

데이터 기반 온감 렌더링

최혜진, 조성원, 신성환, 이호진, 최승문*
포항공과대학교

Data-Driven Thermal Rendering

Choi Hyejin, Cho Seongwon, Shin Sunghwan, Lee Hojin, and Choi Seungmoon
Pohang University of Science and Technology
e-mail: {hyejin1208, kardy04, scout11, hojini33, choism}@postech.ac.kr

요 약

본 연구는 물체와 접촉 할 때 발생하는 온감을 재현하는 새로운 방식의 데이터 기반 온감 렌더링 방법을 제시한다. 가상 온감 렌더링을 위하여 손과 물체의 다양한 초기 온도 조합 조건에서 물체와 손이 접촉 할 때 발생하는 손의 온도 변화 양상과 열 유속 데이터를 수집 한다. 이후 가상에서 접촉 시 손과 물체의 초기 온도를 기준으로, 수집한 데이터들의 양선형 보간을 통해 손의 온도 변화 양상과 열 유속 데이터 값을 추정한 후 가상 온감을 렌더링 한다. 실제 물체의 온감과 가상 온감에 관한 구분 실험을 진행하여 렌더링 된 가상 온감 또한 온감 인지에 필요한 물체의 열 특성을 잘 보존한다는 것을 보인다.

1. 서론

물체를 만질 때 느껴지는 물체의 모양, 점성, 질감과 같은 다양한 촉각적 성질을 통해 사람은 물체를 식별할 수 있게 된다. 물체의 식별에 도움을 주는 촉각적 성질 중 하나로 온감이 존재한다. 본 연구에서는 실제 물체와 접촉 할 때 발생하는 열 반응의 데이터를 수집한 후 해당 데이터를 기반으로 가상 온감을 렌더링하는 방법을 제시한다. 이를 통해 물체 고유의 열 특성 값(열 전도율, 열 용량 등)을 이용하여 물체의 온감을 간접적으로 렌더링 하는 대신, 실제 접촉 시 발생하였던 열 유속 값을 기록 한 후 직접적으로 렌더링에 이용하여 사실성을 높이며 열 특성 값을 모르는 물체들의 온감 재현도 가능하게 한다. 물체와 손의 다양한 초기 온도 조건에서 접촉 시 발생하는 손의 온도 변화 양상과 열 유속(Heat Flux) 데이터를 수집한다. 수집한 데이터 값들의 양선형 보간(Bilinear Interpolation)을 통해 목표 온감의 데이터 값을 추정한 후 해당 온감을 렌더링한다.

2. 본론

2.1 모델

우리의 모델은 다음과 같은 Ho와 Jones의 열 반응 모델에 기반 한다 [1], [2].

$$q'' = \frac{T_{skin,s}(t) - T_{object,s}(t)}{R_{skin-object}} = \frac{T_{skin,s}(t) - T_{display,s}(t)}{R_{skin-display}} \dots (1)$$

본 모델에서 물체와 접촉 시 발생하는 열 유속 q'' 은 피부와 물체 사이의 열 저항 $R_{skin-object}$ 이라는 물체의 열 특성 값을 통해 계산된다. 가상 렌더링 장치를 이용한 렌더링은 실제 물체 접촉 시 발생하는 열 유속 양과 동일한 열 유속 양이 발생하도록 온감 렌더링 장치의 온도 $T_{display,s}(t)$ 를 조절하여 이루어진다.

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

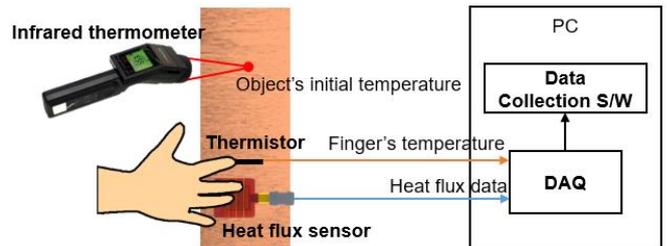
단, 본 연구에서는 (1)을 (2)로 전개, 실제 물체와 접촉 시 발생하는 열 유속 양 q'' 과 손의 온도 변화 양

상 $T_{skin,s}(t)$ 을 측정하여 온감 렌더링 하드웨어의 목표 온도 $T_{display,s}(t)$ 를 구한다. 이를 통해 물체 고유의 열 특성 값이 필요 없는 렌더링이 가능해진다. 이때, 피부와 온감 렌더링 장치 사이의 열 저항 $R_{skin-display}$ 는 기존 연구[2]에서와 같이 $5.34 \times 10^{-4} m^2 K/W$ 로 근사하였다.

2.2 데이터 수집

2.2.1 하드웨어

가상 온감 렌더링을 위해선 물체와 접촉할 때 발생하는 손의 온도변화 양상과 열 유속 데이터가 필요하다. 그림 1은 데이터 수집을 위한 하드웨어 구성을 나타낸다.



[그림 1] 데이터 수집 하드웨어

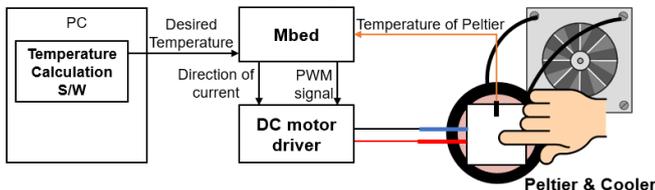
2.2.2 데이터 수집 방법

데이터 수집을 위해 우리는 열 특성이 다른 대표적인 물체 세가지(철, 나무, 고무)를 선정하였다. 각 물체에 대하여 초기 손 온도와 물체의 온도를 바꿔 가며 데이터를 측정하였다. 초기 손 온도는 $< 30^{\circ}C$, $30^{\circ}C - 35^{\circ}C$, $> 35^{\circ}C$ 중 하나이며, 초기 물체의 온도는 $< 15^{\circ}C$, 상온(약 $25^{\circ}C$), $> 40^{\circ}C$ 중 하나이다. 물체의 초기 온도는 냉장고와 오븐을 사용하여 조절했으며, 손의 초기 온도는 아이스 팩과 핫 팩을 이용하여 조절 하였다. 각 초기 온도 조건 조합에서 그림 1의 하드웨어를 통해 물체와의 접촉 시 발생하는 손의 온도 변화 양상과 열 유속 양을 수집하였다.

2.3 렌더링

2.3.1 하드웨어

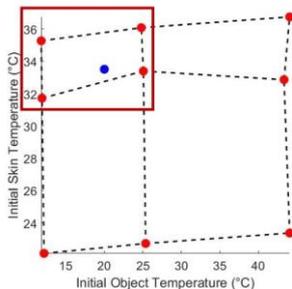
그림 2는 가상 온감을 렌더링하는 장치의 구조이다. 온감 렌더링을 위하여 펠티어(Peltier; TEC1-12715) 소자를 활용하였다. 펠티어 소자는 전류가 통할 때, 정도에 따라 한쪽 면에는 발열 효과가 다른 면에는 흡열 효과가 발생하는 특성이 있다. 따라서 펠티어 소자에 흐르는 전류의 방향(+, -)과 전류량을 제어하여 사용자가 접촉하는 면의 온도를 조절할 수 있다. (2)를 이용하여 구한 시간에 따른 펠티어의 목표 온도 값을 임베디드 보드 (Mbed)로 보낸다. Mbed에서는 현재 펠티어의 온도와 목표 온도를 비교하여 비례-적분-미분 제어(PID 제어)를 진행한다. PID 제어 결과에 따라 DC 모터 드라이버에서 펠티어로 인가되는 전류의 방향을 정하고 전류의 양을 펄스폭 변조(PWM) 제어 방식을 통해 조절한다.



[그림 2] 온감 렌더링 장치 구조

2.3.2 열 반응 합성

손과 물체가 접촉할 때 발생하는 손의 온도 변화 양상과 열 유속 양은 손과 물체의 접촉 시 초기 온도에 비례한다. 따라서 렌더링할 목표 온감의 열 유속과 손 온도 변화 양상을 추정하기 위해 접촉 시 손과 물체의 초기 온도를 기준으로 그림 3과 같이 인접한 4개의 데이터들을 양선형 보간한다. 추정 결과 값을 (2)에 대입하여 온감 렌더링 하드웨어의 목표 온도를 구하여 가상 온감을 렌더링 할 수 있다.



[그림 3] 목표 온감과 인접 데이터의 예

2.4 구분 실험

2.4.1 방법

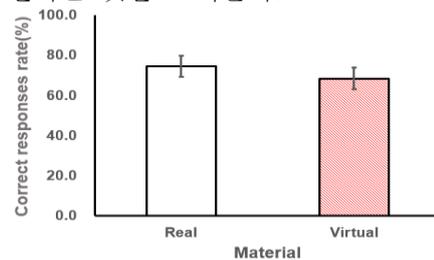
우리의 가상 온감 렌더링 시스템을 평가하기 위하여 12명(남 6, 여 6)의 건강한 성인을 대상으로 구분(Discrimination) 실험을 진행하였다.

실험은 세션 R 과 세션 V로 나뉜다. 세션 R은 실제 물체의 온감에 관한 구분 실험이며, 세션 V는 세션 R에 사용된 물체의 온감을 렌더링한 가상 온감에 대한 구분 실험이다. 피실험자는 매 차례 마다 2개의 같은 온감과 1개의 다른 온감을 느낀 후 다른 온감 1개를 찾는 3자 택일 (three-alternative forced

choice, 3IFC)을 진행 한다. 세 가지 물체들은 각각 다른 물체들과 짝을 짓게 되어 총 6개의 조합이 생기며 각각의 조합에 대하여 총 3번 반복하였다.

2.4.2 결과 및 토론

실제 온감과 가상 온감의 평균 정답률과 표준오차는 그림 4와 같다. 대응표본 t-검정(Paired t-test)를 진행해본 결과 실제와 가상 온감의 정답률은 통계적으로 유의미한 차이가 존재하지 않다는 것을 알 수 있다 ($t=0.83, p=0.42$). 이 결과는 기존 온감 구분 실험 연구들의 결과와 일맥상통하며[3], 이는 데이터 기반 온감 렌더링이 온감 인지에 필요한 열 특성을 잘 보존 한다는 것을 보여준다.



[그림 4] 실제 온감과 가상 온감의 구분 정답률

3. 결론

본 연구에서는 물체와 접촉 시 발생하는 열 유속 양과 손의 온도 변화 양상에 영향을 주는 손과 물체의 접촉 시 초기 온도를 고려한 새로운 데이터 기반 온감 렌더링 방법을 제시하였다. 물질 고유의 열 특성을 사용한 기존의 모델을 발전 시키고 다양한 초기 조건 하에서 데이터를 수집한 후 가상 온감을 렌더링 하였다. 또한 실제 물체와 가상 온감에 대한 구분 실험을 진행하여 우리가 제시한 방법을 통해 렌더링 된 가상 온감 또한 실제 온감 인지에 포함된 열 정보를 보존 하고 있음을 보였다.

사사

이 논문은 2017년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술진흥센터의 지원 (2017-0-00179, 디지털콘텐츠원천기술개발) 및 한국연구재단 -과학기술인문사회융합연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임(No.NRF-2016M3C1B6929724).

참고문헌

- [1] L. A. Jones and H.-N. Ho, "Modeling the thermal responses of the skin surface during hand-object interactions," Biomechanical Eng, vol. 130, pp. 21 005-1-8, 2008.
- [2] 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.
- [3] H.-N. Ho and L. A. Jones, "Thermal model for hand-object interactions," in Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, 2006 14th Symposium on. IEEE, 2006, pp. 461-467.