동적 CFP 할당과 기회 경쟁 기반 WBAN MAC 프로토콜

서 영 선○
경희대학교 컴퓨터공학과
lamooss@khu.ac.kr

조 진 성
경희대학교 컴퓨터공학과
chojs@khu.ac.kr

Dynamic CFP allocation and opportunity contention-based WBAN MAC protocol

Young-Sun Seo○ Jinsung Cho
Department of Computer Engineering
Kyung Hee University

요 약

WBAN은 인체를 중심으로 반경 5m 이내의 인체 영역과 같은 작은 범위의 네트워크 통신을 위한 국제 표준 제공을 목적으로 한다. WBAN은 인체 내부, 피부 표면, 인체 주변에서 작동하고, 의료용 서비스를 주로 제공함과 동시에 비의료용 서비스가 가능한 네트워크이다. 의료용 주파수 대역 (MICS)과 비의료용 주파수 대역 (ISM)을 위한 PHY 계층이 서로 다르며, 상이한 목적을 가진 의료용 디바이스와 비의료용 디바이스가 함께 인체 영역에서 네트워크를 구성하므로 다양한 어플리케이션 간의 통신이 원활하게 이루어지도록 설계되어야 한다. 따라서 peer-to-peer 노드 간의 전송을 담당하는 MAC 계층의 역할이 매우 중요하다. 그동안 WBAN을 위한 PHY 계층에 관한 연구는 많이 진행되어 왔으나 MAC 계층에 대한 연구는 매우 적다.

본 논문에서는 WBAN 멀티 PHY 환경을 위한 single MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 경쟁과 비경쟁 구간이 혼합된 하이브리드 구조로 이루어져 있으며, 주기적인 의료용 데이터 트래픽에 적합한 비경쟁 동적 할당 구간과 때때로 네트워크를 형성하는 노드들을 위한 가변적인 경쟁 구간을 제공함으로써 전송효율을 높이고 초저전력을 제공한다.

1. 서 론

배터리를 통하여 전력을 공급받는 다수의 센서 노드들을 이용하여 인프라 없이(no-infrastructure) 센서노드 간에 무선 통신을 수행하는 무선 센서 네트워크는 그 응용 목적에 따라 여러 분야로 광범위하게 연구가 이루어져 왔다. 특히, 최근에는 고령화 사회로의 진입 가속화와 복지 및 건강관리(healthcare)에 대한 관심과 함께 무선 센서 디바이스를 이용하여 인체의 건강 상태를 모니터링하는 방법에 대한 연구가 무선 센서 네트워크의 한 분야로 이슈가 되고 있다[1-4].

메디컬 센서 디바이스는 저가화, 소형화, 고품질 장비로의 발전을 거듭하고 있다. 더불어 메디컬 센서 디바이스를 이용한 네트워크 통신인 Body Area Network도 PHY/MAC 계층뿐만 아니라 플랫폼, 시스템 아키텍처 등 다양한 연구 분야에서 지속적으로 연구가 진행 중이다. 이러한 연구는 IEEE 802.15 WPAN working group의 Wireless Next Generation (WNG) group의 관심을 얻었으며, IG-BAN (interest group-BAN), SG-BAN (study group-BAN)을 거쳐 2007년 11월부터 IEEE 802.15.6 TG BAN (task group BAN)을 구성하여 현재 WBAN (wireless body area network)을 위한 표준화 작업을 진행 중에 있다[5-7].

IEEE 802.15.6의 WBAN은 인체 내외부를 모두 포함하는 인체영역 범위에 위치한 디바이스들로 네트워크를 구성한다. 의료(medical)/비의료(non-medical)로 응용을 크게 구분하여 분류할 수 있으며, 의료 응용 분야를 주요 관심분야로 두고 비의료용 응용 분야까지 목표로 하는 네트워크이다. WBAN은 인체를 중심으로 반경 5m 이내의 인체 내부(implant), 피부 표면, 인체 주변에 위치한 무선 디바이스로 네트워크를 구성하는 인체 영역 네트워크 통신을 위한 국제 표준 제공을 목적으로 한다.

인체 내부에 수술을 통한 이식 또는 식도를 통해 삼켜서 인체 내부에 디바이스가 위치하는 경우, WBAN은 일반적인 ISM 주파수 대역이 아닌 인체에 유해하지 않은 의료용 대역(MICS : medical implant communications service)을 사용해야 한다. 따라서, WBAN의 PHY 계층은 인체 내부에 위치한 디바이스의 통신을 위한 의료용 대역과 인체 외부, 피부 표면 등에서 사용되는 비의료용 대역을 모두 사용하는 멀티 PHY로 이루어진다.

의료용/비의료용 주파수 대역이 구분되어 정해짐에 따라 PHY 계층이 다르게 결정되며, 상위 계층에 위치한

"이 논문은 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단 지원(No. R01-2008-000-20029-0)과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터지원사업(IITA-2009-(C1090-0902-0002))의 연구결과로 수행된 연구임."

MAC 계층은 상이한 특징을 가지는 PHY를 단일하게 관리할 수 있는 MAC 프로토콜이 요구된다.

또한, WBAN이 의료용 서비스 제공을 주된 목적으로 네트워크를 구성하지만, 의료용/비의료용 서비스를 모두 제공하므로 WBAN에는 다양한 특성의 어플리케이션이 인프라 없이 무선 네트워크를 형성하게 된다. 따라서, 의료용/비의료용 서비스 간의 무선 채널을 이용한 공정한 패킷 전송과 함께 특히 의료용 디바이스의 QoS를 보장할 수 있는 MAC 프로토콜이어야 한다.

기존의 BSN, BAN 연구에서 사용된 TDMA 기술 또는 기존의 저전력을 위한 무선 센서 네트워크 MAC 프로토콜은 WBAN 환경의 광범위한 요구사항을 만족할 수 없다. 따라서, 본 논문에서는 이러한 WBAN의 요구사항을 만족하는 WBAN 환경에 적합한 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문은 2절에서 WBAN 개요를 통해 WBAN을 살펴보고, 기존의 WBAN MAC 프로토콜 관련 연구를 분석한다. 3절에서는 제안하는 MAC 프로토콜을 설명하며, 4절에서 결론을 맺는다.

2. 배 경

2.1. WBAN 개요

IEEE 802.15.6 WBAN은 반경 5m 이내의 인체 내외부를 포함하는 인체 영역에 위치한 의료/비의료 디바이스들로 무선 네트워크를 구성하는 인체 영역 통신을 수행하는 네트워크이다.

2.1.1. WBAN 노드 위치에 따른 분류

WBAN은 노드가 인체 영역의 어느 장소에 위치해 있는지에 따라 노드를 크게 인체 내부(implant), 피부 표면(on-body, wearable), 인체 외부(external)로 분류할 수 있다. 수술을 통해 이식된 노드는 인체 내부에 위치하게 되고, 배터리가 모두 소모되면 다시 수술을 통해 새로운 노드로 교체 또는 배터리 충전을 해야 하므로 전력 소비에 있어서 초저전력 소비를 요구하게 된다. 일반적으로 인체 내부에는 의료 목적의 노드가 이식될 것으로 예상된다. 따라서 인체 내부에 위치한 노드의 네트워크 통신 방법에 있어서 에너지 소비를 최소화 할 수 있는 방안과 더불어 응급 의료 통신에 대처 가능한 QoS를 보장할 수 있는 방안이 연구되어야 한다. 피부 표면과 인체 외부에 위치한 노드는 모든 의료/비의료 노드들이 다양한 목적을 가지고 위치하게 되고, 인체피부와 2cm 이상 5m 이내에 위치한 노드는 인체 외부 노드로 분류된다[8].

[표 1] 노드 위치에 따른 주파수 대역 목록

노드 위치	주파수 대역
인체 내부	402-405MHz (MICS 대역)
피부 표면, 인체 외부 (external)	13.5, 5-50, 400, 600, 900 MHz, 2.4, 3.1-10.6 GHz (ISM, UWB 대역)

2.1.2. WBAN 주파수 대역 분류

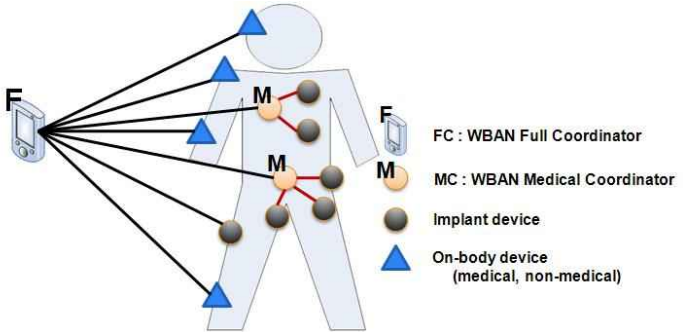
인체 내부는 주파수 대역을 이용한 무선 네트워크 통신을 하기에는 이상적인 매체가 아니다. 혈액, 근육, 지방, 피부 등의 다양하고 복잡한 인체 구조로 이루어진 매질로 이루어져 있으므로 WBAN은 인체를 가장 많이 고려해야 하는 네트워크이다. 특히, 인체에 유해하지 않아야 하므로 최대 송수신 전력 레벨에 제한이 있으며, 통신으로 인해 인체 내부에 열이 발생하지 않는 주파수 대역을 사용하도록 요구된다. 따라서 인체 내부 디바이스와 그 이외의 디바이스 간에 [표 1]과 같이 주파수 대역이 다르게 할당된다[8].

노드 위치에 따라 수행되는 통신 채널 모델은 [표 2]와 같이 분류된다. 제안된 채널 모델에 따라 상이하게 PHY 계층 프로토콜이 결정되므로 WBAN의 PHY 계층은 멀티 PHY로 구성된다.

[표 2] WBAN 통신노드 위치에 따른 시나리오

시나리오	통신 위치	주파수 대역	채널 모델
S1	인체내부↔인체내부	402-405MHz	CM1
S2	인체내부↔피부표면		CM2
S3	인체내부↔인체외부		
S4-S5	피부표면↔피부표면 (LOS , NLOS)	13.5, 5-50, 400, 600, 900 MHz, 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM3
S6-S7	피부표면↔인체외부 (LOS , NLOS)	900 MHz, 2.4, 3.1-10.6 GHz	CM4

2.1.3. WBAN 네트워크 토폴로지



[그림 1] WBAN 네트워크 토폴로지

WBAN은 [그림 1]과 같이 전체 네트워크를 관리하는 WBAN 풀 코디네이터 (FC: full coordinator)가 있으며, 인체내부 디바이스의 초저전력 소비를 위해서 송신 전력을 최소화하고, 다른 비이식(non-implant) 노드와의 경쟁을 최소로 줄이기 위하여 이식된 인체 내부 디바이스 관리를 위한 WBAN 메디컬 코디네이터 (MC: medical coordinator)가 별도로 네트워크에 형성될 것으로 본 논문은 가정한다.

WBAN MC는 의료/비의료 멀티 PHY 모듈을 가진 피부 표면의 노드들 중에서 선택이 되며, 인체내부의 노드가 파워 컨트롤이 가능한 PHY 프로토톨을 사용할 때, 근접한 MC 노드와의 통신을 통해서 최대한 낮은 전력 소비로 데이터 전송을 수행할 수 있게 될 것이며, WBAN FC로 집중되는 경쟁과 트래픽을 WBAN MC를

통해 분산할 수 있는 장점이 있다.

2.1.4. WBAN 어플리케이션 분류

WBAN은 저속의 센서 모니터링 패킷, 제어 패킷뿐만 아니라 중속의 소리, 고속의 비디오까지 상이한 목적의 서비스 형태에 따라 데이터양과 속도가 광범위한 특징을 가진다. 특히, 최소 전송 속도는 ZigBee보다 더 작고, 최고 전송 송도는 WLAN 그 이상이 될 것으로 예상된다.

의료 모니터링 서비스는 인체 데이터를 수집, 진단하는 모니터링의 특성상 주기적인 데이터 발생과 대체로 작은 용량의 패킷이 발생된다. 반면에, 의료 정밀 검사 및 비의료 서비스에서의 파일 전송, 스트리밍 서비스, 엔터테인먼트 서비스 등은 때때로 발생하는 데이터이며, 상황에 따라 고용량, 고속을 요구하는 패킷이 발생할 수 있다. 따라서 [표 3]과 같이 4가지 형태로 응용을 구분할 수 있다[9].

[표 3] 속도, 전송 빈도에 따른 응용 분류

저속, 주기적(Periodic, regularly generated)	저속, 임시적, 때때로 발생
고속, 주기적(Periodic, regularly generated)	고속, 임시적, 때때로 발생

2.1.5. WBAN MAC 프로토콜 요구 사항

위와 같은 WBAN 특징에 따라서 WBAN을 위해 제안되는 MAC 프로토콜은 이식 노드 등 배터리 기반 노드의 배터리 수명을 위한 초저전력 소비가 요구되며, 엔터테인먼트 목적 및 파일 전송, 실시간 스트리밍 전송 등 저속부터 고속까지 매우 다양한 트래픽 특징에 유연해야 한다. 또한, QoS 보장과 다수의 WBAN 메디컬 디바이스의 원격 컨트롤을 위한 브로드캐스트 등도 요구된다.

특히, 노드의 이식 위치에 따라 발생하는 멀티 PHY를 통합적으로 관리하면서도 복잡하지 않은 확장된 단일한 MAC 프로토콜이 요구된다. 따라서 각 MAC의 디자인 설계 형태는 동일하지만, 각 PHY에 따라서 구간의 시간 및 데이터 전송률 등이 각각 다른 가변적인 파라미터를 가지는 단일(single) MAC 프로토콜의 형태가 필요하다.

상시적인 WBAN 네트워크는 이식 및 착용된 무선 센서 디바이스들의 주기적인 패킷 전송이 될 것이다. 때때로 발생하는 가변적이고 광범위한 트래픽 특성을 반영하지만, 상시적으로 주기적 패킷 전송이 발생하는 노드의 초저전력을 지원할 수 있는 TDMA/CFP(contention free period) 특성이 강화된 MAC 프로토콜이 요구된다.

2.2. 관련 연구

Body Area Network를 위한 저전력 센서 MAC 프로토콜은 크게 TDMA 기법을 사용하는 스케쥴 기반, 동기식과 비동기식을 포함하는 경쟁 기반, 스케쥴 기반과 경쟁 기반의 특성을 모두 가지는 하이브리드 기반으로 분류할 수 있다.

TDMA 기법은 계획적으로 노드에게 할당된 시간에만 송수신을 수행하므로, 주기적으로 작은 패킷을 전송하고 저전력 소비를 요구하는 메디컬 센서 디바이스들만으로 구성된 무선 네트워크에 효율적이다. 대부분의 시간은 sleep 모드를 유지하고 정해진 시간에만 깨어나 송수신을 수행하므로 저전력에 매우 적합하다. 하지만 고정된 시간을 할당 받았으나 할당된 시간에 데이터가 발생하지 않는 경우 주파수의 낭비가 발생되며, 때때로 네트워크에 편입되는 파일 전송 및 스트리밍 서비스 등의 고속, 고용량 패킷이 예상되지 않은 시간에 대량으로 발생하는 네트워크 환경에는 계획된 TDMA 방식으로 대응하기가 매우 힘들다.

경쟁 방식 중 동기식인 S-MAC[10], T-MAC[11] 등의 MAC 프로토콜 기법은 모든 노드들이 동기화되어 정해진 시간에 깨어나 경쟁을 하고, 경쟁을 통해 채널을 획득한 송신 노드와 상대 수신 노드만이 송수신을 수행한다. 채널을 획득하지 못한 나머지 노드들은 일정 시간 sleep 모드에 진입한다. 모든 노드가 동시에 깨어나므로 브로드 캐스트와 같은 1개의 노드가 주변의 다수 노드에게 전송하는 형태를 수행하기에 매우 유리하다. 또한, 모든 노드에게 802.11 DCF 기반으로 공정하게 경쟁해서 채널을 획득하게 할 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 주기적으로 패킷 전송을 수행하는 인체 모니터링 디바이스가 네트워크의 기본을 유지하게 될 WBAN 환경에서 수술을 통해서 이식을 하는 임플란트 노드 등의 초저전력 소비를 위해서는 모든 노드들이 전송을 위해 매번 깨어나서 경쟁을 하게하는 것은 에너지 낭비를 발생시킨다.

경쟁 방식 중 비동기식인 WiseMAC[12], B-MAC[13], X-MAC[14] 등은 프리앰블 전송을 통해 수신 노드와 일시적으로 동기를 이루고 통신을 수행하므로 분산 환경에서의 초저전력 통신에 매우 유리하다. 반면에 주변 다수 노드에게로의 패킷 브로드캐스트에는 취약하다. 또한, WBAN은 코디네이터로 센서 데이터가 집중되는 [그림 1]과 같은 환경이 기본 토폴로지로 구성될 것으로 예상되므로 코디네이터와의 통신을 위한 프리앰블 경쟁이 FC, MC로 집중되는 현상이 발생한다. 타 노드의 프리앰블 전송으로 인하여 QoS를 보장받아야 하는 노드에게 지속적으로 전송 지연이 발생하는 문제점도 있다.

경쟁과 비경쟁이 포함된 하이브리드 방식의 MAC 프로토콜 중 대표적인 프로토콜은 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜이다[15]. IEEE 802.15.4 MAC은 저전송률, 저전력, 저비용 등의 특징을 가지므로 무선 센서 네트워크에 적합하며 ZigBee의 사업적 성공과 함께 매우 많이 사용되는 MAC 프로토콜의 하나이다. 모든 노드가 sleep mode로 전환되는 Inactive 구간이 있는 superframe 구조, data request frame 사용, short address 사용 등으로 저전력 실현이 가능해진다. WBAN 환경의 802.15.4 MAC 프로토콜은 일상적인 WBAN 저속 센서 디바이스만으로 구성된 센서 모니터링 시스템에 매우 적합하다. 주기적인 통신 또는 QoS를 보장하는 디바이스를 위해 채널을 점유할 수 있는 GTS(Guaranteed Time Slot)를 할당하며, 때때로 또는 임시적으로 발생하는 비주기적인 통신은 경쟁구간을 통해 채널을 획득하고 전송할 수 있다. 메디컬 디바이스의 원격 제어, 브로드캐스트에도 매우 효율적이다. 비콘을 통한 동기 방식이므로 비콘 필드의 값에 따라 브로드캐스트를 수행할 수 있다.

그러나 IEEE 802.15.4 MAC에도 GTS 할당 개수 제

한, 고정된 Inactive 기간 동안의 주파수 대역 유휴 문제 등 WBAN 환경에 적용하기에는 몇 가지 문제점이 있다.

3. 제안하는 WBAN MAC 프로토콜

비경쟁 구간과 경쟁 구간을 모두 가지는 하이브리드 방식의 저전력, 저전송률, 저비용 등의 특징을 가지는 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 2절의 WBAN 개요와 관련 연구를 통해서 상당부분 WBAN에 적합한 형태의 프로토콜임을 알 수 있다.

그러나 GTS 정책으로 인해 발생하는 문제점 및 유휴 시간으로 인한 Inactive 구간의 비효율적 사용은 WBAN에 적용하기에는 무리가 있다. 따라서 CFP를 요구하는 다수의 모니터링 노드를 지원하기 위한 능동적인 CFP와 필요하면 Inactive 구간을 효율적으로 사용할 수 있는 형태의 MAC 프로토콜이 필요하다.

3.1. IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 문제점

IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 CFP는 고정된 슬롯을 할당하는 GTS 구간을 제공하여 QoS 보장을 원하거나 주기적으로 데이터를 발생시키는 디바이스에게 주파수 대역을 점유할 수 있도록 한다.

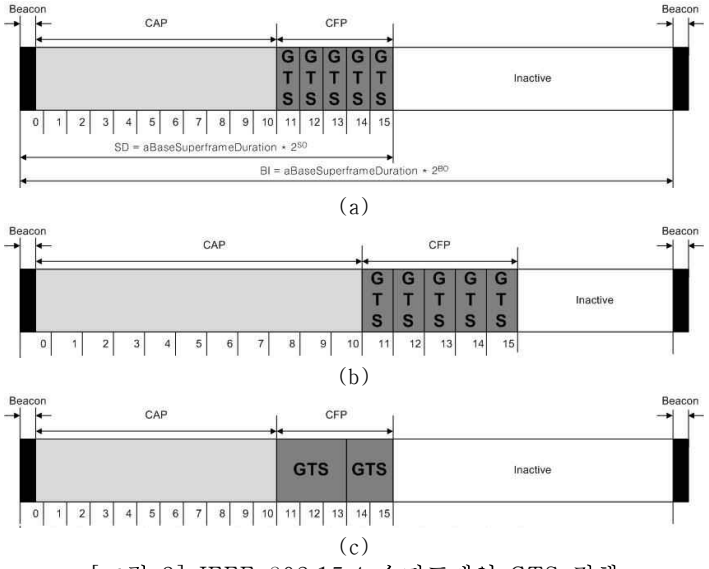
그러나 기본적으로 GTS 메커니즘은 다음의 2가지 제약사항을 가지고 있다.

- **GTS는 최대 7개까지 할당할 수 있다.**
- **CAP 최소길이 440symbol을 보장해야 한다.**

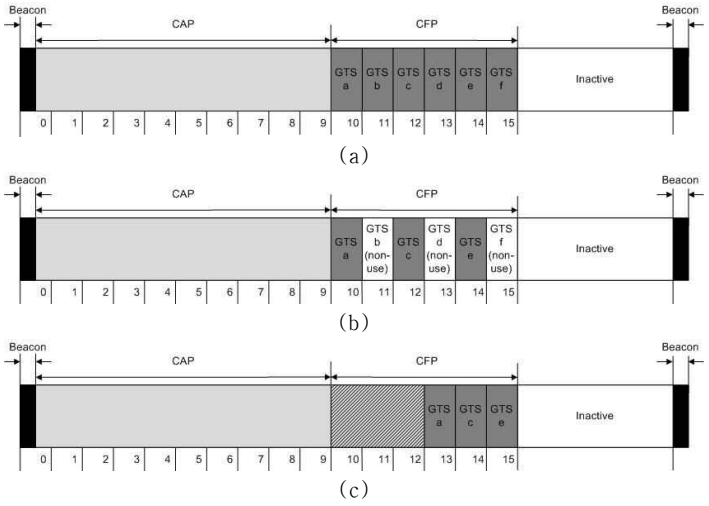
따라서, 8개 이상의 GTS를 가질 수 없으며, 6개 이하이더라도 네트워크 유지를 위한 CAP의 최소길이 440 symbol을 보장하지 못하면 더 이상 GTS를 할당할 수 없다. [그림 3]의 (a), (c)와 같이 active 구간은 고정적으로 16등분 슬롯 분할이 이루어지고, 슬롯 시작시점에 GTS를 고정 할당할 수 있으며, 1개의 GTS를 1개 이상의 슬롯에 할당할 수 있다. [그림 3]의 (a), (b)는 슬롯 시작 시점에 맞추어 고정적으로 할당하는 슬롯 정책으로 인해 SO(superframe order)값이 증가하면 고정 슬롯에 할당된 시간도 함께 증가되므로 GTS를 할당 받은 노드는 데이터의 증가가 없는데도 GTS가 할당된 시간이 늘어나게 된다.

[그림 4]의 (a)와 같이 6개의 GTS가 할당되었을 때, 패킷 발생 주기의 길이 여부에 따라 현재 슈퍼프레임 구간에는 전송 패킷이 발생하지 않고 차후 슈퍼프레임 구간에서 데이터가 발생한다면, [그림 4]의 (b)와 같이 전송이 이루어지지 않는 구간발생으로 인한 주파수 대역 낭비가 발생된다. 따라서 [그림 4]의 (c)와 같이 GTS가 동적으로 할당되어 GTS 구간의 조각화가 이루어지지 않도록 해야 한다.

세 번째는 모든 노드가 Inactive 구간에서 sleep 모드로 전환되는 superframe 구간의 문제이다. 초저전력을 요구하는 메디컬 센서 디바이스는 Inactive 구간을 통해 최대한 sleep을 유지하는 것이 파워 소비에 유리하지만, 하위 노드 관리를 수행하는 FC와 MC, 긴급 패킷, 전송 지연을 허용하지 않는 패킷 등은 Inactive 구간을 사용할 수 있어야 한다.



[그림 3] IEEE 802.15.4 슈퍼프레임 GTS 정책



[그림 4] GTS 문제점 및 동적 할당의 필요성

3.2. WBAN을 위한 MAC 프로토콜

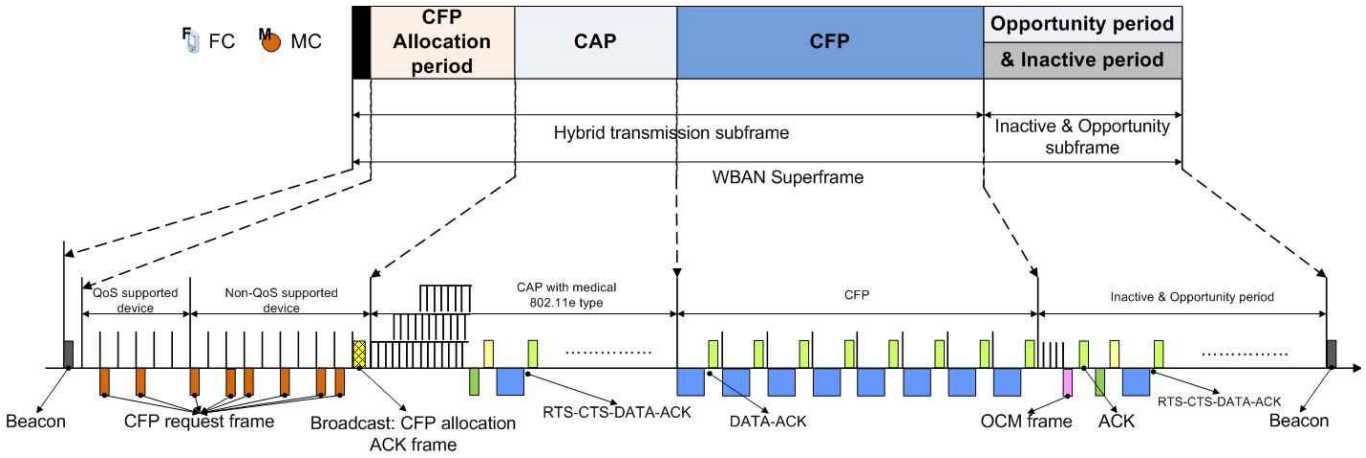
2절과 3.1.절의 분석을 통해 본 논문은 CFP 구간의 할당을 동적으로 결정하며, Inactive 구간을 사용하길 원하는 일정한 그룹은 기회를 얻어 사용할 수 있는 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문이 제안하는 MAC 프로토콜의 특징은 크게 다음과 같다.

- **동적으로 CFP 구간 할당**
- **Inactive 구간의 기회 사용**

본 논문에서 CAP 구간은 802.11 DCF가 아닌 메디컬에 적합하게 수정된 802.11e 타입의 패킷 우선 순위를 판별할 수 있는 기법이 있다고 가정하고 있다. 또한, 네트워크 토폴로지는 [그림 2]와 같이 FC, MC가 있는 계층구조의 메디컬 센서 노드가 상시적인 WBAN을 구성하고 있는 네트워크 환경에 때때로 다양한 특성의 응용이 네트워크에 편입되는 형태이다.

Beacon Interval, Superframe Order 등 슈퍼프레임의 구간을 설정하는 기법은 IEEE 802.15.4 MAC을 따르며, CFP 동적 할당은 IEEE 802.15.4와 다르게 송신에 필요



[그림 5] 제안하는 WBAN을 위한 MAC 프로토콜

한 시간만큼만 동적으로 할당한다.

제안하는 MAC 프로토콜 디자인은 각 PHY 계층에 동일한 디자인 구조로 제공된다. 다만, PHY 계층의 특성에 따라 전송 속도, 슈퍼프레임 구간 주기 등의 파라미터가 다르게 설정된다.

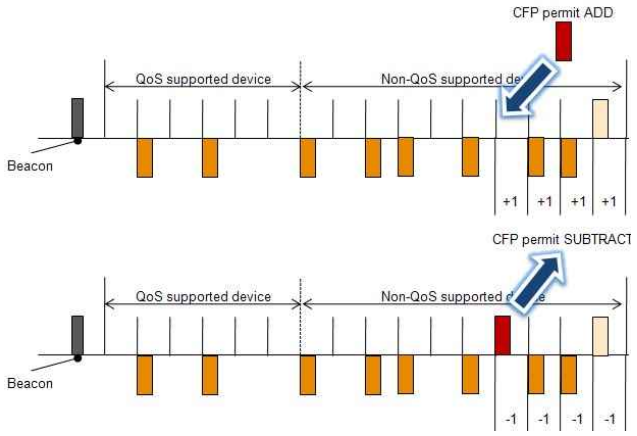
3.2.1. 동적 CFP 구간 할당 (CFP Allocation period)

CFP 구간의 동적 할당은 [그림 5]의 본 논문이 제안하는 MAC 프로토콜 디자인과 같이 CFP allocation 구간에서 시작된다. 디바이스가 네트워크로 새롭게 결합 및 등록될 때에 CFP 구간 사용이 승인된 노드는 CFP allocation 구간에 작은 크기의 컨트롤 패킷을 전송할 수 있는 TDMA 구간을 할당받는다. 따라서, 해당 슈퍼프레임에서 전송할 패킷이 발생할 경우, CFP allocation 구간에 할당된 고유한 TDMA 구간에서 CFP request 컨트롤 프레임을 전송하면, 각 TDMA 구간에서 CFP request 컨트롤 프레임을 수신받은 FC 또는 MC가 CFP 구간을 요청된 필요 시간에 맞게 동적으로 할당하여 그 리스트를 CFP allocation ACK 컨트롤 프레임에 포함하여 브로드캐스트 한다. 따라서 CFP 사용이 승인된 디바이스는 비콘 수신 이후 CFP allocation 구간의 자신에게 고유하게 할당된 TDMA 시간에만 깨어나 전송할 데이터가 있음을 알린 후 sleep 모드로 전환한다. 역시 계획된 TDMA 시간인 CFP allocation ACK 컨트롤 프레임을 브로드캐스트 수신하는 시간에 깨어나 수신 받고, 수신 받은 프레임 분석을 통해 실제 데이터를 전송할 수 있도록 동적으로 할당받은 CFP 구간에서 실제 데이터 패킷 전송을 수행하면 된다. 따라서 프레임 송수신 이외의 시간은 Inactive 구간이 아니더라도 모두 sleep 모드를 유지할 수 있다.

네트워크 통신이 이루어지는 중에 새롭게 네트워크로 편입되거나 분리되는 디바이스가 발생하면, [그림 6]과 같이 코디네이터는 브로드캐스트 또는 몇몇 노드에게 패킷을 전송하여 조정된 CFP Allocation 스케줄을 알려 준다.

CFP Allocation 구간은 QoS 지원 구간과 Non-QoS 구간으로 세부 분류할 수 있다. 발생하는 패킷이 전송 지연을 허용하지 않는 경우 QoS 지원 구간에 TDMA 구간을 할당받을 수 있으며, 단순 모니터링 등의 어느 정도의 전송 지연을 허용하는 패킷을 발생하는 응용은 Non-QoS 구간을 할당받을 수 있다. 종합적인 CFP Allocation ACK 컨트롤 프레임은 이 분류에 기초하여 QoS 지원 구간의 응용이 CFP 구간의 앞 쪽에 배치되도록 리스트를 구성한다.

CFP Allocation 구간도 IEEE 802.15.4의 GTS 구간과 같이 해당 슈퍼프레임에서 전송할 패킷이 없는 경우 주파수 대역의 낭비가 발생할 수 있다. 하지만, 작은 크기의 컨트롤 패킷만큼만 전송할 수 있는 작은 시간이 할당되므로 GTS 구간과 같이 슬롯 한 개 또는 그 이상을 할당받아 발생되는 주파수 대역 낭비보다 효율이 높다.



[그림 6] CFP Allocation 스케줄 조정

3.2.2. Inactive 구간의 기회 사용 (Opportunity Period)

Inactive 구간의 기회 사용은 Inactive 구간에서도 패킷을 전송하기를 원하는 디바이스의 OCM (Opportunity Contention Message) 컨트롤 프레임 송신으로부터 시작된다.

Active 구간에서 원하는 모든 트래픽이 해소되지 않은

경우, 연속적인 패킷을 계속 전송해야 하는 경우, 의료/비의료의 긴급 패킷을 전송해야 하는 경우 등 Inactive 구간에서도 통신을 원하는 노드가 WBAN 환경에서는 빈번하게 발생한다. 따라서, Inactive 구간에서 패킷 전송을 수행하고자 원하는 경우에 기회를 얻어 패킷을 전송할 수 있도록 코디네이터를 Inactive 구간에서도 sleep하지 않도록 요청하는 OCM 프레임을 전송한다.

하나의 노드가 OCM 프레임을 전송하고 FC, MC 노드가 ACK 패킷을 보냄으로써 Inactive 구간은 Opportunity 구간으로 전환된다. OCM frame 전송부터 Backoff 경쟁을 통해 송신되므로 OCM 프레임을 전송한 노드가 Opportunity 구간의 첫 송신 노드가 된다. 이후는 CAP 구간과 동일하게 동작한다.

Inactive 구간의 사용 필요성은 [그림 5]의 Active 구간인 Hybrid transmission subframe 구간에서도 발생된다. 802.11e 타입의 우선순위 결정 정책에 따라 채널 경쟁을 한다면 의료용 패킷이 대체로 채널을 획득할 가능성이 크며, 일반 비의료 패킷은 채널 경쟁에서 보호받지 못할 수 있다. 따라서 초저전력 소모를 위한 경쟁/비경쟁을 [그림 5]의 Hybrid transmission subframe에서 지원한다면, Opportunity/Inactive 구간에서 초저전력을 굳이 요구하지 않는 디바이스들의 트래픽 해소에 주파수 대역이 사용된다.

슈퍼프레임 구조의 하이브리드 방식 MAC 프로토콜은 동기화를 위해 각 슈퍼프레임 시작 구간에 비콘 프레임을 송수신한다. 이러한 슈퍼프레임 구조 형태는 동기화, 브로드캐스트, 컨트롤 프레임 전송, 경쟁/비경쟁 기법 양쪽의 이점을 모두 가지는 것 등에서 장점을 지니지만, 매우 오랜 시간 슬립하기를 원하는 노드에게는 주기적인 비콘 수신 기법이 비효율적일 수 있다. 따라서 비효율적인 에너지 사용을 막기 위해 최대한 비콘 크기를 줄여야 한다. 본 논문에서 비콘 경량화를 위해 개수가 증가된 CFP 구간을 사용하는 디바이스를 비콘에서 관리하지 않고 CFP Allocation 구간에서 CFP request 프레임, CFP allocation ACK 프레임에서 관리하도록 제안한다.

4. 결 론

본 논문은 반경 5m 이내의 인체 영역에서 기존의 무선 센서 네트워크보다 더 많은 디바이스가 밀집되어 있고, 상이한 목적을 가진 주기/비주기, 의료/비의료 응용의 광범위한 전송속도, 초저전력 등 WBAN의 응용 특징과 브로드캐스트, 센싱을 통한 인체 데이터 취합과 같은 응용 목적에도 적합한 경쟁/비경쟁 기법을 모두 취한 하이브리드 방식의 MAC 프로토콜을 제안한다.

특히, WBAN의 주된 기본 패킷 전송 형태인 주기성을 가지고 발생하는 패킷을 지원하기 위한 강화된 동적 CFP 할당 정책을 CFP Allocation 구간을 통해 제안하였으며, Active/Inactive 구간으로 구성된 superframe 구조로 인한 Inactive 구간의 주파수 유휴시간을 줄이고 기회를 얻어 사용할 수 있는 방안을 제안하였다.

본 논문에서 제안하는 WBAN을 위한 MAC 프로토콜은 CFP 구간을 원하는 디바이스의 보장된 주파수 대역을 동적으로 할당함에 따라 주파수 대역의 낭비를 줄일 수 있으며, Inactive 구간의 기회 사용에 따라 지연되는 트래픽의 해소를 줄이고 상이한 WBAN 응용을 융통성 있게 지원할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] 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.

[2] 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 ACM International Conference on Body Area Networks, 2008.

[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] H. -B. Li, K. Takizawa, B. Zhen, and R. Kohno, "Body Area Network and Its Standardization at IEEE 802.15.MBAN," 16th IST Mobile and Wireless Communications Summit, 2007.

[5] H. -B. Li, R. Kohno, "introduction of SG-BAN in IEEE 802.15 with Related Discussion," Proc. of IEEE International Conference on Ultra-Wideband, pp.134-139, 2007.

[6] IEEE 802.15 WPAN Task Group 6 BAN:

[7] http://www.ieee802.org/15/pub/TG6.html.

[8] Channel Model for Body Area Network (BAN), IEEE 802.15-08-0780-03-0006.

[9] Low power consumption considerations for BAN, IEEE 802.15-15-08-0435-00-0006.

[10] W. Ye, J. Heidemann, and D. Estrin, "An energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks," in Proceedings of INFOCOM 2002, pp. 1567-1576, Jun. 2002.

[11] T. van Dam and K. Langendoen. "An adaptive energy-efficient MAC protocol for wireless sensor networks.", In Proceedings of the First ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), Los Angeles, CA, November 2003.

[12] A. El-Hoiydi, J.-D. Decotignie, C. Enz, and E. Le Roux. "Poster Abstract: WiseMAC, An Ultra Low Power MAC Protocol for the WiseNET Wireless Sensor Network.", In Proc. 1st ACM SenSys Conf., pages 302-303, November 2003

[13] J. Polastre, J. Hill, and D. Culler. "Versatile low power media access for wireless sensor networks.", In The Second ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems (SenSys), pages 95-107, November 2004.

[14] M. Buettner, G. V. Yee, E. Anderson, and R. Han, "X-MAC: A Short Preamble MAC Protocol for Duty-Cycled Wireless Sensor Networks.", in Proc. SenSys'06, Nov. 2006.

[15] 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