

논문 2008-45CI-6-3

실시간 혼합 트래픽 전송을 위한 산업용 IEEE 802.15.4 망의 체계적 전송 기법

(Systematic Transmission Method of Industrial IEEE 802.15.4 for Real-time Mixed Traffic)

김 동 성*, 이 정 일**

(Dong-Sung Kim and Jung Il Lee)

요 약

본 논문에서는 IEEE 802.15.4망의 표준 프레임 구조를 이용한 무선 제어 시스템의 구현을 위해 신뢰성 및 실시간성을 고려한 체계적인 전송 기법을 제안하였다. 제안된 실시간 전송 기법은 공장 환경에서 무선 제어 네트워크가 주어진 시간 구간 내에 실시간 혼합 데이터(실시간 주기 데이터, 긴급 데이터, 비실시간 메시지 데이터)를 효율적으로 처리하는 기능을 제공한다. 이를 위하여 IEEE 802.15.4의 슈퍼프레임의 구조적 특징을 응용하여 실시간 혼합 데이터의 효율적인 전송을 위한 전송 기법들을 설계했다. 제안된 기법은 실시간 및 비실시간 데이터 간에 독립적인 처리 알고리즘을 적용하기 때문에 전체적인 제어 네트워크의 성능 향상을 가져올 수 있다. 제안된 전송 기법의 효율성을 증명하기 위하여 OPnet Modeler 기반의 IEEE 802.15.4 시뮬레이션 모델을 구현하였고 주어진 주기 및 긴급 데이터의 실시간성을 분석하였다.

Abstract

In this paper, dynamic GTS scheduling method based on IEEE 802.15.4 is proposed for wireless control system considering reliability and real-time property. The proposed methods can guarantee a transmission of real-time periodic and sporadic data within the limited time frame in factory environment. The superframe of IEEE 802.15.4 is used for the dynamic transmission method of real-time mixed traffic (periodic data, sporadic data, and non real-time message). By separating CFP and CAP properly, the periodic, sporadic, and non real-time messages are transmitted effectively and guarantee real-time transmission within a deadline. The simulation results show the improvement of real-time performance of periodic and sporadic data at the same time.

Keywords : 무선 제어 시스템, 실시간 데이터 전송 기법, 실시간 혼합 데이터, IEEE 802.15.4 슈퍼프레임

I. 서 론

공장 및 산업용 환경에서의 무선 제어 망 기술은 이 동성 및 유연성 등으로 인해 최근 들어 다양한 연구들이

이 시도되고 있다^[1~3].

무선 제어 망 및 무선 필드버스 구현을 위해 고려되고 있는 산업용 무선 통신 기술로는 IEEE 802.11e 무선 랜 기술^[4]과 IEEE 802.15.1 표준의 블루투스 기술, 근거리 저속망 표준인 IEEE 802.15.4 및 15.4a 기술 등이 있다^[5].

최근들어 무선랜 표준에 실시간성이 강화된 IEEE 802.11e 기반의 무선 제어 망 기술이 연구되어졌다. 그러나 대부분의 관련 연구들은 IEEE 802.11e 무선망 기술을 단독으로 적용하기 보다는 유선 필드버스와 결합된 유무선 혼합 형태로 소개되어 졌다^[6~7].

IEEE 802.11e 기술은 단위 노드 가격으로 인해 설치

* 정회원, 금오공과대학교 전자공학부
(School of Electronic Eng., Kumoh National Inst. of Tech.)

** 학생회원, LS 산전 자동화 연구소
(LS Industry Systems)

※ 본 논문은 2007년도 정부재원(교육인적자원부 학술 연구조성사업비)으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 연구되었음(KRF-2007-D-00150)

접수일자: 2008년10월10일, 수정완료일: 2008년10월30일

비용이 증가와 큰 전력 소모로 인한 단점 들이 있다. 대용량 데이터 전송이 용이하다는 장점에도 불구하고, 이러한 문제점 들은 IEEE 802.11e 기술이 무선 필드버스로의 적용을 어렵게 하고 있다.

IEEE 802.15.1 표준의 블루투스 기술을 이용한 무선 제어기술도 제안 되었다^[2]. 블루투스는 노드의 가격도 저렴하고 전송속도도 비교적 빠르지만, 지원 가능한 노드 수가 극히 제한적이고 전송거리가 짧아서 다수의 센서와 구동기가 위치하는 넓은 산업 현장에서 사용하는 것은 어렵다. 특히 실시간성을 고려해 원 흠만이 고려되는 무선 제어 망에서는 적용이 어렵다.

IEEE 802.15.4를 이용한 제어 네트워크는 그림 1과 같이 무선 센서와 제어장치를 위한 특수한 요구사항을 만족하면서 저비용, 저전력을 목적으로 하는 저속 근거리 무선 통신 기술이다^[5]. 노드 구성에 따라 많은 입출력 노드의 지원과 함께 실시간적 요구 사항이 엄격하지 않은 산업 환경에서는 IEEE 802.15.4 표준이 모니터링 용도로 충분히 고려될 수 있다.

산업 환경에서의 대부분의 데이터는 4 바이트 이하의 주기적인 입출력 데이터 및 이벤트성 알람 데이터 이므로 주기적인 입출력 데이터를 지원 하면서 산발적 알람 데이터를 지원해야한다. IEEE 802.15.4는 많은 입출력 노드 수를 요구하는 필드버스 환경에 적합한 장점 들을 가진다. 하지만, 하위 영역 장치들의 제어를 위해서는 실시간성 및 신뢰성의 보장이 필수적 요소들이다.

IEEE 802.15.4 및 IEEE 802.15.4a 기술이 제어망으로 사용되기 위해서는 실시간 주기를 가진 많은 수의 입출력 노드의 지원과 산발적인 알람 데이터의 전송 문제 등이 선결되어야한다^[8~10].

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 기반 무선 제어 망의 실시간성 및 신뢰성을 향상시키기 위한 응용층의 설계

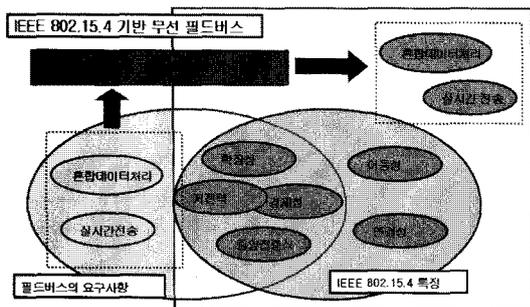


그림 1. 무선필드버스의 요구 사항
Fig. 1. Requirement of wireless Fieldbus.

와 체계적 실시간 전송기법을 제안하고자 한다. 데이터 전송의 신뢰성을 확보를 위해 응용 계층은 간소화된 국제 생산 메시지 규약(MMS)를 사용한다.

실시간 주기 및 산발성 데이터 전송을 위해 동적 GTS (Guaranteed Time slot) 할당 기법 및 확정된 동적 백오프 기법^[10] 동시에 적용하였다. 또한 모의실험을 통해 제안된 방법들의 성능을 평가하였다.

II. 무선 제어 네트워크의 설계

1. 응용층(W-MMS)의 설계 및 구성

본 논문에서는 실시간성과 더불어 응용층에서의 신뢰성 있는 송수신 서비스를 위해 제어 네트워크의 응용층에 W-MMS를 제안한다. MMS^[10]는 필드버스 및 발전소 상위망의 응용 계층 표준안으로 사용되는 국제 생산메세지 표준이다.

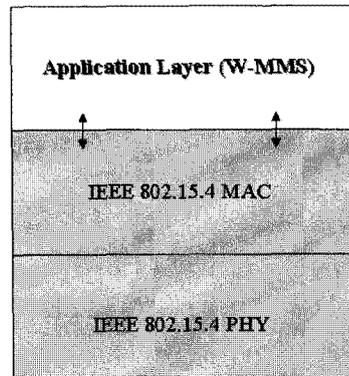


그림 2. 제안된 무선제어네트워크의 구조
Fig. 2. Arcitctire of wireless control networks.

W-MMS는 MMS의 간소화된 형태로 무선제어 네트워크에 맞추어 SNU-MMS 라이브러리^[11]를 변경해 설계했다. 설계된 W-MMS는 그림 3과 같이 IEEE 802.15.4의 MAC 계층에 M-service를 바로 맵핑하는 방식을 도입했다.

- ▶ 기기상태 관련 서비스(2): 상태, 기기 정보
- ▶ 기동 관련 서비스(4) : 생성, 시작, 중지, 삭제
- ▶ 변수 관련 서비스(2) : 읽기, 쓰기

변수 서비스는 주기적 또는 비주기적으로 입출력 데이터 및 알람 데이터의 변수 값들의 송수신에 사용되는 서비스다. 기동 관련 서비스는 조정자가 강제로 기기를 재 시작하거나 구성에서 삭제시키는 경우에 사용한다.

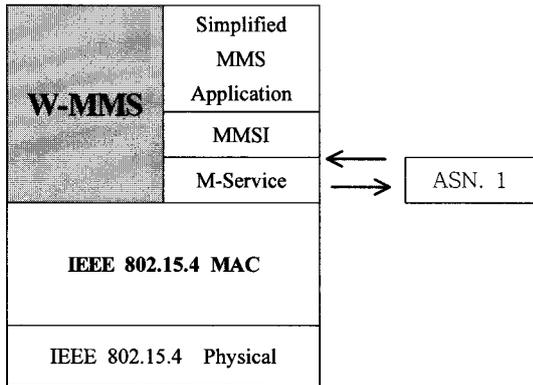


그림 3. W-MMS의 구성 및 연결
Fig. 3. Configuration of W-MMS.

그림 3과 같이 W-MMS에서는 MMS 함수들을 호출할 때 파라미터중 DCB (Data Control Block) 변수의 내용은 MMS 함수 호출 후 그 내분에서 호출되는 M-서비스 함수의 매개변수로 변환시키는 것이 요구된다. 즉, MMS 함수에서 사용된 DCB 변수를 M-서비스에서는 PDU (Protocol Data Unit)로 변환하여 IEEE 802.15.4 MAC 계층으로 전송시키게 된다. 이때, DCB의 PDU로 변환은 ASN.1 (abstract syntax notation)에 따라 수행된다^[11].

2. 혼합 데이터 전송을 위한 CAP/CFP 구간의 관리

본 논문에서는 그림 4의 비콘 활성화(Beacon Enabled) 모드를 사용하고 단일 홉만을 고려한다. 이를 바탕으로 CAP (Contention Access Period) 및 CFP (Contention Free Period) 구간을 나누어 주기 및 비주기 데이터가 혼합된 실시간 데이터를 체계적으로 전송하는 방법을 제안한다.

CAP 구간은 비콘 프레임에 이어 바로 나타난다. 이때 조정자 노드는 실시간 비주기적 긴급 데이터를 전송하고자 하는 노드가 있는지를 조사한다. 만약, 노드

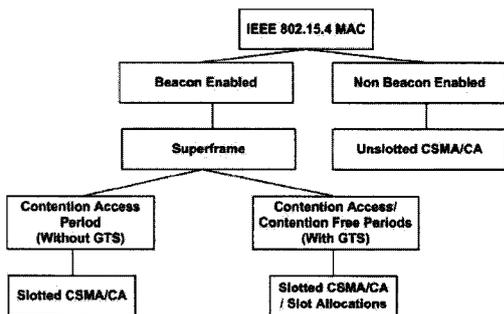


그림 4. IEEE802.15.4 MAC계층에서의 통신운영모드
Fig. 4. Transmission mode of IEEE 802.15.4 MAC.

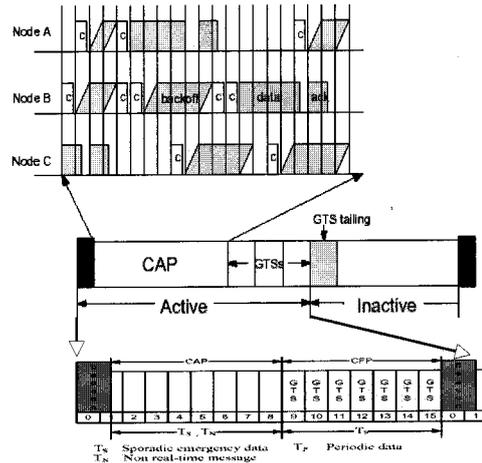


그림 5. 슈퍼 프레임을 통한 혼합트래픽 전송
Fig. 5. Transmission of mixed traffic using Superframe.

가 감지되었다면, CAP 구간에 남아있는 구간의 수와 요구된 타임 구간의 수를 비교한다. 이때, 여유 슬롯이 있다면, 실시간 비주기적 긴급 데이터(T_s)를 전송하게 된다. 이어서 CFP 구간에서는 실시간 주기 데이터(T_p)를 전송한다.

그림 5에서는 CAP 및 CFP 에서 전송되는 실시간 및 비실시간 데이터를 보여준다. 여기서 T_N 는 비실시간 데이터 의미한다.

III. 체계적인 실시간 데이터 전송 방법

1. CAP 에서의 비실시간 데이터 전송

CAP 에서는 긴급 데이터 및 비 실시간 메시지 데이터의 전송이 동시에 이루어진다. 조정자 노드는 망을 구성하고, 노드의 추가 탈퇴 등을 확인하는 메시지 데이터를 송수신한다. 따라서 효율적인 CAP 활용을 위해서는 비주기 긴급 데이터 전송 및 비 실시간 메시지 데이터 전송을 동시에 관리할 필요성이 있다

이를 위해 CAP 에서의 전송기법^[10]이 제안된 체계적 전송 기법에서 선별적으로 적용된다.

그림 6은 초기 BE와 CW값에 의해 긴급 데이터가 먼저 채널을 선점함에 따라 비실시간 메시지 데이터가 백오프 지연과정을 수행하게 되는 과정을 보여주고 있다.

그림 6에서처럼 비실시간 메시지 데이터 노드의 프레임 전송 요구가 발생하면, 비주기적 긴급 데이터 노드는 매체 접속 경쟁을 피할 수 없게 된다. 따라서 실시간 비주기적 긴급 메시지 데이터의 매체 접속을 보장할 수 있는 기법이 필요하다. 이때, BE (Backoff

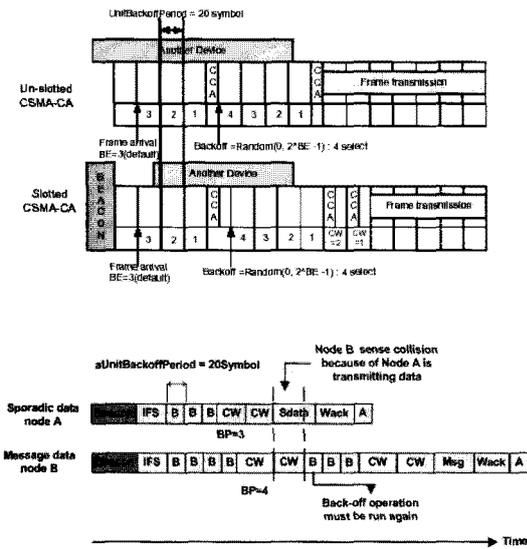


그림 6. CAP 구간(Slotted CSMA-CA)에서의 백오프 과정
 Fig. 6. Back-off Process of CAP (Slotted CSMA-CA).

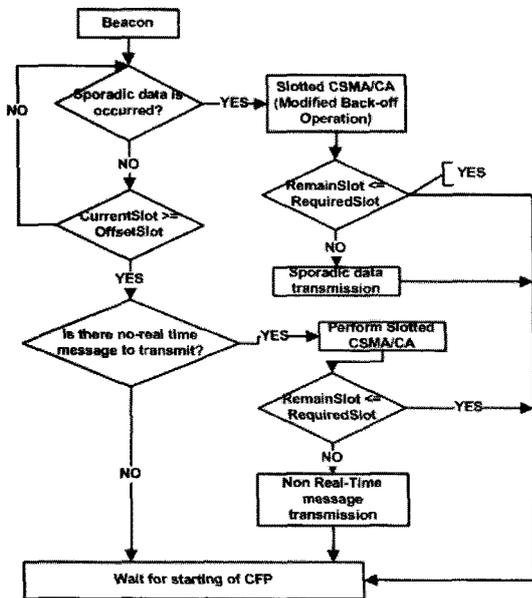


그림 7. CAP에서의 실시간 혼합데이터 전송^[10]
 Fig. 7. Transmission of real-time mixed traffic^[10].

Exponent)와 CW (Contention Window)를 특성을 이용하면, 긴급 데이터가 매체를 우선적으로 접속할 수 있는 확률을 높일 수 있다.

그림 7은 초기 BE와 CW의 차이를 두는 백오프 과정과 오프셋을 모두 사용하였을 때의 CAP에서 이루어지는 혼합 데이터 전송 기법^[10]을 순서도로 나타낸 것이다.

2. CFP에서 실시간 IO의 전송 기법

네트워크 기반 제어 시스템에서 적용된 실시간 스케

줄링 방법^[12]를 확장하여 IEEE 802.15.4를 위한 동적 스케줄링 기법들이 제안되어졌다^[12]. 그러나 이 방법들은 표준에서 제시되는 GTS 할당의 구조적 문제와 네트워크의 이용률과 같은 근본적인 문제들이 있었다.

특정 슈퍼프레임에서의 단위 GTS를 확보한 노드는 하나지만, 연속되는 슈퍼프레임상에서 해당 GTS를 사용할 수 있는 노드는 여러 개 일 수 있다. 이는 할당 및 해제를 통한 GTS의 사용이 아니라, 단위 GTS에 여러 개의 노드를 사전에 할당함으로써 가능할 수 있다. 즉, 하나의 GTS를 공유할 수 있는 실시간 주기 I/O 노드의 집합을 찾아내어 이용률을 높이는 방법이 있을 수 있다. 해당 GTS를 공유하기 위해서는 다음 2가지 조건들이 만족되어야 한다.

- 조건 1. 허용 지연 범위(Allowable Delay Bound)가 실시간 주기 I/O 노드의 데드라인(deadline)을 만족해야 한다.
- 조건 2. 해당 실시간 주기 I/O 노드의 도착율을 만족할 수 있는 대역폭이 보장되어야 한다.

본 논문에 앞서서 결정 대기 이론에 기초하여 IEEE 802.15.4의 데이터 도착율과 서비스 함수 사이의 관계를 정의한 연구들이 발표되었다.^[14~15] 이를 이용하면 실시간 주기 I/O 노드수와 IEEE 802.15.4의 GTS 서비스 함수 사이의 관계를 유도해 낼 수 있다.

도착율 함수와 GTS 서비스 함수 사이의 최대 수평 거리가 최대 허용 지연 시간에 해당한다. 해당 노드의 도착 데이터가 이 지연 시간보다 작은 데드라인 값을 요구하는 경우라면, GTS를 통한 전송이 가능해진다. 먼저 프로토콜의 오버헤드와 유틸 구간을 고려하면 데이터 전송 시간 T_d 는 식 (1)과 같이 계산된다.

$$T_d = T_{GTS} - T_{IFS} - T_{idle} \tag{1}$$

T_{GTS} 는 SO에 의해 구성된 단위 GTS 시간 길이에 해당한다. T_{IFS} 는 IFS를 위한 시구간이며, T_{idle} 은 유틸 구간이다. B_{GTS}^{avg} 는 단위 시구간의 GTS가 제공하는 평균 보장 대역폭을 의미하며 식 (2)에 의해 계산된다.

$$B_{GTS}^{avg} = \frac{\sum_{SO=0}^{14} T_d \cdot \frac{C}{T_0}}{15} \tag{2}$$

식 (2)에서 C(Capacity)는 250kbps에 해당하며, T_0 는 최소 전송 주기(기본 전송주기)를 나타낸다.

이를 바탕으로 지연 허용 범위를 식 (3)을 통해 구

할 수 있다.

$$D_{db} = \frac{b}{B_{GTS}^{avg}} + (nT_0 - T_{GTS}) \quad (3)$$

여기서 식 (3)은 연속되는 슈퍼프레임 상에서 특정 I/O 노드의 도착 데이터가 GTS를 사용할 수 있는 시점까지의 지연 시간을 나타낸 것이다. b 는 I/O 노드의 버퍼 사이즈를 의미한다. 다양한 주기를 가지는 실시간 프로세스 사이에서, 중복되는 주기를 피하면서 각 프로세스를 스케줄링 하는 알고리즘^[12]이 제시되었다. 이를 이용해 본 논문은 전송 주기를 식 (4)를 이용하여 구할 수 있다.

$$T_{TP}^{MD} = T_0 \times 2^j \leq D_i \leq T_0 \times 2^{j+1} = 2T_{TP}^{MD} \quad (4)$$

D_i 는 임의의 i 번째 노드의 데드라인 값을 의미한다. T_{TP}^{MD} 는 i 번째 노드의 데드라인 보다 작거나 같은 정수 값 중 최대치를 의미한다. T_0 는 최소 전송 주기(기본 전송주기)로서는 한 슈퍼프레임의 길이인 15.36 ms 에 해당한다. n 은 특정 실시간 주기 I/O 데이터 노드가 자신의 GTS를 사용하기 까지 경과된 슈퍼프레임의 수에 해당한다. 각 실시간 주기 I/O 데이터 노드의 전송 주기를 결정함에 있어서 식 (5)이 사용된다.

$$T_{TP}^i = \left\lfloor \frac{T_{TP}^{MD}}{T_{SF}} \right\rfloor \times 16 = n \times 16, T_{SF} = 15.36\text{ ms} \quad (5)$$

n 은 해당 노드의 다음 GTS까지 경과되는 슈퍼프레임의 수를 의미한다. 각 실시간 주기 I/O 데이터 노드들에 대한 유효 사용 대역폭은 식 (6)을 통해 구할 수 있다.

$$B_D^i = B_{GTS}^{avg} \times \frac{1}{n_i} \quad (6)$$

초기 해당 GTS 슬롯에 할당된 노드의 n 값 i_n 을 통해, 특정 데드라인 범위안의 노드들의 최대 할당 가능 수를 알 수 있다. 이를 식 (7)에 나타내었다.

$$n_i \geq i_n, C_{n_i}^{\max} = n_i - \left(\frac{n_i}{i_n}\right) \text{ 그 외 } C_{n_i}^{\max} = 1 \quad (7)$$

$C_{n_i}^{\max}$ 는 초기 GTS 할당 테이블 완성된 후 n_i 값을 가지는 임의의 i 번째 노드가 해당 GTS 슬롯에서 할당 가능한 최대 수를 의미한다. 식 (7)는 조건 2가 만족되는 경우에서만 유효하다.

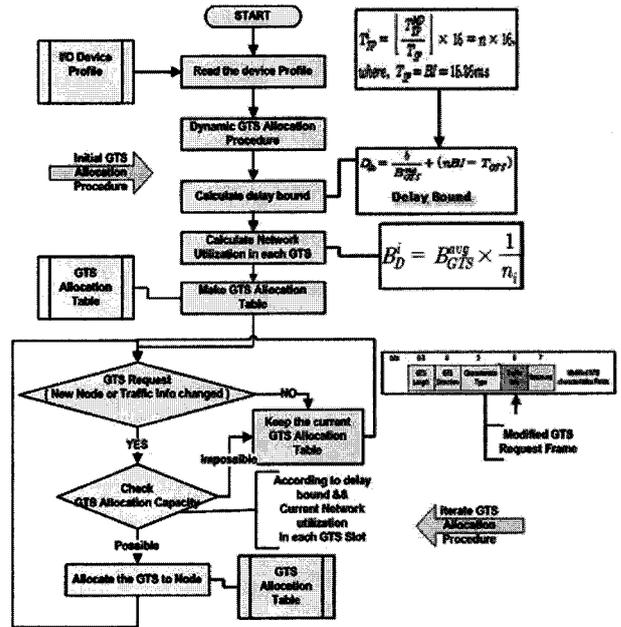


그림 8. 동적 GTS 할당 절차
Fig. 8. Procedure of dynamic GTS allocation.

표 1. 각 노드의 데드라인, 보정데드라인 및 허용지연 범위

Table 1. Deadline, Modified Deadline, Allowable Delay Bound in each node.

노드	데드라인	보정된 데드라인	지연 범위
G	100 ms	61.44	63.08
O	70 ms	61.44	63.08
V	100 ms	61.44	63.08
W	150 ms	122.88	124.52
X	150 ms	122.88	124.52

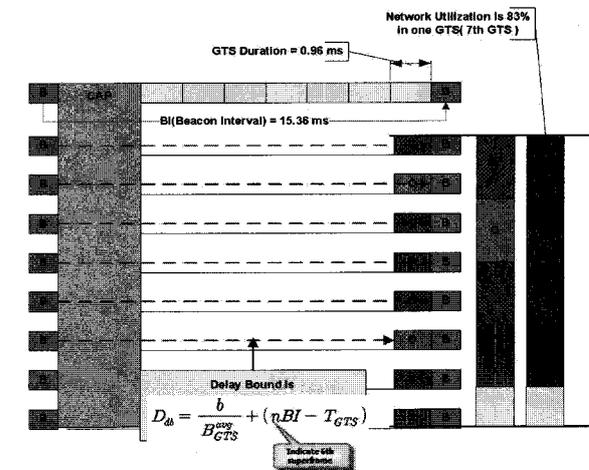


그림 9. G, O, V, W, X의 7번째 GTS의 공유 형태
Fig. 9. Sharing type of 7th GTS (G, O, V, W, X node).

그림 8은 동적 GTS 할당 기법을 적용했을 때의 주어진 변수와 식을 통한 GTS 할당 절차를 보여준다.

표 1의 허용 지연 시간의 범위는 식 (3)에 의해 구해진 값들이다. 노드 O를 보면 연속되는 슈퍼프레임 상에서 두 번째 GTS를 이용 가능한 시점은 4번째 슈퍼프레임 구간임을 알 수 있다.

그림 9에서는 연속된 슈퍼프레임 상에서의 각 실시간 주기 I/O 데이터 노드의 7번째 GTS 이용 상태를 나타내었다. 제안된 방법을 사용하면 이론적으로 GTS 이용률이 83% 까지 늘어난것을 알 수 있다.

주어진 각 변수들의 값은 $b = 32bits$, $B_{GTS}^{avg} \approx 12kbps$, $T_0 = 15.36ms$, $T_{GTS} = 0.96ms$, $n = 4$ 가 된다. 하나의 GTS가 제공하는 평균 대역폭이 12 kbps 이고, GTS 하나의 구간 길이와 BI가 각각 0.96 ms, 15.36 ms 임을 알고 있으므로, 식 (5) 를 이용하면 허용 가능한 지연 시간을 알 수 있게 된다.

V. OPnet Modeler를 이용한 모의 실험

1. 모의실험 환경 및 구현

본 절에서는 실시간 주기 데이터 및 긴급 데이터 전송에 대한 모의실험 결과를 설명한다.

그림 10과 11은 IEEE 802.15.4 모의실험을 위해 구성된 Opnet Modeler 의 IEEE 802.15.4 MAC 및 응용 계층 모델을 각각 보여준다.

모의실험 환경은 $100 \times 100m$ 안에 랜덤하게 위치한 25개의 실시간 주기 I/O 노드와 1 개의 조정자 노드 및 트래픽 정보를 위한 에널라이저 노드로 이루어진 단일 PAN으로 구성되었다.

그림 11과 그림 12는 모의실험에 사용된 응용계층의

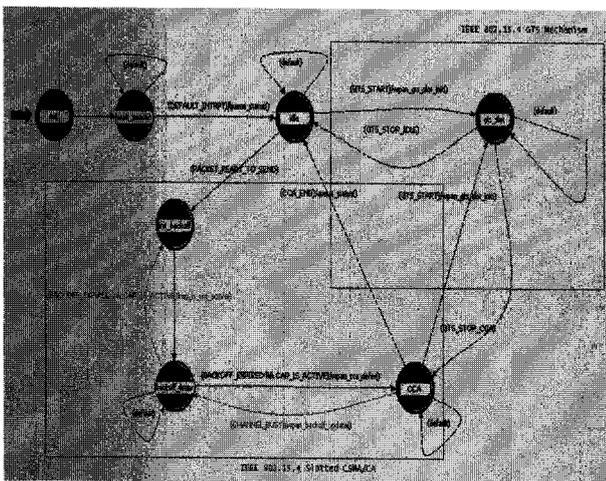


그림 10. IEEE 802.15.4 MAC 계층 모델
Fig. 10. OPnet Model of IEEE 802.15.4 MAC.

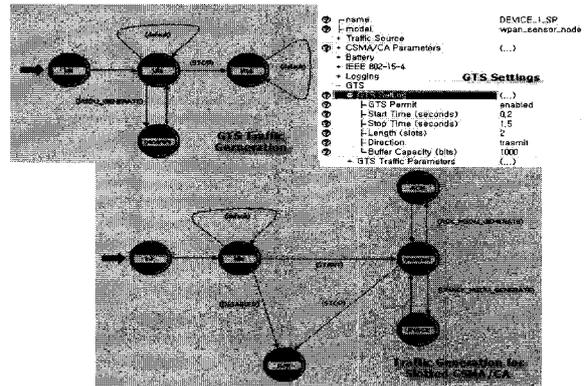


그림 11. 패킷 발생 모델
Fig. 11. Packet generation model.

표 2. 7개 I/O 노드에 대한 트래픽 정보
Table 2. Traffic information of I/O nodes.

노드	도착율	I/O Data 크기	데드라인	n
A	3.4 kbps	4 Byte	40 ms	2
B	2.7 kbps	4 Byte	50 ms	2
C	6.8 kbps	4 Byte	20 ms	1
D	4.5 kbps	4 Byte	30 ms	1
E	2.2 kbps	4 Byte	60 ms	4
F	1.9 kbps	4 Byte	70 ms	4
G	1.5 kbps	2 Byte	80 ms	4

표 3. 초기 GTS 할당 정보
Table 3. Initial GTS allocation.

Seq No.	할당된 GTS 정보						
	1	2	3	4	5	6	7
1	A	B	C	D	E	F	G
2			C	D			
3	A	B	C	D			
4			C	D			
5	A	B	C	D	E	F	G
6			C	D			
7	A	B	C	D			
8			C	D			
9	A	B	C	D	E	F	G
10			C	D			
11	A	B	C	D			

패킷 발생 모델과 모의실험에 사용된 I/O용 전송 프레임 모델을 보여준다.

표 2는 초기 7개의 I/O 노드들의 GTS할당을 위해 요구되는 트래픽 정보를 나타내고 있다. 표 3은 표 2의 초기 7개의 실시간 주기 I/O 데이터 노드들의 트래픽 정보에 근거하여 완성된 GTS 할당 테이블을 나타낸 것이다.

모의실험에서는 IEEE 802.15.4의 GTS 표준 할당 기법과 동적 GTS할당 기법을 동시에 적용하였다. 총 I/O 노드 25개를 10 단위로 29,040개의 슈퍼프레임을 수행한 결과이다. 초기 GTS를 할당받는 노드 A~G

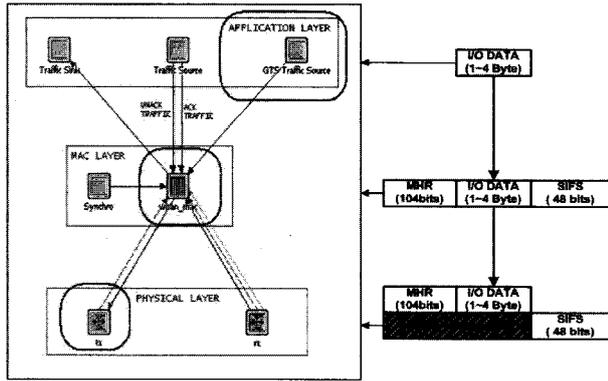


그림 12. I/O데이터의 최종 전송 프레임 모델
Fig. 12. Transmission frame model of I/O data.

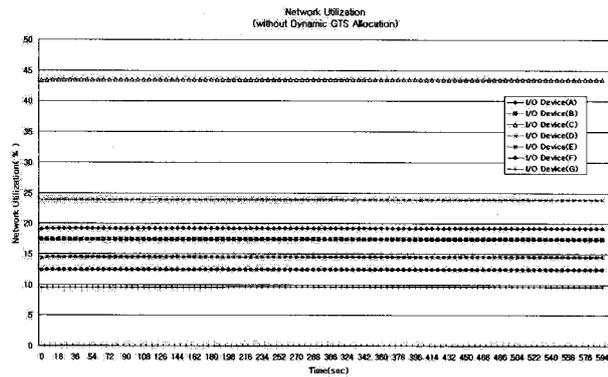


그림 13. GTS내의 네트워크 이용률 (표준GTS할당)
Fig. 13. GTS Utilization with standard GTS Allocation.

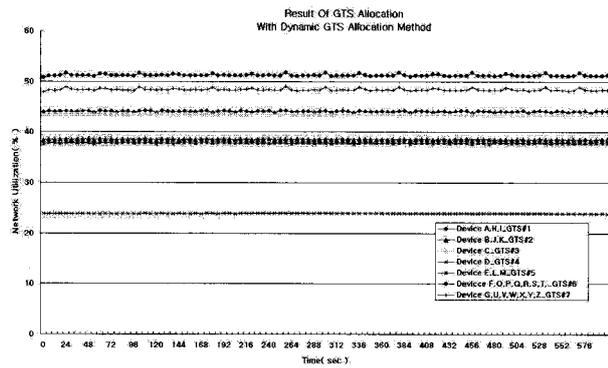


그림 14. GTS내의 네트워크 이용률 (동적 GTS할당 기법)
Fig. 14. GTS Utilization with dynamic GTS Allocation.

노드의 GTS 할당을 위한 트래픽 정보는 표 2와 같다. 동적 GTS 할당 기법을 적용 후 총 17개의 신규 노드를 추가하였다. 도착율은 1 kbps, 데드라인은 70, 80, 100, 130 ms 등으로 설정하였다.

모든 신규 노드는 GTS 요청 프레임 내의 트래픽 정보 비트를 '1'로 설정한 후 조정자 노드에게 GTS할당을 요구한다. 조정자 노드는 이를 검사 한 후, 동적 GTS 할당 기법을 적용하여 동적 GTS 할당 테이블을

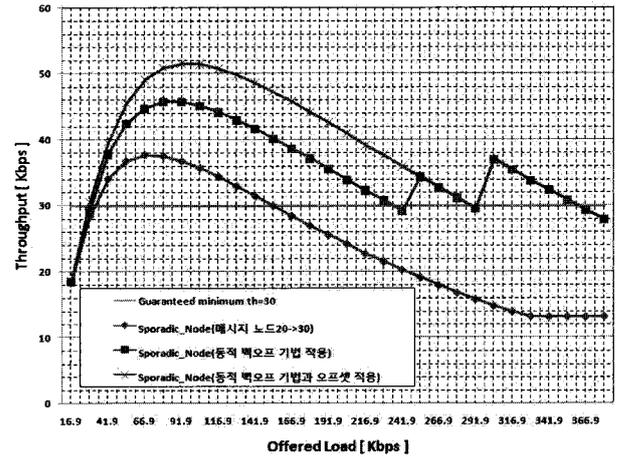


그림 15. 동적 백오프기법 적용시 처리율의 변화^[10]
Fig. 15. Result of throughput after adjusting dynamic backoff method.

완성한다.

그림 13은 7개의 실시간 주기 I/O 데이터 노드를 대상으로 표 3과 같이 GTS를 할당 한 후, 주어진 대역폭 내에서의 네트워크 이용률을 실험한 결과이다.

내부 I/O 데이터의 도착률이 큰 노드일수록, 자신의 GTS내에서 상대적으로 높은 네트워크 이용률을 나타낼 수 있다. C 노드의 경우 높은 I/O 데이터 도착률로 인해 상대적으로 높은 네트워크 이용률을 나타내고 있다.

그림 14는 동적 GTS 할당 기법을 적용한 7개의 GTS내에서의 이용률의 모의실험 결과이다. 대부분 GTS내에서의 네트워크 이용률이 상승하였음을 알 수 있다. 또한, 지원 가능한 가용 노드 수는 7개에서 25개로 증가하였다.

2. CAP에서의 혼합 데이터 전송에 대한 실험

본 논문에서 실시간 긴급 데이터 노드의 최소한의 처리율은 30 kbps로 가정한다. 기존에 차등 적용된 초기 CW의 값을 그대로 백오프 과정에 사용할 경우, 그림 15에 나타난 것처럼 증가한 트래픽에 따라 빈번해진 패킷 충돌현상으로 급격히 처리율이 하락하는 현상을 볼 수 있다. 반면에, 동적 백오프 기법을 적용할 경우 처리율이 크게 향상될 뿐 아니라 최종 정체 상태에 도달하는 속도를 현저히 늦춰줄 수 있음을 알 수 있다

그러나 동적 백오프 기법을 적용함에 있어서도 한계점이 있을 수 있다. 모의실험을 살펴보면 비실시간 메시지 데이터의 노드 수를 40 또는 50으로 증가할수록 BE, CW, 오프셋의 효과는 줄어든다. 이는 IEEE

802.15.4의 백오프 과정에서의 한계점으로 인해 네트워크 트래픽이 증가할 경우 동적인 BE, CW, 오프셋의 적용 효과가 작아지기 때문이다.

VI. 결론 및 향후과제

본 논문에서는 무선 제어 시스템을 위해 IEEE 802.15.4의 슈퍼 프레임 특성을 고려한 체계적 전송 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 실시간 및 비실시간 데이터 간에 독립적인 처리 알고리즘을 적용하여 전체적인 무선 제어 네트워크의 성능 향상을 가져올 수 있도록 설계되었다.

OPnet Modeler를 이용한 모의실험을 통하여 제안된 전송 기법이 실시간 주기 및 긴급 데이터가 효율적으로 전송함을 보였다. 이를 통해 산업용 환경에서 IEEE 802.15.4를 이용한 제어 네트워크의 응용 가능성을 볼 수 있었다.

향후 과제로는 다양한 조건에서의 실장 테스트를 통한 무선용 MMS의 구현과 전송 알고리즘의 개선을 고려해 볼 수 있다.

참고 문헌

- [1] R. Zurawski, "From Wireline to Wireless Networks and Technologies" *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, Volume 3, Issue 2, pp. 93 - 94., May 2007.
- [2] F. De Pellegrini, D. Miorandi, S. Vitturi, and A. Zanella, "On the Use of Wireless Networks at Low Level of Factory Automation Systems," *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, pp. 129-143, Vol. 2, No. 2, 2006.
- [3] A. Willig, "Recent and Emerging Topics in Wireless Industrial Communications": A Selection, *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, Volume 4, Issue 2, pp. 102 - 124, May 2008.
- [4] IEEE Standard for Information technology-Telecommunications and information exchange between systems-Local and metropolitan area networks-Specific requirements - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control and Physical Layer Specifications, 2007.
- [5] IEEE Standard for Information Technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area networks - specific requirement Part 15.4: Wireless Medium Access Control and Physical Layer Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2007.
- [6] Koumpis, K. et al. "Wireless industrial control and monitoring beyond cable replacement", *International Conference on PROFIBUS*, 2005.
- [7] A. Willig, "An architecture for wireless extension of PROFIBUS", *The 29th Annual Conference on Industrial Electronics Society*, Vol. 3, pp.2369-2375, 2003.
- [8] D-H.Choi and D-S.Kim, "Wireless Fieldbus for Networked Control System using LR-WPAN", *International Journal of Control, Automation, and Systems*, vol. 6, no. 1, pp. 1-7, February 2008.
- [9] 이정일, 김동성 "공장 환경에서의 무선 제어 시스템을 위한 센서네트워크의 동적 스케줄링 기법에 대한 연구," *대한전자공학회논문지 SC편*, Vol. 45, No. 2, pp. 45-54, 2008.
- [10] 이정일, 김동성 "비주기적 실시간 데이터 전송을 위한 IEEE 802.15.4 망의 동적 백오프 조정 기법에 대한 연구," *제어자동화로봇 공학회 논문지*, Vol. 14, No. 2, pp.318-327, 2008.
- [11] D-S. Kim, W.H. Kwon and Z.J. Haas, "Implementation of Virtual Factory Communication Systems using Manufacturing Message Specification", *The Handbook of Industrial Information Technology*, CRC Press, FL, June, 2004.
- [12] D-S. Kim and D.H. Choi, "Real-Time Scheduling Method of Discrete Networked Control Systems", in Print, *Control Engineering Practice (Elsevier Science)*, 2008.
- [13] Koubaa, Mário Alves, Eduardo Tovar "Comprehensive Simulation Study of Slotted CSMA/CA for IEEE 802.15.4 Wireless Sensor Networks", *IEEE International Workshop on Factory Communication Systems*, JUN, 2006.
- [14] A. Koubaa, M. Alves, E. Tovar, "GTS Allocation Analysis in IEEE 802.15.4 for Real-Time Wireless Sensor Networks", *International Workshop on Parallel and Distributed Real-Time Systems*, 2006.
- [15] S. Vitturi, I. Carreras, D. Miorandi, L. Schenato, A. Sona, "Experimental Evaluation of an Industrial Application Layer Protocol Over Wireless Systems", *IEEE Transaction on Industrial Informatics*, Volume 3, Issue 4, pp. 275-288, 2007.
- [16] 김형석, "IEEE 802.15.4 무선센서네트워크의 실시간 트래픽 처리를 위한 프레임/슬롯 할당방법", *대한전자공학회논문지-CI편*, Vol. 44, NO. 3, pp. 49 ~56, 2007.

저 자 소 개



김 동 성(정회원)
 1992년 한양대학교
 전자공학과 학사
 2003년 서울대학교, 전기 및
 컴퓨터공학부 박사
 2004년 Cornell 대학교 ECE
 박사후 연구원

2004년 3월~현재 금오공대 전자공학부 조교수,
 2007년12월~현재 UC Davis, 전산학부, 방문교수
 <주관심분야 : 산업용 통신망, 네트워크 기반 임
 베디드 시스템 설계 및 성능분석>



이 정 일(학생회원)
 2005년 금오공과대학교
 전자공학부 학사졸업.
 2008년 동대학원 전자제어공학과
 석사
 2008년 9월~현재 LS 산전 자동화
 연구소 PAC 연구팀 연구
 원

<주관심분야 : 무선 제어 시스템, 산업용 통신망,
 임베디드 시스템>