

두개의 전위차계를 이용한 모듈형 완구의 동작 저장 및 반복 재생 동작의 구현

이진규¹, 이보희^{1*}, 김종태², 박지엽³, 공정식⁴

¹세명대학교 전기공학과, ²팀보로봇, ³토포보코리아, ⁴인덕대학교 기계설계과

Record and Replay Motion Implementation to Modular Toys using Two Potentiometers

JinKyu Lee¹, BoHee Lee^{1*}, JongTae Kim², JiYoup Park³, JungShik Kong⁴

¹Department of Electrical Engineering, Semyung University

²Timbo Robot, ³Topobo Korea, ⁴Dept. of Mechanical Design, InDuk University

요약 창의적 모듈형 완구의 동작 구현을 위하여 동작을 기록하고 또한 읽어서 반복 동작하는 방식의 움직임이 요구된다. 이 때 완구 동작용 모터 출력축에는 전위차계를 사용하여 절대 회전각을 읽어서 제어를 수행하게 된다. 하지만 전위차계의 감지 영역의 불안정한 부분이 일정 영역에 존재하게 되는데 이로 인한 모터 제어의 불안정을 가져올 수 있다. 본 논문에서는 2개의 전위차계를 한 축에 장착시켜 안정된 영역을 각각 읽어서 1회전 절대각을 찾는 알고리즘을 제안한다. 그리고 다중 회전을 수행 시 필요로 하는 보정 알고리즘에 대해서도 기술하였다. 제안된 방식은 실제 토포보 모듈라 완구에 적용하여 동작을 기록하고 반복 동작을 수행하여 효과적으로 동작됨을 보였다. 아울러 다 회전 동작을 기록하고 동작 시켜 제안된 방식의 유용성을 제시하였다. 향후 다양한 동작을 통하여 기록과 재생의 기능을 확대해 나갈 것이다.

키워드 : 모듈형 완구, 기록 및 놀이 동작, 2개 전위차계, 다 회전 보정

Abstract In order to realize the operation of the creative modular toy, it is required to record the motion and to read and repeat the motion. At this time, a control potentiometer is used to read the absolute angle of rotation of the toy motion output shaft. However, the unstable part of the sensing area of the potentiometer is present in a certain region, which may lead to instability of the motor control. In this paper, we propose an algorithm to find the absolute angle of one rotation by reading two stable potentiometers on one axis and reading each stable region. We also describe the correction algorithm that is needed to perform multiple rotations. The proposed method is applied to Topobo modular toys to record the operation and perform iterative operation. In addition, multi-turn operation is recorded and operated to suggest the usefulness of the proposed method. In the future, we will expand the functions of recording and playback through various actions.

Key Words : Modular toy, Record and Play, Double Potentiometer, Multi-turn compensation.

1. 서론

최근 창의적 교육에 대한 교육계의 관심이 급격히 증

가되고 있으며 이에 따라 STEAM(Science, Technology, Engineering, Art, Math.)교육에 대한 관심이 집중되고 있다[1]. 이러한 STEAM교육을 수행하기 위해서는 구조

물이 정형화 되어 있지 않고 교구를 사용하는 사용자가 간단하게 조립 및 분리 그리고 원하는 형상을 손쉽게 만들면서 이를 통해 움직이는 도형의 과학적 원리를 이해하고 기술, 공학, 수학을 적용할 수 있으며, 만들어진 작품이 본인의 창의적 산물으로써 예술성을 갖출 수 있어야 한다[2,3]. 하지만 기존의 정형화된 휴머노이드 로봇이나 교육용 모바일 로봇과 같이 그 형태가 정형화되어 있는 로봇으로는 이러한 STEAM교육을 진행하는데 구조적 한계를 지니고 있다[4]. 또한 과학상자 형태의 로봇의 경우 학생들이 나사를 조이거나 풀 수 있어야 하므로 고학년이 되어야 작업이 가능하고[5], 레고와 같은 작은 블록의 경우 블록의 개수가 많아 본인이 생각한 아이디어를 빠르게 구현해 내는데 시간적 한계를 가지고 있다[6]. 이에 이러한 문제를 극복할 수 있는 TOPOBO와 같은 블록 도구가 나와 있으며 현재 TOPOBO블록의 경우 조립 및 본인이 원하는 단순한 동작을 구현하는 데는 손쉽게 접근이 가능하여 일정 정도의 로봇 및 창의교육 콘텐츠 개발이 가능하게 된다[7,8]. 이에 이러한 한정된 로봇 프레임임을 이용한 교육을 수행하지 않고, 유아들이 조립하기에 용이한 구조의 최적화된 몇 가지 블록을 연결하여 시스템을 구현할 경우 별도의 프로그램 없이 손으로 블록을 움직이면 동작을 기억하고, 버튼을 이용하여 동작 재생이 가능하여 기존의 로봇 교육이 갖고 있는 문제점을 블록 교구를 통해 극복할 수 있게 된다. 이러한 완구를 만들기 위해서는 정해진 동작을 쉽게 저장하고 또 저장된 동작을 효과적으로 모터를 이용하여 동작시키는 기술이 요구되며 이를 위한 구동기와 센서가 요구된다. 일반적으로 소형의 모터를 구동하기 위해서 기어를 가지고 있는 직류 모터가 많이 사용되고 있으며, 센서는 가격이 저렴하고 절대적인 위치를 감지할 수 있는 전위차계를 많이 사용하게 된다. 하지만 전위차계는 한 회전 내에서의 값을 저항의 변화로 알려주고 이를 전압으로 변환하여 사용하는데 안정적인 동작 범위가 한정적이다. 따라서 한 바퀴의 모든 절대 위치를 감지하기에는 제약이 있고 한 바퀴 이상의 회전을 감지하는데도 문제가 있다. 따라서 본 논문에서는 이를 극복하기 위한 방법으로 전위차계를 두 개 사용하여 알고리즘으로 절대 위치를 보완하는 방법을 제안하려고 한다. 그리고 제안된 방식을 이용하여 다 회전을 감지하고 모터와 연계 동작하는 방법을 수행하여 블록형 완구가 가지는 동작의 유용성을 주고자 한다.

2. 모듈 설계

구현하고자 하는 장치는 결합 기구를 이용하여 간단하게 다른 모듈과 결합할 수 있으며 각각의 모듈은 자율적인 움직임을 가지기 위한 직류 모터를 장착하고 있으며 움직임을 이용하여 다양한 형태의 창의적이고 복잡한 형태의 구조물을 제작하고 동작 시킬 수 있다. 각각의 모듈은 통신을 이용하여 서로간의 동작 상태를 동기 맞추어 동작할 수 있으며 연계동작을 할 수 있다. Fig. 1은 모듈의 외관을 나타낸 그림이며 내부의 하드웨어 구성은 Fig. 2와 같다.

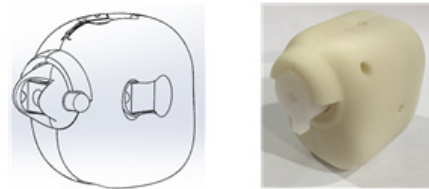


Fig. 1. Appearance of each modules

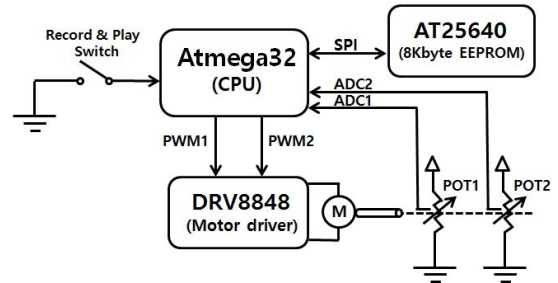


Fig. 2. Block diagram of system

각 모듈에는 스위치가 하나씩 장착되어 있으며 사용자는 스위치를 조작하여 동작을 기록할 수 있고 사용자는 자력으로 모터를 수동으로 움직이게 하고 그 때의 위치를 외장 EEPROM에 저장시키는 동작을 기록시킨다. 이어서 사용자가 스위치를 한 번 더 조작하여 실행모드로 변환하면 저장된 위치 데이터를 CPU가 읽어서 모터를 구동하는 구조로 되어 있다. 이때 정해진 시간 간격마다 한 번씩 실행 데이터를 추출하여 모터를 연계 구동시킨다. 모터의 구동은 TI사의 DRV8848을 사용하였으며 PWM 방식으로 구동하였다. 그리고 모터의 회전각을 측정하기 위해서는 모터 회전축에 전위차계를 장착 하였으며, 외부에 5V를 인가하여 0V부터 5V까지 변화하는 양을 측정하고 A/D변환시켜 절대 전압으로 위치를 측정하

는 방식을 사용하였다. 그림 Fig. 3은 전위차계의 외관을 나타낸 그림이며 각각의 회전축의 위치에 따른 우측과 같은 출력 신호를 얻을 수 있다.

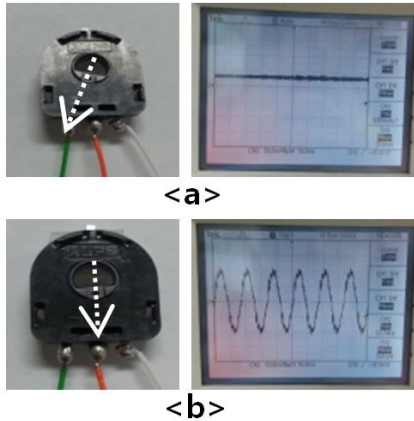


Fig. 3. Potentiometer and signal output

Fig. 3에서 알 수 있듯이 이러한 동작은 연결 축이 회전함에 따라 선형적으로 나타나고 선형적인 회전 절대각을 측정할 수 있다. 하지만 대부분의 일반적인 전위차계는 양쪽 끝의 임의의 영역에서 불안정하게 동작하기 때문에 사용상에 불가능한 영역이 있다. Fig. 3의 (b) 위치에서는 출력 신호 값이 마치 단선된 것 같은 형상의 신호가 출력되어 이를 직접 회전각을 측정할 수 없는 현상이 발생한다. 이러한 문제점은 Fig. 4와 같이 연속적인 동작을 수행 시에 출력파형을 측정한 그림에서 명확히 나타난다.

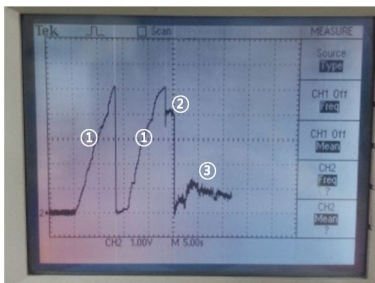


Fig. 4. Measurement problem of the potentiometer

(1)의 위치에서는 선형적으로 잘 동작함을 알 수 있지만 (2)와 (3)의 영역에서는 불안정한 동작을 나타내고 있다. 따라서 이러한 센서를 모터 축에 연결하여 회전각을

측정하면 임의의 영역에서는 측정할 수 없는 구간이 나타나고 만다. 만일 이 값을 그냥 사용하면 실제로 모터 제어의 불안정이 나타나 제어를 수행할 수 없게 된다. 따라서 이런 불안정성은 제거하여야 하며 이를 보상하기 위해 본 논문에서는 두 개의 전위차계를 이용하여 각각의 선형 부분을 취하여 읽고 조합하는 알고리즘을 제안하였다. 이때 두 개의 전위차계는 Fig. 5와 같이 배치하여 설계 하였다.

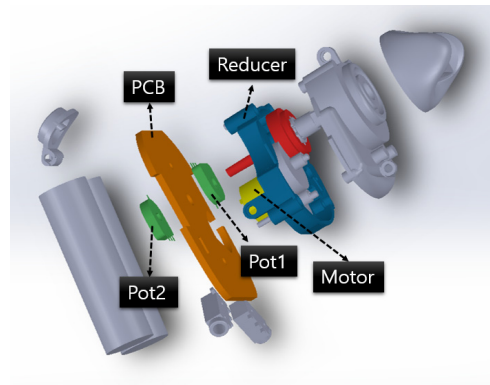


Fig. 5. Overall system layout

2개의 센서는 각각 PCB의 양면에 배치되어 모터축과 동시에 직결되는 구조로 배치되었다. Fig. 6은 센서의 배치 방법과 각각 전위차계의 연결관계 및 측정하는 절대 회전각의 범위를 나타내었다. 즉 모터가 회전하면서 PCB 양면에 배치된 센서가 동시에 회전하고 회전각의 범위에 따라 선형적인 구간의 센서 측정값을 조합하여 읽어내어 절대 회전각을 검출하게 제작 하였다.

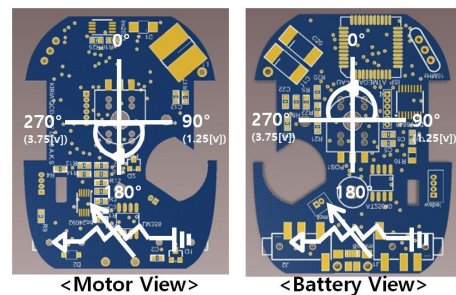


Fig. 6. Double potentiometers arrangement

Fig. 6의 배치 방법을 이용하여 각각의 전위차계의 동작 조건을 이용하여 0-360도까지의 위치를 빈틈없이 파

약하기 위한 알고리즘은 Fig. 7과 같다. 우선적으로 모터가 회전하면서 현재의 모터축이 어느 센서의 선형 구간에 있는지를 먼저 체크하고 판정된 센서의 값을 읽어서 절대 값으로 변환하는 과정을 거쳐서 한 회전내의 절대 위치를 읽게 된다. Fig. 7의 알고리즘에서 각각의 전위차계는 380도의 절반씩을 나눠 각각의 위치를 보상하게 된다.

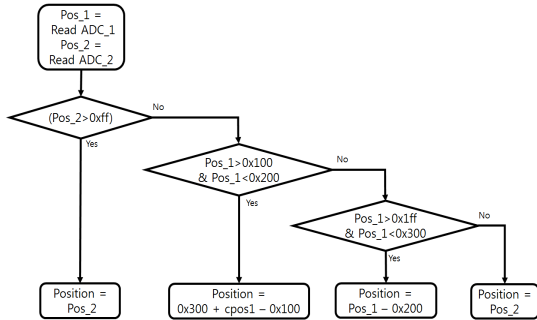


Fig. 7. Absolute angle detection algorithm

따라서 상기 알고리즘을 이용하면 모터의 회전각을 0 부터 360도 까지 정확하게 감지 할 수 있다. 이러한 알고리즘을 이용하여 완구 블록이 동작을 기억하고 재생하기 위해서는 다음과 같이 실행한다. 우선 기억하기 위한 방식으로는 모터의 위치를 기억하여야 하므로 또한 정해진 시간 동안 기억하기 위해서는 임의의 시간 간격으로 현재의 위치를 읽어서 저장하게 된다. 저장하는 위치는 외부 EEPROM이므로 얼마간 저장할 수 있는지는 저장장치에 4K 바이트를 감안하고 50ms주기당 한 번씩 데이터를 기록하고 데이터의 크기는 16비트이기 때문에 이를 고려하여 1000개의 데이터를 지정할 수 있으며 시간상으로는 50초의 데이터를 기록하게 된다. 재생은 반대로 기록된 데이터를 추출하는데 저장된 시간간격인 50ms단위로 추출하여 모터 제어는 5ms로 수행하게 된다. Fig.8은 모터가 회전하기 위해 저장된 값을 가져와서 실제 움직여야 할 값으로 정의하고 현재의 센서 값을 읽어서 이동할 각을 찾는 과정을 보여준다.

Fig. 8(a)는 정상적으로 현재의 값이 190도 일 때 170도를 움직일 때의 과정을 나타낸다. 이때는 정상적으로 구동하는데 문제를 나타내진 않는다. 그러나 (b)나 (c)의 과정에서는 실제 차이가 20도 밖에 나지 않으나 차분을 계산하면 340혹은 -340이 되기 때문에 실제 추적해야 할 값이 차이가 난다. 따라서 한 바퀴 내에서의 저장과 실행은 문제가 되지 않지만 사용자가 (b),(c)와 같이 다

회전을 시도하면 회전 데이터를 알 수 없기 때문에 재생에 문제가 생기게 된다.

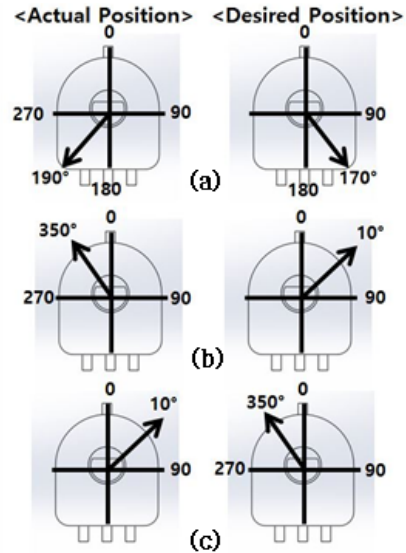


Fig. 8. Several cases of position tracking

따라서 별다른 처리를 하지 않으면 다 회전의 형태를 알 수 없는 문제가 생긴다. 이를 해결하기 위해서 다회전인 경우는 다회전이 되었는지를 체크하는 알고리즘을 만들게 된다. 다 회전 체크는 바로 전 표본화 값과 현재 표본화 값의 차이로 임의의 설정치 이상 되면 회전을 판별하는 구조로 수행한다. 이에 대한 알고리즘은 Fig. 9와 같다. 즉, 위치의 차이를 우선 구하고 차이가 512값, 즉 180도 이상 차이가 나면 1회전 이상의 회전이 일어났다고 감지하여 보정하는 알고리즘을 표현 하였다.

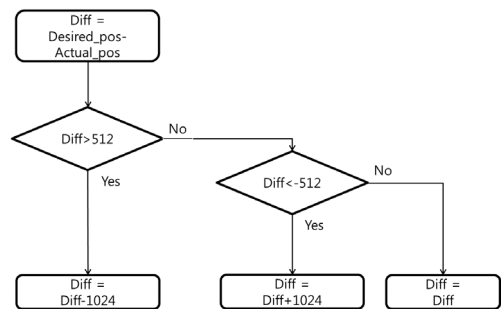


Fig. 9. Multi-turn check algorithm

상기 방식을 이용하여 다 회전시의 문제점을 해결할 수 있었다. 제안된 알고리즘은 실험에 사용되는 모듈형

완구의 구동부에 채택하여 구현하였다. Fig. 10은 전체 모터 구동부에 대한 블록선도를 표현하였다. 모터는 PWM으로 구동되고 재생을 위한 모터각의 위치는 궤적 재생에서 추출되고 다 회전 처리 알고리즘을 통하여 PID 제어기로 입력되고 모터를 PWM으로 제어하게 된다. 그리고 출력측에 부착된 다중 센서를 이용하여 절대각을 측정하여 다시 제어 입력으로 되돌리는 구조를 사용하였다.

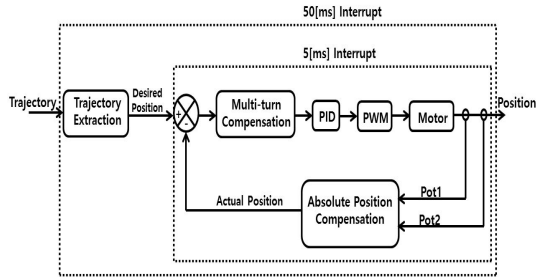


Fig. 10. Overall motor control block

모터 제어 알고리즘은 5ms 간격으로 수행되게 하였으며 궤적추출 알고리즘은 50ms 간격으로 처리하여 임의의 시간동안 안정되게 재생되는 형태로 구성 하였다.

3. 동작 실험

제안된 알고리즘을 이용하여 간단하게 한 바퀴 내의 몇 개의 설정된 위치를 저장하고 실행시키는 동작을 Fig. 11과 같이 수행하였다.

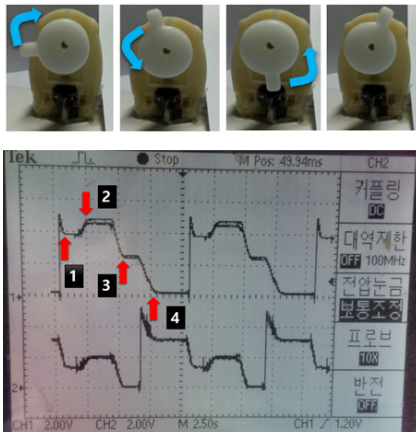


Fig. 11. Position tracking within one turn.

전체 동작은 10초 동안 동작을 기록하고 수행하였다. 동작 방법은 그림에 표시 된바와 같이 초기위치에서 시계 방향으로 45도 회전한 후(1) 다시 (2)에서부터 반시계 방향으로 180도(3) 움직이고 또 다시 150도(4) 회전하는 상황을 나타내었다. (1)번부터 (3)번 상황은 하단 전위차계를 이용하였으며 (2)번 (4)번 상황은 상단 전위차계를 이용하였다. 하단의 파형을 보면 각각의 위상 변화 시에는 전위차계의 상단에는 각각 불안정한 부분이 보여 서로 다른 값을 읽어서 보완하게 만들었다 즉 한 바퀴 내에서의 두 개의 전위차계가 각각의 구간에 적절히 동작함을 알 수 있었다. 이번에는 한 바퀴 이상의 동작을 기억시키고 재생하는 실험을 Fig. 12와 같이 수행하였다. 우선 모터를 시계방향으로 150도 돌려서 위치시키고(1) 또 다시 150도로 돌린 후(2) 다시 시계 방향으로 170도 돌려 (3) 1회전 이상을 표현하고 다시 반시계 방향으로 45도 돌려(4) 원래 위치로 복원하는 동작을 구현하였다.

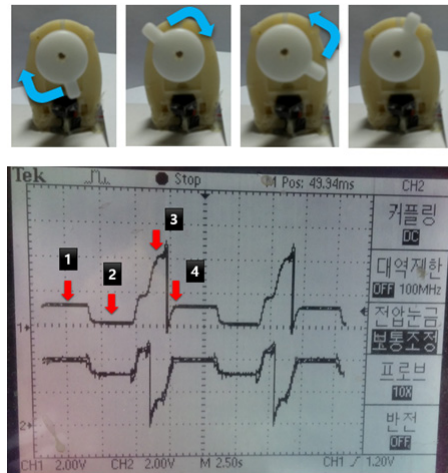


Fig. 12. Multi-turn position tracking

이때 (1)번과 (3)번은 상단 전위차계를 이용하였고 (2)번과 (4)번은 하단의 전위차계를 이용하였다. 바퀴가 한 바퀴 이상 기록하여도 재생에 문제가 없이 잘 동작함을 알 수 있었다. 전술한 동작을 실험 결과를 바탕으로 한 회전 내 및 다 회전에서 동작을 기록 재생하는데 문제 없음을 알 수 있었다.

4. 결론

모듈형 유아용 완구에서 기록 및 동작을 반복하는 구

조를 제안하였고 동작을 실험하였다. 이런 동작을 위해 요구되는 위치 센서의 불안정한 구간에 대한 보상이 필요하며 이를 위한 이중 진위차계 방식을 제안하고 구동 알고리즘을 구현하였다. 이러한 보완 방식을 이용하여 다 회전이 필요로 하는 모듈형 완구의 각종 창의적인 동작에의 적용이 가능하게 되었다. 향후 다양한 동작을 통하여 기록과 재생의 기능을 확대해 나갈 것이다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 논문은 2016년 산업통상자원부의 산업기술혁신사업(10065090)지원과제 지원을 받아 수행된 것임.

REFERENCES

[1] H. Woo, M. Yeom and D. Jung, "An Analysis on the UCC Media for STEAM Integrated Education," *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol. 7 No. 1, pp. 43-48, 2016.

[2] P. Marshall, S. Price and Y. Rogers, "Conceptualising tangibles to support learning," *Proceedings of the 2003 conference on Interaction Design and Children*, pp. 101-109, 2003. DOI: 10.1145/953536.953551

[3] C. O'Malley and D. S. Fraser, *Literature Review in Learning with Tangible Technologies*, NESTA Futurelab Report 12, 2005.

[4] A. Aratijo, D. Portugal, M. Couceiro and R. P. Rocha, "Integrating Arduino-based educational mobile robots in ROS," *Proceedings of the 13th International Conference on Autonomous Robot Systems(Robotica)*, pp. 1-6, 2013. DOI: 10.1109/Robotica.2013.6623520

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

[6] LEGO Mindstorms, "LMSUser Guide LEGO MINDSTORMS EV3 11 Tablet ENUS," <http://mindstorms.lego.com>, 2017. 3.

[7] H. Raffle, A. Parkes and H. Ishii, "Topobo: A Constructive Assembly System with Kinetic Memory," *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 647-654. 2004. DOI: 10.1145/985692.985774

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

저 자 소 개

이진규(Jin-Gyu Lee)

[학생회원]



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

<관심분야> : 임베디드시스템, 지능제어

이보희(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

김종태(Kim Jong Tae)

[정회원]



- 1997년 2월 : 인하대학교 기계공학과 학사
- 1999년 2월 : 인하대학교 자동화공학과 석사
- 2001년 8월 : 인하대학교 자동화공학과 박사수료

• 2003년 7월 ~ 2015년 7월 : 삼성전자 책임연구원

• 2015년 10월 ~ 현재 : 팀보로봇 대표

<관심분야> : TUI(Tangible User Interface), 로봇틱스, 융합

박 지 엽(Ji-Youp Park)

[정회원]



- 2004년 : 오하이오 주립대 기계공학 학사
- 2007년 : 오하이오 주립대 기계공학 석사
- 2008년 ~ 2014년 : 삼성전자
- 2014년 ~ 현재 : 토포보코리아

<관심분야> : 기어 동역학, 기어 진동/소음

공 정 식(Jung-Shik Kong)

[중신회원]



- 1998년 2월 : 인하대학교 자동화공학과 학사
- 2006년 2월 : 인하대학교 자동화공학과 박사(통합과정)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 인덕대학교 기계설계학과 조교수

<관심분야> : 로봇 제어, 지능 제어, 계측