

논문 2014-09-15

EtherCAT 기반 엔코더 시스템에서 UML을 이용한 XML 설계

(Design of XML Using UML in EtherCAT-based Encoder System)

이 주 경, 이 석, 이 경 창*

(Ju-Kyoung Lee, Suk Lee, Kyung-Chang Lee)

Abstract : The EtherCAT protocol has become a very promising alternative for real-time industrial application due to its ability to eliminate uncertainties in the Ethernet. However, the extended markup language (XML) for the EtherCAT network system, which is required in the design, lacks systematic development to take advantage of model transformation techniques. This paper focuses on the system development procedure of the EtherCAT-based encoder system using the CANopen over EtherCAT (CoE) protocol. UML modeling is being adapted to design for XML of EtherCAT-based encoder system. To this purpose, this paper analyzes the object dictionary (OD) of a commercial encoder and CANopen over EtherCAT. A UML diagram is then designed based on the analysis, and XML is generated through the designed UML diagram. Finally, an experimental test bed for the EtherCAT-based encoder system is implemented and its performance is compared with a commercial encoder.

Keywords : Industrial network system, CANopen over EtherCAT (CoE), EtherCAT, Unified model language (UML), Extended markup language (XML)

1. 서 론

산업 현장의 생산 기술이 급속도로 발전함에 따라 보다 효율적이고 신뢰성 높은 결과를 얻기 위한 산업용 네트워크의 요구사항은 지속적으로 증가하고 복잡해지고 있다. 산업용 네트워크 시스템, 즉, 필드버스(fieldbus)는 산업 현장에서 요구되는 다양한 요구사항을 만족하기 위하여 지속적인 연구 및 발전을 거듭하고 있다[1, 2]. 산업용 네트워크를 이용한 공장자동화 시스템에서는 액추에이터와 센서의 증가 및 데이터의 디지털화로 다양한 제어기를 이용한 분산제어 시스템의 필요성이 증가하고 있다

*Corresponding Author (gclee@pknu.ac.kr)

Received: 17 Jan. 2014, Revised: 3 Feb. 2014,

Accepted: 18 Feb. 2014.

J.K. Lee, S. Lee: Pusan National University

K.C. Lee: Pukyong National University

※ 이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음.

[3, 4].

최근 들어, Beckhoff사에서 개발된 EtherCAT (Ethernet for Control and Automation Technology) 프로토콜은 Ethernet 기반의 산업용 네트워크로 실시간(real time) 산업용 분야에서 매우 많은 관심을 받고 있다[5]. 엔코더나 모션 드라이버와 같은 EtherCAT 응용 시스템을 구현하기 위해서는 네트워크 시스템에 대한 정확한 요구 사항 분석(requirement analysis)과 명세서(specification) 작성이 선행되어야 한다. 그러나, 이러한 EtherCAT 응용 시스템의 요구 사항 분석 방법 및 명세서 설계 방법에 대한 체계화된 연구는 아직까지 미진하다. 특히, 복잡한 EtherCAT 시스템의 개발 과정에서 응용 시스템으로부터의 요구 사항에 대한 분석 오류이나 제조사들 간의 설계 과정에 대한 상호 신뢰의 부족은 이기종 시스템 간의 상호 호환성 및 안정성에 큰 영향을 미치게 된다.

본 논문에서는 엔코더나 모터 등과 같은 EtherCAT 기반 응용 시스템을 개발하려고 할 때,

이기종 시스템간의 호환성과 설계 과정의 신뢰성을 향상시키기 위한 방안으로서 UML(unified model language) 기반의 시스템 개발 방법을 제시한다. UML은 객체 지향 분석과 설계를 위한 모델링 언어로서, UML을 이용하는 경우 프로그램 설계 단계에서 시스템에 필요한 요구 사항 및 제약 사항에 관련된 항목이 반영된 모델을 설계하고 검증함으로써 효율적인 시스템 개발이 가능하다[6-10].

본 논문에서는 UML 기반 설계 방법의 적용 가능성을 확인하기 위하여, 엔코더의 EtherCAT 응용을 위하여 사용되는 CANopen over EtherCAT (CoE) 프로토콜에 대해 분석하고, 이를 바탕으로 UML 다이어그램을 설계한다. 그리고 설계된 다이어그램을 기반으로 XML을 생성한 후, EtherCAT 기반 엔코더 모듈을 구현한다.

논문은 총 5장으로 구성되어 있다. 2장에서는 EtherCAT 네트워크를 엔코더에 적용하기 위한 프로토콜인 CANopen over EtherCAT에 대하여 소개하며, 3장에서는 UML을 이용한 EtherCAT 기반 엔코더 시스템의 설계에 대하여 다룬다. 4장에서는 설계된 UML을 이용한 XML 생성과 EtherCAT 기반 엔코더 시스템의 구현 및 성능에 대하여 기술한다. 마지막으로, 5장에서 연구의 결론을 제시한다.

II. CANopen over EtherCAT 개요

EtherCAT 프로토콜은 2002년에 독일 BeckHoff사에서 개발된 이후 2003년 11월에

EtherCAT technology group을 결성해서 기술을 공개한 개방형 산업용 Ethernet 기술이다. 또한, IEC 규격(IEC/PAS 62407)과 ISO 규격(ISO15745-4)으로 인증된 국제표준 프로토콜로 뛰어난 동기화 특성과 함께 제한된 토폴로지에 의존하지 않는 성능을 가진다[11-13]. 특히, EtherCAT 프로토콜은 뛰어난 Ethernet 호환성, 간단한 디바이스에서도 구현이 가능한 인터넷 기술, Ethernet에서 제공하는 대역폭을 최대한 활용할 수 있는 특성과 낮은 비용으로 뛰어난 실시간 특성을 구현할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

CANopen over EtherCAT는 EtherCAT 프로토콜에서 CANopen의 서비스 규격(service specification)을 사용하는 것을 말한다. CANopen은 CAN 기반 시스템을 위해 개발된 산업용 네트워크로써, 고도로 유연한 구성 능력을 갖는 산업용 임베디드 네트워크의 표준으로 인정되고 있다. 또한, 엔코더 응용을 위한 CANopen 규격인 CiA DS 301은 EN 50325-4로 표준화가 되어 있다[14-17].

그림 1은 CoE의 모델 구조를 나타내고 있다. 그림에서, CoE는 물리 계층(physical layer) 및 데이터링크 계층(DL)에서 EtherCAT을 사용하고, 응용 계층(AL)에서 CANopen을 사용하고 있다. 또한, CoE에서는 CANopen 서비스 규격에 규정되어 있는 OD(object dictionary)를 이용하여 EtherCAT 응용 프로그램(application)과 데이터링크 계층 간에 데이터를 교환한다. CANopen 서비스 규격에서는 PDO(process data object)와 SDO(service data

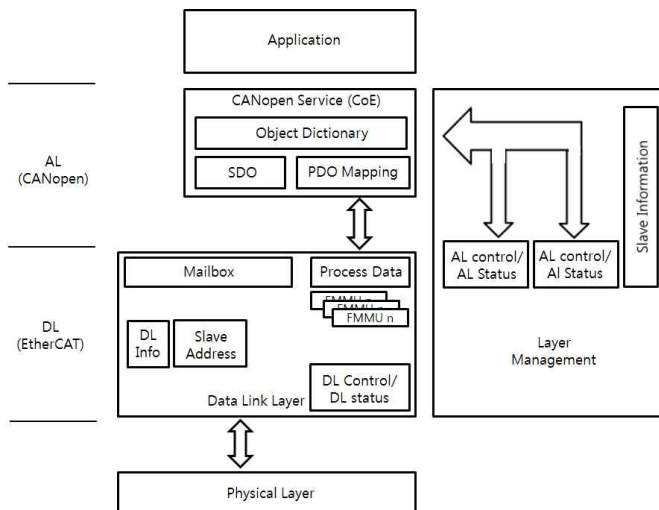


그림 1. CANopen over EtherCAT의 모델 구조

Fig. 1 Model architecture of CANopen over EtherCAT

표 1. CiA 406 기반 EtherCAT SDO

Table 1. EtherCAT SDO based on CiA 406

index/ sub-index	object code	access	default value
1000	device type	ro	0x00020196 (131478)
1008	device name	ro	absolute multi-turn encoder
1009	hardware version	ro	V01.02
100A	software version	ro	V01.07
1010	00 store parameters	ro	>1<
	01 save all parameters	rw	0x00000000 (0)
1011	00 restore parameters	ro	>2<
	01 restore all parameters	rw	0x00000000 (0)
	02 factory defaults	ro	0x00000000 (0)
1018	00 identity	ro	>4<
	01 vendor ID	ro	0x00000013
	02 product code	ro	0x5868B111
	03 revision number	ro	0x00010006
	04 serial number	ro	0x12345678
	⋮		

object)를 이용하여 OD에 접근하고 이를 전송 또는 수신할 수 있다. PDO는 짧은 데이터를 고속으로 교환하는 목적으로 사용되며, SDO는 대량의 데이터와 초기화를 위한 데이터를 전송하기 위하여 사용된다. PDO는 매핑(mapping)을 통해 데이터링크 계층의 프로세스 데이터(process data)를 이용하여 데이터를 전송하며, SDO는 EtherCAT 데이터링크 계층의 메일박스(mailbox)를 이용하여 데이터를 전송한다.

CANopen의 OD에는 객체(object)와 엔트리(entry)가 정의되어 있다. 객체에는 인덱스(index), 객체 코드(object code), 자료형(data type), 범주(category) 등이 정의되어 있으며, 엔트리에는 서브인덱스(sub-index), 액세스(access), PDO 매핑(PDO mapping), 범위(value range), 디폴트값(default value) 등이 정의되어 있다. 인덱스는 해당 OD 객체의 번호, 이름에는 디바이스의 형태, 자료형에는 객체의 데이터 형태, 범주에는 해당 객체가 필수적인지 선택적인지가 정의되어 있다. 다음으로, 서브인덱스에는 해당 엔트리의 번호, 액세스에는 엔트리의 동작 상태(값은 ro(read only), rw(read write), wo(write only) 중의 하나로 설정된다), PDO 매핑은 엔트리의 사용 여부, 범위에는

표 2. CiA 406 기반 EtherCAT PDO

Table 2. EtherCAT PDO based on CiA 406

index/ sub-index	object code	access	default value
6004	position value	ro	0x00000000
6030	00 speed value	ro	>1<
	01 speed value 1	ro	0x00000000
6400	working area state	ro	0x00
2120	actual temperature sensor	ro	0x00
1001	error register	ro	0x00 (0)

값의 범위, 디폴트값에는 초기값이 정의되어 있다.

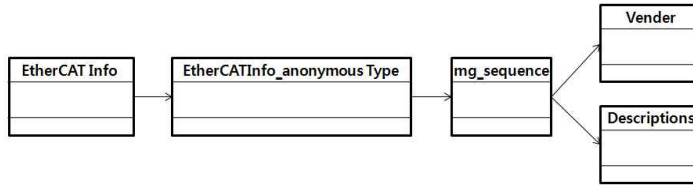
III. UML을 이용한 EtherCAT 기반 엔코더 시스템 설계

UML은 객체 지향 분석과 설계를 위한 모델링 언어이다. UML은 구조 다이어그램(structure diagram)과 행위 다이어그램(behavior diagram)이라는 두 가지의 기본적인 다이어그램으로 표현된다. 구조 다이어그램은 시스템의 정적인 구조를 나타내고, 행위 다이어그램은 시간의 흐름이나 순서에 따른 동적인 구조를 나타낸다[18].

UML을 이용하여 EtherCAT 기반 엔코더 시스템을 설계하기 위해서는 EtherCAT 네트워크 시스템의 정보를 보유하는 XML(extended markup language)의 설계가 필요하다. 이를 위하여, 우선적으로 XML 설계에 요구되는 사항들과 순서를 큰 그림으로 도식화하여 마스터와 슬레이브 통신에 필요한 데이터를 파악한다. 다음으로 CoE 표준과 상용 엔코더의 XML을 분석한 후, 개발하려고 하는 엔코더에 맞추어진 UML을 이용하여 XML을 생성한다.

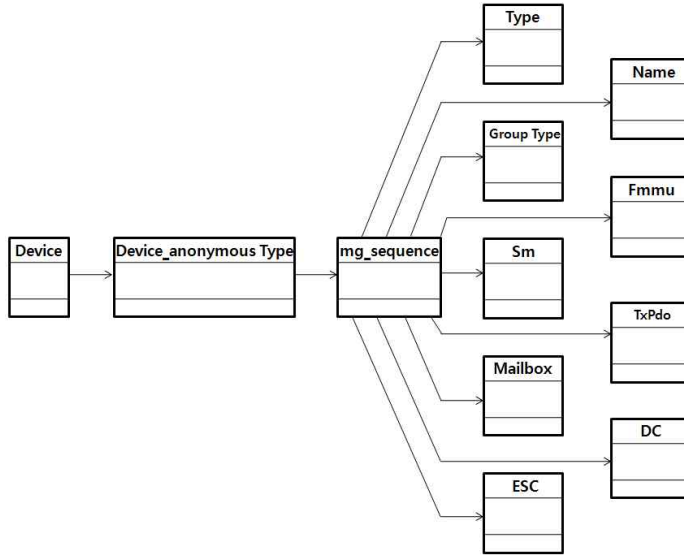
표 1과 표 2는 CiA 406 표준에 기반을 둔 EtherCAT SDO와 PDO의 인덱스에 따른 구성을 나타내었다. 표 1에서 SDO는 43개의 인덱스와 35개의 서브 인덱스로 이루어져 있다. 각 객체의 인덱스와 서브 인덱스, 객체 코드와 객체의 동작 상태를 지정하는 access, 통신이 될 때 객체가 전송해야 하는 초기값을 가지고 있다.

엔코더를 위한 PDO는 5개의 인덱스와 1개의 서브-인덱스로 구성되었다. 표 2에서 위치값(position value)는 엔코더의 현재 위치 값을 나타내며, 속도값(speed value)는 모터에 의해 엔코더가 돌아가는 속도 값을 실시간으로 표시한다. 위킹



(a) 벤더와 명세의 클래스 다이어그램

(a) class diagram of vender and descriptions



(b) 디바이스의 클래스 다이어그램

(b) class diagram of device

그림 2. CoE 기반 엔코더의 클래스 다이어그램
Fig. 2 Class diagram of CoE-based encoder

영역 상태(working area state)는 엔코더 위치의 최하위와 최상위 범위 안에서 현재 영역의 상태를 제공한다. 실제 온도 센서(actual temperature sensor)는 엔코더의 현재 온도를 나타내며 -20°~100°의 온도를 나타내어 사용자가 온도를 체크하여 발열에 의한 고장을 예방할 수 있다. 에러 레지스터(error resister)는 엔코더가 동작 시 발생하는 전압, 전류, 온도 등의 에러 요인들에 대해 표시해 준다.

본 논문에서는 상용 CoE 기반 엔코더인 Kuebler_5868과의 호환성을 위하여 상용 제품의 XML과 동일한 UML 다이어그램 설계를 위해 그림 2(a)와 같이 클래스 다이어그램을 모델링하였다. 그림에서, EtherCAT Info의 하위로 연결된 벤더(vender)와 명세(descriptions)를 먼저 모델링한다. 여기에서, 벤더는 EtherCAT 마스터에서 설계하는

XML의 명칭을 확인하기 위하여 사용되었으며, 명세는 OD를 설계하기 위하여 사용되었다. 다음으로, 그림 2(b)와 같이 명세의 하위로 장치(device)를 설계한 후, 장치의 하위로 타입(type), 이름(name), 그룹타입(group type), Fmmu, Sm, Txpdo, 메일박스(mailbox), DC, ESC를 모델링한다.

그림 3에는 EtherCAT 마스터와 EtherCAT 슬레이브, 엔코더의 데이터 교환 과정에 대한 UML 시퀀스 다이어그램을 나타내었다. 다이어그램의 수평은 데이터를 주고받는 객체들이 되고, 수직으로는 시간의 흐름에 따른 순서로 시스템의 데이터를 교환하게 된다. 데이터 교환의 순서는 다음의 절차로 이루어진다.

- 1) 사용자는 PC에 설치된 EtherCAT 마스터 프로그램인 TwinCAT을 통해 마스터와 슬레이브간

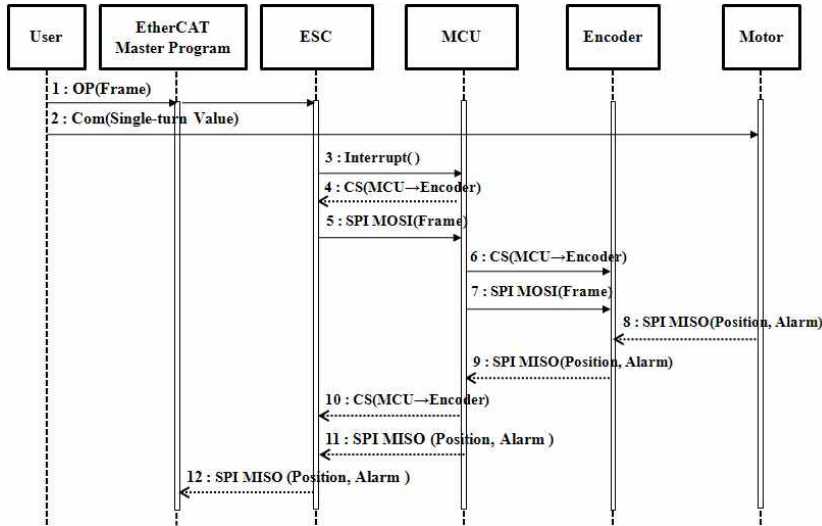


그림 3. EtherCAT 데이터 교환에 대한 시퀀스 다이어그램
Fig. 3 Sequence diagram for EtherCAT data exchange

의 통신을 시작하라는 명령을 내려 마스터 프로그램에서 ESC(EtherCAT slave controller)로 프레임을 전송한다.

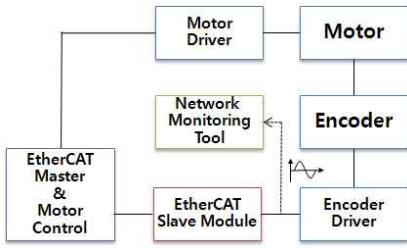
- 2) 사용자는 모터 구동을 위한 엔코더의 위치 값 변화를 위해 원하는 싱글턴(single-turn) 값을 모터 드라이버를 통해 명령한다.
- 3) EtherCAT 프레임이 ESC로 전송 완료되면, ESC는 인터럽트 신호를 MCU(micro controller unit)에 발신한다.
- 4~5) 인터럽트 신호를 받은 MCU는 CS(chip select)를 ESC로 고정하여 ESC가 전송하는 프레임을 수신한다.
- 6~7) MCU에서 프레임 수신을 마치면, MCU는 엔코더와 CS를 연결하고 자신이 받은 프레임을 엔코더에 전송한다.
- 8~9) 프레임을 전송 받은 엔코더는 그 프레임 안에 엔코더의 위치 값을 저장하여 MCU에게 데이터를 리턴한다.
- 10~12) MCU는 엔코더의 위치 값 수신이 끝나면, 엔코더와의 CS 연결을 끊고, 다시 ESC와 CS를 연결한 후 엔코더로 받은 위치 값을 받아 EtherCAT 마스터에 전송한다.

IV. CoE 기반 엔코더용 EtherCAT 시스템 구현 및 성능 평가

1. CoE 기반 엔코더 시스템 테스트베드 개발

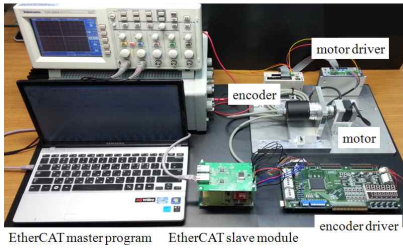
CoE 기반 엔코더 시스템 구현을 위하여 EtherCAT 지원을 위한 통신 모듈의 설계가 필요하다. 설계된 EtherCAT 슬레이브 모듈의 메인제어기는 Microchip사의 PIC18F452를 사용하였으며, EtherCAT 통신을 위해 ESC로 Beckhoff사의 ET1100을 사용하였다. 또한 EtherCAT 통신을 하기 위해 Ethernet PHY와 RJ45로 구성된 표준 Ethernet 인터페이스 회로를 구성하였다. ESC를 효과적으로 제어하기 위해 직렬 인터페이스를 사용하여 데이터 접근 시간 및 전송 시간의 응답 시간을 단축시켰다.

EtherCAT 슬레이브 모듈은 ESC와 제어기 파트의 구조를 가지고 있으며, ESC 내부에는 설정 및 제어를 위한 레지스터 부분과, SDO 데이터 전송을 위한 메일박스, PDO 전송을 위한 FMA 구조로 구성되어 있다. DPRAM 형식으로 외부 접근이 가능하도록 되어 있으며, 메인 제어기 파트는 사용자 어플리케이션과 일반적인 EtherCAT 스택에 해당하는 부분, 그리고 하드웨어 접근 부분으로 구분되어 있다. 사용자 어플리케이션 부분에서는 엔코더 표준에 의거한 드라이버 프로파일을 사용하며, 실제 구현된 시스템에서는 엔코더의 상태 및 에러 신호를 위한 IO로 구성되었다. EtherCAT스택에서는 상태 천이를 담당하는 상태 머신(state machine)과 PDO를 처리하는 부분, SDO를 처리하기 위한 메일박스, 그리고 CANopen 프로파일과 EtherCAT을 연결해 주는 CoE 맵핑으로 구성되어



(a) 테스트베드의 구조

(a) Schematic diagram of testbed



(b) 테스트베드 사진

(b) Picture of testbed

그림 4. CoE 기반 엔코더 시스템 테스트베드

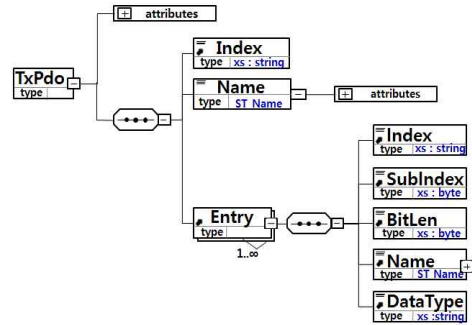
Fig. 4 Testbed of CoE-based encoder system

있다.

그림 4는 XML 평가를 위하여 구성한 ASIC기반 CoE 기반 엔코더 시스템을 나타내고 있다. 테스트 베드에는 EtherCAT 마스터 프로그램인 TwinCAT과 모터 제어 프로그램인 모션 스튜디오를 구동시키기 위한 노트북과 직접 제작된 EtherCAT 슬레이브 모듈, Autonics사의 5상 스텝핑 모터(기본 스텝각이 0.72°)와 모터 드라이버, Autonics사의 1024의 분해능을 가지는 엔코더와 엔코더의 값을 EtherCAT 슬레이브 모듈로 전송해 주기 위한 엔코더 드라이버, 네트워크 상태를 확인하기 위한 오실로스코프와 로직 애널라이저로 구성하였다. 상용 제품과의 호환성 테스트를 위하여 테스트 베드의 실험은 UML 기반의 EtherCAT XML을 생성하여 적용하였다. 테스트 베드는 본 논문에서 개발한 UML 기반의 EtherCAT 마스터를 적용하여 구성하였다.

2. CoE 기반 엔코더의 성능 평가

본 논문에서는 Altoba Umodel 프로그램을 사용하여 3장에서 설계한 UML을 그림 5와 같은 W3C 스키마로 변환하였다. FW3C 스키마는 XML 문서의 내용, 구조, 형식을 규정하는 명세로서 그림 5와



(a) UML 모델을 이용한 W3C 스키마 생성

(a) W3C schema generated by UML modeling

```

23 <TxPdo Fixed="0" Sm="3">
24 <Index>#x1A00</Index>
25 <Name>Inputs</Name>
26 <Entry>
27 <Index>#x6004</Index>
28 <SubIndex>0</SubIndex>
29 <BitLen>32</BitLen>
30 <Name>Position Value</Name>
31 <DataType>UDINT</DataType>
32 </Entry>
33 <Entry>
34 <Index>#x6030</Index>
35 <SubIndex>1</SubIndex>
36 <BitLen>32</BitLen>
37 <Name>Speed Value</Name>
38 <DataType>UDINT</DataType>
39 </Entry>
40 <Entry>
41 <Index>#x6400</Index>
42 <SubIndex>0</SubIndex>
43 <BitLen>1</BitLen>
44 <Name>Working State Area</Name>
45 <DataType>UINT8</DataType>
46 </Entry>
47 <Entry>
48 <Index>#x2120</Index>
49 <SubIndex>0</SubIndex>
50 <BitLen>0</BitLen>
51 <Name>Temperature Sensor</Name>
52 <DataType>UINT8</DataType>
53 </Entry>
54 <Entry>
55 <Index>#x1001</Index>
56 <SubIndex>0</SubIndex>
57 <BitLen>1</BitLen>
58 <Name>Error Register</Name>
59 <DataType>UINT8</DataType>
60 </Entry>
61 </TxPdo>

```

(b) W3C 스키마를 이용한 XML 생성

(b) XML generated from W3C schema

그림 5. CoE 기반 엔코더용 XML

Fig. 5 XML for CoE-based encoder

같이 상위와 하위의 폴더 형태로 XML을 구조화되어 있다. 다음으로, 구현된 CoE 기반 엔코더가 정상적으로 동작하는 지 확인하여 위하여, EtherCAT 마스터인 TwinCAT을 통해 EtherCAT 슬레이브 모듈을 동작시켰다. 모션 스튜디오를 통해 모터를 구동시켜 사용자가 원하는 만큼의 회전을 명령 시 엔코더가 그 값을 정확히 전송하는 지를 로직 애널라이저와 TwinCAT상의 비교로 검증하였다. 그림 6은 로직 애널라이저에서 측정한 엔코더 신호로서 et_cs는 EtherCAT과 MCU 간의 칩 선택 신호(chip select signal)이며, en_cs는 MCU와 엔코더

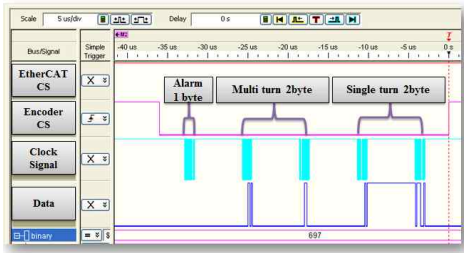


그림 6. 엔코더 모듈의 통신 신호

Fig. 6 Communication signal of encoder module

간의 칩 선택 신호, clk는 SPI의 클럭 신호(clock signal), data는 엔코더 MISO 데이터(encoder MISO data)를 나타내고 있다. 또한, clk에서 첫번째 1byte는 알람(alarm)을, 2~3번째 2byte는 멀티 턴 엔코더(multi-turn encoder) 값을, 4~5번째의 2byte는 싱글 턴 값을 나타냄을 알 수 있다.

마지막으로, 생성한 XML이 상용 제품과 동일한지를 평가하기 위하여, TwinCAT을 이용하여 개발된 엔코더 모듈과 상용 제품인 Kuebler사의 5868 엔코더 모델의 수신값을 비교하였다. 여기에서, Kuebler_5888 엔코더에 사용되는 XML은 Kuebler사에서 제공되는 XML을 사용하였다. 그림 7은 Twin을 통하여 확인된 값들을 나타내고 있다. 그림에서, name, type, size, address, in/out 등이 동일함을 알 수 있다. 이러한 실험 결과는 설계된 XML을 이용한 CoE 기반 엔코더가 상용 제품과 호환될 수 있음을 알려준다.

V. 요약 및 결론

본 논문에서는 엔코더나 모터 등과 같은 EtherCAT 기반 응용 시스템을 개발하려고 할 때, 이기종 시스템간의 호환성과 설계 과정의 신뢰성을 향상시키기 위한 방안으로서, 다이어그램 기반의 UML 모델링을 이용하여 CoE 기반 엔코더 시스템의 설계 방법을 제시하였다.

먼저, 본 논문에서는 CANopen CiA 406 엔코더 표준 분석을 바탕으로 CoE 기반 엔코더 시스템에 필요한 기능을 UML 다이어그램으로 설계하였다. 다음으로, 설계된 UML 다이어그램을 W3C 표준의 스키마로 변환시켰으며, 스키마를 XML로 변환시키는 과정을 거쳐 XML을 생성하였다. 마지막으로, 생성된 XML을 상용의 제품에 적용시켜 데이

Name	Online	Type	Size	> Addr...
Position Value	0x004E92F (451...	UDINT	4,0	26,0
Speed Value	0x0000000 (0)	UDINT	4,0	30,0
Working State ...	0x09 (9)	USINT	1,0	34,0
Temperature S...	0x5A (90)	USINT	1,0	35,0
Error Register	0x00 (0)	USINT	1,0	36,0

(a) Kuebler사 5868 모델의 XML 값

(a) XML data of Kuebler_5868 model

Name	Online	Type	Size	> Addr...
Position Value	0x0045F27F (4584...	UDINT	4,0	26,0
Speed Value	0x00000054 (84)	UDINT	4,0	30,0
Working State ...	0x09 (9)	USINT	1,0	34,0
Temperature S...	0x59 (89)	USINT	1,0	35,0
Error Register	0x00 (0)	USINT	1,0	36,0

(b) 개발된 EtherCAT 모듈의 XML 값

(b) XML data of implemented module

그림 7. 상용 제품과의 호환성 비교

Fig. 7 Comparison on interoperability between commercial model

터 교환이 정상적으로 이루어지는 것을 통해 UML 모델링을 통한 설계를 검증하였다.

개발된 모듈에 생성된 XML을 적용하여 엔코더와의 통신실험 결과를 통해 정상적으로 XML이 설계 되었음을 확인하였다. 또한, 상용 제품과의 호환성 비교를 통하여 UML 기반 EtherCAT 응용 시스템 개발 방법을 이용하는 경우 이기종 시스템간의 호환성을 유지할 수 있음을 확인하였다.

References

- [1] A. Willig, "Polling-based MAC protocols for improving realtime performance in a wireless PROFIBUS," IEEE Transactions of Industrial Electronics, Vol. 50, No. 4, pp.806- 817, 2003.
- [2] K.C. Lee, S. Lee, M.H. Lee, "Remote fuzzy logic control of networked control system via Profibus-DP," IEEE Transactions of Industrial Electronics, Vol. 50, No. 4, pp.784-792, 2003.
- [3] Y.K. Bae, J.H. Park, K.C. Lee, S. Lee, "Design of EtherCAT slave module for multi-axis smart driver," Proceedings of Korea Society for Precision Engineering Spring Conference, pp.69-70, 2010 (in Korean).
- [4] K.C. Lee, S. Lee, M.H. Lee, "Worst-case communication delay of real-time industrial switched Ethernet with multiple levels," IEEE

- Transactions of Industrial Electronics, Vol. 53, No. 5, pp.1669-1676, 2006.
- [5] I.K. Jung, J.H. Kim, "Real-time centralized soft motion control system for high speed and precision robot control," Journal of IEMEK, Vol. 8, No. 6, pp.295-301, 2013 (in Korean).
- [6] J.H. Park, Y.M. Lee, C.J. Moon, "Design and verification of real-time software using RTP and statechart," The Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, pp.1266-1270, 2011 (in Korean).
- [7] D.S. Seo, "UML-based quality requirement specifications and design traceability," Korean Society For Internet Information, Vol 10, No.1, pp.175-182, 2009 (in Korean).
- [8] S.M. Jung, J.H. Yoo, J.H. Lee, D.J. Lim, "A study on Zigbee application model development using UML," The Transactions of The Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 58, No. 12, pp.2492-2497, 2009 (in Korean).
- [9] H.R. Pyeon, J.P. Kim, J.E. Hong, "Extension of MARTE profile for model-based power consumption analysis of embedded software with UML 2.0," Journal of Korean Institute of Information Scientists and Engineers : Software and Applications, Vol. 37, No. 4, pp.252-263, 2010 (in Korean).
- [10] H. Sertid, F. Rus, R. Rac, "UML for real-time device driver development," Proceedings of International Conference on Telecommunications, Vol. 2, pp.631-636, 2003.
- [11] G. Beckmann, EtherCAT communication specification, version 1.0, EtherCAT technology group, 2004.
- [12] Y.S. Moon, G.S. Lee D.J. Seo, Y.C. Bae, "The development of motor controller based on network using optic- EtherCAT," Journal of Korea Multimedia Society, Vol. 14, No. 5, pp.467-472, 2008 (in Korean).
- [13] M.H. Kim, J.H. Park, S. Lee, K.C. Lee, "Implementation of EtherCAT Slave Module for IEC 61800-based Power Driver System," Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, Vol. 17, No. 2, pp.176-189, 2011 (in Korean).
- [14] CAN in Automation(CiA), CANopen application layer and communication profile, <http://www.can-cia.org/>, 2011
- [15] EN 50325-4, Industrial Communications Subsystem Based on ISO 11898 (CAN) for Controller-Device Interfaces - Part 4: CANOPEN, 2003.
- [16] J.H. Park, S. Lee, Y.H. Song, K.C. Lee, "Implementation of Multiple Connectivity using CANopen in IEEE 1451.0-based Smart Sensor," Journal of the Korean Society for Precision Engineering, Vol. 28, No. 4, pp.436-445, 2011 (in Korean).
- [17] M.K. Kang, K.J. Park, J.C. Kim, "PDO parking mechanism for reducing CANopen network utilization," Journal of Korea Information Science Society : Computer System and Theory, Vol. 36, No. 2, pp.124-133, 2009 (in Korean).
- [18] Object Management Group, Unified Modeling Language (UML), <http://www.uml.org>

저 자 소 개

이 주 경 (Ju-Kyoung Lee)



2010년 동의대 메카트로닉스공학과 학사.

2012년 부산대 기계공학부 석사.

현재, 부산대 기계공학부 박사과정.

관심분야: 로봇용 네트워크, 촉각센서.

Email: masterjk@pusan.ac.kr

이 석 (Suk Lee)



1984년 서울대 기계공학과 학사.

1985년 펜실바니아주립대 석사.

1990년 펜실바니아주립대 박사.

현재, 부산대학교 기계공학부 교수.

관심분야: 산업용 네트워크, 차량용 네트워크, 센서 네트워크.

Email: slee@pusan.ac.kr

이 경 창 (Kyung-Chang Lee)



1996년 부산대 생산기계공학과 학사.

1998년 부산대 생산기계공학과 석사.

2003년 부산대 지능기계공학과 박사.

현재, 부경대학교 제어계측공학과 교수.

관심분야: 촉각센서, 로봇용 네트워크, Cyber-Physical System, 차량용 네트워크.

Email: gclee@pknu.ac.kr