

몰입형 에이전트의 사실적인 수중환경 인지를 위한 가상현실 프레임워크

홍성훈^o, 김종현^{*}

^o인하대학교 소프트웨어융합대학 디자인테크놀로지학과,

^{*}인하대학교 소프트웨어융합대학 디자인테크놀로지학과

e-mail: jonghyunkim@inha.ac.kr

Virtual Reality Framework for Realistic Underwater Environment Perception of Immersive Agents

Seong-Hoon Hong^o, Jong-Hyun Kim^{*}

^oCollege of Software and Convergence (Dept. of Design Technology), Inha University,

^{*}College of Software and Convergence (Dept. of Design Technology), Inha University

● 요약 ●

본 논문에서는 수중에 존재하는 몰입형 에이전트의 움직임을 사실적으로 표현하고 수중 오브젝트들과의 상호작용에서 나타나는 외력을 시각적으로 표현할 수 있는 프레임워크를 제안한다. Unity3D와 HTC Vive를 이용해 사용자의 움직임을 추적하고 수중 물리적 요소인 부력, 저항력, 매그너스 효과를 몰입형 에이전트에 적용시켜 사용자로 하여금 수중에 작용하는 외력을 사실적으로 인지할 수 있게 한다.

키워드: 가상현실(Virtual reality), 수중 시뮬레이션(Underwater simulation), 유체 시뮬레이션(Fluid simulation), 상호작용(Interaction), 몰입형 에이전트(Immersive agents), 유니티3D(Unity3D)

I. Introduction

본 논문에서는 수중에 존재하는 몰입형 에이전트의 움직임을 사실적으로 표현하고 수중 오브젝트들과의 상호작용에서 나타나는 외력을 시각적으로 표현할 수 있는 프레임워크를 제안한다. 수중에서는 저항력, 부력, 중력, 압력 등의 외력을 느끼게 된다. 하지만 가상현실을 체험하는 환경은 보통 HMD와 양손의 Controller를 이용하여 시각, 청각, 그리고 일부 촉각만을 느낄 수 있다. 더 구체적인 힘을 전달하기 위해 Flywheel을 이용한 GyroVR이나 Wire System를 이용하기도 하지만 일반 사용자가 구현하기에는 비용이 많이 들고 신체에 착용하는 방식으로 사용자의 움직임을 방해하기도 한다.

기존의 방법에서는 이러한 한계를 해결하기 위해 시각적 불일치(Visual discrepancies)를 이용한 접근을 하였다[1]. 사용자로부터 움직임을 입력받아 수중저항력이 적용된 움직임을 보여주고 여기서 발생한 시각적 불일치를 통해 사용자에게 외력을 느끼도록 전달했다. 하지만, 수중 저항력만으로는 수중에서 나타나는 다양한 물리적 움직임을 표현할 수 없으며, 이 같은 부재는 사용자로 하여금 콘텐츠에 몰입을 감소시키게 하는 원인이 된다.

본 논문에서는 수중저항력 뿐만 아니라 유체에서 발생하는 외력인 부력, 매그너스 효과(Magnus effects)를 표현하고, 오브젝트와 상호

작용할 때 물체의 특성을 더욱 현실적으로 인지할 수 있는 방법을 제안한다.

II. The Proposed Scheme

1. Scene Setup

본 논문에서는 유니티3D를 이용해 수중환경을 만들고 HTC Vive Pro를 OpenXR을 이용해 연동한다. 수중환경은 10m 깊이의 바다로 바닥에는 모래 텍스처를 입히고 수중 탁도와 빛 반사를 표현한다. 또한 수중에서 들을 수 있는 소리를 재생시켜 최대한 바다와 비슷한 시청각 환경을 구현한다.

다음으로는 아바타를 리깅한다. 기존 논문에서는 사용자의 움직임을 역운동학(Inverse kinematics)을 이용해 신체 관절의 각속도를 계산하고 저항 속도를 적용시켜 아바타를 조작했지만, 본 논문에서는 관절의 각속도가 아닌 IK Target을 이용해 훨씬 신체의 끝 지점에 따른 관절의 움직임을 자연스럽게 표현한다. Diver 아바타의 전신의 움직임을 표현하기 위해 Fig. 1과 같이 양쪽 손을 IK Target을 통해

VR Controller을 따라가게 하고 Hint 포인트를 이용해 자연스러운 관절의 움직임 방향을 표현한다. 다리의 경우는 별도의 Tracker를 사용하지 않고 이동거리에 따라 발이 지면 메쉬(Mesh)를 인지하여 자동으로 발을 닫게 하였다.

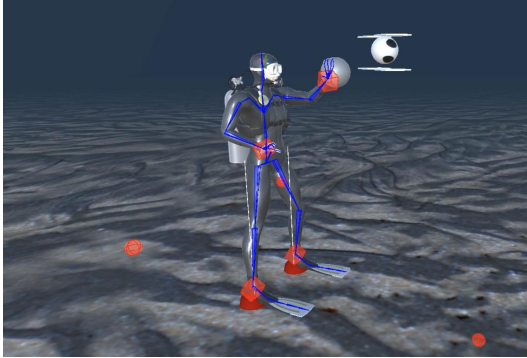


Fig. 1. Rigged VR Character

2. Generate Visual Discrepancies

사용자는 실제 신체의 움직임과 시각적 움직임이 다르면 가상의 힘을 느끼게 된다. 이는 시각적 불일치로 실제 신체의 움직임 대비 아바타의 움직임에 지연을 주는 것으로 구현할 수 있다. 이 지연값에 따라 사용자가 느끼는 힘의 크기도 다르다. 따라서 지연값을 조정할 수 있도록 증폭값은 사용자가 수정할 수 있도록 했으며, 본 논문에서는 각 힘의 조절 상수인 M 으로 설정했다.

구현 방법은 실제 사용자 팔의 속도인 OpenXR플러그인의 Controller velocity를 3차원 벡터로 추출하고 벡터의 크기를 이용해 외력을 받았을 때의 속도를 계산한다. 그리고 속도에 다시 방향을 더해 IK Rig의 Target이 VR Controller을 따라가게 하면 외력(혹은 부력)에 의해 지연된 팔의 움직임을 시각적으로 인지할 수 있다.

3. Apple Force

3.1 Apply Drag Force

일반적으로 유체저항을 계산하는 공식은 다음과 같다 (수식 1 참조).

$$F_d = \frac{1}{2} \rho A_e C_d V^2 \quad (1)$$

수식 1에서 F_d 는 저항력이고 ρ 는 유체의 밀도로 30°C의 물 기준 0.9957g/mL로 계산한다. A_e 는 저항을 받는 단면적으로 신체에서 측정된 값 또는 오브젝트의 Scale 값을 추출하여 사용한다. C_d 는 팔의 저항계수로 사전에 계산된 값(0.2)을 이용한다.

위 수식을 통해 유체에서 발생하는 저항력을 계산할 수 있다. 하지만 본 논문에서는 사용자에게 힘에 따른 물리적인 피드백을 주는 것이 아닌 시각적 불일치를 통해 힘을 느끼도록 유도하는 것이므로 위 식을 변형하여 외력에 의해 느려지는 팔의 속도를 계산하여야 한다. 따라서 저항력을 받은 아바타 팔의 속도는 다음과 같이 계산할

수 있다 (수식 2 참조).

$$v_a = v_r - \frac{1}{2} \rho |v_r|^2 c_d A_e \times M_d \quad (2)$$

수식 2에서 v_a 는 아바타 팔의 속도이고 v_r 는 실제 사용자의 팔 속도이다. 추출된 실제 사용자의 팔 속도 v_r 의 값이 증가하게 되면 아바타의 팔 속도도 증가하게 된다. 하지만 물의 밀도 ρ 와 단면적 A_e 의 값이 커질수록 위의 식에 의해 팔의 속도는 줄어든다. 또한 저항력 조절 상수인 M_d 는 사용자가 자연스러운 저항력을 제어할 때 사용하는 변수이며, 본 논문에서는 1~3의 값으로 설정하였다.

3.2 Apply drag force and buoyancy

수중에는 저항력뿐만 아니라 부력도 존재한다. 인간의 신체는 대부분 물보다 밀도가 높지만 체지방, 물의 온도, 염도에 따라 부력이 발생하는 구간이 존재한다. 이전 연구를 토대로 본 논문에서도 부력에 따른 팔 속도의 차이도 존재하도록 설계한다[2].

부력은 수면으로 상승하는 힘이기 때문에 팔이 상승할 때는 힘을 덜 받게 되고 하강할 때는 부력만큼의 힘을 더 받게 된다. 이를 가상현실에서 시각적 불일치로 구현하게 되면 팔이 상승할 때는 더 빠른 속도로 상승하고 하강할 때는 더 느리게 하강하도록 할 수 있다. 다만 부력에 의한 움직임이 실제 사용자의 팔보다 더 빠르지 않도록 Target포인트가 VR Controller와 오차범위 내에 들면 아바타의 팔이 정지하도록 한다. 수중저항력과 부력을 받은 아바타의 움직임은 다음과 같이 계산한다 (수식 3 참조).

$$v_a = v_r \pm (B \times M_b) - \frac{1}{2} \rho |v_r|^2 c_d A_e \times M_d \quad (3)$$

여기서 B 는 사용자 신체의 부력으로 사전에 계산된 값을 대입하였고, M_b 는 부력 조절 상수로 본 논문에서는 1~2의 값으로 설정했다. Controller의 Velocity Y값이 0보다 클 경우 부력이 더해져 팔이 상승할 때 부력만큼의 속도를 더 받고 0보다 작을 경우는 부력만큼의 속도를 잃게 되는 움직임이 표현된다.

3.3 Interaction with Objects

이번 장에서는 Fig. 2 와 같이 수중의 오브젝트들과 상호작용하는 경우의 수식이다 (수식 4 참조).

$$v_a = v_r \pm (B - g) \times M_b - \frac{1}{2} \rho |v_r|^2 c_d A_e \times M_d \quad (4)$$

여기서 $B - g$ 는 물체의 부력과 중력으로 밀도에 의해 부호가 정해지고 팔의 움직임 속도에 영향을 준다. 팔이 상승할 때 밀도가 1 이상인 물체를 잡고 있으면 음수가 더해져 팔의 속도는 느려지고 밀도가 1 이하인 경우 양수가 더해져 팔의 속도는 빨라진다. 반대로 팔을 내릴 때에는 밀도가 1 이상인 물체를 잡고 있으면 음수가 빠져 팔이 빨라지고 밀도가 1 이하인 경우 양수가 빠져 결과적으로 팔의 움직임이 다소 느려진다.

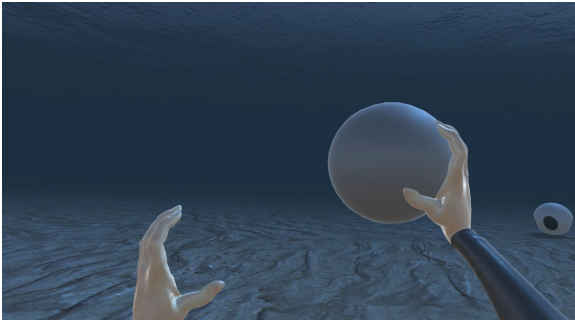


Fig. 2. Interaction with objects

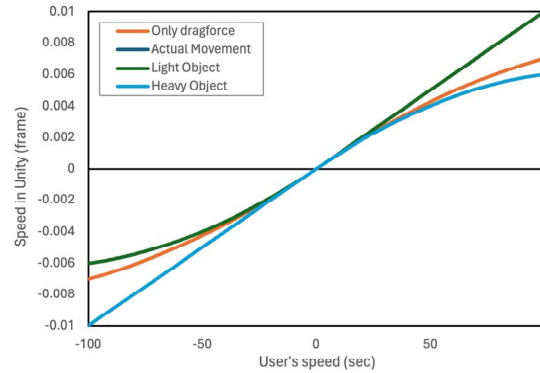


Fig. 4. Speed difference due to object.

4. Magnus Effect

일반적으로 유체 속에서는 유체와 상대속도를 가지며 회전하는 물체의 경우 유체속도에 수직인 방향으로 물체가 이동하는 마그누스 효과가 발생한다. 마그누스 힘은 다음과 같이 계산한다 (수식 5 참조).

$$F = \frac{1}{2} \rho \omega \gamma V A l \quad (5)$$

수식 4에서 ω 는 회전하는 물체의 각속도, γ 은 반지름, l 은 비례상수이다. 물체는 빠른 회전 속도와 이동 속도를 가질수록 더 많은 마그누스 효과를 받게 된다. 물체의 회전속도와 이동속도는 유니티3D의 RigidBody를 통해 계산되며 Addforce를 통해 마그누스 힘만큼 이동하도록 구현했다.

Fig 4는 오브젝트의 부력에 따른 상하 팔 속도의 차이를 나타낸다. 주황색 선의 경우 저항력만 적용된 속도값으로 상하 움직임에서 동일한 모습을 보인다. 초록색 선은 가벼운 물체를 잡았을때의 팔 속도로 팔이 상승할 때 실제 움직임과 동일하지만 팔을 하강할 때는 가장 느려진다. 하늘색 선의 경우 무거운 물체를 잡았을때의 팔의 속도로 팔이 하강할 때 실제 움직임과 동일하지만 팔을 상승시킬 때는 가장 느려진다. 부력 조절 상수인 M_b 의 경우 1.5정도에서 가장 자연스러운 움직임과 힘을 느낄 수 있었다. 또한 모든 움직임은 속도가 무한대로 갈수록 저항력에 의해 느려진다. 물체를 잡고 던지거나 빠르게 회전시켰을 때 공의 회전에 따라서 마그누스 효과에 의한 움직임이 나타났고 공의 이동과 회전은 저항력에 의해 정지되었다.

III. Result

Fig. 3는 실제 팔 속도와 아바타의 팔 속도 차를 나타낸다. 파란색 선은 실제 팔 속도, 주황색 선은 아바타의 팔 속도로 실제 팔의 속도가 빨라질수록 아바타 팔과 속도 차가 증가했고 이로 인해 팔에서 가장 힘을 느끼게 되었다. 저항력 조절 상수인 M_d 의 경우 25정도에서 가장 자연스러운 움직임과 힘을 느낄 수 있었다.

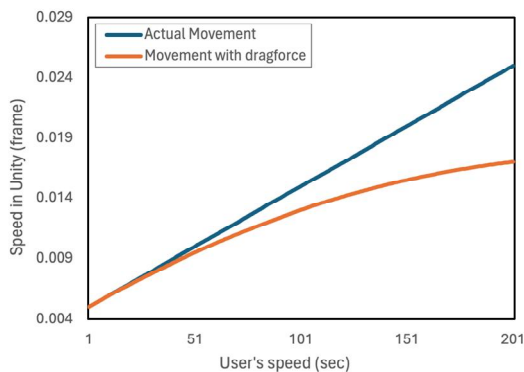


Fig. 3. Speed difference due to drag force.

IV. Conclusions

본 논문에서는 시각적 불일치를 이용해 수중에서 발생하는 외력인 저항력, 부력과 마그누스 효과를 VR환경에서 효율적으로 표현하는 방법을 제안했다. 외부 장치를 이용하지 않고 다양한 외력을 인지시킬 수 있게 한다는 점은 수중 환경 외에도 여러 분야에서 사용될 수 있다. 향후, 팔의 움직임뿐만 아니라 몸 전체에 적용되는 외력을 몸의 볼륨이나 유체의 흐름에 따라 표현할 수 있도록 확장할 계획이다.

REFERENCES

- [1] HyeongYeop Kang, Geonsun Lee, and JungHyun Han, "Visual Manipulation for Underwater Drag Force Perception in Immersive Virtual Environments," Academic Conference of Korea Computer Graphics Society, pp. 62-63, 2019.
- [2] Jae-Hong Youn, Gi-Taek Hur, and Im-Chul Kang, "A Study On The Development Of Virtual Underwater Environment And Sensory Simulator," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 15, No. 4, pp. 560-568, 2012.