



한국정보과학회 컴퓨터시스템연구회

## 2010년도 동계 워크샵

2010년 1월 25일 - 1월 27일, 강원도 휘닉스파크 한화콘도

---

주최: 한국정보과학회 컴퓨터시스템 연구회

주관: 고려대학교 융합소프트웨어 전문대학원

포항공과대학교 이동단말 내장형 소프트웨어 연구센터

선문대학교 차세대 임베디드 SW 개발환경 연구센터

건국대학교 무인비행체 SW 융합연구센터

경북대학교 임베디드 소프트웨어 협동연구센터

후원: 로보빌더 (<http://www.robobuilder.net>)

미니로봇 (<http://www.minirobot.co.kr>)

SRC (Science Academy Robot Creation, <http://www.robotsrc.com>)

카이로봇 (<http://www.kairobot.co.kr>)

휴인스 (<http://www.huins.com>)

한백전자주 (<http://www.hanback.co.kr>)

# 프로그램

- 일시 : 2010. 1. 25(월) - 1.27(수)
- 장소 : 강원도 휘닉스파크 한화콘도
- 주최 : 한국정보과학회 컴퓨터시스템연구회
- 주관 : 고려대학교 융합소프트웨어 전문대학원
  - 포항공과대학교 이동단말 내장형 소프트웨어 연구센터
  - 선문대학교 차세대 임베디드 SW 개발환경 연구센터
  - 건국대학교 무인비행체 SW 융합연구센터
  - 경북대학교 임베디드 소프트웨어 협동연구센터
- 후원 : 로보빌더 (<http://www.robobuilder.net>)    미니로봇 (<http://www.minirobot.co.kr>)  
 SRC (Science Academy Robot Creation, <http://www.robotsrc.com>)  
 카이로봇 (<http://www.kairobot.co.kr>)    휴인스 (<http://www.huins.com>)  
 한백전자(주) (<http://www.hanback.co.kr>)

1월 25일 (월)	
시간	프로그램
12:50 - 13:00	개회식 (사회: 김진수 교수)
13:00 - 15:00	<b>Session 1: Cyber-Physical System</b> 좌장: 이창건 교수 (서울대) - Cyber-Physical Systems: Introduction and Challenges / 신인식 교수 (KAIST) - New Frontiers in Wireless Sensor Networks: Heterogeneity and Mobility / 오성희 교수 (서울대) - CPS의 고신뢰 자율제어 핵심기술 개발 / 박승민 팀장 (ETRI)
15:00 - 15:15	Coffee Break
15:15 - 16:00	<b>Keynote Speech 1</b> - ICT 진화 전망과 SKT 추진 방향 / 임종태 원장 (SK텔레콤)
16:00 - 18:00	<b>Session 2 : 포스터 논문 발표 및 로봇 전시회</b>
18:00 - 18:30	컴퓨터 시스템 연구회 총회
18:30 - 20:30	연회 (Banquet)

1월 26일 (화)	
시간	프로그램
9:00 - 11:00	<b>Session 3 : Multi-Core Architecture</b> 좌장: 김태현 교수 (서울시립대) - HyperX: Topology, Routing, and Packaging of Efficient Large-Scale Networks / 안정호 교수 (서울대) - Design of On-Chip Networks in Future Manycore Processors / 김동준 교수 (KAIST) - 실시간 ray tracing을 위한 멀티코어 연구 동향 및 ray tracing HW 설계 소개 / 박우찬 교수 (세종대)
11:00 - 11:15	<b>Coffee Break</b>
11:15 - 12:00	<b>Keynote Speech 2</b> - 멀티코어 기반 CE 기기에서의 System S/W 이슈 및 동향 / 최종덕 전무 (삼성전자)
12:00 - 13:30	<b>중식</b>
13:30 - 15:30	<b>Session 4 : Multi-core Software</b> 좌장: 정성우 교수 (고려대) - A Software SVM Approach for Heterogeneous Accelerator Multicore Architectures / 이재진 교수 (서울대) - General Purpose Computing with GPUs / 한환수 교수 (성균관대) - Multi-core Programming Model for CE Devices / 서상범 상무 (삼성중기원)
15:30 - 15:45	<b>Coffee Break</b>
15:45 - 17:45	<b>Session 5 : New Comers</b> 좌장: 윤성로 교수 (고려대) - Hybrid System Emulation / 서태원 교수 (고려대) - Many-core system-on-chip architecture: memory & network-on-chip issues / 유승주 교수 (포항공대) - Bayesian decoding for intracortical neural interface systems / 김성필 교수 (고려대) - Greening Datacenters: Cutting-edge issues swirling around virtualization, multicores, and GPUs / 서의성 교수 (울산과기대)
1월 27일 (수)	
9:00-11:00	<b>자유토론 : 차세대 컴퓨터</b> 사회: 김진수 교수 (성균관대)
11:00-11:10	<b>폐회사</b>

# DFlex-MAC: 동적 CFP 할당과 기회구간 기반의 유연성을 제공하는 WBAN MAC 프로토콜

서영선      김대영      김범석      조진성  
 경희대학교 컴퓨터공학과  
 {lamooss, kimdy, passion0822, chojs}@khu.ac.kr

## DFlex-MAC: A Dynamic CFP Allocation and Opportunity period-based Flexible WBAN MAC Protocol

Young-Sun Seo      Dae-Young Kim      Beom-Seok Kim      Jinsung Cho  
 Department of Computer Engineering  
 Kyung Hee University

### 요약

Wireless body area network(WBAN)은 인체 주변 영역에서의 통신 서비스를 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 응용 간의 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 할당(Dynamic CFP Allocation)과 Opportunity period를 제안한다. 제안하는 동적 CFP 할당은 요청에 따라 동적으로 CFP 슬롯을 할당하여 CFP 할당의 유연성을 높이고 주파수 대역의 낭비를 줄일 수 있다. 또한, Opportunity period를 제공하기 위해서 OCDP(opportunistic contention decision period)구간과 4-mode Opportunity period를 제공하고, 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 이용률, 전송 지연 측면에서 증가된 성능 결과를 얻을 수 있었다.

### 1. 서론

Wireless body area network(WBAN)[1]은 인체 내부(implant), 피부 표면(on-body, wearable), 인체 영역 3m 이내에서의 인체 외부(external)에 위치한 디바이스 간의 통신을 수행하는 WPAN의 차세대 무선 통신 기술이다. WBAN은 코디네이터(coordinator), 의료 디바이스(medical device), 개인 소비자용 전자 제품(CE; consumer electronics)으로 구성되며, 다양한 유비쿼터스 서비스를 제공한다. IEEE 802.15 Working Group은 2007년 11월부터 WBAN의 표준화를 위해 IEEE 802.15.6 Task Group을 구성하여 현재 WBAN을 위한 표준화 작업을 진행 중에 있으며, 의료 분야를 주요 관심 분야로 하고 CE 응용 분야까지 동시에 제공하는 것을 목표로 한다[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. WBAN MAC은 이러한 의료 서비스와 CE 서비스를 동시에 제공할 수 있어야 한다. 그러나 WBAN 의료용 디바이스의 네트워크 구성에 사용되는 기존의 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜 (i.e., TDMA[3] 또는 IEEE 802.15.4[4])은 IEEE 802.15.6의 다양

한 응용 분야를 제공하기 위한 요구사항을 만족하지 못한다.

[그림 1]과 같이 IEEE 802.15.4 MAC[4] 프로토콜은 비콘을 사용하는 하이브리드 슈퍼프레임 구조를 사용한다. 통신을 수행하는 Active period와 모든 노드가 수면 상태가 되는 Inactive period로 크게 나뉘며, Active period는 균등하게 16 슬롯(slot)으로 분할된다. Active period는 CAP(contention access period)와 CFP(contention free period)의 역할을 수행하는 GTS(guaranteed time slot)로 구성되어 경쟁과 비경쟁을 모두 지원하는 하이브리드 슈퍼프레임 구조로 이루어진다. 균등하게 16 등분으로 이루어진 슬롯으로 Active period가 분할되므로, GTS를 할당 받은 디바이스가 증가할수록 CAP는 줄어들게 된다. 게다가 IEEE 802.15.4 MAC은 코디네이터가 최

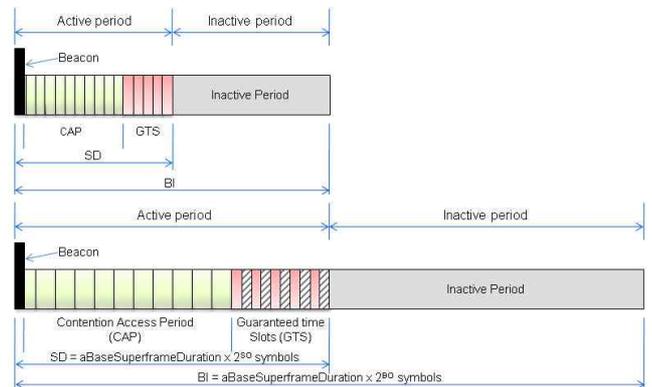


그림 1. IEEE 802.15.4 MAC 슈퍼프레임 구조

“이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단 지원(No. 2009-0083992)과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터지원사업(NIPA-2009-(C1090-0902-0002))의 연구결과로 수행된 연구임.”

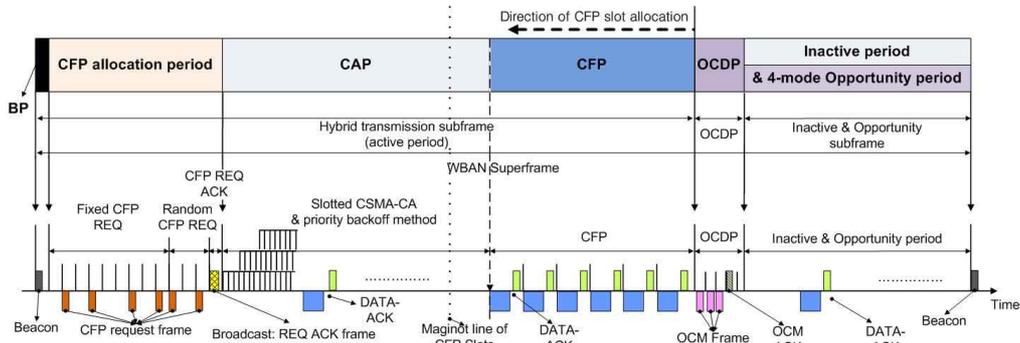


그림 2. 제안하는 WBAN MAC 슈퍼프레임 구조

대 7개의 디바이스에게만 GTS를 할당할 수 있다. 따라서 GTS를 요청한 순서대로 7개의 디바이스에게 GTS가 할당되면, 이후에 8번째로 GTS를 요청하는 디바이스는 GTS를 할당받을 수 없다. 만약, 더욱 많은 CAP 구간이 필요하다면, 코디네이터는 일반적으로 superframe order(SO) 값을 증가시켜 CAP duration을 확장시킬 수 있다. 그러나 SO가 증가하면 [그림 1] 하단의 빗금과 같이 GTS 슬롯 크기도 불필요하게 증가한다.

또한 WBAN 환경과 동일하게 때때로 CE 디바이스가 네트워크에 편입되어 대량의 데이터를 폭발적(bursty)이면서 때때로(sporadically) 발생시킬 때, 센서 디바이스의 배터리 수명을 위해 설계된 Inactive period로 인한 전송 지연이 발생한다.

본 논문은 다양한 디바이스로 구성된 WBAN 환경에서의 유연성(flexibility)을 가장 중점 요구사항으로 하여 크게 2가지의 방안을 제안한다. 첫째는, 동적 CFP 할당 (dynamic CFP allocation)을 제안하며, 둘째, Opportunity period를 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WBAN의 요구사항을 기술하며, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 WBAN MAC 프로토콜을 기술하고, 4장에서는 성능을 평가하고 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

## 2. WBAN 요구사항

서론에서 기술한 바와 같이, WBAN은 인체 내외부를 포함하는 인체 주변 영역에서 서로 상이한 특징을 가진 다양한 디바이스들로 네트워크가 구성된다(i.e., medical or CE devices). 그러므로 WBAN MAC 프로토콜은 다양한 디바이스 또는 응용간에 충분히 유연성을 제공하기 위해서 다음의 요구사항을 만족해야 한다[5-6].

- **저전력 (power consumption)** : 인체 내부에 이식되거나 배터리 기반으로 휴대할 수 있는 의료 센서 디바이스 또는 휴대형(potable) 디바이스로 대부분 구성되기 때문에 에너지 사용 효율성이 가장 중요한 이슈이다.
- **듀티 사이클 (duty cycle)** : 의료 디바이스는 듀티 사이클에 대한 요구사항이 매우 중요하다(e.g., <1% or <10%). 최대한 오래 슬립(sleep) 상태를 유지하고, 전송이 필요한 경우에만 wakeup하여 통신을 수행하도록 요구된다.
- **확장성 (scalability)** : WBAN 네트워크의 크기는 256개의 디바이스까지 확장을 지원 할 수 있어야 한다. 또한 전송 속도는 10Kbps부터 10Mbps까지 디바이스의 전송 특성에 따라 다양한 전송 속도의 지원을 요구한다.
- **전송 지연 (latency)** : 긴급 의료 상황, QoS 보장을 요구하는 의료 응용은 낮은 전송 지연이 요구 된다(i.e., 의료 응용;  $\leq 125\text{ms}$ ). CE 응용도 QoS 보장을 요구하거나 실시간 서비스를 제공해야 하는 서비스의 경우 낮은 전송 지연을 요구 한다(i.e., CE 응용;  $\leq 250\text{ms}$ ).

- **주기성과 비주기성 (periodic and non-period)** : 대체로 의료 분야의 WBAN 디바이스는 정보를 주기적으로 수집하고 정보를 취합할 수 있도록 코디네이터로의 전달을 수행한다. 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, WBAN MAC 프로토콜은 저전력이 가장 중요 요구사항이다. 하지만 앞서 기술된 요구사항과 같이 저전력을 만족하면서 상이한 특징을 가진 다양한 디바이스가 네트워크에 존재되어 있는 WBAN 환경을 충분히 지원할 수 있는 유연성(flexibility)이 요구된다.

## 3. 제안하는 WBAN MAC 프로토콜

2절에서 기술한 WBAN 요구사항에 따라 본 논문에서는 유연성을 충분히 제공하는 것을 WBAN MAC 프로토콜 설계의 주요 목표로 정하고 다음의 2가지 방안을 제안한다. 첫째, **동적 CFP 할당 (Dynamic CFP allocation)**을 제안한다. 기존의 무선 센서 네트워크를 위한 표준인 IEEE 802.15.4는 일단 코디네이터에 의하여 GTS를 디바이스에 할당하면 고정할당 방식에 의하여 독점적으로 슬롯을 할당하므로 전송할 데이터의 유무와 상관없이 고정적으로 할당되어 주파수 대역의 낭비를 발생시킨다. 만약 GTS를 할당받은 디바이스의 데이터 발생 주기가 길어진다면, 주파수 대역 낭비의 증가를 피할 수 없게 된다. WBAN의 주기적인 데이터 발생은 1ms부터 1000s까지 다양하므로 고정할당에 의한 방식은 주파수 대역을 효율적으로 사용할 수 있는 방법이 될 수 없다. 또한, 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 디바이스를 위해 충분히 CFP 슬롯을 제공하고, CAP 구간에서 경쟁 기법을 사용하여 채널 획득을 시도하는 회수를 줄이도록 demand-driven 기법에 의한 동적 CFP 할당 (Dynamic CFP allocation) 방안을 제안한다.

둘째, **기회 구간(Opportunity period)**을 제공한다. 디바이스의 저전력을 제공하기 위해서 일정 시간 sleep 모드를 유지할 수 있도록 설계된 일반적인 무선 센서 네트워크의 Inactive period 기법은 메디컬 디바이스의 긴급(emergency), 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 위

해 평소에 Inactive period를 유지하지만, 위와 같은 상황의 경우 유연성 있게 일시적으로 채널을 활성화시킬 수 있도록 Opportunity period 방안을 제안한다.

[그림 2]는 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 CFP allocation period와 OCDP(opportunity contention decision period) 구간이 적용되어 제공된다.

### 3.1. Dynamic CFP allocation

제안하는 Dynamic CFP allocation은 CFP 사용 권한을 요청하는 디바이스가 7개 이내일 경우에는 기존의 IEEE 802.15.4와 유사하게 동작하지만, CFP 사용 권한을 요청하는 디바이스가 8개 이상 늘어날 경우 CFP allocation period가 수행되며, 이 구간에 의해 동적으로 CFP 슬롯을 요청 및 할당할 수 있다. [그림 2]와 같이 CFP allocation period는 다시 Fixed CFP REQ와 Random CFP REQ의 서브구간(subperiod)로 나누어진다. 나누어진 각 서브구간은 CFP 슬롯을 요청할 수 있는 컨트롤 프레임(CFP request frame)을 전송할 수 있는 작은 미니슬롯(mini-slot)으로 구성된다. 코디네이터는 최종적으로 CFP REQ ACK 서브구간에서 REQ ACK frame을 브로드캐스트함으로써 동적으로 CFP 슬롯을 할당할 수 있다.

[그림 2]와 같이 CFP allocation period의 서브구간 중 하나인 Fixed CFP REQ 서브구간은 각각의 디바이스와 각각의 미니슬롯 간의 일대일 맵핑(1:1 mapping)에 의한 고정 할당이 이루어진다. 따라서 코디네이터에게 CFP 사용 권한을 요청할 때, Fixed CFP REQ 구간을 할당받고 자신만의 미니슬롯을 가진 디바이스는 전송할 데이터가 발생하면 고정 할당된 자신의 미니슬롯을 이용해 CFP request frame을 전송하여 코디네이터에게 CFP 슬롯을 요청할 수 있다. Fixed CFP REQ 서브구간은 고정적으로 미니슬롯을 할당해 주는 기법으로 CFP 사용 권한을 요청하는 디바이스가 많아질수록 미니슬롯이 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 조정된다. Fixed CFP REQ의 미니슬롯은 디바이스와 미니슬롯 간의 일대일 맵핑에 의한 보장된 미니슬롯인 반면에 Random CFP REQ 서브구간에서는 서브구간 내의 미니슬롯 중 무작위(randomly)로 1개 미니슬롯을 선택하여 CFP 슬롯을 요청할 수 있다. 위와 같이 서브구간에 따른 미니슬롯 사용을 위해 Dynamic CFP allocation은 CFP 사용권한을 요청하는 디바이스의 전송 주기에 따라 그룹화를 수행한다.

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

디바이스의 주기는  $T_p$ 로 정의된다.  $T_p$ 는 슈퍼프레임 1주기인 BI 시간의 정수화된 배수 형태로 표현된다. 따라서 만약  $T_p = 5$ 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.

그룹 1에 속한 디바이스는 비콘에서 코디네이터에 의해 CFP 슬롯 할당을 관리 받는 그룹으로 코디네이터가 CFP 슬롯을 매

슈퍼프레임마다 고정적으로 할당하는 그룹이다. 따라서 그룹 1 디바이스는 CFP 슬롯을 요청할 필요가 없다. 그룹 2에 속하는 디바이스는 Fixed CFP REQ 서브구간에서 일대일로 맵핑된 미니슬롯을 할당받은 디바이스가 CFP 슬롯을 요청하여 할당 받을 수 있다. 마지막으로 그룹 3에 속하는 디바이스는 Random CFP REQ 서브구간을 통해 미니슬롯을 랜덤으로 선택하여 CFP 슬롯을 요청할 수 있다. CFP 슬롯 할당은 [그림 2] 상단의 왼쪽 점선 화살표(Direction of CFP slot allocation)와 같이 Active period 끝부터 비콘에 의해 그룹 1이 매 슈퍼프레임마다 고정 할당되며, 이후 CFP allocation period에 의해 시간의 역방향으로 그룹 2, 그룹 3의 CFP 슬롯이 할당된다.

위와 같이 동적으로 CFP 슬롯이 할당됨에 따라 CAP 영역은 상대적으로 줄어들며, 본 논문에서는 최소한의 CAP 영역을 보장하기 위해 Maginot line을 제공하여 CFP 슬롯이 Maginot line을 넘어서 할당되지 않도록 한계선을 두어 제한한다.

### 3.2. Opportunity period

Opportunity period는 3절에서 기술된 바와 같이 Inactive period를 일시적으로 활성화시켜 경쟁 기법을 통한 채널 획득 및 사용이 가능하도록 제공하는 방안이다. Inactive period를 일시적으로 전환하여 사용하기 위해서 본 논문에서는 [그림 3]과 같이 OCDP(opportunistic contention decision period)를 Active period와 Inactive period 사이에 제공한다.

OCDP를 통해 Opportunity period를 요청하기 위해서 본 논문에서는 2개의 컨트롤 프레임을 제공한다. 첫째는, Opportunity period를 요청하기 위한 컨트롤 프레임인 OCM (opportunity contention message) frame이며, 두 번째는 코디네이터에 의한 응답 컨트롤 프레임인 OCM ACK frame이 제공된다.

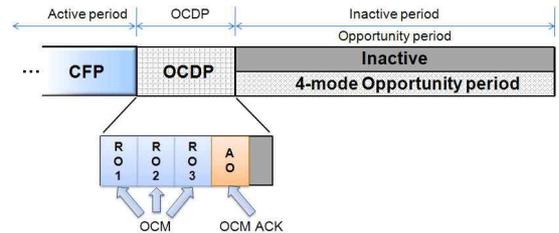


그림 3. 제안하는 OCDP 구간

[그림 3]과 같이 Opportunity period를 요구하는 디바이스의 특성에 따라 opportunity period를 제공하기 위해서 3개의 서브구간으로 구성된 RO(request of opportunity)와 코디네이터에 의한 응답 구간인 AO(acknowledgement of opportunity) 서브구간으로 OCDP는 이루어져 있다. RO 서브구간은 demand-driven 기법을 제공하기 위한 구간으로 Opportunity period를 사용하길 요구하는 WBAN 디바이스는 앞서 기술된 본 논문에서 제공하는 OCM frame을 전송하여 코디네이터에게 요청할 수 있다. RO1부터 RO3로 이루어진 RO 서브구간은 WBAN 디바이스의 특성에 따라 OCM을 전송할 수 있는 구간이 다음과 같이 미리 정해진다.

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

디바이스의 특성에 따라서 각각의 RO 구간에 요청된 OCM 프레임의 특성 조합을 고려하여 미리 디자인된 4-mode Opportunity period 중 1개가 결정되고, AO 구간을 통해 OCM ACK frame으로 요구하는 디바이스들에게 브로드캐스트 된다.

## 4. 성능 평가

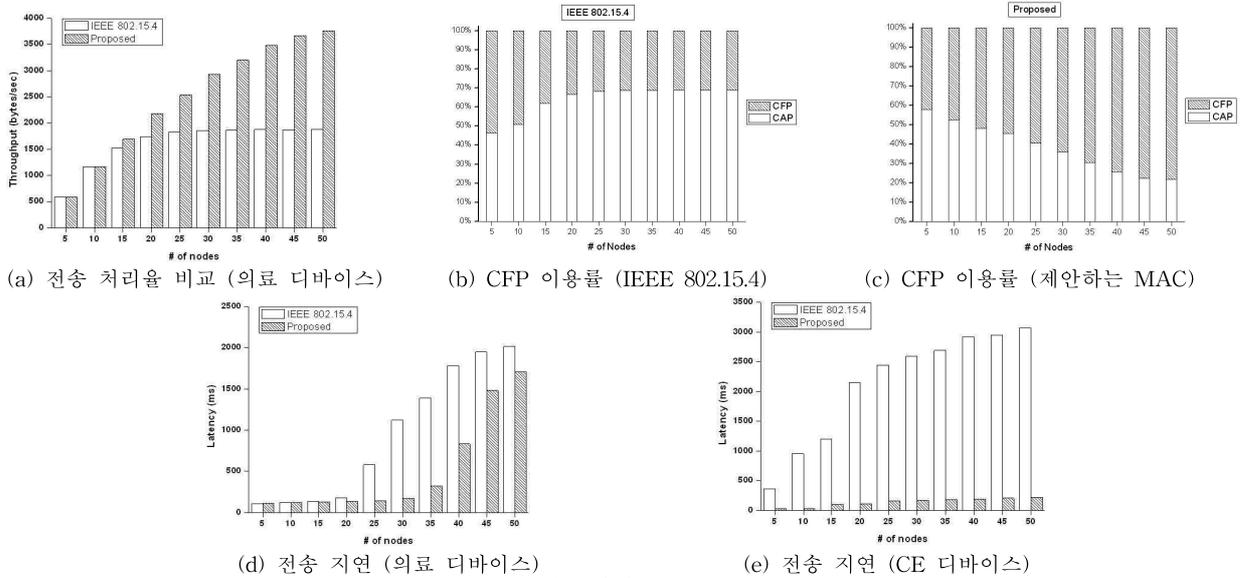


그림 4. 시뮬레이션 결과

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].

또한, 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 메디컬 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 초기  $\alpha$  값은 10으로 설정된다. CE 디바이스는 5000 Bytes의 데이터를 일시적으로 발생시키며, 이 데이터는 MAC layer 최대 크기인 127 Bytes로 분할되며, 마지막 분할 데이터는 남은 Bytes가 된다. 위의 모든 시뮬레이션은 C++를 이용해 구현되었다.

[그림 4]는 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 4]의 (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 4]의 (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 4]의 (d), (e)의 전송 지연 성능 결과는 Opportunity period가 낮은 전송 지연을 요구하는 디바이스에게 적절하게 활성화된 채널을 일시적으로 제공했기 때문이다. 제안하는 2가지 방안에 의해 상이한 특

징을 가지는 다양한 디바이스 간의 유연성이 제공되어 향상된 성능을 발휘하는 것을 확인할 수 있다.

## 5. 결론

본 논문에서는 WBAN의 요구사항을 분석하고, WBAN의 요구사항을 만족하는 다양한 디바이스간의 유연성을 제공하는 하이브리드 슈퍼프레임 구조의 WBAN MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 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.

## 참고 문헌

- [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] 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
- [5] 802.15.6 Call for Applications - Response Summary, IEEE 802.15-08-0407-05-0006.
- [6] TG6 Technical Requirements Document (TRD), IEEE 802.15-08-0664-09-0006.