# 확장현실에서 사용자의 팔 근육 연습 및 분석을 위한 립모션 기반 추적 프레임워크

박성아<sup>0</sup>, 박소연<sup>\*</sup>, 김종현<sup>\*</sup>

<sup>0</sup>강남대학교 소프트웨어응용학부,

<sup>\*</sup>강남대학교 소프트웨어응용학부
e-mail: jonghyunkim@kangnam.ac.kr<sup>\*</sup>

# Leap-Motion Based Tracking Framework for Practice and Analysis of User's Arm Muscle

Seonga Park<sup>o</sup>, Soyeon Park<sup>\*</sup>, Jong-Hyun Kim<sup>\*</sup>

Opept. of Software Application, Kangnam University,

Dept. of Software Application, Kangnam University

• 요 약 •

본 논문에서는 립모션 디바이스를 이용하여 손의 움직임을 계산하고 이로부터 저글링 운동 동작뿐 만 아니라 이것을 이용한 팔 근육을 연습할 수 있는 새로운 프레임워크를 제안한다. 제안된 방법은 실시간으로 동작하기 때문에 사용자의 동작에 맞춰진 분석을 할 수 있다. 본 논문의 프레임워크는 크게 세 부분으로 나누어진다. 우선, 1) 사용자가 공을 튕기는 이벤트 트리거를 손목 움직임으로부터 정의한 뒤, 2) 사용자의 손 위치를 기준으로 저글링 형태의 움직임을 공에 매핑시키기 위한 포물선 기반 입자 기법을 제안한다. 마지막으로 3) 손목의 굽힘을 기반으로 근육의 활동 앙을 시각화할 수 있는 기법을 제안한다. 결과적으로 본 논문의 프레임워크를 이용하면 실시간 저글링 게임을 할 수 있을 뿐만 아니라 사용자의 팔 근육 움직임을 실시간으로 분석할 수 있다.

키워드: 립모션(Leap-motion), 사용자의 팔 근육(User's arm muscle), 헬스케어(Healthcare), 게임(Game)

#### I. Introduction

인체의 복잡한 움직임은 근골격계의 기하학적 구조와 기계적 특성에서 비롯된다. 이러한 인체의 움직임은 군중 시뮬레이션 애니메이션, 특수효과 등 다양한 분야에서 꾸준히 사용되고 연구되어 왔다[1,2]. 하지만 이러한 물리 기반 시뮬레이션 접근법은 알고리즘이 복잡하고 계산량이 크기 때문에 실시간 애플리케이션에 적용하기에는 어렵다. 최근에는 이 문제를 해결하고자 몇 가지 연구가 제안되었지만, 사용자의 동작보다는 영상 클립을 합성하는 접근법이기 때문에 실시간으로 사용자의 동작을 분석하고 시각화해주기에는 충분하지 않다[3].

이러한 표현적 한계를 개선하고자 본 논문에서는 사용자의 손 위치를 실시간으로 추적하고 이로부터 공의 움직임을 컨트롤 할 수 있는 새로운 프레임워크를 제안한다. 우리는 공의 움직임을 저글링 (Juggling) 형태로 모델링 했으며, 공은 입자 기반 기법을 이용하였다. 이 두 가지 해법을 기반으로 사용자의 팔 근육 연습 및 분석을 계산하기 위한 본 연구의 기여도는 아래와 같다:

- 손목의 스윙 동작으로부터 저글링 형태의 움직임을 추적하는
   모듈
- 손목의 굽힘(Bending)을 이용하여 근육의 사용량을 시각화 및 분석하는 모듈

#### II The Proposed Scheme

### 1. Calculation of juggling motion with hand motion

본 논문에서는 사용자의 손 위치로부터 저글링 움직임을 계산하기 위해 손 위치의 움직임이 크게 변하는 경우 공을 손의 백터로 공을 이동시킨다. 이때 공의 움직인 양은 손의 위치 움직임의 크기에 비례하기 때문에 살짝 튕겼을 때는 공에 가해지는 힘이 적고, 크게 튕겼을 때는 공에 상대적으로 큰 크기의 외력을 전달한다 (Fig. 1 참조).

#### 한국컴퓨터정보학회 하계학술대회 논문집 제28권 제2호 (2020. 7)

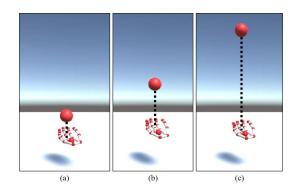


Fig. 1. Ball movement in response to hand movement ((a) small force, (c) large force).

저글링 움직임은 포물선 형태로 움직이기 때문에 우리는 손에 위치에 기준으로 공의 움직임을 맞춰주는 매핑 함수를 제안한다. 이를 수학적으로 공식화하기 위해, 2차원 평면상에서 포물선 운동을 한다고 생각하자. 공은 평면 위를 움직인다고 가정하고, X축에 수직인 방향으로 중력이 적용된다고 했을 때의 오일러(Euler) 적분 형태의 운동 방정식은 다음과 같다 (수식 1 참조).

$$\begin{split} v_z &= v_z 0 \\ v_y &= v_y 0 - g t \\ x &= x_0 + v_z 0 t \\ y &= y_0 + v_y 0 t - \frac{1}{2} g t^2 \end{split} \tag{1}$$

포물선 운동은 마치 투사 체 형태로 움직이며 초기에 속도와 중력을 받기 때문에, 위 수식을 단순 조화 운동(Simple harmonic motion)으 로 변환하면 아래와 같다 (수식 2~4 참조).

$$v_z 0 = v_0 \cos \theta_0 t \tag{2}$$

$$v_y 0 = v_0 \sin \theta_0 t - \frac{1}{2} g t^2 \tag{3}$$

$$t = \frac{2v_0 \sin \theta}{g} \tag{4}$$

여기서 t는 공이 공중에 머무는 시간을 말하며, 수평 최대 이동 거리를 계산하기 위해 수식 4를 수식 2에 대입하면 수평 최대거리를 계산할 수 있고, 아래 수식처럼 거리 d로부터 속도를 얻을 수 있다. (수식 5~7 참조).

$$d = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g} \tag{5}$$

$$d^*g = v^{2_0} \sin 2\theta \tag{6}$$

$$d^*g = v^{2_0} \sin 2\theta \qquad (6)$$

$$v^{2_0} = \frac{d^*g}{\sin 2\theta} \qquad (7)$$

손의 위치로부터 거리가 정해져 있다고 가정하여 포물선 방정식에 서 속도를 반대로 계산하면 시간당 움직이는 거리를 알 수 있고, 이로부터 포물선의 궤적을 계산한다. 수식 8은 거리로부터 계산된 공의 속도이며, 수식 9는 시간 t에 따른 수평 성분과 수직 성분의 속도를 적분하여 계산한 위치이다.

$$\begin{array}{l} v_{x}=\!v_{0}\mathrm{cos}\theta\\ v_{y}=\!v_{0}\mathrm{sin}\theta-gt \end{array} \tag{8}$$

$$x = v_0 t cos \theta \tag{9}$$

$$y=v_0tsin\theta-\frac{1}{2}gt^2$$

Fig. 2는 손의 움직임에 따라 포물선 운동을 하는 공의 움직임을 보여주는 결과이다. 립모션 디바이스로부터 얻은 손의 위치를 이용하 여 움직임 벡터를 계산하고 이로부터 실시간으로 저글링 형태의 공 움직임을 모델링했다.

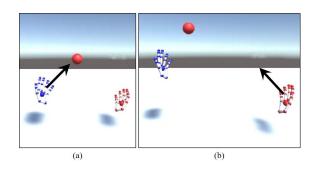


Fig. 2. Parabolic movement according to the movement of the hand (arrow: hand motion).

# 2. Visualizing and analyzing of arm momentum

우리는 사용자의 손목 움직임으로부터 팔 운동량을 계신하기 위해 기상의 팔목 형태를 모델랑한다. 립모션 디바이스에서는 손의 위치만 을 주워주기 때문에 우리는 실제로 저글링 운동을 할 때의 사람의 팔목 자세를 기준으로 가상의 팔목을 모델링하고 (Fig. 3 참조), 팔목 관절 사이의 굽힘을 이용하여 근육의 운동량을 근사한다. 실제 근육의 이완과 수축은 굽힘에 영향이 있기 때문에 본 논문에서도 이를 고려했으며, 굽힌 정도는 아래와 같이 계산한다 (수식 10 참조). 우리는 이 값을 0~1 사이로 정규화하여 사용한다.

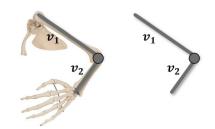


Fig. 3. Bending force between joints.

$$s_b = \cos^{-1} \left( \frac{v_1 \circ v_2}{\parallel v_1 \parallel \parallel v_2 \parallel} \right) \tag{10}$$

### 한국컴퓨터정보학회 하계학술대회 논문집 제28권 제2호 (2020. 7)

팔목 관절로부터 근육을 운동량을 표시하기 위해 실제 팔의 전체 근육이 아닌, 팔목의 굽힘으로 인해 지주 사용하는 근육에 해당하는 부분만을 세그먼테이션(Segmentation)하여 사용한다 (Fig. 4d 참조).

(a) (b) (c) (d)

Fig. 4. Segmentation of arm muscles.

저글링 운동을 할 때 근육의 수축 및 이완은 크게 두 가지 움직임으로 구분된다. 공을 던지는 저글링 과정에서는 팔 근육을 접을 때와 필때 상황만 존재하기 때문에 본 논문에서는 두 가지 상황에 대해서만 고려를 했다 (Table 1 참조).

Table 1. Two cases for bending situations.

1) 팔을 접을 때 (각도가 1 이하일 때)

• 수축하는 근육 : 파란색
• 이완하는 근육 : 빨간색

2) 팔을 필 때 (각도가 2 이상일 때)

• 수축하는 근육 : 파란색 • 이완하는 근육 : 빨간색

결과적으로 저글링을 위한 팔의 움직임을 위로 움직였을 때는 수축을 하고, 반대로 아래 방향으로 팔이 움직였을 때는 이완을 함으로 써, 저글링 움직임에 대한 근육을 수축/이완을 실시간으로 관찰할 수 있다.

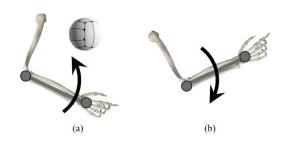


Fig. 5. Muscle contraction and relaxation calculated by bending of the joint.

Fig. 5는 관절의 움직임에 따라 근육의 수축 및 이완 상태를 결정하는 그림이다. Fig. 5a는 근육 수축으로 팔을 올리는 자세로, 저글링움직임에서 공을 위로 튕길 때 나타나는 손의 움직임이며, 이 과정에서는  $s_b$ 값이 0-0.5 사이의 값으로 나타난다. 근육의 이완은 저글링동작에서 공을 던지고 난 뒤, 손을 아래로 내리면서 돌리는 과정에서 나타나는 움직임이다 (Fig. 5b 참조). 근육의 수축과 이완이 결정되면, 이 관절에 위치에 가까운 세그먼테이션된 근육에 대해서 수축/이완의

크기를 색상으로 변환하여 시각화한다.

# III. Conclusions

본 연구에서는 립모션 다바이스로부터 얻은 손의 위치를 기반으로 사용자의 동작을 분석하고, 이 동작으로부터 가상의 저글링 공을 시뮬레이션했다. 손의 위치만 추적하는 립모션 다바이스에 한계를 완화하고자 손목의 움직임에 맞는 팔과 어깨 뼈대를 추기하였고, 팔목 관절 사이의 굽힘을 이용하여 근육의 이완과 수축 상태를 지동으 로 결정하였다.

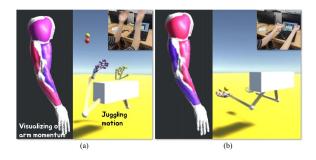


Fig. 6. Our results (contraction: relaxation:

Fig. 6은 본 논문에서 제안한 프레임워크의 결과이다. 사용자의 팔 움직임에 따라 관절의 굽힘 정도가 다르게 나타나며, 이에 따라 근육에 수축과 이완이 색상으로 시각화되는 결과를 잘 보여준다. 우리는 립모션 다바이스를 통해 얻은 손의 위치를 이용하여 실시간으로 저글링 형태로 움직이는 가상 공을 모델렁했다. 그뿐만 아니라 손의 위치와 회전 벡터를 통해 가상 관절을 추가하고, 이 관절의 굽힘을 이용하여 근육의 이완과 수축을 가시화함으로써 사용자가 현재 어떠한 근육을 사용하고 있는지 쉽게 보여준다.

향후, 근육의 운동량을 실시간 차트로 보여주고, 어느 부분에서 잘못된 운동 하고 있고, 운동 자세를 어떻게 변경해야 하는지 가상은 트레이너 역할을 할 수 있는 방법을 추가할 계획이다.

# **REFERENCES**

- [1] Seunghwan Lee, Ri Yu, Jungnam Park, Mridul Aanjan eya, Eftychios Sifakis and Jehee Lee, "Dexterous Manipulation and Control with Volumetric Muscles," ACM Transactions on Graphics, Vol. 37, No. 4, 2018.
- [2] Seunghwan Lee, Kyoungmin Lee, Moonseok Park, and Jehee Lee, "Scalable Muscle-actuated Human Simulation and Control," ACM Transactions on Graphics, Vol. 37, No. 73, 2019.
- [3] Jong-In Choi, Sun-Jeong Kim, Chang-Hun Kim, and Jung Lee "Let's be a virtual juggler," Computer Animation and

# 한국컴퓨터정보학회 하계학술대회 논문집 제28권 제2호 (2020, 7)

Virtual Worlds, Vol. 27, No. 3, pp. 443-450, 2016.