

IEEE 802.15.4 기반 WBAN의 공존 문제 완화 기법[☆]

A Coexistence Mitigation Scheme in IEEE 802.15.4-based WBAN

최 종 현¹ 김 병 선¹ 조 진 성^{1*}
Jong-hyeon Choi Byoung-seon Kim Jin-sung Cho

요 약

인체를 중심으로 동작하는 WBAN(Wireless Body Area Network)은 의료 및 비의료 서비스를 동시에 제공하는 것을 목적으로 하며, 저전력, 다양한 전송률과 높은 데이터 신뢰성을 요구하는 근거리 통신 기술이다. 이러한 요구사항을 만족시킬 수 있는 통신기술 표준 중 IEEE 802.15.4는 WBAN 운영에 높은 호환성을 제공할 수 있어 이를 통한 다양한 연구가 진행되고 있다. 한편, IEEE 802.15.4 기반 다수의 WBAN이 밀집될 경우 발생하는 신호 간섭과 충돌은 데이터의 신뢰성을 저하시키는 주요한 원인되고 있으며, IEEE 802.15.4 표준은 다수의 네트워크가 공존하는 상황을 고려하여 설계되지 않았기 때문에 이에 대한 개선이 필요하다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 사전 실험을 통해 IEEE 802.15.4 기반의 WBAN 간 공존 상황에서 발생할 수 있는 문제점들을 파악하였고, 실험 결과를 바탕으로 다수의 WBAN이 공존하는 상황에서의 신뢰성 저하를 완화하기 위한 기법을 제안한다. 제안하는 기법의 동작은 크게 두 단계로 구분될 수 있으며, 첫 번째 단계에서는 슈퍼 프레임의 CFP 구간에서의 데이터 전송 방법을 개선하여 WBAN 간 충돌을 회피하며, 두 번째 단계에서는 채널 접근 방식을 전환함으로써 충돌을 완화한다. 제안하는 기법은 표준 기반의 WBAN과 비교 실험을 수행하여 성능을 검증하였다.

☞ 주제어 : IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, 무선 인체 영역 네트워크, 데이터 신뢰성, 공존성 문제

ABSTRACT

WBAN(Wireless Body Area Network) operating around the human body aims at medical and non-medical service at the same time, and it is the short-range communication technology requiring low-power, various data rate and high reliability. Various studies is performing for IEEE 802.15.4, because IEEE 802.15.4 can provide high compatibility for operate WBAN among communication standard satisfiable these requirements. Meanwhile, in the case of coexisting many IEEE 802.15.4-based WBAN, signal interference and collision are the main cause that is decreasing data reliability, but IEEE 802.15.4 Standard does not consider about coexistence of many networks, so it needs improvement. In this paper, To solve about this problem, identify coexistence problem of IEEE 802.15.4-based WBAN by preliminary experiments, and propose a scheme to mitigate the reliability decrease at multiple coexistence WBAN. The proposed scheme can be classified in two steps. The first step is avoidance to collision on the CFP through improving data transmission. The second step is mitigation collision through converting channel access method. Proposed scheme is verified the performance by performing comparison experiment with Standard-based WBAN.

☞ keyword : IEEE 802.15.4, IEEE 802.15.6, Wireless Body Area Network, Data reliability, Coexistence problem

1. 서 론

WBAN(Wireless Body Area Network)은 인체를 중심으로 반경 3미터 이내 기기들을 무선으로 연결하여 의료 및 비의료 서비스를 동시에 제공하는 것을 목표로 하는

통신 기술이다. 이러한 WBAN의 표준화를 위해 IEEE 802.15 Working Group은 2007년에 IEEE 802.15 Task Group 6을 구성하였고, 2012년에 표준화를 완료하였다. 제정된 표준은 기본적으로 다양한 PHY layer와 MAC sublayer를 정의하고 있으며, QoS, 초저전력, 높은 신뢰성, 최대 10Mbps까지의 다양한 데이터 전송 속도를 제공하는 것을 목표로 한다[1]. 하지만 IEEE 802.15.6 표준 기반의 RF 모듈 개발은 아직 완료되지 않은 상태이다.

한편, LR-WPAN(Low-Rate Wireless Personal Area Network)은 PHY layer와 MAC layer를 정의하는 IEEE 802.15.4 표준으로써, 센서나 가전기기에 사용될 목적으로 10m 내외의 POS(Personal Operation Space)에서 저전력과 저비용 및 저속의 데이터 전송을 제공한다[2]. 이러한

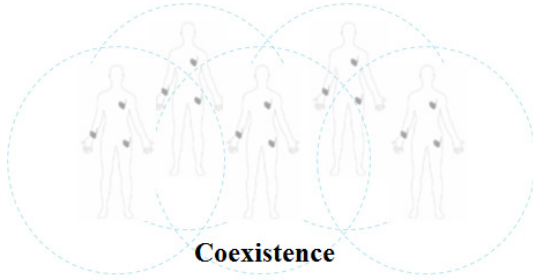
¹ Dept of Computer Engineering, Kyung Hee Univ., Suwon-si, Gyeonggi-do, 446-701, Korea.

* Corresponding author (chojs@khu.ac.kr)

[Received 11 December 2014, Reviewed 22 December 2014(R2 21 April 2015), Accepted 19 May 2015]

☆ 이 논문은 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터육성 지원 사업 (NIPA-2014-(H0301-14-1003)) 및 교육부 및 한국연구재단의 기초연구사업(NRF-2013R1A1A2059741)의 지원으로 수행된 연구결과임.

특징은 WBAN에 높은 호환성을 제공할 수 있기 때문에 IEEE 802.15.4 기반의 WBAN에 대한 다양한 연구가 이루어지고 있다[3-10].



(그림 1) WBAN 공존
(Figure 1) Coexistence of WBAN

WBAN은 그림 1과 같이 밀집된 지역에 다수의 WBAN이 공존하는 경우가 빈번히 발생할 수 있다. 이러한 공존 상황에서는 네트워크 간 신호 간섭 및 충돌로 인해 데이터 신뢰성 저하를 유발하며, 이러한 문제는 WBAN 사용자의 생명에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 IEEE 802.15.6 표준에서는 beacon shifting, channel hopping, active superframe interleaving 과 같은 공존성 문제 회피 방안을 제시하고 있다. 하지만, IEEE 802.15.4 표준은 동종 무선 네트워크들이 공존하는 상황을 고려하지 않았기 때문에 외부의 간섭이나 충돌이 더 빈번하게 발생하여 데이터 신뢰성을 하락시키는 주요한 원인이 된다.

본 논문에서는 WBAN 간의 공존 상황에 따른 성능 변화를 파악하기 위해 사전 실험을 진행하였으며, 확인된 결과를 토대로 공존 상황으로 인해 발생하는 신뢰성 저하를 완화하는 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 두 단계(Phase 1, 2)에 걸쳐 동작하며, Phase 1에서는 슈퍼프레

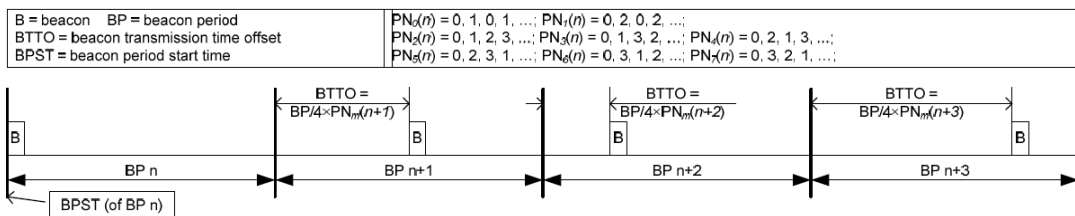
임 내 CFP의 시작 시간을 이동시키는 동시에 타임 슬롯을 분할된 미니 슬롯으로 나누어 충돌을 회피한다. 그럼에도 불구하고 충돌이 지속될 경우 CFP를 CAP로 전환하는 Phase 2를 수행하여 전송 신뢰성을 높인다. 또한, IEEE 802.15.4 기반의 WBAN을 구현하여 비교하는 실험을 진행함으로써 제안하는 기법의 성능을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 각 무선 네트워크의 표준에서 공존 문제에 관련된 내용을 살펴본다. 3장에서는 공존 문제를 파악하기 위한 사전 실험을 진행하며, 4장은 본 논문에서 제안하는 기법을 기술한다. 5장에서 제안하는 기법의 성능을 평가하고 분석하며, 6장에서 결론을 맺는다.

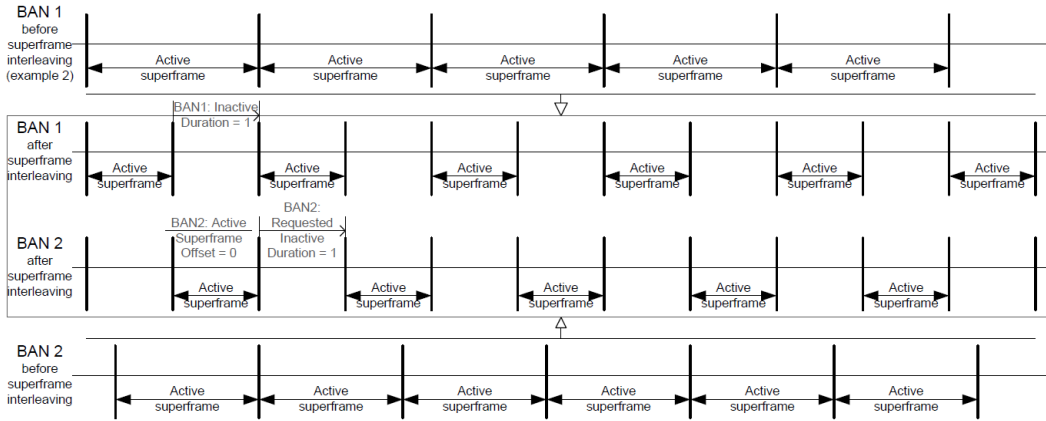
2. 관련 연구

2.1 IEEE 802.15.6 표준의 공존성 문제 회피 방안

공존 상황에서 발생하는 문제에 대처하기 위해 IEEE 802.15.6 표준에서는 크게 3가지의 회피 방안을 제시하고 있다. 먼저, beacon shifting은 허브가 이웃하는 WBAN과 겹치지 않게 beacon shifting sequence index를 선택함으로써 PN(Pseudo-random Noise) 중 하나를 선택하게 된다. 선택된 PN과 보낼 비컨의 BP(beacon period)로 특정 beacon shifting sequence phase가 결정되며, beacon shifting sequence index와 beacon shifting sequence phase를 비컨에 포함하여 전송한다. 비컨을 받은 각 센서 노드는 이러한 정보를 기반으로 그림 2와 같이 바뀐 비컨 전송 시간에 맞춰 데이터 송수신을 하여 확률적으로 통신 구간의 중첩을 회피한다. 두 번째 channel hopping은 현재 채널의 정보와 16 bit Galois LFSR(Linear Feedback Shift Register)로 생성된 channel hopping sequence를 기반으로 후보채널을 생성하며, 생성된 채널 중 하나로 호핑하는 방법이다. 이 동작과정은 주기적으로 수행되며 beacon shifting과 마찬가지로



(그림 2) 비컨 쉬프팅
(Figure 2) Beacon shifting



(그림 3) 액티브 슈퍼프레임 인터리빙
(Figure 3) Active superframe interleaving

가지로 이웃한 WBAN과 다른 channel hopping sequence를 사용하여야 한다. 그림 3은 공존 상황에 있는 WBAN들이 서로 상호작용하여 채널 자원을 분할해 사용하는 active superframe interleaving을 나타낸다. 이 때, 각 WBAN의 허브들은 active superframe interleaving에 대한 요청과 응답 프레임 교환하며, 우선순위가 높은 WBAN에게 채널을 우선 할당하는 방식으로 동작한다.

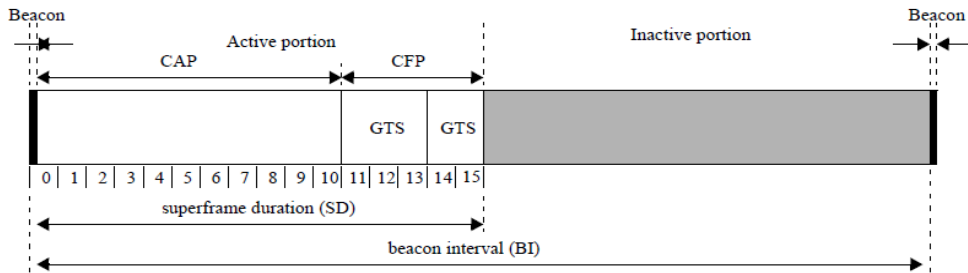
2.2 IEEE 802.15.4 표준의 공존성 문제

위와 같이 IEEE 802.15.6 표준은 공존성 문제를 완화하는 방안들을 제시하고 있다. 반면, IEEE 802.15.4 표준에서는 공존 상황을 고려하지 않았기 때문에 IEEE 802.15.4 기반의 WBAN들이 공존하는 상황에 대한 분석이 필요하다. 이를 위해 먼저, 그림 4를 통해 IEEE 802.15.4 표준에 제시된 슈퍼프레임의 구조를 파악한 후 공존 문제 발생

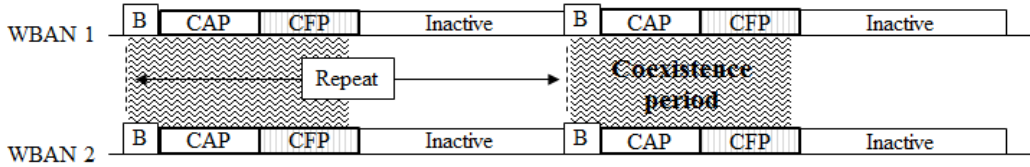
을 예측한다.

슈퍼프레임은 크게 active와 inactive로 나뉜다. 코디네이터가 센서 노드로 비컨을 브로드캐스팅 하면서 슈퍼프레임과 active 구간이 시작된다. 센서 노드는 비컨을 받는다 즉시 CAP(Contention Access Period)와 CFP(Contention Free Period)를 차례로 수행하며, active 구간이 끝나면 inactive 구간에 진입하여 idle 상태가 됨으로써 전력 소모를 줄인다.

IEEE 802.15.4 표준 기반의 두 WBAN 이 공존함으로써 그림 5와 같이 두 슈퍼프레임 내 active 구간이 중첩되는 경우에는 서로 간 신호 간섭과 충돌로 인해 데이터 수신율이 저하될 가능성이 높아진다. 특히, IEEE 802.15.4 표준에 명시된 두 채널 접근 방식 중 경쟁 기반으로 동작하는 CAP는 CSMA/CA와 수신 응답 메시지(ACK) 및 재전송 처리가 존재하기 때문에 수신률 저하에 큰 영향을 미치지 않을 것이다. 반대로, 비경쟁 기반의 CFP는 데이



(그림 4) IEEE 802.15.4 표준의 슈퍼프레임 구조
(Figure 4) Superframe structure of IEEE 802.15.4 Standard



(그림 5) IEEE 802.15.4 기반 WBAN의 공존 구간
(Figure 5) Coexistence period of IEEE 802.15.4-based WBAN

터 수신을 보장하지 않기 때문에 외부의 간섭과 충돌로 인해 상당한 수신을 저하가 예상된다.

2.3 기존에 연구된 WBAN 공존성에 관한 연구

WBAN의 공존 문제에 대한 많은 연구가 진행되어 왔지만 대부분은 WBAN과 다른 종류의 네트워크간 중첩에 대해 다루고 있다. 표준을 기반으로 한 WBAN간의 공존 문제에 대한 연구는 그 수가 많지 않으며, 해결방안을 제안하거나 실험한 연구는 거의 없는 실정이다. 먼저, TDMA 기반 WBAN간 time schedule 교환을 통해 간섭 문제를 해결하는 방안이 있다[11, 12]. 이 방안은 공존하는 WBAN들이 효율적으로 타임 슬롯을 사용하는 장점이 있다. 하지만 WBAN 간의 동기화를 필요로 하며 이웃한 모든 WBAN의 time schedule을 유지해야 하기 때문에 공존하는 WBAN의 수에 따라 코디네이터가 처리해야 할 데이터가 많아진다. 또한, 앞서 말한바와 같이 표준을 기반으로 진행된 연구가 아니다. 한편, IEEE 802.15.4 기반 WBAN의 공존 상황 감지 시, 코디네이터의 모니터링 정보를 기반으로 비컨 전송 시점을 변경하는 beacon replacement, 채널을 변경하는 channel switching으로 충돌 및 간섭 문제를 해결하는 기법이 존재한다[13]. 코디네이터가 수집한 정보를 기반으로 동작하므로 중첩 구간을 회피할 확률이 높다. 하지만, 이 기법 역시 모니터링 과정에서 이웃 WBAN의 코디네이터와 데이터 교환을 필요로 하므로 이웃한 WBAN의 데이터까지 처리해야 하며, 충

돌이 감지된 경우 코디네이터들의 지속적인 정보 수집을 필요로 한다. 우리는 [14]에서 IEEE 802.15.4 기반 WBAN이 공존하는 상황에서 발생하는 문제를 파악하기 위한 연구를 하였으며, 이에 대한 해결 방안을 추상적으로 제안하였다. 두 개의 WBAN이 중첩할 경우와 중첩하지 않을 경우의 성능 차이를 확인하기 위한 실험과 IEEE 802.15.4 표준 슈퍼프레임에서 어떤 점이 성능저하에 큰 영향을 끼치는지 확인하기 위한 실험을 진행하였다. 또한, 실험의 결과를 바탕으로 중첩을 완화하기 위해 CFP 구간을 이동시키는 방법과 CFP 구간의 슬롯을 더 작은 슬롯으로 나누어 사용하는 방안을 제안하였다. 하지만 세부적인 동작과정과 새로이 발생하는 문제에 대해서 기술하지 않았으며, 실험이나 시뮬레이션을 통한 성능 평가를 수행하지 않았다.

본 논문에서는 [14]에서 데이터 신뢰성 저하의 문제 요인을 발견하기 위한 실험을 3장 사전실험에서 소개한다. 또한, 이에 대한 내용을 바탕으로 중첩을 완화시키기 위한 방안을 4장에서 세부적인 부분까지 기술하며, 이를 실제 노드에 적용하여 성능 평가를 진행한 결과를 5장에 기술한다.

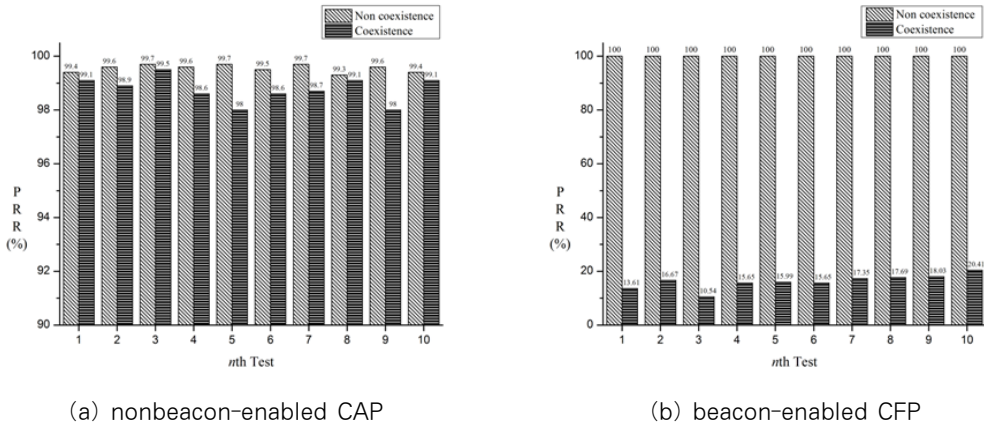
3. 사전 실험

본 장에서는 공존하는 WBAN 간 데이터 신뢰성 저하가 IEEE 802.15.4 표준의 두 가지 채널 접근 방식에서 어

(표 1) 공존 상황에 따른 채널 접근 방식의 실험 내용

(Table 1) Experiment contents of channel access method according to coexisting conditions

	Type 1 (Coexistence)	Type 2 (None-coexistence)	Type 3 (Coexistence)	Type 4 (None-coexistence)
측정 WBAN	nonbeacon-enabled CAP	nonbeacon-enabled CAP	beacon-enabled CFP	beacon-enabled CFP
간섭 WBAN	nonbeacon-enabled CAP	-	nonbeacon-enabled CAP	-



(a) nonbeacon-enabled CAP (b) beacon-enabled CFP
 (그림 6) 공존 상황에 따른 채널 접근 방식의 성능
 (Figure 6) Performance of channel access method according to coexistence conditions

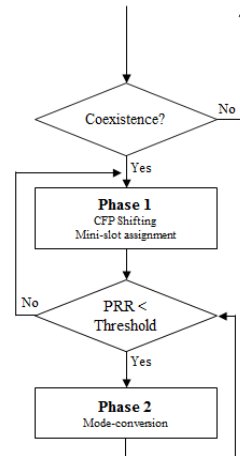
떠한 차이를 보이는지 확인하기 위한 사전 실험을 진행하였다. WBAN은 한백전자의 ZigbeX-II 모드로 1개의 코디네이터와 4개의 센서 노드를 배치하여 구성하였으며, 각 센서 노드는 14.4kbps의 데이터 전송 속도를 갖는다. 실험 환경은 표 1과 같이 크게 4가지로 나누어진다. 먼저, 지속적인 간섭을 발생시키는 간섭 WBAN은 모두 nonbeacon-enabled CAP로 설정하였으며, Type 1, 2는 측정 WBAN이 nonbeacon-enabled CAP 일 때 각각 공존과 비공존 상황으로 구분된다. Type 3, 4는 측정 WBAN이 beacon-enabled CFP 일 때의 공존과 비공존 상황을 나타낸다. 또한, 센서 노드의 데이터 전송 속도는 28.8 kbps로 고정하였으며 PRR을 측정하였다.

Type 1과 2를 비교하는 그림 6 (a)는 공존 여부에 따른 PRR의 차이가 적게 나는 것을 확인할 수 있다. 반면에, Type 3과 4의 PRR을 측정하여 비교하는 그림 6 (b)에서는 공존 상황에서 PRR이 크게 하락하는 것을 알 수 있다. 이는 CAP는 CCA, CSMA/CA 및 응답 프레임을 사용하여 간섭 및 충돌에 강한 반면, CFP는 외부의 간섭이나 충돌을 고려하지 않고 설계되었기 때문에 공존하는 다른 WBAN의 영향을 많이 받기 때문이다.

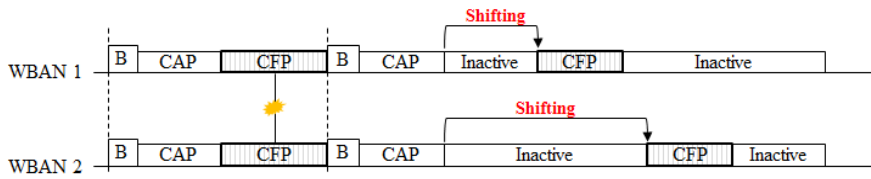
요약하면, 사전 실험을 진행함으로써 IEEE 802.15.4 기반의 WBAN이 공존 할 경우 거리에 따라 통신 커버리지가 중첩될 수 있으며, 이로 인해 신뢰성이 저하되는 문제가 발생한다는 것을 알 수 있었다. 특히, 비경쟁 기반 구간인 CFP에서 외부의 간섭 및 충돌로 인해 데이터 수신율이 낮아지는 것을 확인하였다.

4. 제안하는 기법

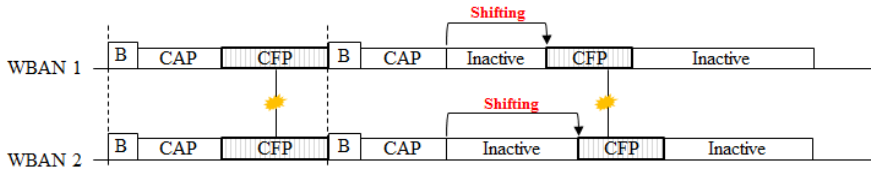
본 장에서는 사전 실험의 결과를 토대로 CFP의 성능 저하를 완화하기 위한 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 그림 7과 같이 크게 Phase 1과 Phase 2로 구분된다. 먼저, Phase 1에서는 CFP shifting과 Mini-slot assignment를 수행하여 공존하는 WBAN 간의 CFP 중첩을 확률적으로 회피한다. 만약 Phase 1까지 수행한 후에도 성능이 완화되지 않는다면 Phase 2로 넘어가 PRR과 Threshold를 비교하여, CFP를 전부 CAP로 전환하는 Mode conversion을 수행한다.



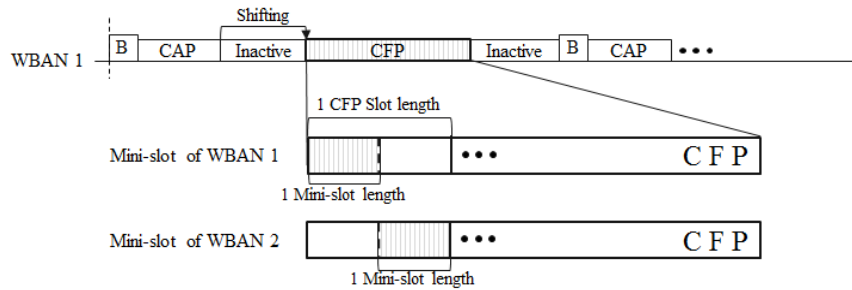
(그림 7) 제안하는 기법의 동작 순서도
 (Figure 7) Operating flow chart of proposed scheme



(그림 8) CFP shifting
(Figure 8) CFP shifting



(그림 9) CFP shifting 후, 중첩문제
(Figure 9) Remained coexistence problem after CFP shifting



(그림 10) Mini-slot assignment
(Figure 10) Mini-slot assignment

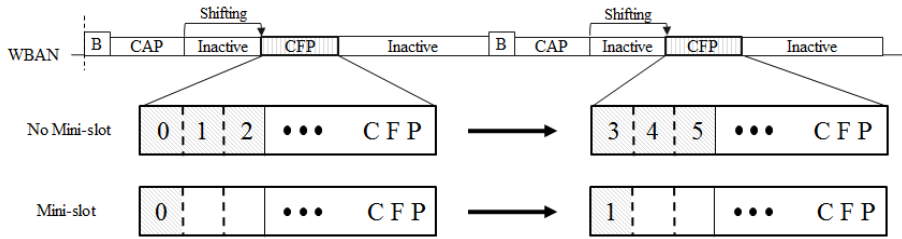
Phase 1의 CFP shifting의 자세한 동작은 그림 8을 통해 확인할 수 있다. 공존하는 두 WBAN이 공존 상황을 감지하면 다음 슈퍼프레임은 CFP shifting을 사용하게 되며, 각 센서 노드는 무작위로 CFP를 이동시켜 중첩을 피한다.

Shifting sequence는 CFP를 이동시킬 시간 값들의 집합이고 shifting sequence index는 shifting sequence를 가리키며, 이 들은 코디네이터에 설정되어 있다. 충돌 상황이 감지됐을 경우 무작위로 하나의 shifting sequence index를 선택하면 그에 해당하는 shifting sequence 내의 특정 값들 중 하나를 현재 beacon sequence에 modular 연산을 통해 선출하여 그 값만큼 CFP를 shifting 하게 된다. 또한, 한번 선택된 shifting sequence index는 일정 수 이상의 비컨이 전송되기 전에는 변경되지 않는다.

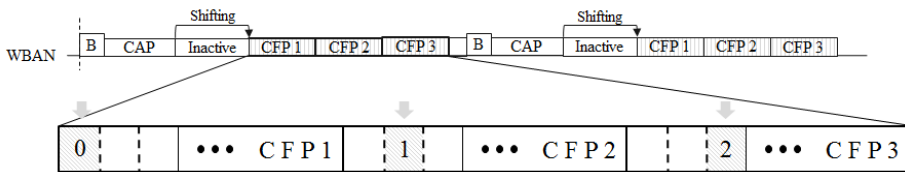
하지만 WBAN들은 서로간의 정보 교환이 없으며, shifting sequence index를 무작위로 선택하기 때문에 CFP shifting만 수행하는 경우 그림 9과 같이 여전히 간섭이나 충돌이 남아있을 수 있다. 그러므로 CFP shifting과 동시에 Mini-slot assignment를 수행하여 이러한 문제를 보완한다.

그림 10은 Mini-slot assignment를 나타낸다. CFP의 한 슬롯을 더 작은 미니 슬롯으로 나누며, 나눠진 미니 슬롯들 중 자신이 선택한 미니 슬롯에만 데이터 송수신을 하여 충돌을 회피하는 방법이다. 하지만 Mini-slot assignment를 아무런 조치 없이 사용하게 될 경우 아래의 그림 11과 같이 슈퍼프레임에서 보낼 수 있는 데이터의 양이 줄어드는 문제점이 발생한다.

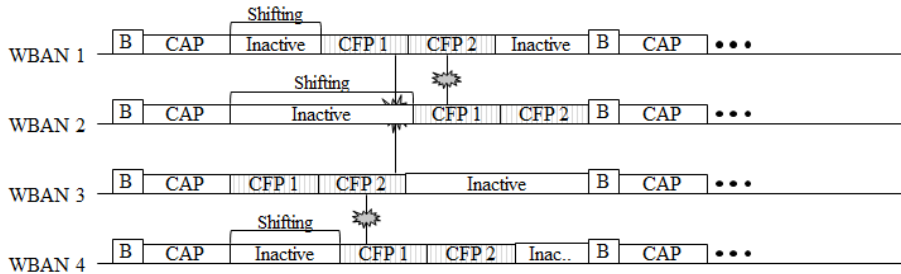
Mini-slot assignment를 사용하게 되는 경우 원래 사용



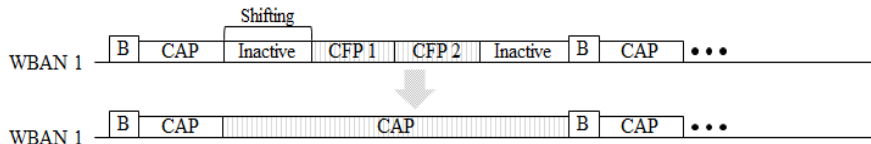
(그림 11) Mini-slot assignment의 데이터 대기시간 문제
(Figure 11) Data latency problem on Mini-slot assignment



(그림 12) 데이터 대기시간 문제의 해결책
(Figure 12) Solution for data latency problem



(그림 13). 열악한 공존 상황의 예
(Figure 13) Example of poor coexistence condition



(그림 14) Mode conversion
(Figure 14) Mode conversion

하던 슬롯의 일부 시간 동안에만 송신이 가능하기 때문이다. 따라서 제안하는 방법은 슈퍼프레임의 여유 구간인 inactive 구간을 활용하여 CFP를 늘리는 방법을 사용한다. 그림 12에서 슈퍼프레임 내에서 아무 동작도 하지 않던

inactive 구간으로 CFP를 늘림으로써 한 비컨 내에서 전송할 수 있는 데이터의 양을 기존의 방식과 같게 한 것을 확인할 수 있다.

이 경우 늘어난 CFP에 따라 미니 슬롯의 수도 늘어나

게 되는데, 그 중 무엇을 선택할 지는 앞에서 기술한 CFP shifting과 유사하게 mini-slot sequence와 mini-slot sequence index를 사용한다. mini-slot sequence의 값들은 사전에 설정되지 않고, 미니 슬롯의 개수에 따라 생성되며, mini-slot sequence index는 매 비컨마다 무작위로 재 선택한다.

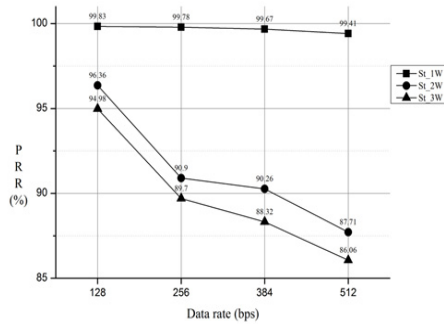
한편, CFP shifting과 Mini-slot assignment를 사용하는 방법은 한계가 있다. 그림 13에서는 슈퍼프레임의 길이에 비해 WBAN의 수가 많아서 Phase 1을 수행했음에도 여전히 충돌이 남아있는 상황을 확인할 수 있다.

이러한 경우, Mode conversion을 사용하는 Phase 2를 수행한다. Mode conversion은 Phase 1이 수행된 후에도 PRR이 threshold value을 넘지 못 할 경우에 CFP를 사용하지 않고 PRR이 회복될 때까지 CAP를 사용하여 데이터를 송신하는 방법이며, 이는 그림 14를 통해 확인할 수 있다. CAP가 외부의 간섭에 강한 경쟁 기반의 통신 구간이기 때문에 공존하는 상황에서는 신뢰성이 보장된다.

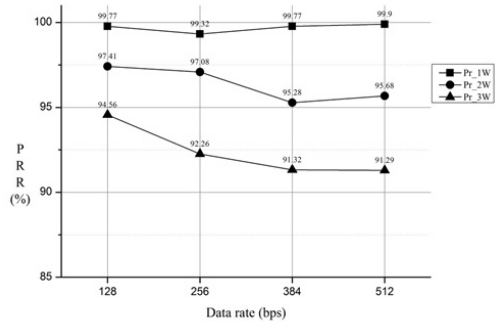
5. 성능평가

본 성능평가에서는 CFP shifting과 Mini-slot assignment을 통한 공존성 문제 회피 기법의 성능을 검증하기 위해 Phase 1만 적용한 환경, Phase 1 기법에 추가로 Mode conversion을 적용하였을 때의 성능을 검증하기 위해 Phase 1과 Phase 2를 모두 적용한 환경, 그리고 IEEE 802.15.4 표준을 각각 비교하여 수행하였다.

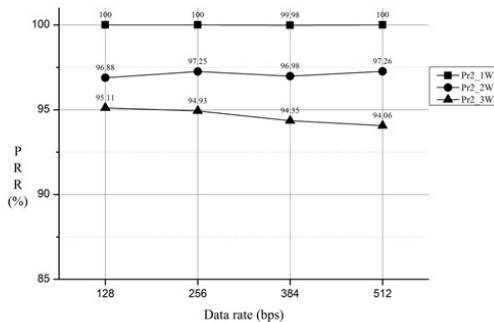
성능평가를 위한 실험환경은 ZigBee-II 모드를 기반으로 1개의 코디네이터와 5개의 센서 노드를 WBAN 으로 구성하였으며, 1개에서 최대 3개까지의 WBAN을 1m의 간격을 두고 배치하였다. 각 센서 노드는 128bps에서 최대 512bps까지의 data rate를 가지며, 2초 주기로 슈퍼프레임이 수행되도록 BO와 SO를 설정하였다. 미니 슬롯의 개수는 제안하는 기법일 경우에만 2로 적용하였으며, Mode conversion을 수행할 threshold value는 95로 설정하였다.



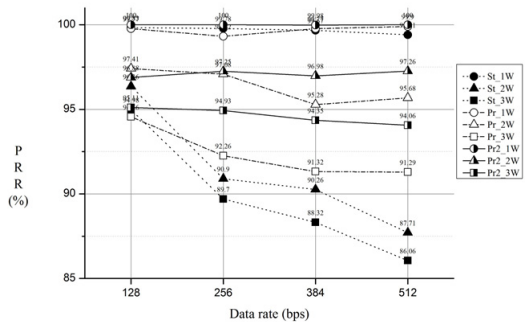
(a) Standard (IEEE 802.15.4)



(b) Phase 1 (proposed)



(c) Phase 1 & 2 (proposed)



(d) Comparison with all scheme

(그림 15) 실험 결과
(Figure 15) Experiment result

(표 2) 실험 파라미터

(Table 2) Experimental parameters

	Standard (IEEE 802.15.4)	Phase 1 (Proposed)	Phase 1 & 2 (Proposed)
Number of WBANs		1, 2, 3	
Data rate(bps)		128, 256, 384, 512	
BO:SO		7 : 6 (1 beacon / 2 second)	
Mini-slots	None	2	2
M-C threshold	None	None	95
Experiment time		120 minutes	

이에 대한 내용은 표 2에 정리되어 있다. 앞서 설명한 환경을 기반으로 동작 방식, WBAN의 수, data rate에 따라 각각 120분 실험을 진행하였으며, 각 결과의 평균을 최종 결과에 반영하였다.

그림 15 (a)는 IEEE 802.15.4 표준 기반의 WBAN의 성능을 나타낸다. WBAN이 공존하지 않는 경우에는 전송 속도에 따른 PRR 저하가 거의 없으나 2개 이상의 WBAN이 공존하는 경우에는 비교적 낮은 PRR을 보이고 있다. 제안하는 기법의 Phase 1까지만 수행하는 WBAN의 성능 측정 결과는 그림 15의 (b)에서 확인할 수 있다. 이 경우도 마찬가지로 2개 이상의 WBAN이 공존하는 경우 데이터 전송 속도에 따른 PRR 저하가 발생하지만, 비교적 완만한 것을 알 수 있다. 이는 CFP shifting과 Mini-slot assignment를 수행하여 확률적으로 충돌을 회피하기 때문이다. 한편, 그림 15 (c)은 제안하는 기법의 Phase 2까지 모두 수행하는 WBAN의 PRR을 나타낸다. 2개 이상의 네트워크가 공존하는 상황일지라도 데이터 전송 속도에 따른 PRR 하락이 거의 없는 것을 확인할 수 있다. 이는 공존으로 인한 간섭이 발생하여 PRR이 threshold value 보다 낮아지면, Mode conversion이 동작하여 CFP가 CAP로 전환되어 PRR이 회복될 때까지 동작하기 때문이다. IEEE 802.15.4 표준과 제안하는 기법의 성능을 비교하는 그래프는 그림 15 (d)에서 확인할 수 있다. IEEE 802.15.4 기반 WBAN의 성능은 중첩도, 전송 속도에 많은 영향을 받지만 제안하는 기법은 덜 받는 것을 알 수 있다. 또한, 제안하는 기법은 각 WBAN 들 간의 정보 교환, 혹은 WBAN 간의 모니터링을 필요로 하지 않으므로 [11, 12] 혹은 [13] 연구에 비해 코디네이터가 처리해야 할 데이터가 적다는 장점이 있다.

6. 결 론

IEEE 802.15.4 기반의 다수 WBAN 이 공존함으로써 발생하는 신호 간섭과 충돌은 데이터의 신뢰성을 저하시키는 원인이 되며, IEEE 802.15.4 표준에서는 이러한 공존 상황에서 발생하는 다양한 문제들을 해결할 수 있는 방안을 제시하고 있지 않다. 이전의 논문에서 IEEE 802.15.4 기반의 WBAN이 공존하는 상황에서 발생하는 다양한 문제점들을 사전 실험을 통해 분석하였고, CFP가 신뢰성에 큰 영향을 미칠 수 있다는 점을 확인하였다[14]. 이러한 결과를 토대로 본 논문에서는 두 단계에 걸쳐 CFP를 변형시켜 공존성 문제를 완화하는 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 CFP를 이동시키고 더 작은 미니 슬롯으로 나누어 간섭 및 충돌로부터 회피를 시도하며, 채널 접근 방식을 CFP에서 CAP로 전환함으로써 신뢰성을 보장한다. 제안하는 기법의 성능평가를 위해 기존 IEEE 802.15.4 기반의 WBAN과 실험 및 측정을 수행하였으며, 공존 상황에서 데이터 신뢰성이 향상된 것을 검증하였다.

참 고 문 헌 (Reference)

- [1] "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 15.6: Wireless Body Area Networks", IEEE 802.15.6 Standard-2012, Feb. 29 2012, pp. 1-271.
<http://dx.doi.org/10.1109/IEEEESTD.2012.6161600>
- [2] "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks", IEEE 802.15.4 Standard-2011(Revision of IEEE 802.15.4-2006), Sept. 5 2011, pp. 1-314.
<http://dx.doi.org/10.1109/IEEEESTD.2011.6012487>

- [3] Changle Li, Huan-Bang Li, Ryuji Kohno, "Performance Evaluation of IEEE 802.15.4 for Wireless Body Area Network(WBAN)", in IEEE International Conference on Communication Workshops (ICC Workshops) 2009, Jun. 2009, pp. 1-5.
<http://dx.doi.org/10.1109/ICCW.2009.5208087>
- [4] Ruben de Francisco, Li Huang, and Guido Dolmans, "Coexistence of WBAN and WLAN in Medical Environments", in IEEE 70th on Vehicular Technology Conference Fall (VTC 2009-Fall) 2009, Sept. 2009, pp. 1-5.
<http://dx.doi.org/10.1109/VETEFCF.2009.5378807>
- [5] Ullah S, Kyungsup Kwak, "Performance study of low-power MAC protocols for Wireless Body Area Networks", in IEEE 21st International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications Workshops (PIMRC Workshops), 2010, Sept. 2010, pp. 112-116.
<http://dx.doi.org/10.1109/PIMRCW.2010.5670417>
- [6] Flavia Martelli, Roberto Verdone, "Coexistence Issues for Wireless Body Area Networks at 2.45 GHz", in 18th European Wireless Conference on European Wireless 2012, Apr. 2012, pp. 1-6.
<http://ieeexplore.ieee.org/xpl/articleDetails.jsp?arnumber=6216832>
- [7] Sungwoo Weon, Seokwon Lee, Yosub Park, Haesoon Lee, Daesik Hong, "Energy Efficient Interference Avoidance Strategy in 802.15.4 Wireless Body Area Network", in IEIE Conference on The Institute of Electronics and Information Engineers, 2013, Jul. 2013, pp. 409-412.
<http://www.dbpia.co.kr/Article/324768>
- [8] Jinseok Han, Taehoon Kim, Yonghwan Lee, "Robust Transmission of the IEEE 802.15.4 Signal in the Presence of Co-channel Interference", in 2013 IEEE on Wireless Communications and Networking Conference (WCNC) 2013, Apr. 2013, pp. 53-58.
<http://dx.doi.org/10.1109/WCNC.2013.6554538>
- [9] Byoungseon Kim, Beomseok Kim, Jingsung Cho, "A Partial Loss Retransmission Scheme in IEEE 802.15.4-based WBAN", Journal of KIISE, Vol. 41, No. 1, Feb. 2014, pp. 32-41.
<http://www.dbpia.co.kr/Article/3374147>
- [10] Sarra E, Moun gla H, Benayoune S, Mehaoua A, "Coexistence improvement of wearable body area network WBAN in medical environment", in IEEE International Conference on Communications (ICC) 2014, Jun. 2014, pp. 5694-5699.
<http://dx.doi.org/10.1109/ICC.2014.6884229>
- [11] Mahapatro J, Misra S, Manjunatha M, Islam N, "Interference mitigation between WBAN equipped patients", in International Conference on Wireless and Optical Communications Networks (WOCN) 2012, Sept. 2012, pp. 1-5.
<http://dx.doi.org/10.1109/WOCN.2012.6331909>
- [12] Yongsuk Park, "Distributed Time Division Piconet Coexistence Using Local Time Offset Exchange", Journal of KIICE, Vol. 18, No. 6, Jun. 2014, pp. 1447-1453.
<http://www.dbpia.co.kr/Article/3459379>
- [13] Deylami M, "A Distributed Scheme to Manage The Dynamic Coexistence of IEEE 802.15.4-Based Health Monitoring WBANs", IEEE Journal of Biomedical and Health Informatics, Vol.18, No. 1, Aug. 2014, pp. 327-334.
<http://dx.doi.org/10.1109/JBHI.2013.2278217>
- [14] Jonghyeon Choi, Byoungseon Kim, Jinsung Cho, "A preliminary study on coexistence problem for IEEE 802.15.4 based WBAN", Conference of Kiise, Dec 2014.
<http://www.dbpia.co.kr/Article/3615817>

● 저 자 소 개 ●



최 종 현 (Jong-hyeon Choi)

2013년 경희대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
2015년 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(석사)
관심분야 : 임베디드 시스템, 센서 및 인체 네트워크, etc.
E-mail: bellstringc@naver.com



김 병 선 (Byoung-seon Kim)

2011년 백석대학교 정보통신학부 졸업(학사)
2013년 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(석사)
2013~현재 경희대학교 대학원 컴퓨터공학과(박사과정)
관심분야 : 임베디드 시스템, 센서 및 인체 네트워크, etc
E-mail : ykbs0903@khu.ac.kr



조 진 성 (Jin-sung Cho)

1992년 서울대학교 컴퓨터공학과 졸업(학사)
1994년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(석사)
2000년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 졸업(박사)
1998년 IBM T.J. Watson Research Center Visiting Researcher
1999년 ~ 2003년 삼성전자 책임연구원
2003년 ~ 현재 경희대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야 : 센서 및 인체 네트워크, 임베디드 시스템, 시스템 보안
E-mail : chojs@khu.ac.kr