

DeviceNet을 이용한 복수전동기 구동시스템 구현

최용, 이흥희, 정의헌
 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

Implementation of Multi-motors driving system using DeviceNet

Woong Choi, Hong-Hee Lee, Eui-Heon Jung
 School of Electrical Engineering, University of Ulsan

ABSTRACT

DeviceNet은 Rockwell/Allen-Bradley에서 개발된 응용계층으로 CAN(controller area network)을 기반으로 한 저가의 통신 링크이며 단순한 산업용 디바이스(sensors, actuators)와 상위 디바이스(controller)를 연결하는 하위 레벨의 네트워크이다. 본 논문에서는 2대의 전동기를 마스터, 슬레이브 형식으로 실시간 동특성을 만족할 수 있는 동기제어 알고리즘을 개발하고 이를 DeviceNet을 이용하여 실시간으로 제어할 수 있는 복수전동기 구동시스템을 구현하고자 한다. DeviceNet 마스터는 Hilscher社의 DeviceNet Card(CIF50-DNM)를 PC에 장착되어 구현하고 슬레이브는 Atmel社의 AVR칩(AT90CAN128)을 이용하여 설계하였다.

1. 서론

오늘날 공장자동화와 공정의 분산제어 등과 같이 대형의 복잡한 시스템들을 실시간으로 운용 및 관리하는데 있어 다양한 필드버스 네트워크 시스템을 도입하고 있다. 필드버스는 필드에 설치된 각종 센서, 단일루프제어기, 소형 PLC, 모터 등의 동작기계를 비롯해 그러한 장비들을 제어하는 자동화 기기에서 생성되는 데이터를 실시간으로 처리한다. 이러한 필드버스의 도입으로 인해 배선비용이 절감되고 노이즈에 강하며 유지, 보수에 대한 비용이 줄어들고 유연성과 확장성이 증대되었다. DeviceNet은 이러한 필드버스의 성공적인 사례이다. DeviceNet은 Rockwell/Allen-Bradley에서 개발된 응용계층으로 오늘날 산업자동화 현장에서 널리 이용되고 있으며 오픈된 네트워크 규격으로 사양과 프로토콜이 공개되어 있어 누구나 ODVA(Open DeviceNet Vendor Association)를 통하여 DeviceNet 사양서를 입수할 수 있다. 본 논문에서는 2대의 전동기를 마스터/슬레이브 형태로 구동할 수 있는 알고리즘을 개발하고 이 알고리즘을 DeviceNet을 이용해 실시간으로 제어할 수 있는 복수전동기 구동시스템을 구현하고자 한다. 동기제어 알고리즘을 유도하기 위해 PID 제어를 가진 서보 앰프를 통해 제어되는 직류전동기 제어 시스템을 모델링하여 H-infinite 제어기법을 사용하였다. DeviceNet 마스터는 Hilscher社의 DeviceNet Card (CIF50-DNM)를 PC에 장착하여 구현하고 슬레이브는 Atmel社의 AVR칩(AT90CAN128)을 이용하여 설계하였다.

2. DeviceNet

DeviceNet은 CAN을 기반으로 한 저가의 통신 링크이며 그림 1과 같이 단순한 산업용 디바이스와 상위 디바이스를 연결하는 하위 레벨의 네트워크이다.

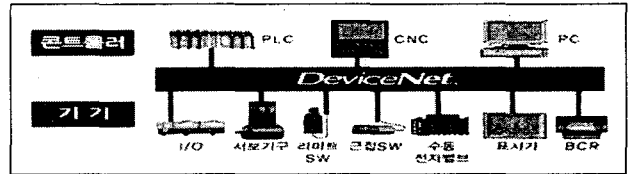


그림 1 DeviceNet 통신링크의 예
 Fig. 1 Example of DeviceNet communication link

완전한 오픈 네트워크이므로 다른 네트워크와 같이 특정 마스터 메이커를 중심으로 개발, 판매에 제약을 받는 경우가 없다. 또 CAN 통신방식을 이용하는 프로토콜이므로 저가격의 CAN칩을 사용하여 비용을 절감할 수 있고 마스터 및 각 기기가 디바이스 레벨의 네트워크에 직접 접속이 가능하여 기기간의 통신이 개선됨과 동시에 중요한 진단 정보에 접근이 가능하여 고장상태에 대하여 유연하게 대처할 수 있다.

DeviceNet의 통신 특성은 하위 디바이스가 사용하는 제어용 정보(I/O Message)의 전송과 그 밖에 제어대상에 간접적으로 관련되는 기타의 정보(Explicit Message)전송을 주요 목적으로 하고 대량의 정보를 분할하여 전송하므로 I/O 데이터의 효율적인 전송형태를 갖고 있으며 오차 확인을 위하여 중복 MAC ID를 검출하는 기능도 포함되어 있다.

3. 시스템 모델링

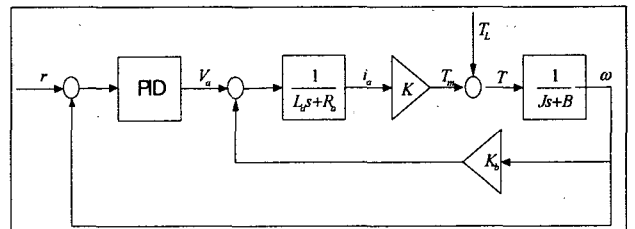


그림 2 서보 앰프 등가 모델
 Fig. 2 Equivalent model of servo amp

표 1 DeviceNet의 통신 특성

Table 1 communication property of DeviceNet

네트워크의 크기	64노드 이하	
네트워크의 길이	노드간의 최대 네트워크 거리는 통신속도에 따라 다르다.	
	전송률	길이
	125kbps	500 m
	250kbps	250 m
	500kbps	100 m
데이터 길이	0-8바이트	
버스 토폴로지	선형(간선/지선):동일 네트워크 케이블 사의 전력 및 신호	
버스 어드레싱	멀티캐스트의 pair 대 pair 멀티마스터와 마스터/슬레이브의 특수형 poll 또는 change-of-state (예외 베이스)	
시스템 특성	전원 투입상태에서 네트워크에서의 디바이스의 삭제 및 교환	

본 논문에서는 서버 애플 시스템의 입력(속도지령)과 출력(속도)에 따른 주파수 특성을 고려하여 직류 전동기의 매개변수들을 이용한 모델과 이를 제어하는 PID 제어기에 대한 등가 시스템을 그림 2에 나타내었다. 또한 표 1은 DeviceNet의 통신 특성을 설명하고 있다. 그림 2와 같은 시스템의 모델에 대한 상태방정식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\alpha & -\beta & -\gamma \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} u \quad (1)$$

$$y = [\delta \ \varepsilon \ \gamma] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{bmatrix} \quad (2)$$

여기서

$$\alpha = \frac{JR + BL + KK_d}{JL}, \beta = \frac{BR + KK_p + K^2}{JL}, \gamma = \frac{KK_i}{JL}$$

$$\delta = \frac{KK_d}{JL}, \varepsilon = \frac{KK_p}{JL}$$

J=관성모멘트

R=회전자 저항

L=회전자 인덕턴스

K=토크상수

K_p, K_i, K_d=PID 제어기

B=마찰 계수

이다.

4. 제어기 설계

본 논문에서는 DeviceNet을 통해 2개의 서버 애플 시스템에 대한 동기 제어를 수행한다. DeviceNet의 통신 특성에서 네트워크의 속도는 표 1과 같이 각각의 거리에 따라 다른 속도를 가진다. 100m 이내의 거리에서 네트워크 속도는 500kbps(굵은 선의 경우)까지 가능하다. 이 경우 비트당 속도는 2μs가 된다. DeviceNet은 CAN의 표준 프레임에 대해서만 정의하므로 11bit의 ID를 가진다. 표 2는 데이터의 바이트수에 따라 처음 수신 되었을 때부터 프레임의 마지막이 수신이 끝날 때까지의 지연되는 시간을 나타낸다. 여기서 총 비트수는 한 프레임을 전송할

경우에 대해서만 언급하였다.

표 2 DeviceNet 1프레임당 CAN interrupt 최소 시간

Table 2 minimum CAN interrupt times per DeviceNet frame

데이터의 byte수	0	1	2	3	4	5	6	7	8
총bit수	47	55	63	71	79	87	95	103	111
125kbps	376	440	504	568	632	696	760	824	888
250kbps	188	220	252	284	316	348	380	412	444
500kbps	94	110	126	142	158	174	190	206	222

표 2에서 알수 있는 바와 같이 전송속도가 500kbps이고 데이터가 없는 경우에 94μs 지연이 생긴다. 그러나 데이터가 8byte인 경우에는 222μs가 지연된다. 이것은 DeviceNet의 통신 특성으로 인하여 생기는 최소지연 시간이다. 이 외에 다른 외부 영향에 의해 생기는 지연을 최소화하는 제어기 설계를 위해 H-infinite 제어 기법을 적용한다.

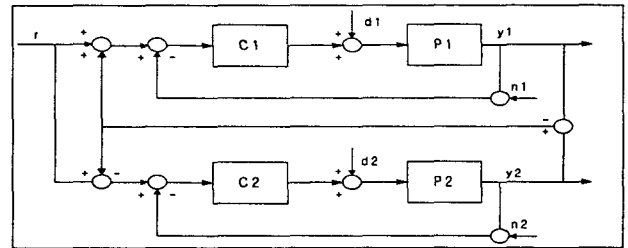


그림 3 동기제어에 대한 블록다이어그램

Fig. 3 Block diagram of synchronization control

그림 3은 동기제어 시스템의 블록다이어그램을 나타내었다. P1, P2는 제어 대상인 서버 애플 시스템이고 C1, C2는 H-infinite가 적용된 제어기이다. 2개의 서버 애플 사이에 동기화를 위한 H-infinite 제어기가 있고 출력에서 피드백되는 신호는 출력 오차를 나타낸다. 식(3)은 전달함수를 나타낸다.

$$y = \frac{PC}{1+PC} r + \frac{P}{1+PC} d + \frac{PC}{1+PC} n$$

$$= T \cdot r + P \cdot S \cdot d - T \cdot n \quad (3)$$

loop-shaping에 의해 설계된 H-infinite 제어기는 robust performance를 만족시키기 위한 전제 조건으로 P가 stable하고 최소 위상(minimum phase)이 요구된다.^[1]

robust performance는 nominal plant에 대한 페루프 시스템이 internally stable하고 식(4)의 조건을 만족 시키는 제어기를 어떻게 설계하는가에 따라 결정된다.

$$\| W_1 S + W_2 T \|_{\infty} < 1 \quad (4)$$

여기서, W₁, W₂는 Weighting function 이다.

W₁은 S의 저주파수 부분의 크기를 W₂는 T의 고주파수 부분의 크기를 조절한다. W₁, W₂는 주어진 P와 제어 요구에 따라 선택될 수 있다. loop-shaping의 설계를 위해 L에 의한 bode plot을 이용하여 식(4)를 만족하는 제어기(L/P)를 설계할 수 있다.

5. 시뮬레이션

제안된 제어기를 성능을 증명하기 위해서 매트랩 시뮬레이션을 이용하였다. 서보 앰프 시스템의 매개변수는 표 3과 같다.

표 3 서보 시스템 매개변수
Table 3 Servo system parameters

$R[\Omega]$	1
$L[H]$	0.1
$J[kg \cdot cm^2/sec]$	0.0098
$B[kg \cdot cm^2/sec]$	0.2
$K[kg \cdot cm^2/A](V/rad)$	0.1
K_p, K_i, K_d	100,100,10

서보 앰프에 대한 페루프 전달 함수는 표 3 과 식(4)에 의해 정의하고 제어 성능을 만족하는 W_1, W_2 를 결정한다. 이러한 과정을 통해 H-infinite 제어기의 전달함수는 식(5)으로 나타낼 수 있다.

$$H^\infty = \frac{0.49z^4 + 15.8z^3 + 169.5z^2 + 655z + 200}{0.1z^4 + 1.2z^3 + 3.1z^2 + 3z + 1} \quad (5)$$

제안된 동기 제어 기법에 대한 매트랩 시뮬레이션 결과를 그림 4~6 에 나타내었다.

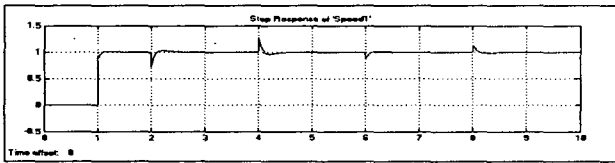


그림 4 전동기 1의 속도 응답
Fig. 4 Speed response for motor 1

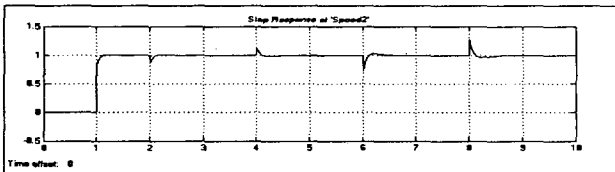


그림 5 전동기 2의 속도 응답
Fig. 5 Fig. 4 Speed response for motor 2

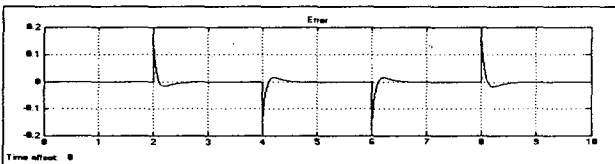


그림 6 속도 오차
Fig. 6 Speed error

스텝 펄스를 입력으로 하고 로드 토크가 적용된 경우에 각각의 전동기에 대한 속도 응답을 그림 4, 5에 나타내었다. 동기 제어기의 성능을 알아보기 위해 처음 2~4초 동안 전동기 1에 25%의 로드 토크를 적용하였고 6~8초 동안 전동기 2에 같은 토크를 적용하였다. 전동기 사이의 속도 오차는 그림 6에 나타내었다.

6. 실험 및 검토

제안된 동기 제어 알고리즘을 실제 시스템에 적용하기 위해 그림 7과 같은 실험 환경을 구성하고 복수 전동기의 속도제어를 DeviceNet을 이용해 수행하였다. 마스터로는 PC에 DeviceNet 마스터 카드(CIF50DNM)를 장착하여 사용하고, 슬레이브로는 8비트 AVR AT90CAN128칩에 DeviceNet 슬레이브 펌웨어를 구현하여 전체 제어 시스템을 구성하였다. 구현된 DeviceNet 시스템의 전송속도는 500kbps로 설정하였고, 연결 가능한 노드수는 최대 64개로 본 시스템에서는 마스터 노드 1개와 슬레이브 노드 2개로 총 3개의 노드로 구성하였다. 구현된 시스템은 전동기의 속도 제어 외에도 토크 및 위치 제어와 센서, 리미트 스위치 등 다양한 제어 대상에 적용이 가능하다.

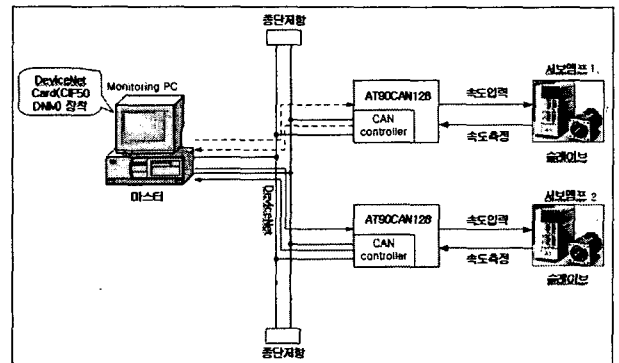


그림 7 네트워크로 연결된 동기화 시스템
Fig. 7 Networked synchronization system

7. 결론

본 논문에서는 필드버스 중 상위 계층을 정의하고 있는 DeviceNet을 이용하여 복수 전동기 구동 시스템을 구현하였다. 복수 전동기 구동 알고리즘 도출을 위해 직류전동기 제어 시스템을 모델링하고, 동기 제어 알고리즘 개발하여 시뮬레이션을 통해 알고리즘을 검증 하였다. 실제 DeviceNet을 이용한 복수 전동기 구동 시스템을 구축하였고, 제안된 알고리즘을 적용하여 DeviceNet을 통해 복수 전동기의 속도 제어를 수행하였다.

이 논문은 산업자원부 지정 울산대학교 네트워크 기반 자동화연구센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] J. C. Doyle, B. A. Francis and A. R. Tannebaum, *Feedback Control Theory*, Macmillan Publishing Company, pp.105-109, 1992.
- [2] Wofhard Lawrenz, *CAN System Engineering from Theory to Practical Application*, Springer, 1997.
- [3] DeviceNet Communication Model and Protocol, DeviceNet Device Profiles Object Library, Volume 1, 2.