네트워크 기반 BLDC 모터 제어 기법에 관한 연구

문 용선,김 은주,배 영철*

순천대학교, *한국과학기술정보연구원,**전남대학교

A Study on BLDC Motor Control based on Network

Yongseon Moon, Eunju Kim, Youngchul Bae**
Sunchon National University, *KISTI, **Chonnam National University

Abstract - 본 논문에서는 산업 현장의 자동화 시스템의 네트워크에서 실시간 제어를 보장하면서 대량의 데이터를 처리할 수 있는 개방형 표준 이더넷 호환성을 가지고 있는 산업용 이더넷 프로토콜인 EtherCAT[4]을 기반으로한 모터 BLDC 모터 제어용 인터페이스 모듈을 설계, 구현하고 이를 BLDC 모터 제어 시스템에 적용하여 네트워크 기반의 제어 기법을 제시하고자 한다.

1. 서 론

산업현장에서 자동화 및 무인화가 급격하게 진행되고 PC와 네트워크에 기반한 제어 기법이 관심을 받고 있다. 또한 자동화 시스템 발달과 더불어 자동화 시스템에서 구동 기술의 핵심인 모터제어 기술에 대한 큰 발전이 계속 진행되어 왔다. 최근에 IT 기술의 발전과 더불어 모터 제어 시스템과 네트워크 기술을 융합한 네트워크 기반 모터 제어시스템에 대한 관심이 높아지고 있으며 이에 대한 대표적인 사례로 CANOpen[1], SERCOS[2], Profibus[3] 등을 들 수 있다. 그러나 이들 시스템들은 네트워크 기반의 제어 시스템을 구성하기에는 속도가 늦거나 동기화에 대한 어려움이 존재한다.

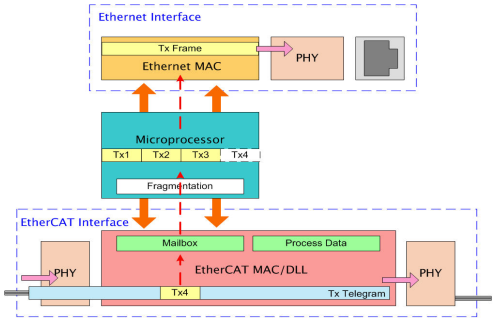
이에 본 논문에서는 산업 현장의 자동화 시스템의 네트워크에서 실시간 제어를 보장하면서 대량의 데이터를 처리할 수 있는 개방형 표준 이더넷 호환성을 가지고 있는 산업용 이더넷 프로토콜인 EtherCAT[4]을 기반으로한 모터 BLDC 모터 제어용 인터페이스 모듈을 설계, 구현하고 이를 BLDC 모터 제어 시스템에 적용하여 네트워크 기반의 제어 기법을 제시하고자 한다.

2. 본 론

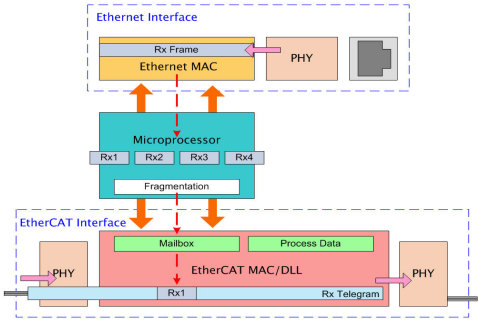
2.1 EterCAT

EtherCAT 프로토콜은 독일의 BeckHoff에서 개발한 후 2003년 11월에 EtherCAT Technology Group을 결성하여 기술을 공개한 개방형 산업용 이더넷 기술로 IEC규격(IEC/PAS 62407)과 ISO 규격(ISO 15745-4) 으로 인증된 국제표준 프로토콜로 뛰어난 동기화 특성과 함께 제한된 토폴로지에 의존하지 않는 성능을 가진다. 2003년 이후 ETC(EtherCAT Technology Group)에서 어플리케이션 시리즈를 계속해서 개발하고 있고 다양한 컨트롤러와 운영체제 상에서 구현된 검증된 제어용 네트워크이다. 마스터와 슬레이브, 슬레이브 간 및 마스터 간의 통신을 지원하며, 국제안전표준인 IEC 61508에 따라 개발된 프로토콜로서 자동화 네트워크에서의 안전 구현이 용이하다.

EtherCAT의 데이터 전송은 이더넷의 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection)방식이 아닌 Broad Cast 방식으로 마스터에서 데이터 프레임을 전송하면, 마스터와 연결된 모든 슬레이브에서 수신 받아 해석 및 처리를 하는데, EtherCAT에서 슬레이브는 데이터 프레임이 슬레이브 노드를 통과하는 동안 해당 노드에 전달된 데이터를 읽어 데이터를 수신하고 전송할 데이터가 있을 경우 Telegram이 통과하는 동안 입력한 데이터를 Telegram에 삽입하여 전송하게 된다. 이때 해당 노드에서 지연되는 시간은 겨우 몇 ns만이 소요된다. 그림 1은 EtherCAT 프로토콜에서 수신데이터를 이더넷을 통해 전송하는 방식과 이더넷 프로토콜을 통해 수신된 데이터를 EtherCAT 프로토콜로 전송하는 방식을 보여준다.



(a) 데이터 프레임 수신

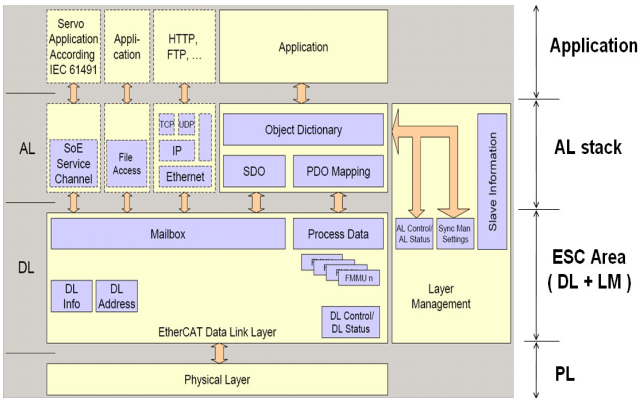


(b) 데이터 프레임 송신

<그림 1> EtherCAT 데이터 프레임의 송신 및 수신
<Fig. 1> Transmit/receive of EtherCAT data frame

그림 1(a)의 EtherCAT의 데이터 프레임 수신은 EtherCAT 인터페이스의 물리계층과 EtherCAT MAC/DLL를 통해 데이터 프레임을 수신 받은 후 마이크로프로세서로 전송된다. 마이크로프로세서는 이더넷 프로토콜 상으로 전송하기위한 데이터 프레임의 크기를 미리 정의 하고 있다가, 버퍼가 다 채워질 때 까지 데이터를 수신 받는다. EtherCAT 인터페이스를 통해 n 개의 데이터를 수신 받아 데이터 프레임을 다 채우면, 이를 한꺼번에 이더넷 인터페이스를 통해 이더넷 프로토콜로 전송한다. 그림 7(b)의 EtherCAT 데이터 프레임 송신은 경우 이더넷 네트워크의 데이터는 프레임 단위로 이더넷 인터페이스의 물리계층(PHY) 과 이더넷 MAC를 통해 수신되며, 수신된 데이터 프레임은 마이크로프로세서를 통해 1~n 개의 데이터로 쪼개진다. 1~n 개의 데이터를 EtherCAT 인터페이스의 EtherCAT MAC/DLL를 통해 개별적으로 프레임을 구성하고 물리계층을 통해 순서대로 EtherCAT 프로토콜로 전송된다.

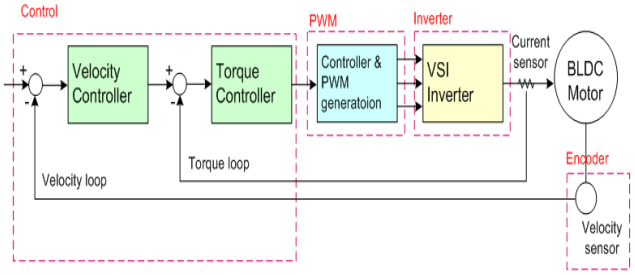
EtherCAT의 계층 구조는 그림 2와 같은 ISO/IEC 7498 표준규격을 사용한 개방 시스템 상호작용(Open System Interaction)을 사용하는 자동화 시스템의 통신 구조를 따르고 있으며, OSI 7계층 구조에서 7계층인 응용계층, 2계층인 데이터 링크 계층, 그리고 1계층인 물리 계층으로 구성하고 있다.



<그림 2> EtherCAT 프로토콜 계층 구조
<Fig. 2> Hierarchy structure of EtherCAT protocol

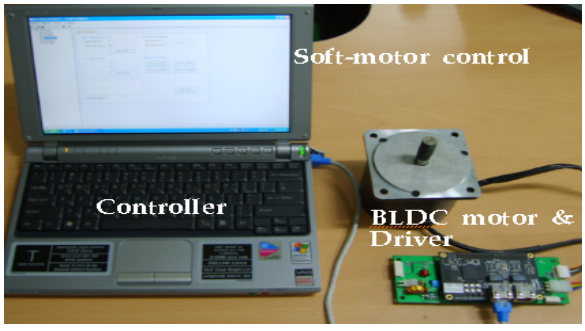
2.2 EtherCAT 기반 BLDC 모터 속도 제어

EtherCAT 기반 BLDC 모터 제어를 위하여 네트워크 모듈의 응용계층은 BLDC 액츄에이터 드라이버로 ET1200의 SPI 인터페이스를 사용하여 EtherCAT의 데이터 링크 계층과의 인터페이스하여 BLDC 액츄에이터를 구동하고 액츄에이터의 센서 데이터를 수신하여 BLDC의 속도제어와 토크제어를 수행하도록 하였다. 그림 3은 BLDC 액츄에이터의 속도제어 블록 다이어그램을 보여준다.



<그림 3> BLDC 속도제어 블록 다이어 그램
<Fig. 3> Block diagram of BLDC speed control

그림 3에서 제어 블록은 PIC 마이크로프로세서를 이용하고 PWM 블록은 PWM 블록 드라이버 소자인 IR2131을 사용한다, 인버터 블록은 FET 소자인 으로 3상 인버터로 BLDC 모터 드라이버 구현한다. 그리고 PIC 마이크로프로세서에서 SPI 인터페이스로 데이터 링크 계층과의 통신을 연결한다.
그림 4는 PC 상에 구현된 BLDC 모터제어기를 포함한 네트워크 기반 BLDC 모터 제어 시스템의 구성을 나타낸다.



<그림 4> 네트워크 기반 BLDC 모터 제어 시스템
<Fig. 4> Network based BLDC motor control system

3. 실험 및 고찰

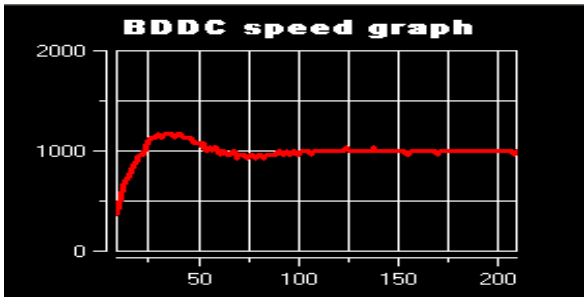
네트워크 기반 BLDC 모터제어의 성능을 평가하기 위하여 BLDC 모터의 속도 응답에 대한 실험을 실시해 보았다. 실험을 위한 기본적인 시스템의 구성 및 사양은 표 2와 같다.

<표 2> 소프트 모터제어기 평가 실험 시스템 구성

Item	Specification
Controller	Pentium 3. Notebook (PC based control)
OS	Window XP
Network	EtherCAT - Cycle time : 50us - Update time : 7us
Soft-motor controller	1. Speed PID controller - Loop cycle : 1ms 2. Current PI controller - Loop cycle : 200us
Motor	BLDC motor - Max. rpm : 3000 rpm - Rated power : 200 W
Networked BLDC driver	1. Input voltate : 24VDC 2. Rated Output Current : 8Arms 3. Peak Output Current : 12Arms 4. Speed Range : 200~3000 rpm 4. Operating Method : 3-Phase PWM

PID 제어기의 P 게인 만을 적용한 후의 BLDC 모터의 속도 응답을 관찰하였다. P 이득 적용 후의 결과는 그림 4와 같다.

- 입력 속도 (Target speed) : 1000 rpm
- P 이득 : 0.09



<그림 4> P 이득 적용 후 모터 속도 응답
<Fig. 4> Motor speed response after applied P gain

4. 결 론

네트워크 기반 BLDC 모터 제어 네트워크를 구축을 위해 제어의 실시간성이 보장되면서 대용량의 데이터 전송과 표준 이더넷 호환이 가능한 산업용 이더넷 프로토콜인 EtherCAT을 적용하여 BLDC 모터를 대상으로 P 제어를 수행함으로서 그 가능성을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 정통부 및 정보통신연구진흥원의 지원을 받아 수행된 연구결과임, <08-기반-13, 정보통신연구기반조성사업>

[참 고 문 헌]

[1] CiA, "DS V4.0.2: CANopen application layer and communication profile", CAN in Automation, 2006.
[2] IEC, "CEI/IEC61491 Second edition : Sercos Specification", International standard, 2002.
[3] PNO, "PORFIBUS Specification", according to the European Standard, EN 50170 Volume 2, 1998.
[4] Guido Beckmann, "EtherCAT Communication Specifi- cation, Version 1.0", EtherCAT Technology Group, 2004.