

# Bio-MAC: WBSN환경에서 다양한 생체신호 전송을 위한 최적화된 MAC Protocol

## Bio-MAC: Optimal MAC Protocol for Various Bio-signal Transmission in the WBSN Environment

장봉문\*, 노영식\*\*, 유선국\*\*\*

Bong Mun Jang\*, Young Sin Ro\*\*, Sun Kook Yoo\*\*\*

**Abstract** - In this paper, Medium Access Control(MAC) protocol designed for Wireless Body area Sensor Network(Bio-MAC) is proposed. Because in WBSN, the number of node is limited and each node has different characteristics. Also, reliability in transmitting vital data sensed at each node and periodic transmission should be considered so that general MAC protocol cannot satisfy such requirements of biomedical sensors in WBSN.

Bio-MAC aims at optimal MAC protocol in WBSN. For this, Bio-MAC used Pattern -SuperFrame, which modified IEEE E 802.15.4-based SuperFrame structurely. Bio-MAC based on TDMA uses Medium Access-priority and Pattern eXchange -Beacon method for dynamic slot allocation by considering critical sensing data or power consumption level of sensor node etc. Also, because of the least delay time, Bio-MAC is suitable in the periodic transmission of vital signal data. The simulation results demonstrate that a efficient performance in WBSN can be achieved through the proposed Bio-MAC.

**Key Words** : MAC(Medium Access Control), WBSN(Wireless Body Area Sensor Network), Bio-signal

### 1. 서론

현재 만성 질환 환자의 몸 상태를 모니터링 하는 행위는 병원에서 주로 이루어지고 있으며 환자의 생체 신호를 환자 옆 모니터에 전송하기 위해 유선환경의 센서 측정 방법이 수행되고 있다. 환자의 이동성과 같은 여러 제한 조건을 가지는 유선 방식은 미래의 wireless hospital의 비전을 비추주고, wireless 의료 감시 솔루션에 대한 연구의 필요성을 말해준다.[1] 또한 가까운 미래의 병원이나 가정에서 센서 네트워크를 통한 환자 혹은 일반인의 생체 신호 모니터링 행위는 주로 WPAN (wireless Personal Area Network) 응용 환경인 WBSN에 의해서 가능하게 될 것이다.

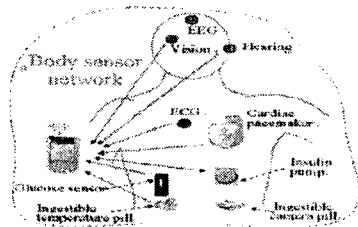


그림 1. 다양한 바이오센서들로 구성된 WBSN

그림 1에서 보는 것처럼 WPAN 환경의 응용분야로서 WBSN는 보통 환자의 인체에 부착된 무선생체계측 센서와

무선 의료장비로 구성된 특별한 무선 네트워크 방식으로서 혈당량 센서, 혈압 센서, 산소 포화도 센서, 온도 센서, 심전도 센서 등의 여러 센서들에 의해서 구성된다. 센서는 환자의 생체 신호를 측정, 처리하게 되고 측정 데이터는 무선 의료장비에 모니터링 되거나 임상자의 PDA등에 전송되게 된다.

이러한 부분에서 MAC 프로토콜은 전체 시스템에 커다란 영향을 미치게 되는데, 기존에 제시된 MAC 프로토콜로는 센서 노드들 간에 동기화된 duty cycle 스케줄을 적용하여 idle listening 문제점 해결을 제시한 S-MAC, T-MAC[2], D-MAC등이 있다. 대표적으로 S-MAC[3]을 살펴보면 Ad-Hoc 망처럼 분산된 환경에서 에너지 효율이 뛰어나고 스트리밍 데이터 서비스에는 적합하지만 음성처럼 주기적인 QoS를 보장 할 수 없고 WPAN 환경처럼 크기가 작은 경우에는 실익이 거의 없다는 단점이 있다. 또한 이외에도 ER-MAC, B-MAC등의 프로토콜이 존재하지만 WBSN 환경을 위해서는 다음과 같은 특징들이 고려되어야 하며 이를 위해 WBSN 환경에 최적화된 MAC 프로토콜이 연구 되어져야 한다. 첫째, 일반적인 센서네트워크에서 수십, 수백 개의 노드들이 같은 노드들을 사용하지만 WBSN 환경에서는 노드 하나하나가 각각의 특징을 가지면서 이기종의 노드들이다. 둘째, Body상에 적용하는 노드의 수가 상당히 제한적이고 에너지 제약적인 면이 강하다. 셋째, 환자마다 중요시하는 생체 신호가 각각 다르고, 의료 측면에서 데이터의 손실은 치명적

저자 소개

\* 장봉문 : 연세大學 의공學科 碩士課程

\*\* 노영식: 울산大學 전기學科 正教授

\*\*\* 유선국: 연세大學 전자學科 正教授 · 工博

인 사고유발의 가능성을 갖게 하므로 신뢰성이 보장 되어야 한다. 넷째, 지속적인 모니터링이 가능하도록 해야 하므로 때에 따라선 실시간 전송이 필요하다.

본 논문에서는 위의 특징적인 면들을 고려하여 star topology WBSN 환경에 최적화된 Bio-MAC을 제안한다. Bio-MAC은 IEEE 802.15.4의 구조적인 수정으로 WBSN에서의 특징적인 요구사항을 수용하고 있다. 또한 Bio-MAC은 하나의 특정 환경에 최적화된 프로토콜로 설계되었다. 네트워크 범위 안에 배치된 센서들로부터 Feedback 된 정보를 활용하여 Bio-MAC은 최적화된 에너지 보존, 신뢰성 향상, 실시간전송 등의 요구사항을 만족하기 위해 동적으로 프로토콜 파라미터들을 조정하게 된다.

## 2. INFORMATION: Bio-MAC

### 2.1 Pattern-SuperFrame

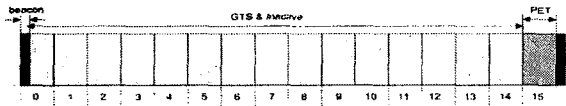


그림 2. Pattern-SuperFrame 구조

WBSN 환경을 위해 제안된 Pattern-SuperFrame(이하 P-SuperFrame)은 IEEE 802.15.4 SuperFrame을 본 논문에서 제안된 MAC에 맞게 적용한 것이다.

이것은 채널을 사용하는 타임슬롯 구조도로서 총 16개에 타임슬롯을 가지며 크게 Guaranteed Time Slot(이하 GTS), Pattern Exchange Time slot(PET), Inactive 세 가지 구간으로 구분할 수 있다. 첫째 GTS는 TDMA 기반으로써 각 노드에게 미리 예약된 슬롯을 보장하는 구간이고, 둘째 PET는 GTS를 미리 예약하기 위해서 Pattern을 코디네이터에게 알려주기 위해서 Pattern Exchange Message를 전송하는 구간이며, 끝으로 Inactive구간은 GTS를 할당한 이후 할당 되지 않은 나머지 구간으로써 모든 GTS를 할당 받지 않은 모든 노드는 저 전력 모드로 전환한다.

결론적으로 TDMA방식과 CSMA/CA방식을 혼합하여 사용되 채널 예약을 위해 노드가 코디네이터에게 패킷 전송하는 마지막 슬롯 부분을 제외하고는 대부분의 슬롯을 TDMA 방식의 예약 채널로 구성하였다. TDMA로 대부분의 슬롯을 할당하였기 때문에 보다 더 안정된 서비스가 가능하게 된다. 또한 IEEE 802.15.4 MAC 구조상 CAP구간을 통해 코디네이터에게 채널 예약을 하는 패킷을 보내게 되는데 이 정보는 코디네이터가 비콘을 브로드캐스트 한 이후에만 적용이 되므로 서비스 지연이 생기지만 위의 구조는 채널 예약 패킷이 전송된 이후 바로 비콘이 전송 되므로 전체 시스템에 바로 대응 할 수 있게 되어 서비스 지연을 최소화 하게 된다.

### 2.2 패킷소개

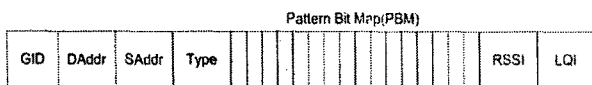


그림 3. Sync-Beacon 구조

이 패킷은 그림X에서 보는 것과 같이 0번 타임슬롯에서 코디네이터가 센싱 노드에게 전송하는 패킷이다. 또한 Zigbee 프로토콜과 같이 채널 안에 모든 노드들에 타임 싱크를 맞추

기 사용되며 Pattern bit를 포함하고 있기 때문에 각 노드들이 예약한 타임슬롯을 서로 공유함으로써 채널간섭을 전혀 발생시키지 않기 때문에 네트워크 대역폭을 최대로 사용할 수 있는 것이 Bio-MAC의 장점 중 하나이다.

GID	DAddr	SAddr	Type	RSVp	Priority	RSSI	LQI
-----	-------	-------	------	------	----------	------	-----

그림 4. PX-Beacon 패킷의 구조

이 패킷은 15번 마지막 타임슬롯에 CSMA 기반으로 노드끼리 서로 경쟁하며 코디네이터에게 전송한다. 타임슬롯 예약과 우선순위를 전송하여 코디네이터를 이 필드 값을 수신하여 타임슬롯을 스케줄링 한다. 스케줄링 된 값은 Syn-Beacon에 Pattern Bit Map(PBM)로 모든 노드에게 다시 전송됨으로써 서로 공유한다.

### 2.3 Bio-MAC의 패턴 스케줄링 기법

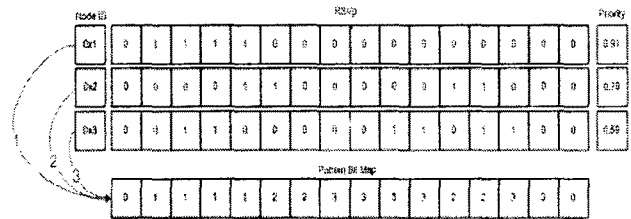


그림 6. Pattern 스케줄링 예시

패턴 스케줄링 기법은 코디네이터에서 계산되어 지는 것으로서 미리 수신해 두었던 PX-Beacon 메시지를 일종의 bit masking 함으로써 수행 되어진다. 각 노드의 PX-Beacon 메시지에 RSVp값을 참조하여 코디네이터가 전송하는 Syn-Beacon메시지 안의 PBM을 계산해 내는 것이다. RSVp는 센서노드가 채널을 사용하고자 하는 타임 예약 구간이다. PBM은 코디네이터가 P-SuperFrame에 예약된 타임슬롯 구간을 채널 안에 모든 노드에게 공유하고자하는 데이터이다. 이때 우선순위가 패턴을 형성하는 가장 큰 역할을 할 수 있다.

그림 6은 패턴 스케줄링 하는 예제이다. 여기에서는 노드가 0x1, 0x2, 0x3있고 우선순위는 각각 0.91, 0.76, 0.59이다. 첫째로 코디네이터는 우선순위를 검색하여 가장 높은 노드인 0x1을 찾아 PBM에 할당시킨다. 다음으로 0x2가 할당시킨다. 그런데 이러한 과정 중에 중복되는 경우가 생기는데 이때에는 우선순위가 낮은 노드는 항상 높은 노드에 양보하게 되고 PBM에 다음으로 가장 가까운 슬롯을 할당한다. 양보된 슬롯은 노드에서 버퍼 큐에 담아둔다. 0x3도 동일한 루틴을 수행한다. 이렇게 스케줄링은 우선순위에 가장 큰 비중을 두고 있다. 왜냐하면 우선순위는 곧 채널에 필요성이기 때문이다.

### 2.4 Dynamic Medium Access Priority

$$BP_{MAC} = EG_L + \frac{BG_L \times E_C}{2^{BR_L+1} \times 2^{ER_L+1}}$$

식 1. 우선순위 채널 선점을 위한 계산

채널 예약을 스케줄링 하기 위한 가장 핵심 적인 부분은 각 센서 노드의 우선순위이다. 본 논문에서 사용한 우선순위 알고리즘은 WBSN 환경에서 무선생체계측 센서 노드 측의 에너지 효율성, 버퍼 용량 등의 파라미터를 고려할 뿐만 아니라 센싱 된 생체정보의 특성과 상태에 따라 유기적으로 대처할 수 있게 함으로써 최적화된 채널 스케줄링을 가능하게 해

준다. 무선생체계측 센서 노드는 센서 디바이스 의존 부분과 생체 신호 데이터의 특성, 이 두 가지를 고려하여 computation algorithm을 적용, 최종적으로 BPMAC (Bio-signal Priority)값을 산출하게 된다. 이를 코디네이터에게 전송함으로써 코디네이터는 무선생체계측 센서 노드들이 동적인 환경에서 효과적으로 채널을 점유하여 사용할 수 있도록 슬랏을 할당 하게 된다.

Energy-Criticality( $E_c$ )	Related-Value
extremely constrained(Implanted Bio-Sensor node)	3
constrained(Ingestible Bio-Sensor node)	2
unconstrained(WBSN Coordinator)	1

표 1. energy criticality(EC)

Buffer Remaining Amount Level(BR <sub>L</sub> )	Related-Value
extremely shortage	1
highly shortage	2
shortage	3
lowly shortage	4

표 2. Buffer Remaining Amount Level(BRL)

Energy Remaining Amount Level(ER <sub>L</sub> )	Related-Value
extremely shortage	1
highly shortage	2
shortage	3
lowly shortage	4

표 3. Energy Remaining Amount Level(ERL)

Type of Sensor	Bio-signal Data-Gravity Level(BG <sub>L</sub> )	Related-Value
ECG, EEG	high	5
EMG	normal	3
Others	low	1

표 4. Bio-signal Data-Gravity Level(BGL)

Emergency-Gravity Level(EG <sub>L</sub> )	Related-Value
highly risk	2
risk	1
normal	0

표 5. Emergency-Gravity Level( EGL)

### 3. 시뮬레이션 환경 및 평가 분석

WBSN 환경에서는 노드의 수가 상당히 제한적이기 때문에 시뮬레이션 시에 디바이스의 수의 증가에 따른 사항들은 고려하지 않았고 주기적인 전송과 우선순위에 따른 동적 스케줄링으로 인한 서비스 지연 시간 비교와 제어 패킷 수에 따른 서비스 지연시간, IEEE 802.15.4와 Bio-MAC의 delay 시간을 고려하였다. 이를 위해 본 논문에서 고려한 모델은 다음과 같다.

Star Topology를 가정한 WBSN환경에서의 의료생체데이터의 중요도에 따라 상위 4개의 센서노드를 선정하여 Wireless Body Sensor Network를 구성하였고, 4개의 무선생체계측 센서 노드들이 Star Topology를 구성하여 WBSN Coordinator에게 실시간으로 생체데이터를 센싱, 전송할 수 있도록 함을 가정하였다. Wireless Body Sensor Network 환

경에서 4개의 센서노드들이 WBSN Coordinator에게 데이터를 보내기 위해서 처음에 Association을 맺고 난 뒤, 기본적인 생체데이터의 중요도 순으로 Pattern-SuperFrame 구조에서 Slot을 배정받을 수 있도록 WBSN Coordinator에서 스케줄링 한다. 이후 Syn-Beacon을 모든 센서노드들에게 전송하여 해당 노드들이 동적으로 할당된 슬랏 구간에서 통신을 하게 된다. 또한, 센서노드와 센싱 된 생체 정보의 특성에 따른 우선순위 알고리즘을 이용하여 동적으로 변하는 네트워크 환경에 유기적으로 대처할 수 있도록 하였다.

### 4. 결론

IEEE 802.15.4의 SuperFrame 구조는 WPAN환경에서 확장성과 서비스 QoS를 모두 만족 시킬 수 있는 좋은 대안이지만 구조적으로 서비스 지연을 가져오고 또한 특정 응용 분야인 WBSN환경의 중요한 특징들을 고려하였을 때 비효율적인 구조를 취하고 있다. 본 논문에서는 WPAN 응용 분야로서 헬스케어 서비스와 같은 WBSN 환경에 최적화된 MAC을 위해 Bio-MAC을 제안하였다. WBSN 환경에 특화된 Bio-MAC에서는 SuperFrame이 가지고 있는 서비스 지연을 막기 위해 구조적인 수정을 통한 TDMA 기반의 Pattern-SuperFrame을 제시하였고 이와 함께 Dynamic Medium Access Priority 알고리즘을 통해 해당 노드들의 에너지 레벨, 생체 신호의 중요성과 같은 여러 요인들을 복합적으로 고려함으로써 동적인 슬랏 할당을 가능하게 만들었다. 이러한 특징들이 생체신호 전송에 대한 서비스 지연을 줄이고 주기적인 전송을 가능하게 하여 WBSN 환경에서 효율적인 동작을 보장해 준다는 것을 확인하였다.

생체 신호의 지속적인 모니터링은 만성질환을 가진 환자들 혹은 질병 예방 측면에서 삶의 질을 크게 향상 시킬 수 있는 잠재력을 가지고 있다. Bio-MAC은 향후 u-healthcare 서비스에 맞춰 각종 무선생체계측 센서와 생체 모니터링 시스템 사이에서 효율적인 인터페이스 역할을 할 것으로 기대된다.

### 참고 문헌

- [1] Morchon, O.G., Baldus H., Sanchez, D.S., resource-Efficient Security for Medical Body Sensor Networks, Wearable and Implantable Body Sensor Networks, 2006. BSN 2006. International Workshop, 4pp, 3-5 April 2006권, pp. 9-18, 1993. 9.
- [2] Tijs van Dam, Koen Langendoen. "An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks". Nov. 2003 Proceedings of the 1st international conference on Embedded networked sensor systems pp:171-180
- [3] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An Energy-Efficient MAC protocol for Wireless Sensor Networks, " in Proceedings of the IEEE INFOCOM 2002, pp. 1567 -1576. Jun. 2002.