

## 전송률을 고려한 WBAN 시스템 설계에 관한 연구

박 주 회 \*

# Study on Wireless Body Area Network System Design Based on Transmission Rate

Joo-Hee Park \*

### 요 약

본 논문에서는 IEEE 802.15.4에서 저속 데이터 전송률을 요구하는 응용을 운용하기 위한 WBAN 시스템 모델을 제안한다. 의료용 응용서비스는 상이한 데이터 전송률과 응급 메시지 전송을 요구하기 때문에 기존의 무선 센서 네트워크 기술을 참조할 수 없다. 이러한 기존 시스템의 문제점들을 해결하기 위하여 WBAN에 적합한 시스템 모델과 WBAN MAC 프로토콜에 관한 내용을 제안하였다. 첫째, 경쟁 구간에 우선순위 큐잉을 적용하여 MAC 명령어 프레임의 전송을 보장할 수 있는 시스템 모델을 제안하였다. 둘째, 제안한 시스템 모델을 사용하기 위해 MAC 프레임을 새롭게 정의하였다. 셋째, 경쟁구간에서 우선순위가 없는 데이터 프레임의 처리량 및 전송 성공 확률을 향상시킬 수 있는 데이터 전송률을 고려한 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘을 제안하였다. 제안한 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘은 BAN(Body Area Network) 및 WSN(Wireless Sensor Network)의 시뮬레이션이 가능한 OMNeT++의 Castalia를 이용하여 구현하였다. 시뮬레이션 결과 제안한 시스템 모델이 기존 방식과 비교하여 데이터 처리량이 개선되고, 충돌 확률이 감소함을 확인할 수 있었다.

▶ Keywords : IEEE 802.15.4, CSMA/CA, 신체영역네트워크, 개인영역네트워크, 무선센서네트워크

### Abstract

In this paper, we proposed WBAN system model to management an application that requires low rate data transfer in IEEE 802.15.4. We have to use different wireless sensor network technology to transfer different data rate and emergency message in medical application service. A suitable system model for WBAN and a WBAN MAC protocol in order to solve these existing system problems are proposed. Firstly, the priority queuing was applied to contention access

• 제1저자 : 박주회 • 교신저자 : 박주회

• 투고일 : 2012. 8. 29, 심사일 : 2012. 11. 15, 게재확정일 : 2012. 12. 11.

\* 삼육보건대학교 의료정보시스템과(Dept. Medical Information System, Sahmyook Health University )

※ 본 논문은 2012년 삼육보건대학교 지원에 의해 연구되었음.

period, and the system model which could guarantee transmission of a MAC command frame was proposed. Secondly, the MAC frame was newly defined to use the system model which was proposed above. Thirdly, WBAN CSMA/CA back-off algorithm based on data transmission rate was proposed to enhance data throughput and transmission probability of the data frame which does not have priority in the proposed WBAN system. The proposed algorithm is designed to be variable CSMA/CA algorithm parameter, depending on data rate. For the evaluation of WBAN CSMA/CA algorithm, we used Castalia. As a result of the simulation, it is found that the proposed system model can not only relieve loads of data processing, but also probability of collision was decreased.

▶ Keywords : IEEE 802.15.4, CSMA/CA, WBAN, WPAN, WSN

## I. 서 론

최근 진보된 첨단 무선 통신 기술과 발전된 의료 센서 기술을 기반으로 헬스케어(Healthcare) 연구가 활발하게 진행되고 있다. 유비쿼터스 센서 네트워크(Ubiquitous Sensor Network) 기술과 생체 의학 기술을 기반으로 하는 WBAN(Wireless Body Area Network)은 인체 내부(Implant) 또는 인체 외부(On-Body, Wearable) 3m 이내 영역에서 통신을 수행하는 WPAN의 차세대 무선 통신 기술이다[1-2]. 현재 WBAN을 위한 PHY(Physical Layer)와 MAC(Medium Access Control)의 기술적 요구사항을 적립하고 있다[3-7].

의료용 센서 노드를 지원하기 위해서 사용하는 저속의 데이터를 전송하는 방식인 IEEE 802.15.4 방식은 MAC 명령어 프레임과 데이터 프레임의 우선순위가 없기 때문에 MAC 명령어의 전송을 보장할 수 없으며, WBAN 환경에는 적합하지 않다. 또한 IEEE 802.15.4의 Slotted CSMA/CA 방식은 모든 MAC 프레임에 동일한 백오프 파라미터를 적용한다. 유사한 데이터 전송률을 가지는 센서 장치로 구성된 WSN 환경에 적용하기에는 적합하지만, 응용 어플리케이션에 따라 상이한 데이터 전송률을 가지는 장치로 구성된 WBAN에는 적합하지 않다[8-10].

위와 같이 IEEE 802.15.4 방식을 그대로 사용할 경우 발생하는 문제점을 해결하기 위하여 WBAN에 적합한 시스템 모델과 WBAN 네트워크를 위한 CSMA/CA 백오프 알고리즘이 필요하다. 본 논문에서는 기존 시스템의 문제점들을 해결할 수 있는 WBAN 시스템 모델과 WBAN MAC 프로토콜을 설계하기 위해서 다음 방안을 제안하였다. 첫째, 저속 데이터 전송률을 가지는 장치의 통신은 ISM(Industrial

Scientific Medical) 대역인 2.4GHz에서, 고속 데이터는 UWB 주파수 대역에서 전송한다. 저속 데이터 전송률을 가지는 장치와 고속 데이터 전송률을 가지는 장치가 서로 다른 주파수 대역을 사용함으로써 무선 통신 채널의 사용 효율을 증가시키고, 장치 간에 동기화 문제를 해결할 수 있다. 둘째, MAC 명령어 프레임과 데이터 프레임의 우선순위를 규정하면서 센서 장치 간에 상이한 데이터 전송률을 지원할 수 있는 시스템 모델을 제안하였다. MAC 명령어를 먼저 전송할 수 있도록 MAC 명령어와 데이터 프레임 간에 우선순위 큐잉을 적용하였으며, 데이터 프레임의 상이한 데이터 전송률을 지원하기 위해 1~127kbps와 128~250kbps를 구분하여 데이터를 전송하도록 큐를 설계하였다. 셋째, CSMA/CA의 전송 성공 확률을 증가시키고, MAC 명령어 프레임과 데이터 프레임의 분산화된 방법으로 채널 접근을 하기위해 CCA(Clear Channel Assessment) 횟수를 다르게 적용하였다. 응용 어플리케이션이 요구하는 전송 지연을 만족하면서 데이터 프레임의 전송 확률을 최대한 증가하기 위해 CCA 횟수를 3으로 제한하였으며, MAC 명령어의 CCA 횟수는 2로 설정하여 채널 접근을 분산화 하는 방법을 제안하였다. 넷째, 제안한 시스템 모델에 적합한 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘을 설계하였다. 우선순위 큐잉 및 상이한 데이터 전송률을 지원하면서 경쟁구간에서 처리량을 향상시키기 위해 MAC 프레임에 따라 다른 백오프 파라미터를 적용할 수 있는 알고리즘을 제안하였다.

본 논문의 세부 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 WBAN, IEEE 802.15.4를 설명하였으며, 제 3장에서는 제안하는 WBAN 네트워크 구조, WBAN MAC 프레임, 전송률을 고려한 WBAN 백오프 알고리즘에 관하여 설명한다. 제 4장에서 제안한 시스템의 성능 평가를 수행하고 결과에 따른 비교 및 고찰을 기술한다. 마지막으로 제 5장에서 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

### 1. WBAN

WBAN은 체내 혹은 인체의 주변에서 일어나는 근거리 통신으로 센서, 통신, 구동체 등의 다양한 기술이 복합적으로 적용되고 있다. IEEE에서는 WBAN의 정의로 인체를 기준으로 하여 인체내부 및 인체로부터 3m 이내의 무선통신으로 정의하고 있다. 이에 따라 WBAN은 현재 다양한 용도로 응용되고 있는데 크게 분류하면 의료용과 비의료용 무선기기로 구분할 수 있다. 즉 가전기기(Consumer Electronics)들 간의 통신을 목적으로 하는 비의료용 분야와 인체내부에 이식되어 인체내부의 건강상태에 대한 모니터링이나 인체에 이상 발생시 대처해 주는 인체이식형 무선기기와 인체외부 3m 이내에서 의료용 센서로부터 송수신하는 인체외부기기로 구분할 수 있다. 그림 1은 WBAN의 분류를 나타낸다.

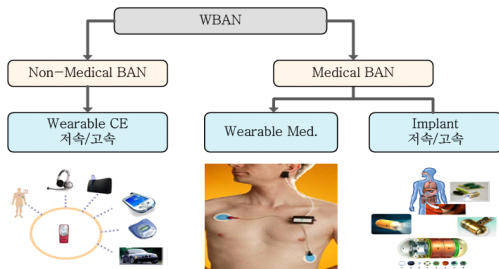


그림 1. WBAN의 분류  
Fig. 1. WBAN Classifications

WBAN은 사람이 착용하는 옷이나 인체의 여러 디바이스 간을 연결하여 통신할 수 있는 무선네트워크로 몸을 중심으로 센서와 구동체 기기 간에 결합이나 통신하는 새로운 유형의 네트워크이다. 또한 심전도, 근전도 등의 생체신호를 측정하여 무선으로 데이터를 전송하는 의료(Medical)분야로 구분될 수 있다. 의료 분야에서는 WBAN을 이용하여 질병으로부터 사전 검진과 방지할 수 있으며, 만성적인 환자나 노약자에 대해 장기적인 건강 상태를 감지하거나 지속적인 상황을 확인할 수 있다.

그림 2는 WBAN 응용서비스 구조를 나타낸다.

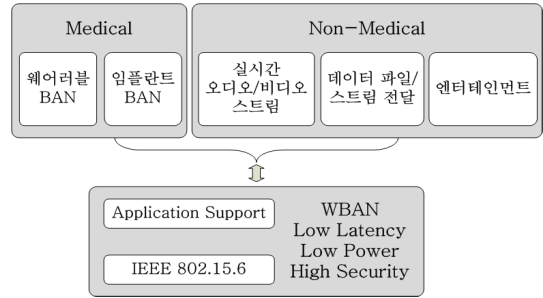


그림 2. WBAN 응용서비스 구조  
Fig. 2. The Application Service Structure of WBAN

### 2. IEEE 802.15.4

#### 2.1 IEEE 802.15.4 기술

저속-WPAN(LR-WPAN: Low Rate Wireless Personal Area Network)은 비교적 단거리 내에서 정보를 전송하는 데 사용된다. 무선 LAN과는 달리 기반구조 (Infrastructure)를 필요로 하지 않으므로, 이러한 특징은 다양한 종류의 디바이스에 구현될 수 있는 소형, 저전력, 저가의 무선통신을 가능하게 한다. IEEE 802.15.4는 이러한 저속 WPAN을 위한 PHY 계층과 MAC 계층의 표준이다.

저속-WPAN은 제한된 전력과 낮은 데이터 처리율이 요구되는 곳에서 무선 접속으로 간단하게 구성할 수 있는 저비용의 통신 네트워크이다. 저속-WPAN은 설치가 용이하고, 신뢰성 있는 데이터 전송, 근거리에서의 동작, 초저가 비용, 그리고 합리적인 배터리 수명 등의 특징을 가지고 있으면서도 유지보수가 간단하고 유연한 프로토콜이 주된 특징이다. 저속-WPAN은 250kbps, 100kbps, 40kbps, 20kbps의 무선 데이터 전송률을 보장하고, 성형(Star) 혹은 P2P(Peer-to-Peer)로 동작한다. 또한, 16 비트 단축 또는 64 비트 확장 주소를 사용하고, 기본적으로 CSMA/CA(Carrier Sense Multiple Access with Collision Avoidance) 채널 액세스를 기반으로 동작한다. PHY의 기능은 무선 송수신기의 활성화 및 비활성화, ED(Energy Detection), LQI(Link Quality Indication), CCA(Clear Channel Assessment), 채널 선택 및 물리 매체를 통하여 패킷을 송수신한다. 무선 대역은 868 MHz, 815MHz, 2450MHz의 비인가 대역 중 하나만 사용하여야 한다.

#### 2.2 IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 구조

저속 WPAN은 슈퍼프레임 구조를 선택적으로 사용할 수 있으며, 슈퍼프레임의 형태는 코디네이터에 의해서 결정된다.

슈퍼프레임은 네트워크 코디네이터가 전송하는 비컨(Beacon)에 의해 범위가 결정되며, 같은 사이즈를 갖는 16개의 슬롯으로 구성된다. 슈퍼프레임은 활동 구간(Active Period) 비활동 구간(Inactive Period)이 있다. 비활동 구간 동안 코디네이터는 저전력 모드로 들어갈 수 있다. 비컨 프레임은 각 슈퍼프레임의 첫 번째 슬롯에서 전송되고, 만약 코디네이터가 슈퍼프레임의 사용을 원하지 않는다면 비컨이 전송되지 않는다. 비컨은 연결된 디바이스들을 동기화시키고, PAN을 식별하고, 슈퍼프레임 구조를 설명하는데 사용된다. 비컨 사이에 있는 CAP(Contention Access Period) 동안 통신하기를 원하는 디바이스는 Slotted CSMA/CA 방식을 사용하여 다른 디바이스들과 경쟁해야 한다. 실시간 통신을 필요로 하는 응용이나 특정 데이터 대역폭을 요구하는 응용을 위하여, PAN 코디네이터는 슈퍼프레임의 일부 활동 구간을 해당 응용에 전용으로 할당할 수 있다. 이러한 구간을 GTS라고 부른다. 슈퍼프레임의 구조는 MAC PIB(PAN Information Base) 값에 의해 설명된다. macBeaconOrder는 코디네이터가 비컨을 전송하는 주기이며 BO라고 정의한다.

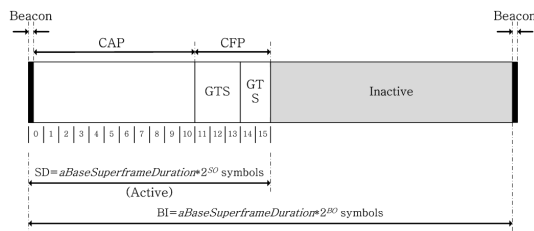


그림 3. 슈퍼프레임 구조  
Fig. 3. Superframe Structure

BO의 크기가 15이면 코디네이터는 비컨 프레임을 전송하지 않는다. macSuperframeOrder는 비컨 프레임의 길이를 포함한 슈퍼프레임의 활동 구간의 길이를 나타내며 SO라고 정의한다. SO값은 BO값보다 클 수 없으며 만약 SO 값이 15이면 비컨 전송 후 활동 구간을 갖지 않는다. 슈퍼프레임의 활동 구간은 같은 간격으로 슬롯화된 aNumSuperframeSlots으로 나누어지며 비컨, CAP, CFP 세 부분으로 구성된다. 비컨은 CSMA를 사용하지 않고 슬롯 0의 시작에 전송되며, CAP는 비컨 다음에 바로 시작된다. CFP가 존재하면 CAP 이후에, 슈퍼프레임의 활동 구간의 마지막까지 확장된다. 저속 WPAN에서 사용되는 슈퍼프레임 구조는 그림 3과 같다. CAP는 슈퍼프레임 슬롯 경계에서 CFP 시작 전에 완료된다. 만약 CFP 길이가 0이면, CAP는 슈퍼프레임의 활동 구간 끝에서 완료된다. CAP는 최소한

aMinCAPLength 심볼이며, 비컨 프레임 길이에서 GTS 유지 관리를 위해 일시적으로 추가적인 공간이 요구되는 경우는 예외이며, CFP 크기를 수용하기 위해 가변적으로 줄이거나 증가시킨다. ACK 프레임과 데이터 요청 명령어의 ACK 바로 뒤에 따라오는 데이터 프레임을 제외하고는 CAP에 전송되는 모든 프레임들은 채널을 액세스하기 위해 Slotted CSMA/CA 방법을 사용한다. 또한 MAC 명령어 프레임들은 항상 CAP에서 전송된다. 만약 PAN 코디네이터에 의해서 GTS가 할당되었으면, 이들은 CFP 내에 위치하며, 연속된 슬롯을 점유한다. 따라서 CFP는 모든 GTS의 전체 길이에 따라 가변한다. CFP 내에서 채널 액세스는 CSMA를 사용하지 않는다.

### III. 제안한 WBAN 시스템 모델

#### 1. WBAN 프로토콜 계층 구조

WBAN은 인체내부에 이식되어 인체내부의 건강상태에 대한 모니터링이나 인체에 이상이 발생시 대처해 주도록 설계된 인체이식형 무선기기와 인체외부의 바이오센서로부터 자료를 수집하는 착용형 무선 기기로 나눌 수 있다. 또한 응용서비스가 지원하는 데이터 전송 속도에 따라 저속, 고속 또는 저속, 중속, 고속 서비스로 분류할 수 있다. WBAN은 광범위한 분야를 포함하고 있으므로 PHY 계층은 다음과 같은 사항을 고려하여 프로토콜 계층 구조를 설계하여야 한다.

첫째, 응용 서비스 분야로서 의료용은 생체 정보의 통신, 비의료용은 가전기기들 간에 통신을 목적으로 구성되기 때문에 의료용과 비의료용을 구별해야 한다. 본 논문에서는 의료용 서비스만을 고려한다.

둘째, 착용형 장치는 일반 대기를 링크로 사용하고, 이식형 장치가 사용하는 인체 내부 링크는 일반 대기(Air) 링크와는 그 특성이 매우 다르다. 따라서 두 링크의 특성을 모두 지원하기 위해서는 각기 다른 PHY를 지원해야한다.

셋째, WBAN 장치들은 응용서비스에 따라 상이한 데이터 전송률을 가지고 있으므로, 저속에서 부터 고속의 데이터 전송률을 지원할 수 있어야 한다. 통신 채널의 효율을 고려하여 저속 데이터와 고속 데이터는 대역을 나누어 두 개의 PHY로 시스템 설계가 이루어져야 하며, 본 논문에서는 저속의 데이터만 고려하여 프로토콜 계층 구조를 제안하였다. 위의 세 가지 사항을 모두 고려하여 저속 WBAN을 위한 프로토콜 계층 구조는 그림 4와 같다.

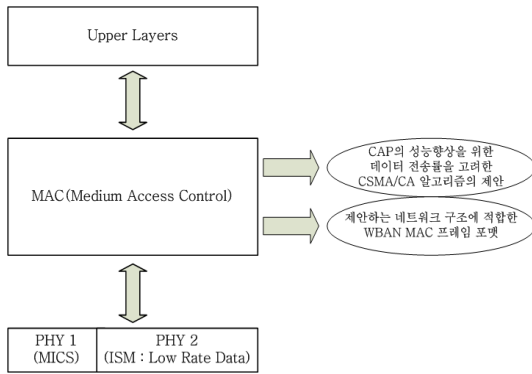


그림 4. 프로토콜 계층 구조  
Fig. 4. Protocol Layer Architecture

그림 4와 같이 제안한 프로토콜 계층 구조는 의료용 응용 서비스를 대상으로 구성되어 있으며, 이식형 장치와 착용형 장치의 주파수 특성을 고려하여 두 개의 채널로 구성되어 있다. 이식형 장치는 인체 내 특성을 고려하여 MICS 대역에서 독립적인 피코넷(Piconet) 망을 형성하고, BC는 이식형 장치의 정보를 수집하여 착용형 장치와 함께 ISM 대역에서 데이터를 전송한다. 이식형 장치의 정보는 데이터의 QoS 보장 및 데이터의 중요도를 고려하여 항상 GTS를 통한 전송을 지향한다. 250kbps 이상의 중 고속 데이터는 UWB 대역을 이용하여 구성한다.

## 2. WBAN 시스템 모델

의료용 저속 데이터 전송을 요구하는 WBAN은 IEEE 802.15.4 MAC을 적용하는데 있어서 몇 가지 문제점을 가지고 있다.

첫째, WBAN은 주로 주기적인 데이터를 전송하며, QoS를 보장하기 위해 GTS의 할당은 경쟁구간에서 MAC 명령어 프레임의 전송을 통해 이루어지므로 MAC 명령어 프레임의 전송이 보장되어야 한다. IEEE 802.15.4 기술은 MAC 프레임들의 우선순위가 존재하지 않으므로 MAC 명령어 프레임의 전송을 보장할 수 없다. 둘째, WBAN에 사용되는 의료용 기기들은 기존의 WPAN에 사용되는 센서와는 다르게 다양한 데이터 전송률을 요구한다. 250kbps 이하의 데이터 전송률 내에서도 응용 어플리케이션에 따라 1kbps~250kbps까지 상이한 데이터 전송률을 가진다. WBAN MAC은 한정된 대역폭을 효율적으로 사용하기 위해 다양한 전송률을 지원하는 시스템이 절실히 필요하다. 셋째, WBAN은 경쟁구간을 분산화된 방법으로 접근하기 위한 메커니즘이 필요하다. IEEE

802.15.4는 모든 프레임이 동일한 확률로 채널을 접근한다. WBAN 노드들 간의 충돌을 최소화하기 위해서 분산화된 방법으로 경쟁구간을 접근할 수 있는 메커니즘이 제시되어야 한다. 넷째, WBAN 시스템에서는 노드가 요구하는 특정한 지연시간을 고려한 알고리즘을 적용해야 한다는 것이다. 다섯째, 기존 IEEE 802.15.4 시스템 및 이기종들의 다른 시스템과의 호환성을 고려하여 통합적으로 연동할 수 있어야 한다. 그림 5는 제안한 WBAN 시스템 모델이다.

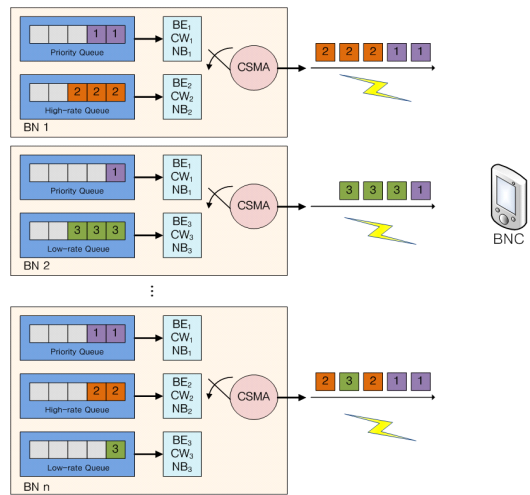


그림 5. WBAN 시스템 모델  
Fig. 5. WBAN System Model

기존 시스템의 문제점들을 해결할 수 있는 WBAN 환경에 적합한 시스템 모델을 구축하는데 있어서 다음 방안들을 제안하였다. 첫째, 경쟁구간에서 MAC 명령어 프레임과 데이터 프레임이 혼재 시, MAC 명령어 프레임 전송에 우선순위를 부여할 수 있는 시스템 모델을 제안하였다. 우선순위를 부여함으로써 응급 데이터 처리 및 GTS 요청 등의 MAC 명령어 프레임의 전송을 보장할 수 있다. 둘째, 제안한 WBAN 시스템을 적용하기 위해서는 MAC 프레임을 구분하여야 하며, 기존의 IEEE 802.15.4와 호환을 고려하여 WBAN MAC 프레임 타입을 제안하였다. 셋째, 경쟁구간을 분산화된 방법으로 접근하기 위해 MAC 명령어와 데이터 프레임의 CCA 횟수를 다르게 적용하였다. MAC 명령어를 전송하기 위해 채널에 접근하는 장치와 MAC 명령어 없이 바로 데이터 프레임의 전송을 시도하는 장치는 같은 경쟁구간에서 채널 접근을 시도할 때 데이터의 충돌을 최소화하기 위해 상대적으로 적은 양의 데이터를 전송하는 MAC 명령어 프레임의 채널 접근을 우선적으로 허락하기 위해 CCA 횟수를 2회, 데이터 프레임은 3회를 적용하였

다. 넷째, 제안하는 알고리즘에서 최대 지연 값이 WBAN 요구사항에 적합한지를 판단하여 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘의 파라미터 초기값을 제안하였다.

### 3. WBAN 명령어 프레임

제안한 시스템 모델과 IEEE 802.15.4의 MAC 프로토콜을 사용하기 위해 WBAN 환경에 적합한 프레임 포맷을 제안하였다. 기존의 IEEE 802.15.4의 프레임 포맷을 기반 프레임 타입 서브 필드를 수정하였으며, 나머지 서브 필드는 IEEE 802.15.4와 동일한 기능을 갖는다. 프레임 타입 서브 필드는 3 비트이며 표 1의 값들 중에 하나로 설정되어야 한다. 000~011은 IEEE 802.15.4에서만 설정이 가능하며, 000~110은 WBAN에서 설정이 가능하다.

표 1. 프레임 타입 서브 필드 값  
Table 1. Values of the Frame Type Subfield

프레임 타입	설명
000	비컨 프레임
001	데이터 프레임
010	ACK 프레임
011	MAC 명령어 프레임
100	(우선순위) MAC 명령어 프레임
101	(비우선순위) High-Rate 데이터 프레임
110	(비우선순위) Low-Rate 데이터 프레임
111	Reserved

### 4. 제안하는 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘

제안한 데이터 전송률을 고려한 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘은 크게 두 가지 기능으로 나눌 수 있다. 첫째, MAC 프레임 간에 전송 순위를 규정할 수 있도록 프레임 포맷에 따라 우선순위를 규정하는 기능을 가지고 있다. 제안한 WBAN 시스템 모델은 MAC 명령어 프레임을 전송하는 우선순위 큐와 데이터 프레임을 전송하는 비우선순위 큐로 구성되어 있다. MAC 명령어와 응급 데이터는 일반 데이터 프레임에 비해 높은 우선순위를 가지므로써, 경쟁구간에서 먼저 채널을 접근할 수 있는 기회를 가질 수 있다. 둘째, WBAN 네트워크를 구성하는 센서 디바이스들의 다양한 데이터 전송률을 효율적으로 처리하기 위해 데이터 전송률에 따라 적용하는 백오프 파라미터를 가변하는 기능을 가지고 있다. 데이터 프레임을 전송하는 큐는 250kbps의 전송 속도 내에서 128~250kbps는 High-Rate 큐, 1~127kbps

는 Low-Rate 큐로 구분한다. 각 큐에 다른 파라미터를 적용하여 높은 데이터 전송률을 지원하는 큐가 낮은 전송률을 지원하는 큐보다 동일시간 내에 전송기회를 많이 획득하도록 제안하고 있다. 제안한 데이터 전송률을 고려한 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘의 흐름도는 그림 6과 같다.

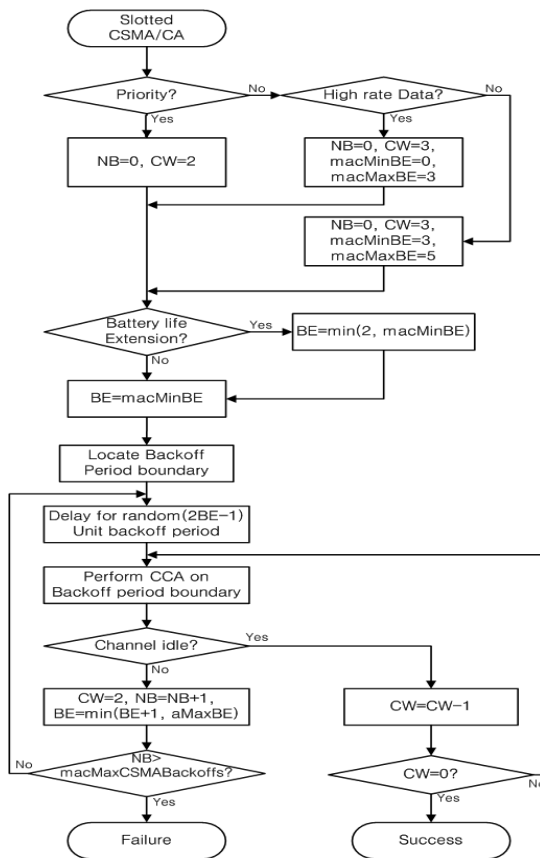


그림 6. 제안하는 알고리즘의 흐름도  
Fig. 6. Flowchart of Proposed Algorithm

첫 번째, 우선순위가 설정된 디바이스는 표 1에 정의된 프레임 타입 서브 필드 값을 바탕으로 자신이 전송하고자 하는 프레임의 포맷에 맞는 값을 설정하여 BNC에 전송한다. 디바이스는 우선순위 여부를 확인한 후, 우선순위가 필요한 프레임이라면 NB=0, CW=2 값으로 설정 후 데이터 전송을 시도한다. MAC 명령어 프레임과 응급 데이터는 우선순위를 보장받아 다른 MAC 프레임보다 먼저 채널 접근을 할 수 있으며, 분산되어 경쟁구간에 접속함으로써 데이터 전송실패를 줄이고 데이터 처리량을 향상시킬 수 있다. 두 번째, 우선순위를 갖지 않는 디바이스는 자신이 지원하는 데이터 전송률을

확인하여 High-Rate인지 Low-Rate인지를 판단한다. High-Rate의 경우 CCA의 횟수를 3회, macMinBE는 0, macMaxBE는 3으로 제설정한다. Low-Rate의 경우 CCA는 3회, macMinBE는 3, macMaxBE는 5로 제설정한다. 경쟁구간을 사용해서 데이터 프레임 전송하는 경우 충돌 가능성이 증가하기 때문에 채널 상태를 판단하는 CCA횟수를 증가할 필요가 있다. 지연시간이 증가하더라도 데이터 프레임의 전송 신뢰성을 향상시킬 수 있으며, 경쟁구간에서 채널 접근을 분산시킬 수 있는 기능도 포함하고 있다. 또한 백오프 파라미터를 High-Rate와 Low-Rate를 다르게 설정함으로써 채널 접근을 시도하기까지 대기 시간을 다르게 적용하여 충돌의 가능성을 감소할 수 있다.

### IV. 성능 평가

#### 1. 성능평가 파라미터

제안한 WBAN 시스템 모델 및 데이터 전송률 기반의 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘의 성능을 평가하기 위해서 BAN(Body Area Networks) 및 IEEE 802.15.4의 시뮬레이션이 가능한 OMNeT++의 Castalia를 사용하였다. Castalia는 OMNeT++ 기반을 두고 동작하며 WSN과 WBAN의 새로운 알고리즘 또는 프로토콜을 적용하기 용이하며 다양한 무선 채널 접근 방법을 지원한다. 본 논문에서는 저속 데이터 전송률을 가지는 의료용 WBAN을 성능평가하기 위해 IEEE 802.15.4 기반에서 동작하는 'ZigBeeMAC'을 선택하여 성능 평가를 하였다. 또한 경쟁구간에서 데이터 전송률 기반의 WBAN CSMA/CA 알고리즘의 타당성을 확인하기 위해 동일한 환경에서 노드의 전송률을 변화시키면서 시뮬레이션하였다. 그림 7은 시뮬레이션에 대한 결과물을 나타내며 지연시간, 수신된 패킷의 양, 버려진 패킷의 양, 에너지 소모 등을 확인할 수 있다.

Module	Output	Dimensions
Application	Application level latency, in ms	1x1(31)
Communication.MAC	Packets received	1x1
	Fraction of time without PAN connection	6x1
	Number of beacons received	6x1
Communication.Radio	Number of beacons sent	1x1
	Packet breakdown	1x1(3)
	RX pkt breakdown	7x1(4)
	TXed pkts	6x1
ResourceManager	Consumed Energy	7x1
wirelessChannel	Fade depth distribution	1x1(14)

NOTE: select from the available outputs using the -s option

그림 7. 시뮬레이션 결과 파라미터  
Fig. 7. The Parameter of Simulation Result

표 2는 제안한 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘에 적용되는 파라미터를 나타낸다.

표 2. CSMA/CA 백오프 파라미터  
Table 2. The CSMA/CA Backoff Parameters

파라미터	1~127kbps	128~250kbps
CW	3	3
macMaxBE	3	0
macMinBE	5	3
macMaxCSMABackoffs	4	4

실험 결과 0.02%의 Duty Cycle로 동작하는 경우 초당 한 개 내지 두 개의 슈퍼프레임을 전송할 수 있으며, 한 번의 슈퍼프레임 트랜잭션에 처리할 수 있는 최대 PSDU 크기를 기준으로 하여 서로 다른 백오프 파라미터를 적용받도록 하였다.

제안한 WBAN 시스템 모델은 한 개의 BNC를 중심으로 10개 BN을 스타 토폴로지 형태로 배치하였다. CC2420 기반으로 통신 반경은 10m를 적용하였다. 시뮬레이션 시간은 Castalia의 BANtest기본 설정인 51초 동안 측정하였으며, 50초는 비활동 구간을 포함하는 데이터 전송시간이며, 네트워크가 시작된 후 1초 동안 MAC setup 하는 시간을 갖는다. WBAN 응용서비스가 요구하는 최대지연인 250ms를 초과하면 전송 실패를 감지하여 패킷을 폐기하도록 설계하였으며 BANtest의 Duty Cycle은 기본 설정인 0.02%로 고정하였다. 성능 평가를 위한 트래픽 파라미터는 표 3과 같다.

표 3. 시뮬레이션 파라미터  
Table 3. The Simulation Parameters

파라미터	값
네트워크 형태	스타 토폴로지
통신 트래픽	Constant Bit Rate
BNC	1개
BN	6개, 8개, 10개
통신 범위	10m×10m

#### 2. 성능평가 결과

제안한 시스템의 성능 평가 결과에 대해 설명한다. Castalia 시뮬레이션은 MAC 명령어와 데이터 프레임의 구분을 하지 않고 전체 송·수신 하는 패킷의 수로 데이터 처리량을 평가하므로, 우선순위를 가지는 MAC 명령어는 패킷의 손실이 없다고 가정하고 경쟁구간에서 데이터 프레임의 전송을 비교하였다. 서로 상이한 데이터 전송률을 가지는 BN으로 구

성된 네트워크에 제안한 데이터 전송률 기반의 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘을 적용한 결과와 IEEE 802.15.4 기반의 CSMA/CA 백오프 알고리즘을 적용한 결과를 비교하였다. 제안한 알고리즘은 충돌의 가능성을 줄이기 위해 CCA를 3번 수행하고, BN의 데이터 전송률에 따라 백오프 파라미터를 적용받는다. CCA를 3회 수행함으로써 충돌은 감소하고 MAC 명령어와 분산화된 방식으로 경쟁구간에 접근을 시도한다. IEEE 802.15.4 기반의 CSMA/CA 백오프 알고리즘은 같은 우선순위 클래스 안에 존재하는 모든 MAC 프레임은 동일한 백오프 파라미터를 적용받으며, 이 때 적용되는 백오프 파라미터는 IEEE 802.15.4 표준의 초기 값을 적용하였다. CCA는 2회, macMinBE는 3, macMaxBE는 5, macMaxCSMABackoffs는 4로 설정하였다.

그림 8은 6개의 BN으로 구성된 WBAN 네트워크에서 경쟁구간의 채널 접근에 실패하여 손실되는 패킷의 양을 나타낸다.

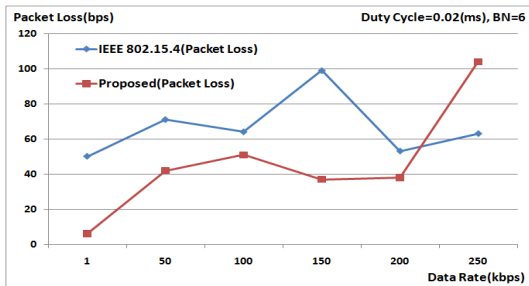


그림 8. BN=6 일 때 경쟁구간의 데이터 손실  
Fig. 8. The Packet Loss of CAP in Case of BN=6

그림 9는 8개의 BN으로 구성된 WBAN 네트워크에서 경쟁구간의 손실되는 패킷의 양을 나타낸다.

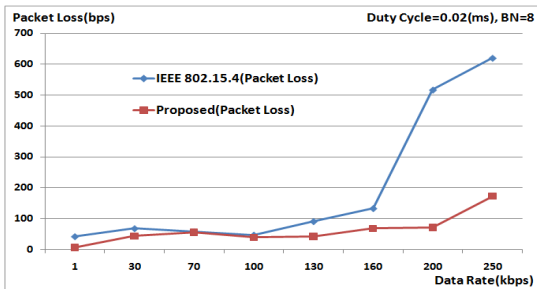


그림 9. BN=8 일 때 경쟁구간의 데이터 손실  
Fig. 9. The Packet Loss of CAP in Case of BN=8

그림 10은 10개의 BN으로 구성된 WBAN 네트워크에서 경쟁구간의 손실되는 패킷의 양을 나타낸다.

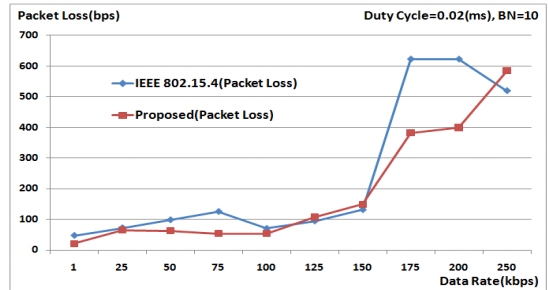


그림 10. BN=10 일 때 경쟁구간의 데이터 손실  
Fig. 10. The Packet Loss of CAP in Case of BN=10

경쟁구간에서 손실되는 패킷의 양을 비교한 그림 8, 그림 9, 그림 10을 보면 제안한 WBAN CSMA/CA 알고리즘이 IEEE 802.15.4 CSMA/CA 알고리즘에 비하여 디바이스의 데이터 전송률이 증가 할수록 데이터 손실이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 데이터 전송률이 증가하는 경우 디바이스에서 CCA를 더 많이 수행하기 때문에 제안한 WBAN CSMA/CA 알고리즘을 사용할 경우 충돌의 가능성이 감소하였기 때문이다. 채널 지연 시간의 경우 두 알고리즘 모두 채널 획득 시간이 250ms가 넘어가게 되는 경우 강제로 패킷을 폐기하였기 때문에 수신된 패킷의 경우 WBAN이 요구하는 지연시간을 만족한다.

## V. 결론

최근 국내외에서 IT-BT 융합기술의 발달로 인체 영역에서 사용되는 의료용, 비의료용 근거리 통신을 위한 WBAN에 관한 연구가 진행되고 있다. 의료용 데이터 전송의 경우 인체에 관한 정보 전달을 목적으로 하기 때문에 응급 메시지 및 주기적인 데이터 전송을 지원하기 위한 방법이 요구되고 있다. 경쟁구간에서는 데이터의 처리량을 개선하는 방법이 요구되고, 비경쟁구간에서는 QoS를 보장하기 위한 방법이 연구되고 있다.

본 논문에서는 WBAN 시스템의 경쟁구간에서 데이터 전송 시 전송 성공 확률 및 처리량을 향상시키기 위해 WBAN 환경에 적합한 시스템 모델을 제안하였다. GTS 타임 슬롯을 사용하기 위해서는 우선 MAC 명령어 프레임에 GTS 타임 슬롯을 할당 받아야 한다. 이를 위해 MAC 명령어 프레임에 우선순위를 부여하기 위한 우선순위 큐잉 방법을 제안하였다. 경쟁구간을 분산화된 방법으로 접근하기 위한 방법으로 MAC 프레임에 따라 서로 다른 CCA 회수를 부여하였으며, 이는 경쟁구간의 전송 성공 확률을 향상시키기 위한 방법으로



도 사용된다. 제한한 시스템 모델에 적합한 WBAN 기반의 MAC 프레임 포맷을 설계하였으며, 마지막으로 제한한 WBAN 시스템 모델에서 경쟁구간의 데이터 처리량 향상을 위해 전송률을 고려한 WBAN CSMA/CA 백오프 알고리즘을 제안하였다.

제한한 WBAN 시스템 모델 및 CSMA/CA 백오프 알고리즘의 성능을 비교하기 위해 Castalia에서 구현한 시스템 모델에 제한한 알고리즘과 IEEE 802.15.4에서 사용되는 알고리즘을 적용하여 비교하였다. 제한한 알고리즘은 WBAN의 특성상 데이터 처리량을 향상시키기 위해 CCA를 3번 수행하기 때문에 기존의 알고리즘에 비해 전송 시도 횟수는 감소한다. 하지만 충돌이 발생할 확률이 감소하기 때문에 적은 전송 시도 횟수에도 불구하고 전송 성공한 데이터의 양이 증가하였고, 전송 성공 확률은 더욱 증가하였다. 또한 충돌로 인한 데이터 손실이 감소하기 때문에 경쟁 구간의 채널 사용 효율이 증가하게 된다.

향후 연구 과제로는 고속 데이터 WBAN과 연동할 수 있는 미들웨어의 설계와 WBAN의 경쟁구간의 성능을 향상시키기 위해 WBAN CSMA/CA의 수학적 분석을 통한 시스템 구현을 위해 개선된 알고리즘을 설계해야 할 것이다.

### 참고문헌

[1] B. Zhen, H. B. Li, and R. Kohn, "IEEE body area networks and medical implant communications," Proceedings of International Conference on Body area networks, pp. 24-35, September 2008.

[2] M. J. Miller and N. H. Vaidya, "A MAC Protocol to Reduce Sensor Network Energy Consumption Using a Wakeup Radio," IEEE Transactions on Mobile Computing, Vol. 4, Issue 3, pp. 228-242, June 2005.

[3] Hyung-Soo Lee, "WBAN Standard Trend and Technology research," TTA Journal, No. 128, pp.77-81, March 2010.

[4] Hong-Soon Nam, Hyung-Soo Lee, Jae-Young Kim, "Trend of WBAN Application Service," Electronics and Telecommunications Research Institute (Electronics and Telecommunications Trends), Vol. 24, No. 5, pp.109-118, October 2009.

[5] TTAK.KO-06.0226, "MAC Layer for Human Body Communication" Telecommunications Technology Association, pp. 10-24, December 2009.

[6] IEEE P802.15.6TM/D00 Draft Standard for Body Area Network, IEEE Computer Society, May 2010.

[7] TTAK.KO-10.03445, "Medium Access Control Layer for Wireless Body Area Networks (WBAN)" Telecommunications Technology Association, pp. 3-13, December 2009.

[8] IEEE Standard for Information technology Telecommunications and information exchange between systems Local and metropolitan area networks Specific requirements Part 15.4 Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs), IEEE Computer Society, September 2006.

[9] IEEE P802.15.6TM/D00 Draft Standard for Body Area Network, IEEE Computer Society, May 2010.

[10] I. Yeo, J. Kim, and S. An, "Performance Enhancement in a Low Rate Wireless PAN", Proceedings of Second International Conference on Sensor Technologies and Applications, pp. 474-479, August 2008.

### 저자 소개



박 주 희

1997: 관동대학교  
전자공학과 공학사.  
2000: 광운대학교  
전자통신공학과 공학석사.  
2006: 광운대학교  
전자통신공학과 공학박사  
현 재: 삼육보건대학교  
의료정보시스템과 교수  
관심분야: 의료정보시스템, u-Health  
Email : medisprof@shu.ac.kr

