

FA를 위한 통합형 이더넷 통신 시스템 설계 및 구현*

김배현** · 문태현*** · 권문택****

요 약

최근 공개 표준과 통합 네트워크에 대한 요구가 증가하며, 하위 제어 계층에서도 이더넷 네트워크를 기반으로 한 시스템의 도입이 증가하고 있다. TCP/IP 기반의 네트워크를 상위 계층에서 하위 제어 계층까지 사용하는 방식으로 확장함으로써 공장 자동화용 애플리케이션을 이더넷 상에서 구현, 상위 관리 프로그램 및 DB 시스템과 직접 연동되는 통합 망 개념의 공장 자동화 시스템을 완성할 수 있게 된다. 본 논문에서 구현된 시스템은 공장 자동화 전용 이더넷 제어 시스템의 국제 표준인 Ethernet/IP 표준 시스템을 기반으로 하는 제어용 통신 디바이스를 구현하는 것을 목표로 하였다. 본 논문에서 구현된 시스템은 CIP의 표준 인터페이스에 기반한 네트워킹 기능을 수행하며, 이더넷 네트워크 환경이 다른 제어 시스템의 규격에 비하여 큰 대역폭을 갖고 있는 시스템이므로 네트워크의 데이터 전송 특성을 상당히 개선됨을 실험을 통하여 확인하였다.

Design and Implementation of Integrated Ethernet Communication System for FA

Baehyun Kim** · Tae Hyun Moon*** · Moon Taek Kwon****

ABSTRACT

Currently, the needs of open standard and integrated network, and also applications of Ethernet network based system are increasing. By applying and expanding TCP/IP based network technology from high to low control level, factory automation application has been implemented, and thus integrated factory automation system has been accomplished, which is directly interoperable between high level management program and DB system. This paper proposes a communication control device which is based on Ethernet/IP standard system for factory automation. The proposed system is workable in the environment of a network system, which is based on CIP standard interface technology. The proposed system can also contribute to improve data communication characteristics.

Key words : Factory Automation, Ethernet, CIP(Common Industrial Protocol)

* 본 논문은 정보통신부 2006년도 IT우수기술지원사업 연구결과의 일부입니다.

** 호원대학교 사이버수사경찰학부 연구교수

*** 어헤드컴 대표이사

**** 경희대학교 테크노경영대학원 교수

1. 서 론

공장 자동화 센서, 스위치 및 모터 디바이스를 제어하는 공장 자동화 표준인 DeviceNet, FieldBus, CAN 기반의 공장 자동화 제어용 시스템에서 이더넷 네트워크는 주로 상위 시스템 서버간의 관리 및 장비 모니터링용으로 주로 사용되어 왔다. 그러나 최근 공개 표준과 통합 네트워크에 대한 요구가 증가하며, 하위 제어 계층에서도 이더넷 네트워크를 기반으로 한 시스템의 도입이 증가하고 있다. 이더넷 네트워크는 이미 성능과 개발 편의성 면, 가격과 부품 수급 등 다양한 측면에서 입증된 개방형 시스템을 기반으로 하고 있다. TCP/IP 기반의 네트워크를 상위 계층에서 하위 제어 계층까지 사용하는 방식으로 확장함으로써 공장 자동화용 애플리케이션을 이더넷 상에서 구현, 상위 관리 프로그램 및 DB 시스템과 직접 연동되는 통합 망 개념의 공장 자동화 시스템을 완성할 수 있게 된다.

본 논문은 이러한 추세에 맞추어 현재 국내에서 사용되고 있는 공장 자동화 전용 이더넷 제어 시스템의 국제 표준인 Ethernet/IP 표준 시스템을 기반으로 하는 제어용 통신 시스템 개발을 목표로 한다.

2. 이더넷 기반 공장 자동화 시스템

2.1 자동화 시스템의 구성

자동화 시스템은 다음의 세 가지 주요 구성과 제품으로 구성된다.

- ① 디바이스레벨 : 센서 디바이스, 모터 및 제어 디바이스
- ② 제어레벨 : 제어 디바이스들을 통합적으로 제어하는 PLC 카드
- ③ 정보레벨 : PLC 카드와 매니지먼트 PC를 연결하는 랜카드

2.2 이더넷 공장 자동화 시스템

기존의 센서 디바이스를 제어하는 공장 자동화 표준인 DeviceNet, FieldBus, CAN 기반의 공장 자동화 제어용 PLC(Programmable Logic Controller)카드 및 센서 I/O 유닛, 모니터링 카드를 대체하는 이더넷 기반 통합 제어 모니터링 유닛은 상위 통신, 제어 구간 통신, 원격 센서 디바이스 I/O 마스터 등 모든 통신 네트워크 영역을 한 대의 통신 유닛으로 처리함으로써 설치 원가 절감과 자동화 장비 고도화를 통해 생산 효율을 높일 수 있으며, 이더넷 기반의 통신 프로토콜 스택을 공장 자동화 기반 응용 계층의 SW에서 운용하기 위한 프로토콜과 이를 탑재한 통신 카드 개발 필요하다.

2.3 기존 공장 자동화 시스템 문제점과 이더넷 자동화 시스템

2.3.1 자동화 시스템 현황

기존의 공장 자동화 표준은 DeviceNet, FieldBus, CAN 등 주로 모터, 센서 등을 신속 정확하게 제어하기 위한 다양한 프로토콜의 PLC 카드가 주를 이루고 있다. 하지만 최근 지능화된 자동화 장비가 도입되고 확산됨에 따라서 장비 모니터링, 진단, SW 파라미터 세팅과 upgrade 등을 위한 전송 대역이 큰 고속 이더넷 통신의 필요성이 증가하고 있다. 현재의 자동화 시스템은 센서 제어와 센서 간, 센서와 상위 시스템과의 통신이 분리되어 게이트웨이, 스캐너로 연결되는 이중화된 시스템으로 구성이 되어 있다. 그리고 제어와 센싱 데이터 전송을 위한 제어 전용 프로토콜 기반의 PLC 카드는 하향 데이터 흐름을, 모니터링, 진단, SW 파라미터 세팅을 위한 이더넷 프로토콜은 상향 데이터 흐름을 갖게 되어 상위 이더넷 통신부와 하위 센서 제어 PLC 제어 링크 부분이 분리되어 중간의 PLC 기반 게이트웨이의 병목이 발생하며, 게이트웨이 손실 등 문제 요인 잠복되어 있으며, 전용 컴

퓨터들과 직접 연결, 개방형 네트워크가 불가능한 단점이 있다.

2.3.2 기존 시스템의 이더넷 기술 적용 제약 요인

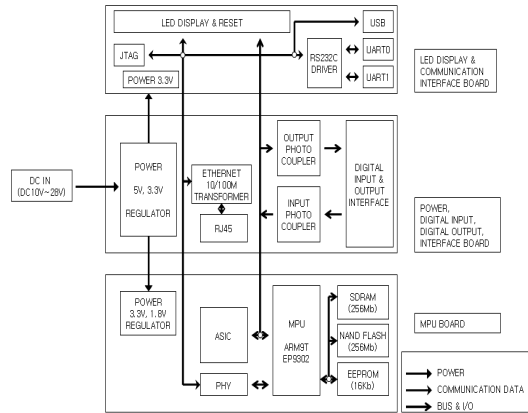
기존의 이더넷 라우팅은 정확한 실시간 처리가 필요한 공장 자동화 시스템 품질 기준에 미치지 못하여 적용이 지연되어 왔으며, 반면 기존 이더넷 카드와 장비들은 이를 지원하는 것뿐만 아니라 CIP 기반의 Object API를 지원하는 문제로 공용이 어렵다. 그리고 이더넷 기반의 새로운 센서 디바이스 통신 유닛은 최근 공장 자동화 시스템에 이더넷 기반 통신 제품 사용이 상위 계층에서 일반화되고 있다. 또한 PLC 모듈에도 이더넷 통신 카드가 기본으로 장착되고 있으며, 대부분의 관리 응용 계층이 Window PC 기반으로 바뀌고 있어 이더넷 기반의 네트워크 인프라 적용이 확산되고 있다.

3. 통합형 이더넷 통신 시스템

3.1 시스템 개요

구현 시스템은 ARM9T 코어를 내장한 EP9302 프로세서를 주 CPU로 한 다기능 통신 보드로서 다양한 외부 인터페이스를 제공한다. 또한 외부 인터페이스로는 이더넷 통신을 위한 LAN 포트를 구비하며, 제어를 위한 IO 인터페이스는 디지털 I/O 모듈(최대 64포트지원), 아날로그 모듈을 제공한다. 전체 시스템의 하드웨어 블록도는 (그림 1)과 같다. 장치의 하드웨어는 공장 자동화 기기에 부착되어 하부의 스위치를 제어하거나, 센서로부터 입력을 받아 전달하는 역할을 하는 “디지털 입출력 머신 IO”이다. 장치에는 16개의 GPIO 인터페이스를 지원하는 디지털 IO 인터페이스와 이들 각각의 입출력을 확인할 수 있는 LED가 장착되어 있다. 각각의 GPIO 인터페이스는 외부와의 절연을 위하여 포토 커플러를 활용하여 구성되어 있다.

RJ45 유선 이더넷 포트를 통하여 네트워크와 인터넷에 연결이 가능하며, 개발자용 인터페이스로는 펌웨어 업데이트 및 프로그래밍을 위한 RS-232 포트와 Jtag, USB 통신 포트가 내장되어 있다. 이를 통해서 PC와 연결, 엔지니어링 레벨의 프로그래밍 및 일반 PC와 파일 교환 등의 기능을 활용할 수 있다. OS로는 데미안 Linux(ver 2.4.20)가 탑재되어 신뢰성과 안정성을 확보하고 있으며, 프로그램 개발 환경은 GCC 컴파일러의 Arm 코어용 컴파일러를 활용하였다.



(그림 1) 하드웨어 블록도

3.2 CIP(Common Industrial Protocol) 프로토콜 설계 및 프로그래밍

CIP 프로토콜은 자동화 시스템에서 사용되는 IO 제어 중심의 통신 프로토콜이다. 공장 자동화를 위한 장치는 공장의 생산라인, 개별 장비를 정확하게 제어할 수 있도록 구성되며, 수십 수백 종의 기기들이 동시에 동작할 수 있도록 타이밍을 갖는 제어 프로토콜로 구성되어 있다. 특히 CIP 표준은 이러한 수십 수백 종의 장치를 동일한 기준인 ‘object 타입’으로 정의하고 모델링함으로써 응용 프로그래머들이 이들 표준만으로 등록된 디바이스의 제어와 모니터링을 위한 응용 프로그램의 작성이 용

이하도록 하위 서브셋을 정의하고 있다. 각 디바이스들은 상위와 하위 계층으로 구성된 object의 결합으로 정의된다. 이러한 object 기반의 시스템은 자동화 시스템의 구성과 프로그램 개발에 있어서 다음과 같은 장점을 가진다.

- 모든 디바이스에 대하여 일관성있는 구조화 제공
- 모든 제품에 대한 공통의 통신 방법 적용
- 모든 디바이스 공통의 인터페이스 제공
- 디바이스에 요구되고 제공되는 정보의 정확한 소프트웨어 표현

3.2.1 CIP 프로토콜 오브젝트 라이브러리 구현

CIP 프로토콜의 구현은 C++ 프로그램으로 구현하였다. 초기 프로그램의 검증과 시험은 VC++ 환경에서 윈도우 PC에 구현을 하여 서버의 응용 프로그램과 연결하여 시험을 하였으며, 타겟 보드의 임베디드 리눅스 개발 환경은 아래와 같은 컴파일 환경과 표준 라이브러리를 사용하여 구현하였다.

- 개발 툴
 - gun C++ 3.2
 - make utility
- 사용 library
 - gnu 지원 표준 standrad C++ Library
 - gun socket Library
 - gnu thread Library
 - gnu string Library

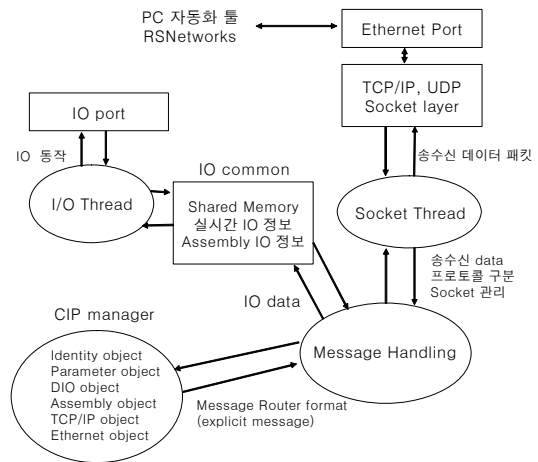
3.2.2 프로그램 구조 및 일반 라이브러리 구현

CIP 프로그램은 크게 다음과 같은 4개의 모듈로 구성 되어 있다.

- Class Manager
- CIP Objects의 묶음
- Socket 함수를 이용한 통신 처리

◦ Packet 처리

구현 시스템에서는 이러한 개별적인 CIP 프로토콜 블록을 라이브러리화하여 그룹별로 통합한 프로젝트 솔루션으로 구현하였다. (그림 2)는 시스템에 탑재된 CIP 프로그램의 운용 흐름도를 보이고 있다.



(그림 2) CIP 프로토콜 기반 구현된 라이브러리 프로세스 흐름도

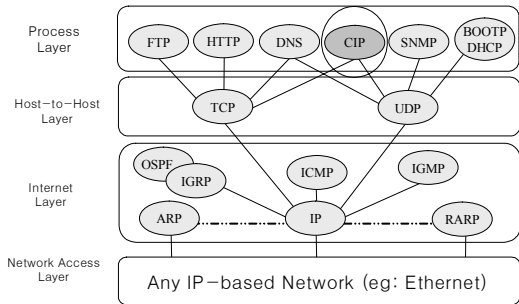
Request		
01h	5Bh	
17h	02h	
Class	00A5h	CIP Mapping Object
Instance	0000h	
Service Code	0005h	Create
Attribute	0000h	
CIP Class	0090h	CIP Class 144
CIP Instance	0001h	CIP Instance 1
CIP Attribute	0001h	CIP attribute 1
HOS Class	0085h	Application Parameter Object Class
HOS Instance	0001h	HOS Instance 1
HOS Attribute	0001h	0001h = Parameter value
Attribute Size	0002h	Size = Word
	CRC	

Response		
01h	5Bh	
09h	02h	
Class	00A5h	CIP Mapping Object
Instance	0000h	
Service Code	0006h	Create Response
Error Code	0000h	Success
	CRC	

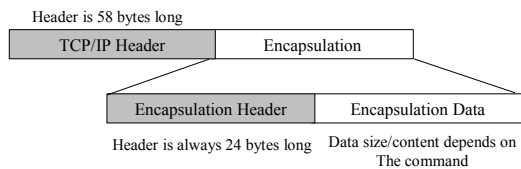
(그림 3) 구현된 CIP Common 데이터 패킷 포맷

3.3 Ethernet/IP adaptation 라이브러리 구현

Ethernet/IP adaption 표준은 CIP 프로토콜을 기존의 802.3 표준 이더넷 포트를 사용하여 네트워크를 구성할 수 있도록 하는 프로토콜 간 변환 표준이다. 이 표준은 기존 이더넷의 프레임 내에 CIP 프로토콜 데이터 포맷을 포함시키는 방식으로 처리되며, 기존의 이더넷에서 사용되지 않는 실시간 통신을 지원하기 위하여 TCP와 함께 UDP 통신을 사용하고 있다. TCP/IP는 네트워크상의 디바이스들이 연결 확인이 된 경우에 바이트 stream 방식으로 전송이 되므로 connected message 방식의 전송에 사용되며, UDP 방식은 데이터그램 방식으로 unconnected message 방식의 전송에 사용된다. (그림 4)에서 CIP상에 Ethernet/IP를 연결하는 프로그램의 계층 구조를 나타내고 있다. 프레임은 (그림 5)와 같이 CIP 프레임 패킷에 이더넷 전송을 위한 헤더를 별도로 덧붙이는 encapsulation 방식으로 사용된다.



(그림 4) CIP 이더넷 프로그램 계층 구조



(그림 5) CIP 프레임 이더넷 encapsulation

〈표 1〉 CIP 메시지별 이더넷 프로토콜

메시지 종류	이더넷 프로토콜
UCMM	TCP
connected class 0, 1	UDP
connected class 2, 3	TCP
connected class 4, 6	undefined

4. 구현 시스템 평가

4.1 구현 시스템 개요

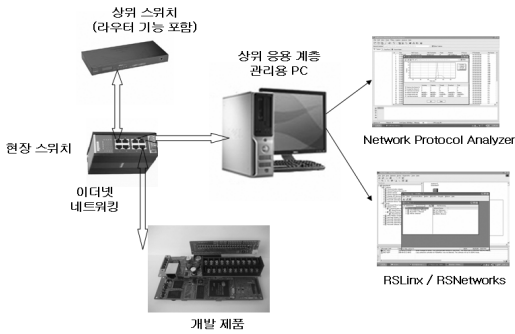
본 논문에서는 공장 자동화용 프로토콜인 CIP (ODVA 국제 표준) 표준을 지원하는 이더넷 기반의 16포인트 디지털 IO 디바이스 장치를 구현하였다. 이더넷 네트워크를 탑재하고 네트워크 프로토콜을 운용하기 위하여 탑재된 임베디드 OS는 개방 OS인 리눅스를 사용하였다. 장치의 기동을 위한 BOOT 시스템은 NAND 부트를 통해 이루어지며, 이를 지원하는 Cirrus의 Arm9 프로세서를 사용하였다. 모든 IO 포트는 포토 커플러를 통하여 외부와 절연되어 있으며, 외부 네트워크를 위한 이더넷 포트는 10/100 Base T 사양을 지원한다. 탑재되는 프로그램으로는 CIP 표준을 위한 기본적인 오브젝트 라이브러리인 connection, manager, message, DIO 라이브러리와 이더넷 encapsulation 라이브러리인 Ethernet link, TCP/IP, Session 라이브러리를 탑재하여 PC에 장착된 CIP 지원 응용 프로그램에서 개발 기기를 제어하거나 모니터링, 진단 기능 등을 수행한다. 또한 구현 과정에서 CIP 표준의 이더넷 adaptation 표준인 Ethernet/IP(Industria Protocol)의 오브젝트 라이브러리를 자체 구현하였다. 현재까지 미국의 ‘파리미드’사에서만 공급되고 있는 해당 표준의 API 함수를 임베디드 리눅스 오픈 OS 상에서 구현하여 이를 하드웨어와 별개로 상품화할 수 있는 기반을 과제를 통하여 마련하였다. 구현 시스템은 세 개의 보드로 구성되어 있다. 모

든 프로그램과 OS가 탑재되어 운용되는 주 프로세서 보드, 외부와의 인터페이스를 위한 확장형 IO 보드, 기기의 현재 상태를 나타내는 LED 디스플레이 보드로 구성되어 있다.

4.2 CIP 프로토콜 평가

본 구현 시스템은 가장 수요가 많은 16포인트의 Discrete IO(8입력, 8출력)를 기준으로 구현하였다. 또한 향후 제품의 라인업을 위하여 64포인트까지 확장이 가능한 Discrete IO 옵션 보드와 4채널 기본, 최대 8채널까지 확장이 가능한 Analog 입력 옵션 보드를 주 프로세서 보드에 동일한 커넥터로 연결할 수 있도록 구현하였다.

본 구현 시스템의 기본 기능과 성능을 시험하기 위해 사용된 소프트웨어는 아래와 같으며, 시험 시스템 구성은 (그림 6)과 같다.



(그림 6) 시험 시제품 구성

- Rockwell Automation사의 RSNetworks Ethernet/IP PC 버전
- Rockwell Automation사의 RSLinx PC 버전
- Anybus사의 IPconfig(비교 시험용)
- SoftPerfect사의 Network Analyzer
- PC 버추얼 머신 IO SW(비교 시험용)

4.2.1 RSNetworks on-line Network Scan 시험

록웰 오토메이션사의 RSNetworks는 제어 네트

워크의 구성, 진단, 제어 수행, 실행 모니터링, 디바이스 관리, 네트워크 관리 등 종합적인 공장 자동화 시스템의 상위 계층 응용 프로그램이다. 모든 네트워크 디바이스는 RSNetworks에 등록되어, CIP 표준 프로토콜에 의해 제어 동작을 수행하게 된다. 실제 제어 네트워크의 구성은 별도의 소프트웨어 Ladder 프로그램에 의해 공장 시스템에 물려서 동작을 하게 되며, 개발 제품의 성능 시험을 하기 위해서는 개발 제품을 RSNetworks에 등록하고, 네트워크에 연결하여 on-line을 통해 디바이스의 'property'를 검사하고, Class Editor를 통하여 개별 message의 요청 응답을 검사함으로써 제어 기능이 수행 여부를 알 수 있으며, 해당 명령의 수행 속도, 지연을 측정함으로써 디바이스의 성능을 측정할 수 있다.

따라서 <표 2>와 같은 기능 요소와 성능 요소를 측정하였으며, 독일의 Anybus 사의 개발 보드와 비교를 하였다. LAN 대역은 최대 100M를 지원하며, 프로그램상의 최대 패킷 길이는 1024Byte로 셋업 되어 있다. 패킷 에러는 없는 것으로 가정하였다.

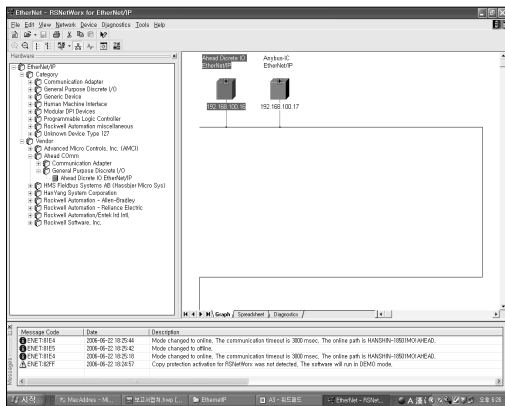
<표 2> 성능 요소

요소	규격
ListIdentity Response(UDP)	250msec
ListService Response(TCP)	250msec
UMCC Response(TCP)	500msec
UMCC Response(non TCP)	100msec
Connected Response	100msec
back-to-back response	1msec
Max Packet Size	256bytes
#of node	64개

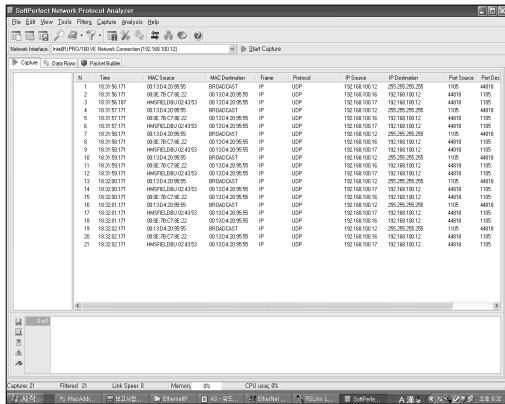
4.2.2 RSNetwork 온라인 네트워크 스캔 동작 및 properties 기능

(그림 7)은 CIP 상위 계층 프로그램인 RSNetworks에서 네트워크에 연결된 디바이스들을 스캔

하여 상태 창에 등록하고 상태를 나타내는 기능을 보이고 있다. (그림 7)과 같이 구현 시스템인 Ahe adcomm Discrete IO와 비교 제품인 Anybus의 개발 보드가 연결된 화면을 볼 수 있다. 화면상의 녹색 + 표시는 통신 준비 상태로 디바이스가 정상적으로 인식되었음을 나타낸다.



(그림 7) RSNetworks 온라인 스캔



(그림 8) Network Analyzer

해당 연결 동작을 통하여 RSNetworks와 디바이스 사이에 CIP 연결 프로토콜이 전달되며, -List Identity 요청 커맨드- 이 패킷을 분석함으로써 접속 성능(온라인 인식 타임)을 측정 할 수 있다. (그림 8)과 같이 Network Analyzer를 통하여 ListIden

tity 요청과 응답 메시지를 분석하여 다음과 같은 측정치를 얻었다. 타사제품과 개발 제품 모두 규격보다 훨씬 빠른 응답을 보이는 것으로 나타났다.

〈표 3〉 초기 인식 동작 성능

성능 요소	규격	개발제품	타사제품
ListIdentity Response(UDP)	250msec	>1msec	>1msec
ListService Response(TCP)	250msec	"	"
최대 연결 노드	> 64개	256개	
최대 전송 메시지	512Bytes	1024Bytes	144Bytes

5. 결 론

본 논문에서 구현된 시스템은 공장 자동화 전용 이더넷 제어 시스템의 국제 표준인 Ethernet/IP 표준 시스템을 기반으로 하는 제어용 통신 디바이스를 구현하는 것을 목표로 하였다. 본 논문에서 구현된 시스템은 CIP의 표준 인터페이스에 기반한 네트워킹 기능을 수행하고 있으며, 기존 시스템과의 비교에서 응답 속도가 표준 구간을 만족한다. 또한 이더넷 네트워크 환경이 다른 제어 시스템의 규격에 비하여 큰 대역폭을 갖고 있는 시스템이므로 네트워크의 데이터 전송 특성을 상당히 개선됨을 실험을 통하여 확인하였다. 본 논문에서 구현된 시스템은 센서 디바이스 제어를 위한 자동화기기, 빌딩 자동화, 홈 네트워크, 반도체, LCD 자동차 공장 등 공장 자동화 생산 라인, 변전소, 수자원 관리 시스템, 상하수도 등 산업 시설 등에 적용될 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] Professional Linux Programming Neil Matthew.
- [2] Building Embedded Linux Systems Karim

Yaghmour O'Reilly.

- [3] Linux TCP/IP Networking for Embedded Systems (2/E) Thomas Herbert CHARLES RIVER MEDIA.
- [4] Rockwell, "EtherNet/IP : Industrial Protocol White Paper", October 2001.
- [5] Rockwell, "Ethernet : Surviving the Manufacturing and Industrial Environment White Paper", May 2001.
- [6] O. Moriwaki, "Nevel PLC-based optical correlator for multiple phase-modulated labels", IEEE PTL, Vol. 17, No. 2, 2005.
- [7] 선복근, 한광록, 임기욱, "PLC 모니터링을 위한 임베디드 HMI 시스템의 개발에 관한 연구", 전자공학회논문지CI, 제42권, 제4호, 2005.



김 배 현

1995년 호원대학교
전자계산학과(이학사)
1997년 수원대학교
전자계산학과(이학석사)
2003년 경희대학교
컴퓨터공학과(박사수료)

2004년~2007년 한신대학교 정보통신학과
겸임교수
2007년~현재 호원대학교 사이버수사경찰학부
연구교수



문 태 현

1986년 연세대학교 전자공학과
(공학사)
1993년 연세대학교 전자공학과
(공학석사)
1997년 연세대학교 컴퓨터공학부
(공학박사)

1986년~1991년 대우전자 중앙연구소
1998년~1999년 경희대학교 전자정보공학부 객원
교수
2005년~2006년 한신대학교 정보통신학과 겸임
교수
2005년~현재 어헤드컴주식회사 대표이사



권 문 백

1970년 육군사관학교(이학사)
1981년 미국 University of
Iowa 대학(공학석사)
1987년 미국 University of Wis-
consin 대학(경영정보학
박사)

경희대 테크노경영대학원 정교수
경희대 정보처리처장
경희사이버 대학교 학장
한국지능정보시스템학회 회장