

중공형 관절 구현을 위한 서보 드라이버 개발

A Development of Servo Driver for Implementation of Hollow type Joint Module

문용선* · 노상현* · 조광훈** · 배영철***

Yongsun Moon*, Sanghyun Roh*, Kwang-hoon Cho** and Youngchul Bae***

*순천대학교 정보통신공학공학부, **매크로시스템엔지니어링,

***전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부

*Sunchon National University, **MACRO SYSTEM ENGINEERING CO., LTD.

***Chonnam National University E-mail : ycabe@chonnam.ac.kr

요 약

최근 지능형 로봇 및 산업용 로봇 분야에서 최대 관심 중의 하나는 일체형 구조의 중공형 관절 모듈을 위한 모션 네트워크 기반 서보 드라이버 모듈의 설계 및 구현이다. 본 논문에서는 중공형 드라이버를 설계하고 이를 구현하였으며, 실험을 통하여 개발된 모듈의 성능을 검증하였다.

Abstract

Recently, one of the most interesting issue in the intelligent robot and the industrial robot area is the design and an implementation of servo driver module based on motion network for hollow type joint module of all-in-one structure. In this paper, we designed and implemented for hollow type driver, and also verified the performance of the developed module through the experiment.

Key Word : Hollow type servo driver, Joint module, motion network, motor driver

1. 서 론

현재 지능형 로봇 및 산업용 로봇 분야에서의 최대 이슈 중의 하나는 일체형 구조의 중공형 관절 모듈의 개발에 있다. 일체형 구조의 중공형 관절은 기존의 지능형 로봇 및 산업용 로봇 분야에서 큰 문제로 제기되었던 모터와 드라이버 간의 과도한 케이블 배선 문제를 개선할 수 있으며 중공형 관절 구조로 인하여 모듈의 재구성을 통하여 다양한 시스템으로의 확장이 가능하다는 장점을 가지고 있다.

기존의 고가의 산업용 로봇의 경우 로봇과 로봇을 구동 및 제어하는 드라이버 박스가 별도로 구축되어 있어 이동환경에서의 적용은 사실상 어렵다. 이로 인하여 중소기업에서는 고가의 산업용 로봇을 여러 대 구입을 해야 되는 어려움이 발생한다. 그러나 일체형 구조의 중공형 관절이 적용된 로봇의 경우 외부에 전원 및 통신 케이블만으로 구동이 되므로 이동환경에 최적화되어 사용될 수 있다는 장점을 가지고 있다. 이에 최근에는 중소기업용 로봇의 최대 핵심 기술로서 이러한 일체형 구조의 중공형 관절 모듈 기술이 화두가 되고 있다[1].

본 논문에서는 일체형 구조의 중공형 관절 모듈 구현을 위한 내장 모듈 중 중공형 서보 모터를 구동 및 제어하는 모션 네트워크 기반 서보 드라이버 구현에 대한 내용을 종합적으로 기술하였다.

2. 중공 서보 드라이버 설계 및 구현

2.1. 중공형 관절의 구조

일체형 구조의 중공형 관절은 기계, 전자, 통신 부분이 결합된 최첨단 메카트로닉스 관절 모듈로서 케이블 배선 개선, 유연한 재구성 능력 등의 장점을 기반으로 현재 지능형 로봇 및 산업용 로봇 분야에서 많은 연구가 이루어지고 있다.

이와 같은 일체형 구조의 중공형 관절의 내부 구조는 기본적으로 그림 1과 같이 관절 외부로부터 작용하는 외력의 측정을 위한 조인트 토크 센서, 관절 구동을 위한 중공형 서보 모터, 관절 모터의 전원 및 제어를 담당하는 서보 드라이버, 상위 제어기와 고속 모션 통신을 수행하는 모션 통신 장치 이렇게 4가지로 구성이 된다. [1]

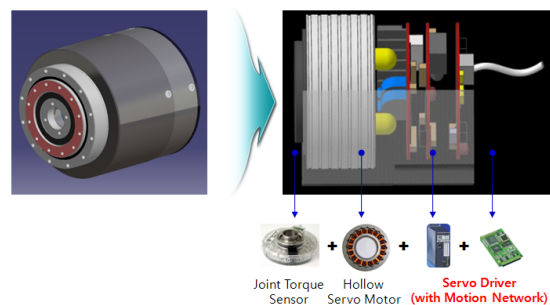


그림 1. 일체형 구조의 중공형 관절

Fig. 1. Hollow type joint of all-in-one structure

접수일자 : 2010년 10월 21일

완료일자 : 2010년 11월 29일

본 논문에서는 중공형 관절 모듈을 구성하는 내장 모듈 중의 하나인 서보 드라이버 모듈에 대한 설계 및 구현에 대한 내용을 기술하였다.

상위 제어기와의 고속의 모션 통신을 통하여 중공형 관절을 구동 및 제어하는 서보 드라이버 모듈은 그림 2와 같이 2장의 보드 형태로 설계를 하였으며 중공형 서보 모터와 중공형 관절 지지대 사이에 삽입되어 결합될 수 있도록 하였다. [1]

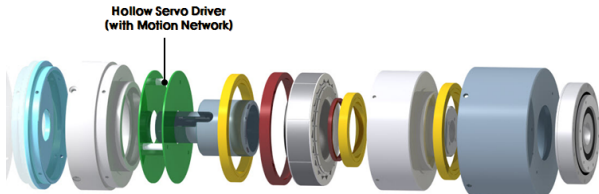


그림 2. 일체형 구조의 중공형 관절 모듈 구조
Fig. 2. Hollow type joint module structure of all-in-one structure

2.2. 중공형 서보 드라이버 설계

중공형 서보 드라이버 부는 크게 상위 제어기와의 고속의 모션 통신을 수행하는 광 모션 통신 인터페이스 부와 중공형 서보 모터를 구동 및 제어하는 인버터 드라이버 부 이렇게 2가지로 구분된다.

1) 광 모션 인터페이스 부

광 모션 인터페이스 부는 최신 산업용 이더넷 기반의 국제 표준 네트워크 기술을 적용하여 관절 모듈과 상위 제어기와의 모션 통신 수행하는 구조를 설계 및 적용하였다. 또한 중공형 구조로 인하여 집약되는 케이블 및 중공형 모터에서 유기되는 각종 EMI 노이즈의 영향에 대한 원천적인 차단을 위하여 물리적인 통신 미디어에 광(Optic) 인터페이스를 적용하였다.

광 모션 인터페이스 부의 기본 구조는 그림 3과 같이 상위 제어기와의 통신 연결을 위한 광 트랜시버, 표준 모션 네트워크와의 연결을 위한 이더넷 PHY 인터페이스 부, 표준 모션 네트워크 인터페이스 기능을 수행하는 네트워크 제어기 이렇게 3가지로 구성되도록 설계를 하였다. 이러한 광 모션 인터페이스 부는 표준 산업용 이더넷 통신의 OSI 계층인 1(Physical), 2(Data Link), 7(Application) 계층 중 1, 2 계층을 커버하고 있으며 마지막 7계층인 Application Layer의 통신 스택은 제어 프로세서 사용된 32bit DSC 내부에 탑재를 하였다. [2][3][4]

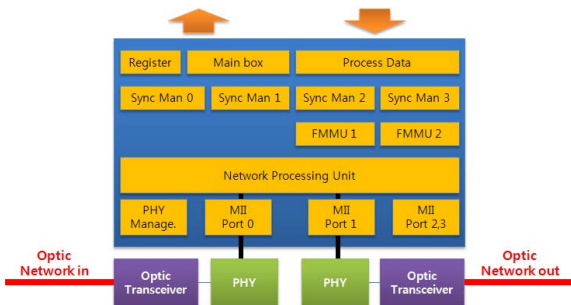


그림 3. 광 모션 인터페이스 부 구조
Fig. 3. The structure of optic motion interface part

2) 서보 드라이버 부

서보 드라이버 부는 광 모션 네트워크 인터페이스를 통하여 수신된 정보를 기반으로 중공형 서보 모터를 구동 및 제어하는 기능을 수행하며, 모터 구동 간 측정되는 전류, 속도, 위치, 에러 상태 등에 대한 피드백 정보를 광 모션 네트워크 인터페이스를 통하여 상위 제어기로 전송하는 기능을 수행한다.

서보 드라이버 부의 기본적인 구성은 서보 모터 구동을 위한 3상 전압형 인버터 부와 모터의 구동 전원 및 보드의 전원을 공급하는 전력 변환 부, 서보 모터 제어 로직을 수행하는 제어 부 이렇게 3가지로 크게 구성이 된다. [5][6][7]

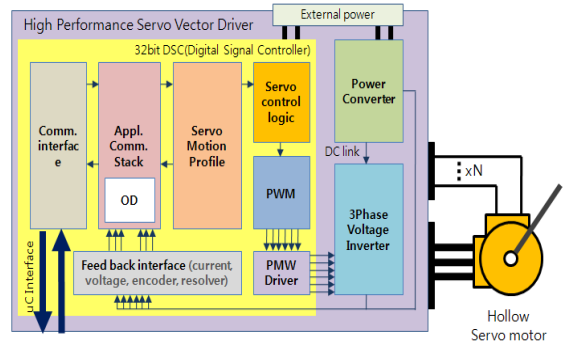


그림 4. 중공형 서보 모터 드라이버 구조
Fig. 4. The structure of hollow type servo motor driver

이상의 그림 4의 서보 드라이버 부는 역할 및 기능에 따라 다시 다음과 같은 2가지 영역으로 구분이 된다.

■ 제어 부

제어 부에서는 표준 모션 네트워크 통신 7계층에 해당하는 어플리케이션 통신 스택을 탑재하고 있으며 통신 스택에 내장된 메일박스와 프로세스 데이터 통신을 통하여 상위 제어기와의 파라미터 설정 정보 및 고속의 모션 정보를 송수신하게 된다. 다음의 그림 5는 표준 광 모션 네트워크 프로토콜의 어플리케이션 통신 스택의 구조를 나타낸다.

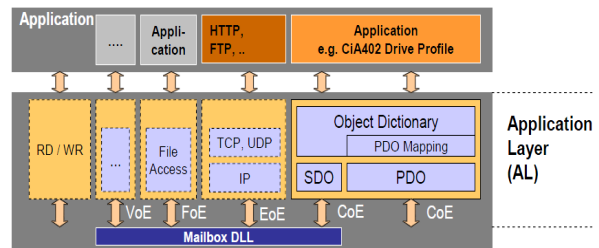


그림 5. 어플리케이션 통신 스택 구조
Fig. 5. The structure of application communication stack

제어부의 또 다른 기능은 어플리케이션 통신 스택을 통하여 송수신된 정보를 기반으로 중공형 서보 모터를 제어하는 기능을 담당하는데 본 논문에서는 고속의 32bit DSC(Digital Signal Controller)를 활용하여 서보 모터의 최신 제어 기법인 자속기준 벡터 제어(FOC) 및 공간 벡터 전압 변조(SVPWM) 기법을 적용함으로써 서보 모터의 고속 제어 및 토크 제어 성능을 극대화 하였다. 다음의 그림 6은 중공형

서보 모터를 위한 벡터 제어 구조를 나타낸다.

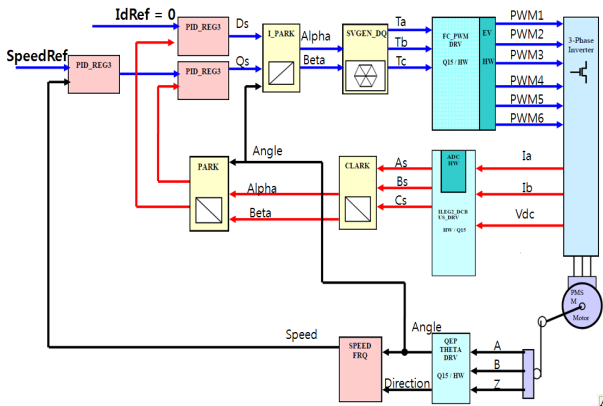


그림 6. 서보모터 벡터 제어 구조 블록도
Fig. 6. Block diagram of servo motor vector control structure

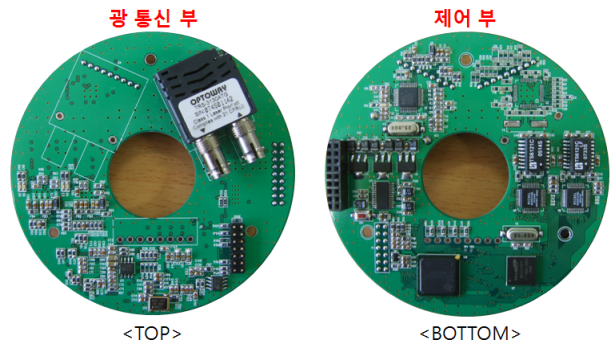


그림 8. 광 모션 통신 및 제어 부
Fig. 8. The communication and control part of optic motion

그림 6은 서보 모터의 구동을 담당하는 3상 전압형 인버터와 서보 모터 전원 및 보드 전원을 생성하는 전력 변환부의 기능을 가지는 인버터 드라이버 보드를 나타낸다.[8]

■ 3상 인버터 부

3상 인버터 부는 3상 서보모터의 구동을 위한 풀 브릿지 인버터 회로 부가 설계되어 있으며, 통신 신호와 모터 구동 신호 사이의 노이즈 개선을 위하여 Isolated DC/DC Converter와 Photo Coupler를 활용한 전원 및 신호 Isolation을 수행하였다.

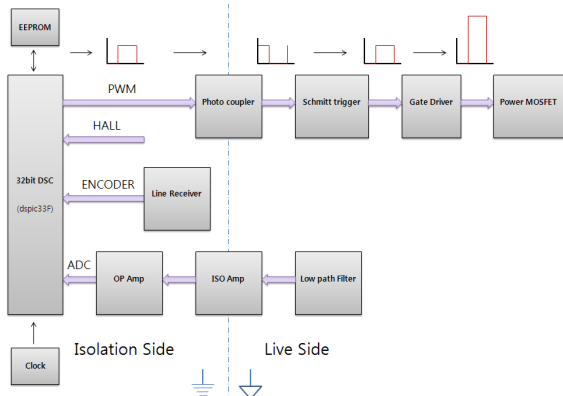


그림 7. 3상 인버터 부 신호 Isolation 구조
Fig. 7. The structure of signal isolation of 3-phase invert part

2.3. 중공형 서보 드라이버 구현

본 논문에서는 상기에서 제시한 설계를 기반으로 광 모션 통신 부와 서보 드라이버 기능을 가지는 중공형 서보 드라이버를 구현하였다. 그림 5는 상위제어기와의 고속의 광 모션 통신을 수행하는 모션 통신 부의 전/후면에 대한 구현 사진을 나타낸다. 그림 5에서 제어 부는 서보 드라이버 부에 포함되나 보드 설계 공간의 원활한 확보를 위하여 광 모션 통신 부 보드 후면에 설계하여 구현하였다. [8]

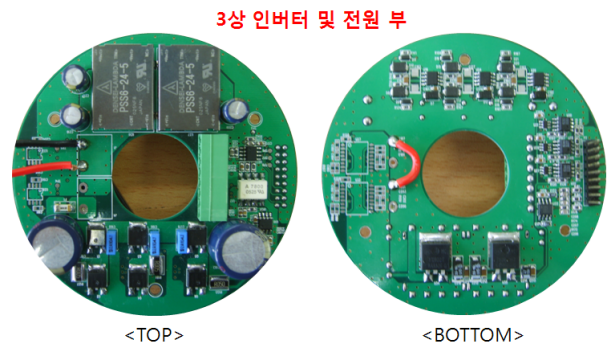


그림 9. 3상 인버터 및 전력 변환 부
Fig. 9. The 3-phase and power transform part

그림 7은 그림 5, 그림 6 보드를 결합한 광 모션 인터페이스를 가지는 중공형 서보 드라이버 보드의 최종 구현 모습을 나타내며 추후 중공형 관절 내부에 삽입 되어 결합이 된다.[8]

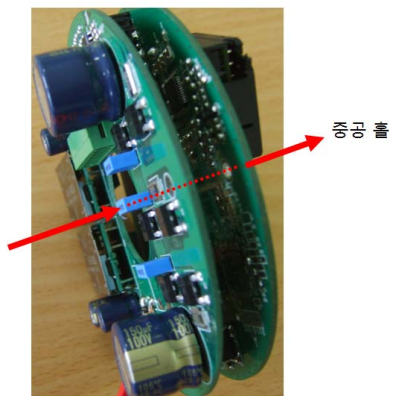


그림 10. 중공형 서보 드라이버 결합 외형
Fig. 10. An external form hollow type servo driver combination

2.4. 동작 제어 실험

본 논문을 통하여 구현한 중공형 서보 드라이버의 동작 실험을 위하여 기 보유한 중공형 모터 모터를 결합한 테스트 시스템을 구현하였다. 테스트 시스템의 구성은 Windows OS가 설치된 상위 제어기로서 사용될 노트북, 본 논문을 통하여 구현된 중공형 서보 드라이버 모듈이 내장된 중공형 관절 모듈, 상위 제어기와의 통신을 위한 광 컨버터, 광 케이블 등으로 구성이 된다.

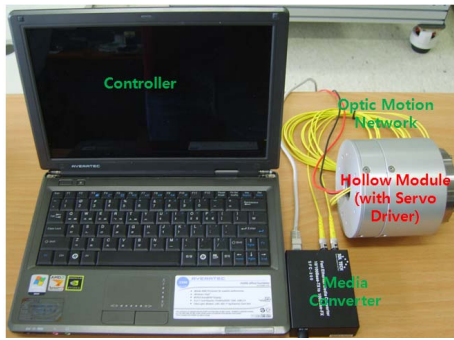


그림 11. 중공형 서보 드라이버 테스트 시스템
Fig. 11. The Test system of hollow type servo driver

동작 제어를 위한 실험 시스템의 구성 및 사양은 표 1과 같다.

표 1. 동작 제어 실험 시스템 구성
Table 1. The configuration of motion control experiment system

항 목		사 양
제어기	타입	- Notebook
	OS	- Windows XP
	Control	- Network Master
광 변환기	이더넷 (RJ45)	- 100BASE-T
	이더넷 (Optic)	- 100BASE-TX
관절 모듈	모터	- Brushless Servo Motor
	출력	- 100W
	속도	- Max. 3000rpm
	감속기	- Harmonic Drive
	감속비	- 100:1

먼저 위치제어 실험을 수행하였다. 그림 12는 입력 위치 펄스로 13000 pulse를 지령하였을 경우의 서보 드라이버의 위치 제어 측정 결과를 나타낸다.

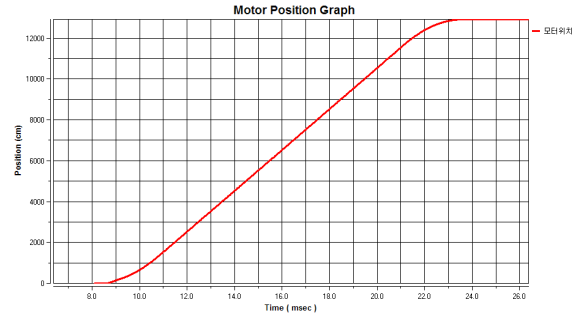


그림 12. 서보 드라이버 위치 응답
Fig. 12. The position response of servo driver

그림 13은 3000 rpm의 속도 지령을 수행 하였을 경우의 속도 지령 응답에 대한 측정 결과를 나타낸다.

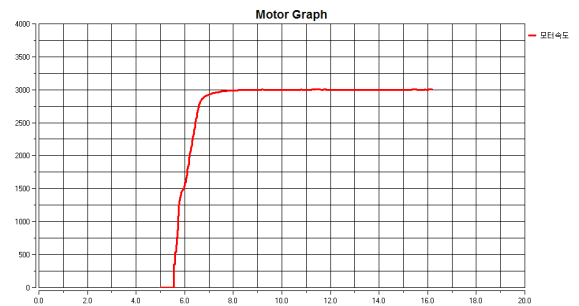


그림 13. 서보 드라이버 속도 응답
Fig. 13. The speed response of servo driver

그림 14은 속도 지령 간에 발생 수행되는 전류 제어기의 응답 파형에 대한 측정 결과를 나타낸다.

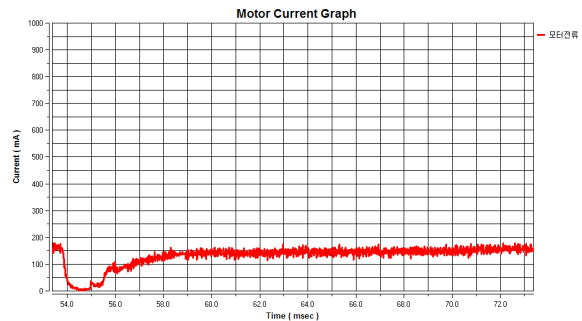


그림 14. 서보 드라이버 전류 응답
Fig. 14. The current response of servo driver

3. 결 론

본 논문에서는 지능형 로봇 및 산업용 로봇 분야에서 차세대 핵심 기술로 평가되는 일체형 구조의 중공형 관절 모듈의 구현을 위한 중공형 서보 드라이버의 구현에 대한 내용을 기술하였다.

중공형 서보 드라이버는 모션 인터페이스 모듈과 인버터 드라이버 이렇게 2가지로 구성되어 설계 되었다. 모션 네트워크 인터페이스는 상위 제어기와의 모션 통신 수행 및 통신 노이즈 차단을 위하여 광 기반의 모션 인터페이스를 적

용한 구조를 사용하였으며 제어부, 인버터부, 전력 변환 부로 구성된 인버터 드라이버는 고속의 32비트 DSC를 적용한 벡터 제어 및 공간 벡터 변조 기술을 적용하여 설계를 하였다.

제시한 설계를 기반으로 실제 중공형 서보 드라이버를 구현하였으며, 동작 실험을 통하여 위치, 속도, 전류에 대한 응답 결과를 확인한 경과 전류 제어에서 전류 파형이 일정 부분 진동한 것을 제외하고는 원하는 지령에 대한 추종이 정상적으로 잘 이루어 졌다. 전류 파형의 진동은 테스트 시스템으로 구축한 중공형 모터와 서보 드라이버 결합 시 중공형 모터의 회전 부가 정밀하게 설계되지 않아 회전시 약간의 마찰이 발생하여 나타난 결과로서 수정이 가능한 부분이다.

본 논문에서는 중공형 서보 드라이버의 동작 테스트를 위하여 기 보유한 중공형 모터를 사용하였다. 향후에는 중공형 서보 모터 및 관절 토크 측정 모듈에 대한 개발을 통하여 일체형 구조의 중공형 관절 모듈을 구현함으로써 종합적인 성능을 검증 하고자 한다.

감사의 글

본 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 지역 혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

This research was financially supported by the Ministry of Education, Science Technology (MEST) and Korea Institute for Advancement of Technology(KIAT) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation.

참 고 문 헌

- [1] DLR, *The DLR Light Weight Robot - Design and Control Concepts for Robots in Human Environments*, 2008
- [2] EtherCAT Technology Group, *EtherCAT Specification V1.0*, 2004.
- [3] Beckhoff, *EtherCAT Slave Controller (ESC10/20 Hardware Data Sheet)*, 2005.
- [4] EtherCAT Technology Group, *EtherCAT Communication*, 2007.
- [5] Texas Instruments, *Implementation of Vector Control for PMSM Using the TMS320F240 DSP*, 1998.
- [6] Microchip *Sensorless Field Oriented Control fo PMSM Motors*, 2007
- [7] 문용선, 이영필, 서동진, 이성호, 배영철, "EtherCAT을 이용한 소프트 모터 제어기 개발에 관한 연구", *한국 지능시스템학회 논문지*, 17권, 6호, pp. 826-831. 2007.
- [8] 문용선, 이광석, 서동진, 이성호, 배영철, "모듈 로봇구현을 위한 모터 제어 드라이버 개발", *한국 지능시스템학회 논문지*, 17권, 7호, pp. 887-892. 2007.
- [9] 문용선, 노상현, 조광훈, 배영철, "RT 미들웨어와 고속네트워크 기술을 이용한 시스템 통합에 관한 연구", *한국*

저 자 소 개



문용선(Yong-seon Moon)

1983년 2월 : 조선대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1989년 2월 : 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
 1992년 ~ 현재 : 순천대학교 정보통신공학부 교수 / 레드윈테크놀러지(주) 기술이사

관심분야 : 산업통신망 및 로봇, 실시간 모션 제어



노상현(Sang-hyun Roh)

2007년 2월 : 순천대학교 전자공학과 (공학사)
 2009년 2월 : 순천대학교 전자공학과 (공학석사)
 2009년 ~ 현재 : 순천대학교 전자공학과 (공학박사 재학 중)

관심분야 : 로봇 제어, 모터 제어, 산업통신망



조광훈(Kwang-hoon Cho)

2003년 2월 : 순천대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 2003년 2월 : (주)메트로 시스템 엔지니어링 입사

관심분야 : 자동화 시스템, 산업통신망



배영철(Youngchul Bae)

1984년 2월 : 광운대학교 전기공학과 (공학사)
 1986년 2월 : 광운대학교대학원 전기공학과 (공학석사)
 1997년 2월 : 광운대학교대학원 전기공학과 (공학박사)
 1986년 ~ 1991년 : 한국전력공사
 1991년 ~ 1997년 : 산업기술정보원 책임연구원
 1997년 ~ 2006년 : 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수
 2006년 ~ 현재 : 전남대학교 전기전자통신컴퓨터공학부 교수

관심분야 : Chaos Control and Chaos Robot, Robot control etc.