. 262-269, 2018.
- [4] Joseph M. Romano, Takashi Yoshioka, and Katherine J. Kukenbecker, "Automatic Filter Design for Synthesis of Haptic Textures from Recorded Acceleration Data," *IEEE ICRA*, pp.1815-1821, 2010.
- [5] Heyjin Choi, Seongwon Cho, Sunghwan Shin, Hojin Lee, and Seungmoon Choi, "Data-driven Thermal Rendering: An Initial Study," *IEEE Haptics Symposium*, pp. 344-350, 2018.
- [6] L.A. Jones and H.-N. Ho, "Warm or cool., large or small? The challenge of thermal displays," *IEEE Transactions on Haptics*, vol. 1, no. 1, pp.53-70, 2008.