

논문 2014-51-2-28

확장성과 부하 경감을 고려한 교육용 로봇 시스템 개발

(Development of the Educational Robot System Considering for Extension and Load Reduction)

이 승 희*, 최 득 성*

(Seung-Heui Lee[Ⓒ] and Deuk-Sung Choi)

요 약

본 논문에서는 기존의 교육용 로봇을 개선한 새로운 로봇 시스템을 설계하고 제작하였다. 구현 방법으로는 제어 모듈의 메인프로세서로 ARM Cortex-M3와 보조프로세서로 각 센서모듈에서 들어오는 데이터를 처리하기 위해 AVR ATmega2560을 이용하여 제작하였다. 개발된 센서 모듈의 프로세서는 AVR ATmega8을 사용하였다. 메인컨트롤러가 처리해야 하는 부하를 덜어주기 위해 각 프로세서들과의 통신은 IIC 통신을 사용하였다. 또한 확장성을 보장하기 위해 허브 모듈을 채택한 교육용 로봇 시스템을 개발하였다.

Abstract

In this paper, a new robot system is designed and manufactured to improve the educational robot. The main processor is realized using the ARM Cortex-M3 and the co-processor is implemented by AVR ATmega2560 to deal with data coming from sensor modules. The processor of sensor modules was developed by the AVR ATmega8. The communication system is composed with IIC communication to alleviate the load of main processor. We have developed the educational robot system adopting the hub module for extension characteristics.

Keywords : Educational robot, LEGO mindstorms NXT, Sensor module, IIC communication, Kalman filter

I. 서 론

현대의 로봇 산업은 자동차 산업 규모 이상의 성장 잠재력을 가진 신성장동력 산업으로 많은 주목을 받고 있다. 이에 따라 로봇에 대한 교육의 중요성 또한 강조되고 있다^[1]. 국내에서도 2009년을 기준으로 약 3,500여 개 이상의 초등학교에서 교육용 로봇을 이용한 방과 후 수업이 진행되고 있으며^[2-3], 실업계 고교 및 대학에서도 로봇 관련 학과들이 지속적으로 신설되고 있으며, 한 해 동안 로봇 관련 각종 경진대회 참가 인원은 약 4만여 명에 달하는 등 로봇에 대한 교육이 매우 주목받

고 있으며 활성화 되어 있다^[4].

2012년 한국로봇산업진흥원서 제시한 자료에 의하면 현재 국내 개인 서비스 로봇 분야에서 교육용 로봇은 에듀테인먼트 로봇사업 본격화에 따른 생산, 내수, 수출 모두 꾸준한 증가세를 유지하고 있다. 국내에도 교육용 로봇을 개발하는 곳으로 유진로봇, 동부로봇, (주)미니로봇, SRC(주)의 휴나로보 등이 있지만, 국내에서 개발된 시스템의 경우 창의성과 호환성, 교육용 콘텐츠의 한계^[5] 등에 의해 대부분이 수입에 의존하고 있으며 전 세계적으로 가장 많이 판매되고 연구에 활용되고 있는 교육용 로봇 시스템으로 LEGO MINDSTORMS NXT 시스템이 있다^[6-7].

NXT 시스템을 이용하여 간단한 라인트레이서와 같은 로봇에서부터 실 구조물과 유사한 모의 시스템을 구성하여 동작시키는 것도 가능하며, 그 외에도 사용자들

* 정회원, 영남이공대학교 전자정보계열
(Div. of Electronics & Information Engineering,
Yeungnam College of Science & Technology)

Ⓒ Corresponding Author(E-mail: youneye@naver.com)

접수일자: 2013년11월27일, 수정완료일:2014년1월28일



그림 1. NXT 시스템의 구성
Fig. 1. Configuration of NXT System.

의 창의성에 따라 여러 가지로 구성이 가능하다. 하지만 NXT 시스템은 그림 1과 같이 메인컨트롤러 모듈과 센서 모듈 사이의 물리적 연결 제한성으로 인해 단일 메인컨트롤러 모듈로는 다양한 응용의 어려움과 창의성 저하, 고 비용 등의 의견이 제시되고 있다^[8]. NXT 시스템의 경우 메인컨트롤러 모듈에 연결할 수 있는 전용포트의 개수는 센서 모듈 4개와 액추에이터 모듈 3개로 한정되어 있다. 이것은 간단한 시스템의 구현일 경우 충분해 보이지만, 복잡한 시스템을 구현하기 위해서는 확장성에 제약을 받게 된다.

II. 시스템의 구성

1. 시스템 설계

그림 2는 개발된 메인컨트롤러 모듈 시스템의 구성도이다. 메인컨트롤러 모듈에 메인프로세서는 32bit ARM Cortex-M3인 STM32F103을 사용하고, 보조프로세서는 AVR ATmega2560을 사용하였다. 또한 2 Line을 이용한 IIC 통신을 적용하여 이론적으로는 무한한 확장이 가능하다. 개발된 메인컨트롤러 모듈의 외형은 NXT 시스템에서 사용하는 700여개의 부품과 호환이 될 수 있도록 제작하였다. 개발된 제어 시스템은 ATmega2560에서 각 센서 보드에 있는 MCU와 IIC 통신을 하고 또한 STM32F103과도 IIC 통신을 하여 센서

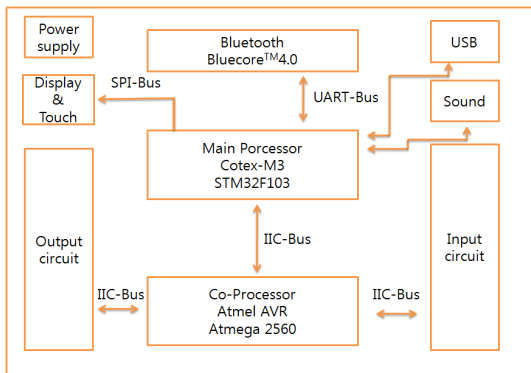


그림 2. 개발한 메인컨트롤러의 블록도
Fig. 2. Block Diagram of Developed Main Controller.

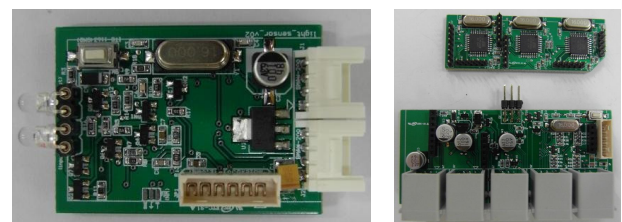
모듈과 메인컨트롤러 모듈 간에 통신을 IIC 통신으로 단일화시켰다.

개발된 시스템은 초보자도 직관적으로 쉽게 사용할 수 있는 NXT-G 소프트웨어 프로그램 형식과 유사한 전용 그래픽 프로그램을 제공한다. 개발된 시스템을 제어하는 소프트웨어 프로그램은 NXT 시스템과 동일한 방식으로 텍스트 기반의 컴퓨터 프로그래밍 언어가 아닌 일반인도 배우고 사용할 수 있도록 아이콘화 된 소프트웨어 프로그램이다. 이것은 LD/FBD 언어라 하여 릴레이 논리에 기반을 둔 PLC 언어로써 좌측에서 우측으로 프로그램이 실행되고, 다음으로 상측에서 하측으로 프로그램이 실행되는 알고리즘을 따르고 있다.

2. 센서 모듈

개발된 시스템의 가장 큰 특징은 센서 모듈에 있는데, 각각의 센서 모듈 마다 내부에 데이터를 직접 처리하는 프로세서가 내장되어 있기 때문이다. NXT 시스템의 경우 메인컨트롤러 내부의 프로세서에서 모든 센서 모듈과 액추에이터 모듈을 제어하기 때문에 사용할 수 있는 숫자가 제한될 수밖에 없다. 이 문제를 해결하기 위하여 그림 3(a)와 같이 개발된 시스템의 각 센서 모듈마다 ATmega8을 내장하고 메인컨트롤러의 프로세서와 IIC 통신을 통해 제어하는 방식으로 설계하였다.

이 때문에 각 센서 모듈에서 외부 커넥터를 두 개 사용하여 각기 ID만 부여가 된다면 센서 모듈 상호간에도 연결을 통하여 메인컨트롤러 모듈에서의 연결 포트의 개수 제한 없이 확장 사용이 가능하다. 또한 그림 3(b)와 같이 젠더 개념의 허브를 사용하여 NXT 센서 모듈 뿐 아니라 다른 교육용 로봇 시스템의 센서 모듈을 개발된 시스템의 메인컨트롤러 모듈에 연결하여 사용할 수 있도록 하였다. 이 허브 모듈 개발로 인해 센서 및 액추에이터의 확장이 어려운 기존 교육용 로봇 제품의 단점이 해결되었다.



(a) (b)

그림 3. (a) 센서 모듈 (b) 허브
Fig. 3. (a) Sensor Module (b) Hub

3. IIC 통신 방식

IIC 통신 방식은 2개의 Bus를 사용하여 주변 기기와 통신하는 방식이다. 양방향 데이터 전송이 가능하고 총 3가지 모드로 동작을 한다. 이 3가지 모드에 따라 통신 속도가 다른데, 표준 통신 모드일 경우 100Kbps의 통신 속도를 가지고 중속 통신 모드일 경우 400Kbps, 고속 통신 모드일 경우 3.4Mbps의 통신 속도를 가진다. 또한 IIC 통신은 1:1통신이 아닌 1:다통신이 가능하며 Load Bus Capacitance가 400pF이하라면 몇 개의 IC를 같은 Bus 라인에 연결할 수 있다는 장점이 있다.

IIC 통신에 사용되는 2개의 Line은 SDA(Serial Data Line)와 SCL(Serial Clock Line)이며, 데이터 전송과 기준 클럭을 발생/중지시키는 마스터와 그 마스터의 신호를 받는 슬레이브로 나누어진다. 1:다통신을 하는 대부분의 단자가 그러하듯이 IIC 통신을 Wired-AND로 하기 위해서는 연결된 디바이스 출력 단자는 open-drain 또는 open-specification에 연결되어야 한다^[9].

그림 4는 IIC 통신을 하기 위해 전송되는 주기를 나타낸 것이다. 우선 시작 신호를 보내야 하는데, 이것은 마스터가 슬레이브에 전송 시작을 알리기 위한 것이다. 다음으로 슬레이브의 주소를 전송하고 난 뒤 데이터를 읽을 것인지 쓸 것인지를 결정한 뒤 데이터를 전송하게 된다. 데이터 전송이 끝난 뒤에는 ACK 신호를 받게 된다. ACK 신호는 통신을 하고 난 뒤 데이터가 제대로 전송이 되었는지를 판단하는 신호이다.

4. Kalman Filter

칼만 필터는 표적의 상태 예측 및 추정에 사용되는 필터로 군용으로 탐색 및 추적레이타의 추적용 필터, 사격통제 장비의 사격제원 산출 등에 사용되는 필터이다. 칼만 필터는 1960년대 초 Kalman이 선형 시스템의 상태변수를 추정하는 방법으로 칼만 필터를 소개한 이후 각종 응용분야에 대한 연구가 지속적으로 진행되어 왔다. 칼만 필터 알고리즘의 필터링 수행과정은 그림 5와 같이 과거의 예측치와 현재의 측정치를 이용하여 현

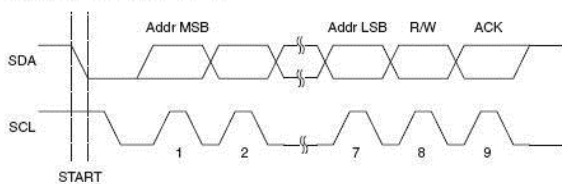


그림 4. IIC 통신 파형
Fig. 4. IIC Communication Wave.

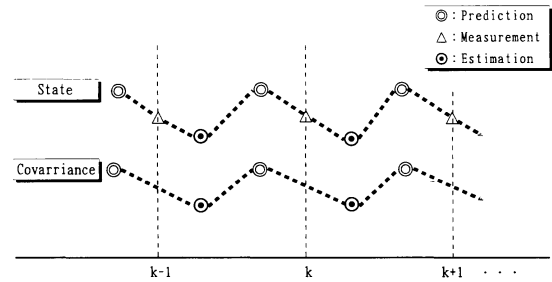


그림 5. 칼만 필터 타이밍 다이어그램
Fig. 5. Timing diagram of Kalman filter.

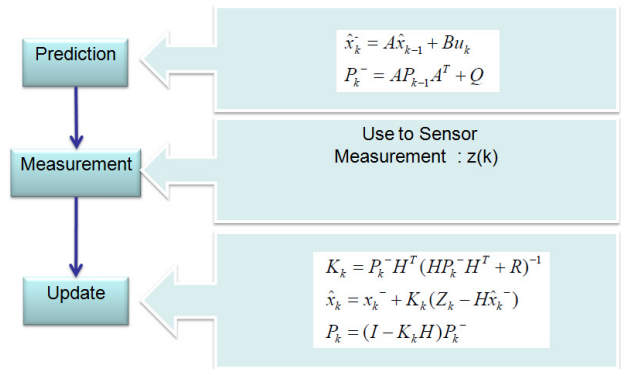


그림 6. 칼만 필터 설계 알고리즘
Fig. 6. The Design Algorithm of Kalman Filter.

재 시점에 대한 추정치를 계산하고 현재 시점의 추정치로부터 미래 시점에 대한 예측치를 반복적으로 계산한다. 이와 같이 칼만 필터 알고리즘은 예측->측정->추정 순으로 반복되는 선형적 순환 구조를 가지며 표적의 미래 상태 예측 계산에 이전 상태의 추정치만이 사용된다^[10~12].

$$\begin{aligned} X(k) &= AX_{k-1} + BU_k + W_{k-1} \\ Z(k) &= HX_k + V_k \end{aligned} \tag{1}$$

식 (1)에서 X(k)는 상태 벡터이고, U(k)는 입력 벡터이다. W(k)는 입력 오차에 의한 처리 잡음이고, V(k)는 센서 오차에 의한 측정 잡음 이다. 이러한 칼만 필터는 센서들의 초기 오차를 줄이고 노이즈 발생을 줄여주는 효과가 있다. 본 연구에서는 칼만 필터 Gain을 1로 하여 설계하였다. 그림 6은 칼만 필터 설계를 위한 알고리즘이다.

III. 실험 및 성능 분석

1. 센서 성능 실험

본 논문에서는 개발된 센서에 칼만 필터를 적용한 실험을 진행하였다. 기존 NXT에 있는 3종류의 센서인 광

센서, 마이크 센서, 터치 센서를 실험하였고, 센서의 객관적인 성능 평가를 위해 약 3시간의 연속시간동안 1초의 단위로 시간의 흐름에 따른 센서 값의 오차범위를 측정하였다.

가. 광 센서

광 센서 또한 외부에서 입력되는 빛을 차단하고 암실 공간에서 실험을 진행하였다. 그림 7은 광 센서의 데이터를 그래프로 나타낸 것이다.

그림 7의 x축은 시간을 나타내며, 1초 단위로 10000 초 동안 측정하여 결과를 얻었다. y축은 실제 측정된 ADC 데이터 값을 나타낸 그래프이다. 광 센서의 경우 외부의 입력이 없는 상태에서도 개발된 시스템에서 초기 오차가 발생하였다. 이러한 초기 오차를 줄이기 위해 칼만 필터를 적용하여 초기 오차를 줄일 수 있었고 또한 간헐적으로 측정되는 오차들을 줄이는 칼만 필터 효과를 볼 수 있다.

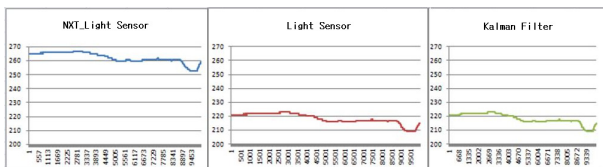


그림 7. 광 센서 실험 결과
Fig. 7. Result of Light Sensor.

나. 마이크 센서

마이크 센서는 외부의 소리를 차단한 상태에서 실험을 진행하였다. 그림 8은 마이크 센서의 데이터를 그래프로 나타낸 것이다.

그림 8의 x축은 시간을 나타내며, 1초 단위로 10000 초 동안 측정하여 결과를 얻었다. y축은 실제 측정된 ADC 데이터 값을 나타낸 그래프이다. 마이크 센서의 경우 외부의 입력이 없는 상태에서도 개발된 시스템에서 초기 오차가 발생하였다. 그러나 칼만 필터를 적용하여 초기 오차가 줄여진 것을 볼 수 있다. 개발된 마이크 센서는 초기에 스위치 ON을 하였을 때 초기 노이즈

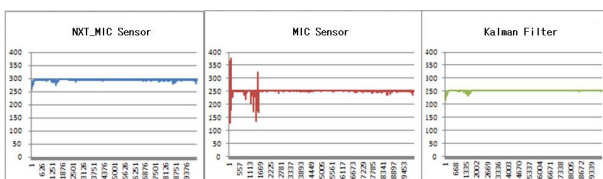


그림 8. 마이크 센서 실험 결과
Fig. 8. Result of MIC Sensor.

를 측정할 수 있었다. 칼만 필터를 적용하여 센서를 측정하게 되면 센서의 초기 오차를 줄일 수 있는 장점이 있다.

다. 터치 센서

터치 센서는 외부 입력 없이 스위치가 ON이 되었을 때의 메인컨트롤러에서의 신호를 측정하였다. 그림 9는 터치 센서의 데이터를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 알 수 있듯이 두 센서의 초기 기준 값의 차이가 있을 뿐, 동일한 결과를 보여주고 있다.

그림 9의 x축은 시간을 나타내며, 1초 단위로 10000 초 동안 측정하여 결과를 얻었다. y축은 실제 측정된 ADC 데이터 값을 나타낸 그래프이다. 터치 센서의 경우 칼만 필터를 적용한 센서 값이 동일한 오차를 가지면서 측정되었다, 이것은 터치 센서의 경우 ON/OFF 기능만을 확인하기 때문에 이러한 결과를 얻을 수 있었다.

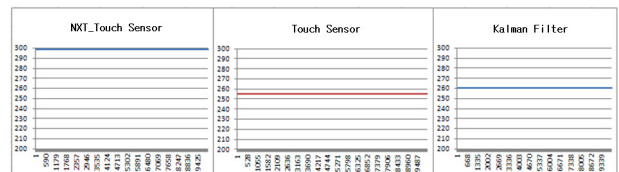


그림 9. 터치 센서 실험 결과
Fig. 9. Result of Tough Sensor.

2. 라인트레이서를 이용한 성능 분석

기존의 NXT 시스템을 사용하여 조립한 로봇과 새롭게 개발된 시스템을 사용하여 조립한 로봇의 성능을 비교 분석하기 위해서 라인트레이서 로봇을 동일하게 조립을 하였다. 라인트레이서는 1개의 광 센서 모듈과 2개의 액추에이터 모듈을 이용하여 흰색 선을 따라 가는 로봇이다. 광 센서는 최대한 바닥에 붙여서 외부 간섭을 받지 않도록 시스템을 구현하였다. 앞바퀴는 전 방

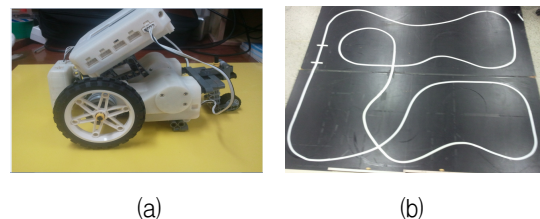


그림 10. (a) 개발된 시스템으로 조립한 라인트레이서
(b) 라인트레이서 주행경로
Fig. 10. (a) Line Tracer
(b) Driving path of Line Tracer.

표 1. 라인트레이서 주행 시간
Table 1. Result time of Line Tracer.

구분	NXT	개발된 시스템
주행시간(sec)	40	31

향으로 회전이 가능하도록 하며, 방향 전환 시 광센서 모듈이 지면에서 떨어지는 간격이 발생하지 않도록 구현하였다. 1개의 광 센서를 이용하여 시스템을 구현하였기 때문에 정밀한 제어는 하기 힘든 단점이 있으나 두 로봇의 성능을 분석하는 데는 문제가 없었다.

그림 10(a)는 개발된 시스템으로 조립한 라인트레이서 로봇 이다. 그림 10(b)는 성능 비교를 위한 동일 주행경로를 위한 테스트 베드이다.

성능 비교를 위한 라인트레이서는 광 센서 하나를 이용해 로봇을 제어하기 때문에 과거의 로봇 방향을 항상 메인컨트롤러 모듈에서 알고 있어야 한다. 로봇 방향은 액추에이터 모듈에 내장된 엔코더를 이용하여 과거의 로봇 방향을 판단하고 광 센서를 이용하여 선을 인식하여 인식하는 방향의 반대 방향으로 로봇을 주행하게 하는 알고리즘으로 로봇이 전방으로 주행하며 선을 따라 움직이게 된다.

시작 지점에서 도착 지점 까지 걸린 시간을 10회 측정하여 평균 주행시간을 비교 하였다. 표 1에서 볼 수 있듯이 NXT 시스템보다 개발된 시스템으로 구성된 라인트레이서의 주행 성능이 약 23% 향상된 것으로 보인다. 이것은 센서 모듈 안에 장착된 프로세서를 이용하여 더욱 정밀하고 빠른 속도를 낼 수 있으며, 개별적으로 센서 모듈이 동작하기 때문에 NXT 시스템보다 빨리 동작을 할 수 있다는 것을 알 수 있다.

IV. 결 론

로봇이라는 하드웨어를 인간의 요구 행동과 학습 및 인지 등의 행동양식으로 프로그래밍하고 실습할 수 있는 교육용 로봇 시스템은 산업용 로봇과 비교해 좀 더 다채로운 인지능력과 동작 하드웨어 등이 요구된다.

이를 위해서는 확장성이 중점적으로 요구되고 특히 교육용의 특성상 최적화 되지 못한 소프트웨어 프로그래밍에 대비한 프로세서 부하 회피 등이 필요하다. 본 논문에서는 기존 NXT 시스템의 센서 모듈에는 없는 프로세서를 새로이 개발한 센서 모듈에 적용하여 보다 안정적이고, 빠른 데이터 처리를 할 수 있도록 설계 하였다. 또한 LEGO MINDSTORMS NXT 시스템의 단

점을 보완하고 호환이 가능한 시스템을 개발하기 위해 확장성을 고려한 구조를 유지하면서 센서와 액추에이터를 최대 128개까지 연결할 수 있도록 IIC 통신을 적용하여 시스템을 개발하였다. 아울러 기존 교육용 로봇의 센서 및 액추에이터를 사용할 수 있도록 각 제조사에 맞는 허브를 개발하였다. 개발된 센서 모듈의 측정 오차를 줄이기 위해서 칼만 필터를 적용하였다. 그리하여 기존의 교육용 로봇 시스템과 호환성을 유지하면서 메인컨트롤러가 처리해야 하는 부하를 덜어주는 확장성을 고려한 구조의 새로운 교육용 로봇 시스템을 개발하였다.

REFERENCES

- [1] Jeong-suk Jeong, Hyun-wook Nam, "Effect of LEGO base Engineering Invention Education on Children's Brain," KPAE, Journal of Practical Arts Education, Vol. 22, no. 3, pp. 275-293, 2009.
- [2] Wae-Shik Moon, "A Programming Language Learning Model Using Educational Robot," KAIE, Journal of The Korean Association of Information Education, Vol. 11, no. 2, pp. 231-241, 2007.
- [3] Jeong-Hye Han, Miheon Jo, "Robot-Assisted Learning in r-Learning," KAIE, Journal of The Korean Association of Information Education, vol. 13, no. 4, pp. 497-508, 2009.
- [4] Kang Yi, "A Case Study of Introduction to Engineering Design Course using LEGO MINDSTORM NXT," KSEE, Journal of Society for Engineering Education, Vol. 12, no. 2, 2009.
- [5] Jeong Beom Song, Yun Ju Jeon, Bok Mun Jeong, Tae Wuk Lee, "Development of the Unplugged Educational Robot System," KACE, Vol. 16, no. 2, pp. 141-144, 2012.
- [6] D. Benedettelli, M. Casini, A. Garulli, A. Giannitrapani, A. Vicino, "A LEGO Mindstorms experimental setup for multi-agent systems," IEEE Conference Publications, pp. 1230-1235, 2009.
- [7] Marco Casini, Andrea Garulli, Antonio Giannitrapani, Antonio Vicino, "A LEGO Mindstorms multi-robot setup in the Automatic Control Telelab," In Proc. of the 18th IFAC World Congress, Vol. 18, no. 1, pp. 9812-9817, 2011.
- [8] Jang ho-yeon, Ryoo seung-taek, Park jin-wan, "SVG Based Realtime Drawing Using NXT Robot," The Korea Contents Association,

- Proceedings of the Korea Contents Association Conference, Vol. 7, no. 1, pp. 146-151, 2009.
- [9] Jung-Ha Kim, Sung-Geun Lee, Keel-Soo Rhyu, Dong-Hoan Seo, "Application of I2C Communication for Network Servomotor Control," The Korean Society of Marine Engineering, pp. 233, 2012.
- [10] Hyunuk Ha, Jangmyung Lee, "A Control of Mobile Inverted Pendulum using Single Accelerometer," Institute of Control, Robotics and System, Vol. 16, no. 5, pp. 440-445, 2010.
- [11] Jiyoung Kim, Jihong Lee, Jaemin Byun, Sunghun Kim, "Localization Performance Improvement for Mobile Robot using Multiple Sensors in Slope Road," Journal of the Institute of Electronics Engineering of Korea, Vol. 14, no. 8, pp. 67-75, 2010.
- [12] Mun-Soo Park, Suk-Kyo Hong, "Indirect Kalman Filter based Sensor Fusion for Error Compensation of Low-Cost Inertial Sensors and Its Application to Attitude and Position Determination of Small Flying robot," Institute of Control, Robotics and System, Vol. 13, no. 7, pp. 637-648, 2007.

저 자 소 개



이 승 희(정회원)
1997년 창원대학교 제어계측
공학과 학사.
1999년 창원대학교
전기전자제어공학과 석사.
2004년 부산대학교
메카트로닉스 박사수료

2012년~현재 영남이공대학교 전자정보계열 조교
수

<주관심분야 : 회로설계 및 제어공학>



최 득 성(정회원)
1985년 고려대학교 전자공학과
학사.
1987년 한국과학기술원
전기전자공학과 석사.
1995년 한국과학기술원
전기전자공학과 박사.

2002년~현재 영남이공대학교 전자정보계열 조교
수

<주관심분야 : 반도체 공정 및 소자>