

발달장애아동을 위한 햅틱 인터랙션 시스템

고성영*, 정구철**, 조성만**, 신병석***, 김상연**, 이재협**

요약

본 연구에서는 발달장애아동의 지적 감각적 능력을 향상시키기 위한 햅틱 인터랙션 시스템을 제안한다. 이를 위하여 시각, 청각, 촉각을 생성하는 임베디드 하드웨어와 소프트웨어를 개발한다. 제안하는 시스템은 발달장애아동들에게 자기주도 학습 및 창의성을 향상시킬 수 있도록 불빛과 온열감, 그리고 진동 자극 등 다양한 감각을 제공한다. 햅틱 인터랙션 시스템을 개발하기 위해 본 연구에서는 발달장애아동들의 특징들을 분석하였으며 이를 기반으로 촉각 및 온열감을 생성하는 제어기를 구현한다. 본 시스템은 발달장애아동들을 위한 다양한 어플리케이션을 위해 사용될 수 있으며 또한 장애인들이 다양한 정보를 쉽게 얻을 수 있게 한다.

A Haptic Interaction System for Developmental Disabilities

Seong-Young Ko*, GooCheol Jeong**, Seong-Man Cho**, Byeong Seok Shin***,
Sang-Youn Kim**, Jae-Hyub Lee**

ABSTRACT

This paper proposes a haptic interaction system for improving intellectual and sensory abilities of the developmental disabilities. More precisely, we developed embedded hardware devices and embedded software which generate the sense of sight, touch and hearing. The proposed system provides various stimulus including luminescence and temperature to improve self-initiative and creative learning of the developmental disabilities. In order to develop the system, first we analyze the characteristics of the developmental disabilities and then design a device controller that creates the sense of touch and temperature. Our system can be used for various applications for the developmental disabilities and can provide the opportunities disabled persons to access a lot of informations.

Key Words : Development Disabilities, Haptic Interaction, Immersive Sensation, Haptic Feedback

* 전남대학교 기계시스템공학부(✉sko@chonnam.ac.kr)

** 한국기술교육대학교 컴퓨터공학부

*** 인하대학교 컴퓨터공학과

· 제1저자(First Author) : 고성영 · 교신저자(Correspondent Author) : 이재협
· 접수일(2011년 9월 5일), 수정일(1차 : 2011년 10월 7일), 게재 확정일(2011년 10월 10일)

1. 서론

발달 장애란 정신지체, 뇌성마비, 간질 또는 정신지체의 상태에 있는 개개인에 의하여 요구되는 치료 및 처우와 같은 처치를 필요로 하는 신경학적 증상에 의한 장애를 의미한다. 현재 미국에서는 매년 7만여 가정에서 특수 아동이 출생하고 있고, 매년 수천 명의 만성질환 아동이 발생하고 있는 것으로 예측되며, 우리나라의 경우에도 현재 약 35만 명의 발달장애인이 있는 것으로 파악된다. [1,2].

발달장애아동들은 일반학생들과 같은 기본적인 생리, 사회·정서적 요구를 가지고 있으나 모든 발달이 전반적으로 지체되어 있고 특히 감각·운동 기능과 지각 기능 면에서 두드러진 지체를 보인다. 이러한 아동들에게 있어서 손가락 관절과 손목 관절이 복합적으로 조절된 협응 운동 능력은 발달의 초기에 매우 중요하나 효과적인 지도방법과 도구가 개발되어있지 못하고, 감각·운동 기능과 지각 기능 지체로 인하여 몸의 움직임과 같은 적절한 발달과업상의 과제를 제대로 수행하지 못하며, 이러한 실패에서 오는 성취감의 부재로 인하여 성숙, 학습, 사회 적응과 같은 생활 전반에 어려움을 겪게 된다. 그러므로 발달장애아동들에게 기본적인 학습과 훈련이 제대로 이루어지기 위해서는 감각·운동 기능과 지각 기능의 훈련이 선행되어야 하며 학습 전 단계의 기초 학습 과정으로 매우 중요시 되고 있다[3,4,5,6,7]. 따라서 발달장애학생의 감각·운동 기능과 지각 기능의 개발을 통해 성공적인 성취감을 가지도록 하는 지각 및 감각 통합능력을 조기에 발달시키기 위하여 시각 뿐 아니라 진동감각이나 온열감을 포함한 촉각 정보까지 생성하여 발달장애아동들에게 제공하는 햅틱 인터랙션 시스템의 개발이 필요하다.

변상해와 이재현은 멀티미디어 저작도구를 이용한 발달장애를 평가할 수 있는 시스템을 개발하였다[8]. 김성진 등은 혼합현실 시스템을 이용하여 발달장애

아동을 학습하는데 이용하였으며 [9], 최민영 등은 발달장애 아동을 위한 치료 시스템의 디자인을 제안하였다 [10]. 그리고 김혜경 등은 발달장애아동의 치료를 위한 통합 UI를 개발하였다. 이와 같이 현재 특수학교 및 학급에서 활용되고 있는 기존의 지각·감각학습 기구는 아날로그 방식으로 감각학습 시 타인과의 교감을 통하여서만 감각에 대한 계획된 자극이 가능하며, 최근에 발표된 일부 디지털 방식의 제품들도 단순 자극의 반복을 통해 학생들의 주의집중과 흥미를 유지시키기에는 부족하다. 또한 기존의 PC기반의 소프트웨어 콘텐츠는 장애인들이 활용하기 어렵고 감각통합이 어려우므로, 장난감처럼 쉽게 가지고 놀 수 있는 교보재가 요구된다. 따라서 학생들이 흥미를 갖고 집중할 수 있도록 프로그램을 제공함으로써 감각, 지각적 자극과 우발적 학습을 통해 신체 각 부위의 운동기능을 향상을 시키고 학습준비기능을 향상시킬 수 있는 소프트웨어가 탑재된 임베디드 시스템 형태의 교보재 개발이 요구된다.

본 연구에서는 놀이도중 우발적 자극 경험을 학습으로 연결시킬 수 있으며, 놀이를 통한 성공적 경험의 누적은 감각자극에 대한 일관된 반응으로 발달장애학생들의 주의집중력을 향상시킬 수 있는 햅틱 인터랙션 시스템을 제안한다. 발달 장애아동을 위한 햅틱 인터랙션 시스템을 구축하기 위해 발달 장애 아동의 학습 및 행동 특성 분석 및 관련 기기들을 기반으로 시스템의 스펙을 설정하고 이를 기반으로 완구형 다면체 햅틱 인터랙션 시스템을 개발한다. 개발하는 시스템은 감각 통합을 위하여 온열감 액츄에이터/센서 구동 시스템 및 진동으로 다양한 촉각을 표현할 수 있는 촉각제시시스템을 포함한다.

II. 햅틱 인터랙션 시스템

일반학생들의 감각은 일상적인 생활에서의 근육과

감각의 자연적인 활동을 통하여 발달하며 대부분은 자동적, 무의식적으로, 노력 없이 발달을 하며 자동적이고, 지속적인 반복활동을 통해 하위 반사성 감각을 수용하면서 상위 반응적 감각으로 통합 발전한다. 그러나 발달장애학생들은 정신적, 정서적, 신체적 장애를 지니고 있으므로 감각적 통합의 발달이 지체되어 일반학생들이 가지는 감각통합 과정을 비효율적이고, 정확성을 보장하지 못하는 형태로 경험하게 되므로 이러한 상위 감각으로의 감각통합 과정에서 학습, 신체적 발달, 또는 행동에서 많은 문제들이 생길 수 있다.

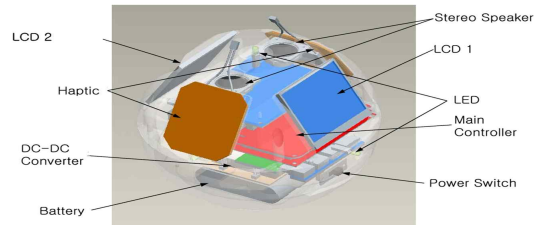
그러므로 본 논문에서는 감각 처리의 과정에 말초신경계에서의 감각인식을 자극하여 중추신경계에서의 데이터 처리를 위한 과정에 도움을 줄 수 있는 햅틱 인터랙션 시스템을 제안한다.

2.1 시스템 소개

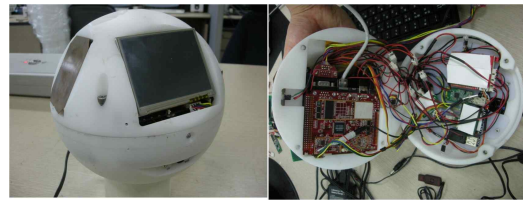
본 햅틱 인터랙션 시스템은 발달장애아동들에게 시촉각을 전달해 주어 감각통합 활동을 통하여 교육을 받을 수 있도록 장애아동학교에 자문을 통하여 다음의 설계원칙을 구축하였다.

- 디자인 : 학생들의 발달단계를 고려해서 다면체로 구성
- 구조 : 다면체의 형태로 구성되고, 면에 보이는 그림이나 도형을 만지면 발광체나 온도, 소리, 재질 등의 다양한 변화가 나타나도록 함.
- 크기 : 모든 초등학교 학생들이 두 손으로 감싸 잡을 수 있는 크기가 되어야 함. 발달장애학교 초등1~6학년 학생들의 손길이의 범위는 10~15cm이며 평균은 약 13cm임을 감안하여 설계함.
- 재질 : 시각 제시부 (visual display unit)은 안전 강화 필름으로 감싸고 그 외 부분은 딱딱하면서도 잘 안 깨지고 광택이 좋은 PC로 구성하며 각 면의 모서리는 학생들의 행동 특성에 따른 파손 위험을 감소시키기 위해 탄성소재로 구성함.
- 표면 : 온도 변화에 견딜 수 있도록 내열성을 가져

야 하며 알러지를 유발하는 각종 유해물질을 비롯하여 구강용 완구에 사용이 금지되는 물질(프탈레이트 등)을 제외시켜 학생에게 주는 위험성을 감소시킴.



(a)



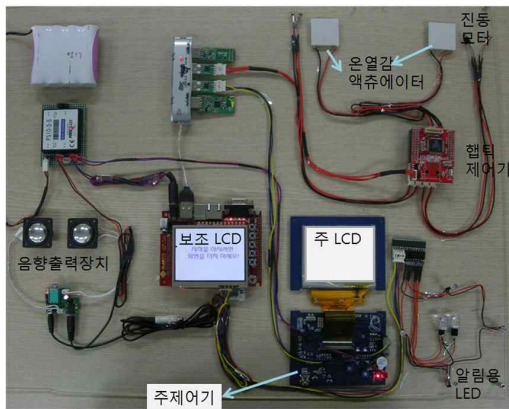
(b)

그림 1. 햅틱 인터랙션 시스템
(a) : 햅틱 인터랙션 시스템의 모델, (b) : 햅틱 인터랙션 시스템의 외관 및 내부

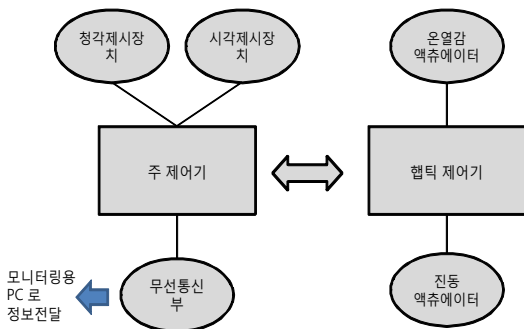
Fig. 1 The proposed Haptic Interaction system, (a) : the model for the haptic interaction system, (b) : Outside and inside of the haptic interaction system

이를 기반으로 전체적인 인터랙션 시스템의 모양을 그림 1과 같이 제작하였으며 각각의 디바이스들이 주변에 배치되어 다면체를 형성하도록 하였다. 전체 구조는 크게 컨트롤러와, 시각, 청각, 햅틱 장치를 포함하는 자극 디바이스, 그리고 네트워크 및 데이터 저장을 위한 주변 장치로 나눌 수 있으며 메인 컨트롤러는 각 모듈들을 컨트롤 한다. 그리고 USB 포트의 개수 확장을 위해 USB 허브를 사용하며, RS232C 포트의 확장을 위해서 USB to Serial 장비를 사용하였다. 시각 제시부 (visual display unit)는 2개의 LCD (main LCD 와 sub LCD)로 구성되고, main LCD는 주제어기(main

controller)에 직접 연결되며 보조 LCD(LCD 2)는 USB to Serial 로 연결되어 출력할 이미지를 RS232C를 통해서 전송받는다. 그리고 주제어기에 탑재한 메모리 크기의 한계를 극복하기 위해서 USB 메모리를 추가하였으며 온열 장치 및 진동 장치를 컨트롤하기 위해 별도의 햅틱 컨트롤러를 포함하였다. 그리고 6개의 고 휘도 LED를 조작하기 위해 별도의 마이크로프로세서를 탑재하며 주 제어기에서 UART로 컨트롤 하였다.



(a)



(b)

그림 2. 햅틱 인터랙션 시스템의 하드웨어 구성
(a) : 하드웨어 실물, (b) : 하드웨어 블록도

Fig. 2 Hardware components for the proposed Haptic Interaction system, (a) : the picture of the haptic interaction system, (b) : Block diagram of the haptic interaction system

하드웨어는 그림 2와 같이 주제어기를 기반으로, 햅틱 인터랙션 모듈, DC-DC 변환 모듈, 스피커, 시각제시 모듈, 스위치 등으로 구성하였다. 주제어기는 임베디드 리눅스를 내장하며, 디바이스 관리 소프트웨어, 스크립트 구동 응용 소프트웨어를 포함해서 키트의 동작을 제어하는 기능을 수행하며 주 LCD와 보조 LCD를 통해 아동들에게 정보를 전달하며 음향출력장치를 제어하여 소리를 출력한다. 또한 햅틱 제어기와 통신을 통해 상황에 따른 온열감 및 진동자극을 생성한다.

주 LCD 는 멀티미디어 콘텐츠를 출력하는 스크린으로써, 터치스크린을 통해 좌표데이터를 입력 받아 콘텐츠를 화면에 출력하며 터치 패널을 통해 아동들과 인터랙션을 하기 위한 입력 장치의 기능을 수행하고 USB 메모리에 저장된 고용량의 동영상 및 이미지를 아동들에게 보여준다. 보조 LCD 는 멀티미디어 콘텐츠를 발달장애 아동을 위해 제작한 시나리오에 따라서 화면에 출력한다. 또한 제안하는 시스템은 발달장애 아동의 청각을 자극하기 위한 사운드 모듈을 내장하여 주제어기에 탑재된 소프트웨어에서 소리를 발생시키고, 소리를 확장하기 위해서 사운드 확장 모듈을 거쳐서 스피커로 출력한다. 일반적으로 발달장애 아동들은 주의력이 다소 떨어지므로 발달 장애 아동에게 시각 자극 및 관심을 자극하기 위한 직경 5파이의 6개의 고 휘도 LED를 사용하였다. 본 시스템의 경우 동작 가능시간이 약 5시간 정도이며 완전 방전을 방지하기 위한 회로를 내장하였으며 방전된 후 완전 충전까지 걸리는 시간은 약 5시간 정도이다.

2.2 햅틱 제어기 및 햅틱 액추에이션

2.2.1. 햅틱 제어기 설계

본 연구에서 햅틱 제어기(그림 3)는 ARM Cortex-M3 코어를 장착한 LM3S 8962 마이크로 컨트롤러를 이용하여 구축하였다. 햅틱 제어기는 메인 컨트롤러와 UART를 통한 패킷 데이터 통신을 통하여 메인

컨트롤러와 인터페이스 컨트롤러 보드 사이의 데이터를 중개하고 인터페이스 컨트롤러를 제어하여 촉감, 온열감을 생성하며 부저를 제어하여 경보음을 생성하며 JTAG을 이용한 펌웨어를 업로드 및 디버깅 기능을 수행한다. 또한 인터페이스 컨트롤러를 통하여 가속도 센서와 온도센서에서 값을 읽어 들였다.

햅틱 제어기에서 Noise를 차단하기 위하여 커패시터와 저항을 이용하여 Lowpass filter를 설계하여 연결하였으며 온열감 생성을 위하여 건전지에서 순간적으로 갑작스럽게 많은 전원을 소비할 경우 회로부가 정지되는 것을 방지하기 위해 여러 개의 커패시터들을 병렬로 연결하여 사용하는 전원 중 일부를 커패시터에 저장하도록 하였다. 그리고 프로그램을 동작시키는 도중 MPU가 정지할 경우 다시 부트시키기 위해 Push 스위치를 연결하였다.

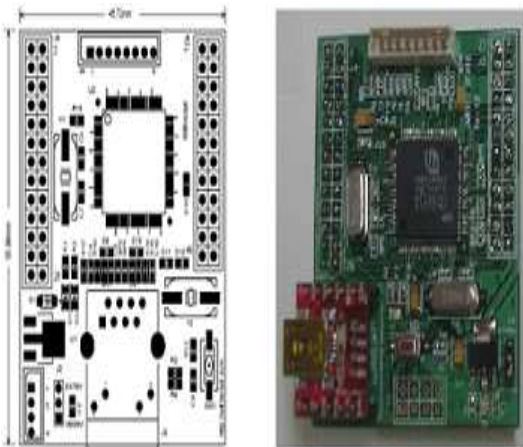


그림 3. 개발한 햅틱 제어기
Fig. 3 Developed Haptic Controller

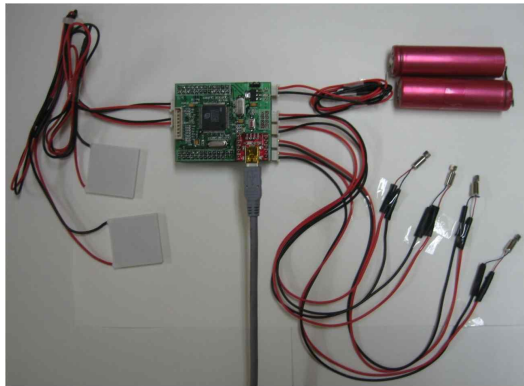
2.2.2. 인터페이스 컨트롤러

본 연구에서는 햅틱 제어기와 함께 햅틱 인터랙션 시스템에서 동작하는 소프트웨어의 명령에 따라 촉감 및 온열감을 생성하며 다양한 센서를 제어하는 인터페이스 컨트롤러(그림 4(a))를 개발하였다. 인터페이스

컨트롤러는 햅틱 제어기에 쉽게 연결 및 분리를 할 수 있는 구조로 설계되어 있으며 햅틱 메인보드로부터 명령어를 입력받으면 인터페이스 컨트롤러는 해당 명령어에 대응하는 페리패럴을 동작시켜 전달받은 명령을 수행한다. 개발한 인터페이스 컨트롤러는 4개의 진동 모터와 두 개의 온열감 제시를 위한 액츄에이터를 동시에 제어할 수 있도록 구현하였다. 그림 4(b)는 햅틱 제어기와 인터페이스 컨트롤러 그리고 온열감 제시장치 및 진동 액츄에이터를 보여주고 있다. 온열감 제시를 위해서 펠티어 소자를 이용하였으며 양방향 앰프를 구축하여 펠티어 소자의 흡열 면과 방열면 교체 컨트롤이 가능하게 하였다. 또한 생성한 온도 감각을 감지하기 위해 0.08mA의 전류에서 동작하며 섭씨 0도부터 150도의 범위의 온도를 감지할 수 있는 소형(1.60 * 0.80mm) 온도 센서를 사용하였다. 온도센서의 구동을 위해서 LM3S8392의 내부 전원을 이용하였으며 획득한 온도 값을 ADC를 이용하여 디지털 값으로 수치화하여 표현되도록 하였다. 또한 발달 장애 아동이 인터랙션 시스템의 터치 또는 조작 등을 파악하기 위해 가속도 센서를 사용하였다.



(a)



(b)

그림 4. 인터페이스 컨트롤러와 액추에이터들
(a) : 인터페이스 컨트롤러, (b) : 온열감 액추에이터 및 진동모터들

Fig. 4. Interface Controller and actuators, (a) : the developed Interface Controller, (b) : thermal actuators and vibrotactile actuators.

III. 실험 및 결과

발달장애아동들을 대상으로 햅틱 인터랙션 시스템을 평가하기 위해 외부 충격을 완화하고 입에 닿아도 몸에 해롭지 않도록 시스템의 외피를 제작하여 그림 5와 같이 햅틱 인터랙션 시스템 주변에 부착하였다.

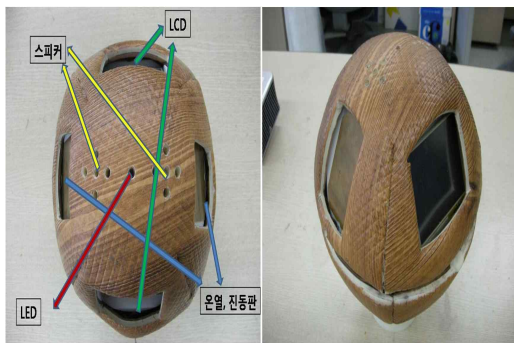


그림 5. 실험 시스템

Fig. 5. The Experimental System

그림 5와 같은 실험 시스템을 이용하여 햅틱 인터랙

션시스템의 유효성을 검증하고 문제점을 파악하기 위해 발달장애아동 교육 전문가와 실제 장애 아동들을 대상으로 하여 사용자 평가를 실시하였다. 사용자 평가에서는 개, 고양이, 돼지, 오리, 소의 5가지 동물의 그림을 준비하고 동물이 우는 소리를 들려주었다. 그리고 두 개의 LCD에 각기 다른 두 개의 동물을 보여준 후에 동물의 울음소리에 맞는 짐승(예를 들면, 개, 고양이, 등)을 음성으로 전달하였다. 예를 들어 개가 짖는 소리를 들려줬다고 가정하면 왼쪽에 개 그림을 오른쪽에 고양이 그림을 보여준다. 그 후 “개”라는 음성이 나온다. 음성이 나온 후 5초 내로 개 그림을 손으로 누르면 60DB 크기로 “개”라는 음성이 나오고 개 얼굴이 확대되고 짖는 모습을 2초간 보여준다. 그림에 맞춰 동물 울음소리가 나오면서 1초 동안 진동자극을 전달해 준다. 그 이후에 다시 개 그림을 터치하면 개의 피부와 유사한 부드러운 진동 및 개 체온과 비슷한 온열감이 장애아동에게 전달되도록 하였다.

이전에 반응이 없던 5명의 학생들 모두 반복적으로 햅틱 인터랙션 시스템을 보여준 결과 모두 반응하였으며 온열감 보다는 진동자극에 좀 더 강한 반응을 보였다. 개발한 발달장애아동을 위한 햅틱 인터랙션 시스템은 반복적 교육효과를 통하여 교육효과를 극대화할 수 있다는 평가를 받았다.

IV. 결론

본 연구에서 발달장애아동이 자기 진취적이고 창조적인 학습을 위해서 시각 뿐 아니라 촉각정보까지 제공함으로 발달장애아동의 지적 능력과 감각능력발달에 도움을 줄 수 있는 햅틱 인터랙션 시스템을 구축하였다. 개발한 시스템은 발달 장애 아동의 행동 패턴을 기반으로 제작되었으므로 장애학생이 이해하기 쉬운 교육용완구로서 장애를 가진 학생에게 다방면으로 활용이 가능하고 효과적으로 사용될 것이다.

참고문헌

- [1] 민연순, "발달장애아동가정의 비장애형제가 경험하는 사회적 지지와 스트레스간의 관계 연구", 카톨릭대 대학원 석사 논문, 2004
- [2] 보건복지가족부 Home Page 장애인 실태 조사Homepage : <http://www.mw.go.kr/>
- [3] Barbara H. Connolly, Patricia C. Montgomery저 (유병규, 남형천, 신승섭 역), "발달장애아동을 위한 운동치료", 영문출판사, 2011.
- [4] 김현호, 황보각, 유병규, " 손기능 훈련을 적용한 감각통합그룹치료 프로그램이 발달장애아동의 손기능과 일상생활능력에 미치는 영향", 중북.지체부자유연구 54권 1호, pp. 127-144, 2011.
- [5] 최민영, 이현진, 이장한, "발달장애아동을 위한 상호작용 치료시스템의 디자인 개발", 한국감성과학회지 13권 4호, pp. 777-788, 2010.
- [6] 엄대용, "관찰학습이 발달장애 아동의 운동기능 학습에 미치는 영향", 고려대학교 석사학위논문, 2011.
- [7] 서정하, " 발달장애 아동의 학습치료", 발달장애아동 치료교육연구 제10권, pp.209-212, 2008.
- [8] 변상해, 이재현, "멀티미디어 저작도구를 이용한 발달장애 진단 평가 시스템 구현 연구," 벤처창업연구, 제 3 권, 제 1 호, pp.55-72, 2008.
- [9] 김성진, 김태영, 임철수, "발달장애인을 위한 혼합현실기반 상황훈련 시스템," 한국컴퓨터그래픽스학회, 제 14 권, 제 2 호, pp.1-8, 2008.
- [10] 최민영, 이현진, 이장한, "발달장애아동을 위한 상호작용 치료시스템의 디자인개발," 감성과학회지, 제 13 권, 제 4 호, pp.777-788, 2010.
- [11] 김혜경, 이현진, 최민영, "발달장애아동을 위한 치료시스템의 통합 UI 디자인에 관한 연구," 한국디자인학회 가을 학술대회, pp.136-137, 2005.

감사의 글

본 논문은 2010년도 한국기술교육대학교 교육연구진흥사업 (과제명 : 가상현실을 위한 플랫폼연구)의 지원을 받아 수행되었습니다.

저자소개

고성영(Seong Young Ko)



2002년 2월 : KAIST 석사
 2008년 2월 : KAIST 박사
 2008년 2월~2008년 12월:
 KAIST 박사후연구원
 2009년 1월~2011년 9월:

Imperial College 부연구원
 2011년 10월 ~ 현재 : 전남대학교 조교수
 ※ 관심분야 : Medical Robot System, Haptic Interaction, Human-Robot Interaction.

정구철(GooCheol Jeong)



1979년 2월 : 중앙대학교 공학사
 1981년 2월 : 중앙대학교 공학석사
 1988년 2월 : 중앙대학교 공학박사
 1982년 2월~1984년 3월
 기아자동차 연구소 연구원
 1988년 3월~1991년 2월 : 동서울대학
 전자공학과 교수
 1991년 3월~현재 : 한국기술교육대학교

컴퓨터 공학부 교수
 ※ 관심분야 : Electromagnetic Analysis/Modulation Demodulation System/E-learning

조성만(Seong-Man Cho)



2009년 2월 : 한국기술교육대학교 학사
 2011년 2월 : 한국기술교육대학교 석사

※ 관심분야 : Haptic Actuator, Tactile display, Virtual Reality.



신병석(Byeong Seok Shin)

1990년 2월 : 서울대학교 공학사
1992년 2월 : 서울대학교 공학석사
1997년 2월 : 서울대학교 공학박사

현, 인하대학교 컴퓨터 공학부 교수

※ 관심분야 : Real-time rendering, Visualization,
Virtual Reality.

김상연(Sang-Youn Kim)



1995년 2월 : 고려대학교 공학사
1997년 2월 : KAIST 공학석사
2005년 2월 : KAIST 공학박사
2002년~2003년 : 가상현실 연구센터
연구원
2005년2월~2006년 2월 :

삼성종합기술원 책임연구원

2006년 3월~현재 : 한국기술교육대학교

컴퓨터 공학부 조교수

※ 관심분야 : Haptic Rendering, Haptic Actuator,
Tactile display, Virtual Reality.



이재협(Jaehyub Lee)

1987년 5월 : 일리노이공대 석사
1992년 5월 : 일리노이공대 박사
1993년3월~현재
한국기술교육대학교 교수

※ 관심분야 : Computer Graphics, Virtual Reality