



Motion Feedback Platform for Ski Simulator

Won-Hyeong Park, Yu-Joon Kim, Dong-Soo Choi, Sang-Youn Kim*

Department of Computer Science & Engineering, Korea University of Technology and Education

ABSTRACT

In this paper, the motion-haptic feedback system is presented in order to provide the same sensation to players as if they enjoys a real ski on ski slope. For maximizing immersive sensation, player's motion is measured by two inertia measurement units (IMUs) and the measured motion is used for natural interaction with virtual environment. To simulate the behavior of player's ski plates, three timing belts and five DC motors are incorporated into the proposed system. The three-timing belts and three-DC motors are also used in order to provide horizontal acceleration to players. Furthermore, two additional DC motors are applied to the proposed system for creating forward-backward acceleration. Therefore, the players can sense realistic motion-haptic feedback as if they enjoy real ski on ski slope.

© 2014 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Haptic, Simulators, Motion Feedback, Natural Interaction, Skis

ARTICLE INFO : Received 4 February 2014, Accepted 11 April 2014.

1. 서론

*Corresponding author is with the Department of Computer Science & Engineering, Korea University of Technology and Education., 1600, Chungjeol-ro, Byeongcheon-myeon, Dongnam-gu, Cheonan-si, Chungcheongnam-do, 330-708 Republic of Korea.

E-mail addresses : sykim@kut.ac.kr, Tel : +82 41 560 1484, Fax : +82 41 560 1484

최근 들어 3차원 그래픽 기술과 음향 기술들이 발전함에 따라 현실세계에서 체험할 수 있는 다양한 상황들이 가상공간에서도 사실감 있게 표현되고 있다. 이와 같이 현실세계에서 발생하는 상황들을 가상공간에 몰입감 있게 표현하기 위해서 시뮬레이터를 기반으로 한 시스템들이 개발되어 오고 있다. 초기의 시뮬레이터 시스템은 사용자에게 주로 시각정보와 청각정보를 제공함으로써 가상공간 내에서 사용자에게 현실감을 전달해주었다. 넷마블

의 서든어택은 높은 품질의 그래픽을 1인칭 시점으로 제공함으로써 사용자의 몰입도를 높였으며[1], Clement Shimizu 등은 빠르게 움직이는 물체의 잔영을 모션 블러(Motion Blur)를 이용하여 사용자에게 시각적으로 가속감을 제공하였다[2]. Kees van den Doel 등은 가상공간의 물체에 대한 표면정보를 이용하여 물체 간의 마찰 시 발생하는 청각정보를 사실적으로 제공하는 알고리즘을 개발하였고[3], 오상민 등은 가상환경 내의 자동차 속도를 저속, 중속, 고속 3구간으로 모델링하여 구간마다 엔진 소리를 달리 구현함으로써 사용자에게 가속감을 제공하였다[4]. 이러한 연구들은 사용자에게 상황에 따른 시각정보와 청각정보를 사실감 있게 제공함으로써 가상환경에 대한 몰입감을 줄 수 있었지만, 이 두 가지의 감각만을 제공하는 것은 현실 세계에서 발생하는 상황들을 충분히 표현하기에는 한계가 있다.

이재호 등은 사용자의 모션에 따라 가상의 아바타를 제어하기 위해서 실시간으로 인간의 동작을 인식할 수 있는 시스템을 개발하였으며[5], 김정민 등은 사실적인 자동차 시뮬레이션을 위해 가·감속 페달을 하드웨어로 구현하여 사용자의 모션을 입력받을 수 있는 HIL(Hardware In the Loop) 시뮬레이터를 개발하였다[6]. 김종운 등은 핸들, 페달을 이용하여 사용자가 실제 자전거를 타는 듯한 느낌을 받을 수 있도록 가상 주행 자전거 시스템을 개발하였고[7], Chis Meredith은 몰입감 있는 낚시 게임을 위한 Fishing Rod and Reel Electronic Game Controller를 개발하였다[8]. Sugaman 등은 사용자의 모션을 측정할 수 있는 모션 센싱 플랫폼을 개발하고 이를 이용하여 스키 시뮬레이터를 개발하였다 [9]. Solina와 Batagelj는 사용자의 모션을 두 개의 적외선 카메라를 이용하여 측정하고 이를 기반으로 3D 기반의 가상 스키 게임을 개발하였다[10]. 이러한 연구들은 사용자가

현실세계와 같이 몸을 움직이며 가상환경을 체험할 수 있도록 함으로써 사용자에게 시각 및 청각 정보만을 제공할 때보다 더욱 높은 몰입감을 제공하였다. 하지만 이와 같은 시스템들은 사용자의 모션 입력에 대한 모션 피드백을 생성하지 않기 때문에 사용자가 원하는 수준의 몰입감을 생성하는 데는 한계가 존재한다.

이와 같이 사용자의 모션 입력에 대한 모션 피드백을 생성하지 않아 높은 몰입감을 전달하지 못하는 이전 연구들의 단점을 보완하기 위하여 모션 햅틱 인터랙션을 위한 스키 시뮬레이터 시스템을 통해 사용자에게 모션 입력뿐만 아니라 입력된 모션에 대한 피드백을 제공해주는 시스템들이 개발되었다[11,12,13]. 이 연구는 사용자가 시스템을 이용할 때 사용자의 모션 입력에 따른 좌우모션과 상하모션 피드백을 제공함으로써 모션 입력에 대한 모션 피드백을 제공하지 못하는 이전 연구들의 한계를 극복하였다. 하지만 이 연구는 실제 스키를 탈 때 관성에 의해 발생하는 전후가속에 대한 모션 피드백을 제공하지 못하며, 사용자가 실제 스키를 탈 때와 같이 양발을 독립적으로 제어하기 어려우므로 현실세계에서 스키를 타는 듯한 느낌을 제공해 주기에는 여전히 한계가 있다.

그러므로 본 연구에서는 양발을 독립적으로 제어하고, 좌우 모션 뿐 아니라 관성에 따른 가속감을 느낄 수 있도록 전후모션을 추가함으로 사용자가 원하는 수준의 몰입감을 제공할 수 있는 스키 시뮬레이터 시스템을 위한 모션 피드백 플랫폼을 개발한다.

2. 시스템 구성

<그림 1>은 제안하는 시스템의 구상도를 보여준다. 사용자는 실제 스키를 타는 것과 같이 양발의 힘으로 스키 플레이트의 각도를 제어함으로써 방

향 변경이 가능하며, 이 때문에 증감되는 가상환경의 스키 슬로프와 스키 플레이트 사이의 마찰면에 따라 속도 제어가 가능하다. 스키 시뮬레이터 시스템을 통해 사용자는 제어하는 입력에 따라서 시스템에서 생성되는 관성 및 모션 피드백을 전달받아 높은 몰입감을 느낄 수 있다.

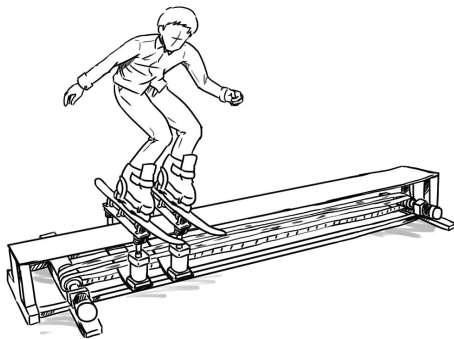


그림 1. 제안하는 시스템의 구성도
Figure 1. The architecture of the proposed system

본 연구에서는 다양한 가속감을 제공할 수 있는 시스템을 구축하기 위하여 <그림 2>와 같이 모션 입력부, 좌우가속 생성부, 전후가속 생성부, 시각정보 생성부로 구성된 시뮬레이터 프로토타입을 개발하였다.

모션 입력부는 사용자의 모션 정보를 스키 플레이트에 부착된 관성 측정 유닛을 통해 입력받는다. 입력된 모션은 시각정보 생성부로 전달되며, 시각정보 생성부는 전달받은 모션정보를 이용하여 가상환경 내에 있는 아바타(사용자의 가상환경 안에서의 캐릭터)의 위치와 속도를 계산하고 계산된 위치와 속도 값을 좌우가속 생성부와 전후가속 생성부로 직렬통신을 통하여 전달한다. 좌우가속 생성부의 마이크로프로세서는 전달받은 위치 값에 따라 DC 모터와 타이밍 벨트 및 풀리를 이용하여 사용자를 좌·우로 움직여 줌으로써 가속감을 제

공한다. 이와 동시에 전후가속 생성부의 마이크로프로세서는 전달받은 속도 값에 따라 볼스크류와 DC 모터를 이용하여 사용자를 앞·뒤로 이동시켜 가속감을 제공한다. 좌우가속 생성부와 전후가속 생성부는 비례-미분-적분제어기(PID Controller)를 통해 DC 모터를 구동하여 사용자에게 안정적이고 자연스러운 가속감을 제공하였다. 이와 같은 메커니즘을 이용하여 사용자는 시스템으로부터 사용자의 모션 입력에 따른 3차원 시각정보 및 모션 피드백을 전달받아 원하는 수준의 몰입감을 느낄 수 있다.

시각정보 생성부는 높은 몰입감을 제공하기 위해 UDK와 3D Max 등을 이용하여 가상의 물체를 높은 품질로 모델링 하였다. 시각정보 생성부에서는 모션 입력부로부터 전달받은 위치 및 속도 값을 통해 가상환경에서 아바타의 위치를 계산하고 아바타 및 주변의 환경들을 그래픽적으로 표현하였다. 또한, 그래픽 렌더링 후 모션 블러를 적용하여 빠르게 움직이는 주변환경의 잔영 효과까지도 시각적으로 제공하였다. 계산된 아바타의 위치는 좌우가속 생성부와 전후가속 생성부에 전달하여 사용자에게 모션 피드백을 전달하기 위하여 사용된다.

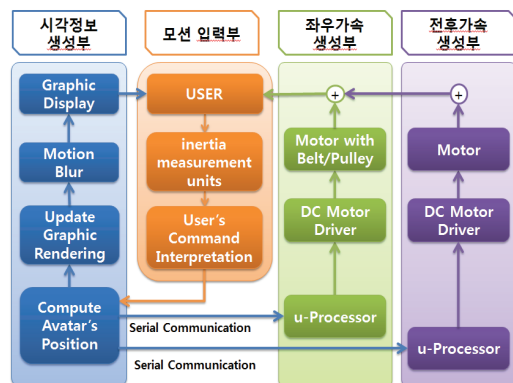


그림 2. 전체 시스템의 신호흐름도
Figure 2. The signal flow of the proposed system

3. 모션 피드백 시스템

제안하는 시스템은 <그림 3>과 같이 모션 입력부, 좌우가속 생성부, 전후가속 생성부로 이루어진다. 본 장에서는 스키 시뮬레이터를 구성하는 세 가지의 부분 및 시각정보 생성부에 대하여 기술한다.



그림 3. 모션 피드백 플랫폼
Figure 3. Motion Feedback Platform

3.1 모션 입력부

사용자의 모션 입력은 모션 입력부를 통하여 이루어진다. 모션 입력부에서 사용자가 스키 플레이트를 제어할 때 발생하는 각도를 입력받기 위해서 관성측정유닛(Inertia Measurement Unit, IMU)을 스키 플레이트의 하단부에 부착하였다. 관성측정유닛을 통하여 측정된 스키 플레이트의 움직임 각도는 시각정보 생성부로 전달되어 가시화되도록 하였다.

3.2 좌우가속 생성부

좌우가속 생성부는 사용자의 모션 입력으로 계산되는 가상환경 속 아바타의 위치 값에 따라 사용자에게 좌·우측으로 가속을 제공한다. 생성된 가속은 사용자에게 실제 스키운동의 만곡 회전 시

일어나는 운동을 재현한다. 좌우가속 생성부의 구성은 스키 플레이트의 앞부분에 접합된 1개의 직선운동 시스템과 뒷부분에 접합된 2개의 직선운동 시스템으로 이루어져 있으며, 각 직선운동 시스템은 동력을 생성하는 DC 모터, 동력을 전달해주는 타이밍 벨트 및 풀리로 이루어져 있다. 동력의 제어를 위해 좌우가속 생성부에서는 모터를 구동하기 위한 $\pm 24V$ DC 전원, 마이크로프로세서와 DC 모터 드라이버를 사용한다. 그리고 모터의 회전량을 측정하기 위한 로터리 엔코더를 사용한다.

3개의 직선운동 시스템은 양발의 독립적인 제어를 표현한다. 1개의 직선운동 시스템은 양발의 스키 플레이트 앞부분에 함께 연결되어 있으며, 2개의 직선운동 시스템은 스키 플레이트의 뒷부분에 각각 1개씩 연결되어 동력을 독립적으로 전달한다. 그림 4는 좌우가속 생성부의 동작원리를 나타낸다.

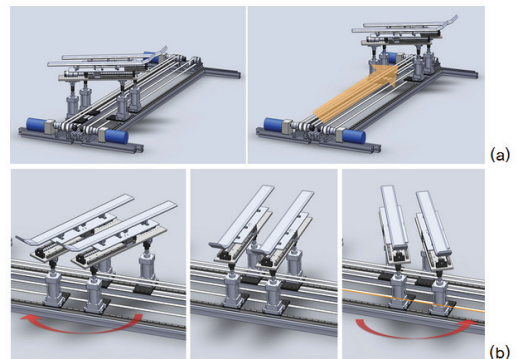


그림 4. 좌우가속 생성부의 동작
Figure 4. Operating principle of the horizontal motion

본 시스템은 두 스키 플레이트의 앞부분과 뒷부분에 같은 방향과 동력이 전달될 때 <그림 4(a)>와 같이 직선운동 및 가속을 생성하고, 서로 다른 크기의 동력이 전달될 때 <그림 4(b)>와 같이 회전운동 및 회전 각 가속을 생성한다. 그러므로 시뮬레

이선의 속도에 따라 사용자가 느끼는 반응이 달라지게 된다.

3.3 전후가속 생성부

전후가속 생성부에서는 가상환경 속 아바타의 속도에 따라 두 개의 스키 플레이트를 앞·뒤로 움직여 관성에 대한 가속을 생성한다. 전후가속 생성부는 동력을 생성하는 DC 모터와 생성된 동력을 직선 운동으로 변환 및 전달하는 볼스크류 시스템, DC 모터의 회전량을 측정하는 로터리 엔코더로 구성된다. <그림 5>는 전후가속 생성부의 구성을 보여준다.

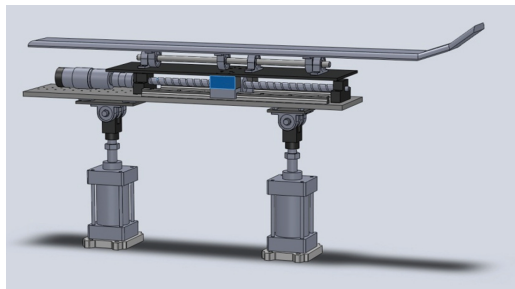


그림 5. 전후가속 생성부의 구성
Figure 5. Structure of back and forth motion Part

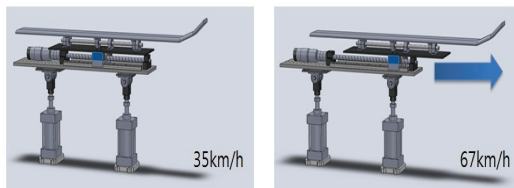


그림 6. 전후가속 생성부의 동작
Figure 6. Operating principle of back and forth motion

전후가속 생성부에 부착되어 전진운동을 하는 스키플레이트의 위치는 가상환경 속 아바타의 전진속도에 비례하여 앞·뒤로 이동한다. 아바타의 전진속도가 증가할 때 전후가속 생성부에 부착된

스키 플레이트는 전진운동을 하게 되고, 아바타의 전진속도가 감소할 때 후진운동을 한다. <그림 6>은 전후가속 생성부에 부착된 스키 플레이트가 아바타의 속도에 비례하여 직선운동을 하는 예를 보여주고 있다.

전후가속 생성부의 제어는 동력을 생성하는 DC 모터의 입력 전압을 변환하기 위한 DC 모터 드라이버와 마이크로프로세서를 사용하고, 자연스러운 가속감과 속도에 따른 스키플레이트의 신속하고 정확한 이동을 위해 비례-미분-적분제어기를 통해 DC 모터를 구동하였다. 사용자에게 움직임의 정도를 정량적으로 보이기 위해 움직임의 속도를 측정하였다. 스키 플레이트의 회전은 최대 60도 회전이 가능하며 좌우모션의 경우 최대 움직임은 2.5m, 최대 속도는 1.6m/s 이며 전후 모션의 경우 최대 0.2m를 움직이며 최대 속도는 0.12 m/s 로 측정되었다.

3.4 시각정보 생성부

사용자가 가상환경과 상호작용을 할 때 사용자는 오감 중에서 시각에 가장 많이 의지한다. 다시 말해, 가상환경에서 사용자에게 높은 몰입감을 제공하기 위해서는 현실과 같은 높은 품질의 시각 정보가 제공되어야 한다. 그러므로 본 연구에서는 3차원 환경을 몰입감 있게 구성할 수 있는 소프트웨어인 UDK(Unreal Development Kit)를 이용하여 시각정보 생성부를 개발하였다. UDK는 높은 품질의 시각 정보를 제공하고, 가상환경에서 소리가 발생하는 지점과 아바타의 거리에 따라 음향의 크기를 제어할 수 있다. 또한, 소리의 방향벡터를 이용하여 소리가 나는 위치를 파악할 수 있게 해 주기 때문에 높은 품질의 어플리케이션을 제작하는 데에 적합하다. <그림 7>은 제작한 스키 시뮬레이터의 어플리케이션을 보여준다.



그림 7. 스키 시뮬레이터의 어플리케이션
Figure 7. Application for a ski simulator

시각정보 생성부의 가상환경은 높은 몰입감을 위해 실제 스키장의 슬로프를 배경으로 제작되었다. 현실과 같은 느낌을 주기 위해 리프트, 전광판, 깃발 등 주변 환경을 3Ds Max를 이용하여 제작하고, 텍스처(Texture)를 입혀 완성하였다. <그림 8>은 스키 슬로프를 구성하는 다양한 물체들을 모델링한 모습을 보여준다.

시각정보 생성부에서는 모션 블러를 구현하여 잔영효과를 사용자에게 제공함으로써 시각적으로 가속감을 표현하였다. 모션 블러를 구현하기 위해 다음과 같은 흐름을 가진다. 먼저 장면을 렌더링하고 각 물체를 이루는 텍스처의 픽셀 속도를 계산한다. 픽셀의 속도는 현재 프레임의 스크린 상의 픽셀 위치, 이전 프레임의 스크린 상의 픽셀 위치와 경과 시간을 이용하여 계산되며, 더욱 역동적인 장면을 연출하기 위하여 여러 단계의 장면을 샘플링하여 하나의 속도로 계산된다. 계산된 속도를 이용하여 모션 블러가 적용된 장면이 생성되고 최종적인 장면은 모션 블러가 적용된 장면과 원본 이미지를 합성하여 생성된다. 이러한 이미지 합성과정에서 지나치게 많은 이미지가 합성되는 것을 피하고자 최대 속도를 제한하였으며 자연스러운 모션 블러를 구현하고자 현재 픽셀보다 너무 멀리 떨어져 있는 픽셀을 샘플링하지 않도록 샘플링의

범위를 제한하였다.

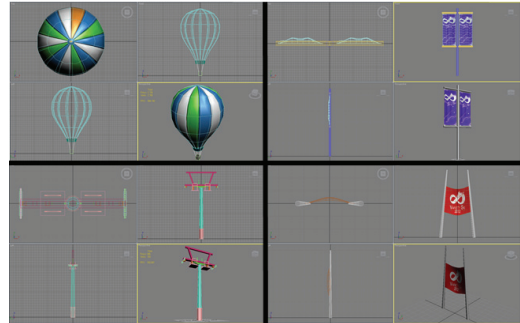


그림 8. 그래픽 환경 모델링
Figure 8. Modeling for Graphic Environment

이를 통해 사용자는 시각정보 생성부에서 제공하는 높은 품질의 그래픽과 모션 블러를 통한 가속감에 의해 마치 실제 슬로프를 타고 내려가는 듯한 느낌을 전달 받을 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서는 사용자가 실제 스키를 타는 듯한 느낌을 주기 위해 사용자의 입력에 따른 좌우가속과 전후가속을 제공해줄 수 있는 시스템을 구축하였으며, 높은 품질의 시각정보를 제공해 줄 수 있는 스키 시뮬레이션을 제안하였다. 본 연구에서 제안한 스키 시뮬레이터 시스템은 사용자의 자연스러운 모션을 위해 양발을 분리하였으며, 실제 스키를 탈 때 관성에 의해 발생하는 전후가속에 대한 모션 피드백을 전후가속 생성부를 통해 제공함으로써 기존 스키 시뮬레이터 시스템의 한계를 극복하였다. 본 시스템에서 제안하는 모션에 따른 모션 피드백 시스템을 다양한 가상환경 구축에 이용한다면 가상환경에서 사용자에게 현실세계에서 발생하는 상황들을 더욱 사실적으로 표현하는 데에 도움이 될 것으로 판단된다.

References

- [1] Go Keyboard, <http://suddenattack.netmarble.net>.
- [2] C. Shimizu A. Shesh, and B. Chen, *Hardware accelerated motion blur generation*, Computer Science Department Technical Report, 2003.
- [3] D. Van, P. G. Kry, and D. K. Pai, *Foley automatic: Physically -based soundeffects for interactive simulation and animation*, SIGGRAPH, pp. 537-544, 2001.
- [4] S.M. Oh K. Son, K. B. Kim, and K. H. Kim, *Development of a rendering server for vehicle driving simulators*, KSAE Conference, pp. 1512- 1516, 2002.
- [5] J. H. Lee, C. J. Park, and I. H. Lee, *3D game control using gesture recognition*, HCI Korea 2006, pp. 1348-1353, 2006.
- [6] J. M. Kim, H. Yeo, and H. S. Kim, *Development of HIL simulator with accelerator and brake pedal hybrid electric vehicle*, KASE Conference, pp. 1031-1036, 2003.
- [7] J. Y. Kim, C. K. Song, and N. K. Kim, *Performance evaluation and development of virtual reality bike simulator*, Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol. 51D. No. 3, pp. 112-121, 2002.
- [8] C. Meredith, *Fishing rod and reel electronic game controller*, United States Patent : Patent Number : 5,730, pp. 655, 1998.
- [9] H. Sugaman, and A. W. Eichler, *Use of the wii fit system for the treatment of balance problems in the elderly : A feasibility study*, Virtual Rehabilitation International Conference, pp. 111-116, 2009.
- [10] F. Solina, B. Batagelj, and S. Glamocanin, *Virtual skiing as an art installation*, International Symposium LEMAR-2008, pp. 507-510, 2008.
- [11] E. Y. Cho, W. H. Park, G. H. Song, E. J. Lim, G. C. Jung, and S. Y. Kim, *A simulator system for motion-haptic interaction*, HCI 2012, pp. 44-46, 2012.
- [12] E. Pianca1, and W. Green, *The simulation of complex whole-body activity. Simulator design considerations and methodological parameters*, Journal of Design Research, Vol. 11, No. 4, pp. 372-394, 2013.
- [13] A. Shionoyaa and K. Satob, *Development of a simulator generating ski board vibrations in actual skiing*, Procedia Engineering 2013, Vol. 60, pp. 269-274, 2013.

스키 시뮬레이터를 위한 모션 피드백 플랫폼

박원형, 김유준, 최동수, 김상연

한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

요 약

본 연구에서는 사용자가 실제 스키를 타는 것과 같은 느낌을 제공하기 위한 모션 피드백 플랫폼을 구축하고 이를 기반으로 한 스키 시뮬레이션을 제안한다. 높은 몰입감을 제공하기 위해 사용자의 모션은 두 개의 관성 측정 유닛에 의해 측정되며 측정된 모션은 가상환경상의 자연스러운 상호작용을 위해 사용된다. 제안된 시스템은 사용자의 스키 플레이트의 움직임을 표현하기 위해 세 개의 타이밍 벨트와 다섯 개의 DC 모터로 구성된다. 3개의 타이밍벨트와 3개의 DC 모터는 사용자에게 좌우가속을 제공하기 위해 사용되며, 2개의 DC 모터는 전후가속을 제공하기 위해 사용된다. 이에 따라 사용자는 사용자의 모션에 따른 가속 피드백을 받음으로써 마치 실제 스키를 타는 듯한 느낌을 받을 수 있다.



Won-Hyeong Park received the B.S in the Department of Computer Engineering from the Koreatech in 2011. He received the M.S degree in the Department of Computer Engineering from Koreatech in 2013. Now he is on going researches the haptic rendering method and haptic actuator with chemistry materials.

E-mail address: ipo1001@kut.ac.kr



Yu-Joon Kim received B.S (2013) in the Department of Computer Science and Engineering at Korea University of Technology and Education (Koreatech). He is studying for a mater's degree at Koreatech. His current research interests include Virtual Reality, Haptics - Haptic Rendering, and Image Processing.

E-mail address: lkoreal@koreatech.ac.kr



Dong-Soo Choi received the B.S in the Department of Computer Science and Engineering from the Korea University of Technology and Education in 2013. His current research interests include Haptic Rendering, Embeded Systems.

E-mail address: mycds88@koreatech.ac.kr



Sang-Youn Kim received the B.S. (1994) from the Korea University, Korea and the M.S.E (1996) and the Ph.D. (2004) in the Department of Mechanical Engineering at Korea Advanced Institute of Science and Technology (KAIST). From 2004 to 2005, he was a researcher at Human Welfare Robot System Research Center. In 2005, he was a research staff at Samsung Advanced Institute of Technology(SAIT). He is currently a professor of Computer Engineering at Korea University of Technology and Education. His current research interests include Human-Computer Interaction, Virtual Reality, and Haptics.

E-mail address: sykim@koreatech.ac.kr