

의료용 WBAN 환경에서 경쟁 기반의 MAC 프로토콜을 위한 우선순위 기반 채널 접근 알고리즘

(A Priority-based Channel Access Algorithm for the
Contention-based MAC Protocol in Medical BANs)

김 범 석 [†] 조 진 성 ^{††}
(BeomSeok Kim) (Jinsung Cho)

요 약 무선통신기술의 발전으로 WSN은 다양한 분야에 적용되고 있다. 특히 의료용 통신표준으로 WBAN, MBAN은 각각 IEEE 802.15.6에서 표준화가 완료되었거나 진행 중이다. 이 같은 의료용 네트워크를 구성하는 노드들은 높은 밀집도로 분포된다. 특히, WBAN은 중앙 집중 방식으로 통신하기 때문에 높은 경쟁 복잡도를 가진다. 또한, WBAN과 공존을 고려하는 MBAN에서의 경쟁 복잡도는 더욱 증가될 수 있다. 본 논문에서는 의료용 통신인 WBAN, MBAN에서의 경쟁 복잡도 감소를 위해 채널 접근 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 WBAN 표준 문서를 기반으로 경쟁구간을 4개의 sub-phase로 나누며, 그 길이를 offset계산을 통해 결정한다. 제안하는 알고리즘은 WBAN, MBAN표준과 비교되었으며, 시뮬레이션을 통해 경쟁 복잡도가 감소하는 결과를 얻을 수 있었다.

키워드: 무선 인체 통신, MAC, 경쟁 복잡도, 채널 접근 알고리즘

Abstract By advancement of wireless communication techniques, wireless sensor networks (WSNs) have been applied in variety area. Especially, wireless body area networks (WBANs) and medical body area networks (MBANs) which provide medical services are standardized with activity. Such devices of medical BANs may be densely deployed. Especially, WBANs operates in a centralized manner, and thus, contention complexity on contention-based phase of WBANs may be larger than WSNs. Moreover, MBANs consider coexistence problem with WBANs and it can cause contention complexity problems. In this paper, we propose a novel channel access algorithm for contention based MAC protocol in medical BAN. The proposed algorithm classifies the contention-based access phase into 4-levels by the priority of packet that is defined in WBAN draft document, and divides the contention-based access phase into sub-period by calculated offset. Extensive simulation results show that the proposed algorithm achieves low complexity such as reduced collisions and latency, low power consumption, and high reliability compared with the IEEE 802.15.4 and the IEEE 802.15.6 MAC protocol.

Keywords: wireless body area network, MAC, contention complexity, channel access algorithm

· 이 논문은 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업 (NIPA-2013-(H0301-13-2001)) 및 교육과학기술부 및 한국과학재단의 중견연구자 사업(No. 2011-0015744)의 지원으로 수행된 연구결과임

[†] 학생회원 : 경희대학교 컴퓨터공학과
passion0822@khu.ac.kr

^{††} 종신회원 : 경희대학교 컴퓨터공학과 교수
chojs@khu.ac.kr
(Corresponding author)

논문접수 : 2013년 2월 25일

심사완료 : 2013년 6월 19일

Copyright©2013 한국정보과학회 : 개인 목적이거나 교육 목적인 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제40권 제5호(2013.10)

1. 서론

무선기기의 발달로 인해 센서 디바이스의 소형화, 저전력이 실현 가능하게 되었으며, 무선 통신 기술의 발달로 높은 신뢰성, 낮은 지연시간을 보장해 줄 수 있게 되었다. 이와 같은 기술의 발달을 토대로 최근 의료용 서비스를 지원하기 위한 u-Healthcare, u-Lifecare의 관심이 높아지고 있다. 원격 진료나 환자 상태 모니터링 뿐만 아니라 건강관리를 목적으로 하는 u-Healthcare와 u-Lifecare는 인체 중심의 통신 구조가 필요하며, 높은 휴대성이 필요하게 된다. 이러한 요구사항을 만족시키기 위해서 의료용 서비스를 지원하기 위한 기술로 Wireless Personal Area Network (WPAN)가 고려되었다. 특히 저전력과 낮은 데이터 전송률을 특징으로 하는 IEEE 802.15.4 표준은 의료용 서비스의 요구사항을 일정부분 충족시킬 수 있기 때문에 u-Lifecare나 u-Healthcare 개발에 많이 사용되었다[1-3]. 하지만 IEEE 802.15.4는 의료용 응용을 목표로 정의된 표준이 아니기 때문에 u-Healthcare나 u-Lifecare의 요구사항을 모두 충족시킬 수 없다. 이를 해결하기 위해 IEEE 802.15 Working Group은 차세대 WPAN 기술로 Wireless Body Area Network (WBAN)을 정의하고 표준화를 진행하였다[4].

WBAN은 인체 내부(implant), 피부표면(on-body, wearable), 인체를 중심으로 3-5m 범위안에 존재하는 인체외부 (external)에 위치한 장치들간의 통신을 정의한다. WBAN은 중앙 집중적인 star topology 형태를 지니는 네트워크로, 코디네이터(coordinator), 의료용 디바이스(medical device), 개인 소비자용 전자 제품(consumer electronics)으로 구성되며, 의료 및 비의료 서비스를 동시에 제공하는 것을 목표로 하고 있다. IEEE 802.15 Working Group은 Wireless Next Generation (WNG)에서의 관심을 시작으로 IG-BAN(interest group-BAN), SG-BAN (study group-BAN)을 거쳐 2007년 11월부터 WBAN의 표준화를 위해 IEEE 802.15 Task Group 6를 구성하여 표준화를 진행해 왔으며, 2012년 2월 29일에 WBAN을 위한 PHY와 MAC 계층의 표준화를 완료하여 표준화 문서를 공개하였다[5]. IEEE 802.15.6에서는 WBAN의 요구사항을 Technical requirement document(TRD)에 정의하고 있다[6]. 의료용 서비스에서 발생할 수 있는 데이터는 낮은 전송률을 요구하며, 주기적인 특징을 가지고 있다. 반면, 비의료용 서비스에서는 동영상, 오디오 스트리밍을 비롯한 게임, SNS와 같은 다양한 서비스를 목표로 하고 있으며 이와 같은 서비스에서 발생하는 데이터는 상이한 데이터 전송률을 요구하며 event-driven 방식으로 데이터를 발생시키는 특징을 가진다.

한편, 병원이나 가정집에서의 의료용 서비스 제공에 특화시켜 IEEE 802.15.4를 확장한 MBAN(Medical Body Area Network)이 2011년 1월부터 IEEE 802.15.4j에서 표준화가 진행 중이다[7,8]. MBAN은 의료시설 내부의 의료기기간의 통신을 정의하고 있으며, 기존의 IEEE 802.15.4 PHY계층을 의료용 통신에 적합하게 변경하고, 이에 따라 발생하는 MAC 계층의 요구사항을 충족시키는 것을 목표로 한다. 의료시설 내부의 의료기기는 ECG, 캡슐형 내시경과 같이 높은 전송률을 요구하는 장치 뿐만 아니라 체온, 혈압과 같이 낮은 전송률을 요구하는 장치로 구성되며, 이런 다양한 장치들을 통해 제공하는 서비스들을 모두 충족시키기 위해서는 상이한 요구사항을 만족시키기 위해서 MAC 계층의 역할이 매우 중요하다.

한편, MAC 계층에서 사용되는 채널 접근 방안은 크게 경쟁 기반과 비경쟁 기반으로 구분된다. 비경쟁 기반 채널 접근 방안은 TDMA같이 각 노드가 할당받은 시간동안 데이터를 전송하는 방식으로 네트워크의 트래픽이 많은 경우에 높은 성능을 보인다. 반면, 시간할당을 위해서는 네트워크 전체의 동기화가 필요하기 때문에 추가적인 오버헤드가 발생하며 다수의 네트워크가 중첩된 상황에서 할당된 시간의 중첩으로 인한 충돌이 발생할 수 있다. 경쟁 기반 채널 접근 방안에서의 각 노드는 독립적으로 채널 점유를 위해 상호 경쟁을 하며, 그 방식은 Aloha나 CSMA/CA와 같거나 비슷한 동작방식을 취한다. 시간 동기화가 필요한 비경쟁 기반 채널 접근 방안과는 다르게 경쟁 기반 채널 접근 방안에서는 각 노드가 독립적으로 동작하기 때문에 확장성, 적응력이 우수하며 동기화로 인한 오버헤드가 없다는 장점이 있는 반면에 경쟁으로 인한 추가적인 지연의 발생, 트래픽이 많은 환경에서 비경쟁 기반의 채널 접근 방안에 비해 낮은 성능을 보인다는 단점이 있다.

하지만, 이 같은 채널 접근 기법의 tradeoff가 존재함에도 불구하고 실제 산업에서 사용되는 무선 통신 기법은 일반적으로 비경쟁 기반이 아닌 경쟁 기반의 채널 접근 방안을 채택하고 있다. 비경쟁 기반의 채널 접근 방안을 사용하지 않는 이유는 비경쟁 기반의 채널 접근 방안의 이론적인 성능이 훨씬 높을 수 있지만, 실제로 구현을 한 경우에 각 노드가 가지고 있는 클럭의 오차로 인해 발생하는 동기화의 부정확성과 이를 해결하기 위해 발생하는 오버헤드가 크기 때문이다. 따라서 구현의 관점에서 보았을 때, 비경쟁 기반의 채널 접근 방안보다는 경쟁 기반의 채널 접근 방안을 사용하는 것이 바람직하다는 것을 알 수 있다.

실제로 경쟁 기반의 MAC 프로토콜을 사용하는 대표적인 응용 사례로 WSN (Wireless Sensor Network)을

들 수 있다[9]. WSN은 WBAN의 모체라고 볼 수 있는 통신 형태이다. WSN은 전쟁터에서의 적군 이동 경로 감지, 산불 감지, 공장 자동화와 같이, 넓은 지역에 센서 디바이스를 분산시킨 후 각 센서에서 측정된 데이터를 수집하여 특정 응용을 지원하는 것을 목표로 한다. 이와 같은 특정 응용의 요구사항을 만족시키기 위해 WSN에서는 저전력, 낮은 전송률을 제공하는 것을 목표로 하는 IEEE 802.15.4에서 정의한 PHY와 MAC 프로토콜을 주로 사용한다. 하지만, WBAN은 3-5m 이내에 장착할 수 있는 디바이스의 개수가 최대 256개로 좁은 지역에 높은 밀집도를 가지는 네트워크 구조를 띄고 있기 때문에 센서 디바이스를 넓은 지역에 배치하는 WSN과는 다른 환경을 가지며, 이러한 환경은 WSN에 비해 더 많은 혼잡상황이 벌어지게 된다.

일반적으로 경쟁기반의 MAC 프로토콜에서의 혼잡상황은 특정지역에 traffic이 몰려서 발생하는 경쟁 지연시간과 충돌로 인해 발생하는 재전송을 의미한다. 또한, 이러한 혼잡은 전송 지연시간의 증가와 재전송으로 인한 전력소모량 증가로 인해 네트워크의 성능을 감소시킨다. 분산기반의 구조를 가지는 큰 범위의 네트워크에서 이러한 혼잡이 발생하는 지역은 그림 1(a)와 같이 경쟁 지연시간의 증가나 충돌이 발생하는 디바이스들의 통신 영역들이 서로 중첩되어 있으면서 채널 접근을 시도하는 경우로 국지적인 혼잡이 발생함을 알 수 있다. WSN과는 다르게, WBAN의 경우에는 그림 1(b)와 같이 좁은 지역에 밀집된 형태의 단일 네트워크에서의 혼잡이 발생할 수 있는 영역이 네트워크 전체가 된다. 이와 같이 동일 시간에 채널에 접근하는 노드의 수가 증가하게 되면 경쟁 복잡도가 증가하게 되고, 그 결과 패킷 전송률의 감소, 충돌 횟수, 지연시간 및 전력소모량

의 증가를 유발하게 되며, 본 논문에서는 이와 같은 상황을 경쟁 복잡도가 증가한다고 정의한다.

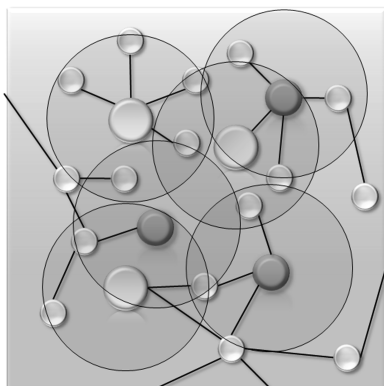
따라서 본 논문에서는 WBAN과 MBAN을 포함하는 경쟁기반의 medical BAN에서 사용되는 MAC 프로토콜에서의 경쟁 복잡도 감소를 위한 채널 접근 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 ACM ICUIMC 2012에서 발표된 논문을 기초로 하였으며[10], 보다 신뢰성 있는 성능 분석을 위해 시뮬레이션 환경을 재구축하였다. 제안하는 알고리즘은 slotted-CSMA/CA를 기반으로 하며, WBAN draft 문서에 정의되어 있는 데이터 우선순위에 따라 경쟁 구간을 4개의 sub-phase로 나누고, 그 길이는 offset계산을 통해 결정된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WBAN의 요구사항을 살펴본다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 경쟁 복잡도 감소를 위한 채널 접근 알고리즘을 기술하며, 4장에서는 성능을 평가하고 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

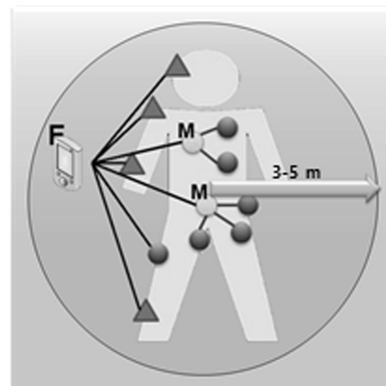
2. 관련연구

WBAN과 MBAN과 같은 의료 서비스를 제공해 주는 medical BAN은 밀집된 네트워크 환경에서 원활히 동작해야 한다. 그러므로 medical BAN환경에서 동작하는 WBAN과 MBAN의 MAC 프로토콜은 다수의 디바이스 또는 응용간에 낮은 경쟁 복잡도를 제공해야 한다. 낮은 경쟁 복잡도를 제공해 주기 위해서 WBAN 및 MBAN MAC 프로토콜은 다음의 요구사항을 만족해야 한다.

WBAN은 인체를 중심으로 3-5미터 이내의 공간에서 인체 내부, 외부에 장착된 다양한 디바이스들로 네트워크를 구성하여 의료 및 CE 서비스를 제공한다. 다양한



(a) Local congestion on multiple network



(b) Concentrated congestion on single network

그림 1 네트워크의 형태와 밀집도에 따른 혼잡 상황의 범위

Fig. 1 Congestion range according to type of network and density

서비스를 동시에 제공함을 목표로 하는 WBAN을 원활히 동작시키기 위해서 IEEE 802.15.6은 TRD 문서를 정의하고 있으며, 이 문서에서는 크게 저전력과 전송 지연에 대한 요구사항이 아래와 같이 정의되고 있다[8].

- 저전력과 듀티 사이클(Low power consumption and Duty-cycle): WBAN을 구성하는 모든 디바이스들은 WBAN의 특성에 따라 이동성을 가지고 있기 때문에 배터리를 기반으로 동작한다. 특히 인체 내부에 장착되는 디바이스들의 배터리를 교체하기 위해서는 착용자의 수술이 불가피하기 때문에 한번 장착된 디바이스의 사용기간은 매우 중요하다. 따라서 디바이스의 전력 소모량을 최소화 하여야 하며, 이를 위해서 낮은 duty-cycle을 요구하게 된다. 다양한 응용을 제공하는 WBAN은 해당 응용을 제공하는 디바이스마다 서로 다른 duty-cycle을 정의하고 있다. 체내에 이식되는 의료 디바이스는 1% 미만을 요구하며, 그 이외의 의료 디바이스는 최대 10% 미만을 요구한다. 의료용 디바이스와는 다르게 CE 디바이스는 상대적으로 배터리 교체가 용이하기 때문에 duty-cycle을 크게 요구받지 않으며 크게 low, medium, high로 나뉘어져 있다.
- 전송지연 및 신뢰성(Latency and Reliability): 대체로 의료 분야의 WBAN 디바이스는 인체의 정보를 주기적으로 수집하고 취합된 정보를 분석할 수 있도록 모니터링 시스템과 같은 응용 서비스로의 전달을 수행한다. 따라서 일반적인 의료분야의 WBAN 디바이스는 WBAN 네트워크에 항상 연결되어 있으며, 이러한 데이터 생성 주기는 1ms부터 1000s까지 광범위하게 다양한 주기를 가질 수 있다. 이러한 의료용 응용 서비스가 원활히 제공되지 않게 된다면 착용자의 생명에 직접적인 영향을 미칠 수 있다. 이 같은 이유로 WBAN은 의료용 디바이스에서 발생하는 데이터의 신뢰성 및 QoS 보장을 위해 최대 지연시간은 125ms로 정의하고 있다. 반면에 CE 디바이스는 때때로 네트워크에 연결되며, 데이터 전송도 event-driven 기

법에 의하여 때때로(sporadically) 대량의 데이터가 폭발적(bursty)으로 발생하는 특징을 일반적으로 가진다. CE 디바이스에서 발생하는 의료용 디바이스에서 발생하는 데이터에 비해 상대적으로 낮은 우선순위를 가지고 있지만 두 서비스 모두 최소한의 QoS를 보장해야 하기 때문에 최대 250ms의 지연시간을 만족해야 한다.

- 데이터 타입의 우선순위(Priority of data type): WBAN에서 발생하는 데이터는 크게 의료용 데이터와 CE 데이터로 구분된다. 하지만 의료용 데이터는 응급데이터와 같이 사용자의 생명과 직결되는 데이터가 존재하며, 치명적이지 않는 의료데이터가 존재한다. 상대적으로 중요한 데이터의 우선적인 처리를 위해 IEEE 802.15.6에서는 데이터의 중요도에 따라 8개의 데이터 타입을 나누고 우선순위를 적용하였다[6]. 각 데이터 타입은 표 1과 같이 정의하고 있으며, 각 우선 순위는 WBAN에서 채택하고 있는 우선순위 기반의 slotted CSMA/CA에서 서로 다른 CW(contention window)를 정의하여 높은 우선 순위를 가지는 데이터 타입의 우선적인 채널 접근을 할 수 있게 한다. 또한, WBAN은 표 2와 같이 서비스를 기준으로 Non-medical services, Mixed medical and non-medical services, General health services, highest priority medical services로 나누어 정의하여 높은 우선순위를 가지는 서비스가 먼저 처리될 수 있게 한다.

한편, MBAN은 병원이나 가정집에서의 의료 서비스 제공을 목표로 하는 IEEE 802.15.4기반의 표준이다[7]. MBAN이 목표로 하는 서비스의 특성상 WBAN과의 공존성 문제는 중요한 문제이며, 이를 해결하기 위해서 IEEE 802.15.4에서는 Technical requirement를 정의하고 있으며, PHY와 Federal Communication Commission (FCC) MBAN에서 정의하는 규칙에 맞게 기존의 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜에 필요한 기능을 추가한다고 명시되어 있으며 상세 내용은 다음과 같다[11].

- 전송 전력 제한과 듀티 사이클(Transmission power

표 1 데이터 타입에 따른 우선순위 및 CW의 최대/최소값

Table 1 Priorities and minimum/maximum CW values according to data type

Priority	User priority	Traffic designation	CW	
			MinCW	MaxCW
Lowest	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
Highest	7	Emergency or medical implant event report	1	4

표 2 서비스에 기반한 우선순위
Table 2 Priority based on WBAN services

Priority	BAN services
0	Non-medical services
1	Mixed medical and non-medical services
2	General health services
3	Highest priority medical services

control and Duty-cycle): FCC Notification of proposed rulemaking(NPRM)의 파트 95 MedRadio에서는 MBAN 디바이스들의 최대 전송 전력을 ISM(Industrial Scientific and Medical equipment) 대역 중 2360-2390 MHz 대역과 2390-2400 MHz 대역을 나누어 각기 전송 전력을 제한하고 있으며, 낮은 듀티 사이클을 요구사항에 정의하고 있다. MBAN의 전력 소모량과 듀티 사이클에 대한 요구사항은 표준화 진행 과정에서 협의 중인 것으로 정확한 수치가 정의되어 있지는 않지만 표준화에 참여하는 여러 연구 단체의 제안사항에서 1-20 W/MHz로 제한하고 있다[12].

이 같은 요구사항을 만족하기 위해서 IEEE 802.15.6와 IEEE 802.15.4j는 PHY, MAC 프로토콜을 정의하고 있으며, MAC 프로토콜에서는 경쟁/비경쟁 기반 채널 접근 방안을 IEEE 802.15.6에서는 slotted-CSMA/CA와 slotted-Aloha, 그리고 scheduled access period를 제공하고 있으며, IEEE 802.15.4j에서는 slotted-CSMA/CA와

Contention free period(CFP)를 함께 제공하고 있다. 하지만 주기적인 데이터와 비주기적인 데이터가 혼재되어 있는 WBAN 및 MBAN에서는 비경쟁 전송구간만으로 모든 요구사항을 충족시킬 수 없기 때문에 경쟁/비경쟁을 모두 사용하는 superframe 구조, 또는 경쟁기반으로만 동작하는 구조를 가지게 되며, 이러한 환경에서 다수의 WBAN 혹은 WBAN과 MBAN이 중첩된 상황에서의 충돌 상황이 발생할 수 있다. 이 같은 상황이 발생하는 경우를 유연하게 해결하기 위해서 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜은 그림 2와 같이 경쟁, 비경쟁 기반의 채널 접근이 정해진 구간만큼 나누어져 혼재되어 있는 superframe 구조와 beacon 없이 경쟁, 비경쟁 기반의 채널 접근 방식을 유연하게 할당하여 동작하는 superframe, 그리고 superframe 구조 없이 경쟁 기반으로 동작하는 모드를 채택하고 있으며, IEEE 802.15.4j에서도 beacon이 있는 superframe 구조, beacon이 있지만 superframe 구조를 띄지 않아 경쟁기반으로만 동작하는 구조, 그리고 beacon 없이 경쟁기반으로 동작하는 구조를 제공한다[5,7].

하지만 비경쟁 기반의 채널 접근 방안이 포함된 superframe 구조에서의 문제점인 네트워크 전체의 시간 동기화로 인한 높은 overhead 때문에 현실적으로 경쟁기반으로만 동작하는 채널 접근 구조를 사용해야만 한다. 이 같은 상황을 가정했을 때, 3-5m 공간 이내에 최

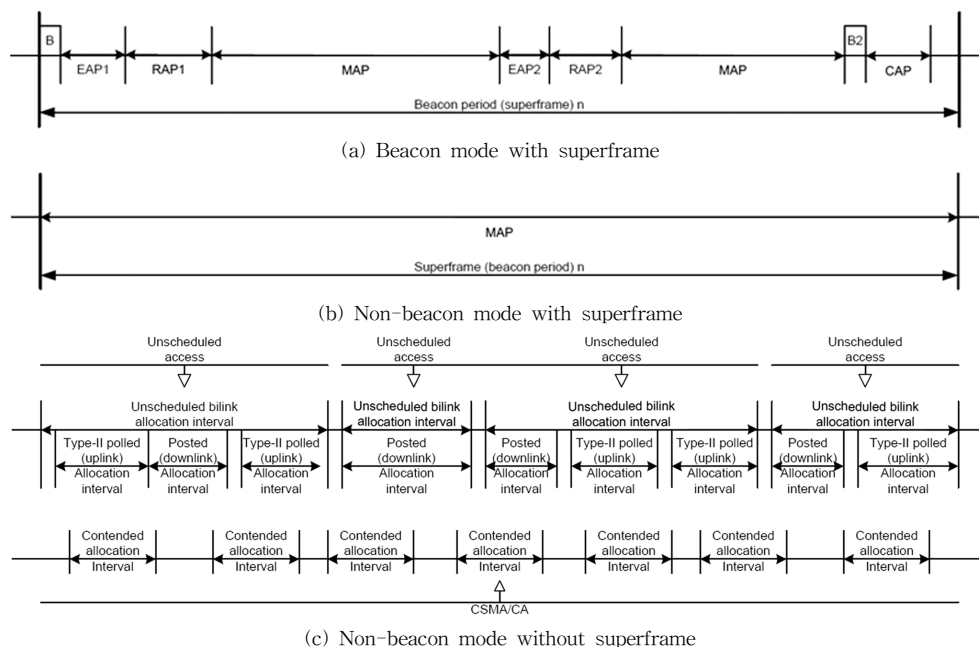


그림 2 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜의 동작 방식
Fig. 2 Operations on IEEE 802.15.6 MAC protocol

대 256개의 노드로 구성될 수 있는 WBAN의 경우 모든 노드의 통신 범위가 중첩되기 때문에 광범위한 공간에서의 네트워크를 가정하고 있는 WSN에 비해 높은 충돌률과 낮은 전송률을 가질 수 있으며 이는 재전송 횟수의 증가로 인한 추가적인 전력 소모 및 전송지연을 유발하게 된다. 이 같이 표준에서 정의하는 slotted-CSMA/CA나 slotted-Aloha와 같은 우선순위-경쟁 기반의 채널 접근 방식은 위에서 언급한 요구사항들을 모두 충족시킬 수 없기 때문에 보다 근본적인 경쟁 복잡도를 감소시킬 수 있는 방안이 필요하다.

3. 제안하는 알고리즘

좁은 범위 내에 다수의 노드가 밀집되어 통신을 하는 WBAN MAC 프로토콜과 WBAN과 공존 상황이 많은 MBAN은 경쟁 복잡도가 증가하고, 이로 인해 전력 소모량, 지연시간, 전송 신뢰도 및 QoS에 대한 요구사항을 만족할 수 없게 된다. 본 논문에서는 경쟁 복잡도가 높아질 수 있는 medical BAN 환경과 이와 유사한 높은 밀집도를 가지는 WSN 환경에 적용할 수 있으며, 다양한 서비스에서 요구하는 최소 지연시간, QoS 보장, 전송 신뢰성, 그리고 낮은 전력 소모량을 보장할 수 있는 채널 접근 알고리즘 설계를 주요 목표로 한다. 제안하는 알고리즘은 beacon이 있는 superframe 구조를 가지며, slotted-CSMA/CA나 CSMA/CA와 같이 경쟁기반의 채널 접근의 사용을 가정하였으며, 그 상세 내용은 다음과 같다.

먼저, 데이터 타입에 따른 우선순위와 서비스별 우선순위를 표 3과 같이 레벨별로 재분류한다. 가장 우선순위가 낮은 Background와 음성이나 비디오가 아닌 CE 트래픽을 위한 Best effort, Excellent effort가 레벨 0에 해당되며, 레벨 3에 속한 CE 트래픽보다 상대적으로 우선순위가 높은 음성, 비디오, 그리고 우선순위가 낮은 의료용 traffic이 레벨 2에 해당된다. 레벨 1에는 우선순위가 높은 의료용 트래픽으로 분류되며, 가장 높은 우선

순위를 가지는 응급 의료 트래픽과 체내에 이식되어 동작하는 디바이스에서 발생하는 트래픽이 레벨 0으로 분류된다. 또한, 각 데이터 유형에 따른 우선순위들은 IEEE 802.15.6 표준과 같이 최소/최대 CW값을 가져 높은 우선순위의 데이터를 가진 노드가 채널 접근을 우선적으로 할 수 있게 한다. 위와 같이 트래픽의 종류를 레벨별로 재분류하는 이유는 데이터 타입과 특징에 따라 다른 우선순위를 묶어 제안하는 방안의 복잡도를 감소시키고, packet의 우선순위를 단순화하며, 높은 우선순위를 가지는 트래픽을 우선적으로 해소함으로써 사용자의 생명과 직결되는 높은 우선순위를 가지는 의료 트래픽의 QoS를 보장해 주고, 이를 통해 동일 시간에 채널 접근을 시도하는 노드의 수를 감소시켜 경쟁 복잡도를 줄이기 위해서이다.

위와 같이 분류된 우선순위 기반 트래픽 레벨을 기반으로 앞서 언급한 IEEE 802.15.6 표준에서 정의하고 있는 서비스의 레벨별 평균 지연시간을 계산한다. 평균 지연시간 D_{avg}^l 은 매 주기마다 코디네이터가 계산하며 계산된 결과는 다음 슈퍼프레임에 반영된다. 계산하는 수식은 아래와 같다.

$$D_{avg}^l = \left(\sum_{k=1}^{N^l} D_k^l \right) / N^l \quad (1)$$

식 (1)에서의 l 은 전송되는 packet에 해당되는 서비스 우선순위의 레벨을 의미하며, D_k^l 은 코디네이터가 수신한 각 packet의 지연시간을 의미한다. N^l 은 코디네이터가 수신한 각 서비스 레벨에 해당되는 모든 packet의 수를 의미한다. 즉, 코디네이터는 각 레벨별 수신된 packet의 지연시간의 합을 수신된 packet의 수로 나눔으로써 평균 지연시간을 계산한다. 앞서 언급된 주기는 MAC 프로토콜의 동작 방식에 따라 beacon을 포함하는 superframe 구조로 동작하는 경우는 beacon period가 되며, beacon이 없는 superframe 구조인 경우는 superframe period, superframe 구조가 아닌 경우는 주기를

표 3 제안하는 방안에서 정의하는 서비스별 우선순위와 데이터별 우선순위의 mapping 및 데이터 우선순위별 CW 값
Table 3 Priority mapping and CW values in proposed algorithm

Level	BAN services	Data priority	Traffic designation	CW 값	
				MinCW	MaxCW
3	Non-medical services	0	Background (BK)	16	64
		1	Best effort (BE)	16	32
2	Mixed medical and non-medical services	2	Excellent effort (EE)	8	32
		3	Video (VI)	8	16
1	General health services	4	Voice (VO)	4	16
		5	Medical data or network control	4	8
0	Highest priority medical services	6	High-priority medical data or network control	2	8
		7	Emergency or medical implant event report	1	4

임의로 정할 수 있다.

WBAN TRD에서는 의료 및 CE 서비스의 최대 지연 시간을 정의하고 있다. 의료 서비스는 최대 125ms의 지연 시간을 만족해야 하며, CE 서비스는 최대 250ms의 지연 시간을 만족해야 한다. 따라서 이 지연시간에 대한 요구사항을 기반으로 각 서비스에서의 지연시간 임계값인 τ^l 을 정의한다. 레벨 3, 2, 1은 의료용 서비스를 포함하고 있으므로 125ms로 정의되며, 레벨 0은 CE 서비스만을 포함하고 있으므로 250ms로 정의한다.

다음으로는 지연시간 임계값 τ^l 을 초과한 레벨을 기준으로 다음 슈퍼프레임 주기를 sub-phase로 나눈다. 만약 하나의 레벨이 τ^l 를 초과한다면 주기는 2개의 sub-phase로 나뉘어지게 된다. 만약 1개 이상의 레벨이 τ^l 를 초과하게 된다면 나뉘어지는 sub-phase의 수는 초과한 레벨의 수+1이 되며, 나뉘어진 sub-phase들은 시간을 기준으로 레벨 순서대로 정렬된다. 레벨 순서대로 정렬된 각 sub-phase는 각 레벨에 해당되는 노드들과 해당 레벨보다 높은 우선순위를 가지는 노드들만이 접근이 가능하다. 예를 들어 그림 3과 같이 나뉘어질 수 있는 최대의 sub-phase로 나뉘어진 superframe인 경우에 첫 번째 sub-phase는 레벨 0에 해당되는 노드들만 채널 접근을 시도할 수 있으며, 두 번째 sub-phase는 레벨 0과 1에 해당되는 노드들만 채널 접근을 시도할 수 있다. 세 번째 sub-phase는 레벨 0, 1, 2에 해당되는 노드들이 해당 sub-phase에 채널 접근을 할 수 있으며, 마지막 sub-phase에서는 모든 레벨에 해당되는 노드들이 채널 접근을 할 수 있다. 이와 같이 레벨 기반의 순차적인 채널 접근 권한 부여를 통해 높은 우선순위를 가지는 트래픽을 우선적으로 처리하여 경쟁 복잡도를 줄이고 QoS를 보장해 줄 수 있다. 또한, 전송할 데이터가 있는 모든 노드가 채널 경쟁을 시도하는 경우에 비해 상대적으로 낮은 우선순위에 해당되는 레벨의

sub-phase가 시작될 때에 상대적으로 높은 우선순위를 가지는 트래픽이 해당 레벨의 sub-phase를 통해 일정 부분 해소하기 때문에 동일 시간에 채널에 접근하는 노드의 수가 절대적으로 줄어들어 경쟁 복잡도를 감소되는 것을 기대할 수 있다.

한편, 그림 3과 같이 코디네이터는 나누어진 각각의 sub-phase의 시작 시간을 계산하며, 이를 $offset^l$ 을 정의하며 그 수식은 아래와 같다.

$$offset^l = L_{CAP}(N^l/N_{total}), l \in \{1\} \quad (2)$$

$$offset^l = offset^{l-1} + L_{CAP}(N^l/N_{total}), l \in \{2,3\}$$

식 (2)에서 L_{CAP} 는 한 주기에 경쟁 구간의 길이를 의미하며, N^l 은 코디네이터가 각 레벨에 해당되는 모든 노드로부터 수신하는 패킷의 수를 의미한다. N_{total} 은 코디네이터가 한 주기 중, L_{CAP} 안에 받는 모든 노드로부터 수신하는 패킷의 총 수를 의미한다. $offset^l$ 은 미리 정의된 매 주기마다 계산이 되며 계산된 값은 다음 주기에 적용된다. 패킷의 수를 기준으로 sub-phase를 나누는 것은 제한하는 방안의 네트워크에서 traffic load가 WBAN 표준에서 요구하는 최소 지연시간을 초과한 경우에 sub-구간의 길이를 결정하기 위함이며, 이는 traffic load가 네트워크 전체의 bandwidth를 초과했음을 의미한다. 따라서 복잡한 알고리즘을 사용하지 않고 수신 패킷의 수를 기준으로 나뉘어진 sub-phase가 낭비되지 않고 사용될 수 있음을 알 수 있다.

그림 4와 5는 코디네이터와 노드에서의 채널 접근 알고리즘을 psuedo code로 도시한 것으로 위에서 소개한 제한하는 알고리즘의 동작을 나타낸다. 각 레벨에 해당되는 노드들은 코디네이터로부터 자신이 속한 레벨이 sub-phase로 나누어져 있는지 여부와 경쟁에 참여할 수 있는 시간적인 정보를 주기적인 beacon 메시지에 삽입한다. 각 sub-phase의 시작시간에서는 비경쟁 기반

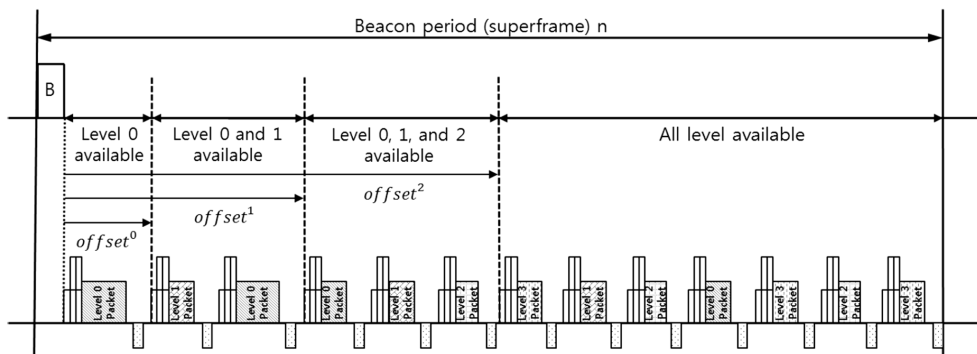


그림 3 제안하는 알고리즘을 적용한 예
Fig. 3 An Example of proposed algorithm

Algorithm on Coordinator

Start of Pre-defined Period

P – Period of superframe; l – Level of packet
D[] – Sum of delay on each level
N[] – Count of received packet on each level
N_T – Total count of received packet
T[] – Delay threshold of each level

```

1. loop
2.   k = 0
3.
4.   while(time()%P != 0)
5.     if(ReceiveType() == Packet)
6.       D[l] += Packet.Delay
7.       N[l]++
8.     endif
9.   end of while
10.
11.   for(l=0;l<3;l++)
12.     if(D[l]/N[l] >= T[l])
13.       if(l!=0)
14.         offset[l] = offset[l-1] + L_CAP*(N[i]/N_T)
15.       else
16.         offset[l] = L_CAP*(N[i]/N_T)
17.       end of if
18.     end of if
19.   end of for
20.
21.   insert offset[l] into Beacon message
22.   broadcast Beacon message
23. end of loop

```

그림 4 제안하는 알고리즘의 psuedo-code (코디네이터)
Fig. 4 Psuedo-code of proposed algorithm: coordinator

Algorithm on Node

Start of Pre-defined Period

Queue[] – Queue for packet of each level

```

1. loop
2.   if(ReceiveType() == Beacon)
3.     for(l=0;l<3;l++)
4.       Queue[l+1].delay(Packet.offset[l])
5.     end of for
6.   end of if
7.
8.   operate contention based channel access
9. end of loop

```

그림 5 제안하는 알고리즘의 psuedo-code (노드)
Fig. 5 Pshuedo-code of proposed algorithm: node

채널 접근 방안과 같이 정확한 시간 동기화는 요구하지 않는데 그 이유는 정확한 시간 동기화가 이루어지지 않는다 해도 경쟁 기반으로 채널 접근에서의 기회적 채널 점유 (Opportunistic channel assignment)에는 큰 영향을 미치지 않기 때문이다.

4. 성능 평가

제안하는 채널 접근 알고리즘의 성능 평가를 위해 본 논문은 제안하는 채널 접근 알고리즘과 동일하게 경쟁 기반으로 동작하면서 WSN에서 많이 사용되고 있는 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜과 WBAN 표준인 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜을 선택하여 성능 분석을 수행하였다.

시뮬레이션 환경의 PHY 모델은 ISM 주파수 대역으로 가정하였으며, 각 표준과 제안하는 채널 접근 알고리즘의 효율을 동등하게 비교하기 위해 IEEE 802.15.4 표준을 따른다. IEEE 802.15.4와 IEEE 802.15.6 표준에서는 beacon 없이 오직 경쟁기반으로 동작하는 환경을 가정하였고, 제안하는 알고리즘에서는 BO (Beacon Order)가 4인 경우에 IEEE 802.15.4의 슈퍼프레임 주기인 245.76ms로 전송한다는 점을 제외하고는 표준과 동일한 환경으로 정의하였다.

시뮬레이션 트래픽 모델은 기존의 기초버전[8]에서의 성능평가 결과를 개선하기 위해 다음과 같이 설정하였다. 네트워크를 구성하는 모든 노드는 임의의 확률로 데이터 우선순위 0-2번에 해당되는 데이터를 5 Bytes 씩 생성하며, 모든 노드에 대해 각각 20%씩 데이터 우선순위 3-7번에 해당되는 데이터를 각각 20ms, 40ms, 80ms, 100ms, 1000ms 주기로 40Byte씩 생성하여 각 우선순위는 표 3의 서비스/카테고리별 CW값이 적용되어 데이터 전송을 시도한다. 제안하는 채널 접근을 위한 broadcast 메시지는 5 Bytes로 정의하며, 전송 확인을 위한 ACK 메시지는 3 Byte로 정의한다.

앞서 정의된 환경을 기반으로 시뮬레이션은 1000000 초만큼 5번씩 수행하였으며, 각 결과의 평균을 최종 결과에 반영하여 오차를 최소한으로 하였으며 SMPL을 기반으로 개발되었다[13].

그림 6(a)는 전송지연을 나타낸다. 노드의 수가 85개 이상인 경우에는 두 표준과 제안하는 방안의 평균 지연시간이 5500ms에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 이는 네트워크를 구성하는 모든 노드가 경쟁에 참여한 경우 경쟁 복잡도가 높아지기 때문으로 볼 수 있다. 하지만 노드의 수 30개 미만인 경우에는 두 표준과 제안하는 방안 모두 WBAN의 TRD에서 정의하는 최대 지연시간을 만족하는 것을 볼 수 있다. IEEE 802.15.4와 IEEE 802.15.6은 35개의 노드 이상일때부터 지연시간이 급격하게 증가하는 반면, 제안하는 방안은 두 표준에 비해 지연시간의 증가율이 낮음을 볼 수 있다. 또한, 제안하는 방안은 노드의 수가 40개 이상인 경우부터 WBAN TRD의 최대 지연시간을 초과하여 같은 요구조건을 만족해야하는 경우에 두 표준에 비해 적은 수이지만 더 많은 수의 노드를 수용할 수 있음을 알 수 있다.

한편, 그림 6(b)는 IEEE 802.15.4와 같이 각각 모든

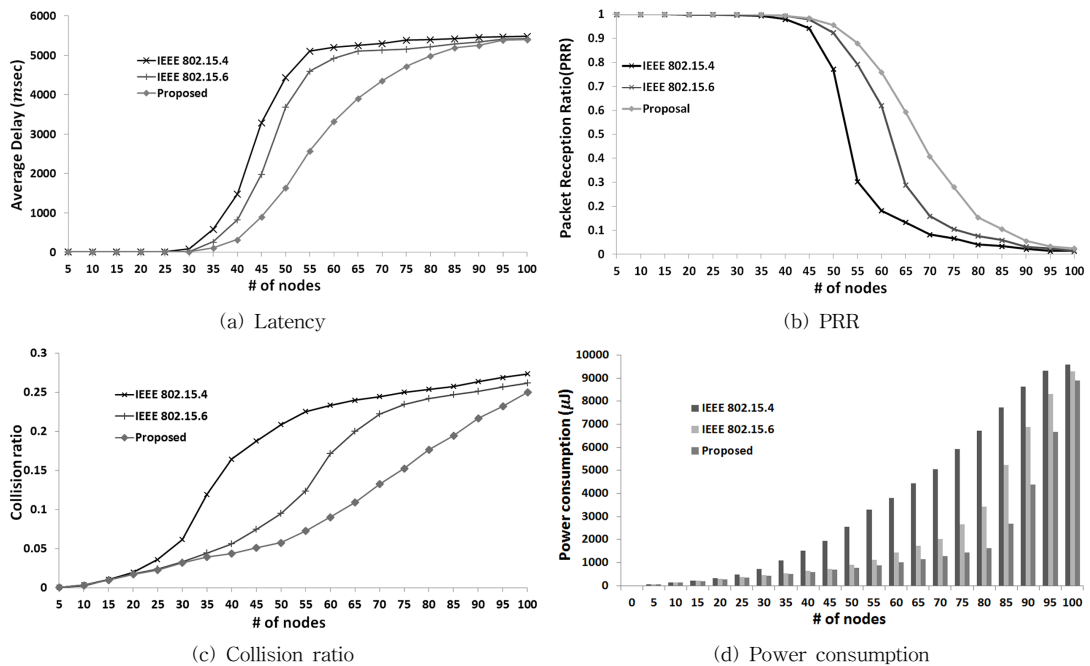


그림 6 시뮬레이션 결과
Fig. 6 Simulation result

노드가 동일한 우선순위로 채널 접근을 시도하는 경우, IEEE 802.15.6과 같이 각 노드가 전송할 데이터별로 우선순위를 다르게 두어 채널 접근을 시도하는 경우, 그리고 제안하는 방안과 같이 동일 시간에 채널에 접근하는 노드의 수를 제한하는 경우에서의 PRR을 보여준다. 각 표준과 제안하는 알고리즘 모두 30개의 노드가 네트워크를 구성하는 경우까지는 PRR이 1에 수렴하는 것을 볼 수 있다. 하지만 IEEE 802.15.4 표준의 경우 네트워크에 포함된 노드가 35개의 경우부터 PRR이 감소하기 시작하여 노드가 50개 이상인 경우에는 급격하게 PRR이 감소하는 것을 볼 수 있으며, 이는 동일 시간에 채널 접근을 시도하는 노드의 수가 증가하면서 혼잡 상황이 벌어지기 때문이다. IEEE 802.15.6 표준은 전송되는 데이터의 유형에 따라 우선순위를 다르게 두기 때문에 동일 시간에 채널 접근을 시도하는 노드의 수는 IEEE 802.15.4와 같지만, 높은 우선순위를 가지는 traffic이 우선적으로 해소되기 때문에 PRR이 완만하게 감소한다. 반면 제안하는 채널 접근 알고리즘을 적용한 경우에는 두 표준에 비해 PRR이 감소하는 정도가 완만한 것을 볼 수 있다. 이는 지연시간에 따른 제안하는 방안의 sub-phase로 인해 동일 시간에 채널 접근을 시도하는 수를 제한하는 뿐만 아니라 traffic의 우선순위도 고려하였기 때문에 두 표준에 비해 낮은 경쟁 복잡도를 가지며, 상대적으로 높

은 신뢰성을 보장해 줄 수 있음을 의미한다.

그림 6(c)는 충돌률에 대한 결과를 나타낸다. 모든 노드가 같은 우선순위로 채널 접근을 하는 IEEE 802.15.4의 경우는 노드의 수가 30개 이상인 경우부터 충돌률이 급격하게 증가하지만, IEEE 802.15.6의 경우는 traffic마다 서로 다른 우선순위를 부여함으로써 충돌률의 증가가 완만함을 볼 수 있다. 제안하는 방안은 IEEE 802.15.6과 같이 traffic의 우선순위를 적용하였기 때문에 30개의 노드가 네트워크를 구성하는 경우까지는 IEEE 802.15.6과 비슷한 성능을 보여준다. 하지만 35개 이상의 노드가 네트워크를 구성하는 경우부터는 제안하는 방안의 sub-phase를 통해 경쟁 복잡도가 분산되어 IEEE 802.15.6보다 더욱 완만하게 충돌률이 증가됨을 알 수 있다.

각 표준과 제안하는 방안의 전력 소모량은 그림 6(d)와 같은 결과를 보여준다. IEEE 802.15.4는 노드수가 증가함에 따라 경쟁 복잡도가 증가하여 충돌률이 증가하고, 재전송 횟수가 증가함으로 인해 전력 소비량이 빠르게 증가함을 볼 수 있다. 반면, IEEE 802.15.6의 경우는 75개 이상의 노드가 네트워크를 구성하는 경우부터 전력 소비량이 증가함을 볼 수 있는데, 이는 traffic별로 부여한 우선순위를 기반으로 채널 접근을 시도한 결과인 경쟁 복잡도의 감소로 인해 재전송 횟수가 줄어들기 때문이다. 또한, 제안하는 방안은 traffic별 우선순위는

물론 전송 지연에 따른 sub-phase를 통해 동일 시간에 채널 접근을 하는 노드의 수를 제한함으로써 상대적으로 더욱 낮은 경쟁 복잡도를 가지기 때문에 두 표준에 비해 낮은 전력소모량을 가지는 것을 볼 수 있다. 하지만 두 표준과 제안하는 방안 모두 100개 이상의 노드를 운용하는 경우 경쟁 복잡도가 높아져 비슷한 전력 소모량을 나타냄을 알 수 있다.

5. 결론

본 논문에서는 의료용 서비스 제공을 목적으로 하는 표준인 WBAN과 MBAN의 요구사항을 분석하고, 높은 밀집도로 네트워크가 구성된다는 특징을 고려하여 경쟁 복잡도를 감소시킬 수 있는 medical BAN에서의 채널 접근 알고리즘을 제안한다. 제안하는 채널 접근 알고리즘은 IEEE 802.15.6과 같이 traffic의 특성에 따라 우선순위를 부여하고 이를 다시 4개의 level로 나누어 최대 지연시간을 만족하지 못하는 경우 주기적인 broadcast 메시지를 통해 broadcast 주기를 sub-phase로 나누어 동일 시간에 채널 접근을 시도하는 노드의 수를 제한함으로써 낮은 경쟁 복잡도를 제공한다. 제안하는 채널 접근 알고리즘은 다양한 시뮬레이션 성능 분석 결과 IEEE 802.15.4와 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜과 비교했을 때 전송지연, PRR, 충돌률, 그리고 전력소모량에서 높은 성능을 보여줌으로써 경쟁 복잡도 감소를 통해 표준에서 제공하는 채널 접근 알고리즘에 비해 보다 많은 노드를 수용하여 요구사항을 만족할 수 있다는 결과를 얻을 수 있었다.

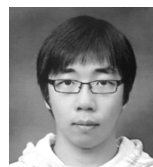
또한, 이러한 성능 분석을 통해 본 논문에서 제안하는 방안은 같은 형태의 WBAN 네트워크가 중첩된 상황과 동일 대역에서 의료 서비스를 제공하는 MBAN과의 공존 상황에서의 근본적인 경쟁 복잡도 감소를 통해 공존 상황에서 발생할 수 있는 traffic 포화상태를 완화시키는 것을 기대할 수 있다.

References

- [1] S. Jiang, Y. Cao, S. Iyengar, P. Kuryloski, R. Jafari, Y. Xue, R. Bajcsy, and S. Wicker, "CareNet: an integrated wireless sensor networking environment for remote healthcare," *Proc. of the ACM International Conference on Body Area Networks*, 2008.
- [2] C. Otto, A. Milenkovic, C. Sanders, and E. Jovanov, "System architecture of a wireless body area sensor network for ubiquitous health monitoring," *Journal of Mobile Multimedia*, vol.1, no.4, pp.307-326, 2006.
- [3] E. Monton, J. F. Hernandez, J. M. Blasco, T. Herve, J. Micallef, I. Grech, A. Brincat, and V. Traver, "Body area network for wireless patient monitoring," *IET*

Communications, vol.2, no.2, pp.215-222, 2008.

- [4] IEEE 802.15 WPAN Task Group 6 [Online]. Available: WBAN: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>
- [5] IEEE 802.15.6 Draft Standard-2012: "Wireless Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications for Wireless Personal Area Networks (WPANs) used in or around body (IEEE P802.15.6/D04)," Mar. 2011.
- [6] TG6 Technical Requirements Document (TRD), IEEE 802.15-08-0644-09-0006, Sep. 2008.
- [7] H.-B. Li, K. Takizawa, B. Zhen, and R. Kohno, "Body Area Network and Its Standardization at IEEE 802.15.MBAN," *Proc. of the 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit*, 2007.
- [8] IEEE 802.15 WPAN Task Group 4j [Online]. Available: MBAN: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4j.html>
- [9] P. Huang, L. Xiao, S. Soltani, M. W. Mutka, and N. Xi, "The Evolution of MAC Protocols in Wireless Sensor Networks: A Survey," *IEEE Communications Survey and Tutorials*, vol.15, issue 1, pp. 101-120, Apr. 2012.
- [10] B. Kim, and J. Cho, "A Novel Priority-based Channel Access Algorithm for Contention-based MAC Protocol in WBANs," *Proc. of the ACM International Conference on Ubiquitous Information and Management and Communication*, Feb. 2012.
- [11] TG4j Technical Requirements Document (TRD), IEEE 802.15-11-0064-04-0004j, Jan. 2011.
- [12] Federal Communication Commission: "Amendment of the Commission's Rules to Provide Spectrum for the Operation of Medical Body Area Networks," *ET Docket No. 08-59*, May. 2012.
- [13] M. MacDougall, *Simulating Computer Systems-Techniques and Tools*, MIT Press, 1987.



김 범 석

2010년 경희대학교 컴퓨터공학과 학사
2012년 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사. 2012년~현재 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사과정. 관심분야는 무선 센서 네트워크, 무선 인체 네트워크



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 컴퓨터공학과 부교수. 관심분야는 모바일 네트워크, 임베디드 시스템, 센서 및 인체 네트워크