

WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 기반 부분적 손실 재전송 기법 (A Partial Loss Retransmission Scheme in IEEE 802.15.4-based WBAN)

김 병 선 [†] 김 범 석 ^{††} 조 진 성 ^{†††}
(Byoungseon Kim) (Beomseok Kim) (Jinsung Cho)

요 약 WBAN (Wireless Body Area Network)은 인체를 중심으로 동작하는 통신 기술로써 근거리 영역에서의 다양한 전송률, 높은 신뢰성, 저전력을 요구한다. WBAN 환경을 구성하는 IEEE 802.15.4 기기의 데이터 통신은 이기종 기기 간 통신으로 인해 빈번한 프레임 손실이 발생한다. 이러한 프레임 손실을 복구하기 위해 IEEE 802.15.4 표준에서는 재전송 방안을 사용하고 있지만, 초기 전송 프레임을 재전송하는 기존의 기법은 불필요한 전력 소모를 유발한다. 이는 결과적으로 네트워크 수명 단축의 주요한 원인이 되며 WBAN의 저전력 요구사항을 만족시킬 수 없다. 본 논문에서는 WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 데이터 통신에 있어 데이터의 신뢰성 향상과 낮은 전력 소모를 보장하기 위한 부분적 손실 재전송 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 재전송 과정에서 재전송 프레임의 축소와 전송 전력 소모를 감소시키는 것을 목표로 기존의 기법과 시뮬레이션을 통해 제안하는 방안의 우수성을 검증하였다.

키워드: 무선 인체 통신, MAC, 재전송, ARQ, IEEE 802.15.4

Abstract 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 the interference from heterogeneous communication devices, the wireless data communication in IEEE 802.15.4 devices causes frame errors frequently. 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 loss retransmission scheme in IEEE 802.15.4 to ensure data reliability and low power consumption in WBAN. The proposed scheme focuses on reduction of retransmission energy compared with existing ARQ on IEEE 802.15.4. Extensive simulations were performed and the reduction of retransmission energy was validated.

Keywords: wireless body area network, MAC, retransmission, ARQ, IEEE 802.15.4

· 이 논문은 미래창조과학부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT 연구센터 지원 사업(NIPA-2013-(H0301-13-20011)) 및 교육과학기술부 및 한국과학재단의 중견연구자 사업(No. 2011-0015744)의 지원으로 수행된 연구결과임

[†] 비 회 원 : 경희대학교 컴퓨터공학과
ykbs0903@khu.ac.kr

^{††} 학생회원 : 경희대학교 컴퓨터공학과
passion0822@khu.ac.kr

^{†††} 종신회원 : 경희대학교 컴퓨터공학과 교수
chojs@khu.ac.kr
(Corresponding author)

논문접수 : 2013년 6월 17일
심사완료 : 2013년 9월 4일

Copyright©2014 한국정보과학회 : 개인 목적이나 교육 목적의 경우, 이 저작물의 전체 또는 일부에 대한 복사본 혹은 디지털 사본의 제작을 허가합니다. 이 때, 사본은 상업적 수단으로 사용할 수 없으며 첫 페이지에 본 문구와 출처를 반드시 명시해야 합니다. 이 외의 목적으로 복제, 배포, 출판, 전송 등 모든 유형의 사용행위를 하는 경우에 대하여는 사전에 허가를 얻고 비용을 지불해야 합니다.

정보과학회논문지 : 정보통신 제41권 제1호(2014.2)

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 통신 오류는 데이터 신뢰성에 직접적인 영향을 줄 뿐만 아니라, WBAN 사용자의 생명에 치명적인 위험을 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[1-4]. 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 통신기술을 사용하는 디바이스의 안정성을 저하시키고 프레임 손실을 유발할 수 있다. 최근에는 허가가 불필요한 전파 응용설비 및 새로운 소 출력 무선기기들의 상당수가 이 주파수 대역을 목표로 개발, 운영되고 있어 IEEE 802.15.4 데이터 통신에 상당한 간섭을 발생시키고 있으며, 전자 레인지 등과 같이 높은 주파수를 사용하는 가전기기 또한 프레임 손실에 주요한 원인이 되고 있다[5,6]. 또한, 무선 통신에서 발생하는 이러한 손실은 일반적으로 버스트 오류의 특징을 가지고 있다[7].

이렇게 다양한 원인으로 발생하는 프레임 손실을 해결하기 위해 IEEE 802.15.4 표준에서는 프레임을 재전송하는 ARQ (Automatic Repeat & Request) 방안을 사용한다. ARQ는 정상 프레임 수신을 송신 측 기기에 알리기 위해 ACK (Acknowledgement) 메시지를 전송하고, 오류가 발생한 경우 최초 전송된 프레임을 재전송하여 정상적으로 프레임을 수신할 때까지 위 과정을 반복하는 대표적인 오류 보정 기법이다. 하지만 기존의 ARQ 방식은 프레임 손실 처리에 대한 재전송 과정에서 불필요한 오버헤드와 추가적인 전송 전력 소모가 발생한다. 즉, 프레임 내부에 손실이 발생한 페이로드 구간과 손실이 발생하지 않은 구간을 포함한 최초 전송 프레임을 반복적으로 재전송하기 때문에 WBAN 기기에 장착된 RF 모듈에는 불필요한 데이터 처리와 추가적인 전송 전력 소모가 발생한다. 또한, 최초 전송 프레임과 동일한 크기의 재전송 프레임 역시 버스트 오류에 노출되어 프레임 손실이 발생될 확률이 높다는 문제점이 있다. 이러한 기존의 기법을 WBAN 환경의 저전력 IEEE 802.15.4 기기에 적용하였을 경우, 빈번한 프레임 손실과 반복적인 재전송 처리로 인한 네트워크의 수명 단축과 더불어 데이터의 신뢰성을 감소시키는 주요한 원인이 될 것이다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 기반 부분적 손실 재전송 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 WBAN 환경에서 IEEE 802.15.4 기기의 채널에 지속적인 프레임 손실 상황을 판단하고 페이로드 분할 프레임을 초기 프레임으로 전송한다. 이를 통해 재전송 과정에 사용되는 재전송 프레임을 축소하여 전송 전력 소모를 감소시키고 프레임의 전송 성공률을 향상시킨다[8].

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2절에서는 관련 연구로써 ISM 대역을 사용하는 IEEE 802.15.4 통신기술의 프레임 손실을 처리하기 위한 기존의 방안에 대해서 소개하고, 3절에서는 본 논문에서 제안하는 기법에 대한 상세한 설명을 제공한다. 4절에서는 IEEE 802.15.4 표준의 기존 ARQ 방안과 제안하는 기법에 대한 시뮬레이션 성능평가 및 분석을 수행하며, 5절에서는 결론을 기술한다.

2. IEEE 802.15.4의 프레임 손실 처리

본 장에서는 IEEE 802.15.4 통신 환경에서 발생하는 프레임 손실에 대해 이를 복구하기 위한 기존의 손실 처리 방안에 대해 설명한다. 프레임 손실에 대한 처리는 IEEE 802.15.4 표준에서 정의한 Acknowledgement requested와 No acknowledgement requested 전송 방식에 따라 구분될 수 있으며, 각 방식에 대한 동작은 그림 1과 같다.

먼저, No acknowledgement requested 전송은 데이

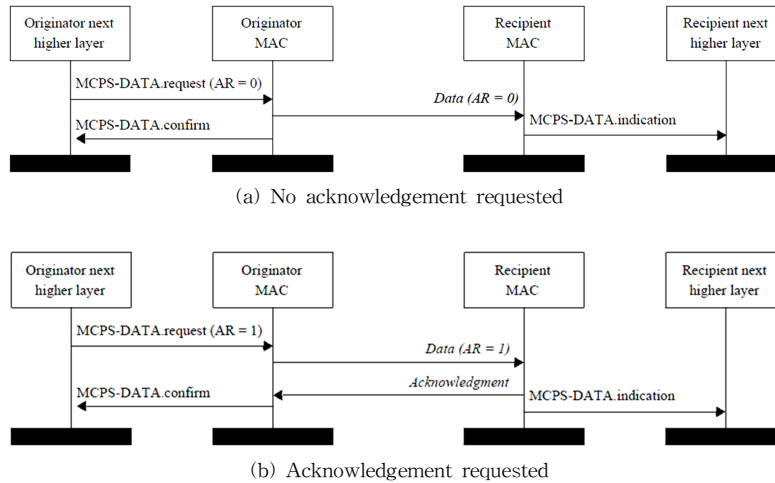


그림 1 IEEE 802.15.4 의 데이터 전송

Fig. 1 Data transfer of IEEE 802.15.4

터 송신 후, 수신 노드에 정상수신 여부를 확인하지 않는 전송 방식으로써 IEEE 802.15.4 표준에서는 Beacon 프레임과 Acknowledgement 프레임 전송에 사용하도록 권고한다. 본 방식을 사용하는 송신 노드는 수신 측 노드의 응답을 받기 위한 지연시간($macAckWaitDuration$)과 대기전력 소모를 발생시키지 않는 장점이 있지만, 프레임 손실에 대한 적절한 처리를 지원하지 않기 때문에 데이터의 신뢰성을 보장하지 않는 문제점이 있다.

Acknowledgment requested 전송은 송신한 프레임의 수신 여부를 확인하는 방식으로 표준에서는 Command 프레임과 Data 프레임에 본 방식을 사용하도록 권고한다. 프레임 송신을 완료한 MAC Protocol은 표 1에 정의된 $macAckWaitDuration$ 동안 수신 노드의 응답 프

레이를 대기한다. 프레임을 수신한 수신 노드는 프레임 손실검출 방법 중 하나인 16-bit ITU-T CRC 검사 방식을 통해 프레임 손실의 유무를 판별한다. 이 방식은 IEEE 802.15.4 표준에서 기본적으로 사용하고 있는 오류 검출 방식으로써 생성 다항식과 송신 노드 측으로부터 생성된 CRC 코드를 통해 오류를 검출한다. CRC 코드는 그림 2와 같이 IEEE 802.15.4 표준 프레임 내부의 FCS (Frame Check Sequence) 필드에 포함되며, 본 방식을 통해 프레임 내부의 MHR (MAC Header)와 Payload 구간의 손실을 검출할 수 있다. 이러한 손실 검출 과정을 거쳐 정상 프레임을 확인한 수신 노드는 수신 프레임의 sequence number를 포함하는 ACK 프레임을 생성하여 브로드캐스팅 전송을 수행한다. $macAckWaitDuration$ 동안 ACK 프레임을 수신한 송신 노드는 ACK 프레임 내 포함된 sequence number와 초기 전송 프레임의 sequence number를 비교하여 전송 성공 여부를 판단한다. $macAckWaitDuration$ 의 만료 또는 수신된 ACK 프레임이 손실되었을 경우, 송신 노드는 초기 전송 프레임을 재전송 시도한다. 이러한 재전송 작업에 대해 IEEE 802.15.4 표준은 $macMaxFrameRetries$ 을 통한 최대 3회까지의 재전송을 허용하고 있으며, 이 값은 0부터 7까지 변경이 가능하다.

한편, 무선 환경에서 발생하는 프레임 손실은 일반적으로 불규칙한 버스트 오류의 형태를 보인다. 이러한 버스트 오류가 프레임 내부 페이로드 영역에 전반적으로 분포되었을 경우, IEEE 802.15.4의 ARQ 방식은 초기 프레임을 재전송 시도하여 프레임을 복구한다. 하지만 이러한 기존의 재전송 방식은 페이로드 영역에 발생한 부분적인 오류에 대해서도 최초 전송된 프레임을 그대로

표 1 IEEE 802.15.4 의 파라미터

Table 1 Parameter in IEEE 802.15.4

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

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 의 일반 프레임 구조

Fig. 2 General frame format in IEEE 802.15.4

재전송하기 때문에 RF 모듈에서는 불필요한 전송 전력 소모가 발생한다. 이처럼 IEEE 802.15.4 의 기존 ARQ 방식은 빈번한 간섭 환경에서 전력 소모 낭비의 문제점이 있으며, 본 방식을 적용한 WBAN 환경에서는 네트워크 수명을 단축시키게 되는 주요한 원인이 될 수 있다.

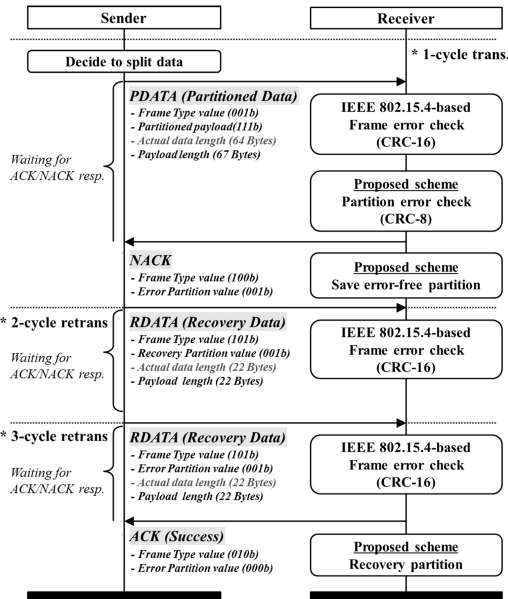
이러한 문제를 해결하기 위해 본 논문에서는 WBAN 을 구성하는 IEEE 802.15.4 데이터 통신에 적합한 부분적 손실 재전송 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 지속적인 간섭으로 발생하는 버스트 오류의 특징을 활용하여 재전송 과정에서 발생하는 전송 전력 소모를 줄이고 네트워크의 수명을 연장시키는 것을 목표로 한다.

3. 제안하는 기법

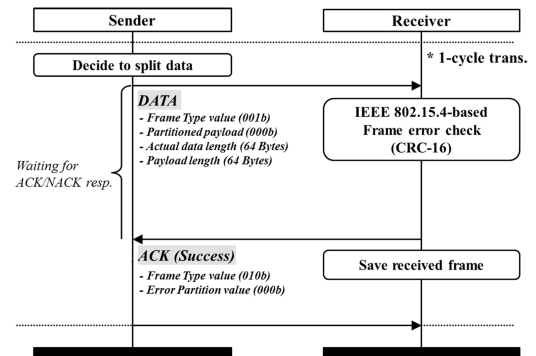
WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 데이터 통신에서 반복되는 재전송 처리는 WBAN 기기의 추가적인 전송 전

력 소모와 네트워크의 수명을 단축시키는 주요한 원인이 된다. 또한, 무선 환경에서 발생하는 프레임 손실은 일반적으로 불규칙한 버스트 오류의 특징을 나타낸다. 제안하는 기법은 이러한 버스트 오류의 특징을 활용하여 프레임 내부의 페이로드 구간을 분할한 프레임을 초기 전송하며, 이후의 재전송 과정에서 축소된 재전송 프레임을 사용하여 RF 모듈의 전송 전력 소모를 줄인다. 제안하는 기법에 대한 구체적인 동작 흐름은 그림 3과 같으며, 이에 대한 상세한 설명은 아래와 같다.

그림 3(a)는 제안하는 기법의 분할 결정 모델을 통한 분할 프레임 전송과 분할 프레임에 대한 부분적 복구 과정을 나타낸다. 먼저, 분할 결정 모델은 IEEE 802.15.4 기기가 사용하는 주파수 채널의 지속적인 프레임 손실률을 계산한다. 계산 결과가 분할결정 조건에 만족되는 경우, 프레임 내부의 페이로드 구간을 분할한 PDATA



(a) Split frame transmission and partial retransmission process



(b) Non-split transmission process

그림 3 제안하는 기법의 동작 흐름도

Fig. 3 Operation flow of the proposed scheme

(Partitioned Data) 프레임 생성한다. 반면, 조건에 만족되지 않는 경우는 분할 과정에서 발생하는 오버헤드를 방지하기 위해 그림 3(b)와 같이 IEEE 802.15.4에서 기본적으로 정의한 DATA(Data) 프레임 사용하여 일반적인 재전송 기법을 따른다. PDATA 프레임은 총 3개의 분할된 페이로드 구간으로 구성되어 있으며, 각 분할된 페이로드 구간의 마지막 byte 에는 각 구간의 오류를 검출하기 위한 8-bit CRC 코드를 추가한다. 제안하는 기법의 송신 노드는 IEEE 802.15.4 표준에서 정의된 총 3회의 재전송 사이클을 수행하며, 분할 결정 모델을 통해 생성된 PDATA 프레임은 총 전송 사이클 중 최초 사이클(1-cycle trans)을 통해 전송된다. PDATA 프레임을 수신한 수신 노드는 IEEE 802.15.4 표준의 CRC-16 검사를 통해 프레임 내부의 MHR과 payload 의 손실을 검사한다. 손실이 없는 PDATA 또는 DATA 프레임에 대해 수신 노드는 수신 프레임의 Sequence number를 포함한 ACK 프레임을 생성하여 브로드캐스트 전송하며, 이를 수신한 송신 노드는 자신의 Sequence number 와 비교하여 전송 성공 여부를 확인한다. 반대로, CRC-16 검사를 통해 프레임 손실이 검출된 경우, PDATA 프레임 내부의 페이로드 분할 구간에 포함된 CRC 코드를 통해 각 구간에 대한 손실 여부를 확인한다. 손실 페이로드 구간의 정보는 NACK (Negative ACK) 프레임을 통해 송신 측 노드에 전달되며, 이를 수신한 송신 노드는 NACK 프레임에 포함되어 있는 분할된 각 페이로드 구간의 손실 정보를 기반으로 RDATA (Recovery data) 프레임을 생성한다. RDATA 프레임은 PDATA 프레임의 분할 된 페이로드 구간 중 손실 구간만으로 구성된 재전송 프레임으로써 남은 재전송 사이클을 통해 부분적 복구 프레임으로 사용된다.

이러한 과정을 통해 제안하는 기법은 지속적인 프레임 손실이 발생하는 WBAN 환경에서 IEEE 802.15.4 기기의 재전송 프레임의 크기를 최대 1/3까지 축소시킬 수 있으며, 축소된 재전송 프레임으로 향상된 PRR (Packet Reception Ratio)와 전송에 사용되는 불필요한 전력 소비를 감소시킬 수 있다. 또한, 분할 결정 모델의 조건이 만족하지 않는 경우, 기존의 전송 기법과 동일하게 동작함으로써 페이로드 분할 프레임 생성에 대한 오버헤드를 방지하여 채널의 상태에 따라 프레임의 부분적 손실에 대한 유연한 재전송 처리가 가능하다. 이러한 과정을 통해 WBAN 환경에서의 제안하는 기법은 기존의 기법보다 데이터의 신뢰성을 향상과 저전력 요구조건을 만족시킬 수 있다. 또한, IEEE 802.15.4 표준 프레임 구조를 기반으로 설계하였기 때문에 표준에서 지원하는 beacon enabled superframe, beacon enabled non-superframe, non beacon 모드에 역시 적용이 가능하다는 장점을 가진다.

제안하는 기법의 세부적인 사항은 다음 절을 통해 설명한다. 1절에서는 제안하는 기법의 분할 결정 모델에 대해 설명하며, 2절에서는 분할 페이로드로 구성된 PDATA 프레임의 오류검출 기법과 마지막 절에서는 제안하는 기법의 프레임 정의에 대해 상세히 기술한다.

3.1 분할 결정 모델

본 절에서는 주파수 채널에 대한 프레임 손실률을 계산하고, 이 결과를 통해 제안하는 기법의 PDATA 프레임 또는 DATA 프레임을 전송을 결정하는 분할 결정 모델에 대해 설명한다.

분할 결정 모델은 기본적으로 그림 4와 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 프레임 손실이 발생한 경우를 각각 G 상태와 B 상태로 보며, 프레임 손실에 대한 각각의 상태 전이 확률은 p 와 q 로 표현한다.

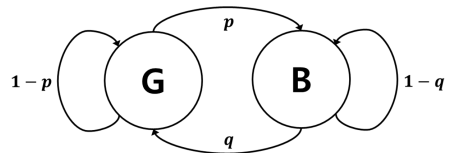


그림 4 길버트 프로세스 모델

Fig. 4 Gilbert process model

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 수신된 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.

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

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 수 $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 는 식 (2)로 표현될 수 있다.

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

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

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

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

각 경우의 수는 이전 전송 상태를 기반으로 현재 전송에 대한 횟수를 의미한다. α 는 전송 성공에 대한 현재 전송의 실패 횟수를 나타낸다. 즉, 이전의(t-1) PDATA 또는 RDATA 프레임의 전송 성공에 대해, 현재(t) PDATA 또는 RDATA 프레임에 대한 전송 실패 횟수를 의미한다. 프레임 전송 성공과 실패 여부는 수신 측으로부터 돌아오는 ACK 프레임으로 구분한다. 반대로, δ 는 t-1 전송의 실패에 대한 t 전송이 실패한 횟수로서 연속적인 프레임 전송 실패에 대한 경우의 수를 의미한다. 마찬가지로 이전 전송의 실패와 성공에 대한 현재 전송 성공의 경우의 수를 각각 β , γ 로 표현할 수 있다. 이러한 경우의 수들을 이용하여 전이확률 p와 q는 식 (3)을 통해 구한다.

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

이를 기반으로 식 (1)의 상태 유지 확률을 계산하고, 길버트 프로세스 모델의 연속적인 프레임 손실률은 식 (4)와 같이 계산할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \Pr[X_n = B, X_{n+1} = B, X_{n+2} = B] \\ &= \Pr[X_{n+2} = B | X_{n+1} = B] \\ & \cdot \Pr[X_{n+1} = B | X_n = B] \cdot \Pr[X_n = B] \\ &= (1-q) \cdot (1-q) \cdot \frac{p}{p+q} > 0.01 (PER) \end{aligned} \quad (4)$$

이 결과를 IEEE 802.15.4 표준에서 정의한 최대 허용 PER(Packet Error Rate)과 비교한다. 비교 조건이 만족하는 경우, WBAN 기기 간 통신에서 지속적인 프레임이 손실이 발생하고 있는 상황으로 판단하며 제안하는 기법은 데이터를 분할한 PDATA를 생성한다. 조건이 만족하지 않는 경우, 안정적인 채널 상태로 간주하며 제안하는 기법은 기존 전송 방안과 동일한 DATA 프레임을 사용한다.

3.2. 부분적 손실 검사 방법

송신노드의 분할 결정 모델을 통해 생성된 PDATA 프레임은 분할된 페이로드 구간마다 손실 검출을 위한 코드가 포함된다. 수신노드는 IEEE 802.15.4 표준의 CRC-16 검사를 통해 PDATA의 프레임 손실이 확인된 경우, 분할된 각 페이로드 구간의 손실을 검출한다. 본 절에서는 이러한 페이로드 구간의 손실을 검출하기 위한 부분적 손실 검사 방법에 대해 설명한다.

무선 환경에서의 프레임의 손실은 대부분 버스트 비트 오류 형태로 발생하며, 이러한 버스트 비트 오류를 검출에 강한 특성을 가진 검사방법 중 하나인 CRC (Cyclic Redundancy Check) 검사가 있다. 이 방법은 CRC 다항식을 기반으로 송신측의 CRC Code를 통해 수신측의 오류를 검출하는 방식으로 CRC-5, CRC-8, CRC-16 등의 다양한 종류의 CRC 방식이 존재한다[10]. CRC 방식의 구현은 크게 하드웨어와 소프트웨어적 구현 방식이

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 5 Table-driven CRC-8 코드 생성 예

Fig. 5 An example of table-driven CRC-8 code generation

존재하며, 소프트웨어 방식은 Direct-calculation 방식과 Table-driven 방식으로 분류된다. Direct-calculation 방식은 CRC 다항식만을 이용한 오류 검출과 효율적인 메모리 사용의 장점을 가지고 있지만, bitwise 동작으로 인한 지연시간이 발생한다는 단점이 있다. 이러한 문제는 수신 노드로부터 ACK 또는 NACK 응답 프레임을 받기 위한 대기시간을 초과시킬 수 있으며, 본 방법을 WBAN 환경에 적용하였을 경우 WBAN의 사용자에게 치명적인 위험을 초래할 수 있다.

따라서 제안하는 기법은 부분적 손실 검사로 발생하는 지연시간의 최소화과 복잡도 감소를 위한 Table-driven 방식 기반의 CRC-8을 사용한다. Table-driven 기반 CRC 방식은 미리 계산된 256 개의 CRC 코드를 테이블화(lookup table)하여, 참조와 XOR 연산만으로 CRC 코드를 생성한다. 또한, 이 방식은 Direct-calculation 방식의 bitwise 연산에 비해 byte 단위 연산을 수행함으로 향상된 CRC 속도를 가진다는 장점이 있다. 그림 5는 제안하는 기법이 사용하는 Table-driven 기반 CRC-8 코드 생성의 한 예로써, 상세한 설명은 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 string의 값(A3h)과 CRC 레지스터의 XOR 연산 결과를 CRC lookup table의 엔트리로 반환하며, 최종적으로 생성된 반환 값을 CRC-8 코드로 사용한다.

3.3 프레임 정의

제안하는 기법은 총 5개의 DATA, PDATA, RDATA, NACK, ACK 프레임을 사용하고 있으며, 각 프레임들

은 IEEE 802.15.4 표준의 일반 프레임 형식을 기반으로 설계되었다. 본 절에서는 제안하는 기법의 프레임 구조에 대해 설명하며, 이에 대한 형식은 그림 6과 같다.

PDATA 프레임은 3개의 분할된 페이로드 구간과 각 구간마다 8-bit CRC 코드를 포함한다. 분할된 페이로드의 각 구간은 Frame Control Field의 reserved 구간(3bit)에 맵핑이 되어 있으며, NACK 프레임과 RDATA 프레임의 손실 또는 복구 구간을 확인하기 위한 영역으로 활용된다. 또한, PDATA 프레임은 각 분할 구간마다 CRC 코드를 포함하기 때문에 기존 DATA 프레임 길이에 3-byte가 추가되는 특징을 갖는다. DATA 프레임은 IEEE 802.15.4 표준의 기존의 재전송 기법에서 사용되는 일반적인 프레임을 의미한다. PDATA와 DATA 프레임은 동일한 Frame Type Value (001b)을 사용하고 있으며, 각 프레임은 Frame Control Field에 포함된 Partitioned Payload 필드를 통해 서로 구분될 수 있다. NACK 프레임은 ACK 프레임과 동일한 프레임 구조로 구성되어 있으며, 두 프레임은 Frame Control Field의 7-9 bit 구간을 통해 구분될 수 있다. 즉, 수신된 PDATA 프레임의 손실 페이로드 구간을 Frame Control Field의 7-9 bit의 각 영역에 세트하여 송신 노드에 NACK 프레임을 통해 부분적 재전송을 요청한다. 이후 재전송 과정에서 사용되는 RDATA 프레임은 PDATA 프레임의 손실 페이로드 구간을 복구하기 위해 사용된다. 즉, RDATA 프레임은 PDATA 프레임의 손실된 페이로드 구간만을 포함하고 있으며, 각 구간은 CRC 코드를 제외한 데이터로 구성되어 있다.

이와 같이 제안하는 기법은 IEEE 802.15.4 표준의 일반 프레임 형식을 기반으로 초기 전송 프레임과 재전송 프레임을 구분 및 설계하였으며, 이를 통해 재전송 과정에서 전체 프레임을 재전송하는 문제점을 해결하였다.

또한, 제안하는 기법은 IEEE 802.15.4 표준 프레임의 reserved 구간을 손실 및 복구 표시 구간으로 재사용함으로써 분할 정보를 저장하기 위한 추가적인 공간을 요구하지 않는다.

4. 성능 평가

제안하는 기법의 성능 평가를 위해 본 장에서는 IEEE 802.15.4 표준의 ARQ 기법과 제안하는 부분적 재전송 기법과 성능 분석을 수행하였다.

먼저, 성능분석을 위한 시뮬레이션 환경에서는 프레임 손실을 발생시키기 위한 손실 모델이 필요하다. 또한, 무선 환경에서 발생하는 프레임 손실은 일반적으로 버스트 오류 형태로 불규칙하게 발생한다. 따라서 본 논문에서는 실제 WBAN 환경을 구성하여 IEEE 802.15.4 통신 노드에서 발생하는 버스트 오류에 대한 트레이닝 데이터 샘플을 추출하여 시뮬레이션 성능 평가에 적용한다.

실제 WBAN 환경에서 사용될 노드는 한백전자에서 개발된 ZigbeX-II 모드를 사용하며, 특징은 표 2와 같다. 실험 모드는 각각 송신과 수신을 수행할 센서 노드와 코디네이터로 구성하였으며, 코디네이터는 에너지 제약사항이 없는 조건으로 송신 측 프레임에 대한 응답 프레임(NACK 또는 ACK)만을 -3 dBm의 송신 출력으로 브로드캐스팅 한다. 한편, 개인건강기밀 표준을 정의하고 있는 IEEE 11073에서는 주기적으로 발생하는 혈압 모니터링 데이터의 크기를 64byte로 정의하고 있다. 이를 기반으로 센서 노드는 64byte의 데이터를 500ms 주기로 코디네이터에게 전송하도록 구성한다. 또한, 센서 노드는 WBAN이 요구하는 에너지 제약 특성을 고려하여 약 6미터 LOS(Line of Sight) 커버리지를 갖는 15 dBm 저출력을 유지한다. 이렇게 센서 노드와 코디네이터는 서로 4 미터의 거리를 유지한다. IEEE 802.11g

* 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 PDATA : 111b DATA : 000b	Dest Ad. Mode	Frame Version	Src Ad. Mode

* 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 0/1 / 0/1 / 0/1	Dest Ad. Mode	Frame Version	Src Ad. Mode

* 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 NACK : 0/1 / 0/1 / 0/1	Dest Ad. Mode	Frame Version	Src Ad. Mode

그림 6 제안하는 기법의 프레임 정의

Fig. 6 Frame type definition of proposed scheme

표 2 ZigbeX-II 특징
Fig. 2 ZigbeX-II features

ZigbeX-II	Feature	Type
Sensor	MCU	Atmel Atmega128A
	RF module	Chipcon CC2420
	TX power	-15 dBm
	Payload size	64 byte
	TX period	500ms
Coordinator	MCU	Atmel Atmega128A
	RF module	Chipcon CC2420
	TX power	-3 dBm

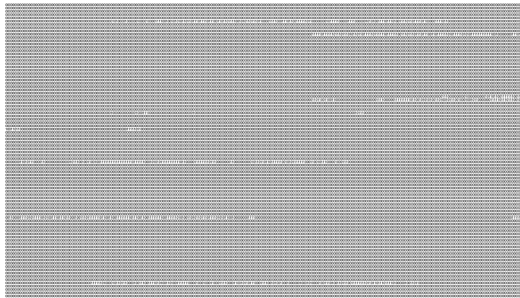


그림 7 실험을 통해 추출된 트레이닝 데이터 샘플 (BER 0.047)
Fig. 7 Training data sample extracted from the actual experiment

기반 간섭 기기는 총 AP와 2대의 디바이스를 사용하였으며, AP와 디바이스 간 거리는 7미터를 유지한다. 각 디바이스는 서로 다른 주기의 트래픽으로 WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 기기 간 통신에 프레임 손실을 발생한다.

본 환경을 기반으로 추출된 트레이닝 데이터 샘플의 일부 결과는 그림 7과 같다. 0.047의 BER을 수치를 보이는 WBAN 환경에서 데이터 샘플은 센서 노드로부터 코디네이터에게 전송된 정상 프레임과 손실 프레임을 모두 수집하였다. 프레임 내부 정상 bit와 오류 bit를 각각 0과 1로 나타내었으며, 페이딩, 간섭 등으로 상당한 버스트 비트 오류가 발생한 결과를 확인할 수 있었다. 본 논문에서는 성능평가를 위해 0.005, 0.017, 0.047, 0.061의 BER 환경에서 각각 8,000개의 트레이닝 데이터 샘플을 추출하였다.

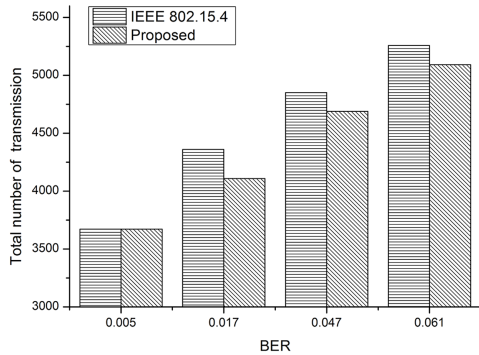
이러한 데이터 샘플을 기반으로 IEEE 802.15.4 표준의 기존 ARQ 기법과 제안하는 기법에 성능평가 시뮬레이션을 수행한다. SMPL을 기반으로 구성된 시뮬레이션 환경은 위의 실험의 트레이닝 데이터 추출 환경과 동일한 총 2대의 센서 노드와 코디네이터를 기반으로, 센서는 64-byte 데이터를 500ms 주기로 총 3,600개의 프레임을 전송한다. 트레이닝 데이터 샘플은 매 전송 시 적

용되어 프레임 손실을 발생하며, 이를 기반으로 기존 ARQ 기법과 제안하는 기법의 전송 횟수, 전송 성공률, 에너지 소모에 대한 시뮬레이션 성능평가 결과를 측정하였으며, 이에 대한 결과는 그림 8과 같다.

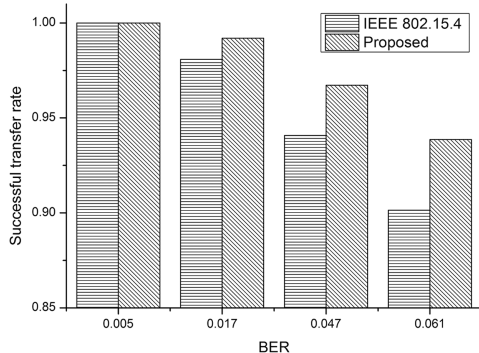
그림 8(a)는 센서가 코디네이터에게 프레임을 전송한 총 횟수로써, 최초 전송과 재전송을 모두 포함한 횟수를 의미한다. BER 수치가 0.005일 경우, 제안하는 기법은 기존 ARQ 기법과 동일한 성능을 보여주는 것을 확인할 수 있다. 이러한 이유는 제안하는 기법의 분할결정 모델의 분할결정 조건을 만족하지 않아 분할 전송을 수행하지 않아 IEEE 802.15.4 기존 ARQ 기법과 동일하게 동작하였기 때문이다. 하지만, BER 수치가 상승할수록 기존의 ARQ 기법과 제안하는 기법 모두 프레임 손실에 대한 전송 횟수가 증가하는 것을 볼 수 있다. 기존의 ARQ 기법은 수신 프레임의 단 1 bit라도 손실이 발생할 경우, 최초 프레임을 그대로 재전송하기 때문에 총 전송횟수가 급격히 증가하는 결과를 보인다. 반면, 제안하는 기법은 분할결정 모델과 불규칙한 버스트 비트 오류의 특성을 활용하여 손실된 프레임 구간만을 부분적 재전송하기 때문에, 축소된 프레임으로 인해 향상된 전송 성공률과 전송 횟수가 감소하는 것을 볼 수 있다.

그림 8(b)는 센서가 전송하는 프레임에 대한 전송 성공률을 나타내며, 수신 측의 ACK 응답을 받는 경우를 전송 성공으로 간주하였다. 기존 기법과 제안하는 기법 모두 BER 수치가 상승할수록 전송 성공률이 감소되는 결과를 확인할 수 있었다. 이는 상승하는 BER 수치와 반복되는 프레임 손실로 재전송 프레임과 응답 프레임에 손실이 발생하였기 때문이다. 기존의 ARQ 기법은 최초 전송 프레임을 그대로 재전송 프레임으로 사용하기 때문에 BER이 상승할수록 전송 성공률을 급격히 감소시킨다. 하지만 제안하는 기법은 프레임 크기에 따라 PRR(Packet reception ratio)이 의존적인 특성을 고려하여, 축소된 프레임 크기에 따라 기존의 기법보다 향상된 전송 성공률을 확인할 수 있었다.

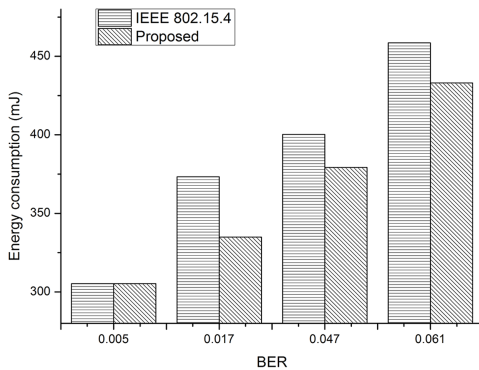
그림 8(c)는 센서와 코디네이터의 전송에 수행된 총 에너지 소모량을 나타낸다. 이는 최초 전송을 시작으로 재전송, 응답 프레임 전송에 사용되는 에너지 소모를 고려하여 측정하였다. 본 결과도 마찬가지로 BER 수치에 의존적인 추가적인 에너지 소모가 발생하는 것을 볼 수 있다. 기존의 ARQ 기법은 BER의 증가에 따라 최초 전송 프레임을 재전송하기 때문에 상당한 에너지 소모가 발생함을 보이고 있다. 반면, 제안하는 기법은 부분적인 손실에 대해 최대 1/3까지 축소된 재전송 프레임을 사용하므로 감소된 전송 에너지와 향상된 전송 성공률로 결과적으로 네트워크의 추가적인 에너지 감소를 확인할 수 있었다.



(a) The total number of frames transmitted



(b) Successful transfer rate



(c) Energy consumption

그림 8 시뮬레이션 결과
Fig. 8 Simulation result

5. 결론

의료/비의료 서비스 동시 제공을 목적으로 하는 WBAN 환경에서 IEEE 802.15.4 통신 기술은 페이딩, 노이즈, 이기종 통신 기술과의 간섭 등과 같은 이유로 데이터 전송에 상당한 프레임 손실이 발생한다. 또한, 무선 환경에서 프레임 손실은 대부분 불규칙한 버스트

비트 오류의 형태를 보인다. 이를 기반으로 본 논문에서는 WBAN 환경의 IEEE 802.15.4 기반 부분적 손실 재전송 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 분할 결정 모델을 통해 지속적인 프레임 손실률을 계산하고, 최초 전송 시 분할 프레임을 전송하여 이후 재전송 프레임을 재구성한다. 이를 통해 재전송 프레임의 크기를 최대 1/3 까지 축소시킬 수 있으며, WBAN 기기의 RF 모듈의 전송 전력 소모를 감소시킬 수 있다. 또한, IEEE 802.15.4 표준 프레임을 기반으로 설계된 본 기법은 다양한 전송 모드와 호환성을 제공한다. 시뮬레이션에서는 IEEE 802.15.4 표준의 기존 재전송 방안과 성능 분석 결과를 통해 전송 성공률, 총 전송 횟수, 그리고 에너지 소모 측면에서 높은 성능을 보여줌으로써, 제안하는 기법은 기존 재전송 방안에 비해 WBAN 요구사항을 만족시킬 수 있는 결과를 얻을 수 있었다.

References

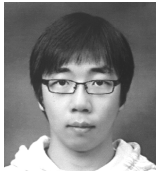
- [1] IEEE 802.15.6 Standard-2012, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 15.6: Wireless Body Area Networks," 2012.
- [2] IEEE 802.15.4 Standard-2011, "IEEE Standard for Local and metropolitan area networks-Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)," 2011.
- [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)*, Apr. 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, Feb. 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, 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, Mar. 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," *Proc. of the 27th Annual IEEE Conference on Local Computer Networks*, pp.534-541, Nov. 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, Aug. 1988.



김 병 선

2011년 백석대학교 정보통신학부(학사)
 2013년 경희대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2013년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과
 박사과정. 관심분야는 임베디드 시스템,
 센서 및 인체 네트워크



김 범 석

2010년 경희대학교 컴퓨터공학과(학사)
 2012년 경희대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2012년~현재 경희대학교 컴퓨터공학과
 박사과정. 관심분야는 무선 센서 네트워
 크 및 인체 네트워크



조 진 성

1992년 서울대학교 컴퓨터공학과(학사)
 1994년 서울대학교 컴퓨터공학과(석사)
 2000년 서울대학교 컴퓨터공학과(박사)
 1998년 IBM T.J. Watson Research
 Center Visiting Researcher. 1999년~
 2003년 삼성전자 책임연구원. 2003년~
 현재 경희대학교 컴퓨터공학과 부교수. 관심분야는 모바일
 네트워크, 임베디드 시스템, 센서 및 인체 네트워크