

WDM 방식의 양방향 광 이더넷 통신 모듈 구현

문용선* · 노상현** · 조광훈*** · 배영철****

Implementation of Bi-directional Optic EtherCAT Communication Module based on WDM Method

Yong-Seon Moon* · Sang-Hyun Roh** · Kwang-Hun Jo*** · Young-Chul Bae****

요약

최근에 산업용 통신망에서 광통신과 산업용 이더넷을 융합하여 고속으로 로봇, 자동화 시스템에 사용하고자 하는 노력이 증가되고 있다. 본 논문에서는 기존의 산업용 광 네트워크 시스템의 큰 문제점으로 작용하였던 광 네트워크 결함 발생 시의 전체 네트워크 차단 문제 및 광케이블의 배선 문제를 해결하기 위하여 WDM 방식을 적용한 싱글 광 코어 기반의 양방향 광 이더넷 통신 기술을 제안하였다. 또한 해당 기술의 성능 검증을 위하여 WDM 양방향 광 이더넷 통신 모듈을 구현 및 성능 검증에 대한 내용을 종합적으로 기술하였다.

ABSTRACT

Recently in industry communication, the efforts that use robot and automation system increased by cooperation with optical communication and industrial Ethernet. In this paper, in order to solve the problem that total network blocking when network fault happens and wiring problem of optical cable, which were big serious disadvantage in industrial optical network systems, we propose bi-directional optical EtherCAT communication technique based on single optical core, which applying WDM method. We describe the content for implementation of WDM bi-directional optical EtherCAT communication module and performance evaluation to verify the performance of related technology as a whole.

키워드

Optical network, WDM, EtherCAT, Industrial Ethernet, Motion network
광 네트워크, 파장분할다중화, 이더넷, 산업용 이더넷, 모션 네트워크

1. 서론

최근 광 통신 기술은 사무 자동화 영역은 물론 산업 자동화 영역에 걸쳐 다양한 분야에 적용이 되고 있다. 그 중에서도 특히 산업 자동화 영역에서는 광

통신 기술의 장점인 장거리 네트워크 구성 및 고신뢰성의 장점을 이용하여 다양한 제어시스템에 활용이 되고 있어 그 중요성은 점점 커지고 있는 실정이다 [1].

광통신을 산업용 이더넷에 적용하여 구현한 연구

* 순천대학교 정보통신공학부(moon@sunchon.ac.kr),

** 순천대학교 정보통신공학부(magunza@naver.com),

*** (주)메크로시스템엔지니어링(choicemylife@hanmail.net),

**** 교신저자, 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터 공학부(ycbae@jnu.ac.kr)

접수일자 : 2012. 02. 16

심사(수정)일자 : 2012. 03. 23

게재확정일자 : 2012. 04. 07

[2-6]는 많이 있었으나 WDM을 적용한 연구는 없었다. 또한 대부분의 산업 자동화 시스템에 사용이 되는 광통신 방식이 단방향(uni-direction) 통신을 기반으로 하는 글로벌 링 네트워크 시스템의 구조를 가지고 있어 네트워크 결함 발생 시 전체 네트워크가 차단이 되는 심각한 문제를 초래할 수 있다[7].

이에 본 논문에서는 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최신 광통신 기술 중의 하나인 WDM(Wavelength Division Multiplexing) 방식과 산업용 이더넷 통신 기술 중의 하나인 이더캐트(EtherCAT, Ethernet for Control Automation) 기술을 적용한 WDM 방식의 싱글 광코어 양방향 광 EtherCAT 통신 기술을 제시함으로써 광 네트워크의 배선 문제를 해결하면서 이중화 시스템의 구현을 가능하게 하여 광 네트워크 시스템의 신뢰성 및 성능을 극대화할 수 있도록 하고자 한다[8-9].

논문에 구성은 1장 서론을 기준으로, 2장에는 산업용 광 통신 기술의 전반적인 구조와 문제점 등을 지적하였으며 이를 해결할 수 있는 WDM 광 이더캐트 통신 기술을 제안하였다. 그리고 3장과 4장에는 WDM 광 EtherCAT 모듈의 설계 및 구현을 수행하였으며, 5장 결론 및 앞으로 계획 순으로 작성이 되었다.

II. 양방향 광 이더캐트 통신 기술

광통신 기술은 시스템 내·외부로부터 유입되는 전자기 EMI 노이즈에 대한 강인한 면역성과 수 Km의 장거리 통신이 가능하다는 장점을 기반으로 현재 고신뢰성이 요구되는 다양한 산업용 어플리케이션에 적용이 되고 있다. 산업용 시스템에 적용되는 광 통신의 경우 일반 사무용 데이터 전송용 광통신과는 달리 실시간 제어 네트워크 시스템을 구성하거나 다축의 네트워크 기반의 서보 장치들에 대한 모션 제어를 위해 주로 사용이 되고 있다.

현재 산업 현장에서 적용하고 있는 광 통신 기술의 경우 대부분이 그림 1과 같이 단방향 통신을 기반으로 하는 링 구조 형태의 광 네트워크기반의 제어 시스템을 구성하고 있다 (예 : SERCOS 통신). 그러나 그림 1과 같이 링 구조를 기반으로 하는 제어시스템의 경우 케이블 단선 및 네트워크 에러 발생 시 광

제어 네트워크 전체가 다운이 되는 치명적인 문제를 가지고 있다[7].

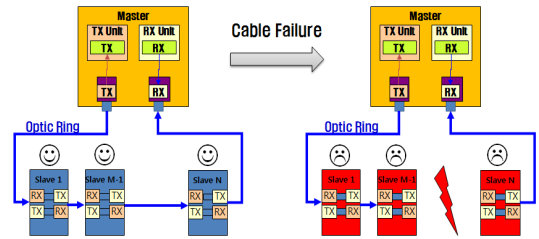


그림 1. 단방향 광 네트워크 구성 및 에러 발생 시 디바이스 상태(글로벌 링 네트워크)

Fig. 1 Configuration of uni-directional optical network device status when error happens(global ring network)

이와 같은 문제로 인하여 광 통신 제어시스템을 적용하는 대부분의 산업용 시스템에서는 기존의 시스템과 동일한 기능을 수행하는 서브 광 네트워크 시스템을 별도로 구축하여 에러 발생 시 서브 광 네트워크 시스템이 메인 광 네트워크 시스템의 역할을 대신 수행하는 방법을 사용하고 있다. 하지만 이러한 방식 역시 추가 시스템 설치 및 공간 확보 등의 문제로 인하여 효율적인 방식이라 할 수 없다.

최근에는 산업용 이더넷 기술의 급격한 발전으로 인하여 자동화 시스템에도 산업용 이더넷을 적용하는 사례가 많이 증가하였다. 그리고 이러한 산업용 이더넷 기술에 광 인터페이스를 적용하는 제어시스템 역시 많은 연구 및 개발이 이루어지고 있다. 이와 같은 산업용 이더넷 기반의 광 네트워크 시스템의 특징은 제어기와 하위의 네트워크 모듈 간의 글로벌 링 네트워크 방식을 취하는 것이 아니라 그림 2와 같이 상위 제어기와 하위의 첫 번째 모션 간의 로컬 링 네트워크를 구성한 후 네트워크 모듈 추가 시 이러한 링 네트워크를 확장하여 구성하는 방식을 적용하고 있다 [7-8].

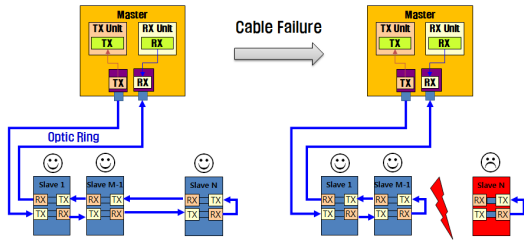


그림 2. 단방향 광 네트워크 구성 및 에러 발생 시 디바이스 상태(로컬 링 네트워크)
 Fig. 2 Configuration of uni-directional optical network device status when error happens(local ring network)

로컬 링 네트워크 방식의 경우 그림 2와 같이 특정 네트워크 장치 및 케이블에 결함이 발생한 경우 그림 1과 같이 네트워크 전체가 다운되는 것이 아니라 결함이 발생한 네트워크 모듈을 제외한 나머지 모듈들은 자체적인 링 네트워크를 구성하여 정상적인 동작을 가능하게 할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이러한 방식 역시 각 모듈 간에 2개의 광 네트워크 라인이 연결되어야 하는 배선의 어려움과 네트워크 결함이 발생한 장치에 대해서는 여전이 해법이 없다는 문제점을 가지고 있다.

방향 광 이더넷 통신의 경우 그림 3과 같이 하나의 광케이블 만으로도 광 네트워크 시스템의 연결 및 제어가 가능하며 기존의 방식과 같이 2개의 광케이블을 연결하는 경우에는 이중화 네트워크 시스템의 구성도 가능하게 된다[7-9].

또한 그림 4의 우측 연결과 같이 양방향 광 이더넷 통신 시스템을 기존의 글로벌 링 네트워크 형태로 구성할 경우 네트워크 케이블의 결함이 발생한 경우에도 네트워크 장치들이 자체적인 양방향 오토 루프백을 수행 함으로서 모든 장치들이 정상적인 구동을 가능하게 할 수 있다는 장점이 있다.

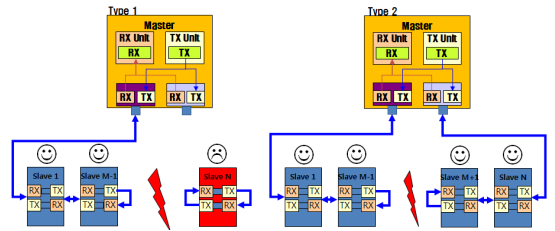


그림 4. 양방향 광 이더넷 통신 기반의 네트워크 시스템 에러 발생 시 디바이스 상태
 Fig. 4 Device status when error happens network system based on bi-direction optical EyheCAT communication

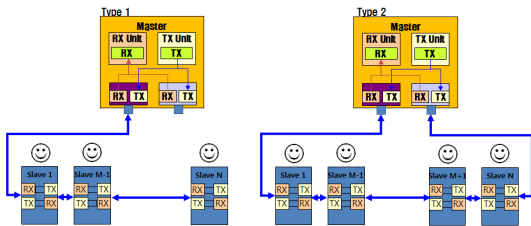


그림 3. 양방향 광 이더넷 통신 기반의 네트워크 시스템 구성
 (좌)단일 네트워크 구성, (우)이중화 네트워크 구성
 Fig. 3 Configuration network system based on bi-directional optical EtherCAT
 (left) configuration of single network, (right) configuration of double network

본 논문에서는 광통신의 송수신 파장대역을 다르게 사용함으로써 하나의 광케이블 만을 이용하여 양방향 통신을 가능하게 하는 방식인 WDM 광 인터페이스 기술과 산업용 이더넷 기술 중의 하나인 이더넷 통신을 결합한 양방향 광 이더넷 통신 기술을 적용한 새로운 형태의 광 모션 네트워크 시스템을 제안한다. 양

III. 양방향 광 이더넷 통신 모듈 설계

WDM 양방향 광 인터페이스 구조를 설계할 경우 가장 주의해야 할 부분은 송수신 파장을 정합시키는 부분이다. WDM 방식의 경우 기본 전제가 송수신 파장을 다르게 사용하는 방식이므로 그림 5와 같이 장치들 간의 광 파장대역의 서로 역으로 연결이 되어야 정상적인 동작이 가능하게 된다. 그 이유는 광 통신의 기본 특성 전송 장치의 출력(TX)은 입력 장치의 입력(RX)로 수신되며 입력 장치의 출력(TX) 다시 전송 장치의 입력(RX)으로 연결되는 구조를 가지기 때문이다. 이러한 구조를 적용하였을 경우 양방향 광 이더넷 통신의 사용을 위한 파장의 변경은 크게 WDM 컨버터와 연결된 광 이더넷 모듈의 입력 포트 부분과 광 이더넷 모듈의 입력 포트와 출력 포트 사이의 2가지 영역에서 이루어지게 된다.

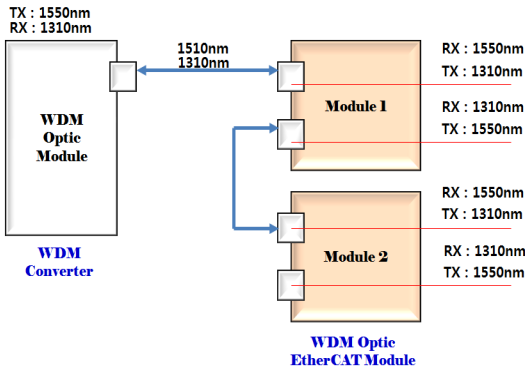


그림 5. WDM 방식의 광 이더넷 네트워크 연결시 광 송수신 파장의 설계

Fig. 5 Design of wavelength of optical transmitter-receiver when connecting optical EtherCAT of WDM method

WDM 방식을 적용한 싱글 광 코어의 기반의 양방향 광 이더넷 통신 프로토콜의 구조는 개방형 통신 시스템의 표준 모델인 OSI-7 계층 중 Physical Layer(1계층), Data Link Layer(2계층), Application Layer(7계층)의 3개 계층으로 구성이 되어있다. 이러한 계층 구성은 산업용 이더넷 기반의 제어 네트워크 프로토콜의 구조를 그대로 적용하고 있기 때문이다.

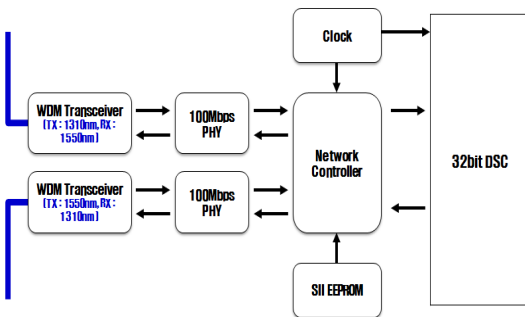


그림 6. 양방향 광 이더넷 통신 모듈 구조

Fig. 6 Structure of bi-directional optical EtherCAT communication module

양방향 광 이더넷 통신 구현을 위한 Physical Layer에는 WDM 방식의 광 통신을 지원하는 서로 다른 파장 대역의 WDM Transceiver와 100Mbps 광 데이터 전송을 위한 PHY가 구성이 된다. Data Link Layer에는 광 통신 및 데이터 네트워킹의 제어를 수

행하는 Network Controller 및 네트워크 정보를 저장하는 EEPROM 으로 구성이 된다. 마지막 계층인 Application Layer에는 양방향 광 이더넷 통신 서비스 프로토콜 스택이 탑재될 DSC(Digital Signal Controller)로 구성이 된다. 세부적인 구조 및 연결 구성은 그림 6과 같다[10].

IV. WDM 양방향 이더넷 통신 모듈 구현

본 논문을 통하여 제안한 WDM 방식의 싱글 광 코어 기반의 양방향 광 이더넷 통신의 타당성 및 설계 구조의 검증을 위하여 그림 7과 같이 2포트를 지원하는 WDM 방식의 양방향 광 이더넷 통신 모듈을 구현하였다.

싱글코어 양방향 광 이더넷

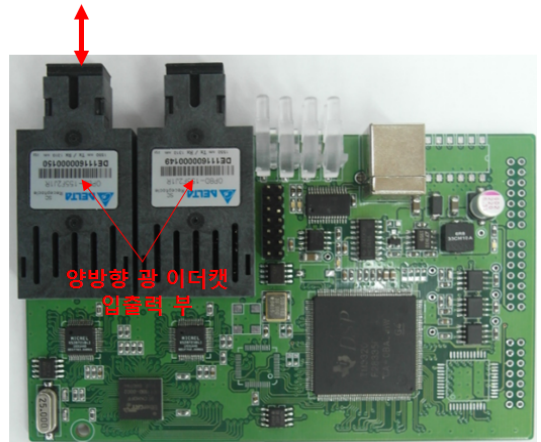


그림 7. WDM 방식을 적용한 싱글 광 코어 기반의 양방향 광 이더넷 통신 모듈

Fig. 7 Bi-directional optical EtherCAT communication module based on single optical core applying WDM method.

개발된 WDM 양방향 광 이더넷 통신 모듈의 기본적인 사양은 표 1과 같다.

표 2. 양방향 광 이더넷 통신 모듈 사양
Table 2. Specification of bi-directional optical EtherCAT communication module

항목	성능사양
통신 방식	양방향 광 이더넷 통신
통신 속도	100Mbps
광 입력 포트 파장	TX : 1550nm RX : 1310nm
광 출력 포트 파장	TX : 1310nm RX : 1550nm
네트워크 방식	광 기반 데이터 체인 방식

개발한 WDM 양방향 광 이더넷 통신 모듈의 경우 자체적인 네트워크 모듈로서도 동작이 가능하지만 추가적인 모듈과 결합되어 연동제어가 가능한 형태로 제작이 되었다. 그림 8은 이미 개발된 서보 드라이버 모듈과 WDM 양방향 광 이더넷 통신 모듈이 결합된 WDM 양방향 광 이더넷 통신 기반의 서보 드라이버 모듈을 나타낸다.

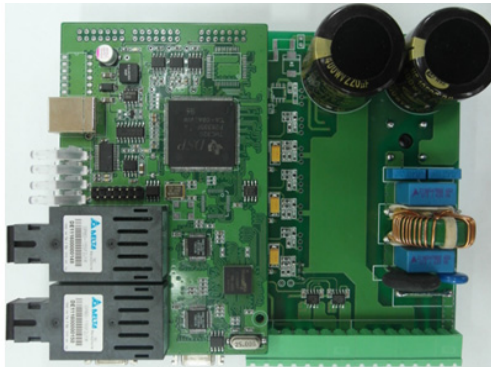


그림 8. 양방향 광 이더넷 통신 모듈과 결합된 서보 드라이버 모듈
Fig. 8 Bi-directional optical EtherCAT communication module and combined servo drive module

V. WDM 양방향 광 이더넷 통신 모듈 실험

양방향 광 이더넷 통신 모듈의 성능을 검증하기 위하여 그림 9와 같은 테스트 시스템을 구축하였다. 시스템의 구성은 명령 지령을 수행할 노트북 제어기, WDM 광 통신 변환을 수행할 WDM 컨버터, 그리고 WDM 양방향 광 통신 기반의 서보 드라이버 모듈 2축으로 크게 구성이 된다. 상위에 WDM 광 컨버터가 별도로 추가된 이유는 현재 상위 제어기에 WDM 양방향 광 통신을 지원하는 제어기가 존재하지 않아 별도로 상용 WDM 광 컨버터를 구입하여 구성을 하였다.

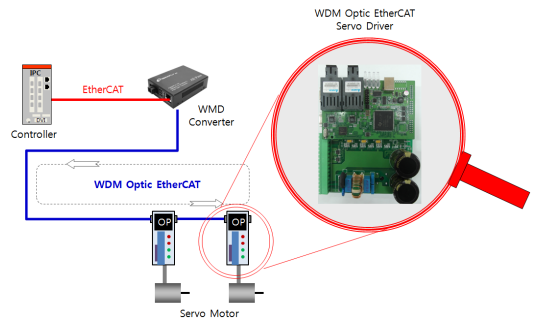


그림 9. 양방향 광 이더넷 통신을 적용한 2축 서보 제어 시스템 구성
Fig. 9 Configuration of 2-axis servo control system applying bi-directional optical EtherCAT communication

WDM 양방향 광통신의 성능 검증을 윈도우 기반의 소프트 리얼타임 커널이 탑재된 INTime 소프트웨어[12]를 이용하여 수행하였으며 WDM 양방향 광통신의 사이클 타임 및 업데이트 타임을 측정하여 성능을 검증하였다. 측정된 결과는 그림 10, 11과 같다.

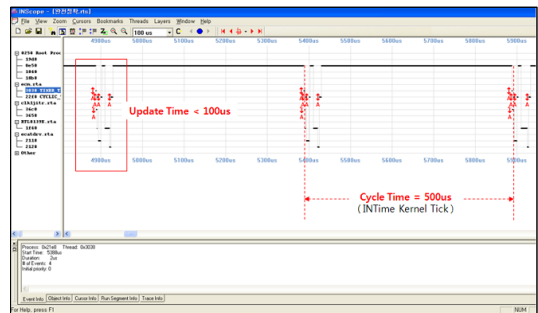


그림 10. INTime을 통한 양방향 광 이더넷 성능 측정 결과 1
Fig. 10 Performance measurement result 1 of bi-directional optical EtherCAT through INTime

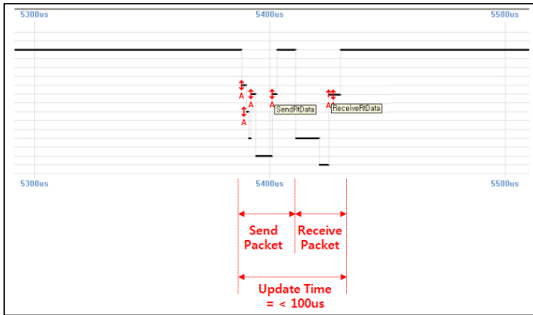


그림 11. INTime을 통한 양방향 광 이더넷 성능 측정 결과 2

Fig. 11 Performance measurement result 2 of bi-directional optical EtherCAT through INTime

그림 10과 11의 결과를 통하여 알 수 있듯이 2축 네트워크 모듈을 기준으로 WDM 양방향 광 이더넷 통신 시스템의 사이클 타임은 500us를 만족하였으며, 업데이트 타임은 100us 이내로 들어오는 것을 알 수 있었다. 이는 기존의 한 포트 당 2개의 광케이블을 이용한 광 이더넷 통신의 성능과 거의 흡사한 결과이다. 즉, WDM 방식의 양방향 광 이더넷 통신 기술을 적용함으로써 케이블 수 감소, 이중화 시스템 구현 등의 장점을 가지면서 기존 시스템과 동일한 성능을 얻을 수 있다는 결론을 얻을 수 있었다.

VI. 결론

본 논문에서는 기존의 산업용 광 네트워크 시스템의 큰 문제점으로 작용하였던 광 네트워크 결함 발생시의 전체 네트워크 차단 문제 및 광케이블의 배선 문제를 해결하기 위하여 WDM 방식의 싱글코어 기반의 양방향 광 이더넷 통신 기술을 제안하였으며, 해당 기술의 성능 검증을 위하여 WDM 양방향 광 이더넷 통신 모듈을 구현하였다.

WDM 양방향 광 이더넷 통신 모듈의 세부 성능 검증을 위하여 2축의 WDM 양방향 광 이더넷 기반의 서보 드라이버 제어 시스템을 구성한 후 상위 제어기 단에서 리얼타임 제어 소프트웨어인 INTime을 이용하여 사이클 타임 및 업데이트 타임을 측정하였다. 측정 결과 500us 사이클 타임과 100us 이하의 업데이트 타임 결과가 도출되었다. 이는 모션 네트워크 시스템

의 중요 요소인 1ms 이하 레벨의 리얼타임 제어 성능을 충분히 만족하는 결과라 할 수 있다.

앞으로 WDM 양방향 광 이더넷 통신 모듈을 이용한 서보 드라이버의 제어 성능에 대한 추가적인 연구 및 검증이 과제로 남는다.

감사의 글

지역혁신인력양성사업

Human Resource Training Project for Regional Innovation

본 연구는 교육과학기술부와 한국연구재단의 지역혁신인력양성사업으로 수행된 연구결과임

This research was financially supported by the Ministry of Education, Science Technology (MEST) and National Research Foundation of Korea(NRF) through the Human Resource Training Project for Regional Innovation

참고 문헌

- [1] Frank Hiatt, "SONET Synchronous Optical Networking Technical Overview", Lucent Technologies White paper, 1999.
- [2] 문용선, 배영철, 박종규, 노상현, "Ship Area Network(SAN)를 위한 Zigbee 및 광 통신 유무선 통합 모듈 구현", 한국전자통신학회논문지, 5권, 5호, pp. 428-434, 2010.
- [3] 문용선, 이영필, 서동진, 이성호, 배영철, "Ethercat을 이용한 소프트 모터 제어기 개발에 관한 연구", 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, 17권, 6호, pp. 826-831, 2007.
- [4] 문용선, 이광석, 서동진, 이성호, 배영철, " 로봇 모듈 구현을 위한 네트워크 기반 모터 제어 드라이버 개발", 퍼지 및 지능시스템학회 논문지, 17권, 7호, pp. 887-892, 2007.
- [5] 문용선, 이광석, 서동진, 배영철, " 광 Ethercat을 이용한 네트워크 기반 모터 제어기 개발", 제어·로봇·시스템회 논문지, 14권, 5호, pp. 487-472, 2008.
- [6] Yongseon Moon, Nak Yong Ko, Kwangseok Lee, Youngchul Bae, Jong Kyu park, " Real-time EtherCAT Master Implementation on

Xenomai for a Robot System, International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, Vol. 9, No. 3, pp. 244-248, 2009.

[7] Rigober Kynast, "SERCOS Interface", SERCOS interface working group, 2000.

[8] E. S. Son, K. H. Han, K. Kim, and Y. C. Chung, "Bidirectional WDM Passive Optical Network for Simultaneous Transmission of Data and Digital Broadcast Video Service", JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY, Vol. 21, No. 8, pp. 1723-1727, 2003.

[9] Sarry Habiby Telcordia, "WDM LAN Optical Backbone Networks and Standards for Aerospace Application", FiberFest 2009 Symposium, pp. 1-22. 2009.

[10] EtherCAT Technology Group, "EtherCAT Communication Specification", 2004.

[11] Beckhoff, "EtherCAT Slave Controller (ESC10/20 Hardware Data Sheet)", 2005.

[12] TenAsys Corporation "INtime 4.0 Software Manual", 2009.

저자 소개



문용선(Yong-Seon Moon)

1983년 2월 조선대학교 전자공학과(공학사)
 1989년 2월 조선대학교 대학원 전자공학과(공학박사)

1992년~현재 : 순천대학교 정보통신공학부교수

※ 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~현재 (주)메크로 시스템 엔지니어링 입사

※ 관심분야 : 자동화 시스템, 산업통신망



배영철(Young-Chul Bae)

1984년 광운대학교 전기공학과 (공학사)

1986년 광운대학교대학원 전기공학과 (공학석사)

1997년 광운대학교대학원 전기공학과(공학박사)

1986년~1991년 한국전력공사

1991년~1997년 산업기술정보원 책임연구원

1997년~2006년 여수대학교 전자통신전기공학부 부교수

2002년~2002년 Brigham Young University 방문교수

2006년~현재 전남대학교 전기·전자통신·컴퓨터공학부 교수

2011년~2011년 University of Utah 방문교수

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