

분산제어시스템 제어 통신망의 실시간 주기 및 비주기 데이터의 전송 방식

Transmission Method of Periodic and Aperiodic Real-time Data on the Control Network for Distributed Control System

°문홍주*, 신창훈*, 이병윤*, 이성우*, 윤명현*, 전태수**, 김영신**, 권옥현**

* 한국전력공사 전력연구원 원자력연구실 (Tel: 042-865-5642; Fax: 042-865-5504 ; E-mail: hjmoon@kepri.re.kr)

** 서울대학교 전기공학부 (Tel: 02-873-2279; E-mail: whkwon@cisl.snu.ac.kr)

Abstract : In safety related control systems, time critical message transmission requests exist which arrive aperiodically or periodically. Aperiodic urgent data have to be delivered to the destination within predefined deadlines, and periodic data have to be transmitted once every their periods. This paper proposes a method to transmit periodic and aperiodic real-time data efficiently guaranteeing the real-time properties on the control network for distributed control systems. Priorities are assigned to each request and transmitted under a timer-controlled medium access control method. Parameters are calculated for the timers and requests are scheduled to meet the deadlines according to the arrival distribution and the real-time requirements.

Keywords : periodic, aperiodic, real-time, network, transmission, parameter, schedule

1. 서론

1960년대의 프로그램형제어기 및 DDC (Direct Digital Control)의 등장을 거쳐, 1970년에 최초로 Honeywell에 의해 분산제어시스템이 등장하게 되었으며 [1], 그후 발전소 및 생산시스템을 비롯한

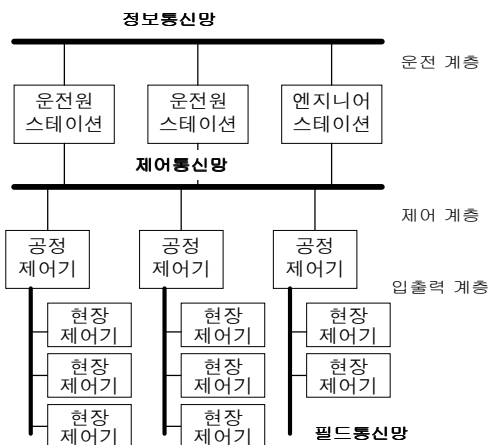


그림 1: 분산제어시스템의 구성

많은 분야에서 분산제어시스템의 개념이 적용되기 시작했다.

분산제어시스템은 제품 및 특성에 따라 그 구성을 여러 가지 형태로 구분하여 생각할 수 있으며, 대상 시스템에 따라 여러 가지 형태로 구성하여 사용할 수 있다. 본 글에서는 가장 일반적인 구조로 생각되는 그림 1과 같은 형태로 구분한다. 그림 1과 같은 구성을 갖는 분산제어시스템에서의 제어통신망에는 직접적인 제어 및 감시 동작을 수행하는 공정제어기가 연계되어 동작하고, 동시에 감시 및 운전조작등을 수행하는 운전원스테이션이 연계될 수 있으므로, 주기적인 데이터와 비주기적인 데이터를 포함하는 다양한 특성을 갖는 데이터들에 대한 전송 서비스가 제공되어야 한다. 주기적인 데이터의 전송기능과 비주기적인 데이터의 전송기능은 상반된 특성을 갖는 경우가 많으므로 두가지 데이터를 동시에 효과적으로 서비스하는데

어려움이 많으며, 제어통신망으로 사용되는 통신 프로토콜들은 어느 한쪽에 치우친 특성을 갖는 경우가 많다. 최근까지도 이에 관한 많은 연구가 진행되고 있으며 [2-5], 다양한 현장 데이터 특성을 만족시킬 수 있는 연구개발이 요구되고 있다.

본 논문에서는 제어통신망에 널리 사용되는 타이머제어형 토큰버스 프로토콜을 사용하여 비주기데이터와 주기 데이터를 동시에 효과적으로 처리할 수 있는 방법을 제안한다. 이를위해, 먼저 2장에서 분산제어시스템에서의 통신데이터 특성을 살펴보고, 3장에서 타이머제어형 토큰버스 프로토콜의 특징을 알아본다. 4장에서 타이머제어형 토큰버스 프로토콜의 특징을 사용하여 분산제어시스템에서의 통신데이터 특성을 만족시키기 위한 방법을 제안한다. 5장에서 제안된 방법을 적용한 예를 살펴보고 6장에서 결론을 맺는다.

2. 분산제어시스템에서의 통신데이터

본 장에서는 분산제어시스템에서의 통신데이터에 대한 특성을 살펴보고 이를 분류한다. 분산제어시스템에서의 통신데이터의 특성을 살펴보기 위해 원자력발전소에 적용하는 경우에 대해 분석을 하였다.

원자력발전소는 표준경수로원전 구성중 미안전계통의 핵심적인 제어부분인 발전소제어 계통을 대상으로 하였다 [6]. 발전소제어계통의 경우 표1과 같이 다양한 신호가 존재한다. 이를 다음과 같이 크게 3가지로 구분한다.

- 1) 긴급 데이터 (UD; Urgent data): 비주기적으로 긴급한 내용을 담고 발생하는 통신 데이터를 지칭한다. 경보감시기 입력, 모드 선택 입력 등을 긴급데이터로 설정할 수 있다.
- 2) 경성실시간 주기데이터 (HRPD; Hard real-time periodic data): 주기적으로 일정한 형식의 내용을 보내는 데이터중, 통신장치가 발생하지 않을 경우, 주기성을 엄격히 보장할 수 있어야 하는 데이터를 지칭한다. 수동모드에서의 제어입력, 제어기사이에 공유하는 제어데이터, 제어기간 공유하는 상태데이터 등을 경성실시간 데이터로 설정할 수 있다.
- 3) 연성실시간 주기데이터 (SRPD; Soft real-time periodic data): 주기적으로 일정한 형식의 내용을 보내는 데이터중, 정해진 주

표 1: 발전소제어계통의 신호

Index	종류	Description	입력모듈	출력모듈
SF1D1.2	D	중기유량차가 클 때 발생	지시계	FWCS-1.2
LCD1.2	D	중기발생기 수위차가 클 때 발생	지시계	FWCS-1.2
RPO1.2	D	원자로 출력의 차이가 클 때 발생	지시계	FWCS-1.2
TFF1.2	A	총 공급수량 신호	데이터취득장치	FWCS-1.2
IDFF1.2	A	공급수량에 대한 내부신호	데이터취득장치	FWCS-1.2
ILC11.2	A	중기발생기 수위의 내부신호	데이터취득장치	FWCS-1.2
RP11.2	A	원자로출력	FWCS-1.2	RRS
RCAT1.2	A	원자로냉각기 평균온도	FWCS-1.2	RRS
RT11.2	D	원자로정지 저전압신호	FWCS-1.2	CEDMCS
RCTNL1.2	A	원자로냉각기 평균온도 저부하설정치	FWCS-1.2	운전원스테이션
IRF1.2	A	재충전 유량치 초기값	FWCS-1.2	운전원스테이션
...

기내에 한 번씩 전송서비스가 처리되도록 하되 약간 정도의 시간지연을 허용하는 데이터를 지칭한다. 발전소데이터취득장치, 지시계 등으로 가는 감시데이터들이 연성실시간 데이터로 설정될 수 있다.

원자력발전소 제어계통을 중심으로 조사한 데이터를 바탕으로, 분산제어시스템의 제어통신망에서 발생할 수 있는 데이터를 분류한 결과, 표2와 같이 조사되었다.

표 2: 원자력발전소 제어계통에서의 데이터 분류

번호	데이터 갯수		
	1 bit 디지털	2 bits 디지털	아날로그
긴급데이터	94	22	27
정성실시간 주기데이터	55	0	18
연성실시간 주기데이터	121	0	28

앞에서와 같이 데이터를 분류하는 경우 적지않은 숫자의 긴급데이터가 존재하였다. 비주기적으로 발생하는 데이터는 충분한 통신대역을 확보하고 있거나, 최대허용 응답지연이 그다지 짧지 않은 경우에는 주기 데이터처럼 처리하는 것이 일반적이다. 그러나, 짧은 최대허용 응답지연 시간을 갖는 긴급 데이터와 같은 여러개의 비주기 데이터들을 효과적으로 처리하기 위해서는 비주기성 데이터의 특성을 살리면서 통신대역을 활용하는 것이 바람직하다.

3. 타이머제어형 토큰버스 프로토콜

실시간 통신 성능을 보장하기 위해 분산제어시스템의 제어통신망에서 IEEE 802.4[7]와 같이 우선순위를 가지는 타이머 제어형 토큰버스 프로토콜이 널리 사용된다. 본 논문에서는 IEEE 802.4 규약을 중심으로 논의한다.

전송 데이터의 중요도에 따라 우선순위가 부여되며, 각각의 우선순위를 갖는 데이터들은 별도로 처리된다. 토큰이 수신된 토큰버스상의 특정 스테이션에서는 우선순위의 순서대로 각 우선순위마다 미리 지정된 시간까지만 매체를 점유하며 데이터를 전송할 수 있는 권리를 부여받게 된다.

대개 목적 토큰 회전 시간 (TTRT; Target token rotation time)을 각 스테이션의 각 우선순위마다 미리 지정하여 이전에 토큰을 받아서 다른 스테이션으로 전달한 시점부터 토큰을 보유하고 있는 현 시점까지의 시간이 이 목적 토큰 회전 시간보다 작은 경우에만 새로운 데이터의 전송을 시작할 수 있도록 한다. 대개의 경우 이전에 토큰을 받은 시점부터 이번에 토큰을 받은 시점까지의 시간으로서의 토큰 회전 시간은 목적 토큰 회전 시간보다 작게 된다. 그러나, 마지막으로 전송을 시작한 데이터의 길이가 긴 경우에는 목적 토큰 회전 시간을 초과하여 토큰 회전 시간을 갖게 되는 경우가 발생한다.

IEEE 802.4 표준 규약의 경우 4개의 우선순위를 두며, 최상위 우선순위의 전송에는 목적 토큰 회전시간과는 약간 다른 타이머 방식

을 사용한다. 다른 스테이션에서 매체를 사용한 시간에 따라 현 스테이션에서 매체를 사용할 수 있는 시간이 달라지는, 목적 토큰 회전 시간에 의한 타이머 제어 방식과 달리, 임의의 순간에 현 스테이션에서 전송할 수 있는 최대 데이터양을 지정하는 방식이다. 최상위 우선순위 토큰 보유 시간 (HPTHT; High priority token hold time)을 미리 설정하고 한 스테이션에서 토큰을 받은 시점부터 최상위 토큰 보유 시간이 지나지 전까지 최상위 우선순위 데이터의 전송을 시작할 수 있다.

4. 비주기데이터 및 주기데이터의 전송

본 장에서는 우선순위가 있는 타이머제어형 토큰버스 프로토콜을 사용하여 UD, HRPD, SRPD가 혼합된 데이터 전송 요구를 효과적으로 처리하기 위한 방법을 제안한다.

본 논문에서는 엄격하게 실시간성을 지켜야하는 UD와 HRPD는 최상위 우선순위인 6을 할당하고 SRPD는 우선순위 4를 할당한다. 전송에 대한 응답은 별도로 고려하지 않는다. UD와 HRPD, SRPD 이외에 다른 데이터는 발생하지 않는다고 한다. 또한, 본 논문에서는 토큰 버스 통신망의 유지보수를 위한 추가시간은 고려하지 않는다.

각 데이터전송이전에 T_p 의 처리 소요 시간을 가정하며, 토큰 전송이전에도 같은 처리 소요 시간을 가정한다. 토큰 전송이후에 다음 스테이션이 토큰을 받게까지 T_o 의 토큰전달 오버헤드 시간을 가정한다. UD와 HRPD는 같은 우선순위를 사용하므로 하나의 큐를 사용하게 되고 UD와 HRPD는 섞여서 서비스된다. 그러나, SRPD는 UD 및 HRPD가 서비스된 이후에 처리된다.

비주기적인 UD와 주기데이터 모두 전송요구의 발생에 대한 제한이 있어야 실시간성을 만족시키는 것이 가능하다. 본 논문에서는 전송요구의 발생에 대해 다음과 같은 가정 및 제한조건을 사용한다.

- 어떤 스테이션 S_i 에서 UD는 일정한 시간 T_{DU} 동안에 발생할 수 있는 UD의 요구가 A_i 로 제한된다.
- 어떤 스테이션 S_i 에서 HRPD는 b_i^p 개가 있으며 각각은 주기 $p_i^h(j)$ ($j=1,2,\dots,b_i^h$)를 갖는다. 주기 p 를 갖는다는 것은 매 p 시간마다 데이터가 발생한다는 의미로 정의한다.
- 어떤 스테이션 S_i 에서 SRPD는 b_i^s 개가 있으며 각각은 주기 $p_i^s(j)$ ($j=1,2,\dots,b_i^s$)를 갖는다. 주기성은 HRPD와 같은 의미로 정의된다.

본 논문에서는 실시간성의 만족에 대해 다음과 같은 가정 및 정의를 사용한다.

- UD는 모두 T_{DU} 의 최대허용 시간지연을 갖는다.
- p 의 주기를 갖는 HRPD D_{hp} 는 p 내에 서비스되어야 한다.
- p 의 주기를 갖는 SRPD D_{sp} 는 1에 가까운 α 에 대하여 확률 α 를 가지고 p 내에 서비스 되어야 하며, 모든 경우에 $2p$ 내에 서비스되어야 한다.

SRPD의 경우 2주기 내에 전송되는 것이 허용된다. 반드시 한 주기내에 전송되는 조건 대신 이 조건을 사용하는 경우 통신망의 효율성을 높일 수 있으며, 실시간성이 보장되는 통신망의 범위를 넓힐 수 있다. 그러나, 통신량이 많아짐에 따라 통신망 효율성의 증가는 매우 작으며, 실시간성이 보장되는 통신망의 범위 또한 크게 증가하지는 않으므로, 본 논문에서는 한 주기내에 전송이 완료되는 경우만을 고려한다.

UD의 프레임 형태는 다음과 같이 가정한다.

프레임 오버헤드	ID	발생시간	사건 ID	사건 데이터	상태
22	2	2	1	1	1

HRPD 및 SRPD의 프레임 형태는 다음과 같이 가정한다.

프레임 오버헤드	데이터의 갯수	첫 번째 데이터			두 번째 데이터			...
		ID	데이터	상태	ID	데이터	상태	
22	1	2	2	1	2	2	1	...

한 데이터 프레임에 대한 오버헤드는 UD의 경우 전체길이의 75%이상이며 매 데이터 전송에 필요한 처리 지연 시간을 고려하면 이보다 큰 부분을 차지하게 된다. 따라서, 여러 데이터를 하나의 데이터 프레임으로 묶어서 전송하면 유효전송률을 높이게 된다.

어떤 스테이션 S_i 에서의 최상위 우선순위 토큰 보유시간을 $HPTHT_i$ 라고 하자. 긴급 데이터 프레임의 최대 길이를 Δ_u , HRPD 및 SRPD의 최대 길이를 Δ_b 라고 하자. HRPD 2개 이상이 하나의 프레임으로 구성된다면 $\Delta_b > \Delta_u$ 이고, 같이 처리 지연 시간 T_b 를 고려하면 어떤 스테이션 S_i 에서의 최상위 우선순위에 대한 최대 토큰 보유시간은 $HPTHT_i + T_b + \Delta_b$ 가 된다. 이 값이 커질수록 토큰 회전 시간은 늘어나므로 빠른 응답시간을 제공하는데 불리하게 된다. 이와같은 특성을 고려하여 한 프레임으로 묶는 최적의 데이터 개수를 구하는 것이 필요하다. 본 논문에서는 최대 16개의 데이터를 한 프레임으로 묶는 경우를 가정한다.

각 스테이션 S_i 의 우선순위 k 에서 매번 토큰을 받을 때마다 해당 큐에서 대기중인 모든 통신요구를 처리한다고 가정한다. 이것은 이후에 논술되는 매개변수의 설정으로 만족시킬 수 있다.

스테이션 S_i 의 우선순위 k 에서 토큰을 전달받은 시점을 기준으로 한 토큰 회전 시간을 TRT_i^k , 이전의 매체사용을 완료한 시점 혹은 토큰을 전달한 시점으로부터 이번의 매체사용 완료시점 혹은 토큰 전달 시점까지의 시간을 $TRT(+)_i^k$ 라고 하고, TRT_i^k 및 $TRT(+)_i^k$ 의 상한값을 T_r^{\max} 이라 하자. 이때, T_r^{\max} 에 의해 최대 전송 시간 지연이 결정되고, 실시간성 조건을 만족시키기 위하여 T_r^{\max} 는 최소한 다음 조건을 만족하여야 한다.

$$T_r^{\max} < T_D^{\min}, \quad (1)$$

여기서 $T_D^{\min} = \min_{i=1}^N (T_{DU}, p_i^k(1), \dots, p_i^k(b_i^k), p_i^s(1), \dots, p_i^s(b_i^s))$ 이다.

한 스테이션 S_i 에서 $TRT(+)_i^k$ 동안에 발생할 수 있는 SRPD에 대한 최대 전송요구가 A_i^k 라고 할 때, 우선순위 4에서의 최대 토큰 보유시간은 $A_i^k(T_b + \Delta^b)$ 이다. 이때, SRPD에 대한 최대 전송요구는 다음과 같다.

$$A_i^k \leq \sum_j^{b_i^k} \lceil T_r^{\max} / p_i^k(j) \rceil = b_i^k \quad (2)$$

그러면,

$$\begin{aligned} T_r^{\max} &\leq \sum_i^N b_i^k (T_b + \Delta^b) + \sum_i^N (HPTHT_i + T_b + \Delta_b) + \sum_i^N (T_b + T_t + T_o) \\ &= (T_b + \Delta^b) \sum_i^N b_i^k + \sum_i^N HPTHT_i + N(2T_b + \Delta_b + T_t + T_o) \end{aligned} \quad (3)$$

이다. $HPTHT_i$ 에 대해 정리하면 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$\sum_i^N HPTHT_i < T_D^{\min} - (T_b + \Delta^b) \sum_i^N b_i^k - N(2T_b + \Delta_b + T_t + T_o) \quad (4)$$

토큰 회전 시간 TRT_i^k 에 대한 토큰 보유 시간 $TTRT_i^k - TRT_i^k$ 동안 SRPD를 모두 전송하기 위해서는 다음 조건을 만족하면 된다.

$$(A_i^k - 1)(T_b + \Delta^b) < TTRT_i^k - TRT_i^k$$

여기에 식(2)와 식(3)을 사용하면 $TTRT_i^k$ 에 대해 다음과 같이 정리할 수 있다.

$$\begin{aligned} TTRT_i^k &> (b_i^k - 1)(T_b + \Delta^b) + (T_b + \Delta^b) \sum_i^N b_i^k + \sum_i^N HPTHT_i \\ &\quad + N(2T_b + \Delta_b + T_t + T_o) \end{aligned} \quad (5)$$

이 경우 각 SRPD는 $TRT(+)_i^k$ 의 최대 전송 지연을 갖는다. 즉, T_r^{\max} 의 최대 전송 지연값을 갖는다.

한 스테이션 S_i 에서 $TRT(+)_i^k$ 동안에 발생할 수 있는 UD에 대한 최대 전송요구가 A_i^k 라고 하고, HRPD에 대한 최대 전송요구가 A_i^{hp} 라고 할 때, $HPTHT_i$ 동안 모두 전송하기 위해서는 다음 조건을 만족하면 된다.

$$(A_i^k - 1)(T_b + \Delta^b) + A_i^{hp}(T_b + \Delta^b) < HPTHT_i$$

이 경우 각 UD 및 HRPD는 최대로 $TRT(+)_i^k$ 의 전송 지연을 갖는다. 즉, T_r^{\max} 의 최대 전송 지연값을 갖는다.

토큰 회전 시간이 T_r^{\max} 인 경우에 대하여 다음의 관계가 성립한다.

$$A_i^k \leq A_i \lceil T_r^{\max} / T_{DU} \rceil = A_i \quad (6)$$

$$A_i^{hp} \leq \sum_j^{b_i^k} \lceil T_r^{\max} / p_i^k(j) \rceil = b_i^k \quad (7)$$

따라서, $HPTHT_i$ 는 식(6), 식(7)을 이용하면, 다음의 조건을 만족하면 된다.

$$HPTHT_i > (A_i - 1)(T_b + \Delta^b) + b_i^k(T_b + \Delta^b) \quad (8)$$

원하는 $HPTHT_i$ 들과 $TTRT_i^k$ 들을 구하기 위해서는 미리 주어지는 상수 T_b , T_t , T_o , Δ_u , Δ_b 와 통신량 및 실시간성 요구사항에 따라 주어지는 T_{DU} , A_i , $p_i^k(j)$ ($j=1, 2, \dots, b_i^k$, $i=1, \dots, N$), $p_i^s(j)$ ($j=1, 2, \dots, b_i^s$, $i=1, \dots, N$)을 사용하여, 식(8)과 식(4)를 만족하는 적당한 $HPTHT_i$ 들을 구한 후, 식(5)를 만족시키는 적당한 $TTRT_i^k$ 들을 구하면 된다. 여기서 구한 $HPTHT_i$ 들과 $TTRT_i^k$ 들에 의해 얻어지는 UD, HRPD 및 SRPD의 최대전송지연은 식(3)에 의해 얻어지는 T_r^{\max} 이다.

이때, A_i / T_{DU} , $1/p_i^k(j)$, $1/p_i^s(j)$, b_i^k 및 b_i^s 이 큰 경우 최대 통신요구량의 상한값이 커지고, 토큰을 전달받고나서 대기중인 모든 통신요구를 수용하기 위하여 큰 $HPTHT_i$ 들과 $TTRT_i^k$ 값을 설정하여야 한다. 이 경우 T_r^{\max} 가 증가하여 실시간성을 만족하기 매우 어렵게 된다. 주기데이터들은 발생하는 시점이 정해져 있으므로, 사전 스케줄링을 하여 전송요구를 고르게 분포시킴으로써 b_i^k 및 b_i^s 을 작게 만들 수 있다. HRPD에 대한 공통 전송 주기를 p_i^k ($\leq p_i^k(j)$, $j=1, \dots, b_i^k$)라고 하고, SRPD에 대한 공통 전송 주기를 p_i^s ($\leq p_i^s(j)$, $j=1, \dots, b_i^s$)라고 하자. 그러면, $p_i^k(j)$ 및 $p_i^s(j)$ 의 데이터 발생시점으로부터 각각 $p_i^k(j) - p_i^k$ 및 $p_i^s(j) - p_i^s$ 이내에 전송요구를 발생시키면 된다. 일반적으로 p_i^k 및 p_i^s 는 각각 $p_i^k(j)$ 및 $p_i^s(j)$ 의 최소공약수와 최소값사이의 적절한 값으로 정하면 된다.

5. 적용예

5 Mbps의 전송률을 가정하면, UD는 29 byte이므로 Δ_u 는 46.4us이고, 주기데이터는 최대 103 byte이므로 Δ_b 는 164.8us이다. 토큰은 19 byte로서 T_t 는 30.4us이다. T_b 를 10us로 가정하고, T_o 를 30us로 가정하자. 스테이션의 개수를 3이라고 하고, 각각의 통신

발생량을 다음과 같다고 하자.

스테이션 1: $T_{DU} = 10\text{ms}$, $A_i = 4$, $b_i^h = 4$ (16개씩 그룹화), p_i^h : {10ms, 30ms, 30ms, 40ms} 각 16개씩, $b_i^s = 10$ (16개씩 그룹화), p_i^s : {130ms, 140ms, 160ms, 170ms, 190ms, 200ms, 220ms, 250ms, 300ms, 300ms} 각 16개씩

스테이션 2: $T_{DU} = 10\text{ms}$, $A_i = 8$, $b_i^h = 4$ (16개씩 그룹화), p_i^h : {20ms, 60ms, 60ms, 60ms} 각 16개씩, $b_i^s = 10$ (16개씩 그룹화), p_i^s : {150ms, 160ms, 180ms, 190ms, 200ms, 210ms, 240ms, 250ms, 320ms, 350ms} 각 16개씩

스테이션 3: $T_{DU} = 10\text{ms}$, $A_i = 5$, $b_i^h = 4$ (16개씩 그룹화), p_i^h : {80ms, 80ms, 90ms, 100ms} 각 16개씩, $b_i^s = 10$ (16개씩 그룹화), p_i^s : {120ms, 140ms, 160ms, 170ms, 180ms, 190ms, 200ms, 210ms, 220ms, 230ms} 각 16개씩

일단 각각의 스테이션에 대해 p_i^h 및 p_i^s 를 다음과 같이 정하고 스케줄링을 한다. 각 주기데이터는 16개씩 하나의 프레임으로 전송한다. 각 전송요구의 표시에서 원소의 숫자는 해당 주기의 데이터를 가리키며, 반복되는 스케줄링표를 괄호로 표시한다.

스테이션 1: $p_i^h = 10\text{ms}$, HRPD에 대한 전송요구={ {10, 30}, {10, 30'}, {10, 40} }, $p_i^s = 30\text{ms}$, SRPD에 대한 전송요구={ {130, 190}, {140, 200}, {160, 220}, {170, 250}, {130, 300}, {140, 300'}, {190, 250}, {160, 200}, {130, 170}, {140, 220} }

스테이션 2: $p_i^h = 20\text{ms}$, HRPD에 대한 전송요구={ {20, 60}, {20, 60'} }, $p_i^s = 30\text{ms}$, SRPD에 대한 전송요구={ {150, 210}, {160, 320}, {180, 250}, {190, 240}, {200, 350}, {150}, {160}, {210}, {180, 320}, {190, 250}, {150, 200}, {160, 240} }

스테이션 3: $p_i^h = 20\text{ms}$, HRPD에 대한 전송요구={ {80}, {80'} }, {90}, {100} }, $p_i^s = 20\text{ms}$, SRPD에 대한 전송요구={ {120, 160}, {140, 170}, {180, 190}, {120, 200}, {210, 230}, {220} }

위의 스케줄링 결과에 의해 다음 통신량을 가지고 매개변수를 정한다.

스테이션 1: $T_{DU} = 10\text{ms}$, $A_i = 4$, $b_i^h = 2$ (16개씩 그룹화), $p_i^h = 10\text{ms}$, $b_i^s = 2$ (16개씩 그룹화), $p_i^s = 30\text{ms}$

스테이션 2: $T_{DU} = 10\text{ms}$, $A_i = 8$, $b_i^h = 2$ (16개씩 그룹화), $p_i^h = 20\text{ms}$, $b_i^s = 2$ (16개씩 그룹화), $p_i^s = 30\text{ms}$

스테이션 3: $T_{DU} = 10\text{ms}$, $A_i = 5$, $b_i^h = 1$ (16개씩 그룹화), $p_i^h = 20\text{ms}$, $b_i^s = 2$ (16개씩 그룹화), $p_i^s = 20\text{ms}$

식(8)에 의해 $HPTHT_i$ 는 $i=1,2,3$ 에 대해 각각 0.52ms, 0.74ms, 0.40ms이상의 값을 갖으면 된다. 식(4)를 만족시키기 위해서 $\sum_{i=1}^N HPTHT_i$ 는 8.22ms보다 작으면 된다. $HPTHT_i$ 가 $i=1,2,3$ 에 대해 각각 0.52ms, 0.74ms, 0.40ms의 값을 갖는 경우, $TTRT_i^4$ 는 $i=1,2,3$ 에 대하여 모두 3.62ms보다 큰 값을 갖으면 된다. 약간의 여유를 두기 위하여 $HPTHT_i$ 를 $i=1,2,3$ 에 대해 모두 1ms로 설정하면 $TTRT_i^4$ 는 $i=1,2,3$ 에 대하여 모두 4.96ms보다 큰 값을 갖으면 되고, 역시 약간의 여유분을 고려하여 $TTRT_i^4$ 는 $i=1,2,3$ 에 대하여 모두 6ms로 설정하면, 요구되는 실시간성을 만족시킬 수 있다.

앞에서 사용한 전송방식을 사용하면 목적 토큰 회전시간은 충분히 큰 값으로 설정하기만 하면 되고, 그 이상의 작용을 하지 않게

된다. 즉, 최상위 전송 데이터는 최상위 우선순위 토큰 보유 시간으로 제어되고, 그 이하의 우선순위에 대한 전송 데이터는 스케줄링에 기반하여 매체의 사용 및 전송이 제어된다.

6. 결론

주기적으로 발생하는 데이터와 사건에 의해 비주기적으로 발생하는 데이터에 대해 효과적으로 처리하기 위한 데이터 전송방식은 상이한 특성을 가지는 것이 일반적이며, 어느 한쪽의 데이터 처리를 위한 성능이 중심이 된다. 본 논문에서는 주기적인 데이터와 비주기적인 데이터를 동시에 효과적으로 처리하기 위하여 우선순위를 가지는 타이머 제어형 토큰버스 프로토콜을 사용한 방법을 제안하였다.

데이터의 종류에 따라 우선순위를 설정하고 노드별 데이터량에 따른 적절한 매개변수를 설정함으로써 비주기적인 UD에 대해서는 전송 지연 테드라인을 엄격하게 준수하고 주기적인 데이터에 대해서는 주기성을 엄격하게 준수하는 통신 성능을 보장하였다. 또한, 실시간성을 만족시키면서 통신망 이용률을 증대시키는 스케줄링 방안을 제안하였다.

본 논문에서 제안하는 방법을 사용함으로써 사건에 의해 비주기적으로 발생하는 데이터와 주기적으로 발생하는 데이터가 섞여있는 통신망에서 실시간성을 엄격하게 보장하며 통신망을 효율적으로 사용하는 방법이 제공된다.

참고문헌

- [1] D. Popovic and V. P. Bhatkar, *Distributed Computer Control for Industrial Automation*, Marcel Dekker, Inc., 1990.
- [2] Helmut Rzehak, Abd E. Elnakhal, and Rudolf Jaeger, "Analysis of Real-Time Properties and Rules for Setting Protocol Parameters of MAP Network," *The Journal of Real-Time Systems*, 1, pp. 221-241, 1989.
- [3] M. Li, P. Pleinevaux and F. Vamparys, "Performance Evaluation of a Reduced OSI Stack," *Internetworking: Research and Experience*, Vol. 5, pp. 71-87, 1994.
- [4] M. Li, "Real-time Communication in an Industrial Network -- Profibus," *PhD Dissertation*, Lausanne, EPFL, 1996.
- [5] Hong Seong Park, Sang Chul Ahn, and Wook Hyun Kwon, "Performance and Parameter Region for Real-Time Use in IEEE 802.4 Token Bus Network," *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, Vol. 40, No. 4, August 1993, pp. 412-420.
- [6] 표준경수로 계통설비 (상), (하), 한국전력공사 영광원전훈련센터, 1996
- [7] ISO/IEC 8802-4, *Information processing systems - Local Area Networks - Part 4 : Token-passing Bus Access Method and Physical Layer Specification*, IEEE, Inc., 1990