

碩士學位論文

IEEE 802.15.4 기반
WBAN 환경의 부분적 버스트
손실 재전송 기법

指導教授 趙 眞 晟

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

金 秉 宣

2013年 7月 12日

碩士學位論文

IEEE 802.15.4 기반
WBAN 환경의 부분적 버스트
손실 재전송 기법

指導教授 趙 眞 晟

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

金 秉 宣

2013年 7月 12日

IEEE 802.15.4 기반
WBAN 환경의 부분적 버스트
손실 재전송 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 秉 宣

2013年 7月 12日

金秉宣의 工學碩士 學位論文을 認准함

主審教授 허의남 (印)

副審教授 조진성 (印)

副審教授 이/성원 (印)

慶熙大學校 大學院

2013年 7月 12日

國 文 要 約

IEEE 802.15.4 기반 WBAN 환경의 부분적 버스트 손실 재전송 기법

A partial burst loss retransmission scheme
in IEEE 802.15.4-based WBAN

慶熙大學校 大學院

컴퓨터공학과

金 秉 宣

WBAN (Wireless Body Area Network)은 인체를 중심으로 동작하는 통신 기술로 근거리 영역에서의 다양한 전송률, 높은 데이터 신뢰성, 저전력을 요구한다. 이러한 환경을 구성하는 IEEE 802.15.4 통신 기기는 기본적으로 ISM 주파수 대역을 사용하며, 해당 대역은 이기종 기기 간 통신으

로 인해 빈번한 프레임 손실을 유발한다. IEEE 802.15.4 표준에서는 이러한 프레임 손실을 복구하기 위한 재전송 방안이 존재하지만, 프레임 전체를 재전송하는 기존 방안은 불필요한 전력 소모를 유발한다. 결과적으로, WBAN의 요구사항을 만족시킬 수 없으며 네트워크의 수명을 단축시키는 원인이 된다. 본 논문에서는 WBAN에서의 데이터 신뢰성과 낮은 전력 소모를 보장하기 위해 IEEE 802.15.4 표준 기반의 부분적 버스트 손실 재전송 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 재전송 프레임의 크기를 축소하여 전송에 필요한 전력소모를 줄이는 것을 목표로 한다. 또한, 본 기법은 IEEE 802.15.4 표준 프레임을 기반으로 설계하여 다양한 전송 모드에서 호환성을 제공한다. 제안하는 기법과 기존 기법과의 성능평가를 위해 본 논문에서는 WBAN 환경을 구성하고 실험을 수행하였으며, 실험 결과에 대한 비교 분석을 통해 제안하는 기법의 우수성을 검증하였다.

키워드 : Wireless body area network, IEEE 802.15.4, Zigbee, ARQ, retransmission

<목 차>

1. 서론	1
2. WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 표준	4
2.1 IEEE 802.15.4 데이터 전송	5
2.2 IEEE 802.15.4 프레임 버스트 오류	9
3. 제안하는 방안	13
3.1 분할 결정 모델	17
3.2 부분적 손실 검사 방법	20
3.3 프레임 정의	22
4. 실험 및 결과분석	25
4.1 실험 환경 구성	26
4.1.1 프레임 총 전송량 및 전송 성공률 측정	28
4.1.2 소비전력 측정	29
4.2 결과분석	33
4.2.1 프레임 총 전송량 측정 결과	34
4.2.2 전송 성공률 측정 결과	35
4.2.3 전력소모 측정 결과	37
5. 결론	38
참 고 문 헌	39
Abstract	41

<그 립 목 차>

그림 1. IEEE 802.15.4 표준의 데이터 전송	5
그림 2. IEEE 802.15.4 표준의 기본 프레임 구조	7
그림 3. 손실 프레임 내 MAC 페이로드 출력 결과	12
그림 4. 제안하는 기법의 전송 흐름도	16
그림 5. 길버트 프로세스 모델	17
그림 6. Table-driven CRC-8 코드 생성 방법	21
그림 7. 제안하는 기법의 프레임 정의	24
그림 8. 실험 환경 구성	26
그림 9. DAQPad-6015	29
그림 10. CC2420 의 SFD 핀 상태 변화	31
그림 11. 소모 전력 측정을 위한 Labview 블록 다이어그램 ·	31
그림 12. 센서 노드의 프레임 총 전송량 측정 결과	33
그림 13. 센서 노드의 프레임 전송 성공률 측정 결과	35
그림 14. 센서 노드의 전력 소모 측정 결과	37

< 표 목 차 >

표 1. IEEE 802.15.4 표준 파라미터	6
표 2. ZigbeX-II 모트 특징	9

1. 서론

WBAN (Wireless body area network) 은 인체 내부, 외부, 그리고 인체를 중심으로 3-5m 이내에 존재하는 의료기기 및 CE (Consumer Electronics) 장치 간 통신을 정의하며, 의료 및 비의료 서비스를 동시에 제공하는 것을 목표로 한다[1].

의료 서비스는 체내 이식형 (implant) 디바이스와 피부 표면에 부착하는 부착형 (on-body) 의료기기로 구분할 수 있으며, 이식형 디바이스의 경우 배터리 충전 및 교체가 어렵고 낮은 전력소모 (low-power consumption)를 요구한다. 코디네이터를 중심으로 데이터 교환 시 발생하는 트래픽은 종류에 따라 응급 상황에 따른 event-driven 방식의 비주기적 트래픽과 주기적으로 사람의 혈당이나 심전도 등의 소량의 생체 정보를 측정하여 발생시키는 주기적 트래픽으로 분류된다. 반면, 비의료 서비스는 3~5m 이내의 인체 주변에 존재하는 CE (Consumer Electronic)와 기타 모바일 기기 등으로 구성되어 있으며, 주로 오디오, 게임, 비디오 스트리밍 전송과 같은 고속 event-driven 방식의 엔터테인먼트를 제공한다.

이러한 서비스들을 제공하는 WBAN은 MICS (Medical Implant Communication System), WMTS (Wireless Medical Telemetry Service), ISM (Industrial Scientific and Medical band), UWB (Ultra Wide Band)와 같은 주파수 대역을 사용한다. 다양한 주파수 대역에서 발생하는 데이터 오류는 데이터 신뢰성에 치명적인 영향을 줄 뿐만 아니라, WBAN 사용자의 생명에 직접적인 영향을 줄 수 있다. 따라서 WBAN에서의 저전력과 높은 신뢰성은 가장 중요한 요구사항이라 정의할 수 있다.

한편 IEEE 802.15.4 표준은 ISM 대역을 기반으로 저전력과 낮은 전송률을 특징으로 하는 WPAN (Wireless Personal Area Network)의 대표적인

통신기술로써 WBAN의 표준화 및 연구에 많이 이용되어 온 기술 중 하나이다[1, 2, 3, 4]. 하지만 IEEE 802.15.4 통신 기술이 사용하는 ISM 대역은 IEEE 802.11, IEEE 802.15.1 등과 같은 이기종 통신 기술의 사용을 용인하고 있으며, 이로 인한 전파간섭 및 혼신문제는 IEEE 802.15.4 통신 기술을 사용하는 디바이스의 안정성을 저하시키고 상당한 프레임 손실을 유발할 수 있다. 최근에는 허가가 불필요한 전파응용설비 및 새로운 소 출력 무선기기들의 상당수가 이 주파수 대역을 목표로 개발, 운영되고 있어 간섭을 발생시키고 있으며, 전자레인지 등과 같이 높은 주파수를 사용하는 가전기기 역시 프레임 전송에 상당한 손실을 발생시키는 원인이 되고 있다[5, 6]. 또한, 이렇게 다양한 원인으로 발생하는 프레임 손실은 일반적으로 버스트 오류의 특징을 가지고 있다[7].

이러한 프레임 손실 문제를 해결하기 위해 IEEE 802.15.4 표준에서는 최초 전송으로 사용된 프레임을 다시 재전송하는 ARQ (Automatic Repeat & Request) 방안을 사용한다. ARQ 는 정상 프레임 수신을 송신 측 기기에 알리기 위해 ACK (Acknowledgement) 메시지를 전송하고, 오류가 발생한 경우 이미 전송한 최초 프레임을 재전송하여 정상적으로 프레임을 수신할 때까지 위 과정을 반복하는 오류 보정 기법이다. 하지만 기존의 ARQ 방식은 프레임 손실에 대한 재전송 과정에서 불필요한 오버헤드가 발생한다. 즉, 프레임 내부 MAC 페이로드 구간의 손실이 발생한 구간과 정상 구간을 포함한 전체 프레임을 그대로 재전송하기 때문에 기존의 ARQ 방안은 통신 모듈에 불필요한 에너지 소모를 발생시킨다. 또한, 최초 전송 프레임과 동일한 크기에 재전송 프레임 역시 버스트 오류에 노출되어 프레임 손실이 발생할 확률이 높다는 문제점이 있다. 결과적으로 WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 표준 기반 통신에 지속적인 프레임 손실은 전송 에너지 소모량을 누적시키고, 네트워크 수명 단축과 데이터의 신뢰성

을 감소시키는 문제를 발생한다.

위와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 표준 기반 부분적 버스트 손실 재전송 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 분할 결정 모델을 통해 지속적인 프레임 손실 여부를 판단하고, 최초 전송 시 내부 페이로드 구간을 분할한 프레임을 사용하여 재전송 프레임을 재구성한다. 이러한 과정에서 재전송 프레임의 크기를 $1/3$ 까지 줄일 수 있고, 축소된 프레임을 사용함으로써 전송 성공률 향상과 전력 소모를 줄일 수 있다[8, 9].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 WBAN을 구성하는 IEEE 802.15.4 표준의 데이터 전송 방안 및 손실 처리, 프레임 손실의 형태에 대해 기술한다. 3장에서는 본 논문에서 제안하는 기법에 대한 분할 결정 모델과 부분적 손실 검출 방법 및 프레임 정의에 대해 설명하고, 4장에서는 IEEE 802.15.4 표준의 기존 ARQ 방안과 제안하는 기법에 대한 성능 실험 결과를 평가 및 분석한다. 마지막으로 5장에서는 결론을 기술한다.

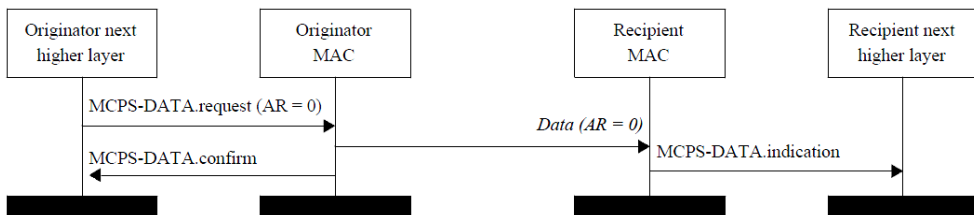
2. WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 표준

WBAN 을 구성하는 IEEE 802.15.4 표준 기기는 동일 주파수 대역을 사용하는 이기종 통신 기기들의 간섭으로 인해 데이터 통신에 빈번한 프레임 손실을 야기한다. 이러한 프레임 손실이 지속될 경우, 데이터의 신뢰성 하락과 반복되는 재전송 전력 소모는 WBAN 사용자에게 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 지속적인 간섭과 프레임 손실이 발생하는 WBAN 환경에서 IEEE 802.15.4 표준 기기는 전송 에너지 소모를 줄이고, 데이터의 신뢰성을 향상시킬 수 있는 재전송 방안이 필요하다. 이에 앞서 본 장에서는 WBAN 을 구성하는 IEEE 802.15.4 표준의 데이터 전송 방안과 각 방안에 대한 손실 처리에 대해 알아보기로 한다. 또한 WBAN 환경을 구성하여 실험 결과를 통해 손실된 프레임 내 버스트 오류의 형태와 특징에 대해 살펴본다.

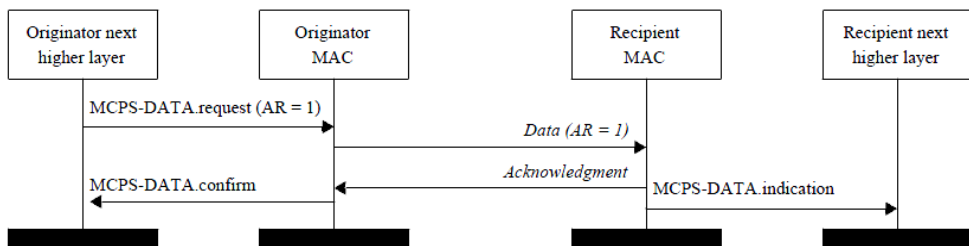
2.1. IEEE 802.15.4 표준의 데이터 전송

IEEE 802.15.4 표준의 데이터 전송은 [그림 1]과 같이 Acknowledgement requested 와 No acknowledgement requested 전송 방식으로 구분한다.

[그림 1]의 (a)는 No acknowledgement requested 전송으로 데이터 송신 후, 수신 측의 정상 수신 여부를 확인하지 않는 방식이다. 본 방식을 적용한 송신 노드는 수신 노드의 응답을 받기 위한 지연시간 (macAckWaitDuration) 과 대기전력 소모를 발생시키지 않는 장점이 있다. 하지만 이 방식은 정상 수신에 대한 응답 또는 별도의 확인 처리가 존재하지 않아 데이터의 신뢰성을 보장하지 않는다는 문제점이 있다. 이러한 전송 방식을 IEEE 802.15.4 표준에서는 Beacon 프레임과



(a) No acknowledgement requested



(b) Acknowledgement requested

[그림 1] IEEE 802.15.4 표준의 데이터 전송

Acknowledgement 프레임 전송에 사용하도록 권고하고 있다. 반면, [그림 1]의 (b)는 Acknowledgement requested 는 프레임 송신 후, 수신 측 노드의 정상 수신 여부를 확인하는 방식으로써 IEEE 802.15.4 표준에서는 Command 프레임과 Data 프레임에 사용하도록 권고한다. 이 방식에 대한 처리 과정은 다음과 같다. 우선, 송신 노드의 데이터 전송 후, [표 1]에 정의된 *macAckWaitDuration* 동안 수신 측의 수신 응답을 대기한다. 데이터를 수신한 수신 노드는 16-bit ITU-T CRC 를 통해 프레임 손실의 유무를 판별한다. 16-bit ITU-T CRC 는 CRC 생성 다항식과 송신 측으로부터 생성된 CRC 코드를 기반으로 동작하는 오류 검출 방법이며, CRC 코드는 [그림 2]와 같이 IEEE 802.15.4 표준에서 정의한 프레임 내 FCS (Frame Check Sequence) 필드에 삽입하여 전송된다. 이를 수신한 수신 노드는 CRC 코드가 포함된 FCS 필드를 활용하여 MHR (MAC Header)

Attribute	Value
<i>macAckWaitDuration</i>	$aUnitBackoffPeriod + aTurnaroundTime + phySHRDuration + ceiling(6 \times phySymbolsPerOctet)$
<i>aUnitBackoffPeriod</i>	20
<i>aTurnaroundTime</i>	12
<i>phySHRDuration</i>	$N_{preamblesymbols} + N_{SFD}$
$N_{preamblesymbols}$	the UWB Preamble Symbol Repetitions
N_{SFD}	the number of delimiter symbols
<i>ceiling()</i>	a function that returns the smallest integer value
<i>phySymbolsPerOctet</i>	0.4, 1.3, 1.6, 2, 5.3, 8

[표 1] IEEE 802.15.4 표준 파라미터

Octets: 2	1	0/2	0/2/8	0/2	0/2/8	0/5/6/10/14	variable	2
Frame Control	Sequence Number	Destination PAN Identifier	Destination Address	Source PAN Identifier	Source Address	Auxiliary Security Header	Frame Payload	FCS
		Addressing fields						
MHR							MAC Payload	MFR

[그림 2] IEEE 802.15.4 표준의 기본 프레임 구조

와 MAC 페이로드 구간의 손실을 검사한다. 정상 프레임을 확인하였을 경우, 수신 프레임의 sequence number를 포함한 ACK 프레임을 구성하여 송신 노드를 위한 브로드캐스트 전송을 수행한다. 이어서 송신 노드는 sequence number 와 자신의 sequence number 를 비교하여 데이터 전송의 성공 여부를 판단한다. macAckWaitDuration의 만료나 ACK 프레임이 손실된 경우, 송신 노드는 최초 전송한 프레임을 사용하여 재전송을 시도한다. IEEE 802.15.4 표준에서는 이러한 재전송 시도 횟수를 macMaxFrameRetries (=3) 을 통해 정의하고 있으며, 0부터 7까지 변경 가능하다.

한편, 무선 환경에서 발생하는 프레임 손실은 대부분 연속적인 비트 오류인 버스트 오류 특징을 가진다. 이러한 버스트 오류에 대해 IEEE 802.15.4 표준의 ARQ 기법은 프레임 재전송을 통해 손실된 프레임을 복구한다. 하지만 IEEE 802.15.4 표준의 기존 기법은 재전송 작업 시 프레임 내부에 손실이 발생하지 않은 영역과 손실이 발생한 영역을 포함한 최초 전송 프레임을 재전송 프레임으로 사용하기 때문에 불필요한 전송 전력 소모가 발생할 수 있다. 특히, 프레임 손실이 지속되는 경우, 반복되는 재전송 작업과 전력 소모의 누적은 데이터 신뢰성 하락과 네트워크의 수명 단축을 야기하여 WBAN 사용자에게 치명적인 영향을 미칠 수 있다. 따라서 WBAN 을 구성하는 IEEE 802.15.4 표준 기기는 지속적인 손실이

발생하는 채널 환경에서도 WBAN 의 데이터 신뢰성과 저전력 요구사항을 향상시킬 수 있는 재전송 기법이 필요하다. 또한, WBAN을 구성하는 IEEE 802.15.4 표준 지원 RF 모듈에도 호환성을 유지하여 사용될 수 있도록 설계되어야 한다.

2.2 WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 프레임 손실 분석

WBAN을 구성하는 IEEE 802.15.4 표준 기기는 데이터 통신 과정에서 간섭으로 인한 빈번한 프레임 손실이 발생한다. 이러한 프레임 내부 손실은 대부분 상이한 버스트 오류 형태로 발생한다. 본 장에서는 이러한 버스트 오류의 형태와 특징을 살펴보기 위해 간단한 WBAN 환경과 간섭 네트워크를 구성하여 실험하고, 불필요한 전력 소모를 줄일 수 있는 재전송 방안에 대해 알아본다.

우선, WBAN 환경 구성에 사용할 모트는 한백전자의 ZigbeX-II를 대상으로 세부적인 특징은 [표 2]와 같다. ZigbeX-II 모트를 사용하여 각각 1기의 센서와 코디네이터를 LOS (Line of sight) 환경으로 4m 의 거리로 배치한다. WBAN 저전력 요구사항을 만족시키기 위해 센서 노드는 - 15

	Type	Feature
	Processor	Atmega128L
	Memory	128KB Program FLASH, 4KB RAM
	RF Device	CC2420 (IEEE 802.15.4 compliant)
	Security	DSSS
	Data rate	Max, 250Kbps
	Power	1.2V * 3, 1.5V * 3, external < +5V DC

[표 2] ZigbeX-II 모트 특징

dBm의 송신출력을 유지하였으며, 50 byte 데이터를 500 ms 주기로 코디네이터에게 전송을 수행한다. 코디네이터는 가용 에너지 측면에서 제약이 없다는 가정 하에 -3 dBm의 송신출력을 설정하였다. 또한, 플랫폼의 UART-USB bridge IC를 통해 측정 PC와 연결하였으며, 이 연결을 통해 PC는 센서가 전송한 프레임의 송신지 주소, 목적지 주소, 프레임과 페이로드 길이, 바이너리 형태의 페이로드 데이터를 출력한다. 한편, IEEE 802.11g 기술은 IEEE 802.15.4 기술과 동일한 ISM 대역을 사용하는 통신 기술로써, 실험에서는 프레임 손실을 발생시키기 위한 간섭 네트워크를 IEEE 802.11g 기반 통신 기술로 적용하였다. IEEE 802.11g 과 IEEE 802.15.4 통신 기술이 사용하는 채널은 각각 1번, 13번 채널로 고정하여 중첩된 주파수 대역을 사용하도록 한다. 이렇게 구성된 WBAN 의 IEEE 802.15.4 표준 기반 통신은 IEEE 802.11g 기술과의 간섭으로 인한 프레임 손실이 발생하며, Tera term 터미널 프로그램을 통한 실험 결과는 [그림 3]과 같다.

[그림 3]의 (a) 는 수신 프레임 내부 MAC 페이로드 영역에 불규칙한 버스트 오류의 형태를 보이며 프레임의 전반적인 손실이 발생하였다. IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 이러한 손실된 프레임은 폐기하며, macAckWaitDuration을 의도적으로 초과시켜 송신 측의 자연스러운 재전송 처리를 유도한다. 반면, [그림 3]의 (b) 와 같은 결과는 수신 프레임 내 MAC 페이로드 영역에서 부분적인 버스트 오류 형태를 보인다. 이에 대해 IEEE 802.15.4 MAC 프로토콜은 위와 마찬가지로 응답 대기 시간을 초과하여 재전송 처리를 유도한다. 결과적으로 [그림 3]의 두 손실 프레임 결과는 재전송 처리를 필요로 한다. 하지만, [그림 3]에 (b)의 결과는 프레임 내부에 부분적으로 발생한 버스트 오류에 대한 재전송 오버헤드를 발생시킬 수 있음을 확인할 수 있다. 즉, 프레임 내 부분적인 버스트 오류로

인해 오류가 발생하지 않은 정상 MAC 페이로드 구간을 포함한 전체 프레임의 재전송 처리로 RF 모듈의 불필요한 전력 소모를 유발한다. 이러한 문제는 프레임 내 MAC 페이로드를 일정한 구간으로 분할하여 전송함으로써 해결할 수 있다. 즉, 부분적 버스트 오류가 발생한 손실 페이로드 구간만을 이후 재전송 프레임으로 재구성한다면 전력 소모를 줄일 수 있는 유연한 재전송 처리가 가능하다.

3. 제안하는 방안

본 장에서는 WBAN 환경에서 빈번하게 발생하는 프레임 손실에 대해 재전송 전력 소모를 줄이기 위한 부분적 손실 재전송 기법을 제안한다.

제안하는 기법은 송신 측의 지속적인 프레임 손실 여부를 판단하기 위한 분할 결정 모델을 기반으로 동작하며, 분할 조건이 만족하는 경우 MAC 페이로드를 분할한 프레임을 최초 전송 사이클(1-cycle transmission)을 통해 전송한다. 이 프레임을 기반으로 다음의 재전송 사이클에서는 축소된 크기의 재전송 프레임을 재구성하여 재전송 작업을 수행한다. 이러한 재전송 프레임의 축소는 RF 모듈의 전력 소모를 감소시킬 수 있다. 반면, 분할 결정 모델의 조건이 만족하지 않는 경우, IEEE 802.15.4 표준과 동일한 프레임 구조를 구성함으로써 기존의 ARQ 기법과 동일한 동작을 수행한다. 제안하는 기법에 대한 송신 노드와 수신 노드의 구체적인 동작 흐름은 [그림 4]을 통해 표현하였으며, 상세한 설명은 아래와 같다.

[그림 4]의 (a)는 제안하는 기법의 분할 결정 모델 (Split decision model)을 통하여 페이로드 분할 프레임 전송과 부분적 재전송 과정을 의미한다. 먼저, 전송 요청의 시작은 송신 측 노드의 분할 결정 모델을 통해 수행된다. 이 모델은 IEEE 802.15.4 통신 기술이 사용하는 주파수 채널의 지속적인 프레임 손실 여부를 판단하며, 조건이 만족하는 경우 송신 노드는 MAC 페이로드 구간을 분할한 PDATA (Partitioned frame) 프레임을 생성한다. PDATA 프레임 내 MAC 페이로드 구간은 총 3개의 구간으로 분할되어 있으며, 각 분할된 구간의 마지막 1 byte에는 분할 구간의 손실 여부를 확인하기 위한 8-bit CRC 코드가 추가된다. 이러한 과정으로 생성된 PDATA 프레임은 총 전송 사이클 중 최초 사이클 (1-cycle)을 통해 전송되며, 전송 후 송신 노드는 정의한 대기시간에 따라 수신 측

의 응답을 기다린다. PDATA 프레임을 수신한 노드는 IEEE 802.15.4 표준의 CRC-16 검사를 통해 프레임 내부 손실을 확인한다. 프레임 손실이 검출된 경우, 수신 노드는 프레임에 포함된 각 구간의 CRC-8 코드를 사용하여 분할된 페이로드의 손실을 검사한다. 이 과정을 통해 MAC 페이로드의 모든 구간에 손실이 검출되지 않은 경우, 프레임의 MHR 영역이 손실된 것으로 판단하고 프레임 폐기와 응답시간 초과로 송신 측의 재전송을 요구한다. 모든 구간에 손실이 검출된 경우도 이와 동일한 동작을 수행한다. 반대로, 특정 페이로드 구간에 손실이 검출된 경우, 수신 노드는 해당 손실 구간에 대한 정보와 sequence number를 포함한 NACK 프레임을 생성하여 브로드캐스트 전송한다. 전송 후, 정상 페이로드 구간은 임시 버퍼에 저장하며 수신 프레임은 폐기한다. 수신 측으로부터 NACK 프레임을 수신한 송신 노드는 포함된 sequence number 와 손실 구간의 정보를 참조하여 RDATA (Recover data) 프레임을 생성한다. RDATA 프레임은 손실된 페이로드 구간만을 취합하여 재구성한 재전송 프레임으로써 이를 통해 남은 전송 사이클 동안 재전송 작업을 수행한다. RDATA 프레임을 수신한 수신 노드는 임시 버퍼를 통해 손실된 구간만을 부분적으로 복구하며 최종적으로 전송 과정을 완료한다.

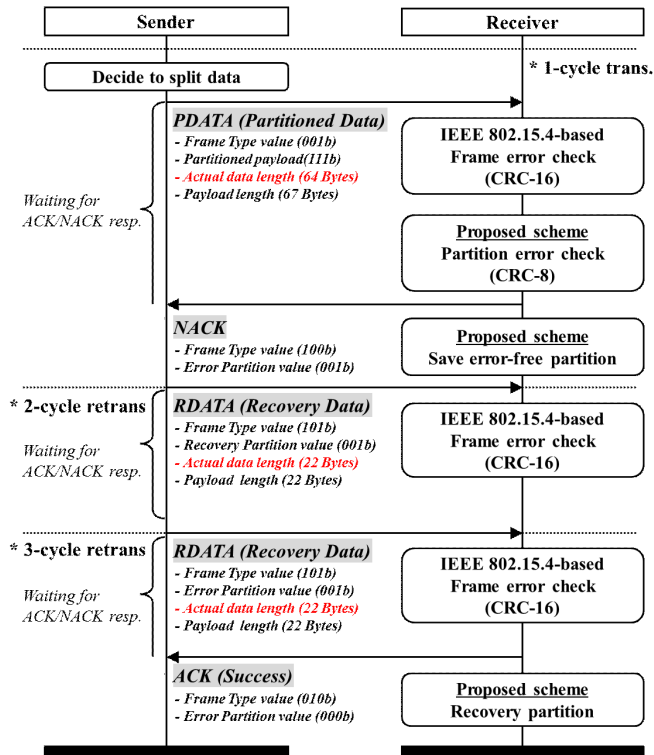
한편 제안하는 기법의 일련의 전송 과정 중, 불안정한 채널 환경으로 인해 송신 노드는 NACK 프레임을 수신하지 못하는 문제가 발생할 수 있다. 이러한 경우, 송신 노드는 2 또는 3 사이클을 통해 PDATA 프레임을 전송하며, 이후의 전송 사이클 동작은 위의 과정과 동일하다.

[그림 4]의 (b)는 제안하는 기법의 분할 결정 모델 조건이 만족하지 않는 경우의 동작 흐름으로, 프레임 손실이 간헐적으로 발생하는 WBAN 채널 환경을 의미한다. 제안하는 기법은 지속적인 프레임 손실이 발생하는 WBAN 환경에서 성능을 보일 수 있도록 설계되었기 때문에 간헐적

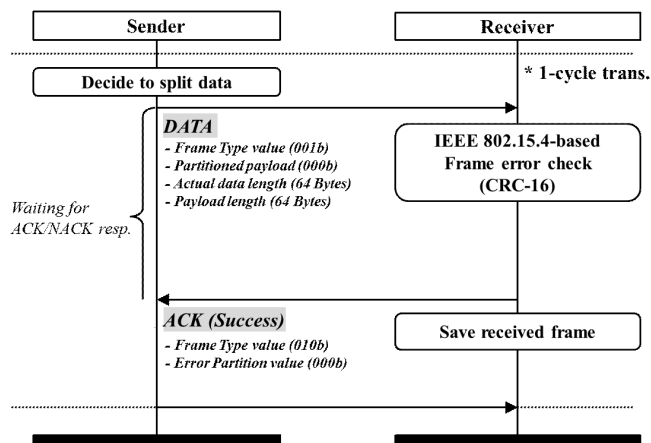
손실에 대한 페이로드 분할 전송은 오버헤드가 발생할 수 있다. 따라서 제안하는 기법은 페이로드를 분할하지 않은 DATA 프레임을 사용하며, 이러한 동작은 IEEE 802.15.4 표준의 기존의 전송 방식과 동일하게 수행된다.

이렇게 제안하는 기법은 프레임 손실이 지속적으로 발생하는 WBAN 환경에서 재전송 프레임의 크기를 1/3 까지 축소할 수 있으며, 전송 전력 감소와 향상된 프레임 전송 성공률을 보장할 수 있다. 또한, 제안하는 기법은 IEEE 802.15.4 표준에서 정의한 프레임 구조를 기반으로 설계되었기 때문에 표준에서 지원하는 beacon enabled superframe, beacon enabled non-superframe, non beacon 모드에서도 호환성을 제공한다는 특징이 있다.

제안하는 기법의 지속적인 프레임 손실을 판단하는 분할 결정 모델은 3.1장을 통해 자세히 설명하며, 3.2장에서는 분할된 MAC 페이로드의 각 분할 구간에 포함된 오류 검출 방법에 대해서 살펴본다. 또한, 3.3장을 통해 IEEE 802.15.4 표준을 기반으로 제안하는 기법의 프레임 구조에 대해 설명한다.



(a) 분할 결정 조건이 만족하는 경우



(b) 분할 결정 조건이 만족하지 않는 경우

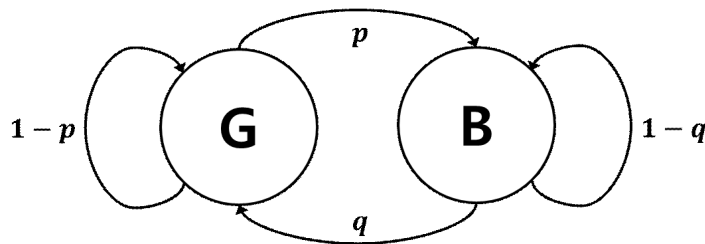
[그림 4] 제안하는 기법의 전송 흐름

3.1 분할 결정 모델

제안하는 기법의 데이터 전송은 분할 결정 모델을 통해 시작된다. 분할 결정 모델은 WBAN이 사용하는 채널에 지속적인 프레임 손실 여부를 판단하기 위한 모델로써, 분할 조건에 따라 앞서 설명한 [그림 4]의 (a) 또는 (b)와 같은 전송을 수행한다.

분할 결정 모델은 기본적으로 [그림 5]와 같은 길버트 프로세스 모델을 사용한다[9]. Two-state Markov state 모델을 기반으로 한 길버트 프로세스 모델은 프레임 손실의 여부를 크게 정상(G)과 손실(B) 상태로 표현할 수 있다. 송신 측 프레임이 수신 측 노드에 정상 수신이 되었을 경우와 손실이 발생한 경우를 각각 G 상태와 B 상태로 보며, 손실과 정상 프레임에 대한 각각의 상태 전이 확률은 p 와 q 로 표현한다.

N 번째 프레임이 수신된 경우, $(N + 1)$ 번째 프레임이 손실되는 것은 G 상태에서 B 상태로 상태전이를 의미하고, 그 확률은 p 로 표현한다. 반대로 $(N + 1)$ 번째 프레임이 정상적으로 수신될 경우는 $1-p$ 로 표현할 수 있다. 동일한 방식으로, N 번째 수신된 프레임이 손실될 경우 $(N + 1)$ 번째 프레임이 정상 수신될 확률과 손실될 확률은 각각 q 와 $1-q$ 가 된다. 또한, 수신된 프레임이 길버트 프로세스 모델의 같은 상태를 유지할 확률은 기하 분포의 특성에 따라 [식 1]과 같이 계산된다.



[그림 5] 길버트 프로세스 모델

$$\Pr[X_n = G] = \frac{q}{p+q}, \Pr[X_n = B] = \frac{p}{p+q} \quad (1)$$

전이확률 p 와 q 는 상태 전이에 대한 경우의 수를 이용하여 구할 수 있다. 길버트 프로세스의 각 전이확률 $p, q, 1-p, 1-q$ 에 대응하는 경우의 수는 [식 2]로 표현한다.

$$\alpha = \text{Number of } trans[fail]_t | trans[success]_{t-1} \quad (2)$$

$$\beta = \text{Number of } trans[success]_t | trans[fail]_{t-1}$$

$$\gamma = \text{Number of } trans[success]_t | trans[success]_{t-1}$$

$$\delta = \text{Number of } trans[fail]_t | trans[fail]_{t-1}$$

각 경우의 수는 이전 전송($t-1$) 상태를 기반으로 현재 전송(t)에 대한 횟수를 의미한다. 먼저, α 는 전송 성공에 대한 현재 전송의 실패 횟수를 나타낸다. 즉, 이전 PDATA 또는 RDATA 프레임 전송 성공에 대해, 현재 PDATA 또는 RDATA 프레임에 대한 전송 실패 횟수를 의미한다. 프레임의 전송 성공과 실패 여부는 수신 측으로부터 돌아오는 ACK 프레임으로 구분한다. 반대로, δ 는 $t-1$ 프레임 전송의 실패에 대한 t 전송이 실패한 횟수으로써 연속적인 프레임 전송 실패에 대한 경우의 수를 의미한다. 마찬가지로 $t-1$ 전송의 실패와 성공에 대한 t 전송 성공의 경우의 수를 각각 β, γ 로 표현할 수 있다. 이러한 경우의 수들을 사용하여 전이확률 p 와 q 는 [식 3]을 통해 계산한다.

$$p = \frac{\gamma}{\gamma + \alpha}, q = \frac{\beta}{\beta + \delta} \quad (3)$$

이를 기반으로 [식 1]의 상태 유지 확률을 계산하고, [식 4]의 조건을 통해 IEEE 802.15.4 통신 환경에 지속적인 프레임 손실 여부를 판단할 수 있다.

$$\begin{aligned}
 & \Pr[X_n = B, X_{n+1} = B, X_{n+2} = B] \quad (4) \\
 &= \Pr[X_{n+2} = B | X_{n+1} = B] \cdot \\
 & \Pr[X_{n+1} = B | X_n = B] \cdot \Pr[X_n = B] \\
 &= (1-q) \cdot (1-q) \cdot \frac{p}{p+q} > 0.02 (PER)
 \end{aligned}$$

위의 조건이 만족하는 경우, IEEE 802.15.4 표준 기기의 채널은 지속적인 프레임 손실이 발생하는 것으로 판단한다. 반대로 조건이 만족하지 않는 경우는 안정적인 채널 상태로 판단한다.

3.2 부분적 손실 검사 방법

분할 결정 모델의 조건을 통해 생성된 PDATA 프레임은 내부적으로 분할된 MAC 페이로드 구간으로 구성된다. 이렇게 분할된 각 페이로드 구간의 마지막 바이트에는 해당 구간의 손실을 검출하기 위해 CRC 코드를 삽입한다. CRC 검사는 무선 환경에서 버스트 오류 검출에 강한 특성을 가진 검사방법 중 하나이며, CRC-5, CRC-8, CRC-16 등의 다양한 종류의 CRC 방식이 존재한다[10]. 또한, 이 방식은 기본적으로 생성 다항식을 기반으로 송신 측으로부터 생성한 CRC 코드를 기반으로 동작한다.

이러한 CRC 동작의 구현은 크게 하드웨어와 소프트웨어적 구현으로 구분할 수 있다. 먼저, 소프트웨어 방식은 Direct-calculation 방식과 Table-driven 방식으로 구분된다. Direct-calculation 방식은 CRC 다항식을 이용한 오류 검출과 메모리 사용이 효율적이지만, bitwise 연산으로 인한 처리 지연이 발생한다는 특징이 있다. 이러한 문제는 송신 노드의 ACK 또는 NACK 프레임을 받기 위한 대기시간을 초과시킬 여지가 있으며, 이러한 가능성으로 인해 본 방식을 사용하는 WBAN 사용자에게 치명적인 위험을 초래할 수 있다.

제안하는 기법은 각 페이로드 구간의 부분적 손실 검사에 대한 지연시간 최소화와 구현의 복잡도를 줄이기 위해 Table-driven 방식 기반 CRC-8 검사 방식을 적용한다. Table-driven 기반 CRC 방식은 미리 계산된 256개의 CRC 코드를 테이블화(lookup table) 하여, 테이블 참조와 XOR 연산만으로 CRC 코드를 생성하는 간단한 방식이다. 이러한 방식은 Direct-calculation 방식의 bitwise 연산에 비해 바이트 단위 연산을 수행하므로 향상된 속도를 가진다는 특징이 있다. [그림 6]는 제안하는 기법이 사용하는 Table-driven 기반 CRC-8 코드 생성의 한 예로써 상세한 설명

MSB	LSB	
00100000	00000011	10100011 = Data String (20 03 A3h)
100000111		= XOR polynomial
00000000		= Initialize variable with 00h
00100000	00000011	10100011 = Shift in 1 st 8 bits
00100000		= XOR and result as an pointer to lookup table (20h)
11100000		= Returned value from table (pointer = E0h)
	00000011	10100011 = Shift in 2 nd 8 bits
	11100011	= XOR and result as an pointer (E3h)
	10100111	= Returned value from table (pointer = A7h)
		10100011 = Shift in 3 rd 8 bits
		00000100 = XOR and result as a pointer (04h)
		00011100 = Returned value from table (pointer = 1Ch)

00011100 = Complete CRC-8 value (1Ch)

[그림 6] Table-driven CRC-8 코드 생성 방법

은 아래와 같다.

먼저 CRC 코드를 저장 및 반환하기 위한 8-bit 크기의 CRC 레지스터를 0으로 초기화한다. 초기화 된 레지스터(00h) 를 기반으로 data string의 MSB의 8-bit 값(20h)과 XOR 연산을 수행한다. 연산된 결과(E0h)를 바탕으로 lookup table 이 참조하는 번지(20h)에 해당하는 엔트리를 CRC 레지스터에 반환(E0h)한다. 이후, 다음 8-bit 쉬프트 한 data string 의 값 (03h)과 CRC 레지스터의 XOR 결과를 lookup table 번지가 참조하는 엔트리로서 CRC 레지스터에 반환한다. 마지막으로 8-bit 쉬프트 data string 의 값(A3h)과 CRC 레지스터의 XOR 연산 결과를 CRC lookup table의 엔트리로 반환하며, 최종적으로 생성된 반환 값을 CRC-8 코드로 사용한다.

3.3 IEEE 802.15.4 프레임 정의

제안하는 기법의 프레임은 총 5개의 DATA, PDATA, RDATA, NACK, ACK 으로 구분한다. 각 프레임은 IEEE 802.15.4 표준 프레임 형식을 준수하여 설계하였으며, 이에 대한 구성은 [그림 7]과 같다.

PDATA 프레임은 3개의 분할된 페이로드 구간과 각 구간의 마지막에는 8-bit 크기의 CRC 코드를 포함한다. 이러한 코드 삽입으로 인해 본 프레임은 DATA 프레임 길이에 3byte 가 추가되는 특징이 있다. 분할된 각 구간은 frame control field 의 3bit 길이의 reserved 구간과 맵핑이 되어 있으며, 마스킹 작업을 통한 NACK 과 RDATA 프레임의 손실표시 및 복구 작업에 활용한다. 반면, DATA 프레임은 IEEE 802.15.4 표준의 data 프레임과 동일한 구조로 구성된다. 이러한 두 프레임은 동일한 frame type value (=001b)을 사용하며, 각 프레임은 frame control field 의 7-9bit 영역의 partitioned payload 필드를 통해 구분할 수 있다. 즉, 111b 와 000b는 각각 PDATA와 DATA 프레임을 의미한다.

NACK 프레임은 ACK 프레임과 동일한 구조로 frame control field의 7-9 bit 구간을 통해 구분한다. 예를 들어 PDATA 프레임의 첫 번째와 세 번째 페이로드 구간에 손실이 발생하였을 경우, frame control field는 101b로 세트되고 NACK 프레임을 의미한다. 반대로 손실이 검출되지 않은 경우는 000b 로 세트되며, 이는 ACK 프레임을 나타낸다.

RDATA 프레임은 손실 구간을 복구하기 위한 재전송 프레임으로써 recovery partition 필드를 통해 손실이 발생한 페이로드 구간만을 포함한다. 예를 들어, PDATA 프레임의 두 번째 손실 페이로드 구간만으로 구성된 RDATA 프레임의 경우, recovery partition 필드는 010b로 나타낸다.

다. 이어서 RDATA 프레임을 수신한 수신 노드는 해당 필드를 참조하여 임시 버퍼의 손실된 구간만을 부분적 복구한다.

이와 같이 제안하는 기법은 reserved 영역을 활용하여 분할 페이로드 구성과 부분적 복구가 가능하다. 또한, IEEE 802.15.4 표준의 기본 프레임 구조를 준수하며 분할에 따른 추가적인 정보 영역을 요구하지 않기 때문에 IEEE 802.15.4 표준 기기에 호환성을 제공한다.

*** PDATA frame format**

Octets:2	1	2	2	2	Variable (Frame payload)						2
Frame Control	Seq	PAN ID	Dest Addr	Src Addr	Partition-1	CRC	Partition-2	CRC	Partition-3	CRC	FCS

*** DATA frame format**

Octets:2	1	2	2	2	Variable (Frame payload)						2
Frame Control	Seq	PAN ID	Dest Addr	Src Addr	Non-partition						FCS

*** DATA / PDATA :: Frame control field**

Bits:0-2	3	4	5	6	7-9		10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security	Frame Pending	AR	Intra PAN	Partitioned payload		Dest Ad. Mode	Frame Version	Src Ad. Mode
					PDATA : 111b DATA : 000b				

*** Frame type definition**

Frame Type Value	Description	Frame Type Value	Description
000	Beacon	011	MAC command
001	PDATA	100	NACK
010	ACK	101	RDATA

*** RDATA frame format**

Octets:2	1	2	2	2	Variable (Frame payload)						2
Frame Control	Seq	PAN ID	Dest Addr	Src Addr	Recovery Partition	⋮	Recovery Partition	FCS			

*** RDATA :: Frame control field**

Bits:0-2	3	4	5	6	7-9			10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security	Frame Pending	AR	Intra PAN	Recovery partition			Dest Ad. Mode	Frame Version	Src Ad. Mode
					0/1	0/1	0/1			

*** ACK and NACK frame format**

Octets: 2				1				2			
Frame control				Seq				FCS			

*** ACK / NACK :: Frame control field**

Bits:0-2	3	4	5	6	7-9			10-11	12-13	14-15
Frame Type	Security	Frame Pending	AR	Intra PAN	ACK : 000b			Dest Ad. Mode	Frame Version	Src Ad. Mode
					NACK :					
					0/1	0/1	0/1			

[그림 7] 제안하는 기법의 프레임 정의

4. 실험 및 결과분석

제안하는 재전송 기법의 성능 평가를 위해 본 논문에서는 실험을 통한 센서의 프레임 전송량, 전송 성공률, 전력 소모를 측정하였다. WBAN 노드는 각각 1기의 센서와 코디네이터로 구성하였으며, 이를 기반으로 제안하는 기법과 기존 ARQ 기법의 성능 비교를 수행한다.

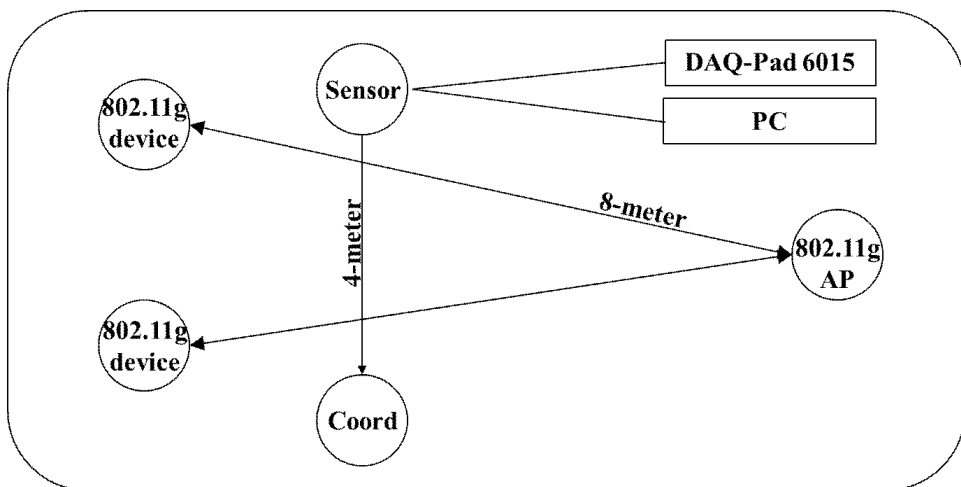
성능 실험에 대한 환경 구성은 4.1장을 통해 자세히 설명하며, 4.2장에서는 IEEE 802.15.4 표준의 기존 기법과 제안하는 기법의 실험결과를 비교 분석한다.

4.1 실험 환경 구성

IEEE 802.15.4 표준의 기존 ARQ 기법과 제안하는 기법의 실험 환경은 [그림 8]와 같이 WBAN 과 간접 네트워크로 구성하였다.

WBAN 은 ZigbeX-II 모드를 대상으로 각각 1기의 센서와 코디네이터를 기준으로 LOS 의 4m 거리를 유지한다. 코디네이터는 에너지 제약이 없다는 가정 하에 -3dBm 출력을 유지하며, 센서의 전송 프레임에 대한 응답만을 수행한다. 또한, 현재 사용 중인 채널의 BER 수치를 측정하여 USB로 연결된 측정 PC에 전송한다.

한편 개인건강기기별 표준을 정의하고 있는 IEEE 11073 표준은 혈압 모니터링 데이터의 크기를 64 Byte 로 규정하고 있다. 이를 기반으로 센서는 코디네이터에게 64Byte/500ms 주기로 총 3600 개의 데이터 전송을 수행한다. 이러한 센서는 -15 dBm 송신 출력을 설정하여 WBAN의 저전력 조건을 만족시킬 수 있도록 한다.



[그림 8] 실험 환경 구성

WBAN 환경의 간접 네트워크는 IEEE 802.11g 통신 기술을 적용하였다. IEEE 802.11g 기기는 각각 1기의 AP와 2기의 디바이스로 구성하였으며, AP를 기준으로 다양한 트래픽을 발생하도록 설정한다. WBAN 과 간접 네트워크는 각각 13번, 1번 채널을 사용하며, 간접 네트워크는 WBAN 데이터 통신에 지속적인 손실을 발생하도록 구성한다. 이러한 실험 환경을 기반으로 센서의 프레임 총 전송량과 전송 성공률 및 소비전력을 측정한다.

4.1.1 프레임 총 전송량 및 전송 성공률 측정

센서의 프레임 총 전송량과 프레임 전송 성공률을 측정하기 위해 센서는 USB 를 통해 측정 PC 와 연결하였다. 총 3600 번의 전송 실험은 3번의 재전송 사이클을 포함하고 있으며, 각 사이클에서 발생한 전송 프레임에 대한 정보는 측정 PC 로 전송된다.

센서의 프레임 총 전송량은 PC 측으로부터 [식 5]를 통해 계산한다. 총 전송량은 센서의 전송 성공과 실패 유무에 관계없이 전송 시도 된 프레임의 크기를 모두 합산한다. 또한, 각 전송의 총 3회의 재전송 사이클 중 발생하지 않은 프레임에 한해 프레임 크기를 0으로 적용한다. 이렇게 각 재전송 사이클(cnt)에 발생한 프레임 전송 크기(B_{tx})를 합산하여 총 전송량(B_{tot})을 산출한다.

$$B_{tot} = \sum_{cnt=0}^{10800} B_{tx} \quad (\text{식 5})$$

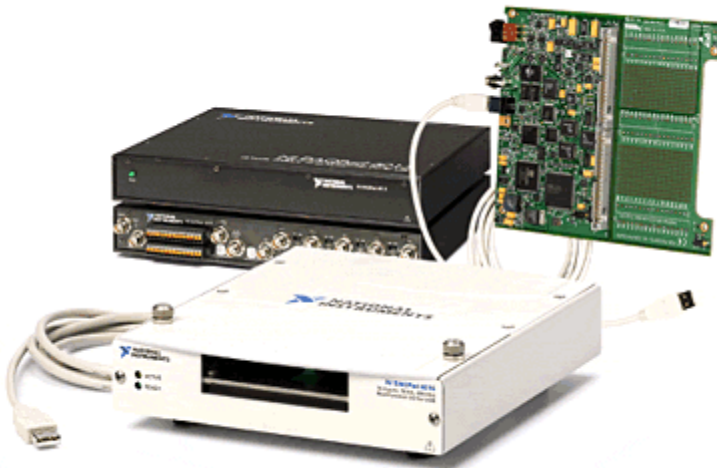
프레임 전송 성공률은 총 3600 번의 데이터 전송을 기준으로 코디네이터의 응답(ACK) 프레임의 수신 여부에 따라 계산한다. 즉, 총 3회의 재전송 사이클 동안 응답 프레임을 수신하였다면, 해당 전송은 성공으로 판단한다. 반대로, 재전송 사이클을 초과하였을 경우는 전송 실패로 처리한다. 센서는 이러한 프레임 전송의 성공과 실패여부 결과를 PC 측으로 전송하며, 측정 PC는 총 전송과 전송 성공 횟수를 기반으로 전송 성공률을 계산한다.

4.1.2 소비전력 측정

소비 전력을 측정하기 위해 [그림 9]와 같은 DAQ (Data Acquisition System) 장비를 사용하였다. DAQ 장비는 아날로그 데이터를 고속으로 측정할 수 있는 데이터 수집 하드웨어 장비로 본 논문에서는 National Instrument사의 DAQPad-6015를 사용하여 센서의 전송 소모 전력을 측정한다. 실험을 통해 계산할 소비전력은 [식 6]을 통해 구한다.

$$P = I \times V \text{ (식 6)}$$

하지만 미세한 전류 값은 직접 측정하기가 어렵기 때문에 전압강하를 통해 센서의 전류 소모를 계산한다. 전압강하란 저항에 의해 발생하는 전압차를 의미하며, 0.1옴의 시멘트 저항을 센서의 전원부와 노드 사이에 직렬



[그림 9] DAQPad-6015

연결한다. 또한, 센서의 안정적인 전원을 공급해주기 위해 외부 전원공급기를 통해 3.4V의 전압을 공급한다.

$$I = \frac{R}{V_{cal}} \quad (\text{식 7})$$

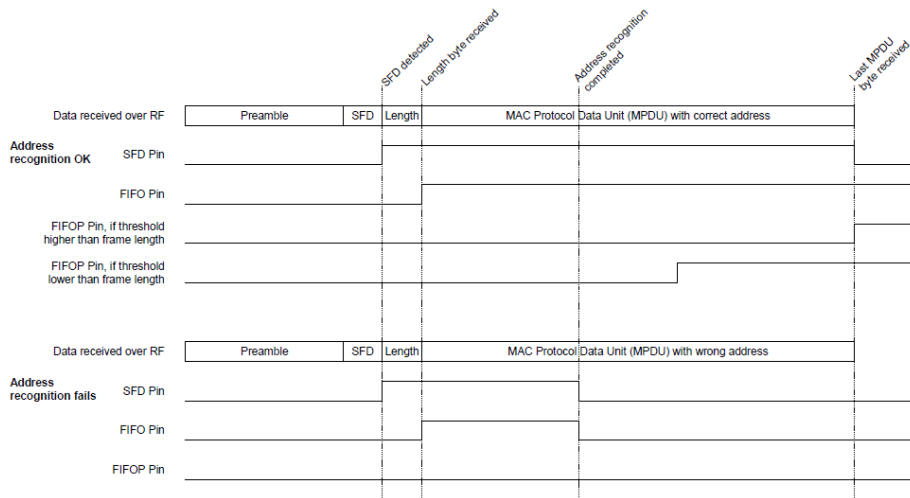
$$(R = 0.1\Omega)$$

DAQ 장비를 통해 측정된 강하 전압을 바탕으로 소모 전류는 [식 7]와 같이 계산한다. 계산된 소모 전류와 측정 전압을 바탕으로 [식 6]에 따라 소모 전력을 구할 수 있다.

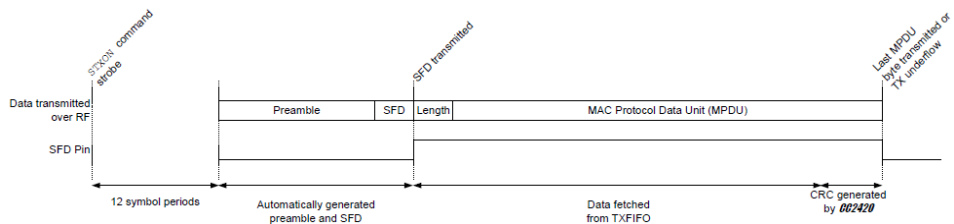
한편 ZigbeX-II 센서는 RF 모듈 뿐만 아닌 온, 습도 등의 여러 모듈들을 포함하고 있다. 이러한 각종 모듈들의 대기전력 소모는 실험 결과에 오차를 발생시킬 수 있기 때문에 본 실험에서는 CC2420의 SFD 핀을 DAQ 장비의 아날로그 입력으로 연결하였다. CC2420의 SFD 핀은 active high 로써, [그림 10]와 같이 프레임 송, 수신 과정에서 3.4V 이상의 출력을 유지하여 RF 모듈의 전송 상태를 판단할 수 있다.

DAQ 장비는 1000Hz 단위로 SFD 핀의 active 상태에 따라 전압과 전류를 측정하고, Labview 응용 프로그램을 통해 전송 전력소모를 계산한다. 초당 전송 전력 소모는 [식 8]을 통해 계산할 수 있으며, 이에 대한 Labview 응용 프로그램의 블록 다이어그램 구성은 [그림 11]과 같다.

$$P_t = \sum_{s=0}^{1000} V_{cal} \times I_{cal} \quad (\text{식 8})$$

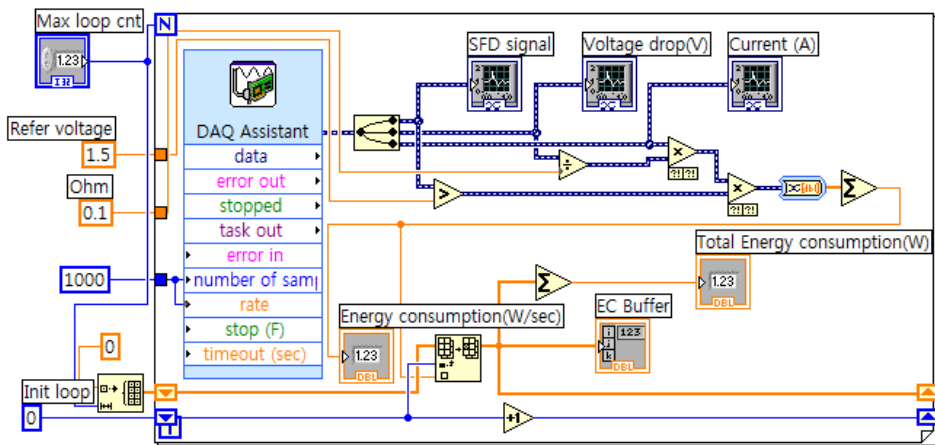


(a) 프레임 수신 시



(b) 프레임 송신 시

[그림 10] CC2420 의 SFD 핀 상태 변화

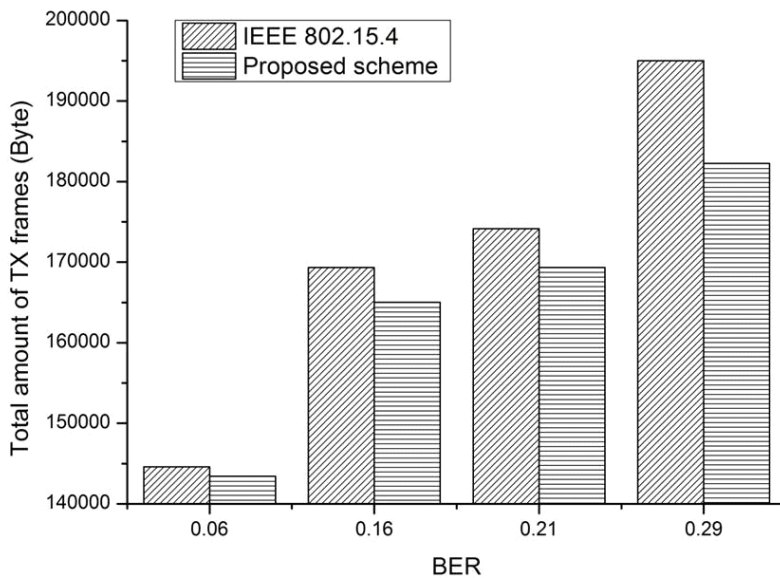


[그림 11] 소모 전력 측정을 위한 Labview 블록 다이어그램

측정한 전압과 전류, SFD 핀의 상태 변화는 응용 프로그램의 front panel 을 통해 실시간 출력하며, 계산된 전력 소모 수치는 본 실험 환경에서 정의한 3600 번의 프레임 전송이 종료될 때 까지 Labview 응용 프로그램 버퍼를 통해 저장하여 출력된다.

4.2 결과분석

본 장에서는 앞서 구성한 실험 환경을 바탕으로 IEEE 802.15.4 표준의 기존 ARQ 기법과 제안하는 기법에 대한 실험을 수행한다. 실험에서는 프레임 총 전송량과 프레임 전송 성공률 및 DAQ 장비를 통한 전송 전력 소모를 측정하였으며 이를 비교 분석한다.



[그림 12] 센서의 프레임 총 전송량 측정 결과

4.2.1 프레임 총 전송량 측정 결과

[그림 12]는 제안하는 기법과 IEEE 802.15.4 표준의 기존 ARQ 기법을 적용한 프레임 총 전송량 실험측정 결과이다.

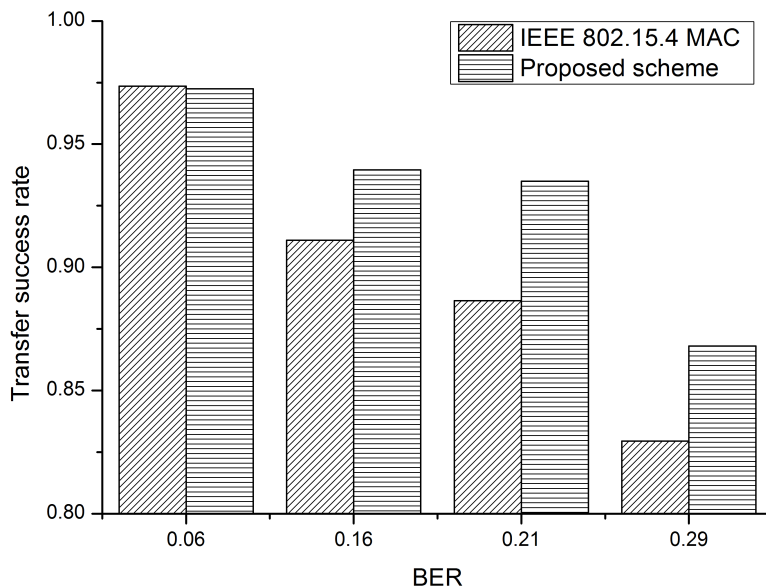
BER 수치가 증가할수록 제안하는 기법과 기존 기법 모두 재전송으로 인해 프레임 총 전송량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 특히, 기존의 기법은 최초 전송 프레임을 재전송 프레임으로 사용하기 때문에 프레임 내 일부 오류에 대해서도 전체 프레임을 재전송하는 특징을 갖는다. 따라서 기존 기법은 높은 BER과 프레임 손실이 지속됨에 따라 상당한 프레임 전송량이 발생된다.

반면, 제안하는 기법은 분할 결정 모델을 통해 조건이 만족하지 않을 경우, IEEE 802.15.4 표준의 기존 기법과 동일한 동작을 수행한다. 이는 안정적인 채널에서 MAC 페이로드 분할로 인한 오버헤드가 발생할 수 있기 때문이다. 또한, 제안하는 기법은 BER 증가와 프레임 손실 지속 여부에 따라 페이로드를 분할한 프레임을 사용함으로써 재전송 프레임의 크기를 줄인다. 불규칙한 버스트 오류의 특징에 따라 재전송 프레임의 크기는 서로 상이하게 발생하지만, 이러한 재전송 과정을 통해 프레임 총 전송량은 기존에 기법에 비해 감소된 결과를 보여준다. 이러한 결과를 통해 제안하는 기법은 기존 기법보다 재전송 처리 오버헤드와 채널의 대역폭 사용을 개선할 수 있다.

4.2.2 전송 성공률 측정 결과

[그림 13]는 IEEE 802.15.4 표준의 기존 ARQ 기법과 제안하는 기법에 대한 센서 측 프레임 전송 성공률을 측정한 결과이다.

앞서 프레임 총 전송량의 측정 결과와 마찬가지로 제안하는 기법은 안정적인 채널 환경에서 기존 기법과 동일한 프레임과 동작을 수행한다. BER 증가와 프레임 손실이 지속될 경우, 기존 기법의 프레임 전송 성공률은 감소한다. 기존 기법은 최초 전송 프레임을 그대로 재전송 프레임으로 사용하는 특징으로 인해 불안정한 채널에 전송 성공률을 그대로 유지하기가 어렵기 때문이다. 반면, 제안하는 기법은 기존 기법에 비해 높은 전송 성공률을 보인다. 이는 버스트 오류의 특징에 따라 손실된 페이로드 구간만

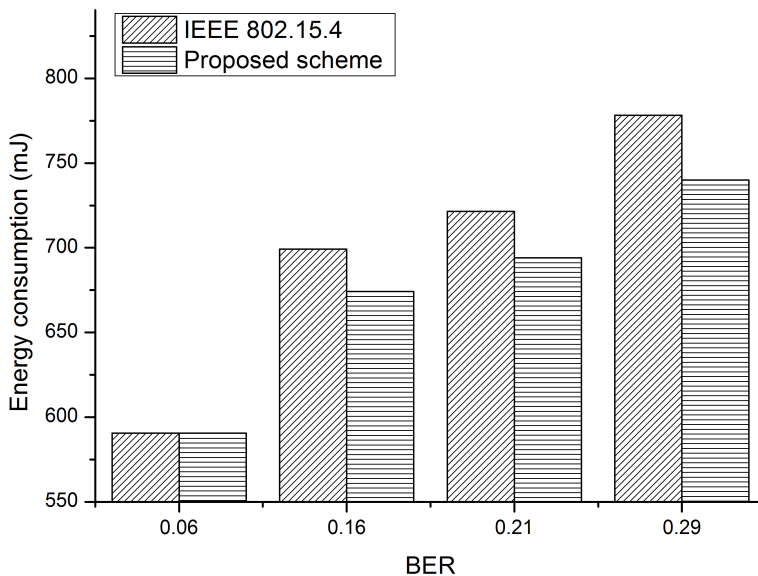


[그림 13] 센서의 프레임 전송 성공률 측정 결과

을 재전송하여, 축소된 프레임으로 채널 간섭의 영향을 줄이고 프레임 전송 성공률을 향상시킬 수 있기 때문이다. 이와 같이 제안하는 기법은 기존의 기법보다 높은 전송 성공률을 보장과 재전송 횟수를 줄여 WBAN의 저전력, 데이터 신뢰성 조건을 만족시킬 수 있었다.

4.2.3 전력 소모 측정 결과

두 기법의 전송 전력소모 측정 결과는 [그림 14]와 같다. 앞의 측정 결과들과 마찬가지로 제안하는 기법은 안정적인 채널 환경에서 기존 기법과 동일하게 동작하여 전력 소모 결과에 차이를 보이지 않는다. 하지만 BER 증가와 프레임 손실이 지속될수록 기존 ARQ 기법은 최초 전송 프레임을 반복적으로 재전송하기 때문에 전력 소모가 증가하였다. 반면, 제안하는 기법은 손실이 발생한 페이로드 영역만을 재전송하여 재전송 프레임의 축소와 향상된 전송 성공률로 기존에 기법보다 낮은 전력 소모 결과를 보여준다. 결과적으로 제안하는 기법은 기존의 기법보다 데이터 신뢰성 향상과 낮은 전력소모를 보장하여 WBAN 요구사항을 만족시킬 수 있다.



[그림 14] 센서의 전력 소모 측정 결과

5. 결론

의료/비의료 서비스 동시 제공을 목적으로 하는 WBAN 환경에서 IEEE 802.15.4 통신 기술은 페이딩, 노이즈, 이기종 통신기술과의 간섭 등과 같은 이유로 데이터 전송에 상당한 프레임 손실이 발생한다. 또한, 무선 환경에서 프레임 손실은 대부분 불규칙한 버스트 오류의 형태를 보인다. 이를 기반으로 본 논문에서는 WBAN을 구성하는 IEEE 802.15.4 기반 통신에 적합한 부분적 버스트 손실 재전송 기법을 제안하였다. 제안하는 기법은 프레임 내 부분적으로 발생하는 버스트 오류 특징을 착안하여 페이로드 구간을 분할한 프레임을 최초 전송 프레임으로 사용한다. 이후, 재전송 과정에서 축소된 재전송 프레임으로 불필요한 전력소모를 감소시킨다. 또한, IEEE 802.15.4 표준 프레임을 기반으로 설계하여 IEEE 802.15.4 표준의 다양한 전송 모드에서 호환성을 제공할 수 있다.

제안하는 기법과 IEEE 802.15.4 표준의 ARQ 기법의 성능 평가를 위해 본 논문에서는 WBAN 환경을 구성하여 실험을 수행하였다. 제안하는 기법은 기존 기법에 비해 프레임 전송량, 전송 성공률, 전력소모 측면에서 향상된 성능결과를 보여주었으며, 결과적으로 WBAN의 데이터 신뢰성과 저전력 요구를 만족시킬 수 있었다.

참고문헌

- [1] IEEE 802.15.6 Standard-2012, “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 15.6: Wireless Body Area Networks“, 2012.
- [2] IEEE 802.15.4 Standard-2011 “IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)”, 2011.
- [3] Flavia Martelli, Chiara Buratti, Roberto Verdone, “On the performance of an IEEE 802.15.6 Wireless Body Area Network,“ Wireless Conference-Sustainable Wireless Technologies (European Wireless), April, 2011.
- [4] BeomSeok Kim, Jinsung Cho, Dae-Young Kim, “An Emergency Handling Scheme for Superframe-Structured MAC Protocols in WBANs“, IEICE TRANSACTIONS on Communications, Vol.E94-B, No.9, pp.2484-2487, February, 2011.
- [5] Soo Young Shin, Hong Seong Park, Sunghyun Choi, Wook Hyun Kwon, “Packet error rate analysis of IEEE 802.15.4 under IEEE 802.11b interference”, Vehicular Technology Conference, Vol.3, May, 2006.

- [6] Axel Sikora and Voicu F. Groza, “Coexistence of IEEE802.15.4 with other Systems in the 2.4 GHz-ISM-Band,” Instrumentation and Measurement Technology Conference, Vol.3, pp.1796-1791, May, 2005.

- [7] M. Roshanzadeh and S. Saqaeean, “Error Detection & Correction in Wireless Sensor Networks By Using Residue Number Systems”, I. J. Computer Network and Information Security, pp.29-35, March, 2012.

- [8] Yin Chen and Andreas Terzis, “On the mechanisms and effects of calibrating RSSI measurements for 802.15.4 radios”, European conference on Wireless Sensor Networks, Vol.5970, pp.256-271, 2010.

- [9] Changli Jiao, Loren Schwiebert and Bin Xu, “On Modeling the Packet Error Statistics in Bursty Channels“, 27th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks, pp.534-541, November, 2002.

- [10] Dilip V. Sarwate, “Computation of cyclic redundancy checks via table look-up, Communication of the ACM, Vol.31, Issue.8, pp.1008-1013, August. 1988.

Abstract

A partial burst loss retransmission scheme in IEEE 802.15.4-based WBAN

ByoungSeon, Kim

Dept. of Computer Engineering

Graduate School of Kyung Hee University

WBAN (Wireless Body Area Network) is a wireless communication technology which operates around the human body and requires various data rate, short-range, high data reliability and low-power consumption. Due to frequency fading, noise, and interference from heterogeneous communication devices, frame errors occur frequently in wireless communication. Although IEEE 802.15.4 exists retransmission method to recovery frame loss, the existing method which retransmits whole frame may increase unnecessary power consumption. As a result, it can not satisfy the WBAN requirements and reduce WBAN lifetime. In this paper, we propose a partial burst

loss retransmission scheme in IEEE 802.15.4 to ensure data reliability and low power consumption in WBAN. The proposed scheme is reducing the size of retransmitted frame and reducing power consumption of transmission process. In addition, this method basically introduced the frame of IEEE 802.15.4 and supported the compatibility of various transmission mode. In order to do the analysis work for comparing with existing method, in this paper we structured a WBAN and performed the experiment. Form the result of our experiment for comparative analysis, it show the advantage of proposed scheme.

Key words : Wireless body area network, IEEE 802.15.4, Zigbee, ARQ, retransmission