

碩士學位論文

WBAN에서 슈퍼프레임 구조의
MAC 프로토콜을 위한 응급
데이터 처리 기법

指導教授 趙 眞 晟

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

金 範 錫

2012年 1月 6日

碩士學位論文

WBAN에서 슈퍼프레임 구조의
MAC 프로토콜을 위한 응급
데이터 처리 기법

指導教授 趙 眞 晟

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

金 範 錫

2012年 1月 6日

WBAN에서 슈퍼프레임 구조의
MAC 프로토콜을 위한 응급
데이터 처리 기법

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

金 範 錫

2012年 1月 6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

2012年 1月 6日

國 文 要 約

WBAN에서 슈퍼프레임 구조의 MAC 프로토콜을 위한 응급 데이터 처리 기법

An Emergency Handling Scheme for Superframe-Structured MAC protocols in WBANs

慶熙大學校大學院

컴퓨터공학과

金 範 錫

Wireless Body Area Network (WBAN)은 인체 주변 영역에서의 의료 혹은 사용자 기기 (CE: Consumer Electronics) 서비스를 제공한다. WBAN은 네트워크를 관리하는 코디네이터와 채내, 외부 및 인체 주변에 장착된 장치들로 구성된다. 상이한 서비스를 제공해야만 하는 WBAN은 저전력, 신뢰성, 다양한 전송률, 등의 요구사항을 만족시켜야 한다. 특히, WBAN의 의료 서비스 중, 응급상황이 발생할 경우에는 그에 대한 데이터 전송에 있어 신뢰성과 신속성을 보장해 주어야 한다. 본 논문에서는 WBAN MAC 프로토콜에서의 유연한 응급 데이터 처리 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 IEEE 802.15.4나 그의 확장버전과 같은 슈퍼프레임 구조

를 가지는 MAC 프로토콜에 적용이 가능하게 설계되었다. 또한, 제안하는 기법은 현재 IEEE 802.15.6 주관으로 표준화가 진행 중이며, IEEE 802.15.6에서 발행한 Draft 문서에 명시된 MAC 프로토콜에도 적용이 가능하다. 다양한 시뮬레이션 결과 제안하는 기법은 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜, PNP-MAC과 비교하였을 때, 응급데이터의 전송 지연 측면에서 향상된 성능 결과를 얻을 수 있었다.

키워드 : wireless body area network, emergency handling, MAC protocol, superframe structure

< 목 차 >

| | |
|----------------------------------|----|
| 1. 서론 | 1 |
| 2. 관련연구 | 4 |
| 2.1 의료, CE 및 응급 데이터의 특징 | 5 |
| 2.2 WBAN 환경을 고려한 MAC protocol | 8 |
| 2.2.1 IEEE 802.15.4 MAC protocol | 8 |
| 2.2.2 Enhanced GTS mechanism | 10 |
| 2.2.3 PNP-MAC | 13 |
| 3. 제안하는 응급 데이터 처리 기법 | 15 |
| 3.1 혼합 구간 (MP; Mixed Period) | 18 |
| 3.2 확장 구간 (EP; Extended Period) | 21 |
| 4. 성능 평가 | 25 |
| 4.1 시뮬레이션 환경 | 25 |
| 4.2 결과 및 분석 | 28 |
| 4.2.1 Inactive period가 있는 슈퍼프레임 | 28 |
| 4.2.2 Inactive period가 없는 슈퍼프레임 | 32 |
| 5. 결론 및 향후 연구과제 | 35 |
| 참 고 문 헌 | 37 |
| Abstract | 39 |

<그림 목 차>

| | |
|-------------|----|
| 그림 1. | 1 |
| 그림 2. | 9 |
| 그림 3. | 11 |
| 그림 4. | 12 |
| 그림 5. | 13 |
| 그림 6. | 14 |
| 그림 7. | 18 |
| 그림 8. | 20 |
| 그림 9. | 21 |
| 그림 10. | 22 |
| 그림 11. | 28 |
| 그림 12. | 30 |
| 그림 13. | 31 |
| 그림 14. | 32 |
| 그림 15. | 33 |
| 그림 16. | 34 |

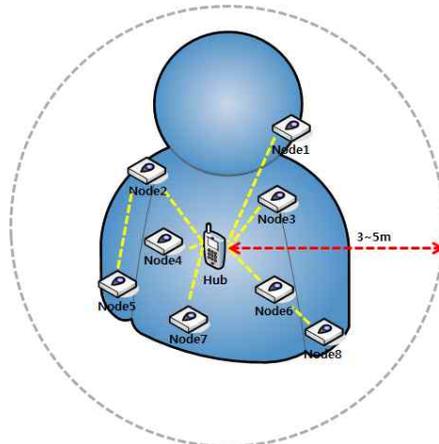
<표 목 차>

표 1. 19
표 2. 27

1. 서론

최근 무선 통신 기술과 무선 센서 디바이스들의 발전을 기반으로 센서 네트워크에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 특히, 의료 분야를 접목시킨 헬스케어 (health-care) 와 관련된 연구는 급성장하고 있는 추세이다. 이러한 의료 분야에서의 헬스케어에 대한 연구는 센서 디바이스의 저가화, 소형화, 고품질화를 위해 이루지며, 이를 기반으로 헬스케어에서 사용되는 무선 통신 기술 또한 활발히 연구되고 있다. 이러한 연구 동향은 WPAN (wireless personal area network) 연구에서 주목받았으며, WPAN 연구의 기폭제 역할을 하고 있다 [1].

Wireless body area network (WBAN) [2] 은 [그림 1]과 같이 인체 내부 (implant), 피부 표면 (on-body, wearable), 인체 영역 3 ~ 5m 이내에서의 인체 외부에 위치한 디바이스간 통신 기능을 수행할 수 있는 WPAN의 차세대 무선 통신 기술이다. WBAN은 의료 디바이스 (medical device), 개인 소비자용 전자 제품 (CE; consumer electronics), 그리고 네트워크의 중심에서 각 디바이스를 제어하는 코디네이터 (coordinator)로 구성되어 있으며, 상이한 디바이스를 통해 의료 서비스와 비 의료 서비스



[그림 1] WBAN의 구조

를 동시에 제공하는 통합형 유비쿼터스 서비스를 목표로 한다.

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 진행중에 있다 [1]. IEEE 802.15.6 WBAN은 의료 서비스를 주요 서비스로 제공해 주며, CE 응용 서비스까지 동시에 제공하는 것을 목표로 한다. 또한, 저전력 요구사항을 만족하면서 3 - 5m 이내의 매우 작은 범위에서의 인체 영역 통신을 수행하고, 10Kbps부터 10Mbps까지 유연한 전송속도를 제공해야 한다. 인체 내부에 의료 디바이스가 위치하는 경우 전파가 인체에 치명적인 영향을 미칠 수 있으므로, WBAN은 일반적인 ISM (industrial scientific medical) 주파수 대역이 아닌 인체에 유해하지 않은 의료용 주파수 대역인 MICS (medical implant communications service)주파수 대역을 사용하며, 인체 내부를 제외한 피부 표면과 인체 주변에 위치한 디바이스간의 통신은 ISM, UWB 주파수 대역을 이용하여 무선 통신을 수행한다.

IEEE 802.15 Task Group 6에서는 표준화 과정 중에 WBAN에서 제공될 의료 응용과 CE 응용에 대한 요구사항을 정의하고, 이를 technical requirement document (TRD)에 기술하였다 [3]. WBAN TRD에서 정의하고 있는 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. 한편, 의료 응용에서 예외적으로 발생할 수 있는 응급 데이터의 경우에는 CE 응용과 유사한 특징을 가지며, 응급 데이터의 처리는 사용자의 생명에 치명적인 영향을 줄 수 있으므로 즉시 처리를 원칙으로

명시하고 있다. 그러나 기존의 무선 센서 네트워크를 위한 MAC 프로토콜 (i.e., TDMA or IEEE 802.15.4 MAC)은 IEEE 802.15 Task Group 6에서 정의하는 WBAN에서 요구하는 다양한 응용의 요구사항을 만족시키지 못한다.

본 논문은 WBAN 환경에서의 사용자의 생명에 치명적인 영향을 미칠 수 있는 응급 데이터의 신속한 처리를 위해 크게 2가지 방안을 제안한다. 첫째는, 예약 할당 기반의 CFP를 Mixed period (MP)로 전환하여 응급 상황에서의 유연하고 신속한 대처는 물론 의료 및 응급 데이터 전송의 신뢰성을 보장할 수 있는 방안이다. 제안하는 방안은 연속적이고 길이가 긴 CFP에서 발생할 수 있는 응급 데이터의 높은 지연 문제를 해결할 수 있다. 둘째, MP에서 응급 데이터 처리로 인해 보장받지 못한 GTS의 재할당 및 추가적인 전송이 필요한 노드의 데이터 전송을 위해 Extended period를 두어 신뢰성 및 QoS를 보장해 주는 방안을 제안한다. 또한 제안하는 방안은 유연성을 고려하여 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 물론 앞으로 표준화가 될 IEEE 802.15.6 MAC 프로토콜에 적용될 수 있게 설계되었다.

제안하는 방안을 현재 WBAN 연구에 많이 사용되는 IEEE 802.15.4 MAC [5] 및 응급 데이터 처리에 용이한 PNP-MAC [9]과 비교해 보았을 때, 전송 지연시간 측면에서 성능이 향상을 볼 수 있다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WBAN의 요구사항 및 관련 연구를 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 의료 및 응급 데이터의 저지연, 고신뢰성을 고려한 응급 데이터 처리 기법인 혼합 구간 (Mixed period)과 확장 구간 (Extended period)을 기술하고, 4장에서는 성능을 평가하고 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

2. 관련연구

서론에서 기술한 바와 같이, WBAN은 인체 내·외부를 포함하는 인체 주변 영역에서 서로 상이한 특징을 가진 다양한 디바이스들로 네트워크가 구성되며, 통신 서비스를 제공한다 (i.e., medical or CE devices). 특히 의료 서비스의 경우에 사용자의 생명에 치명적인 이상 증상이 포착되는 등의 예외적으로 발생하는 응급 데이터에 대한 신속한 처리가 필요하다. 이에 앞서 본 장에서는 WBAN에서 제공되는 상이한 서비스에 대한 특징 및 요구사항을 알아보고, 해당 요구사항을 반영한 관련연구를 살펴본다.

2.1 의료, CE 및 응급 데이터의 특징

WBAN은 인체를 중심으로 3-5m 반경 내에서의 의료 및 비의료 서비스를 동시에 제공해 주는 것을 목표로 한다. WBAN은 의료 및 비의료 서비스를 제공하기 위해서 다양한 특징을 가지고 있는 데이터를 발생시키는데, 이는 크게 의료, CE, 그리고 응급 데이터로 나뉠 수 있다. WBAN에서 제공하는 서비스에서 발생하는 데이터는 다음과 같은 특징을 가지고 있다 [3].

- **의료 데이터 (Medical data)** : 의료 데이터를 발생시키는 장치로는 ECG (Electrocardiogram), EMG (Electromyography), EEG (Electroencephalogram) 등과 같은 병원에서 사용되는 디바이스들과 체온, 혈압, 맥박 등의 항상 사용자에게 착용되는 인체 신호 모니터링 디바이스, 그리고 약물투여와 같은 인체상태 개선용 장치 등이 있다. 위와 같은 디바이스에서 발생하는 의료 데이터는 적은 양의 데이터를 주기적으로 발생하는 특징을 지니고 있다. 따라서, 주기를 만족시키면서 낮은 전송률을 보장해야 한다. 또한, 사용자의 건강상태 정보를 담은 데이터이므로 높은 신뢰도를 보장해야 한다.

- **CE 데이터 (Consumer electronics data) :** 엔터테인먼트적인 요소를 띄며, 의료용으로 사용되지 않는 모든 장치에서 발생하는 데이터를 지칭한다. CE 데이터를 발생시키는 응용은 오디오, 비디오 등과 같은 스트리밍 (streaming)은 물론, sns, 게임 등을 포함한다. CE 데이터를 발생시키는 응용은 해당 데이터를 비주기적으로 발생시키며, 각 응용에 적합한 다양한 전송률을 요구한다. 또한 발생하는 데이터 양이 다양하므로 각 응용에서 요구하는 QoS를 만족시켜야 한다.
- **응급 데이터 (Emergency data) :** 응급 데이터는 의료 디바이스에서 발생하며, 사용자로부터 수집되는 의료 데이터에 이상이 발생하는 경우에 예외적으로 발생하는 데이터이다. 응급 데이터는 가장 높은 우선순위를 가지고 있다. 또한 응급데이터는 CE 데이터와 비슷한 비주기적인 특징을 지니므로 산발적으로 발생하는 응급 데이터의 낮은 지연은 물론 높은 신뢰도를 보장해 주어야 한다.

요약하면, WBAN은 인체를 중심으로 초 근거리 통신 반경 안에서 의료 및 CE 서비스를 제공해 주며, WBAN이 제공해야 하는 다양한 서비스는 상이한 특징을 요구한다. 하지만, 주기성과 비주기성 등의 서로 상이한 특징을 가지는 다양한 디바이스가 함께 네트워크를 구성함에 따라 상황에 따라서 유연하게 전송지연과 처리율의 성능을 높이고, QoS 지원, 데이터 전송률과 디바이스 개수와 같은 범위의 다양성과 광범위성(scalability)의 요구사항을 만족하는 것도 함께 고려해야 한다. 이에 대해 IEEE 802.15 TG6는 TRD 문서에 의료 데이터와 CE 데이터의 최대 지연시간을 각각

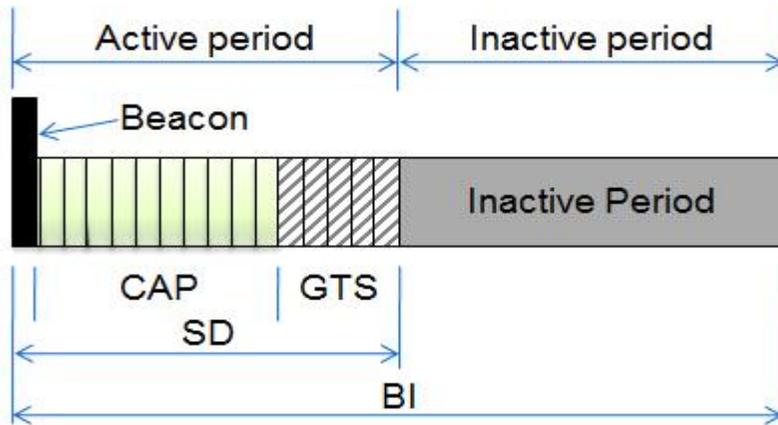
125ms와 250ms로 정의하고 있다 [3]. 또한, 응급 데이터의 경우는 의료 데이터보다 높은 우선순위를 가지면서 CE 데이터의 특성을 동시에 가지므로 응급 데이터에 특화된 데이터 처리 방안이 필요하다. 따라서, WBAN MAC 프로토콜은 의료, CE 서비스에서 발생하는 데이터는 물론 의료 데이터의 예외성도 처리할 수 있게 설계되어야 한다.

2.2 WBAN 환경을 고려한 MAC protocol

WBAN 연구 초기에는 body sensor network (BSN), body area network (BAN) 등의 이름으로 의료 디바이스를 사용한 의료용 무선 네트워크 통신 방법을 연구/개발 하였으며, 대부분의 연구들은 주기적인 특징을 가지는 의료 응용의 요구사항에 맞게 간단한 TDMA기법의 MAC 프로토콜 연구가 주를 이루었다 [6-9]. 하지만 기존의 연구는 WBAN에서의 상이한 응용에 대한 요구사항을 만족하지 못하므로 기존의 TDMA 기법의 MAC 프로토콜은 WBAN에 적합하지 못하다. 본 장에서는 WBAN 표준화 초기에 참고자료로 많이 활용된 IEEE 802.15.4 MAC protocol과, 앞서 설명한 WBAN의 요구사항을 해결하기 위해 제안된 MAC 프로토콜인 GTS enhanced MAC protocol과 PNP-MAC에 대한 상세한 설명을 한다.

2.2.1 IEEE 802.15.4 MAC protocol

IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜 [5]은 WBAN 표준화 초기에 참고자료로 많이 사용되었다. IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 비콘을 사용하는 슈퍼프레임 구조를 사용하며, 이는 통신을 수행하는 Active period와 모든노드가 저전력을 위해 수면 상태가 되는 Inactive period로 나누어진다. [그림 2]는 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 슈퍼프레임 구조를 도시한다. Active period는 균등하게 16 슬롯 (slot)으로 분할되며, 이는 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. 코디네이터는 디바이스에게 1개 또는 1개 이상의 슬롯을 GTS로 할당할 수 있다. 균등하게 16등



[그림 2] IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 슈퍼프레임 구조

분으로 이루어진 슬롯으로 Active period가 분할되므로, GTS를 할당받는 디바이스가 증가할수록 CAP 구간은 줄어들게 된다. 이를 방지하기 위해 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 CFP의 최대 길이를 7슬롯으로 정하고, 하나의 슈퍼프레임에 최대 7개의 디바이스에게만 GTS를 할당해 주는 방식을 취하고 있다.

앞서 설명한 것과 같이, 의료 데이터는 주기적인 특성을 지니며, 높은 신뢰성을 보장해 주어야 한다. 이같은 특성을 만족시키기 위해서는 비경쟁 전송구간인 CFP를 통해 의료 데이터를 전송하는 것이 바람직 하다. 하지만 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 최대 7개로 제한된 GTS를 제공하므로 최대 256개의 디바이스를 하나의 WBAN 네트워크에 수용해야하는 요구사항을 만족할 수 없다.

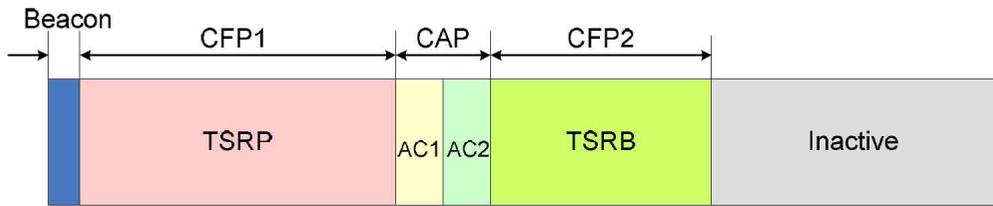
또한, 응급 데이터는 CE 응용과 비슷한 특징을 가진다. 하지만, 응급 데이터는 CE 응용이 가지지 않는 특징을 가진다. 일반적으로 인체의 한 부위에 이상 증상이 생기게 되면 연쇄적으로 다른 부위에도 이상 증상이 발생하게 된다. 예를 들어 심장마비가 오게되면 인체 내에 산소 공급이 중단되어 다른 모든 인체 부위에서도 이상증상이 발생한다. 이와 같이 응

급 데이터는 발생 시점에서부터 연속적으로 많은 양의 데이터가 발생하는 특징을 가진다. 이와 같은 특징을 고려하여, IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜에서의 응급 데이터 처리 시나리오는 다음과 같이 생각해 볼 수 있다. 첫 째, CAP구간에서 응급 데이터가 발생한 경우에는 경쟁을 통해 응급 데이터 처리가 가능하다. 하지만, 밀집된 디바이스의 배치가 이루어지는 WBAN의 경우, 응급 데이터를 포함한 모든 데이터가 같은 우선순위를 가지고 경쟁을 하게 되면 응급 데이터의 신속한 처리가 불가능하게 된다는 문제점이 생긴다. 둘째, CFP 구간에서 응급 데이터가 발생한 경우에는 GTS 예약으로 인해 응급데이터 처리가 불가능하게 된다. 또한 Inactive period가 있는 경우에는 Inactive period의 길이만큼은 추가적으로 응급 데이터 처리가 지연되게 되는 문제점이 발생한다. 셋 째, Inactive period에서 응급 데이터가 발생하는 경우에는, 다음 슈퍼프레임이 시작하기 전까지 모든 디바이스가 슬립 상태가 되기 때문에 응급 데이터의 처리에 높은 지연시간이 발생하게 된다.

2.2.2 GTS enhanced MAC protocol

의료 응용, CE 응용 및 응급 데이터 처리의 요구사항을 모두 만족시키기 위해서 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜을 기반으로 한 여러 가지 연구가 진행되어왔다 [6-8].

[그림 3]는 주기적인 데이터와 비주기적이고 폭발적으로 발생하는 데이터의 채널 접근 구간을 나누어 할당하는 MAC 프로토콜이다 [6]. 이 방안은 WBAN 환경에서 발생하는 모든 데이터를 GTS 할당 방식을 사용하여 높은 신뢰도를 보장하며, 주기적인 데이터를 위한 타임슬롯 (TSRP; TimeSlot Reserved for Periodic traffic)과 비주기적인 데이터를 위한 타임슬롯 (TSRB; TimeSlot Reserved for Bursty traffic)이 따로 존재한다.

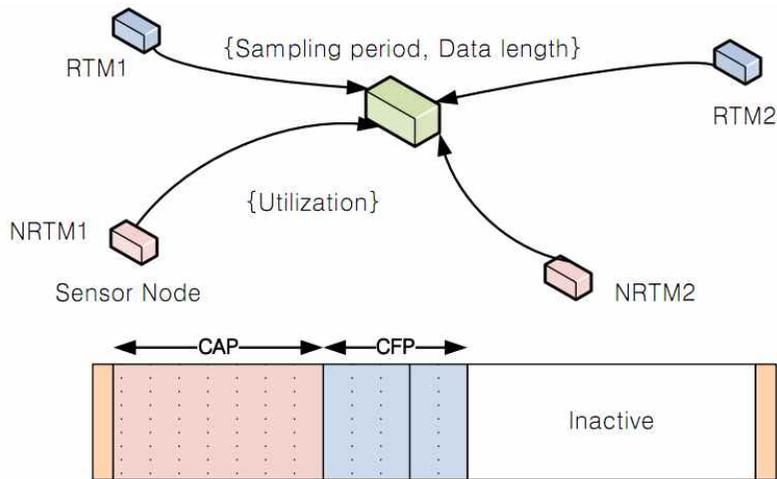


[그림 3] TSRP와 TSRB 를 활용한 동적 GTS할당 기반의 MAC 프로토콜

또한 TSRP와 TSRB 사이에 최소한의 CAP 구간을 두어 TSRP와 TSRB에서의 타임슬롯 할당을 함으로써 Active period에서의 대부분의 타임슬롯을 TDMA 방식으로 동작하게 구현되었다. 하지만 위 MAC 프로토콜은 CAP의 위치가 동적으로 변하게 되며, 그에 따른 동기화의 overhead가 존재한다는 문제점이 있다. 또한 응급 데이터 발생시 유연하게 대처할 수 없으므로 WBAN 환경에 적합하지 않다.

[그림 4]는 IEEE 802.15.4의 제한된 GTS 할당 문제를 극복하기 위해 상황에 따라 추가적인 GTS 할당을 통해 CFP구간을 동적으로 조절하는 On-Dement MAC (OD-MAC)의 구조를 나타낸다 [7]. OD-MAC에서는 WBAN을 구성하는 디바이스에서 발생하는 데이터를 Real-Time Message (RTM)과 Non Real-Time Message (NRTM)으로 분류하여 각 데이터의 주기, 데이터 크기, utilization을 고려하여 CFP와 CAP의 길이를 조절하는 방안을 제안한다. 하지만 OD-MAC 또한 IEEE 802.15.4 및 동적 GTS할당 기법의 단점인 유연하고 신뢰성 있는 응급 데이터 처리를 하지 못한다는 단점이 있다. 따라서, WBAN의 응급 데이터 처리 요구사항을 만족하지 못하므로 OD-MAC은 WBAN에 적합하지 않은 MAC 프로토콜이라 볼 수 있다.

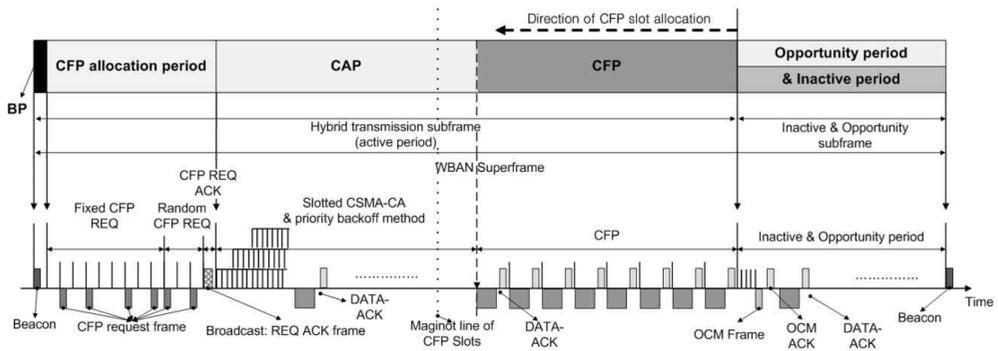
의료 데이터와 CE 데이터 모두의 QoS 및 유연한 데이터 처리를 위한 MAC 프로토콜에 대한 연구도 진행되었다. 동적 CFP 할당과 기회구간을



[그림 4] OD-MAC의 구조

이용한 유연성을 제공하는 MAC 프로토콜 [8]은 7개로 제한된 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 GTS할당을 극복하고, inactive period로 인한 지연시간 증가 문제를 해결한 MAC 프로토콜이다. [그림 5]는 해당 MAC 프로토콜의 구조를 나타낸다. 동적 CFP 할당은 WBAN을 구성하는 의료 디바이스들 7개 이상의 GTS할당을 요구하는 경우를 대비하여 CAP 앞에 CFP를 요청하는 구간을 따로 두어 추가적인 GTS를 할당할 수 있게 설계되었다. 이를 통해 주기적인 특징을 가지는 의료 디바이스의 QoS를 만족시킬 수 있다는 장점이 있다. 또한 inactive period를 기회구간으로 전환하여 추가적인 전송이 필요한 디바이스의 전송을 보장해 준다. 기회구간을 통해 응급 데이터의 낮은 지연시간을 보장해 줄 수 있지만, IEEE 802.15.4에서와 같이 연속적인 GTS할당으로 인해 CFP 구간 중에 응급 상황이 발생하게 되면 응급 데이터의 지연시간이 늘어나는 문제점이 있다.

앞에서 살펴본 바와 같이, 대부분의 연구들은 의료 응용의 요구사항을 만족하기 위해 GTS의 추가적인 할당을 제안하였다. 하지만 GTS의 추가

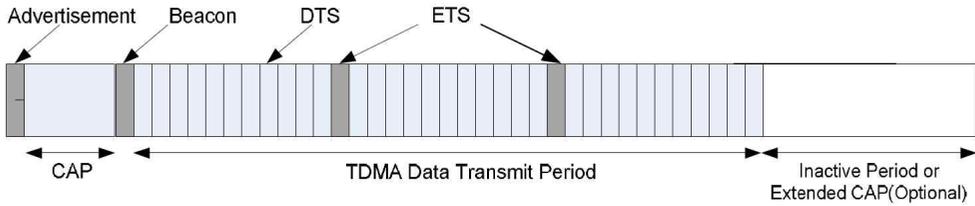


[그림 5] 동적 CFP 할당과 기회구간을 활용한 WBAN MAC 프로토콜

할당은 연속적인 CFP의 길이가 길어지게 되는 원인을 제공하며, CFP의 길이가 길어지면 그만큼 응급 데이터를 처리하기 위한 CAP의 길이가 줄어들게 된다. 따라서 제안된 연구들은 응급 데이터 처리의 요구사항을 만족시키지 못한다. 또한 GTS에서의 응급 데이터 처리를 위해 의도적인 충돌을 발생시키는 연구가 존재하지만, 이와 같은 경우에는 충돌이 발생한 GTS의 재할당을 보장해 주지 못하므로 응급 데이터 처리의 요구사항은 만족시킬 수 있지만, 의료 응용의 요구사항을 만족시키지 못하는 문제점이 있다.

2.2.3 PNP-MAC

한편, 위와 같은 추가적인 GTS 할당으로 인한 지연된 응급데이터 처리 문제점을 개선하기 위해, [9]의 저자는 'Preemptive slots allocation and Non-preemptive transmission for Providing QoS MAC Protocol (PNP-MAC)'을 제안하였다. [그림 6]은 preemptive transmission slot (DTS)과 Non-preemptive emergency transmission (ETS)로 구성된 PNP-MAC의 구조를 나타낸다. DTS는 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜에서의 GTS와 같은 역할을 하는 예약 기반의 할당 슬롯이며, ETS는 응급 데이터 처리를 위한 경쟁기반의 슬롯이다. CAP는 DTS의 할당과 네트워크



[그림 6] PNP-MAC의 구조

크의 관리 및 의료, 응급, CE 데이터의 처리를 전담하며, 우선순위 기반의 채널 접근 방식을 통해 CAP에서 전송되는 데이터 중 의료 및 응급 데이터의 신속한 처리를 보장해 준다. 또한, PNP-MAC은 연속적으로 할당된 DTS 중간에 ETS를 둬으로써 유연한 응급 데이터 처리를 보장해 준다. ETS의 수는 조절 가능하며, beacon message를 통해 할당된 DTS의 정보를 각 디바이스에게 알려준다. 하지만, PNP-MAC은 ETS의 수에 따라 응급 데이터 처리의 지연시간이 달라지게 되므로, 앞서 언급한 연구들과 마찬가지로 즉각적인 응급 데이터 처리가 불가능한 단점이 존재한다.

3. 제안하는 응급 데이터 처리 기법

2절에서 언급한 WBAN에서 발생할 수 있는 의료, CE, 그리고 응급 데이터의 특성과 이를 위한 관련연구의 문제점을 해결하기 위해서는 응급 데이터의 낮은 지연과 높은 신뢰성이 보장되어야 한다. 본 논문에서는 WBAN 환경에서의 낮은 지연을 만족시키는 응급 데이터 전송과 이로 인해 발생할 수 있는 의료 데이터의 누락을 방지하는 방안은 물론, 폭발적으로 발생하는 CE 데이터의 QoS 보장을 주요 목표로 하여 응급 데이터 처리 방안을 제안한다.

본 논문에서는 기존에 u-Healthcare 및 현재 WBAN 구현에 많이 사용되고 있는 기존의 무선 센서 네트워크를 위한 표준인 하이브리드 슈퍼프레임 구조인 Beacon-enable 모드의 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜을 분석하고, 1절에서 언급한 슈퍼프레임과 비슷한 구조를 가지는 MAC 프로토콜에 적용이 가능하면서, 2절에서 언급한 WBAN에서 발생하는 데이터의 특징 및 요구사항을 만족함과 동시에 기존의 관련연구들의 문제점을 고려하여 응급 데이터 처리 방안을 설계한다.

의료, 응급 데이터의 낮은 지연시간과 높은 신뢰성 보장 및 CE 데이터의 QoS보장을 주요 목표로 정함에 따라 다음과 같이 2개의 사항을 고려하여 응급 데이터 처리 방안을 제안하였다.

첫째, 혼합 구간 (Mixed period)을 제안한다.

의료 데이터는 의료 디바이스를 통해 사용자의 인체 상태를 감지함으로써 발생한다. 응급 데이터는 인체에 대한 정보를 포함하므로 높은 신뢰성을 보장해 주어야 하며, hard real-time의 특성을 지니고 있으므로 높은 지연시간을 동반한 데이터는 쓸모없는 데이터가 된다. 특히, 응급 데이터

는 의료 센서 디바이스에서 예외적으로 발생하는 데이터로 사용자의 생명에 직접적으로 영향을 줄 수 있는 중요한 데이터로, IEEE 802.15 TG6에서는 응급 데이터의 우선순위를 가장 높게 정의하고 있다 [2]. 즉, 의료 응용을 주로 다루는 WBAN에서의 응급 데이터 처리는 의료 데이터보다 더 엄격한 요구사항이 따른다. 따라서, 응급 데이터 처리는 WBAN MAC 프로토콜 설계에 있어 가장 중요한 요소가 된다.

기존의 슈퍼프레임 구조를 가지는 MAC 프로토콜은 일반적으로 연속적인 GTS의 연속을 CFP로 정의한다. 만약 CFP 구간 중에 응급 데이터가 발생한다면 다음 슈퍼프레임의 CAP가 오기 전까지는 해당 응급 데이터를 전송할 수 없다. 일반적인 슈퍼프레임 구조의 MAC 프로토콜인 IEEE 802.15.4에서의 응급데이터 지연 시나리오는 다음과 같다. SO와 BO가 각기 3, 4일 때, CFP의 길이는 53.76 ms이고, inactive 구간의 길이는 122.88 ms가 된다. 만약, CFP가 시작하는 시점에 응급 데이터가 발생한다면 최소 176.64 ms의 지연시간이 발생하며, 추가적으로 다음 슈퍼프레임의 CAP에서 경쟁에 성공할 때까지 걸리는 시간이 추가적으로 소요된다. 이는 IEEE 802.15 TG6의 TRD에서 정의하는 의료 데이터의 최대 지연시간인 125 ms를 크게 초과하게 된다.

본 논문에서는 앞서 언급한 CFP와 inactive 구간에서의 높은 지연시간을 가지는 응급 데이터의 문제점을 해결하기 위해 CTS (Contention Time Slot)와 GTS를 교차하는 구조를 가지는 혼합 구간 (Mixed period)을 제안한다.

둘째, 확장 구간 (Extended period)를 제공한다.

WBAN을 비롯한 대부분의 의료용 응용을 위한 무선 네트워크에서의 MAC프로토콜은 저전력을 위해 네트워크를 구성하는 모든 디바이스가 일정 시간동안 sleep상태를 유지할 수 있는 inactive 기법을 사용한다. 하지

만 inactive 기법으로 인해 비주기적으로 폭발적인 데이터 전송을 특징으로 하는 파일 전송, 동영상·오디오 스트리밍과 같은 CE 데이터의 전송 지연을 유발시킨다. 또한 응급 데이터 전송으로 인해 보장받지 못한 의료용 데이터의 지연을 유발시켜 의료 데이터 전송의 신뢰성 저하를 유발한다.

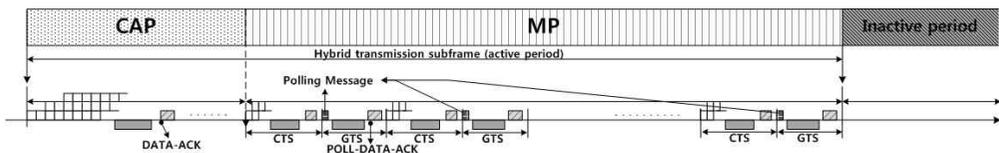
본 논문에서는 inactive 구간에서의 추가적인 전송을 요구하는 의료·CE 디바이스의 전송 지연 및 응급데이터로 인해 유실될 수 있는 GTS 예약 기반 의료 데이터의 GTS 재할당을 할 수 있는 확장 구간 (Extended period)를 제안한다.

3.1 혼합 구간 (MP; Mixed Period)

제안하는 MP는 CTS (Contention Time Slot)를 GTS 앞에 위치시킴에 따라 응급 데이터의 즉각적인 처리를 제공하며, re-allocate GTS list를 유지하여 $SO < BO$ 의 경우 (inactive period가 있는 경우)에 응급 데이터 처리로 인해 보장받지 못한 GTS의 재할당을 유도하여 의료 데이터의 신뢰성을 보장해 줄 수 있는 방안을 제공한다.

이를 위해 본 논문에서는 [그림 7]과 같이 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜과 같은 일반적인 슈퍼프레임에서의 CFP를 대체하는 MP를 제공한다. 기존의 CFP를 대체하는 MP의 기본 유닛은 CTS-GTS의 한 쌍으로 이루어지며, CTS가 앞에, GTS가 뒤에 위치하게 된다. GTS 할당 방식은 기존의 IEEE 802.15.4와 같다. CTS에서는 [표 1]과 같이 IEEE 802.15.6 draft 문서에서 정의하고 있는 우선순위 기반의 channel access 방식 [1]을 적용하여 응급데이터의 우선적인 처리를 보장해 줄 수 있을뿐만 아니라, 응급데이터가 없는 경우에 GTS 할당을 받지 못한 의료 데이터 및 CE 데이터를 전송할 수 있는 방안을 제공한다.

MP에서의 데이터 처리 시나리오는 총 세가지 경우가 있다. 첫 번째로, 응급 데이터가 발생하지 않은 경우이다. 응급 데이터가 아닌 의료 혹은 CE 데이터가 발생한 각 디바이스들은 CTS에서의 경쟁을 통해 해당 데이터를 전송하며, GTS할당을 받은 의료 디바이스는 자신이 할당받은 GTS

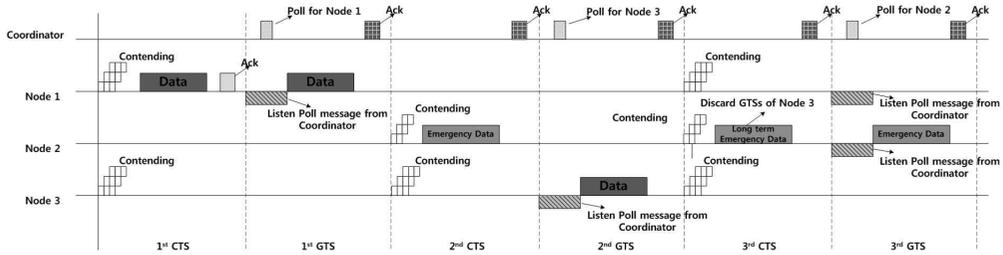


[그림 7] 혼합 구간

를 통해 데이터를 전송한다. 코디네이터는 어떤 디바이스가 해당 GTS를 사용하는지에 대한 정보를 polling message에 담아서 GTS의 시작지점 broadcasting 하는 방법을 통해 GTS 예약정보를 알려준다. 두 번째로, 한 슬롯 안에 처리가 가능한 응급 데이터가 발생한 경우이다. 응급 데이터가 발생한 디바이스는 CTS에서의 우선순위 기반 channel access를 통해 우선적으로 가장 인접한 CTS에서의 데이터 전송이 가능하게 된다. 또한 한 슬롯 안에 처리가 가능한 응급 데이터이기 때문에 GTS를 침범하지 않는다. 따라서 기존에 의료 디바이스들이 예약해둔 GTS는 첫 번째 경우와 같이 정상적으로 동작하게 된다. 세 번째로, 한 슬롯 안에 처리가 불가능한 크기의 응급 데이터가 발생한 경우이다. 이같은 경우에 응급 데이터가 발생한 디바이스는 우선적으로 CTS에서의 우선순위 기반 경쟁을 통해 해당 CTS를 선점한다. 이때, 전송하는 데이터의 헤더에는 전송되는 응급

[표 1] 우선순위 기반의 channel access에 따른 CW/CP값

| User Priority | Description | CSMA/CA | | Slotted Aloha access | |
|---------------|---|---------|-------|----------------------|-------|
| | | CWmin | CWmax | CPmax | CPmin |
| 0 | Background | 16 | 64 | 1/8 | 1/16 |
| 1 | Best effort | 16 | 32 | 1/8 | 3/32 |
| 2 | Excellent effort | 8 | 32 | 1/4 | 3/32 |
| 3 | Video | 8 | 16 | 1/4 | 1/8 |
| 4 | Voice | 4 | 16 | 3/8 | 1/8 |
| 5 | Medical data or network control | 4 | 8 | 3/8 | 3/16 |
| 6 | High priority medical data or network control | 2 | 8 | 1/2 | 3/16 |
| 7 | Emergency or medical event report | 1 | 4 | 1 | 1/4 |



[그림 8] 응급 데이터 처리의 예

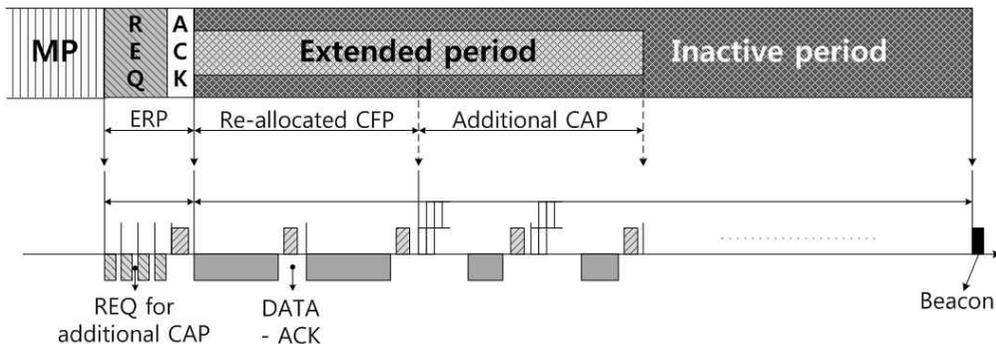
데이터의 크기가 한 슬롯 안에서 처리하지 못하므로 CTS이후에 따라오는 GTS를 사용한다는 GTSusage flag를 설정하여 보내게 된다. 응급 데이터를 받은 코디네이터는 GTSusage flag를 확인하고 true이면 re-allocated GTS list에 의료 데이터 전송으로 인해 침범당한 GTS를 예약한 디바이스를 등록한다. 이는 이후 EP에서의 re-allocated CFP에 재할당을 하여 의료데이터의 신뢰성을 보장해 주기 위함이다. 의료 데이터 전송으로 인해 침범된 GTS를 예약한 디바이스에게 응급 데이터가 발생한 디바이스가 해당 GTS를 사용하는 사실을 알려주기 위해 코디네이터는 GTS의 시작지점에 broadcast하는 polling message에 응급 데이터가 발생한 디바이스의 주소를 넣어 보낸다. polling message를 수신한 GTS를 예약한 디바이스는 예약한 GTS를 사용할 수 없음을 확인하고 sleep 모드로 전환함으로써 불필요한 전력소모를 줄인다.

[그림 8]은 MP에서 발생할 수 있는 데이터 전송 시나리오의 예를 보여준다. 첫 번째 CTS-GTS는 위에서 언급한 첫 번째 시나리오이며, 두 번째 CTS-GTS는 두 번째 시나리오, 세 번째 CTS-GTS는 세 번째 시나리오이다.

3.2 확장 구간 (EP; Extended Period)

WBAN은 다양한 디바이스로 구성되어 의료, CE 서비스를 제공한다. 2절에서 언급한 각 서비스의 상이한 특성들과 이들을 만족시키기 위해서 연구된 MAC 프로토콜은 대부분 하이브리드 슈퍼프레임 구조를 띄고 있으며, IEEE 802.15.6 표준에서도 비슷한 형태의 슈퍼프레임 구조를 가지는 MAC 프로토콜을 제안하고 있다 [2]. 하지만 WBAN의 가장 중요한 요구사항인 저전력을 보장하기 위해 앞서 언급한 MAC 프로토콜은 Inactive period를 가지고 있으며, 이로 인해 의료 및 CE 데이터의 지연시간의 증가가 불가피하게 된다. 또한, 예외적인 상황인 응급 데이터 전송에 있어 기존에 전송구간을 예약받은 디바이스가 전송을 보장받지 못하는 경우가 발생하여 데이터 전송의 신뢰도가 떨어지게 된다. 본 논문에서는 3.1절에서 언급한 MP와 더불어 EP를 제안한다. 제안하는 EP는 응급 데이터 처리로 인해 보장받지 못한 의료 데이터의 전송을 위해 GTS의 재할당은 물론, 추가적인 데이터 전송이 필요한 디바이스의 요청을 받아 필요시에 Inactive period를 데이터 전송에 활용할 수 있는 방안을 제공한다.

[그림 9]는 EP의 구조를 나타낸다. EP는 크게 3개의 서브구간으로 나



[그림 9] Mixed period의 구조

누어지며, 이는 ERP (Extending Request period), re-allocated CFP, 그리고 additional CAP로 구성된다. [그림 10]은 EP의 동작을 pseudo-code로 도시화 한 것이다.

ERP에서는 EP의 마지막 구간인 additional CAP에서의 데이터 전송을 원하는 디바이스로부터 전송 요청을 받는 구간이다. 코디네이터는 ERP

Algorithm of Extended Period

Start of Inactive period

```

1.  Additional_CAP_Count = 0
2.  while(EP_REQ_TIME != 1 slot)
3.    if(receive CAP REQ)
4.      Additional_CAP_Count++
5.    end of if
6.  end of while
7.  if(RE_ALLOC CFP List != NULL || Additional_CAP_Count != 0)
8.    Switch to Extended period(EP)
9.    broadcast ACK message
10.   while(RE_ALLOC CFP List != NULL)
11.     Dequeue(RE_ALLOC CFP List)
12.   end of while
13.   while(!End of Superframe)
14.     if(End of Inactive period || Additional_CAP_Count == 0)
15.       go to sleep mode
16.       Additional_CAP_Count = 0
17.     else
18.       operate slotted-CSMA/CA
19.     end of if
20.   end of while
21. else
22.   maintain Inactive period
23. end of if

```

[그림 10] EP의 알고리즘

구간에서 각 디바이스로의 요청을 받으며, 요청 받은 횟수를 카운트 하여 저장한다. 또한 ERP의 후반부에 ACK message를 broadcast 함으로써 re-allocated CFP의 GTS 할당 정보와 additional CAP의 시작과 종료 타이밍 정보를 디바이스들에게 전달한다.

Re-allocated CFP 구간은 앞서 살펴본 MP에서 하나의 슬롯으로 처리가 불가능한 크기의 응급 데이터 처리 과정 중 GTS를 예약하였지만 응급 데이터의 전송으로 인해 보장받지 못한 디바이스를 위해 구축된 re-allocated GTS list를 기반으로 스케줄 된다. re-allocated GTS list에 등록된 디바이스의 등록 순서에 따라 GTS의 재할당이 이루어지며, 이는 ERP의 ACK message 전송을 통해 재할당 받은 GTS 정보를 디바이스에게 알려준다. re-allocated CFP 구간에서는 MP에서의 응급 데이터 처리 기법을 사용하지 않고 기존의 IEEE 802.15.4의 CFP와 동일하게 동작한다. 이와 같이 re-allocated CFP가 MP와 같이 CTS를 통한 응급 데이터 처리를 하지 않는 이유는 뒤따라 오는 additional CAP에서의 우선순위 기반 경쟁을 통한 응급 데이터 처리가 가능하기 때문이다. 또한, 연속적으로 최대 7슬롯이 할당되기 때문에 IEEE 802.15.6 TRD에서 언급한 의료 및 CE 서비스에서의 최대 지연시간을 초과하지 않으므로 복잡한 메커니즘을 사용하지 않고 기존의 GTS할당 방식을 사용한다. 한편, MP에서 발생한 슬롯으로 처리가 불가능한 응급 데이터의 발생 횟수에 따라 가변적으로 변하므로, EP가 시작하는 시점에서 re-allocated GTS list가 비어있다면, re-allocated CFP는 구성되지 않는다.

Inactive period에서의 추가적인 전송을 제공하기 위해서 additional CAP는 ERP와 re-allocated CFP를 제외한 나머지 구간을 활용한다. re-allocated CFP의 끝을 기준으로 시작하여 최대 Inactive period의 종료 시점까지 할당될 수 있다. Additional CAP은 ERP에서의 전송 요청의 횟

수에 따라 동적으로 할당되며, 할당 기준은 슬롯단위이다. 만약, Re-allocated CFP 이수로 남은 슬롯의 수가 ERP에서 카운팅한 요청 횟수 보다 크다면 요청 횟수 만큼의 슬롯을 할당하며, 남은 슬롯의 수가 요청 횟수보다 작다면 Inactive period이 끝나는 시점까지 할당하게 된다. Additional CAP에서는 MP에서의 channel access 정책을 그대로 적용하여 IEEE 802.15.6에서 정의하고 있는 8개의 우선순위를 기반으로 channel 을 점유할 수 있으므로, 응급 및 의료 데이터의 우선적인 처리가 가능하다.

4. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경

제안하는 응급 데이터 처리 방안의 성능 평가를 위해 본 논문은 제안하는 응급 데이터 처리 방안과 성능 비교 대상으로 동일하게 beacon-enable 슈퍼프레임 구조를 사용하는 현재 WBAN 구현에 많이 사용되는 무선 센서 네트워크 표준의 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜과 응급 데이터 처리를 위해 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜을 개선한 PNP-MAC을 선택하여 성능 분석을 수행하였다.

본 논문에서는 가장 먼저 시뮬레이션 모델을 설명하고, 이후에 시뮬레이션 시나리오를 설명한다.

시뮬레이션 환경의 PHY 모델은 ISM 주파수 대역으로 가정한다. O-QPSK 변조, 2,200 kcps chip rate, 그리고 250 kbps data rate을 사용하며, IEEE 802.15.4 표준과 동일한 기준을 따른다 [4].

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 IEEE 802.15.6 TRD에 명시되어 있는 최대 지연시간을 만족하여 데이터를 전송할 수 있도록 할 수 있는 최대값으로 $BO = 4$ (245,76ms 슈퍼프레임 길이), $SO = 3$ (122.88ms Active period 길이)으로 값을 정하였다. 또한 Inactive period를 EP로 변환하여 사용하는 경우 IEEE 802.15.4 및 PNP-MAC과의 동등한 비교가 되지 않을 수 있으므로 Inactive period가

없는 슈퍼프레임인 $BO = SO = 3$ 인 경우의 성능평가도 실시 하였다.

시뮬레이션의 트래픽 모델은 다음과 같다.

의료 디바이스는 IEEE 802.15.6 Call for Application 문서에서 언급된 250 Hz의 주기를 가지는 ECG (electrocardiography), 50 Hz의 주기를 가지는 breathing rate, 120 Hz의 주기를 가지는 aererial pressure, 그리고 200Hz의 주기를 가지는 respiration rate로 구성되며 각각 40 byte의 데이터를 각 디바이스가 가지는 주기마다 발생시킨다. 또한, 응급 데이터의 경우에는 random하게 발생하며, 응급 데이터의 size는 40 bytes에서 400 bytes 사이의 범위에서 uniform distribution을 적용하여 임의로 발생된다. 반면, CE 디바이스는 2500 bytes의 데이터를 산발적으로 발생시킨다. 각 디바이스에서 발생된 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 제네레이터에 의해 발생하도록 설계되었다. 분할되는 최대 크기는 IEEE 802.15.6 MAC을 따른다.

위의 모든 시뮬레이션은 OMNeT++를 이용하여 구현되었다 [11].

[표 2] 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 2]는 위의 시뮬레이션 모델을 정리한 것이다.

위의 시뮬레이션 모델을 기반으로 시뮬레이션 시나리오는 다음과 같이 진행된다.

존재하는 의료 디바이스는 ECG 20%, breathing rate 20%, aererial pressure 20%, respiration rate 20%, 그리고 CE 20%로 동일 비율로 16개, 32개, 64개의 경우까지 구현하였으며, BO = 4, SO = 3인 환경에서 제안하는 응급 데이터 처리 방안과 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜, 그리고 PNP-MAC의 시뮬레이션 수행 및 성능을 측정한다. 이후 동일한 방법으로 시뮬레이션을 수행하면서 BO = SO = 3의 환경에서도 동일하게 데이터를 발생시켜 전송을 시도한다.

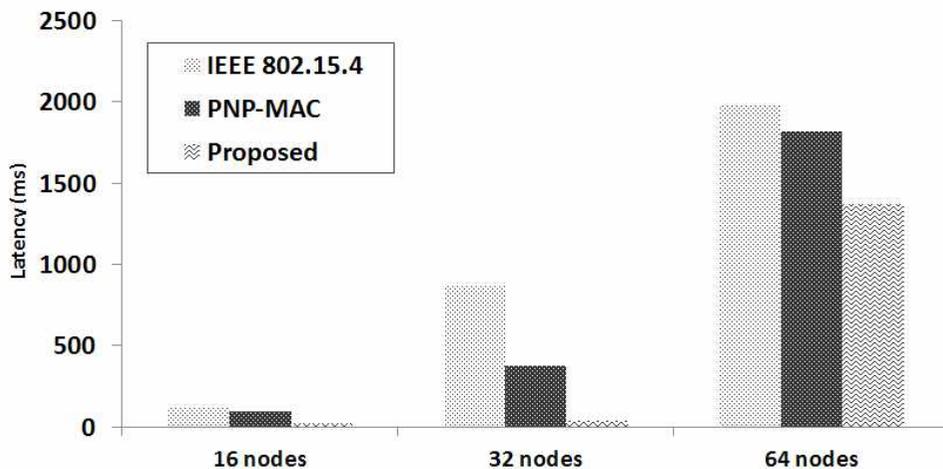
4.2 결과 및 분석

4.1 절 시뮬레이션 환경에서 언급된 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 시나리오에 따라 성능을 분석한 결과 응급, 의료, 그리고 CE 데이터의 전송 지연 (Latency)에서 다음과 같은 결과를 얻을 수 있었다.

4.2.1 Case 1: Inactive period가 있는 슈퍼프레임

먼저 슈퍼프레임에 inactive period가 있는 $BO = 4$, $SO = 3$ 인 경우에 각 디바이스들을 16개부터 64개까지 4.1절에서 언급한 동일한 비율로 구성하여 제안하는 응급 데이터 처리 방안과 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜, 그리고 PNP-MAC의 시뮬레이션을 수행하였다.

[그림 11]은 시뮬레이션 수행 결과 얻어진 제안하는 응급 데이터 처리 기법과 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜, PNP-MAC에서 의료 데이터의 전송 지연 (Latency)을 나타낸다.

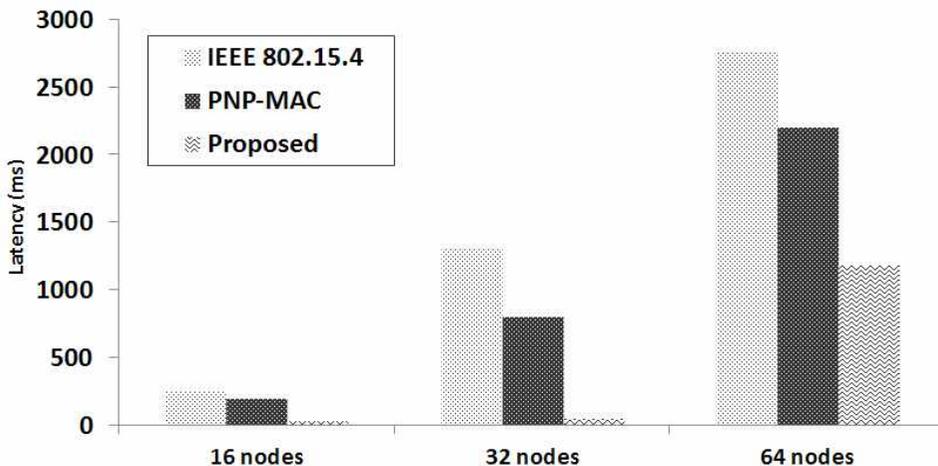


[그림 11] 의료 데이터의 평균 전송 지연 ($BO = 4 / SO = 3$)

[그림 11]은 노드가 16개부터 동일한 비율로 64개까지 증가함에 따라서 변화되는 전송 지연을 나타낸다. IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 의료 데이터 전송에 있어 가장 높은 전송 지연을 보이고 있다. 그 이유는 inactive period로 인한 지연이 발생하기 때문이다. 또한 CAP에서 모든 종류의 데이터 전송이 동일한 우선순위를 가지기 때문에 의료 및 응급 데이터의 전송 지연이 늘어날 수 있다. 이와는 다르게 제안하는 응급 데이터 처리 방안과 PNP-MAC은 낮은 전송 지연을 보여주는데, 우선순위 기반의 경쟁을 통한 channel access가 가능하기 때문이다. 의료 데이터에 높은 우선순위를 부여하고 있는 PNP-MAC은 CAP에서의 의료 데이터 전송이 우선시 되기 때문에 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜 보다 낮은 전송 지연을 보여주지만 제안하는 방안은 PNP-MAC보다 더 낮은 전송 지연을 보여준다. PNP-MAC은 응급 데이터를 처리함에 있어 누락될 수 있는 의료데이터에 대한 예외처리가 없기 때문에 이같은 결과를 보여주게 된다. EP에서의 추가적인 전송과 응급 데이터의 전송을 위한 GTS 재할당은 응급 데이터로 인해 유실될 수 있는 의료 데이터의 낮은 지연과 높은 신뢰성을 보장해 줄 수 있으며, 이는 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜과 PNP-MAC보다 낮은 전송 지연을 보여주는 이유라 볼 수 있다.

네트워크에 참여하는 디바이스의 수가 많아질수록 전송지연이 크게 느는 이유는 시뮬레이션 환경에서의 슈퍼프레임 크기가 발생하는 데이터 전송을 모두 수용할 수 없기 때문이다. 제안하는 응급 데이터 처리 방안과 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜, PNP-MAC 모두가 같은 환경에서 시뮬레이션을 수행함에도 불구하고 제안하는 응급 데이터 전송 방안에서의 의료 데이터 전송 지연이 낮은 이유는 EP를 통한 추가적인 전송과 우선순위 기반의 channel access로 인해 의료 데이터 전송을 수용함에 있어 제안하는 방안이 더 우수하기 때문이다.

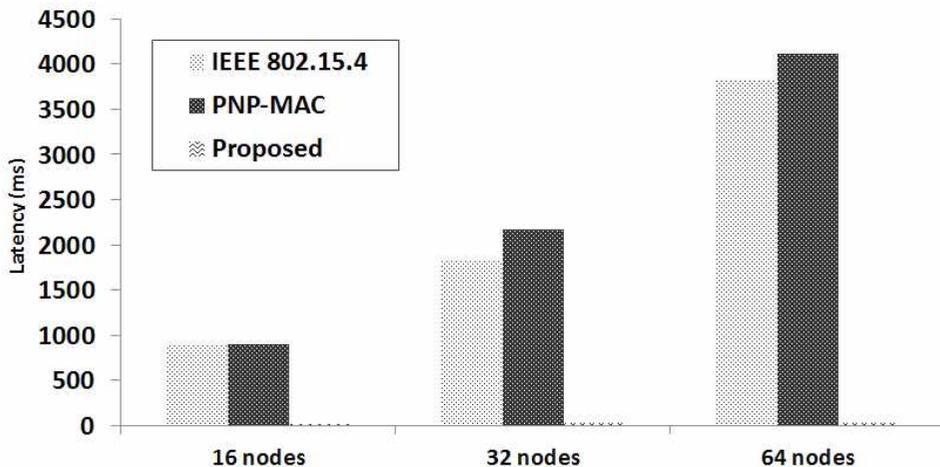
[그림 12]는 BO = 4, SO = 3인 환경에서의 응급 데이터 전송의 지연 시간이다. 응급 데이터 전송에 있어 예외적인 처리가 전혀 없는 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜의 경우, 가장 높은 전송지연을 보여준다. 특히 16개의 디바이스가 네트워크를 구성하는 경우에도 IEEE 802.15.6 TRD에서 언급한 의료 데이터의 최대 지연시간인 125ms를 훨씬 초과하는 것을 볼 수 있다. 상대적으로 PNP-MAC은 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜보다 낮은 전송지연을 보이지만, IEEE 802.15.6 TRD의 최대 전송 지연 요구사항을 만족하지 못한다. 이는 PNP-MAC의 구조상 DTS에서의 special slot을 운용함에 있어 special slot들 간의 interval에 따라 응급 데이터의 전송이 지연될 수 있기 때문이다. 또한 응급 데이터를 처리하지 못한 상황에서 Inactive period을 진입하게 되면 다음 슈퍼프레임 주기가 오기 전까지 해당되는 시간만큼의 최소 지연이 발생하기 때문에 높은 지연시간이 발생하게 된다. 반면, 제안하는 응급 데이터 처리 방안은 MP에서의 응급 데이터 처리뿐만 아니라 MP 및 EP를 구성하는 CTS에서의 우선순위 기반의 channel access가 가능하기 때문에 네트워크를 구성하는 디바이스의 수가 32개가 될 때 까지도 IEEE 802.15.6 TRD에서 명시하는 의료 데이



[그림 12] 응급 데이터의 평균 전송 지연 (BO = 4 / SO = 3)

터의 최대 지연시간을 만족한다. 하지만 64개의 디바이스가 네트워크를 구성하는 경우에는 의료 데이터와 마찬가지로 슈퍼프레임에서 수용할 수 있는 데이터 양을 초과하기 때문에 높은 전송 지연을 보여준다.

[그림 13]은 앞서 분석한 의료 및 응급 데이터의 전송지연을 시뮬레이션 한 환경과 동일한 환경에서의 CE 데이터 전송에 있어 발생된 평균 전송 지연을 나타낸다. EP를 통해 추가적인 전송이 가능한 제안하는 응급 데이터 처리 방안의 경우 산발적으로 발생하는 CE 데이터 전송을 모두 수용하는 것을 볼 수 있다. 반면, Inactive period에서의 추가적인 전송을 제공하지 않는 PNP-MAC과 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 높은 지연 시간이 발생하는 것을 볼 수 있다. 특히, PNP-MAC의 경우에는 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜보다 더 높은 지연시간이 발생하는 것을 볼 수 있는데, 이는 PNP-MAC이 한정된 Active period의 자원을 활용함에 있어 의료 및 응급 데이터 전송에 더 높은 우선순위를 주기 때문에 상대적으로 CE 데이터의 전송 지연이 증가하기 때문이다.

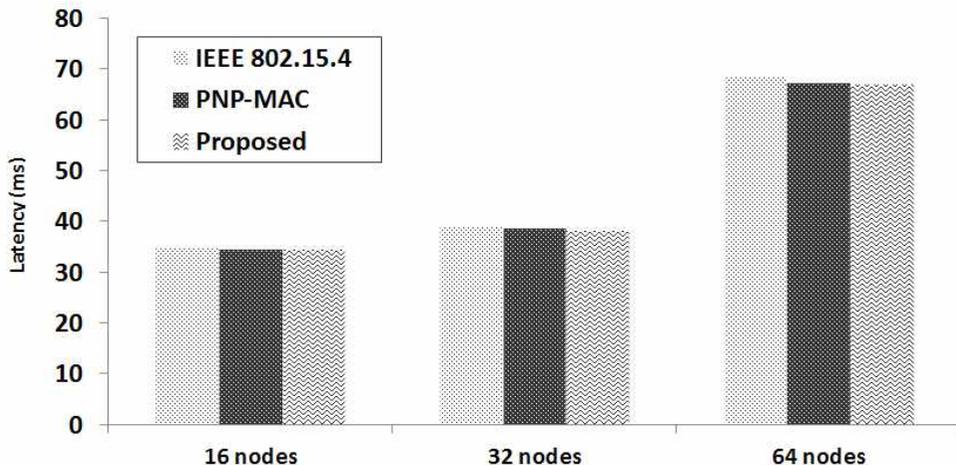


[그림 13] CE 데이터의 평균 전송 지연 (BO = 4 / SO = 3)

4.2.2 Case 2: Inactive period가 없는 슈퍼프레임

추가적인 전송을 제공하는 제안하는 응급 데이터 처리 방안과 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜, PNP-MAC을 비교함에 있어 공정하지 않은 성능평가가 될 수 있으므로, 추가적인 전송 구간을 적용하지 못하는 환경에서의 성능분석을 실시 하였다. 4.1절에서 언급한, 슈퍼프레임 구간과 Active구간이 같아지게 하기 위해 SO와 BO를 모두 3으로 설정한 가운데 시뮬레이션을 진행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

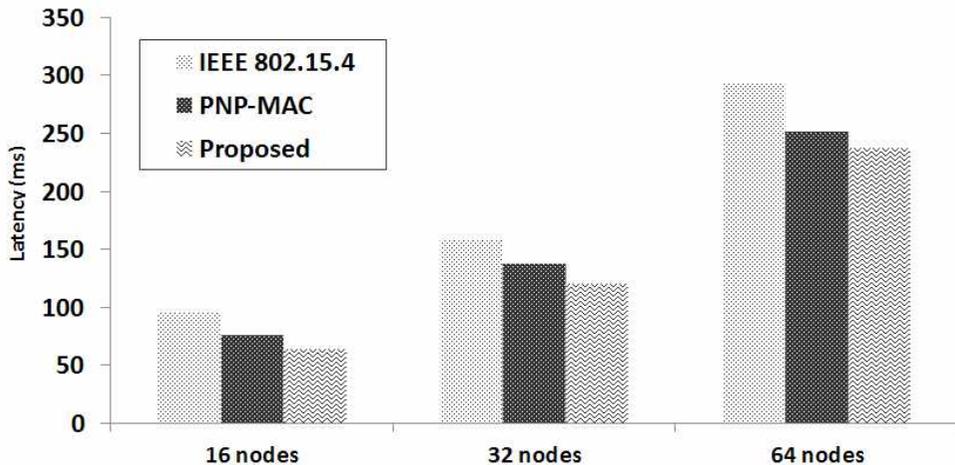
[그림 14]는 BO = SO = 3인 환경에서의 평균 의료데이터 전송 지연을 나타낸다. IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜, PNP-MAC, 그리고 제안하는 응급 데이터 처리 방안 모두 같은 크기의 가용 전송 슬롯을 가지고 있기 때문에 의료 데이터 전송에 있어 전송지연의 차이가 크지 않음을 볼 수 있다. 하지만 제안하는 방안과 PNP-MAC은 우선순위 기반의 channel access를 통해 의료 및 응급 데이터의 전송을 우선적으로 처리할 수 있기



[그림 14] 의료 데이터의 평균 전송 지연 (BO = SO = 3)

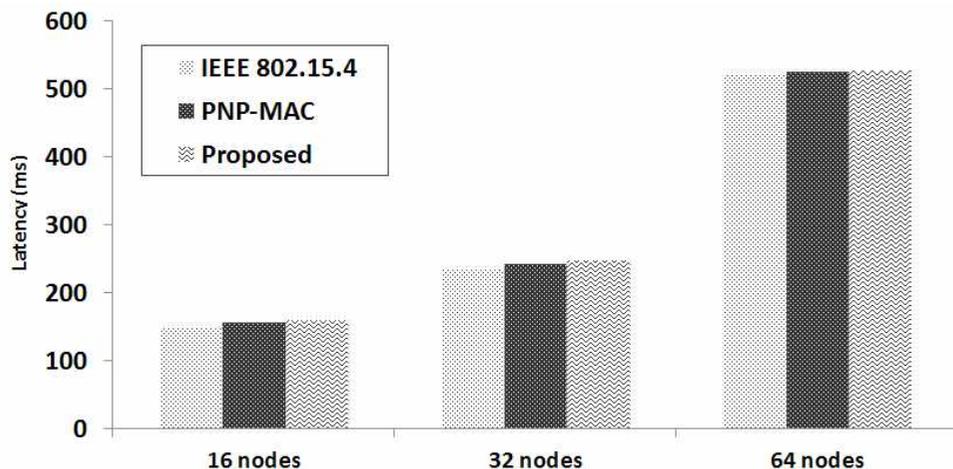
때문에 IEEE 802.15.4에 비해 더 낮은 전송 지연이 발생함을 볼 수 있다. 제안하는 방안과 PNP-MAC의 전송 지연의 차이가 크게 나지 않는 이유는 응급 데이터 처리로 인해 누락되는 의료 데이터의 재할당이 이루어지지 않기 때문이다.

[그림 15]는 응급 데이터의 평균 전송 지연을 보여준다. 응급 데이터의 경우에는 의료 데이터에 비해 전송지연의 차이가 큰 것을 볼 수 있다. IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 모든 종류의 데이터가 동등한 우선순위를 가지고 있기 때문에 산발적으로 발생하는 응급 데이터의 즉각적인 처리가 불가능하다. 따라서 응급 데이터 처리를 제공하는 제안하는 방안과 PNP-MAC에 비해 높은 지연시간을 보인다. PNP-MAC은 앞서 4.2.2 절에서 언급한 바와 같이 special slot간의 interval로 인해 즉각적인 응급 데이터 처리가 이루어지지 않는다. 반면 제안하는 응급 데이터 처리 방안은 MP에서의 즉각적인 응급 데이터 처리가 가능하므로 PNP-MAC보다 낮은 전송 지연을 보여준다.



[그림 15] 응급 데이터의 평균 전송 지연 (BO = SO = 3)

[그림 16]은 CE 데이터의 평균 전송 지연을 나타낸다. 앞선 결과와는 반대로 CE 데이터 전송의 전송 지연은 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜이 가장 좋은 결과를 보여주는데, 이는 가용 자원이 동일한 환경에서 상대적으로 의료 및 응급 데이터 처리에 중점을 둔 PNP-MAC과 제안하는 응급 데이터 처리 방안이 CE 데이터 처리율이 낮기 때문이다. 반면 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 모든 종류의 데이터가 동등한 우선순위를 가지고 channel access를 하기 때문에 상대적으로 CE 데이터의 처리가 용이하기 때문에 PNP-MAC과 제안하는 방안보다 낮은 전송 지연을 보여준다. 제안하는 방안은 PNP-MAC에 비해 높은 전송 지연을 보여주는데, 이는 응급 데이터를 처리하는데 사용되는 자원이 PNP-MAC에 비해 많으므로 상대적으로 CE 데이터를 처리하는데 사용되는 자원이 적어지기 때문이다.



[그림 16] CE 데이터의 평균 전송 지연 (SO = BO = 3)

5. 결론

WBAN은 인체를 중심으로 3-5m 영역에 존재하는 의료 및 CE 디바이스를 통해 의료 및 CE 서비스를 제공하는 무선 통신 기술이다. 본 논문에서는 WBAN에서 발생할 수 있는 데이터의 특성 및 요구사항을 분석하고, 이를 토대로 즉각적이고 신뢰성 있는 응급 데이터 처리를 위해 슈퍼프레임 구조에 적용 가능한 응급 데이터 처리 방안을 제안한다. 제안하는 응급 데이터 처리 방안은 CFP를 대체하여 응급 데이터를 유연하게 처리할 수 있는 Mixed period를 제안하고, 응급 데이터 처리로 인해 누락될 수 있는 의료 데이터의 신뢰성 있는 전송 보장을 위해 GTS의 재할당 및 추가적인 데이터 전송을 요구하는 디바이스를 위해 추가적인 전송 슬롯 할당을 제공하는 Extended period를 제안한다.

제안하는 응급 데이터 처리 기법의 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜 및 응급 데이터 처리에 특화된 PNP-MAC과 비교했을 때 의료 및 응급, CE 데이터의 전송 지연에서 WBAN 요구사항을 충족할 수 있게 동작하여 높은 성능을 나타내는 성능 분석 결과를 얻을 수 있었다.

하지만, 저전력을 위해 존재하는 Inactive period를 활용한 데이터 전송을 하는 EP로 인해 전력 소모량이 증가할 수 있으며, Inactive period가 없는 상황에서는 CE 데이터의 전송에 있어 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜과 PNP-MAC에 비해 높은 전송 지연을 보였다. 또한 네트워크를 구성하는 디바이스의 수가 많아짐에 따라 지연시간이 증가하여 최대 256개의 디바이스를 수용할 수 있어야 하는 WBAN의 요구사항을 만족 시키기에는 부족함이 있다.

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] TG6 Body Area Networks(BAN) draft standards, IEEE 802.15-10-0245-06-0006.
- [3] TG6 Technical Requirements Document(TRD), IEEE 802.15-08-0644-09-0006.
- [4] TG6 Call for Applications - response summary, IEEE 802.15-08-0407-05-0006.
- [5] IEEE 802.15.4 Standard-2003, "Part 15.4: WirelessMedium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specification for Low-Rate Wireless Personal Area Networks(LR-WPANs)," 2003.
- [6] Y. Zhang and G. Dolmans, "A New Priority-guaranteed MAC Protocol for Emerging Body Area Networks," In 5th ICWMC, pp. 140-145, Aug., 2009.

- [7] D. Yun, S.-E. Yoo, D.-Y. Kim, and D.-H. Kim, "OD-MAC: An Ondemand MAC Protocol for Body Sensor Networks Based on IEEE 802.15.4," Proc. 14th IEEE International Conference on Embedded and Real-Time Computing Systems and Applications, pp. 413-420, Aug., 2008.
- [8] Y.-S. Seo, D.-Y. Kim, and J. Cho, "A Dynamic CFP Allocation and Opportunity Contention-Based WBAN MAC Protocol," IEICE Transactions on Communications, Vol. E93-B, No. 4, Apr., 2010.
- [9] J. S. Yoon, G.-S. Ahn, S.-S. Joo, and M. J. LEE, "PNP-MAC: Preemptive slot allocation and Non-Preemptive transmission for Providing QoS in Body Area Networks," Proc. IEEE Consumer Communications and Networking Conference, pp. 1-5, Jan., 2010.
- [10] O. Omeni, A. Wong, A. J. Burdett, and C. Toumazou, "Energy EfficientMediumAccess Protocol forWirelessMedical Body Area Sensor Networks," Proc. IEEE Transactions on Biomedical Circuits and Systems, Vol. 2, Issue. 4, pp. 251-259, Dec., 2008.
- [11] L. Romdhani, Ni. Qiang, and T. Turletti, "Adaptive EDCF: enhanced service differentiation for IEEE 802.11," Proc. Wireless Communications and Networking, Vol. 2, pp. 1373-1378, Mar., 2003.

- [12] A. Varga, “The OMNeT++ discrete event simulation system,”
Proc. European Simulation Multiconference, pp. 319–324, 2001.

Abstract

An Emergency Handling Scheme for Superframe-Structured MAC Protocols in WBANs

BeomSeok, Kim

Dept. of Computer Engineering

Graduate School of Kyung Hee University

Wireless body area networks (WBANs) provide medical and/or consumer electronics (CE) services within the vicinity of a human body. In a WBAN environment, immediate and reliable data transmissions during an emergency situation should be supported for medical services. In this letter, we propose a flexible emergency handling scheme for WBAN MAC protocols. The proposed scheme can be applied to superframe-structured MAC protocols such as IEEE 802.15.4 and its extended versions. In addition, our scheme can be incorporated into the current working draft for IEEE 802.15.6 standards. Extensive simulations

were performed and the low latency of emergent traffics was validated.

Key words: wireless body area network, emergency handling, superframe structure

감사의 글

연구실에 들어온지 벌써 3년이라는 세월이 흘렀습니다. 먼저 이 자리에 있기까지 저를 지탱해 주신 하느님께 감사드립니다. 처음 학부연구생으로 연구실에 들어왔을 때의 큰 다짐을 잊지 않게 아낌없는 관심과 조언, 지원을 해 주신 아버지, 어머니, 그리고 저의 모든 고민을 들어주고 언제나 해답을 주는 누나에게도 감사드리고 싶습니다.

학부 시절부터 많은 관심과 지도를 해 주신 조진성 교수님께 진심으로 감사드립니다. 학술적인 지도뿐만 아니라, 제자들의 인성적인 측면까지 때로는 따끔하게 지적해 주시고, 때로는 따뜻하게 감싸주시는 교수님은 제 인생에 있어 아버지 이후로 제가 만나본 교육자 중 최고의 교육자이십니다. 다시 한번 감사드립니다.

3년이라는 기간동안 함께 생활한 동료들의 도움이 없었더라면 절대 여기까지 오지 못했을 것입니다. 특히, 졸업하셨음에도 불구하고 많은 조언과 도움을 주신 진정한 랩장님 대영이형, 언제나 인자함으로 저의 용기를 북돋아주신 충용이형, 저의 롤모델이신 영선이형, 연구실 살림꾼 학수형, 전대 랩장 의연이형, 언제나 생각나는 요한이형, 즐기는 인생이 부러운 경원이형, 2년을 함께한 동기 상배, 이전에도 앞으로도 연구실 생활의 동반자가 될 자룡이, 언제나 웃는 개구리 병식, 하드코더 부사수 병선이, 학점따느라 고생하는 승준이, 랩장 잔소리에도 불구하고 잘 따라와주는 대훈, 윤정, 성현, 건륜, 그리고 지금은 연구실에 없는 용빈이, 재우에게도 고맙다는 말을 전하고 싶습니다.

연구실에서 생활하지 못했지만 많은 도움을 주신 건백형, 두경형, 준하형, 권택형, 재호형, 상하형, 귀로형, 준성이, 용규에게도 감사드립니다. 그리고 힘든시간 함께한 네트워킹 연구실 내친구 진혁이, 태일이, 준이, 형규, 종민이, 그리고 항상 응원해주는 아뉴스데이 후배들과 영통성령성당 청년회에게도 감사의 글을 남깁니다.

앞으로 스스로의 발전과 감사의 마음을 담아 이 논문을 바칩니다.

2012년 겨울 김범석 드림