

# WBAN을 위한 MAC 프로토콜 기술 동향

서영선, 조진성, 김윤희, 이민수

## 요 약

WBAN은 IEEE 802.15.6 BAN Task Group을 중심으로 현재 활발하게 주파수, 통신 프로토콜 (WBAN PHY, WBAN MAC), 응용 등의 요구사항을 정의하고 기술 규격 정의 및 표준 개발을 진행하고 있다. WBAN을 위한 MAC 프로토콜은 현재 여러 기고문을 통해 다각도로 제안 및 논의 중에 있으며, 요구사항을 만족하는 MAC 프로토콜 표준을 위해서는 앞으로도 더욱 활발하게 논의되어야 한다. 대부분의 WBAN을 위한 MAC 프로토콜은 저속, 저전력 요구사항을 위해 제안되었던 기존의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜에 WBAN 요구사항을 반영하여 제안되고 있다. 따라서 본 고에서는 WBAN이 적용된 차세대 의료 서비스 플랫폼과 플랫폼에 적합한 네트워크 스택 개발을 위해 무선 센서 네트워크 요구사항을 만족하는 기존의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜을 정리하고, 기고문을 통해 제안되는 WBAN을 위한 MAC 프로토콜의 WBAN 요구사항 해결방법을 살펴보고자 한다.

## 1. 서 론

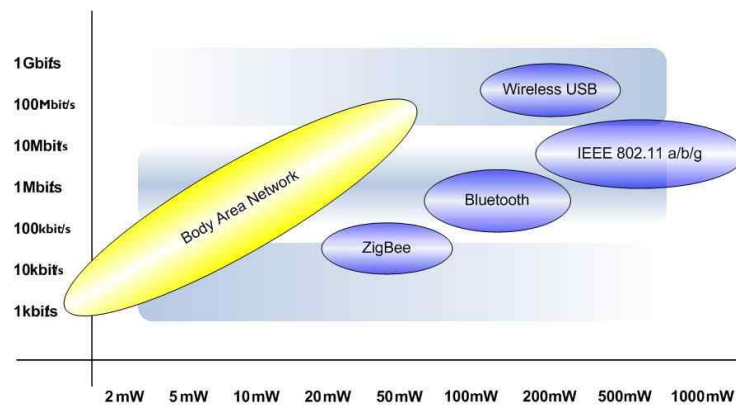
무선 통신 기술의 발달과 통신 기기의 소형화, 저가화는 WLAN, 무선 센서 네트워크(wireless sensor network), WPAN 기술에 이어 최근 대두되고 있는 Wireless Body Area Network (WBAN) 기술의 주목을 이끌어 냈다. 유비쿼터스 사회로 나아가는 사회적 관심의 고조와 지속적인 연구 속에서 앞서 언급된 무선 통신 기술들은 유비쿼터스 네트워킹 분야의 한 축을 담당할 것으로 기대되고 있다. 특히 WBAN은 복지 및 건강관리(health-care)에 대한 관심이 높아지고, 고령화 사회로의 진입이 가속화되는 사회적 현상에 따라 건강관리, 원격 의료서비스, 진단, 치료 등을 위하여 의료기술과 IT기술을 결합하려는 시도와 함께 나타났다[1]. 이와 같은 IT 기술과 의료 기술의 결합에 대한 관심과 요구는 IEEE 802.15.6 BAN Task Group을 중심으로 빠르게 활발한 표준화 작업이 진행되는 원동력이 되고 있다[2].

WBAN은 인체영역을 중심으로 인체 내외부에 위치한 다양한 종류의 이식형(implant)과 장착형(wearable) 센서 디바이스들로 네트워크를 구성하여 인간의 생체 신호를 수집하고 근거리 무선 통신을 통해 데이터를 통합하여 응용에 따라 데이터 분석 및 원격 의료 진단 등을 수행할 수 있는 네트워크이다. 또한 WBAN은 의료용(medical) / 비의료용(non-medical) 응용 분야로 구분하여 의료용 응용 분야를 주요 관심분야로 두고, 비의료용 엔터테인먼트 응용 분야까지 고려하여 표준화 작업을 진행 중에 있다. 따라서 인체 영역 범위에서 의료용과 비의료용 응용 분야를 모두 포괄하는 다양한 WBAN 응용 시나리오가 가능하며, 응용의 다양성에 따라 [그림 1]과 같이 WBAN의 전송 속도와 소비 전력의 요구사항이 광범위하게 나타나게 된다.

---

\* 이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. R01-2008-000-20029-0).

WBAN은 애드혹, 무선 센서 네트워크의 특징과 유사하게 네트워크를 구성하는 각 노드들이 인프라 없이 무선 링크를 통해 스스로 네트워크를 구성하는 특징을 가진다. 따라서 언제 어느 장소에서든지 인프라 구축 없이 노드 간에 스스로 네트워크를 구축하여 원활한 통신을 하기 위해서 WBAN의 요구사항이 반영된 잘 정의된 통신 프로토콜의 역할이 중요하게 부각되고 있다. 특히 다수의 노드들이 제한된 인체 영역 범위에서 무선 자원을 공유하여 통신하므로 노드의 무선 자원 획득과 peer-to-peer 노드 간의 링크, 데이터 제어, 에러 제어, 흐름 제어 등을 담당하는 MAC계층의 역할이 매우 중요하다. [그림 1]과 같이 전송 속도와 소비 전력의 범위는 기존의 최대 Wireless USB부터 최소 ZigBee의 전송속도 요구사항을 만족하면서 ZigBee보다 초저전력과 저속으로 구현되어야 한다. 따라서 광범위한 전송 속도와 초저전력의 전력 소비 요구를 만족할 수 있는 WBAN을 위한 MAC 프로토콜이 제안되어야 한다.



[그림 1] WBAN의 전송속도와 전력 요구사항

WBAN은 수년간 BAN(body area network), BSN(body sensor network) 등의 이름으로 관련 연구가 진행되어 왔다. 그러나 현재까지 제안되는 WBAN 관련 연구는 WBAN 응용 시나리오와 시스템 아키텍처 측면에서 어플리케이션 구현이 대부분이며, 인체라는 매질을 통해 데이터 손실 없이 생체 신호를 송수신 할 수 있는 디바이스 개발이 연구의 주요 주제였다. 따라서 대부분의 MAC 계층은 간단한 TDMA 기법, 무선 센서 네트워크 MAC 또는 802.15.4 PHY/MAC과 ZigBee를 이용해 구현되어 왔다. WBAN이 생체 신호를 수집하는 센서 노드를 사용함에 따라서 무선 센서 네트워크의 특징을 이어받고 있기 때문에 대체로 무선 센서 네트워크의 MAC을 사용하여 구현되어 왔으나 WBAN의 광범위한 요구사항을 모두 만족하기 위해서는 WBAN을 위한 MAC 프로토콜에 대한 연구가 필요하다.

본 고에서는 2절에서 기존의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜을 살펴보고, 3절에서 WBAN 기술 동향과 요구사항을 정리한다. 4절에서 WBAN을 위한 MAC 프로토콜 표준화 작업에 제안된 MAC 프로토콜을 살펴봄, 5절에서 결론을 맺고자 한다.

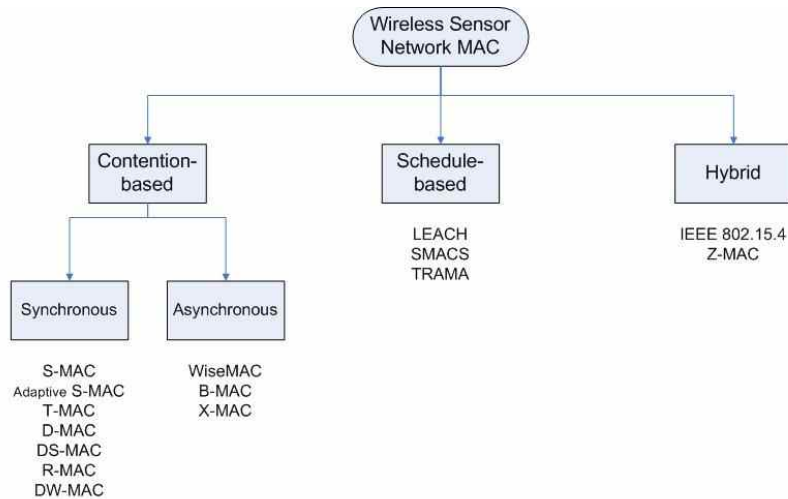
## 2. 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜

WBAN은 인체 영역에서 센서노드를 이용하여 인체의 데이터를 수집하므로 무선 센서 네트워크의 특징을 상속받은 특수한 센서 네트워크에 속한다. 따라서 수년간 WBAN 관련 연구는 기존의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜 또는 TDMA 기법을 응용에 적합하게 수정하여 연구가 진행되어 왔다.

저속, 저전력을 요구하는 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜은 저속의 생체신호 수집 센서 노드만으로 구성된 WBAN에서도 부분적으로 동일하게 적용되는 요구사항이다. 따라서 표준화 작업에 제안되는 여러 기고문은 기존의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜에 WBAN 요구사항을 만족할 수 있도록 초저전력과 다양한 전송 속도에서도 MAC 프로토콜의 요구사항이 반영되도록 확장 및 수정하여 제안되고 있다. 그러므로 기존의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜의 이해와 무선 센서 네트워크와 WBAN 요구사항의 차이점 분석을 통해 새로운 MAC 프로토콜 설계를 고려하는 방법이 요구된다. 본 절에서는 무선 센서 네트워크의 MAC 프로토콜 정리를 통해 기존의 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜이 저속, 저전력의 요구사항을 위해 제안하는 방안들을 살펴본다.

무선 센서 네트워크의 구성요소인 센서노드는 일반적으로 한번 배치되면 쉽게 배터리를 교환하거나 충전할 수가 없다. 따라서 센서노드의 수명이 네트워크의 수명에 치명적인 영향을 미치게 되므로 에너지 낭비를 최소로 설계하는 것이 무선 센서 네트워크의 주요한 이슈이다. 본 절에서 정리된 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 계층의 프로토콜들도 기본적으로 저전력이 고려되어 설계되어 있다. 무선 센서 네트워크에서의 MAC 프로토콜은 무선 통신에서 에너지 낭비를 발생시키는 4가지 주요 요소인 collision, overhearing, control packet overhead, idle listening을 고려하여 설계함으로써 저전력을 실현할 수 있다[3].

[그림 2]는 무선 센서 네트워크의 주요한 MAC 프로토콜들을 제안하는 특징에 따라 경쟁 기반, 스케줄 기반, 하이브리드 방식으로 분류한 것이다.

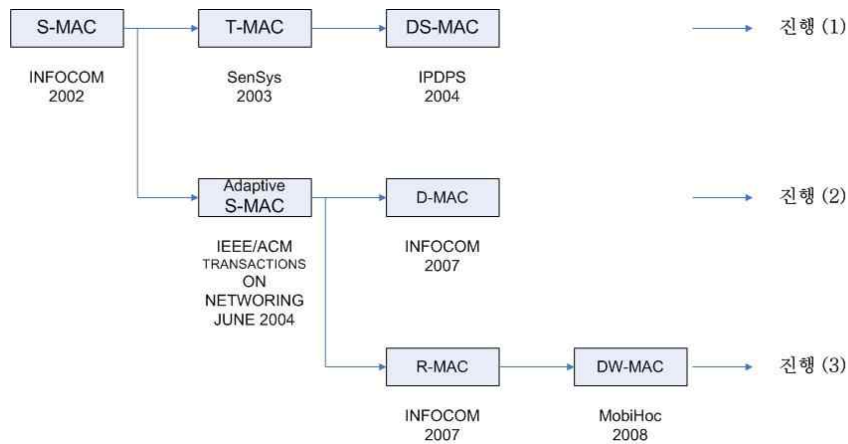


[그림 2] 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜 분류

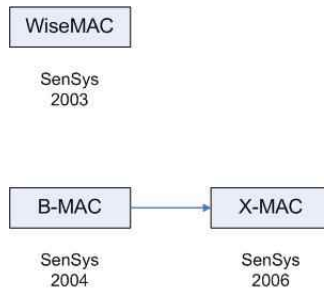
## 2.1. 경쟁기반(contention-based) 방식

CSMA/CA를 활용한 경쟁기반 방식은 S-MAC을 시작으로 활발한 연구가 진행되고 있다. 경쟁기반 방식의 MAC 프로토콜은 네트워크를 구성하는 노드들의 동기화 여부에 따라 동기식(synchronous)과 비동기식(asynchronous) 방법으로 분류할 수 있다.

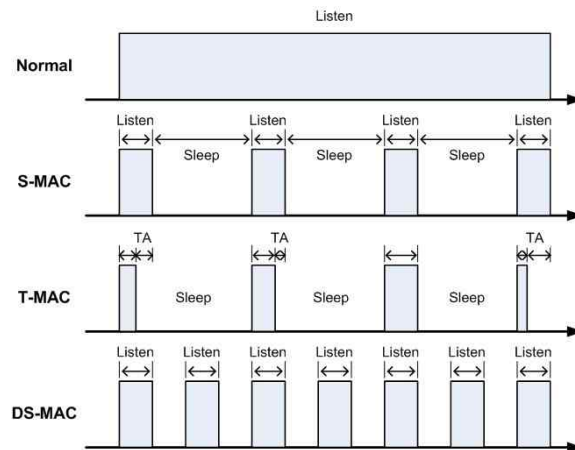
경쟁기반 방식에서 동기식 MAC 프로토콜은 [그림 3]과 같이 제안되어 왔으며, 비동기식 MAC 프로토콜은 [그림 4]와 같이 제안되어 왔다.



[그림 3] 경쟁기반의 동기식 MAC 프로토콜 발전과정



[그림 4] 경쟁기반의 비동기식 MAC 프로토콜 발전과정



[그림 5] [그림 3]의 진행(1) MAC 프로토콜

[그림 3]에서 S-MAC[3], T-MAC[4], DS-MAC[5]으로 제안된 진행(1)의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜은 사이클 주기 조절을 통해 idle listening을 줄이는 것을 주요 목표로 제안되었다. idle listening을 줄이기 위해 Listen 시간을 줄이는 것을 제안하는 S-MAC, T-MAC의 방식에 DS-MAC은 idle listening뿐만 아니라 트래픽 부하에 따른 전송지연도 고려되어 제안되었다. [그림 5]와 같이 S-MAC은 고정적인 active 구간과 sleep 구간을 통

해 전력 소모를 줄이며, T-MAC은 타이머를 두어 일정시간동안 전송시도가 없으면 계획보다 빠르게 sleep구간으로 진입한다. DS-MAC은 트래픽이 많을 경우 duty cycle doubling 기법을 통해 listen 구간을 2배로 늘린다. 반대로 트래픽 양이 적을 경우 Listen 구간은 1/2 배로 줄어든다.

[그림 3]의 진행(2) Adaptive S-MAC[6], D-MAC[7]은 멀티홉 전송 지원과 낮은 전송 지연을 고려하여 제안되었다. Adaptive S-MAC은 2홉 번째 노드가 CTS를 수신하고 적절한 수신 시간에 깨어나 데이터를 수신하도록 제안하여 1개의 오퍼레이션 사이클 동안 2홉의 전송이 가능하도록 하였다. D-MAC은 Data gathering tree라는 특수한 네트워크 환경을 이용하여 단일 방향 전송을 통한 멀티홉을 제안했다. [그림 3]의 진행(3)으로 제안되는 MAC 프로토콜은 특수한 네트워크 환경을 요구하는 D-MAC과 다르게 라우팅 정보를 가진 제어패킷을 사용하여 멀티홉 전송을 제안한다.

[그림 4]의 비동기식 MAC 프로토콜은 preamble sampling 기법을 기반으로 사용한다. 짧은 시간 동안 라디오 채널의 상태를 확인함으로써 preamble을 전송하는 노드가 있는지 무선 매체를 sampling한다. preamble sampling 기법은 수신 노드가 고정된 주기에 따라 깨어나서 preamble sampling을 하기 때문에 수신노드의 idle listening을 줄일 수 있다. 채널이 idle일 때 수신노드 측에서 에너지 소비를 최소화 할 수 있다는 점이 preamble sampling 기법의 장점이며, preamble을 지속적으로 송신할 경우 송신노드 측에서 에너지 낭비가 발생할 수 있는 단점이 있다. 비동기식 MAC 프로토콜은 동기식 MAC 프로토콜과 다르게 모든 노드들이 동기를 맞추지 않으므로 비교적 구현이 쉽다는 장점을 가지고 있다. 때문에 모든 노드의 duty cycle 주기는 같지만, 각 노드의 wakeup 시점은 독립적이다[8].

비동기식 MAC 프로토콜은 WiseMAC[8], B-MAC[9], X-MAC[10] 등으로 제안되어 왔다. WiseMAC의 송신 노드는 수신 노드가 깨어나서 preamble sampling을 통해 무선 매체의 idle, busy 여부를 확인하려는 시점까지 기다렸다가 수신노드가 깨어나기 바로 이전에 preamble 전송을 시작한다. B-MAC은 송신노드가 긴(long) preamble을 전송하고, 수신 노드는 긴 sleep 구간을 가지는 LPL(low power listening) duty cycle 기법을 제안한다. X-MAC은 LPL 기법의 문제점을 해결하기 위해 짧은 preamble과 early ACK 메시지를 사용한다.

## 2.2. 스케줄 기반(schedule-based) 방식

스케줄 기반 방식은 TDMA 방식을 기반으로 노드들이 할당된 slot에 깨어나 전송을 시도하는 방법이며, 스케줄 기반 방식의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜은 LEACH[11], SMACS[12], TRAMA[13] 등이 있다. LEACH 프로토콜은 클러스터링과 라우팅 프로토콜이 통합된 TDMA 기반의 MAC 프로토콜이다. 밀집된 무선 센서 네트워크에서 각 노드들이 싱크노드에 데이터를 보고하는 환경에 적합한 프로토콜이다. SMACS는 neighbor discovery 기법과 TDMA를 결합한 MAC 프로토콜로 LEACH MAC 프로토콜의 cluster hierarchy 형태와는 다르게 flat 형태의 토폴로지로 구현된다. 멀티홉 라우팅을 지원하며, 노드 간에 단방향 링크를 설정하여 충돌 없이 송신이 가능하도록 한다. hidden node에 의한 충돌을 피하기 위해 많은 라디오 채널을 필요로 한다. TRAMA는 2홉 이웃 노드의 정보와 스케줄 정보의 교환을 통해 얻은 이웃 노드의 정보를 해쉬 함수를 사용하여 우선순위가 높은 노드가 송신을 하는 프로토콜이다.

### 2.3. 하이브리드(hybrid) 방식

경쟁기반 방식과 스케줄 기반 방식을 모두 가지는 MAC 프로토콜이다. 각 방식의 장점을 살리고, 단점을 상대 기반의 장점으로부터 보완하는 형태이다. 대표적으로 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜[14]과 Z-MAC[15] 등이 있다. IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 Low-Rate Wireless Personal Area Network (LR-WPAN)을 위한 표준 프로토콜이며, 하이브리드 방식으로 구분된다. 전송 주기는 슈퍼프레임 단위로 구성되며, 데이터 송수신이 이루어지는 active 구간과 노드들이 sleep하는 inactive 구간으로 구분된다. active 구간은 다시 CSMA/CA 방식으로 채널에 접근하는 경쟁구간(contention access period)과 TDMA와 같이 일부 특정 디바이스 전용으로 슬롯을 할당해 주는 Guaranteed Time Slots (GTS) 구간으로 구분된다. Z-MAC은 임의의 지연(backoff), CCA(clear channel assessment), LPL(low power listening) 등의 B-MAC의 인터페이스 통신 기반 위에서 경쟁 노드가 많을 경우 TDMA 방식이 혼합되어 동작하는 하이브리드 방식의 프로토콜이다. 경쟁이 적은 경우에는 CSMA 방식을 그대로 사용하며, 경쟁 노드가 많을 경우에는 분산 알고리즘인 DRAND 알고리즘을 통해 2홉 떨어진 노드들과의 충돌을 방지하는 스케줄을 생성하여 할당된 슬롯에서 전송을 시도한다. 따라서 경쟁이 적은 경우에는 슬롯에 상관없이 경쟁을 통해 채널을 획득할 수 있으며, 경쟁이 많은 경우에는 할당된 슬롯에서 경쟁을 통해 채널을 획득한다.

본 절에서 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜을 경쟁기반, 스케줄 기반, 하이브리드 방식으로 분류하여 정리하였다. 각각의 방식은 장단점을 가지고 있으며, 제안된 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜은 네트워크 환경과 조건에 따라 성능이 다르게 나타난다. 본 고에서는 이러한 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜의 특징과 오퍼레이션을 정확하게 분석하고, 3절과 4절의 WBAN 요구사항과 제안되는 기고문 정리를 통해 새로운 WBAN을 위한 MAC 프로토콜을 설계하고자 본 절에서 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜 살펴보았다. 이와 같은 방법은 WBAN을 위한 MAC 프로토콜 설계 시에 기존의 저속, 저전력의 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜 아이디어로부터 발전된 형태의 초저전력 MAC 프로토콜을 개발할 수 있을 것으로 기대하며, 각각의 아이디어에서 꾸준히 제기되었던 저전력, 멀티홉, 전송지연, 브로드캐스팅 문제 등의 단점을 통해 WBAN은 미리 이러한 단점들을 고려하여 설계할 수 있을 것이라 생각된다. WBAN은 인간의 건강과 생명에 직결되는 인체 센서 통신이므로 인체에 유해하지 않은 주파수 대역에서 어느 상황에서도 통신을 유지할 수 있는 견고함과 응급상황에 유연한 통신 프로토콜이 요구된다. 본 절의 정리는 WBAN 통신에서 발생가능한 문제점 고려에도 활용이 가능할 것이라 생각된다.

### 3. WBAN 기술 동향과 요구사항

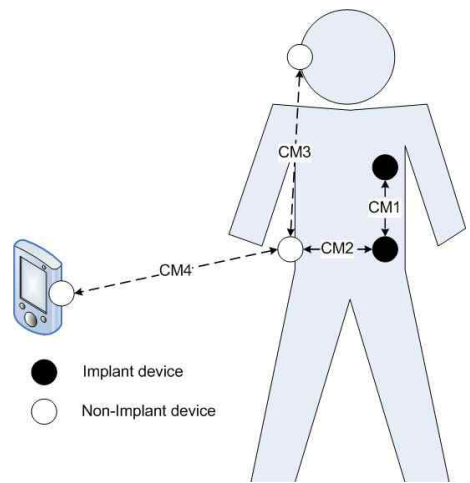
IEEE 802.15.6 BAN Task Group은 현재 활발하게 WBAN 통신 프로토콜(WBAN PHY, WBAN MAC)의 기술 규격 정의 및 표준 개발을 진행하고 있다. WBAN PHY 기술은 변복조 기술, 채널 할당 및 선택 기술, 채널 모델링 기술, 초저전력 통신 기술 등을 세부적인 표준화 항목으로 진행하고 있으며, PHY 상위 계층의 매체 접근 제어프로토콜로서의 WBAN MAC 기술은 액세스 제어 기술, 무선 링크 제어 및 QoS 기술, 초저전력 프로토콜 스택 기술을 세부 표준화 항목으로 진행하고 있다. 의료용 응용분야와 비의료용 응용 분야의 구분을 고려하여 표준화를 진행하고 있고, 디바이스를 장착 형태에 따라 이식형(implant)과 장착

형(wearable)으로 구분하고 있기 때문에 WBAN PHY 기술은 의료용 implant 디바이스를 위한 주파수 대역과 비의료용 디바이스의 통신을 위한 주파수 대역을 고려하여 주파수 분배 및 PHY 계층 표준화를 진행한다. 주파수 대역에 따라 PHY 계층을 2가지로 구분하여 표준 개발을 하고 있으며, 2종류의 PHY 계층을 수용할 수 있는 확장된 단일 MAC 프로토콜이 요구되어 진다.

의료용 서비스를 위한 주파수 대역은 현재 미국, 일본 등의 국가에서 MICS (medical implant communication service) 대역이 가장 유력하게 논의되고 있다.

### 3.1. WBAN 채널 특성에 따른 채널 모델(channel model)

인체는 주파수를 이용한 전송을 하기에는 이상적인 매체가 아니다. 혈액, 근육, 지방, 피부 등 다양하고 복잡한 인체의 조직 구조는 유전율과 도전을 특징을 지니며, 무선 매체를 주로 사용하는 기존의 무선 네트워크 통신과는 달리 인체매체를 포함하는 영역에서 implant 디바이스 등을 사용하는 통신이므로 인체를 가장 많이 고려해야 하는 네트워크이기도 하다. WBAN은 노드 간의 채널 특성에 따라서 채널 모델(channel model)이 고려되어야 한다. [그림 6]은 device의 장착 위치에 따른 채널 모델을 나타낸다. 디바이스의 장착 위치에 따라 4가지 종류의 채널 모델로 구분하여 제안하고 있다[16].



[그림 6] 4가지 종류의 채널 모델

<표 1> WBAN 응용 구분에 따른 요구사항 1

|                           | 저속 / 제어                                                                      | 중속 / 소리                                                  | 고속 / 비디오                                      |
|---------------------------|------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| Medical                   | 원격 진단 모니터링<br>당뇨병 모니터링<br>지능적인 약품 배달<br>병원 환자<br>이식형 장치 제어                   | 심장병 모니터링<br>태아 모니터링<br>EEG (24 lead)<br>보청기<br>이식형 장치 제어 | 비디오 내시경(LowRes)<br>비디오 내시경(HighRes)<br>기타 비디오 |
| Non-medical<br>(consumer) | 스포츠/휘트니스<br>휴대용 CE 제어<br>게임 제어(손동작)<br>게임 제어(몸동작)<br>애드혹(ad-hoc) 게임<br>스마트 키 | 헤드폰<br>헤드셋<br>eCharm<br>모션 캡처<br>데이터 저장장치                | 원격 RGB 디스플레이<br>비디오 헤드셋<br>무선 고속 저장장치         |

<표 2> WBAN 응용 구분에 따른 요구사항 2

|         |                                                                 |                                                                 |
|---------|-----------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| Class 1 | Low data rate /<br>Temporarily occasional Low traffic           | CE control<br>Game control                                      |
| Class 2 | Low data rate /<br>Regularly generated<br>every day, every time | Implant devices<br>Periodic monitoring<br>Periodic health check |
| Class 3 | High data rate /<br>Temporarily occasional High traffic         | Multimedia services<br>Video streaming<br>Gaming service        |
| Class 4 | High data rate /<br>Regularly generated High traffic            | Life video recording                                            |

### 3.2. WBAN 응용 구분에 따른 요구사항

WBAN은 응용 구분에 따라 요구사항이 <표 1>[17]과 <표 2>[18] 등으로 제안되고 있다. 응용 구분에 따른 요구사항은 전송 속도, 데이터 타입, 사용 빈도, 디바이스 장착 형태 등을 기준으로 분류할 수 있다. 특히 저속의 제어 데이터부터 중속, 고속의 소리와 비디오 송수신까지 고려된 응용구분은 WBAN의 광범위한 응용 영역을 잘 나타내고 있다.

<표 1>은 medical 과 non-medical 응용을 속도와 전송 데이터 타입에 따라 저속-제어 / 중속-소리 / 고속-비디오로 응용을 구분하고 있다. 저속-제어와 중속-소리의 응용은 대체로 상시적으로 운용되는 헬스 모니터링과 같은 시스템을 구성하는 센서 디바이스들이 될 것으로 생각되며, 고속-비디오의 응용은 내시경과 같은 의료용 동영상을 위한 디바이스가 될 것으로 예상된다. 캡슐 내시경 등의 의료용 동영상 수집 장치는 WBAN 고속-비디오 응용을 이용한 서비스의 하나가 될 것으로 기대되며, 보청기와 같이 일상생활에 사용되는 일반 의료용 장비도 WBAN 네트워크를 구성하는 하나의 노드가 될 것이다.

<표 2>는 데이터 전송 속도와 사용 빈도 및 주기/비주기성 응용 사용에 따라서 클래스를 4가지로 구분하고 있으며, 제어부터 동영상까지의 범위를 모두 포함하고 있는 것을 알 수 있다.

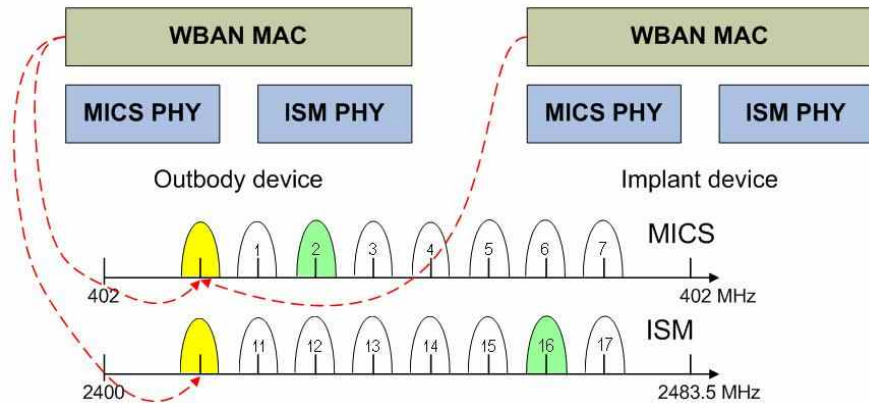
응용 구분에 따른 요구사항과 채널 모델은 서로 관련되어 디바이스의 장착 위치와 의료용 / 비의료용 구분에 따라 주파수 대역을 선택하는 기준이 될 것으로 생각된다.

### 3.3. 의료용 대역과 비의료용 대역

[그림 6]의 WBAN 채널 모델 중 CM1과 CM2는 implant 디바이스 간의 통신과 implant 디바이스와 outbody 디바이스 간의 통신이며, CM3와 CM4는 인체 외부에 위치한 디바이스 간의 통신이다. 데이터를 송수신 하는 peer-to-peer 노드의 장착 위치에 따라 채널 모델이 결정되고, 채널 모델에 따라 대역이 다르게 제안된다. 특히 implant 디바이스는 인체 내부의 통신이므로 의료용으로 할당된 의료 서비스 주파수인 400MHz 대역의 MICS 대역을 사용한다. 인체 외부 디바이스 간의 통신은 2.4GHz 대역의 ISM 대역을 사용한다.

[그림 7]은 MICS 대역과 ISM 대역에서 한 개의 채널을 제어 채널로 사용하고, 나머지 채널을 데이터 채널로 사용하는 방안이다[22]. WBAN MAC 프로토콜은 MICS 대역과 ISM 대역을 위한 두 개의 PHY를 모두 다룰 수 있는 확장된 MAC 프로토콜이며, implant 디바이스는 MICS 대역을 인체 외부에 위치한 디바이스는 implant 디바이스와의 통신을 위해

일반적인 ISM 대역과 의료용 서비스 대역인 MICS 대역을 모두 사용할 수 있는 방법을 제안하고 있다.



[그림 7] WBAN의 의료용 대역과 비의료용 대역 사용 예

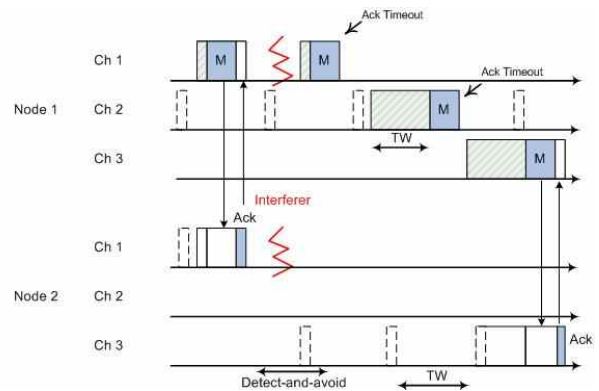
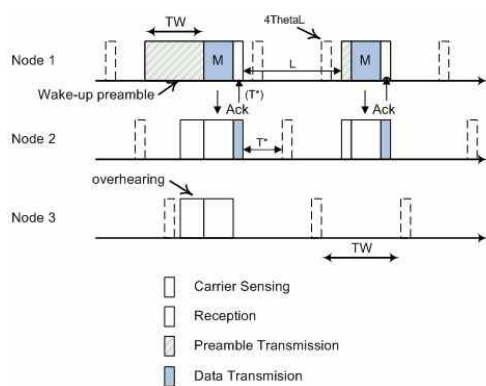
#### 4. WBAN을 위한 MAC 프로토콜 동향

IEEE 802.15.6 TG BAN에서는 WBAN의 MAC 프로토콜 표준화 항목인 액세스 제어 기술, 무선 링크 제어 및 QoS 기술, 초저전력 프로토콜 스택 기술 표준 개발을 위해 다양하게 WBAN을 위한 MAC 프로토콜이 제안되고 있으며, 꾸준한 논의가 이루어지고 있다[19]. PHY 상위 계층으로서 채널 모델, 응용에 따른 요구사항, 서비스와 디바이스 장착 위치에 따른 주파수 대역 선택 등을 기반으로 WBAN MAC 프로토콜은 기존 무선 센서 네트워크의 링크 관리 기법, 멀티홉 전송, 에러 정정 기법에서 인체 통신의 특성을 고려하여 전송 신뢰성을 보장해야 한다. 따라서 인체 매체를 통해 통신을 하는 WBAN은 사람의 행동이나 자세 등 다양한 조건에 따라 발생하는 shadowing, path loss 현상 등을 고려하여 노드 간의 링크가 관리되어야 한다[16]. 또한, 멀티홉 전송은 implant 디바이스를 통한 멀티홉 전송보다 인체 외부에 위치한 wearable 디바이스를 통하여 멀티홉이 전송되도록 고려하여 MAC 프로토콜이 설계되어야 한다.

[그림 7]과 같이 WBAN은 의료용 서비스 주파수 대역과 비의료용 서비스 주파수 대역을 구분하고 있으며, MAC 프로토콜은 2종류의 PHY계층을 관리할 수 있는 확장형 MAC 프로토콜이어야 한다. 따라서 2개의 주파수 대역과 멀티채널을 고려한 MAC 프로토콜이 설계되어야 하며, 컨트롤 채널을 통하여 데이터를 전송할 채널을 선택하고 연속된 채널을 함께 사용하여 고속의 전송이 가능하도록 하는 방안이 제안되고 있다[22].

QoS보장을 위한 방안으로 기존의 IEEE 802.15.4 프로토콜과 같은 하이브리드 방식을 통해 자원을 예약하는 기법과 IEEE 802.11e EDCF를 의료용으로 변형시켜 우선순위를 기반으로 QoS보장을 보장하는 방안이 제안되고 있다[20].

대체로 기존의 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜에 WBAN MAC 프로토콜의 요구사항을 반영하여 제안하고 있다. WiseMAC-HA[21]는 대표적인 경쟁기반의 비동기식 프로토콜인 WiseMAC[8]을 WBAN에서 요구하는 주파수 대역과 멀티채널을 이용하여 WBAN을 위한 MAC 프로토콜을 제안한다.



[그림 8] 무선 센서 네트워크 WiseMAC(좌측)과 WBAN을 위한 WiseMAC-HA(우측)

## 5. 결 론

WLAN과 WPAN이 상업적으로 성장했던 현대의 무선 네트워크 기술에 이어 가까운 미래 사회에는 WBAN이 하나의 주요한 상업적 모델이 될 것으로 예상된다. 특히 개개인이 최소 무선 네트워크 단위로 WBAN을 상시적으로 구성하고 삶을 영위해 나갈 것이라 기대하고 있다. 건강관리에 대한 관심과 웰빙 문화는 앞으로도 꾸준히 지속될 것이라 예상되며, IT 기술의 지속적인 발전은 WBAN 기술을 더욱 유용하게 만들고, 생활에 필요성을 증대시켜 많은 수요가 창출될 것이다. 병원과 같은 의료 기관은 WBAN을 통해 지속적으로 축적된 건강 데이터를 기반으로 더욱 정확한 검진 및 치료가 가능하게 될 것이며, 건강한 WBAN 소유자는 건강 관리 및 질병 발생 시에 빠르게 대처가 가능할 것이다.

현재 국내외의 WBAN을 위한 연구는 WBAN이라는 무선 네트워크의 완성을 목표로 진행 중에 있으며, 외부와의 통신은 PDA와 같은 중앙 디바이스가 담당하도록 제안되고 있다. 하지만, 미래 사회의 WBAN은 단일 무선 네트워크가 아니며, 수많은 WBAN이 수없이 중첩 및 분할 (composition / decomposition) 될 것이다. 또한 WBAN은 그 자체로 하나의 이동성을 지닌 네트워크가 될 것이며, 비의료용 엔터테인먼트 서비스 분야에서도 WBAN은 주요한 아이템이 될 것으로 기대된다.

본 고에서는 WBAN MAC 프로토콜 설계를 위한 기초 작업으로 무선 센서 네트워크의 MAC 프로토콜을 정리하고, IEEE 802.15.6 BAN TG에 기고된 WBAN MAC 프로토콜을 살펴보았다. 차후 연구될 WBAN을 이용한 의료 서비스 플랫폼 개발을 위한 통신 프로토콜 설계 및 구현에서 WBAN MAC 프로토콜 설계 시 본 고의 정리가 유용하게 사용될 것으로 기대한다.

## 참고 문헌

- [1] 이성협, 윤양문, 김도현, "IEEE 802.15.6 중심의 WBAN 국내외 표준화 동향." 한국통신학회지 25권 2호, 2008년 2월
- [2] IEEE 802.15 WPAN WG homepage, <http://www.ieee802.org/15>
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks", in Proceedings of INFOCOM 2002, Jun. 2002, pp.

1567-1576.

- [4] T. van Dam and K. Langendoen. "An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks.", In Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), Los Angeles, CA, November 2003.
- [5] P. Lin, C. Qiao, and X. Wang, "Medium access control with a dynamic duty cycle for sensor networks", *IEEE Wireless Communications and Networking Conference*, Volume: 3, Pages:1534 - 1539, 21-25 March 2004.
- [6] Wei Ye, John Heidemann, and Deborah Estrin. "Medium Access Control with Coordinated Adaptive Sleeping for Wireless Sensor Networks.", *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 12(3):493--506, 2004.
- [7] Gang Lu, Bhaskar Krishnamachari, and Cauligi S. Raghavendra. "An Adaptive Energy-Efficient and Low-Latency MAC for Data Gathering in Wireless Sensor Networks.", In Proceedings of the 18th International Parallel and Distributed Processing Symposium, Apr. 2004.
- [8] A. El-Hoiydi, J.-D. Decotignie, C. Enz, and E. Le Roux. "Poster Abstract: WiseMAC, An Ultra Low Power MAC Protocol for the WiseNET Wireless Sensor Network.", In Proc. 1st ACM SenSys Conf., pages 302-303, November 2003
- [9] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler. "Versatile low power media access for wireless sensor networks.", In The Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), pages 95-107, November 2004.
- [10] M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, and R. Han, "X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks.", in Proc. SenSys'06, Nov. 2006.
- [11] W. R. Heinzelman, A. Chandrakasan, and H. Balakrishnan, "Energy-efficient communication protocols for wireless microsensor networks", in Proc. Hawaii Int. Conf. Systems Sciences, Jan. 2000, pp. 3005-3014.
- [12] K. Sohrabi, J. Gao, Ailawadhi, and G.J. Pottie, "Protocols for Self-organization of a Wireless Sensor Network.", *IEEE Personal Communications*, Vol.7, Oct. 2000, pp.16-27.
- [13] V. Rajendran, K. Obraczka, J.J. Garcia-Luna-Aceves, "Energy-Efficient, Collision-Free Medium Access Control for Wireless Sensor Networks", *Proc. ACM SenSys 03*, Pages:181 - 192, Los Angeles, California, 5-7 November 2003.
- [14] IEEE 802.15.4 Standard-2003, "Part 15.4: Wireless Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs)", 2003
- [15] Injong Rhee, Ajit Warrier, Mahesh Aia and Jeongki Min, "Z-MAC : a Hybrid MAC for Wireless Sensor Networks", In Sensys 2005
- [16] Channel Model for Body Area Network (BAN), IEEE 802.15-08-0418-00-0006

- [17] Application Class Structure, IEEE 802.15-15-08-0096-00-0006
- [18] Low power consumption considerations for BAN, IEEE 802.15-15-08-0435-00-0006
- [19] TG6 Jacksonville Plenary Meeting Minutes, IEEE 802.15-15-08-0393-01-0006
- [20] Priority QoS Facility in the MAC layer for WBAN, IEEE 802.15-15-08-0446-00-0006
- [21] IEEE802.15 WiseMAC-HA : A Flexible, Scalable, Robust and Ultra Low Power, IEEE 802.15-15-08-0484-00-0006
- [22] Distributed and beacon-enabled multiple access control for WBAN, IEEE 802.15-15-08-0439-00-0006

## ● 저 자 소 개 ●



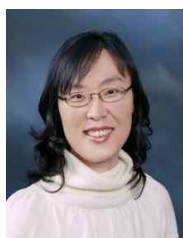
### 서 영 선

2008년 용인대학교 컴퓨터정보학부 학사  
 2008년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 석사 과정  
 관심분야 : 임베디드 시스템, 무선 센서 네트워크  
 E-mail : lamooss@khu.ac.kr



### 조 진 성

1992년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사  
 1994년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사  
 2000년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사  
 1998년 IBM T.J. Watson Research Center Visiting Researcher  
 1999년 ~ 2003년 삼성전자 책임연구원  
 2003년 ~ 현재 경희대학교 컴퓨터공학전공 조교수  
 관심분야 : 모바일 네트워크, 임베디드 시스템.  
 E-mail : chojs@khu.ac.kr



### 김 윤 희

1995년 KAIST 전기및전자공학과 학사  
 1997년 KAIST 전기및전자공학과 석사  
 2000년 KAIST 전자전산학과 전기및전자공학전공 박사  
 2000년 1~4월 UC San Diego 방문 연구원  
 2000년 ~ 2004년 한국전자통신연구원 선임 연구원  
 2004년 ~ 현재 경희대학교 전자·전파공학전공 부교수  
 관심분야 : 이동/무선 통신, 통신 이론, 통신신호처리  
 E-mail : yheekim@khu.ac.kr



이 민 수

1992년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사

1995년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사

2000년 University of Florida 컴퓨터공학과 박사

1995년 ~ 1996년 LG전자 연구원

2000년 ~ 2002년 미국 Oracle Corporation, Senior Member of Technical Staff

2002년 ~ 현재 이화여자대학교 컴퓨터공학전공 부교수

관심분야 : 데이터웨어하우스, 스트림 데이터, 데이터마이닝

E-mail : mlee@ewha.ac.kr