

Controlling Position of Virtual Reality Contents with Mouth-Wind and Acceleration Sensor

Jong-Hyun Kim*

Abstract

In this paper, we propose a new framework to control VR(Virtual reality) contents in real time using user's mouth-wind and acceleration sensor of mobile device. In VR, user interaction technology is important, but various user interface methods is still lacking. Most of the interaction technologies are hand touch screen touch or motion recognition. We propose a new interface technology that can interact with VR contents in real time using user's mouth-wind method with acceleration sensor. The direction of the mouth-wind is determined using the angle and position between the user and the mobile device, and the control position is adjusted using the acceleration sensor of the mobile device. Noise included in the size of the mouth wind is refined using a simple average filter. In order to demonstrate the superiority of the proposed technology, we show the result of interacting with contents in game and simulation in real time by applying control position and mouth-wind external force to the game.

▶ Keyword: VR content controls, User interface, Mouth-wind, Acceleration sensor, Mobile device

I. Introduction

최근 VR과 AR 분야가 핫 이슈로 떠오르면서 이와 관련된 산업(게임, 의료, 군사, 시뮬레이션, 영화 등)들이 발전되고 있으며 (Fig. 1 참조), 이 과정에서 사용자의 인터랙션 기술이 시장에서 다양한 형태로 요구되고 있다[1,2,3]. 독립형 VR 헤드셋인 Oculus Go[4]와 같은 저가용 VR 장비가 출시되면서 VR 콘텐츠가 일반인들에게도 게임이라는 고정된 콘텐츠 이외에 다양한 콘텐츠로 널리 사용될 가능성이 높아졌으며, 최근에는 광학 마커를 활용하여 손가락의 움직임을 캡처하고 손에 대한 상호작용을 사실적으로 표현하려는 연구들도 진행되고 있다[5].

VR 분야와 관련된 다양한 인터랙션 기술과 장비들이 제안되었지만 대부분 손과 발을 이용한 큰 동작 인식에 초점이 맞춰져 있다[1,2,3,4,6]. 인터랙션은 VR 뿐만 아니라 모바일, 게임, 의료 시장에서도 그 영향이 크게 미치고 있다. 하지만 대부분의 모바일 앱은 터치기반의 스케치 툴이나 게임과 같은 사용자 동작에 의해서만 콘텐츠가 제어되는 구조이며, VR 분야에서도 마

찬가지로 대부분 손가락의 움직임을 기반으로 하여 콘텐츠가 실행된다.



Fig. 1. Military training and medical system with VR

손과 발을 활용한 사용자 인터페이스는 직관적으로 콘텐츠를 제어할 수 있지만, 상세하게 제어하기는 어렵다는 단점이 있다. 예를 들어, 바람을 이용한 물체의 상호작용이나, 물감의 확산은

*First Author: Jong-Hyun Kim, Corresponding Author: Jong-Hyun Kim
*Jong-Hyun Kim (jonghyunkim@kangnam.ac.kr), Dept. of Software Application, Kangnam University
• Received: 2019. 02. 14, Revised: 2019. 03. 27, Accepted: 2019. 04. 01.
• This work was supported by the Korea Foundation for the Advancement of Science & Creativity (KOFAC) 2018, and funded by the Korean Government(MOE).

터치 인터페이스로는 표현이 힘들며, 손과 발이 불편한 사용자들은 해당 콘텐츠를 이용하기 어렵다.

간단한 스크린 터치의 이벤트 유무가 아닌 외력의 강도와 방향도 사용자 인터페이스로써 중요한 기능을 수행할 수 있다. 이 같은 특징을 보완하기 위해 브러시를 활용하는 경우가 종종 있지만 이 역시 손을 이용한 인터페이스에 한해서만 동작하기에 그 한계점을 모두 보완하기엔 역부족이다. 본 연구에서는 모바일 디바이스에 사용자가 직접 입 바람을 불어 바람의 크기를 결정하고, 가속도 센서를 활용하여 입 바람이 적용될 컨트롤 위치와 바람의 방향을 계산한다. 그리하여 이 방식으로 VR 환경에서 실시간으로 상호작용할 수 있는 새로운 인터페이스 프레임워크를 제안한다. 결과적으로, 본 논문에서는 모바일의 위치와 회전 그리고 입 바람의 크기에 따라 사용자가 실시간으로 유체 시뮬레이션과 VR 콘텐츠를 입 바람으로 제어하는 인터페이스 결과를 보여주며, 이를 구현하기 위한 본 연구의 기여도는 아래와 같다.

- 사용자가 모바일 디바이스를 잡은 방향에 따라 실시간으로 컨트롤 위치가 변경될 수 있는 인터페이스 기술을 제시한다. 사용자는 이 기술을 기반으로 입 바람이 적용될 위치를 쉽게 제어할 수 있다.
- 모바일 디바이스에서 계산한 컨트롤 위치의 조절과 입 바람의 방향 및 크기를 실시간으로 VR 환경에 전달하는 기법을 제시한다.
- 사용자의 입 바람 기반 외력을 유체 시뮬레이션과 VR 콘텐츠에 적용해 실시간으로 게임 내 콘텐츠가 제어되는 결과를 보여준다.

II. Preliminaries

1. Related works

모바일 디바이스의 인터랙션과 관련하여 새로운 입력 방법으로서 참고할 수 있는 방식은 카메라와 기울기 센서를 이용한 방법이다. 카메라에 내장된 RGB 영상을 이용하여 마우스 기능을 개발한 예로, 비디오 마우스를 들 수 있다. 이 기법은 특정 패턴이 그려진 패드 위에서 움직임으로써 2차원 좌표 값을 얻는 방식이다. 또 다른 인터랙션 접근법으로는 기울기 센서를 이용한 네비게이션 방법과, 더 나아가 상하좌우 패닝이나 스크롤을 하는 방법도 있다. 이러한 방법들은 모바일 디바이스와의 인터랙션을 위해 기울기 센서를 이용한 것으로 디바이스를 상하 또는 좌우 방향으로 기울임으로써 화면 내의 네비게이션, 패닝, 스크롤과 같은 기본적인 조작을 가능하게 한다[7]. 모바일 인터페이스 방식은 대부분 손을 이용한 스크린 터치 기반 콘텐츠들이다 (Fig. 2 참조).

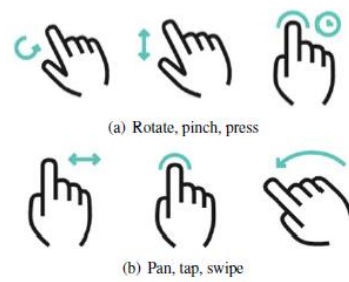


Fig. 2. Various touch patterns.

최근에는 모바일의 가속도 센서와 3D 깊이 카메라를 이용하여 동작을 인식하는 인터페이스 기술이 제안되었고[8], 고정된 위치에서 입 바람 외력을 유체 시뮬레이션에 통합하려는 연구도 진행되었지만[9], 고정된 컨트롤 위치를 사용하기 때문에 콘텐츠를 다양하게 제어할 수 없다. 이러한 인터랙션 기술들의 다양성 부족 문제는 VR, AR, 모바일 등 많은 시장에서 다양한 콘텐츠를 수용하기 어렵다는 문제로 이어진다.

VR은 사용자가 어디에 누구와 함께 존재하고, 어떠한 행동을 하는지에 대한 경험을 실제처럼 느끼도록 하는 감각적인 부분이 중요하다. 다양한 센서와 정보처리의 발달로 관절, 손동작 등의 동작을 인식하기도 하고, 헤드 마운티드 디스플레이 장비의 발전으로 디스플레이를 머리에 장착하여 실제 환경에 있는 것처럼 생생한 몰입감을 주므로, VR 환경에서 보다 더 자연스럽게 직관적인 가시화와 인터랙션이 가능해졌다. 최근들어 VR의 시각 정보를 입체적이고 현실감 있게 전송하는 디스플레이 분야는 물론, 공간감과 오디오 소스를 활용한 청각분야, 햅틱 시스템을 통한 촉각분야에도 활발한 연구가 이루어지고 있다 [10,11,12,13].



Fig. 3. Leap motion[1] and Myo gesture control armband[14].

사용자의 몸짓이나 손짓 등의 제스처를 인식할 수 있는 장비로는 키넥트, 립모션, Myo 등이 있다. 키넥트는 RGB 영상과 더불어 깊이 정보도 함께 제공하기 때문에 다양한 동작인식이 가능하여 게임 등에서 활용되고 있다. 특히, 몸 관절 추적에 효과적으로 사용되며, 최근에는 여러 명의 몸 관절도 동시에 추적할 수 있게 됐다. 립모션의 작동 원리는 키넥트와 유사하나 (Fig. 3 참조), 손의 위치, 손가락 관절정보 등 주로 사용자의 손 동작을 인식하는데 특화된 디바이스이다[1]. 근육의 움직임을 읽는 웨어러블 입력 장치로는 Myo 제스처 컨트롤 암밴드가 있다[14,15]. 이 디바이스는 사용자의 팔목에 착용해 근육 안

에 흐르는 전기 신호를 측정하여 손을 흔들거나 손가락을 움직이고 팔을 돌리는 등의 움직임에 대한 정보를 제공한다 (Fig. 3 참조). 최근 Lee 등은 모바일 디바이스를 활용하여 게임 등에서 사용할 수 있는 새로운 손목 스윙 동작 기반의 컨트롤러를 제안했다[16].

III. The Proposed Scheme

1. Calculating mouth-wind with angle blending

입 바람의 방향을 결정하기 위해 본 연구에서는 모바일 디바이스와 사용자 시점 간의 각도를 계산하여 입 바람의 방향을 블렌딩 한다. 광선추적법과 같이 사용자가 모바일 디바이스를 바라보는 정확한 시점이 아니라, Kim이 제안한 기법과 비슷하게 각도를 기반으로 근사한 값을 이용한다[9]. 각도는 사용자가 모바일 디바이스를 바라보는 시점의 방향을 기준으로, 직각과 둔각일 경우를 정상적인 상태, 예각일 경우를 비정상적인 상태라고 정의하였다. Fig. 4에서 보듯이 사용자가 바라보는 시점과 모바일 디바이스가 기울어진 방향 사이의 각도를 이용하여 입 바람의 방향을 계산한다.

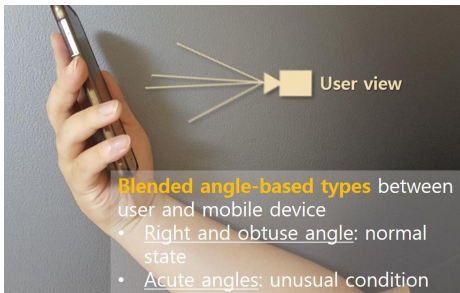


Fig. 4. Various angle types with angle between mobile device and view vector.

모바일 디바이스를 잡은 각도를 계산하기 위해서는 디바이스의 기울어진 방향과 사용자의 정면 방향 사이의 각도를 계산해야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 안드로이드의 가속도 센서를 이용하였으며, 이 센서 값은 3차원 공간상에서의 방향과 움직임에 대한 값을 알려준다. 기본 상태는 사용자의 시점과 가속도 센서 Y축 사이의 각도가 직각인 상태이며, 이 상태에서는 바람의 방향이 위쪽 방향을 향한다 (Fig. 5a 참조). 기울어진 방향은 수직인 방향을 기준으로 모바일 디바이스가 기울어진 방향과 각도를 의미한다 (Fig. 5에서 빨간색 화살표).

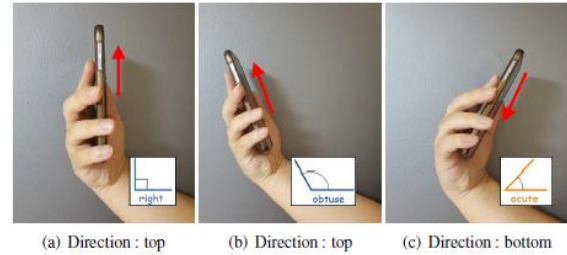


Fig. 5. Wind direction classified according to three angle types (red arrow : wind direction).

일반적으로 사용자가 모바일 디바이스를 직각 또는 둔각 타입으로 잡기 때문에 이 두 가지 유형에서 바람의 방향을 위쪽으로 설정하였다 (Fig. 5b 참조). 모바일 디바이스를 예각으로 잡는 경우는 일반적이지 않은 경우이며 이와 같은 유형에서는 바람의 방향을 반대 방향인, 아래쪽으로 설정하였다 (Fig. 5c 참조). 사람이 중력의 영향을 받는 것처럼 가속도 센서도 중력의 영향을 받는다. 그렇기 때문에 모바일 디바이스가 움직이지 않는 정지 상태라면 각 축에 측정되는 가속도의 값은 9.8 m/s^2 이다 (Fig. 6 참조).

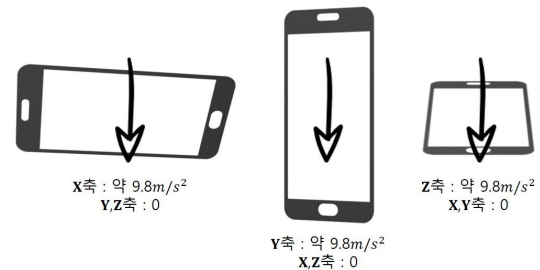
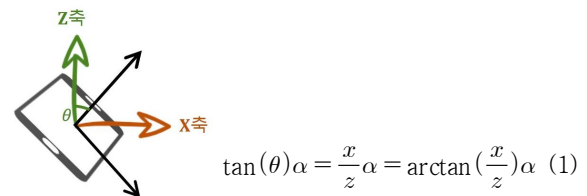


Fig. 6. Influence of gravity on mobile device condition.

따라서 디바이스가 정지상태라 가정하여, 각 축에서 측정되는 가속도의 벡터 값을 이용해 모바일 디바이스의 기울기를 계산한다 (Equation 1 참조).



각도는 가속도 센서 값을 이용하여 계산하였으며 α 는 가중치이다. 직각에서 둔각으로 기울기가 점점 커질 때마다 바람 방향에 가중치 α 를 두어 바람이 더욱 강하게 불도록 방향 벡터의 크기를 증가시켰다 (Equation 1과 Fig. 7 참조).

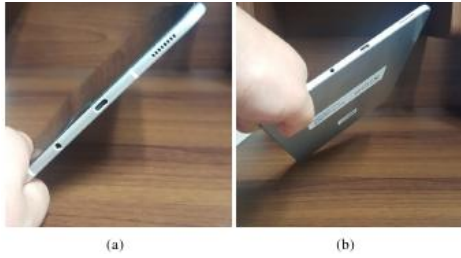


Fig. 7. Rotation angle on mobile device.

결과적으로 모바일 디바이스는 직각과 둔각을 정상적인 상태로 정의하고, 이로부터 크게 벗어날 경우 방향을 반대로 전환해주도록 설정하였다. 또한 기울기를 통해 바람의 크기를 조절할 수 있으며, α 를 이용하여 방향벡터의 크기를 점진적으로 증가시켰다. 세 가지 각도 패턴 중, Fig. 5a,b에서 Fig. 5c로 변하는 경우 방향이 한번에 180도로 변경되어 튀어 버리는 문제가 발생한다. 이 문제를 해결하기 위해 Fig. 5a에서 Fig. 5c로 변경될 때 아래의 수식을 이용하여 각도를 블렌딩한다 (Equation 2 참조).

$$v^* = v_2 \left(\frac{90^\circ - a_t}{10^\circ} \right) + v_1 \left(1 - \frac{90^\circ - a_t}{10^\circ} \right) \quad (2)$$

여기서 v_1 은 위쪽으로 향하는 방향 벡터이며, v_2 는 아래쪽으로 향하는 방향 벡터이다. 현재 사용자 시점과 모바일 디바이스 사이의 각도인 a_t 가 90° 이상일 때는 Equation 2가 적용되지 않으며, $80^\circ \leq a_t \leq 90^\circ$ 사이에 있을 경우에만 적용된다. 결과적으로 90° 이상일 경우에는 위쪽으로 향하는 벡터가 적용되며, 90° 이하일 경우에는 80° 까지 각도가 블렌딩되어 자연스럽게 벡터의 방향이 위쪽에서 아래쪽으로 변화하게 된다. 여기서 80° 는 사용자가 변경할 수 있는 임계치이며 경험적으로 얻은 각도값이다. 결과적으로 입 바람의 방향은 두 벡터가 보간된 v^* 로 결정한다.

2. Calculating control position with acceleration sensor

Fig. 7a에서 보듯이 디바이스가 기울어졌다면 가속도 센서의 측정값은 R과 같다 (Fig. 8 참조).

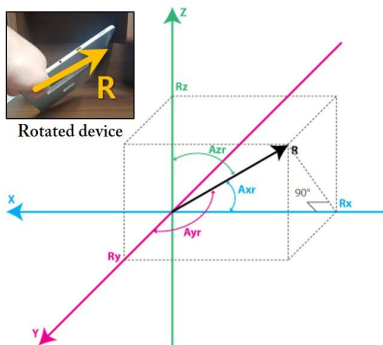


Fig. 8. Angle calculation from the axis of the acceleration sensor.

R은 각 축으로부터 A_{zr} , A_{xr} , A_{yr} 만큼 기울어져 있으며, 삼각함수를 이용하여 각 축에 대한 기울어진 각도를 아래와 같이 계산할 수 있다 (Equations 3~5 참조).

$$\cos(A_{xr}) = \frac{R_x}{R} \quad (3)$$

$$\cos(A_{yr}) = \frac{R_y}{R} \quad (4)$$

$$\cos(A_{zr}) = \frac{R_z}{R} \quad (5)$$

여기서 R은 디바이스가 기울어졌을 때 측정된 가속도 센서 값이며, 결과적으로 각 축에 대한 각도는 아래의 수식을 통해 계산할 수 있다 (Equations 3~5 참조).

$$A_{xr} = \arccos\left(\frac{R_x}{R}\right) \quad (6)$$

$$A_{yr} = \arccos\left(\frac{R_y}{R}\right) \quad (7)$$

$$A_{zr} = \arccos\left(\frac{R_z}{R}\right) \quad (8)$$

위 수식으로 모바일 디바이스에서 각 축에 대한 회전 각도(roll, pitch)를 계산하고, 회전 각도에 따라 콘텐츠를 제어할 컨트롤 위치를 계산한다. X축과 Y축에 대한 회전인 r(roll)과 p(pitch)는 아래 수식을 통해 회전 각도를 계산한다 (Equations 9~10 참조).

$$r = \arctan\left(\frac{y}{z}\right) \quad (9)$$

$$p = \arctan\left(\frac{x}{z}\right) \quad (10)$$

Fig. 9는 모바일 디바이스를 잡은 방향에 따라 움직이는 검정색의 구를 보여주는데, 이 검정색 구가 컨트롤 위치이다. 기울기가 클수록 구의 위치가 빠르게 움직이며, 본 논문에서는 이 위치를 기준으로 콘텐츠를 제어한다. 고정된 위치에서 방향만을 이용하여 콘텐츠를 제어하는 것이 아니라, 사용자의 의도에 맞게 제어하고 싶은 위치를 자유롭게 조절할 수 있다.

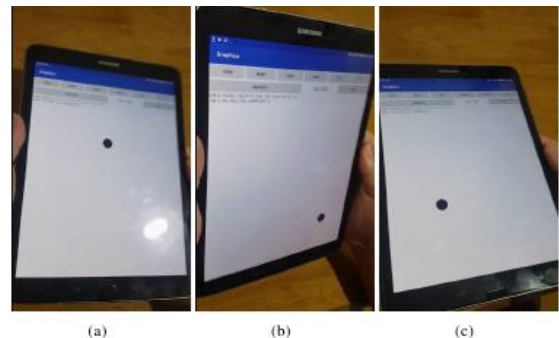


Fig. 9. Control position changes according to orientation.

3. Calculating magnitude of mouth-wind with sound sensor

본 연구에서는 입 바람의 크기를 계산하기 위해 모바일 디바이스에 내장되어 있는 사운드 센서를 이용한다. 디바이스에서는 저가용 사운드 센서를 사용하기 때문에 시간적 필터인 평균 값 필터를 이용하여 입력 사운드의 크기를 정제함으로 노이즈를 제거한다. 본 논문에서는 시간 간격을 5프레임으로 설정하여 평균 값 필터를 적용하였다. Fig. 10은 평균 필터를 이용하여 입 바람의 크기를 정제한 결과이다. 저해상도 사운드 센서에 녹음된 잡음이 있는 원본 사운드의 크기(회색)와 비교해 봤을 때 더욱 부드러운 고품질의 사운드(청록색) 크기로 변환된 것을 볼 수 있다.

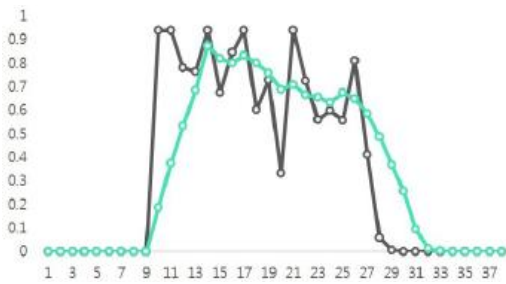


Fig. 10. Magnitude of refined mouth-wind (X-axis : time, Y-axis : magnitude of sound).

III. Results

본 논문에서 제안하는 입 바람 기반 콘텐츠 제어결과의 우수성을 보여주기 위해 유체 시뮬레이션과 VR 콘텐츠에 제안된 방법을 적용해보았다. 실험은 다양한 디바이스(갤럭시 S6, 갤럭시 노트 8, 갤럭시 탭 S3)에서 실행했으며, 입 바람의 방향과 크기로 모바일 디바이스와 실시간으로 상호 작용되는 결과를 얻기 위해 몇 가지 시나리오를 가정했다.

1. Controlling fluid simulations

Fig. 11은 입 바람을 통해 벡터장이 확장되는 결과이다. 디바이스를 직각으로 두고 입 바람을 불었기 때문에 부력과 같이 위쪽 방향으로 벡터가 흘러가는 결과를 실시간으로 보여준다.

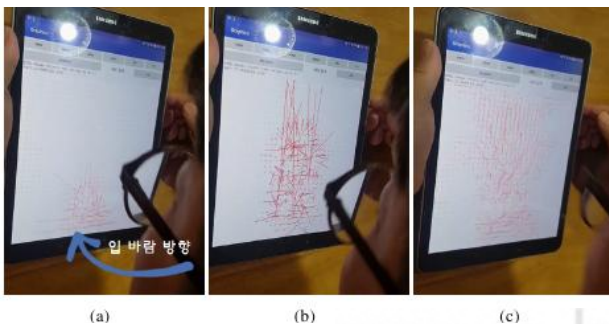


Fig. 11. Vector field diffused by mouth-wind.

Fig. 12는 연기 시뮬레이션으로 확장한 결과이며, 입 바람의 방향과 크기에 맞게 실시간으로 상호 작용되는 결과를 잘 보여준다. 사용자가 우선 연기의 초기 밀도 값을 입력하고, 입 바람을 불게 되면 사용자와 모바일 디바이스 간의 각도 패턴에 따라 연기의 밀도가 확산되는 결과가 나타난다.



Fig. 12. Smoke simulation diffused by mouth-wind.

Fig. 13은 가속도 센서를 기반으로 컨트롤의 위치를 조정하고 이를 통해 연기 시뮬레이션을 제어하는 결과이다. 컨트롤의 위치가 고정된 Figs. 11과 12의 결과와는 다르게 사용자가 컨트롤 위치를 직관적으로 제어할 수 있을 뿐만 아니라, 방향도 자유롭게 제어할 수 있다. 결과적으로 디바이스의 기울기와 입 바람의 강도에 따라 연기 시뮬레이션과 실시간으로 상호 작용되는 결과를 보여준다 (Fig. 13 참조). 본 논문에서 사용한 연기 시뮬레이션 기법은 Jos Stam의 방법을 이용했으며[17], 모든 시뮬레이션 결과를 격자 해상도 60x60, 시간 간격은 0.2를 기반환경으로 하여 수행하였다.

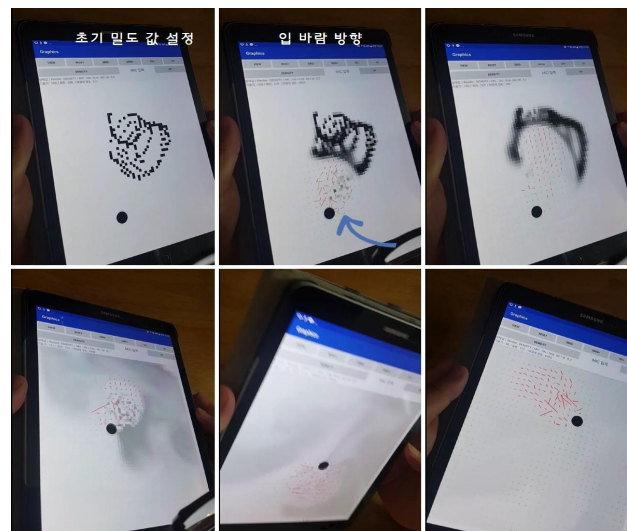


Fig. 13. Smoke simulation diffused by multi-focus control position and mouth-wind.

2. Controlling VR contents

Fig. 14는 본 연구의 방법을 이용하여 VR 콘텐츠와 실시간으로 상호 작용 하는 결과이다. 모바일 디바이스에서 계산한 컨

트롤 위치와 입 바람 인터페이스를 VR 콘텐츠와 상호작용하기 위해 Unity에서 제공하는 네트워크를 이용하였다.

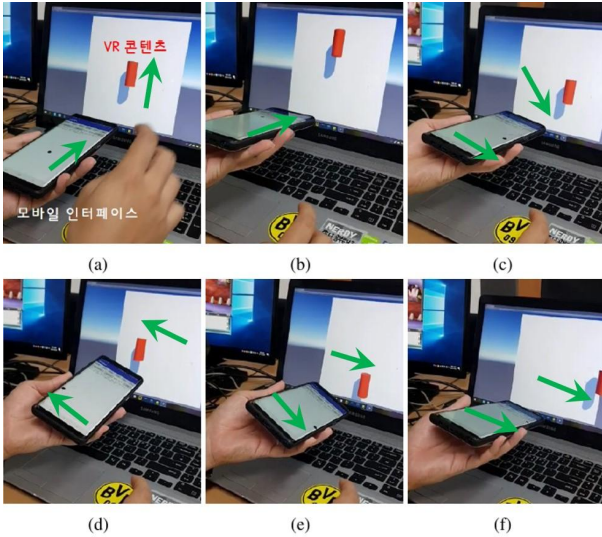


Fig. 14. Movement of VR content using proposed method (red cylinder : VR content).

Fig. 14a는 초기 화면이며 모바일 디바이스가 기울어진 상태에서 입 바람을 불면 해당 방향으로 빨간색 실린더가 실시간으로 움직이는 결과가 잘 나타나는 것을 볼 수 있다. Fig. 14a에서 모바일 디바이스를 위쪽으로 기울이니 실린더도 따라서 위쪽으로 이동되며, 다시 디바이스의 방향을 아래쪽으로 기울이면서 오른쪽으로 기울이니까 실린더의 위치도 오른쪽 하단으로 움직이는 결과를 보였다 (Fig. 14b와 14c 참조).

본 연구에서 제안하는 기법은 유체 시뮬레이션 뿐만 아니라 VR 콘텐츠를 실시간으로 제어하는 결과를 보여주며, 손목 스윙이나 발이 불편한 사람들도 입 바람을 통해 손 쉽게 VR 콘텐츠를 활용할 수 있게 해주는 인터페이스라고 생각한다.

IV. Conclusions and Future Work

본 논문에서는 사용자가 컨트롤 위치를 손쉽게 제어할 수 있는 기술과 각도 블렌딩을 이용한 입 바람 인터페이스 프레임워크를 제안했으며 이 방법을 유체 시뮬레이션과 VR 콘텐츠 제어에 활용함으로써 그 우수성을 보여주었다. 컨트롤 위치 제어 기술에서는 사용자가 인터랙션이 적용되는 위치를 자유롭게 조절할 수 있도록 모바일 디바이스 내 가속도 센서를 이용하여 컨트롤 위치를 이동시켰으며, 결과적으로 사용자는 디바이스를 기울여가며 컨트롤 위치를 결정할 수 있다. 각도 블렌딩을 이용한 입 바람 방향은 사용자가 모바일 디바이스를 자유롭게 회전시킬 때 축이 갑자기 역으로 변화하여 입 바람의 방향이 갑자기 변경되는 문제를 해결하기 위한 방법이다. 이 방법은 시물레

이션이나 VR 콘텐츠를 제어할 때 역으로 변화는 방향으로 인해 결과가 튀는 문제가 발생하였을 때 해결하기 위한 방법이다. 이 두 가지 기법을 기반으로 유체 시뮬레이션과 VR 콘텐츠에 적용해본 결과, 실시간으로 제어되는 결과를 제작할 수 있었다.

기존 손가락 인터페이스에서 벗어나 디테일한 콘텐츠 제어를 위해 입 바람을 활용하였으며, 본 연구결과는 가상환경에서 대체로 큰 동작이 필요한 손과 발의 움직임 뿐만 아니라 보다 섬세한 상호작용이 필요한 곳에(게임, 예술과 관련된 애플리케이션) 활용될 수 있다. 뿐만 아니라 움직임이 불편한 특정 계층(아동, 장애인, 노인 등)을 위한 헬스케어, 미래/복지기술 융합에도 활용될 수 있을 거라 생각하며, 향후 입 바람 인터페이스를 좀 더 효율적으로 사용할 수 있을 콘텐츠에 대해 연구할 계획이다.

REFERENCES

- [1] M. Buckwald. (2014) Leap motion. <https://developer.leapmotion.com/documentation/>.
- [2] P. Trotta. (2018) Captoglove. <https://www.captoglove.com/downloads/>.
- [3] V. Omni. (2018) Cyberith virtualizer. <https://www.cyberith.com/research-development/>.
- [4] Facebook. (2018) Oculus go. <https://developer.oculus.com/documentation/>.
- [5] W. Zhao, J. Chai, and Y.-Q. Xu, "Combining markerbased mocap and rgb-d camera for acquiring high-fidelity hand motion data," in Proceedings of the 11th ACM SIGGRAPH/Eurographics conference on Computer Animation, 2012, pp. 33-42..
- [6] T. Cakmak and H. Hager, "Cyberith virtualizer: a locomotion device for virtual reality," in ACM SIGGRAPH 2014 Emerging Technologies, 2014, p. 6.
- [7] K. Hinckley, J. Pierce, M. Sinclair, and E. Horvitz, "Sensing techniques for mobile interaction," in Proceedings of the 13th annual ACM symposium on User interface software and technology, 2000, pp. 91-100.
- [8] Sangtae Kim, Soobin Lee, and Sungkwan Jung, "Method for recognizing individual users using mobile device and 3d depth camera," Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, pp. 489-490, 2015.
- [9] Jong-Hyun Kim, "Interaction technique in simulations using mouth-wind on mobile devices," Journal of the Korea Computer Graphics Society, vol. 24, no. 4, pp. 21-27, 2018..
- [10] I. E. Sutherland, "A head-mounted three dimensional display," in Proceedings of the December 9-11, 1968,

- fall joint computer conference, part I, 1968, pp. 757-764.
- [11] C. Schissler, A. Nicholls, and R. Mehra, "Efficient hrtf-based spatial audio for area and volumetric sources," *IEEE transactions on visualization and computer graphics*, vol. 22, no. 4, pp. 1356-1366, 2016.
- [12] H. G. Hoffman, "Physically touching virtual objects using tactile augmentation enhances the realism of virtual environments," in *Virtual Reality Annual International Symposium, 1998. Proceedings., IEEE 1998, 1998*, pp. 59-63.
- [13] C. Carvalho, R. Nobrega, H. da Silva, and R. Rodrigues, "User redirection and direct haptics in virtual environments," in *Proceedings of the 2016 ACM on Multimedia Conference, 2016*, pp. 1146-1155.
- [14] T. Labs. (2014) Myo gesture control armband. <https://support.getmyo.com/hc/enus/categories/200376235-Developing-With-Myo>.
- [15] S. Rawat, S. Vats, and P. Kumar, "Evaluating and exploring the myo armband," in *System Modeling & Advancement in Research Trends (SMART), International Conference, 2016*, pp. 115-120.
- [16] Chung-Jae Lee, Jong-Hyun Kiml, Jung Lee and Sun-Jeong Kim, "Verification of the usefulness of smartphone for wrist swing motion in vr environments," *Journal of Korea Game Society*, vol. 17, no. 3, pp. 53-62, 2017.
- [17] J. Stam, "Stable fluids," in *Proceedings of the 26th Annual Conference on Computer Graphics and Interactive Techniques*, ser. ACM SIGGRAPH, 1999, pp. 121-128.

Authors



Jong-Hyun Kim received the B.A. degree in the department of digital contents at Sejong University in 2008. He received M.S. and Ph.D. degrees in the department of computer science and engineering at Korea University, in 2010 and 2016. Prof.

Kim is an assistant professor in the department of software application in Kangnam University. His current research interests include fluid animation and virtual reality.