

동작기억 및 재생 기능을 이용한 모듈라 로봇의 다양한 동작 구현

안기삼, 김지환, 이보희*
 세명대학교 전기공학과

Action Realization of Modular Robot Using Memory and Playback of Motion

Ki-Sam Ahn, Ji-Hwan Kim, Bo-Hee Lee*
 Department of Electrical Engineering, Semyung University

요약 최근 아이들의 창의력 학습 및 놀이에 로봇이 활발하게 이용되고 있지만 대부분 로봇이 정형화된 형태를 가지고 있으며 프로그램의 의존도가 높아 창의력 학습 및 놀이에 어려움이 있다 우리는 이러한 단점을 보완하기 위해 정형화 되지 않은 모듈 형태의 로봇구조를 가지고 있으면서 결합을 쉽고 안정적으로 할 수 있도록 하였고 하나의 버튼을 이용하여 사용자가 원하는 동작을 기억시키고 기억된 동작을 똑같이 재생하는 로봇을 제작 하였다 또한 모듈 사이를 무선으로 연결하고 정보를 공유하여 다수의 모듈이 결합 되었을 경우 어느 모듈에서나 버튼을 한번 누르면 결합된 모든 모듈의 동작을 쉽게 조절할 수 있도록 하였다. 실제 동작을 검증하기 위해 두 개, 3개 및 5개의 모듈을 결합하여 자벌레 동작과 보행 로봇을 구현하여 제안된 구조와 알고리즘의 유용성을 보였다. 향 후 무선 연결 방법을 보완하여 인터넷상에서 통제할 수 있는 지능화된 모듈라 로봇의 연구가 필요하다.

키워드: 모듈라, 다수결합, 동작기억, 창의력, 결합동작

Abstract In recent years, robots have been actively used for children's creativity learning and play, but most robots have a stereotyped form and have a high dependency on the program, making it difficult to learn creativity and play. In order to compensate for these drawbacks, We have created a robot that can easily and reliably combine each other. The robot can memorize the desired operation and execute the memorized operation by using one button. Also, in case multiple modules are combined, pressing the button once on any module makes it possible to easily adjust the operation of all the combined modules. In order to verify the actual operation, two, three, and five modules are combined to demonstrate the usefulness of the proposed structure and algorithm by implementing a gobbling motion and a walking robot. It is required to study intelligent modular robots that can control over the Internet by supplementing the wireless connection method.

Key Words : Modular robot, Multiple module, Memory and playback operation, Creativity learning and play, Combined action

1. 서론

현재 로봇은 협업, 물류, 무인이동, 국방/재난, 바이오, 교육 등으로 나뉘어 활발하게 사용되고 많은 이슈가 되고 있다. 더불어 지속적인 연구 또한 이루어지고 있으며

최근 아이들을 중심으로 여러 교육시설을 통해 로봇을 이용한 창의력학습 및 놀이에 관심이 쏠리고 있다[1-4]. 하지만 이러한 교육환경에 적용되는 대부분의 로봇들은 정형화된 로봇 형태가 많아 변형이 어렵고 프로그램에 의존도가 높아 아이들이 창의력 학습이나 놀이에 어려운

부분이 있다. 정형화된 로봇의 경우 이미 형태가 정해져 있어 로봇의 동작범위 안에서만 구현이 가능하다 사용자가 창의적인 형태를 만들고 원하는 방향으로 동작시키기 위해서는 단위 모듈 형태의 로봇이 효과적이라고 판단하여 정형화 되어있지 않은 단위 모듈 형태의 로봇 구조를 사용하였다. 최근 교육 및 놀이용으로 연구 및 개발 되고 있는 모듈 형태의 몇 가지 로봇들을 Fig. 1과 같이 나타낼 수 있다.



Fig. 1. Related researches

대표적으로 피보나치 비율을 이용한 작은 블록들을 모터에 결합하여 다양한 형태와 동작을 만들 수 있는 토포보 코리아의 TIMBO와 LED, 스피커, 적외선, 마이크, 모터 등 다양한 센서 블록을 이용하여 원하는 작품을 만들고 직관적인 자체 코딩소프트웨어를 통해 원하는 동작을 실현시켜주는 렉스로보의 MODI가 있으며 이와 비슷한 구성을 가지고 있는 모듈러 로봇틱스의 MOSS와 Cubelets이 있다[5-9]. 이 로봇들은 각각의 장점이 있지만 단위 모듈이 모두 관절 역할을 하지 못하기 때문에 다수의 모듈을 결합하여 동작할 때 자연스러운 동작을 구현하기 힘들 것이며 복잡한 프로그램을 사용하게 되면 로봇 동작에 대한 많은 지식을 가지고 있어야 하기 때문에 사용자가 로봇을 구동시키는데 어려움이 있을 수 있다. 이러한 상황을 개선하기 위해 구동 관절을 가지고 있는 단위 모듈들을 서로 다른 각도로 결합하여 다양한 동작을 할 수 있으며 필요에 따라 용이하게 결합과 분리를 간편하게 할 수 있는 기구 구조를 제안한다. 그리고 결합된 구조의 복잡한 움직임의 해석 및 동작 계획을 피하고 단순하게 기억과 재생의 형태로 동작함으로써 응용 동작을 손쉽게 할 수 있는 구조와 알고리즘을 제안한다. 이러한 구조와 알고리즘을 통해 사용자가 결합하여 만든 어

면 형태의 로봇에 버튼 하나로 원하는 동작을 기억시키고 저장된 동작을 재생하여 로봇을 원하는 움직임으로 동작시킬 수 있다는 점에서 큰 장점으로 작용되며 창의적 학습 및 놀이에 매우 적절하다고 판단된다. 본 논문에서는 제안한 모듈라 로봇의 구조를 제시하고 이를 이용하여 동작기억 및 동작재생 기능을 구현하며 다양한 응용동작을 제시하려고 한다.

2. 기구부 설계

제안한 모듈라 로봇은 결합 및 분리 구조를 가지고 있으며 기본적으로 자석을 이용하여 쉽게 결합을 이루게 설계되었다.

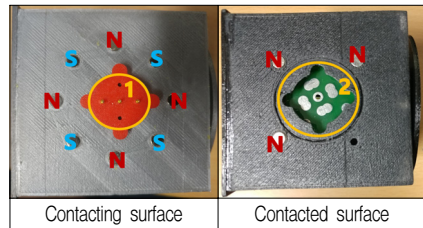


Fig. 2. Surface structure of modular robot

결합이 된 이후에는 Fig. 2와 같이 1번 돌출 부분이 2번 인입면에 접촉되어 전기적 통신을 수행할 수 있게 되고 이 단자를 통해 ID값과 각도 값을 주고받게 된다. ID값은 DAC와 가변저항을 통해 나온 전압 값이다. 각도는 0도, 90도, 180도, 270도로 총 4개의 각을 인지하며 각도 인지를 위해 인입면에 4개의 접촉 단자가 있다. 접촉된 모듈의 초기 위치는 인입면 단자의 특정 포트에 돌출면의 단자가 접촉되면서 정지하도록 설계하였다.

두 개 이상의 모듈이 결합 하였을 때 내부동작은 Fig. 3의 B기어가 A기어를 돌려 수컷모듈의 돌출부를 견고하게 결합시키며 B기어가 A기어를 정회전하도록 하여 결합된 모듈로봇을 회전 시킨다. 이때 B기어가 역회전을 하면 역으로 회전을 하다가 돌출면의 N극과 인입면의 N극이 만나 튕겨져 분리가 된다.

단일 모듈로봇은 Fig. 4와 같이 7자 형태의 수컷면 2면과 암컷면 2면이 조립된다. 각 모듈에는 버튼이 있으며 버튼을 이용하여 기본동작 모드, 동작기억 모드, 동작재생 모드 총 3가지 모드로 변경이 가능하다. 이때 상태

는 LED로 표시되며 빨간색, 초록색, 주황색 색상으로 상태 및 모드를 확인 할 수 있도록 설계 되었다. 모듈에는 1 자유도가 있어서 Fig. 5 와 같이 결합 모듈을 회전시킬 수 있다.

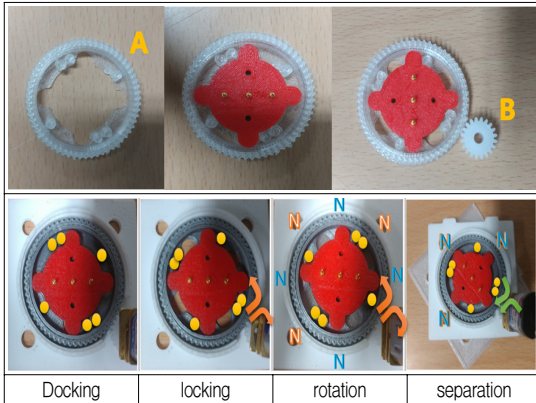


Fig. 3. Combination and separation structure

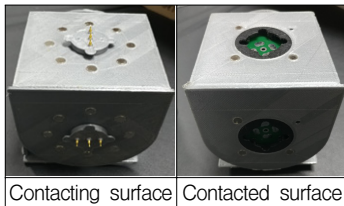


Fig. 4. Structure of the module

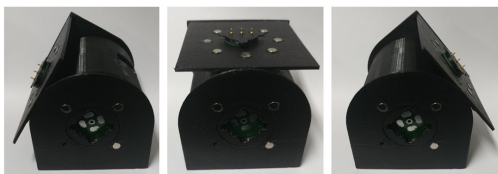


Fig. 5. Single module rotation

3. 전장부 설계

모듈라 로봇은 1 자유도를 가지는 구동 모터를 가지고 있기 때문에 모터를 구동하는 회로 및 회전각을 감지하는 전위차계 값을 읽어 들이는 ADC가 필요하다. Fig. 6 은 설계된 모듈라 로봇의 전장 부분에 대한 블록선도를 나타내었다.

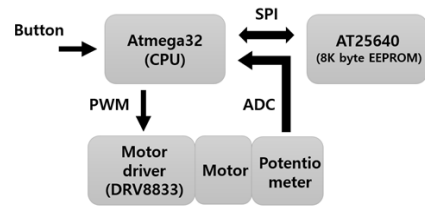


Fig. 6. Functional block diagram of the controller

사용자의 인터페이스는 버튼스위치만으로 이루어져 있고 동작을 표시하기 위한 3색 LED가 내장되었다. 모터는 소형모터에 기어비를 이용하여 토크를 높이고 동작기억모드에서 사용자가 쉽게 회전 시킬 수 있도록 기어비를 설정하였다[10]. Fig. 7은 제어모듈의 외관을 나타내었다.

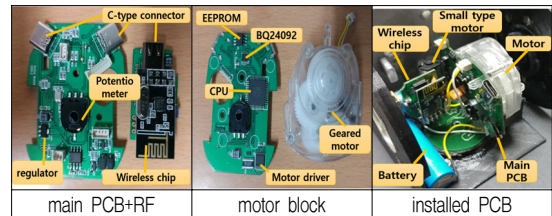


Fig. 7. Assemblies of the modular robot

모터구동은 TI사의 직류 모터 전용 드라이버 DRV8833을 이용하였으며 구동 전류는 0.5A로 설정 하였다. 제어기의 CPU는 Atmel사의 Atmega 32이며 16MHz의 동작 클럭을 가지고 있다. 모터의 위치를 저장하기 위해 AT25640 직렬 EEPROM을 설계 하였다. 외부와 인터페이스를 위해 USB C타입 커넥터를 설계하여 위아래 방향성 없이 결합 할 수 있도록 하였으며 주로 무선모듈 연결과 충전, 다운로드에 사용이 된다. 배터리는 14500사이즈를 선정하였으며 3.7V에 800mAh 리튬이온을 사용하였다. 동작시간은 최대충전 이후 3시간 이상 동작이 가능하며 충전을 제어하기 위해 충전 인터페이스 BQ24092칩을 설계하였고 전압 3.3V부터 저 전압경고를 보내주고 전압 3.0V부터는 슬립모드로 동작하도록 하였다. 다른 모듈간의 정보를 주고받기 위해 NRF24L01P 무선 모듈을 장착하여 모듈간의 정보 결합할 수 있게 설계 하였다. 단일모듈이 서로 결합했을 때 버튼 동작은 무선으로 서로 동기화 되며 한 모듈에서 버튼을 동작 시키면 접촉된 모든 모듈라 로봇의 버튼 정보가 공유되어 같은 타이머를 기준으로 동작기억과 동작재생을 하게 된다.

4. 기억 및 재생 동작 제어기

제안한 모듈라 로봇의 동작은 버튼 하나를 이용하여 동작을 기억하고 또 기억한 동작을 재생시킬 수 있는 단순한 동작 재생기능을 구현하였다. 기억모드에서는 수동적으로 입력한 모터 위치각 정보를 EEPROM내에 저장한다. 이때 25ms 단위로 10비트의 ADC를 거쳐 2바이트씩 저장하므로 다음과 같은 개수의 동작 데이터를 저장하게 된다. $8K \text{ byte(전체 저장 용량)} / 2(\text{byte}) * 0.025 = 100$ 초의 동작 데이터를 저장할 수 있다. 버튼을 스위치를 다시 한 번 눌러서 재생모드로 바꾸면 저장된 동작 데이터는 역시 25ms 단위로 메모리에서 2 바이트씩 읽어서 재생하게 된다. 전위차계 값은 0V에서 3.3V까지의 변화되는 양을 측정 할 수 있으며 체크간격을 50ms간격으로 두어 측정된 정보를 저장하고 플레이 한다. 다수의 모듈이 연결되었을 때에는 각각의 모듈은 개별적으로 자신의 모듈의 동작을 기억하고 또한 동작할 때도 자신의 모듈에 기억된 동작을 수행한다. 그리고 모듈의 버튼을 누름으로써 동작의 기억 및 재생 명령만을 전송받아 동작의 시작 정보만을 받는다. 모듈 간의 동작 전송은 내장된 무선모듈을 이용하여 연결하며 동작은 서로 동기를 맞추어 동작한다. 전체 제어기의 제어구조는 Fig. 8과 같으며 모터 제어 방식은 PID로 하였으며 모터드라이버를 통하여 PWM으로 제어하고 있으며 다회전시의 회전을 처리하는 구조로 설계되었다.

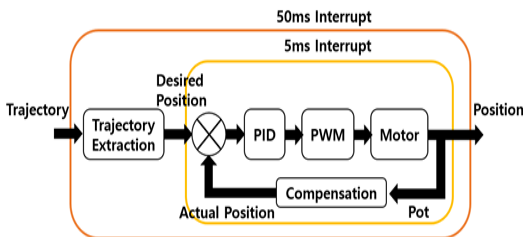


Fig. 8. Control block diagram of the controller

제어를 수행할 때 모터의 다회전의 경우를 대비하기 위해 모터가 한 회전 바뀌는 경계에서 모터의 회전 방향에 따른 보상이 이루어져야 한다. Fig. 9는 전위차계 축에서 읽어드리는 다양한 경우를 나타낸 그림이며 한 회전 주변에 두 가지 상황이 발생하는데 이때 각각 아래와 같이 제어 값의 보상을 수행하여야 한다.

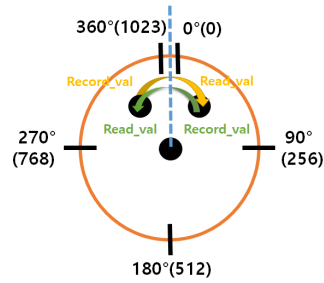


Fig. 9. Compensation algorithm in case of multiple rotations.

5ms 간격으로 전위차계 값을 읽어 들여 10비트 ADC로 변환하여 0부터 1023까지의 1회전 값을 인식하여 회전각이 얼마인지를 감지한다. 만일 기록된 값과 현재 읽은 값과의 차이가 512와 -512보다 큰지 작은지를 비교하여 0의 위치를 시계방향으로 혹은 반시계 방향으로 넘어갔는지를 체크하여 다회전이 되었는지를 감지하여 보상하게 된다. 전체 알고리즘은 아래와 같다.

```

read_val = readADCfromPot();
diff_val = (record_val - read_val);
if(diff_val >512)
    diff_val = diff_val - 1024;
else if(diff_val < -512)
    diff_val = diff_val + 1024;
    
```

위의 알고리즘을 이용하여 모터의 회전축이 다 회전을 수행하여 메모리에 저장되어도 재생할 때 1회전 이상을 수행 시에도 적절하게 제어가 가능하게 된다.

5. 동작 실험

제안한 모듈라 로봇의 구조와 성능을 실험하기 위해 모듈 간 결합을 수행하고 무선으로 서로 연동 되도록 동기화시키고 3가지 종류의 결합동작을 실험하였다.

우선 단일 모듈 2개를 결합하여 무선으로 동기화하여 기본 결합 동작을 Fig. 10과 같이 실험하였다. 1개 모듈을 철문에 자석으로 부착하고 모듈에 1개 모듈을 추가로 결합 하였다. 2개의 모듈 중 하나의 버튼을 눌러 무선으로 연동된 2개의 모듈 LED가 동시에 빨간색 LED로 바뀌고 동작 기억 모드로 설정이 된 것을 확인 할 수 있었으며 물결모양처럼 동작 할 수 있도록 서로 반전하여 동작을 기억 시켰다. 이후 다시 버튼을 눌러 동시에 LED가 초록 불로 바뀌면서 동작재생 모드로 되어 동작 되는 것을 확

인하였고 동일한 타이머를 기준으로 초기에 아래를 바라 보던 상태에서 위아래로 물결처럼 반복 동작하는 것을 확인하였다.

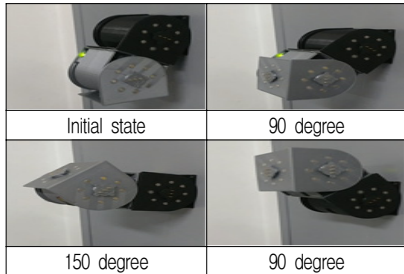


Fig. 10. Combination action using two modules

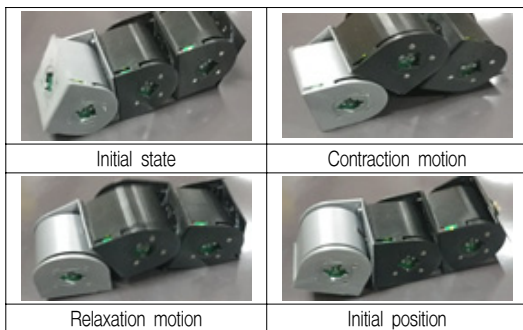


Fig. 11. Looper action using three modules

단일 모듈 3개를 결합하여 무선으로 동기화하여 Fig.11과 같이 자벌레 동작을 실험하였다. 자벌레처럼 동작 할 수 있도록 3개의 모듈을 일직선으로 결합 하였으며 모터 축을 바닥과 평행으로 두었다. 자벌레 동작을 기억시키기 위해 3개의 모듈을 이용하여 수축과 이완 동작을 기억시켰다. 이후 동작재생 모드로 되어 동작 되는 것을 확인하였고 초기에 이완 상태에서 수축동작과 이완 동작을 반복하면서 앞으로 조금씩 이동하는 것을 확인하였다.

다음은 위 실험을 응용하여 5개의 모듈로 Fig. 12와 같이 걸음새를 구현해 보았다. 한 다리에 단위 모듈 두 개씩 연결 하였고 두 개의 다리가 서로 연동 되도록 중간에 한 개의 모듈을 결합하였다. 동작은 처음 정자세 상태에서 오른발 동작을 하고 왼발 동작을 한다. 이후 다시 오른발 동작을 한번 하고 크게 왼발 동작을 한 후 정자세 상태로 돌아오는 것을 한 세트르 하여 반복 동작하도록 했다[11]. 2개, 3개 및 5개의 모듈을 결합하여 응용동작을 수행하면서 기본적인 결합과 분리 및 동작 기억 및 재생

동작을 반복적으로 수행하여 제안한 구조의 동작을 확인할 수 있었다.

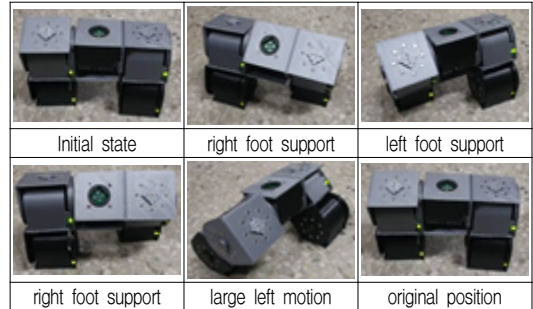


Fig. 12. Walking action using five modules

6. 결론

결합과 분리를 통하여 여러 가지 창의적인 기능을 수행할 수 있는 모듈라 로봇을 설계 하였다. 그리고 각각의 모듈에 버튼을 이용하여 간단한 방법으로 동작을 저장하고 재생하는 방법을 제안하였다. 아울러 설계된 다수의 모듈을 결합하여 단순동작과 자벌레 동작 및 보행로봇 동작을 구현하여 제안된 구조의 효용성을 보였다.

이러한 기능을 적절히 사용하면 사용자가 복잡한 프로그래밍 없이도 쉽게 원하는 형태 구현과 동작을 효과적으로 할 수 있을 것이라고 판단한다. 또한 모듈이 무선으로 결합되어 동작되므로 외부에서 모듈을 원격으로 조종할 수 있는 방법을 제시하다며 창의 교육 환경에서 더욱 쉽고 효율적으로 수행 할 수 있다고 생각된다. 향후 현재 제작된 단일모듈의 크기를 줄일 필요가 있으며 토크 또한 개선해야 할 연구가 필요하다. 아울러 외부에서 원격 제어를 하기 위한 인터넷 접속한 환경에서의 사용자 GUI에 대한 개발이 필요하다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 2015년 세명대학교 교내연구과제 지원을 받아 수행된 것임.

REFERENCES

- [1] P. Marshall, S. Price & Y. Rogers. (2003). Conceptualising tangibles to support learning. *In Proceedings of the*

2003 conference on Interaction design and children (pp. 101-109). USA : ACM.
DOI : 10.1145/953536.953551

[2] A. Takács, G. Eigner, L. Kovács, I. J. Rudas & T. Haidegger. (2016). Teacher's Kit : Development, Usability, and Communities of Modular Robotic Kits for Classroom Education. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 23(2), 30-39.
DOI : 10.1109/MRA.2016.2548754

[3] A. Takács, J. H. Oh & K. W. Ko. (2011). Combination of 13 kinds of creativity thought tool and robot education. *The institute of electronics and information Engineers*, 34(1), 1179-1182. DBpia. <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE02336902>

[4] J. Nielsen, N. K. Bærendsen & C. Jessen. (2008). RoboMusicKids - music education with robotic building blocks. In *Digital Games and Intelligent Toys Based Education, 2008 Second IEEE International Conference on* (pp. 149-156). USA : IEEE.
DOI : 10.1109/DIGITEL.2008.25

[5] H. S. Raffle, H. Ishii & A. B. Lippman. (2004). Topobo : a constructive assembly system with kinetic memory. In *Proceedings of the SIGCHI conference on Human factors in computing systems* (pp. 647-654). USA : ACM.
DOI : 10.1145/985692.985774

[6] M. M. Santin, S. Botelho, G. Dimuro & C. Rodrigues. (2011). Hand Skill Programming : Using Fuzzy Sets to Program Topobo Kinectis Memory Devices. *Workshop-School on Theoretical Computer Science*, 67-73.
DOI : 10.1109/WEIT.2011.30

[7] E. Schweikardt & M. D. Gross. (2008). Learning about complexity with modular robots. In *Digital Games and Intelligent Toys Based Education, 2008 Second IEEE International Conference on* (pp. 116-123). USA : IEEE.
DOI : 10.1109/DIGITEL.2008.49.

[8] M. Pacheco, M. Moghadam, A. Magnússon, B. Silverman, H. H. Lund & D. J. Christensen. (2013). Fable : Design of a modular robotic playware platform. *ICRA, 2013 IEEE International Conference on* (pp. 544-550). USA : IEEE.
DOI : 10.1109/ICRA.2013.6630627.

[9] J. S. Choi, B. H. Lee & J. G. Kim. (2014) Modular Robot for Promoting Creativity Development in Play and Education. *Institute of korean Electrical and Electronics Engineers*, 18(4), 572-580. DBpia. <http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE02336902>

[10] H. K. Kim, J. Y. Jen, J. Y. Park, S. H. Youu & S. S. Na. (2010). Noise reduction of a high-speed printing system using optimized gears based on Taguchi's method. *Journal of mechanical science and technology*, 24(12), 2383-2393.
DOI : 10.1007/s12206-010-0911-5

[11] M. Yim, B. Shirmohammadi & J. Sastra. (2007). Towards Self-reassembly After Explosion. In : *Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, 2767 - 2772.
DOI : 10.1109/iros.2007.4399594

저 자 소 개

안 기 삼(Ki-Sam Ahn)

[학생회원]



- 2016년 2월 : 세명대학교 전기공학과 학사
- 2016년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전기전자대학원 석사과정

<관심분야> : 자동제어, 임베디드시스템

김 지 환(Ji-Hwan Kim)

[학생회원]



- 2011년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전기공학과 학사

<관심분야> : 가시광통신, 동역학, 기체구조 및 항공역학

이 보 희(Bo-Hee Lee)

[정회원]



- 1985년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
- 1992년 2월 : 인하대학교 자동화공학과 석사
- 1996년 8월 : 인하대학교 자동화공학과 박사

• 1997년 3월 ~ 현재 : 세명대학교 전기공학과 교수
<관심분야> : 임베디드시스템, 로봇틱스, 지능제어