

WBAN 환경에서 Weighted Fair Queuing 기반의 GTS 타임 슬롯 할당 알고리즘

김 경 목 *, 정 원 수 **

Algorithm of GTS Time Slots Allocation Based on Weighted Fair Queuing in Environments of WBAN

Kyoung-Mok Kim*, Won-Soo Jung**

요 약

WBAN은 사람이 착용하는 옷이나 인체 내부 혹은 외부에 있는 여러 장치들을 상호 연결하여 통신할 수 있는 근거리 무선통신 기술이다. WBAN은 기술 적용 분야에 따라 의료용과 비의료용으로 구분할 수 있으며, 주기적인 특성을 가진 의료용 데이터의 경우 GTS 방식을 사용해서 데이터를 전송하여 QoS를 보장한다. 본 논문에서는 WBAN 슈퍼프레임 구조에서 GTS 방식으로 데이터를 전송시 부족한 GTS 타임 슬롯을 해결하는 알고리즘을 제안한다. 코디네이터는 디바이스의 데이터 전송률에 따라 GTS 타임 슬롯을 가변적으로 할당하며, GTS의 개수가 부족하면 GTS 타임 슬롯을 공유하여 사용하도록 할당한다. 제안한 기법의 성능평가를 위해 지연한도와 처리량을 비교하였다. 즉, WBAN 환경에 적합한 WFQ(Weighted Fair Queuing) 스케줄링을 적용하여 상이한 데이터 전송률을 지원하면서 GTS를 할당하는 방법을 제안하였고, 라운드로빈(Round Robin) 스케줄링 방법과 비교하여 처리량은 증가하면서 최대 지연이 감소함을 알 수 있다.

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

Abstract

WBAN is short range wireless communication technology which is consists of several small devices close to, attached to or implanted into the human body. WBAN is classified into between

• 제1저자 : 김경목 • 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.

medical and non-medical by applications based on technology and medical data with periodic characteristics is used the GTS method for transmitting data to guarantee the QoS. In this paper we proposed algorithm that resolve lack of GTSs while data transmit GTS method in superframe structure of WBAN. Coordinator dynamically allocates GTSs according to the data rate of devices and make devices share GTSs when lack of GTSs. We compared delay bounds, throughput for performance evaluation of the proposed algorithm. In other words, we proposed algorithm adaptive WFQ scheduling that GTS allocation support differential data rate in environments of WBAN. The experiment results show the throughput increased and the maximum delay decreased compared with Round Robin scheduling.

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

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 제공하는 근거리 무선통신을 의미 한다. 이러한 기술은 사람이 착용하는 옷이나 인체에 부착된 여러 장치들로 구성된 네트워크를 통해 사람의 몸을 중심으로 다양한 디바이스간 데이터 결합이나 교환을 지원한다.

WBAN 응용서비스는 의료용(Medical)과 비의료용(Non-Medical)으로 구분할 수 있다. 의료용 WBAN의 경우 몸에 부착되어 활용되는 착용형(Wearable)장치와 인체 내에 이식되어 활용 되는 이식형(Implant)장치로 구분된다[1-4].

의료용 데이터의 경우 디바이스와 코디네이터 사이에서 송수신되는 트래픽의 종류에 따라 비주기적 트래픽과 주기적 트래픽으로 분류할 수 있다. 비주기적 트래픽은 경쟁기반 액세스 방법인 Slotted CAMA/CA 방식을 사용하여 데이터를 전송한다. 주기적 트래픽은 실시간 데이터 전송 특징을 나타내기 때문에 비경쟁기반 액세스 방법인 GTS (Guaranteed Time Slot) 방식을 사용하여 데이터를 전송한다[5-6]. 디바이스가 데이터 전송시 GTS 방식을 사용할 경우 충돌 없이 대역폭을 보장 받을 수 있다. WBAN 슈퍼프레임 구조에서는 GTS 타임 슬롯을 최대 23개 할당할 수 있다. 하지만 WBAN 네트워크를 구성하는 디바이스는 주기적 트래픽 전송을 주로 하기 때문에 부족한 상황이 발생한다. IEEE 802.15.4에서는 GTS 타임 슬롯 부족 현상을 해결하기 위해서 라운드로빈(Round Robin) 방법의 GTS 타임 슬롯 할당

방법을 사용한다. 라운드 로빈 방법은 부족한 GTS 타임 슬롯을 공유해서 사용함으로써 타임 슬롯 부족 현상을 해결한다. 하지만 WBAN에서 기존의 WSN과는 다르게 데이터 전송은 응용 서비스의 종류에 따라 상이한 데이터 전송률을 갖는다. WBAN에 라운드로빈 방법을 적용할 경우 높은 데이터 전송률을 갖는 디바이스와 낮은 데이터 전송률을 갖는 디바이스가 동일한 GTS 타임 슬롯을 할당받기 때문에 WBAN 환경에는 적합하지 않다[7-10].

본 논문에서는 WBAN 슈퍼프레임 구조에서 GTS를 할당할 때, 디바이스의 데이터 전송률에 근거하여 GTS 타임 슬롯을 할당하고, 타임 슬롯을 공유하여 사용하는 WFQ 기반의 GTS 타임 슬롯 할당 알고리즘을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WBAN 특징과 WBAN MAC Protocol 네트워크 계산법, WFQ(Weighted Fair Queuing)에 대하여 알아본다. 3장에서는 WBAN 환경에서 WFQ 기반의 GTS 타임 슬롯 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안한 알고리즘에 관한 성능평가를 수행하고 결과에 따른 비교 및 고찰을 기술한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

1. 관련 연구

1.1 WBAN (Wireless Body Area Network)

WBAN은 사람을 중심으로 하나의 WBAN 코디네이터와 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.

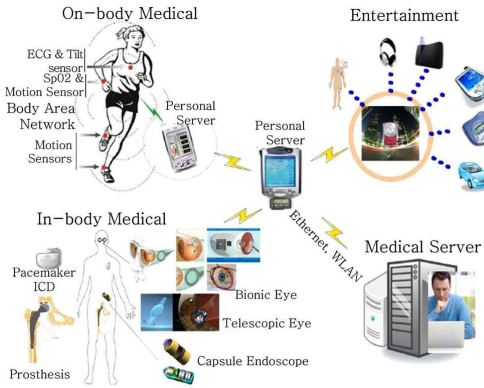


그림 1. WBAN 개념도
Fig. 1. The Concept of WBAN

그림 1은 WBAN 개념도를 나타내며 인체로부터 수집한 센싱 정보를 개인 단말 장치를 통해서 의료용 또는 비의료용으로 모니터링 하는 모습을 나타낸다. 의료용 서비스의 경우 체내 이식형과 체외 착용형으로 구분되며, 비의료용 서비스는 음성이나 영상스트림 전달, 데이터 스트림 전달, 게임들 엔터테인먼트 서비스를 제공한다. 표 1은 WBAN 응용서비스별 요구 사항을 나타내고 있다.

표 1은 현재 의료용으로 사용하고 있는 센서 장치의 최대 전송률과 최대 전송 지연 값을 나타낸다. WBAN은 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 참조할 수 있다. 본 논문에서는 “WBAN 환경에서 서비스 품질 보장을 위한 MAC 프로토콜 향상 기법”을 참조한다.

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 ⁻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

1.2 WBAN MAC Protocol

IEEE 802.15.4는 슈퍼프레임 구조를 선택적으로 사용할 수 있는데, 슈퍼 프레임의 형태는 PAN에 있는 코디네이터에 의해서 결정되고, 같은 크기를 갖는 16개의 슬롯으로 구성된다.

WBAN 슈퍼프레임 구조에서 코디네이터는 디바이스가 요청한 GTS 슬롯의 개수를 판단한 후 GTS 슬롯의 개수가 7개 이하인 경우는 IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조를 사용하고 7개를 초과하는 경우 WBAN 슈퍼프레임 구조를 이용한다. 이러한 경우 비주기적인 트래픽 및 다른 디바이스가 GTS 요청 명령어를 보낼 수 있게 하기 위해서 반드시 aMinCAPLength를 보장해야만 한다. 제안한 슈퍼프레임 구조는 그림 2와 같다.

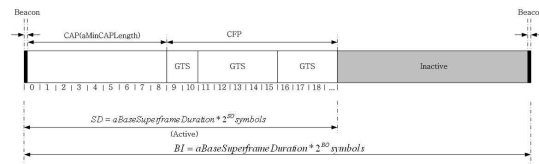


그림 2. WBAN 슈퍼프레임 구조
Fig. 2. The Superframe Structure

그림 2는 제안한 슈퍼프레임 구조를 나타내며, 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.

$$BI = aBaseSuperframeDuration * 2^{BO} = aBaseSlotDuration * aNumSuperframeSlot * 2^{BO}$$

여기서

$$aNumSuperframeSlots = 2^4 + 2^n \quad (1 \leq n \leq 4) \dots\dots\dots (1)$$

라고 하면

$$BI = (2^4 + 2^n) * 60 * 2^{BO} [symbols] \quad (0 \leq BO \leq 14) \dots\dots\dots (2)$$

슈퍼프레임의 활동 구간은 SD(Superframe Duration)로 나타낸다. SD는 aNumSuperframeSlots의 개수와 aBaseSlotDuration * 2^{SO} 기간의 곱으로 나타내며 디바이스가 요청한 GTS 슬롯의 개수가 7개 이하인 경우는 aNumSuperframeSlots을 16개를 사용하여 슈퍼프레임 활동 구간을 나타내고 디바이스가 요청한 GTS 슬롯의 개수가 8개 이상인 경우에는 aNumSuperframeSlots을 2⁴ + 2ⁿ (1 ≤ n ≤ 4)개를 사용하여 슈퍼프레임 활동 구간을 나타낸다. 식 (3)은 WBAN 슈퍼프레임 구조에서 사용하는 슈퍼프레임 활동 구간이다.

$$SD = aBaseSuperframeDuration * 2^{SO} = aNumSuperframeSlots * aBaseSlotDuration * 2^{SO}$$

$$SD = (2^4 + 2^n) * 60 * 2^{SO} [symbols] \quad (0 \leq SO \leq 14) \dots\dots\dots (3)$$

각 슈퍼프레임의 활동 구간은 aNumSuperframeSlots개의 동일하게 나뉜 슬롯들로 구성되며, 슬롯 길이는 2^{SO} * aBaseSlotDuration이다. 활동 구간은 비컨, CAP, CFP 세 부분으로 구성된다.

1.3 네트워크 계산법을 이용한 GTS 분석

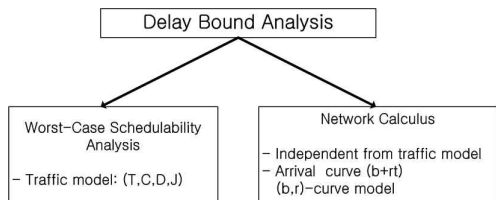


그림 3. 지연 한도의 해석
Fig. 3. Delay Bound Analysis

그림 3은 지연 한도를 석하기 위한 방법으로는 Worst-Case Schedulability Analysis와 Network Calculus 방식이 있다. 본 논문에서는 지연 한도를 분석하기 위하여 네트워크 계산법을 이용하였다.

WBAN 슈퍼프레임 구조에서 도착 곡선과 서비스 곡선 β_{R,T}는 다음과 같다.

$$\alpha(t) = b + r \cdot t \dots\dots\dots (4)$$

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

여기서 R은 WBAN 슈퍼프레임 구조에서 하나의 GTS 슬롯에 보장되는 대역폭을 의미하고 T는 최대 서비스 지연 값을 의미한다.

$$R = \frac{2^{IO} C}{2^4 + 2^n} - \frac{T_{idle}}{BI} \quad C = \lambda' \cdot DC \cdot C - w_{idle}, \dots\dots\dots (6)$$

WBAN 슈퍼프레임 구조에서 하나의 GTS 슬롯 할당 시 발생하는 최대 지연 값을 구하기 위한 식 (7)은 다음과 같다.

$$D_{max} \equiv \frac{b}{\lambda' \cdot DC \cdot C - w_{idle}} + (BI - T_s) \dots\dots\dots (7)$$

k 개의 GTS 슬롯에 보장되는 대역폭은 R_k로, 서비스 최대 지연값은 T_k로 나타낼 수 있다. k 개의 GTS 슬롯 할당 시 발생하는 지연의 최대 지연은 D_{k,max}로 나타낼 수 있다.

$$D'_{k,max} = \frac{b}{k(\lambda' \cdot DC \cdot C - w_{idle})} + (BI - k \cdot T'_s) \dots\dots\dots (8)$$

WBAN 슈퍼프레임 구조를 사용하는 센서 네트워크에서 CFP 구간 전체 Utilization은 U_{CFP}로 나타낼 수 있다.

$$U_{CFP} = \frac{1}{N \cdot R_{TS}} \sum_{i=1}^N \frac{r_i}{k_i} \dots\dots\dots (9)$$

여기서 R_{TS}는 제안한 슈퍼프레임 구조에서 하나의 GTS 슬롯에 보장되는 대역폭을 의미하고, N은 GTS를 할당받는 디바이스의 수이며, k_i는 디바이스에 할당하는 GTS 슬롯의 수를 의미한다.

1.4 WFQ(Weighted Fair Queuing)

링크의 출력 버퍼에서 전송되기 위해 다양한 네트워크 흐름들에 속하는 패킷들이 다중화되어 큐로 들어간다. 링크로 전송하기 위해 큐에 있는 패킷을 선택하는 방식을 링크 스케줄링 원칙이라고 하고 이 링크 스케줄링 규칙이 QoS 보장을 제공하는데 있어서 중요한 역할을 한다. 스케줄링 규칙들 중 WFQ(Weighted Fair Queuing)는 라운드로빈(round

robin) 큐잉 규칙을 근간으로 한다.

라운드로빈 큐잉 규칙에서는 패킷들이 클래스들로 분류되거나 클래스들 간에는 엄격한 서비스 우선순위가 존재하지 않으며, 라운드로빈 스케줄러가 클래스들에게 차례대로 서비스를 제공한다. 이러한 라운드로빈 큐잉을 일반화된 개념으로 상위 클래스들의 QoS 보장하기 위한 방법을 WFQ 규칙이라하며 그 구조는 그림 4와 같다.

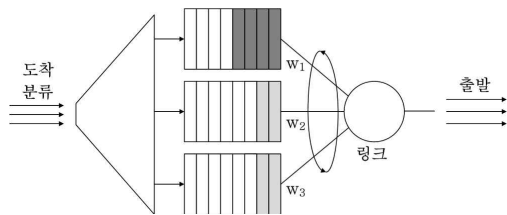


그림 4. WFQ(Weighted Fair Queuing)
Fig. 4. WFQ(Weighted Fair Queuing)

그림 4는 WFQ 스케줄링 방식을 나타내며, WFQ 스케줄러는 라운드로빈 스케줄링처럼 순환방식으로 클래스들을 서비스 하지만 각 클래스 마다 다른 양의 서비스 시간을 부여받는다. 각 클래스 i 는 가중치 w_i 를 할당받아 w_i/w_{sum} 의 서비스 시간을 보장받는다. 여기서 w_{sum} 은 큐에 패킷이 있는 모든 클래스에 대한 가중치의 합을 의미한다.

III. 본 론

IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조에서는 데이터 전송시 QoS 보장을 위해서 CFP 구간을 이용하는 GTS 방식을 사용한다. WBAN의 경우 주기적 데이터 전송 특성을 갖는 데이터는 실시간 전송 특성을 보장하기 위해서 GTS 슬롯을 사용해서 데이터를 전송하게 된다. WBAN 슈퍼프레임 구조는 디바이스가 코디네이터로부터 GTS 슬롯을 할당 받은 후 다음 비컨 주기에서 데이터를 전송 할 수 있다. 하지만 GTS의 수가 최대 23개로 제한되어 있다. 그 이상의 GTS가 요청되면 한정된 GTS 타임 슬롯을 이용하여 QoS를 보장하기 위한 방법으로 스케줄링을 적용하여 GTS를 공유하는 방법이 제안되었다. 기존의 WSN에서는 네트워크를 구성하는 디바이스가 유사한 데이터 전송률을 가지기 때문에 FIFO(First-in First-out) 방법, 우선순위 큐잉(Priority Queueing), 라운드로빈 큐잉(Round Robin Queueing) 방법이 주로 사용하여 부족한 GTS 타임 슬롯의 문제를 해결하였다. FIFO 스케줄링 방법으로는 모든 디바이스의 QoS를 보장할 수 없

며, 라운드로빈 방법은 디바이스가 유사한 데이터 전송률을 가지는 경우에 사용할 수 있다. WBAN 환경에서는 디바이스가 상이한 데이터 전송률을 가지기 때문에 라운드로빈 방법은 적당하지 않다. 상이한 데이터 전송률을 지원하면서 GTS 타임 슬롯을 공유하기 위해서는 WFQ 스케줄링 방법이 적당하다. 이러한 요구사항을 고려하여 다양한 평균 도착률을 가지는 디바이스의 QoS를 지원하고 서비스 지연은 감소하며 GTS 타임 슬롯을 재사용하여 슬롯 부족을 해결하고 데이터 처리량을 개선하는 WFQ 기반의 GTS 타임 슬롯 할당 알고리즘을 제안하였다.

1. GTS 요청 명령어 포맷 및 가정사항

WBAN 슈퍼프레임 구조에서 디바이스가 코디네이터에게 GTS 슬롯을 요청할 때 슬롯의 개수는 디바이스의 데이터 전송률에 의거하여 판단한다. 제안하는 시스템에서 데이터 전송률에 대한 GTS 개수를 판단하기 위해서는 그림 5와 같이 GTS 요청 명령어 포맷을 새롭게 정의하였다.

Bits: 0-3	4	5	6-7
GTS Length	GTS Direction	Characteristics Type	Target Data Rate Type

그림 5. 제안하는 GTS 요청 명령어 포맷
Fig. 5. Proposed GTS Characteristics Field

그림 5는 제안하는 GTS 요청 명령어 포맷을 나타내며 센서노드의 최대 전송률에 따라 코디네이터에 요청하는 GTS 타임 슬롯의 개수를 가변적으로 할당하며, Target Data Rate Type 서브 필드에 추가한 내용은 표 2와 같다.

표 2. Target Data Rate Type 서브 필드의 유효 값
Table 2. The Effective Value of Target Data Rate Type

b1b2	설 명	요청하는 GTS 타임 슬롯 개수
00	IEEE 802.15.4 호환 - WFQ 사용 안함	최대 7개
01	Target data rate : 1~16 kbps, 응급메시지	1개
10	Target data rate : 17~128 kbps	2개
11	Target data rate : 129~250 kbps	3개

표 2는 디바이스가 요구하는 데이터 전송률에 따라 요청하는 GTS 타임 슬롯의 수를 표 2와 같이 가변적으로 정의하였으며, 값이 00을 가지는 경우는 IEEE 802.15.4와 호환을 위해 정의하였다. 디바이스 F_i 는 도착 곡선 $\alpha_i(t) = b_i + r_i \cdot t$

로 나타낼 수 있으며 $F_i = (b_i, r_i, D_i, w_i)$ 와 같은 요구사항을 지닌다. 여기서 b_i 는 최대 버스트 사이즈, r_i 는 디바이스 F_i 의 평균 도착률, D_i 는 F_i 가 요구하는 최대 지연, w_i 는 디바이스에 부과되는 가중치, 즉 할당하는 GTS 타임 슬롯의 개수를 의미한다.

제안하는 WFQ 스케줄링 GTS 할당 방법은 WBAN 환경 처럼 디바이스들이 상이한 평균 도착률을 가지는 경우에 적용할 수 있으며 다음의 조건을 만족해야한다.

$$\sum_{i=1}^N r_i \leq R_{kTS} \dots\dots\dots (10)$$

$$r_i \leq \frac{w_i}{w_{sum}} R_{kTS} \quad \forall 1 \leq i \leq N \dots\dots\dots (11)$$

$$D_{i,max} \leq D_i, \quad \forall 1 \leq i \leq N \dots\dots\dots (12)$$

식 (10)은 디바이스의 평균 도착률의 합은 k 개의 타임 슬롯의 보장 대역폭을 초과해서는 안됨을 의미하며 초과할 경우 디바이스의 QoS를 보장하지 못한다. 식 (11)은 디바이스들이 평균 도착률에 따라 가중치를 다르게 부여받기 때문에 디바이스 별 평균 도착률은 각 디바이스가 보장받는 대역폭보다 작아야 함을 의미한다. 평균 도착률이 큰 경우에는 실시간 서비스를 제공할 수 없다. 여기서 w_{sum} 은 디바이스의 가중치의 합을 의미한다. 즉, 디바이스들이 요청하는 GTS 타임 슬롯의 합을 말한다. 식 (12)는 각 디바이스가 요구하는 최대 지연보다 지연이 길지 않아야 함을 의미한다.

제안하는 GTS 할당 알고리즘에서 코디네이터는 디바이스의 데이터 전송률에 따라 요청한 GTS 타임 슬롯의 개수를 확인하고, 그 개수에 따라 슈퍼프레임 구조를 가변적으로 변경한다. 요청하는 타임 슬롯의 개수가 23개 이하인 경우는 WFQ 스케줄링에 따라 GTS 타임 슬롯을 할당한다. 23개를 초과하는 경우는 WFQ 스케줄링 기반에서 GTS 타임 슬롯을 공유하여 할당한다. 이러한 경우 디바이스가 요구하는 최대 지연값을 초과할 수 있기 때문에 지연 값을 고려하여야 한다. 또한 GTS 타임 슬롯이 보장할 수 있는 대역폭보다 디바이스들의 대역폭이 큰 경우에는 실시간 처리가 불가능하기 때문에 보장대역폭을 보장해야만 한다.

2. 제안하는 알고리즘의 지연 한도

제안하는 알고리즘을 적용하는 경우 공유하는 GTS 타임 슬롯의 수에 따라 지연 값은 달라진다. 공유하는 GTS 타임 슬롯의 수는 최소한 식 (11), (12)를 만족하도록 보장해야

한다. 본 논문에서 지연 값을 계산하기 위해 네트워크 계산법의 도착 곡선과 서비스 곡선을 사용하였으며, 지연을 구하는 일반식은 네트워크 계산법으로부터 도출할 수 있다. WFQ 스케줄링 방법을 사용할 경우 디바이스들은 부과되는 가중치에 따라 다른 보장대역폭(R_i)과 서비스 지연(T_i) 값을 가진다. 디바이스들의 보장대역폭 R_i 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$R_i = \frac{w_i}{w_{sum}} \cdot R_{kTS} = \frac{w_i}{w_{sum}} \cdot k \cdot R_{TS} \dots\dots\dots (13)$$

식 (12)으로부터 서비스 지연 T_i 는 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$T_i = p_i \cdot BI + q_i \cdot T_S \dots\dots\dots (14)$$

디바이스는 자신이 전송하는 GTS 타임 슬롯이 시작되기 전까지는 모두 지연으로 처리된다. p_i 는 i 번째로 전송하는 디바이스가 서비스 지연으로 포함하는 비컨의 수를 나타낸다. q_i 는 지연으로 포함되는 마지막 비컨에서 제외되는 타임 슬롯의 수를 의미한다. p_i 와 q_i 를 구하는 식은 다음과 같다.

$$\begin{cases} p_1 = 1 \dots\dots\dots (15) \\ p_i = \left\lceil \frac{\sum_{j=1}^{i-1} w_j + 1}{k} \right\rceil > 0, \quad (i \geq 2) \end{cases}$$

$$\begin{cases} q_1 = -k \dots\dots\dots (16) \\ q_i = \left(\sum_{j=1}^{i-1} w_j + 1 \right) - p_i \cdot k - 1 < 0, \quad (i \geq 2) \end{cases}$$

위에서 구한 식들로부터 평균 도착률에 따라 서로 다른 가중치를 가지는 N 개의 디바이스들이 k 개의 GTS 타임 슬롯을 공유하는 경우에 디바이스들의 최대 지연 ($D_{i,max}$)를 구할 수 있다. $r_i \leq R_i$ 를 만족한다면 식 (8)로부터 나타낼 수 있다.

$$D_{i,max} = \frac{b_i \cdot w_{sum}}{k \cdot R_{TS} \cdot w_i} + (p_i \cdot BI + q_i \cdot T_S) \dots\dots\dots (17)$$

$D_{i,max}$ 를 구함으로써 의료용 센서들이 요구하는 지연 값을 만족하여 실시간 트래픽 처리가 가능함을 확인할 수 있다.

3. WFQ 기반의 GTS 할당 알고리즘의 확인

3절에서는 제안하는 방법의 알고리즘이 실제로 적용되는 예를 설명한다. 최대 지연 값을 고려하여 적용 가능한 조건을 확인한다. 적용하는 모델은 WBAN에서 코디네이터는 슈퍼프레임 구조를 사용하며 듀티 사이클은 $1(BO = SD = 0)$,

$n=4$ 로 GTS 타임 슬롯이 23개인 경우이다. 이 때, $BI=SD=30.72\text{ms}$ 이며, $T_s=0.96\text{ms}$, $R_{TS}=4.69\text{k bps}$ 이다.

조건 1 : 첫 번째 경우는 가중치가 다른 두 개의 디바이스가 한 개의 GTS 타임 슬롯을 공유하는 경우이다. 버스트 사이즈는 400 bits로 동일하다. A는 $\alpha_A(t)=0.4+4\cdot tk\text{ bit}$, B는 $\alpha_B(t)=0.4+1\cdot tk\text{ bit}$ 의 도착 곡선을 가진다. A의 평균 도착률은 4kbps, B는 1kbps이다. 의료용 센서가 요구하는 최대 지연은 250ms로 동일하다. A는 2개의 GTS 타임 슬롯을 요구하고 B는 1개의 타임 슬롯을 요구한다. 1개의 GTS 타임 슬롯으로 공유하는 경우의 서비스 곡선은 다음과 같다.

$$\beta_{A,R_A,T_A}(t) = 3.12 \cdot (t - 29.76\text{m})^+ \text{k bps}$$

$$\beta_{B,R_B,T_B}(t) = 1.56 \cdot (t - 91.14\text{m})^+ \text{k bps}$$

서비스 곡선에서 보면 식 (10), (11)을 만족하지 않으므로 제안한 알고리즘을 적용할 수 없다. 그림 6.a에서 타임 슬롯을 할당하는 과정을 설명하고 있으며, 그림 7.a는 도착 곡선과 서비스 곡선을 설명하고 있다. 점선으로 표시된 선은 실제 데이터 전송의 곡선을 보여준다. 7.a에서 디바이스 A의 실제 데이터 전송이 서비스 곡선보다 아래에 존재하는 것을 확인할 수 있다. 이는 실시간 데이터 전송이 불가능함을 나타낸다. 디바이스 A는 시간이 지남에 따라 지연 값이 증가한다.

조건 2 : 조건 1과 동일한 디바이스를 2개의 슬롯으로 공유하는 경우이다. 서비스 곡선을 구하면

$$\beta_{A,R_A,T_A}(t) = 6.25 \cdot (t - 28.80\text{m})^+ \text{k bps}$$

$$\beta_{B,R_B,T_B}(t) = 3.12 \cdot (t - 59.52\text{m})^+ \text{k bps}$$
 이고,

식 (10), (11)을 만족한다. 그림 6.b와 7.b가 조건 2에 해당한다. 점선으로 표시된 실제 데이터 전송이 모두 서비스 곡선 위에 존재하며, 타임 슬롯을 다르게 할당받기 때문에 실제 데이터 전송량도 차이가 난다. 디바이스 A의 최대 지연은 92.76ms, B는 156.73ms로 식 (12)도 만족한다. 주어진 가정사항 3가지를 모두 만족하므로 서비스가 가능하다.

조건 3 : 이번 경우는 가중치가 다른 세 개의 디바이스가 두 개의 슬롯을 공유하는 경우이다. 버퍼는 400 bits로 동일하다. A는 7, B는 4, C는 1kbps의 평균 도착률을 가지며, $\alpha_A(t)=0.4+7\cdot tk\text{ bit}$, $\alpha_B(t)=0.4+4\cdot tk\text{ bit}$, $\alpha_C(t)=0.4+1\cdot tk\text{ bit}$ 의 도착 곡선을 가진다. A는 3개의 GTS 타임 슬롯을 B는 2개, C는 1개의 타임 슬롯을 요구한다. 2개의 GTS 타임 슬롯으로 공유하는 경우의 서비스 곡선은 다음과

같다.

$$\beta_{A,R_A,T_A}(t) = 4.69 \cdot (t - 28.80\text{m})^+ \text{k bps}$$

$$\beta_{B,R_B,T_B}(t) = 3.12 \cdot (t - 60.48\text{m})^+ \text{k bps}$$

$$\beta_{C,R_C,T_C}(t) = 1.56 \cdot (t - 91.14\text{m})^+ \text{k bps}$$

식 (10), (11)을 만족하지 않으며, 그림 6.c와 7.c가 조건 3에 해당한다. 디바이스 A와 B는 시간이 지남에 따라 지연 값이 증가하고 C의 최대 지연은 347ms로 WBAN 요구사항을 만족하지 않으므로 서비스가 불가능하다.

조건 4 : 조건 3과 동일한 디바이스를 3개의 슬롯으로 공유하는 경우이다. 서비스 곡선은

$$\beta_{A,R_A,T_A}(t) = 7.03 \cdot (t - 27.84\text{m})^+ \text{k bps}$$

$$\beta_{B,R_B,T_B}(t) = 4.69 \cdot (t - 58.56\text{m})^+ \text{k bps}$$

$$\beta_{C,R_C,T_C}(t) = 2.34 \cdot (t - 60.48\text{m})^+ \text{k bps}$$
 이다.

식 (10), (11)을 만족하며, 그림 6.d와 7.d가 조건 4에 해당한다. 점선으로 표시된 실제 데이터 전송이 모두 서비스 곡선 위에 존재한다. 디바이스 A의 최대 지연은 84.70ms, B는 143.85ms, C는 231.06ms로 식 (12)를 만족한다. 주어진 가정사항 3가지를 모두 만족하므로 서비스가 가능하다.

앞에서 보았듯이 식 (10), (11), (12)를 만족하지 않는 경우 서비스가 불가능하다. 식 (10), (11)을 만족하지 않으면 시간이 지남에 따라 지연 값이 증가하게 되며, 식 (12)를 만족하지 않으면 WBAN이 요구사항은 최대 지연값을 초과한다. 그러므로 제안하는 알고리즘은 반드시 가정 사항을 만족해야 한다.

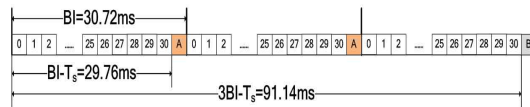


그림 6.a. 두 개의 디바이스가 한 개의 GTS 타임 슬롯 사용하는 경우

Fig. 6.a. Two Time Slots Allocation Used by One Devices

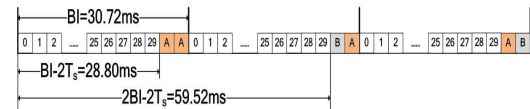


그림 6.b. 두 개의 디바이스가 두 개의 GTS 타임 슬롯 사용하는 경우

Fig. 6.b. Two Time Slots Allocation Used by Two Devices

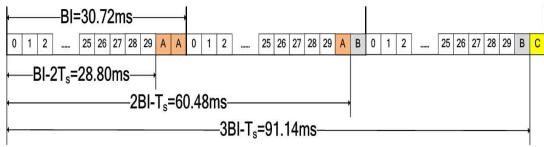


그림 6.c. 세 개의 디바이스가 두 개의 GTS 타임 슬롯 사용하는 경우
Fig. 6.c. Three Time Slots Allocation Used by Two Devices

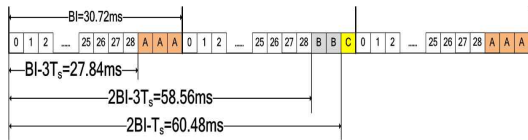


그림 6.d. 세 개의 디바이스가 세 개의 GTS 타임 슬롯 사용하는 경우
Fig. 6.d. Three Time Slots Allocation Used by Three Devices

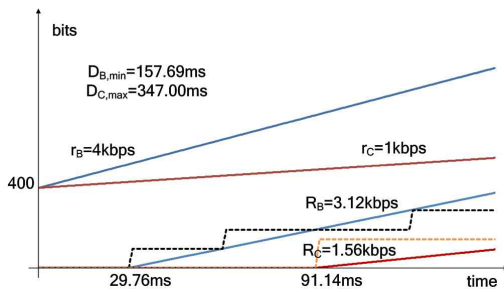


그림 7.a. 두 개의 디바이스가 한 개의 타임 슬롯을 사용하는 경우의 서비스 곡선
Fig. 7.a. The Service Curve of One Time Slots Allocation Used by Two Devices

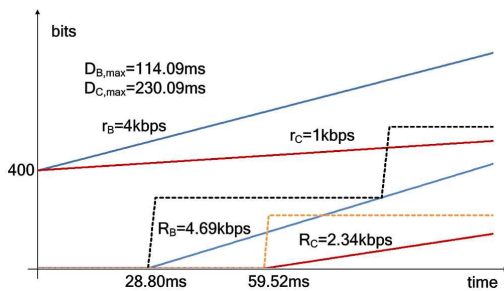


그림 7.b. 두 개의 디바이스가 한 개의 타임 슬롯을 사용하는 경우의 서비스 곡선
Fig. 7.b. The Service Curve of Two Time Slots Allocation Used by Two Devices

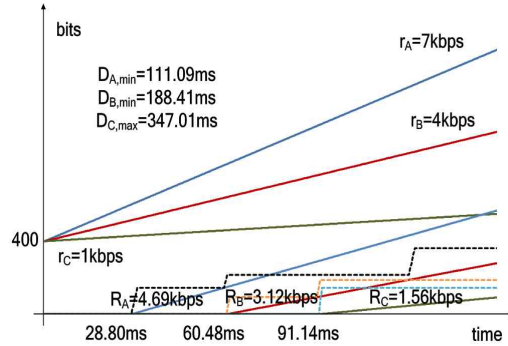


그림 7.c. 세 개의 디바이스가 두 개의 타임 슬롯을 사용하는 경우의 서비스 곡선
Fig. 7.c. The Service Curve of Three Time Slots Allocation Used by Two Devices

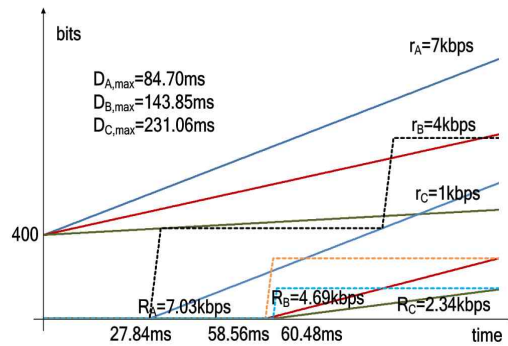


그림 7.d. 세 개의 디바이스가 세 개의 타임 슬롯을 사용하는 경우의 서비스 곡선
Fig. 7.d. The Service Curve of Three Time Slots Allocation Used by Three Devices

4. 제안하는 알고리즘

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 순서도는 그림 8과 같다. 그림 8은 제안하는 알고리즘의 동작을 설명한 것으로 알고리즘의 시작은 GTS 요청 명령어를 확인하는 것으로 시작한다. 코디네이터는 Target Data Rate 서브 필드를 확인하여 디바이스가 요청하는 GTS 타임 슬롯의 수를 확인한 후, 현재 네트워크를 구성하는 디바이스가 요청하는 전체 GTS 타임 슬롯의 수를 판단한다. 만약 필드의 값이 00이라면 IEEE 802.15.4의 방법으로 GTS를 할당하고, 그 외에 값이면 WFQ 기반의 GTS 타임 슬롯 할당 알고리즘을 적용한다.

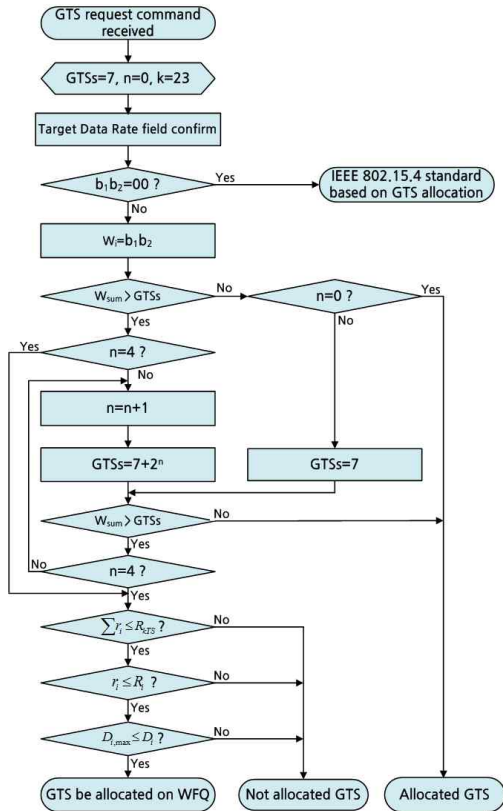


그림 8. 제안하는 알고리즘
Fig. 8. The Proposed Algorithm

다음은 전체 요청하는 슬롯 수에 맞게 WBAN 슈퍼프레임을 가변적으로 조절한다. GTS 타임 슬롯이 23개로 증가하여도 디바이스가 요청하는 GTS 개수보다 부족하다면 GTS 타임 슬롯을 공유한다. 식 (10), (11), (12)를 만족하는 한도 내에서 GTS 타임 슬롯을 공유하여 부족 현상을 해결한다.

IV. 성능 평가

본 장에서는 WBAN 환경에서 주기적인 신호의 실시간 트래픽 전송 요구 사항을 지닌 네트워크에 WFQ 기반의 GTS 타임 슬롯 할당 알고리즘을 사용할 경우 CFP 구간의 성능 평가 결과를 보여 준다. 성능평가를 위해 할당하는 GTS 타임 슬롯 수에 대한 최대 지연과 평균 데이터 처리량을 수치해석하였다. 성능평가 결과 제안하는 알고리즘이 의료용 센서의 요구사항을 충족시킬 수 있는지 확인하고, 기존에 연구된 라운드 로빈 방법과 비교를 하였다. 두 방법을 비교하기 위하여

3개의 디바이스를 가정하였으며 디바이스의 평균도착률 및 가중치는 표 3과 같다. 디바이스의 수를 증가하여 23개의 GTS 슬롯을 사용하면 지연 값의 차이가 너무 크기 때문에 3개의 고정된 디바이스를 타임 슬롯 최대 7개 까지 할당하는 경우를 비교하였다.

표 3. 디바이스의 평균 도착률 및 가중치
Table 3. 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

표 3은 디바이스 A, B, C의 평균 도착률과 가중치를 나타낸다. 디바이스의 최대 지연은 버스트 사이즈와 밀접하게 관련이 있으므로 수치해석 환경을 $b_i = 500\text{bits}$ 로 모두 동일하게 하였으며, 듀티 사이클은 1, $n = 4$ 인 환경에서 성능을 비교하였다. $BO = SO = 0$ 인 경우 GTS 타임 슬롯 하나가 보장하는 대역폭 R_{TFS} 는 4.69kbps이다.

제안하는 알고리즘은 3개의 디바이스에 가중치에 따라 다른 수의 GTS 타임 슬롯의 할당하였고, 라운드 로빈을 적용한 방법은 모든 디바이스에 동일한 GTS 타임 슬롯을 할당하였다.

1. GTS 전송 지연 분석

최대 지연을 구하기 위해서는 식 (10), (11), (12)를 모두 만족해야 한다. 표 3의 조건에서 식 (10), (11)을 고려하면 제안하는 알고리즘은 공유하는 슬롯이 3개 이상이어야 서비스가 가능하고, 라운드 로빈을 적용한 방법은 4개 이상이어야 서비스가 가능하다. 하지만 최대 지연만 비교하기 위해서 식 (12)만 고려하여 성능을 평가하였다. 그림 9는 공유 슬롯의 개수에 변화에 대한 GTS 전송 지연을 보여준다.

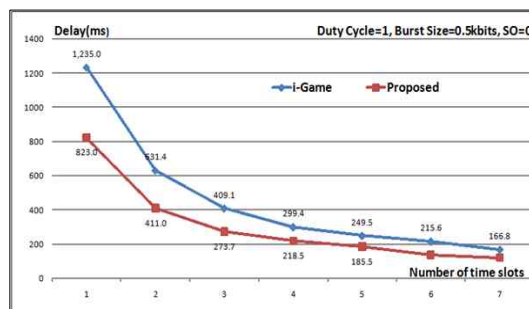


그림 9. GTS 전송 지연
Fig. 9. The Delay of GTS

SO=0에서 비교하였으며 슬롯 개수가 증가할수록 지연 값이 감소함을 볼 수 있다. 제안하는 방식은 슬롯 3개부터 식 (10), (11)을 만족하지만 식 (12)는 만족하지 않는다. 공유하는 슬롯이 4개 이상 되어야 최대 지연이 250ms보다 작아진다. 라운드 로빈 방법은 공유 슬롯이 4개부터 식 (10), (11)을 만족하고, 식 (12)는 5개 이상 되어야 만족한다. 또한 동일한 슬롯 개수에서 비교하면 제안하는 알고리즘이 라운드 로빈 방법에 비해 지연이 감소한다.

그림 10, 11은 SO 값에 변화에 대한 지연 변화를 보여준다. 공유 슬롯이 6개일 경우는 제안하는 알고리즘과 라운드 로빈 방법이 전송하는 주기가 다르기 때문에 지연 값의 차이가 크다. 하지만 7개의 공유 슬롯을 사용하는 경우 전체 데이터를 전송하는데 걸리는 주기가 같기 때문에 유사한 모양의 곡선을 가진다. 두 경우 모두 제안한 알고리즘의 지연이 더 적음을 확인할 수 있다.

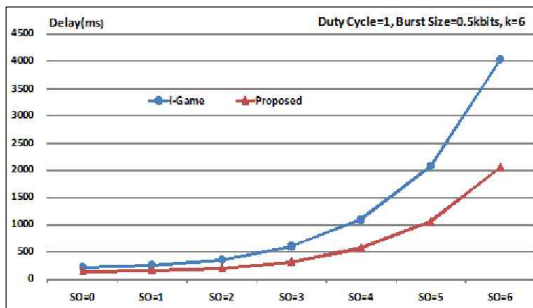


그림 10. SO 값에 대한 지연 변화(k=6)
Fig. 10. The delay changes of SO(k=6)

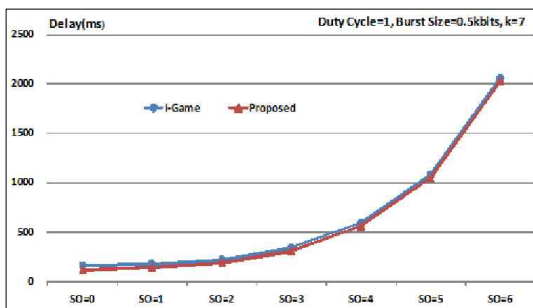


그림 11. SO 값에 대한 지연 변화(k=7)
Fig. 11. The delay changes of SO(k=7)

2. GTS 평균 데이터 처리량 분석

제안한 슈퍼프레임 구조에서 평균 데이터 처리량을 구하기 위해서 식 (19)를 이용하였다. 한 개의 GTS 타임 슬롯에서의 평균 도착률을 이용하여 전체 데이터 처리량을 구한 후, 평균 데이터 처리량을 구하였다. 앞에서 주어진 조건을 제안

하는 알고리즘과 라운드 로빈 방법을 이용하여 GTS를 할당하였을 때의 평균 데이터 처리량을 구하여 비교하였다. 그림 12는 GTS 타임 슬롯 개수에 대한 GTS 평균 데이터 처리량을 나타낸다.

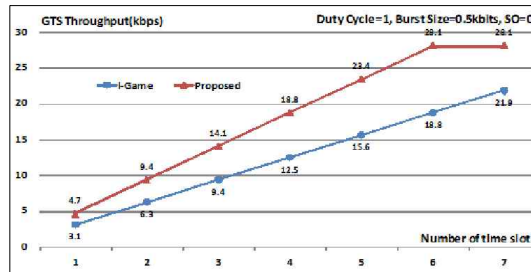


그림 12. GTS 평균 데이터 처리량
Fig. 12. The average data Throughput of GTS

SO=0에서 비교하였으며 슬롯 수가 증가함에 따라 처리량도 증가한다. 제안하는 알고리즘은 3개의 디바이스가 6개의 GTS 타임 슬롯을 요구하므로 공유하는 타임 슬롯의 개수가 6개 이상이면 처리량이 동일하다. 디바이스가 요청하는 타임 슬롯보다 더 많은 수의 타임 슬롯을 할당하면 GTS 대역이 낭비됨을 알 수 있다. 라운드 로빈 방법의 경우에는 공유하는 슬롯을 7개 까지 증가하여도 처리량이 계속 증가한다. 라운드 로빈 방법은 모든 디바이스에 동일한 슬롯을 할당하기 때문에 제안하는 알고리즘 보다 많은 수의 GTS 타임 슬롯을 요구하기 때문이다. 라운드 로빈 방법은 가장 큰 평균 도착률을 가지는 디바이스에 맞춰 동일한 개수의 GTS 타임 슬롯을 할당하기 때문에 낮은 평균 도착률을 가지는 디바이스는 GTS 대역을 낭비함을 알 수 있다. 그림 12에서 확인할 수 있듯이 동일한 개수의 GTS 타임 슬롯에서 제안하는 알고리즘이 라운드 로빈 방법에 비해 평균 데이터 처리량이 높으며, 낭비되는 대역이 적음을 확인할 수 있다. 그림 13은 SO 값에 대한 평균 처리량의 변화이다.

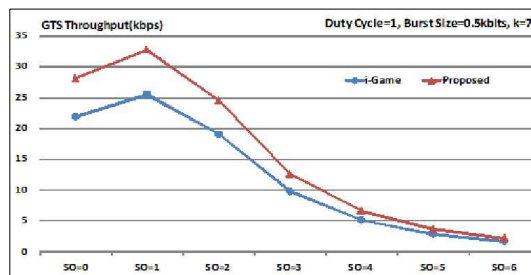


그림 13. SO 변화에 대한 평균 데이터 처리량의 변화(k=7)
Fig. 13. The change of average data throughput of SO(k=7)

처리량이 약간 증가하였다가 SO 값이 증가하면서 작아진다. 처리량이 감소하는 이유는 지연의 증가로 설명할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 WBAN 네트워크를 구성하는 디바이스의 데이터 전송률에 따라 할당하는 GTS 타임 슬롯의 개수를 가변적으로 조절하고, GTS 타임 슬롯이 부족하면 슬롯을 공유하여 사용하여 모든 디바이스의 QoS를 보장하는 WFQ 기반의 GTS 타임 슬롯 할당 알고리즘에 대해 제안하였다. WBAN 환경에서는 기존의 센서네트워크 환경에 비하여 디바이스들이 상이한 데이터 전송률을 요구하고, 데이터의 QoS가 중요시되기 때문에 GTS 타임 슬롯을 많이 필요로 한다. WBAN 슈퍼프레임에서는 GTS 슬롯이 최대 23개까지 할당 가능 하지만 GTS를 요청하는 디바이스가 증가하면 QoS를 보장할 수 없는 문제가 발생한다. 이러한 문제점을 보완하면서 최대 지연은 감소시킬 수 있었다.

성능 평가 결과 제안한 알고리즘을 적용하면 상이한 데이터 전송률을 지원할 수 있다. 성능 평가에서 다른 방법과 비교하기 위해 디바이스의 개수를 적게 하였다. 하지만 디바이스의 개수가 증가할 경우 라운드 로빈 방법보다 제안한 알고리즘이 요청하는 슬롯의 수가 적기 때문에 동일한 GTS 타임 슬롯의 개수로 지원할 수 있는 디바이스의 개수가 증가한다.

WSN에서 연구된 라운드 로빈 방법과 비교하면 동일한 슬롯 수에서 지연은 감소하였으며, 같은 개수의 디바이스를 지원하는데 상대적으로 적은 수의 GTS 타임 슬롯으로 서비스를 지원할 수 있다. 지연 값이 감소하는 이유로는 데이터 전송률에 따라 슬롯 수를 다르게 할당하므로 전체 요청하는 타임 슬롯의 수가 감소하기 때문이다. 또한 라운드 로빈 방법으로는 슬롯의 개수를 증가하여야 디바이스의 보장대역폭이 증가하지만 제안하는 알고리즘은 가중치의 변화를 줌으로써 보장대역폭을 가변적으로 변화할 수 있다.

평균 데이터 처리량을 분석한 결과 라운드 로빈 방법보다 높은 데이터 처리량을 확인할 수 있었다. 데이터 처리량이 높은 이유로는 라운드 로빈 방법보다 데이터를 전송하는데 필요한 주기가 짧기 때문이다. 라운드 로빈 방법은 가장 큰 데이터 전송률을 가지는 디바이스와 동일하게 슬롯을 할당하기 때문에 전송 주기가 길어지게 되고, 낭비되는 대역폭이 증가한다. 결과적으로 제안하는 WFQ 기반의 GTS 할당 알고리즘을 사용하여 더 많은 수의 디바이스의 QoS를 보장할 수 있으며 WBAN 응용 서비스의 요구사항을 만족할 수 있다. 하지만 시스템이 복잡해지고 고려해야할 사항이 증가한다.

향후 연구 과제로 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] Won-Soo Jung, Young-Hwan Oh, "Improving Techniques of MAC Protocol for a Quality Guarantee of Service in WBAN Environment", The Journal of Korea Information and Communications Society, Vol. 35, No. 2, pp.50~58, Feb. 2010.
- [2] Bin Zhen, Huan-Bang Li, and Ryuji Kohno, "IEEE Body Area Networks and Medical Implant Communications," BodyNets2008, pp.24~35, 2008.
- [3] 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
- [4] 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
- [5] 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.
- [6] 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.
- [7] 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.

- [8] 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.

저 자 소 개



김 경 목

1996 : 서울산업대학교 전자공학과
공학사.

2002 : 광운대학교 전자통신공학과
공학석사.

2006 : 광운대학교 전자통신공학과
공학박사

현 재 : 삼육보건대학 의료정보시스템
과 교수

관심분야 : 의료정보시스템, 통신망

Email : kkm@shu.ac.kr



정 원 수

2003 : 대전대학교 통신공학과 공학사.

2005 : 광운대학교 전자통신공학과
공학석사.

2010 : 광운대학교 전자통신공학과
공학박사

현 재 : 계원디자인예술대학 디지털콘
텐츠군 겸임교수

관심분야 : 통신망, 임베디드소프트웨어

Email : sootan77@dreamwiz.com