

# 가상현실에서 몰입도 향상을 위한 발 움직임의 시각적 렌더링

## Visual Rendering of Foot Motion for Improving Immersion in Virtual Reality

문선웅

Sunung Mun

포항공과대학교 컴퓨터공학과  
Dept. of Computer Science and  
Engineering, POSTECH  
mtableo@postech.ac.kr

임종호

Jongho Lim

포항공과대학교 컴퓨터공학과  
Dept. of Computer Science and  
Engineering, POSTECH  
lcdplayer@postech.ac.kr

최승문

Seungmoon Choi

포항공과대학교 컴퓨터공학과  
Dept. of Computer Science and  
Engineering, POSTECH  
choism@postech.ac.kr

### 요약문

본 연구에서는 VR 탭 댄스, VR 축구 등의 발을 주로 사용할 가상현실 응용 프로그램에서 발의 움직임을 시각적으로 렌더링할 때, 신체의 부위를 어디까지 보여주는 것이 보다 정확한 상호작용을 돕는지 알아보기 위해 사용자 실험을 하였다. 실험 참가자들은 발을 포함한 신체 부위의 시각적인 렌더링 범위를 달리 하여 지정된 발판을 밟는 Task 를 수행하였다. 그 결과, 전신을 시각적으로 렌더링한 경우의 반응 시간이 발만 렌더링 한 경우보다 유의미하게 짧았지만, 전신을 렌더링한 경우의 발 움직임 정확도는 다른 경우보다 유의미하게 낮다는 것을 확인하였다.

### 주제어

가상현실(Virtual Reality), 키넥트(Kinect), 사이버 멀미(Cyber Sickness), 체화(Embodiment)

## 1. 서론

가상 현실 어플리케이션을 사용할 때, 사용자와 가상 환경 사이의 상호작용 방식은 사용자가 가상 환경에 몰입하게 하는 데 큰 영향을 끼친다[1]. 다양한 상호작용 방법들 중 가장 자연스럽게 몰입이 잘 되는 상호작용은 사용자의 신체 일부 혹은 전체를 그대로 표현하여 실제 움직임을 가상 환경 상의 아바타의 움직임과 대응시킨 형태로 상호작용을 하는 것이다[1]. 이를 위해 립 모션(Leap Motion, Leap Motion 社), 오쿨러스 터치(Oculus Touch, Oculus VR 社) 같은 장치를 사용하여 가상 공간에서 손의 움직임을 표현하는 시도들이 있었다[2]. 하지만 대부분의 사람들은 실 생활에서는 손을 사용한 상호작용을 하는 경우만 있는 것이 아니라 걷기, 달리기, 공 차기 등 발을 사용하여 주변과 상호작용하는 경우도 많다. 그런데 가상 환경에서 발을 사용하여 상호작용을 할 때, 가상 공간에서 발의 움직임을 시각적으로 렌더링하는 방법에 대한 연구는 현재 많이 진행되지 않고 있는 상황이다. 따라서 본

연구는 VR 탭 댄스나 VR 축구 등의 발을 주로 사용하여 상호작용하는 가상 환경 속에서 발의 움직임을 시각적으로 렌더링할 때, 어느 부위까지 표현하는 것이 사용자가 보다 정확한 상호작용을 하게 도와주는지 알아보았다. 사용자가 발을 움직여 지정된 위치를 밟는 간단한 Task 를 수행 할 때, 발을 포함한 신체 부위의 시각적인 렌더링 범위를 달리하여 반응 속도와 정확도를 측정하였다.

## 2. 가상 환경 구현

가상 환경 구현을 위한 하드웨어는 디스플레이 장치로 오쿨러스 리프트(Oculus Rift, Oculus VR 社) 및 사용자의 움직임을 측정하기 위한 키넥트(Kinect v2, Microsoft 社)로 구성되며, 키넥트의 센서 데이터를 연산하고 그래픽 렌더링을 하기 위해 게임 엔진 중 하나인 유니티(Unity)를 사용하였다. 유니티를 키넥트와 오쿨러스와 연동하기 위해 유니티용 키넥트 플러그인과 오쿨러스 플러그인을 사용했으며, 전체적인 시스템 구조는 그림 1 과 같다.

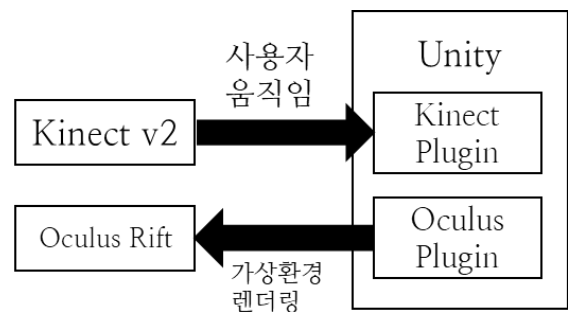


그림 1. 전체 시스템 구조

키넥트에서 추적된 사용자의 움직임을 유니티로 전송하기 위한 과정은 그림 2 의 액티비티 다이어그램(Activity Diagram)으로 나타내었다. 키넥트를 통해 사용자의 스켈레톤 정보를 가져온 후, 필요한 정보만 추출한다. 그 후, 사용자의 스켈레톤 데이터를 추적하여 사용자가 새로 인식되었으면 아바타 생성, 사용자가 인식되지 않으면 아바타 삭제,

사용자의 움직임이 계속 인식되는 상황이면 스켈레톤 데이터를 갱신하는 내용의 메시지를 생성하여 유니티로 전달한다. 유니티는 받은 메시지를 파싱(Parsing)하여 아바타 생성, 삭제, 갱신 중 어떤 메시지인지 판단하고 아바타 데이터를 시각적으로 렌더링한다.

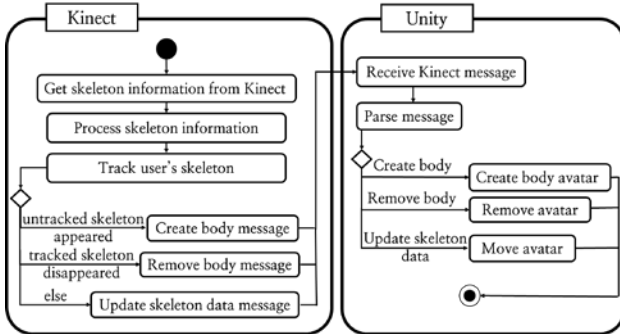


그림 2. 키넥트로 측정된 움직임을 유니티로 전송하는 액티비티 다이어그램

### 3. 사용자 실험.

사용자 실험에서 피실험자는 HMD 를 착용한 후, 키넥트 앞에 서서 가상 환경 속 아바타의 시점으로 자신의 발을 움직여 발판에 표시된 부분을 밟는 Task 를 반복하여 수행했다. 반응 속도 측정을 위해 발판을 밟는데 걸린 시간을 측정하고 정확도 계산을 위해 표시된 위치와 밟는 순간의 발 사이의 거리를 계산하였다. 실험 종료 직후, 멀미의 정도를 측정하기 위해 모든 피실험자에게 Simulator Sickness Questionnaire (SSQ) [3] 를 응답하게 하였다. SSQ 는 총 16 개의 항목을 응답하게 하는데, 그 중 9 개는 메스꺼움의 정도(Nausea)를 측정하고, 나머지 7 개는 안구 운동 장애(Oculo-motor) 정도를 측정한다. 메스꺼움 정도를 측정하기 위해 피실험자는 불편함, 침 분비 증가, 발한, 메스꺼움, 눈을 떴을 때의 현기증, 눈을 감았을 때의 현기증, 빙빙 도는 느낌의 어지러움, 위장에 대한 부담감, 트림의 여부 각각을 없음, 약간, 보통, 심함의 4 단계로 응답한다. 이 응답을 각각 0~3 으로 대응시킨 후에 다 더한 것이 메스꺼움 정도의 점수가 된다. 안구 운동 장애의 정도를 측정하기 위한 항목은 다음과 같다. 피로, 두통, 눈의 스트레스, 초점을 맞추기 어려움, 집중하기 어려움, 머리가 팽 찬 느낌, 뿌연 시야의 여부를 마찬가지로 없음, 약간, 보통, 심함의 4 단계로 응답하게 하고, 이 값들을 0~3 으로 대응시킨 후에 합계를 구한 것이 안구 운동 장애 정도의 점수가 된다.

### 3.1 실험 조건

사용자 실험에는 몸을 움직이는 데에 불편함이 없고, 인지능력에 문제가 없는 사람들을 모집하여 총 30 명(평균 21.97 세, 남자 20 명, 여자 10 명)의 피실험자가 참여했다. 소수의 피험자를 제외하면 대부분 HMD 를 착용해본 경험이 없었다. 발을 포함한 신체 부위를 시각적으로 렌더링 방법은 그림 3 과 같이 발만 렌더링(F; Foot), 발과 정강이 렌더링(S; Foot and Shin), 몸 전체 렌더링(B; Whole Body)으로 3 가지를 설정하였다. 학습효과(Learning Effect)가 실험 결과에 영향을 미치지 않도록 10 명의 피실험자는 F 조건에서, 다른 10 명의 피실험자는 S 조건에서, 마지막 10 명의 피실험자는 B 조건에서 실험을 진행하는 피험자간 설계(Between Subject Design) 방법을 사용했다. Task 를 반복하여 수행하는 동안 시간 제한은 없지만 피실험자에게 가능한 빠르게 Task 를 수행해 달라고 요청하였다.



그림 3. 발을 포함한 신체 부위를 시각적으로 렌더링하는 3 가지 방법. 왼쪽 위: 발(F), 왼쪽 아래: 발과 정강이(S), 오른쪽: 몸 전체(B)

### 3.2 실험 절차 및 결과 분석 방법

사용자 실험 장면은 그림 4 와 같다. 피실험자는 HMD 를 착용하고 지정된 위치에 서서 그림 5 처럼 왼쪽, 왼쪽 앞 대각선, 앞, 오른쪽 앞 대각선, 오른쪽 방향의 5 방향 중 붉은색으로 빛나는 입자 효과(Particle Effect)로 표시된 방향의 발판을 원하는 발로 밟은 뒤, 발을 원위치시키는 Task 를 수행했다. 본격적인 실험 전에 모든 피실험자들은 총 5 번 발판을 밟는 트레이닝 세션을 거친 다음, 각 방향 별로 10 번씩, 총 50 번을 임의의 순서로 밟는 본 실험을 진행했다. 실험이 끝난 뒤에, 한글로 번역한 SSQ 를 작성하도록 했다.



그림 4. 사용자 실험 장면

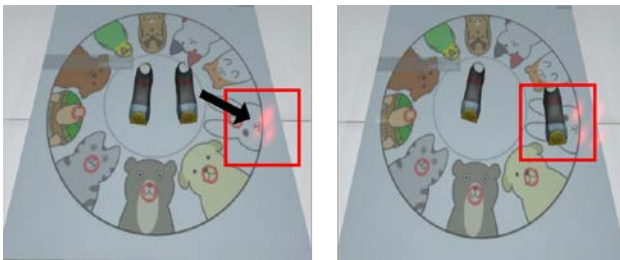


그림 5. 실험 중 수행하는 Task

피실험자의 Task 수행 능력을 정량적으로 확인하기 위하여 반응 속도와 정확도를 측정하였다. 피실험자의 반응 속도를 계산하기 위해, 한 Task 가 끝나고 다음 Task 를 수행하는데 걸린 시간을 측정했다. 발 움직임의 정확도를 측정하기 위해, 그림 6 과 같이 지정된 발판의 위치와 아바타의 발이 서로 충돌한 판정이 난 순간 아바타의 발 중심과 해당 발판의 중심 사이의 유클리드 거리(Euclidean Distance)를 지면과 평행한 평면상에서 계산하였다.

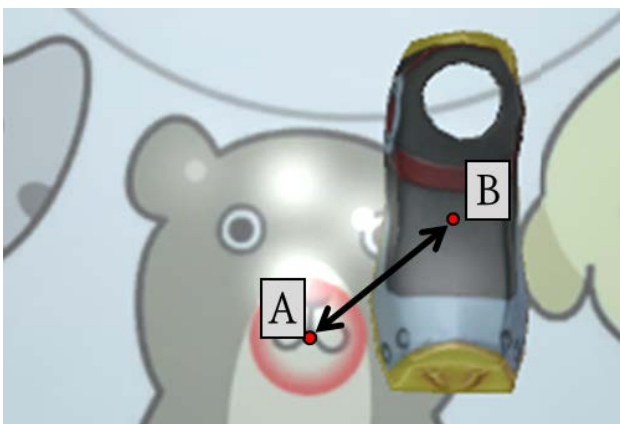


그림 6. 발 움직임의 정확도 측정. 목표 지점의 중심(A 지점) 과 밟는 순간 발의 중심(B 지점) 사이의 거리를 측정했다. A 와 B 사이의 거리가 작을수록 더 높은 정확도를 의미한다.

One-way ANOVA (일원분산분석)을 사용하여 F, S, B 조건들이 반응속도와 정확도에 미치는 영향을

분석하였다. SSQ 의 결과로 나온 메스꺼움 정도와 안구 운동 장애의 정도 또한 One-way ANOVA 로 분석하고, 후속 검정이 필요한 경우 모두 본페로니 검정 (Bonferroni Test)를 사용했다.

### 3.3 결과

반응 속도와 정확도 분석의 결과 그래프는 그림 7 과 같다. 피실험자가 HMD 를 착용한 뒤에 실험이 시작되면, HMD 상에 아무것도 보이지 않다가 갑자기 가상 환경이 렌더링 되어 피실험자가 적응하는데 좀 더 시간이 걸렸기 때문에, 50 번의 Task 중 맨 첫번째 Task 를 수행하는데 걸린 시간은 제외하고, 나머지 49 번의 Task 를 수행하는데 걸린 시간을 one-way ANOVA 으로 분석했다. 그 결과, p-값이 0.049059 가 나옴으로써 세 집단의 평균이 다를 수 있음을 확인하였다( $p < 0.05$ ). 후속 검정으로 본페로니 검정을 사용하여, 발만 렌더링한 경우가 몸 전체를 렌더링한 경우보다 유의미하게 오래 걸렸다는 결과를 얻을 수 있었다.

발판을 밟을 때의 정확도 또한 one-way ANOVA 로 분석했다. 그 결과, p-값이 0.00022 가 나옴으로써 세 집단의 평균이 다를 수 있음을 확인하였다( $p < 0.05$ ). 후속 검정으로 본페로니 검정을 사용하여 발 렌더링의 정확도가 몸 전체를 렌더링한 경우의 정확도보다 유의미하게 높고, 정강이 렌더링의 정확도가 몸 전체를 렌더링한 경우의 정확도보다 유의미하게 높다는 것을 확인했다.

SSQ 로 측정한 피실험자들의 메스꺼움 정도와 안구 운동 장애 정도의 결과는 그림 8 과 같다. 메스꺼움 정도를 one-way ANOVA 로 분석한 결과 p-값이 0.019514 가 나옴으로써 세 집단의 평균이 다를 수 있음을 확인하였지만( $p < 0.05$ ), 본페로니 검정을 사용한 후속 검정 결과 유의미한 차이를 보이지는 않았다. 안구 운동 장애 정도의 경우는 one-way ANOVA 결과, p-값이 0.253694 가 나옴으로써 세 집단의 평균이 다르다고 할 수 없었다( $p > 0.05$ ).

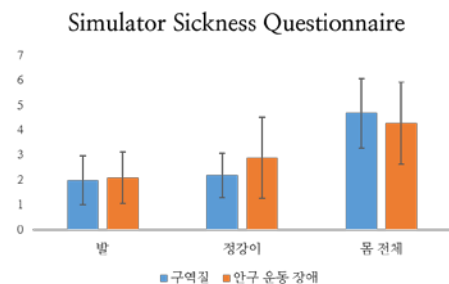


그림 8. SSQ 결과



그림 7. 측정된 반응 속도와 정확도 결과 그래프. 아래쪽 오차 막대는 최솟값, 위쪽 오차 막대는 최댓값, x 표시는 평균, 상자 중간에 가로 선은 중간 값을 의미한다. 두 조건 간 통계적으로 유의미하게 차이가 있는 경우 붉은 색 별표(\*)로 표시했다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 키넥트와 오쿨러스 리프트를 이용해 발판을 밟는 Task 를 수행하는 가상 환경을 구현하였고, 이를 이용하여 발의 움직임을 가상 환경 상에서 상호작용 방법으로 사용할 때, 발 렌더링 정도를 달리 하여 어떤 정도로 발을 렌더링하는 것이 효율적인지 확인하기 위해 사용자 실험을 진행했다.

그 결과, 가상 환경 상에 몸 전체를 렌더링하여 실제 움직임과 아바타의 움직임을 일치시킨 경우가 사람들의 반응 속도가 제일 빠르다는 것을 확인했다.

자기 몸을 전부 볼 수 있는 상황이 자연스럽게 일반적이므로 몰입도와 집중력이 강화되어 빠르게 반응하는 것으로 보인다. 하지만 정확도 면에서는 오히려 몸 전체를 렌더링하는 경우가 제일 좋지 않았다. 이는 몸의 다른 부분들이 발을 가리거나 시선을 분산시켜서 정밀한 발의 움직임 자체에 집중하는 데는 방해가 되었기 때문으로 보인다.

또, 몸 전체를 렌더링하는 경우가 반응 속도는 제일 빨랐지만 메스꺼운 정도는 제일 심한 편이었는데, 이는 키넥트를 비롯한 하드웨어적인 한계에서 오는 지연 시간(Latency)이 주요 원인으로 보인다. 피실험자가 느끼는 실제 몸의 움직임과 눈에 보이는 아바타의 움직임 사이의 지연 시간을 느낄 시각적인 단서가 다리의 일부만 렌더링하는 경우 보다 많기 때문이다. 따라서 가상 환경 상에서 상호작용하는 방법으로 발의 움직임을 사용하는 가상 현실 어플리케이션을 디자인할 때, 이러한 Trade-off 를 잘 고려하여 설계해야 할 것이다.

#### 사사의 글

이 논문은 2017 년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단-과학기술인문사회융합연구사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (No.NRF-2017M3C1B6070980). 또, 미래창조과학부 및

정보통신기술진흥센터의 ICT 명품인재양성사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-R0346-16-1007).

#### 참고 문헌

1. Lee J., Kim M., Kim J., A Study on immersion and VR sickness in walking Interaction for immersive virtual reality applications. *Symmetry* (2017), 9(5), 78:1-78:17
2. Stefano S., Leonardo M., Claudio P., and Domenico P., Touch the virtual reality: using the leap motion controller for hand tracking and wearable tactile devices for immersive haptic rendering. *ACM SIGGRAPH* (2015), 31-31.
3. Kennedy R., Lane N., Berbaum K., Lilienthal M. Simulator Sickness Questionnaire: An Enhanced Method for Quantifying Simulator Sickness. *The International Journal of Aviation Psychology* (1993), 203-220.