

Force Arrow: An Efficient Pseudo-Weight Perception Method

Jun Lee*

Abstract

Virtual object weight perception is an important topic, as it heightens the believability of object manipulation in immersive virtual environments. Although weight perception can be achieved using haptic interfaces, their technical complexity makes them difficult to apply in immersive virtual environments. In this study, we present a visual pseudo-haptic feedback system that simulates and depicts the weights of virtual objects, the effect of which is weight perception. The proposed method recognizes grasping and manipulating hand motions using computer vision-based tracking methods, visualizing a Force Arrow to indicate the current lifting forces and its difference from the standard lifting force. With the proposed Force Arrow method, a user can more accurately perceive the logical and unidirectional weight and therefore control the force used to lift a virtual object. In this paper, we investigate the potential of the proposed method in discriminating between different weights of virtual objects.

▶ Keyword: Virtual Reality, Object Manipulation, Weight Perception of Virtual Object

I. Introduction

최근 3D 디스플레이들과 이에 따른 입력 인터페이스 기술의 발전으로 몰입 가상환경에서 3D 애플리케이션들을 널리 활용하고 있다 [1, 2]. 몰입 가상환경에서 가상 객체의 조작은 사용자가 몰입 가상환경에서 가상의 객체와 상호 작용을 하는 데 직접적인 영향을 미치기 때문에 핵심적인 요소라고 볼 수 있다. 사용자가 가상 객체를 조작하는 경우, 사용자는 먼저 가상 객체를 잡게 되고, 객체에 대한 조작을 수행한다. 그리고 사용자의 조작에 따른 피드백을 받게 된다. 만약 몰입 가상환경에서 사용자가 다른 입력 장치들을 손에 잡고 사용하는 것이 아니라 자신의 손으로 가상 객체를 조작하는 것이 가장 직관적인 방법으로 사용자는 객체 조작을 위해서 추가적인 지식을 쌓을 필요 없이 조작 할 수 있다는 장점이 있다. 여기에 사용자가 객체를 조작하면서 실제 세계와 같은 피드백을 제공해준다면 사용자는 몰입 가상환경에서 조작하는 객체를 실제 객체라고 인식을 할 수 있다.

본 논문에서는 몰입 가상환경에서 사용자가 객체를 조작할 때, 가상 객체의 무게감을 시뮬레이션하고 사용자에게 제공해

주고자 한다. 가상 객체의 무게감은 일반적으로 시각적 및 햅틱 피드백을 통해 느낄 수 있다. 가상 객체를 잡았을 때 알맞은 감각을 제공해주는 연구들을 주로 엑소-스켈레톤(exo-skeleton) 기반의 햅틱 인터페이스들을 사용하여 가상 무게감을 제공하였다 [3, 4, 5]. 이 연구들은 사용자의 팔, 손, 그리고 손가락에 여러 형태의 햅틱 인터페이스들을 부착한다. 이후, 사용자가 객체를 들어 올리는 과정에서 사용자의 손에 부착된 햅틱 인터페이스들을 조정 하여 가상 객체의 무게에 알맞은 힘을 아래로 주는 방법으로 무게감을 제공한다. 이러한 방법들을 사용하는 경우 사용자가 가상 객체에 대한 무게감을 느낄 수 있지만, 너무 많은 햅틱 장치들을 사용자가 부착하기 때문에 사용성과 편의성 부분에서 문제가 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 가상 햅틱을 사용한 무게감에 관한 연구들이 이루어지고 있다. 이들 연구의 특징은 사용자가 가상 객체를 들었을 때, 햅틱 인터페이스 대신, 사용자의 피부 등에 부착된 센서를 통해서 텍타일 피드백(Tactile Feedback) 및 자기 감각 피드백(Proprioceptive)을 느끼게 해준다는 특징이 있다[6]. 해당 연구들

*First Author: Jun Lee, Corresponding Author: Jun Lee

*Jun Lee (junlee@hoseo.edu), Division of Computer Information and Science, Hoseo University

Received: 2018. 04. 02, Revised: 2018. 06. 20, Accepted: 2018. 07. 02.

This work was supported by the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Korea government(MSIT) (No. 2017R1C1B5076972).

에 따르면 가상 객체의 다른 무게들에 따라서 피부에 느껴지는 진동 및 압박 정도를 다르게 하여 사용자가 여러 객체의 무게를 느낄 수 있도록 해준다[7, 8, 9]. 이러한 연구들은 가상의 무게를 간접적으로 느낄 수 있게 해준다는 장점이 있지만, 여전히 사용자가 피부에 햅틱 감각을 느낄 수 있는 장치들을 부착해야 한다는 점에서, 사용자의 편의성이 떨어진다는 단점이 있다.

본 논문에서는 가상 객체의 무게감을 논리적이고 간접적으로 표현할 수 있는 새로운 방식의 가상 햅틱 인터페이스를 제안한다. 제안하는 방법은 Force Arrow를 시각화하여 사용자가 현재 들어 올리는 가상 객체의 힘을 측정하여, 이 가상 객체의 올바른 무게에 따른 기준 힘과의 차이를 표시하는 방법을 사용한다. 사용자는 몰입 가상환경에서 여러 무게를 가진 가상 객체들을 들어 올리면서, Force Arrow가 가상 기준 무게를 맞출 수 있도록 조절을 하게 되고, 이에 적합한 속도로 가상 객체를 들어 올리게 된다. 사용자가 물체를 들어 올리는 과정에서 사용자의 팔에 있는 근육과 신경들이 수축이 이루어지게 되고 이 상태에서 가상 객체를 들어 올리면서 사용자는 가상 객체에 대한 무게감을 논리적이고 간접적으로 느끼게 된다. 즉, 사용자가 직접적인 무게를 느끼지는 않지만, 가상 객체를 들어 올릴 때 최대한 손과 팔에 힘을 줘서 수축한 상태에서 가상 객체의 무게에 알맞은 속도로 들어 올리게 되면 수축한 근육을 통해서 들어 올리는 가상 객체의 무게감을 간접적으로 인지할 수 있다.

우리는 본 논문에서 제안한 방법에 대해서 사용자 평가를 수행하였으며, 수행 결과 복잡한 햅틱 인터페이스들을 사용자의 손이나 팔에 부착하지 않고도 몰입 가상현실 환경에서 가상 객체를 드는데 무게감을 느낄 가능성을 발견할 수 있었다. 본 논문에서 제안하는 방법의 기여도는 몰입 가상현실 환경에서 사용자가 손이나 팔에 입출력 장치들을 부착하지 않고도 가상 객체들 들어 올리는 과정에서 무게감을 논리적이고 간접적으로 느낄 수 있는 가상 햅틱 인터페이스를 제안하였다는 점이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 가상 객체의 무게감을 시뮬레이션하기 위한 연구 방법들에 대해서 알아본다. 3장에서는 제안한 시스템의 방법 및 몰입 가상환경에 대해서 논한다. 4장에서는 본 논문에서 제안한 시스템을 사용하여 사용자 평가를 통해 사용자들이 가상 객체를 들어 올릴 때 무게감을 느낄 수 있는지에 대한 평가를 수행한다. 5장에서는 본 논문에서 제안한 시스템에 대한 결론 및 향후 논의되어야 할 내용을 다룬다.

II. Preliminaries

1. Related works

몰입 가상현실 환경의 급격한 발전으로 인해서 가상 객체를 손으로 자연스럽게 잡고 조작을 하고, 그에 따른 피드백을 받고자 하는 연구들이 조명을 받았다. 사용자가 손으로 가상 객체를

잡고 객체를 조작하는 경우, 사용자는 기존의 3D 객체 선택 및 조작 방법들과 비교하면 사용자가 가상 객체를 조작하고자 할 때 객체 조작에 대한 추가적인 교육 방법들을 학습할 필요 없이 자연스럽게 직관적으로 객체 조작을 할 수 있다는 장점이 있다. 가상 객체 조작 과정에서 발생하는 주요한 문제들은 어떻게 사용자의 손을 잘 인식해서 가상 객체를 잡고, 사용자가 가상 객체를 잡았을 때 알맞은 피드백을 제공해주느냐이다. Borst et al.은 물리적인 햅틱 피드백을 제공해주는 연구를 수행 하였다[3]. 이들은 CyberGrasp라는 햅틱 인터페이스와 사용자의 손을 인식하기 위한 데이터 글러브가 결합된 장치를 사용하여 인식된 사용자의 손동작을 3차원 손 모델 정보에 결합하여 실시간으로 객체를 잡을 수 있도록 해주고, 사용자가 가상 객체를 잡았을 때 알맞은 햅틱 피드백을 주기 위해서 질량 기반의 선형 및 뒤틀린 스프링 댐퍼 모델을 제안하고, 이 모델 기반에서 햅틱 피드백을 시뮬레이션하여 제공하였다. 이들의 연구에 따르면 사용자가 가상 객체를 잡았을 때 객체의 탄성 등에 대한 느낌은 햅틱 피드백을 제공했지만 무게감과 같은 더 높은 수준의 햅틱 피드백은 제공하지 못했다. Otto et al.은 이런 문제를 개선하여 통합된 햅틱 피드백 시스템을 제안하여 사용자가 두 손으로 가상 객체를 자유롭게 조작할 뿐만 아니라 이에 따라서 느끼는 무게감까지 표현하는 시스템을 제안 하였다[4, 5]. 이들을 통해 가상 객체를 잡고 조작하는 것은 물론 거기에 따른 객체의 햅틱 피드백을 잘 묘사했지만 사용자가 햅틱 피드백을 느끼기 위해서는 햅틱 팔, 햅틱 손과 같은 비싸고 복잡한 장치들을 부착해야 한다는 점에서 단점을 가지고 있다. 이외에도 사용자가 가상 객체를 잡았을 때 객체에 대한 무게감을 주기 위한 연구로써, 사용자의 모든 손가락에 엑소 스킼레톤 기반의 햅틱 인터페이스를 부착하고 사용자가 무거운 객체를 들었을 때 이 햅틱 인터페이스들을 아래로 당겨서 사용자가 무게감을 느낄 수 있는 연구들이 이루어졌다[7, 8, 9, 10]. 하지만 사용자가 손가락에 착용하는 때도 여전히 사용성에 문제가 된다는 단점이 있다.

이러한 햅틱 인터페이스들로 직접적인 무게를 표현하는 대신에, 좀 더 간편한 햅틱 인터페이스에 따른 피드백과 다른 모달리티를 사용하여 사용자가 가상 객체의 무게를 느낄 수 있도록 하는 연구들이 이루어졌다. Funahashi et. al. 은 시각적 피드백과 촉각을 통해 제공해주는 택타일 피드백의 조합을 다른 객체들에 제공해줌으로써 사용자가 각기 다른 객체들이 가지고 있는 무게를 구별할 수 있도록 해주었다[11]. Hannig et. al.은 공기 압축 디바이스를 사용하여 무게감을 시뮬레이션 하였다[12]. 그들은 또 가상 객체의 무게에 따라 컨트롤 할 수 있는 속도를 조절하여 무게감을 줄 수 있는 피드백을 제안하였다. Hummel etl. al. 은 손가락으로 가상 객체를 잡는 과정에서, 손가락에 들어가는 힘과 거리에 따라서 각각 다른 무게를 가진 가상 객체들을 들어 올릴 수 있도록 하여 가상 무게감을 구현 하였다[6]. 가상 무게감을 만들어낸 연구들에 따르면 사용자들은 가상 객체들이 가진 다른 무게감을 구별 할 수 있도록 나왔

지만, 여전히 손이나 팔에 햅틱 피드백을 느낄 수 있는 복잡한 디바이스 장치를 부착해야 한다는 점에서 개선할 여지가 필요하다. 또한, 사용자에게 보여주는 시각적 피드백은 가상 무게감을 나타낼 뿐이지, 사용자가 가상 객체를 들어 올릴 때 올바른 무게를 표현하고 이에 따른 객체를 들어 올리는 힘과 속도를 안내하지 못한다.

III. The Proposed Scheme

1. Force Arrow method

우리는 Force Arrow라는 가상 객체 무게감을 나타내는 시각적인 인터페이스를 제안한다. 이 인터페이스는 사용자가 자신의 손에 어떤 디바이스나 장치들을 부착하지 않고도 가상 무게감을 느낄 수 있도록 해준다. 그림 1은 본 논문에서 제안하는 시스템이 가상 객체를 잡았을 때를 보여준다. 그림 1 (A)와 같이 본 논문에서 제안한 시스템은 손의 이전 위치를 기억한 채로 시작한다. 가상 객체를 들어 올리는 동안에는 그림 1 (B)에서와 같이 Force Arrow는 해당 가상 객체를 들어 올리는데 필요한 기준 힘과 비교하여 현재 들어 올리는 힘이 충분한지 부족하지 알려준다. 사용자가 가상 객체를 들어 올리는 힘을 Force Arrow를 통해서 조절하게 되면 그 사용자의 팔에 있는 근육들이 수축하고, 이를 통해서 사용자는 가상 객체를 들어 올리는 것에 대한 무게감을 느낄 수 있다.

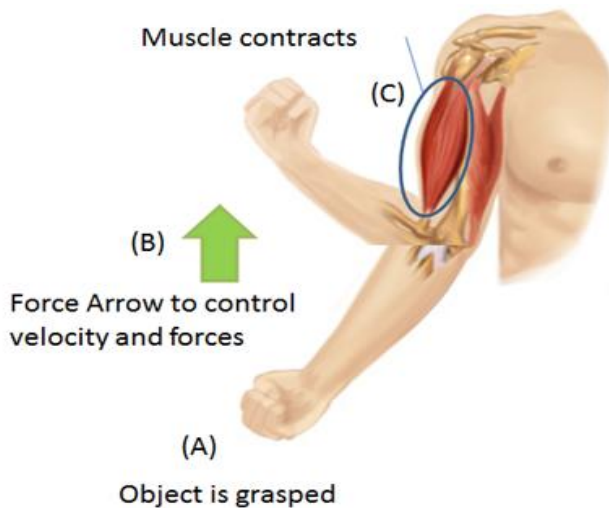


Fig. 1. Concept of the 'Force Arrow'—based interface for pseudo-weight perception. (A) Initial state, user grasps a virtual object. (B) While the user is lifting the virtual object, 'Force Arrow' helps the user to control the corresponding lifting force and velocity. (C) Muscle contraction occurs during the lifting process, leading the user to perceive the weight of the virtual object

사용자가 가상 객체를 잡은 후에, 본 논문에서 제안한 시스템은 사용자의 손의 3차원 위치 정보 및 회전 값을 추적한다. 시간

t_{n-1} 일 때 와 시간 t_n 일 때 사용자의 손의 위치들에 대한 거리의 차이인 d 는 다음의 수식 (1)을 통해서 계산될 수 있다.

$$d = p_{t_n} - p_{t_{n-1}} \quad (1)$$

(t_n 은 현재시간, t_{n-1} 은 이전 시간)

이후 속도 v_n 을 구하기 위해서는 다음의 수식 (2)와 같이 시간 거리의 차이 d 를 t_n 에서 t_{n-1} 까지 이르는 시간의 차이로 나누어 계산할 수 있다.

$$v_n = d / (t_n - t_{n-1}) \quad (2)$$

속도 v_n 은 사용자가 객체를 들어 올리는 힘의 정도를 결정한다. 속도의 변화는 객체를 들어 올리는 힘에 비례하지만, 여기서 가상 객체의 실제 무게에 따른 적합한 들어 올리는 힘을 고려해야 한다. 사용자가 실제 객체를 뉴턴의 제 2 법칙에 따라서 적절한 힘으로 들어 올릴 때는 사람이 물리적으로 가지고 있는 힘의 제약으로 인해서 객체를 들어 올릴 수 있는 최대 속도가 결정된다. 일반적으로 가벼운 객체를 드는 것보다 무거운 객체를 드는 것이 더 많은 힘이 필요하다. 따라서 사용자가 같은 힘으로 가벼운 객체를 들 때 보다 무거운 객체를 들어 올릴 수 있는 최대 속도는 느려진다[13]. 들어 올리는 물체의 무게가 너무 무거울수록 들어 올리는 사용자의 힘이 더 많이 들고 사용자가 가진 육체적인 한계 때문에, 사용자가 객체를 들어 올리는 힘과 속도의 관계는 비례식이 아닌 다음의 그림 2에서 나온 것처럼 로그함수 함수를 통해서 모델링을 할 수 있다[13].

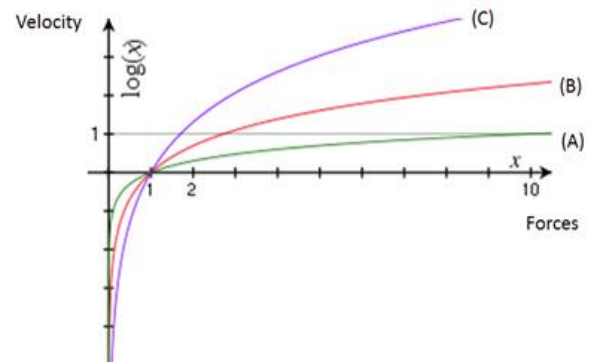


Fig. 2. Logarithmic functions for the lifting of (A) heavy, (B) moderately heavy, and (C) lightweight objects

만약 사용자가 고정된 질량 m 을 가진 실제 객체를 들어 올린다고 할 때, 운동학적 관점에서 사용자는 일반적으로 일정한 속도로 해당 객체를 들어 올린다[13]. 사용자가 이렇게 물체를 일정한 속도로 들어 올린다는 가정에서, 우리는 수식 (3)에서와 같이 뉴턴의 제 2법칙을 유도하여, 가상 객체를 들어 올리는 힘을 계산할 수 있다. 즉, 사용자는 가벼운 객체를 들어 올릴 때는 빠르게 들어 올릴 수 있지만, 그 객체가 점점 무거워져서 많은 힘이 필요한 경우에는 객체를 들어 올리는 속도가 느려지게 된다. 그림 2의 (C)는 사용자가 매우 가벼운 객체를 들어 올릴 때

사용자의 힘과 속도에 대한 관계를 나타내고, 그림 2의 (B)는 중간 정도의 무게를 가지는 객체를 들어 올릴 때의 그래프를, 마지막으로 그림 2의 (C)의 경우에는 가장 무거운 객체를 들어 올릴 때 사용자의 힘과 객체의 관계라고 볼 수 있다. 이러한 관계를 로그리즘 함수로 모델링을 한 이유는 운동학점 관점에서 사람이 내는 힘의 한계가 있으므로 아무리 가벼운 객체라도 객체를 들어 올리는 속도가 일정이상으로 증가하지 못하는 한계를 가지고 있다[13]. 이러한 관계에 기반을 두어 사용자가 가질량 m 인 가상 객체를 들어 올릴 때 필요한 속도 v_n 의 가속도 값에 대한 힘 F_n 을 얻을 수 있다.

$$F_n = m \frac{d}{dt}(v_n)$$

$$\frac{d}{dt}(v_n) = \log_m \times F_n$$

$$m \frac{d}{dt}(v_n) = F_n \tag{3}$$

다음으로는 가상 객체를 들어 올리는 사용자가 가상 객체를 들어 올릴 때 사용자에게 해당 가상 객체에 대한 올바른 무게감을 제공하기 위해서 안내하는 힘을 만들어내야 한다. 표준 들어 올리는 힘인 F_s 는 다음의 수식 (4)를 통해서 얻을 수 있다. 수식 (4)에서 g 는 중력 가속도를 의미하고 a 는 상숫값을 의미한다.

$$F_s = m \times g \times (a \times d) \tag{4}$$

이제 사용자가 가상 객체를 들어 올릴 때, 이 가상 객체에 대한 올바른 힘인 F_s 와 사용자가 현재 들어 올리고 있는 힘인 F_n 의 차이를 통해서, 가상 객체를 들어 올리는 사용자가 올바른 무게감을 느끼기 위해서 조정해야 할 힘 F_g 를 수식 (5)와 같이 계산할 수 있다.

$$F_g = F_s - F_n \tag{5}$$

본 논문에서 제안한 방법은 가이드 힘인 F_g 를 그림3과 같이 Force Arrow를 통해서 시각화한다. Force Arrow는 현재 사용자가 가상 객체를 들어 올리고 있을 때 이 가상 객체를 들어 올리는 힘을 어떻게 조절해야 해당 객체의 올바른 힘을 느낄 수 있는지를 나타낸다. 그림 3(A)은 현재 사용자가 가상 객체를 들어 올리는 힘을 나타내는데, 만약 사용자가 가상 객체를 들어 올리는 힘이 너무 약해서 제대로 느끼지 못한다면 화살표는 그림 3(B)에 최소값에 해당이 된다. 이런 경우 사용자는 힘을 쥘서 가상 객체를 들어 올리는 속도를 높여야 한다. 사용자가 힘을 조정하는 과정은 그림 4(A)에 나와 있다. 반대로 사용자가 들어 올리는 힘이 너무 강하면 사용자가 제대로 된 무게감을 느끼기가 어려우므로 힘의 최대치를 알리는 그림 3(C)을 나타내게 된다. 이런 경우에는 사용자는 가상 객체를 들어 올리는 속도를 조금 낮춰야 하고 이 과정은 그림 4(B)에 나와 있다. 만약 사용자가 제대로 된 힘을 유지한다면 Force Arrow는 그림 3(D)에 나오는 그것처럼 기준 힘을 표시한다.

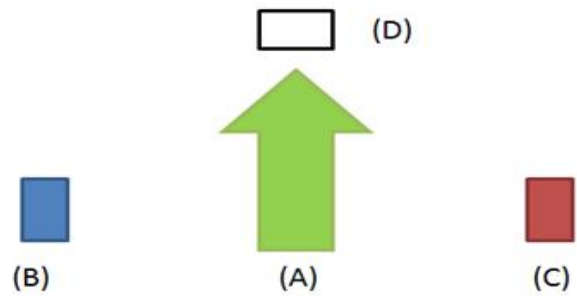


Fig. 3. Force Arrow-based interface. (A) The arrow indicates a discrepancy between the lifting force and the standard force. (B) A blue mark indicates the minimum force. (C) A red mark indicates the maximum force. (D) A white mark indicates the standard force

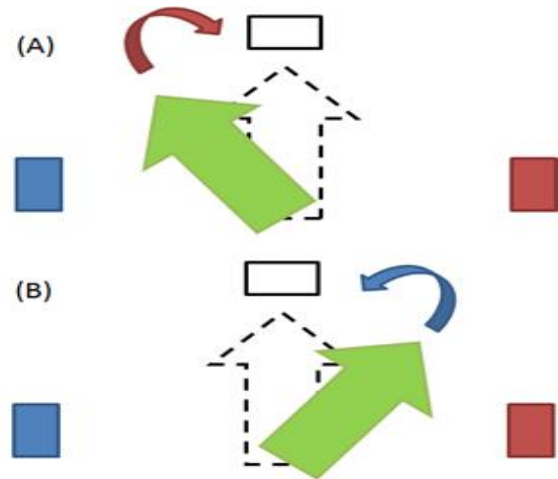


Fig. 4. Examples of calculation and visualization of the Force Arrow. (A) Current force is lacking. Thus, a user should increase the lifting force. (B) Current force is excessive. Thus, a user should decrease the lifting force

2. System overview

다음의 그림 5는 본 논문에서 제안한 가상 무게감을 제공하는 시스템의 구조를 보여준다. 제안한 시스템은 사용자가 3차원 가상 객체를 잡는 과정에서 사용자의 위치 정보를 추적하고, 사용자가 가상 객체를 잡는 손동작을 인식하기 위해서 Kinect V2를 입력 인터페이스로 사용하였다. Human Tracking Module에서는 이러한 Kinect V2 인터페이스를 사용하여 사용자의 3차원 위치 정보를 추적하고 사용자가 손으로 가상 객체를 잡고 놓는 동작에 대한 제스처 인식을 수행한다. 3차원 위치 정보와 사용자의 핸드 제스처 정보들은 통합되어 Message Server로 전송이 이루어지고 Oculus Rift DK2를 사용한 3차원 몰입 가상환경에서 사용자는 3차원 가상 손을 볼 수 있고, 실제 손을 움직여서 잡는 제스처를 수행하여 몰입 가상환경에서 사용자가 원하는 가상 객체를 잡을 수 있다. 사용자가 가상 객체를 잡는 경우 사용자는 들어 올리는 동작을 하게 되는데, 이때 Kinect V2로부터 추적된 사용자의 손 위치 정보를 바탕으로 현재 가상 객체를 들어 올리는 힘을 계산하고 현재 들어 올리는 힘과 가상 객체의 올바른 무게감의 차이를 사용자에게 보여주고 이를 조정해 주기 위해서 Force Arrow를 시각화한다.

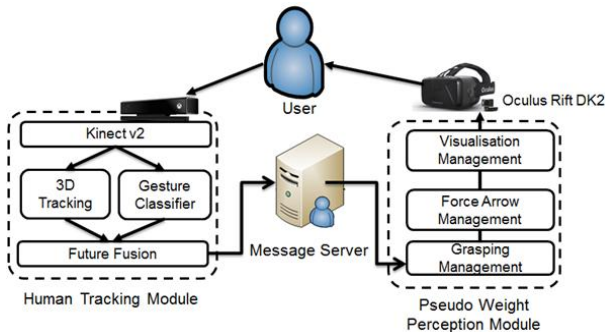


Fig. 5. Overall system architecture

다음의 그림 6은 본 논문에서 제안한 사용자가 가상 객체를 잡고 들어 올리는 과정에서 가상 무게감을 제공해주는 전반적인 프로세스를 보여준다. 사용자가 가상 객체를 잡지 않은 상태에서는 사용자가 가상 객체를 잡으려고 가상 손을 가상 객체에 닿을 때 제안한 시스템에서는 충돌 체크를 수행한다. 충돌이 이루어지면 사용자가 실제 손을 가상 객체를 잡는 제스처를 수행하는지를 판단한다. Kinect V2를 통해서 핸드 제스처 인식을 수행하고 제스처 인식이 되면 가상 객체를 사용자가 손으로 잡게 된다. 가상 객체를 사용자가 잡은 후에는 사용자가 손을 움직임에 따라서 가상현실 환경에서 손이 움직이고, 손에 잡힌 가상 객체도 같이 움직이게 된다[14]. 본 논문에서 제안한 가상 무게감에 대한 모듈은 사용자가 가상 객체를 잡은 후에 실행되는데, 사용자의 실제 손의 위치를 추적하여 얻은 정보들을 본 논문에서 제안한 수식들을 사용하여 사용자가 현재 가상 객체를 들어 올리는 힘을 계산한다. 본 논문에서 제안한 Force Arrow는 사용자가 현재 가상 객체를 들어 올리는 힘과 가상 객체에 대한 표준 힘과의 차이를 계산하여 올바른 무게감을 느끼기 위해서 현재 가상 객체를 들어 올리는 힘을 늘려야 할지 줄여야 할지를 시각화해준다. 이 과정에서 사용자가 만약 가상 객체를 놓기 위해서 손을 활짝 펴는 제스처를 수행하는 경우, 가상 객체의 잡기가 해제되며, 다시 사용자는 이 과정을 반복할 수 있다.

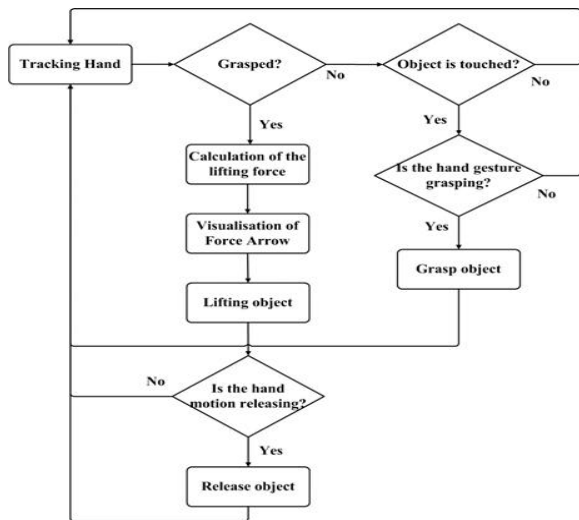


Fig. 6. Overall process of the proposed weight module

본 논문에서 제안한 가상 무게감 모듈을 적용하기 위한 애플리케이션으로 가상 헬스장 시스템을 구축하였다. 사용자는 가상 헬스장 안에서 가상 덤벨과 같은 운동기구를 잡고 운동을 할 수 있다. 다음의 그림 7은 본 논문에서 제안한 가상 헬스장에 대한 그림이다.



Fig. 7. Virtual Gym

다음의 그림 8은 사용자가 Oculus DK2를 착용한 상태에서 제안한 시스템을 사용하는 장면이다. 사용자는 자신의 실제 손을 움직이고 가상 객체를 잡는 과정을 수행하고 이때 그림 8(A)에 있는 Kinect V2 카메라가 사용자의 손의 위치 및 핸드 제스처 유무를 판별하고, 여기서 얻어진 정보들은 그림 8(B)에 있는 Oculus Rift DK2를 통해서 몰입 가상현실 환경과 본 논문에서 제안한 가상 객체를 들어 올릴 때 무게감을 시각적으로 제공한다.

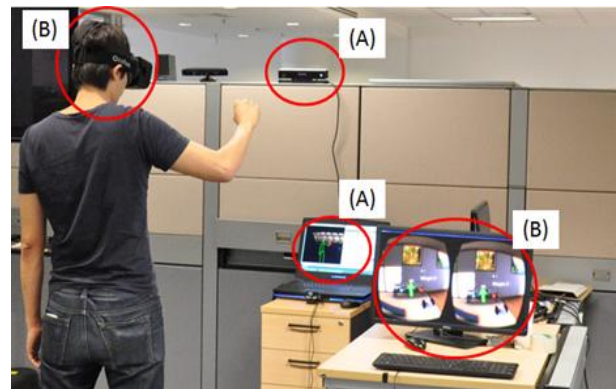


Fig. 8. System environment. (A) Tracking a user's 3D hand position and grasping gesture. (B) HMD(Head Mounted Display) with an immersive virtual environment

사용자는 자신의 실제 손을 움직이면 이 정보가 몰입 가상환경에서 가상의 손으로 대응되어 보인다. 여기서 그림 9(A)와 같이 가상의 덤벨을 잡게 되면 Force Arrow의 시각화가 시작되고, 사용자는 그림 9(B)와 같이 가상 덤벨을 들어 올리는 과정에서 가상 객체에 대한 간접적인 무게감을 느끼게 된다.

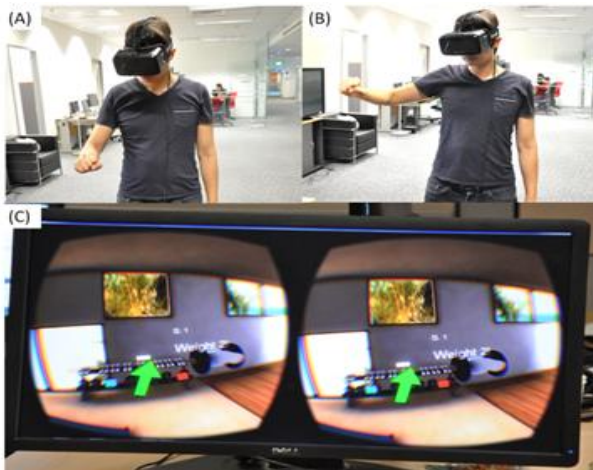


Fig. 9. Use of 'Force Arrow'. (A) A user lifts a virtual dumbbell. (B) The user lifts with consistent velocity and force. (C) Force arrow points to a gap between the current lifting force and the standard force

사용자는 자신의 실제 손을 움직이면 이 정보가 몰입 가상환경에서 가상의 손으로 대응되어 보인다. 여기서 그림 9(A)와 같이 가상의 덤벨을 잡게 되면 Force Arrow의 시각화가 시작되고, 사용자는 그림 9(B)와 같이 가상 덤벨을 들어 올리는 과정에서 가상 객체에 대한 간접적인 무게감을 느끼게 된다.

IV. Performance Evaluations

본 논문에서 제안한 가상 무게감에 효용성에 대한 검증하기 위하여 사용자가 가상 객체를 들어 올리는 과정에서 무게감을 느낄 수 있는지를 평가하였다. 또한, 사용자가 가상 덤벨을 들어 올릴 때, 서로 다른 가상 객체들의 무게를 느낄 수 있는지에 대한 사용자 평가를 수행하였다. 실험 환경 및 구체적인 태스크들은 다음과 같다.

실험 환경 - 실험 환경은 그림 8에서 나온 것처럼 Kinect V2와 Oculus Rift DK2를 사용한 몰입 가상환경을 구축하였다. Kinect V2 카메라는 Intel Core i7-4910MQ 및 GTX 880M 그래픽카드가 장착된 노트북과 연결이 되었으며 Oculus Rift DK2는 Intel Core i7-2600K 와 NVIDIA GTX 980 그래픽카드가 장착된 컴퓨터에서 실행되고, 두 개의 컴퓨터는 본 논문에서 제안한 시스템을 통해 LAN 환경에서 데이터를 주고받도록 구축되었다.

참여자 - VR 에 대한 경험이 있는 20~30대의 15명의 참여자가 실험에 참여하였다. 이들은 각각 15분 정도 본 논문에서 제안한 시스템에 대한 교육 및 학습을 수행한 후 실험을 진행하였으며, 두 개의 실험 태스크들에 대한 학습 효과를 피하고자 두 그룹으로 나누었다.

실험 태스크 - 실험 태스크는 실험에 참여하는 사용자들이

3개의 다른 무게를 가상 객체를 들어 올리면서 각각의 무게감을 느낄 수 있도록 구성되었다. 가상 덤벨들의 무게는 다음의 표1과 같이 구성하였다.

Table 1. Dumbbell weights

Dumbbell	Weight
A	2KG
B	4KG
C	6KG

첫 번째 태스크는 사용자가 다음의 그림 10과 같이 다른 모양을 가지는 3개의 가상 덤벨들을 들어 올리는 동작을 각각 1분 정도 수행한 뒤 사용자가 느낀 3개의 가상 덤벨들의 무게의 순서를 응답하는 실험을 수행했다. 태스크 1을 수행 할 때, 사용자에게 가상 덤벨들의 외관이 다르게 보이는 것 외에는 다른 가상 무게감을 제공하지 않았다. 두 번째로, 태스크 2에서는 사용자가 가상 덤벨들을 들 때, 본 논문에서 제안한 Force Arrow를 사용하여 가벼운 가상 객체는 작은 힘으로 들어 올릴 수 있도록 하고, 무거운 객체는 사용자가 더 많은 힘을 주어서 객체를 들어 올릴 수 있도록 시각화를 하였다. 사용자들이 두 개의 태스크들을 수행하는 동안, 본 논문에서 제안한 시스템은 세 개의 덤벨들을 각각 랜덤한 순서로 나오도록 구성하였다. 또한, 실험에 참여하는 사용자들이 태스크들에 대한 학습효과를 가지는 것을 피하고자 사용자들을 2개의 그룹으로 나누었다. 첫 번째 그룹은 태스크 1을 수행한 후 태스크 2를 수행하였고, 두 번째 그룹은 태스크 2를 먼저 수행하고 태스크 1을 수행 하였다.

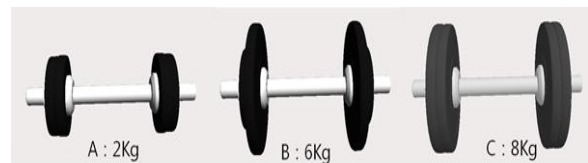


Fig. 10. Three different dumbbells which have correspond to shapes and weights

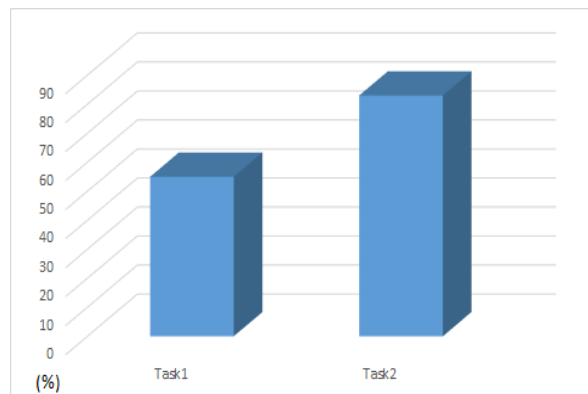


Fig. 11. Results of the performance evaluations

Table 2. Results of the lifting experiments

Condition	ANOVAs Results($\alpha=0.05$)	Mean & SD results
Difference Task1 from Task2	F= 8.701903, pa=0.006356, MSw= 0.588	Task1(M=0.65, SD=0.171) Task2(M=0.83, SD=0.114)

다음의 그림 11은 사용자가 태스크 1과 태스크 2를 수행한 후 응답한 가상 객체들의 무게들의 순서가 실제 무게와 일치하는 비율이다. 실험 결과 사용자들의 88%는 본 논문에서 제안한 Force Arrow를 사용한 가상 무게감을 느낄 수 있었다. 다음의 표 2는 실험 결과에 대한 ANOVA 테스트 결과를 보여준다. 실험 평가에 사용된 태스크 1의 결과와 태스크 2의 결과가 통계적으로 유의함을 알 수 있다. 표에 나온 용어들 중 MSw는 제곱 평균 제곱근, F는 그룹들에 대한 분산, SD는 표준편차, P는 ANOVA 계산 확률을 의미하고, P가 α 보다 작으면 통계적으로 유의미함을 의미한다.

실험 후에 사용자들을 대상으로 인터뷰를 수행한 결과 태스크 1에서는 외관이 달라서 무게를 구별할 수는 있었지만, 실제적인 무게감을 느끼기 어렵다는 평가들을 하였다. 태스크 2에서는 본 논문에서 제안한 Force Arrow를 사용해서 객체를 들어 올리는 힘을 조절하고 조작을 하면서 가상 객체들에 대한 간접적인 무게감을 느낄 수 있다는 답변을 하였다. 다만 본 논문에서 제안한 시스템의 단점으로는 사용자가 가상 객체를 들어 올리는 동작을 할 때, 손을 꼭 잡은 상태에서 힘을 많이 준 상태에서 객체를 들어 올리는 경우에만 가상 무게감을 느낄 수 있었다는 점을 지적하였다.

V. Conclusions

본 논문에서는 몰입 가상현실 환경에서 사용자가 가상 객체를 들어 올리는 과정에서 사용자의 손에 햅틱 장치를 부착하지 않고도 사용자가 가상 객체에 대한 가상 무게감을 논리적이고 간접적으로 느낄 수 있는 Force Arrow 라는 시각화 인터페이스를 제안하였다. 본 논문에서 제안한 시스템은 사용자가 가상 객체를 들어 올릴 때 들어 올리는 속도에 따른 현재 객체를 들어 올리는 힘을 계산하고, 이 가상 객체가 가지고 있는 표준 들어 올리는 힘과의 차이를 계산하여 이를 Force Arrow로 나타낸다. 사용자는 Force Arrow를 보면서 자신이 가상 객체를 들어 올리는 힘을 조정하게 되면서 가상 객체에 대한 올바른 무게감을 느낄 수 있게 된다. 실험 결과 본 논문에서 제안한 시스템을 사용하는 경우 사용자들이 서로 다른 무게를 가지는 가상 객체들의 무게를 구별하면서도 무게감을 느낄 수 있었다.

향후 연구로는 먼저 사용자가 객체를 들어 올리는 과정에서 손과 팔에 수축을 유도할 수 있는 완드형 인터페이스를 개발하

고, 기존의 햅틱 인터페이스들과 성능평가를 통해서, 사용자들이 논리적인 무게감을 더 잘 느낄 수 있도록 할 계획이다. 이후에는 두 명 이상의 사용자가 무거운 객체를 들어 올릴 때 무게감을 제공할 방법을 연구하여 다양한 애플리케이션 환경에서 사용하고자 한다.

REFERENCES

- [1] P.P. Desai, P.N. Desai, K.D. Ajmera, & K. A. Mehta, "Review Paper on Oculus Rift-A Virtual Reality Headset". International. Journal of Engineering Trends and Technology, Vol. 13, No.4, 175-179, 2014.
- [2] Y. Xiao, J. Yuan, & D. Thalmann., "Human-Virtual Human Interaction by Upper Body Gesture Understanding", The ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology 2013, 133-142, 2013.
- [3] C. W. Borst, & A. P. Indugula, "Realistic virtual grasping", IEEE Virtual Reality, 91-98, 2005.
- [4] R. Ott, V. D. Perrot, D. Thalmann, & F. Vexo, "Mhaptic: a haptic manipulation library for generic virtual environments", IEEE International Conference on In Cyberworlds, 338-345, 2007.
- [5] R. Ott, F. Vexo, & D. Thalmann, "Two-handed haptic manipulation for cad and vr applications", Computer-Aided Design and Applications, Vol. 7, No. 1, 125-138, 2010.
- [6] J. Hummel, J. Dodiya, R. Wolff, A. Gerndt, & T. Kuhlen, "An Evaluation of Two Simple Methods for Representing Heaviness in Immersive Virtual Environments", IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2013, 87-94, 2013.
- [7] A. Fisch, C. Mavroidis, Y. Bar-Cohen, & J. Melli-Huber, "Chapter 4: Haptic devices for virtual reality, telepresence, and human-assistive robotics", Biologically Inspired Intelligent Robots, 1-22, 2003.
- [8] M. L. Turner, D. H. Gomez, M. R. Tremblay, & M. R. Cutkosky, "Preliminary tests of an arm-grounded haptic feedback device in telemanipulation", In ASME Dynamic Systems and Control Division, 145-149, 1998.
- [9] C. D Giachritsis, P. Garcia-Robledo, J. Barrio, A. M. Wing, & M. Ferre, "Unimanual, bimanual and bilateral weight perception of virtual objects in the master finger 2 environment", In 19th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN'10), 513-519, 2010.
- [10] A. Lecuyer, S. Coquillart, A. Kheddar, P. Richard, & P. Coiffet, "Pseudo-haptic feedback: can isometric input devices simulate force feedback?", IEEE Virtual Reality 2000, 83-90, 2000.

- [11] K. Funahashi, M. Ichino, & M. Teshigahara, "Experiments for Developing Touchable Online Shopping System", The ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology 2009, 241-242, 2009.
- [12] G. Hannig, & B. Deml, "Efficient Biomodal Haptic Weight Actuation", In Euro Haptics 2010, 3-10, 2010.
- [13] T. Venuto, "Tempo & Tension Maximization For Advanced Bodybuilders!", Bodybuilding, online article, 2013.
- [14] J. Lee, N. M. Thalmann, & D. Thalmann, "Shared Object Manipulation", in Modeling Virtual Humans and Social Robots, 2015.

Authors



Jun Lee received BS and MS degree in Computer Science and Engineering from Konkuk University, Korea, 2004 and 2006. Dr. Jun Lee got his Ph.D. degree at department of Advanced Technology Fusion, Konkuk University. in 2012. He was

a Research Fellow at Institute for Media Innovation in Nanyang Technological University from the year 2013 to the year 2015. He was a Postdoc Researcher at Center for Robotics Research, Korea Institute of Science and Technology (KIST), from the year 2015 to the year 2017. He is currently an Assistant Professor in the Division of Computer Information and Science, Hoseo University from the year 2017. His current research interests and expertise include consistency management, grasping virtual object and manipulation, shared object manipulation and increasing sense of presence in the virtual environments.