

WBAN 환경에서 서비스 품질 보장을 위한 MAC 프로토콜 향상 기법

준회원 정 원 수*, 정회원 오 영 환**

Improving Techniques of MAC Protocol for a Quality Guarantee of Service in WBAN Environment

Won-soo Jung* Associate Member, Young-hwan Oh* Regular Member

요 약

WBAN은 사람이 착용하는 옷이나 인체 내부 혹은 외부에 있는 여러 장치들을 상호 연결하여 통신할 수 있는 근거리 무선통신 기술로서 2006년부터 IEEE 802.15 TG16에서 표준화가 활발히 진행되고 있다. WBAN은 기술 적용 분야에 따라 의료용과 비의료용으로 구분할 수 있으며, 의료용은 이식형 장치와 착용형 장치에 활용된다. 본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준에서 사용하는 슈퍼프레임 구조를 변경하여 QoS를 보장한다. 코디네이터는 디바이스가 요청하는 GTS 슬롯의 개수를 파악하여 가변적으로 슈퍼프레임 구조를 변경한다. 제안한 기법의 성능평가를 위해 지연한도와 utilization을 비교하였다. 즉, 슈퍼프레임 구조를 가변적으로 변경하여 주기적 데이터가 많은 WBAN 환경에 적합한 방법을 제안하였고, IEEE 802.15.4와 비교하여 유사한 지연에서 bandwidth utilization이 향상됨을 알 수 있다.

Key Words : WBAN, GTS, QoS, WSN,

ABSTRACT

WBAN is short range wireless communication technology which consists of several small devices close to, attached to or implanted into the human body. Since 2006, the standardization of WBAN is being progressed by IEEE 802.15 TG16. WBAN is separated between medical and non-medical by applications based on technology. Medical is used to implanted devices and wearable devices. In this paper we changed superframe structure which is used IEEE 802.15.4 Standard so guarantee QoS. Coordinator finds out the number of GTS slots that devices request and change superframe structure. We evaluated delay bounds and utilization of proposed protocol by comparing with IEEE 802.15.4. In other words, we proposed adaptive protocol with WBAN by changing superframe structure and the experiment results show that, bandwidth utilization of proposed protocol is better than IEEE 802.15.4 in a similar environment.

I. 서 론

최근 국내외적으로 IT-BT 융합기술의 발달로 인체 영역에서 사용되는 의료용, 비의료용 근거리 통신을

위한 무선 기술인 WBAN(Wireless Body Area Network)에 대한 관심이 높아지고 있다. WBAN 기술은 3m 이내에 위치한 인체 내부 및 외부 디바이스들을 무선으로 연결하여 디바이스간 상호 통신을 제

* 광운대학교 전자통신공학과 통신망연구실(sootan77@dreamwiz.com)

** 광운대학교 전자통신공학과 통신망연구실(11980002@kw.ac.kr)

논문번호: 10009-0129, 접수일자: 2010년 1월 29일

공하는 근거리 무선통신을 의미 한다. 이러한 기술은 사람이 착용하는 옷이나 인체에 부착된 여러 장치들로 구성된 네트워크를 통해 사람의 몸을 중심으로 다양한 디바이스 간 데이터 결합이나 교환을 지원한다^{1,2}.

WBAN 응용서비스는 혈당이나 심전도 등의 사람의 생체신호를 측정하여 무선으로 전송하거나 인체 내 장치들을 구동시키는 의료용(medical)과 인체 주변에서 음성이나 영상 데이터를 전송하거나 엔터테인먼트를 제공하는 비의료용(non-medical)으로 구분할 수 있다. 의료용 WBAN의 경우 몸에 부착되어 활용되는 착용형(wearable)장치와 인체 내에 이식되어 활용되는 이식형(implant)장치로 구분된다^{3,4}.

의료용 데이터의 경우 디바이스와 코디네이터 사이에서 송수신되는 트래픽의 종류에 따라 비주기적 트래픽과 주기적 트래픽으로 분류할 수 있다. 비주기적 트래픽은 실시간 데이터 전송과 같은 특징을 가지고 있지 않기 때문에 IEEE 802.15.4의 경쟁기반 액세스 방법인 slotted CAMA/CA 방식을 사용하여 데이터를 전송한다. 주기적 트래픽은 실시간 데이터 전송 특징을 나타내기 때문에 IEEE 802.15.4의 비경쟁기반 액세스 방법인 GTS(Guaranteed Time Slot) 방식을 사용하여 데이터를 전송한다. 디바이스가 데이터 전송시 GTS 방식을 사용할 경우 충돌 없이 대역폭을 보장 받을 수 있다. 하지만 GTS 방식을 사용할 경우 최대 7개의 타임 슬롯만을 할당 받을 수 있기 때문에 주기적 트래픽 전송을 많이 하는 WBAN 환경에는 적합하지 않다⁵⁻⁸.

본 논문에서는 IEEE 802.15.4 표준에서 사용하는 슈퍼프레임 구조를 변경하여 코디네이터가 디바이스가 요청하는 GTS 슬롯의 개수를 파악하여 가변적으로 슈퍼프레임 구조를 변경함으로써 주기적 트래픽에서 요구하는 자원 예약 기법을 만족할 수 있는 방법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WBAN 특징과 IEEE 802.15.4에서 사용하는 채널 접근 방법에 관하여 알아본다. 3장에서는 WBAN 환경에 적합한 자원예약기법을 고려한 슈퍼프레임 구조 및 GTS 슬롯 할당 방식을 제안한다. 4장에서는 제안한 GTS 슬롯 할당 방식에 관한 성능평가를 수행하고 결과에 따른 비교 및 고찰을 기술한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관계 이론

2.1 WBAN 개요

WBAN은 사람을 중심으로 하나의 WBAN 코디네

이터와 다수의 WBAN 디바이스들로 구성된다. WBAN 디바이스는 그림 1의 WBAN 개념도와 같이 용도에 따라 신체 주변에 착용 혹은 체내 이식되어 생체정보를 취합하거나 신체 주변의 엔터테인먼트 응용에 활용된다. 코디네이터는 이들 디바이스와 스타 토폴로지를 구성하여 양방향 통신 기능을 제공하며 이들 디바이스를 관리하고 제어한다. 또한 코디네이터는 개인 휴대 단말 형태로 구현되어 사용자가 원하는 다양한 멀티미디어 서비스를 제공하고 자신의 헬스 정보를 취합, 분석, 관리하는 기능을 제공한다.

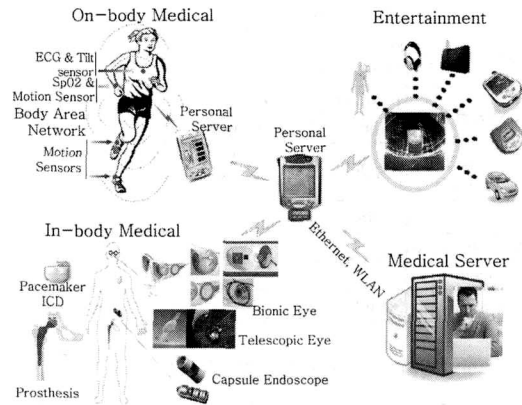


그림 1. WBAN 개념도

2.1.1 WBAN 응용서비스 분류

WBAN은 응용서비스의 종류에 따라 의료용과 비의료용 서비스로 구분한다. 의료용 서비스는 다시 체내 이식형과 체외 착용형으로 구분되며, 비의료용 서비스는 음성이나 영상스트림 전달, 데이터 스트림 전달, 게임들 엔터테인먼트 서비스를 제공한다. 그림 2는 WBAN 응용서비스 구조를 나타낸다.

이러한 서비스를 제공하기 위하여 WBAN 장치는 체내에 이식되어 운용되거나 개인의 의료정보를 전달

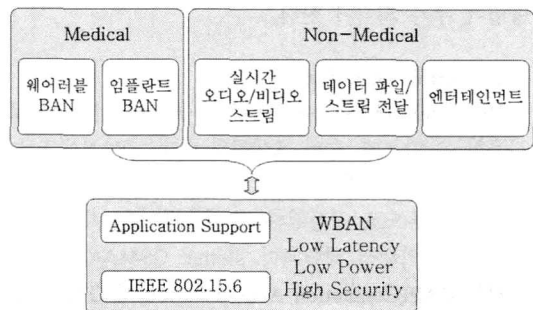


그림 2. WBAN 응용서비스 구조

하는 기능을 수행하므로 레이턴시, 저전력, 보안 등의 특성이 요구된다. 표 1은 WBAN 응용서비스 별 요구 사항을 나타내고 있다.

표 1. WBAN 응용서비스 별 요구 사항

| Application | Target data rate | Latency | BER |
|------------------------|---|----------|---------------------|
| Drug Delivery | < 16 kbps | < 250 ms | < 10 ⁻¹⁰ |
| Deep Brain Stimulation | < 320 kbps | < 250 ms | < 10 ⁻¹⁰ |
| Capsule형 내시경 | 1 Mbps | - | < 10 ⁻¹⁰ |
| ECG(심전도) | 192 kbps (6 kbps, 32 channels) | < 250 ms | < 10 ⁻¹⁰ |
| EEG(뇌파도) | 86.4 kbps (300Hz sample, 12-bit ADC, 24 channels) | < 250 ms | < 10 ⁻¹⁰ |
| EMG(근전도) | 1.536 Mbps (8kHz sample, 16-bit ADC, 12 channels) | < 250 ms | < 10 ⁻¹⁰ |
| Glucose level monitor | < 1kbps | < 250 ms | < 10 ⁻¹⁰ |
| Audio | 1 Mbps | < 20 ms | < 10 ⁻⁵ |
| Video/Medical imaging | < 10 Mbps | < 100 ms | < 10 ⁻³ |
| Voice | 50-100 kbps per flow | < 10 ms | < 10 ⁻³ |

2.1.2 WBAN MAC 프로토콜 요구 사항

WPAN 기술은 IEEE 802.15에서 전송규격을 정의하고 있다. WPAN 표준은 IEEE 802.15.1의 블루투스 TG(Task Group), IEEE 802.15.2의 저속 WPAN TG, IEEE 802.15.3의 고속 WPAN TG, IEEE 802.15.4의 저속 WPAN TG등 다양한 전송 규격을 정의하고 있다.

WBAN은 WPAN 기술과는 달리 응용서비스의 종류에 따라 저속 및 고속 데이터 전송을 요구하고 있다. 특히 저속 데이터 전송을 요구하는 의료용 서비스의 경우 전송하는 데이터 트래픽의 종류에 따라서 비주기적인 트래픽과 주기적인 트래픽으로 나눌 수 있다. 이 경우 IEEE 802.15.4 MAC을 참조 할 수 있다. 하지만 IEEE 802.15.4 MAC 기술을 WBAN MAC에 적용하기 위해서는 서비스 품질을 보장할 수 있는 방법이 추가 되어야 한다.

2.2 IEEE 802.15.4

IEEE 802.15.4는 슈퍼프레임 구조를 선택적으로 사용할 수 있는데, 슈퍼 프레임의 형태는 PAN에 있는 코디네이터에 의해서 결정되고, 같은 사이즈를 갖는 16개의 슬롯으로 구성된다. 슈퍼프레임은 비컨 프레임 전송에 의해서 제한되며, slotted CSMA/CA로 동작하는 CAP(Contention Access Period)와 GTS로 동작하는 CFP(Contention Free Period)로 구성된다.

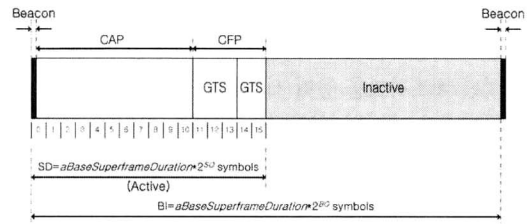


그림 3. 슈퍼프레임 구조

슈퍼프레임의 구조는 MAC PIB 속성인 *macBeaconOrder*와 *macSuperframeOrder*의 값에 의해 정의된다. *macBeaconOrder*는 코디네이터가 비컨 프레임을 전송할 간격을 설명한다. *macBeaconOrder*의 값 *BO*와 비컨 구간(*beacon interval*) *BI*는 다음과 같이 관련되어 있다.

$$\begin{aligned}
 BI &= aBaseSuperframeDuration * 2^{BO} \\
 &= aBaseSlotDuration * aNumSuperframeSlot * 2^{BO} \quad (1) \\
 &= 960 * 2^{BO} [\text{symbols}] \\
 (0 \leq BO \leq 14)
 \end{aligned}$$

*macSuperframeOrder*는 슈퍼프레임의 활동 구간의 길이를 나타내며, 비컨 프레임을 포함한다. *macSuperframeOrder*의 값 *SO*와 슈퍼프레임 지속시간(*superframe duration*) *SD*의 관계는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 SD &= aBaseSuperframeDuration * 2^{SO} \\
 &= aBaseSlotDuration * aNumSuperframeSlot * 2^{SO} \quad (2) \\
 &= 960 * 2^{SO} [\text{symbols}] \\
 (0 \leq SO \leq BO \leq 14)
 \end{aligned}$$

1 symbol은 16μs 이므로 *BI*와 *SD*는 다음과 같이 계산된다.

$$BI = 15.36 * 2^{BO} \text{ms} \quad (3)$$

$$SD = 15.36 * 2^{SO} \text{ms} \quad (4)$$

각 슈퍼프레임의 활동 구간은 $2^{SO} * aBaseSlotDuration$ 기간을 같은 간격으로 슬롯화 된 *aNumSuperframeSlots*으로 나누어지며, 비컨, CAP, CFP 세 부분으로 구성된다. 비컨은 슬롯 0의 시작과 함께 전송되며, CAP는 비컨 다음에, CFP는 CAP 이후에 곧바로 시작된다.

슈퍼프레임 구조를 사용하기 원하는 PAN은 *macBeaconOrder*를 0~14의 값으로, *macSuperframe-*

Order는 0과 *macBeaconOrder* 사이의 값으로 설정한다.

2.3 네트워크 계산법을 이용한 GTS 할당 지연 분석

지연 한도를 분석하기 위한 방법으로 Worst-Case Schedulability Analysis와 Network Calculus 방식이 있다. 본 논문에서는 지연 한도를 분석하기 위하여 네트워크 계산법을 이용하였다^{[9][10]}.

네트워크 계산법을 이용하여 누적 도착 함수(cumulative arrival function) $R(t)$ 로 나타나는 데이터 흐름에 대한 지연 한도(delay bound)의 분석은 전제조건이 존재한다.

1. 도착 곡선(arrival curve) $\alpha(t)$ 는 $R(t)$ 보다 항상 높게 존재한다.

$$0 \leq s \leq t, R(t) - R(s) \leq \alpha(t - s)$$

즉, 누적 도착 함수는 메시지가 도착하여 서비스에 제공되기 전의 시간에서 트래픽의 양이 일정하지 않음을 의미하고, 누적된 트래픽 양은 $\alpha(t - s)$ 를 초과할 수는 없다.

2. $R(t)$ 를 보장할 수 있는 최저 서비스 곡선(minimum service curve) $\beta(t)$ 가 존재한다. 그러므로 데이터 흐름에 대한 지연 한도(D_{max})는 $\alpha(t)$ 와 $\beta(t)$ 의 최대수평 거리를 의미한다.

$$D_{max} = h(\alpha, \beta) = \sup_{s \geq 0} \{ \inf_{\tau \geq 0} \{ \alpha(s) \leq \beta(s + \tau) \} \} \quad (5)$$

그림 5는 도착 곡선 $\alpha(t) = b + r \cdot t$ 와 서비스 곡선 $\beta_{R,T}(t) = R \cdot (t - T)^+$ 의 지연 한도의 예이다. R ($R \geq r$)은 보장되는 대역폭이며, T 는 서비스의 최대 지연을 나타낸다.

서비스 곡선은 특정한 지연과 함께 보장 대역폭을

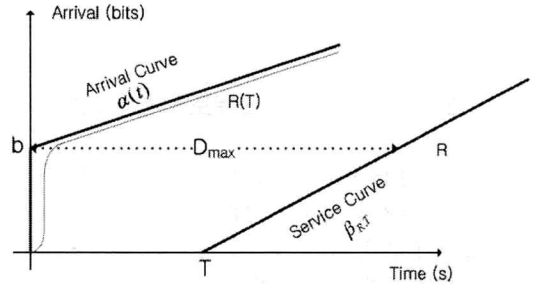


그림 5. 도착 곡선, 서비스 곡선과 지연 한도

제공하는 서비스를 위해 사용된다. 지연 T 에 의해 서비스의 편차가 발생한다.

지연 한도(D_{max})는 다음과 같이 계산된다.

$$D_{max} = \frac{b}{R} + T \quad (6)$$

서비스 곡선으로부터 n 개의 타임 슬롯을 할당하는 GTS에서 근사화된 서비스 곡선 $\beta_{R_n, T_n}(t) = R_n \cdot (t - T_n)^+$ 를 도출할 수 있다. R_n 은 GTS에서의 보장 대역폭을 의미한다.

$$R_n = n \cdot \left(\frac{T_{data}}{BI} \cdot C \right) = n \cdot \lambda \cdot DC \cdot C - w_{idle} \quad (7)$$

$\lambda = 1/16$, DC 는 듀티 사이클을 의미한다.

$$DC = \left(\frac{SD}{BI} \right) = 2^{IO} \leq 1, IO = SO - BO \quad (8)$$

C 는 데이터 전송률로 250 kbps를 의미하고, w_{idle} 은 오버헤드로 인하여 GTS에서 사용되지 않은 대역폭과 GTS에서 낭비되는 시간으로 구해진다.

$$w_{idle} = w_{overhead} + w_{wasted} \quad (9)$$

T_n 은 서비스의 지연을 의미한다.

$$T_n = BI - n \cdot T_s \quad (10)$$

위의 식을 이용하여 도착 곡선에 따른 데이터 흐름은 서비스 곡선 $\beta_{R_n, T_n}(t)$ 에 의해 보장되는 최대 지연을 구할 수 있다.

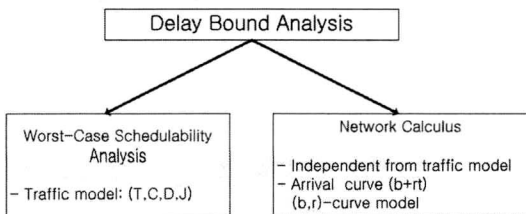


그림 4. 지연 한도의 해석

$$D_{n,max} = \frac{b}{n \cdot (\lambda \cdot DC \cdot C - w_{idle})} + (BI - n \cdot T_s) \quad (11)$$

III. 제안하는 MAC 프로토콜 향상 기법

IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조에서는 데이터 전송시 QoS 보장을 위해서 CFP 구간을 이용하는 GTS 방식을 사용한다. GTS 방식을 사용할 경우 코디네이터는 디바이스가 GTS 요청 명령어를 전송하면 최대 7개의 범위 내에서 GTS 슬롯을 사용할 수 있도록 디바이스에게 GTS 슬롯을 할당 한다. 하지만 현재 할당 중인 GTS 슬롯의 개수가 7개인 경우 디바이스는 GTS 슬롯을 할당받지 못하게 된다.

WBAN의 경우 주기적 데이터 전송 특성을 갖는 데이터는 실시간 전송 특성을 보장하기 위해서 GTS 슬롯을 사용해서 데이터를 전송하게 된다. 이러한 경우 디바이스는 코디네이터로부터 GTS 슬롯을 할당 받은 후 코디네이터의 다음 비콘 주기에서 데이터를 전송할 수 있기 때문에 GTS 슬롯을 할당 받지 못한 경우 데이터 전송이 어려워지게 된다. 제안하는 슈퍼프레임 구조는 이러한 문제점을 해결하기 위해서 코디네이터가 디바이스의 GTS 요청 명령을 수신한 후 현재 네트워크에서 디바이스가 요청하는 GTS 슬롯의 개수를 판단하여 슈퍼프레임의 *aNum.Superframe.Slots*의 개수를 가변적으로 조절함으로써 데이터 전송 시 서비스 품질을 보장할 수 있는 자원 예약 기법을 제안 한다.

3.1 자원예약 기법을 고려한 슈퍼프레임 구조

제안한 슈퍼프레임 구조에서 코디네이터는 디바이스가 요청한 GTS 슬롯의 개수를 판단한 후 GTS 슬롯의 개수가 7개 이하인 경우는 기존의 슈퍼프레임 구조를 사용하고 7개를 초과하는 경우 제안한 슈퍼프레임 구조를 이용하는 방식을 따른다. 이러한 경우 비주기적인 트래픽 및 다른 디바이스가 GTS 요청 명령어를 보낼수 있게 하기 위해서 반드시 *aMinCAPLength*를 보장해야만 한다. 제안한 슈퍼프레임 구조는 그림 6과 같다.

슈퍼프레임의 활동 구간은 SD (Superframe

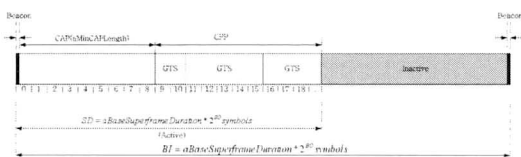


그림 6. 자원예약 기법을 고려한 슈퍼프레임 구조

Duration)로 나타낸다. SD는 *aNum.Superframe.Slots*의 개수와 *aBaseSlotDuration * 2^SO*기간의 곱으로 나타내며 코디네이터는 디바이스가 요청한 GTS 슬롯의 개수가 7개 이하인 경우는 *aNum.Superframe.Slots*을 16개를 사용하여 슈퍼프레임 활동 구간을 나타내고 디바이스가 요청한 GTS 슬롯의 개수가 8개 이상인 경우 *aNum.Superframe.Slots*을 $2^1 + 2^n$ ($1 \leq n \leq 4$) 개를 사용하여 슈퍼프레임 활동 구간을 나타낸다. 식2는 제한한 슈퍼프레임 구조에서 사용하는 슈퍼프레임 활동 구간이다.

$$SD = aBaseSuperframeDuration * 2^{SO} = aNum.Superframe.Slots * aBaseSlotDuration * 2^{SO}$$

여기서

$$aNum.Superframe.Slots = 2^1 + 2^n \quad (1 \leq n \leq 4) \quad (12)$$

라고 하면

$$SD = (2^1 + 2^n) * 60 * 2^{SO} [symbols] \quad (0 \leq SO \leq 14) \quad (13)$$

식 2에서 n의 값을 4로 제한하는 이유는 n 값이 증가하여 슈퍼프레임의 활동 구간이 증가하는 경우 데이터 전송율은 높아질수 있으나 GTS 슬롯 할당 시 지연이 증가하기 때문에 이를 고려하여 n의 최대 값을 4로 설정하였다. 이는 성능 평가 부분에서 다시 언급한다.

3.2 한 개의 GTS 슬롯에서 발생하는 지연 범위 분석

3.2.1 GTS 서비스 곡선

그림 7은 제한한 슈퍼프레임 구조에서 (b, r)모델을 사용하여 하나의 GTS 슬롯에 발생하는 데이터 전송

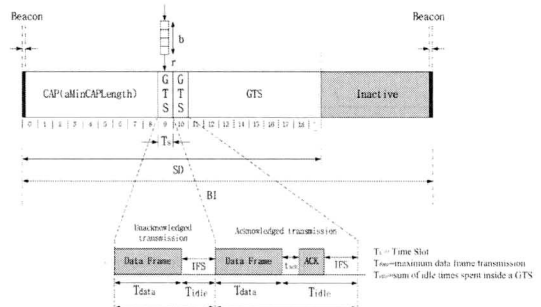


그림 7. GTS 슬롯의 데이터 전송시간과 지연시간

시간 및 지연 시간을 나타낸다.

$$T'_n = BI - n \cdot T'_s \quad (19)$$

제한한 슈퍼프레임 구조에서 슬롯 구간 T'_s 는 T'_s 로 나타내고 T'_s 값은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} T'_s &= \frac{SD}{2^4 + 2^n} \\ &= aBaseSuperframeDuration * 2^{SO} / (2^4 + 2^n), \quad (14) \\ (1 \leq n \leq 4) \end{aligned}$$

T'_s 는 제한한 슈퍼프레임 구조에서 사용하는 슬롯 구간을 의미한다.

제한한 슈퍼프레임 구조에서 서비스 곡선 $\beta_{R',T'}$ 는 $\beta_{R',T'}$ 로 나타내고 $\beta_{R',T'}$ 값은 다음과 같다.

$$\beta_{R',T'} = R'(t - T')^+ \quad (15)$$

여기서 R' 은 제안한 슈퍼프레임 구조에서 하나의 GTS 슬롯에 보장되는 대역폭을 의미 하고 T' 는 최대 지연 값을 의미 한다.

$$\begin{aligned} R' &= \frac{2^{IO}C}{2^4 + 2^n} - \frac{T_{idle}}{BI} \quad C = \lambda' \cdot DC \cdot C - w_{idle}, \quad (16) \\ (1 \leq n \leq 4) \end{aligned}$$

λ' 은 $1/2^4 + 2^n$ ($1 \leq n \leq 4$) 이다.

T' 은 $BI - T'_s$ 이다.

3.2.2 지연 한도(Delay bound)

제한한 슈퍼프레임 구조에서 하나의 GTS 슬롯 할 당 시 발생하는 지연의 최대 값을 구하기 위해서 식 6을 참조한 식은 다음과 같다.

$$D'_{max} \equiv \frac{b}{\lambda' \cdot DC \cdot C - w_{idle}} + (BI - T'_s) \quad (17)$$

3.3 n개의 GTS 슬롯에서 발생하는 지연 범위 분석

제한한 슈퍼프레임 구조에서 n 개의 GTS 슬롯에 보장되는 대역폭은 R'_n 으로 나타낼 수 있다.

$$R'_n = n \cdot (\lambda' \cdot DC \cdot C - w_{idle}) \quad (18)$$

그리고 최대 지연 값은 T'_n 로 나타낼 수 있다.

그러므로 n 개의 GTS 슬롯 할당 시 발생하는 지연 의 최대 지연은 $D'_{n,max}$ 로 나타낼 수 있다.

$$D'_{n,max} = \frac{b}{n(\lambda' \cdot DC \cdot C - w_{idle})} + (BI - n \cdot T'_s) \quad (20)$$

3.4 Bandwidth Utilization

제한한 슈퍼프레임 구조를 사용하는 센서 네트워크 에서 CFP 구간 전체 Utilization은 U'_{CFP} 로 나타낼 수 있다.

$$U'_{CFP} = \frac{1}{N \cdot R'_{TS}} \sum_{i=1}^N \frac{r_i}{k_i} \quad (21)$$

여기서 R'_{TS} 는 제안한 슈퍼프레임 구조에서 하나의 GTS 슬롯에 보장되는 대역폭을 의미 한다.

IV. 성능 평가

본 장에서는 실시간 트래픽 전송 요구 사항을 지닌 네트워크에서 제안한 슈퍼프레임에서 GTS를 사용할 경우 프레임의 성능 평가 결과를 보여 준다.

IEEE 802.15.4 표준에 따르면, 하나의 슬롯에서 연속적인 데이터 전송은 그림 8과 같이 프레임 간격에 의해서 분리 된다.

하나의 GTS 슬롯에서 데이터를 전송할 수 있는 최대 전송 시간 및 데이터 처리율은 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} T'_{data}{}^{full} &= \max(T'_{data}{}^{LIFS}, T'_{data}{}^{SIFS}) \\ &= \max\left(\begin{aligned} &T'_s - (N_{LIFS} - 1) \cdot LIFS - \Delta(IFIS), \\ &T'_s - N_{LIFS} \cdot SIFS \end{aligned} \right) \quad (22) \end{aligned}$$

$$Th'_{max}{}^{full} = \max\left(\begin{aligned} &T'_s - (N_{LIFS} - 1) \cdot LIFS - \Delta(IFIS), \\ &T'_s - N_{LIFS} \cdot SIFS \end{aligned} \right) \frac{C}{BI} \quad (23)$$

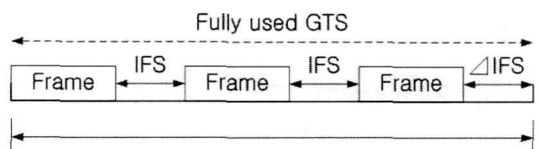


그림 8. 하나의 슬롯에서 연속적인 데이터 전송

4.1 GTS 전송 지연 분석

식 16은 하나의 GTS 슬롯에 발생하는 최대 지연 값을 구하는 식이다. 여기서 가장 중요한 부분은 보장 대역폭 R' 이다. 그림 9는 하나의 GTS 슬롯에 할당되는 보장 대역폭을 나타낸다.

하나의 GTS 슬롯에 할당되는 보장 대역폭을 관찰한 결과 SO 값이 증가 하더라도 IEEE 802.15.4 표준의 경우 11.88 kbps 이상의 대역폭을 보장하지는 않는다. SO=0, SO=1에서 낮은 대역폭을 나타내는 이유는 슬롯의 주기값이 작기 때문에 많은 데이터 양을 전송하기 위해서는 IFS가 빈번하게 나타나기 때문이다. 그림 9를 관찰한 결과 n 값이 증가 할수록 하나의 GTS 슬롯에 할당되는 보장 대역폭이 감소한다. 하지만 제안한 슈퍼프레임 구조에서 코디네이터는 디바이스가 요청한 GTS 슬롯의 개수를 파악한 후 $aNum.Superframe.Slots$ 의 개수를 증가 하기 때문에 GTS 슬롯 전체를 고려할 경우 전체 대역폭은 증가한다.

그림 10은 하나의 GTS 슬롯 할당시 발생하는 지연을 나타낸다. 여기서 100% 듀티 사이클을 사용한다.

하나의 GTS 슬롯에서 발생하는 지연값을 관찰한 결과 제안한 슈퍼프레임 구조에서 n 값을 5 이상으로

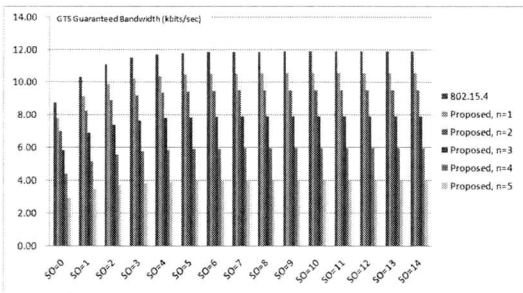


그림 9. 하나의 GTS 슬롯에 할당되는 보장 대역폭

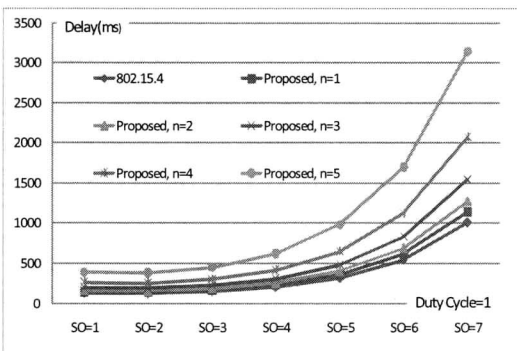


그림 10. 하나의 GTS 슬롯 할당 시 발생하는 지연

적용할 경우 지연이 급격하게 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 그래서 제안한 슈퍼프레임 구조에서 $aNum.Superframe.Slots$ 의 개수를 계산 할 경우 n 값을 4로 제한 한다.

그림 11은 IEEE 802.15.4 표준 및 제안한 슈퍼프레임 구조에서 디바이스들이 전체 GTS 슬롯을 사용하는 경우 발생하는 지연 값을 나타낸다.

제안한 슈퍼프레임 구조에서 Bandwidth Utilization을 구하기 위해서 데이터의 평균 도착율을 6.25kbbs로 가정하였다. 그림 12은 IEEE 802.15.4표준과 제안한 슈퍼프레임 구조를 식 21을 사용하여 성능을 비교하였다.

802.15.4 표준안의 슈퍼프레임의 CFP구간의 utilization은 10.2%에서 시작하여 CFP의 구간이 길어질수록, 즉 GTS 슬롯 개수가 증가하면 감소하는 것을 확인할 수 있다. 본 논문에서 제안하는 슈퍼프레임 구조의 CFP 구간의 utilization도 GTS 슬롯 개수가 증가하면 감소한다. 하지만 n의 증가로 $aNum.Superframe.Slots$ 가 커지게 되면 슈퍼프레임 구조에서 하나의 GTS 슬롯에 보장되는 대역폭인

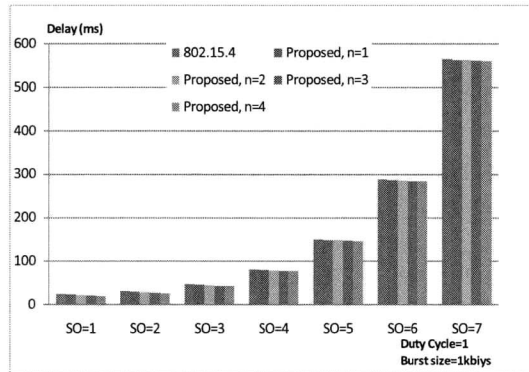


그림 11. 전체 GTS 슬롯 할당 시 발생하는 지연

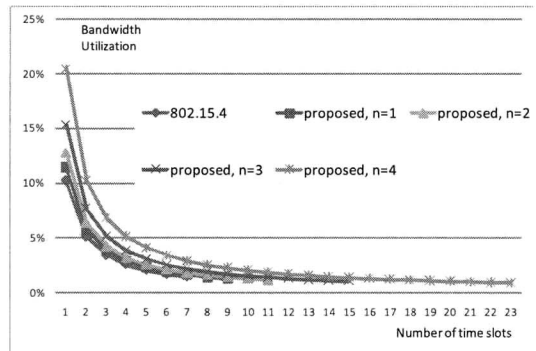


그림 12. GTS 슬롯의 데이터 전송시간과 지연시간

R_{TS} 의 값의 감소하게 되어 utilization이 증가한다. n이 클수록 Bandwidth Utilization이 동일한 슬롯 개수에서 증가함을 확인할 수 있다.

$$Th_{max}^{full} = \max \left(\frac{T_s - (N_{LIFS} - 1) \cdot LIFS - \Delta(IFS), C}{T_s - N_{LIFS} \cdot SIFS} \right) \frac{C}{BI}$$

V. 결론 및 향후 연구 방향

본 논문에서는 네트워크 내의 디바이스가 요청하는 GTS 슬롯의 개수를 판단한 후 슈퍼프레임의 $aNumSuperframeSlots$ 의 수를 가변적으로 조절하여 데이터 전송시 QoS를 보장하는 기법에 대해 제안하였다. WBAN 환경에서는 기존의 센서네트워크 환경에 비하여 데이터의 QoS가 중요시된다. IEEE 802.15.4에서는 GTS 슬롯이 최대 7개까지 할당가능하기 때문에 GTS를 요청하는 디바이스가 증가하면 QoS를 보장할 수 없는 문제가 발생한다. 이점을 보완하기 위해 슈퍼프레임구조의 CFP구간을 확장하여 QoS를 보장하는 방안을 제안하였다.

성능 평가 결과 CFP구간을 확장하게 되면 전체 BI가 증가하게 되어 GTS 슬롯 당 보장 대역폭은 감소하게 된다. 슬롯 당 보장 대역폭이 감소하더라도 제안하는 방식은 GTS 슬롯의 할당을 디바이스가 요청하는 슬롯 수를 파악하여 할당하기 때문에 GTS 슬롯 전체의 보장 대역폭은 증가함을 확인하였다. 슬롯 당 보장 대역폭의 감소는 CFP 구간의 utilization을 증가시키고, n이 클수록, 즉 CFP 구간이 증가할수록 동일한 슬롯 수에서 기존의 방식에 비해 utilization이 증가함을 보여주었다. 지연 한도에서도 전체 GTS 슬롯 중 하나의 슬롯만 사용하는 경우 기존의 방식에 비해 지연이 증가하지만, 제안한 방식은 GTS 슬롯을 요청하는 수에 맞게 할당하기 때문에 전체 GTS 슬롯을 사용하는 경우에는 기존에 비해 지연이 감소함을 확인하였다. 하지만, CFP 구간을 확장하는데 있어 디바이스들이 요구하는 지연을 고려하여 확장 범위를 결정해야한다.

제안한 방식은 IEEE 802.15.4를 기반으로 주기적 트래픽 전송이 빈번한 WBAN 환경에 적합한 슈퍼프레임구조를 사용하여 GTS 딜레이를 고려한 utilization 향상 기법을 제공한다.

향후 연구 과제로 디바이스가 요청하는 GTS 슬롯이 한정된 GTS 자원을 초과하는 경우 효율적으로 GTS 슬롯을 사용하기 위한 방안과 지연을 고려한 슈퍼프레임의 확장 및 현실을 고려한 SuperframeOrder

의 설정 및 비주기적 데이터를 처리하기 위한 CAP 구간의 보장 방안이 향후 연구 과정을 통해 개선되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] 김은교, 손진호, “WBAN을 위한 MAC 프로토콜 기술 동향 및 과제”, *한국통신학회지(정보와통신)*, 제25권 제2호, pp.26-31, 2008년 2월.
- [2] 이성협, 윤양문, 김도현, “IEEE 802.15.6 중심의 WBAN 국내의 표준화 동향”, *한국통신학회지(정보와통신)*, 제25권 제2호, pp.11-17, 2008년 2월.
- [3] 남홍순, 이형수, 김재영, “WBAN 응용서비스 동향”, *한국전자통신연구원 전자통신동향분석*, 제 24권 제5호, pp.109-118, 2009년 10월.
- [4] Bin Zhen, Huan-Bang Li, and Ryuji Kohno, “IEEE Body Area Networks and Medical Implant Communications,” *BodyNets2008*, pp. 24-35, 2008.
- [5] IEEE Standard for Information technology- Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part 15.4 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), 2006
- [6] 김형석, “IEEE 802.15.4 무선센서네트워크의 실시간 트래픽 처리를 위한 프레임/슬롯 할당방법”, *대한전자공학회*, 전자공학회논문지-CI, 제44권 제3호, pp.49-56, 2007년 5월.
- [7] T.Zasowski, F.Althaus, M.Stager, A.Wittneben, G.Troster, “UWB for Noninvasive Wireless Body Area Network: Channel Measurements and Results,” *IEEE Conf. Ultra Wideband Systems and Technologies*, pp.285-289, Nov. 2003.
- [8] Anis KOUBAA, Mário ALVES, Eduardo TOVAR, “GTS Allocation Analysis in IEEE 802.15.4 for Real-Time Wireless Sensor Networks,” *WPDRTS'06, special track on WSNs*, 2006.
- [9] Anis KOUBAA, Mário ALVES, Eduardo

- | | | |
|---|---|-----|
| TOVAR, "I-GAME: An Implicit GTS Allocation Mechanism in IEEE 802.15.4 for Time-Sensitive Wireless Sensor Networks," <i>ECRTS'06</i> , 2006. | 정 원 수 (Won-Soo Jung) 한국통신학회논문지 제32권 제12호 참조 | 준회원 |
| [10] JEAN-YVES LE BOUDEC, PATRICK THIRAN, "Network Calculus: A Theory of Deterministic Queuing Systems for the Internet," 2004. | 오 영 환 (Young-Hwan Oh) 한국통신학회논문지 제32권 제12호 참조 | 정회원 |