
누운 자세에서의 가상현실 경험 개선을 위한

이동 방식 및 진동 피드백

우주 유영 메타포를 사용한 가상 환경 내 이동 방식 및 관련 진동 피드백 디자인

Spacewalk Locomotion Technique and Tactile Feedback for Enhancing VR Experience while Lying Down

송인혁, Inhyuk Song*, 오승재, Seungjae Oh**

요약 기존 가상현실 내에서의 이동방식은 대부분 사용자가 앉아있거나 서 있는 자세를 취하고 있다는 전제 하에 설계되었다. 가상현실을 의료 혹은 재활 목적으로 사용하려는 시도나 편안한 상태에서의 휴식을 위한 가상현실 어플리케이션이 늘어나고 있다. 이는 누워있는 자세에서 가상현실을 이용하는 상황에 적합한 이동방식의 필요성을 보여준다. 본 논문에서는 사용자가 누워있는 자세에서 가상현실을 경험할 때 몰입감과 편리함을 해치지 않기 위해 고려해야 할 요소를 탐구하고, 우주 유영 상황의 이동 방식과 관련 진동 피드백을 제시한다.

Abstract The existing movement methods in virtual reality (VR) have largely been designed under the assumption that users are either sitting or standing. However, there is a growing interest in using VR for medical or rehabilitation purposes, as well as for relaxation applications. This highlights the need for suitable locomotion methods when experiencing VR in a lying position. This paper explores factors to maintaining immersion and convenience when users are lying down, and we propose a space-floating movement method and relevant vibrotactile feedback.

핵심어: 가상현실, 이동, 누운 자세, Virtual Reality, Locomotion, Lying

"본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 2024년도 SW 중심 대학사업의 결과로 수행되었음" (2023-0-00042)

*주저자 : 경희대학교 소프트웨어융합학과 송인혁

**교신저자 : 경희대학교 소프트웨어융합학과 오승재 교수

1. 서론

기존의 가상현실 내에서의 이동 방식은 대부분 사용자가 서 있거나 앉아있는 상황을 전제한다. 이는 가상현실을 이용하는 주된 목적이 활동적인 멀티미디어 콘텐츠를 즐기는 것이었기 때문이다. 그러나 최근 가상현실에서의 휴식 혹은 명상을 목적으로 하는 어플리케이션이 늘어나고 있다. 또한 Meta 사에서는 최근 업데이트에서 누워있는 자세를 위한 모드를 제공하고 있다. 그뿐만 아니라 정신 건강의 재활을 위한 목적으로 가상현실을 사용하려는 시도도 있다. 이는 누워있는 자세에서 가상현실을 이용하는 수요가 분명히 존재하며, 해당 상황에 적합한 새로운 상호작용 방식과 이동 방식의 필요성을 보여준다.

기존 연구에서도 누워 있는 자세에서 가상현실을 이용할 때 발생하는 다양한 문제점을 제시하고 이를 해결하려는 시도가 있었다. 예를 들어, 누워 있는 상태에서 움직임을 최소화하기 위해 다양한 센서를 탑재한 베개를 입력장치로 사용하여 머리의 움직임과 압력을 기반으로 가상현실에서의 상호작용을 가능하게 하는 시도가 있었다[1]. 이는 누운 자세에서 머리의 움직임을 최소화하는 것이 중요한 고려 요소라는 점을 시사한다. 또한 누워있는 자세에서 가상현실 내에서 업벡터와 실제 사용자의 자세에서의 업벡터의 불일치에서 기인하는 감각적인 불일치에 대해 탐구하는 시도가 있었다[2]. 다른 연구에서는 누워있는 사용자들을 대상으로 가상현실 내에서 기존의 상호작용 방식을 사용하도록 한 뒤 피드백을 받았다[3]. 그 결과 누워 있는 상태에서 기존의 상호작용 방식을 사용하면 조작성이 어렵고 피로도가 높았다. 이후 앉아 있는 자세와 누워있는 자세 각각에 대해서 다양한 신체 부위를 사용하여 가상현실 내에서 이동할 수 있는 방식의 장단점을 탐구하려는 시도가 있었다[4]. 기존의 가상현실 이동 방식들에 대해 이용할 수 있는 자세, 속도, 필요한 에너지, 정확성 등의 다양한 기준에 따른 평가를 제시하는 연구도 수행되었다[5].

위의 관련 연구들이 시사하는 바는 다음과 같다. 첫째, 기존의 가상현실 환경은 해당 환경 고유의 중력이 작용한다고 가정하기 때문에 가상현실 내에서의 업벡터와 누워있는 사용자가 실제로 느끼는 업벡터 간의 불일치가 존재하게 된다. 이러한 불일치는 사용자에게 감각적인 충돌을 일으켜 가상현실 멀미와 조작성의 어려움 등의 문제를 일으킨다. 둘째, 누워 있는 자세에서 허공에 팔이나 다리 등을 움직여 조작하는 방식은 사용성이나 피로도의 면에서 큰 단점으로 작용하므로, 해당 방식은 누워서 가상현실을 경험할 때 적합한 상호작용 방식이 아니다. 셋째, 이러한 문제들을 피할 수 있는 이동방식에 대한 연구가 선행되었으나, 사용자의 몰입감과 편리함의 측면에서 개선의 여지가 존재한다. 예를 들어, [5]에서 제시된 미니맵 이동방식은 신체의 움직

임을 최소화하고 감각적인 충돌 없이 큰 가상 환경을 이동할 수 있는 방식이다. 그러나 이동할 때마다 UI를 띄워서 이동하고자 하는 위치를 찾아야 한다는 점에서 몰입감을 해치고, 3차원 가상 환경을 미니맵 형태로 나타내어 원하는 위치를 찾기 쉽지 않다는 점에서 편리성을 해친다.

2. Locomotion을 위한 Interaction Technique 디자인

2.1 가상 환경 디자인

기존의 가상 환경에서는 사용자의 자세에 따른 업벡터와 가상 환경 내에서 아바타의 업벡터가 다르기 때문에 감각의 충돌을 야기한다. 따라서 본 논문에서는 중력이 없는 환경을 가정하였다. 이러한 가정의 결과는 다음과 같다. 먼저 우주에서의 물리적 현상과 마찬가지로 별도의 충돌이나 중력의 영향이 없다면 관성이 유지된다. 이는 이동에 필요한 조작의 횟수를 줄일 수 있다. 또한 가상 환경 내에서 중력이 작용하지 않으므로 실제 자세와 아바타의 자세의 불일치에서 오는 부자연스러움을 줄일 수 있다.

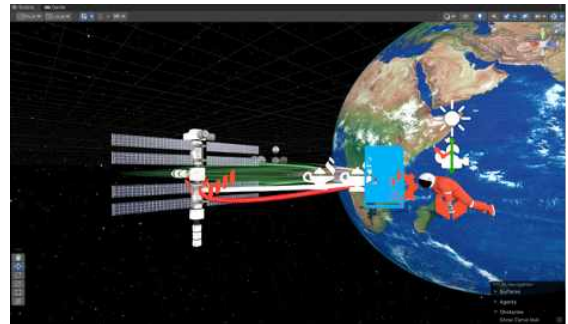


그림 1. 가상환경 디자인. 중력이 없는 우주를 가정하고 디자인 하였으며, 캐릭터는 3인칭 시점의 우주 비행사에 해당한다. 우주 정거장과 줄로 연결되어 있는 상황을 구현하였다.

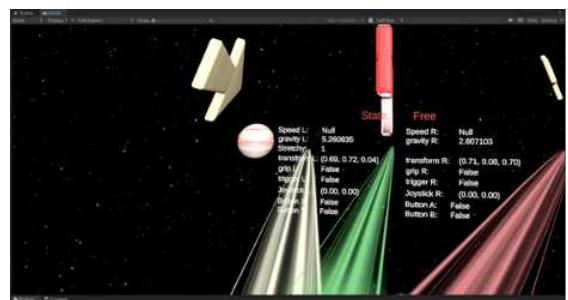


그림 2. 사용자 시점의 UI. 각각 왼쪽과 오른쪽 컨트롤러에 할당된 중력의 크기와 방향을 뻗어나가는 광선의 형태로 표현하였다.

2.2 입력 방식

본 연구에서 제안하는 방식에서는 두 개의 컨트롤러를 사용한다. 이동을 위해 사용하는 요소는 각 컨트롤러의 방향, 트리거 버튼 2개(검지, 중지), 조이스틱이다.

표 1. 제안하는 이동방식에서의 입력 매핑

Input	Left Controller	Right Controller
Change State	Trigger long-press(+)	Trigger long-press(-)
Increase/decrease gravity	Joystick(y value)	Joystick(y value)
Orientation of gravity	Orientation	Orientation
Reverse trajectory	Grip button long press	Grip button long press
Change rope stiffness	X/Y(Bending factor)	A/B(Stretch factor)

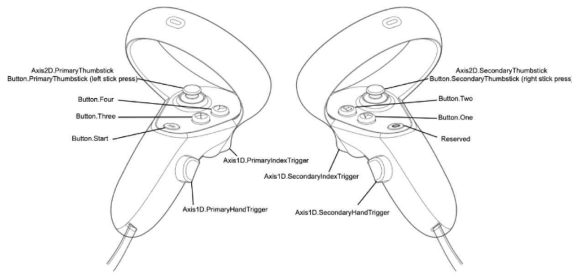


그림 3. XR Interaction Toolkit에서 사용하는 버튼의 위치와 명칭

2.3 Locomotion State 및 상태 정의

본 논문에서 제안한 이동 방식에 대해 세 가지 상태를 정의하였다. 각 상태에 활성화되는 기능과 특성은 다음과 같다. 먼저 자유 이동(Free Move) 상태에서 고리와 줄의 상호작용을 비활성화하여 자유롭게 이동할 수 있도록 한다. 두 번째로 줄 연결(Rope Connected) 상태에서는 캐릭터와 특정 위치 사이에 줄을 연결하여 사용자의 위치를 고정하고 일정 영역 내에서만 이동이 가능하도록 한다. 마지막으로 정지(Stop) 상태에서는 줄의 강성을 최대한으로 높여 사용자의 위치를 완전히 고정하여 멈출 수 있도록 한다.

2.4 기능

첫 번째 기능은 각 컨트롤러의 ray casting 방향에 존재하는 중력원의 중력의 크기를 조정하는 것이다. 사용자는 각 중력원의 중력에 이끌려가는 방식으로 원하는 방향으로 이동할 수 있다. 또한 각 컨트롤러의 ray casting 방향에 위치한 두 중력원의 크기와 방향에 따라 다양한 움직임을 수행할 수 있다. 현재 중력원의 위치와 크기, 예상 이동 방향을 사용자에게 알려줄 수 있도록 양 컨트롤러에서 빛이 뻗어 나오는 듯한 UI를 추가하였다. 각 컨트롤러에 할당된 현재 중력의 크기를 보여주고, 중앙의 UI는 합산된 이동 방향을 보여준다. 시점의 변환은 Unity XR Interaction Toolkit에서 기본적으로 제공하는 Continuous Turn Provider를 사용한다. 따라서 head tracking은 사용하지 않는다. 이는 누워있는 상태에서 머리를 회전할 수 있는 각도가 제한적이기 때문이다.

두 번째 기능은 원하는 위치에 고리를 걸어, 가상 아바

타에 연결된 줄과 원하는 위치를 연결하거나 해제하는 것이다. 각 컨트롤러의 중지 트리거 버튼을 짧게 누르는 방식으로 해당 기능을 수행할 수 있다. 이는 우주비행사들이 우주 유영 시에 안전을 위해 우주복과 우주선 사이를 고리와 줄로 연결하는 것에서 착안하였다.

세 번째 기능은 줄을 되감는 것이다. 각 컨트롤러의 중지 트리거 버튼을 길게 누르는 방식으로 해당 기능을 수행할 수 있다. 이는 진공청소기의 전원선을 되감는 것에서 착안하였다. 본 논문에서 제안한 이동방식에서는 단순히 줄을 감는 것이 아니라 사용자의 위치를 연속적으로 이전의 위치로 되돌릴 수 있도록 하였다. 이러한 기능을 통해 사용자가 이전의 위치로 되돌아가고자 하는 의도를 가지고 있을 때 추가적인 조작을 최소화하며 목적을 달성할 수 있도록 하였다.

마지막 기능은 줄의 강성(Rigidity)을 조절하는 것이다. 각 컨트롤러의 검지 트리거 버튼을 이용해 해당 기능을 수행할 수 있다. 강성은 줄을 변형하는데 필요한 힘의 크기를 의미한다. 각각 축 방향과 축에 수직인 방향으로 단위 힘이 가해졌을 때 변형되는 길이를 계산하여 각각 Axial Rigidity, Radial Rigidity로 정의하였다. 강성이 낮은 상태에서는 줄로써 동작한다. 따라서 일정 범위 내에서 자유롭게 움직일 수 있다. 반대로 강성이 높은 상태에서는 줄이 하나의 강체처럼 동작하게 되어 움직임을 멈추게 된다. Obi Rope Asset[6]을 사용하였고 해당 개발 문서에 명시된 기능을 참고하여 기능을 구현하였다.

$$Rigidity_{radial} = \Delta L_{radial} / F_{mit} \quad (1)$$

$$Rigidity_{axial} = \Delta L_{axial} / F_{mit} \quad (2)$$

2.5 개발 환경

Windows10 에서 Unity 2022.3.22., Meta Quest3, Unity XR Interaction Toolkit과 Obi Rope Asset[6]을 활용하였다.

3. 각 Locomotion에 상응하는 진동 피드백 정의 및 매핑

3.1 진동 피드백을 제공하는 사용자 입력

진동 피드백을 제공하는 사용자 입력은 다음과 같다. 먼저 Locomotion State을 변경하는 경우로, 좌측 trigger button을 길게 눌렀을 때 + 방향으로, 우측 trigger button을 길게 눌렀을 때 - 방향으로 Locomotion State가 변경되

는 경우이다. 두 번째는 중력의 크기를 변경하는 경우로, 양 컨트롤러의 joystick의 y값이 달라졌을 때에 해당한다. 세 번째로 줄의 강성을 변경하는 경우로, 좌측 컨트롤러의 X/Y 버튼과 우측 컨트롤러의 A/B 버튼 입력이 들어왔을 때에 해당한다. 마지막으로 이전의 경로를 되돌아가는 경우로, 양 컨트롤러의 grip button을 길게 누를 때에 해당한다.

3.2 진동 피드백 디자인

Singhal et al.에서는 juicy한 사용자 경험을 제공하기 위해 중요한 haptic embellishments에 대해 10가지의 원칙을 제시한다[7]. 이 중 realism, anticipation, expressivity의 원칙을 차용하였다.

Realism이란 진동 피드백과 관련된 물체의 물리적 특성이 진동 파라미터에 반영되어야 한다는 것이다. 이를 적용하여 줄의 축 강성을 변경하는 입력이 발생했을 때 줄의 축 강성에 기여하는 두 가지 변수인 bending factor와 stretch factor를 각각 진동 피드백의 amplitude, frequency에 반영함으로써 줄의 강성이 진동 피드백의 속성에 상응하도록 하였다. 비슷하게 중력의 크기 변화가 진동 피드백의 amplitude와 비례하게 설계하였다.

Anticipation은 다음에 일어날 이벤트를 예측할 수 있도록 하고 기대감을 제공해야 한다는 것이다. 이는 Locomotion State를 변경하는 입력, 그리고 이전의 위치로 돌아가는 입력이 발생했을 때 상태 변경에 앞서 진동 피드백을 제공함으로써 만족할 수 있었다.

마지막으로 expressivity는 여러 가지 이벤트가 동시에 일어나고 있을 때, 더 큰 영향을 미치거나 주의를 끄는 이벤트에 해당하는 진동 피드백이 우선되어야 한다는 것이다. 이는 일어날 수 있는 이벤트에 대해 사전에 설정한 우선순위에 따라, 높은 순위의 이벤트의 진동 피드백이 제공되도록 함으로써 만족할 수 있었다(표 2).

표 2. Event의 우선순위

우선순위	Input event
1	Change Locomotion State
2	Reverse trajectory
3	Change rope stiffness
4	Increase/decrease gravity

표 3. Locomotion 관련 입력과 진동 피드백 매핑 및 변수

입력	Amplitude	Frequency	Duration
Change State	constant	constant	constant
Increase/decrease gravity	\propto gravity	constant	constant
Reverse trajectory	constant	constant	= duration of input
Change rope stiffness	\propto bending factor	\propto stretch factor	constant

4. 결론

이 연구는 누워있는 자세에서 VR을 경험할 때의 문제점을 개선할 수 있는 새로운 이동방식을 제시하였다. 먼저 사용자가 최소한의 움직임으로 가상현실을 경험할 수 있도록 중력원을 조정하여 원하는 방향으로 이동하는 아이디어를 고안하고 구현하였다. 두 번째로 고리와 줄을 사용하여 이동범위를 제한함으로써 사용자가 자유롭게 움직일 수 있는 동시에 피로감을 줄이는 효과를 얻을 수 있다. 마지막으로 가상 세계와 실제 누워있는 자세 간의 orientation 차이를 줄이기 위해 중력이 없는 환경을 설정하였다.

이를 통해 가상환경에서의 몰입감을 높이고, 감각적 충돌로 인한 사용자의 불편함을 최소화할 수 있다. 이 논문에서 제시한 누운 자세에서의 새로운 이동방식을 휴식, 명상, 재활 등의 다양한 VR 콘텐츠에 적용될 수 있을 것이다. 향후 연구에서는 사용자 피드백을 통해 추가적인 개선을 진행하고, 진동 피드백의 효과를 검증하기 위한 다양한 실험을 통해 우주 유명 메타포를 이용한 이동 방식의 유효성을 확보하고자 한다.

참고문헌

- [1] KWON, Doil, et al. PillowVR: virtual reality in bed. In: Proceedings of the 25th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. p. 1–2. 2019.
- [2] LUO, Tianren, et al. Exploring Sensory Conflict Effect Due to Upright Redirection While Using VR in Reclining & Lying Positions. In: Proceedings of the 35th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology. p. 1–13. 2022.
- [3] VAN GEMERT, Thomas, et al. Towards a bedder future: A study of using virtual reality while lying down. In: Proceedings of the 2023 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. p. 1–18. 2023.
- [4] KONTIO, Reetu, et al. “I Feel My Abs”: Exploring Non-standing VR Locomotion. Proceedings of the ACM on Human-Computer Interaction, CHI PLAY: 1282–1307. 2023, 7.
- [5] DI LUCA, Massimiliano, et al. Locomotion vault: the extra mile in analyzing vr locomotion techniques. In: Proceedings of the 2021 CHI conference on human factors in computing systems. p. 1–10. 2021.
- [6] Virtual Method Studio. Obi Api <https://obi.virtualmethodstudio.com/api.html> July 1. 2024.
- [7] SINGHAL, Tanay; SCHNEIDER, Oliver. Juicy Haptic Design: Vibrotactile Embellishments Can Improve Player Experience in Games. Association for Computing Machinery, New York, NY, USA. 2021