

# 몰입형 가상교육을 위한 입력장치

## Input Device for Immersive Virtual Education

정 구 철\*, 임 성 민\*\*, 김 상 연\*\*\*

GooCheol Jeong\*, SungMin Im\*\*, Sang-Youn Kim\*\*\*

### 요 약

본 연구에서는 사용자에게 가상환경에 존재하는 교육컨텐츠와 자연스럽게 인터랙션 할 뿐 아니라 인터랙션 양에 따라서 사용자에게 햅틱 정보를 전달해 줄수 있는 휴대용 입력장치를 제시한다. 제안하는 시스템은 사용자의 움직임을 측정하고 움직임에 따라서 사용자에게 햅틱 정보를 되돌려 준다. 교육 컨텐츠와 사용자의 인터랙션에 따른 햅틱 감각을 생성하기 위해 제안하는 입력장치는 모션 제어기, 햅틱 액츄에이터, 무선 통신 모듈, 그리고 모션 센서로 구성한다. 사용자의 모션 입력을 측정하기 위해서 가속도 센서를 사용한다. 실험을 통해 제안하는 시스템이 떨림없이 안정적이고 연속적인 햅틱 감각이 생성됨을 파악한다.

**Key Words** : Multimedia software, Foundation Survey, Early Childhood, Parents' View, Exposure to Multimedia, Learning

### ABSTRACT

This paper suggests an input device that allows a user not only to naturally interact with education contents in virtual environment but also to sense haptic feedback according to his/her interaction. The proposed system measures a user's motion and then creates haptic feedback based on the measured position. To create haptic information in response to a user's interaction with educational contents in virtual environment, we develop a motion input device which consists of a motion controller, a haptic actuator, a wireless communication module, and a motion sensor. To measure a user's motion input, an accelerometer is used as the motion sensor. The experiment shows that the proposed system creates continuous haptic sensation without any jerky motion or vibration.

---

\* 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부(jeong@kut.ac.kr), \*\* 숙명여자대학교 교육학과(sungminim@naver.com)

\*\*\* 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부(sykim@kut.ac.kr)

제1저자 (First Author) : 정구철 (jeong@kut.ac.kr)

교신저자 : 김상연 (sykim@kut.ac.kr)

접수일자 : 2013년 5월 10일

수정일자 : 2013년 6월 07일

확정일자 : 2013년 6월 20일

## I. 서론

가상현실(VR)이란 특정한 세계의 환경/상황을 컴퓨터를 이용하여 똑같이 모사(시뮬레이션)하여, 환경에 대한 정보를 인간의 오감(눈, 코, 귀, 입, 피부 등)을 통하여 인간에게 전달함으로써, 인간이 실제 세계의 환경/상황을 똑같이 느끼는 것을 가능하게 하는 가상공간을 의미한다. 이와 같은 가상현실 세계에서는 현실세계(실제 세계)뿐만 아니라, 현실세계에서 불가능한 세계에 대한 시뮬레이션 체험이 가능하다. 최근 멀티미디어 및 네트워크 기술의 발전에 따라 이와 같은 가상현실의 적용 분야가 증대되고 있다.

현재 많은 기술교육시스템들이 연구/개발되어오고 있지만 실제 교육환경에서는 자주 이용되고 있지 않다. 가장 큰 이유중 하나가 사용자들에게 확실한 몰입감 및 현실감을 전달 해 주는 것이 어렵기 때문이다. 이를 위하여 사용자에게 그들이 실제 물체를 보고 느끼는 것과 같은 느낌을 제공해 주는 가상현실 기술들이 가상 교육 시스템들에 적용되고 있다. 이와 같은 가상현실을 기반으로 하는 교육 시스템은 사용자들이 현실세계에서 표현하기 매우 어려운 것들까지도 모사하여 제공해 줌으로 고가의 장비를 자유롭게 연습할 수 있게 해 줄 뿐아니라 위험한 상황에 자연스럽게 대처 할 수 있도록 도와 준다.

초기의 가상현실 기술들은 주로 2D 모니터나 제한된 스크린상에서 물체의 형상을 가시화하는데 주로 이용되었지만 빠르게 발전하는 마이크로프로세서와 그래픽 프로세서 기술 덕분에 현재 가상현실기술은 3차원 물체의 형상을 표현하는 것을 가능하게 할 뿐 아니라 사용자에게 실시간으로 스테레오로 물체를 인식하도록 해 준다. 이와 같은 기술의 발전 덕분에 가상 현실 기술은 그 쓰임새가 디자인, 시뮬레이션, 오락뿐만 아니라 의료 분야나 공학 분야의 학습 도구로도 넓혀가고 있다. 특히 현실 세계에서 파악하기 어렵거나 경험하기 어려운 실험 실습 과정을 가상 현실 기술을 이용하여 학습을 할 경우 반복적이면서, 원하는 방향에서 관찰이 가능함과 동시에 다양한 시각적 효과를 통해 효율적인 학습을 할 수 있다는 장점이 있어 교육 분야로의 응용이 활발히 연구되고 있다.

이러한 시스템을 구현하는데 있어 한정된 좁은 모니터에서 구현되는 가상 현실 공간은 그 한계가 명확하기 때문에 최근에는 여러 대의 모니터를 연결하거나 여러 대의 프로젝터를 연결하여 하나의 가상

공간을 구성하는 연구가 많이 수행되고 있다. [1-7].

현재 실시간 시각화가 가능한 많은 몰입형 시스템들이 존재하지만 아직도 사용자들은 버튼이나 키패드등을 이용하여 가상의 물체를 조작하므로 직관적이지 않을 뿐 아니라 자연스럽게 가상공간과 상호작용하는 것은 쉽지 않다. 그러므로 사용자가 모션입력이나 제스처등을 이용하여 직관적으로 가상의 물체와 상호작용 가능한 natural interaction 기술들이 연구/개발되기 시작했다.

닌텐도 사는 닌텐도 위라는 적외선 카메라와 가속도 센서를 이용하여 사용자의 움직임을 파악하여 가상공간으로 전달하는 입력장치를 개발하였다 [8]. Solina and Batagelj는 적외선 스테레오카메라를 이용하여 사용자의 모션을 측정하여 상호작용하는 가상현실 시스템을 구축하였으며 [9] Sugaman 과 Eichler는 두 개의 압력센서들을 이용하여 사용자의 모션 입력을 측정하는 모션 센싱 플랫폼을 개발하였다 [10]. 이들의 연구에서는 사용자의 모션을 측정하기 위하여 각 발밑에 압력센서를 연결하고 두 압력의 차를 이용하여 몸의 중심의 이동을 계산하였다.

마이크로소프트 사는 손에 부착하거나 연결하지 않고 자연스러운 모션입력만으로 가상공간과 인터랙션을 할 수 있는 키넥트 (Kinect)라는 입력장치를 개발하였다 [11]. 키넥트 시스템을 이용하여 자연스럽게 가상공간과 상호작용을 할수 있지만 사용자가 실제물체를 조작하는 것과 같은 완전한 몰입감을 생성하는 것은 쉽지 않다. 사용자가 가상의 물체와 할 때 완전한 몰입감을 전달하기 위해서는 사용자의 모션에 따른 햅틱 감각을 생성하여 사용자에게 전달할 필요가 있다. 그러므로 본 연구에서는 사용자의 체성 감각 시스템 (somatosensory system)을 자극하여 마치 사용자가 실제공간에서 물체를 조작하는 것과 같은 느낌을 제공할 수 있는 느낌을 제공하는 몰입형 교육 플랫폼을 위한 입력장치를 개발한다. 개발하는 장치는 사용자의 모션을 그대로 읽어 가상교육 콘텐츠를 조작할 수 있으며 조작할 때 사용자에게 물체의 균기등을 촉각적으로 되돌려주어 몰입형 교육을 가능하게 해 준다.

## II. 모션 입력 부를 위한 하드웨어 플랫폼

제안하는 시스템 하드웨어는 선형 모터 (linear motor), 무선통신 모듈, 제어기, 적외선 카메라로 나누어 진다. 사용자는 휴대용 입력 장치 (mobile haptic device)를 잡고 움직일 때 외부에 설치되어

있는 적외선 카메라가 사용자의 움직임을 파악한다. 파악된 움직임은 무선 통신 모듈을 통하여 가상공간으로 전달되며 가상공간에서는 사용자의 움직임에 따른 가상의 물체와의 충돌을 계산한다. 충돌 이후에는 힘계산을 수행한 후 무선 통신모듈을 통하여 제안하는 휴대용 입력장치로 전달하여 휴대용입력장치에 있는 선형모터를 구동시켜 사용자에게 물체를 조작하는 것과 같은 느낌을 제공할 수 있도록 해 준다.

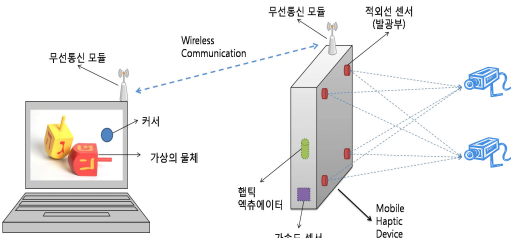


그림 1. 시스템 개념도

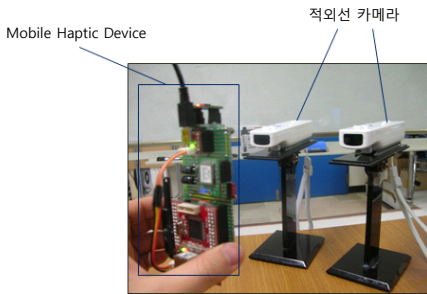


그림 2. 시스템 구성

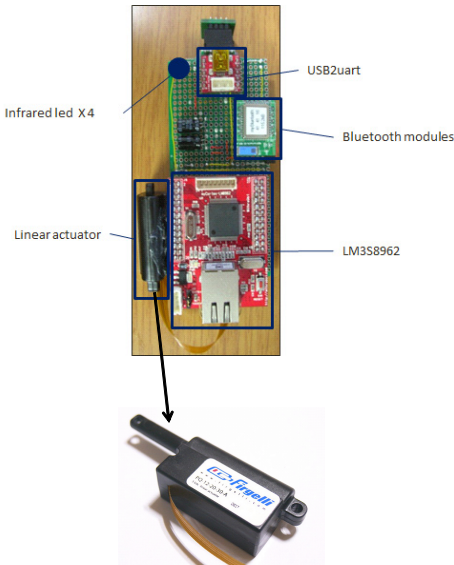


그림 3. 휴대용 입력장치 하드웨어

그림 1은 제안하는 시스템의 개념도를 보여주며 그림 2는 실제 구성한 시스템을 보여주고 있다. 휴대용 입력장치에는 루미너리사에서 개발한 ARM Cortex Core를 탑재한 LM8962 마이크로 프로세서를 사용하여 무선통신 모듈, 적외선 발광부, 햅틱 액츄에이터들을 제어 하였다. 가상공간과의 무선통신을 위하여 블루투스를 사용하였으며 통신 속도는 115,200bps 로 설정하였다. 그림 3은 제작한 휴대용 입력장치를 보여준다.

불안정한 전원을 안정적으로 공급하기 위하여 낮은 손실도를 갖는 전압 레귤레이터 (NCPI117)를 사용하였으며 안정적인 전원 공급을 가능하게 하며 갑작스러운 시스템 정지 상태에 대응하기위하여 레귤레이터의 양단에 커패시터를 연결하였다. 또한 건전지 전원과 일반 전원 두 개를 동시에 사용할 수 있도록 하였다.

### III. 모션 입력 부를 위한 소프트웨어

본 연구의 목적은 몰입형 가상 기술교육 시스템에 적용가능한 인터랙션 시스템을 구축하는 것이다. 그러므로 몰입감을 증가시키기 위하여 두 대의 카메라를 이용한 Stereo Camera시스템을 구축하여 2차원 평면이 아닌 3차원 공간상에서 동작할 수 있도록 하였다. 그러나 두 대의 카메라를 사용할 경우 카메라마다 가지고 있는 시스템적인 특성이 모두 다르게 제작 되므로 렌즈의 왜곡을 보정하며 2개의 카메라 사이의 관계를 구하는 캘리브레이션 (Calibration) 과정이 필요하다.

카메라는 렌즈, 조리개, 필름으로 구성이 되어있다. 제품으로 만들어져서 나오는 카메라는 같은 제조 공정에서 만들어졌다 하더라도 렌즈의 크기, 화면의 왜곡정도가 카메라마다 미세하게 차이가 발생한다. 따라서 카메라에 들어오는 영상을 제대로 구하기 위해서는 카메라의 특성을 구하는 과정인 Calibration 을 수행하여야 한다.

캘리브레이션을 위하여 격자무늬로 되어 있는 캘리브레이션 패턴 (그림 4)을 다양한 자세로 변형하면서 영상을 획득하고 캘리브레이션 패턴의 구석부분 (corner)을 특징으로 추출하고 특징점들의 좌표를 정밀하게 계산하였다. 본 연구에서 사용한 카메라 투영행렬모델은 수식 1로 정의하였다.

$$\begin{bmatrix} wx_{p1} \\ wy_{p1} \\ w \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & A_{13} & A_{14} \\ A_{21} & A_{22} & A_{23} & A_{24} \\ A_{31} & A_{32} & A_{33} & A_{34} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{p0} \\ y_{p0} \\ z_{p0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서 3×4 projection matrix를 구하기 위해서 world coordinate를 아는 최소 6개의 점을 이용해야 한다. 본 연구에서는 캘리브레이션 박스를 통하여 총 18개의 점의 위치를 파악하여 계산을 수행하였으며 계산값을 확인하였다. 그리고 물체의 점들인 (x<sub>p0</sub>, y<sub>p0</sub>, z<sub>p0</sub>)와 이미지 포인트(wx<sub>p1</sub>, wy<sub>p1</sub>)를 이용하면 식을 아래와 같이 변형할 수 있다.

$$QA = B, \quad (2)$$

where

$$A = [A_{11}A_{12}A_{13}A_{14}A_{21}A_{22}A_{23}A_{24}A_{31}A_{32}A_{33}]^t$$

$$q_x = \begin{bmatrix} x_{p0} \\ y_{p0} \\ z_{p0} \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -x_{p1}x_{p0} \\ -x_{p1}y_{p0} \\ -x_{p1}z_{p0} \end{bmatrix}^t, \quad q_y = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ x_{p0} \\ y_{p0} \\ z_{p0} \\ 1 \\ -y_{p1}x_{p0} \\ -y_{p1}y_{p0} \\ -y_{p1}z_{p0} \end{bmatrix}^t \quad (3)$$

$$b_x = [x_{p1}]$$

$$b_y = [y_{p1}]$$

(4)

18개의 위치중 6개를 선정하여 위의수식들을 정리하면 수식 (5)와 같이 A 값을 계산할 수 있고 이를 이용하여 투영행렬의 계산을 수행하였다.

$$\begin{bmatrix} q_{x1} \\ q_{y1} \\ q_{x2} \\ q_{y2} \\ \dots \\ q_{x6} \\ q_{y6} \end{bmatrix} A = \begin{bmatrix} b_{x1} \\ b_{y1} \\ b_{x2} \\ b_{y2} \\ \dots \\ b_{x6} \\ b_{y6} \end{bmatrix} \quad (5)$$

휴대용 입력장치에는 LED 발광부들이 탑재되어 있다. 그러므로 캘리브레이션 후 스테레오 카메라에 의해 보여지는 LED의 위치를 구할 수 있다. 카메라에 의해 측정된 LED의 좌표를 (x<sub>p1</sub>, y<sub>p1</sub>), (x<sub>p2</sub>, y<sub>p2</sub>)라 하고, 좌측과 우측에 위치한 카메라들에 대하여 캘리브레이션을 수행하면 2개의 투영행렬이 계산된

다.

$$\begin{bmatrix} w_1x_{p1} \\ w_1y_{p1} \\ w_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{111} & A_{112} & A_{113} & A_{114} \\ A_{121} & A_{122} & A_{123} & A_{124} \\ A_{131} & A_{132} & A_{133} & A_{134} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{p0} \\ y_{p0} \\ z_{p0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

$$\begin{bmatrix} w_2x_{p2} \\ w_2y_{p2} \\ w_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_{211} & A_{212} & A_{213} & A_{214} \\ A_{221} & A_{222} & A_{223} & A_{224} \\ A_{231} & A_{232} & A_{233} & A_{234} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{p0} \\ y_{p0} \\ z_{p0} \\ 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

수식 (7)과 (8)은 이용하여 물체의 world coordinate (V)을 계산하면 수식 (9)와 같이 된다.

$$V = (P^tP)^{-1}P^tF \quad (9)$$

where,

$$V = \begin{bmatrix} x_{p0} \\ y_{p0} \\ z_{p0} \end{bmatrix}$$

P =

$$\begin{bmatrix} A_{111} - A_{131}x_{p1} & A_{112} - A_{132}x_{p1} & A_{113} - A_{133}x_{p1} \\ A_{121} - A_{131}y_{p1} & A_{122} - A_{132}y_{p1} & A_{123} - A_{133}y_{p1} \\ A_{211} - A_{231}x_{p2} & A_{212} - A_{232}x_{p2} & A_{213} - A_{233}x_{p2} \\ A_{221} - A_{231}y_{p2} & A_{222} - A_{232}y_{p2} & A_{223} - A_{233}y_{p2} \end{bmatrix}$$

$$F = \begin{bmatrix} A_{134}x_{p1} - A_{114} \\ A_{134}y_{p1} - A_{124} \\ A_{234}x_{p2} - A_{214} \\ A_{234}y_{p2} - A_{224} \end{bmatrix}$$

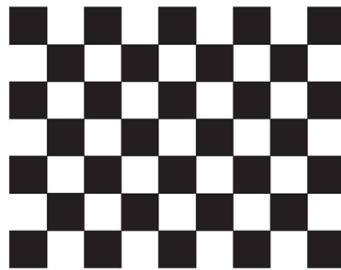


그림 4. 캘리브레이션 패턴

#### IV. 실험 및 결과

그래픽 /햅틱 실험을 위하여 Visual C++를 이용하여 실험 환경을 구축하였으면 그래픽 라이브러리로

는 OpenGL을 이용하였다. 실험은 개발한 휴대용 입력장치와 i5 프로세서를 탑재한 PC에서 수행하였다. 본 시스템의 교육환경에 적용가능성을 증명하기 위하여 본 시스템의 위치오차와 촉각 피드백 성능을 파악하였다. 그림 5는 위치 오차를 측정하기 위한 그래픽 환경을 보여준다. 그림 5에서 (a) 영역은 좌측 적외선 카메라에서 측정한 좌표이고 (b) 영역은 우측 적외선 카메라에서 측정한 이동형 입력 장치의 좌표이다. 그리고 (c) 영역은 좌측카메라와 우측 카메라에서 받아들인 정보를 기반으로 하여 계산한 이동형 입력 장치의 최종 3차원 좌표값들을 보여주며 (d) 영역은 계산한 이동형 입력장치의 좌표값에 따라서 전역좌표계에서 그래픽적으로 출력한 모습을 보여준다. 측정오차는 약 1mm 이내로 얻어졌다.

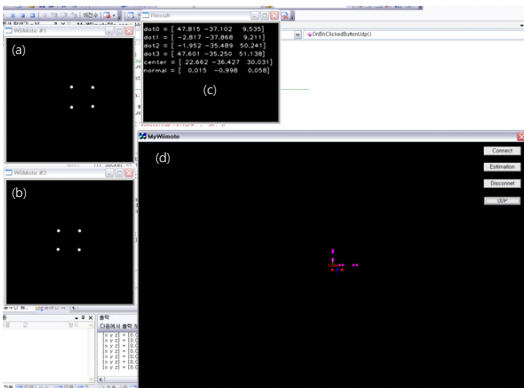


그림 5. 좌표 측정을 위한 실험 환경

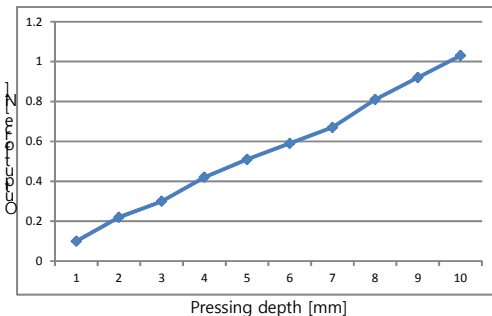


그림 6. 햅틱 결과

공간상에서 자연스럽게 인터랙션을 수행할 수 있는 지를 파악하기 위하여 간단한 그래픽 인터페이스를 구축하였다. 가상공간에는 의자와 책상을 위치시

켰으며 사용자는 의자와 책상을 이동하면서 배치를 시킨다. 그래픽 결과와는 달리 햅틱 결과는 그림으로 표현하기 쉽지 않다. 그러므로 이동형 입력장치를 이용하여 의자의 앉는 부분을 정확히 위에서 아래로 누름에 따라 발생하는 힘을 도식화 하였다. 그림 6은 사용자가 그래픽 물체의 딱딱한 정도를 파악하기 위하여 개발한 장치를 이용하여 물체의 중앙부분 누른 후 변형시켰을 때 사용자가 받는 힘을 보여주고 있다. 이때 사용자와 물체가 접촉한 좌표는 (55,60,30)이었으며 이동은 z 축만을 고려하였으며 10만큼 아래로 이동하였다. 햅틱 결과는 완전히 선형적이지는 않지만 누름에 따라 선형적으로 증가하는 모습을 볼 수 있었으며 또한 떨림없이 안정적인 힘을 사용자에게 전달할 수 있음을 파악할 수 있었다.

#### IV. 결론

본 연구에서는 가상교육에서 활용가능한 가상공간을 직관적으로 조작할 수 있는 몰입형 교육 플랫폼을 구축하였다. 강의자는 몰입형 교육 플랫폼을 이용하여 물체의 형상을 피 교육자가 원하는 임의의 각도로 보여줄수 있을 뿐만 아니라 물체의 균기등을 촉각을 통하여 전달할 수 있다. 3차원 가상공간에서 사용자의 움직임을 실시간으로 추적하기 위하여 공간좌표를 실시간으로 추출하는 스테레오 카메라 시스템을 구축하였다. 개발한 스테레오 카메라 시스템을 이용하여 강사의 자연스러운 손동작을 계산하여 강의자와 가상환경과의 자연스러운 인터랙션이 가능하게 되었다. 또한 휴대용 인터렉션 모듈을 개발하여 사용자가 가상공간과 인터랙션 시 발생하는 힘을 실시간으로 생성하여 사용자에게 전달해 주었다. 개발한 시스템은 전기 전자 제어시스템등에서 물체의 거동을 정확히 보여주는 데 도움을 줄 뿐만 아니라 물체의 속도, 가속도등을 촉각적으로 피 교육자에게 전달해 주어 피 교육자에게 몰입감있는 교육 환경을 제공해줄수 있다.

#### 참고 문헌

[1] Hereld, M, Judson, I. R, and Stevens, R.L, 1999. Introduction to Building Projection-based Tiled Displays. IEEE Visualization 1999.  
 [2] Yang, R, Gotz, D, Hensley, J., Towles, H, and Brown, M, 2001. FxerFlex: A Reconfigurable Multi-Projector Display

System IEEE Visualization 2001.

- [3] Chen, Y., Chen, H., Clark, D., Liu, Z., Wallace, G., and Li, K., 2001. Software Environments for Cluster-based Display Systems, IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid
- [4] Hereld, M., Judson, I. R., and Stevens, R. L., 2000. Introduction to Building Projection-based Tiled Display Systems, IEEE Computer Graphics and Applications, vol 20(4).
- [5] A Nojavan, M Branch, S Toosizadeh, "Automated Calibration of Multi-Projector Systems on Planar Surfaces Using Stereo Vision", icses2012
- [6] J. Drareni, S.Roy, P.Stum, "Geometric Video Projector Auto-Calibration", IEEE Computer Vision and Pattern Recognition Workshop, 2009.
- [7] A. Von Kapi, T. Rick, S. Feiner, "Comparing Steering-Based Travel Techniques for Search Tasks in a CAVE", IEEE Virtual Reality Conference 2011, pp.91-94
- [8] Nintendo Wii Remote. Website, <http://www.nintendo.com>
- [9] F. Solina , B. Batagelj, and S. Glamocanin, "Virtual Skiing as an Art installation", ELMAR 2008, 2008.
- [10] H. Sugaman, and A. W. Eichler, "Use of the Wii Fit system for the treatment of balance problems in the elderly : A Feasibility Study", International conference on Virtual Rehabilitation, 2009, pp. 111-116.
- [11] Microsoft. Website, ESPN Winter X Game, <http://www.microsoft.com>

**정 구 철 (GooCheol Jeong)**

정회원



1979년 2월 : 중앙대학교 전자공학과(공학사)  
 1981년 2월 : 중앙대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1988년 2월 : 중앙대학교 전자공학과(공학박사)  
 1982년 12월 ~ 1984년 3월 :

기아자동차 연구소 연구원

1988년 3월 ~ 1991년 2월 : 동서울대학 전자과 교수  
 1991년 3월 ~ 현재 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 교수  
 관심분야 : Electromagnetic Analysis/Modulation · Demodulation System/E-learning

**임 성 민 (Sung Min Im)**



1999년 2월 ~ 현재 : 숙명여자대학교 교육학과 강사  
 관심분야 : 가상교육, 원격교육

**김 상 연 (Sang-Youn Kim)**



1995년 2월 : 고려대학교 공학사  
 1997년 2월 : KAIST 공학석사  
 2000년 3월 : 정보통신 연구소 연구원  
 2005년 2월 : KAIST 공학박사  
 2006년 3월 : 삼성종합기술원 책임연구원

현재 : 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부 부교수  
 관심분야 : 햅틱스, 가상현실, 몰입형 시스템