

# WBAN 환경에서 에너지 효율을 고려한 트래픽 적응형 전송 알고리즘

김진혁\*, 홍창기\*, 최상방<sup>o</sup>

## Traffic Adaptive Transmission Algorithm for Energy Efficiency in WBAN

Jinhyuk Kim\*, Changki Hong\*, Sangbang Choi<sup>o</sup>

### 요약

Wireless Body Area Network (WBAN)은 인체 주변 3~5m 이내의 영역에서 의료 및 비의료 장치들로 구성된 네트워크이다. 다양한 서비스를 제공해야 하는 WBAN은 저전력, 다양한 전송률, 데이터 우선순위 등의 요구사항들을 만족시켜야 한다. 특히, 생체 정보 모니터링을 위한 노드들은 배터리 교체가 어렵고 따라서 한정된 배터리로 동작해야 하기 때문에 에너지 효율과 전송 효율이 중요하다. 본 논문에서는 에너지 효율적인 전송을 위하여 노드의 전송해야 하는 데이터양에 따른 전송주기 조절 알고리즘을 제안한다. 또한 데이터 우선순위에 따른 전송보장을 위하여 에너지검출 구간을 추가하여 우선순위를 보장할 수 있는 구조를 제안하며, 서로 다른 전송주기를 갖는 같은 우선순위 기반 데이터 전송에서 충돌을 줄이기 위하여 전송에 실패한 노드의 우선순위를 높여줌으로써 충돌을 줄일 수 있는 방법을 제안한다. 제안하는 알고리즘의 성능 비교를 위하여 IEEE 802.15.6 표준 Slotted Aloha 전송 방식과 비교한 결과 충돌 회피율의 상승으로 최대 채널 효율이 높아지고, 에너지 소모량이 적어지는 것을 확인하였다.

**Key Words** : Sensor Network, Wireless Body Area Network, MAC, IEEE 802.15.6, energy efficiency

### ABSTRACT

Wireless Body Area Network (WBAN) is a network around a human body within 3~5m which consists of medical or non-medical device. WBAN has to satisfy many kinds of demands such as low-power, a variety of data rate and a data priority. Especially, it is hard for the nodes for monitoring vital signs to replace battery. Thus energy and channel efficiency is important because the battery power is limited. In this thesis, a novel algorithm for reducing the energy consumption is proposed. The proposed algorithm adjusts transmission period according to traffic. by means of determining transmission period by amount of data, the node can reduce energy consumption. Energy detection is performed in order to guarantee data priority before attempting to transmit. In case of failing to transmit, it is proposed that energy consumption is reduced through avoiding collision by changing priority. The comparison result shows that the proposed algorithm reduces power consumption and increasing maximum channel efficiency by avoiding collision.

\* 이 논문은 인하대학교의 지원 및 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임 (2012-0005858).

◆ 주저자 : 인하대학교 전자공학과 컴퓨터구조 및 네트워크 연구실, graybaily@inha.edu, 학생회원

° 교신저자 : 인하대학교 전자공학과 컴퓨터구조 및 네트워크 연구실, sangbang@inha.ac.kr, 중신회원

\* LG 전자, lowel10@inha.edu

논문번호 : KICS2012-03-112, 접수일자 : 2013년 3월 4일, 최종논문접수일자 : 2013년 4월 29일

## I. 서 론

최근 의료 서비스를 위한 환자 모니터링 응용 분야로 WBAN (wireless body area network)의 관심이 매우 높아지고 있다. WBAN이란 인체 주변의 3~5m 이내의 여러 장치들로 구성된 무선 네트워크로 인체를 중심으로 센서노드와 코디네이터 간의 통신이 이루어지는 새로운 유형의 네트워크이다. WBAN은 환자 모니터링 분야에서 다양한 어플리케이션을 지원하기 위하여 다양한 전송률을 지원할 수 있어야 한다. 또 중환자를 위한 모니터링 서비스 시 생명과 관련된 환자의 정보들은 전송이 보장되어야 한다. 환자 모니터링에 쓰이는 어플리케이션들의 경우 데이터의 전송지연이 길어지거나 패킷손실이 발생할 경우 적절히 동작하지 못하게 된다. 따라서 데이터 전송 시 지연시간과 신뢰성 즉, 데이터 종류에 따른 우선순위가 보장이 되어야 한다. 또한 삽입형 또는 부착형의 의료용 센서는 배터리 교체가 힘들기 때문에 저전력 특성이 요구된다<sup>1-3</sup>.

WBAN에서 요구하는 다양한 전송률을 갖는 어플리케이션들을 지원할 수 있는 MAC 프로토콜들의 연구들이 다양하게 이루어졌으며, 이러한 다양한 연구들의 결과와 관심으로 인해 WBAN의 요구사항에 맞는 새로운 표준의 필요성이 대두되었다<sup>4-8</sup>. WBAN에 대한 중요성과 필요성이 대두됨에 따라 IEEE 802.15 Working group은 IG (interest group), SG (study group)을 거쳐 2007년 11월부터 WBAN의 PHY (physical)와 MAC (medium access control) 계층의 표준화를 위하여 IEEE 802.15.6 TG (task group) 6을 구성 하였으며, 다양한 제안들을 수렴하는 기간을 거쳐 2012년 3월 IEEE 802.15.6 표준을 제정하였다<sup>9</sup>. IEEE 802.15.6 표준은 비의료(non-medical) 분야와 의료(medical) 분야를 동시에 지원하는 것을 목표로 하고 있으며 다양한 어플리케이션을 지원하기 위하여 10Kbps에서 10Mbps까지 다양한 전송률을 지원한다. 의료 분야의 경우 심전도나 근전도 등의 생체 신호의 모니터링 정보를 활용하여 헬스케어(health-care) 분야에서 활용될 수 있으며, 비의료 분야의 경우 인체를 중심으로 하는 다양한 멀티미디어 장치들의 무선 연결에 이용될 수 있다<sup>10-12</sup>.

IEEE 802.15.6 표준의 전송 구간에 따른 데이터를 전송하는 방식에는 스케줄, 비스케줄 액세스 방식과 랜덤 액세스 방식 세 가지 방식이 사용된다. 스케줄 액세스 방식의 경우 정해진 전송지연과 패

킷 손실을 최소화 시킴으로써 높은 Qos (quality of service)를 보장 할 수 있는 장점이 있다. 비스케줄 액세스 방식의 경우 미리 정의된 구간에서 폴링과 포스팅 방식을 이용하여 데이터를 전송할 수 있는 방식이다. 반면 랜덤 액세스 방식은 전송해야 하는 정보가 있는 노드가 채널에 임의로 액세스하는 동적방식이다. 랜덤 액세스 방식은 가변적인 전송지연과 패킷 손실을 야기한다. 하지만 전송 지연이나 패킷 손실률은 전송량과 어플리케이션에 의존적이다. 낮은 전송률에서 랜덤 액세스 방식과 스케줄 접근 방식은 비슷한 성능을 낼 수 있다.

IEEE 802.15.6 표준에서는 랜덤 액세스 방식 중 하나로 Slotted Aloha 방식을 사용한다. IEEE 802.15.6 Slotted Aloha 방식의 경우 전송해야 하는 데이터가 존재하는 경우 우선순위에 따라 다른 확률 값을 이용해 전송을 결정하는 p-persistent Slotted Aloha 방식을 사용한다. 하지만 p-persistent Slotted Aloha 전송 방식의 경우 전송해야 하는 데이터가 존재하면 데이터 전송에 성공하기까지 계속해서 확률 계산을 해야 하고 채널 효율이 높지 못한 단점이 있다.

본 논문에서는 IEEE 802.15.6 표준의 랜덤 액세스 방식을 사용하는 RAP (random access phase) 구간에서 각각의 노드가 전송해야 하는 데이터양에 따라 전송주기를 조절함으로써 에너지효율을 높이고 최적의 전송 효율을 낼 수 있는 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 노드가 일정 주기로 데이터양을 확인하여 자신의 전송주기를 결정하고, 결정된 전송주기에 의해 전송을 시도한다. 또한 데이터양에 따른 전송에서 우선순위 보장을 위하여 전송을 시도하기 전 채널의 유희상태를 확인할 수 있는 에너지검출구간을 추가하여 우선순위를 보장한다. 의료용 데이터는 주기적인 특성을 가지며, 노드가 주기적인 데이터를 전송하는 경우 전송주기 중복으로 인한 충돌확률이 높아지게 된다. 따라서 충돌로 인한 전송 실패 시 전송에 실패한 노드에 우선순위를 높여줌으로써 노드의 전송 공정성을 보장할 수 있는 방법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II장에서는 IEEE 802.15.6 표준의 특징과 현재 표준에서 사용 중인 랜덤 액세스 전송방법 중 하나인 Slotted Aloha 방식에 대해서 소개하고, III장에서는 본 논문에서 제안하는 데이터양에 따른 전송주기 조절 알고리즘을 설명한다. 그리고 IV장에서는 실험을 통해 제안한 알고리즘의 성능을 평가하고, V장의 결론으로

마무리한다.

## II. IEEE 802.15.6 표준

WBAN (wireless body area network)은 의료 서비스를 위한 환자 모니터링 응용 분야등 다양한 어플리케이션을 지원하기 위하여 인체 주변에서 통신이 이루어지는 새로운 유형의 네트워크이다. IEEE 802.15 Working group은 WBAN의 요구사항 및 PHY, MAC 의 프로토콜을 표준으로 제정하여 2012년 3월 IEEE 802.15.6 표준을 제정하였다.

이 장에서는 IEEE 802.15.6 표준에서 정의하고 있는 사용자 우선순위를 설명한다. 또한 전송에 사용하는 모드 중 슈퍼프레임을 사용하는 비컨모드 구조와 Slotted Aloha 방식에 대해 설명한다.

### 2.1. 사용자 우선순위

IEEE 802.15.6 표준의 특징은 의료 서비스와 비 의료 서비스를 동시에 지원하는 것이다. 따라서 IEEE 802.15.6 표준에서는 데이터를 표 1과 같이 사용자 우선순위에 따라 8단계로 분류하여 정의한다. IEEE 802.15.6 표준에서는 우선순위 7~5는 의료 데이터, 우선순위 4~0은 비의료 데이터로 분류한다.

### 2.2. 슈퍼프레임 구조

슈퍼프레임을 사용하는 비컨 모드에서 슈퍼프레임 구조는 그림 1과 같다. 슈퍼프레임은 B, EAP1, RAP1, MAP1, EAP2, RAP2, MAP2, B2, CAP로 구성된다. 그림에서 B는 비컨을 나타내며, 비컨은 비컨 주기마다 전송된다. 코디네이터는 각의 구간의 길이를 정의할 수 있으며, 사용자의 용도와 어플리케이션 상황에 따라 길이를 조절한다.

EAP (exclusive access phase)는 가장 높은 우선 순위인 우선순위 7의 데이터만이 액세스할 수 있는 구간으로, 랜덤 액세스 방식이 사용된다. RAP

표 1. IEEE 802.15.6에 정의된 사용자 우선순위  
Table 1. User priority defined in IEEE 802.15.6

User Priority	Traffic designation
0	Background (BK)
1	Best effort (BE)
2	Excellent effort (EE)
3	Video (VI)
4	Voice (VO)
5	Medical data or network control
6	High-priority medical data or network control
7	Emergency or medical implant event report

(random access phase)와 CAP (contention access phase)는 우선순위 6에서 우선순위 0까지의 의료 및 비의료 데이터를 전송하는 구간으로, 랜덤 액세스 방식을 사용한다. MAP (managed access phase)는 스케줄 된 데이터의 전송이나 스케줄 되지 않은 데이터의 전송이 이루어지는 구간이다. B2비컨은 CAP 구간을 추가하기 위해서 사용된다. CAP구간을 추가하기 위해 코디네이터에서는 B2비컨을 전송해야 하며, 코디네이터에서 B2 데이터가 전송되지 않으면 CAP구간의 길이는 0이 된다.

### 2.3. 랜덤 액세스

EAP, RAP, CAP 구간에서는 랜덤 액세스 방식을 이용하여 데이터를 전송한다. IEEE 802.15.6 표준에는 랜덤 액세스 방식중 하나로 Slotted Aloha 방식이 사용된다. IEEE 802.15.6 표준에서는 Slotted Aloha 방식의 데이터 우선순위 보장을 위하여 표 2와 같이 사용자 우선순위에 따라 CP (contention probability)값을 CPmax와 CPmin 사이의 값으로 설정한다.

Slotted Aloha 방식은 랜덤 액세스 방식의 하나

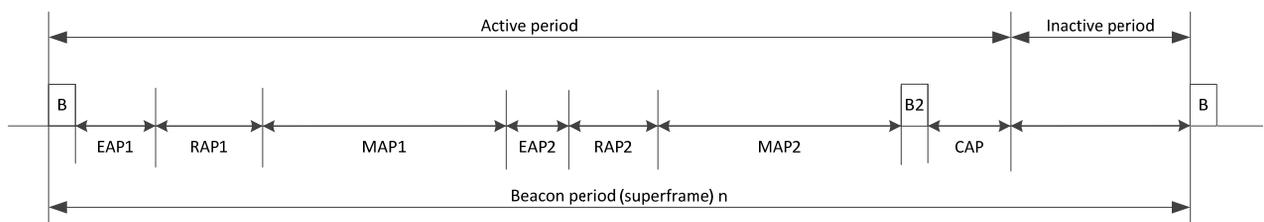


그림 1. 비컨 모드의 슈퍼프레임 구조  
Fig. 1. Beacon mode with superframe boundaries

표 2. Slotted Aloha의 contention probability 범위  
Table 2. Contention Probability bound for Slotted Aloha

User Priority	Slotted Aloha	
	CPmax	CPmin
0	1/8	1/16
1	1/8	3/32
2	1/4	3/32
3	1/4	1/8
4	3/8	1/8
5	3/8	3/16
6	1/2	3/16
7	1	1/4

로 IEEE 802.15.6 표준에서는 확률에 의해서 전송을 시도하는 p-persistent Slotted Aloha 방식을 사용한다. 하나의 Aloha 슬롯은 그림 2와 같은 구조를 가지며 데이터 전송시간, SIFS (short interframe space), ACK 전송시간으로 이루어진다. 데이터 전송시간은 노드가 실제 데이터를 전송하는데 걸리는 시간이며, SIFS는 노드가 데이터 전송 후 코디네이터로부터 응답을 전송 받기 위한 최소대기시간, ACK 전송시간은 노드가 전송한 데이터에 대한 코디네이터로부터의 응답을 전송 받는 구간이다.

노드는 데이터의 전송 또는 재전송을 위해서 사용자 우선순위(UP) 값에 따라 확률적으로 전송슬롯을 획득하여 전송을 시도한다. 여기서 노드가 전송슬롯을 획득하기 위한 확률 값인 CP는 표 2에 정의된 사용자 우선순위에 따른 값을 가지며 CP값은 다음과 같은 상황에서 설정 또는 변경된다.

우선 노드는 데이터 우선순위에 따라 CP를 CPmax[UP]로 초기화한다. 만약 노드가 CP를 이용하여 전송슬롯 획득에 성공해 데이터 전송에 성공한다면 노드는 CP값을 CPmax[UP]로 설정한다. 반면 만약 노드가 전송슬롯 획득에 성공하고 전송에는 실패한 경우는 두 가지로 나뉜다.

- 1) m이 홀수이고, 만약 노드가 m번 연속하여 전송에 실패하면 노드는 CP값을 변경하지 않고 유지한다.
  - 2) m이 짝수이고, 만약 노드가 m번 연속하여 전송에 실패한다면 노드는 CP값을 현재 값의 반으로 변경한다. 노드가 CP값을 현재 값의 반으로 변경하기 위해 계산된 새로운 CP값이 CPmin[UP]값보다 작은 경우, 노드는 CP값을 CPmin[UP]로 설정한다.
- 위와 같은 방식으로 노드의 CP값이 설정 또는

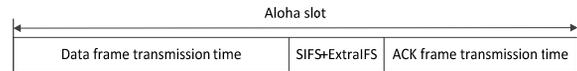


그림 2. Aloha 슬롯 구조  
Fig. 2. Aloha slot structure

변경되면, 노드는 [0, 1] 사이의 값에서 임의의 실수 z를 선택한다. 만약  $z < CP$ 이면 노드는 전송슬롯 획득에 성공하였다고 판단하여 데이터 전송을 시도하고,  $z \geq CP$ 이면 노드는 전송슬롯 획득에 실패하였다고 판단하여 데이터 전송을 시도하지 않는다.

### III. 데이터 양에 따른 전송주기 조절 알고리즘

IEEE 802.15.6 표준의 RAP구간에서 노드는 랜덤 액세스 방식을 이용하여 데이터를 전송하며, 전송 방식 중 하나로 Slotted Aloha방식이 사용된다. 하지만 표준에서 사용되는 Slotted Aloha방식의 경우 노드가 전송해야 하는 데이터가 존재하면 데이터 우선순위에 따라 확률적으로 전송을 시도한다. 따라서 노드가 전송해야하는 데이터가 존재하는 동안은 계속해서 확률을 계산해야 하며, 전송효율 또한 높지 못한 단점이 있다.

이 장에서는 노드의 에너지효율을 높이면서 최적의 전송효율을 제공하기 위한 방법으로 데이터양에 따른 전송주기 조절 알고리즘을 제안한다. 또한 노드의 데이터양에 따른 전송에서 데이터 우선순위 보장을 위한 방법을 제안하고, 같은 우선순위를 가지는 전송주기가 다른 노드의 전송 공정성을 위한 개선된 우선순위 알고리즘을 제안한다.

#### 3.1. 전송주기 조절 알고리즘

전송주기 조절 알고리즘은 두 단계로 나누어진다. 첫 번째 단계에서 각각의 노드는 비컨을 수신하면 전송해야하는 데이터양을 이용하여 자신의 전송주기를 결정한다. 두 번째 단계에서 각각의 노드는 전송 시작위치를 전송주기 내에서 임의로 선택하여 전송 시작 위치로 설정하며, 이후의 전송은 첫 번째 단계에서 결정된 전송주기를 따른다.

##### 3.1.1. 전송주기 계산 단계

그림 3은 전송주기 계산 알고리즘의 의사코드를 나타낸다. 노드가 비컨을 수신하면 큐에 존재하는 자신의 전송해야 하는 데이터양을 확인하고, 확인된 데이터양을 이용하여 전송주기를 계산하게 된다. 노드는 현재 큐에 있는 데이터양을 이용하여 전송에

```

Transmission period calculation algorithm
/*
When a node receives a beacon packet, this
procedure is performed in each node i before the
starting of RAP period.
*/
Calculate the number of slots to transmit  $N_i$ 
The number of slots to transmit is determined by
dividing queue data by one slot data

$$N_i = \lceil Q_i / S_{slot} \rceil$$

One slot data is determined by multiplying data rate
by data transmission duration in a slot

$$S_{slot} = R \times d_{slot}$$

if  $N_i \leq N_{min}$  then
    Transmission period  $T_i = \max(T_i, T_{max})$ 
else if  $N_{min} < N_i < N_{max}$  then
     $T_i$  is computed by using the number of RAP
    slots  $N_{RAP}$  and the number of slots to transmit  $N_i$ 

$$T_i = \lceil N_{RAP} / N_i \rceil$$

else if  $N_i \geq N_{max}$  then
    Transmission period  $T_i = \min(T_i, T_{min})$ 
endif
    
```

그림 3. 전송주기 계산 알고리즘의 의사코드  
 Fig. 3. Pseudo code for transmission period calculation algorithm

필요한 슬롯의 개수를 계산한다. 여기서 한 슬롯의 길이는 사용자의 설정에 따라 달라질 수 있으며, 한 슬롯에서 전송 가능한 데이터는 채널의 전송률  $R$  과 한 슬롯 내에서 데이터를 보낼 수 있는 길이  $d_{slot}$  의 곱으로 계산된다. 노드의 큐에 존재하는 데이터양과 한 슬롯에서 전송 가능한 데이터를 이용하면 노드가 전송해야 하는 슬롯의 개수를 결정할 수 있다.

노드가 전송해야 하는 슬롯의 개수  $N_i$  가 결정되면 노드는 이를 이용하여 전송주기  $T_i$  를 결정하게 된다. 만약  $N_i$  가 최소 전송 슬롯 수  $N_{min}$  보다 작거나 같으면 노드가 전송해야 하는 데이터양이 적다는 것이므로  $T_i$  를 최대 전송주기인  $T_{max}$  로 설정한다. 만약  $N_i$  가  $N_{min}$  보다 크고, 최대로 전송 가능한 슬롯의 개수  $N_{max}$  보다 작은 경우 노드는 계산에 의해  $T_i$  를 결정하게 된다.  $T_i$  는 RAP구간의 길이  $N_{RAP}$  를  $N_i$  로 나눈 값의 올림으로 결정된다.  $N_i$  가  $N_{max}$  보다 클 경우 노드는  $T_i$  를 최소 전송주기  $T_{min}$  으로 설정한다. 이와 같이 노드가 전송해야

```

Selection of initial point and transmission algorithm
/*
This procedure is performed in each node i, in
each RAP, after the procedure to calculate optimal
transmission period in RAP.
*/
Set the initial sleep period by choosing a value
in the range of  $[1, T_i]$ 
Go into sleep
if initial sleep period expires then
    Attempt to transmit data
    Set the sleep period by a value of transmission
    period  $T_i$ 
    Decrease the number of slots to transmit  $N_i$  by
    one
    Go into sleep
endif
for the number of slots to transmit  $N_i$  is not
    zero
    if transmission period  $T_i$  expires then
        Attempt to transmit data
        Decrease the number of slots to transmit  $N_i$ 
        by one
        Go into sleep
    endif
endfor
    
```

그림 4. 시작 위치 선택 및 전송 알고리즘의 의사코드  
 Fig. 4. Pseudo code for selection of initial point and transmission algorithm

하는 데이터양에 의해 자신의 전송주기를 결정하면 전송해야 하는 데이터가 많은 노드는 전송주기를 짧게 하여 많은 전송을 시도하고 슬립 시간이 짧으며, 전송해야 하는 데이터가 적은 노드는 전송주기를 길게 하여 적은 전송을 시도하고 슬립 시간이 길어진다. 따라서 노드는 자신의 데이터양에 따라 전송 시도 횟수를 다르게 결정함으로써 슬립 시간을 최대로 하여 에너지 소모를 줄일 수 있다.

물론 노드가 전송해야 하는 데이터양이 너무 많아 전송주기를 최소값으로 해도 적절한 전송이 되지 않을 경우가 생길 수 있다. 물론 이럴 경우에는 스케줄 액세스 방법을 사용하더라도 노드의 전송을 보장할 수 없기 때문에 네트워크를 구성할 때 어플리케이션들의 요구사항을 고려하여 채널을 구성해야 한다. 대표적인 어플리케이션들의 요구사항은 IEEE 802.15.6 Call for Application에 정의되어 있다.

3.1.2. 전송시작위치 설정 및 전송 단계

노드가 전송주기 계산 알고리즘을 수행하여 전송 주기를 결정해서 전송을 시도할 때 같은 데이터양을 갖는 노드가 2개 이상 있을 경우 전송주기가 중복되어 전송 효율이 크게 떨어진다. 예를 들어 서로 다른 어플리케이션이 같은 사용자 우선순위(UP)를 가지면서 데이터를 전송하는 양이 서로 비슷하여 전송주기가 같게 결정되는 경우 충돌이 반복될 수 있으며 이는 네트워크 전체의 전송 효율을 떨어뜨릴 수 있다. 본 논문에서는 전송주기가 중복되는 것을 방지하기 위하여 초기 전송시작위치를 다르게 선택함으로써 같은 전송주기를 갖는 노드의 전송주기 중복을 회피한다. 전송시작위치 설정 및 전송 알고리즘의 수도코드는 그림 4와 같다.

노드는 전송주기 계산 절차가 끝나고  $T_i$ 가 결정된 후 전송시작위치를 선택한다. 전송시작위치 선택을 위하여 노드는  $[1, T_i]$ 의 범위에서 하나의 정수를 임의로 선택하여 초기슬립주기로 설정하고, 선택된 초기슬립 주기에 의해서 전송을 시도한다. 초기 슬립 주기에 의해 한 번의 전송이 이루어진 이후부터 노드는 전송주기 알고리즘에 의해 결정된 전송주기  $T_i$ 를 적용하여 전송을 시도한다.

3.2. 우선순위 보장

WBAN환경에서는 데이터의 우선순위에 따른 전송 보장이 중요한 요소이다. 하지만 노드가 전송주기 조절 알고리즘만을 이용하여 전송을 시도하면 낮은 우선순위 데이터의 전송시도가 많아 질 경우 충돌 확률이 높아 높은 우선순위 데이터의 전송은 보장할 수 없게 된다. 따라서 데이터의 우선순위를 보장하기 위하여 표준에서 정의한 데이터에 따른 우선순위 4~7을 표 3과 같이 재정의한다.

WBAN은 의료용 데이터의 전송을 주목적으로 하며 비의료 데이터까지 동시에 지원하는 것을 목표로 한다. 따라서 표 3과 같이 정의된 우선순위의 보장을 위해 전송 슬롯에 에너지검출(energy detection) 구간을 추가한다. 에너지검출 구간에서 노드는 정의된 우선순위에 따른 대기시간을 가지며, 대기시간 후에는 에너지검출을 수행하여 채널의 상태를 확인하게 된다. 채널이 유희상태라면 노드는 전송을 시도하고, 채널이 혼잡 상태라면 노드는 전송을 시도하지 않는다. 표 3은 우선순위에 따른 데이터 분류와 대기시간, 전송시도시간을 나타낸다. 대기시간이란 한 전송슬롯 내에서 노드가 전송을

표 3. 우선순위 정의  
Table 3. Definition of priority

Waiting time	Transmit time	Priority	Description
0	$t_1(t_{ED})$	7, 6	Emergency or High-priority medical data
$t_{ED}$	$t_2(2 \times t_{ED})$	5	Medical data
$2 \times t_{ED}$	$t_3(3 \times t_{ED})$	4	Non-medical data

시도하기 전 대기하는 시간을 의미하며, 전송 시도 시간이란 에너지 검출이 수행 되고 전송이 시도되는 시점을 의미한다. 표 3에서  $t_{ED}$ 는 에너지검출에 소요되는 시간을 의미하며,  $t_1, t_2, t_3$ 는 우선순위에 따른 전송시점을 의미한다.

에너지검출이란 특정 주파수대역에서 수신된 신호의 에너지레벨을 측정하여 채널의 사용자 존재 유무를 판단하는 기법이다. 에너지검출을 사용하는 경우 수신 에너지가 미리 정해진 임계값을 넘지 못하면 해당 채널이 유희상태라고 판단하며, 반대로 수신 에너지가 임계값을 넘으면 채널에 사용자가 존재한다고 판단한다. 따라서 데이터 우선순위에 따라 에너지검출을 수행하기 전 대기 시간에 차이를 두어, 우선순위가 높은 데이터의 전송을 보장할 수 있다.

그림 5는 우선순위 기반 전송슬롯의 구조이며,  $d_{slot}$ 는 한 전송슬롯 내에서 데이터를 전송할 수 있는 길이이다. 하나의 전송슬롯은 Energy Detection, DATA, ACK 세 구간으로 나뉘며, 각 구간의 기능은 다음과 같다. Energy Detection구간은 노드가 전송을 시도하기 전 우선순위에 따른 대기시간 후 에너지검출을 수행하여 채널의 상태를 판단하는 구간이다. DATA구간은 노드가 실제 데이터를 전송하는 구간이며, SIFS는 노드의 전송에 대한 코디네이터의 응답까지 소요되는 최소대기시간을 의미한다.

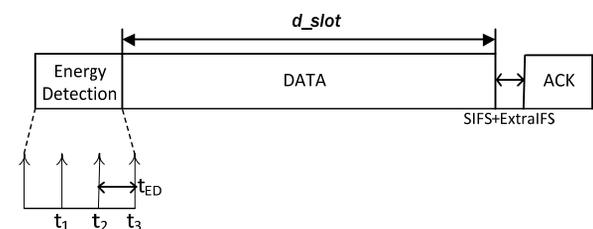


그림 5. 우선순위 기반 전송 슬롯 구조  
Fig. 5. Priority-based slot structure

```

Priority-based transmission algorithm
/*
This procedure is performed before the node i
attempts to transmit in each slot
*/
Set the wait period by priority
if wait period expires then
    Do energy detection
    if a channel is idle then
        Attempt to transmit data
        Wait for acknowledgement
        if acknowledgement does not arrived then
            Maintain a data in a queue
            Go into sleep
        else
            Remove a data from a queue
            Go into sleep
        endif
    else
        Give up transmitting
        Go into sleep
    endif
endif

```

그림 6. 우선순위 기반 전송 알고리즘의 의사코드  
 Fig. 6. Pseudo code for priority-based transmission algorithm

ACK구간은 노드가 전송한 데이터에 대한 코디네이터의 응답을 전송받는 구간이다.

그림 6은 우선순위에 따른 전송 알고리즘의 의사 코드이다. 이 알고리즘은 노드가 자신의 전송주기에서 전송을 시도하기 전 수행된다. 먼저 노드는 자신의 우선순위에 따른 대기시간  $t_i$ 를 갖는다. 대기시간 후 노드는 에너지검출을 수행한다. 에너지검출 결과 채널의 상태에 따라 다음과 같은 동작을 수행한다.

에너지검출 결과 채널이 유휴 상태이면, 노드는 데이터의 전송을 시도한다. 노드의 데이터 전송 시도 후 코디네이터로부터의 응답 수신 여부에 따라 충돌에 의한 실패인지 전송 성공인지를 결정한다. 전송한 데이터에 대해 코디네이터로부터 응답을 수신 받으면 노드는 전송에 성공한 것으로 판단하여 전송한 데이터를 큐에서 삭제한다. 반면 전송한 데이터에 대해서 코디네이터로부터 응답을 받지 못하면 충돌이 발생하여 전송에 실패한 것으로 판단하여 전송한 데이터를 큐에서 삭제하지 않고 유지한다. 반면 에너지검출 결과 채널이 혼잡 상태라고 판

단할 경우 노드는 전송을 포기하고 바로 슬립에 들어간다.

노드는 자신의 전송주기마다 그림 5와 같은 구조의 전송슬롯을 이용하여 전송을 시도한다. 이때 우선순위가 높은 데이터를 전송하는 노드의 경우 짧은 대기시간 후에 에너지검출을 수행하여 전송을 시도하고, 우선순위가 낮은 데이터를 전송하는 노드는 우선순위가 높은 데이터보다 상대적으로 긴 대기시간 후에 에너지검출을 수행하여 전송을 시도하게 된다. 따라서 우선순위가 높은 데이터를 가진 노드가 항상 채널의 상태를 다른 우선순위 데이터를 가진 노드보다 먼저 확인하여 전송을 시도함으로써 먼저 전송 할 수 있다. 낮은 우선순위의 데이터를 가진 노드의 경우 높은 우선순위 데이터를 가진 노드의 전송이 이미 시작되었다면 에너지검출 구간에서 이를 감지하여 자신의 전송을 포기함으로써 우선순위를 보장할 수 있게 된다.

### 3.3. 전송 공정성 보장

의료 데이터는 주로 생체신호 모니터링에 사용되는 데이터로 주기적인 특성을 갖는다. 따라서 서로 다른 주기를 갖는 노드의 데이터 전송 시 전송주기 중복으로 인하여 다수의 충돌이 발생할 수 있다. 또한 전송주기가 짧은 노드의 전송과 전송주기가 긴 노드의 전송에서 연속적인 충돌이 발생할 경우에는 전송주기가 긴 노드가 더 큰 전송지연을 갖는다. 따라서 서로 다른 전송주기를 갖는 노드의 전송에서 연속 된 충돌이 발생 할 경우 충돌이 발생한 노드의 우선순위를 한 단계 높여줌으로써 전송주기가 긴 노드의 전송도 공정하게 시도하여 전송 지연을 줄일 수 있다. 노드의 데이터에 따른 개선된 우선순위는 표 4와 같이 정의한다.

표 4. 개선된 우선순위 정의  
 Table 4. Enhanced definition of priority

Waiting time	Transmit time	Priority	Description
0	$t_1'(t_{ED})$	7	Collided high-priority medical data
$t_{ED}$	$t_1(2 \times t_{ED})$	6	High-priority medical data
$2 \times t_{ED}$	$t_2'(3 \times t_{ED})$	5	Collided medical data
$3 \times t_{ED}$	$t_2(4 \times t_{ED})$	4	Medical data
$4 \times t_{ED}$	$t_3(5 \times t_{ED})$	3	Non-medical data

전송 슬롯의 구조는 그림 7과 같다. 전송슬롯의 구조에서 각 구간의 기능은 우선순위 보장에서 사용되는 구조와 같지만, 에너지 검출 구간의 우선순위 정의를 개선하여 전송 공정성을 보장하고자 한다. 노드는 데이터우선순위에 따라 전송을 시도하며, 전송한 데이터의 충돌로 인한 전송실패 또는 자신보다 높은 우선순위데이터를 가지는 노드의 전송으로 인한 전송포기의 경우 우선순위를 한 단계 높여줌으로써 충돌을 회피할 수 있는 구조를 제안한다.

노드가 자신의 우선순위를 높이는 경우는 두 가지이다. 첫 번째는 노드가 자신의 전송주기에서 전송을 시도하였지만 전송에 실패한 경우, 두 번째는 노드가 자신의 전송주기에서 전송을 시도하기 전 에너지 검출구간에서 채널의 상태를 확인한 결과 채널이 혼잡상태여서 전송을 포기한 경우이다.

첫 번째 상황은 동일한 우선순위 데이터를 갖는 노드가 동일한 전송슬롯에서 전송을 시도할 경우이다. 이러한 경우 노드는 동일한 시간에 전송을 시도하게 되어 전송한 데이터의 충돌로 인해 코디네이터는 노드의 데이터를 수신할 수 없다. 따라서 노드의 전송 데이터에 대해 코디네이터는 응답을 전송하지 못한다. 이러한 경우 데이터 전송을 시도하였지만 코디네이터로부터 응답을 수신하지 못한 노드는 전송에 실패한 것을 인지하고 자신의 우선순위를 한 단계 높인다. 이후 다음 전송주기의 재전송시 한 단계 높아진 우선순위를 이용하여 전송을 시도함으로써 전송 공정성을 보장할 수 있다. 예를 들어 서로 다른 전송주기를 갖는 노드가 동일한 우선순위 데이터를 전송한다고 가정한다. 그러면 노드의 전송주기의 중복으로 인해 충돌이 발생하고, 충돌을 인지한 노드들은 자신의 우선순위를 한 단계 높인다. 이후 노드는 다음 전송시도에서 한 단계 높아진 우선순위로 데이터 전송을 시도하게 된다. 이때 전송주기가 짧은 노드의 경우 전송주기가 긴 노드보다 짧은 전송주기로 인해 먼저 재전송을 시도하게 되고, 재전송에 성공한 노드는 우선순위를 다시

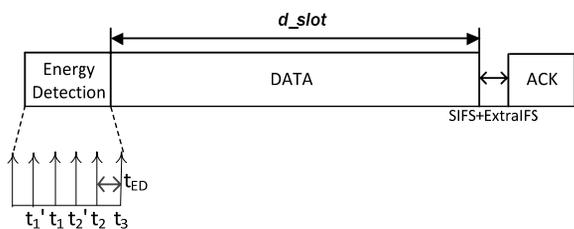


그림 7. 개선된 우선순위 기반 전송 슬롯 구조  
Fig. 7. Enhanced priority-based transmission slot structure

원래의 우선순위로 초기화하게 된다. 따라서 다음 중복되는 전송주기에서 전송주기가 긴 노드의 경우 높아진 우선순위로 전송을 시도하게 된다. 전송주기가 짧은 노드는 원래의 우선순위로 전송을 시도하고, 전송주기가 긴 노드는 한 단계 높은 우선순위로 전송을 시도함으로써 먼저 전송을 성공하여 긴 전송 지연을 방지할 수 있다.

두 번째 상황은 노드가 전송을 시도하기 전 에너지 검출로 채널의 상태를 확인한 결과 채널이 혼잡상태여서 전송을 포기하는 경우이다. 노드가 전송을 포기하게 되는 경우 자신의 우선순위를 한 단계 높임으로써 한번 전송을 포기한 노드에 우선순위를 한 단계 높여준다. 따라서 전송에 실패하거나 포기한 노드는 다른 노드보다 높은 우선순위로 전송을 시도하게 되어 전송 공정성을 보장할 수 있다.

그림 8은 개선된 우선순위에 따른 전송 알고리즘

```

Enhanced priority-based transmission algorithm
/*
This procedure is performed when the node i
transmits data in each slot
*/
Set the wait period by priority
if waiting period expires then
  Do energy detection
  if a channel is idle then
    Attempt to transmit data
    Wait for acknowledgement
    if acknowledgement does not arrive then
      Maintain a data in a queue
      Increase or maintain priority according to
      the data priority
      Go into sleep
    else
      Remove a data from a queue
      Initialize with original priority
      Go into sleep
    endif
  endif
else
  Does not transmit data
  Increase or maintain priority according to the
  data priority
  Go into sleep
endif
endif
    
```

그림 8. 개선된 우선순위 기반 전송 알고리즘의 의사코드  
Fig. 8. Pseudo code for enhanced priority-based transmission algorithm

의 의사코드이다. 이 알고리즘은 노드가 자신의 전송주기에서 전송을 시도하기 전 수행된다. 에너지 검출 결과 채널이 유휴 상태이면, 노드는 데이터의 전송을 시도한다. 이후 노드는 코디네이터로부터 응답의 수신 여부에 따라 전송 실패인지 성공인지를 결정한다. 노드가 전송한 데이터에 대해서 코디네이터로부터 응답을 수신 받는다면 전송에 성공한 것으로 판단하여 전송한 데이터를 큐에서 삭제하고 우선순위 값을 초기화한다. 반면 전송한 데이터에 대해서 코디네이터로부터 응답을 수신 받지 못한다면 충돌로 인하여 전송에 실패한 것으로 판단하여 전송한 데이터를 큐에서 삭제하지 않고 유지시키며, 우선순위에 따라 다음과 같이 동작 한다.

- 1) 노드가 전송하는 데이터의 우선순위가 7이면 현재 값을 유지한다.
- 2) 노드가 전송하는 데이터의 우선순위가 6이면 우선순위를 7로 한 단계 높인다.
- 3) 노드가 전송하는 데이터의 우선순위가 5이면 현재 값을 유지한다.
- 4) 노드가 전송하는 데이터의 우선순위가 4이면 우선순위를 한 단계 높인다.
- 5) 노드가 전송하는 데이터의 우선순위가 3이면 현재 값을 유지한다.

노드가 전송을 시도하기 전 에너지검출을 수행하여 그 결과 채널이 혼잡 상태라고 판단할 경우, 노드는 전송을 포기하고 슬립에 들어간다. 또한 노드의 데이터 전송실패 시와 같은 방식으로 우선순위를 조절한다.

#### IV. 실험 및 성능 평가

표 5. 시뮬레이션 환경  
Table 5. Simulation environment

Parameter	Value
Topology	Star
Number of nodes (N)	10, 20
$t_{ED}$	100 us
SIFS	75 us
EIFS	10 us
Bandwidth	971.4 Kbps
Slot length	1 ms
Simulation time	10 sec

이 장에서는 제안된 알고리즘의 성능을 평가하기 위한 실험 환경을 정의하고, 제안한 알고리즘과 IEEE 802.15.6 표준의 성능비교 결과를 기술한다. 본 논문에서 제안하는 전송주기 조절 알고리즘과 IEEE 802.15.6 표준에서 사용하고 있는 Slotted Aloha 전송 방식과의 비교를 위해서 동일한 환경을 기준으로 MATLAB을 이용하여 채널 사용률, 사용 에너지를 분석하였다.

##### 4.1. 실험환경

네트워크의 구성은 성형 토폴로지의 네트워크에서 발생한 노드들의 데이터가 코디네이터로 전달되는 상황으로 가정하였다. 코디네이터 주변에 존재하는 노드의 개수를 10, 20개로 변화시키고, 노드의 구성은 우선순위가 높은 의료 데이터(EEG, ECG) 노드 40%, 일반 의료 데이터 노드(EMG, Actuator) 40%, 일반 사용자 데이터 노드(Thermal) 20%로 구성하였다. EEG, ECG, EMG, Actuator, Thermal 의 데이터 수집주기는 각각 50, 250, 200, 50, 1 Hz로 설정하였다. 따라서 이들의 전송주기는 각각 20, 4, 5, 20, 1000 ms 이다. 또한  $t_{ED}$ , SIFS, EIFS 는 IEEE 802.15.6 표준을 참고하여 결정하였다.  $t_{ED}$  는 작을수록 전송율을 높일 수 있기 때문에 에너지 검출이 가능한 최소 시간으로 결정하였다. 표 5는 시뮬레이션 환경을 보여준다.

현재 IEEE 802.15.6 표준이 제정된 후 표준의 PHY 규격을 만족하는 하드웨어는 존재하지 않는다. 따라서 동일한 2400MHz를 사용하는 IEEE 802.15.4 표준에서 사용하는 전력모델을 이용하여 소비전력을 계산하여 비교분석하였으며 이에 대한 전력모델은 표 6과 같다<sup>[13,14]</sup>.

##### 4.2. 성능평가

제안하는 알고리즘과 기존 IEEE 802.15.6 Slotted Aloha 전송 방식과의 성능비교를 위하여 노

표 6. 전력소모 모델  
Table 6. Power consumption model

State	Power consumption
Receive	35.28 mW
Transmit	31.32 mW
Idle	712 uW
Energy detection	8.82 mW

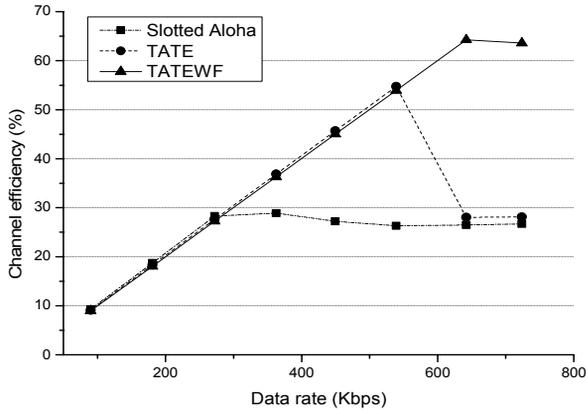


그림 9. 채널효율 (N=10)  
Fig. 9. Channel efficiency (N=10)

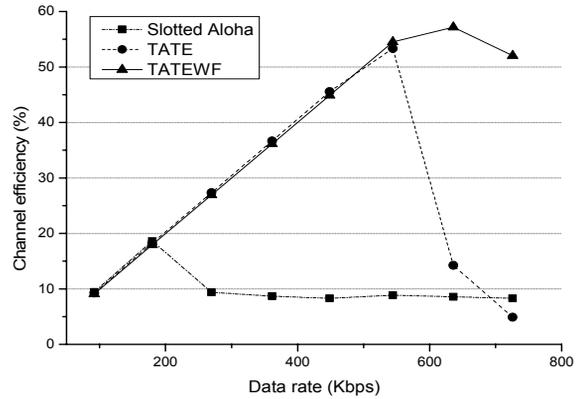


그림 11. 채널효율 (N=20)  
Fig. 11. Channel efficiency (N=20)

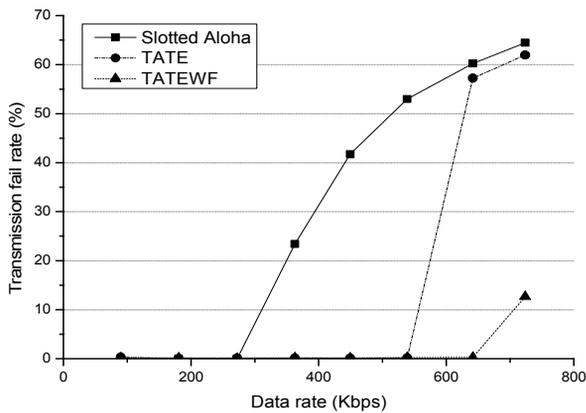


그림 10. 전송실패율 (N=10)  
Fig. 10. Transmission fail rate (N=10)

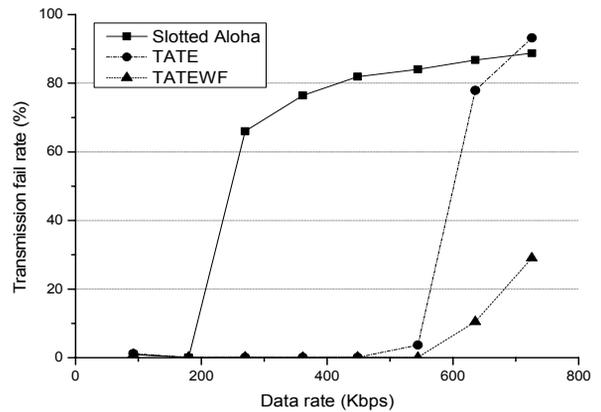


그림 12. 전송실패율 (N=20)  
Fig. 12. Transmission fail rate (N=20)

드 수와 노드들의 데이터 생성률을 변경하여 채널 효율, 소모 에너지를 비교분석 하였다. 비교대상으로는 IEEE 802.15.6 표준의 Slotted Aloha 전송 방식과 본 논문에서 제안한 우선순위 보장 알고리즘을 적용한 방식과, 전송 공정성 보장 알고리즘이 적용된 방식을 사용하였다. 그림에서 Slotted Aloha는 IEEE 802.15.6에서 사용하는 Slotted Aloha 방식을 의미하며, TATE (Traffic Adaptive Transmission algorithm for Energy Efficiency) 은 우선순위 보장 알고리즘을 적용한 방식, TATEWF (Traffic Adaptive Transmission algorithm for Energy Efficiency With Fairness)는 전송 공정성 보장 알고리즘이 적용된 방식을 의미한다.

#### 4.2.1. 채널효율 비교

그림 9와 그림 10은 노드 수가 10개일 때 채널 효율과 전송실패율을 비교한 것이다. 데이터 생성률이 270 Kbps 이하인 경우, 세 전송 방식 모두 데이터 생성률이 증가함에 따라 채널효율이 증가한다.

이것은 전체 채널에서 전송 가능한 전송률에 비해 생성되는 데이터가 적어 데이터 전송 시 충돌에 따른 전송실패율이 매우 낮기 때문이다. 반면 데이터 생성률이 360Kbps 이상이 되면 Slotted Aloha 방식의 경우 더 이상 채널 효율이 증가하지 않으며, 전송실패율이 급격히 높아진다. 이는 Slotted Aloha 전송 방식의 경우 확률에 의해 전송을 시도하기 때문에 전송 시도횟수가 제한적이고, 따라서 일정 이상의 데이터 생성률은 처리할 수 없기 때문이다. 반면에 우선순위 보장 방식 전송 방식과 전송 공정성 보장 전송 방식은 360Kbps 이상의 데이터 생성률에서도 채널효율이 증가 한다. 이는 두 방식 모두 데이터양에 따라 전송 시도 횟수를 조절하고, 우선 순위보장 알고리즘에 따라 우선순위에 따른 전송이 보장되기 때문이다. 또, 전송 공정성 보장 알고리즘이 적용된 방식이 가장 높은 최대 채널 효율을 나타내는데 이는 노드가 전송에 실패하거나 포기하는 경우 우선순위를 변경함으로써 전송 시 충돌을 줄일 수 있기 때문이다. 우선순위보장 알고리즘의 경

우 전송실패율이 높아질 때 채널 효율이 급격히 떨어지는 것을 확인할 수 있으며 채널 효율이 Slotted Aloha 방식의 채널효율까지 떨어지는 것을 확인 할 수 있다. 이는 우선순위보장 알고리즘의 경우 데이터 전송율이 높아지게 되면 거의 모든 노드가 최소 전송주기로 전송하게 되고 따라서 일반 Slotted Aloha 방식과 유사하게 동작하기 때문이다. 하지만 전송 공정성 보장 전송 방식을 적용할 경우 실패한 노드들의 연속 실패를 회피할 수 있기 때문에 채널 효율의 급격한 하락은 보이지 않는다.

그림 11과 그림12는 노드 수가 20개일 때 채널 효율과 전송 실패율이다. 노드 수가 증가함에 세 방식 모두 충돌 확률의 증가로 인하여 노드 수가 10개일 때 보다 최대 채널 효율이 약 10% 낮아진다. Slotted Aloha 방식은 데이터 생성률 180Kbps, 우선순위 보장 방식은 데이터 생성률 450Kbps, 전송 공정성 보장 방식은 데이터 생성률 540Kbps에서 최대 채널 효율을 나타낸다. Slotted Aloha 전송 방식에 비해 약 우선순위 보장 방식은 26.9%, 전송 공정성 보장 방식은 약 35.9% 채널 효율이 높다.

4.2.2. 전송지연 비교

그림 13은 노드 수가 20개일 때 전체 노드가 데이터를 전송하는데 걸리는 지연시간을 나타낸 것이다. 데이터 생성율이 100Kbps 미만일때에는 Slotted Aloha 방식이 가장 짧은 평균 전송 지연시간을 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 이때의 차이는 1~2 ms 이내로 어플리케이션 요구사항중 최대 지연시간 허용범위 이내를 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 하지만 데이터 생성률이 200Kbps를 넘게 되면 Slotted Aloha의 경우 평균 전송시간이 3000 ~ 4000 ms 를 넘게되어 최대지연시간 허용범위를 초과하게 된다. 또한 우선순위 보장 방식은 Slotted Aloha 보다는 더 높은 데이터 생성률 까지 최대 전송지연 허용범위에 있는 것을 확인 할 수 있지만 이 역시 채널 효율그래프에서 효율이 급격히 떨어지는 시점부터 지연시간이 급격히 증가하는 것을 확인 할 수 있다. 지연시간의 경우 노드의 수보다는 데이터 생성율에 따라 변화하였기 때문에 노드가 20인경우만 나타내었다.

4.2.3. 에너지소모량 비교

그림 14은 노드 수가 10개일 때 전체 노드가 데이터를 전송하는데 소비한 에너지이다. Slotted Aloha 방식은 데이터 생성률 270Kbps에서 최대 채

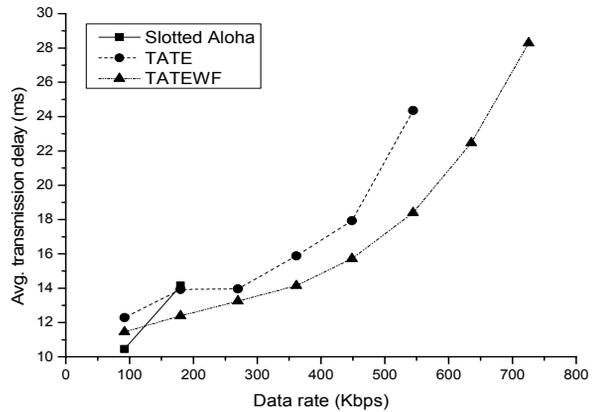


그림 13. 평균 전송 지연시간 (N=20)  
Fig. 13. Average transmission delay (N=20)

널 효율을 나타내며, 에너지소모량은 약 181mJ이다. 같은 데이터생성률에서 우선순위 전송 방식은 약 104.9mJ, 전송 공정성 보장 방식은 약 98.7mJ의 에너지를 소모한다. 이는 Slotted Aloha 방식의 경우 최대 채널 효율을 내기 위해 다수의 충돌에 의한 재전송이 발생하기 때문에 에너지 소모량이 큰 것을 알 수 있다. 반면 제안하는 우선순위 전송 방식은 데이터양에 따라 노드의 전송횟수를 결정하고 우선순위에 따른 충돌 회피 방식을 사용하기 때문에 충돌이 적게 발생하여 Slotted Aloha 방식보다 에너지소모량이 적음을 알 수 있다. 또 전송 공정성 방식의 경우 전송주기가 다른 같은 우선순위 전송에서 충돌이 발생할 경우 우선순위 변경을 통하여 충돌수를 줄일 수 있기 때문에 충돌수의 감소로 인해 에너지소모량이 가장 적음을 알 수 있다.

그림 15은 노드 수가 20개일 때 전체 노드가 데이터를 전송하는데 소비한 에너지이다. 노드 수가 증가함에 따라 충돌 확률의 증가로 인해 노드 수 10개일 때보다 같은 데이터생성률에서도 에너지 소

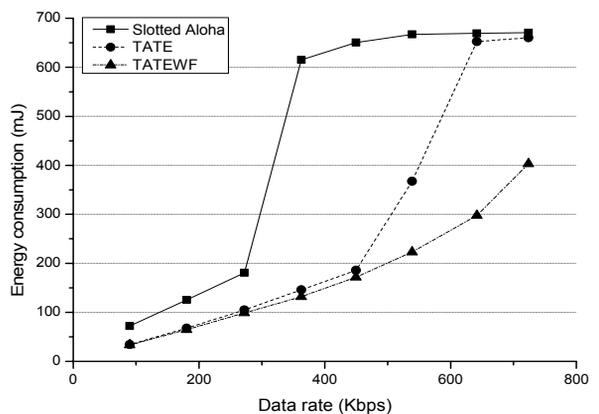


그림 14. 에너지소모량 (N=10)  
Fig. 14. Energy consumption (N=10)

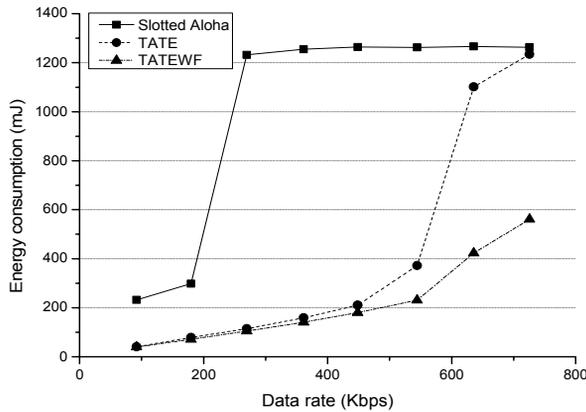


그림 15. 에너지소모량 (N=20)  
Fig. 15. Energy consumption (N=20)

모량이 많음을 알 수 있다. Slotted Aloha 방식이 최대 채널 효율을 나타내는 데이터 생성률 180Kbps 에서 에너지 소모량은 약 298.6mJ이다. 반면 같은 데이터생성률에서 우선순위 보장 방식은 약 78.4mJ, 전송 공정성 방식은 71.5mJ의 데이터 소모량을 나타낸다. 또한 우선순위 보장 방식은 최대 채널 효율을 나타내는 데이터생성률 540Kbps까지 낮은 에너지소모량을 나타낸다. 전송 공정성 보장 방식은 우선순위 보장 방식보다 같은 데이터생성률에서 충돌 발생 시 우선순위 변경을 통한 충돌의 감소로 인해 더 낮은 에너지소모량을 나타냄을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.15.6 표준의 RAP구간에서 에너지효율적인 전송을 위하여 노드의 전송해야 하는 데이터양에 따른 전송주기 조절 알고리즘을 제안하였다. 또한 데이터 우선순위에 따른 전송 보장을 위하여 에너지검출 구간을 추가하여 우선순위를 보장할 수 있는 구조를 제안하였으며, 다른 전송주기를 갖는 같은 우선순위데이터 전송에서 충돌을 줄이기 위하여 전송에 실패한 노드의 우선순위를 높여줌으로써 충돌을 줄일 수 있는 방법을 제안하였다.

제안한 알고리즘의 성능평가를 위하여 성형 토폴로지의 네트워크에서 발생한 노드들의 데이터가 코디네이터로 전달되는 상황을 실험하였다. 노드 수와 데이터 생성률에 따른 채널효율의 비교에서 우선순위 보장 방식의 경우 평균 26.7%, 전송 공정성 보장 방식의 경우 평균 35.9% 최대 채널 효율이 향상 되었다. 또한 데이터 전송지연 측면에서도 큰 변화가 없으면서도 더 높은 데이터 전송이 일어날 때

에서 전송지연을 확연히 줄여주는 것을 확인할 수 있었다. 노드 수와 데이터생성률에 따른 에너지소모량 비교에서 우선순위 보장 방식의 경우 평균 57.9% 향상되었고, 전송 공정성 보장 방식의 경우 평균 60.7% 향상되었다. 따라서 노드의 전송해야 하는 데이터양에 따라 전송주기를 결정하는 알고리즘이 효율적이라는 것을 알 수 있다.

### References

- [1] B. Latre, B. Braem, I. Moerman, C. Blondia, and P. Demeester, "A survey on wireless body area networks," *J. Wireless Networks*, vol. 17, no. 1, pp. 1-18, Jan. 2011.
- [2] W. S. Choi and J. G. Kim, "A study for co-channel interference cancelation algorithm with channel estimation for WBAN system application," *J. KICS*, vol. 37, no. 6, pp. 476-482, Jun. 2012.
- [3] J. Y. Khan, M. R. Yuce, and G. Bulger, "Wireless Body Area Network (WBAN) design techniques and performance evaluation," *J. Medical System*, vol. 36, no. 3, pp. 1441-1457, Jun. 2012.
- [4] N. F. Timmons and W. G. Scanlon, "Analysis of the performance of IEEE 802.15.4 for medical sensor body area networking," in *Proc. IEEE Commun. Soc. Conf. Sensor Ad Hoc Commun. Networks (SECON)*, pp. 16-24, Santa Clara, U.S.A., Oct. 2004.
- [5] J. H. Kim, I. S. Song, E. M. Jang, and S. B. Choi, "A dynamic duty cycle MAC algorithm for Wireless Body Area Networks," *Int. J. Bio-Sci. Bio-Technol.*, vol. 4, no. 2, pp. 83-92, Jun. 2012.
- [6] O. Omei, A. Wong, A. J. Burdett, and C. Toumazou, "Energy efficient medium access protocol for Wireless Medical Body Area sensor networks," *IEEE Trans. Biomed. Circuits System*, vol. 2, no. 4, pp. 251-259, Dec. 2008.
- [7] I. E. Lamprinos, A. Prentza, E. Sakka, and D. Koutsouris, "Energy-efficient MAC Protocol for Patient Personal Area Networks," in *Proc. Int. Conf. Eng. Medicine Biology Soc.*

(EMBS), pp. 3799-3802, New York City, U.S.A., Jan. 2006.

[8] Y. Zhang and G. Dolmans, "A new priority-guaranteed MAC protocol for Emerging Body Area Networks," in *Proc. Int. Conf. Wireless Mobile Commun. (ICWMC)*, pp. 140-145, Cannes/La Bocca, France, Aug. 2009.

[9] IEEE Standard Association, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks," IEEE Std 802.15.6, Feb. 2012.

[10] K. S. Kwak, S. Ullah, and N. Ullah, "An overview of IEEE 802.15.6 Standard," in *Proc. Int. Symp. Applied Sci. Biomedical Commun. Technol. (ISABEL)*, pp. 1-6, Rome, Italy, Nov. 2010.

[11] F. Martelli, C. Buratti, and R. Verdone, "On the performance of an IEEE 802.15.6 Wireless Body Area Network," in *Proc. Wireless Conf. - Sustainable Wireless Technol. (European Wireless)*, pp. 1-6, Vienna, Austria, Apr. 2011.

[12] S. Rashwand, J. Mišić, and H. Khazaee, "IEEE 802.15.6 under saturation: Some problems to be expected," *J. Commun. Networks (JCN)*, vol. 13, no. 2, pp. 142-148, Apr. 2011.

[13] I. Ramachandran and S. Roy, "Clear channel assessment in energyconstrained wideband wireless networks," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 14, no. 3, pp. 70-78, Jun. 2007.

[14] S. Y. Shin, I. Ramachandran, S. Roy, and W. H. Kwon, "Cascaded clear channel assessment: Enhanced carrier sensing for cognitive radios," in *Proc. IEEE Int. Conf. Commun.*, pp. 6532-6537, Glasgow, Scotland, Jun. 2007.

김진혁 (Jinhyuk Kim)



2009년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업  
 2011년 2월 인하대학교 전자공학과 석사  
 2011년 3월~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정  
 <관심분야> 멀티미디어 통신, 무선 통신, 컴퓨터 네트워크, 병렬 및 분산 컴퓨팅

홍창기 (Changki Hong)



2011년 2월 인하대학교 전자공학과 졸업  
 2013년 2월 인하대학교 전자공학과 석사  
 2013년 3월~현재 LG 전자 <관심분야> 컴퓨터 네트워크, 병렬 및 분산 컴퓨팅

최상방 (Sangbang Choi)



1981년 2월 한양대학교 전자공학과 졸업  
 1981년 ~ 1986년 LG 정보통신(주).  
 1988년 2월 University of Washington 석사  
 1990년 2월 University of Washington 박사  
 1991년~현재 인하대학교 전자공학과 교수  
 <관심분야> 컴퓨터 구조, 컴퓨터 네트워크, 무선 통신, 병렬 및 분산 처리 시스템