

碩士學位論文

동적 CFP 할당과 기회 경쟁
기반의 WBAN MAC 프로토콜

指導教授 趙 眞 晟

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

徐 永 善

2010年 1月 15日

碩士學位論文

동적 CFP 할당과 기회 경쟁
기반의 WBAN MAC 프로토콜

指導教授 趙 眞 晟

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

徐 永 善

2010年 1月 15日

동적 CFP 할당과 기회 경쟁 기반의 WBAN MAC 프로토콜

指導教授 趙 眞 晟

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

徐 永 善

2010年 1月 15日

徐永善의 工學碩士 學位論文을 認准함

主審教授 _____ (印)

副審教授 _____ (印)

副審教授 _____ (印)

慶熙大學校 大學院

2010年 1月 15日

동적 CFP 할당과 기회 경쟁 기반의 WBAN MAC 프로토콜

A Dynamic CFP Allocation and Opportunity Contention-based WBAN MAC Protocol

慶熙大學校大學院

컴퓨터공학과

徐 永 善

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)을 제안한다. 제안하는 동적 CFP 할당은 demand-driven 기법에 의하여 요청에 따라 동적으로 CFP 슬롯을 할당하여 유연성을 높이고 주파수 대역의 낭비를 줄일 수 있다. 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 이용률, 전송지연 측면에서 증가된 성능 결과를 얻을 수 있었다.

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

<목 차>

1. 서론	1
2. WBAN 요구사항	6
3. 제안하는 WBAN MAC 프로토콜	9
3.1 Dynamic CFP allocation	13
3.1.1 CFP allocation period	13
3.1.2 Maginot line	19
3.1.3 Early CCA	21
3.2 Opportunity period	24
3.2.1 OCDP	25
3.2.2 4-mode Opportunity period	29
4. 성능 평가	33
4.1 시뮬레이션 환경	33
4.2 결과 및 분석	36
5. 결론	43
참 고 문 헌	44
Abstract	47

<그 립 목 차>

그림 1.	3
그림 2.	11
그림 3.	14
그림 4.	22
그림 5.	25
그림 6.	30
그림 7.	36
그림 8.	38
그림 9.	39
그림 10.	40
그림 11.	41

<표 목 차>

표 1.	16
표 2.	17
표 3.	20
표 4.	26
표 5.	28
표 6.	35

1. 서론

최근 진보된 첨단 무선 통신 기술과 발전된 의료 센서 기술을 기반으로 헬스케어(health-care) 연구가 활발하게 진행되고 있다. 의료용 센서 디바이스의 저가화, 소형화, 고품질 장비로의 발전은 더욱 헬스케어 연구 분야를 활발하게 이끌 것으로 기대된다. 이러한 연구 동향은 WPAN(wireless personal area network) 연구에서 하나의 이슈가 되고 있으며, WPAN 연구를 이끄는 원동력이 되고 있다[1].

wireless body area network(WBAN)[2] 은 인체 내부(implant), 피부 표면(on-body, wearable), 인체 영역 3m 이내에서의 인체 외부(external)에 위치하여 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(institute of electrical and electronics engineers)의 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 중에 있다[1-2]. IEEE 802.15.6 WBAN은 의료 분야를 주요 관심 분야로 하며, CE 응용 분야까지 동시에 제공하는 것을 목표로 한다. 또한, 저전력 요구사항을 만족하면서 3m 이내의 매우 작은 범위에서의 인체 영역 통신을 수행하고, 10Kbps부터 10Mbps까지 유연한 전송 속도를 제공해야 한다. 인체 내부에 수술을 통한 이식 또는 식도를 통해 삼켜서 인체 내부에 의료 디바이스가 위치하는 경우, WBAN은 일반적인 ISM(industrial scientific

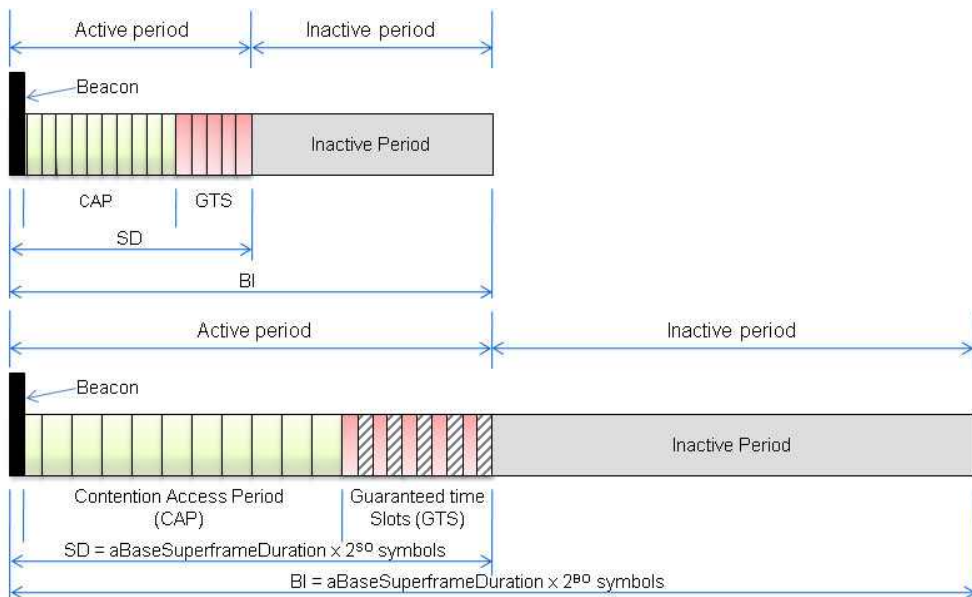
medical) 주파수 대역이 아닌 인체에 유해하지 않은 의료용 주파수 대역(MICS; medical implant communications service)을 사용하며, 인체 내부가 아닌 피부 표면과 인체 주변에 위치한 디바이스 간의 통신은 ISM 주파수 대역을 이용하여 무선 통신을 수행한다.

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 의료 서비스와 CE 서비스를 동시에 제공할 수 있어야 한다. 그러나 의료용 센서 디바이스의 네트워크 구성에 사용된 기존의 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜(i.e., TDMA 또는 IEEE 802.15.4 MAC)은 IEEE 802.15.6의 다양한 응용 분야를 제공하기 위한 요구사항을 만족하지 못한다.

WBAN 연구 초기에는 body sensor network(BSN), body area network(BAN) 등의 이름으로 의료 디바이스를 개발하고 이를 무선 네트워크 통신을 통해 성능을 검증하기 위한 간단한 TDMA 기법의 MAC 연구가 진행되었다[3-4]. 의료 분야의 디바이스를 고려한 MAC 연구이므로 서로 상이한 특성을 가지는 다양한 디바이스들이 네트워크를 구성할 때, TDMA 기법은 일반적으로 적합하지 못하다.

[그림 1]과 같이 IEEE 802.15.4 MAC[5] 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. 이 Active period는 CAP(contention access period)와 CFP(contention free period) 구간의 역할을 수행하는 GTS(guaranteed time slot)로 구성되어 경쟁과 비경쟁을 모두 지원하는 하이브리드 슈퍼프레임 구조로 이루어진다. 코디네이터는 디바

이스에게 1개 또는 1개 이상의 슬롯을 GTS로 할당할 수 있다. 균등하게 16 등분으로 이루어진 슬롯으로 Active period가 분할되므로, GTS를 할당 받은 디바이스가 증가할수록 CAP 구간은 줄어들게 된다. 게다가 IEEE 802.15.4 MAC 은 코디네이터가 최대 7개의 디바이스에게만 GTS를 할당할 수 있다. 따라서 GTS를 요청한 순서대로 7개의 디바이스에게 GTS가 할당되면, 이후에 GTS를 요청하는 디바이스는 GTS를 할당받을 수 없다.



[그림 1] IEEE 802.15.4 MAC 슈퍼프레임 구조

만약, 더욱 많은 CAP 구간이 필요하다면, 코디네이터는 일반적으로 Active period의 superframe duration(SD)을 결정하는 superframe order (SO) 값을 증가시켜 CAP duration을 확장시킬 수 있으며, SO는 비콘 (beacon)에 의해 결정된다. 그러나 SO가 증가하면 [그림 1] 하단의 빗금과 같이 GTS 슬롯도 불필요하게 증가하게 된다. 이것은 Active period가

균등하게 16 등분의 슬롯으로 나누어지기 때문에 발생하는 불필요한 슬롯 크기의 증가이다.

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 개선하였으나, 고정적인 GTS 할당으로 인한 문제를 해결하기 위하여 디바이스의 주기성에 제약을 가정하고 있거나 슬롯의 크기만 축소하는 형태의 개선 논문이며 센서 디바이스만이 고려되었다. 위와 같은 연구는 WBAN 환경과 동일하게 때때로 CE 디바이스가 네트워크에 편입되어 대량의 데이터를 폭발적(bursty)이며, 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] 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 현재 IEEE 802.15.6 TG에 제안하고 있다. 이러한 과정은 IEEE 802.15.6 TG 일정에 따라 2010년 1월 회의까지 진행되며, 아직 기고문 통합 과정이 완료되지 않았다.

기존의 BSN, BAN 등의 연구로 이루어졌던 TDMA 또는 메디컬 센서 디바이스를 위한 MAC 프로토콜을 제외한 논문이 최근에 발표되고 있다.

특히, Ullah *et. al.*은 비콘 모드의 IEEE 802.15.4 문제를 지적하고 비동기 방식의 트래픽 기반의 wakeup 기법을 제안했다[15].

그러나 본 논문에서는 현재까지 많은 WBAN 관련 연구가 비콘 모드의 IEEE 802.15.4 MAC를 사용하여 연구하고 있으므로[16], IEEE 802.15.4 MAC을 WBAN 환경에 적용했을 때의 문제점을 분석하고 WBAN의 목적과 요구사항에 적합하게 MAC을 설계하는 시도를 하였다.

본 논문은 상이한 특성을 가진 다양한 디바이스를 지원하기 위한 유연성(flexibility)을 가장 중점 요구사항으로 하여 크게 2가지의 방안을 제안한다. 첫째는, CFP의 효율성을 증대시켜 다수의 WBAN 의료 분야 응용 서비스에 유연하게 CFP를 할당해주고 주파수 대역을 효과적으로 사용할 수 있는 demand-driven 기법으로 CFP 슬롯을 동적 할당하는 동적 CFP 할당(dynamic CFP allocation)을 제안한다. 둘째, 이따금씩(sporadically) 폭발(bursty)적으로 event-driven 특성을 가지고 데이터를 발생하는 CE 응용 서비스가 WBAN 요구 사항을 만족하는 적은 지연으로 데이터를 전송할 수 있도록 일시적으로 Inactive period를 Opportunity period로 전환하여 기회 경쟁을 할 수 있도록 제공하는 Opportunity period를 제공한다.

제안하는 방안을 현재 WBAN 연구에 많이 사용되는 IEEE 802.15.4 MAC과 비교해 보았을 때, 성능이 향상된 전송 처리율, CFP 이용률, 전송 지연의 성능을 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.

2. WBAN 요구사항

서론에서 기술한 바와 같이, WBAN은 인체 내·외부를 포함하는 인체 주변 영역에서 서로 상이한 특징을 가진 다양한 디바이스들로 네트워크가 구성되며, 통신 서비스를 제공 한다(i.e., medical or CE devices). 그러므로 WBAN MAC 프로토콜은 다양한 디바이스 또는 응용 간에 충분히 유연성을 제공해야 한다. 유연성을 제공하기 위해서 WBAN MAC 프로토콜은 다음의 요구사항을 만족해야 한다[17-18].

- **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.
- **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 것이 저전력 요구사항을 만족하는 방안 중에 하나가 될 수 있다. 최대한 오래 슬립(sleep) 상태를 유지하고, 전송이 필요한 경우에만 wakeup 하여 통신을 수행하도록 요구된다. 반면에 CE 디바이스는 듀티 사이클을 크게 요구받지 않는다(e.g., low, medium or high).

- **전송 지연 (latency) :** 긴급(emergency) 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; $\leq 250\text{ms}$).
- **확장성 (scalability) :** WBAN 네트워크의 크기는 256개의 디바이스까지 확장을 지원 할 수 있어야 한다. Technical Requirement Document(TRD)[18]에 따라 WBAN MAC 프로토콜은 의료 디바이스가 확장 가능한 네트워크 크기만큼 확장될 경우까지 고려되어야 한다. 또한 다양한 특성을 가지는 디바이스가 네트워크에 혼재되어 있고, 저속의 서비스부터 고속의 서비스까지 다양하므로 전송 속도는 10Kbps부터 10Mbps까지 디바이스의 전송 특성에 따라 다양한 전송 속도의 지원을 요구한다.
- **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 의료 분야의 WBAN 디바이스는 WBAN 네트워크에 항상 연결되어 있으며, 주기적인 sleep과 wakeup를 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, WBAN은 배터리 기반 또는 체내에 이식된 디바이스 등의 듀티 사이클을 낮추고, 저전력을 지원하는 것이 WBAN MAC 프로토콜이 가장 고려해야 할 중요한 요구사항이다. 게다가 주기성과 비주기성 등의 서로 상이한 특징을 가지는 다양한 디바이스가 함께 네트워크를 구성함에 따라 상황에 따라서 유연하게 전송지연과 전송 처리율의 성능을 높이고, QoS 지원하며, 데이터 전송률과 디바이스 개수와 같은 범위의 다양성과 확장성(scalability)의 요구사항을 만족하는 것도 함께 고려해야 할 중요한 요구사항이다. 이 다양성과 광범위성은 차후 WBAN 디바이스의 의료 응용과 CE 응용 영역 확장 및 개발에 따라 인체 영역에 다수의 WBAN 디바이스가 네트워크를 형성해도 유연성 있게 통신하도록 요구된다. 따라서 WBAN MAC 프로토콜은 요구사항을 만족하는 저전력 뿐만 아니라 다양한 디바이스가 혼재한 네트워크에서 충분히 유연성을 제공할 수 있도록 설계되어야 한다.

3. 제안하는 WBAN MAC 프로토콜

2절에서 기술한 WBAN 요구사항에 따라 WBAN MAC 프로토콜은 저 전력 뿐만 아니라 상이한 특징을 가진 다양한 디바이스가 네트워크에 혼재되어 있는 WBAN 환경을 충분히 지원할 수 있는 유연성(flexibility)이 중요한 고려사항이므로, 본 논문에서는 유연성을 충분히 제공할 수 있는 WBAN MAC 프로토콜 설계를 주요 목표로 정하였다.

본 논문에서는 WBAN MAC 프로토콜의 설계를 위해 현재 WBAN 구현에 많이 사용되고 있는 기존의 무선 센서 네트워크를 위한 표준인 Beacon-enable 모드의 하이브리드 슈퍼프레임 구조인 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜을 분석하고, 1절에서 기술한 GTS 문제점의 해결과 함께 IEEE 802.15.4를 기반으로 2절에서 기술한 WBAN 요구사항을 만족하는 WBAN MAC 프로토콜을 새롭게 설계한다.

앞서 기술한 바와 같이, 유연성을 WBAN MAC 프로토콜 설계의 주요 목표로 정함에 따라 다음과 같이 2개의 사항을 고려하여 방안을 제안하였다.

첫째, 동적 CFP 할당(Dynamic CFP allocation)을 제안한다.

CFP 슬롯을 통해 데이터 전송하기를 요구하는 WBAN 디바이스를 위해 충분하게 CFP 슬롯을 WBAN 디바이스에게 제공하여 CAP 구간에서 경쟁 기법을 사용하여 채널획득을 시도하는 횟수를 줄이도록 설계하였다. 특히 배터리 기반의 메디컬 센서 디바이스는 듀티 사이클을 줄이기 위해 최대한 경쟁을 피하고, 전송할 데이터가 발생하면 데이터를 전송하는 시간에만 wakeup하여 전송하고 이외의 시간에는 최대한 sleep을 유지하도록 MAC 프로토콜이 지원해 주어야 한다.

기존의 무선 센서 네트워크를 위한 표준인 IEEE 802.15.4는 CFP 구간인 GTS 구간이 최대 할당 개수의 제약을 가지며, 일단 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 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.

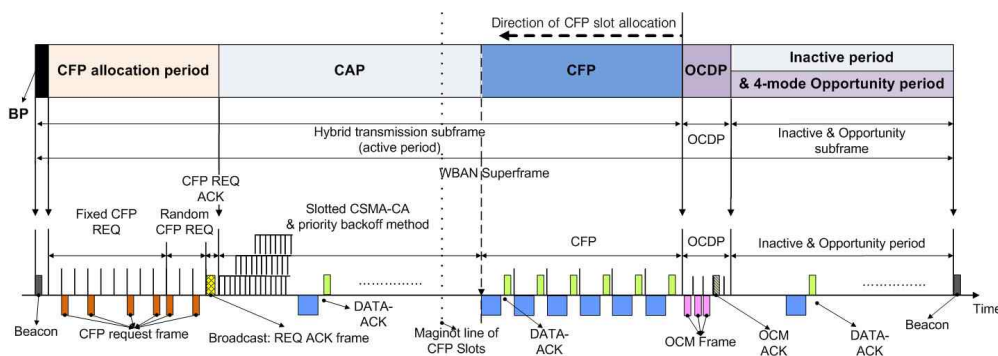
따라서 본 논문에서는 CFP 슬롯을 사용하여 데이터를 전송하기를 요구하는 WBAN 메디컬 디바이스에게 충분하게 CFP 슬롯 할당을 제공하고, 고정적인 CFP 슬롯 할당 기법을 피하면서 주파수 대역의 효율적인 사용이 가능하도록 demand-driven 기법의 동적 CFP 할당(Dynamic CFP allocation) 방안을 제안한다.

둘째, 기회 구간(Opportunity period)을 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 디바

이스를 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. Opportunity period는 요청하는 디바이스의 특징과 조합에 따라 미리 디자인된 4개의 Opportunity period 중 1개가 선택되어 지원된다.



[그림 2] 제안하는 WBAN MAC 슈퍼프레임 구조

[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 앞서 설명된 제안 방안인 Dynamic CFP allocation과 Opportunity period를 제공하기 위한 CFP allocation period와 OCDP (opportunistic contention decision period) 구간이 적용되어 있다.

CFP allocation period는 CFP 슬롯을 요청할 수 있는 컨트롤 프레임 (CFP request frame)을 디바이스가 코디네이터에 전송함으로써 CFP 슬롯을 동적으로 할당받을 수 있는 기법을 제공한다. 최종적으로 CFP 슬롯의 동적 할당은 [그림 2] 상단의 **Direction of CFP slot allocation**이라 기술된 왼쪽 방향의 점선 화살표와 같이 역시간 방향으로 할당된다. 이 할당

은 CFP REQ ACK 구간에서 CFP request frame을 수신 받은 코디네이터에 의해 REQ ACK frame이 브로드캐스트 되고, CFP 슬롯을 요청한 WBAN 디바이스들만 wakeup하여 해당 프레임을 수신함으로써 이루어진다.

OCDP 구간은 Inactive period 구간을 Opportunity period 구간으로 일시적으로 전환할 수 있는 기법을 제공한다. OCDP 구간을 통해 일시적으로 채널을 활성화시켜 사용하고 싶은 디바이스는 WBAN 코디네이터에게 컨트롤 프레임(OCM; opportunity contention message)을 전송함으로써 Opportunity period를 요청한 다른 디바이스와의 특성과 조합에 따라 WBAN 코디네이터는 미리 디자인된 4개의 Opportunity period 중에 1개를 선택하여 채널을 사용할 수 있도록 제공된다.

제안하는 Dynamic CFP allocation과 Opportunity period 방안이 적용된 제안하는 WBAN MAC 프로토콜은 제안하는 방안들을 위한 새로운 구간의 도입으로 인해 복잡성(complexity)이 다소 증가하지만, 상이한 특징을 가지는 다양한 디바이스를 유연성 있게 지원하기 위해 필요하다. 복잡성의 증가에도 불구하고 4절의 성능평가 결과와 같이 전송 처리율, CFP 이용률, 전송 지연 등에서 높은 성능을 얻을 수 있었다.

Dynamic CFP allocation과 Opportunity period에 대한 자세한 기술은 3.1 절과 3.2 절에서 각각 설명한다.

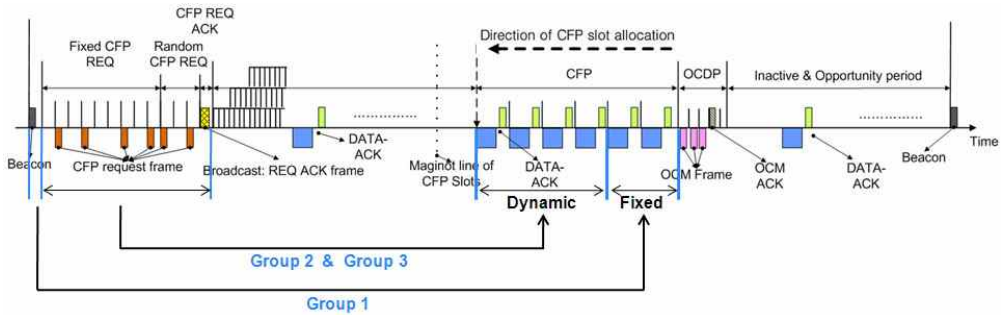
3.1 Dynamic CFP allocation

3.1.1 CAP allocation period

제안하는 Dynamic CFP allocation은 CFP 슬롯 할당을 요청하기 위한 구간과 미니슬롯(mini-slot)을 제공하고, demand-driven 기법에 의해 동적으로 CFP 슬롯을 할당함에 따라서 효율적으로 주파수 대역을 사용하고, CFP 슬롯 사용을 요구하는 다수의 WBAN 디바이스에게 CFP 슬롯을 할당해 줄 수 있는 방안을 제공한다.

이를 위해 본 논문에서는 [그림 2]와 같이 비콘 구간(BP) 이후에 CFP allocation period를 제공한다. 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 동적으로 CFP 슬롯을 할당할 수 있다.

WBAN 디바이스는 처음 WBAN 네트워크에 편입되면 CAP 구간만을 사용할 수 있다. 이 WBAN 디바이스들 중에 CFP를 이용한 채널 획득과 데이터 전송을 원하는 의료용 디바이스는 WBAN 코디네이터에게 이후부터는 CFP 슬롯을 사용하고 싶다고 요청할 수 있는 컨트롤 프레임인 CFP association frame을 전송하여 CFP를 사용할 수 있는 권한을 획득할 수 있다. 본 논문에서는 CFP association frame 전송 이후, 코디네이터에 의해 CFP 사용할 수 있음을 확인하는 내용이 포함된 CFP association ACK frame을 수신한 디바이스를 'CFP 사용권한을 획득한 디바이스'라 부른다.



[그림 3] Dynamic CFP allocation 기법

[그림 2-3]과 같이 CFP allocation period는 다시 Fixed CFP REQ와 Random CFP REQ의 서브구간(subperiod)로 나누어진다. 나누어진 각 서브 구간은 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 3]은 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 개수가 발생하고 증가하면, WBAN 코디네이터는 CFP allocation period를 슈퍼프레임 구간 상의 beacon period 바로 뒤에 생성하고 주기에 의한 그룹화를 수행한다.

[그림 3]에서 비콘 전송 이후 시작되는 CFP allocation period의 서브구간의 하나인 Fixed CFP REQ 서브구간은 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 1]과 같이 디바이스의 주기성에 의해 결정된다.

[표 1] 디바이스 주기에 따른 그룹화

- **Group 1** : 디바이스의 주기가 다음과 같을 때, $T_p = 1$
- **Group 2** : 디바이스의 주기가 다음과 같을 때, $1 < T_p < \alpha$
- **Group 3** : 디바이스의 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 T_p 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 2**에 속하는 디바이스는 Fixed CFP REQ 서버구간에서 일대일로 맵핑된 GMS를 할당받은 디바이스가 CFP 슬롯을 요청하여 동적으로 CFP 슬롯을 요청 및 할당 받을 수 있다. 마지막으로 **Group 3**에 속하는 디바이스는 보장된 미니슬롯이 아닌 NGMS를 통해 CFP 슬롯을 요청할 수 있는 Random CFP REQ 서버구간을 사용할 수 있도록 코디네이터에 의해 그룹이 정해진다. 따라서 이를 정리 하면 [표 2]와 같이 [표 1]의 그룹이 각 구간에서 CFP 슬롯을 할당 받거나 CFP 슬

를 요청하여 동적 할당 받을 수 있다.

[표 2] Group에 따른 구간 테이블

그룹 번호	CFP 슬롯 고정 할당 및 동적 요청 구간
● Group 1	BP (beacon period)
● Group 2	CFP allocation period - Fixed CFP REQ 서브구간
● Group 3	CFP allocation period - Random CFP REQ 서브구간

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

Fixed CFP REQ 서브구간은 각 GMS와 할당받은 **Group 2** 디바이스가 일대일 맵핑으로 할당되어 있다. 따라서 CFP 슬롯을 최대한 많은 디바이스에게 안정적으로 할당해준다는 의미에서 주기 정보가 $T_p > 1$ 영역에 속하는 모든 디바이스는 Fixed CFP REQ 서브구간에 보장된 미니슬롯 구간인 GMS를 할당하는 것이 좋다. 하지만 네트워크에 속하는 WBAN 디바이스가 늘어나고 CFP 사용 권한을 획득한 디바이스가 늘어날수록 실제 데이터를 전송할 수 있는 구간 보다 컨트롤 프레임 전송을 위한 구간이 많은 영역을 차지하는 주파수 대역 사용의 비효율 문제를 다시 발생시킬 수 있다. 따라서 코디네이터는 미니슬롯의 개수가 일정이상을 넘어가지 않도록 [표 1]의 α 값을 조절하여 **Group 2**와 **Group 3**의 조정을 수행하고 이미 할당되었으나 조정이 이루어진 디바이스는 브로드캐스트를 통해

해당 그룹이 바뀌었음을 디바이스에게 알려준다. α 의 값은 기존의 IEEE 802.15.4 MAC에서 균등하게 16등분된 슬롯에서 3번 슬롯 이내로 CFP allocation period가 유지되도록 조정된다. 따라서 코디네이터에 의해 정해지는 α 의 값은 초기에는 큰 수를 가지고 있으나, CFP 사용 권한을 획득한 디바이스가 늘어날수록 α 값은 작게 조절된다.

Dynamic CFP allocation은 *Group 1*에 의해 비콘의 크기가 크게 증가하지 못하도록 7번째 이후 CFP 사용 권한을 요청하는 디바이스는 최우선적으로 *Group 2*에 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.

제안하는 Dynamic CFP allocation은 CFP request frame, CFP REQ ACK frame 등의 전송을 위한 오버헤드가 발생한다. 그러나 기존의 고정적인 GTS 할당 방법에 의해서 디바이스가 GTS를 고정할당을 받고도 사용하지 않는 주파수 대역 낭비보다 주파수를 효율적으로 사용할 수 있으며, 4절의 시뮬레이션 성능 결과에서 CFP 이용률과 전송 처리율 등에서 더 나은 성능을 보임을 확인할 수 있다.

3.1.2 Maginot line

3.1.1 절의 Dynamic CFP allocation과 [그림 2-3]을 통해 앞서 기술된 바와 같이 제안하는 Dynamic CFP allocation은 비콘 이후에 동적으로 CFP 슬롯을 추가적으로 할당할 수 있는 방안이다. 따라서 비콘과 CFP allocation period를 제외한 Active period에서의 데이터 전송영역이 CAP + CFP로 이루어지기 때문에 제안하는 Dynamic CFP allocation 기법에서는 CFP가 동적으로 할당될수록 CAP 구간의 영역은 줄어들게 된다.

만약 네트워크를 구성하는 WBAN 디바이스의 개수가 늘어나고 CFP 사용권한을 획득한 WBAN 디바이스가 늘어났을 때, 한 슈퍼프레임에 전송할 데이터가 동시에 집중되는 현상이 발생할 수 있다. 이러한 경우에 CFP 슬롯은 CFP allocation period의 각 미니슬롯(GMS, NGMS)에 요청된 요청 프레임을 기반으로 dynamic CFP allocation을 수행할 때 CAP 영역을 전부 침범할 수 있다. 따라서 네트워크 유지를 위한 최소한의 CAP 영역을 보호하기 위한 장치로 Maginot line을 제안한다.

기존의 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜도 GTS의 최대 할당 개수는 7개이지만, 네트워크 유지를 위한 최소한의 CAP 영역을 만족하기 위해서 CAP를 위해 최소한 440 symbol을 제공하지 못하면 GTS가 7개 미만으로 할당되었더라도 GTS를 할당할 수 없다. 이것은 CAP 구간에서 컨트롤 프레임 전송을 통한 네트워크 유지와 CFP 슬롯을 할당받지 못한 디바이스의 경쟁을 통한 전송을 위해 CAP 구간은 보장이 되어야 하기 때문이다.

본 논문에서 Maginot line을 제안함에 따라 Dynamic CFP allocation이 [그림 2-3]과 같이 Active period의 끝에서 역시간 방향으로 할당될 때 CAP 구간을 모두 CFP로 할당하거나 그 이상으로 동적 할당하여 CFP

allocation period 또는 BP까지 할당하지 못하는 동적 할당의 한계선 역할을 수행한다.

[표 3] 비콘에서의 Maginot line 설정 필드

Beacon Order	Superframe Order	Final CAP	Battery life Extention (BLE)	Reserved	PAN coordinator	Association permit
--------------	------------------	------------------	------------------------------	----------	-----------------	--------------------



Beacon Order	Superframe Order	Maginot line of CFP Slot	Battery life Extention (BLE)	Reserved	PAN coordinator	Association permit
--------------	------------------	---------------------------------	------------------------------	----------	-----------------	--------------------

[표 3]은 Maginot line이 설정된 필드를 나타낸다. [표 3]의 상단에 표시된 필드는 IEEE 802.15.4 MAC의 필드이다. IEEE 802.15.4 MAC은 코디네이터가 비콘에 의해 GTS를 고정적으로 할당하기 때문에 해당 슈퍼프레임에서 마지막 CAP 슬롯이 슈퍼프레임 시작부터 결정이 된다.

하지만 제안하는 WBAN MAC은 비콘 이후에 CFP 슬롯이 동적으로 할당되기 때문에 고정된 값인 Final CAP 필드를 WBAN 디바이스들에게 전송할 필요가 없어진다. 따라서 본 논문에서는 해당 필드를 Maginot line of CFP Slot 필드로 설정하고 해당 값을 Maginot line이라 정의한다.

3.1.3 Early CCA (clear channel assessment)

제안하는 WBAN MAC 슈퍼프레임 구조에서 CAP 구간은 기존의 IEEE 802.15.4 MAC과 동일하게 slotted CSMA-CA 기법을 사용한다. 하지만, Dynamic CFP allocation 기법에 의해 CFP 구간이 동적으로 할당되면서 CFP 구간과 함께 그 경계에 위치한 CAP 영역의 끝도 동적으로 변화하게 된다. 제안하는 Dynamic CFP allocation 기법에서는 Active period를 구성하는 구간 중에서 비콘 전송과 CFP allocation period를 제외한 데이터 전송 영역 부분은 CAP와 CFP로 이루어져 있기 때문에 Dynamic CFP allocation에 의한 CAP 영역의 감소는 피할 수 없다. 이에 따라 Dynamic CFP allocation의 동적 할당 한계선을 지정하고, 최소한의 CAP 영역을 보장하기 위해 앞서 3.1.2 절과 같이 Maginot line이 제안되었다.

디바이스 측면에서 슈퍼프레임 구간을 고려해 볼 때, IEEE 802.15.4 MAC은 GTS 할당을 비콘에서 완료하므로 각 디바이스는 GTS가 할당된 슬롯의 이전 슬롯까지를 CAP 슬롯 영역으로 판단할 수 있으나, 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 CCA*를 수행하도록 한다. 알고리즘은 다음의 [그림 4]와 같다.

Early CCA in Slotted CSMA-CA

```

1.      ⋮
2.  NB ← 0, CW ← 2
3.  if (Battery life extension?)
4.      BE ← lesser of(2, macMinBE)
5.  else
6.      BE ← macMinBE
7.  Locate backoff period boundary
8.  if (Current Slot ≥ Maginot line of CFP Slot)
9.      Do Early CCA
10.     if (channel idle)
11.         CW ← CW - 1
12.         if (CW = 0)
13.             CW ← 2
14.             Do general slotted CSMA-CA
15.             go to line 30
16.         else
17.             go to line 9
18.     else
19.         CA ← CA + 1
20.         if (CA ≥ maxCA)
21.             Channel access Failure (CFP in Now)
22.             Quit slotted CSMA-CA
23.         else
24.             Do Early CCA again
25.             go to next backoff period boundary
26.             go to line 7.
27.     else
28.         Do general slotted CSMA-CA
29.         go to line 30.
30. Delay for Random( $2^{BE} - 1$ ) unit backoff periods
31.      ⋮

```

[그림 4] Early CCA 알고리즘

[그림 4]는 *Early CCA*의 알고리즘이다. CA(count of Early CCA)는 Early CCA를 수행한 횟수를 의미하며, maxCA는 CA의 최대 회수를 말한다. slotted CSMA-CA가 수행되기 전에 동작하는 *Early CCA*는 다음의 두 조건을 만족하면 수행한다.

첫째, Maginot line 슬롯을 넘어야 한다.

Maginot line은 최소한의 CAP 영역을 보장하기 위한 한계선이다. 따라

서 Maginot line으로 설정된 슬롯보다 시간 흐름상 이전의 CAP 슬롯은 CFP 영역일 수 없는 안전한 CAP 구간이므로 Early CCA를 수행할 필요가 없다. 따라서 Maginot line 슬롯 이전의 채널 경쟁은 기존의 IEEE 802.15.4 MAC과 동일한 방법으로 slotted CSMA-CA를 수행한다. 반면에 Maginot line 슬롯 이후부터는 CFP 슬롯이 동적으로 할당될 가능성이 있으므로 *Early CCA*를 수행하여 채널의 흐름을 먼저 파악한다. 이는 확률적으로 CAP 구간에서는 모든 디바이스가 백오프를 먼저하도록 하는 기법을 이용한 것으로 backoff period boundary 시작부터 경쟁 기법에서 통신을 하는 경우는 이전부터 전송이 진행된 경우와 CFP 구간이라 판단할 수 있는 근거가 되기 때문이다. 일정 횟수 이상의 Early CCA 수행 결과 계속 채널이 사용 중이면, 채널 혼잡 또는 CFP 구간이므로 다음의 CAP 영역에서 채널 경쟁을 수행하도록 유도한다.

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

Early CCA의 사용 목적은 동적으로 할당되는 CFP에 의하여 CAP와 CFP 영역(i.e., CAP의 끝 지점)을 디바이스가 비콘 수신 정보로 판단할 수 없기 때문이다. 따라서 미리 채널의 상태를 판단하고 채널이 혼잡하거나 CFP 영역이 접근했다고 판단하면, 안전한 다음의 CAP 영역에서 채널 경쟁을 수행하도록 유도한다. 본 논문에서는 다음의 3.2 절에 Opportunity period를 제안하여 유도된 WBAN 디바이스가 현재 슈퍼프레임 내에서 낮은 전송 지연으로 채널 경쟁을 할 수 있도록 제공한다.

3.2 Opportunity period

WBAN은 의료 응용과 CE 응용 서비스를 모두 제공한다. 상시 네트워크를 구성하고 인체의 정보를 수집하는 메디컬 센서 디바이스는 최대한 듀티 사이클을 낮추고 전송에 필요한 시간 이외에는 sleep하여 에너지 소모를 줄일 수 있도록 해야 한다.

이러한 메디컬 센서 디바이스와 네트워크 코디네이터의 저전력을 제공하기 위해서 모든 디바이스가 일정 시간 sleep 할 수 있도록 설계된 일반적인 무선 센서 네트워크의 기법 중 하나가 Inactive period를 사용하는 기법이다. 네트워크를 사용하는 디바이스의 개수와 상시적으로 네트워크를 유지하는 시간 등을 고려했을 때, 의료 응용 서비스가 전체적으로 주된 통신을 수행하므로 Inactive period는 저전력을 위해 필요하다.

그러나, 메디컬 디바이스의 긴급(emergency) 데이터, QoS 지원을 요구하는 데이터의 전송과 일시적으로 네트워크에서 통신을 수행하는 CE 디바이스의 파일 전송, 동영상 · 오디오 스트리밍 전송과 같은 연속적이면서 대량으로 발생하는 데이터에는 Inactive period 기법이 전송 지원을 유발시킨다.

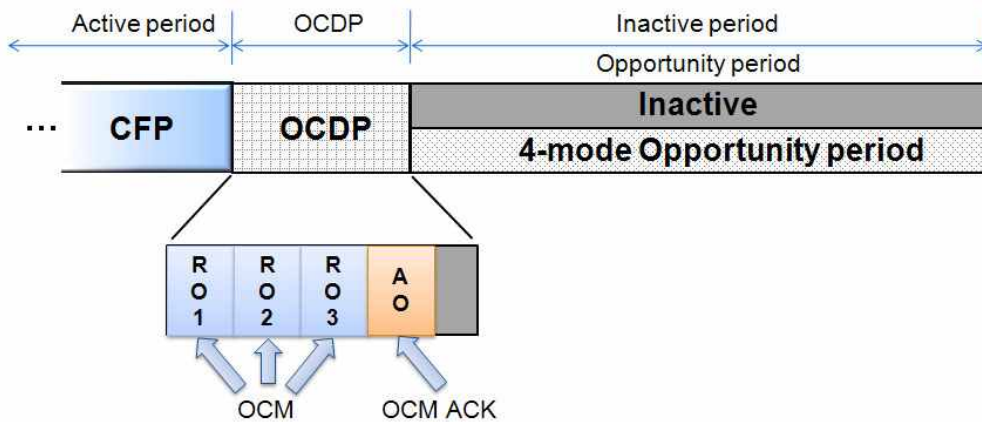
본 논문에서는 상시적으로 네트워크를 구성하고 있는 메디컬 센서 디바이스를 위해 일반적으로 Inactive period를 유지하지만, 앞서 기술된 상황의 경우 demand-driven 기법에 의해 일시적으로 채널을 활성화시켜 경쟁을 통해 채널을 획득할 수 있도록 전환하여 데이터를 전송할 수 있는 방안을 제안하며, 이를 Opportunity period라 정의한다. 본 논문에서는 Opportunity period를 demand-driven 기법으로 요청하는 WBAN 디바이스의 특성에 따라 미리 디자인된 4가지의 Opportunity period 중에서 선택하는 방안을 함께 제공한다.

3.2.1 OCDP (opportunistic contention decision period)

Opportunity period는 3.2 절에서 언급된 바와 같이 Inactive period를 일시적으로 활성화시켜 경쟁 기법을 이용하여 채널을 획득 및 사용할 수 있도록 제공하는 방안이다.

Inactive period를 일시적으로 전환하여 사용하기 위해서 본 논문에서는 [그림 5]와 같이 OCDP(opportunistic contention decision period)를 Active period와 Inactive period 사이에 제공한다.

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



[그림 5] 제안하는 OCDP 구간

또한, [그림 5]와 같이 Opportunity period를 요구하는 디바이스의 특성에 따라 opportunity period를 제공하기 위해서 3개의 서브 구간으로 구성

된 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 언급된 본 논문에서 제공하는 OCM frame을 전송하여 코디네이터에게 요청할 수 있다. RO1부터 RO3로 이루어진 RO 서브구간은 WBAN 디바이스의 특성에 따라 OCM을 전송할 수 있는 구간이 정해져 있다. [표 4]는 RO 구간과 WBAN 디바이스 간의 테이블을 나타낸다.

[표 4] Group에 따른 구간

Number of RO	WBAN devices
RO 1	Medical devices, sensor, etc
RO 2	CE with slotted CSMA-CA
RO 3	CE with CSMA-CA (DCF)

[표 4]와 같이 RO 1은 의료용 디바이스를 위하여 제공되는 서브구간이다. 의료용 디바이스, 메디컬 센서 디바이스는 RO 1 서브구간을 통해서 OCM frame을 전송하여 Opportunity period를 요청함을 코디네이터에게 알릴 수 있다. RO 2는 연속적인 데이터 또는 대량의 데이터를 발생하는 CE 디바이스를 위한 서브구간이다. RO 1과 동일하게 OCM frame을 통해 Opportunity period를 요청할 수 있다. RO 3는 애드 혹(ad-hoc) 모드를 요구하는 디바이스 통신을 위해 제공되는 서브구간이다. slotted CSMA-CA 기법은 코디네이터로의 업링크(uplink)와 저전력을 제공하는 경쟁기반의 채널 획득 기법이다. 따라서 상시적으로 WBAN을 구성하는 의료 디바이스가 CFP 뿐만 아니라 CAP를 사용하기도 하므로 slotted CSMA-CA 기법은 일반적으로 WBAN 환경에 적절하다. 하지만 코디네

이더를 향한 전송이 아닌 디바이스간의 전송이 요청될 수도 있다. 이러한 경우는 모든 디바이스에 해당하는 경우가 아니며, 대체로 CE 디바이스에서 요구되므로 DCF의 모듈을 선택적(optional)으로 사용할 수 있는 방안을 제공한다. CE 분야에서는 mp3 플레이어와 헤드셋 간의 통신과 같은 경우가 발생할 수 있으며, 의료 분야에서는 의료 디바이스가 코디네이터로 취합된 데이터를 전송하다가 직접 관련된 다른 디바이스 장치에 명령을 내려야 할 때 이러한 애드 혹 모드를 제공하는 모듈이 필요하다. 이는 선택적으로 사용할 수 있도록 제공되어 코디네이터를 제외하고는 모든 디바이스가 다 모듈을 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 애드 혹 모드로 wakeup 상태를 유지해야 한다.

[그림 5]의 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 OCDP와 그 서브구간인 RO와 AO 서브구간은 일반적으로 Inactive period를 유지하는 슈퍼프레임 구간에서 필요에 의해 일시적으로 사용하므로 대체로 전체 네트워크 유지 시간 중에 코디네이터만 단일하게 RO 구간만 수신대기 후, 단 1개의 OCM frame도 수신되지 않는 경우 일찍 sleep 모드로 전환되어 결국 전체 노드가 Inactive period에 진입하는 형태로 OCDP가 동작한다.

또한, 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 [표 5]와 같이 코디네이터가 이미 디자인된 4개의 Opportunity period 중에 1개를 RO 서브구간을 통해 수신된 OCM frame에 따라 조합하여 선택할 수 있기 때문이다. [표 5]는 이러한 조합을 나타낸다.

[표 5]에서 RO_1, RO_2, RO_3 는 각 각 RO 1부터 RO 3의 서브구간이 OCM frame을 수신했는지 판단할 수 있는 플래그이며, 1은 OCM frame을 수신한 경우이다. 코디네이터는 [표 5]에 따라 Opportunity period를 선택하고 OCM ACK frame을 브로드캐스트 한다.

[표 5] 4-mode Opportunity period 테이블

Received OCM (RO_1, RO_2, RO_3)	select mode of 4-mode Opportunity period
0, 0, 0	Inactive period
0, 0, 1	Mode C
0, 1, 0	Mode B
0, 1, 1	Mode D
1, 0, 0	Mode A
1, 0, 1	Mode D
1, 1, 0	Mode B
1, 1, 1	Mode D

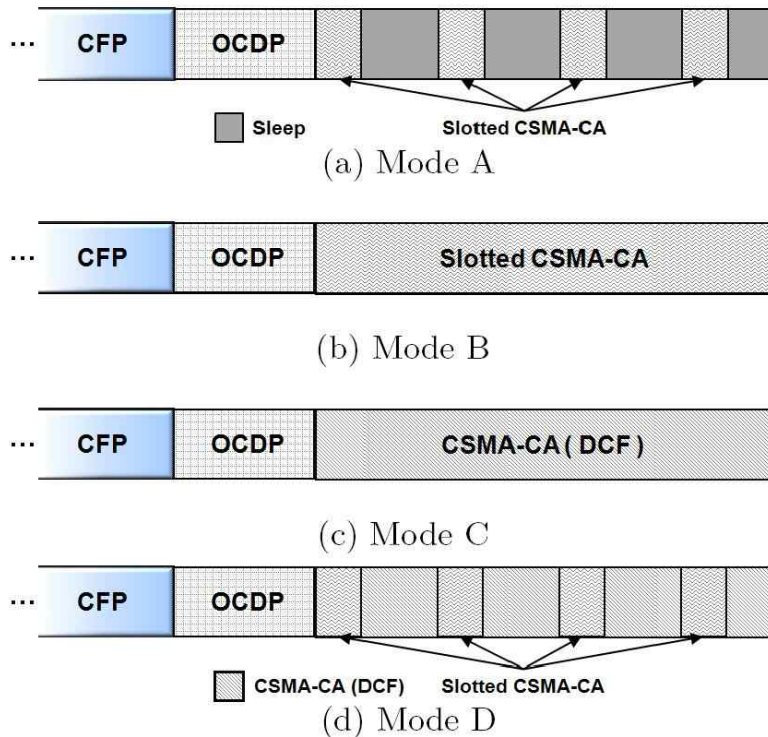
3.2.2 4-mode Opportunity period

Opportunity period는 긴급 전송 데이터와 폭발적으로 발생하는 CE 디바이스의 이따금씩 폭발적으로 발생하는 대용량 데이터 등의 유연한 전송을 제공하기 위해서 Inactive period를 요청에 따라 일시적으로 활성화시켜 사용하는 구간으로 본 논문에서 제공된다. 제안하는 WBAN MAC 프로토콜도 WBAN의 요구사항에 따라 저전력을 고려하므로 IEEE 802.15.4 MAC의 Inactive 구간과 동일한 방법으로 Inactive 구간을 사용하고 일반적인 상황에서는 Inactive 구간이 유지되도록 설계되어 있다.

요청에 따라 Inactive period를 Opportunity period으로 전환하면, 전체 슈퍼프레임 기간 동안 wakeup 모드를 유지해야 하는 코디네이터의 전력 소비가 매우 높아진다. 따라서 Opportunity period를 요구하는 WBAN 디바이스의 특성에 따라 Opportunity period자체가 짧은 간격으로 Active와 Inactive 반복되도록 설계하거나 다음 슈퍼프레임의 시작까지 계속 wakeup 모드를 유지하도록 코디네이터가 요청의 조합에 따라 선택할 수 있다.

또한 저속-저전력 채널 경쟁을 위해 설계된 slotted CSMA-CA는 고속의 애드 혹 모드를 지원하는 DCF(Distributed Coordination Function)에서 사용하는 RTS(request to send)-CTS(clear to send)-DATA-ACK의 CSMA-CA 방식과 비교하였을 때 일반적으로 저전력 요구사항을 만족할 수 있는 WBAN MAC에 적합한 경쟁 기법이라 할 수 있다. 하지만 slotted CSMA-CA는 일반적으로 코디네이터로의 업링크로 통신한다. 디바이스의 전송 목적과 특성상 애드 혹 모드의 전송을 요구할 경우 DCF와 같은 애드 혹 모드의 전송을 지원할 수 있는 모듈이 필요하다.

본 논문에서는 애드 혹 모드를 가능하게 하는 DCF 모듈을 디바이스의 설계 목적과 특성에 따라 선택적으로 모듈을 탑재할 수 있게 하였을 때, 제공하는 OCDP와 4-mode Opportunity period를 이용하여 Opportunity period를 제공할 수 있다.



[그림 6] 4-mode Opportunity period

[그림 6]은 제안하는 OCDP의 RO 서브구간에서 OCM frame으로 Opportunity period를 요청했을 때, [표 4-5]를 사용하여 선택할 수 있는 Mode A부터 Mode D까지를 나타낸다.

[표 4-5]와 [그림 5-6]에 따라 Mode A는 RO 1을 통해 메디컬 디바이스가 OCM frame을 생성하고, 코디네이터에게 Opportunity period를 요청

한 경우이다. 저속의 작은 크기로 발생하는 의료 데이터를 위한 Opportunity period가 Mode A에 해당한다. 일반적으로 의료 디바이스는 저전력을 위해 Active period에서 CFP 슬롯을 할당받거나 전송할 데이터가 많은 경우나 전송지연을 만족해야 할 필요한 경우 유연하게 CAP를 통해서 전송을 수행한다. 대체로 Active period에서 전송을 완료하고 완료하지 못한 센싱 데이터는 일정 시간이 지나거나 최대 백오프 회수를 넘기면 버려진다. 따라서 Mode A를 일반적으로 요구하는 경우는 CFP를 통해서도 QoS를 보장받지 못한 데이터를 가진 경우, 다음 슈퍼프레임에서 데이터를 전송할 경우 전송 지연시간을 만족하지 못할 경우, 긴급 의료 상황에 의한 데이터가 발생한 경우 등에만 Opportunity period가 요구된다. 따라서 Inactive의 전체시간을 모두 활성화시키지 않고, wake up 모드와 sleep 모드를 반복하여 채널을 획득할 수 있도록 제공하고, 코디네이터가 불필요하게 전체 슈퍼프레임 동안 계속 깨어있지 않도록 지원한다.

Mode B는 연속적인 대용량의 데이터가 발생했을 때, Inactive period로 인한 전송 지연이 증가하지 않도록 빠르게 데이터 전송을 할 수 있도록 제공한다. 이러한 특성은 대체로 CE 디바이스에 의해 발생하므로 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 탑재

되며, 네트워크에 편입될 때 코디네이터에게 해당 모듈을 소유하고 있음을 전송한다. RO 3는 이러한 디바이스가 2개 이상인 경우 생성되며 그에 따라 Mode C와 Mode D도 이용가능 할 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 경쟁방식이 서로 교차되어 사용될 수 있도록 제공된다.

제안하는 Opportunity period는 OCDP구간과 OCM frame, OCM ACK frame으로 인한 오버헤드가 발생한다. 하지만 일반적으로 의료 응용이 네트워크를 상시 유지하는 경우 전송지연, QoS 만족을 요구하는 의료 응용, fall detection과 같은 event-driven 기법을 사용하는 의료 응용 이외에는 대체로 opportunity period를 요청하지 않으므로 일반적으로 코디네이터만 OCDP의 RO 시스템에서만 wake up 하기 때문에 필요한 경우를 제외하고는 의료 디바이스의 오버헤드는 발생하지 않는다.

4. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경

제안하는 WBAN MAC 프로토콜의 성능평가를 위해 본 논문은 제안하는 MAC 프로토콜과 성능 비교대상으로 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.

본 논문에서는 가장 먼저 시뮬레이션 모델을 설명하고, 이후에 시뮬레이션 시나리오를 설명 한다.

시뮬레이션 환경의 PHY 모델은 ISM 주파수 대역으로 가정한다. O-QPSK 변조, 2,000kcps chip rate, 그리고 250kbps data rate 사용하며, IEEE 802.15.4 표준과 동일한 기준을 따른다[5].

또한, 동일하게 하이브리드 슈퍼프레임 구조를 사용하기 때문에 동일한 비교를 위해 슈퍼프레임의 전체 길이인 BI (beacon interval)을 결정하는 BO(beacon order) 값과 Active period의 길이를 결정하는 SO (superframe order)를 동일하게 정해야 한다. 본 논문에서는 의료용 디바이스에서 Inactive period를 유지하고도 일반적인 의료 데이터가 큰 전송 지연 없이 데이터를 전송할 수 있도록 할 수 있는 최대값으로 $BO = 4$ (245.76ms 슈퍼프레임 길이), $SO = 3$ (122.88ms Active period 길이)으로 값을 정하였다. 만약, $BO = 5$, $SO = 4$ 로 증가할 경우 Inactive 구간은 2배로 증가하기 때문에 245.76ms의 Inactive period를 가진다. 이는 2절에 언급된 요구사항의 전송 지연에서 메디컬 분야를 충족시킬 수 없으며, CE 디바이스의 전송 지연도 최대 지연시간의 한계점에 도달한다. 따라서

BO = 4, SO = 3으로 시뮬레이션의 슈퍼프레임 구간을 설정하였다.

시뮬레이션의 트래픽 모델은 다음과 같다.

5개부터 50개의 주기성을 가진 메디컬 디바이스가 다음과 같은 주기를 100ms (20%), 400ms (20%), 800ms (20%), 1s (20%), 10s (20%)를 각 각 가지고 데이터를 발생시키며, 매 주기마다 40 Bytes를 발생시킨다.

코디네이터가 Fixed CFP REQ 서브구간과 Random CFP REQ 서브구간을 가지는 CFP allocation period의 조절을 위하여 WBAN 디바이스의 주기 T_p 에 따라 Group 2와 Group 3 디바이스로 분류하는 역할을 수행하는 α 의 초기값은 10으로 설정되었다. 이 초기값은 BO = 4 일 때의 슈퍼프레임 주기인 245.75ms의 10배를 초기값으로 선택한 것이며, 네트워크를 구성하는 디바이스의 개수가 늘어날수록 Group 2의 GSM (guaranteed mini-slot) 일정이상 늘어날 때마다 α 값은 감소하면서 그룹의 재조정을 수행한다.

CE 디바이스는 5000 Bytes의 데이터를 일시적으로 발생시키며, 이 데이터는 MAC layer 최대 크기인 127 Bytes로 분할되며, 마지막 분할 데이터는 남은 Bytes가 된다. 분할된 데이터간 전송 (inter-packet interval)은 10ms (625 symbol; 1 symbol = 16 μ s 일 때)마다 패킷 제너레이터에 의해 발생하도록 설계되었다. 분할되는 최대 크기는 IEEE 802.15.4 MAC을 따른다.

위의 모든 시뮬레이션은 C++를 이용해 구현되었다.

[표 6] 성능 평가를 위한 파라미터

Parameters	Value
BO (beacon order)	4 (245.76ms)
SO (superframe order)	3 (122.88ms)
초기 α	10
메디컬 디바이스	100ms(20%), 400ms(20%), 800ms(20%), 1s(20%), 10s(20%)
메디컬 데이터 크기	40 Bytes
CE 데이터 크기	5000 Bytes
CE 분할 패킷 사이즈	127 Bytes
메디컬 전송 지연 요구	$\leq 125\text{ms}$
CE 전송 지연 요구	$\leq 250\text{ms}$

[표 6]는 이를 시뮬레이션 모델을 정리한 것이다.

위의 시뮬레이션 모델을 기반으로 시뮬레이션 시나리오는 다음과 같이 진행된다.

존재하는 메디컬 디바이스(100ms (20%), 400ms (20%), 800ms (20%), 1s (20%), 10s (20%))를 동일 비율로 5개부터 5개씩 50개까지 증가시켜가며, 제안하는 MAC 프로토콜과 IEEE 802.15.4 MAC의 시뮬레이션 수행 및 성능을 측정한다. 이후, 동일한 방법으로 시뮬레이션을 수행하면서 CE 디바이스가 시뮬레이션 환경의 설정과 동일하게 데이터를 발생시켜 전송을 시도한다.

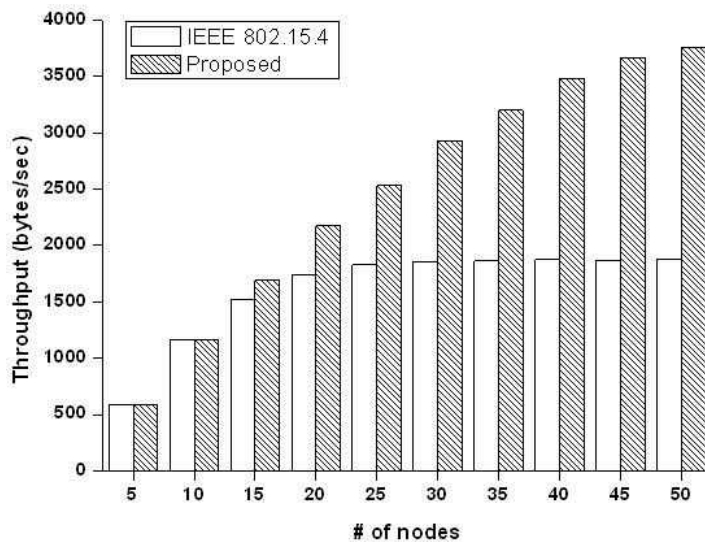
4.2 결과 및 분석

4.1 절 시뮬레이션 환경에서 언급된 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 시나리오에 따라 성능을 분석한 결과 전송 처리율(Throughput), CFP 이용률 (CFP utilization), 전송 지연(Latency)에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

4.2.1 전송 처리율 (Throughput)

먼저 메디컬 디바이스를 5개부터 50개까지 100ms (20%), 400ms (20%), 800ms (20%), 1s (20%), 10s (20%)의 비율로 증가시키면서 제안하는 WBAN MAC 과 IEEE 802.15.4 MAC의 시뮬레이션을 수행하였다.

[그림 7]은 시뮬레이션 수행 결과 얻어진 제안하는 WBAN MAC과 IEEE 802.15.4 MAC의 전송 처리율(Throughput)을 나타낸다.



[그림 7] 메디컬 디바이스 증가에 따른 전송 처리율 비교

[그림 7]은 노드가 5개부터 동일한 주기 비율로 50개까지 증가함에 따라서 시뮬레이션을 수행하는 채널의 수용력을 나타낸다. IEEE 802.15.4 MAC은 20개의 노드가 네트워크를 구성할 때부터 데이터 전송 처리율이 둔화되기 시작하며, 노드가 25개가 되면 더 이상 증가하지 않는다. 제안하는 WBAN MAC은 45개의 노드가 네트워크를 구성할 때부터 전송 처리율 성능이 둔화되기 시작한다.

이러한 결과는 제안하는 WBAN MAC 프로토콜이 Dynamic CFP allocation 기법에 의하여 WBAN 디바이스의 요청에 따라 효율적으로 CFP 슬롯의 할당이 이루어졌기 때문이다. 또한, 동적 할당에 의해 주파수 대역을 효율적으로 사용하면, CFP에 의해 영역이 축소되는 CAP 구간도 해당 CAP 영역이 비효율적으로 축소되지 않게 하기 때문에 CAP가 상대적으로 영역을 확보할 수 있는 혜택을 얻을 수 있어 경쟁을 통한 전송 구간도 전송 효율이 증가할 수 있게 된다.

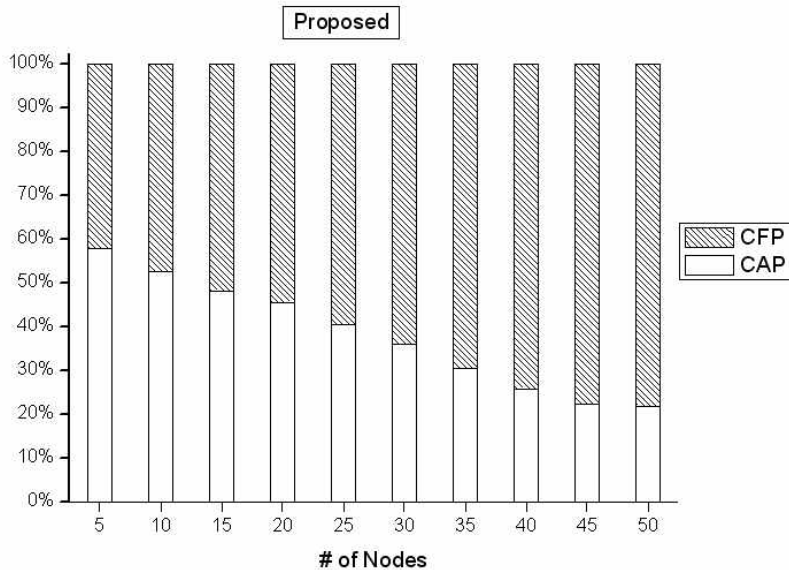
IEEE 802.15.4 MAC은 7개의 GTS 이외에는 모두 CAP 구간을 사용하게 되므로 디바이스가 늘어날수록 CAP 구간에서의 전송 경쟁률은 증가하게 되며, 전송주기가 긴 디바이스가 GTS를 할당 받을 경우 해당 유휴 GTS만큼의 주파수 대역 낭비가 누적되므로 [그림 7]과 같은 결과가 나타나게 된다.

또한, 제안하는 WBAN MAC이 지원하는 Opportunity period 중에서 메디컬 디바이스 중 낮은 전송 지연을 요구하는 디바이스는 코디네이터에게 OCM을 전송하여 Mode A를 사용할 수 있으므로 좀 더 전송 실패를 줄이고 낮은 전송 지연의 요구사항을 만족하여 데이터를 전송할 수 있다.

이러한 결과 분석은 다음 4.2.2 절의 CFP 이용률을 통해서도 분석할 수 있다.

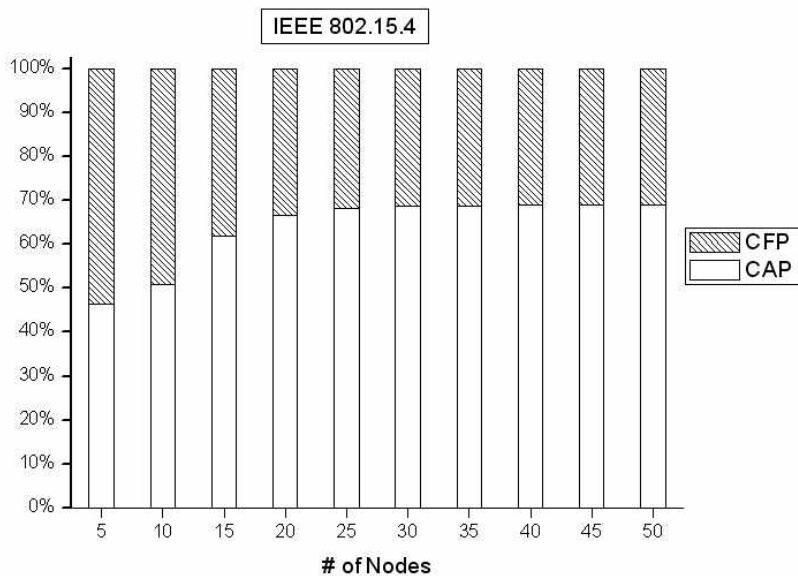
4.2.2 CFP 이용률 (CFP utilization)

Dynamic CFP allocation은 CFP 슬롯을 고정할당에 의한 방식이 아니라 요청에 의한 동적 할당 방식을 제공한다. 따라서 다수의 디바이스가 요청에 의해 CFP 슬롯을 획득할 수 있으며, 슈퍼프레임의 Active period를 CFP 슬롯을 사용하지 않음에도 불구하고 할당되는 낭비 없이 효율적으로 CFP 슬롯을 할당하여 사용할 수 있다. 그 결과 4.2.1 절의 [그림 7]의 전송 처리율 결과와 같이 효율적인 주파수 대역의 사용에 의한 전송 처리율의 증가를 확인할 수 있었다. 이것은 Dynamic CFP allocation과 Opportunity period의 결과에 의한 시뮬레이션 결과이며, 아래의 [그림 8]에서 확인할 수 있듯이 제안하는 WBAN MAC에서는 전체 전송이 완료된 데이터 중에 CFP 슬롯을 이용한 데이터 전송 비율이 CAP를 사용한 데이터 전송 비율보다 높음을 알 수 있다.



[그림 8] 제안하는 WBAN MAC의 CFP 이용률

[그림 8]은 제안하는 WBAN MAC 프로토콜의 시뮬레이션 수행 결과 전송이 완료된 데이터 중에 CFP 슬롯 이용을 통한 데이터 전송과 CAP 이용을 통한 데이터 전송을 나타내는 CFP 이용률을 나타내며, [그림 9]는 동일한 CFP 이용률의 IEEE 802.15.4 MAC 측정 결과를 나타낸다.



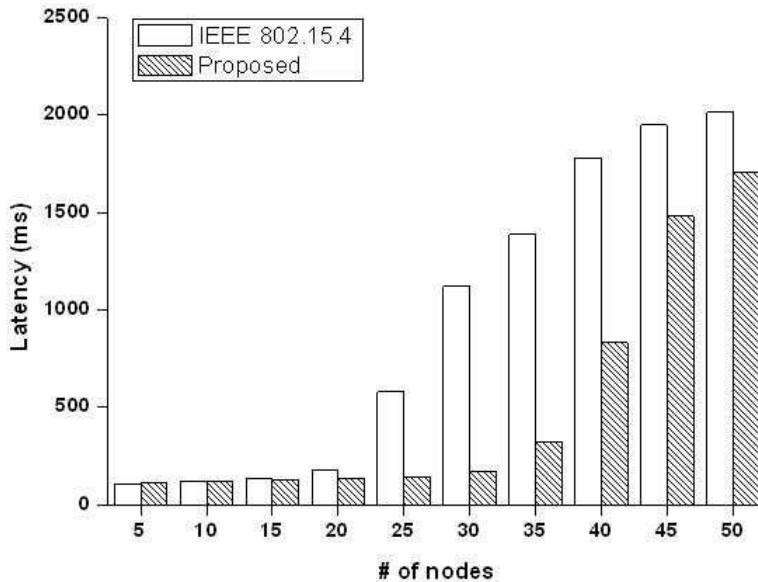
[그림 9] IEEE 802.15.4 MAC의 CFP 이용률

[그림 8]과 [그림 9]의 비교를 통해 [그림 7] 전송 처리율의 결과를 도출하는 두 요소인 Dynamic CFP allocation과 Opportunity period 중에 한 요소인 Dynamic CFP allocation을 통해 CFP 슬롯의 효율적인 할당 및 효율적인 주파수 대역의 이용되었음을 [그림 7-9]를 통해 확인할 수 있다.

두 번째 요소인 Opportunity period는 다음 4.2.3 절의 전송 지연을 통해 성능 분석을 설명할 수 있다.

4.2.3 전송 지연 (Latency)

[그림 10]은 메디컬 디바이스만으로 구성된 WBAN 환경에서 메디컬 디바이스가 증가함에 따른 전송 지연을 나타낸다.



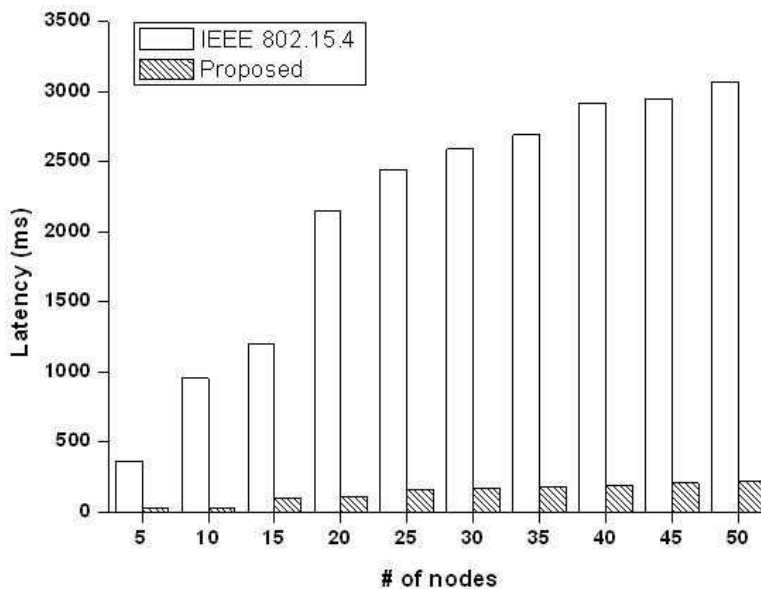
[그림 10] 전송지연 비교 (메디컬 디바이스)

메디컬 디바이스만으로 이루어진 WBAN 환경에서의 전송 지연 분석에서도 제안하는 WBAN MAC 프로토콜이 비교하는 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜보다 더 좋은 성능을 보였다. 4.2.1 절의 전송 처리율을 나타내는 [그림 7]과 그 분석과 같이 IEEE 802.15.4 MAC은 채널 수용력의 한계를 넘어서는 25개의 노드로 구성된 WBAN 환경에서부터 전송 지연이 증가하기 시작한다. 노드가 증가하고 채널이 혼잡한 상황에서 GTS를 할당받은 7개의 디바이스 이외에는 CAP를 이용한 경쟁 기법을 이용한 전송을 수행해야 하기 때문에 전송 지연이 증가한다. 주기적으로 모든 노드가

sleep 모드로 전환되는 Inactive period도 전송을 증가시키는 요인이 된다.

반면에 제안하는 WBAN MAC 프로토콜은 노드가 35개 이상일 때부터 전송 지연이 증가됨을 볼 수 있다. IEEE 802.15.4 MAC과 비교하였을 때 더 나은 성능을 보이는 것을 볼 수 있다. 이는 효율적으로 Dynamic CFP allocation이 수행됨에 따라 CAP 구간을 상대적으로 최대로 활용할 수 있어서이며, Opportunity period를 통해 낮은 전송 지연을 요구하는 디바이스는 일시적으로 Inactive period를 깨워서 전송을 수행했기 때문이다. [그림 7]의 채널의 수용력보다 일찍 전송 지연이 증가하는 것은 모든 디바이스가 Opportunity period의 Mode A를 요구하지 않기 때문이며, CFP 할당이 늘어남에 따라 CAP 구간이 많이 축소되었기 때문이다.

[그림 11]은 [그림 7-10]과 같은 메디컬 디바이스로 네트워크가 구성된 WBAN 환경에서 추가로 CE 디바이스가 데이터 전송을 수행할 때의 CE 디바이스의 전송지연 시뮬레이션 결과이다.



[그림 11] 전송지연 비교 (CE 디바이스)

4.1 절에 기술된 시뮬레이션 환경과 시뮬레이션 시나리오에 따라 메디컬 디바이스가 네트워크를 이루고 주기적인 통신을 수행하는 환경에서 CE 디바이스가 데이터 전송을 시도했을 때 [그림 11]과 같이 CE의 전송 지연을 나타내는 성능 측정 결과가 나타났다.

제안하는 WBAN MAC에서 CE 디바이스가 Opportunity period를 요구하는 OCM frame 전송을 RO 2를 통해 전송함으로써 Mode B 형태로 Opportunity period가 활성화되었기 때문에 빠르게 패킷을 해소함으로써 전송지연을 낮춘다. IEEE 802.15.4 MAC의 전송 지연이 증가하는 이유는 Active period의 CAP 구간에서 메디컬 디바이스와 함께 채널 경쟁을 통해 데이터를 전송해야 하므로 전송 지연의 증가를 유발시킨다.

따라서 제안하는 WBAN MAC 프로토콜이 메디컬 디바이스와 CE 디바이스가 혼재한 환경에서 더욱 유연한 데이터 전송을 지원함을 알 수 있다.

5. 결론

WBAN은 인체 주변 영역에서의 통신 서비스를 제공한다. 본 논문에서는 WBAN의 요구사항을 분석하고, 분석을 기반으로 WBAN의 요구사항을 만족하고 의료용 응용 서비스와 CE 응용 서비스가 혼재하는 WBAN 네트워크에서 다양한 디바이스간의 유연성을 제공하는 하이브리드 슈퍼프레임 구조의 WBAN MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 WBAN MAC은 Dynamic CFP allocation을 제안하고, CFP allocation period를 통해 주기에 따른 디바이스의 그룹화와 demand-driven 기법을 이용하여 CFP 슬롯을 요구하는 다수의 디바이스에게 CFP 슬롯을 동적으로 할당하여 채널 경쟁 방식에 의한 채널 획득 시도를 줄이고 주파수 대역의 사용 효율을 높인다. 또한, Opportunity period를 제안하고 이를 수행하기 위한 OCDP와 4-mode Opportunity period를 제공하여 낮은 전송 지연을 요구하는 디바이스를 위해 일시적으로 Inactive period를 활성화하여 급격하게 늘어나는 전송 지연을 방지한다.

제안하는 WBAN MAC 프로토콜은 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.

참고문헌

- [1] 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.
- [2] IEEE 802.15 WPAN Task Group 6 BAN:
<http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html>.
- [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] S. Ullah, P. Khan, and K. S. Kwak, “On the development of low-power MAC protocol for WBANs,” Proc. IMECS 2009, vol.1, Mar. 2009.

[16] R. C. Shah, M. Yarvis, “Characteristics of on-body 802.15.4 networks,” Proc. 2nd IEEE Workshop on Wireless Mesh Networks 2006, pp. 138-139, Sep. 2006.

[17] 802.15.6 Call for Applications – Response Summary, IEEE 802.15-08-0407-05-0006.

[18] TG6 Technical Requirements Document (TRD), IEEE 802.15-08-0664-09-0006.

Abstract

A Dynamic CFP Allocation and Opportunity Contention-based WBAN MAC Protocol

Young-Sun, Seo

Dept. of Computer Engineering

Graduate School of Kyung Hee University

WBANs provide communication services in the vicinity of the human body. Since WBANs utilize both MICS frequency band for implant medical applications and ISM frequency band for medical and consumer electronics (CE) applications. 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. The dynamic CFP allocation

dynamically allocates CFP slots in demand-driven manner, so that it can provide flexibility ranges of the latency. To support bursty CE data and emergency medical data, the proposed WBAN MAC protocol also provides a temporary switching method between the Inactive and the Opportunity period through OCDP (opportunistic contention decision period), and 4-mode Opportunity period. Through the extensive simulations, we show the proposed protocol achieves improved throughput, CFP utilization, and latency in WBAN environment compared with IEEE 802.15.4.

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

감사의 글

MESL 연구실에서의 석사과정을 마치고 졸업을 하게 되었습니다. 지금까지 아들을 믿고 학업을 계속할 수 있도록 인내와 사랑으로 키워주신 아버지, 어머니, 그리고 형보다 먼저 행복한 가정을 꾸리고 있는 나의 믿음직한 동생 호선. 우리 가족에게 미안함과 감사를 드립니다.

부족한 저를 지금까지 지도해주신 조진성 교수님께 진심으로 감사를 드립니다. 학업적인 부분에서는 학문의 스승으로, 학업 외적인 부분에서는 아버지와 같이 함께 해 주셨습니다. 다시 한 번 감사를 드립니다. 더불어 저의 부족한 논문을 정성껏 심사해주신 홍충선 교수님, 이성원 교수님께도 감사를 드립니다.

모두와 매일같이 함께한 연구실 생활은 저에게 많은 추억을 주었습니다. 그 어떤 학업 시절보다 즐거운 추억을 많이 담아가합니다. 특히 2년간 가장 가까운 곳에서 가장 많은 것을 함께한 나의 진정한 사수. 대영이형. 정말 감사해요. 아침 컵라면과 저녁 퇴근길을 함께 했던 자상한 충용형과의 인생 이야기도 그리울 것 같습니다. 타국의 외국인들과의 생활에서 리더쉽을 발휘하는 경원형. 언제나 주변을 돌아보고 남을 챙겨주는 석사 동기의 만형 의연형. 생활 측면 인생 측면에서 많은 것을 알게 해준 그리고 옷부터 음식까지 많은 도움을 준 연구실의 살림꾼 학수형. 우리 동기 형들이 있어서 제가 열심히 공부하고 나갈 수 있었습니다. 언제나 저의 사랑을 갈구하는 범석이, 웃음 장난기 가득한 재치덩어리 상배, 정말 학자가 어울리는 언제나 열심히 하는 자룡이에게도 더 많이 함께하지 못한 아쉬움과 함께 MESL 연구실의 미래를 부탁드립니다. 2주 남짓 함께 한 재우에게는 즐거운 연구실 생활이 되기를 고대합니다. 석사 초기 많은 도움과 즐거움을 준 귀로형과 준성이와의 시간도 즐거운 추억으로 가져갑니다.

마지막으로 연구실을 졸업한 건백이형, 두경이형, 준하형, 경환이형, 권택이형, 형관이형, 천환이형, 요한이형, 헌준이형, 용규, 정현이를 비롯한 여러 선배님들에게도 감사를 드립니다. 선배님들의 수고와 땀으로 일궈진 MESL 연구실에서 즐거운 추억을 담아가합니다.

감사의 마음과 함께 이 논문을 바칩니다.

2009년 겨울 서영선 드림