



Portable Haptic Interaction System for Virtual Environment

Kyoung-Bok Jin¹, Won-Hyeong Park², Sang-Youn Kim²

¹*Department of Mechatronics, Korea University of Technology and Education*

²*Advanced Technology Research Center, Department of Computer Science and Engineering, Korea University of Technology and Education*

ABSTRACT

Motion based interaction systems has led to a native user interface which can reduce the learning curve of a user to adapt usage of an application. For example, a user can enlarge or reduce the size of a virtual object by scrolling with two fingers and can move an object by dragging with finger pads or arms. Although, native user interaction allows a user to intuitive and immersively interact with a virtual object, it is not easy to increase the level of the immersion to the level which users are truly “immersive”. Haptic information can be a solution for increasing the level of the immersion. This paper presents a portable haptic interaction system, which allows a user to manipulate virtual objects with his/her touch information, consisting of a tiny haptic module and a IR camera with an IMU(Inertial Measurement Unit). The tiny haptic module is developed based on crank-shaft structure in order to maximize the haptic sense in small size. An IR camera and an Inertial measurement unit are inserted into the portable haptic interaction system so that the developed haptic module can measure a user’s motion. Our system can be used for virtual reality applications and can provide the opportunities users to access a lot of informations.

© 2016 KKITS All rights reserved

KEYWORDS : Motion-haptic interaction, Tactile actuator, Tactile module, Haptics, Mobile device, Virtual reality, Real-time.

ARTICLE INFO: Received 4 August 2016, Revised 7 October 2016, Accepted 7 October 2016.

*Corresponding author is with the Department of : +82 41 560 1484.

Computer Science & Engineering, Korea University of

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

Technology and Education, Tel : +82 41 560 1484, Fax

1. 서론

최근 들어 하드웨어와 소프트웨어의 발전으로 인하여 사용자들이 전자장치들 (consumer electronic device) 과 상호작용 시, 사용자의 필기나 그림 궤적 등을 인식하여 장치로 전달하기 위한 장치들이 개발되고 있다. 이들 중 가장 널리 사용되고 있는 장치중 하나는 디지털화 된 펜 (digitizer pen)을 장착한 와콤 태블릿 [1] 이다. 이와 같은 태블릿은 공명을 통해 디지털화 된 펜으로 전력을 공급하기 때문에, 펜을 위한 외부 배터리가 필요하지 않다. Zloter 와 Shenholz 는 펜형 장치와 통신을 하며 초음파와 적외선 센서로부터 얻어지는 신호를 이용하여 펜 끝의 위치를 측정할 수 있는 시스템을 개발하였다 [2]. 또한 Pettersson 등은 코드화된 패턴을 종이 위에 그려놓고 카메라등을 이용하여 입력 장치의 궤적을 파악하였다[3]. 그러나 이와 같은 초음파/적외선 방식의 입력 장치들은 적외선 칩 근처에서만 통신이 가능하다는 단점을 가지고 있거나 장치와 쓰는 면사이의 기울어진 각이 일정하지 않기 때문에, 정확하게 움직임을 파악하는 것이 어려워져서 동작영역 내에서 반사된 빛을 안정적으로 획득할 수 있는 구조가 필요하다. 이와 같은 구조의 또 다른 단점은 한정된 크기를 갖는 영상표현장치와 제한된 투사 영역에서 구현되는 영상장치에서는 사용하기 용이하지만, 큰 영상장치나 여러 대의 모니터 또한 여러 대의 프로젝터를 연결하여 하나의 가상공간을 구성하는 멀티채널 디스플레이 [4,5,6,7,8,9]등에서는 적용되기 어렵다.

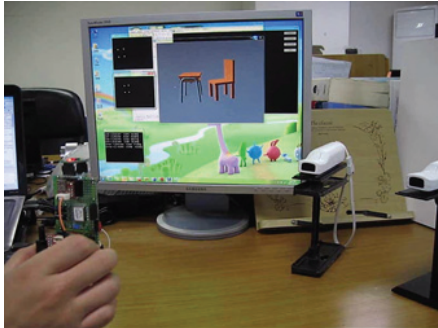
이와 같은 단점을 극복하기 위해 가속도 센서나 각속도 센서 등을 기반으로 한 관성측정유닛 (IMU, Inertial Measurement Unit)을 탑재한 입력장치들이 개발되었다 [10-14]. 이와 같은 장치들은 기울어진 각들을 외부의 장치 없이 실시간으로 언제 어디서나 사용자의 궤적을 파악할 수 있다는 장점을

가지고 있다. 그러나 관성측정유닛을 탑재한 입력 장치의 움직인 궤적은 관성센서를 적분하여 얻어지며 예측 및 보간 작업까지 필요하므로, 시간이 지날수록 오차가 증가한다. 그러므로 안정적으로 사용자의 동작을 측정하고자 적외선 카메라를 이용한 3D 공간입력장치가 개발되었으며 대 화면이나 멀티채널디스플레이등과 같은 시스템에서 적용되기 시작하였다 [15]. 사용자가 개발된 장치를 잡고 움직이면 사용자 동작 궤적이 적외선 센서를 통해 파악되어 블루투스를 통해 Main PC 으로 전달된다. 이와 같은 장치는 작은 화면 뿐 아니라 대 화면에서도 사용자와 가상환경 간의 인터랙션을 가능하게 하지만, 사용자의 인터랙션을 통한 실제적인 감각이 배제되어 있으며, 동시에 많은 사람이 이용할 수 없다. 이는 사용자와 컴퓨터 간의 1:1 인터랙션만 가능하며, 사용자와 사용자 간의 소통이 불가능하다는 단점을 가지고 있으며 이러한 단점으로 인해 시스템의 사용 가능한 범위가 매우 좁아지게 된다. 그러므로 본 연구에서는 멀티 포인트 인터랙션이 가능하고 인터랙션 시 발생하는 터치 감각을 전달해 줄 수 있는 휴대용 햅틱 장치를 제안한다.

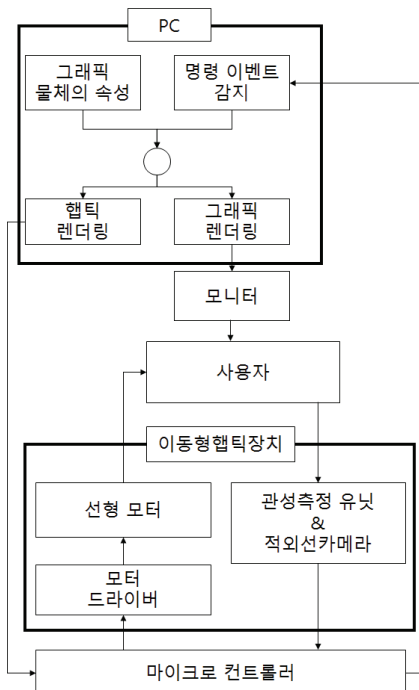
2. 시스템 구성도

본 연구에서 제안하는 이동형 햅틱 인터랙션 시스템은 이동형 햅틱장치, PC, 마이크로 컨트롤러로 구성하였다. <그림 1(a)> 는 사용자가 이동형 햅틱 장치를 들고 PC 상에서 구현된 가상공간과 인터랙션 하는 모습이며, <그림 1(b)> 는 제안하는 시스템의 블록도이다. 우선 사용자가 제안하는 이동형 햅틱 장치를 잡고 움직이면 적외선 카메라가 이동형 햅틱 장치의 동작을 측정한다. 이렇게 측정된 햅틱 장치의 위치는 가상환경으로 무선통신을 통해 전달되고, 햅틱장치와 가상물체와의 인터랙션 양과

가상물체의 기계적 속성(균기, 점도 등)에 따라 햅틱 정보를 계산하여 마이크로프로세서로 전달되며, 전달된 햅틱 정보에 따라 마이크로프로세서는 모터 드라이버를 통해 액추에이터를 구동하여 사용자에게 햅틱 감각을 느낄 수 있도록 해 준다.



(a)



(b)

그림 1. 이동형 햅틱 인터랙션 시스템 및 블록도

Figure 1. Portable haptic interaction system and its block diagram

또한 대상 물체의 속성과 명령이벤트 그리고 주변 환경에 따라 PC는 그래픽 렌더링 알고리즘을 통해 물체의 형상이 모니터에 표현되어 사용자에게 시각적으로 전달된다.

이동형 햅틱 장치를 구동하기 위한 마이크로컨트롤러는 Cortex 코어를 장착한 ARM Cortex M3 기반의 마이크로프로세서와 무선통신 모듈(블루투스)을 이용하여 구축하였다. 또한 이동형 햅틱 장치의 인터페이스 라이브러리는 제작된 그래픽환경과 연동하기 위한 일련의 서브함수(Sub function) 형태로 개발하였으며 무선 통신을 위한 패킷 정의 후 이를 처리할 수 있는 형태로 모듈화 하였다.

3. 멀티 포인트 인터랙션

3.1 공간좌표 계산

이동형 햅틱 장치의 위치를 2차원 평면이 아닌 3차원 공간상에서 표현하기 위해 두 개의 카메라를 이용한 스테레오 카메라 시스템을 구축해야 한다. 그러나 두 대의 카메라를 사용하는 경우 카메라마다 가지고 있는 시스템적인 특징(특히 렌즈의 왜곡(distortion) 정도 등)이 모두 다르다. 그러므로 렌즈의 왜곡을 보정하며 2개의 카메라 사이의 관계를 구하는 과정이 필요하다. 이를 위해 투영행렬을 계산해야 하며, 특정 패턴을 다양한 자세로 변형하면서 영상을 획득한 후 특징 점을 찾고 영상을 보정 및 교정해야 하는 매우 복잡한 과정이 필요하다. 그러므로 본 연구에서는 일반적인 카메라와는 달리 영상에 렌즈 왜곡(lens distortion)이 없고 대응(correspondence) 문제가 없어서 렌즈의 보정 및 교정 과정이 필요 없는 적외선 카메라를 사용하였다. 이를 위해 이동형 햅틱 장치의 각 모서리 부분에 4개의 적외선 LED를 설치하고 각 카메라의 투영행렬(projection matrix)을 계산하고 캘리브레

이션 박스를 통해 얻어진 데이터를 바탕으로 삼각측량법(triangulation)으로 각 LED들의 실제 3차원 공간상의 위치를 계산하고 이동형 햅틱장치의 법선벡터와 중심좌표를 파악하였다.

3.2 멀티 포인트 환경을 위한 필터

두 개 이상의 햅틱장치의 동작을 동시에 측정하여 사용할 수 있는 멀티 포인트 인터랙션 환경을 구축하기 위해 특정 파장대역만이 투과할 수 있는 적외선 대역통과 필터 (bandpass filter)를 제작하여 두 개의 적외선 카메라 앞부분에 설치하였다. 본 시스템에서 사용한 파장대역은 850nm 와 940nm으로 선정하였다. 이를 위하여 850nm 의 적외선 파장을 내는 적외선 LED 4개를 하나의 휴대용 햅틱장치에 부착하였고 또 다른 하나의 휴대용 햅틱 장치에는 940nm 의 적외선 파장을 생성하는 적외선 LED 4개를 설치하였다. 제작한 대역통과 적외선 필터를 제작하기 위해, 먼저 사용하고자 하는 적외선 파장대역(850nm, 940nm)의 파장에 가장 투과율이 특성이 좋은 광학유리를 선택하여 평면렌즈를 연마하였다. 이때 평면렌즈를 더 정밀하게 만들기 위해, 최대한 렌즈에 왜곡이 없도록 평면작업을 하였으며 그 후 거친 다이아몬드 휠로 1차 평면작업을, 그리고 조금 덜 거친 다이아몬드 휠 2차 연마를 하였으며, 최종적으로 부드러운 다이아몬드 휠로 3차 평면작업을 하였다. 그리고 평면정도를 파악하기 위해 1/1,000 정도로 게이지검사를 하였으며, 렌즈 평면에 광을 내기 위해 패드를 붙여서 광을 내는 약품을 섞어 물 순환 모터를 회전시켜 평면 렌즈를 최종 완성하였다. 그 후 중심파장(Peak wavelength)과 중간투과율에서의 띠의 폭 영역을 설정한 후 진공유전체 코팅을 수행하였다.

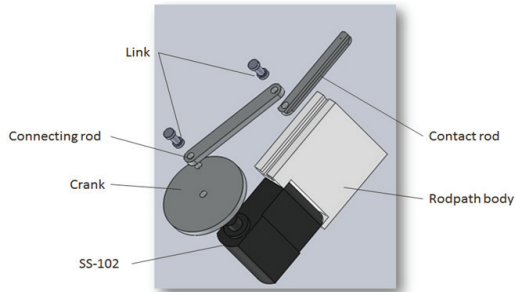


그림 2. 부착된 적외선 필터
Figure 2. Attached Infrared bandpass filter

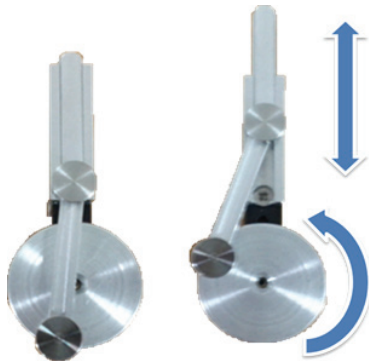
3.3 햅틱 정보 생성

사용자에게 상황에 맞는 햅틱 피드백을 제공하기 위하여 반응속도(Response Time)와 힘을 고려하여 선형 액추에이션이 가능하도록 햅틱 모듈을 개발하였다. 개발된 햅틱 모듈은 그림3과 같이 왕복운동과 회전운동을 서로 변환해 줄 수 있는 크랭크 샤프트 구조를 취하고 있으며, 모터의 토크가 1:1로 전달되고 기어 비에 의한 최고 속도의 감소 없이 동작할 수 있는 구조로 제작하였다. 개발한 햅틱 모듈의 동작은 크랭크의 왕복운동을 기본으로 하며, 크랭크축의 회전은 Contact rod를 받침으로 하는 원운동을 한다. 이렇게 발생한 원운동은 Connecting rod를 통하여 직선 선형운동으로 바뀌고 Contact rod로 전해져서 Contact rod 끝부분에 접촉된 사용자의 손 끝부분에 햅틱 감각을 전달한다.

제작한 크랭크 구조의 선형 액추에이터는 크랭크축이 원운동을 함으로써 Contact rod가 최소 행정거리에서 최대행정거리까지 선형 운동을 하게 된다. 크랭크축이 회전하면 Connecting rod의 벡터방향이 Contact rod의 직선 방향으로 바뀌면서 힘이 분산되게 된다. Connecting rod의 각도에 의하여 힘의 방향은 최종 Contact rod 부분에서 $F \cos \theta$ 만큼의 힘을 받게 된다.



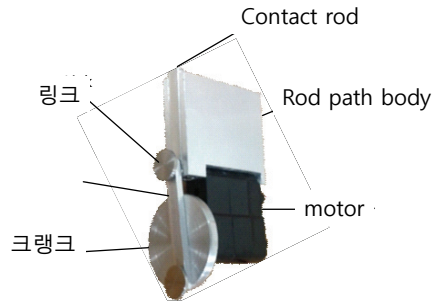
(a)



(b)

그림 3. 햅틱 모듈의 디자인 및 크랭크 액추에이터의 구성
Figure 3. Design of the presented haptic module and its crank actuator

여기에서 θ 는 Connecting rod가 회전한 각도를 의미한다. 힘은 크랭크축이 운동하여 Connecting rod가 반지름을 기준으로 90° 가 될 때 (중앙에 있을 때) 최소가 되며, 180° 에 근접하였을 때 최대가 된다. <그림 4(a)>은 소형촉감모듈의 이미지이며 <그림 4(b)>는 소형 촉감모듈의 하우징을 보여준다. 사용자는 하우징의 원통형 부분 (손잡이 부분)을 손으로 잡고 엄지손가락을 손잡이 상부에 위치시킨다. <그림 4(a)>에서 보여준 소형 촉감모듈은 <그림 4(b)>의 하우징의 원통형 부분 (손잡이)으로 들어가서 구동되며 contact rod는 크랭크의 행정거리에 따라 하우징의 구멍을 통해 왕복운동을 한다. 그러므로 사용자는 엄지손가락 부분에서 물체를 만지는 것과 같은 느낌을 전달받는다.



(a)



(b)

그림 4 소형 촉감 모듈과 하우징
Figure 4. Miniature tactile module and its housing

제안하는 햅틱모듈에서 회전에 따른 행정거리를 파악하기 위해 간단한 실험을 실시하였다. 회전은 $0 \sim 180$ 도까지 측정하였으며 <그림 5>는 회전에 따른 행정거리의 결과를 보여주고 있다.

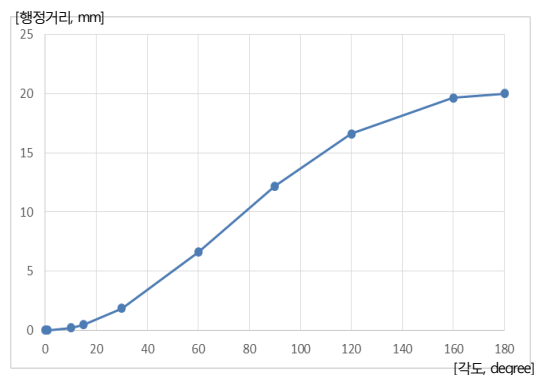


그림 5. 회전에 따른 행정거리
Figure 5. actuation stroke according to the rotation

3.4 가상환경



그림 6. 9개의 핀어레이 촉감모듈을 내장한 휴대용기기
Figure 6. Mobile device having 9 pin arrayed tactile module

제안하는 시스템을 이용하여 몰입감 있는 환경을 구축하기 위해 가상환경부를 구축하였다 <그림 6>. 본 연구에서는 컴퓨터 그래픽 엔진인 UDK와 엔진 내부의 그래픽 제어를 통제하는 Unreal Script를 이용하여 3D 그래픽 환경을 제작하였다. 3D 가상환경 (그래픽 환경) 내의 충돌정보와 속도/가속도 정보는 휴대용촉감 모듈의 움직임을 무선통신을 통해 전달 받고 가상물체의 위치와 비교하여 계산하였다. 또한 실제 환경과 거의 비슷한 느낌을 생생하게 전달하기 위해 가상환경 내에 존재하는 가상 물체들은 3DMAX 로 모델링 한 후 텍스처를 입혀 완성하였다. 또한 모션 블러를 구현하여 잔영효과를 사용자에게 제공하였다.

4. 결 론

가상환경을 구축하는데 가장 중요한 요소 중 하나는 사용자의 동작 입력이나 제스처 등을 이용하여 직관적으로 가상물체를 조작하며 조작 시 촉각

정보까지 생성하여 사용자에게 전달하여 몰입감을 높이는 것이다. 본 연구에서는 가상공간에서 물체와 사용자간의 자연스러운 인터랙션이 여러 곳에서 가능하며 인터랙션에 따른 햅틱 감각을 생성하여 사용자에게 전달해 주는 시스템을 개발하였다. 3차원 공간에서 사용자의 움직임을 실시간으로 파악하기 위해 관성측정유닛(Inertia Measurement Unit)과 적외선 스테레오 카메라 시스템을 구축하였다. 또한 촉감은 크랭크축이 원운동을 함으로써 Contact rod가 최소 행정거리에서 최대행정거리까지 선형 운동을 하여 사용자의 피부 및 근육을 실시간으로 자극하여 발생되도록 구현하였다.

References

- [1] <http://www.wacom.com/ko-kr>
- [2] Y. Zloter, and G. Shenholz, Infrared communications link with attachment configuration, US Patent, 6823105, 23, Nov. 2004.
- [3] M. P. Petterssona, and T. Edso, Coding pattern and apparatus and method for determining a value of at least one mark of a coding pattern, US Patent, 6663008, 2003.
- [4] C. Cruz-Neira, D. Sandin, and T. De Fanti, Surround-screen projection-based virtual reality: The design and implementation of the CAVE, SIGGRAPH 1993 Annual Conference Series, Vol. 27, Anaheim, CA, pp. 135-142. Aug. 1993.
- [5] M. Hereld, I. R. Judson, and R.L.Stevens, Introduction to building projection-based tiled displays, IEEE Visualization 1999, San Francisco, CA, pp. 215-224, Oct, 1999.
- [6] R. Yang, D. Gotz, J. Hensley, H. Towles, and M. Brown, PixelFlex: A reconfigurable multi-projector display system, IEEE

- Visualization 2001, San Diego California, Oct. 2001.
- [7] Y. Chen, H. Chen, D. Clark, Z. Liu, G. Wallace, and K. Li, *Software environments for cluster-based display systems*, IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid, Brisbane, Australia, pp. 202-210, 2001.
- [8] S. Pick, B. Weyers, B. Hentschel, and T. W. Kuhlen, *Design and evaluation of data annotation workflows for CAVE-like virtual environments*, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, Vol. 22, No. 4, pp. 1452-1461, 2016.
- [9] L. C. Da Cruz, J. C. De Oliveira, *A CAVE/desktop collaborative virtual environment for offshore oil platform training*, IEEE Symposium on Virtual and Augmented Reality, pp. 178-182, 2016.
- [10] S. J. Cho, J. K. Oh, W. C. Bang, W. Chang, E. S. Choi, Y. Jing, J. K. Cho, and D. Y. Kim, *Magic wand: A hand-drawn gesture input device in 3-D space with inertial sensors*, SAMSUNG Journal of Innovative Technology, 1, pp. 65-72, 2005.
- [11] M. Epperson, *Autonomous computer input device and marking instrument*, US Patent, 5247137, Sep. 1993.
- [12] R. Gjone, and J. Miraglia, *Pen for signature verification by acceleration and pressure*, IBM Technical Disclosure Bulletin, July, 1981.
- [13] W. Bang, W. Chang, K. Kang, E. Choi, A. Potanin, and D. Kim, *Self-contained spatial input device for wearable computers*, in Proceedings of The 7th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC'03), White Plains, NY, USA, pp. 26-34, 2003.
- [14] T. Miyagawa, Y. Yonezawa, K. Itoh, and M. Hashimoto, *Handwritten pattern estimation using 3D inertial measurement of handwriting movement*, Trans. Society of Instrument and Control Engineers, 38, 2002.
- [15] S. M. Im, D. S. Choi, S. Y. Kim, and J. H. Lee, *A natural interaction for immersive tiled display*, Journal of Knowledge Information Technology and Systems(JKITS), Vol. 9, No. 4, pp. 435-442, 2014.

가상환경을 위한 휴대용 햅틱 인터랙션 시스템

진경복¹, 박원형², 김상연²

¹한국기술교육대학교 메카트로닉스 공학부

²한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

요 약

모션 인터랙션 시스템의 등장과 함께 어플리케이션 등을 사용할 때 학습속도를 줄여줄 수 있는 자연스러운 인터랙션 (natural user interaction) 기술이 주목받고 있다. 가상환경 내에서 이와 같은 자연스러운 인터랙션 기술을 이용하여 사용자는 손가락이나 팔을 움직여 가상의 물체의 크기를 늘리거나 줄일 수 있고 물체를 마음대로 이동시킬 수 있다. 비록 자연스러운 사용자 인터랙션 기술은 사용자에게 직관적으로 그리고 몰입감을 갖도록 가상물체와 상호작용할 수 있지만, 몰입감을 사용자가 원하는 정도까지 끌어올리는 것은 쉽지 않다. 몰입감을 사용자가 원하는 레벨까지 증가시키기 위한 좋은 방법 중 하나는 햅틱 정보의 전달이다. 본 연구에서는 사용자가 가상의 물체를 촉감정보를 이용하여 조작할 수 있는 휴대용 햅틱 인터랙션 시스템을 제안한다. 제안하는 휴대용 햅틱 인터랙션 시스템은 작은 햅틱 모듈과 관성측정유닛/적외선 카메라 모듈로 구성되어 있다. 제안하는 햅틱 모듈은 작은 크기에서 햅틱감각을 극대화시키기 위해 크랭크-샤프트 구조를 기반으로 하여 개발하였다.



Kyoung-Bok Jin received the B.S. and M.S. in the Department of Electrical Engineering from Hanyang University. He received the Ph.D. degree in the

Department of Control and Measurement Division from KAIST in 1999. He is a professor of Mechatronics Engineering at Korea University of Technology and Education. His current research interests include Robotics and Human-Computer Interaction.

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

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



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



Sang-Youn Kim received the B.S. (1994) from Korea University, Korea and the M.S.E. (1996) and the Ph.D. (2004) in the department of mechanical engineering at

Korea Advacned Institite of Science and Technology (KAIST). In 2005, he was a research staff at Samsung Advacned Institute of Technology. He is an associate professor of Computer Science and Engineering at Korea University of Technology and Education. His current research interests include Human-Computer Interaction, Virtual Reality, and Haptics.