

# Wearable 장치를 사용하는 WBAN 환경에서 장치 간 비대칭적 에너지 효율과 QoS를 위한 MAC 제안

정회원 이 재 호\*, 종신회원 엄 두 섭\*\*\*

## An Energy-Efficient MAC Protocol for Werable Device WBAN Environment through Asymmetric Method and QoS

Jae-ho Lee\* *Regular Member*, Doo-seop Eom\*\*\* *Lifelong Member*

### 요 약

Wearable Device를 사용하는 WBAN 환경에서는 다수의 신체 부착형 센서와 이들의 데이터를 수집하는 장치로 구분할 수 있다. 일반적으로 신체에 부착되는 센서는 소형화와 경량화를 목적으로 매우 낮은 에너지 자원을 보유하지만, 사용자 단말기 등을 활용하는 데이터 수집 장치는 재충전이 가능하며 신체 부착형 센서에 비하여 높은 에너지를 가진다. 본 논문은 이러한 환경적 특성을 고려하여 센서의 수명을 늘리고 불가피한 에너지 소모를 수집 장치에 집중시키는 MAC 프로토콜을 제안한다. 또한 제안 프로토콜은 응급 데이터의 보고체계가 사용되는 응용환경을 고려하여, 일반적인 센싱 데이터와 응급 데이터를 구분하고 차별화된 전송 지연시간을 제공한다. 또한 제안하는 MAC 프로토콜의 효율적인 성능검증을 위하여 IEEE 802.15.6과 비교실험을 통하여 제안방식의 이득을 검증하고 이를 분석한다.

**Key Words** : WBAN, MAC, Healthcare

### ABSTRACT

In general, WBAN environment which use wearable devices on the human body show the different characteristics from other personal area networks. It is usually composed of sensors contacting the body and user terminal collecting the data from the sensors. The sensors are under the significant constraint of the energy resources, but the user terminal is different because it can be recharged and relatively have large energy resources. Under this characteristics, we design a new MAC protocol considering this requirements. The proposed MAC protocol can increase the energy efficiency of sensors and loads the unavoidable energy consumption to the user terminal for high energy efficiency of sensors. Additionally, the proposed MAC protocol provides the low delivery delay of the emergency information for the differentiated QoS because the emergency data requires more rapid transmission than the periodic sensed data. For this requirement, we employ the IFS (Inter Frame Space). For the efficient and objective evaluation of the proposed MAC protocol, IEEE 802.15.6 MAC is used to compare with it and we show that the advantage of the proposed MAC meet our expectation.

### I. 서 론

네트워크 기술의 발달로 인하여 의료 서비스는

\* 고려대학교 전기전자전파공학과 미래정보망 연구실(izeho75@korea.ac.kr)

\*\* 고려대학교 전기전자전파공학과 교수(eomds@korea.ac.kr) (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2012-03-122, 접수일자 : 2012년 3월 15일, 최종논문접수일자 : 2012년 5월 11일

인터넷 중심의 의료 지식정보와 원격 진료, 의료 서비스에 대한 교육 및 상품 정보 등이 주축을 이루는 e-Health 서비스가 큰 발전을 하였으며, 이는 의료 생활의 부담을 줄이고 전문 지식을 널리 알리는데 큰 역할을 했다. 또한 Well-being이라는 테마와 함께 보다 높은 의료 서비스의 질적 향상 요구가 크게 증가되어, 환자 개인 중심의 서비스를 위한 U-Health Care가 연구 되고 있으며 그 중심에는 WBAN (Wireless Body Area Networks) 기술이 위치하고 있다. 이 기술은 환자 개인 내에서의 각종 의료정보를 수집하고 이에 대한 원격 서비스를 위하여 정보를 전달하는 기술로서, 초고속 통신망 기술, 휴대 단말기 기술, WPAN (Wireless Personal Networks), WSN (Wireless Sensor Networks)의 기술을 기반으로 최근 활발히 연구되고 있다.

U-Health care는 언제 어디서나 적절한 의료 서비스를 안전하게 받을 수 있는 의료 환경을 의미한다. 즉, 환자의 의료정보를 모니터링 하기 위해 다수의 센서를 직접 몸에 부착하고 환자의 상태를 점검하면서, 동시에 환자의 몸에 부착된 Actuator를 통해서 환자에게 각종 검사 지표와 위험 신호를 알리거나 처방 조치를 할 수 있는 개념을 의미한다.

최근 U-Healthcare을 위하여, 인체영역에서의 의료 서비스 통신을 위한 무선 기술인 WBAN이 관심을 받고 있다. 이러한 의료 서비스는 의료분야와 비의료 분야로 구분되는데, 의료분야에서는 WBAN을 이용한 사전 검진을 통해 예방을 할 수 있으며, 만성적인 환자나 노약자들의 건강상태를 장기적으로 점검하거나 지속적인 상황을 확인할 수 있다. 반면 비 의료 분야에서는 운동이나 훈련 시 인체 상태 관련 정보를 수집하거나 분석하고, 인체 중심의 다양한 정보 기기와 외부 네트워크 간의 통신이 가능하도록 신체 주변 컴퓨터나 기기들의 상호 연결을 위해 이용되고 있다.

WBAN은 신체 내부 간, 또는 내부와 외부의 통신을 위한 무선 통신 기술로서, 신체에 악영향을 미치지 않는 조건하에 주로 신체의 3-10m 주위에서 송수신을 효과적으로 하기 위하여 연구되어왔다. 이 중, 신체 부착형이나 Wearable 장치의 경우 극소형화를 위하여 전력 에너지가 매우 제한적이기 때문에 저전력성이 크게 요구되며, 통신 자체에 대한 에너지 효율을 극대화하기 위하여 WBAN에 특화된 MAC 프로토콜 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 MAC 프로토콜은 운영환경에 따라 다양한 요구가 도출된다. 인체 내부 통신의 경우 극히 미약한

송신과위를 사용해야 하며, 내시경 등의 경우 영상 정보 전송과 같은 대량의 정보를 전송할 경우도 있다. 또한 신체 부착형이나 Wearable 장치의 경우 대부분 소량의 정보를 수집하기 위하여 사용되며, 데이터 통신의 에너지 효율이 가장 크게 요구된다.

일반적으로 Wearable 장치를 활용한 Healthcare 환경에서는, Vital sign, ECG (electrocardiogram) 등의 수집과 같은 응용을 가장 기본적인 서비스라고 간주할 수 있다. 이러한 환경에서는 신체에 부착된 센서가 인체정보 탐지의 역할을 수행하고 휴대 단말기 등의 장치들이 데이터 수집 및 처리를 담당한다. 이 경우, 신체 부착형 센서는 처리능력과 에너지 측면에서 매우 제한적이지만 휴대 단말기 등의 수집장치는 다소 높은 성능과 전력자원을 보유하고 에너지 재충전이 가능하다. 따라서 이에 대한 MAC 프로토콜 역시 통신 장치별 차등을 주어, 신체 부착형 센서에는 에너지 소모를 최소화 하고 통신구조상 대부분의 역할을 수집장치에 부담시키는 비대칭적 특성을 만족시켜야 한다.

WBAN의 또 다른 중요한 요구사항은 응급 데이터의 짧은 지연시간 보장이다. 일반적인 Wearable 장치를 활용한 U-Healthcare 에서는 주기적인 인체 정보와 함께 응급 데이터 전송이 필요하다. 이러한 응급 데이터는 예측이 불가능하고 불시에 발생되며, 동시에 즉각적인 송신이 요구된다. 따라서 WBAN에서의 MAC 프로토콜은 위에서 언급한 비대칭적 에너지 효율과 함께 응급 데이터의 즉각적인 송신을 제공해야 한다.

본 논문에서는 이러한 두 가지 환경적 특성을 고려하여 에너지 효율적인 MAC 프로토콜을 제안하고자 한다. 본 논문은 WBAN을 위한 기존의 MAC 프로토콜에 대한 연구 배경을 II장에서 소개하고, III장에서는 제안 알고리즘을 상세히 설명하며, IV장에서는 성능분석과 Simulation을 통해 성능을 검증하고, V장에서 결론을 맺도록 하겠다.

## II. 연구 배경

### 2.1. Health Care에 대한 IEEE 802.15 표준 연구 동향

최근 wearable computing 이나 U-healthcare와 같은 대표적인 응용에 대하여 IEEE 802.15.6<sup>[3]</sup>을 중심으로 WBAN 표준화가 진행되고 있다. IEEE 802.15.6은 저전력으로 동작하는 장치들이 무선 네트워크를 통하여 센서와 구동체고 구분되어 통신하

는 네트워크이다. 이를 통하여, 의료 분야에서 만성적인 환자나 노약자들의 건강상태를 주기적으로 모니터링 할 수 있다. 또한, 비 의료 분야에서는 운동이나 훈련 시에 나타나는 인체 상태 정보를 수집 및 분석하고, 인체를 중심으로 부착된 다양한 장치들이 네트워크를 통하여 컴퓨터와 같은 외부 장치들과 상호 정보교환을 수행할 수 있다.

IEEE 802.15 WPAN (Wireless Personal Area Networks)의 표준화 범위는 물리계층과 데이터 링크계층으로 구분된다. 이 표준은 움직이거나 정지 상태에서 사람의 활동 공간을 대상으로 (약 10m) 무선 통신을 제공하는 기술 기준으로서, WLAN (Wireless Local Area Network)과는 대조적으로 저 전력, 낮은 비용, 소형화에 초점을 맞추고 있다. 이러한 IEEE 802.15은 Bluetooth를 위한 IEEE 802.15.1, HR-WPAN (High Rate-WPAN)을 위한 IEEE 802.15.3, Zigbee 등의 LR-WPAN (Low Rate-WPAN)을 위한 IEEE 802.15.4 등의 다양한 Working Group으로 분류되며, WBAN을 위한 추가적인 표준으로서 IEEE 802.15.6이 존재하고 표 1과 같은 세부 항목을 중심으로 연구가 진행되고 있다.

표 1. IEEE 802.15.6 (WBAN) PHY/MAC 표준화 항목<sup>[1]</sup>  
Table. 1. Classification for standardization of IEEE 802.15.6<sup>[1]</sup>

구분	정의	대상 표준화 항목
WBAN PHY 기술	변복조 방식, 채널 모델 등의 무선 기술 규격	변복조 기술
		채널 할당 및 선택 기술
		채널 모델링 기술
		초저전력 통신 기술
WBAN MAC 기술	PHY 상위 계층의 매체 접근 제어 프로토콜 정의	액세스 제어 기술
		무선 링크 제어 및 QoS 기술
		초저전력 프로토콜 스택 기술
		네트워크 계층에서 토폴로지 지원 기술
		데이터 서비스와 관리 서비스 기술
WBAN 네트워크 및 응용 프로파일	WBAN의 PHY/MAC 기반의 네트워크 및 응용 계층 프로파일 정의	라우팅 프로토콜
		Security Service Provider 기술
		Application Framework 규격
		WBAN Application Profile 기술

WBAN 표준화의 요구사항은 고속전송과 저속전송으로 구분되며, 각각 소리, 영상 등의 전송을 위한 경우와, 생체 신호의 전달을 목적으로 하는 경우에 해당한다. 또한, 저속의 경우 인체에 이식되거나 착용할 때에 배터리 교체가 어렵기 때문에 기존의 센서 네트워크 기술에 비해 더 효과적인 저전력 기술이 요구되고, 40mW이내의 낮은 전력소모가 요구

된다. 또한 WBAN은 사람의 생명에 직접적인 영향을 줄 수 있기 때문에 높은 신뢰성과 안정성이 요구되며, 개인 정보 유출을 막기 위한 암호화 및 인증 등의 보안 기술이 요구된다.

IEEE 802.15.6은 WPAN을 위한 기술 표준인 IEEE 802.15의 TG6에서 진행되는 WBAN 기술의 표준이다. 이 표준의 MAC 계층은 Beacon을 이용한 Time Slot 분배 방식을 따르며, 신체 부착형 센서 등의 wearable 장치들을 노드라고 표현하고 이들의 정보를 수집하는 Coordinator와 같은 장치를 hub 라고 표현한다. 그림 1은 이와 같은 장치들의 Time map을 나타내었으며, 전체 superframe은 B (beacon), EAP (Exclusive Access Period), RAP (Random Access Period), Type-I/II access phase 로 구분된다. 이 모델에서는 하나의 hub와 다수의 노드가 존재하며, 모든 노드는 hub의 제어를 따른다. 즉, 각 노드는 hub의 Beacon을 수신하여 EAP, RAP, Type-I/II 구간의 시간을 파악한 후, 각 구간별 제어방식에 따라 자신의 데이터를 upload 또는 download 한다. 이때, Type-I/II는 EAP와 RAP에서 데이터를 송신하지 못한 노드들을 위하여 hub가 제어하는 polling 방식의 데이터 송수신을 의미한다.

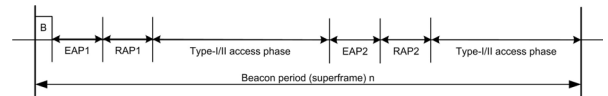


그림 1. IEEE 802.15.6 MAC Superframe의 구조<sup>[3]</sup>  
Fig. 1. Superframe structure of IEEE 802.15.6<sup>[3]</sup>

앞서 I장에서 언급했듯이, wearable 장치인 노드는 배터리 교환의 어려움 등으로 인하여 에너지 자원이 매우 제한적인 장치이며 hub는 휴대폰이나 테블릿 PC 등의 장치로서 노드에 비하여 높은 에너지 자원을 보유하고 있다. 따라서 이를 위한 MAC은 에너지 효율 측면에서 비대칭적인 방식이 필요하다. 즉, 노드의 에너지 소모를 최소화하고 통신상의 필수 에너지 소모를 hub에 부담시키는 MAC이 wearable WBAN에서 효율적이다. 하지만 IEEE 802.15.6에서의 각 노드는 EAP와 RAP에서의 경쟁이 필요하고, 경우에 따라 Type-I/II 구간에서 hub의 polling을 대기해야 하므로 노드의 에너지 소모가 크다. 또한, 모든 구간의 시작시각을 기다려야 하기 때문에 공통적인 지연시간이 발생하며, 응급 데이터가 발생한 경우 즉각적인 데이터 전송에 문제가 발생한다.

2.2. 기존 제안된 Health Care MAC protocol

IEEE 802.15.6 표준 외에도 WBAN을 위한 연구는 꾸준히 진행되어 왔으며, 이에 따라 많은 MAC 계층의 구조가 소개되어왔다. H-MAC<sup>[6]</sup> (Heartbeat Driven MAC Protocol) 은 TDMA 기반으로 디자인된 body sensor network이다. 이 방식은 TDMA의 동기화를 위해 심장박동을 이용하고 에너지 효율을 증가시킨 프로토콜이다. 따라서 몸에 부착된 센서들은 심장박동을 감지하고 이에 동기화하여 TDMA 방식의 정보교환을 수행하기 때문에, 시각 동기화를 위한 컨트롤 메시지가 필요 없다. 또한 지정된 time slot을 통해 데이터 전송을 하기 때문에 collision-free를 보장한다. 그러나 심장 박동으로 동기를 맞추는 것은 사람의 상태에 따라 심장 박동 정보가 다양하기 때문에 항상 유효한 정보를 표현할 수 없으며, 산발적인 event에 대한 처리가 어렵다.

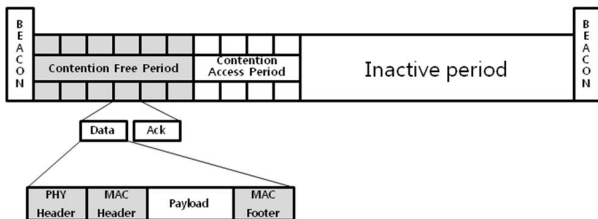


그림 2. DTDMA superframe structure<sup>[7]</sup>  
Fig. 2. DTDMA superframe structure<sup>[7]</sup>

DTDMA<sup>[7]</sup> (Reservation-based Dynamic TDMA Protocol)은 주기적인 데이터 전송 환경에서 에너지 효율을 높이기 위하여 제안된 MAC 프로토콜로서, 그림 2와 같이 Beacon, Active period(CFP period, CAP period), Inactive period로 구성된 superframe 구조를 갖는다. Active period은 CFP period 후에 CAP period가 나타나는데, 이것은 IEEE 802.15.4의 CAP period 후에 CFP period가 나타나는 것과 대조적이다. DTDMA에서는 주기적인 데이터 전송의 지연시간을 줄이기 위하여 CFP를 먼저 수행하고, CFP에서 송신하지 못한 데이터가 잔류할 경우 CAP에서 송신한다. Beacon은 비교적 긴 시간을 주기로 수행되며, CFP와 CAP가 종료한 후에는 Inactive period를 통하여 에너지를 절약한다. DTDMA는 IEEE 802.15.4에 비하여 에너지 소모가 적고 데이터 손실이 적기 때문에 신뢰적이지만, 이벤트성 데이터에 대한 time slot이 없기 때문에, Wearable 장치를 활용한 U-Healthcare에서 환자의 응급데이터가 발생할 경우 이에 대한 지연시간이

비교적 크고 즉각적인 송신이 어렵다.

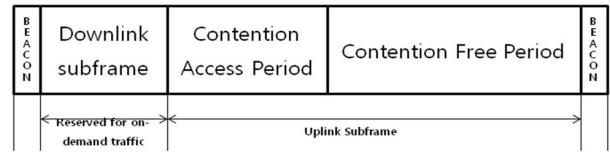


그림 3. BodyMAC superframe structure<sup>[8]</sup>  
Fig. 3. BodyMAC superframe structure<sup>[8]</sup>

BodyMAC<sup>[8]</sup>은 인체에서의 효율적인 데이터 통신을 위하여 연구된 WBAN MAC의 대표적인 프로토콜로서 그림 3과 같은 구조를 갖는다. 이 방식에서의 각 통신장치는 하나의 Coordinator와 다수의 Implant로 구분되며, 각각 IEEE 802.15.6에서의 hub와 노드에 대응된다. BodyMAC은 downlink subframe 구간을 이용하여 Coordinator가 Implant에게 송신할 수 있는 대역을 보장하기 때문에, on-demand 형태의 하향 트래픽에 유리하다. 본 방식에서는 모든 Beacon을 수신하지 않는 Low Power Implant가 존재하며, 이 경우 Coordinator가 Low Power Implant를 깨우고 동기화 패킷을 전송한다. 이렇게 동기화가 이루어진 후 Coordinator는 downlink subframe에서 데이터를 요청하거나 전송할 수 있다. 그러나 BodyMAC은 Low Power Implants의 wake up 절차를 정의하지 않으며, 앞서 설명한 DTDMA와 같이 응급 데이터에 대한 즉각적인 처리가 없다.

III. 제안하는 MAC 프로토콜 (asymMAC)

3.1. WBAN에서의 요구조건

WBAN은 데이터 통신, 데이터 프로세싱, 센싱(sensing) 등의 3가지 도메인으로 크게 구분되며, 각각의 도메인에서 에너지 효율을 높이는 것은 U-Healthcare에서 아주 중요한 이슈이다. 센서의 배터리는 사람의 몸에 부착되기 때문에 크기, 무게, 부피 등의 외형적 소형화가 절실하며, 이러한 조건에서 제품의 지속시간을 증가시키기 위한 에너지 효율 또한 필요하다.

현재 많은 초저전력 프로세서와 센서가 개발 및 상용화 되어 있으며 이를 통한 프로세싱과 센싱에서의 에너지 절약이 크게 발전하고 있다. 하지만 아무리 데이터 프로세싱과 센싱의 에너지 효율을 높인다고 할지라도 디바이스간 상호 커뮤니케이션이 필요한 데이터 통신 부분에서 상당한 에너지를 필요로 하기 때문에 U-Healthcare에 적합한 새로운

에너지 요구모델이 필요하다. 기존의 네트워크 방식에서는 구성 노드들이 동일하게 에너지소모를 하지만, 사람의 몸에 부착되는 센서와 이들의 정보를 수집하는 장치(휴대폰 또는 사용자 단말기)의 보유 에너지량은 크게 다르기 때문에, 이에 대한 통신 에너지 효율 또한 다르게 요구된다.

에너지 효율과 더불어 QoS(Quality of Service) 또한 WBAN에서 매우 중요한 요구사항이다. 환자의 상태를 주기적으로 점검하는 서비스 모델에서는 모든 이벤트가 동일한 우선순위를 갖지만, 주기적 점검과 더불어 환자의 응급상황을 파악하고 이를 알리는 서비스 모델에서는 일반적인 데이터와 응급 데이터간의 차별화된 QoS가 지원되어야 한다.

본 논문에서는 이러한 두 가지 WBAN 요구사항을 반영하여, 센서와 수집 장치간의 비대칭적인 에너지 효율과 응급 데이터의 차별화된 QoS를 위한 새로운 MAC 프로토콜을 설계하여 이를 보이고자 한다.

### 3.2. 에너지 소모를 Personal Coordinator에 집중화시킨 MAC protocol 설계

본 프로토콜은 신체 부착형 센서와 같은 에너지가 제한적인 장치를 노드라 명칭하고 휴대전화나 사용자 단말기 등의 센싱 정보 수집 장치를 충전이 가능한 장치라고 가정하고 이를 PC (Personal Coordinator) 라고 명칭한다. 또한 비충전장치인 노드의 에너지 효율을 높이고 응급 데이터 발생 시에 대한 전송 지연시간을 줄여 QoS를 보장하는데 그 목적을 둔다. 본 논문에서는 모든 노드들과 PC가 한 사람의 신체에 위치하기 때문에 Multi-hop 환경을 배제한 Star Topology를 제안하고, 이를 바탕으로 MAC 프로토콜을 설계하고자 한다.

일반적으로 MAC 프로토콜은 CSMA/CA 기반의 자율경쟁 방식과 TDMA기반의 시각 동기방식으로 구분된다. CSMA/CA기반의 MAC 프로토콜은 RF transceiver에서 제공하는 CCA에 의존적이다. 하지만, Health Care에서 사용되는 MICS band를 사용할 때, -85dBm 이하의 송신출력 환경에서는 CCA reliability가 보장이 안되며, 자율 경쟁방식 특성상 idle listening, over hearing, protocol overhead 등의 문제로 health care 적용에 에너지 효율 측면에서 비효율적이다. 따라서 본 논문에서는 TDMA기반의 동기화 MAC을 설계하며, 이때 발생하는 문제점과 각종 trade-off 사항들은 시뮬레이션을 통하여 도출 및 해결할 예정이다. 또한 WBAN에서의 모든

노드는 감지한 센싱정보를 PC에 송신하거나 PC로부터 명령하달을 수신하므로, 본 MAC에서는 노드와 노드간의 데이터 송수신은 존재하지 않는다고 가정한다.

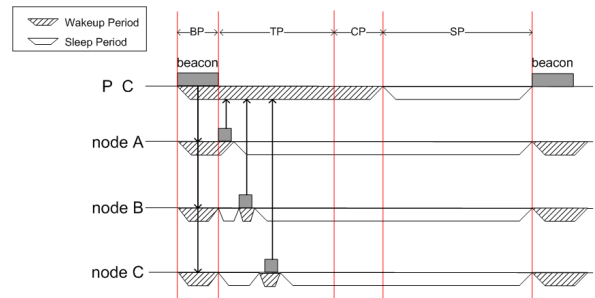


그림 4. 제안 프로토콜의 superframe  
Fig. 4. Superframe structure of proposed scheme

그림4는 본 논문에서 제안하는 WBAN MAC 프로토콜의 superframe 구조이다. 휴대폰 등의 사용자 단말장치에서 운영되는 PC는 운영개념상 저전력 측면에서의 중요도가 노드에 비하여 높지 않기 때문에, 본 MAC 프로토콜에서는 각 노드의 에너지 소모 비율을 PC에 가중화 시키는 데 목적을 두었다. 먼저 PC는 Wakeup과 Sleep 모드를 반복하는 Duty Cycle을 운영하며, 이는 Beacon Period (BP), uplink-Transmit Period (u-TP), Contention Period (CP), Sleep Period (SP)로 구성되며, PC는 SP를 제외한 period에서는 Wakeup 상태를 유지한다.

본 MAC 프로토콜은 이와 같은 Duty Cycle 방식을 사용하며, PC 및 모든 노드들은 TDMA 기반의 동기화를 수행한다. 하지만 정밀한 시각 동기화 과정은 프로토콜 오버헤드가 크기 때문에 상대시각을 이용하는 것이 효율적이다. 즉, beacon frame은 각 period의 시작 시간을 포함하고 있으며 모든 시각정보는 beacon 송신 시각으로부터의 상대적인 시간간격으로 표현한다. 따라서 beacon을 수신한 모든 노드는 beacon 수신 시각을 기준으로 u-TP, CP, SP를 파악한다. 이때 PC의 송신시각과 노드의 수신 시각은 propagation delay와 processing delay 등의 오차가 발생하지만, WBAN 특성상 모든 통신은 초근거리에서 발생하고 주기적인 데이터 역시 매우 작기 때문에 오차가 크지 않다.

PC는 Duty Cycle 내에서 SP구간에서만 sleep하며, 그 외의 구간에서는 모두 Wakeup 상태를 유지한다. 또한 노드는 기본적으로 BP 구간에서만 Wakeup 상태를 유지하고, 필요시에만 u-TP, CP 구간에서 Wakeup 한다. Duty Cycle 내의 Beacon

Period (BP) 에서는 PC가 모든 노드들에게 Broadcast 방식으로 beacon frame을 송신하며, 이때 beacon frame은 그림 5와 같이 구성된다.

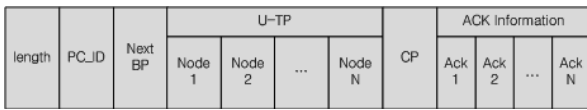


그림 5. Beacon frame 정보  
Fig. 5. Beacon Frame structure

본 MAC 프로토콜에서의 PC는 한 사람을 기준으로 단일하게 존재하며, 각 노드들은 이러한 PC에 소속되어 동작한다. 따라서 모든 노드들은 타인의 PC와 연계되지 않도록 beacon frame 내부의 PC\_ID를 참조한다. Next BP는 다음 BP의 시작 시각을 의미하며, beacon을 수신한 모든 노드는 이 정보를 참조하여 다음 BP 시작시각에 wakeup 한다. 또한 각 노드는 u-TP 정보를 이용하여 자신의 Node\_ID에 부합되는 uplink 시작정보를 파악한 후 uplink 데이터가 존재하는 경우 정해진 시간 내에 데이터를 송신하고, 이에 대한 ACK는 다음 BP에서의 beacon frame을 참조하여 데이터 재전송 여부를 판단한다. 즉, PC는 n번째 superframe의 u-TP에서 수신한 각 노드의 데이터를 기반으로 ACK number를 생성한 후 이를 개별적으로 송신하지 않으며, 모든 ACK는 n+1번째 beacon frame 내에 적재하여 broadcast 한다. 따라서 각 노드는 u-TP에서 송신한 데이터의 신뢰성을 n+1번째 beacon frame을 통하여 파악하고 필요시 자신이 할당받은 n+1번째 u-TP에서 재전송 한다.

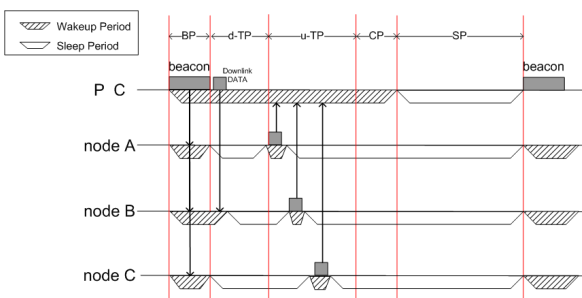


그림 6. d-TP 설정 예시  
Fig. 6. Example of configuring d-TP

일반적인 Health Care 시스템 에서는 각 센서들의 데이터 정보를 수집하는 uplink 형태의 전송이 대부분이다. 하지만 센서 제어 등의 특정 목적을 위하여 downlink 역시 필요하며, 이는 PC에서 판단한다. 본 MAC에서는 PC가 downlink 전송여부를 결

정하기 때문에, 필요시에만 d-TP 기간을 설정할 수 있으며, 이때 beacon frame 내부에 d-TP time을 대상 node\_ID와 함께 추가하여, 그림 6과 같이 대상 노드만 wakeup 시킨다.

### 3.3. Node Registration

일정 시간 동안 데이터를 송신하지 않는 노드의 경우 불필요한 시간할당을 줄이기 위하여 PC가 제어대상 노드에서 제거할 수 있다. 따라서 이와 같이 제어대상에서 제외된 노드는 신규 추가되는 노드와 함께 PC로 registration 절차를 진행하여 새로운 u-TP를 할당받아야 한다. 이러한 registration 요청은 그림 7과 같이 CP 내에서 진행된다.

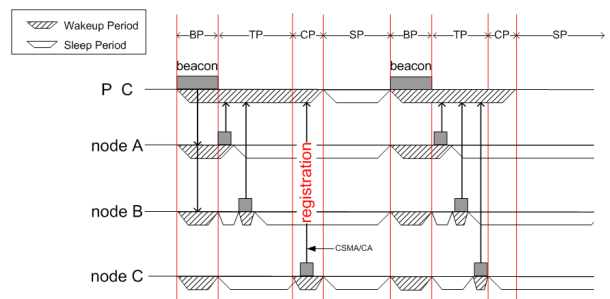


그림 7. 신규 노드의 등록절차 (registration)  
Fig. 7. Example of Registration for a new node participating

PC는 CP구간 내에서 registration 요청을 한 노드를 새로운 제어대상 노드로 추가하여 u-TP 기간을 할당하며 최근 수 회 동안의 해당 u-TP 기간 동안 데이터 송신을 하지 않은 노드는 u-TP 할당 테이블에서 aging-out 시킨다. 또한 aging-out된 노드에서 송신 요구가 발생한 경우, beacon frame 내에 자신의 u-TP가 할당되지 않음을 인지한 후, CP기간에 registration 요청을 수행한다. 이러한 방식으로 PC는 u-TP기간을 최소화 하여 Duty Cycle 내의 SP 기간을 늘려 에너지 효율을 극대화 시킨다.

신규 등록을 수행하는 모든 노드는 CP 구간에서 CSMA/CA 방식을 사용하여 요청한다. 일반적으로 신규 등록 노드는 빈번히 발생하지 않기 때문에 PC는 이러한 CP구간을 필요에 따라 수회에 한번정도로 제한할 수 있으며, registration 절차를 수행할 노드가 복수일 경우 random-backoff delay를 통한 경쟁방식을 통하여 진행한다. 따라서 경쟁에서 점유하지 못한 노드는 다음 CP에서 다시 registration을 수행하여 PC에 등록되게 된다. 일반적인 TDMA기반 MAC에서는 모든 노드가 자신의 time slot을 할당 받아 송신을 하지만, 본 MAC 프로토콜은 TP기

간을 줄이기 위하여, CP구간 내의 registration 절차를 이용하여 송신 요구 확률이 높은 노드에게만 TP 시간을 할당한다.

### 3.4. Emergency Process

사용자의 응급 상태를 보고하는 응용 환경의 경우 응급 데이터와 주기적인 센싱 데이터 전송을 동일하게 처리하면 응급 데이터의 높은 전송 지연으로 인한 문제가 발생할 수 있다. 따라서 본 MAC 프로토콜은 응급 데이터의 짧은 전송지연을 위한 QoS를 보장하기 위하여 IFS (Inter Frame Space)를 활용한다.

제안 프로토콜의 super frame 내의 d-TP를 포함한 TP와 CP 구간에서는 모든 데이터 전송 전에 특정 IFS 만큼의 지연시간을 갖는다. 따라서 beacon frame을 제외한 모든 데이터는 IFS 후에 송신이 가능하며, 이때 Carrier Sensing을 통하여 channel이 “busy”할 경우 데이터 송신을 수행하지 않는다. 또한 응급 데이터는 TP와 CP구간에서 송신이 가능하며 다른 데이터와 달리 IFS를 갖지 않는다. 즉, 응급 데이터는 어떠한 데이터보다 channel을 먼저 점유할 수 있다. 응급 데이터로 인하여 u-TP에서 송신하지 못한 노드는 다음 super frame에서 송신을 재시도 하게 되며, CP에서 registration을 요청할 노드 역시 IFS를 갖기 때문에 응급 데이터가 발생할 경우 다음 super frame에서 재시도 한다.

그림 8과 같이 응급 데이터는 BP와 SP를 제외한 어떠한 구간에서도 전송이 가능하며, 이때 응급 데이터 송신 노드는 PC에 등록된 노드일 필요는 없다. 즉, registration 수행 여부와 무관하게 어떠한 노드라도 응급 데이터를 전송할 수 있으며 BP와 SP를 피하여 전송할 경우 IFS로 인하여 가장 우선 순위가 높은 상태로 송신이 성공하게 된다. 하지만 SP구간이 클 경우 응급 데이터 전송은 최대 BP+SP만큼 지연될 수 있다. 따라서, 본 MAC 프로토콜에서는 응용 모델의 응급 데이터 빈번도를 분석하여 SP의 크기를 정할 것을 권한다.

## IV. 성능 평가

본 장에서는 제안하는 MAC 프로토콜의 성능 평가를 위하여 NS-2 (Network Simulator-2)를 활용한 시뮬레이션을 바탕으로 실험결과를 도출하고 이에 대한 결과를 분석하였다. 본 실험은 WBAN의 네트워크 단위인 사용자 1인을 실험 대상으로 결정하고

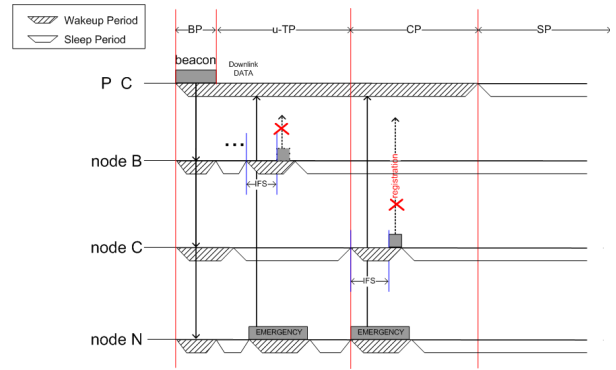


그림 8. 응급 데이터 송신의 예  
Fig. 8. Example of transmitting emergency data

이에 따라 단일 PC와 복수의 노드를 실험 환경으로 정하며, 프로토콜 성능의 비교를 목적으로 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜을 동시 실험하였다. 또한 현실적인 실험을 위하여 WPAN에서 사용되는 TI사의 CC계열 RF transceiver를 참조하여 표 2와 같은 통신 파라미터를 적용하였다.

표 2. Simulation Parameters  
Table. 2. Simulation Parameters

구분	Parameter	Value	
PHY	Data Rate	64 Kbps	
	Power Consumption	Tx	2.428 (0 dBm) mW
		Rx	1.814 mW
		Sleep	0.027 mW
Application	Number of PC or HUB	1	
	Number of node	1N or 3N	
	Network Topology	Star Structure	
	Node to Node communication	수행안함	
MAC	SuperFrame	1 sec	
	retransmission	수행	

제안하는 프로토콜은 시스템 운영모델 특성상 노드와 노드 간 정보교환이 발생하지 않기 때문에 Star Topology의 네트워크 형태를 사용하며, 각 실험에서 사용되는 노드 수는 “N”으로 표기하며 이는 PC를 제외한 노드 수이다. 또한 비교대상 MAC 프로토콜인 IEEE 802.15.6에서는 Coordinator를 “HUB”로 표현하지만, 본 실험결과에서는 편의상 PC로 표현한다.

제안하는 MAC 프로토콜은 노드의 에너지 효율을 높이고 불가피한 에너지 소모를 PC에 인가시키는 방식으로써 그 명칭을 “asymMAC” (asymmetric MAC) 이라고 표현한다.

4.1. 에너지 효율

그림 9와 그림 10은 IEEE 802.15.6 대비 asymMAC의 PC와 노드에 대하여 에너지 효율을 측정된 결과로서 각각 1개의 노드가 운영될 때와 3개의 노드가 운영될 때를 가정하여 실험하였다. 본 실험에서는, 실험에 참여하는 모든 노드는 주기적인 센싱 데이터와 응급 데이터를 모두 PC로 송신한다. 응급 데이터는 모든 노드에 2분 간격으로 발생시키고 주기적인 센싱 데이터의 발생 간격을 가변시키며 결과를 관찰하였다.

IEEE 802.15.6은 모든 노드가 EAP, RAP에서 각각 정해진 방식에 따라 데이터를 송신할 수 있으며, 송신하지 못한 노드는 Type-I/II 구간에서 polling 방식에 의하여 데이터를 송신한다. 따라서 PC는 전 구간에서 wakeup 상태를 유지해야 하며, 데이터가 수신될 경우 해당하는 ACK를 수신 데이터 수 만큼 unicast 형태로 송신하기 때문에 일정 크기의 에너지 소모가 불가피하다. 하지만 asymMAC에서는 PC가 주기적으로 Sleep을 하며, n번째 superframe에서 데이터 수신 시 해당 ACK를 n+1번째 beacon에 적재하여 한번의 broadcast로 송신하기 때문에 IEEE 802.15.6 보다 PC의 에너지 소모를 그림 9와 같이 줄일 수 있다.

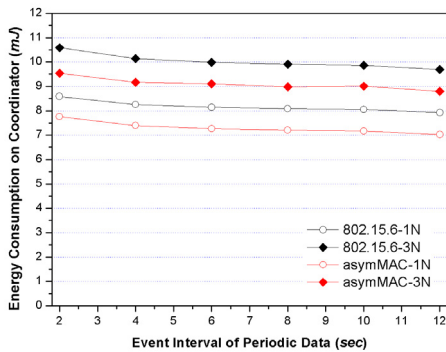


그림 9. 주기적인 데이터 전송 간격에 따른 PC의 에너지 소모량  
Fig. 9. Result of energy consumption on Coordinator

노드의 에너지 소모는 PC의 경우와 다른 결과를 관찰하였다. IEEE 802.15.6의 경우 노드의 에너지 소모량은 PC의 절반 수준의 결과를 나타냈지만, 제안하는 asymMAC의 경우 매우 높은 에너지 효율을 보였다. IEEE 802.15.6에서의 모든 노드는 데이터 송신 후 ACK를 수신하기 위하여 대기하며, 미 충족시 송신 가능한 구간에서 재전송하기 때문에 일반적으로 짧은 전송 지연시간을 가지며 신뢰성을

보장한다. 이와 달리 asymMAC에서의 모든 노드는 데이터 송신 후 곧바로 sleep 상태에 진입하며, 자신이 송신한 데이터의 ACK는 다음 beacon frame을 참조하여 대처한다. 즉, asymMAC은 IEEE 802.15.6 대비 주기적인 데이터 송신에 대한 ACK를 늦게 확인하기 때문에 신뢰성은 다소 보장하지만 재전송이 느리기 때문에, 데이터 손실이 발생한 경우 지연시간이 높을 수 있다. 하지만 일반적으로 주기적 데이터 송신은 응급 데이터가 아니며 단순 모니터링을 위한 데이터일 확률이 높기 때문에, 이에 대한 지연시간은 큰 문제가 되지 않는다. 또한 그림 10과 같이 노드의 에너지 효율을 매우 높일 수 있기 때문에 Wearable Device의 경우 큰 이득을 줄 수 있다.

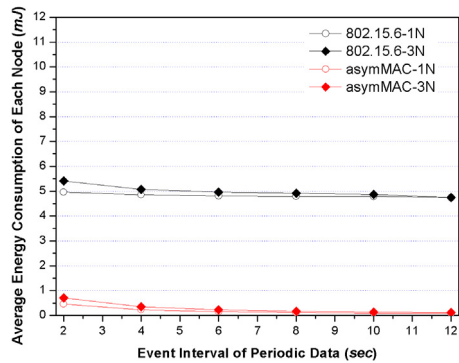


그림 10. 주기적인 데이터 전송 간격에 따른 노드의 에너지 소모량  
Fig. 10. Result of energy consumption on each node

4.2. 응급 데이터의 지연시간

그림 11은 모든 노드에 2초 간격으로 주기적 데이터 송신을 위한 이벤트를 발생시키고, 응급 데이터의 발생 간격을 가변화시키면서 측정된 결과이다. 본 실험에서 나타난 결과는 모든 노드에서 발생된 응급 데이터들의 전송 지연시간이며, 이때 주기적인 데이터의 전송 지연시간은 제외하였다. 즉, 주기적 데이터가 아닌 응급 데이터의 전송 지연시간만을 측정하였다.



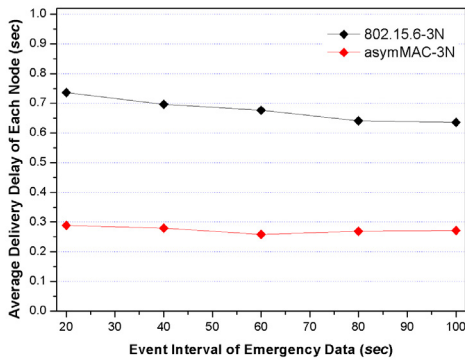


그림 11. 응급 데이터 발생 간격에 따른 지연시간  
Fig. 11. Result of delivery delay on each node

우선 IEEE 802.15.6에서는 응급 데이터 발생간격이 증가함에 따라 지연시간이 줄어들고 있지만, 일반적으로 높은 지연시간을 보인다. 이러한 응급 데이터는 RAP, EAP, Type-I/II에서 모두 송신 가능하며, 데이터 종류에 따른 우선순위가 존재하지만 주기적인 데이터와의 경쟁으로 인하여 응급 데이터의 절대적인 차별화를 보이기 힘들다. 하지만 asymMAC에서는 주기적인 데이터 송신 시 존재하는 IFS가 응급 데이터 송신 시에는 없기 때문에, TP와 CP 구간에서 응급 데이터 송신을 우선시 할 수 있다.

그림 11의 결과는 일정 시간의 SP를 반영하여 얻은 결과이며, super frame 내의 SP를 제거하거나 줄일 경우 그림 9에서의 PC 에너지 효율은 낮아지지만 응급 데이터 전송 지연시간은 크게 줄일 수 있으며, 이는 노드의 에너지 효율을 목적으로 하는 본 MAC 프로토콜의 방향에는 영향을 미치지 않는다.

## V. 결 론

Wearable Device를 사용하는 WBAN 환경에서는 신체 부착형 센서의 경우 매우 큰 에너지 제약이 발생하지만, 사용자 단말기 등의 데이터 수집 장치의 경우 에너지 자원이 상대적으로 크고 재충전 또한 용이하다. 따라서 이러한 환경에서는 센서의 에너지 효율을 높이고 불가피한 에너지 소모를 수집 장치로 집중화시키는 비대칭적인 MAC 프로토콜이 필요하다.

본 지에서 제안하는 MAC 프로토콜은 이러한 요구조건을 충족시키고 빠른 응급데이터 전송의 차별

화된 QoS를 보장한다. 또한 이에 대한 성능을 IEEE 802.15.6과의 비교실험을 통하여 검증하였다.

하지만 TDMA 기반의 프로토콜 특성상 외부 간섭에 취약하며, 다수의 환자가 위치적으로 집중될 경우 이를 고려한 Time Frame 재설정이 요구된다. 이러한 문제는 향후 본 프로토콜 개선을 위한 연구에 큰 목적이 되며, 이에 대한 지속적인 연구를 진행 할 예정이다.

## References

- [1] Do-Hyeun Kim, et al., 김도현, 이성협, 윤양문, "A Survey on WBAN Standardization", OSIA Standards & Technology Review, Vol. 3, No. 9, pp. 25-33, Sep. 2007.
- [2] IEEE 802.15.4: Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), Sep. 2006.
- [3] IEEE 802.15 WPAN Task Group 6 Body Area Networks (WBAN), <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>
- [4] CC1100 datasheet. <http://www.ti.com>
- [5] Sana Ullah \*, Bin Shen, S.M. Riazul Islam, Pervez Khan, Shahnaz Saleem and Kyung Sup Kwak, "A Study of MAC Protocols for WBANs", *Sensors*, pp. 128-145, Oct, 2010.
- [6] Huaming Li and Jindong Tan, "Heartbeat Driven Medium Access Control for Body Sensor Networks", *HealthNet 2007*, PP. 25-30, June, 2007.
- [7] Changle LI, Huan Bang LI, Ryuji KOHNO, "Reservation-Based Dynamic TDMA Protocol for Medical Body Area Networks", *IEICE Transaction of Communications*, Vol,E92-B. No 2, PP. 387-395, Feb. 2009.
- [8] Fang, G.; Dutkiewicz, E. BodyMAC: Energy efficient TDMA-based MAC protocol for wireless, body area networks. In *Proceedings of IEEE ISCT 2009*, Incheon, Korea, 2009.

이 재 호 (Jae-ho Lee)

정회원



2005년 고려대 전자공학과 석사

2008년 3월~현재 고려대 전자공학과 박사과정

2011년 3월~현재 서일대 겸임교수

<관심분야> WPAN, 센서네트

워크, MANET, MAC, WBAN

엄 두 섭 (Doo-seop Eom)

중신회원



1987년 고려대 전자공학과 학사

1989년 고려대 전자공학과 석사

1999년 일본 오사카대학 보통신공학과 박사

1989년 2월~1999년 8월 한국

전자통신연구소 연구원

1999년 9월~2000년 8월 원광대학교 전임강사

2000년 9월~현재 고려대 전기전자전파공학부 교수

<관심분야> 통신네트워크 설계 및 성능분석, 무선 ATM, IP 네트워크