

산업용 유도전동기의 원격제어를 위한 분산 Embedded 시스템에 관한 연구

(Design of a Distributed Embedded System for Remote Multi-Induction Motor Control of Industrial Fields)

홍원표* · 이승학

(Won-Pyo Hong · Hak-Seung Lee)

요 약

이 논문은 유도전동기 원격제어를 위한 분산 임베디드시스템에 관한 연구로 제어시스템은 CAN통신을 기반으로 하는 네트워크를 구성하였으며 원격제어를 위하여 Ethernet TCP/IP-CAN 게이트웨이를 개발하였다. 이를 통하여 유도전동기 2대의 구동시스템을 제작하여 원격제어실험을 수행하였으며 실험 결과 개발된 알고리즘 및 TCP/IP-CAN 게이트웨이가 매우 우수한 성능을 가지고 있음을 확인하였다.

Abstract

We introduce the concept of a remote distributed embedded system to integrated fieldbus based control systems in internet/Intranet. As a result, fieldbus systems are opened up for remote monitoring, remote maintenance, and remote control applications using state of the art Web-technology. This paper addresses the design of a remote distributed embedded system using Internet and CAN for multi-induction motor of Building and Industrial field. The fieldbus used the CAN based networked intelligent multi-motor control system using DSP2812 microprocessor. To build a remote distributed embedded system, the TCP/IP-CAN Gateway which converts a CAN protocol to TCP/IP protocol and vice versa, was designed. A experimental simulation system consists of a TCP/IP-CAN gateway in remote place and a command PC to be connected to Ethernet.

Key Words : Internet, TCP/IP, Gateway, DSP2812 microprocessor, Networked intelligent multi-control, CAN, Inverter driving system

1. 서 론

산업계의 발전소, 제지, 철강, 상하수도 등의 프랜 트와 가정 및 빌딩에 동력원으로 전동기의 핵심적인 역할을 하고 있으며 그 수요는 점점 증대할 것으로 전망된다. 전동기의 제어, 감시, 유지관리 및 데이터

* 주저자 : 한밭대학교 건축설비공학과 교수
Tel : 042-821-1179, Fax : 042-821-1175
E-mail : wphong@hanbat.ac.kr
접수일자 : 2006년 8월 18일
1차심사 : 2006년 8월 29일, 2차심사 : 2006년 9월 20일
심사완료 : 2006년 10월 16일

이력관리 등은 산업계의 제품의 질과 경제성을 제고하는 데 핵심적인 사항이 될 것이다. 산업계 전동기 운전현황의 한 예로 보령복합화력발전소의 고·저압 전동기는 561대가 운전되고 있다[1]. 인버터 등 반도체 전력회로로 구동되는 전동기 구동시스템도 기존의 1대의 전동기를 단독으로 제어하는 고립적인 구성에서 벗어나 서로 연관성 있는 전동기를 모두 네트워크로 연결하고 상호간의 효율적인 제어를 위하여 정보와 데이터를 교환하며 호스트 컴퓨터에서 이를 통합관리하는 시스템을 구성하면 많은 장점을 가지게 된다. 각 필드버스 지능형 노드에 연결된 전동기는 각 전동기의 동작상태를 실시간으로 모니터링할 수 있고 고장진단도 제어 알고리즘에 특성에 따라 실시간으로 이루어지는 등 필드버스를 통하여 여러 전동기를 통합적으로 제어함으로써 전동기의 운전효율 향상은 물론 유지보수 비용의 절감 등을 통하여 신뢰성을 제고시킴으로써 전체 산업계에 큰 기여를 할 수 있다. 따라서 향후 인버터 설정 및 동작상태 정보 및 고장이력 정보 등을 네트워크를 통하여 양방향 통신이 가능할 수 있도록 필드버스 네트워크의 필요성과 현장 설치 운영이 점차 증가될 것이다. CAN은 다른 자동화 통신망들에 비하여 가격대 성능이 우수하며 지난 수년간 차량내의 열악한 환경에서 성공적으로 동작되어 신뢰도가 검증된 통신망이다. 이러한 장점들로 인하여 최근에는 공장자동화와 공정 분산제어 등 각종 산업 설비에서 제어 및 자동화 관련 장비들 간에 데이터 교환을 위한 통신망으로 널리 사용되고 있다[2-5]. 또한 현대사회는 인터넷을 통하여 모든 데이터를 시·공간에 관계없이 자유로이 유통되는 단일화된 네트워크로 발전되었다. 이는 이 네트워크에 사용되는 Ethernet TCP/IP의 프로토콜이 사실상 표준화되어 사용되고 있기 때문이다[6-8]. 하지만 인터넷만을 이용한 원격제어시스템에서는 여러 장비와 시스템을 효율적으로 제어하기에는 어려움이 있으며, 또한 분산제어 네트워크만을 사용한다면 장거리 원격제어에 한계를 가지고 있다. 따라서 본 연구에서는 인터넷 원격제어 이러한 장점과 분산네트워크의 다중실시간 제어장점을 함께 구동할 수 있을 뿐만 아니라 소형 경량으로 제작하여 컴퓨터가 아닌 프로세서레벨에서

인터넷과 분산 네트워크를 변환하는 시스템을 개발하였다. CAN 필드버스를 다수 전동기 네트워크 제어시스템 구축을 위한 CAN이 내장되어 있는 TI사의 TMS320LF28X 전동기구동 전용칩을 사용하여 TCP/IP, IPMP, ARP, 및 UDP 프로토콜을 구현하여 이더넷 컨트롤러(NM7010B)와 인터페이스 할 수 있도록 하여 전동기 원격제어가 가능하도록 TCP/IP-CAN 게이트웨이(gateway)를 개발하고, [9-10]에서 실현한 CAN기반 지능형 Multi-motor 제어시스템을 구축한 기반 위에 원격제어를 위한 TCP/IP-CAN 임베디드 시스템을 구축하고 성능을 확인하기 위하여 실험하였다. 모니터링 컴퓨터에서 속도지령치를 주었을 때 원격지에서 각 CAN ID를 할당받아 2대의 유도전동기가 동시에 원격과 CAN 기반에서 속도지령치에 도달하는 것을 각각 보이고 TCP/IP 게이트웨이의 송신여부를 파악하기 위하여 모터의 속도 데이터를 TCP/IP 게이트웨이가 모니터링 PC로 데이터를 전송하는 것을 확인하였다.

2. 인터넷과 CAN을 이용한 원격분산 Embedded 제어시스템 구축

2.1 임베디드 웹 프로토콜

현재 가장 널리 사용되고 있는 개방형 컴퓨터네트워크로는 TCP/IP와 이더넷 등을 들 수 있다. TCP/IP는 대규모의 네트워크 환경에서 서로 다른 네트워크를 경유한 신뢰성 높은 데이터 전송을 위해 개발되었으며 전 세계적으로 네트워크 기능이 포함된 대부분의 업무용 개인용 사업용 컴퓨터 시스템에서 지원되고 있는 표준 프로토콜이다. TCP/IP와 이더넷이 일반적인 비 실시간 시스템에서 사용될 때는 큰 문제가 없지만 실시간 시스템에 사용될 경우에는 많은 문제점이 있다는 것이 이미 알려져 있으며[8] 이를 보완하기 위하여 MBRAM, QoS, Extended TCP, Traffic Smoothing 등 많은 연구들이 진행되어 왔다. 이더넷에 사용되는 CSMA/CD(Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) 프로토콜에서는 실시간 시스템에서 가장 문제가 되는 전송시간 지연의 비 예측성이 존재한다[11].

특히 TCP/IP 프로토콜과 같이 사용될 때에는 많은 문제점을 유발하게 된다. 또한 오버헤드가 적고 지연시간 예측이 용이한 UDP와 함께 산업용 네트워크로 사용하기 위해서는 반드시 각 계층에 발생될 수 있는 시간 지연 예측이 필요하며 예측 불가능한 전송 지연요소를 제거해야 한다. 이더넷의 또 다른 특성은 네트워크의 부하의 증가에 따라 패킷 충돌확율이 높아지는 것이다. 즉 네트워크 사용률이 적은 경우에는 아주 적은 패킷 충돌이 발생하지만 네트워크 사용률이 증가함에 따라 패킷 충돌이 현저하게 증가하여 결국 네트워크 효율이 어느 정도 이상 증가하지 않는 포화 상태에 이른다. 따라서 부하 조건 하에서 적절히 동작하기 위하여 설계된 네트워크라면 패킷 충돌확율이 줄어들게 된다. 따라서 인터넷 원격제어 이러한 장점과 분산네트워크의 다중실시간 제어장점을 함께 구동할 수 있을 뿐만 아니라 소형 경량으로 제작하여 컴퓨터가 아닌 프로세스레벨에서 인터넷과 분산 네트워크를 변환하는 시스템을 개발하는 것은 매우 중요하다. CAN 필드버스를 다수 전동기 네트워크 제어시스템 구축을 위한 CAN이 내장되어 있는 TI사의 TMS320LF281X 전동기 구동 전용칩을 사용하여 TCP/IP, IPMP, ARP, 및 UDP 프로토콜을 구현하여 Wiznet사에서 제공하는 모듈인 인터넷 컨트롤러(NM7010B)와 인터페이스할 수 있도록 하였다. 그림 1은 WIZnet사에서 제공하는 NM7010B의 네트워크 모듈을 나타낸 것이다. 이 네트워크 모듈은 W3150A인 TCP/IP 하드와이어(hardwired) 칩과 이더넷 물리계층(PHY) 칩 그리고 MAG-JACK(X'FMR를 가진 RJ45)로 구성되어 있다. 이 모듈의 특징은 W3150A와 TCP/IP 하드와이어 칩과의 인터페이스가 필요 없으며 한 콤포넌트로 간주되어 인터넷 시스템을 매우 손쉽게 구성할 수 있다. 이 RTL8201BL 트랜시버는 10/100Base-T 이더넷을 지원하며 물리계층은 표준 MII/SNI 인터페이스와 다양한 MCU사용이 가능한 특징이 있다. 또한 이칩은 NIC, NAU(Network Interface Card), MAU(Media Attachment Unit), CNR(Communication and networking Riser), ACR(Advanced Communication Riser), Ethernet Hub, 및 Ethernet Switch에서 사용이 가능하다. 이 때문에 TP 물리접

속과 100Base-FX 광 트랜시버모듈에 광 PECL 인터페이스가 필요한 Ethernet MAC을 가지는 어느 임베디드 시스템에도 사용이 가능하다. 또한 TOP(TCP/IP offload platform)를 통하여 TCP/IP 프로세싱을 오프로딩(offloading)하기 때문에 전체 시스템의 성능을 크게 개선할 수 있다.

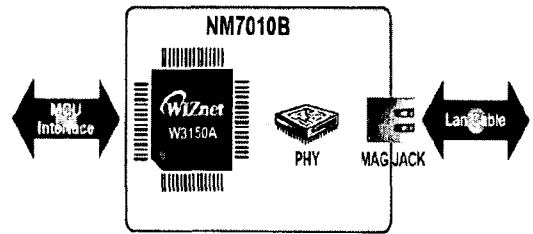


그림 1. NM 7010B의 구성 블록도
Fig. 1. Configuration block Diagram of NM7010B

2.1.1 이더넷 드라이버

개발된 이더넷 네트워크드라이버는 상위네트워크 계층으로부터의 패킷을 인터넷으로 패킷을 전송하는 역할을 하거나 그 반대로 작동을 하게 된다. 네트워크제어기는 초기화과정을 거친 후 수신버퍼에 패킷이 도착하였는지를 검사한다. 만약에 데이터가 수신되면 수신버퍼에서 공통전역버퍼로 이동한다. 데이터처리과정은 먼저 수신데이터에서 4바이트 헤드 정보를 얻고 연결계층에서 체크섬을 하여 수신데이터의 에러검사를 하고 공통전역버퍼로 이동한다. 드라이버가 주기적으로 네트워크제어기의 인터럽트상태레지스터로부터의 패킷 도달여부를 검사한다. 네트워크제어기 내부에는 16[kbyte]의 RAM이 있고 칩내부에 제어기능이 있어 복수 패킷을 저장할 수 있다. 만약 버퍼가 가득차면 수신패킷을 제거하기도 한다. 드라이버에서 네트워크 전송도 같은 절차를 거치는데 이때는 전송하는 데이터를 공통전역버퍼에서 네트워크 제어기 버퍼로 이동한다. 그림 2는 이더넷 프레임을 나타낸 것으로 크기는 최대 1518바이트이며 수신자 주소, 송신자주소, 유형/길이필드, 데이터 및 순환중복검사(CRC)이다. 데이터 필드는 임의의 형식을 갖는 사용자 데이터를 포함하며 유일한 제약사항은 데이터 필드의 최소 크기는 46바이트이고, 최대크기는 1,500바이트이다. 크기가 46바이트보

다 작으면 대규모네트워크에서는 프레임 충돌을 감지하지 못하는 경우가 있다.

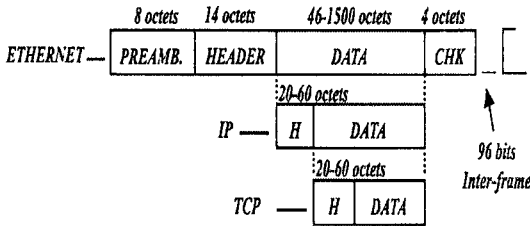


그림 2. 이더넷 프레임
Fig. 2. Ethernet Frame

2.1.2 네트워크 계층 프로토콜(IP)

네트워크 드라이브위에 있는 첫 번째 소프트웨어 계층은 IP프로토콜이다. 인터넷은 라우터로 연결된 네트워크들의 집합으로 라우터가 패킷을 받고 무엇을 할 것인가를 결정하기 위해 각 패킷내용을 상세히 검사해야만 한다면 매우 불편할 것이다. 패킷 앞부분에 있는 헤더에 라우터가 필요로 하는 모든 정보를 IP헤더에 집약하여 작업을 수행하게 된다. 즉 수신IP 패킷은 목적지 IP주소와 자신의 IP주소의 부합여부를 검사하고 IP헤더의 체크섬을 한다. 개발된 IP계층은 수신패킷의 IP헤더정보에 대한 올바른과 ARP, ICMP, UDP, TCP 프로토콜사이에 역 다중화(De-multiplex)를 한다. ARP는 32비트 IP주소와 48비트 MAC주소사이에 변환작업을 한다. 클라이언트에서 ARP요청에 대하여 ARP프로토콜에서는 응답을 하는 echo-relay 기능을 구현하였다. 그리고 ICMP 체크섬도 구현하였다.

2.1.3 전달계층프로토콜(TCP/UDP)

전달계층은 네트워크상의 일대일 연결설정 및 양방향 데이터 전달기능을 수행한다. 두 지점간의 양방향 데이터 전송을 위하여 두 지점은 지속적으로 데이터를 추적하여 데이터의 생략, 중복 등을 검출한다. 송수신자 각각은 자신이 사용할 때 사용하기 위한 순서번호와 수신확인 번호를 가지며 다른 노드로부터 수신한 순서번호와 수신확인번호를 기록한다. TCP는 유한상태기계(finite state machine)로서

작동하고 어떤 이벤트가 작동할 때 까지 그 상태를 유지한다. 상태기계를 임베디드시스템에 구현하는데 상태정보를 RAM에 저장하게 된다. 수신된 패킷은 체크섬을 확인하고 한 후에 출발지·목적지의 포트/IP주소가 검사된다. 본 연구에서는 흐름제어에 간단한 window방법을 사용하였다. 개방된 임베디드 제어기에서는 1개의 TCP조각에만 응답하며(Acknowledge) 호환성이 유지되도록 하였다.

TCP(Transmission Control Protocol)과 IP(Internet Protocol)는 각각 OSI 모델의 계층 4와 계층 3에 대응된다. IP는 스테이션간의 데이터그램 서비스를 제공하기 위하여 설계된 네트워크 계층의 프로토콜이며 TCP는 사용자들 사이에 Connection-oriented 서비스를 제공하며 Connection 설정, 유지와 해제를 전담하는 프로토콜이다.

2.2 CANbus2.0B 프로토콜

CAN 통신 프로토콜은 디바이스 간의 정보교환 방식을 ISO의 OSI모델에 의거하여 7개 층 중에서 하위 2개 층인 물리계층과 데이터 링크계층에 걸쳐 정의하였다. 응용계층은 벤더에 따라 서로 다른 프로토콜을 개발하여 산업응용 분야에 출시하여 사용하고 있다. CAN은 5[kbps]에서 CANbus 2.0B의 1[Mbps]까지 다양한 전송속도를 제공하며 토폴로지는 버스형(bus structure)과 스타형(star structure)을 지원한다. CAN 프로토콜은 데이터 링크 계층에서의 미디어 접근을 위해 충돌을 감지하고 중재할 수 있는 CSMA/AMP(Carrier Sense Multiple Access/Arbitration on Message Priority)방식을 사용하고 있다. 일반적으로 CAN은 BACnet의 하위계층으로 사용되는 Ethernet이나 ARCNET 등에 비하여, 센서단계에서 구현이 가능하다는 장점을 가지고 있다. 즉 CAN의 경우 대다수 반도체 제조 회사에서 원칙으로 구현이 가능한 저가의 마이크로 컨트롤러가 출시되고 있으며 CAN노드를 구성하기 위한 다양한 저가의 개발 툴이 존재하기 때문에 센서단계에서 구현이 매우 용이하다는 장점을 가지고 있다. CAN프로토콜은 고속의 통신 인터페이스를 제공하고 데이터 프레임의 오버헤드가 적기 때문에 빠른

응답 특성을 갖고 있다. 또한 식별자 (identifier)를 이용한 충돌방지와 전송중재(arbitration)기능을 갖고 있어 실시간 제어 네트워크 프로토콜로서 피드백제어를 요구하는 시스템 환경에도 적합할 뿐만 아니라 모듈 개발에 매우 저렴한 비용으로 구축할 수 있는 장점을 가지고 있다. 따라서 열악한 환경조건하에서 입출력형태가 비교적 고도의 정밀한 운전이 필요치 않는 저전압 유도전동기 시스템 운전을 위한 네트워크기반 제어 및 모니터링 시스템에는 매우 중요한 필드버스로 평가할 수 있다. 특히 최근에는 CAN을 홈 네트워크 및 홈 자동화용 프로토콜로서 적용하기 위한 논의가 CiA(CAN in Automation)를 중심으로 활발하게 논의되고 있다. 또한 CAN은 인텔사의 16비트 마이크로제어기 80C196CA와 TI사의 DSP인 TMS320X243, TMS320LF240X, TMS320LF28X는 CAN이 내장되어 있어 전동기 제어에 DSP 칩을 사용하는 경우 1개의 DSP 칩으로 전동기 제어 뿐 만 아니라 CAN 네트워킹까지도 쉽게 할 수 있다. 그림 3은 CANbus 2.0B의 프레임 구조를 나타낸 것으로 데이터는 8 바이트까지 지원하며 16비트를 CHK를 이용한 오류 검출 등과 같은 안전성이 매우 높은 프로토콜이다.

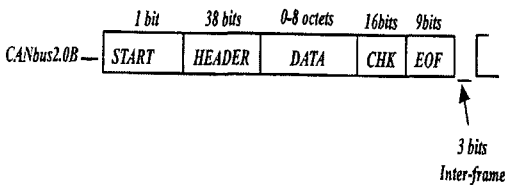


그림 3. CANbus 2.0B 프레임
Fig. 3. CANbus 2.0B flame

3. TCP/IP-CAN 네트워크 설계 및 제작

3.1 TCP/IP-CAN gateway 설계

시스템 구성은 TCP/IP-CAN Gateway를 기준으로 모니터링 컴퓨터에서 인터넷을 통하여 접속되었으며 다수의 장비와 TCP/IP-CAN gateway간에는 CAN 네트워크로 연결되어 있다. 모니터링 컴퓨터에

서 사용자 위주의 응용프로그램을 이용하여 사용자가 TCP/IP-CAN 게이트웨이에 접속하여 다수의 장비를 제어 가능하도록 하였다. 실제 CAN에서는 1000여개의 ID를 할당 받아 분산네트워크를 구성할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 TCP/IP-CAN 게이트웨이에 2대의 인버터로 구동되는 유도전동기를 설치하여 모니터링 PC에서 제어가 가능하고 데이터를 전송받을 수 있도록 하였다. 그림 4는 전체시스템의 구성도를 블럭다이어그램으로 나타낸 것이다. TCP/IP-CAN게이트웨이를 중심으로 CAN 네트워크는 DSP 2812로 구현하여 인버터시스템에 속도지령명령을 수행하고 모니터링시스템은 이더넷에 연결되어 있어 전체시스템을 모니터링한다. 한번에 실행되는 버퍼링의 양은 데이터 메모리의 크기가 64[kbyte]로 제한되어 있고 한번에 보내는 패킷은 이더넷을 사용하고 있으므로 1,500[byte]의 크기로 제한되어 있다. 또한 가변적인 각 헤더를 임시 저장해야 하고 CAN으로부터의 데이터를 저장해야 한다. 이러한 것을 고려할 때 버퍼링사이즈를 32[kbyte]로 제한하여 사용하면 충분한 버퍼링공간이 되어 패킷

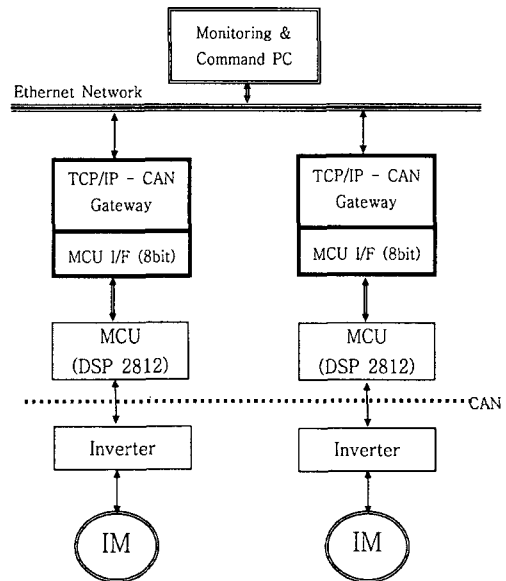


그림 4. 원격제어 시스템 블럭선도
Fig. 4. Block Diagram for Remote control of multi-motor

을 처리하는데 문제가 발생되지 않는다.

TCP/IP-CAN 게이트웨이는 CAN에서 수신한 데이터, 즉 CAN의 송신요구를 받아서 이더넷으로 패킷을 전송하도록 구성되어 있다.

3.2 소프트웨어 구성

TCP/IP-CAN 게이트웨이는 CAN에서 수신한 데이터, 즉 CAN의 송신요구를 받아서 이더넷으로 패킷을 전송하도록 되어 있다.

또한 TCP/IP-CAN 게이트웨이에서 접속요청을 받아서 커넥션되어지는 과정과 데이터를 수신하여 처리하는 과정을 나타내는 순서도이다. 여기서 보는 바와 같이 패킷을 처리하는 도중에 다시 패킷을 수신하면 패킷을 임시 저장하여 처리한다. TCP/IP에서 TCP/IP-CAN 게이트웨이로 수신되는 데이터는 각 CAN에 대한 정보로서 2바이트 헤더와 6바이트의 데이터로 구성되어 전송한다. 여기서 헤더는 CAN ID의 정보를 가진 부분이고 6바이트 데이터는 각 명령지령치를 가지고 있다. 반대로 TCP/IP-CAN 게이트웨이에서 TCP/IP로 전송시에도 동일한 형태로 변환하여 전송한다.

4. 인터넷과 CAN을 이용한 원격분산 Embedded System 성능 실험

4.1 실험시스템

유도전동기와 모타드라이브 구동기 컨트롤러로 구성된 유도전동기 모듈로서 DSP 2812의 CAN을 이용한 제어기하여 제어하도록 하였다. 본 실험에서는 유도전동기와 인버터 구동시스템 각각 2대와 TCP/IP-CAN 게이트웨이 모듈 2개를 이용하여 시스템을 구성하였다. 그림 5는 게이트웨이가 포함된 전체시스템 실험시스템을 나타낸 것이다. 또한 그림 6은 본 실험에서 제작한 TCP/IP-CAN 게이트웨이 보드를 나타낸 것이다.

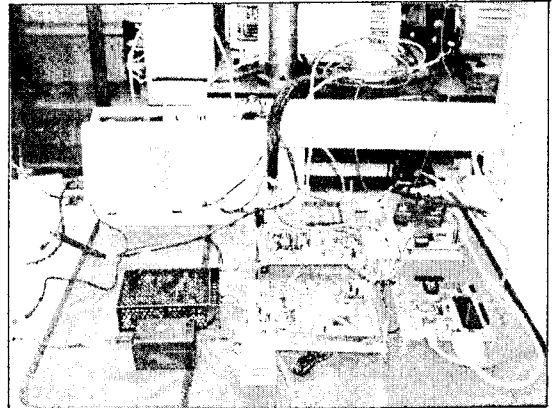


그림 5. 원격분산제어 실험 장면
Fig. 5. Experimental set up for Internet based control

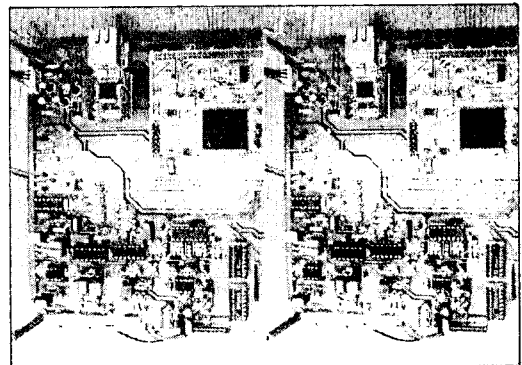


그림 6 TCP/IP-CAN 게이트웨이 보드
Fig. 6 Gateway board of TCP/IP-CAN

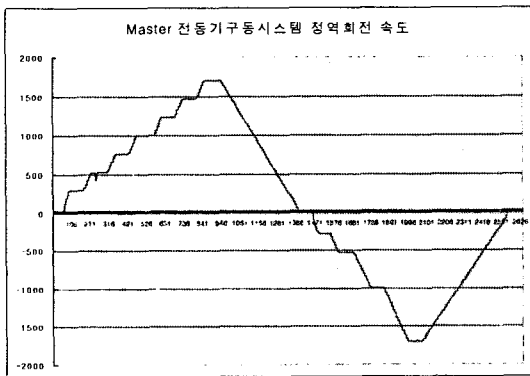
4.2 실험결과

4.2.1 CAN 네트워크상에서의 속도추종실험

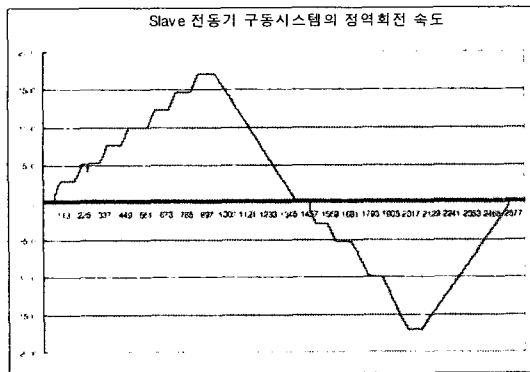
CAN이 내장된 TMS320F2812 DSP칩을 이용하여 제어모듈을 개발하고 Multi-motor제어 시스템을 구축하여 실험을 수행하였다. CAN 제어를 이용하여 버스 네트워크를 그림 4와 같이 구축하였다. Host 노드(PC)에서 임의의 제어명령을 Master 전동기 구동시스템의 DSP제어모듈에 명령하여 임의의 속도를 제어하도록 하였다. 그림 7은 전동기의 정역회전을 연속적으로 운전한 위치제어 실험한 결과이다.

이 속도를 엔코더로 피드백하여 Master제어장치가 슬레이브 제어장치에 CAN통신을 통하여 전송하

여 슬레이브 구동시스템에서 Master시스템의 회전 속도를 실시간으로 추종하도록 하였다. 이 실험에서도 구동시스템은 정역운전 전 영역에서도 실시간으로 잘 추종하는 것을 알 수 있다. 이때 반주기는 인버터제어시스템의 사양에 맞추어 6초로 설정하여 시험하였다. 이 실험 Data는 DSP2812 외부메모리에 XINTF Zone(0x100000-0x180000)메모리에 16진수로 저장된 데이터를 인티저 데이터로 변환하여 엑셀틀로 그림을 그린 것이다. 이 결과 Master전동기의 회전속도(정역운전)를 광범위한 운전범위에서 Slave 전동기가 지연 없이 실시간으로 추종하고 있음을 확인할 수 있다. CAN 통신은 비교적 적은 노드를 가진 소규모시스템의 전동기 구동시스템에 적합한 것을 알 수 있다.



(a) Master 전동기 정역회전 운전모드

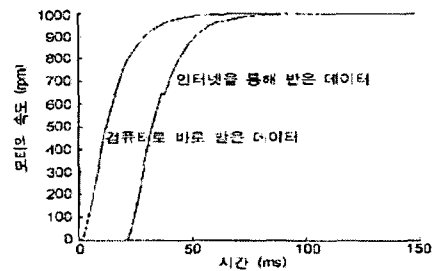


(b) Slave 전동기 정역회전 운전모드

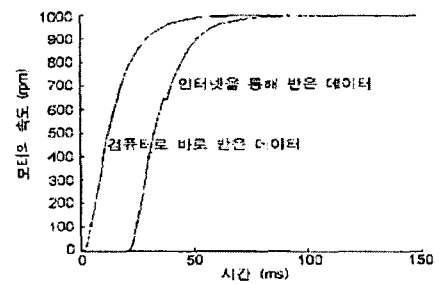
그림 7. 유도전동기 위치제어 운전모드
Fig. 7. Forward & reverse positional control mode of induction motor

4.2.2 인터넷과 CAN을 이용한 원격분산 Embedded System에 의한 유도전동기 추종실험

그림 8은 모니터링 PC에서 리모트 측의 마스터 유도전동기와 슬레이브 유도전동기를 TCP/IP-CAN 게이트웨이를 통해 각각 1,000[rpm]의 마스터 제어기에 지령치를 전달하고 각각의 유도전동기의 속도를 모니터링한 결과와 TCP/IP-CAN 게이트웨이를 통하지 않고 바로 CAN 네트워크에 연결된 모니터링PC를 통해 유도전동기를 제어한 결과를 비교한 것이다. CAN 네트워크는 시간지연 없이 실시간으로 제어가 가능한 것을 알 수 있으나 반면 그림 8의 (a)와 (b)에서 보는 바와 같이 TCP/IP-CAN 게이트웨이를 통하여 실험한 결과 시간지연이 약 20[ms]가 각각 발생하고 있다. 이는 CAN의 전송지연과 TCP/IP-CAN게이트웨이에서 처리시간, 이더넷 전송지연시간, 모니터링PC 처리시간 등이 모두 합쳐져서 찌그러짐 현상을 볼 수 있다. 찌그러짐 현상을



(a) 마스터 유도전동기의 속도제어 특성



(b) 슬레이브 유도전동기의 속도제어 특성

그림 8. 유도전동기의 속도제어특성
Fig. 8. Speed control characteristics of slave induction motor

알기위하여 그래프를 분석하면 동일 시간대에 찌그러짐이 일어남을 알 수 있다. 이것은 패킷의 재전송에 의한 데이터가 수신되지 못하여 생기는 현상이다. 그러나 여기서 마스터와 슬레이브 전동기 제어를 위한 전송지연은 거의 없는 것을 알 수 있다. 그림 9는 유도전동기의 원격위치제어 특성을 나타낸 것으로 Motor A가 마스터전동기이고 Motor B가 슬레이브 전동기 실험 결과로 지연 없이 제어 특성이 매우 우수함을 알 수 있다.

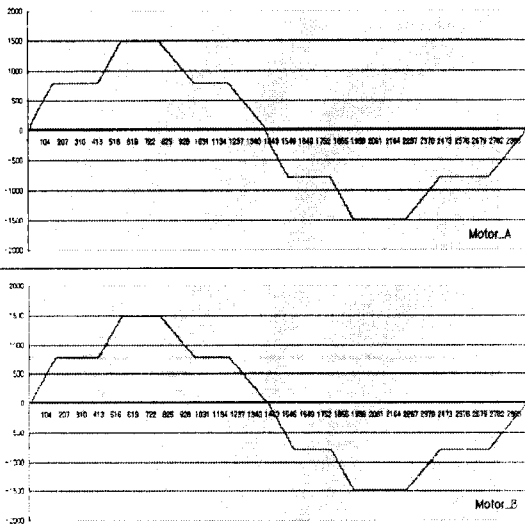


그림 9. 유도전동기 원격 위치제어 특성
Fig. 9. Remote forward & reverse positional control mode of induction motor

4. 결론 및 고찰

본 논문에서는 복수대의 유도전동기를 원격지에서 분산제어가 가능하도록 CAN 통신이 내재된 DSP2812 고성능 마이크로프로세서를 이용하여 복수전동기 네트워크제어 시스템을 구축하고 또한 TCP/IP프로토콜의 변환을 지원하는 소형·경량의 TCP/IP-CAN 게이트웨이를 설계하고 실험을 수행한 결과 아래와 같은 결과를 얻었다.

- 1) 복수전동기를 간단한 TCP/IP-CAN 게이트웨이를 개발하고 이를 통하여 원격지제어 및 모니터링이 가능한 신뢰성이 우수한 시스템을 개발하였다.

- 2) 국내에서 최초로 DSP2812를 이용하여CAN기반 복수모타 제어알고리즘을 개발하고 제어시스템을 구축하였다.
- 3) 복수모타를 다양한 전동속도범위와 모타위치 제어에서 실험한 결과 실시간으로 신뢰성 있는 운전성능을 확인하였다.
- 4) 네트워크기반 복수전동기 피드백제어시스템 구축기술을 개발하였다.

추후 통신트래픽 지연 메카니즘을 분석하여 현장 대규모 전동기를 네트워크제어하는 현장제어기술을 개발할 예정이다. 또한 TCP/IP-CAN 게이트웨이 임베디드 시스템의 효율적인 메모리관리 및 이벤트관리를 위해 보다 개선된 스케줄링 알고리즘을 개발하여야 한다.

The authors would like to gratefully acknowledge the financial support of KESRI (Korea Electrical Engineering & Science Research Institute) under project R-2003-B-285.

References

- [1] W.P. Hong, "Development of networked intelligent induction motor control system(II)", KESRI report(II) (Korea Electrical Engineering & Science Research Institute), 2005.8.26.
- [2] TMS320X281X DSP Enhanced CAN(eCAN) Reference guide, TI, 2005.
- [3] k. Etschberger, "Controller Area Network", IXXAT press, 2001.
- [4] W. Lawrenz, "CAN system Engineering", Springer-Verlag, New-York, Inc. 1977.
- [5] MFarsi, "CANopen Implementation application to industrial networks", Research Studies press co. 2000.
- [6] A.Flammini & et al., "Sensor Integration in Industrial Environment: from fieldbus to web sensors", Computer Standards & Interfaces, pp.183-194, 2003.
- [7] W.P.Hong, "Internet Web Based Implementation of LonWorks System by Developing Intelligent Control Modules", Journal of KIEE, Vol. 15, No. 2, pp. 87-96, 2001.
- [8] K.C.Lee, "performance Evaluation of Switched Ethernet for Real-Time Industrial Communication", Journal of CASE, Vol. 9, No. 1, pp.90-98, 2003.
- [9] W.P.Hong, "DSP 2812 마이크로프로세서를 이용한 CAN 기반 지능형 복수전동기 제어시스템 개발", KIEE Vol. 19, No. 8, pp. 109-115, Dec., 2005.
- [10] W.P.Hong, " Induction Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring", KIEE Vol. 19, No. 7,

- pp. 70-77 Sep. 2005.
- [11] H.U.Lee et al., "Design of a Remote Distributed Embedded System Using the Internet and CAN", Journal of CASE, Vol. 8, No. 5, pp. 434-437, 2002.
 - [12] EDU2812Kit, <http://www.realsys.co.kr>.
 - [13] Won-Pyo Hong, "Induction Motor Bearing Damage Detection Using Stator Current Monitoring", KIIEE Vol. 19, No. 7, pp. 70-77 Sep. 2005.
 - [14] Won-Pyo Hong, "Stator Current processing-Based Technique for Bearing Damage Detection in Induction Motor", ICCAS2005, June2-5, 2005, Korea.
 - [15] Won-Pyo Hong, "Networked Intelligent Motor-Control Systems Using IEEE/BA 709.1 Fieldbus", International Symposium on Computational Intelligence and Industrial Applications (ISCIA2004), DEC.20-24, Hainan Univ., Haikou, China, 2004.
 - [16] Hyun-suk Lee, et al., "Design of a remote distributed embedded system using the Internet and CAN", Journal of Control Automation and Systems Engineering, Vol.8, No. 5, May 2002.
 - [17] 홍성수, "분산실시간 제어시스템의 개발", CASE 기술 특집: 실시간제어시스템(3), ICASE, 1, 1998.

◇ 저자소개 ◇

홍원표 (洪元杓)

1956년 5월 15일생. 1978년 숭실대 전기공학과 졸업. 1989년 서울대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 1979~1993년 한전 전력연구원 선임연구원. 현재 한밭대학교 건축설비공학과 교수. 본 학회 편수위원. 대한설비공학회 에너지전문위원. 주요 연구분야는 필드버스 제어네트워크 적용. IBS 및 Smart space 구축기술임.

이승학 (李承學)

1954년 6월 23일생. 1979년 숭실대 전기공학과 졸업. 1982년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2004년 건국대학교대학원 전기공학과 졸업(박사). 1974~1998년 한전 전력연구원 선임연구원. 1999년~현재 대덕대학 전기과 교수. 인력개발센터장.

Tel. 042-866-0373

Fax. 042-866-0339

E-mail. leeshak@ddc.ac.kr