

다축 스마트 드라이버를 위한 EtherCAT 슬레이브 모듈의 설계 Design of EtherCAT Slave Module for Multi-axis Smart Driver

*배용경¹, 박지훈², 이경창³, #이석⁴

*Y. K. Bae¹, J. H. Park², K. C. Lee³, #S. Lee(slee@pnu.edu)⁴
¹부산대학교 메카트로닉스공학과, ²부산대학교 지능기계공학과,
³부경대학교 제어계측공학과, ⁴부산대학교 기계공학부

Key words : industrial manufacturing robot, industrial network, Fieldbus, EtherCAT

1. 서론

산업용 네트워크 시스템은 산업현장에서 필요로 하는 다양한 요구사항을 만족하기 위하여 끊임없는 발전을 거듭하고 있다. 70년대 GM에 의해 개발되어 생산 자동화 네트워크의 발전을 이끌었던 MAP에서부터 PLC 공정에 적합한 CC-Link, CAN 기반의 DeviceNet과 CANopen, 모션제어 어플리케이션을 위한 통신 인터페이스인 SERCOS 등 다양한 산업용 네트워크들이 개발 및 발전해 왔다. 하지만 생산기술이 급속도로 발전함에 따라 보다 효율적이고 신뢰성 높은 결과를 얻기 위한 산업용 네트워크의 요구사항은 계속해서 증가하고 있다.

또한, 산업용 네트워크를 이용한 공장자동화 시스템에서의 액추에이터 레벨, 센서 레벨이 점차 디지털 신호 전송형태로 교체됨에 따라 다양한 마이크로프로세서를 이용한 지능형 스마트 액추에이터로의 통합의 필요성이 증가하고 있다.

이와 같은 흐름에 발맞추어 최근 공장설비, 공정제어 설비, 빌딩자동화, 인프라 부문에서 사용되는 산업용 통신 네트워크에 Ethernet을 기반으로 하는 통신 프로토콜 시스템 적용이 주류로 부상하고 있다. 특히 자동화 영역의 필요에 의해 탄생한 산업용 Ethernet 기술이 공정 자동화, 전력 IT, 모션 분야 등 전 산업 분야로 적용이 확산되고 있다. 이와 더불어 국외에서는 산업용 Ethernet 시장의 선점을 위하여 Ethernet/IP, Profinet, EtherCAT^{1,2} 등이 IEC에서 표준화 작업이 진행 중에 있다.

본 논문에서는 위와 같은 시장상황 속에서 최근 높은 데이터 전송률과 높은 효율을 갖춘 산업용 네트워크로 각광받고 있는 EtherCAT 네트워크^{3,4}를 구현하고 이의 성능 평가 지표로 사용될 수 있는 전송주기 변화에 따른 전송 정시성 및 데이터 수신률을 평가함으로써 다양한 시스템에 대한 적용 가능성 및 유효성을 평가하고자 하였다.

본 논문은 서론을 포함하여 4장으로 구성되어 있다. 2장에서는 EtherCAT의 개요와 마스터, 슬레이브의 특징에 대해 설명하고, 3장에서는 EtherCAT 슬레이브 모듈의 설계에 대해 기술하였다. 마지막으로 4장에서는 결론 및 향후 과제를 제시하였다.

2. EtherCAT 프로토콜의 개요

EtherCAT 프로토콜은 2002년에 독일 BeckHoff사에서 기술을 개발한 후 2003년 11월에 EtherCAT technology group을 결성해서 기술을 공개한 개방형 산업용 이더넷 기술로 IEC 규격(IEC/PAS 62407)과 ISO 규격(ISO15745-4)으로 인증된 국제표준 프로토콜로 뛰어난 동기화 특성과 함께 제한된 토폴로지에 의존하지 않는 성능을 가진다.⁴

EtherCAT의 성능은 100Mbps 이상의 통신 속도와 256개의 분산 디지털 I/O에 약 11us, 1000개의 분산 디지털 I/O에 약 30us, 그리고 200개 아날로그 I/O에 50us 등과 같은 업데이트 속도를 가진다. 또한 터미널 블록, 디지털 I/O 모듈화 디바이스 각각의 I/O 블록사이의 데이터 전송은 모듈내부의 데이터이동을 최대 1Gbps/s의 전송속도와 약 1.5ns의 지연 시간 성능을 가진다.⁴

EtherCAT의 데이터 전송은 이더넷의 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 방식이 아닌 브로드캐스트 방식으로 마스터에서 데이터 프레임을 전송하면, 마스터와 연결된 모든 슬레이브에서 수신 받아 해석 및 처리를 한다. EtherCAT에서 슬레이브는 데이터 프레임이 슬레이브 노드를 통과하는 동안 해당 노드에 전달된 데이터를 읽어 데이터를 수신하고 전송할 데이터가 있을 경우 텔레그램이 통과하는 동안 입력한 데이터를 텔레그램에 삽입하여 전송하게 된다. 이때 해당 노드에서 지연되는 시간은 겨우 몇 ns만이 소요된다.⁵

EtherCAT 마스터 노드는 일반적으로 PC에서 사용하는 NIC를 사용하여 구성할 수 있으며, NDIS 인터페이스를 이용하여 하부계층과 통신할 수 있다. NDIS 아키텍처는 물리계층과 데이터링크계층, 그리고 응용계층만을 가지고 있어서 응용계층에서 생성된 메시지가 2계층에 해당하는 데이터링크 계층으로 직접 접근이 가능하고, 패킷단위의 데이터 송수신을 직접적으로 제어하는 것이 가능하다. EtherCAT에서 사용하는 NDIS 응용계층은 UDP와 같은 불필요한 오버헤드를 사용하지 않으며, 실제 총 전송지연에서 상대적으로 큰 부분을 차지하고 있는 프로세싱 타임(processing time)을 줄일 수 있는 장점을 가진다.⁵

EtherCAT 슬레이브 노드는 BeckHoff사에서 제공하는 EtherCAT controller와 이를 제어하는 MCU로 구성된다. 슬레이브 controller를 이용하면 SPI 또는 bus 방식을 통해 다양한 종류의 MCU와 직접 연결하여 EtherCAT 슬레이브 노드를 구현할 수 있다.

3. EtherCAT 슬레이브 모듈의 설계

그림 1에서 Physical part(PHY0,1)는 EtherCAT 네트워크와 연결을 위한 커넥터 구성요소로서 2개의 RJ45 커넥터와 ethernet transceiver로 구성된다. EtherCAT의 물리계층은 IEEE 802.3의 100BaseTx 또는 100BaseFX와 호환이 되며, 100Mbps의 full duplex 연결을 지원한다. 또한 MDI(Medium Dependent Interface)와 MDI-X(Medium Dependent Interface with Crossover)를 동시에 지원하여 direct 케이블과 cross 방식의 케이블을 모두 사용할 수 있다.

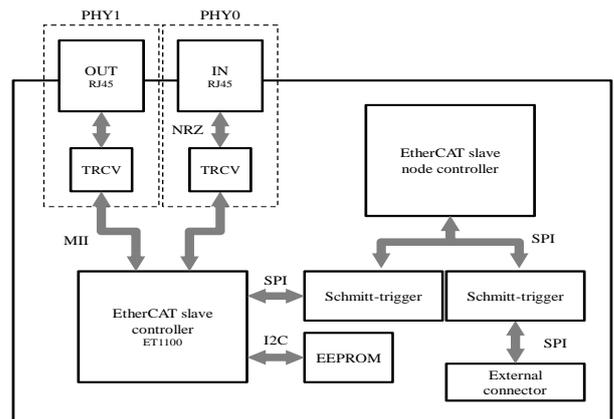


Fig. 1. Block diagram of EtherCAT logical interface

EtherCAT의 MAC(Media Access Control)과 물리계층을 연결하기 위한 인터페이스 방식으로는 MII(Media Independent Interface)와 EBUS이 있다. MII는 기존 이더넷과 연계하기 위한 인터페이스(IEEE 803.3u 표준규격 기반)로서 특정한 물리계층에 종속되지 않고 여러가지 물리 계층을 선택적으로 지원 가능하게 한다. EBUS는 LVDS(Low Voltage Differential Signaling)기반의 최대 1Gbps의 고속 데이터 전송을 위한 하드웨어 인터페이스이다. 낮은 전압 스위칭의 차동 신호를 사용하여 기존의 싱글 앤드(single end) 신호와 대조적으로 두 개의 보완적인 신호선을 이용하여 신호를 전송한다.⁶ 본 논문에서 제시하는 시스템에는 MII 방식을 이용하여 2개의 포트(port 0, 1)를 구성하였다.

ESC(EtherCAT Slave Controller)는 Beckhoff사의 ET1100을 사용하였다. ESC는 EtherCAT의 MAC과 DLL에 해당하는 부분으로써 EtherCAT frame의 en/decoding을 담당하며 슬레이브 모듈의 FMMU(Fieldbus Memory Management Unit)를 바탕으로 필요한 데이터를 노드 controller에 전달하는 핵심 부품이다. 내부에 AutoForwarder를 통하여 EtherCAT 슬레이브 노드의 port 0를 통해 들어오는 EtherCAT telegram을 다음 포트로 전달하며 이때 필요한 데이터를 실시간으로 교환하게 된다. 프레임의 처리 순서는 포트의 숫자에 따라 달라지게 되는데 처리 순서는 아래의 표 1과 같으며 본 시스템에서는 포트 개수가 2인 경우에 해당한다

본 논문에서 사용한 인터페이스 방식으로는 MAC과 ESC 사이에는 MII 방식을 사용하였고, EtherCAT 슬레이브 노드 controller와는 SPI 방식으로 통신하도록 구성하였다.

EtherCAT 슬레이브 노드 controller는 Microchip사의 PIC18F452를 사용하였다. EtherCAT 슬레이브 architecture의 application layer가 구현될 부분으로서 ESC를 통하여 EtherCAT 데이터를 송수신하는 역할을 한다. 본 시스템에서는 external connector를 통하여 외부의 센서 및 액추에이터와 SPI를 이용하여 연결할 수 있도록 구성하였다. 특히 SPI의 frame 정의 및 외부 드라이버와의 통신을 위한 각종 정의사항 등이 구현되어 있는 부분이다.

SPI bus transceiver는 node controller의 SPI 통신을 멀티 드롭(multi-drop)방식으로 구성하기 위하여 삽입하였다. node controller는 SPI master로써 동작하게 되고 ESC와 외부에 장착되는 센서 또는 액추에이터는 각각 SPI slave로써 동작하게 되는데 이때 하나의 SPI 회선을 통하여 각각의

Table 1 Frame Processing Order

포트개수	프레임 처리순서
2	0 → ECAT Processing Unit → 1 → 0
3	0 → ECAT Processing Unit → 1 → 2 → 0 or 0 → ECAT Processing Unit → 3 → 1 → 0
4	0 → ECAT Processing Unit → 1 → 0

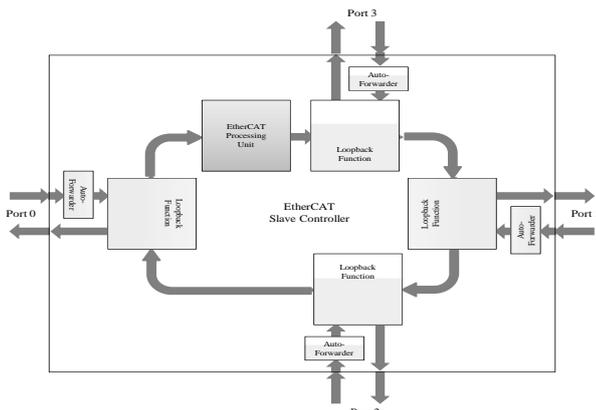


Fig. 2. Block diagram of EtherCAT frame processing

slave를 동시에 연결할 수 없으므로 해당 transceiver를 이용하여 회선을 분리하였다. 제품은 74HC7244를 이용하였는데 내부에 schmitt-trigger를 포함하고 있어 외부에서 유입되는 노이즈의 영향을 제거하는데 용의하였기에 본 부품을 선정하였다. 본 연구를 통해 설계한 EtherCAT 슬레이브 모듈은 Fig. 3과 같다.

4. 결론

EtherCAT은 Ethernet을 기반으로 하는 네트워크로써 빠른 속도와 뛰어난 동기능력을 바탕으로 매우 신뢰도 높은 산업용 네트워크로써 자리를 넓혀가고 있다. 본 논문에서는 최근 산업용 네트워크 및 다축 드라이버로 구성된 제조용 로봇 등에 적용이 확대되고 있는 EtherCAT 네트워크를 위한 슬레이브 모듈의 설계 방법에 대해 기술하였다. 본 연구에서 기술하고 있는 슬레이브 모듈의 구조 및 설계 방법을 통해 향후 동기성이 중요한 시스템에 적용하기 위한 가능성을 확인하였다.

그러나 본 논문은 EtherCAT 네트워크의 구성을 위한 EtherCAT 슬레이브 모듈의 설계에 대해서만 초점을 맞추고 있다. 따라서 보다 실용적인 연구결과를 도출하기 위해 EtherCAT 마스터 노드를 구성하여 실제 데이터의 전송 지연 및 동기성능을 평가하기 위한 연구가 추가적으로 필요하다. 이와 함께 마스터 노드와의 데이터 교환시에 발생할 수 있는 정시성에 대한 부분을 고려해야 할 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 지식경제부의 지원을 받아 수행된 지역전략기획 기술개발사업(과제명: 제조용 로봇을 위한 스마트 구동기 모듈 개발)의 연구결과입니다.

참고문헌

- G. Beckmann, EtherCAT Communication Specification, Version 1.0, EtherCAT Technology Group, 2004.
- Technical Introduction and Overview, EtherCAT Technology Group, July, 2005.
- 문용선, 이광석, 서동진, 이성호, 배영철, “모듈 로봇 구현을 위한 네트워크 기반 모터 제어 드라이버 개발,” 제 7 권 제 7 호, pp. 887-892, 2007.
- 문용선, 이광석, 서동진, 배영철, “광 EtherCAT을 이용한 네트워크 기반 모터 제어기 개발,” 제 14 권, 제 5 호, pp. 467-472, 2008.
- 박지훈, 배용경, 이경창, 이석, “산업용 제조로봇의 고속 동기제어를 위한 EtherCAT 네트워크 설계,” 2009 한국자동제어학회, pp.949-951, 2009.
- 이광석, “로봇제어 네트워크를 위한 광 EtherCAT 기반 Sensor/Actuator 네트워크 모듈 개발,” 석사학위논문, 2007.



Fig. 3. Picture of EtherCAT slave module