

## 분산 제어 시스템의 제어 통신망을 위한 토큰 전달 버스 접근 방식과 IEEE 802.3 물리 계층의 결합

이재영<sup>1</sup>, 문홍주<sup>2</sup>, 문상용<sup>3</sup>, 권우현<sup>1</sup>, 이성우<sup>1</sup>, 박의수<sup>1</sup>

\* 서울대학교 전기공학부, \*\* 한국전력공사 전력연구원, \*\*\* 포항종합제철 기술연구소

### Token-passing Bus Access Method on IEEE 802.3 Physical Layer for Control Networks of a Distributed Control System

Jae-Young Lee<sup>1</sup>, Hong-ju Moon<sup>2</sup>, Sang Yong Moon<sup>3</sup>, Wook-Hyun Kwon<sup>1</sup>, Sung Woo Lee<sup>1</sup>, and Il  
\* School of EE, Seoul National University, \*\* KEPRI, \*\*\* POSCO Technical Research Lab

**Abstract** - In this paper, a method for the efficient implementation of the control network for a distributed control system (DCS) is proposed. The proposed method focuses on the real-time property and the low networking cost of a control network. It suggests a new network architecture combining the IEEE 802.4 token-passing bus access method and the IEEE 802.3 physical layer. For this purpose, a new interface, a physical layer service translator is introduced. A control network using this method is implemented and applied to a DCS.

#### 1. 서 론

분산 제어 시스템에서 분산된 제어기들을 연결하는 통신망을 제어 통신망(control network)이라고 한다. 제어 통신망은 데이터의 전송에 있어 실시간 특성과 고신뢰성을 제공해야 한다[1]. 또한 긴급한 메시지는 지정된 제한 시간 내에 전송되어야 하며, 통신망 비용도 중요하게 고려되어야 한다. 실시간 특성은 주로 매체 접근 제어(medium access control, MAC) 방식에 의존한다. 통신망 비용은 초기 비용과 전행중 비용으로 구성된다.

타이머 제어형 토큰 전달 버스 접근 방식의 하나인 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 방식은 분산 제어 시스템을 위한 제어 통신망으로 널리 적용되고 있다. 이 방식은 데이터를 결정적으로 실시간에 전송할 수 있다. 또한 이 방식에서 제공하는 우선 순위 체계는 긴급한 데이터의 전송에 유용하게 사용할 수 있다[2-4]. 그러나, IEEE 802.4 물리 계층은 구현이 복잡하고 개발에 많은 비용이 든다. 또한, IEEE 802.4 물리 계층을 위한 부품이나 부속물을 저가로 공급한다. 그렇지만 IEEE 802.3 매체 접근 방식은 결정적인 데이터의 전송을 제공하지 않아 경성 실시간(hard real-time) 응용에는 적용될 수 없다고 알려져 있다.

본 논문의 목적은 실시간 특성과 신뢰성, 저 비용을 동시에 만족하기 위해, 검증된 기준의 소프트웨어와 이미 설치되어 있는 하드웨어를 최소의 비용과 노력으로 변경하여 활용할 수 있는 효율적인 통신망 구조를 제안하는데 있다. 따라서, 본 논문에서는 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 방식과 IEEE 802.3 규격의 물리 계층의 장점을 결합하는 새로운 통신망 구조를 제시한다. 제안된 통신망 구조가 MAC로서 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 방식을 사용하므로 신뢰성 있고 결정적인 통신 서비스를 제공할 수 있다. 또한 제안된 통신망의 하드웨어의 선택은 IEEE 802.3 규격의 물리 계층을 위한 발전

된 하드웨어 기술의 도움을 받을 수 있다. IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 방식과 IEEE 802.3 규격의 물리 계층을 직접 연결할 수는 없다. 따라서, 본 논문에서는 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 부계층과 IEEE 802.3 규격의 물리 계층간의 접속을 제공하기 위한 물리 계층 서비스 변환기(physical layer service translator, PST)가 개발된다. 제안된 물리 계층 서비스 변환기와 함께 구현된 통신망 구조는 기존의 분산 제어 시스템을 위한 제어 통신망에 적용된다.

#### 2. IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 방식과 IEEE 802.3 물리 계층의 접속

##### 2.1 IEEE 802.4 MAC 부계층을 위한 물리 계층 요구 사항(6)

IEEE 802.4 MAC 부계층은 요구 채널과 지시 채널의 두 채널을 갖는다. 요구 채널의 부호는 silence, non\_data, pad\_idle, one, 및 zero이다. 지시 채널의 부호는 silence, non\_data, bad\_signal, one, 및 zero이다. 요구 채널과 지시 채널 모두 MAC 부계층과 물리 계층 사이에 신호를 전달하는 타이밍 회로를 포함한 다섯 개의 회로로 구성된다.

IEEE 802.4 MAC 부계층에는 두 개의 동작 모드가 있다. MAC 모드에서는 일반적인 송신과 수신 동작이 이루어지고, 관리 모드에서는 요구 채널과 지시 채널을 통해 물리 계층을 제어할 수 있는 관리 동작이 수행된다.

표 1. IEEE 802.4 MAC 프레임 형식

요 소	설 명
PREAMBLE	= 수신기 모뎀의 클락과 출동률 설정하기 위해 보내지는 패턴(1 또는 그 이상의 옥텟)
SD(start delimiter)	= 시작 구별자(1 옥텟)
FC(frame control)	= 프레임 제어(1 옥텟)
DA(destination address)	= 목적지 주소(2 또는 6 옥텟)
SA(source address)	= 출발지 주소(2 또는 6 옥텟)
DATA_UNIT	= 정보(0 혹은 그 이상의 옥텟)
FCS(frame check sequence)	= 프레임 확인 순열(4 옥텟)
ED(end delimiter)	= 종료 구별자(1 옥텟)

PRE- AMBLE	SD	FC	DA	SA	DATA_UNIT	FCS	ED
---------------	----	----	----	----	-----------	-----	----

표 1은 IEEE 802.4 MAC 부계층의 프레임 형식을 보여준다. pad\_idle 부호는 접합적으로 전문 부호(preamble)로 불린다. SD(ED)에는 non\_data non\_data zero(one) non\_data non\_data zero(one)의 부속 순열이 존재한다. 데이터 프레임의 SD와 ED 사이의 옥텟 수는 8191 옥텟 혹은 그 이하이다. 수신기는 각 전송의 끝을 인지해야 하며, 그 후에 일정 기간 MAC 부계층에 휴지(silence)를 보고해야 한다. 이 기간을 수신기 공백(receiver blanking)이라고 부른다.

위의 요구 사항을 지원할 수 있는 모든 물리 계층은

IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 방식을 위한 물리 계층으로 사용될 수 있다.

## 2.2 IEEE 802.3 물리 계층을 위한 MAC 부계 요구 사항(7)

IEEE 802.3 규격의 물리 계층은 MAC 부계층과 데이터를 교환하기 위해 세 개의 부호를 사용한다. 세 개의 부호는 ONE, ZERO 및 DATA\_COMPLETE이고, CD1(clocked data one), CD0(clocked data zero) 및 IDL(idle)로 실현된다. 데이터 회로는 독립적으로 클락을 포함하므로 별도의 타이밍 회로를 필요로 하지 않는다.

데이터를 주고받는 이외에도 IEEE 802.3 규격의 물리 계층은 물리 매체에서의 활동과 물리 계층 신호 품질의 상태를 MAC 부계층에 전달할 수 있다. CARRIER\_STATUS와 SIGNAL\_STATUS 메시지는 이러한 기능을 위해 사용된다.

표 2. IEEE 802.3 규격의 물리 계층의 프레임

요소	특징
<silence>	= 전이가 없음
<preamble>	= (CD1)과 (CD0)가 56 비트 시간 동안 교체됨(CD0로 끝남)
<sfd(start of frame delimiter)>	= (CD1)(CD0)(CD1)(CD0) (CD1)(CD0)(CD1)(CD1)
<data>	= 8×N개의 CD0 또는 CD1
<etd(end of transmission delimiter)>	= IDL

IEEE 802.3 규격의 물리 계층으로 전송되는 프레임은 <silence><preamble><sfd><data><etd><silence>과 같은 구조를 갖는다. 프레임 요소의 특징은 표 2와 같다. <silence> 구별자는 물리 계층에 전이(transition)가 없는 미지의 기간동안 감시 구간을 제공한다. <preamble> 구별자는 프레임의 전송을 시작하고 수신 기의 동기를 위한 신호를 제공한다. <sfd> 구별자는 전문 부호를 따라 프레임의 시작을 지시한다. <etd> 구별자는 전송의 종료를 지시하며 전송기를 끄는 역할을 한다. 통신망의 길이와 형상을 확장시키기 위해 리피터들이 사용될 수 있다. 리피터 장치는 <sfd>로 끝나는 적어도 56 비트의 전문 부호를 출력해야 한다.

IEEE 802.3 규격의 물리 계층과 접속되기 위한 MA 부계층은 위의 요구 사항들을 만족해야 한다.

## 3. 제안된 통신망 구조의 구현

그림 1은 제안된 통신망 구조의 계층 구조를 보여 준다. 물리 계층 서비스 변환기는 2절에 제시된 요구 사항들을 만족하도록 개발되어야 한다. IEEE 802.4 MAC 부계층과 IEEE 802.3 규격의 물리 계층의 요구 사항들 사이에는 몇 가지의 차이점이 존재한다.

먼저, IEEE 802.3 규격의 물리 계층에는 IEEE 802.4 MAC 부계층과 같은 관리 모드가 없다. 따라서, 물리 계층 서비스 변환기는 IEEE 802.3 규격 물리 계층의 데이터 부호와 제어 부호를 사용하여 IEEE 802.4 MAC 부계층의 관리 모드를 지원해야 한다. 또한 IEEE 802.3 규격의 물리 계층 회로는 클락을 포함하고 있으므로, IEEE 802.4 MAC 부계층을 위한 타이밍 요소가 생성되어야 한다.

IEEE 802.3 규격의 물리 계층이 세 개의 데이터 부호만을 사용하므로, 이 부호들이 하나의 IEEE 802.4 MAC 부계층의 데이터 부호를 표현할 수 있도록 두 부호의 연속된 형태로 부호화한다. 본 논문에서는 물리 계층으로서 10 Mb/s의 IEEE 802.3 물리 계층 규격이 사용된다. 따라서, IEEE 802.4 MAC 부계층은 5 Mb/s의 속도로 동작한다. 이를 위해 MAC 부계층 부

호와 물리 계층 부호 사이의 효율적인 암호화 규칙(coding rule)이 제시된다. 표 3은 이 암호화 규칙 중 부호화 규칙을 나타낸다. IEEE 802.4 MAC 부계층의 전문 부호는 PST에 의해 one의 순열로 부호화된다. 이 방법은 IEEE 802.3 규격 물리 계층의 전문 부호에 대한 요구 사항도 동시에 만족시킨다. 또한, IEEE 802.4 MAC 부계층의 SD가 non\_data, 즉 {CD1, CD0}으로 시작하므로 이 순열이 IEEE 802.3 규격 물리 계층 프레임의 {sfd}의 끝과 일치한다. 따라서, 각 프레임 형식에 대한 요구 사항을 만족시키기 위한 부가적인 추가 비용(overhead)을 필요로 하지 않는다. PST를 위한 복호화 규칙은 위와 유사하나 부호화 규칙에 비해 보다 복잡하다. 이것은 데이터 부호와 함께 IEEE 802.3 규격 물리 계층의 CARRIER STATUS 및 SIGNAL\_STATUS 메시지가 고려되어야 하기 때문이다. 복호화 규칙은 편의상 그 설명을 생략하기로 한다.

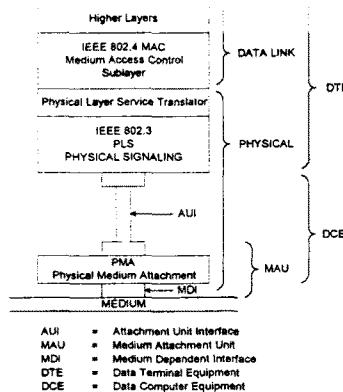


그림 1. 제안된 통신망 구조의 계층 구조

표 3. PST를 위한 부호화 규칙

MAC 부호	물리 계층 부호
silence	{IDL, IDL}
pad_idle	{CD1, CD0}, {CD1, CD0}
zero	{CD0, CD1}
one	{CD1, CD0}
non data	{CD1, CD1}, {CD0, CD0}

IEEE 802.3 규격 물리 계층의 데이터 부호의 순열이 IEEE 802.4 MAC 부계층의 데이터 부호로 표시되거나 해석되기 위해서는 위상이 동기되어야 한다. IEEE 802.4 MAC 부계층의 전문 부호는 이러한 위상 동기(phase locking)를 위해 존재한다. 만일 기준 클락의 위상이 동기되지 않으면 부호들의 순열이 무효한 부호의 순열로 복호화될 것이다. 표 3에서와 같이 전문 부호내의 pad\_idle 부호는 만일 기준 클락의 위상이 동기되지 않으면 zero의 순열로 복호화된다. 이러한 경우, 비트 시간 클락은 클락 주파수와 위상을 복구하기 위해 미끄러져야(slip) 한다.

PST의 구조는 그림 2와 같다. SMANAGER는 통신망의 모드를 스테이션 관리(SM) 모드와 MAC 모드로 제어한다. MACTX는 MAC 출력 신호를 부호화하여 전송기를 위한 물리 계층 신호를 생성한다. 유사하게 MACRX는 물리 계층 신호를 반 클락 위상(half-clock phase) 신호에 따라 물리 계층 신호를 복호화하여 MAC 신호를 생성한다. CLKCTRL은 수신 클락을 생성하기 위해 클락 입력들로부터 수신 클락을 선택하고, 수신된 데이터의 위상을 제어하며, 송신 클락을 생성해

낸다. INMUX는 모드에 따라 관리 모드 지시와 MAC 입력을 다중화한다. RBLK는 MACRX가 수신기 공백 기능을 수행할 수 있게 한다.

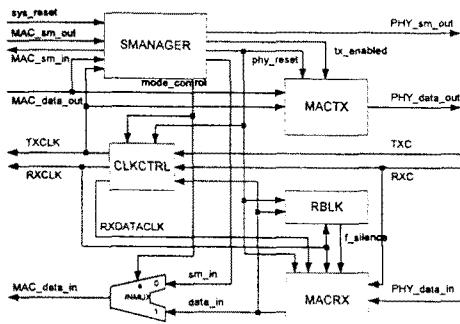


그림 2. PST의 구조

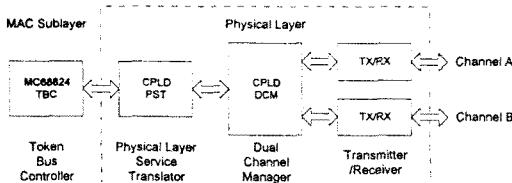


그림 3. 제안된 통신망 구조의 구현

제안된 통신망 구조의 구현을 위한 구성은 그림 3과 같다. 제안된 통신망 구조 중 IEEE 802.4 MAC 부계층을 구현하기 위해, Motorola사의 MC68824 토큰 버스 제어기(TBC)[8]를 사용하였다. 그리고, PST는 Xilinx사의 9500 계열의 CPLD[9]를 사용하였다. 매체의 이중화를 위해 이중 채널 관리기(dual channel manager, DCM)를 설계, 구현하였다.

#### 4. DCS의 제어 통신망에의 적용

제안된 통신망 구조는 분산 제어 시스템을 위한 제어 통신망의 개발에 적용되었다. 개발된 제어 통신망은 PICNET(plant instrumentation and control network)이라고 부른다. PICNET은 분산된 제어기들 사이의 정보를 교환하기 위해 (1) 긴급 데이터의 실시간 전송, (2) 주기 데이터의 효율적인 처리, (3) 다양한 고급 서비스의 제공과 같은 세 가지의 데이터 전송 방식을 제공한다.

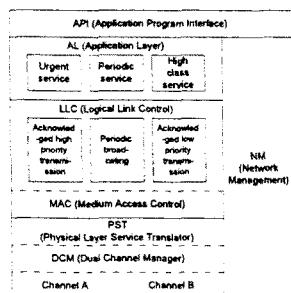


그림 4. PICNET의 구조

PICNET의 구조는 그림 4와 같다. 그림 5는 제어 통

신망으로서 분산 제어 시스템에 적용된 PICNET 시스템을 보여 준다. 앞서 언급한 것과 같이, PICNET은 이미 설치되어 있는 기존의 IEEE 802.3 규격 물리 계층용 구성을 사용할 수 있다.

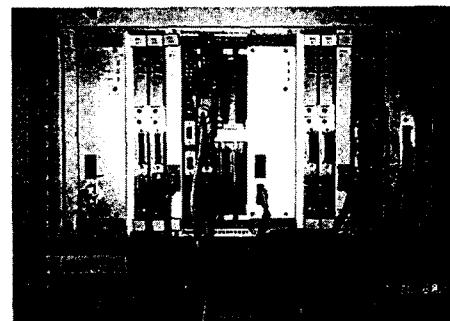


그림 5. 분산 제어 시스템을 위한 제어 통신망에 적용된 PICNET 시스템

#### 5. 결 론

본 논문에서는 분산 제어 시스템을 위한 제어 통신망을 구현하는 효율적인 방법을 제안하였다. 제안된 방법은 IEEE 802.4 토큰 전달 버스 접근 방식과 IEEE 802.3 규격의 물리 계층을 결합하는 것이다. 두 계층의 상호 접속을 위해 개발된 물리 계층 서비스 변환기가 소개되었다. 본 방법은 매체 접근을 제어하기 위해 IEEE 802.4 토큰 버스 접근 방식을 사용하므로 신뢰성 있고 결정적인 데이터 전송을 제공할 수 있다. 또한 발전된 IEEE 802.3 규격의 하드웨어 기술과 지원 하드웨어는 물리 계층의 구현과 유지를 쉽고 저렴하게 해 준다. 본 논문의 결과는 보다 고속의 데이터 전송율을 갖는 매체나 광섬유 매체 등을 포함하는 다른 형태의 물리 계층에 대해서 쉽게 확장될 수 있다. 물리 계층 서비스 변환기를 구현하기 위한 최소의 요구 사항을 만족하는 물리 계층이라면 IEEE 802.4 토큰 버스 전달 방식과 함께 사용될 수 있다.

#### (참 고 문 현)

- [1] H.-j. Moon, "Performance Analysis and Design of a Communication Network for Industrial Automation - A Case Study if the Mini-MAP Network", PhD Thesis, Seoul Nation University, 1998.
- [2] Y. Shiobara, T. Matsudaira, Y. Sashida and M. Chikuma, "Advanced MAP for Real-time Process Control", Proc. of IECON87, pp. 883-891, 1987.
- [3] A. P. Jayasummana and G. G. Jayasummana, "On the Use of the IEEE 802.4 Token Bus in Distributed Real-time Control systems", IEEE Tr. on Industrial Electronics, Vol. 36, No. 3, pp. 391-397, 1989.
- [4] K. Tachibana, T. Sakamaki, T. Yamaguchi and N. Yokogawa, "Networking for DCS Using the Token-passing Bus Method", Conference Record - IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, pp. 432-435, 1994.
- [5] A. S. Tanenbaum, Computer Networks, 3rd Ed., Prentice Hall, 1996.
- [6] ISO/IEC 8802-4. ANSI/IEEE Std 802.4 Information processing systems - Local area networks - Part 4: Token-passing bus access method and physical layer specifications, 1990.
- [7] ISO/IEC 8802-3. ANSI/IEEE Std 802.4 Information processing systems - Local area networks - Part 4: Token-passing bus access method and physical layer specifications, 1990.
- [8] MC68824 Token Bus Product User's Manual, Motorola, 1993.
- [9] The Programmable Logic Data Book, Xilinx, 1996.