

## WBAN 환경에서 동적 우선순위를 적용한 MAC 프로토콜에 관한 연구

정필성<sup>1</sup> · 조양현<sup>2\*</sup>

### A Study on MAC Protocol with Dynamic Priority Adjustment in WBAN

Pil-Seong Jeong<sup>1</sup> · Yang-Hyun Cho<sup>2\*</sup>

<sup>1</sup>Saman Corporation, Prime Center, 546-4, Guui-dong, Gwangjin-gu, Seoul, Korea

<sup>2\*</sup>Division of Computer Science, Sahmyook University, Seoul 139-742, Korea

#### 요 약

IEEE 802.15.6 표준화 문서에서 WBAN을 위한 MAC 프로토콜은 의료용 센서 노드의 주기적인 데이터를 효율적으로 처리하기 위해서 8단계로 나누어진 트래픽 우선순위를 기준으로 응급 상황에서 발생하는 트래픽을 가장 높은 우선순위로 처리하는 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 알고리즘을 수행하게 된다. 노드가 전송하는 응급 메시지는 충돌이 발생하게 되고 응급 메시지 전송을 위한 전송 지연을 만족하지 못하는 상황이 발생할 수 있으며 재전송으로 인한 에너지 낭비를 가져올 수 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점들을 해결하기 위해서 다음과 같이 WBAN 환경에서 데이터 종류와 전송률을 고려한 CSMA/CA 알고리즘 요소기술을 제안하였다. 성능평가 결과 제안한 MAC 프로토콜을 사용했을 때 IEEE 802.15.6을 사용했을 때 보다 충돌 확률이 감소하여 패킷 전송 성공률과 에너지 효율이 개선된 것을 확인할 수 있었다.

#### ABSTRACT

To support the WBAN, IEEE 802.15 Task Group 6 announced standardized documents on technical requirements of the PHY and MAC. In the IEEE 802.15.6 MAC protocol, CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) algorithm is performed based on the eight-level priorities according to the type of traffics of the periodic data from medical sensor nodes. Several nodes, which detected the changed bio signals, transmit emergency data at the same time, so latency could be higher than emergency latency and energy consumption will increase. In this thesis, we proposed a CSMA/CA algorithm in WBAN to solve these problems. Simulations are performed using a Castalia based on the OMNeT++ network simulation framework to estimate the performance of the proposed superframe and algorithms. Performance evaluation results show that the packet transmission success rate and energy efficiency are improved by reducing the probability of collision using the proposed MAC protocol.

**키워드** : 유헬스, 슈퍼프레임, WBAN, IEEE 802.15.6, CSMA/CA

**Key word** : u-Health, Superframe, WBAN, IEEE 802.15.6, CSMA/CA

접수일자 : 2014. 05. 18 심사완료일자 : 2014. 06. 13 게재확정일자 : 2014. 06. 30

\* **Corresponding Author** Yang-Hyun Cho(E-mail:yhcho@syu.ac.kr, Tel:+82-2-3399-1787)

Division of Computer Science, Sahmyook University, Seoul 139-742, Korea

**Open Access** <http://dx.doi.org/10.6109/jkiice.2014.18.7.1589>

print ISSN: 2234-4772 online ISSN: 2288-4165

©This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.  
Copyright © The Korea Institute of Information and Communication Engineering.

## I. 서론

WBAN은 인체 영역 3m 이내의 인체 내부, 피부 표면, 인체 외부에 위치한 통신 장치들로부터 정보를 수집하는 근거리 통신의 새로운 응용 서비스 분야이다[1, 2]. WBAN은 코디네이터 (Coordinator)의 역할을 수행하는 허브(Hub)와 인체 내부 및 외부에 위치하며 생체 정보를 수집하는 노드(Node) 그리고 원거리의 헬스케어 개인 소비자용 전자 제품(Consumer Electronics)으로 구성되어 다양한 유비쿼터스 헬스케어 서비스를 제공한다.

IEEE 802.15 Working Group은 IEEE 802.15 Task Group 6을 구성하여 2012년 2월 WBAN을 위한 PHY와 MAC의 기술적 요구사항에 관한 표준화 문서를 발표하였다. IEEE 802.15.6은 의료 분야를 주요 관심 분야로 하며 CE 응용 분야까지 동시에 제공하는 것을 목표로 한다. 또한 저전력 요구사항을 만족하면서 3m 이내의 매우 작은 범위에서의 인체 영역 통신을 수행하고 10kbps부터 10Mbps까지 유연한 전송 속도를 제공해야 한다[3, 4].

IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜에서는 의료용 센서 노드의 주기적인 데이터와 응급 메시지 전송을 효율적으로 처리하기 위한 슈퍼프레임 구조를 가지며 우선순위 전송을 위한 CSMA/CA 알고리즘을 수행한다. IEEE 802.15.6에서는 전송하는 데이터의 트래픽에 따라서 8단계로 나누어진 우선순위 전송을 위한 CSMA/CA 알고리즘을 수행하게 된다[5].

그 중에서 응급 상황이 발생했을 때 전송되는 응급 메시지는 측정 부위에 상관없이 모두 동일하게 가장 높은 우선순위를 갖게 된다. 응급 상황이 발생하게 되면 인체는 특정 부위에서만 변화를 일으키는 것이 아니라 동시에 변화를 일으키게 되며 이를 감지한 노드들이 동시에 전송을 시도하게 된다. 예를 들면 환자의 열이 올라가면 혈압, 호흡량, 혈중 산소포화도, 심박수 등이 같이 변화를 일으키게 된다. 이러한 이유로 응급 메시지를 전송하기 위해서 노드들은 데이터 전송을 위해 경쟁을 하게 되고 응급 메시지 충돌로 인해 응급 메시지 전송을 위한 전송 지연을 만족하기 못하거나 충돌로 인한 에너지 소모율 증가의 문제점이 발생하게 된다[6-8].

본 논문에서는 IEEE 802.15.6의 문제점인 동일한 우선순위를 가지는 응급 메시지를 전송하기 위한 노드의 슬롯 경쟁 문제를 해결하기 위한 MAC 프로토콜을 다음과 같이 제안하였다. 경쟁구간에서 전송주기와 환자의 병력에 근거하여 트래픽 우선순위를 가지도록 하여 응급 메시지 전송 확률을 높일 수 있는 WBAN을 위한 CSMA/CA 알고리즘을 제안하였다. 제안한 CSMA/CA 알고리즘을 수행하기 위해서 MAC 프로토콜 Frame Control의 Frame Type과 Frame Subtype의 Reserved 영역을 활용하였다.

제안하는 MAC 프로토콜의 성능평가를 위해서 NICTA (National ICT Australia)에서 BAN(Body Area Network) 및 WSN(Wireless Sensor Network)의 시뮬레이션에 대해 개발된 OMNeT++ 네트워크 시뮬레이션 프레임워크 기반의 Castalia를 사용하였다. 성능평가를 통해 제안하는 MAC 프로토콜을 사용하게 되면 노드의 패킷 전송 충돌 확률을 감소시켜 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜을 사용할 때보다 데이터 처리량과 에너지 효율이 개선됨을 확인할 수 있었다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 WBAN과 IEEE 802.15.6에 관한 이론을 설명하고 제 3장에서는 제안하는 우선순위 CSMA/CA 알고리즘에 관하여 설명한다. 제 4장에서는 제안한 MAC 프로토콜의 성능평가를 수행하고 결과에 따른 성능을 비교한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 이론

### 2.1. WBAN 응용 구분에 따른 요구 사항

WBAN은 응용 구분에 따라서 요구 사항이 다르게 적용된다. 응용 구분에 따른 요구 사항은 전송 속도, 데이터 타입, 사용 빈도, 디바이스 장착 형태 등을 기준으로 구분된다. 표 1은 데이터 전송 속도와 메시지 전송 빈도 및 주기/비주기성을 구분하여 응용에 따른 클래스 구분을 나타낸다. 메시지 클래스를 저속 전송의 제어 메시지부터 고속 전송의 동영상 전송으로 나누었으며 응용 구분에 따른 요구 사항과 디바이스의 장착 위치 및 의료용과 비의료용 구분에 따른 트래픽 전송 우선순위가 구분이 필요하다.

표 1. 전송률과 용도에 따른 WBAN 요구 사항  
Table. 1 WBAN requirements per data rate and purpose

분류	트래픽 종류 및 전송률	용도
Class 1	Low data rate Temporarily occasional Low traffic	CE control Game control
Class 2	Low data rate Regularly generated every day, every time	Implant devices Periodic monitoring Periodic health check
Class 3	High data rate Temporarily occasional High traffic	Multimedia services Video streaming Gaming service
Class 4	High data rate Regularly generated High traffic	Life video recording

2.2. IEEE 802.15.6 트래픽 우선순위

IEEE 802.15.6에서는 표와 같이 데이터 프레임에 포함되어 있는 트래픽의 종류에 따라서 트래픽 우선순위를 나누어 프레임을 처리 한다. 트래픽의 분류 중에서 Background, Best Effort, Excellent Effort, Video, Voice, Network Control 트래픽은 IEEE Std 802.1DTM-2004의 부록 G.1에 정의 되어 있는 내용을 따르고 있다. 의료용 트래픽은 높은 우선순위를 가지며 응급 상황에서 발생하는 응급 트래픽과 체내 이식형 장비에서 발생하는 트래픽은 동일한 우선순위를 가진다.

표 2. 트래픽에 따른 사용자 우선순위  
Table. 2 User priority per traffic

우선순위	트래픽	CWmin	CWmax
0	Background(BK)	16	64
1	Best effort(BE)	16	32
2	Excellent effort(EE)	8	32
3	Video(VI)	8	16
4	Voice(VO)	4	16
5	Medical data or network control	4	8
6	High-priority medical data or network control	2	8
7	Emergency or medical implant event report	1	4

표 2는 IEEE 802.15.6에서의 트래픽 우선 순위와 CSMA/CA 알고리즘에 사용된 백오프 파라미터를 나타낸다. 사용자 우선순위(User priority)가 클수록 우선순위가 높으며 먼저 처리되어야 한다. IEEE 802.15.6에서

는 우선순위가 높은 트래픽을 먼저 처리하기 위해서 노드는 표와 같이 경쟁 윈도우의 최솟값과 최댓값인 CWmin과 CWmax를 다르게 적용하는 CSMA/CA 알고리즘을 수행한다.

2.3. CSMA/CA 알고리즘

CSMA/CA 알고리즘은 CAP 구간에서 전송되는 데이터나 MAC 명령어 프레임 전송 전에 사용되며 Beacon 프레임의 전송, ACK 프레임 전송용으로는 사용되지 않는다. CSMA/CA 알고리즘은 백오프 기간(Backoff period)이라 불리는 시간 단위를 사용하여 구현되며 하나의 백오프 기간은 63 심볼로 정의된다. 그림 1은 CSMA/CA 알고리즘 절차를 나타낸다.

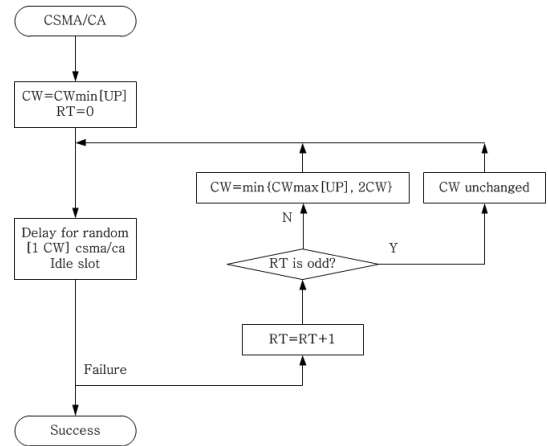


그림 1. CSMA/CA 알고리즘 절차  
Fig. 1 Procedure of CSMA/CA algorithm

Slotted CSMA/CA에서 WBAN에 있는 모든 장치의 백오프 기간 경계는 허브의 슈퍼프레임 슬롯 경계와 일치시킨다. 즉, 각 노드의 첫 번째 백오프 기간의 시작은 Beacon 전송의 시작과 일치시킨다. Slotted CSMA/CA에서 MAC 부계층은 PHY가 백오프 기간의 경계에서 모든 전송이 시작되는 것을 보장한다. 각 노드들은 매 전송에 대해 백오프 횟수(Backoff Counter)와 경쟁 윈도우(Contention Window)를 관리한다. CSMA/CA 알고리즘에서 현재의 전송 동안에 시도된 백오프 횟수는 매번 새로운 전송 시도 전에 0으로 초기화된다. CW는 경쟁 윈도우 길이이며, 전송이 시작되기 전에 채널 활동이 깨끗해지는 데 필요한 백오프 기간으로 정의된다.

CW는 무한이 증가되는 것이 아니라 우선순위에 따라 지정되어 있는 최대값인  $CW_{max}[UP]$  보다 작은 값으로 증가한다.

### III. 제안하는 MAC 프로토콜

제안하는 MAC 프로토콜은 WBAN을 구성하는 노드의 데이터 전송 속도가 1~250Kbps 저속 데이터 전송률을 가지는 신체 부착형 노드를 사용하는 환경을 기준으로 한다. 표 3과 같이 메시지 종류와 데이터 전송률에 따라서 유연성을 가질 수 있도록 노드의 Class를 구분하고 우선순위를 분류하였다. 허브는 네트워크를 구성할 때 노드로부터 받은 측정 데이터의 의료 메시지를 기준으로 노드에게 우선순위를 부여한다.  $CW_{max}$ 가 8 이상으로 설정되면 IEEE 802.15.6에서 요구하는 애플리케이션 전송지연을 만족할 수 없으므로 본 논문에서는 Class를 4단계로 구분하여 우선순위를 처리하도록 제안하였다.

표 3. 전송률과 용도에 따른 WBAN 요구 사항  
Table. 3 WBAN requirements per data rate and purpose

분류	전송률 (Kbps)	메시지	$CW_{min}$	$CW_{max}$
Class 1	1~80	제어 메시지	4	8
Class 2	81~160	의료용 메시지	2	8
Class 3	161~250	• 의료용 메시지 • 환자 병력과 관련도가 낮은 응급 메시지	2	4
Class 4	1~250	환자 병력과 관련도가 높은 응급 메시지	1	2

Class 1은 가장 낮은 우선순위를 가지며 1~80Kbps 전송률을 가지는 노드 또는 제어 메시지를 처리하는 노드가 속하는 분류이다. Class 2로 분류되는 노드는 의료용 메시지를 전달하는 노드 중에서 81~160Kbps 전송률을 가지는 노드이다. Class 3으로 분류되는 노드는 의료용 메시지를 전달하는 노드 중 161~250Kbps 전송률을 가지는 노드이다. 응급 메시지를 전달하는 노드 중에서 환자의 병력과 관련도가 낮은 응급 메시지를 전달하는 노드 역시 Class 3으로 분류하였다. Class 4는 노드의 전송률에 상관없이 환자의 병력과 관련된 응급 메시지를

전달하는 노드가 속하는 분류로서 가장 높은 우선순위를 가진다. Class 4는 메디컬 서버 또는 게이트웨이를 통해 얻은 정보를 기준으로 허브가 노드에게 부여하는 우선순위로써 환자의 병력에 따라서 우선순위가 다르게 적용된다. 예를 들어 고위험군 환자 중에서 고혈압 환자는 혈압을 측정하는 노드를 Class 4로 분류하여 가장 높은 우선순위로 처리하고 체온이나 맥박 및 심박수를 측정하는 노드를 Class 1부터 Class 3으로 지정한다. Contention Access Phase에서 다양한 전송률을 가지는 노드의 데이터 전송 효율을 높이기 위해서 전송률을 기준으로 Class 1 부터 Class 3 까지 분류하였다. 응급 메시지를 전송하는 노드의 경우 환자 병력과 관련된 메시지는 Class 4로 분류하고 그렇지 않은 응급 메시지는 Class 3으로 분류하여 IEEE 802.15.6에서 동일한 우선순위를 가지는 응급 메시지 처리 알고리즘의 문제점인 패킷 처리율 감소와 전송 지연을 만족하지 못하는 문제를 해결하고 에너지 소모율을 개선하였다.

제안하는 메시지 프레임은 환자 병력에 따른 응급 메시지 처리와 전송률에 따른 주기적인 메시지 처리를 위하여 Frame Control의 Frame Subtype 필드와 Frame Type 필드의 Reserved 영역을 확장하였다. 표 4는 확장을 위해 사용된 Frame Subtype 필드와 Frame Type 필드 영역 및 각각의 필드 값을 나타낸다. Reserved 영역을 사용하기 위해서 Frame Type은 11로 고정되며 Frame Subtype은 분류에 따라서 각각 다른 값을 가진다. 노드는 데이터 프레임을 분류하기 위해서 Frame Type과 Frame Subtype의 값을 비트맵 방식으로 비교하여 자신에게 알맞은  $CW_{min}$ 과  $CW_{max}$ 를 설정하게 된다.

표 4. Frame Type과 Frame Subtype 필드  
Table. 4 Frame Type and Frame Subtype field

분류	Frame Type	Frame Subtype
Class 1	11	0001
Class 2	11	0010
Class 3	11	0011
Class 4	11	0100

#### 3.1. 주기적인 메시지 전송을 위한 CSMA/CA 알고리즘

제안한 CSMA/CA 알고리즘은 MAC 프레임 종류에 따라 주기적인 메시지와 응급 메시지를 나누어서 처리한다. 그림 2는 주기적인 메시지를 전송하는 노드의 데

이터 처리를 위한 CSMA/CA 알고리즘의 흐름도이다. 제안하는 CSMA/CA 알고리즘을 사용하여 경쟁을 통해 데이터를 전송하는 구간인 Contention Access Phase에서 다양한 전송률에 따라서 CWmin과 CWmax를 다르게 적용하여 데이터 프레임의 전송 충돌 확률을 줄이고 노드의 채널 접근을 분산시킴으로써 노드의 데이터 전송 효율을 높일 수 있다. 노드는 자신이 지원하는 데이터 프레임을 확인하여 주기적인 메시지로 구분될 경우 제어 메시지 또는 1~80Kbps 데이터 전송률을 가지는 노드의 의료용 메시지는 Class 1으로 분류하여 CWmin을 4, CWmax를 8로 설정한다. 81~160Kbps 데이터 전송률을 가지는 노드는 Class 2로 분류하여 CWmin을 2, CWmax를 8로 설정하고 161~250Kbps 데이터 전송률을 가지는 노드는 Class 3으로 분류하여 CWmin을 2, CWmax를 4로 설정한다.

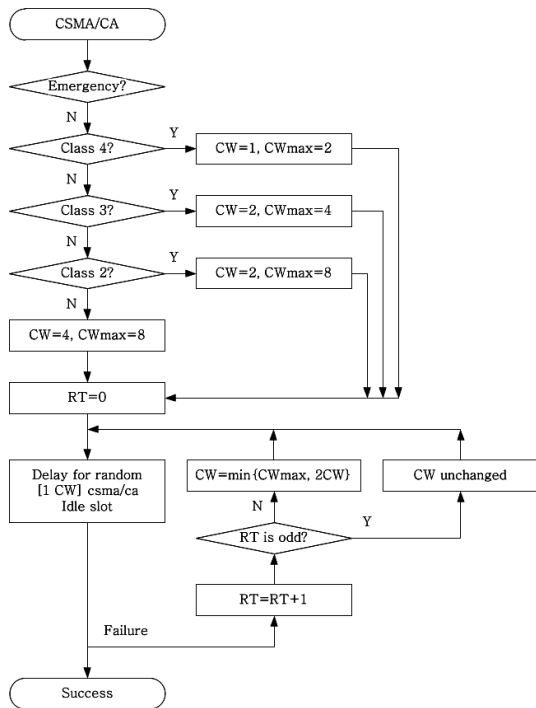


그림 2. 주기적인 메시지 처리를 위한 제안 CSMA/CA 알고리즘  
Fig. 2 Proposed CSMA/CA algorithm for periodic message

### 3.2. 응급 메시지 전송을 위한 CSMA/CA 알고리즘

그림 3은 응급 메시지를 지원하기 위한 제안하는 CSMA/CA 알고리즘의 흐름도이다. 노드가 전송하고

자 하는 데이터 프레임이 응급 메시지로 분류될 경우 환자 병력과 관련도가 높은 응급 메시지는 Class 4로 분류하여 CWmin을 1, CWmax를 2로 설정한다. 응급 메시지로 분류되지만 환자 병력과 관련도가 낮은 응급 메시지는 Class 3으로 분류하여 CWmin을 2, CWmax를 4로 설정함으로써 모든 응급 메시지를 동일한 우선순위로 처리할 때 발생하는 데이터 프레임 충돌 확률 증가와 재전송으로 인한 에너지 소모율 증가 문제를 개선하였다.

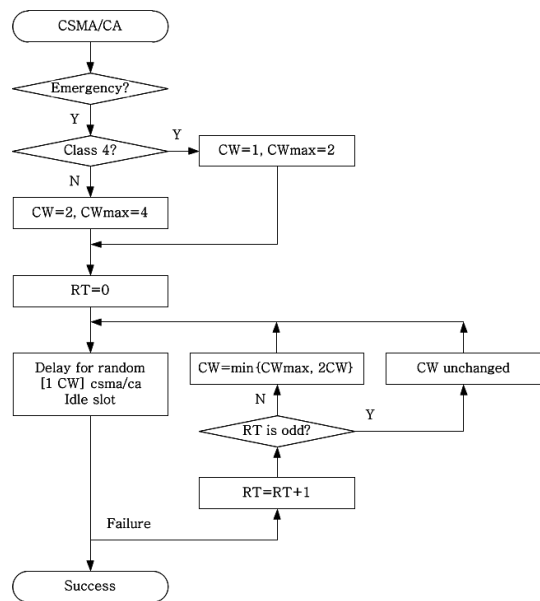


그림 3. 응급 메시지 처리를 위한 제안 CSMA/CA 알고리즘  
Fig. 3 Proposed CSMA/CA algorithm for emergency message

## IV. 성능평가

본 장에서는 제안하는 MAC 프로토콜의 성능을 평가하기 위해서 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜을 기반으로 하는 WBAN 시스템 모델과 제안하는 MAC 프로토콜을 기반으로 하는 WBAN 시스템 모델에서의 패킷 처리율, 패킷 전송량, 에너지 소모율을 비교 하였다. 성능 평가를 위해서 NICTA (National ICT Australia)에서 개발한 OMNeT++ 네트워크 시뮬레이션 프레임워크 기반의 Castalia를 사용하였다.

4.1. 성능평가 환경

제안하는 MAC 프로토콜 기반의 WBAN 시스템 모델의 성능평가를 위해서 NICTA에서 개발한 OMNeT++ 네트워크 시뮬레이션 프레임워크 기반의 Castalia를 사용하였다. Castalia는 WSN(Wireless Sensor Network)이나 BAN(Body Area Network)와 같이 저전력을 요구하는 임베디드 장치의 성능평가를 위한 네트워크 시뮬레이션 툴이다. OMNeT++ 플랫폼에 기반을 두고 동작하며 새로운 알고리즘 또는 프로토콜을 적용하기 용이하며 다양한 무선 채널 접근 방법 및 이동성을 가진 장치를 지원한다[9, 10]. 본 논문에서는 저속 데이터 전송률을 가지는 착용형 의료용 노드로 구성된 WBAN의 성능을 평가하기 위해서 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜을 기반으로 하는 노드로 구성된 WBAN의 성능과 3장에서 제안하는 기능을 가진 MAC 프로토콜을 기반으로 하는 노드로 구성된 WBAN의 성능을 비교하였다. Castalia에서는 그림 4와 같이 설정된 시나리오에 따라 지연 시간, 수신된 패킷 수, 수신된 비컨의 수, 버려진 패킷 수, 소모된 에너지 등 다양한 결과물을 확인할 수 있다.

```

sung2ne@cnlab3:~/Castalia-3.2/Simulations/BANtest5$ CastaliaResults -i 121007-155916.txt
-----
Module | Output | Dimensions |
-----|-----|-----|
Application | Application level latency, in ms | 1x1(31) |
Communication.MAC | Fraction of time without PAN connection | 5x1 |
 | Number of beacons received | 5x1 |
 | Number of beacons sent | 1x1 |
 | Packet breakdown | 5x1(6) |
Communication.Radio | RX pkt breakdown | 6x1(5) |
 | TXed pkts | 6x1 |
ResourceManager | Consumed Energy | 6x1 |
wirelessChannel | Fade depth distribution | 1x1(14) |
-----
NOTE: select from the available outputs using the -s option
sung2ne@cnlab3:~/Castalia-3.2/Simulations/BANtest5 █
    
```

그림 4. 시뮬레이션 결과 파라미터  
Fig. 4 Simulation result parameters

4.2. 성능평가 파라미터

제안하는 MAC 프로토콜의 성능 평가를 위해서 구성된 WBAN 시스템 모델은 스타 토폴로지를 사용하였다. 네트워크를 구성하는 노드는 3m×3m 이내에 불규칙하게 배치하였으며 1개의 허브와 나머지 노드로 구성되는 네트워크 환경을 사용하였다. 성능평가를 위한 시뮬레이션 시간은 100초로 설정하였으며 100초 이외에 1초의 MAC Setup 시간을 가진다. 허브는 주기가 시작될 때마다 Beacon 메시지를 전송하도록 하였다. WBAN 시스템 모델에서 사용된 트래픽 파라미터는 표

5와 같다.

표 5. 트래픽 파라미터  
Table. 5 Traffic parameters

항목	값
트래픽 종류	Constant Bit Rate
토폴로지	스타 토폴로지
통신 범위	3m × 3m
트래픽 방향	양방향
패킷 크기	100 bytes
시뮬레이션 시간	100 초

시뮬레이션을 통한 노드의 에너지 소모율을 구하기 위해서 CC2420의 전기적 특징을 이용하였다. CC2420의 전류 소모는 수신모드에서 19.7mA, 송신모드에서 17.4mA, Idle에서 0.426µA, Sleep에서 0.036µA이다. 이에 따른 소비 전력은 36mV, 31.32mV, 0.77mV, 0.036mV이다.

표 6. CC2420의 전기적 특징  
Table. 6 Electric features of CC2420

항목	수신	송신	대기 상태	수면 상태
전압	1.8V	1.8V	1.8V	1.8V
소모 전류량	19.7mA	17.4mA	426µA	20µA
전력	35.46mV	31.32mV	0.77mV	0.036mV

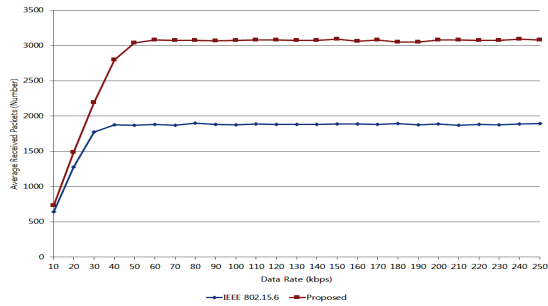
4.3. 노드가 동일한 전송률을 가질 때의 성능평가

동일한 전송률을 가지는 경우 환자의 병력과 관련된 정보를 가지고 메시지를 전송하는 노드와 그렇지 않은 노드를 분류하여 주기적인 메시지와 on-demand 메시지 및 제어 메시지를 전송할 때의 성능을 측정할 수 있다. 제안하는 슈퍼프레임 구조의 성능을 평가하기 위해서 WBAN을 구성하는 노드가 동일한 전송률을 가진 상태에서 노드의 수를 8개부터 64개까지 증가시키며 성능을 평가하였다. 이때 전송률은 10kbps부터 250kbps까지 10kbps 간격으로 모든 노드가 동일하게 증가하도록 하였다. 표 7은 단일 WBAN 환경에서 노드가 동일한 전송률을 가지고 있을 때 성능평가를 위한 파라미터이다. 동일한 전송률을 가지는 노드에서 환자 병력과 관련되는 임의의 노드는 Class 4로 정의된 노드들이다.

**표 7.** 노드들이 동일한 전송률을 가질 때 시뮬레이션 파라미터  
**Table. 7** Simulation parameters when all nodes have same data rate

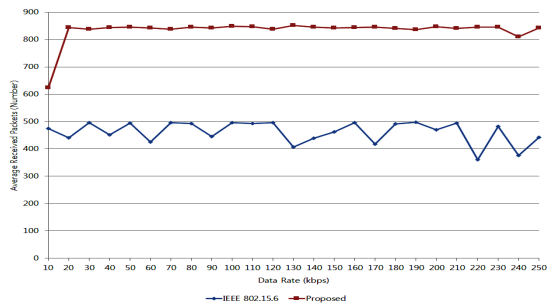
파라미터	값
노드 수	8개, 32개, 64개
데이터 전송률	10kbps부터 250kbps까지 10kbps 단위로 증가
Class 4	node[0], node[9], node[17], node[25], node[33], node[41], node[49], node[57]

그림 5는 WBAN을 구성하는 노드 수가 8개일 때 허브가 노드로부터 수신한 평균 패킷 수에 대한 그래프이다.



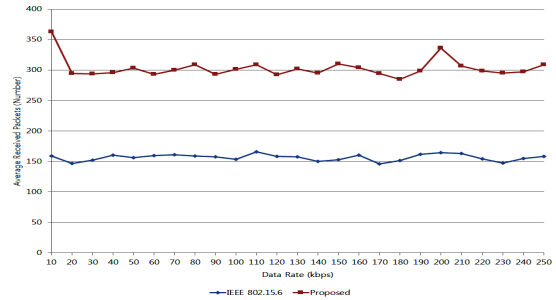
**그림 5.** 동일한 전송률을 갖는 노드들로부터 수신한 평균 패킷 수(N=8)  
**Fig. 5** Average received packets from nodes have same data rate(N=8)

그림 6은 WBAN을 구성하는 노드 수가 32개일 때 허브가 노드로부터 수신한 평균 패킷 수에 대한 그래프이다.



**그림 6.** 동일한 전송률을 갖는 노드들로부터 수신한 평균 패킷 수(N=32)  
**Fig. 6** Average received packets from nodes have same data rate(N=32)

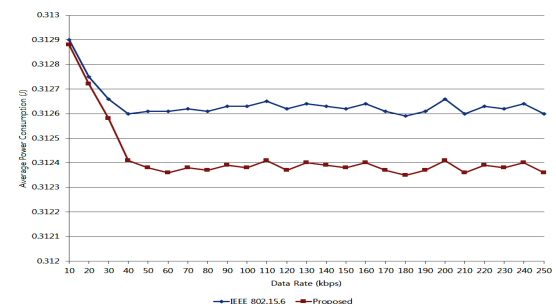
그림 7은 WBAN을 구성하는 노드 수가 64개일 때 허브가 노드로부터 수신한 평균 패킷 수에 대한 그래프이다.



**그림 7.** 동일한 전송률을 갖는 노드들로부터 수신한 평균 패킷 수(N=64)  
**Fig. 7** Average received packets from nodes have same data rate(N=64)

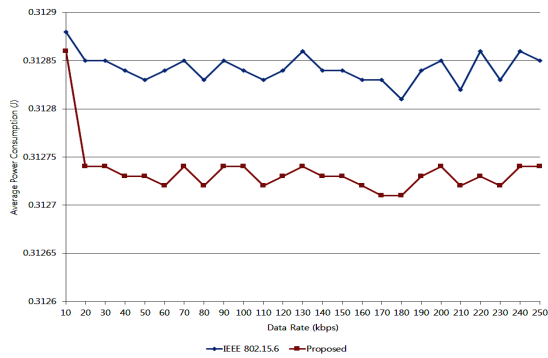
그림 5, 그림 6, 그림 7의 그래프를 통해서 네트워크를 구성하고 있는 노드의 수가 증가함에 따라서 전송률 증가에 따른 버퍼 오버플로우와 채널 점유를 위한 경쟁이 증가하여 선점에 실패하여 버려지는 패킷의 수가 증가하기 때문에 노드로부터 허브가 수신하는 평균 패킷 수가 감소하는 것을 볼 수 있다. 제안하는 MAC 프로토콜은 TDMA 기반의 경쟁구간에서 슬롯을 소유하는 노드의 전송을 보장하여 전송 충돌을 감소시켜 IEEE 802.15.6보다 많은 패킷이 허브로 도착하는 것을 볼 수 있다.

그림 8은 WBAN을 구성하는 노드 수가 8개일 때 노드의 평균 에너지 소모량을 나타낸다.



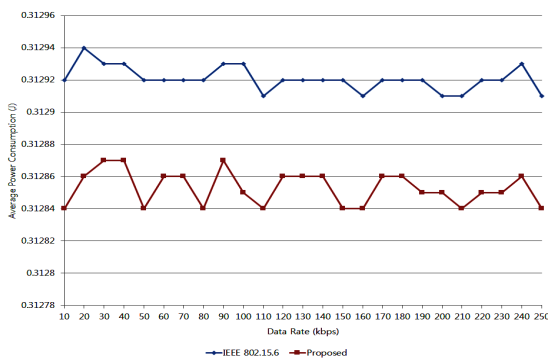
**그림 8.** 동일한 전송률을 갖는 노드들의 평균 에너지 소모량(N=8)  
**Fig. 8** Amount of average power consumption, nodes have same data rate(N=8)

그림 9는 WBAN을 구성하는 노드 수가 32개일 때 노드의 평균 에너지 소모량을 나타낸다.



**그림 9.** 동일한 전송률을 갖는 노드들의 평균 에너지 소모량 (N=32)  
**Fig. 9** Amount of average power consumption, nodes have same data rate(N=32)

그림 10은 WBAN을 구성하는 노드 수가 64개일 때 노드의 평균 에너지 소모량을 나타낸다.



**그림 10.** 동일한 전송률을 갖는 노드들의 평균 에너지 소모량 (N=64)  
**Fig. 10** Amount of average power consumption, nodes have same data rate(N=64)

그림 8, 그림 9, 그림 10의 그래프를 통해서 전송률이 증가할수록 에너지 소모량이 증가하는 것을 알 수 있으며 제안하는 MAC 프로토콜을 기반으로 하는 노드가 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜을 기반으로 하는 노드보다 패킷 전송 충돌이 적기 때문에 더 많은 패킷을 전송하는데 성공했음에도 불구하고 평균 에너지 소모량이 적음을 알 수 있다.

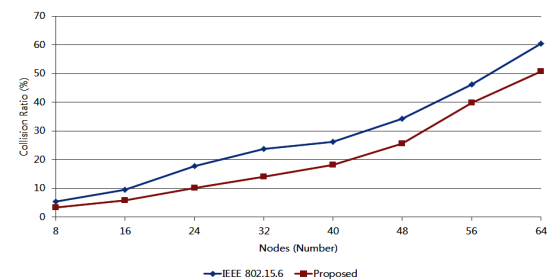
**4.4. 노드가 서로 다른 전송률을 가질 때의 성능평가**

서로 다른 전송률을 가지는 경우는 전송률과 트래픽 종류에 따라서 Class를 나누었을 때의 성능을 측정할 수 있다. 노드의 수는 8개부터 64개까지 8개단위로 증가시키며 성능을 평가하였다. 표 8은 단일 WBAN 환경에서 서로 다른 전송률을 가진 노드의 전송률 구성을 나타낸다. 이때 Class 4로 분류되는 노드는 동일한 전송률을 가질 때와 같다.

**표 8.** WBAN 환경에서 네트워크를 구성하는 노드들의 전송률  
**Table. 8** Data rate of network nodes in WBAN

데이터 전송률 (kbps)	노드 수							
	8개	16개	24개	32개	40개	48개	56개	64개
10	node [1]	node [1,2]	node [1-3]	node [1-4]	node [1-5]	node [1-6]	node [1-7]	node [1-8]
40	node [2]	node [3,4]	node [4-6]	node [5-8]	node [6-10]	node [7-12]	node [8-14]	node [9-16]
70	node [3]	node [5,6]	node [7-9]	node [9-12]	node [11-15]	node [13-18]	node [15-21]	node [17-24]
110	node [4]	node [7,8]	node [10-12]	node [13-16]	node [16-20]	node [19-24]	node [22-28]	node [23-32]
140	node [5]	node [9,10]	node [13-15]	node [17-20]	node [21-25]	node [25-30]	node [29-35]	node [33-40]
170	node [6]	node [11,12]	node [16-18]	node [21-24]	node [26-30]	node [31-36]	node [36-42]	node [41-48]
210	node [7]	node [13,14]	node [19-21]	node [25-28]	node [31-35]	node [37-42]	node [43-49]	node [49-56]
250	node [8]	node [15,16]	node [22-24]	node [29-32]	node [36-40]	node [43-48]	node [50-56]	node [57-64]

그림 11은 네트워크를 구성하는 노드가 서로 다른 전송률을 가지고 있을 때 노드가 허브에게 패킷을 전송할 때 발생한 충돌 비율을 나타낸다.



**그림 11.** 노드들이 서로 다른 전송률을 가질 때 충돌 발생 비율  
**Fig. 11** Collision occurrence ratio when nodes have different data rate



제안하는 MAC 프로토콜을 사용하는 노드는 Owner Priority Phase에서 패킷 전송 충돌 없이 자신에게 할당된 슬롯을 보장받으며 Contention Access Phase에서는 전송률에 따라서 서로 다른 백오프 파라미터를 사용하는 CSMA/CA 알고리즘을 수행하기 때문에 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜을 사용하는 노드보다 전송 충돌 발생 비율이 낮은 것을 볼 수 있다.

그림 12는 네트워크를 구성하는 노드가 서로 다른 전송률을 가지고 있을 때 허브가 노드로부터 받은 평균 패킷 수를 나타낸다.

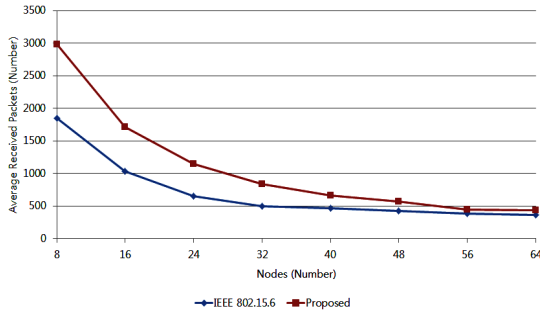


그림 12. 서로 다른 전송률을 가지는 노드들로부터 수신한 평균 패킷 수  
 Fig. 12 Average received packets from nodes have different data rate

IEEE 802.15.6의 CSMA/CA 알고리즘을 사용하는 경우보다 패킷 전송률에 따라서 서로 다른 백오프 파라미터를 적용하여 CSMA/CA 알고리즘을 수행하는 제안하는 MAC 프로토콜이 더 많은 패킷을 전송하는 것을 볼 수 있다. 제안하는 CSMA/CA 알고리즘에서는 전송률에 따라서 서로 다른 백오프 알고리즘을 수행하기 때문에 전송률이 높은 노드의 패킷을 우선적으로 처리하며 충돌 확률을 줄였기 때문에 패킷 전송률이 더 좋으며 노드들이 더 많은 패킷 전송 시도를 하게 된다.

그림 13은 네트워크를 구성하는 노드가 서로 다른 전송률을 가지고 있을 때 노드의 평균 에너지 소모량을 나타낸다. 제안하는 MAC 프로토콜을 기반으로 하는 노드가 허브로 더 많은 패킷을 전송하지만 전송률에 따라서 경쟁 윈도우를 다르게 적용하여 전송 충돌을 줄여 패킷 재전송으로 인해 발생하는 에너지 소모를 감소시켰기 때문에 에너지 소모량은 더 적은 것을 알 수 있다.

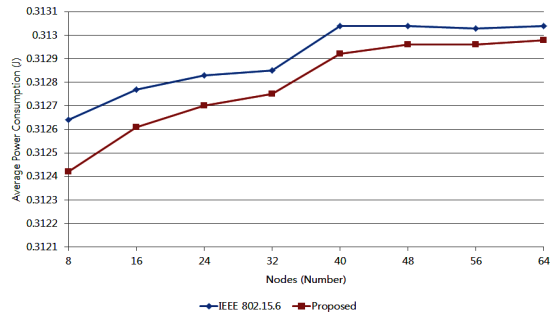


그림 13. 서로 다른 전송률을 갖는 노드들의 평균 에너지 소모량  
 Fig. 13 Amount of average power consumption, nodes have different data rate.

## V. 결론

최근 유비쿼터스 헬스케어 서비스를 위해 모바일 장치를 기반으로 하는 모바일 헬스케어가 주목받고 있으며 모바일 진단 치료 기기의 생체신호 계측 관련 기술인 WBAN에 관한 연구가 활발히 진행 중에 있다. 의료용 데이터 전송의 경우 인체에 관한 정보 전달을 목적으로 하며 응급 메시지 및 주기적인 데이터 전송을 지원하기 위한 방법이 요구 되고 있다.

본 논문에서는 이용자의 모바일 장치를 중심으로 구성된 WBAN 환경에서 착용형 장치가 의료 데이터를 효율적으로 전송하는 것을 지원하기 위해 노드가 전송하는 데이터의 트래픽 종류와 전송률에 따라서 우선순위를 다르게 적용한 CSMA/CA 알고리즘을 제안하였다. 환자의 병력과 관련된 의료용 메시지는 가장 먼저 전송을 지원하며 주기적인 데이터 중에서 전송률을 기반으로 우선순위를 나누어 서로 다른 전송률을 가진 노드들의 충돌을 줄일 수 있도록 하였다. 제안하는 슈퍼프레임 구조와 알고리즘의 성능평가를 위해서 OMNeT++ 네트워크 시뮬레이션 프레임워크 기반의 Castalia를 사용하였다. 성능평가를 위해서 제안하는 MAC 프로토콜을 사용한 경우와 IEEE 802.15.6을 사용한 경우를 비교하였다. 제안하는 MAC 프로토콜의 성능 분석을 위해서 동일한 전송률을 가지고 데이터를 전송하였을 때와 다른 전송률을 가지고 데이터를 전송하였을 때를 시뮬레이션 하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 MAC 프로토콜을 사용했을 때가 IEEE 802.15.6을 사용했을 때 보다

충돌 확률이 감소하여 많은 패킷을 전송하여 허브가 수신하는 패킷의 수와 노드의 패킷 전송 성공률이 개선되어 제안한 MAC 프로토콜을 사용했을 때의 성능이 더 우수한 것을 확인할 수 있었다. 제안한 CSMA/CA 알고리즘은 단일 WBAN 환경을 기반으로 제안된 알고리즘이다. 향후 연구로서 모바일 환경을 기반으로 다중 WBAN 환경에서 네트워크 충돌을 감지하고 이를 효율적으로 해결하기 위한 프로토콜 설계 및 데이터 패킷 처리 알고리즘에 대한 연구가 수반되어야 할 것이다. 또한 모바일 WBAN 환경을 위한 게이트웨이 설계 및 사용자의 요구에 따른 맞춤 서비스를 위한 유헬스 모니터링 시스템의 연구가 진행되어야 할 것이다.

## REFERENCES

- [ 1 ] B. J. Jang, Y. R. Seong, H. R. Oh, and J. S. Park, "Medical bAN standardization and major issue," IITA Weekly Technical Report 1310, 2007.
- [ 2 ] E. K. Kim, and J. H. Son, "MAC protocols for WBAN technology trends and challenges," Information and Communications Magazine, vol 25, no 2, pp. 26-31, Feb. 2008.
- [ 3 ] G. V. Crosby, T. Ghosh, R. Murimi, C. A. Chin, "Wireless body area networks for healthcare: a survey," *International Journal of Ad Hoc, Sensor & Ubiquitous Computing*, vol 3, no 3, pp. 1-26, 2012.
- [ 4 ] IEEE Std 802.15.6-2012, *IEEE Standard for Local and metropolitan area networks - Part 15.6: Wireless Body Area Networks*, IEEE, 2012.
- [ 5 ] B. H. Lee, R. L. Lai, H. K. Wu, and C. M. Wong, "Study on additional carrier sensing for IEEE 802.15.4 wireless sensor networks." *Sensors*, vol 10, no 7, pp. 6275-6289, Jun. 2010.
- [ 6 ] S. Rashwand, J. Mistic, and H. Khazaei, "IEEE 802.15.6 under saturation: Some problems to be expected," *Journal of Communications and Networks*, vol 13, no 2, pp. 142-148, Apr. 2011.
- [ 7 ] B. H. Jung, R. U. Akbar, and D. K. Sung, "Throughput, energy consumption, and energy efficiency of IEEE 802.15.6 body area network (BAN) MAC protocol," *International Symposium on Personal Indoor and Mobile Radio Communications*, Sydney, NSW, pp. 584-589, 2012.
- [ 8 ] S. A. Gopalan, and J. T. Park, "Energy-efficient MAC protocols for wireless body area networks: survey," *Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops*, Moscow, pp. 739-744, 2010.
- [ 9 ] Varga, and Andras, "Omnet++ user manual," OMNeT++ Discrete Event Simulation System. Available at: <http://www.omnetpp.org/doc/manual/usman.html>.
- [ 10 ] Boulis, and Athanassios, "Castalia, a simulator for wireless sensor networks and body area networks," National ICT Australia Ltd, Australia, 2009.



**정필성(Pil-Seong Jeong)**

2004년 2월 : 서울과학기술대학교 전자공학과(공학사)  
 2007년 8월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학석사)  
 2013년 8월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학박사)  
 2009년 3월 ~현재 : ㈜삼안 플랫폼부  
 ※관심분야 : 임베디드 시스템, WSN, WBAN



**조양현(Yang-Hyun Cho)**

1982년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학사)  
 1985년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학석사)  
 2012년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학박사)  
 1987년 9월 ~ 1997년 8월 : LG정보통신 전송기술개발실 과장  
 1997년 9월 ~현재 : 삼육대학교 컴퓨터학부 교수  
 ※관심분야 : 컴퓨터네트워크, 통신망(BCN), GMPLS