

DF(Dynamic and Flexible)-MAC : WBAN을 위한 유연한 MAC 프로토콜

정회원 서영선*, 김대영**, 준회원 김범석***, 종신회원 조진성***°

DF(Dynamic and Flexible)-MAC : A Flexible MAC Protocol for WBAN

Young-Sun Seo*, Dae-Young Kim** *Regular Members*,
BeomSeok Kim*** *Associate Member*, Jinsung Cho***° *Lifelong Member*

요약

Wireless body area network (WBAN)은 인체 주변 영역에서의 통신서비스를 제공한다. WBAN 서비스는 인체 내부에 이식된 의료 응용을 위한 MICS 주파수 대역과 의료 응용과 consumer electronics (CE) 응용 분야 모두를 제공할 수 있는 ISM 주파수 대역에서의 서비스로 이루어지기 때문에 WBAN을 위한 MAC 프로토콜은 의료 응용과 CE 응용간의 상이한 특징과 유연성(flexibility)을 고려하여 설계되어야 한다. 본 논문에서는 WBAN MAC 프로토콜의 요구사항을 확인하고, WBAN의 요구사항을 만족하는 WBAN MAC 프로토콜을 제안한다. WBAN의 다양한 응용을 위한 전송 유연성을 제공하기 위해서 동적 CFP(Contention Free Period) 할당(Dynamic CFP Allocation)을 제안한다. 또한, 경쟁 기반의 긴급 의료 데이터를 발생하는 의료 응용과 때때로 대량의 데이터를 발생하는 CE 응용을 지원하기 위해서 OCDP(opportunistic contention decision period) 구간과 4-mode Opportunity period를 제안하고, 제안한 방안을 이용하여 Inactive period와 Opportunity period를 일시적으로 전환하여 사용할 수 있는 기법을 제안한다. 다양한 시뮬레이션 결과 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜과 제안하는 WBAN MAC 프로토콜을 비교하였을 때, WBAN 환경에서의 전송 처리량, CFP 이용율, 전송 지연 측면에서 증가된 성능 결과를 얻을 수 있었다.

Key Words : wireless body area network, MAC, hybrid MAC, CFP allocation, contention-based protocol

ABSTRACT

Wireless body area network(WBAN) provide communication service in the vicinity of the body. Since WBANs utilize both MICS frequency band for implant medical applications and ISM frequency band for medical and consumer electronics(CE) applications. Therefore, MAC protocols in WBAN should be designed considering flexibility between medical and CE applications. In this paper, we identify the requirements of WBAN MAC protocols and propose a WBAN MAC protocol which satisfies the requirements. In order to provide transmission flexibility for various applications, we present the dynamic CFP allocation and opportunity period. Extensive simulation result show that the proposed protocol achieves improved throughput and latency in WBAN environment compared with IEEE 802.15.4.

※ 이 논문은 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원사업 (NIPA-2011-(C1090-1121-0003)) 및 교육과학기술부 및 한국과학재단의 중견연구자 사업(No. 2011-0015744)의 지원으로 수행된 연구결과임.

* (주)미디어코러스 (seoy@smediachorus.com), ** (주)LIG Nex1 (daeyoung.kim81@lignex1.com)

*** 경희대학교 컴퓨터공학과 모바일 임베디드 시스템 연구실 (passion0822; chojs@khu.ac.kr), (° : 교신저자)

논문번호 : KICS2010-12-577, 접수일자 : 2010년 12월 1일, 최종논문접수일자 : 2011년 8월 9일

I. 서 론

Wireless body area network (WBAN)^[1]은 인체 내부(implant), 피부표면(on-body, wearable), 인체 영역 3m 이내에서의 인체 외부(external)에 위치하여 통신을 수행하는 WPAN의 차세대 무선 통신 기술이다. WBAN은 코디네이터(coordinator), 의료용 디바이스(medical device), 개인 소비자용 전자 제품(CE ; consumer electronics)으로 구성되며, 다양한 유비쿼터스 서비스를 제공할 수 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 802.15.6 Task Group을 구성하여 현재 WBAN을 위한 표준화 작업을 진행 중이다.^[1,2]

일반적으로 의료 응용은 저속(low data rate)의 주기적으로 데이터를 발생하는 특징을 가지며, CE 응용은 동영상, 오디오 스트리밍 데이터와 같은 고속(high data rate)의 event-driven 방식으로 데이터를 발생하는 특징을 가진다. 그러므로 WBAN은 의료서비스와 CE 서비스를 동시에 제공할 수 있어야 한다. 그러나 의료용 센서 디바이스의 네트워크 구성에 사용된 기존의 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜(i.e., TDMA^[3,4] 또는 IEEE 802.15.4 MAC^[5])은 IEEE 802.15.6의 다양한 응용분야를 제공하기 위한 요구사항을 만족하지 못한다.

그림 1과 같이 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜^[5]은 비콘을 사용하는 하이브리드 슈퍼프레임 구조를 사용한다. 크게 통신을 수행하는 Active period와 수면상태가 되는 Inactive period로 나뉘며, Active period는 균등하게 16 슬롯으로 분할된다. 이 Active period는 CAP(contention access period)과 CFP(contention free period)구간의 역할을 수행하는 GTS(guaranteed time slot)로 구성되어 경쟁과 비경쟁을 모두 지원하는 하이브리드 슈퍼프레임 구조로 이루어진다. 균등하게 16등분으로 이루어진 슬롯으로 Active period가 분할되므로, GTS를 할당받은 디바이스가 증가할수록 CAP 구간은 줄어들게 된다. 게다가 IEEE 802.15.4 MAC은 코디네이터가 최대 7개의 디바이스에게만 GTS를 할당할 수 있다. 따라서 GTS를 요청한 순서대로 7개의 디바이스에게 GTS가 할당되면, 이후에 GTS를 요청하는 디바이스는 GTS를 할당받을 수 없다.

만약, 더욱 많은 CAP 구간이 필요하다면, 코디네이터는 일반적으로 superframe order(SO) 값을 증가

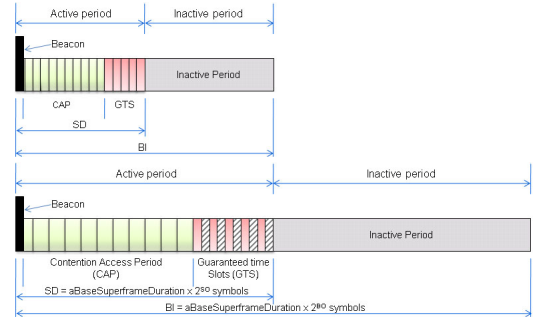


그림 1. IEEE 802.15.4 MAC 슈퍼프레임 구조

시켜 CAP duration을 확장시킬 수 있으며, SO는 비콘(beacon)에 의해 결정된다. 그러나 SO가 증가하면 그림 1 하단과 같이 GTS 슬롯도 불필요하게 증가하게 된다. 이것은 Active period가 균등하게 16 등분의 슬롯으로 나누어지기 때문에 발생하는 불필요한 슬롯 크기의 증가가 발생하게 된다.

위와 같은 GTS에서 발생하는 문제들을 해결하기 위하여 GTS를 개선한 논문이 있다.^[6,7] 그러나, GTS 개선 논문도 일정 범위의 주기를 가진 디바이스들 간의 GTS 공유 또는 작은 슬롯으로의 압축 방법으로 GTS의 개수를 늘리는 방식으로 개선되어 고정적인 GTS 할당으로 인한 문제를 해결하기 위하여 디바이스의 주기성에 제약을 가정하고 있거나 슬롯의 크기만 축소하는 형태의 개선하는 형태로 센서 디바이스만이 고려되었다. 위와 같은 연구는 WBAN 환경에서 때때로 CE 디바이스가 네트워크에 편입되어 대량의 데이터를 폭발적(bursty)으로 발생하거나 때때로 (sporadically) 발생시킬 때, 센서 디바이스의 배터리 수명을 위해 설계된 Inactive period로 인한 전송 지연이 발생한다.

IEEE 802.15.6 TG WBAN은 표준화를 진행하는 동안 다수의 MAC 기고문(proposal)을 제안 받았으나, 표준화 의결 과정에서 다시 다수의 기고문이 제외되었다. 현재까지는 NICT^[8,9], Samsung^[10,11], ETRI^[11,12], Fujitsu^[9,13], CEA-FT-Thales^[14], GE^[15] 등이 기고문 통합 (merge proposals) 작업에 참여하고 있다. 기고문 통합 작업은 현재 계속 이루어지고 있으며, 기고문 통합으로 인한 충돌을 해결하기 위한 기고문 수정 과정도 함께 진행되고 있다. 기고문을 제안하는 각 기관에서는 기고문 통합 과정에서 결정된 기본 틀 (baseline selection)을 IEEE 802.15.6 TG에 제안하고 있고, 이러한 과정은 IEEE 802.15.6 TG 일정에 따라 진행되며, 아직 기고문 통합 과정을 통한 기본 표준안 (baseline draft) 작성이 완료되지 않았다.

본 논문은 상이한 특성을 가진 다양한 디바이스를 지원하기 위한 유연성(flexibility)을 가장 중점 요구사항으로 하여 크게 2가지 방안을 제안한다. 첫째는, CFP의 효율성을 증대시켜 다수의 WBAN 의료분야 응용 서비스에 유연하게 CFP를 할당해 주고 주파수 대역을 효과적으로 사용할 수 있는 demand-driven 기법으로 CFP 슬롯을 동적으로 할당하는 동적 CFP 할당(dynamic CFP allocation)을 제안한다. 둘째, 이따금씩(sporadically) 폭발적(bursty)으로 데이터를 event-driven 방식으로 발생하는 CE 응용 서비스가 WBAN 요구사항을 만족하는 적은 지연으로 데이터를 전송할 수 있도록 일시적으로 Inactive period를 Opportunity period로 전환하여 기회경쟁을 할 수 있도록 제공하는 Opportunity period를 제공한다. 제안하는 방안은 현재 WBAN 연구에 많이 사용되는 IEEE 802.15.4 MAC과 비교해 보았을 때, 전송 처리율, CFP 이용율, 전송지연의 성능 향상을 보였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WBAN의 요구사항을 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 의료 분야와 CE 분야의 유연성을 고려한 WBAN MAC 프로토콜의 주요 기법인 동적 CFP 할당(dynamic CFP allocation)과 기회 구간(Opportunity period)을 기술하고, 4장에서는 성능을 평가하고 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

II. WBAN 요구사항

WBAN은 인체 내외부를 포함하는 인체 주변 영역에서 서로 상이한 특성을 가진 다양한 디바이스들로 네트워크가 구성되며, 통신서비스를 제공한다(i.e., medical or CE device). 그러므로 WBAN MAC 프로토콜은 다양한 디바이스 또는 응용 간에 충분히 유연성을 제공해야 한다. 유연성을 제공하기 위해서 WBAN MAC 프로토콜은 다음의 요구사항을 만족해야 한다.^{[15],[16]}

1) 저전력(power consumption) : WBAN 디바이스는 인체 내부에 이식되거나 배터리 기반으로 휴대할 수 있는 의료 센서 디바이스 또는 휴대형(portable) 디바이스로 대부분 구성되기 때문에 에너지 사용 효율성이 가장 중요한 이슈이다.

2) 듀티 사이클(duty cycle) : 듀티 사이클에 대한 요구사항은 매우 광범위하다. 특히 의료 디바이스는 듀티 사이클에 대한 요구사항이 매우 중요하다(e.g., <1% or <10%). 듀티 사이클은 저전력 요구사항과 매우 밀접한 관계를 가지므로 요구사항을 만족하는 것

이 저전력 요구사항을 만족하는 방안 중에 하나가 될 수 있다. 반면에 CE 디바이스는 듀티 사이클을 크게 요구받지 않는다.(e.g., low, medium or high)

3) 전송 지연(latency) : 긴급(emergency) 의료상황, QoS 보장을 요구하는 의료 응용은 낮은 전송 지연이 요구된다.(i.e., 의료응용 ; $\leq 125\text{ms}$). CE 응용도 QoS 보장을 요구하거나 실시간 서비스를 제공해야 하는 서비스의 경우 낮은 전송 지연을 요구한다(i.e., CE 응용; $\leq 250\text{ms}$)

4) 주기성과 비주기성 (periodic and non-periodic) : 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, 주기적인 sleep과 wakeup을 반복하는 듀티 사이클을 통해 에너지 소비 효율을 높이고 주기성을 가지고 데이터 전송을 시도한다. 이러한 데이터 생성 주기는 1ms부터 1000s까지 광범위하게 다양한 주기를 가질 수 있다. 반면에 CE 디바이스는 때때로 네트워크에 연결되며, 데이터 전송도 event-driven 기법에 의하여 때때로(sporadically) 대량의 데이터가 폭발적(bursty)으로 발생하는 특징을 일반적으로 가진다.

요약하면, 앞서 기술된 요구사항과 같이 WBAN MAC protocol은 상이한 특성을 가진 다양한 디바이스가 네트워크에 혼재되어 있는 WBAN 환경을 충분히 지원할 수 있는 유연성(flexibility)이 요구 된다.

III. 제안하는 WBAN MAC 프로토콜

WBAN MAC 프로토콜은 저전력 뿐만 아니라 상이한 특성을 가진 다양한 디바이스가 네트워크에 혼재되어 있는 WBAN 환경을 충분히 고려해야 하므로, 유연성 있는 WBAN MAC 프로토콜 설계를 주요 목표로 하여 다음의 2가지 사항을 제안하였다.

첫째, 동적 CFP 할당(Dynamic CFP allocation)을 제안한다. 기존의 무선 센서 네트워크를 위한 표준인 IEEE 802.15.4는 CFP 구간인 GTS 구간이 최대 할당 개수의 제약을 가지며, 코디네이터에 의하여 GTS를 디바이스에 할당하면 고정할당 방식에 의하여 독점적으로 슬롯을 할당하므로 전송할 데이터의 유무와 상관없이 GTS가 고정적으로 할당되어 주파수 대역의 낭비를 발생시킨다. 만약 GTS를 할당받은 디바이스의 데이터 발생주기가 길어진다면, 주파수 대역 낭비의 증가를 피할 수 없게 된다. 2절에서 언급한 것처럼

WBAN의 데이터는 다양한 주기(1ms ~ 1000s)를 가지고 발생하기 때문에, 고정할당에 의한 방식은 주파수 대역을 효율적으로 사용할 수 있는 방법이 될 수 없다. 또한, WBAN의 의료응용은 다수의 인체 내부 및 표면에서 사용되는 센서 디바이스들을 요구할 수 있다. 그러나, GTS를 최대 7개까지 할당하는 방식에 따라 CFP 슬롯을 이용한 데이터 전송을 요구하는 8번째 디바이스부터는 CFP를 할당받을 수 없으므로 이들 디바이스는 상대적으로 CAP를 사용할 수밖에 없다. 따라서 본 논문에서는 CFP 슬롯을 사용하여 데이터를 전송하기를 요구하는 WBAN 메디컬 디바이스에게 충분히 CFP 슬롯을 할당을 제공하고, 고정적인 CFP 슬롯 할당 기법을 피하고 주파수 대역의 효율적인 사용을 위해서 demand-driven 기법의 동적 CFP 할당(Dynamic CFP allocation) 방안을 제안한다.

둘째, 기회 구간 (Opportunity period)를 제공한다. 메디컬 센서 디바이스와 코디네이터의 저전력을 제공하기 위해서 모든 디바이스가 일정 시간 sleep 모드를 유지할 수 있도록 설계된 일반적인 무선 센서 네트워크의 Inactive period 기법은 메디컬 디바이스의 긴급(emergency) 데이터, QoS 지원을 요구하는 데이터의 전송과 CE 디바이스의 파일 전송, 동영상 · 오디오 스트리밍 전송과 같은 연속적이면서 대량으로 발생하는 데이터에는 전송 지연을 유발시킨다. 본 논문에서는 상시적으로 네트워크를 구성하고 있는 메디컬 센서 디바이스를 위해 평소에 Inactive period를 유지하지만, 위와 같은 상황의 경우 demand-driven 기법에 의해 일시적으로 채널을 활성화시키고, 경쟁 기법에 의해 채널을 획득할 수 있도록 Opportunity period 방안을 제안한다.

그림 2는 제안하는 WBAN MAC 프로토콜의 슈퍼프레임 구조를 나타낸다. IEEE 802.15.4 MAC과 비교하였을 때, BP (beacon period), CAP, CFP,

Inactive로 구성된 하이브리드 슈퍼프레임 구조를 동일하게 가지고 있으며 추가적으로 앞서 설명된 제안 방안인 Dynamic CFP allocation과 Opportunity period를 제공하기 위한 CFP allocation period와 OCDP (opportunity contention decision period) 구간이 적용되어 있다.

3.1 Dynamic CFP Allocation

제안하는 Dynamic CFP allocation은 제안하는 CFP allocation period는 CFP를 요구하는 디바이스가 7개 이내일 경우에는 기존의 IEEE 802.15.4와 같이 동작하지만, CFP를 요구하는 디바이스가 늘어날 경우 코디네이터의 비콘 정보에 의해 슈퍼프레임의 비콘 전송 이후 CFP allocation period가 수행되며, 이 구간에 의해 동적 동적으로 CFP 슬롯을 할당할 수 있다. 그림 2, 3과 같이 CFP allocation period는 다시 Fixed CFP REQ와 Random CFP REQ의 서브구간(subperiod)로 나누어진다. 나누어진 각 서브구간은 CFP를 요청할 수 있는 컨트롤 프레임(CFP request frame)을 전송할 수 있는 작은 미니 슬롯(mini-slot)으로 구성된다. 또한, 2개의 서브구간 이후 코디네이터는 최종적으로 CFP REQ ACK 서브 구간에서 REQ ACK frame을 브로드캐스트 함으로써 Dynamic CFP allocation이 완료된다.

그림 3은 CFP 슬롯이 비콘에 의해 고정 할당되는 과정과 제안하는 Dynamic CFP allocation 기법에 의하여 동적으로 할당되는 과정을 나타낸다. 앞서 기술한 바와 같이 CFP 사용 권한을 요청하고 코디네이터에 의해 CFP 사용 권한을 획득한 디바이스가 7개 이하일 경우, 비콘에서 CFP 슬롯을 모두 할당한다. 그 이후에 8번째 이상의 CFP 사용 권한을 요청하는 디바이스 수가 발생하고 증가하면, WBAN 코디네이터는 CFP allocation period를 슈퍼프레임 구간 상의

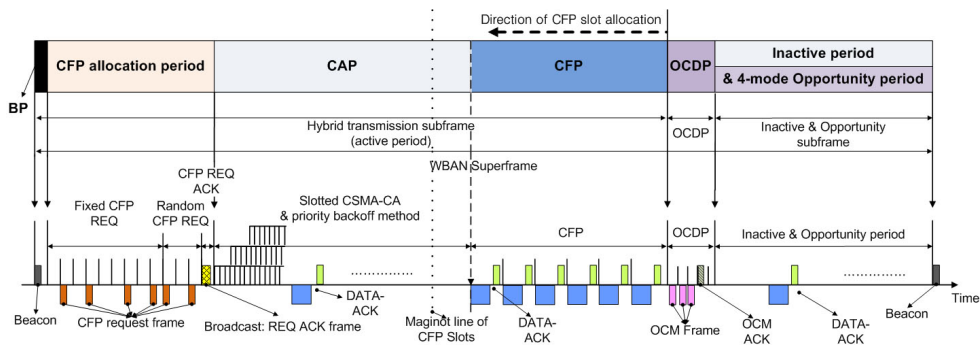


그림 2. 제안하는 WBAN 슈퍼프레임 구조

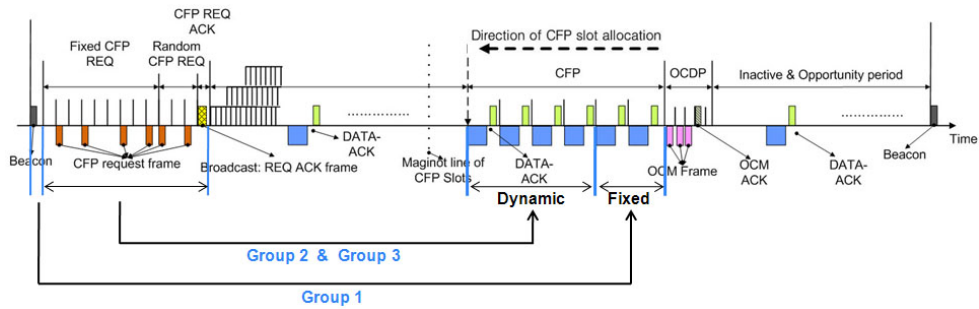


그림 3. Dynamic CFP allocation 기법

beacon period 바로 뒤에 생성하고 주기에 의한 그룹화를 수행한다.

그림 3에서 비콘 전송 이후 시작되는 CFP allocation period의 서브 구간의 하나인 Fixed CFP REQ 서브 구간은 기존의 IEEE 802.15.4 MAC GTS와 유사하게 각각의 디바이스와 각각의 미니슬롯 간의 일대일 맵핑(1:1 mapping)에 의한 고정 할당이 이루어진다. 이와 같이 CFP 슬롯을 요청할 수 있는 컨트롤 프레임 전송이 일대일 맵핑에 의해 보장된 미니슬롯을 본 논문에서는 GMS (guaranteed mini-slot)라 부르며 Fixed CFP REQ 서브구간에서 제공한다. 따라서 코디네이터에게 CFP 사용 권한을 요청할 때, Fixed CFP REQ 구간을 할당받고 자신만의 GMS를 가진 디바이스는 전송할 데이터가 발생하면 고정 할당된 자신의 GMS를 이용하여 CFP request frame을 전송하는 방법을 통해 코디네이터에게 CFP 슬롯을 요청할 수 있다. Fixed CFP REQ 서브구간은 고정적으로 미니슬롯을 할당해 주는 기법이므로 CFP 사용 권한을 요청하는 디바이스가 많아질수록 계속 늘어나게 된다. 따라서 무한하게 늘어나는 Fixed CFP REQ 서브구간을 방지하기 위해 데이터 발생 주기가 큰 디바이스부터 Random CFP REQ를 사용하여 CFP 슬롯을 요청할 수 있게 된다. Fixed CFP REQ의 GMS (guaranteed mini-slot)는 디바이스와 미니슬롯간의 일대일 맵핑에 의한 보장된 미니슬롯인 반면에 Random CFP REQ 서브구간에서는 Random CFP REQ 서브구간에서의 요청을 코디네이터에 의해 승인 받은 CFP 사용 권한을 획득한 디바이스가 Random CFP REQ 서브구간의 미니슬롯 중 무작위(randomly)로 1개 미니슬롯을 선택하여 CFP 슬롯을 요청할 수 있다. 이를 Fixed CFP REQ의 GMS와 구분하여 NGMS (non-guaranteed mini-slot)으로 정의한다.

앞서 기술한 바와 같이 GMS와 NGMS를 사용할 수 있는 Fixed CFP REQ 서브구간과 Random CFP

REQ 서브구간은 비콘과 함께 3개의 그룹에 의해 분류되며, 3개의 그룹은 다음의 표 1과 같이 디바이스의 주기성에 의해 결정된다.

디바이스의 주기는 로 정의된다. 는 슈퍼프레임 1 주기인 BI(Beacon Interval) 시간의 정수화된 배수 형태로 표현된다. 따라서 만약 일 경우 디바이스는 슈퍼프레임 5번마다 한 번씩 데이터를 전송한다는 의미를 나타낸다. 디바이스는 코디네이터에게 CFP 사용 권한을 획득하기 위해서 CFP association frame을 전송할 때, 비콘으로 얻을 수 있는 정보인 BO (beacon order) 값을 이용하여 BI (beacon interval)을 계산하고, 계산된 슈퍼프레임 주기와 디바이스 자신의 주기가 몇 배수인지 정수화하여 정보를 코디네이터에 전송한다. 코디네이터는 이 주기를 기반으로 3개의 그룹으로 분류한다.

Group 1에 속한 디바이스는 비콘에서 코디네이터에 의해 CFP 슬롯 할당을 관리 받는 그룹으로 코디네이터가 CFP 슬롯을 매 슈퍼프레임마다 고정적으로 할당하는 그룹이다. 따라서 Group 1 디바이스는 CFP 슬롯을 요청할 필요가 없다. Group 2에 속하는 디바이스는 Fixed CFP REQ 서브구간에서 일대일로 맵핑된 GMS를 할당받은 디바이스가 CFP 슬롯을 요청하여 동적으로 CFP 슬롯을 요청하여 할당 받을 수 있다. 마지막으로 Group 3에 속하는 디바이스는 GMS가 아닌 NGMS를 통해 CFP 슬롯을 요청할 수 있는 Random CFP REQ 서브구간을 사용할 수 있도록 코디네이터에 의해 그룹이 정해진다. 따라서 이를 정리하면 표 2와 같이 표 1의 그룹이 각 구간에서 CFP 슬

표 1. 디바이스 주기에 따른 그룹화.

- Group 1 : 주기가 다음과 같을 때, $T_p = 1$
- Group 2 : 주기가 다음과 같을 때, $1 < T_p < \alpha$
- Group 3 : 주기가 다음과 같을 때, $T_p \geq \alpha$

롯을 할당 받거나 CFP 슬롯을 요청하여 동적 할당 받을 수 있다.

또한, 그림 3 하단의 화살표가 이와 같은 그룹화에 의한 CFP 슬롯 할당 기법을 나타낸다. Group 1에 속하는 디바이스는 비콘에 의해 매 주기마다 고정적으로 CFP 슬롯을 할당한다. Dynamic CFP allocation에 속하는 Group 2와 Group 3는 CFP allocation period에서 CFP 슬롯을 동적으로 요청하고 비콘이 할당한 CFP 슬롯 바로 이전 슬롯부터 CFP 슬롯을 추가적으로 역시간 방향으로 동적 할당을 수행한다.

코디네이터는 미니슬롯의 개수가 일정이상을 넘어가지 않도록 표 1의 값을 조절하여 Group 2와 Group 3의 조정을 수행하고 이미 할당되었으나 조정이 이루어진 디바이스는 브로드캐스트를 통해 해당 그룹이 바뀌었음을 디바이스에게 알려준다. 의 값은 기존의 IEEE 802.15.4 MAC에서 균등하게 16등분된 슬롯에서 3번 슬롯 이내로 CFP allocation period가 유지되도록 조정된다. 따라서 코디네이터에 의해 정해지는 의 값은 초기에는 큰 수를 가지고 있으나, CFP 사용 권한을 획득한 디바이스가 늘어날수록 값은 작게 조절된다. 이러한 Group 2와 Group 3간의 의 초기값은 10으로 설정되어 분배된다. 이는 CFP allocation period에서 4번째 슬롯 이내에 CFP REQ ACK이 끝날 수 있도록 하기 위해서이다. 또한 Random CFP REQ의 minislot도 최소 3개의 minislot을 유지하도록 코디네이터가 최소 기준값을 가지게 된다. Random CFP REQ의 minislot은 CFP REQ ACK이 3번째 슬롯 초기에 끝난다면 CAP가 Slotted CSMA/CA 기법에 따라 다음 슬롯 시작지점에서 경쟁할 것이므로 그 여유 symbol만큼 Random minislot이 증가하게 될 것이다. 그러므로 Beacon, + Fixed CFP REQ + Random CFP REQ + CFP REQ ACK에 해당되는 슬롯이 4번째 슬롯을 넘지 않으면서 유동적으로 변할 수 있는 값인 Fixed CFP REQ와 Random CFP REQ가 값에 따라 동시에 할당, 증가하다가 CFP REQ ACK이 종료되는 시점이 4번째 슬롯에 다다르면 첫 번째로, Random minislot을 3개까지 줄여가며 Fixed minislot에 영향이 없도록 확보하며 두 번째로, Random minislot이 3개까지 다다르면 값이 줄어들며 Group 2, Group 3간의 값에 따른 재조정이 일어난다. Dynamic CFP allocation은 Group 1에 의해 비콘의 크기가 크게증가하지 못하도록 7번째 이후 CFP 사용 권한을 요청하는 디바이스는 최우선 적으로 Group 2에 할당한다. 이는 비콘의 최대사이즈를 넘지 않고, 비콘 경량화를 통해 매 슈퍼프레임 주기마다 비콘을

수신해야 하는 주기가 긴 WBAN 디바이스 또는 CE 디바이스가 큰 사이즈의 비콘을 수신해야 하는 부담을 줄여준다.

또한 위와 같이 동적으로 CFP 슬롯이 할당됨에 따라 Active period에서의 데이터 전송영역이 CAP + CFP로 이루어지기 때문에 제안하는 Dynamcin CFP allocation 기법에서는 각 미니슬롯(GMS, NGMS)에 요청된 CFP request frame을 기반으로 dynamic CFP allocation을 수행할 때 CAP 영역을 전부 침범할 수 있다. 따라서 네트워크 유지를 위한 최소한의 CAP 영역을 보호하기 위한 장치로 Maginot line을 제공한다. Maginot line의 값은 IEEE 802.15.4를 상속받으면서 변경되지 않는다. 즉, Maginot line은 유동적으로 비콘에 의해 Group 할당이 되면서 결정되면 CFP REQ ACK이 끝나는 시점에서 최소 CAP symbol인 440symbol을 더값이 된다. CFP REQ ACK이 정확히 슬롯의 끝에 이루어지지 않는 경우는 [CFP REQ ACK + 440symbol] 번째 슬롯을 시작으로 Maginot line이 결정된다. 이처럼 정수단위로 Maginot line을 결정하는 것은 Beacon에 4비트 조합으로 적은 필드를 사용할 수 있는 값을 명시해야 하기 때문이다. 또한 Maginot line을 보장함과 동시에 추가 CFP 할당을 최대한 하기 위한 CFP allocation period, CAP, CFP의 길이는 각각 1 slot, 1 slot, 14 slot이 된다. 즉, CFP allocation period의 길이는 7개의 추가 요청과 ACK 메시지를 고려하여 1 slot으로 결정되며, 이는 최대 동적 CFP 할당과 Maginot line을 모두 만족할 수 있다.

디바이스 측면에서 슈퍼프레임 구간을 고려해 볼 때, 제안하는 Dynamic CFP allocation에 의해 비콘 이후에 CFP 슬롯이 동적으로 할당되고 CAP 영역도 CFP 슬롯 할당과 함께 영역이 동적으로 감소하게 된다. 따라서 CAP를 이용해 채널을 획득하고 데이터를 전송하는 WBAN 디바이스는 비콘을 통해서 CAP의 시작 슬롯의 정보를 알 수 있지만, CAP 슬롯이 끝나는 정보를 알 수 없다.

따라서 본 논문에서는 slotted CSMA-CA 이전에 CCA (clear channel assessment)를 통해 채널의 상태를 우선적으로 판단하고, 그 이후에 slotted CSMA-CA를 수행하는 Early CCA를 수행하도록 한다. slotted CSMA-CA가 수행되기 전에 동작하는 Early CCA는 다음의 두 조건을 만족하면 수행한다.

첫째, 최소한의 CAP 영역을 보장하기 위한 한계선인 Maginot line 슬롯을 넘어야 한다. Maginot line으로 설정된 슬롯보다 시간 흐름상 이전의 CAP 슬롯은 CFP 영역일 수 없는 안전한 CAP 구간이므로 Early

CCA를 수행할 필요가 없다.

둘째, backoff period boundary에 위치해야 한다. slotted CSMA-CA를 동일하게 사용하므로 slotted CSMA-CA 기법에 따라 데이터가 발생하자마자 채널 경쟁을 하는 것이 아니라 backoff period boundary에서 상대 디바이스들과 함께 동일하게 경쟁을 시작해야 한다.

이처럼 Early CCA 미리 채널의 상태를 판단하고 채널이 혼잡하거나 CFP 영역이 접근했다고 판단하면, 안전한 다음의 CAP 영역에서 채널 경쟁을 수행하도록 유도한다.

3.2 Opportunity period

Opportunity period는 3.2 절에서 언급된 바와 같이 Inactive period를 일시적으로 활성화시켜 경쟁기법을 이용하여 채널을 획득 및 사용할 수 있도록 제공하는 방안이다. Inactive period를 일시적으로 전환하여 사용하기 위해서 본 논문에서는 그림 4와 같이 OCDP (opportunistic contention decision period)를 Active period와 Inactive period 사이에 제공한다.

OCDP를 통해 Opportunity period를 요청하기 위해서 본 논문에서는 2개의 컨트롤 프레임を提供한다. 첫째는, Opportunity period를 요청하기 위한 컨트롤 프레임인 OCM (opportunistic contention message) frame이며, 두 번째는 코디네이터에 의한 응답 컨트롤 프레임인 OCM ACK frame이 제공된다.

또한, 그림 4와 같이 Opportunity period를 요구하는 디바이스의 특성에 따라 opportunity period를 제공하기 위해서 3개의 서브 구간으로 구성된 RO (request of opportunity)와 코디네이터에 의한 응답 구간인 AO (acknowledgement of opportunity) 서브

구간으로 OCDP는 이루어져 있다. RO 서브구간은 demand-driven 기법을 제공하기 위한 구간으로 Opportunity period를 사용하길 요구하는 WBAN 디바이스는 앞서 언급된 본 논문에서 제공된 OCM frame을 전송하여 코디네이터에게 요청할 수 있다. RO 1부터 RO 3로 이루어진 RO 서브구간은 WBAN 디바이스의 특성에 따라 OCM을 전송할 수 있는 구간이 정해져 있다. 노드들의 기회구간 사용 요청을 위해 RO 1, RO 2, RO 3 구간은 요청 메시지를 경쟁을 통해 전송할 수 있는 길이인 140 symbol씩 나누어지며, AO구간은 코디네이터의 broadcast가 이루어지는 구간으로 최소의 frame을 전송하므로 60 symbol만큼의 길이를 가지게 된다. 따라서 OCDP의 총 길이는 superframe의 1 slot만큼이 된다.

표 2와 같이 RO 1은 의료용 디바이스를 위하여 제공되는 서브구간이며, RO 2는 연속적인 데이터 또는 대량의 데이터를 발생하는 CE 디바이스를 위한 서브구간이다. RO 1과 RO 2는 동일하게 각 구간에서 OCM frame을 통해 Opportunity period를 요청할 수 있다. RO 3는 애드 혹(ad-hoc) 모드를 요구하는 디바이스 통신을 위해 제공되는 서브구간이다. RO 3의 가장 큰 목적은 uplink이다. slotted CSMA/CA 방식은 IEEE 802.15.4의 경쟁방식과 같고, WBAN에서의 주목적은 의료데이터의 수집이므로 일반적으로 slotted CSMA/CA가 적합하다. 하지만 Ad-hoc mode, 코디네이터를 제외한 디바이스 간의 통신에는 적합하지 않다. 따라서 코디네이터에게 RO 3를 이용해서 AO로 허락을 받으면 Ad-hoc mode에 적합한 DCF 모듈을 일시적으로 사용하여 디바이스 간의 통신을 할 수 있게 된다. 이는 선택적으로 사용할 수 있도록 제공되어 코디네이터를 제외하고는 모든 디바이스가 다 모

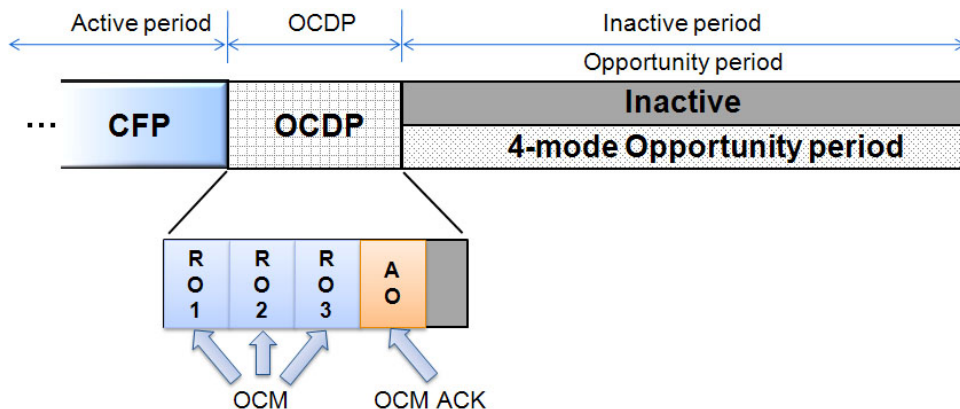


그림 4. 제안하는 OCDP 구간

표 2. Group에 따른 구간

- RO 1 : 의료용 디바이스, 센서 디바이스
- RO 2 : CE (slotted CSMA-CA)
- RO 3 : CE (DCF)

들을 사용하지 않을 수 있다. 따라서 RO 3를 사용하기 위해서는 코디네이터에게 해당 모듈을 가지고 있음을 네트워크에 편입될 때 WBAN 디바이스가 알려주어야 하고, RO 3가 제공될 때에는 AO 구간이 시작될 때 해당 모듈을 가진 디바이스들이 AO 컨트롤 메시지를 수신하고, Opportunity period 구간 동안 애드혹 모드로 wakeup 상태를 유지해야 한다.

그림 4의 AO 서브구간은 코디네이터가 RO 1부터 RO 3까지 서브구간동안 수신한 OCM frame의 조합을 분석하고, 요청한 WBAN 디바이스의 특성을 고려하여 Opportunity period를 선택하고 해당 정보를 OCM ACK frame에 포함하여 요청한 디바이스에 브로드캐스트 한다.

제안하는 OCDP는 대리 요청(delegate request) 방식을 사용한다. 따라서 만약 2개 이상의 의료 디바이스가 RO 1 구간에서 OCM frame을 경쟁을 통해 전송하려고 시도할 때 채널을 획득한 1개의 디바이스가 OCM frame을 전송하면, 뒤이어 백오프를 완료한 나머지 디바이스는 CCA를 통해 자신을 대신하여 이미 OCM frame 전송이 이루어지고 있음을 판단하고 sleep 모드로 전환되었다가 AO 서브구간이 시작될 때 함께 OCM ACK frame을 수신하여 Opportunity period의 정보를 알 수 있다. 이러한 대리 요청방식이 가능한 이유는 코디네이터가 각 그림 5과 같이 이미 디자인된 4개의 Opportunity period 중에 1개를 RO 서브구간을 통해 수신된 OCM frame에 따라 조합하여 선택할 수 있기 때문이다. 또한 대리요청 방식을 사용하기 때문에 OCDP의 길이는 짧아질 수 있다.

그림 5는 제안하는 Opportunity period가 OCDP의 RO 서브구간에 OCM frame으로 요청된 메시지를 표 4를 이용해 선택된 Mode A부터 Mode D까지를 나타낸다.

표 4와 그림 4, 그림 5에 따라 Mode A는 RO 1을 통해 저속의 작은 크기로 발생하는 의료데이터를 발생시키는 메디컬 디바이스가 OCM frame을 생성하고 코디네이터에게 Opportunity period를 요청한 경우이다. 대체로 Active period에서 전송을 완료하고 완료하지 못한 센싱 데이터는 일정 시간이 지나거나 최대 백오프 회수를 넘기면 버리게 되는데, Mode A를

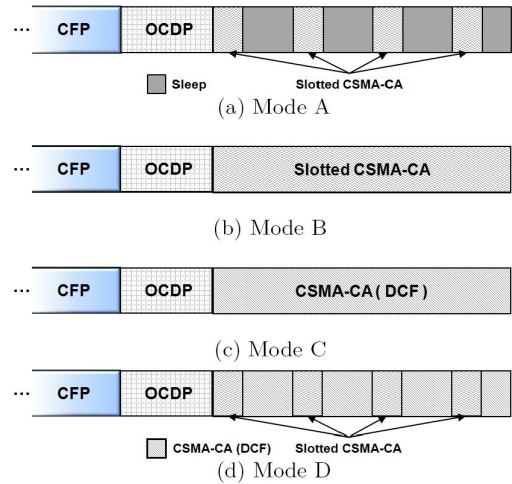


그림 5. 4-mode Opportunity period

로 Opportunity period를 사용하게 된다. Mode A는 Inactive의 전체시간을 모두 활성화시키지 않고, wakeup 모드와 sleep 모드를 반복하여 채널을 획득할 수 있도록 제공하고, 코디네이터가 불필요하게 전체 슈퍼프레임 동안 계속 깨어있지 않도록 지원한다.

Mode B는 대체로 CE 디바이스로 부터의 연속적인 대용량의 데이터가 발생했을 때, Inactive period로 인한 전송 지연이 증가하지 않도록 빠르게 데이터 전송을 할 수 있도록 제공한다. RO 2 서브구간에서 OCM frame이 생성되고 요청되면, Mode B와 같이 현재 슈퍼프레임의 끝까지 Opportunity period를 활성화 시킨다. 이러한 특성을 가지고 발생한 데이터를 빠르게 전송해 주지 않으면 다음 슈퍼프레임의 Active period에서 메디컬 디바이스와 함께 CAP 구간 경쟁을 할 수도 있으므로 메디컬 디바이스의 안정적인 전송을 위해서도 Mode B와 같이 Opportunity period를 제공하는 것이 효율적이다.

Mode C는 오직 애드 혹 모드만을 요구하는 디바이스가 RO 3 서브구간을 통해 Opportunity period를 요청했을 때 제공된다. 앞서 언급된 바와 같이 DCF 모드는 디바이스의 개발 목적과 특성에 맞게 선택적으로 탑재되며, 네트워크에 편입될 때 코디네이터에게 해당 모듈을 소유하고 있음을 전송한다. RO 3는 이러한 디바이스가 2개 이상인 경우 생성되며 그에 따라 Mode C와 Mode D도 이용가능할 수 있게 된다. Mode D는 slotted CSMA-CA와 DCF 방식의 CSMA-CA를 사용하는 디바이스가 모두 OCM frame을 전송했을 때 선택되는 Opportunity period의 모드이다. 이는 슬롯단위로 각각의 CSMA-CA 경쟁방식

이 서로 교차되어 사용될 수 있도록 제공된다.

IV. 성능평가

제안하는 WBAN MAC 프로토콜의 성능평가를 위해 본 논문은 제안하는 WBAN MAC 프로토콜과 동일하게 beacon enable 슈퍼프레임 구조를 사용하는 현재 WBAN 구현에 많이 사용되는 무선 센서 네트워크 표준의 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜을 선택하여 성능 분석을 수행하였다.

시뮬레이션 환경의 PHY모델은 ISM 주파수 대역으로 가정하며, 250kbps data rate 등 IEEE 802.15.4 표준을 따른다.[4] 동등한 비교를 위해 슈퍼프레임의 전체 길이인 BI를 결정하는 BO값과 Active period의 길이를 결정하는 SO를 동일하게 정해야 한다. 본 논문에서는 BO=4 (245.76ms 슈퍼프레임 길이), SO=3 (122.88ms Active period 길이)로 값을 정하였다. 만약, BO=5, SO=4로 증가할 경우 Inactive 구간은 2배로 증가하기 때문에 245.76ms의 Inactive period를 가진다. 이는 2절에 언급된 요구사항의 전송 지연에서 의료 분야를 충족시킬 수 없다.

시뮬레이션의 트래픽 모델은 다음과 같다. 5개부터 50개까지의 주기성을 가진 메디컬 디바이스가 다음과 같은 주기를 100ms (20%), 400ms (20%), 800ms

(20%), 1s (20%), 10s (20%)를 각각 가지고 데이터를 발생시키며, 매 주기마다 40 Bytes를 발생시킨다. 그룹 2와 그룹 3을 분류하는 α (alpha)의 초기값은 10으로 설정된다. CE 디바이스는 5000 Bytes의 데이터를 일시적으로 발생시키며, 이 데이터는 MAC layer 최대 크기인 127 Bytes로 분할되며, 마지막 분할 데이터는 남은 Bytes가 된다. 성능평가를 위한 시뮬레이션은 C++를 이용해 구현되었다.

그림 6은 Dynamic CFP allocation과 Opportunity period가 적용된 제안하는 MAC과 IEEE 802.15.4 MAC의 성능을 비교한 결과이다. 성능 분석 결과 전송 처리율(throughput), CFP 이용률(CFP utilization), 전송 지연(latency)에서 더 나은 성능을 보이는 결과를 얻을 수 있었다. 그림 6의 (a)는 메디컬 디바이스가 5개부터 50까지 동일 비율로 증가할 때의 전송 처리율을 나타낸다. 이러한 전송 처리율의 성능 증가는 제안된 2가지 요소인 dynamic CFP allocation과 Opportunity period에 의한 결과이다. 그림 6의 (b), (c)의 CFP 이용률은 전송 성공 데이터가 어느 구간을 통해 전송을 완료했는지를 나타낸다. 성능 향상은 dynamic CFP allocation에 의해 CFP 슬롯을 효율적으로 할당한 방안에 의한 결과이며, 그림 6의 (d), (e)의 전송 지연 성능 결과는 Opportunity period가 낮은 전송 지연을 요구하는 디바이스에게 적절하게 활성화

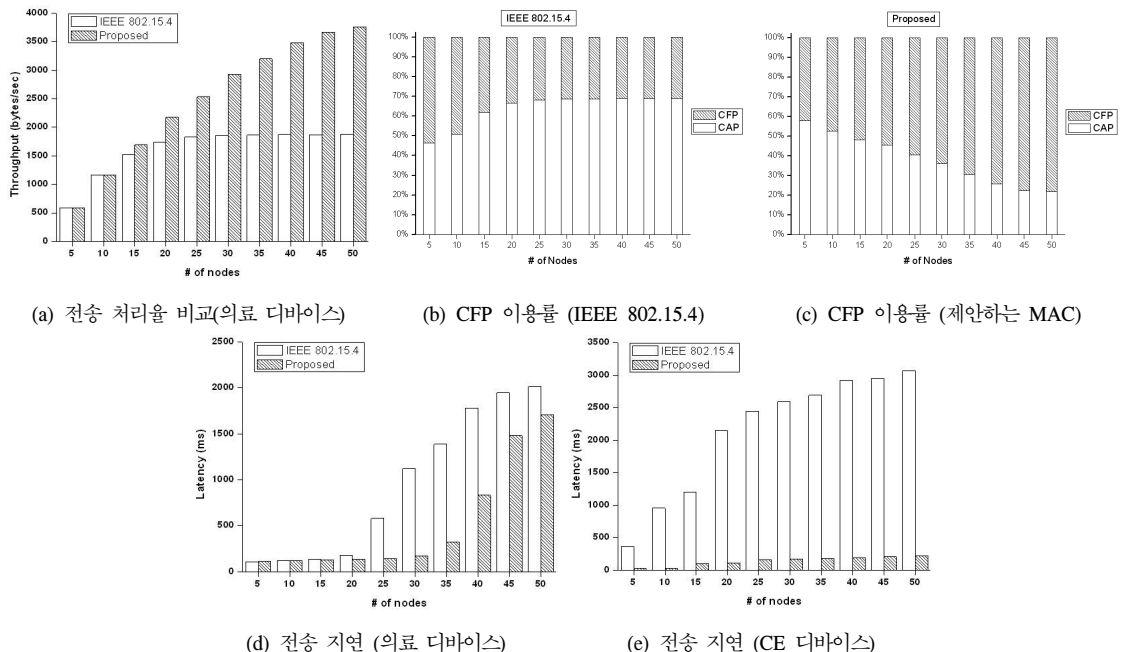


그림 6. 시뮬레이션 결과

된 채널을 일시적으로 제공했기 때문이다. 제안하는 2 가지 방안은 superframe의 6.25%(2 slot)에 해당되는 CFP allocation period와 OCDP의 사용을 통해에 의해 상이한 특징을 가지는 다양한 디바이스 간의 유연성이 제공되어 향상된 성능을 발휘하는 것을 확인할 수 있다. 그러나, superframe의 6.25%(2 slot) 만큼의 추가 전력이 발생함을 밝힌다.

V. 결 론

본 논문에서는 WBAN의 요구사항을 분석하고, WBAN의 요구사항을 만족하는 다양한 디바이스간의 유연성을 제공하는 하이브리드 슈퍼프레임 구조의 WBAN MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 최소한의 control frame을 전송할 수 있는 CFP allocation period와 OCDP를 통해 Dynamic CFP allocation과 Opportunity period를 제공함으로써 CFP 슬롯을 요구하는 다수의 디바이스에게 동적으로 CFP 슬롯을 할당하여 효율을 높이고, OCDP와 4-mode Opportunity period를 제공하여 일시적으로 Inactive period를 활성화하여 전송 지연의 유연성을 제공한다. 제안하는 WBAN MAC 프로토콜은 다양한 시뮬레이션 성능 분석 결과 IEEE 802.15.4 MAC과 비교했을 때 전송 효율성, CFP 이용률, 전송 지연에서 WBAN 환경과 디바이스의 특징에 따라 유연성 있게 동작하여 높은 성능을 나타내는 성능 분석 결과를 얻을 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.15 WPAN Task Group 6 BAN: <http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>.
- [2] H. B. Li and R. Kohno, "Introduction of SG-BAN in IEEE 802.15 with related discussion," Proc. IEEE International Conference on Ultra Wideband, pp.134-139, 2007.
- [3] O. Omeni, A. Wong, A. J. Burdett, and C. Toumazou, "Energy efficient medium access protocol for wireless medical body area sensor networks," IEEE Trans. Biomedical Circuits and Systems., Vol.2, issue. 4, pp.251-259, Dec. 2008.
- [4] C. Min, P. Chenglin, G. Xingming, L. Jianmei, "A novel MAC protocol for wireless physiological information sensor network," *Medical Devices and Biosensors*, 2007. 4th IEEE/EMBS International Summer School and Symposium on, pp.79-81, August 2007.
- [5] 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
- [6] A. Koubaa, M. Alves, and E. Tovar, "i-GAME: An Implicit GTS Allocation Mechanism in IEEE 802.15.4 for Time-Sensitive Wireless Sensor Networks," Proc. 18th Euromicro Conf. Real-Time Systems (ECRTS '06), July 2006.
- [7] L. Cheng, A. G. Bourgeois, and X. Zhang, "A new GTS allocation scheme for IEEE 802.15.4 networks with improved bandwidth utilization," Proc. ISCIT 2007, pp.1143-1148, Oct. 2007.
- [8] NICT's MAC proposal to IEEE 802.15.6 - document, IEEE P802-15-0814-01-0006.
- [9] Super-merged BAN Baseline for TG6, IEEE 80.15-09-0781-0006.
- [10] Samsung MAC proposal for IEEE 802.15 TG6 -Body Area Networks, IEEE P802.15-09-0344-01-0006
- [11] Samsung-ETRI-CUNY-KETI-KORPA-Inha-CNU merged baseline Proposal for TG6, IEEE 802.15-09.0765-02-0006.
- [12] Preliminary WBAN proposal using IR-UWB (ETRI), IEEE 802.15-09-141-01-0006.
- [13] Proposal for Partial PHY and MAC including emergency management in IEEE 802.15.6, IEEE P802.15-09-0286-00-0006.
- [14] France Telecom / CEA / Thales final proposal, IEEE 802.15-09-0324.-02-0006
- [15] MedWiN MAC and Security Proposal - Documentation, IEEE 802.15-09-0327-01-0006
- [15] 802.15.6 Call for Applications - Response Summary, IEEE 802.15-08-0407-05-0006.
- [16] TG6 Technical Requirements Document (TRD), IEEE 802.15-08-0664-09-0006.

서 영 선 (Young-Sun Seo)

정회원



2008년 2월 용인대학교 컴퓨터
공학과 졸업
2010년 2월 경희대학교 컴퓨터
공학과(석사)
2010년 3월~현재 (주) 미디어
코러스 연구원
<관심분야> 임베디드 시스템,
무선 센서 네트워크

김 범 석 (BeomSeok Kim)

준회원



2010년 2월 경희대학교 컴퓨터
공학과 졸업
2010년 3월~현재 경희대학교
컴퓨터공학과 석사과정
<관심분야> 임베디드 시스템,
무선 센서 네트워크

김 대 영 (Dae-Young Kim)

정회원



2004년 2월 경희대학교 컴퓨터
공학과 졸업
2006년 2월 경희대학교 컴퓨터
공학과(석사)
2010년 8월 경희대학교 컴퓨터
공학과(박사)
2010년 9월~현재 (주) LIG
Nex1 선임 연구원

<관심분야> 모바일 네트워크, 센서 네트워크, 임베
디드 시스템

조 진 성 (Jinsung Cho)

종신회원



1992년 2월 서울대학교 컴퓨터
공학과 졸업
1994년 2월 서울대학교 컴퓨터
공학과(석사)
2000년 2월 서울대학교 컴퓨터
공학과(박사)
1997년 4월~8월 IBM T.J.

Watson Research Center Visiting Researcher

1999년 9월~2003년 2월 삼성전자 책임연구원
2003년 3월~현재 경희대학교 컴퓨터공학과 부교수
<관심분야> 모바일 네트워크, 센서 네트워크, 임베
디드 시스템