

MS/TP 프로토콜에서 대역폭할당기법구현 및 실험적 검증

Implementation of Bandwidth Allocation Scheme in the MS/TP Protocol

홍승호*, 송원석**, 권영찬***

(Seung Ho Hong, Won Seok Song, Young Chan Kwon)

Abstract - Digital communication networks have become a core technology in advanced building automation systems. BACnet(Building Automation and Control networks) is a standard data communication protocol designed specifically for building automation and control systems. BACnet adopts Master-Slave/Token-Passing (MS/TP) protocol as one of its field level networks. In this study, we introduce a method of implementing bandwidth allocation scheme in the MS/TP protocol. The bandwidth allocation scheme improves the capability of real-time communication of the original MS/TP protocol. The bandwidth allocation scheme introduced in this paper can be easily implemented in the existing MS/TP protocol with a slight modification. In this study, we actually developed the hardware and firmware of MS/TP module in which bandwidth allocation scheme is implemented.

Key Words :BACnet, MS/TP, Bandwidth allocation, building automation and control, communication protocol

1. 서 론

지능형 빌딩자동화 제어 시스템은 빌딩 시설의 실시간 모니터링과 제어를 요구한다. 빌딩 시설과 서비스에 대한 요구가 증가함에 따라 분산형 마이크로 프로세서 기반의 제어 시스템이 널리 퍼지기 시작하였다. 디지털 통신 네트워크는 지능형 빌딩자동화 시스템의 핵심 기술로 자리잡았다 [1-3]. BACnet(Building Automation and Control networks)은 빌딩 자동화를 위해 특별히 설계된 국제 표준 데이터 통신 프로토콜이다 [4]. BACnet은 필드 레벨의 네트워크로 Master-Slave/Token-Passing (MS/TP) 프로토콜을 채택하고 있다. MS/TP 프로토콜은 다양한 제어 기능 수행과 특정 어플리케이션의 동작을 위해 주로 필드 레벨의 네트워크로 사용된다.

MS/TP 프로토콜이 필드 레벨의 네트워크에 널리 사용되고 있지만, 많은 데이터 전송을 요구하는 어플리케이션 시스템의 실시간 통신에는 한계가 있다. 이미 필드버스 네트워크의 주기적 서비스의 성능 개선을 위해 사용한 대역폭할당기법의 기본 개념은 나와있다[5]. 이전의 연구 [6-8]들은 대역폭할당기법이 많은 다른 종류의 산업용 통신 네트워크 시스템에 적용될 수 있음을 보였다. 본 연구에서는 MS/TP 프로토콜에서 대역폭 할당 기법 구현 방법에 대해 소개한다. MS/TP 프로토콜의 대역폭할당기법은 주기적으로 발생하는 실시간 BACnet 서비스 메시지의 요구사항을 만족시킨다. 또한 최대한 빨리

전송되어야 하는 BACnet 긴급 서비스 메시지의 지연 시간 성능을 개선한다. 본 논문에서 제시된 대역폭할당 기법은 기존의 MS/TP 프로토콜에 최소한의 수정을 더함으로써 간편하게 적용할 수 있으며, 기존의 MS/TP 프로토콜과 호환성이 보장된다.

2. BACnet과 MS/TP에 대한 개요

최근의 빌딩자동화와 제어 시스템들은 난방, 통풍 및 공기 조절장치(HVAC), 조명, 화재 및 life-safety 시스템, 보안 및 이송장치 등의 다양한 빌딩 서비스를 제공한다. 이러한 빌딩 서비스들은 통합된 제어 네트워크를 통하여 보다 안전하고 효율적으로 관리할 수 있다. 폐쇄적인 네트워크 시스템은 빌딩 소유주들이 원하는 유연성 및 확장성과 같은 통합된 빌딩 기능을 하는데 있어서 서로 호환되지 않는 중요한 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 ASHRAE(American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers)는 빌딩 자동화와 제어 네트워크에 있어서 특별히 설계된 국제 표준 통신 프로토콜을 개발하였다.

BACnet은 이러한 정보에 접근하여 처리할 수 있도록 하는 빌딩 자동화 시스템과 어플리케이션 계층 프로토콜의 구성요소간에 교환되는 정보의 형태를 표준 오브젝트로 나타낸다. 또한 서로 연결되어 있는 인터넷네트워크로부터 다양한 지역과 광범위한 네트워크로 정보를 전달하는 방법을 제공한다. 네트워크 계층은 BACnet 네트워크를 임의의크기와 복잡한 인터넷네트워크 안에 어떠한 결합도 서로 연결시키는 방법을 제공한다.

BACnet은 네가지 LAN 기술을 제공하며 데이터 링크 계층 프로토콜을 위하여 점대점(PTP)프로토콜을 제공한다. 네가지 LAN 기술에는 Ethernet, ARCNET, MS/TP 그리고

저자 소개

- * 正 會 員 : 漢陽大學 전자컴퓨터공학부 教授 · 工博
- ** 準 會 員 : 漢陽大學 電子電氣制御計測學科 博士課程
- ***準 會 員 : 漢陽大學 電子電氣制御計測學科 碩士課程

LonTalk이 있다. 이러한 프로토콜 중에서 MS/TP는 단일 디바이스로 필드 레벨간의 연결을 확립하는 가장 일반적으로 사용하는 프로토콜이다. MS/TP 프로토콜은 일반적인 비동기 송/수신(UART)을 하는 원칩 마이크로프로세서에서 구현하도록 설계되었다. MS/TP 프로토콜은 twisted-pair를 사용하는 EIA-485 시그널링을 통해 통신을 한다. 이름에서 알 수 있듯이 MS/TP 네트워크는 마스터/슬레이브 네트워크, 점대점(PTP) 토큰 패싱 네트워크, 또는 이 둘을 혼합한 형태를 사용한다.

MS/TP 마스터 노드는 미디어에 접근을 제한하는 토큰 프레임에 제어한다. 토큰은 미리 정해진 기본 주소에 따라 한 노드에서 다른 노드로 순환한다. 마스터 노드가 토큰을 가진 상태에서 토큰을 전달하기 전에 다른 마스터 노드나 슬레이브 노드로 메시지를 전송할 수 있다. 토큰을 50회 받으면 마스터 노드는 네트워크에 새로 추가된 노드를 찾기 위해 *Poll_For_Master* 프레임을 전송한다. 새로운 노드를 찾게 된다면, 토큰 링의 새로운 노드로 등록된다. 마스터 노드는 요구에 대한 즉각적인 응답이나, 토큰을 가지고 있을 때 실제 응답을 되돌려줄 것이라는 *Reply_Postponed* 프레임을 수신한다. 슬레이브 노드는 토큰을 가지지 못한다. 슬레이브 노드는 단지 마스터 노드의 요구에 대한 응답을 돌려줄 수 있다.

3. MS/TP 프로토콜에서의 대역폭할당기법

다음은 MS/TP 프로토콜의 대역폭할당기법을 구현하기 위해 필요한 조건이다.

- (1) 주기적으로 생성되는 서비스 메시지는 제한시간 내에 도착해야 한다.
- (2) 긴급 서비스 메시지는 시스템 알람 또는 최대한 빨리 전송되어야 하는 시스템의 상태 변화를 가리킨다.
- (3) 프로토콜에 수정이 필요하면 수정된 MS/TP 프로토콜은 기존의 MS/TP 프로토콜과 호환성이 유지되어야 한다.

BACnet은 시스템 설계자가 서비스 메시지의 형태를 다음의 네 가지 레벨로 분류하도록 하고 있다; life-safety, critical equipments, urgent, normal. 그러나 이런 옵션 파라미터는 기존의 MS/TP 프로토콜에서 사용하지 않는다. 본 연구에서 MS/TP 프로토콜에서 사용하는 네 가지 레벨의 메시지 타입을 정의한다; 긴급 메시지, 주기적 요청 메시지, 주기적 응답 메시지(주기적 요청에 대한 응답 메시지), 일반 메시지.

MS/TP 프로토콜의 성능은 "서비스 지연시간"으로 평가된다. 서비스 지연시간은 하나의 BACnet 서비스가 완전히 전송되기까지의 경과 시간으로 정의한다. BACnet Confirmed Service의 서비스 지연시간은 클라이언트의 요구(Request) 메시지가 생성된 시점부터, 이 메시지가 서버 노드에 전송된 후, 다시 응답(Reply) 메시지가 클라이언트 노드로 도달하는 시점까지 소요된 총 지연시간으로 정의한다. BACnet Unconfirmed Service의 서비스 지연시간은 클라이언트에서 발생한 요구 메시지가 서버 노드에 도달할 때까지의 소요 시간을 의미한다. 대부분의 BACnet 서비스들이 confirmed 서비스로 이루어져 있기 때문에 본 연구에서 소개한 대역폭할당기법은 confirmed 서비스의 서비스 지연시간을 만족시키기 위해 설계되었다.

MS/TP 네트워크 시스템은 N 개의 노드로 구성되었다고 가정한다. 각각의 노드는 긴급, 주기적 요청, 주기적 응답 또는

일반 메시지 전송 큐를 가지고 있거나 이런 큐들의 조합을 가지고 있다. 만약 한 노드가 한 형태 이상의 메시지를 생성하면, 서로 다른 타입의 메시지는 분리된 큐를 사용한다. 토큰이 한 노드에 도착했을 때, 메시지를 전송 큐에 저장한다. 우선순위가 가장 높은 메시지는 긴급 메시지이며 그 다음으로 주기적 메시지와 일반 메시지가 있다.

N_c 를 네트워크 시스템의 전송 큐에 있는 주기적 메시지의 개수라고 하자. i 번째 큐에서 생성되는 주기적 confirmed 메시지의 최대 허용 전송 지연시간은 다음과 같다.

$$\phi_i (i=1 \text{ to } N_c, \phi_i \leq \phi_{i+1})$$

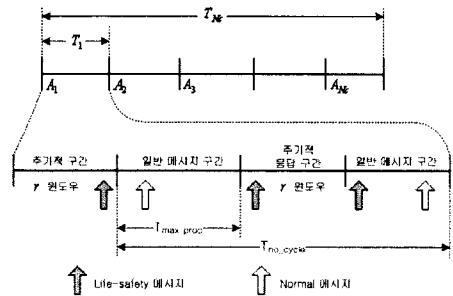


그림 1. MS/TP 프로토콜의 대역폭할당기법

그림 1은 MS/TP 프로토콜의 대역폭할당기법에 관한 기본적인 개념에 대해 보여준다. 미디어의 대역폭은 주기적 요청 메시지, 주기적 응답 메시지 그리고 일반 메시지 구간으로 분할된다. 주기적 요청 메시지는 다중 시분할을 사용하여 그에 대응되는 대역폭 구간을 통해 전송된다. 서버 노드가 주기적 요청 메시지 수신 후 그 즉시 주기적 응답 메시지를 생성한다. 그러나, 주기적 응답 메시지는 즉시 전송되지 않고, 그 노드가 메시지를 전송할 기회가 왔을 때 주기적 응답 구간을 통해 전송된다. 주기적 응답 구간은 T_{max_proc} 가 경과한 순간부터 주기적 요청 구간이 완료된 시점에 시작한다. T_{max_proc} 는 MS/TP 프로토콜 대역폭할당기법을 위하여 새롭게 정의한 네트워크 파라미터이다. T_{max_proc} 는 주기적 요청 메시지 전송 시간과 서버에서 주기적 응답 메시지를 생성하기 위해 필요한 프로세싱 시간을 포함한 최대 프로세싱 지연시간으로 결정된다. 일반 메시지는 일반 메시지 구간을 통해서만 전송될 수 있다. 긴급 메시지는 서버가 이용할 수 있는 어떠한 구간에서도 전송이 가능하다. 주기적 요청과 주기적 응답 구간은 r 원도우로 나누어지며, 메시지 패킷들은 이러한 원도우를 통해 전송된다. 대역폭할당기법은 각 구간 동안 발생하는 주기적 요청 메시지의 생성 숫자가 r 개를 넘지 않도록 스케줄 한다. 그러기 위하여 시스템 설계자는 데이터 생성 주기 $T_i (i=1 \text{ to } N_c, T_i \leq T_{i+1})$ 와 첫 데이터가 생성되는 시점 $t_i (i=1 \text{ to } N_c)$ 를 결정한다. 주기적 메시지의 요구 지연시간을 만족하기 위하여 T_i 는 ϕ_i 를 넘지 않아야 한다. 또한, r 을 가지는 주기적 구간동안 생성되는 주기적 데이터의 양을 제한하기 위하여 $T_i (i=1 \text{ to } N_c)$ 의 값은 서로 정수 배의 관계를 가져야 한다. 그래서, T_i 는 다음과 같이 결정한다.

$$T_1 = \phi,$$

$$T_i = k_i T_1, k_i = 2^{\left\lfloor \log_2 \frac{\phi_i}{T_1} \right\rfloor}, i = 2 \text{ to } N_c \quad (1)$$

주기적 구간에 있는 윈도우의 크기 r 은 다음과 같이 결정된다.

$$r = \lceil \alpha k \rceil \quad (2)$$

여기서 $\alpha_k = \frac{1}{\sum_{i=1}^{N_c} k_i}$ 로 T_1 동안 생성된 주기적 메시지의 평균 수이다.

대역폭할당기법에서 추가된 요구사항은 r 을 갖는 주기적 구간동안 생성되는 주기적 데이터의 양을 제한하는 것이다.

$u^n(A_i)$ 을 A_i 시점에서 생성된 주기적 데이터의 개수라 하고, A_i 을 T_{N_c} 슬롯 내에 있는 i 번째 T_1 의 주기적 구간 시작 시점이라 한다. i 번째 전송 큐의 첫 번째 주기적 데이터의 생성 시점은 다음과 같다.

$$t_i = \min[A_i \geq A_{i-1} : u^i(A_i) \leq r],$$

$$i = 1 \text{ to } N_c, l = 1 \text{ to } k_{N_c}, A_0 = A_1 \quad (3)$$

대역폭할당기법에서 $T_i (i = 1 \text{ to } N_c)$ 는 서로간에 정수배의 관계로 정해진다. 데이터 생성주기 T_1 는 식 (1)에 의해 결정되고 이미 제시된 최대 허용 지연시간 ϕ 를 넘지 않는다. 따라서, 주기적 메시지의 요구된 지연시간을 만족할 수 있다. 대역폭할당기법을 구현하기 위하여 네트워크에 있는 각각의 N_c 노드들은 시간 동기화가 되어야 한다.

4. 기존 MS/TP 프로토콜의 수정

MS/TP 프로토콜에 대역폭할당기법을 구현하기 위하여 기존의 MS/TP 프로토콜을 수정해야 한다. 그림 2는 수정된 MS/TP 프로토콜의 상태머신을 보여준다. 그림 2에서 보는바와 같이 기존의 MS/TP 프로토콜에서 단지 하나의 새로운 "PASS TOKEN FOR CYCLIC"상태(회색)만이 추가되었다. 이와 함께 대역폭할당기법을 위해 다음의 네트워크 파라미터들을 새로 정의한다.

N_{mode} : 전송 상태를 나타내는 노드 파라미터로 다음과 같은 값을 가진다.

- NORMAL : 일반 메시지 전송 가능상태.
- CYCLIC REQ : 주기적 요청 구간이 시작된 상태.
- CYCLIC REPLY : 주기적 응답 구간이 시작된 상태.
- ENFORCED CYCLIC : 주기적 요청 구간이 시작할 준비가 된상태.

N_{cycle_start} : 주기적 요청 구간을 시작한 노드 주소를 나타내는 노드 파라미터.

N_{cycle_max} : 주기적 메시지를 생성하는 노드 주소 중 가장 높은 주소를 나타내는 네트워크 파라미터.

N_{Scycle} : 주기적 요청 또는 주기적 응답 구간이 시작되었을 때 토큰을 받은 노드를 가리키는 네트워크 파라미터.

T_{max_proc} : 주기적 응답 메시지를 생성하기 위한 최대 프

로세싱 지연시간을 나타내는 네트워크 파라미터.
 T_{no_cycle} : 주기적 요청 구간의 시작을 강제로 시작하는 시간을 나타내는 네트워크 파라미터.

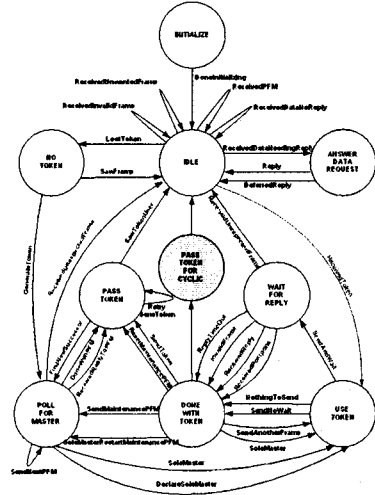


그림 2. MS/TP 대역폭할당기법의 상태 천이도

대역폭할당기법에서 MS/TP 네트워크에 있는 모든 노드들은 어떠한 메시지가 전송되어야 하는지를 결정하기 위해 현재 어떠한 대역폭 구간에 있는지를 알아야 한다. PASS TOKEN FOR CYCLIC 상태에서 토큰을 수신할 다음 노드를 결정한다. 만약에 T_{no_cycle} 타이머가 만료되면, 노드는 토큰을 N_{Scycle} 로 전송하고 주기적 요청 구간을 시작한다. 이런 상태는 T_{no_cycle} 기간 이내에 주기적 요청 구간을 시작할 수 있도록 보장한다. 추가된 PASS TOKEN FOR CYCLIC 상태에서 노드가 현재 어떠한 대역폭 구간에 있는지를 알기 위해 몇몇의 다른 상태들 (IDLE, USE TOKEN, PASS TOKEN)에 약간의 수정이 필요하다. 이를 위해 새롭게 정의된 파라미터들이 위에 나열되어 있다.

5. MS/TP 모듈 개발

본 연구에서 대역폭할당기법이 구현된 MS/TP 모듈을 개발하였다. MS/TP 모듈은 daughter board 형식으로 개발하였으며 특정한 형태의 어플리케이션으로 BACnet 네트워크와 어플리케이션 계층의 프로토콜이 탑재된 BACnet base board에 장착할 수 있다. 그림 3은 본 연구에서 개발한 MS/TP 모듈의 구조를 보여준다. MS/TP 모듈은 CPU, RAM, DPRAM(Dual Port RAM)등으로 구성되어 있다. MS/TP 모듈은 ATmega8515 CPU를 사용한다. 부팅 프로그램과 MS/TP 프로토콜 코드는 CPU내부에 있는 플래시 메모리에 탑재되어 있다. 외부 SRAM은 데이터 메모리로 송신과 수신 을 위한 메시지 버퍼로 사용한다. MS/TP 모듈은 DPRAM을 통해 BACnet base board 와 데이터를 교환한다. MS/TP 인터페이스 커넥터는 어드레스 버스, 데이터 버스, 그리고 EIA-485 인터페이스를 제공한다. 그림 4는 본 연구에서 개발한 MS/TP 모듈의 사진이다.

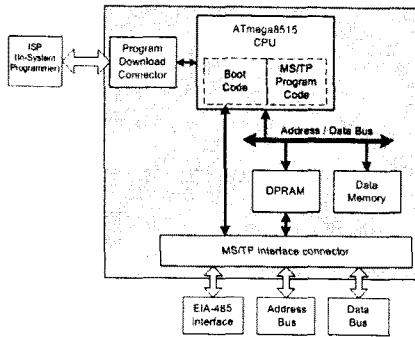


그림 3. MS/TP 모듈의 구조

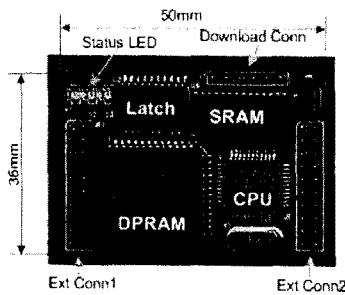


그림 4. MS/TP 모듈 하드웨어

그림 5는 MS/TP 모듈에 탑재된 펌웨어의 구조를 보여준다. MS/TP 펌웨어는 MS/TP 프로토콜, 시리얼 통신, DPRAM 인터페이스 그리고 타이머 제어 함수 등으로 구성되어 있다. 시리얼 통신 함수는 EIA-485 인터페이스로부터 수신한 메시지를 MS/TP 프로토콜 함수에 전달해주며 또한, EIA-485를 통해 메시지를 전송한다. DPRAM 인터페이스 함수는 MS/TP 프로토콜 함수와 BACnet base board에 있는 상위 계층의 프로토콜 스택과 메시지를 교환하는 역할을 한다.

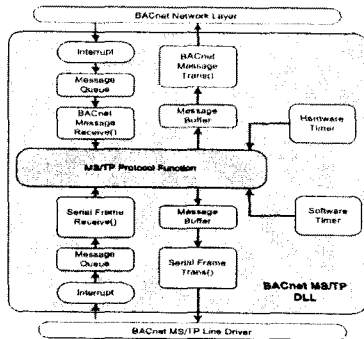


그림 5. MS/TP 모듈의 펌웨어 구조

6. 결론 및 향후 과제

본 연구에서 MS/TP 프로토콜의 대역폭할당기법의 구현 방법에 대해 소개했다. 대역폭할당기법은 기존의 MS/TP 프로토콜의 실시간 통신 기능을 향상시킨다. 본 논문에 제시된

대역폭 할당 기법은 기존의 MS/TP 프로토콜에 최소한의 수정을 더함으로써 간편하게 적용할 수 있다. 본 연구에서 대역폭할당기법이 구현된 MS/TP 모듈의 하드웨어와 펌웨어를 실제로 개발하였다.

MS/TP 프로토콜에 구현된 대역폭할당기법의 성능 향상을 검증하기 위해 실험 모델을 개발하였다. 그림 6은 실험 모델의 예상 형태이다. 그림 6에서와 같이 실험 모델은 12개의 노드로 구성된다. 노드 0은 성능 분석을 위해 네트워크를 통해 전송되는 프레임의 수집하여 PC로 전송하는 모니터 노드로 설계하였다. 실험모델을 사용함으로써, 대역폭할당기법이 구현되었을때와 그렇지 않을 경우의 BACnet 어플리케이션 서비스 지연시간을 비교 분석할 것이다. 그러기 위해 이를 위한 실험과 그 결과를 분석할 필요가 있다.

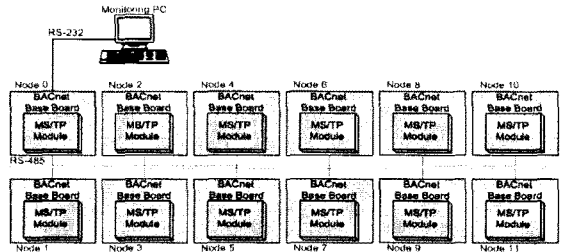


그림 6. 실험 모델의 예상 구성도

참고 문헌

- [1] Newman, H. M., *Direct Digital Control of Building Systems: Theory and Practice*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1994.
- [2] Bushby, S.T., *BACnetTM: a standard communication infrastructure for intelligent buildings*, Automation in Construction, Vol. 6 No. 5-6, 1997, p. 529-540.
- [3] ASHRAE Guideline 13-2000, *Specifying Direct Digital Control Systems*, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc. Atlanta, GA, 2000
- [4] ANSI/ASHRAE Standard 135-2001, *BACnet: A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks*, American Society of Heating, Refrigeration, and Air-Conditioning Engineers Inc. Atlanta, GA
- [5] S. H. Hong, "Bandwidth allocation scheme for cyclic-service fieldbus networks," *IEEE/ASME Trans. Mechatron.*, vol. 6, pp. 197-204, June 2001. 6.
- [6] S. H. Hong, W. H. Kim, "Bandwidth Allocation Scheme in the CAN protocol", *IEE Proceedings-Control Theory and Application*, Vol. 47, pp. 37-44, 2000. 12
- [7] S. H. Hong, Y.C. Kim "Implementation of a Bandwidth Allocation Scheme in a Token-Passing Fieldbus Network", *IEEE Trans. on Instrument and Measurement*, Vol.51, No 2, pp.246-251, 2002. 4.
- [8] Seung. Ho. Hong, In. Ho. Choi "Experimental Evaluation of a Bandwidth Allocation Scheme for Foundation Fieldbus", *IEEE Trans. On Instrument and Measurement*, Vol.52, No 12, 2003. 12.