

논문 2011-48SC-4-15

# 근전도 센서와 가속도 센서를 이용한 로봇 이동 제어

## ( Robot Navigation Control Using EMG and Acceleration Sensor )

이 기 원\*, 강 희 수\*, 유 경 진\*, 신 현 출\*\*

( Kiwon Rhee, HeeSu KANG, Kyung-Jin You, and Hyun-chool Shin )

### 요 약

본 논문에서는 손목 부근에 장착한 근전도 및 가속도 센서를 통하여 기존 로봇의 차대 제어와 다른 새로운 방식의 제어 방법을 제안한다. 제안 하는 방법은 자동차를 운전하는 듯이 직관적인 팔의 움직임만으로 로봇을 원격 제어한다. 근전도 센서로부터 얻은 신호를 통하여 로봇 제어 여부를 결정하고 가속도 센서로부터 얻은 신호로부터 동작을 추론하여 추론된 동작에 해당하는 명령에 따라 전진, 후진, 좌회전, 우회전으로 제어한다. 4가지 동작에 대한 정확성은 99% 이상이며 실시간 지연 없이 자연스러운 제어가 가능하였다. 전체 시스템을 직접 구현하고 시현을 통하여 성능 및 유용성을 확인하였다

### Abstract

In this paper, we propose a new method for robot navigation control through EMG and acceleration sensors which is attached to wrist. The method can remote control with intuitive motion like driving a car. It decide to control whether or not through EMG signal processing. And motion inferring through signal processing from acceleration sensor. Inferred motion is mapped to control command such as 'Forward', 'Backward', 'Left', 'Right'. Accuracy of each motions are over 99%. Control is capable naturally without time delay. Entire system has been implemented and we verified its utility through demonstration.

**Keywords :** robot control, EMG, acceleration sensor

## I. 서 론

지능형 로봇이란 전통적으로 사용된 산업용 로봇의 개념과는 달리 외부 환경을 인식하고 스스로 판단하여 자율적으로 동작하거나 인간과 상호작용을 하는 로봇을 의미한다<sup>[1~2]</sup>. 최근 지능형 로봇은 우리 인간의 삶의 공간으로 한층 접근하고 있으며 앞으로 미래 산업에 큰 비중을 차지 할 것이라 예상된다<sup>[3~4]</sup>. 이에 따라 지능형

로봇의 연구는 사람과 로봇의 상호작용 및 로봇 지능 향상에 비중을 두고 있으며 지능형 로봇의 연구는 가사 보조 및 의료, 도우미 등의 여러 방면에 대한 응용이 연구되고 있다<sup>[5~6]</sup>. 지능형 로봇의 주행기술은 1980년대 이후 활발히 연구되어 왔으니 많은 연구에도 불구하고 현재 기술 수준은 사람에게 비유하자면 '어두운 곳에서 두 팔을 뻗어 주변의 거리를 인식하고, 걸음 수를 세어가며 이동한 거리를 예측해야 하는 정도' 밖에 되지 않는다고 한다. 로봇의 이동 방법을 살펴보면 바퀴기반, 무한궤도 기반, 2 축 기반, 그리고 다축형 로봇 등 다양하다. 바퀴기반 로봇의 경우 평지에서는 우수한 성능을 보이지만 요철이 심한 불안정한 환경에서 안정적인 이동이 불가능하다. 무한궤도 기반의 이동로봇의 경우 요철이 심한 환경에서도 안정적인 이동이 가능하지만 속도가 느리며 효율이 낮다<sup>[7~8]</sup>. 2축형 인간형 로봇의 경

\* 학생회원, \*\* 정회원, 숭실대학교 전자공학과  
(Dept. of Electronic Engineering, SoongSil Univ.)

※ “이 논문은 2008년도 정부재원(교육인적자원부 학술 연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2008-331-D00769).”

※ “본 연구는 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행 되었음” (NIPA-2011-C1090-1121-0010)

접수일자: 2010년10월6일, 수정완료일: 2011년7월4일

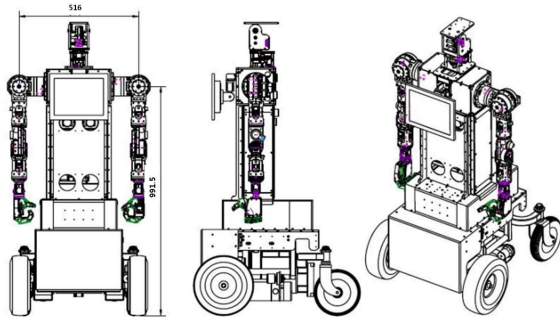


그림 1. RoMAN의 구조 및 형태  
Fig. 1. Structure of RoMAN.

우 일본을 중심으로 수십 년 전부터 연구 되어 왔지만, 안정성 및 실용성 면으로 본다면 만족스러운 수준이 아닙니다<sup>[8]</sup>.

본 연구에서는 바퀴기반의 휴머노이드 로봇을 손목에 부착한 가속도 센서와 인체의 피부에서 측정할 수 있고 인간 의지를 직접 반영할 수 있는 생체 신호의 하나인 표면 근전도 신호의 융합을 통하여 새로운 방식의 주행 제어 방법을 제안한다<sup>[9]</sup>. 본 연구에서 사용된 휴머노이드 로봇은 RoMAN이라는 이름의 로봇으로 그림 1과 같이 상체는 사람의 신체 기능을 모방하였고, 하체는 바퀴 기반 모바일 차대 모듈로 구성되어 있다. RoMAN은 본래 외부의 조이스틱을 이용하여 차대 주행을 제어 하도록 설계되었다. 기존 방법을 대신하여 더욱 직관적이고 익숙한 방법으로 로봇의 차대 주행을 제어하기 위해 3축 가속도 센서와, 2채널의 근전도 센서가 사용되었다. 본 논문은 로봇의 차대 주행 제어를 조이스틱이 아니라 생활 속에서 자동차 운전시 핸들 (CAR STEERING)을 통하여 운전을 하는듯한 동작으로 차대 주행 제어를 하고자 한다. 제안하는 방법은 팔의 근육을 제어할 때 팔의 표면에 발생 하는 근전도 신호와 손의 자세에 따른 가속도 센서의 값을 통한 자세 추론을 통하여 로봇을 제어한다. 근전도 센서로부터 일정 파워 이상의 근전도 신호 발생 시 로봇 제어가 시작되며, 3축 가속도 센서를 통하여 팔의 자세를 판별하여 판별된 동작에 따라 로봇의 주행 제어가 이루어진다.

## II. RoMAN 로봇의 구성

본 연구에서 사용된 로봇 RoMAN(㈜NT리서치, 한국)은 전신 실물대의 휴머노이드 로봇으로 사람의 신체 기능을 모방한 머리 모듈, 팔 모듈, 손 모듈, 어깨 모듈,

이동을 위한 모바일 차대 모듈로 구성되어있다. RoMAN의 팔은 사람의 양팔과 유사한 기구로 설계되어 위치 및 속도 제어는 물론 힘 제어도 가능하다. RoMAN의 팔 모듈은 6개의 회전 관절로 구성되어 있으며, 관절은 DC 서보 모터로 구성되어 CAN통신을 사용하여 제어된다. 손과 머리 모듈은 RS-485 방식의 통신으로 제어된다.

본 논문에서 사용된 모바일 차대 모듈은 전동식 휠체어와 같은 두 개의 구동바퀴와 두 개의 보조바퀴, 전원장치, 디코더로 구성되었다. RS-232 방식으로 입력을 받아 정속 이동 및 특정거리 이동을 제어할 수 있다<sup>[3]</sup>.

## III. 근전도 센서와 가속도 센서를 이용한 로봇의 이동제어

RoMAN의 이동을 자동차를 운전하는 듯이 간편하게 제어하기 위하여 2채널 근전도 신호와 3축 가속도 신호가 사용되었다. 먼저 팔에서 취득한 근전도를 통하여 로봇 이동 제어 여부를 결정한 후, 가속도 신호처리를 통하여 사용자가 어떠한 제어를 하려는지 파악하여 그 의지에 해당하는 명령으로 로봇 이동 제어를 한다.

근전도 신호와 가속도 신호를 취득하기 위한 장비는 그림 2와 같다. 블루투스 기반의 무선 모듈로 총 4 채널 근전도 신호와 3축의 지자기, 가속도 센서 그리고 자이로 센서를 포함하는 장치이다. 본 연구에서는 4개 채널 근전도 센서 중에서 2개의 채널만 사용하였으며, 그 2개의 채널의 센서의 부착위치 및 센서 모듈의 착용 사진은 그림 3과 같다.

그림 4는 제안하는 제어 방법의 대략적인 순서도이다. 매순간 들어오는 근전도 신호의 파워를 계산하여

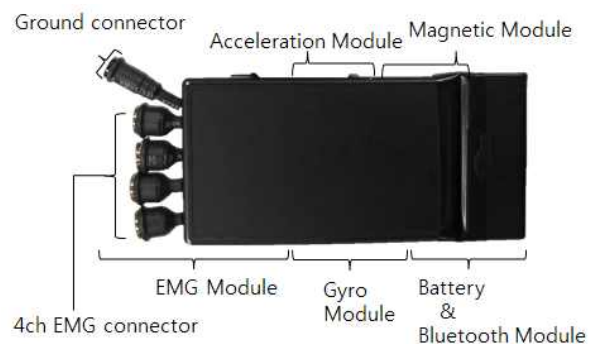


그림 2. 블루투스 기반 무선 근전도 및 가속도 측정 장치  
Fig. 2. Wireless EMG and acceleration sensor.

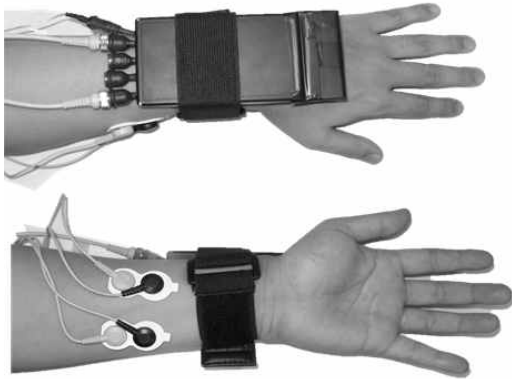


그림 3. 센서 모듈 착용 및 근전도 센서 부착위치  
Fig. 3. Wearing sensor module and EMG sensor position.

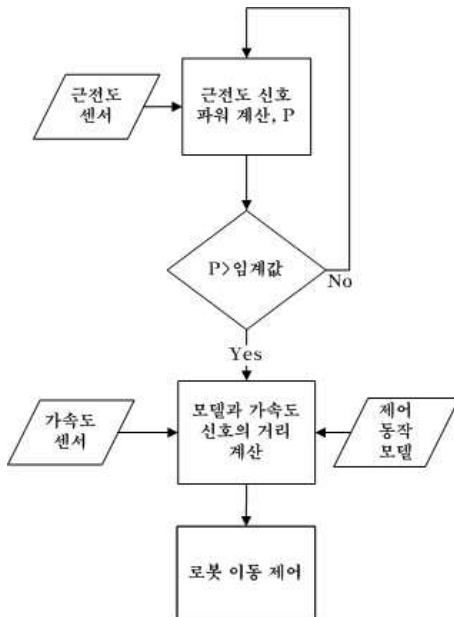


그림 4. 제안하는 제어 방법의 순서도  
Fig. 4. Flow chart of proposed robot control.

파워가 임계값을 넘으면 다음 단계로 넘어가고 그렇지 못하면 제어가 이루어지지 않는다. 다음 단계에서는 동작의 모델을 기준으로 센서로부터 얻은 가속도 데이터와 모델의 유클리드 거리를 계산하여 최소 거리를 갖는 모델의 동작으로 로봇 이동을 제어한다.

1. 제어 실행 여부 결정을 위한 근전도 신호처리

팔 안에서 취득한 근전도 신호의 처리를 통해서 사용자의 로봇 이동 제어의 의지가 파악되었다. 그림 3과 같이 팔의 안에서 신호를 취득하고 그 신호의 평균파워를 통하여 로봇 제어 여부 파악을 한다. 로봇의 이동 제어를 하고자 할 때,  $C \in \{1, 2\}$  번째 채널에서 발생한

신호는  $r_C[n]$  로 표기하며  $n$ 은 64Hz 로 샘플링 한 이산시간 인덱스를 의미한다.

2개의 채널을 통하여 발생한 Q개 샘플의 신호의 평균전력 P는 수식(1)과 같이 표현된다.

$$P = \frac{1}{2} \sum_{C=1}^2 \left[ \frac{1}{Q} \sum_{n=1}^Q \{r_C[n]\}^2 \right] \quad (1)$$

로봇 이동 제어는 Q개의 샘플의 평균파워 P값이 사전에 정해놓은 임계값을 넘게 되면 실행하도록 설정하였다. 로봇 제어가 실행되면, 팔의 자세에 따라 미리 지정된 명령으로 로봇이 이동하게 된다.

2. 방향 및 이동제어를 위한 가속도 신호처리

로봇의 이동 및 방향 제어 의지는 가속도 센서의 신호처리를 통하여 파악 하게 된다. 먼저 제어에 사용된 팔의 자세는 그림 5와 같이 전진 (Forward: F) 후진 (Backward: B) 좌회전 (Left: L) 우회전(Right: R) 총 4개의 동작으로 구성된다. 동작 추론에 앞서 동작 추론의 기준이 되는 모델을 먼저 생성한다. 각각의 동작  $K \in \{F, B, L, R\}$  를 수행할 때 3축 가속도 센서로부터 얻어진  $x$  축 신호를  $g_x^K$ ,  $y$  축 신호를  $g_y^K$  그리고  $z$  축 신호를  $g_z^K$  라고 하고 편의를 위해 벡터를 사용하여  $\overline{g^K} = \langle g_x^K, g_y^K, g_z^K \rangle$ 로 표기한다. 최종판별에 사용된 모델은 모델의 안정화를 위해 각각의 동작을 반복 수행을 통하여 동작에 따른 가속도 값을 얻고 그것의 평균값을 구하여 사용하였다.



그림 5. 4 종류의 제어동작 (A:전진, B:후진, C:우회전, D:좌회전)  
Fig. 5. 4 control motions (A:Forward, B:Backward, C:Right, D:Left).

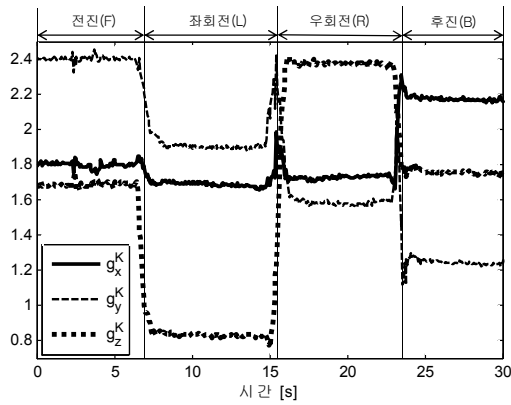


그림 6. 제어 동작 변화에 따른 3축 가속도센서의 출력 변화

Fig. 6. Output changes of 3-axis acceleration sensor by various motions.

그림 6은 자세 변화에 따른 3축 가속도센서의 출력값 변화를 나타낸 것으로 가로축은 시간을 의미하며 세로축은 센서로부터 발생한 출력 전압을 나타낸다.

w 번 반복 수행을 통하여 얻어진 동작 별 가속도 신호 모델은 수식(2)와 같다.

$$\begin{aligned} \overline{m^K} &= \langle m_x^K, m_y^K, m_z^K \rangle \\ \left( \begin{array}{l} m_x^K = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w g_x^K(i), m_y^K = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w g_y^K(i), \\ m_z^K = \frac{1}{w} \sum_{i=1}^w g_z^K(i) \end{array} \right) \end{aligned} \quad (2)$$

실제 로봇을 제어 시 가속도 센서를 통하여 매 순간 발생한 가속도 값을  $\overline{a}[n] = \langle a_1[n], a_2[n], a_3[n] \rangle$  이라 표기할 때 판별되는 동작  $\hat{K}$  는 얻어진 가속도 값과 동작 별 가속도 모델의 최소 유클리드 거리를 갖는 동작으로 판별되며 판별과정은 수식(3) 과 같이 나타낼 수 있다<sup>[10]</sup>.

$$\hat{K}[n] = \arg \min_K \| \overline{m^K} - \overline{a}[n] \| \quad (3)$$

판별된 동작  $\hat{K}$  을 통하여 그에 해당하는 바퀴의 움직임의 제어가 발생한다.

### 3. 판별 동작에 따른 바퀴 움직임 제어

동작이 판별되면 그에 해당하는 바퀴 속도의 변화를 통하여 전진, 후진, 좌회전, 우회전 등의 제어가 이루어진다. 동작에 따른 좌우 바퀴의 이동 속도는 표 1 과 같다.

표 1. 이동 제어를 위한 바퀴 제어 속도  
Table 1. Wheel speed control for robot navigation.

	왼쪽 바퀴	오른쪽 바퀴
전진(F)	0.50 m/s	0.50 m/s
후진(B)	-0.50 m/s	-0.50 m/s
좌회전(L)	-0.25 m/s	0.25 m/s
우회전(R)	0.25 m/s	-0.25 m/s

표 2. 동작별 판별 정확도  
Table 2. Discrimination accuracy for control action.

동작 판별	전진	후진	좌회전	우회전
전진(F)	100%	0.2%	0%	0%
후진(B)	0%	99.8%	0%	0%
좌회전(L)	0%	0%	100%	0%
우회전(R)	0%	0%	0%	100%

표 3. 동작 판별에 사용된 모델값  
Table 3. Value of the model for motion inference.

	x 축	y 축	z 축
$\overline{m^F}$	1.79	2.40	1.69
$\overline{m^B}$	1.69	1.90	0.83
$\overline{m^L}$	1.73	1.58	2.37
$\overline{m^R}$	2.17	1.24	1.75

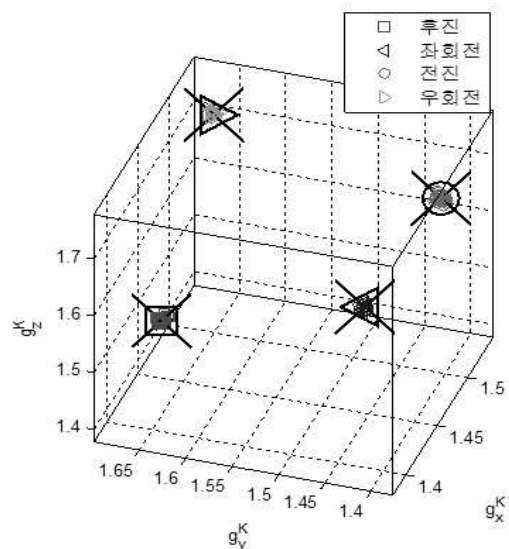


그림 7. 동작별 가속도센서 출력의 분포  
Fig. 7. Distribution of acceleration sensor outputs for various motions.

#### IV. 실험결과

자세 동작에 따른 로봇의 이동 및 방향제어의 정확도를 확인하기 위하여 각각의 자세에 대하여 500번 씩 판별을 하였다. 평균 파워 계산에 사용된 샘플 개수  $Q$ 는 16이고 평균 파워의 임계값은  $15\mu V^2$ 이다. 모델 생성에서 안정화를 위해 수행한 반복 횟수  $w$ 는 100번이다. 100번의 반복 수행을 통하여 얻은 모델의 값은 표 3과 같다.

동작별 가속도 센서의 출력 분포는 그림 7과 같이 동작 간의 겹침이 없이 잘 나누어졌으며 판별 정확도는 표 2와 같다. 4개의 동작 모두 99% 이상의 성공률을 보였으며 이를 통하여 안정적인 동작 판별을 확인하였다.

#### V. 결 론

본 논문에서는 근전도 신호처리를 통한 로봇의 이동 제어 의지 확인과 가속도 신호처리를 통한 자세 추론으로 기존의 컨트롤러를 이용한 로봇 이동 제어와 다른 방법의 제어를 제안하였다. 개발한 제어 방법을 통하여 전, 후, 좌회전, 우회전의 로봇 이동 제어를 원활하게 할 수 있었다.

근전도 센서를 이용한 제어여부 판별은 2채널 근전도 신호의 파워를 이용하여 구현하였으며 3축 가속도 센서를 이용한 자세 추론으로 네 가지 자세를 인식하여 제어에 사용하였다. 자세 추론은 3축 가속도 센서에서



그림 8. 로봇 제어 시현(world IT show, 서울 코엑스, 2010년 5월)

Fig. 8. Demonstration of the robot control.

발생한 가속도 벡터 값과 동작 별 가속도 벡터 값의 유클리드 거리를 통하여 가장 유사한 자세로 추론하였고 99% 이상의 정확도를 보였다.

그림 8은 제안하는 방법을 통하여 2010년 서울 코엑스(COEX)에서 열린 월드 IT쇼에서 실제 로봇을 제어하는 모습이다.

제안한 방법은 로봇의 전진, 후진 및 좌회전, 우회전의 이동 속도가 한 가지 값이기 때문에 상황에 따라 원하는 대로 속도를 제어할 수 없다. 이러한 문제는 근전도의 파워의 크기에 따라 로봇의 이동 속도를 차등적으로 적용하고, 사용자의 근전도 신호의 크기에 따라 적절한 임계값을 자동으로 지정한다면 해결될 수 있을 거라 기대된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] Nakajima, H.; Brave, S.; Maldonado, H.; Arao, M.; Morishima, Y.; Yamada, R.; Nass, C.; Kawaji, S.; , "Toward an actualization of social intelligence in human and robot collaborative systems," Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on , vol.4, no., pp. 3238-3243 vol.4, 28 Sept.-2 Oct. 2004.
- [2] Garcia, E.; Jimenez, M.A.; De Santos, P.G.; Armada, M.; , "The evolution of robotics research," Robotics & Automation Magazine, IEEE , vol.14, no.1, pp.90-103, March 2007.
- [3] Asfour, T.; Gyarfas, F.; Azad, P.; Dillmann, R.; , "Imitation Learning of Dual-Arm Manipulation Tasks in Humanoid Robots," Humanoid Robots, 2006 6th IEEE-RAS International Conference on , vol., no., pp.40-47, 4-6 Dec. 2006.
- [4] Luo, R.C.; Lin, M.-H.; Scherp, R.S.; , "Dynamic multi-sensor data fusion system for intelligent robots," Robotics and Automation, IEEE Journal of , vol.4, no.4, pp.386-396, Aug 1988.
- [5] Luo, R.C.; Su, K.L.; Shen, S.H.; Tsai, K.H.; , "Networked intelligent robots through the Internet: issues and opportunities," Proceedings of the IEEE , vol.91, no.3, pp. 371- 382, Mar 2003.
- [6] Nitzan, D.; , "Development of intelligent robots: Achievements and issues," Robotics and Automation, IEEE Journal of , vol.1, no.1, pp. 3-13, Mar 1985.
- [7] N. Eiji and N. Sei, "Leg-Wheel Robot: A Futuristic Mobile Platform for Forestry

*Industry,*” Advanced Robotics, 1993. ‘Can Robots Contribute to Preventing Environmental Deterioration’. Proceedings., 1993 IEEE/Tsukuba International Workshop on, p. 109-112

[8] Matsumoto, O.; Kajita, S.; Saigo, M.; Tani, K.; , “Dynamic trajectory control of passing over stairs by a biped type leg-wheeled robot with nominal reference of static gait,” Intelligent Robots and Systems, 1998. Proceedings., 1998 IEEE/RSJ International Conference on , vol.1, no., pp.406-412 vol.1, 13-17 Oct 1998.

[9] 유경진, 신현출 “엔트로피 및 최대우도추정법을 이용한 표면 근전도 기반 손가락 동작 인식”, 전자공학회논문지, 46권 제6호, 38~43쪽, 2009년 11월

[10] Erwin Kreyszig “Advanced Engineering Mathematics -9/E,” Wiley, Feb. 2006.

— 저 자 소 개 —



이 기 원(학생회원)  
2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
2011년 숭실대학교 전자공학과 석사 졸업.  
2011년~현재 숭실대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 신경신호처리, 휴먼-컴퓨터 인터페이스>



강 희 수(학생회원)  
2010년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
2010년~현재 숭실대학교 전자공학과 석사과정  
<주관심분야 : 신경신호처리, 휴먼-컴퓨터 인터페이스>



유 경 진(학생회원)  
2008년 숭실대학교 정보통신전자공학부 학사 졸업.  
2010년 숭실대학교 전자공학과 석사 졸업.  
2010년~현재 숭실대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 신경신호처리, 휴먼-컴퓨터 인터페이스>



신 현 출(정회원)  
1997년 포항공과대학교 전자전기공학과 학사 졸업.  
1999년 포항공과대학교 전자전기공학과 석사 졸업.  
2004년 포항공과대학교 전자전기공학과 박사 졸업.

2004년~2007년 Johns Hopkins Univ., School of Medicine 박사 후 연구원  
2007년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수  
<주관심분야 : 신경신호처리, 뇌-기계 인터페이스, 의료영상처리>