

## WBAN 기반의 GTS 채널 이용률 향상기법 제안

박주희\*, 정원수\*\*

### A Proposal for Improving Techniques of GTS Utilization Based on WBAN

Joo-Hee Park \*, Won-Soo Jung \*\*

#### 요 약

WBAN(Wireless Body Area Network) 기술은 인체 내부 및 외부에 부착한 센서 노드를 무선으로 연결하여 통신할 수 있는 근거리 무선 통신 기술로서 IEEE 802.15.6 TG BAN을 중심으로 물리 계층, 데이터 링크 계층, 네트워크 계층 및 응용 계층 등에서 표준화가 진행되고 있다. WBAN은 응용서비스의 종류에 따라 의료용과 비의료용으로 나눌 수 있다. 의료용 응용서비스의 경우 데이터 전송 특징이 주기적이고 전송률이 상이한 의료용 센서를 사용하기 때문에 데이터 전송시 QoS를 보장하기 위하여 GTS 전송방식을 사용한다. 본 논문에서는 WBAN 환경에 적합한 MAC 프로토콜을 제안하였다. 첫 번째 WBAN 기반의 슈퍼프레임 구조와 프리미티브를 제안하였다. 두 번째 WFQ(Weighted Fair Queuing)기반의 GTS 채널 이용률 향상 알고리즘을 제안하였다. 제안한 스케줄링 방식은 i-Game(라운드로빈 스케줄링 방식)과 비교하여 채널 이용률을 향상시키는 것을 알 수 있다.

▶ Keyword : 무선 신체 영역 네트워크, 가중 공정 큐잉, 시간 보장 슬롯, 서비스 품질

#### Abstract

The WBAN(Wireless Body Area Network) technology is a short distance wireless network which provides each device's interactive communication by connecting devices inside and outside of body located within 3 meters. Standardization on the physical layer, data link layer, network layer and application layer is in progress by IEEE 802.15.6 TG BAN. The WBAN services consists of both medical and non-medical applications. The medical application service uses the sensor that transfer the periodic traffic and have different data rates. It uses GTS method to guarantee QoS.

• 제1저자 : 박주희 • 교신저자 : 정원수

• 투고일 : 2011. 06. 30 , 심사일 : 2011. 07. 21 , 게재확정일 : 2011. 07. 30.

\* 삼육보건대학 의료정보시스템과(Dept. Medical Information System, Sahmyook Health University )

\*\* 계원디자인예술대학 디지털콘텐츠군(Dept. of Digital Contents Faculty, Kaywon School of Art and Design)

※ 본 논문은 2011년도 삼육보건대학 교육역량강화사업 학술연구지원사업에 의해서 연구되었음.

In this paper, a new method is proposed, which are suitable design for MAC Protocol. Firstly, MAC frame structure and a primitive based on the WBAN are proposed. Secondly, we proposed the GTS algorithm improved the channel utilization based on the WFQ(Weighted Fair Queuing). The proposed scheduling method is improved channel utilization compared with i-Game(Round Robin scheduling method).

▶ Keyword : Wireless Body Area Network, Weighted Fair Queuing, Guaranteed Time Slot, Quality of Service

## I. 서론

WBAN(Wireless Body Area Network) 기술은 3m 이내에 위치한 인체 내부 및 외부 디바이스들을 무선으로 연결하여 디바이스 간 상호 통신을 제공하는 근거리 무선통신을 의미 한다. 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 인체 내에 이식되어 활용 되는 이식형(Implant)장치와 몸에 부착되어 활용되는 착용형(Wearable)장치로 구분된다. 의료용 응용서비스의 경우 데이터 전송 주기가 짧은 주기적인 데이터를 전송하기 때문에 IEEE 802.15.4를 참조할 수 있다[1-6]. 하지만 IEEE 802.15.4는 주기적인 데이터 처리를 하기 위한 GTS(Guaranteed Time Slot) 타임 슬롯의 수가 7개로 제한되어 있으며, 다양한 데이터 전송률을 가지는 의료용 센서들을 지원하기에 적합하지 않다[7-8]. 이러한 기존 시스템의 문제점들을 해결하기 위하여 WBAN에 적합한 슈퍼프레임 구조 및 채널 이용률을 향상시키는 방법에 관한 내용을 제안하였다[9-10].

본 논문에서는 주기적인 전송 특성을 갖는 의료용 서비스를 사용할 경우 데이터 처리에 적합한 방식인 자원예약기법을 고려한 슈퍼프레임 구조를 제안하였으며, 디바이스의 상이한 전송률을 지원하고 부족한 GTS 타임 슬롯을 공유하여 GTS의 사용 효율을 높이는 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WBAN 특징과 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜, 네트워크 계산법에 대하여 알아본다. 3장에서는 자원예약 기법을 고려한 슈퍼프레임 구조와 채널 이용률을 향상시키기 위한 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안한 알고리즘에 관한 성능평가를 수행하고 결과에 따른 비교 및 고찰을 기술한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 1. 관련연구

#### 1.1 WBAN(Wireless Body Area Network)

WBAN 기술은 인체의 내부 및 외부 약 3m 이내에 부착되는 장치들을 무선 네트워크로 연결하여 기기간 상호통신을 제공하는 근거리 무선통신기술이다. 이러한 기술은 사람이 착용하는 옷이나 인체에 부착된 여러 장치들로 구성된 네트워크를 통해 사람의 몸을 중심으로 다양한 장치간의 데이터 결합이나 교환을 지원한다. WBAN 은 센서 노드의 위치에 따라 In-Body, On-Body, Out-Body로 구분할 수 있다. In-Body의 경우 인체 내에 이식되어 활용되는 이식형 장치로 구분 할 수 있으며, On-Body와 Out-Body의 경우 인체에 부착 하거나 착용 가능한 착용형 장치로 구분 할 수 있다. 이식형 장치는 혈당센서, 무선내시경, 약물전달 캡슐등이 있으며 인체의 전파 특성과 인체에 미칠 수 있는 영향을 고려해 MICS(Medical Implanted Communication Service)를 위한 402MHz ~ 405MHz 대역의 주파수를 이용하도록 규정하고 있다. 착용형 장치는 ECG, EEG, EMG, SpO2등이 있으며 ISM 주파수 대역을 통하여 데이터를 전송하게 된다.

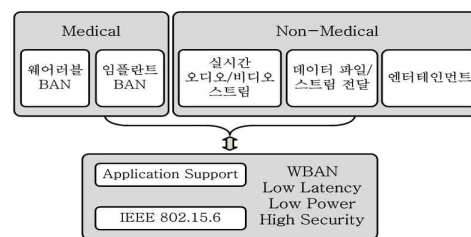


그림 1. WBAN 응용서비스 구조  
Fig. 1.The Application Service Structure of WBAN

그림 1은 WBAN 응용서비스를 나타내며 혈당이나 심전도 등의 사람의 생체신호를 측정하여 무선으로 전송하거나 인체

내 장치들을 구동시키는 의료용과 인체 주변에서 음성이나 영상 데이터를 전송하거나 엔터테인먼트를 제공하는 비의료용으로 구분할 수 있다.

표 1. WBAN 응용서비스 별 요구 사항  
Table 1. The Requirements for WBAN Application Services

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

표 1은 각 응용서비스에 적합한 QoS를 나타내며 현재 의료용으로 사용하고 있는 센서 장치의 최대 전송률과 최대 전송 지연 값을 나타낸다. 일반적으로 의료용 데이터들은 전송할 데이터의 양이 적고 전송 주기가 길다. 하지만 오디오/비디오 데이터의 경우에는 그 크기가 매우 크고 짧은 주기로 계속해서 전송되어야 한다. 또한 의료용 데이터의 경우에는 생명과 관련되는 긴급한 데이터를 우선적으로 전송해야 하는 경우가 있으므로, 이러한 데이터를 처리하기 위한 매커니즘이 반드시 필요하다.

1.2 IEEE 802.15.4 MAC

IEEE 802.15.4 LR-WPAN은 제한된 전력과 낮은 스프루트(Throughput) 요구사항을 지닌 응용과의 연결을 제공하는데 적합한 저비용 통신망이다. IEEE 802.15.4는 슈퍼프레임(Superframe) 구조를 선택적으로 사용할 수 있다. 슈퍼프레임은 저전력 소모를 위하여 정의되며, 슈퍼프레임의 형태는 PAN에 있는 코디네이터에 의해서 결정되고, 같은 크기를 갖는 16개의 슬롯으로 구성된다. 비컨 프레임은 각 슈퍼프레임의 첫 번째 슬롯에서 전송되며, 디바이스들을 동기화시키고 네트워크를 구별시키며 슈퍼프레임 구조를 알려주는데 사용된다.

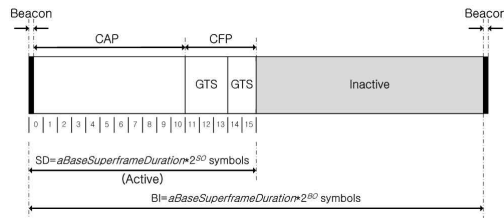


그림 2 슈퍼프레임 구조  
Fig. 2. The Superframe Structure

그림 2는 슈퍼프레임 구조를 나타내며 Slotted CSMA/CA로 동작하는 CAP(Contention Access Period)와 GTS로 동작하는 CFP(Contention Free Period)로 구성된다. 적은 지연시간을 요구하는 응용이나 특수한 대역폭을 요청하는 응용에서는, 코디네이터는 활성 슈퍼프레임의 특정부분을 이에 할당할 수 있다. 이 부분을 GTS라 하며, GTS는 CAP이후에 바로 시작한다. 슈퍼프레임의 구조는 MAC PIB 속성인 macBeaconOrder와 macSuperframeOrder의 값에 의해 정의된다. macBeaconOrder는 코디네이터가 비컨 프레임을 전송할 간격을 설명한다. macBeaconOrder의 값 BO와 비컨 구간(beacon interval) BI는 다음과 같이 관련되어 있다.

$$BI = aBaseSuperframeDuration * 2^{BO} \dots\dots\dots (1)$$

$$(0 \leq BO \leq 14)$$

macSuperframeOrder(SO)는 슈퍼프레임의 활동 구간의 길이를 나타내며, 비컨 프레임을 포함한다. SO와 슈퍼프레임 지속시간(superframe duration) SD의 관계는 다음과 같다.

$$SD = aBaseSuperframeDuration * 2^{SO} \dots\dots\dots (2)$$

$$(0 \leq SO \leq BO \leq 14)$$

각 슈퍼프레임의 활동 구간은 aNumSuperframeSlots개의 동일하게 나뉜 슬롯들로 구성되며, 슬롯 길이는 2<sup>SO</sup> \* aBaseSlotDuration이다. 활동 구간은 비컨, CAP, CFP 세 부분으로 구성된다.

1.3 네트워크 계산법을 이용한 GTS 분석

본 논문에서는 GTS를 분석하기 위하여 네트워크 계산법을 이용하였다. 네트워크 계산법을 이용하여 누적 도착 함수(Cumulative Arrival Function) R(t)로 나타나는 데이터 흐름에 대한 지연 한도(Delay Bound)의 분석은 다음과 같은 전제조건이 존재한다.

1. 도착 곡선(arrival curve) α(t)는 R(t)보다 항상 높게 존재

한다.

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

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

여기서  $\alpha(t)$ 는 다음과 같다.

$$\alpha(t) = b + r \cdot t \dots\dots\dots (3)$$

2. R(t)를 보장할 수 있는 최소 서비스 곡선(Minimum Service Curve)은  $\beta(t)$ 로 정의한다. 데이터 흐름에 대한 최대 지연(Dmax)은  $\alpha(t)$ 와  $\beta(t)$ 의 최대수평 거리를 의미한다.

$$D_{max} = \frac{b}{\lambda \cdot DC \cdot C - w_{idle}} + (BI - T_s) \dots\dots\dots (4)$$

$$\beta_{R,T}(t) = R \cdot (t - T)^+ \dots\dots\dots (5)$$

그림 3은 도착 곡선과 서비스 곡선의 지연 한도를 보여준다. 도착 곡선  $\alpha(t)$ 는 식 (3)으로 표현할 수 있으며 서비스 곡선  $\beta_{R,T}(t)$ 는 식 (5)로 표현한다. 여기서 ( $R \geq r$ )은 보장되는 대역폭이며, T는 서비스의 지연을 나타낸다.

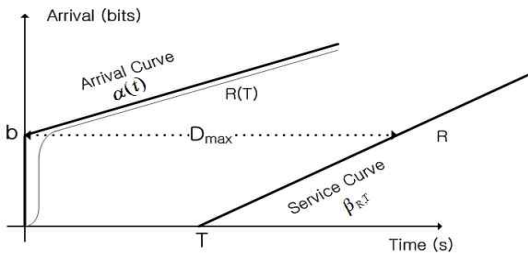


그림 3. 도착 곡선, 서비스 곡선과 지연 한도  
Fig. 3. Arrival Curve, Service Curve and Delay Bound

서비스 곡선으로부터 n개의 타임 슬롯을 할당하는 경우 근사화된 서비스 곡선을 도출할 수 있다.

$$\beta_{R_n, T_n}(t) = R_n \cdot (t - T_n)^+ \dots\dots\dots (6)$$

여기서  $R_n$ 은 보장 대역폭을 의미하고 다음과 같이 정의된다.

$$R_n = n \cdot \left( \frac{T_{data}}{BI} \cdot C \right) \dots\dots\dots (7)$$

C는 데이터 전송률로 250Kbps를 의미하고  $T_n$ 은 서비스의 지연을 의미한다.

$$T_n = BI - n \cdot T_s \dots\dots\dots (8)$$

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

$$D_{n,max} = \frac{b}{n \cdot \left( \frac{T_{data}}{BI} \cdot C \right)} + (BI - n \cdot T_s) \dots\dots\dots (9)$$

1.3 라운드 로빈 기반의 GTS 할당 방법의 채널 이용률 분석

“i-Game”의 채널 이용률(Bandwidth Utilization)을 분석하기 위해서는 CFP 구간의 채널 사용 효율을 구하여야 한다. 디바이스  $F_i = (b_i, r_i, D_i)$ 에  $k_i$ 개의 GTS 타임 슬롯을 할당하면 채널 이용률은 식 (10)과 같다.

$$U_{k_i, TS} = \frac{r_i}{R_{k_i, TS}} = \frac{r_i}{k_i \cdot R_{TS}} \dots\dots\dots (10)$$

$k_i$ 개의 GTS 타임 슬롯으로 이루어진 CFP 구간에서 N개의 디바이스가 동일하게 GTS 타임 슬롯을 할당받는 경우, CFP 구간의 평균 채널 이용률은 식 (11)과 같이 표현된다.

$$U_{k_i, TS} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N U_{k_i, TS} = \frac{1}{N \cdot R_{TS}} \sum_{i=1}^N \frac{r_i}{k_i} \dots\dots\dots (11)$$

여기서,  $R_{TS}$ 는 더 이상 나눌 수 없는 최소 대역폭이라고 가정한다. 이 때 디바이스  $i$ 는 평균 도착률  $r_i$ 를 만족할 수 있는  $k_i$ 개의 GTS 타임 슬롯을 요구 할 것이다. 이를 식으로 나타내면 다음과 같다.

$$(k_i - 1) \cdot R_{TS} < r_i \leq k_i \cdot R_{TS} \dots\dots\dots (12)$$

식 (10)과 식(12)로부터 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\frac{(k_i - 1)}{k_i} < U_{k_i, TS} \leq 1 \dots\dots\dots (13)$$

식 (13)로부터  $k_i$  개의 GTS 타임 슬롯을 할당하기 위해서 제한되는 최소 사용효율을 구할 수 있다.

$$U_{min}^k = \frac{(k-1)}{k} \dots\dots\dots (14)$$

즉, 한 개의 디바이스에  $k_i$  개의 타임 슬롯을 할당하기 위해서는 사용효율이 식 (14)이상 보장되어야 한다. 식 (14)로부터 디바이스에 할당하는 GTS 타임 슬롯의 개수가 커질수록 요구되는 최소 사용효율이 증가하기 때문에 GTS 타임 슬롯

을 공유하기 적합하지 않다. 그러므로 GTS 타임 슬롯을 공유하기 위해서는  $r_i$ 가 작을수록 유리하며, 특히  $R_{TS}$ 보다 작은 낮은 데이터 전송률을 가지는 네트워크에 적합하다.

$N$ 개의 디바이스가  $k$  개의 GTS 타임 슬롯을 공유하는 경우 사용효율은 식 (11)으로부터 구할 수 있으며, 식 (15)와 같다.

$$U_{kTS}^N = \frac{1}{k \cdot R_{TS}} \sum_{i=1}^N r_i \dots\dots\dots (15)$$

식 (15)으로부터 CFP 구간의 디바이스의 채널 이용률을 구하는 식은 다음과 같다.

$$U_{i, kTS} = \frac{r_i}{k \cdot R_{TS}} \dots\dots\dots (16)$$

### III. 본 론

WBAN은 그림 4와 같이 전체 네트워크를 관리하는 BAN 네트워크 코디네이터(BNC : BAN Network Coordinator)가 있으며, 인체 내부 디바이스의 초저전력 소비를 위해서 송신 전력을 최소화하고, 인체 외부 노드와의 경쟁을 최소화 하기 위하여 이식형 디바이스 관리를 위한 BAN 코디네이터(BC : BAN Coordinator)가 별도로 네트워크를 구성한다.

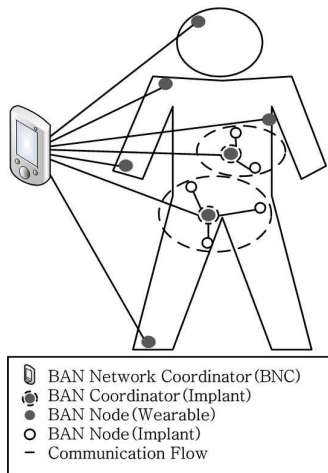


그림 4. WBAN 네트워크 토폴로지  
Fig. 4. WBAN Network Topology

BAN 노드(BN : BAN Node)는 이식형 장치와 착용형 장치로 구별되며, 착용형 장치는 BNC와 직접 통신하며, 이

식형 장치는 BC를 통해서 BNC와 통신한다. BNC는 WBAN 게이트웨이와 연결되어 BN들로부터 수집한 생체정보를 데이터베이스 서버에 저장하는 역할을 한다. 착용형 BN은 슈퍼프레임 구조를 고려하여 최대 12개 이하로 제한하며, 기본적으로 스타 토폴로지 방식으로 구성되지만 WPAN 장비와의 Mesh 네트워크를 구성할 수 있다.

#### 1. 자원예약 기법을 고려한 슈퍼프레임 구조

제한한 슈퍼프레임 구조에서 BNC는 BN이 요청한 GTS 슬롯의 개수를 판단한 후 GTS 슬롯의 개수가 7개 이하인 경우는 기존의 슈퍼프레임 구조를 사용하고 7개를 초과하는 경우 제한한 슈퍼프레임 구조를 이용하는 방식을 따른다. 이러한 경우 비주기적인 데이터 및 다른 BN이 GTS 요청 명령어를 보낼 수 있게 하기 위해서 반드시 aMinCAPLength를 보장해야만 한다.

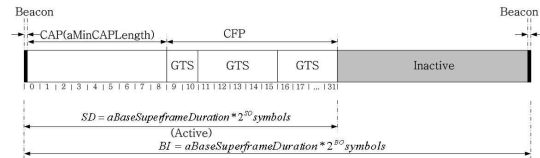


그림 5. 제한한 슈퍼프레임 구조  
Fig. 5. Proposed Superframe Structure

그림 5는 제한한 슈퍼프레임 구조를 나타내며 슈퍼프레임의 활동 구간 SD (Superframe Duration)는 aBANBaseSuperframeDuration으로 나타낸다. SD는 aBANNumberSuperframeSlots 개수와 aBaseSloteDuration \*  $2^{SO}$  기간의 곱으로 나타내며 BNC는 BN이 요청한 GTS 슬롯의 개수가 7개 이하인 경우는 aBANNumberSuperframeSlots 을 16개를 사용하여 슈퍼프레임 활동 구간을 나타내고 BN이 요청한 GTS 슬롯의 개수가 8개 이상인 경우 CAP 구간을 aMinCAPLength 크기로 제한한 후 aBANNumSuperframeSlots 을  $2^4 + 2^4$  개를 사용하여 슈퍼프레임 활동 구간을 나타낸다.

식 (17)은 제한한 슈퍼프레임 구조에서 사용하는 슈퍼프레임 활동 구간이다.

$$SD = aBANBaseSuperframeDuration \cdot 2^{SO} \dots (17)$$

$$(0 \leq SO \leq 14)$$

#### 2. 제안하는 GTS Utilization 일반식

제한한 시스템에서 WBAN을 구성하는 각 디바이스  $i$ 는  $F_i$ 로 표현할 수 있으며  $F_i$ 는 네트워크 계산법을 적용하여

$\alpha_i(t) = b_i + r_i \cdot t$  로 나타낼 수 있다.  $b_i$ 는 최대 버스트 사이즈(Burst Size),  $r_i$ 는 평균 도착률(Average Arrival Rate)을 의미한다. 또한 디바이스  $F_i$ 는 최대 지연  $D_i$ 와 디바이스에 부과되는 가중치  $w_i$  즉, 요구하는 GTS 타임 슬롯의 개수를 나타내며 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$F_i = (b_i, r_i, D_i, w_i) \dots\dots\dots (18)$$

제안하는 알고리즘은 WBAN 환경처럼 디바이스들이 상이한 평균 도착률을 가지는 경우에 적용할 수 있으며 다음의 조건을 만족해야한다.

$$(C1) \sum_{i=1}^N r_i \leq R_{kTS} \dots\dots\dots (19)$$

$$(C2) r_i \leq \frac{w_i}{w_{sum}} R_{kTS} \quad \forall 1 \leq i \leq N \dots\dots\dots (20)$$

$$(C3) D_{i,max} \leq D_i, \quad \forall 1 \leq i \leq N \dots\dots\dots (21)$$

식 (19)는 디바이스의 평균 도착률의 합은  $k$ 개의 타임 슬롯의 보장 대역폭( $R_{kTS}$ )을 초과해서는 안 되는 것을 의미하며 초과할 경우 디바이스의 QoS를 보장하지 못한다. 식 (20)은 디바이스들이 평균 도착률에 따라 가중치를 다르게 부여받기 때문에 각각의 디바이스가 가지는 평균 도착률은 디바이스가 보장받는 대역폭보다 작아야 함을 의미한다. 평균 도착률이 큰 경우에는 실시간 서비스를 제공할 수 없다. 여기서  $w_{sum}$ 은 디바이스의 가중치의 합을 의미한다. 식 (21)은 각 디바이스가 요구하는 최대지연보다 지연이 길지 않아야 함을 의미한다.

제안한 알고리즘을 사용하는 네트워크는 GTS 타임 슬롯의 수를 여러 디바이스가 공유하여 사용하기 때문에 채널 이용률(Bandwidth Utilization)을 분석하기 위해서는 CFP 구간의 채널 사용 효율을 구하여야 한다. 다음과 같은 요구조건  $F_i = (b_i, r_i, D_i, w_i)$ 을 가지는 디바이스에  $k_i$ 개의 GTS 타임 슬롯을 할당하면 채널 이용률은 식 (22)와 같다.

$$U'_{k_iTS} = \frac{1}{R_{k_iTS}} \cdot r_i = \frac{r_i}{w_{sum} \cdot k_i \cdot R_{TS}} \dots\dots\dots (22)$$

$k$ 개의 GTS 타임 슬롯으로 이루어진 CFP 구간 전체에서

$N$ 개의 디바이스가  $k_i$ 개의 GTS 타임 슬롯을 할당받는 경우, CFP 구간의 평균 채널 이용률은 식 (23)과 같이 표현된다.

$$U'_{CFP} = U'_{kTS} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N U_{k_iTS} \dots\dots\dots (23)$$

$$= \frac{1}{N} \cdot \frac{r_i}{w_{sum} \cdot k_i \cdot R_{TS}}$$

위의 식 (23)으로부터  $k$ 개의 타임 슬롯을  $N$ 개의 디바이스가 공유하는 경우의 채널 이용률을 구할 수 있으며, 식 (24)와 같다.

$$U'_{kTS} = \frac{1}{w_{sum} \cdot k \cdot R_{TS}} \cdot \sum_{i=1}^N r_i \dots\dots\dots (24)$$

GTS의 사용효율은 GTS 타임 슬롯을 여러 디바이스가 공유하여 사용하면 증가한다. 하지만 채널의 이용률이 증가하면 동일한 GTS 타임 슬롯을 여러 디바이스가 함께 사용하므로 지연은 증가한다. 식 (24)로부터 제안하는 알고리즘의 GTS 타임 슬롯 이용률을 구할 수 있다. 제안하는 방식에서 CFP 구간의 디바이스의 채널 이용률을 구하는 식은 다음과 같다.

$$U'_{i, kTS} = \frac{r_i}{w_{sum} \cdot k \cdot R_{TS}} \dots\dots\dots (25)$$

### IV. 성능 평가

본 장에서는 실시간 트래픽 전송 요구 사항을 지닌 네트워크에서 제안한 슈퍼프레임을 사용하여 데이터를 전송할 경우 발생하는 GTS 프레임의 성능 평가 결과를 보여 준다.

표 2는 디바이스 A, B, C의 평균 도착률과 가중치를 나타내며, 성능평가를 위해 총 23개의 디바이스를 A, B, C 그룹으로 나누어 가중치를 적용하였다. 평균 도착률이 높을수록 높은 가중치를 설정하였으며 가중치는 디바이스에 할당하는 GTS 타임 슬롯의 개수와 비와 비례한다.

표 2 디바이스의 평균 도착률 및 가중치  
Table 2 Average Arrival Rates and Weight of Devices

디바이스	평균 도착률 $r_i$ (kbits/sec)	가중치 $w_i$
A	5	3
B	3	2
C	1	1

#### 1. 전체 대역폭을 고려하여 데이터를 전송하는

**경우**

GTS 구간에서 연속적인 버스트(Burst) 데이터를 전송하는 경우 GTS 타임 슬롯에서 보장하는 전체 대역폭을 사용하기 위해서는 버스트 크기( $b$ )가 GTS 구간보다 큰 경우이다.

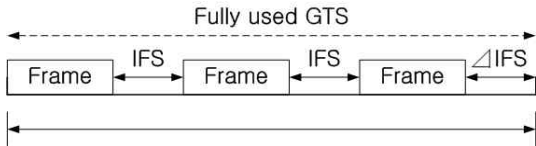


그림 6. GTS 구간 전체를 사용하여 데이터를 전송하는 경우  
Fig. 6. A Case of Send Data Used All of The GTS Time Slots

그림 6은 전체 대역폭을 사용하여 데이터를 전송하는 것을 나타낸 것으로 GTS 타임 슬롯에서 데이터를 전송할 수 있는 최대 전송시간은 식 (26)으로 나타낼 수 있다.

$$T_{data}^{full} = \max(T_{data}^{LIFS}, T_{data}^{SIFS})$$

$$= \max\left(\frac{T_s - (N_{LIFS} - 1) \cdot LIFS - \Delta(IFS)}{T_s - N_{SIFS} \cdot SIFS}, \dots\right) \quad (26)$$

여기서  $N_{LIFS}$ 는 전송하는 데이터 프레임 크기를  $aMaxPHYPacketSize$ 로 사용할 경우 GTS 구간에서 데이터의 개수를 나타내며,  $N_{SIFS}$ 는 전송하는 데이터 프레임의 크기가  $aMaxSIFSFrameSize$ 보다 작은 경우 GTS 구간에서 데이터의 개수를 나타낸다.  $\Delta(IFS)$ 는 데이터 프레임의 크기를  $aMaxPHYPacketSize$ 로 사용하는 경우 마지막 데이터의 크기가  $aMaxSIFSFrameSize$ 보다 작은 경우 IFS를 SIFS로 그렇지 않은 경우 IFS를 LIFS로 사용한다. 한 개의 GTS 타임 슬롯에서 전송할 수 있는 최대 대역폭은 식 (27)으로 나타낼 수 있다.

$$Th_{max}^{full} = T_{data}^{full} \cdot \frac{C}{BI} \quad (27)$$

여기서  $Th_{max}^{full}$ 는 GTS 할당을 위한 보장 대역폭  $R$ 을 의미한다.

**2. 제안한 슈퍼프레임 성능 평가 결과**

WBAN 환경에서 센서 노드가 데이터를 전송하기 위해서는 의료용 응용프로그램에서 요구하는 지연시간(Latency)을 만족해야 한다. 의료용 센서 노드의 경우 환자의 생명을 우선

시하기 때문에 다른 일반 센서 노드보다 지연시간이 길다. 표 2-1에서 의료용 센서노드는 일반적으로 250ms의 지연시간을 갖기 때문에 GTS 구간에서 데이터 전송 시  $D_{max}$  값이 250ms를 초과 하면 안된다. 한 개의 GTS 타임 슬롯을 할당한 경우 보장 대역폭은 그림 7과 같다. 이 경우  $aBANNumSuperframeSlots$ 을  $2^4 + 2^n$  으로 설정하였으며  $n$  값을 1에서 5까지 1 씩 증가하면서 대역폭을 측정하였다.

그림 7은 듀티 사이클(Duty Cycle)을 100% 설정하고 SO와 BO를 0에서 14까지 증가하여 보장 대역폭 값을 계산하였으며, BNC는 BN이 요청한 GTS 타임 슬롯의 개수를 고려하여 GTS 타임 슬롯의 개수가 7개를 초과 하는 경우  $n$  값을 1에서 5까지 증가하였다.

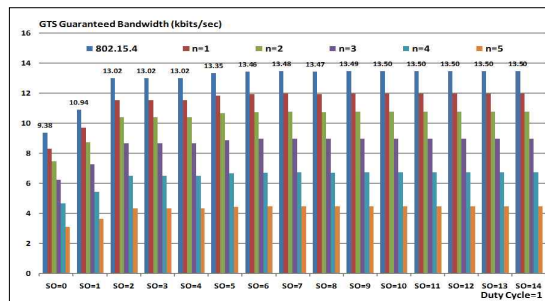


그림 7. 한 개의 GTS 타임 슬롯을 사용할 경우 보장 대역폭  
Fig. 7. The Guaranteed Bandwidth per One Used GTS Time Slot

그림 7에서 보장 대역폭을 관찰한 결과 IEEE 802.15.4 표준을 사용할 경우 13.5Kbps 이상의 대역폭을 보장하지 않는다. 그림 7은 듀티 사이클(Duty Cycle)을 100% 설정하고 SO와 BO를 0에서 14까지 증가하여 보장 대역폭 값을 계산하였으며, BNC는 BN이 요청한 GTS 타임 슬롯의 개수를 고려하여 GTS 타임 슬롯의 개수가 7개를 초과 하는 경우  $n$  값을 1에서 5까지 증가하였다. 보장 대역폭을 관찰한 결과 IEEE 802.15.4 표준을 사용할 경우 13.5Kbps 이상의 대역폭을 보장하지 않는다. SO=0, SO=1에서 낮은 대역폭을 나타내는 이유는 슬롯의 주기 값이 작기 때문에 전송하는 데이터양이 증가 할수록 IFS가 더욱 빈번하게 나타내기 때문이다. 그림 7을 관찰한 결과  $n$  값이 증가 할수록 한 개의 GTS 타임 슬롯에 할당되는 보장 대역폭은 감소한다. 하지만 제안한 슈퍼프레임 구조에서 BNC는 BN이 요청한 GTS 타임 슬롯의 개수를 파악한 후  $aBANNumSuperframeSlots$ 의 개수를 증

가하기 때문에 GTS 타임 슬롯 전체를 고려할 경우 전체 보장 대역폭은 증가 한다.

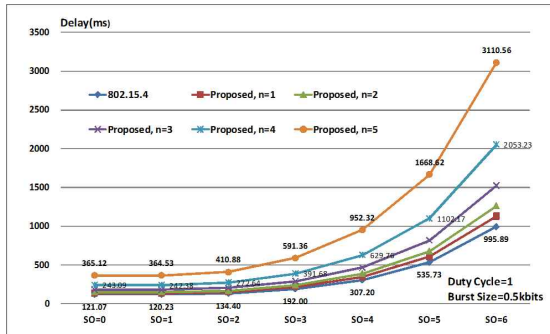


그림 8. GTS 타임 슬롯 할당 시 발생하는 전송 지연  
Fig. 8. The Delay Bound for Allocated GTS Time Slots

그림 8은 GTS 타임 슬롯 할당 시 발생하는 전송지연을 나타낸다. 여기서 듀티 사이클은 100%로 버스트 크기는 0.5Kbit로 설정하였다. GTS 타임 슬롯을 할당 할 경우 발생하는 전송 지연값을 관찰한 결과 제안한 슈퍼프레임 구조에서  $n$  값을 5 이상으로 적용할 경우 전송 지연 값이 250ms 이상으로 발생한다. 제안한 슈퍼프레임 구조를 사용할 경우  $n$  값이 증가 할수록  $aBANumSuperframeSlots$ 의 개수가 증가하여 디바이스에 할당할 수 있는 GTS 타임 슬롯의 개수가 증가한다. 하지만 이 경우 전송 지연도 동시에 증가하기 때문에 제안한 슈퍼프레임 구조에서  $aBANumSuperframeSlots$ 의 개수를 계산할 경우  $n$  값을 4이하로 제한한다.

### 3. 제안한 알고리즘의 채널 이용률 성능 평가 결과

제안한 알고리즘의 성능 평가를 위해 채널 이용률 (Bandwidth Utilization)을 성능 평가 하였다. 채널의 이용률을 구하기 위해서 식 (25)를 사용하였으며 기존 연구와 비교하기 위해서 라운드 로빈 기반의 스케줄링 알고리즘이 적용된 i-Game과 결과를 비교 하였다. 수치해석 환경은 버스트 사이즈는 0.5Kbits, 듀티 사이클 100%, 한 개의 GTS 타임 슬롯의 보장 대역폭은 4.69Kbps로 동일하게 적용하였다. 그림 9는 비교한 채널 이용률을 나타낸다.

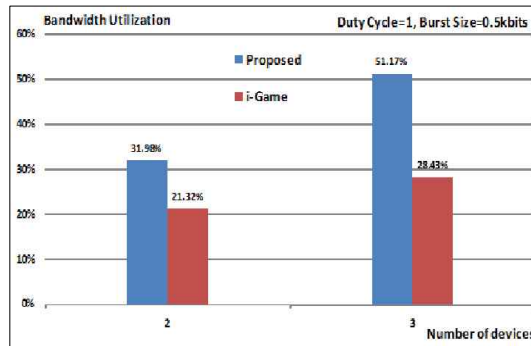


그림 9. 채널 이용률  
Fig. 9. The Bandwidth Utilization

그림 9는 동일한 개수의 BN을 사용하여 데이터 전송시 발생하는 채널 이용률을 제안한 알고리즘과 i-Game 알고리즘을 비교한 결과이다. BN 노드들이 BNC에 요구한 GTS 타임 슬롯의 개수가 동일한 경우 제안한 채널 이용률을 구하는 방식이 공유 슬롯의 개수를 적게 사용하기 때문에 채널 이용률이 향상된다.

## V. 결론

본 논문에서는 WBAN 환경에 적합한 자원예약 기법을 고려한 슈퍼프레임 구조와 WBAN 환경에서 채널 이용률을 향상시키는 방법을 제안하였다.

BNC는 WBAN 네트워크를 구성하는 디바이스의 데이터 전송률을 고려하여 디바이스가 할당 받을 수 있는 GTS 타임 슬롯의 개수를 다르게 할당 하였으며, WFQ 기반의 GTS 타임 슬롯 할당 알고리즘을 사용할 경우 제안한 알고리즘의 채널 이용률을 향상시키기 위한 방식을 제안하였다. 제안한 식은 GTS에서 오버헤드와 같이 낭비되는 대역은 제외하고 실제 전송에 사용되는 데이터의 양을 측정하므로 기존에 식에 비해 정확한 채널 이용률을 측정할 수 있다. 기존 방식은 채널 이용률을 계산할 경우 보장 대역폭과 디바이스의 데이터 전송률만 고려하기 때문에 전송주기가 길어질수록 채널 이용률이 감소한다. 하지만 제안한 방식의 경우 전송 주기를 고려한 스케줄링 방법을 사용하기 때문에 기존 방식에 비교하여 디바이스가 요구하는 GTS 타임 슬롯의 개수가 증가할수록 기존 방식과 비교하여 채널 이용률이 향상됨을 알 수 있다. 하지만 GTS 타임 슬롯을 공유하는 방법은 한 슈퍼프레임에서 디바이스들의 트랜잭션이 마무리 되지 않기 때문에 시스템의 복잡도가 증가한다는 단점이 있다.



향후 연구 과제로는 GTS 전체를 공유하는 것이 아니라 요청된 GTS 타임 슬롯 개수에 근거하여 효율적으로 공유 슬롯의 개수를 구하는 알고리즘에 대한 연구와 현실을 고려한 SO 값의 설정, CAP 구간의 QoS보장 방안 등이 이루어져야 할 것이다.

## 참고문헌

- [1] Sunghyub Lee, Yangmoon Yoon, Dohyun Kim, "International standardization trends of WBAN in IEEE 802.15.6", Information and Communications Magazine, Vol. 25, No. 2, Feb, 2008.
- [2] Sang-Jin Lee, Won-Soo Jung, Young-Hwan Oh, "A proposal for Improving Techniques of GTS Utilization on Quality of Service based on IEEE 802.15.4", The Journal of Korea Information and Communications Society, Vol. 35, No. 6, pp.163~169, June, 2010.
- [3] Weeyeon Kim, Dae-Young Kim, Sangbae Shin, Jinsung Cho "Environment Adaptive WBAN Routing based on Residual energy", The Korea Society of Computer and Information, Vol. 16, No. 1, pp.89-99, Janu. 2011.
- [4] Bin Zhen, Huan-Bang Li, and Ryuji Kohno, "IEEE Body Area Networks and Medical Implant Communications," BodyNets2008, pp.24~35, 2008.
- [5] Dae-Young Kim, Jinsung Cho, "WBAN meets WBAN: Smart Mobile Space over Wireless Body Area Networks," BTC 2009-Fall, IEEE 70th, pp.1~5, Sep, 2009
- [6] 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
- [7] H. B. Li, K. Takizawa, B. Zhen, and R. Kohno, "Body Area Network and Its Standardization at IEEE 802.15.MBAN," 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, 2007.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] Anis KOUBAA, Mário ALVES, Eduardo TOVAR, "T-GAME: An Implicit GTS Allocation Mechanism in IEEE 802.15.4 for Time-Sensitive Wireless Sensor Networks," ECRTS'06, 2006.

## 저자소개



### 박주희

1997 : 관동대학교 전자공학과 공학사.  
2000 : 광운대학교 전자통신공학과 공학석사.  
2006 : 광운대학교 전자통신공학과 공학박사  
현재 : 삼육보건대학 의료정보시스템과 부교수

관심분야 : 의료정보학, u-Health  
Email : medisprof@shu.ac.kr

### 정원수

2003 : 대전대학교 전자통신공학과 공학사.  
2005 : 광운대학교 전자통신공학과 공학석사.  
2010 : 광운대학교 전자통신공학과 공학박사

현재 : 계원디자인예술대학 디지털콘텐츠연구팀 겸임교수  
관심분야 : 통신망, 임베디드소프트웨어

Email : sootari77@dreamwiz.com

