Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 16, No. 11 pp. 7508-7512, 2015

http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.11.7508
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

Brain-Computer Interface 기반 인간-로봇상호작용 플랫폼

윤중선[1*]
[1]부산대학교 기계공학부

A Brain-Computer Interface Based Human-Robot Interaction Platform

Joongsun Yoon[1*]
[1]**School of Mechanical Engineering, Pusan National University**

요 약 뇌파로 의도를 접속하여 기계를 작동하는 뇌-기기 접속(Brain-Computer Interface, BCI) 기반의 인간-로봇상호작용(Human-Robot Interaction, HRI) 플랫폼을 제안한다. 사람의 뇌파로 의도를 포착하고 포착된 뇌파 신호에서 의도를 추출하거나 연관시키고 추출된 의도로 기기를 작동하게 하는 포착, 처리, 실행을 수행하는 플랫폼의 설계, 운용 및 구현 과정을 소개한다. 제안된 플랫폼의 구현 사례로 처리기에 구현된 상호작용 게임과 처리기를 통한 외부 장치 제어가 기술되었다. BCI 기반 플랫폼의 의도와 감지 사이의 신뢰성을 확보하기 위한 다양한 시도들을 소개한다. 제안된 플랫폼과 구현 사례는 BCI 기반의 새로운 기기 제어 작동 방식의 실현으로 확장될 것으로 기대된다.

Abstract We propose a brain-machine interface(BMI) based human-robot interaction(HRI) platform which operates machines by interfacing intentions by capturing brain waves. Platform consists of capture, processing/mapping, and action parts. A noninvasive brain wave sensor, PC, and robot-avatar/LED/motor are selected as capture, processing/mapping, and action part(s), respectively. Various investigations to ensure the relations between intentions and brainwave sensing have been explored. Case studies-an interactive game, on-off controls of LED(s), and motor control(s) are presented to show the design and implementation process of new BMI based HRI platform.

Keywords : Intention Capture and Mapping, Brain-Computer Interface(BCI), Human-Robot Interaction(HRI), HRI Platform

1. 서론

2014년 6월 13일에 열린 브라질 월드컵 개막식에서 하반신 마비 장애인이 생각만으로 로봇 발을 움직여 시축하는 행사를 보여주었다[6]. 결핍된 사람의 움직임을 로봇과 같은 기계의 도움으로 회복시키면 인간을 위한 공학이라는 공학의 출발점으로 다시 돌아가 인간에게 정상인으로의 생활을 복원시켜 줄 것이다[1].

뇌파로 의도를 접속하여 기계를 작동하는 Brain-Computer Interface(BCI)[7] 기반의 의도 포착 및 매핑(intention capture and mapping) 시스템을 제안한다. 의도 포착 및 매핑에 기초한 인간-로봇상호작용(Human-Robot Interaction, HRI) 플랫폼의 주요 개념을 모색하고 구성 방식의 기초를 제시하며 기초적 적용 사례를 기술한다[1,2].

2. 인간-로봇상호작용 플랫폼

2.1 뇌-기계 접속

사람의 동작 의도의 특징을 잡아서 기록하고 보여주고 재현하는 의도 포착 및 재현 시스템은 센서로 의도를 잡는 부분(intention capture), 포착된 의도 정보를 다듬어 운동을 계획하는 부분(motion processing/mapping),

*Corresponding Author : Joongsun Yoon(Pusan National Univ.)
Tel: +82-10-4480-6456 email: joongsunyoon@hotmail.com
Received October 5, 2015 Revised November 3, 2015
Accepted November 6, 2015 Published November 30, 2015

운동을 재현 또는 제어하는 부분(motion mimic/control)으로 이루어진다. 시스템의 구조는 Fig. 1과 같다[1,3].

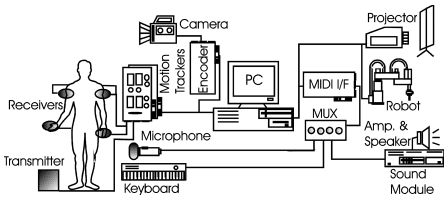

Fig. 1. An intention capture and mapping system

의도를 포착하는 부분은 센서를 써서 뇌파의 특징을 잡아서 기록한다[3]. 뇌-컴퓨터 접속 방법에는 침습적인(invasive) 방법과 비침습적(non-invasive) 방법으로 두 가지가 있다. 침습적인 방법은 외과 수술을 통해 두개골 속에 마이크로 칩을 이식하여 신호를 전달 받는 방법이다. 비침습적 방법은 두피 외부에서 뇌전도(Electroencephalography, EEG), 뇌자도(Magnetoencephalography, MEG), 근적외선분광법(Near-infrared spectroscopy, NIRS) 등의 방법을 이용하여 신경 신호를 분석하는 방법이다. 이 방법들 중에서 뇌전도를 이용한 비침습적인 방법이 가장 일반적인 뇌-컴퓨터 인터페이스 방법이다[7].

운동을 계획하는 부분은 포착된 뇌파 정보의 자료화, 패턴 분류, 분석 및 자동 생성 등을 수행한다. 포착된 뇌파 정보를 로봇과 같은 물체의 움직임으로 바꾸려면 사람과 물체 사이의 움직임 관계(mapping)를 잘 따져야 한다. 움직임의 데이터베이스(database)는 의도 분석 및 계획 프로그램의 도움을 받아 생성된 움직임을 자료화하여 저장하고, 이러한 움직임의 데이터베이스는 운동을 자동 생성할 때 필요한 정보로 제공된다.

자료화(database)된 운동 정보는 직접적이거나 간접적인 매핑을 통해 움직임의 패턴분류(pattern classification), 운동의 분석 및 재현에 쓰인다[1,3].

2.2 인간-로봇상호작용 플랫폼

인간과 로봇 상호작용(Human-Robot Interaction, HRI)은 로봇과 인간의 상호작용을 연구하는 최신 첨단 로봇 분야이다. 인간이 로봇에 접근하면 로봇이 사람의 의도를 추정하여 서로 상호작용하면서 재미와 친밀감을 느낄 수 있는 융합기술로, 사람과 로봇이 더불어 살아가는 '1인 1로봇시대'의 핵심기술이다[8].

컴퓨팅 플랫폼(computing platform)은 소프트웨어가 구동 가능한 하드웨어 아키텍처나 소프트웨어 프레임워크(응용 프로그램 프레임워크를 포함하는)의 종류를 설명한다. 일반적으로 플랫폼은 컴퓨터의 아키텍처, 운영체제(OS), 프로그램 언어, 그리고 관련 런타임 라이브러리 또는 그래픽 사용자 접속장치(graphic user interface, GUI)를 포함한다. 플랫폼은 소프트웨어 응용 프로그램들을 구동하는데 쓰이는 하드웨어와 소프트웨어의 결합이다. 플랫폼은 하나의 운영 체제 또는 컴퓨터 아키텍처라고 단순히 말할 수 있으며 그 두 가지를 통칭해서 말할 수도 있다[9].

인간-로봇상호작용을 구현하는 컴퓨팅 플랫폼의 주요 개념은 Fig. 2와 같다[1-3,8,9].

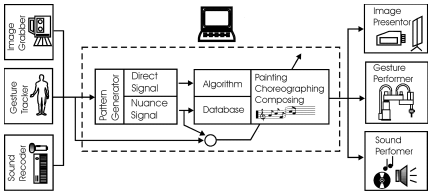

Fig. 2. Human-robot interaction(HRI) platform

2.3 BCI 기반 인간-로봇상호작용 플랫폼

뇌-컴퓨터 접속장치(Brain-computer interface, BCI)[7]는 뇌의 활동이 컴퓨터에 직접 입력되어, 마우스나 키보드 같은 입력장치가 없이도 컴퓨터와 커뮤니케이션을 할 수 있는 장치를 만들어 가는 것이다. 이는 운동신경에 장애가 있는 환자들에게 매우 유용한 기술이 될 것이며, 정상인에게는 새로운 패러다임이 될 것이다.

인간 뇌는 뉴런들의 방대한 망으로 구성되어 있다. 각 뉴런은 전기화학적 활동으로 정보를 전송한다. 수십만 개의 뉴런들이 동시에 발사할 때 결과 전기장은 두개골 밖에서 측정 가능할 만큼 충분히 크다. 이 측정은 뇌전도(Electroencephalography, EEG)라 하고 전기장은 뇌파라 한다. 다른 심적 상태들은 신경 활동의 다른 양식들에 의해 특징짓기에 지기에 특유의 뇌파를 발사한다. 이러한 특유의 뇌파를 측정하여 사용자가 처해 있는 심적 상태를 추론할 수 있다[10].

뇌파[10]는 매우 복잡한 패턴으로 진동하는 파형형태로 보인다. 파워스펙트럼을 이용한 뇌파의 종류는 뇌파를 관찰할 때 그 주파수와 진폭에 따라 분류할 수 있다. 인간의 뇌에서 나오는 뇌파의 파장은 기본적으로

0~30Hz의 주파수가 나오며 약 20~200μV의 진폭을 보인다. 0.2-3.99 Hz 주파수의 '수면파'라고도 하고 수면 시 발생하는 델타(δ)파, 4-7.99 Hz의 주파수의 '졸음파' 또는 '서파수면파(徐波睡眠波)'라고 불리고 잠에 빠져들 때 통과하는 세타(Θ)파, 8-12.99 Hz의 주파수의 심신이 안정을 취하고 있을 때의 뇌파인 안정파로 사람 뇌파의 대표적인 성분으로, 뇌의 발달과 밀접한 관계가 있는 알파(α)파, 13-30 Hz의 주파수의 '스트레스파'라고도 하고 불안, 긴장 등의 활동파인 베타(β)파, 30Hz 이상 주파수의 극도의 각성과 흥분 시 전두엽과 두정(중심)엽에서 비교적 많이 발생하는 2-20 μV대의 감마(ɣ)파 등 편리상 임의적으로 분류한 뇌파의 주파수 영역이다.

어떤 연구자들은 Low 알파(α)파, Middle 알파(α)파, High 알파(α)파 등 더욱 세분화하여 분석하기도 한다. 보통 특정상태의 뇌파특징을 분석하고자 하는 연구자들은 0-50Hz의 각 주파수 성분에 대한 파워의 분포를 전체적으로 보여주는 파워스펙트럼 분포를 먼저 관찰한 후, 유의미하게 변하는 주파수 성분을 찾아 의미를 부여하기도 한다. 이러한 파워스펙트럼 분포는 머리표면의 각 측정부위마다 조금씩 다른 양상을 나타낸다. 뒤통수에 해당하는 후두엽엔 일차시각피질이 있어 일차적인 시각정보 처리를 담당하며, 정수리근처에 해당하는 두정부엽엔 체성감각 피질이 있어 운동/감각관련 정보처리를 담당한다.

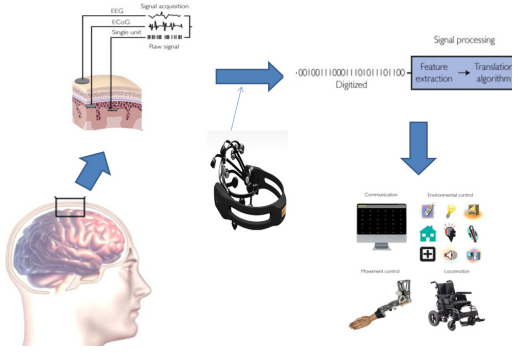

Fig. 3. BCI based HRI platform

BCI 기반 인간-로봇상호작용 플랫폼의 구성은 Fig. 3과 같다. 인간의 의도를 뇌파로 잡는 포착(capture)부, PC에서 통합하는 처리(processing)부, 다양한 로봇으로 실현하는 매핑(mapping)부로 요약할 수 있다[1,2].

두피에 센서를 대고 뇌파를 측정하는 비침습적(non-invasive) 장치들은 침습적(invasive) 장치들에 비하여 안전하고 쉽게 사용이 가능하나 두피의 상태에 따라 저항치가 달라져 뇌파의 측정이 불안정하고 낮은 측정값에 노이즈가 쉽게 섞이는 문제가 있다.

뇌파 센서[11]의 좋은 측정을 위하여 Mindwave의 경우 델타(δ)파, 세타(Θ)파, 알파(α)파, 베타(β)파, 감마(ɣ)파에서 Neurosky사에서 개발한 Meditation/Relaxation (명상/이완) 모드, Attention/Focus(주의/집중) 모드, Blink (깜박거림) 모드를 활용한다. Matation/Relaxation(명상/이완) 모드는 다음과 같이 설정한다. 1) 깊은 숨을 들이쉬고 천천히 내쉰다 2) 고의로 모든 근육의 긴장을 푼다 3) 어떤 특정 생각을 마음에서 지운다 4) 마음이 떠돌고 표류하게 한다 5) 눈을 감는다. Attention/Focus(주의/집중) 모드는 다음과 같이 설정한다. 1) 하나의 생각을 확인하고(identify) 유지한다 2) 특정 물체를 응시한다 3) 좋아하는 무언가를 집중한다 4) 수학 계산을 하다 5) 이야기하는 누군가를 골똘히 듣는다. Blink(깜박거림) 모드는 다음과 같이 설정한다. 1) 가능한 자연스럽게 눈을 깜박거린다 2) 어떤 것을 제어하기 위하여 눈을 단단하거나 부드럽게 깜박거린다.

3. 사례

BCI 기반 인간-로봇상호작용 플랫폼을 다양한 로봇으로 실현하는 시도들이 소개된다[12,14].

3.1 BCI 기반 인간-로봇상호작용 플랫폼 구성

뇌파 포착부인 비침습 뇌파 센서로는 Emotive 사의 EPOC, EEG 뉴로 헤드셋[13]과 Neurosky 사의 Mindwave PC버전과 Mobile 버전이 많이 사용되고 있다. BCI 기반 HRI 플랫폼 구현에는 PC 버전과 Mobile 버전의 Mindwave 뉴로 헤드셋[11]이 선택되었다.

제시하는 사례들은 매핑(mapping)부의 체계적 다양성을 위하여 PC 위도우 환경에서 돌아가는 게임을 뇌파 상호작용으로 시연하는 응용, 외부 기기 제어를 점검하는 예로 발광다이오드(LED)를 켜고 끄는 응용, 최종 목표인 물리적 로봇으로 구성된 플랫폼을 구현하기 위한 기초 시도로 Arduino[4] 기반 모터 제어 응용을 구현하였다.

BCI 기반 인간-로봇상호작용 플랫폼의 개발 환경은 Neurosky 사의 Developer Tool 2.1버전[11]과 Processing_2.2.1[5]으로 PC 기반 응용을 구현한다.

3.2 상호작용 게임

Processing으로 Mindwave 뉴로 헤드셋과 PC의 연결을 프로그램 하여 Attention/Focus(주의/집중) 모드와 Blink(깜박거림)모드를 이용한 PC 기반 응용을 구현하다. 첫 사례는 Fig.4와 같이 생각이 집중이 될 때 움직이고 눈을 깜빡일 때 방향이 바뀌는 상호작용 게임 제작을 목표로 한다[2,5,11].

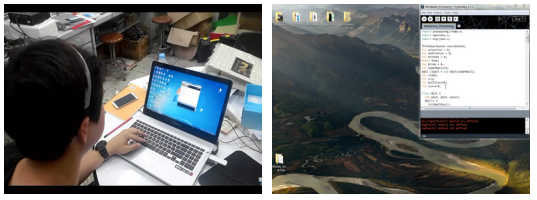

Fig. 4. Interactive game

3.3 발광다이오드(LED) 점멸계

두 번째 사례는 Fig.5와 같이 Processing을 이용 Mindwave와 single board-level microprocessor의 일종인 Arduino의 연결을 시도하고 매핑(mapping)부인 외부 기기와의 연결 제어 기술을 점검할 수 있게 Arduino 보드 위의 발광다이오드(LED)의 불을 켜고 끄는(on-off) 응용을 구현한다[2,4,5].

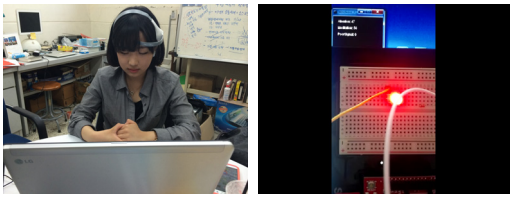

Fig. 5. Interactive LED on-off system

3.4 모터 제어계

세 번째 사례는 Fig.6과 같이 최종 목표인 물리적 로봇으로 구성된 플랫폼을 구현하기 위한 기초 시도로 Arduino[5] 기반 모터 제어 응용을 구현한다. 물리적 로봇의 예로 1축 모터를 선택한다[2,4,5,11]. 사용자의 집중도(Attention)의 크기에 비례하여 발광다이오드가 켜지는 집중도 수준별 LED 디스플레이 장치를 구현한다. 10개 수준의 구현을 위하여 Avago 10요소 LED 막대그래프 행렬과 10개의 저항을 선택한다. 그리고 연속적으로 비례하는 속도 제어 모터를 구현한다.

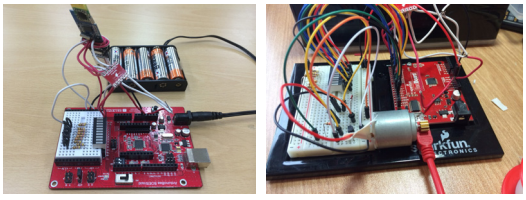

Fig. 6. BCI based motor control

3.5 보편성과 신뢰성

BCI 기반 인간-로봇상호작용 플랫폼의 보편성을 시험하고 신뢰성 확보를 시도하기 위하여 플랫폼을 제시하고 다양한 기계공학 전공 집단에게 적용한다. 부산대학교 기계공학부 5명 내외의 4학년 캡스톤 과제조가 2013년과 2014년, 2학년 전기전자기초 실험 및 프로젝트 수강생 100명, 3학년 시스템모델링 및 제어 수강생 50명과 4학년 인간-기계상호작용 수강생 52명이 2014년 2학기와 2015년 1학기 실험에 참여한다[2].

제시한 BCI 기반 인간-로봇상호작용 플랫폼으로 구현한 프로젝트 목록은 1)카운터, 2)카메라 아이셔터, 3)제동장치, 3)누적 집중시간 장치, 4)7세그먼트 표시장치, 5)크리스마스 나무, 6)랜덤 의사 결정기, 7)주사위, 8)블라인더 상하 조절, 9)자동 침대, 10)지정수자 표시기, 11)단선 경보기, 12)집중도 개선 여럿 등이다. 이 프로젝트들은 제시한 플랫폼을 사용하여 기계공학 2학년 수강생들이 한 주의 강의 후 어렵지 않게 구현한다.

BCI 기술의 풀리지 않는 문제인, 안정된 뇌파 측정을 보장하는 시도를 위하여 BCI 기반 인간-로봇상호작용 플랫폼은 의도와 뇌파 측정값과의 연관성을 높이는 모색이 필요하다. 또한 개인차의 영향에 대한 연구도 필요하다. Mindwave 경우 Attention 모드나 Meditation 모드를 쓰면서 Blink 모드를 동시에 쓰는 법을 제안한다[14].

BCI 기반 플랫폼의 신뢰성을 높이기 위한 다양한 시도에는 1)특정 시간 동안 특정 색의 컴퓨터 화면을 본 후 2)특정 시간 동안 (좋아하는/조용한/격렬한) 음악을 들은 후 3)간단한 (눈감고/눈뜨고) 명상 후 4)(파도/스포츠/수술/격투 장면)을 본 후 5)좋아하는 (연예인/관광지)의 (사진/동영상)을 본 후 6)(차분한/선정적인) 사진을 본 후 7)(단)맛을 생각하며 8)(단)맛을 섭취하면서 9)숨을 참고 10)영상에 나오는 자동차 보다 자동차 시점 영상 본 후 11)풍경보다는 일정 패턴의 무늬나 단색 이미지를 본 후 12)(불끄고/저녁에) 클래식 음악을 들으며 13)착시현상 무늬 보고 잔잔한 음악 들으며 14)조용한 방에서

헤드셋 쓰고 15)1인칭 시점의 영상을 보며 16)컴퓨터 화면 보다 벽에 투사기로 크게 비춘 이미지를 본 후 17)흰 벽이나 화이트보드를 보며 18)수수께끼나 스도쿠 등 문제를 푼 후 19)연속적으로 변하는 사진을 본 후 20)약간의 노이즈 포함 등이 모색된다. 또한 개인차도 뇌파 측정과 의도와의 연관성 관련 성능에 영향이 클 것으로 보이나 이들을 밝히기에는 연구 결과의 축적이 충분히 진행되어야 한다[2].

4. 결론

연구는 뇌파로 의도를 접속하여 기계를 작동하는 BCI 기반의 의도 포착 및 매핑(intention capture and mapping) 시스템의 제안; 사람의 뇌파로 의도를 포착하고 포착된 뇌파 신호에서 의도를 추출하거나 연관시키고 추출된 의도로 기기를 작동하게 하는 포착, 처리, 실행을 수행하는 플랫폼의 설계, 운용 및 구현 과정의 소개; 의도 포착 및 매핑에 기초한 HRI 플랫폼의 주요 개념 모색과 구성 방식의 기초 제시와 기초적 적용 사례의 기술을 포함한다.

제안된 플랫폼의 구현 사례로 PC 버전과 Mobile 버전의 Mindwave 뉴로 헤드셋을 선택하고 Neurosky 사의 Developer Tool 2.1버전과 Processing_2.2.1으로 PC 기반 응용을 구현한다. PC 위도우 환경에서 돌아가는 게임을 뇌파 상호작용으로 시연하는 응용, 외부 기기 제어를 점검하는 예로 LED on-off 응용, 최종 목표인 물리적 로봇으로 구성된 플랫폼을 구현하기 위한 기초 시도로 Arduino 기반 모터 제어 응용을 구현하였다.

BCI 기반 플랫폼의 의도와 감지 사이의 신뢰성을 확보하기 위한 다양한 모색들을 소개한다. 제안된 플랫폼과 구현 사례는 BCI 기반 로봇 팔 제어나 BCI 기반 휠체어 제어 같은 BCI 기반의 새로운 기기 제어 작동 방식의 실현으로 확장될 것으로 기대된다.

References

[1] J. Yoon, "A Motion Capture and Mimic System for Intelligent Interactions", *Journal of Control, Automation and Systems Engineering*, pp.585-592, July 1999.

[2] Yoon J. *BCI based HRI Platform.* Capstone Design, Pusan National University, 2013.

[3] Yoon J. *Mom(Körperlichkeit) and Interactive Technology.* ASTA Project 1, Gallery Fusion, Mar., 9, 2000.

[4] Margolis M. *Arduino Cookbook, 2nd ed.* O'Reilly, 2012.

[5] Reas C, Fry B. *Getting Started with Processing.* O'Reilly, 2010.

[6] CNN Video. Man in exoskeleton kicks off World Cup, Available From: edition.cnn.com/videos/sports/2014/06/13/pkg-gupta-world-cup-exoskeleton.cnn. (accessed Jun. 12, 2014)

[7] Wikipedia. Brain–computer interface, Available From: en.wikipedia.org/wiki/Brain%E2%80%93computer_interface.(accessed Dec., 1, 2011)

[8] Wikipedia. HRI, Available From: en.wikipedia.org/wiki/Human_robot_interaction. (accessed Dec., 1, 2011)

[9] Wikipedia. Computing Platform en.wikipedia.org/wiki/Computing_platform. (accessed Dec., 1, 2011)

[10] Wikipedia. Electroencephalography, Available From: en.wikipedia.org/wiki/Electroencephalography. (accessed Jun., 17, 2015)

[11] Neurosky. Mindwave, Available From: www.neurosky.com/. (accessed Jan., 7, 2013)

[12] Tan Le. A Headset that reads Your brain Wave, TED, Available From:www.ted.com/talks/tan_le_a_headset_that_reads_your_brainwaves.html. (accessed Oct., 15, 2010)

[13] Emotiv. EPOC/EEG, Available From: www.emotiv.com/. (accessed Jan., 7, 2013)

[14] Stanley Yang. Global Leaders Forum, Neurosky, Available From: http://www.tvchosun.com/tvchosunforum/. (accessed Nov. 20, 2014)

윤 중 선(Joongsun Yoon) **[정회원]**

- 1981년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학사)
- 1983년 2월 : 서울대학교 기계설계학과 (공학석사)
- 1988년 10월 : LEHIGH대학교 기계공학과 (공학박사)
- 1989년 8월 ~ 1991년 7월 : 삼성전자 선임연구원
- 1991년 7월 ~ 1993년 7월 : 금오공과대학교 정밀공학과 교수
- 1993년 7월 ~ 현재 : 부산대학교 기계공학부 교수

<관심분야>
로봇공학, 인터액티브 테크놀로지, 소프트 공학, HCI