

WriMouCon: Wrist-Mounted Haptic Controller for Rendering Physical Properties in Virtual Reality

≡ Authors	['Minjae Jo', 'Dongkyu Kwak', 'Sang Ho Yoon']
≡ Conference/journal	IEEE World Haptics Conference (WHC) 2023
≡ One sentence	VR 물리감각 구현용 손목 햅틱 장치.
⋮ Tag	<div>Force feedback</div> <div>Haptic feedback</div> <div>Haptic rendering</div> <div>VR interaction</div> <div>Virtual reality</div> <div>Wearable devices</div> <div>human-computer interaction</div> <div>user perception</div>
≡ Year	2023

<https://doi.org/10.1109/whc56415.2023.10224423>

[attachment:b12ff4ac-13e2-4abe-b504-1bf16b301811:WriMouCon_Wrist-Mounted_Haptic_Controller_for_Rendering_Physical_Properties_in_Virtual_Reality.pdf](#)

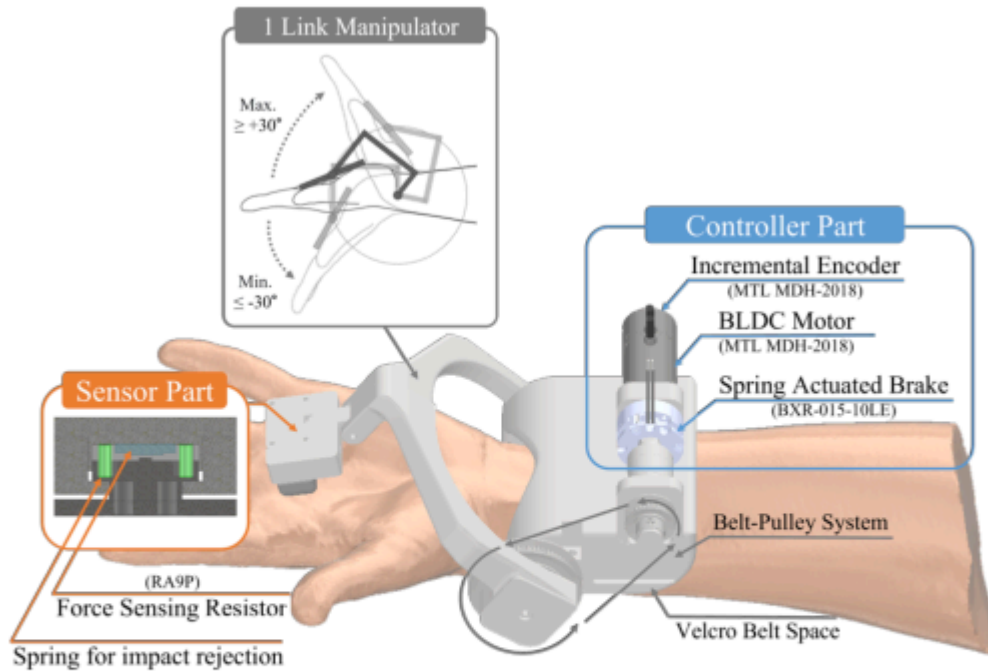


Fig. 1. We pick a precise torque control embedded BLDC motor as a force source where the belt-pulley system amplifies the torque. A 1-link manipulator converts the amplified torque into a force and drives the device to the palm. Here, the FSR sensor functions as a typical switch where an integrated spring structure reduces the mechanical impact on the sensor during operation.

1. 기존문제

1. 기존문제 : 기존의 가상현실(VR) 시스템은 시각 및 청각 중심의 몰입형 경험을 제공하지만, 정확하고 직관적인 햅틱 피드백을 제공하는 데에는 한계가 있다. 특히, 현재 상용화된 햅틱 인터페이스는 복잡하고 고가의 외부 장치를 필요로 하며, 이는 일상적인 사용에 적합하지 않다. 또한, 기존 햅틱 장치는 손의 자유로운 움직임을 제한하거나 특정 자세를 요구하는 경우가 많아 사용자 경험을 저해한다.

2. 선행연구

2. 선행연구 : 기존 연구에서는 손에 쥐는 형태(handheld) 또는 착용형(wearable)의 햅틱 장치를 통해 다양한 물리적 속성(질감, 형태, 압력 등)을 구현하려는 시도가 있었다. 예를 들어, 공기 주머니를 이용한 장치나 외골격 기반의 햅틱 장치가 제안되었으나, 이들은 기계적 구조가 복잡하고 내구성이 낮으며, 손 전체를 감싸는 형태로 인해 자연스러운 손 동작에 제약을 주는 문제가 있었다. 또한, 일부 연구는 탄성, 관성, 점성과 같은 물리 속성의 구현을 위해 후크의 법칙이나 스톡스 법칙을 적용한 바 있다.

3. 이번 연구의 개선점

3. 이번 연구의 개선점 : 본 연구에서는 *손바닥에 직접적인 힘 피드백*을 제공하면서도 *손의 자유로운 움직임을 보장*하는 *손목 착용형 햅틱 컨트롤러(WriMouCon)*를 제안한다. 제안된 장치는 *간단한 1-링크 매니퓰레이터 구조*를 채택하여 *경량화 및 즉각적인 피드백 제공*이 가능하며, *정확한 토크 제어*가 가능한 *BLDC 모터와 FSR 센서*를 통해 *6% 이내의 오차율*로 물리적 속성을 구현한다. 또한, *최소 감지 임계값(0.114 N)* 및 *차이 임계값(0.248 N)*을 기반으로 한 *디자인 가이드라인*을 제시하여 실질적인 사용자 인지 기반 설계를 가능하게 한다.

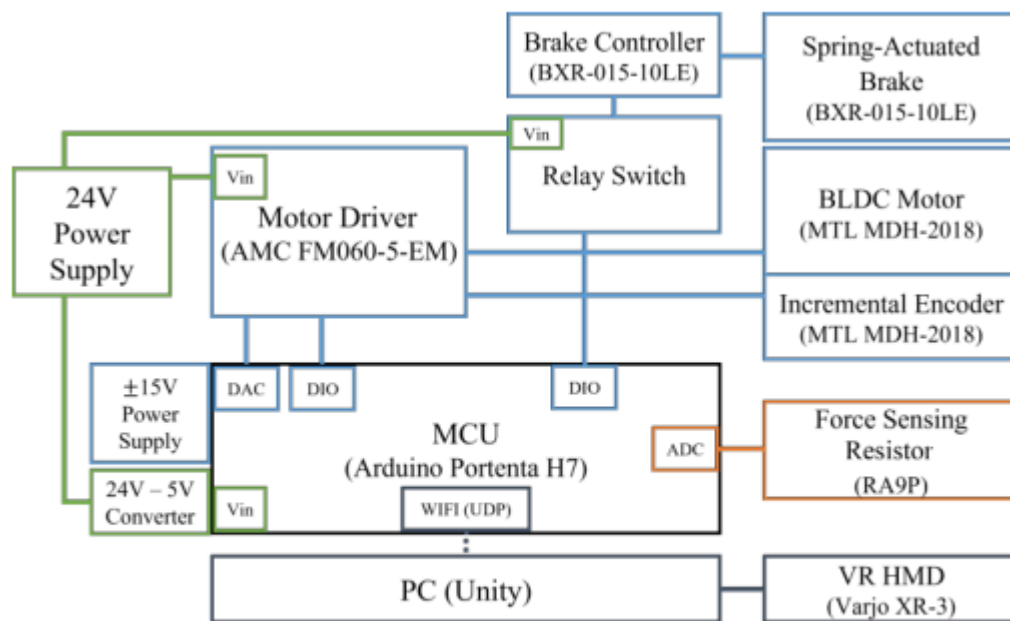


Fig. 2. System configuration of our work. The motor driver and brake controller operate independently. VR scene runs on a PC that is connected to VR HMD.

4. 문제의 중요성

4. 문제의 중요성 : 햅틱 피드백은 VR 환경에서의 *현실감과 몰입도*를 높이는 핵심 요소로, 사용자가 가상 객체의 *무게, 탄성, 점성* 등의 물리적 특성을 인지할 수 있도록 돕는다. 그러나 현재 대부분의 VR 시스템은 이러한 촉각 정보를 충분히 제공하지 못하고 있으며, 이는 *사용자의 상호작용 품질 저하*로 이어진다. 따라서, *정확하고 직관적인 햅틱 피드백 시스템*의 개발은 VR 기술의 발전과 실용화를 위해 매우 중요하다.

5. 제안 시스템/방법

5. 제안 시스템/방법 : 본 연구에서는 *손목에 장착 가능한 햅틱 컨트롤러(WriMouCon)*를 제안하며, 이는 *1-링크 매니퓰레이터 기반의 모터 구동 시스템*을 통해 *손바닥에 직접적인 힘*을

전달한다. 시스템은 *BLDC 모터*, *벨트-풀리 시스템*, *FSR 센서*로 구성되며, *Unity 기반의 VR 환경*과 연동되어 사용자의 손 움직임에 따라 *관성($M a$)*, *탄성($K x$)*, *점성($B v$)*을 포함한 총합 힘(F_{ref})을 계산하고 이를 실시간으로 피드백한다. 또한, *제로 포스 제어*를 통해 장치가 작동하지 않을 때에도 손의 움직임을 방해하지 않도록 설계되었다.

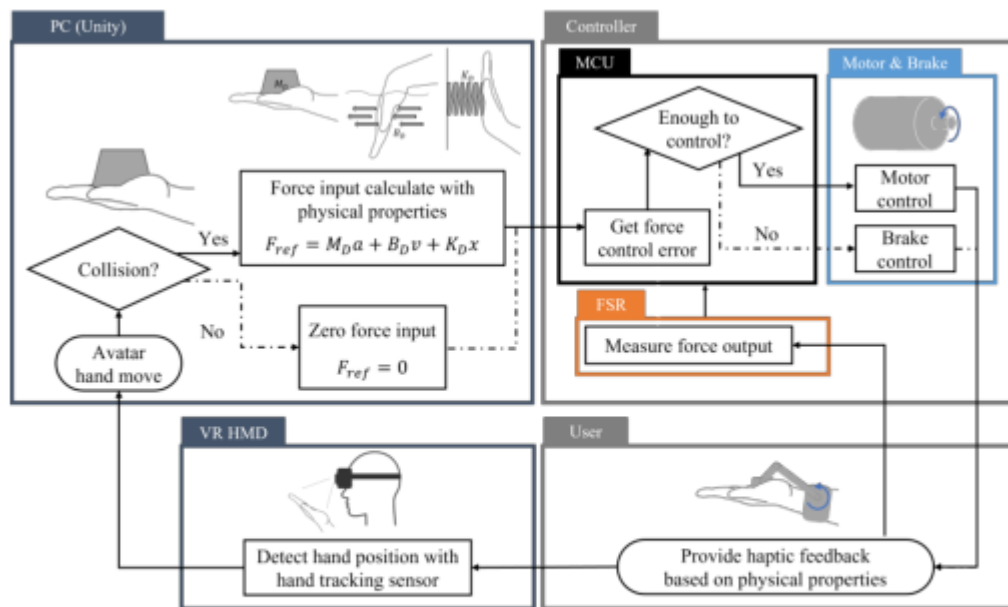


Fig. 3. Overall workflow of WriMouCon. We configure a closed-loop workflow where the haptic feedback force is computed based on the user's hand-tracking.

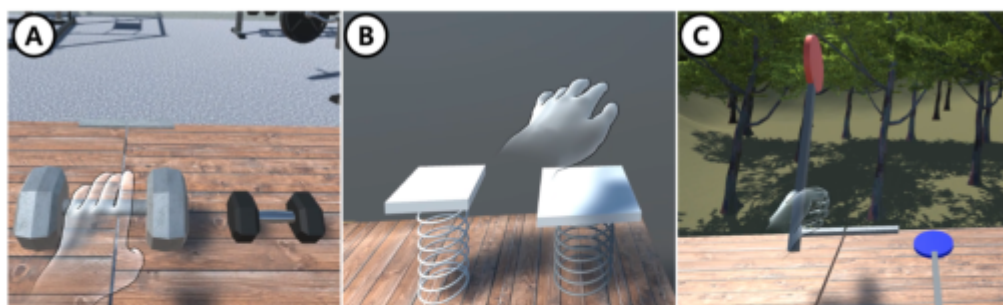


Fig. 6. VR scenes showing various physical properties scenarios including (A) inertia by lifting dumbbells, (B) elasticity by pressing springs, and (C) viscosity by swinging the paddles.

6. 실험 가설/절차

6. 실험 가설/절차 : 본 연구의 가설은 제안된 장치가 *정확한 물리적 속성의 햅틱 피드백*을 제공하며, 사용자가 이를 *인지 가능한 수준*으로 느낄 수 있다는 것이다. 이를 검증하기 위해 두 가지 주요 실험을 수행하였다. 첫째, *제로 포스 제어 실험*에서는 장치가 작동하지 않을 때 손

에 가해지는 힘이 0.02 N 이하로 유지됨을 확인하였다. 둘째, 물리 속성 렌더링 실험에서는 관성, 탄성, 점성 각각에 대해 6% 이내의 오차율로 목표 힘을 구현함을 입증하였다. 추가로, 심리물리학 기반의 인지 임계값 실험을 통해 최소 감지 임계값(0.114 N)과 차이 임계값(0.248 N)을 도출하였다.

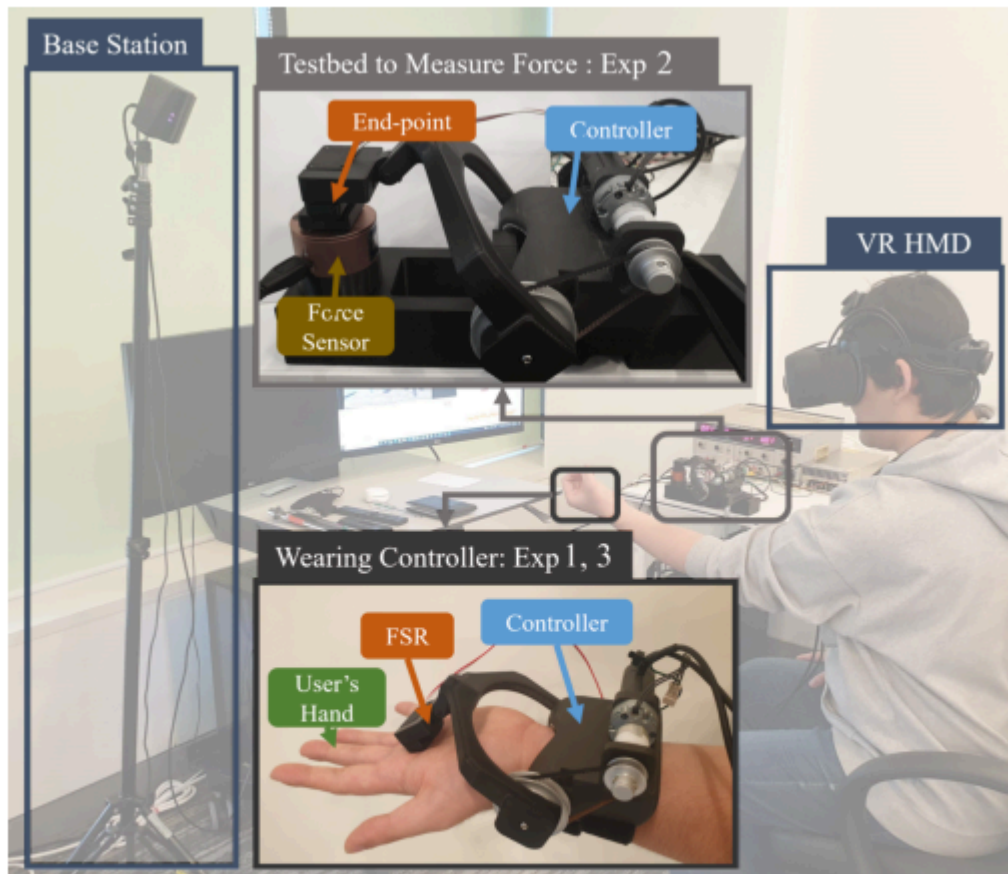


Fig. 4. The setup for experiment and evaluation. For the experiment, we devise our prototype with a torque sensor to measure the force without a user. For the evaluation, the user wears the controller and provides a response to feedback stimuli.

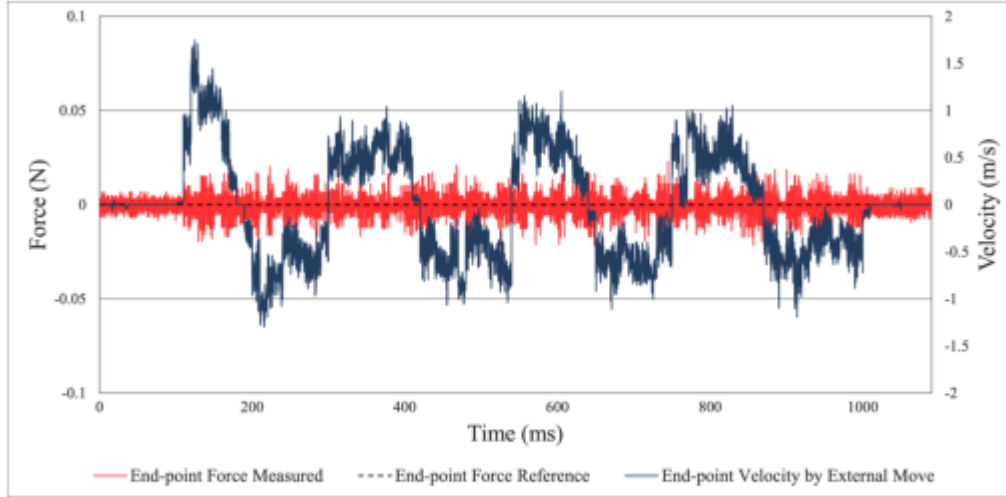


Fig. 5. Our system shows noise less than 0.02 N for keeping 0 N state when the external movement of 1.2 m/s is applied.

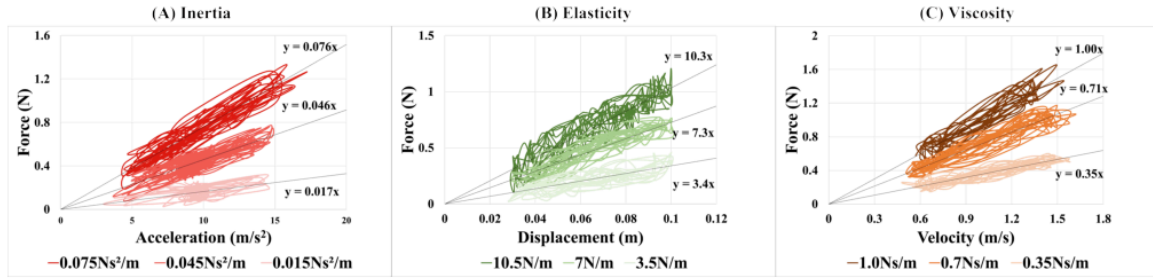


Fig. 7. To obtain the results of rendering performance, force graphs against hand movement (acceleration, displacement, velocity) are drawn. Each force feedback is generated in proportion to the desired physical properties (inertia, elasticity, and viscosity) where the gradient of each line represents system performance.

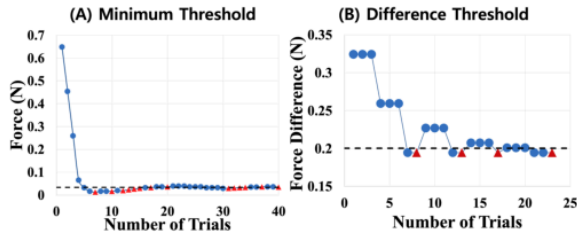
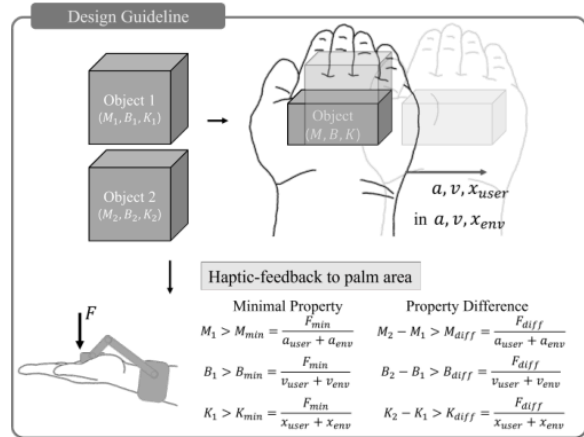


Fig. 8. An example (P3) of a staircase in the three-down, one-up method. Here, the observed (A) minimum threshold is 0.0335 N and (B) difference threshold is 0.2 N .

step size was reduced by half. The threshold was computed by averaging the last 10 reversals from each ladder.

Result: For all 10 participants, the average minimum



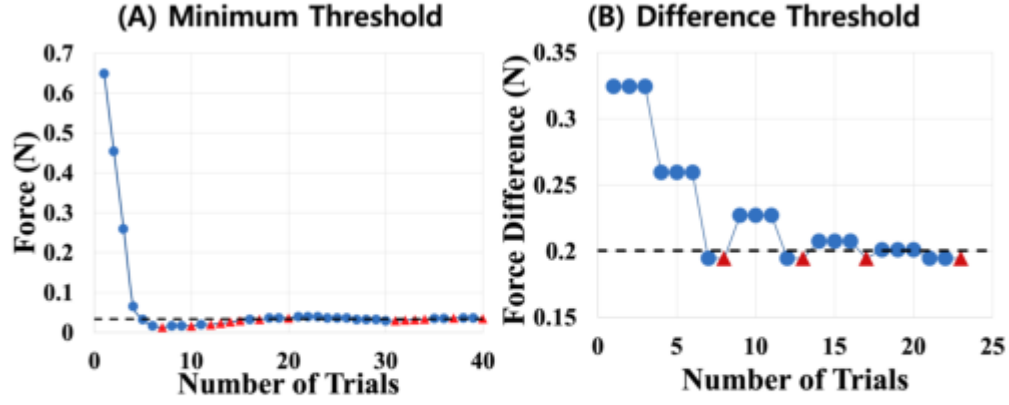


Fig. 8. An example (P3) of a staircase in the three-down, one-up method. Here, the observed (A) minimum threshold is 0.0335 N and (B) difference threshold is 0.2 N.

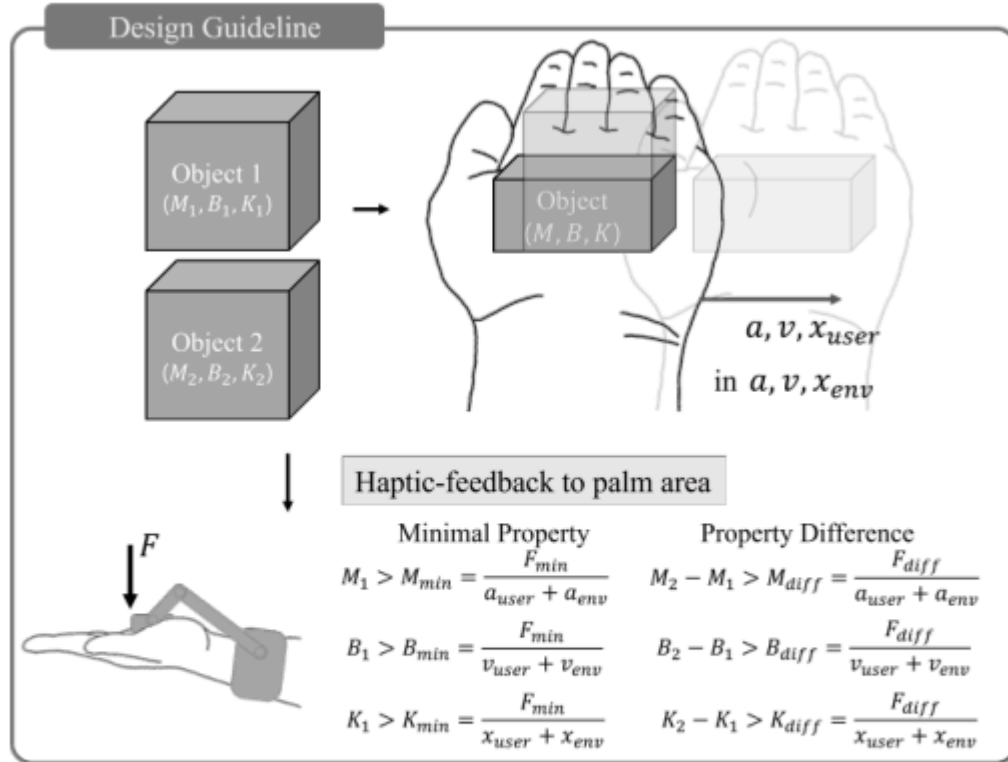


Fig. 9. In a VR environment ($a_{env}, v_{env}, x_{env}$) the physical properties of any two objects (M, B, K) are specified based on the minimum, difference threshold of the force feedback (F_{min}, F_{diff}) while reflecting dynamic hand movement ($a_{user}, v_{user}, x_{user}$).