



# 협동로봇을 이용한 조우형 햅틱 텍스처 디스플레이

김예솔, 김영준

이화여자대학교 컴퓨터공학과

## 개요

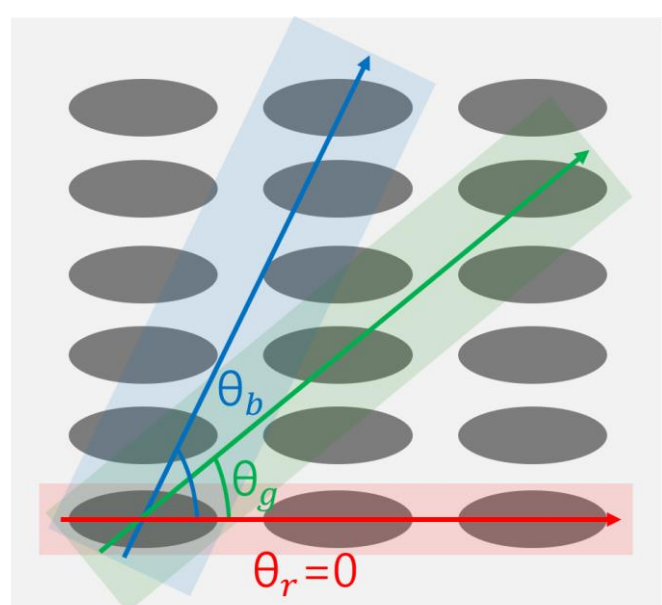
조우형 햅틱 피드백은 가상환경상의 가상 물체에 해당하는 위치에 사용자와의 조우(encounter)를 기다리는 햅틱 디바이스를 통해 제공된다. 사용자의 신체와 접촉이 유지되는 다른 햅틱 시스템과 달리, 조우형 햅틱은 자유로운 접촉(free-to-touch)과 움직임에 따른 충돌(move-to-collide)을 제공하여 가상현실로의 몰입감을 높이는 장점이 있지만 햅틱 인터랙션 포인트에 부착된 **하나의 물체로 다양한 표면 질감정보를** 제공하는 것에는 한계가 있다.

본 연구에서는 **표면 질감 모델링**과 **질감 렌더링**을 통해 조우형 햅틱 시스템에서 사용자의 인식 거칠기를 합성하는 방법을 제안한다. **타원형 돌기**를 표면에 배치하여 만지는 방향에 따라 사용자가 인식하는 **돌기의 반지름과 돌기간 거리**가 다른 모델을 제작하고, 조우형 햅틱 메니플레이터를 통해 **모델의 각도와 속도**를 조절하여 사용자에게 다양한 질감을 제공한다.

본 시스템의 사용자 평가를 통해 **하나의 말단 모델로 다양한 인식 거칠기를 성공적으로 합성할 수 있음**을 확인하였다.

## 표면 질감 모델링

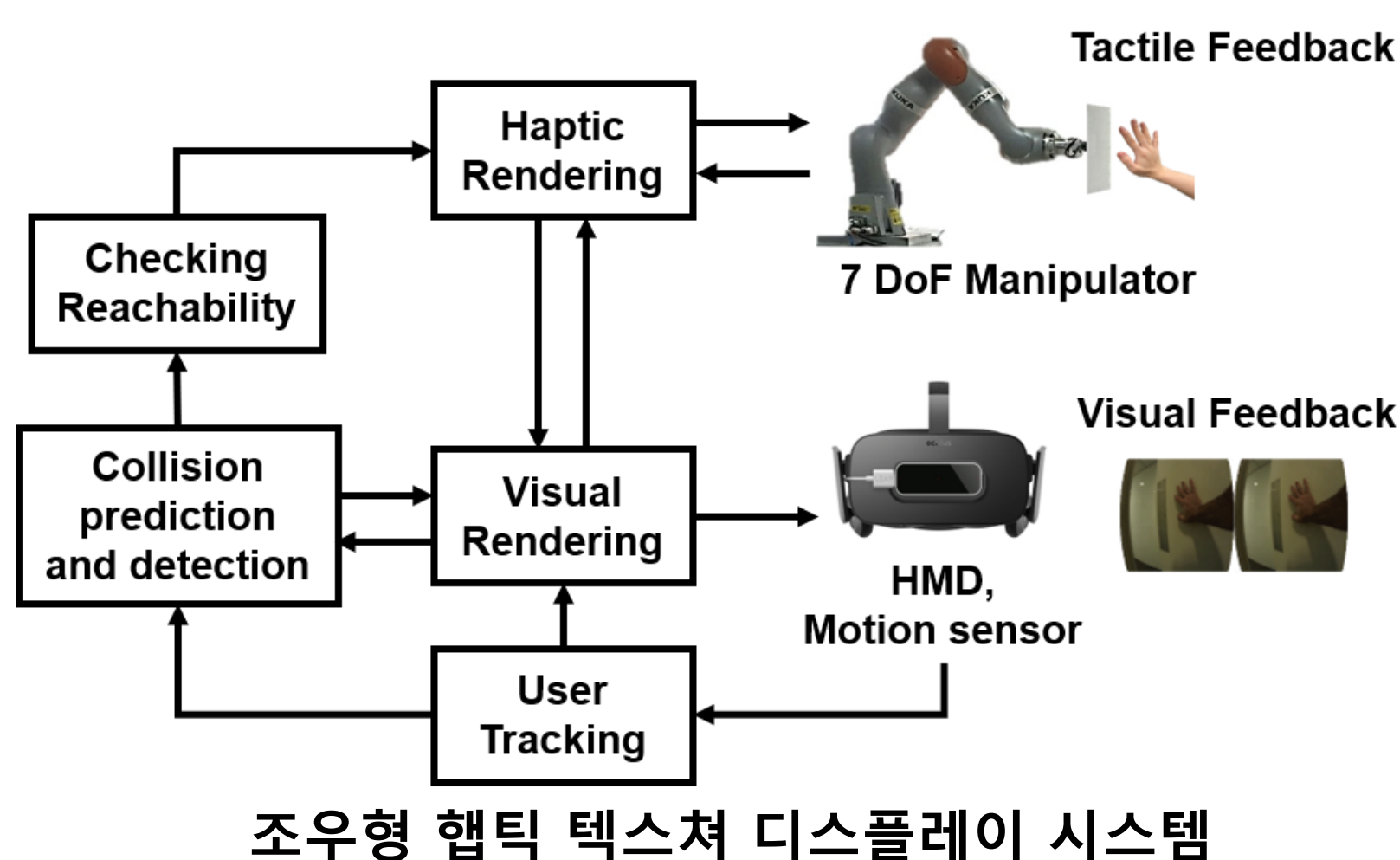
- 사용자가 표면 모델을 쓰다듬는 방향에 따라 macro-scale의 거칠기를 다르게 느끼도록 거칠기를 인코딩함
- 평평한 표면의 방사 방향을 따라 사용자가 인식하는 돌기의 반지름과 돌기간 거리가 달라지도록 타원형 돌기 이용



표면 거칠기 인코딩

- 돌기의 반지름이 클수록 인식 거칠기가 커지고, 돌기사이 거리가 멀어질수록 인식 거칠기가 커짐
- 방사 방향의 각도가 커짐에 따라 ( $\theta_r < \theta_g < \theta_b$ ) 사용자가 표면 거칠기를 크게 느끼도록 타원형 돌기를 배치함

## 질감 렌더링



### ◆ 사용자 추적

- 사용자 손의 위치와 움직임을 추적함

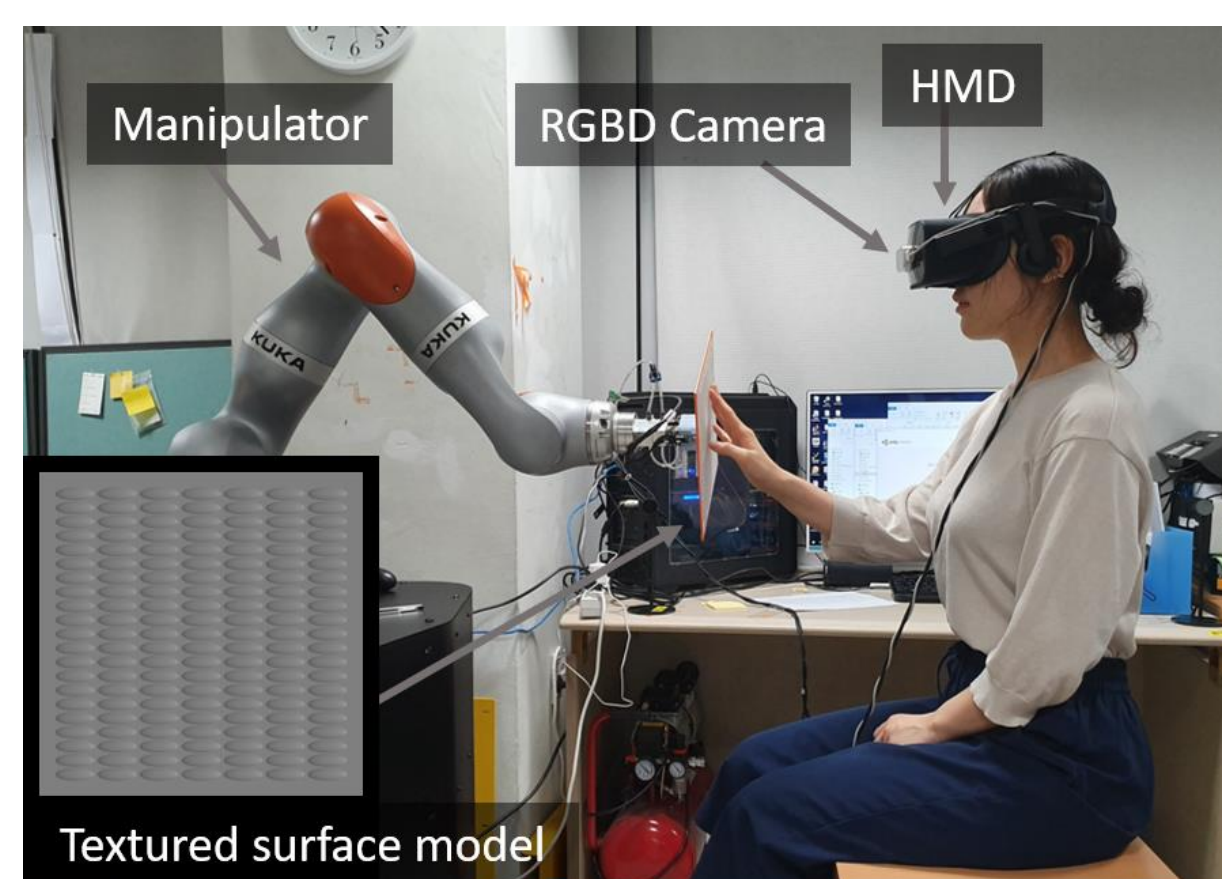
### ◆ 충돌 예측

- 가상현실에서 사용자가 바라보는 방향으로의 레이캐스팅을 통해 사용자가 만지고자 하는 물체를 예측함
- 사용자가 만지고자 하는 물체에 가상현실 속 사용자 손 위치를 투사하여 충돌 위치를 예측함

### ◆ 조우형 햅틱 제어

- 사용자와 물리적인 충돌이 없는 경우 로봇 말단은 충돌 예측 위치를 따라감
- 사용자가 말단 물체와 접촉한 경우 가상 물체의 거칠기에 따라 인코딩된 거칠기를 표현할 수 있도록 매니플레이터 말단의 **각도**를 조절함
- 가상 물체 질감이 거칠수록 손이 표면을 쓰다듬는 방향의 반대 방향으로 빠른 **속도**를 제공함

## 실험 및 결과

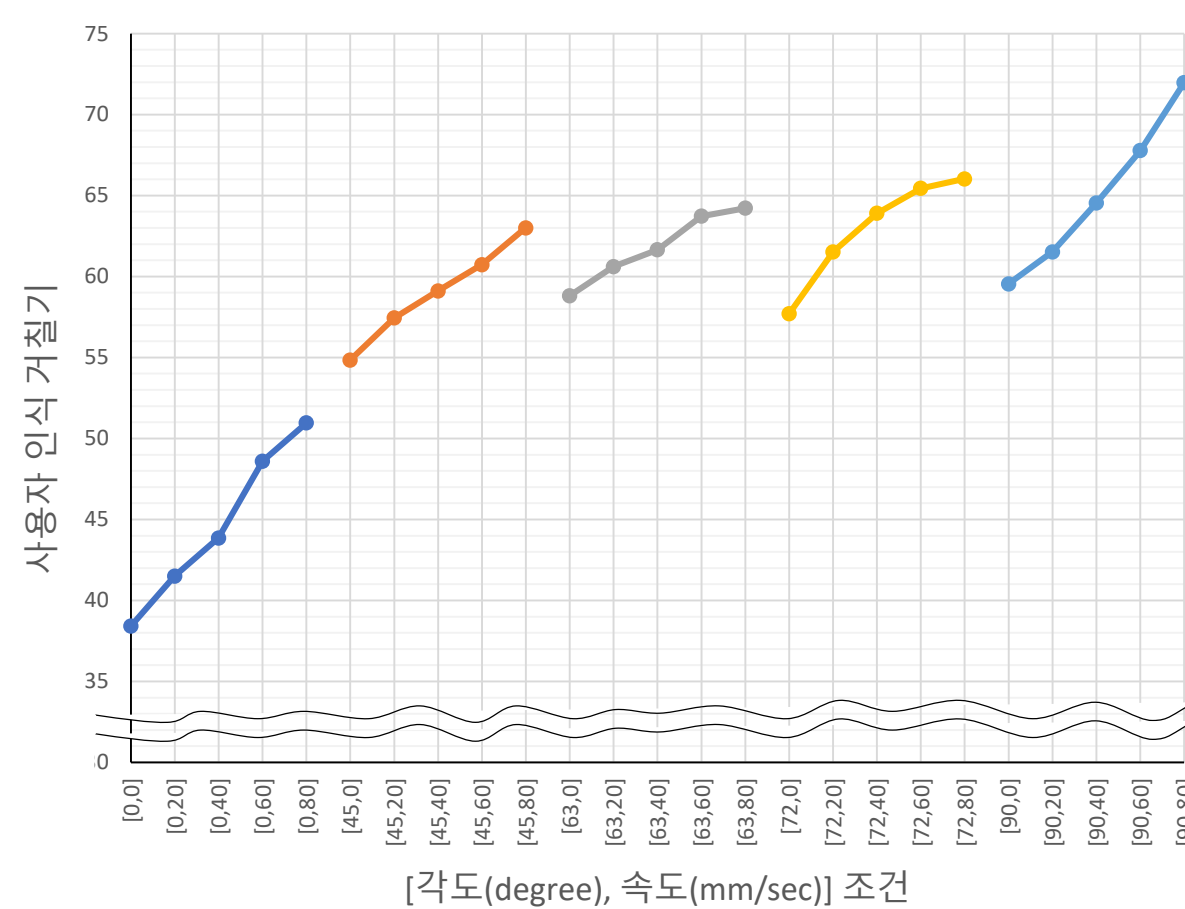


사용자 평가 실험 환경

- 햅틱 매니플레이터: KUKA LBR IIWA 7 R800
- 질감 표면 모델: Form2 3D 프린터로 출력한 모델
- 센서: Oculus Rift HMD, HMD에 부착된 Leap Motion 센서

### ◆ 실험 및 결과

- 25명의 실험자를 대상으로 주어진 표면 모델을 만지고 느낀 거칠기를 수치화 하여 응답하는 실험을 수행
- 조우형 햅틱 매니플레이터 말단의 각도 5가지와 속도 5가지를 조합하여 25가지 조건을 제시함



사용자의 거칠기 인식 실험 결과

- 제안하는 모델링 방법과 햅틱 렌더링 방법을 통해 조우형 햅틱 시스템에서 하나의 말단 물체를 이용하여 여러가지 거칠기 질감을 합성할 수 있음

## 추후 연구

- 연속적인 거칠기 합성
- Micro-scale 거칠기 합성

## 연락 정보

<http://graphics.ewha.ac.kr/hwall>

yaesol91@ewhain.net, kimy@ewha.ac.kr