

MIM 적용을 통한 IoT 기반 무선 센서 네트워크 성능 최대화 방안

강영명

삼성전자 네트워크사업부 책임연구원

Maximizing the capacity of the IoT-based WSNs by employing the MIM capability

Young-myoung Kang

Staff Researcher, Network Business, Samsung Electronics

요약 향상된 프리앰블 탐지기술인 Message In Message (MIM) 기능을 적용한 무선 센서 노드들은 캡처 효과에 의한 동시전송 기회를 최대화하여 IEEE 802.15.4를 기반으로 동작하는 기존 센서들에 비해 시스템 성능을 크게 향상시킬 수 있다. 본 논문에서는 MIM 기능을 무선 센서 노드에 적용할 경우 얻을 수 있는 성능 이득을 분석하기 위해 MIM 캡처 확률 모델을 제안하였다. 그리고 MIM 캡처 효과에 따른 성능이득을 확인하기 위해 IEEE 802.15.4 및 MIM 동시전송 기능을 파이썬으로 구현하여 시뮬레이션을 수행하였다. 성능 평가를 통해 MIM 기법을 적용한 센서 노드는 IEEE 802.15.4 방식의 센서 노드에 비해 시스템 처리량은 34% 향상되었고 전송 지연은 31% 개선되어 전반적으로 MIM 캡처 확률 모델의 분석결과와 일치함을 확인할 수 있었다.

주제어 : 메시징인메시지, 무선 센서 네트워크, 캡처 효과, 성능 평가, 무선랜

Abstract Wireless sensor nodes adopting the advanced preamble detection function, Message-In-Message (MIM), maximize the concurrent transmission opportunities due to the capture effect, result in improving the system performance significantly compared to the legacy IEEE 802.15.4 based sensor devices. In this paper, we propose an MIM capture probability model to analyze the performance gains by applying the MIM function to the wireless sensor nodes. We implemented the IEEE 802.15.4 and MIM by Python and performed extensive simulations to verify the performance gains through MIM capture effects. The evaluation results show that the MIM sensors achieve 34% system throughput gains and 31% transmission delay gains over the legacy IEEE 802.15.4-based sensors, which confirm that it was consistent with the analysis result of the proposed MIM capture probability model.

Key Words : Message-In-Message, WSNs, Capture Effect, Performance Analysis, WLAN

1. 서론

IoT(Internet of Things) 세상이 도래함에 따라 무선랜(WLAN) 및 블루투스(Bluetooth), WPAN(IEEE 802.15.4) 등의 무선 연결 기술(Wireless Connectivity)을 사용하는 기기가 폭발적으로 증가하고 있다. 이러한 변화에 발맞추어 무선망의 자원을 효율적으로 사용하

고자 하는 연구들도 활발하게 진행되고 있다[1-10]. 본 연구에서는 여러 가지 무선 기술들 중 2.4 GHz 대역의 ISM(Industrial, Scientific, Medical) 분야에서 보편적으로 쓰이는 무선 센서 네트워크의 전송 효율을 향상시키는 것에 초점을 맞춘다.

무선망에서는 일반적으로 동시에 전송된 패킷들은

*Corresponding Author : Young-myoung Kang(kang.youngmyoung@gmail.com)

Received October 11, 2020

Accepted November 20, 2020

Revised November 3, 2020

Published November 28, 2020

서로간의 간섭과 충돌로 인해 디코딩에 실패하고 결국 전송 실패로 이어진다. 이러한 이유로 IEEE 802.15.4에 기반한 MAC 프로토콜을 사용하는 무선 센서망에서도 동시전송을 허용하지 않는다. Fig. 1의 예에서 보는 바와 같이 두 개의 센서 A, B가 서로 간섭을 주는 환경에 있을 때, A가 전송을 하고 있을 때 B는 CCA(Clear Channel Assessment)를 통해 A의 전송이 감지되면 자신의 전송을 지연시키고 A의 전송이 끝났다고 판단할 때 다시 CCA를 통해 채널을 감지하고 채널에 다른 전송이 없다고 판단할 때 자신의 전송을 시도한다.

앞서 설명한 동시전송으로 인한 충돌을 방지하기 위해 패킷 전송을 순서화(Serialized)한 전통적인 방법과 달리 무선망에서 동시전송된 패킷들도 물리계층의 캡처 효과(Physical Layer Capture Effect)로 인해 성공적으로 수신할 수 있다는 것이 실험적으로 밝혀졌다 [9,10]. 물리계층의 캡처 효과는 충분히 큰 SINR(Signal to Interference plus Noise Ratio)을 가지고 간섭 신호보다 먼저 목적지 노드에 도착하거나 혹은 간섭 신호의 프리앰블 시간 이내에 도착하면 성공적인 전송이 되는 현상을 말한다. 한편, MIM(Message-In-Message)[11,12] 기능이 구현되어 있는 Qualcomm Atheros사의 칩셋 [13]을 사용하는 무선 랜카드의 경우 향상된 프리앰블 탐지기술(preamble detection function)의 효과로 인해 의도한 신호가 충분히 큰 SINR값을 가지는 경우 간섭 신호의 프리앰블 시간 이후에 도착해도 캡처가 될 수 있다 (이를 MIM Capture Effect라고 한다). Fig. 2는 앞서 설명한 물리계층의 캡처와 MIM 캡처의 차이를 보여준다.

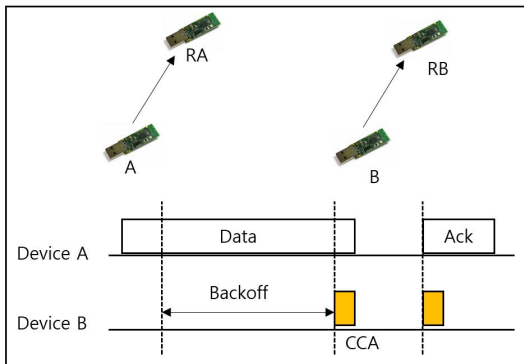
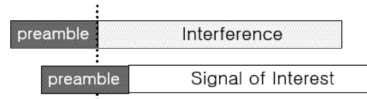


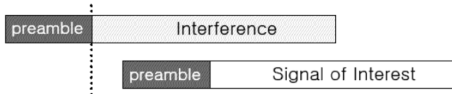
Fig. 1. IEEE 802.15.4 CCA

본 연구에서는 무선랜에 적용되어 사용중인 MIM 프

리앰블 탐지 기술을 무선 센서망에 적용하였을 때 얻을 수 있는 성능 이득을 수학적 모델링을 통해 분석한다. 두 센서가 서로 간섭을 주는 간단한 토폴로지에서도 전송 노드 사이의 거리를 기준으로 MIM 캡처 확률을 구한 결과 25m 거리에서 약 40% 영역에서 MIM 캡처가 발생할 수 있다는 것을 확인하였다. 이는 약 40% 확률로 동시전송이 가능하다는 것을 의미한다. Python 3.4로 MIM 기능을 구현하고 250m x 250m 영역에서 송수신 노드 페어를 랜덤으로 배치하여 802.15.4 기반의 센서와 MIM을 구현한 센서의 전송능력을 시뮬레이션한 결과, MIM이 적용된 센서가 기존의 IEEE 802.15.4 기반의 센서에 비해 시스템 처리량 측면에서는 34%, 전송 지연 측면에서는 31% 성능이 향상된 것을 확인하였다.



(a) PHY Capture : Success at higher SINR (>=10dB). An signal of interest should arrive within the preamble time of an interference signal.



(b) MIM : Success at higher SINR (>=10dB). An signal of interest can be decoded even if it arrives after the preamble time of an interference signal.

Fig. 2. PHY Capture vs. MIM Capture

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련연구를 소개하고 3장에서는 MIM을 무선 센서 네트워크에 적용하여 동시전송이 가능하도록 하는 방법에 대해서 설명한다. 4장에서는 수학적 모델링을 통해 MIM 캡처 확률을 분석한다. 5장에서는 시뮬레이션을 통해 성능 평가를 실시하고 마지막으로 6장에서 결론을 맺는다.

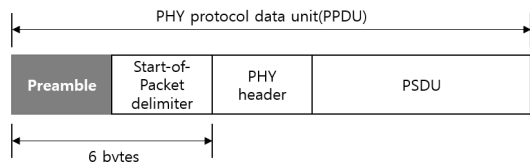


Fig. 3. IEEE 802.15.4 Frame Format

2. 관련 연구

[1-3]는 물리계층의 캡처를 고려하여 무선 센서망을

구성하고 동시전송 확률을 높이는 방법을 제안하였다. 그러나, MIM 캡처를 고려하지 않아 프리앰블 시간 이내(160 us)[6]에서만 동시전송이 가능하다는 제약이 있다. [4]에서는 캡처 효과에 대한 실험적 결과를 정밀하게 분석하였지만 MIM 캡처에 대해서는 다루지 않았다. [5]는 물리계층의 캡처 효과에 대한 수학적 모델을 제시하고 동시전송으로 얻을 수 있는 성능 향상을 이론적으로 분석하였다. 그러나 역시 MIM 캡처에 대한 분석은 실시하지 않았다. [6]은 캡처 효과를 이용하여 packet in packet 이라는 새로운 동시전송 방안을 제안하였고, 본 논문에서 제안하는 방법과 가장 유사하지만 MIM 캡처 확률에 대한 분석을 제시하지 않았다. 무선 센서망의 다양한 동시전송 기법에 대해서는 [7]에 자세하고 폭넓은 연구결과가 정리되어 있다.

캡처 효과 및 동시전송에 대한 연구는 블루투스[8] 및 무선랜[9-13]에서도 활발하게 이어지고 있다. 무선랜에서 MIM을 활용하는 대표적인 예로 Shuffle[13] 이 있다. Shuffle은 MIM 캡처를 통해 동시전송 가능성을 최대화하기 위해 패킷 전송순서를 조정하여 약한 신호를 가지는 패킷은 강한 신호를 가진 패킷보다 먼저 전송하여 두 전송 모두를 성공시킬 수 있는 방법을 제안하였다. 이 방법은 전송순서를 조정하여 패킷 캡처 확률을 높이려는 다른 연구에도 많은 영향을 끼쳤다[14,15].

3. MIM 적용 무선 센서의 동시전송

본 절에서는 IEEE 802.15.4 PHY 프레임의 프리앰블 구간에 MIM을 구현하면 동시전송이 가능하다는 것을 설명한다. 이해를 돕기 위해 우선 802.15.4의 프레임 수신 절차를 소개한다. Fig. 3의 프레임 포맷을 보면 수신자가 패킷의 시작을 알 수 있도록 프리앰블이 제일 앞에 위치한다. 다음으로는 물리계층 헤더 정보를 통해 자신이 수신자일 경우 MAC 데이터(PSDU) 수신을 시작하기 위해 라디오를 수신 상태로 전환한다. 이 상태에서는 더 이상 새로운 프리앰블을 탐지하지 않는다. 그러나 MIM을 탑재하면 라디오가 수신 상태에 들어가도 계속 새로운 패킷을 탐지하여 추가 수신 기회를 높일 수 있다. 따라서, 자신이 목적지가 아닌 프레임을 수신하는 도중에 새로운 강한 프레임을 탐지할 경우 수신 중인 프레임을 버리고 새로운 프레임에 재동기화하여 수신을 시작할 수 있다는 것이 MIM의 장점이다.

Fig. 1의 두 센서 노드 A, B가 각각 센서 노드 RA와 RB에 데이터를 전송하기 위해 경쟁하는 것을 고려해보자. 즉, A→RA, B→RB 로의 전송이 일어나는 경우다. 프리앰블에 MIM 기능이 적용되지 않은 경우 A의 전송이 진행 중이기 때문에 B는 CCA를 통해 자신의 전송을 지연(Back-off)하게 되고 A와 B의 전송은 순서대로 진행된다. Fig. 4와 같이 MIM 기능을 프리앰블에 탑재(MIM-aware preamble)한 센서는 간섭을 고려해 동시전송이 가능한 임계값 내에서 동시전송을 시도한다. 임계값 결정은 축적된 전송 성공률에 근사된다[11].

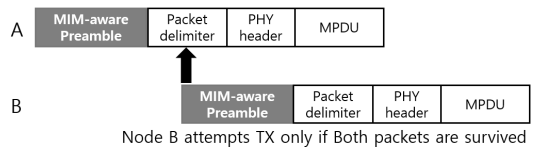


Fig. 4. MIM preamble enables concurrent TX in WSNs

4. MIM Capture Probability Modeling

4.1 모델링 개요

무선랜에서는 물리계층 캡처 및 MIM 캡처 확률에 대한 연구[14,15]가 활발히 진행되었으나 무선 센서망에서의 MIM 캡처 확률 분석은 아직 초기 단계다. 본 절에서는 MIM 프리앰블 탐지 기술을 무선 센서망에 적용하였을 때 얻을 수 있는 성능 이득을 수학적 모델링을 통해 분석한다. MIM 기능으로 시스템 처리량 향상을 이루려면 동시전송 기회가 많아야 한다. 이는 동시전송된 패킷들이 모두 성공적으로 디코딩 될 수 있는 가능성을 나타내는 MIM 캡처 확률로 표현될 수 있다. 따라서 MIM 캡처 확률 분석은 시스템 성능 예측에 큰 의미가 있다.

4.2 MIM 적용을 통한 캡처 확률 분석

아래 식 (1)은 간단한 신호 감쇄 기본 모델을 나타낸다. 일반적으로 수신 신호의 세기는 노이즈(N)와 간섭 신호의 크기($I_{r(i)}$)를 합한 값에 대한 송신 신호 세기($P_{r(i)}$)의 비율로 표현된다.

$$SIR_{r(i)} = \frac{P_{r(i)}}{N + I_{r(i)}} \quad (1)$$

여기서, $P_{r(i)}$ 및 $I_{r(i)}$ 는 각각 아래의 식으로 표현된다.

$$P_{r(i)} = \frac{G_{r(i),i} F_{r(i),i} P_i}{d^\phi} \quad (2)$$

$$I_{r(i)} = \sum_{i \neq j} \frac{G_{r(i),j} F_{r(i),j} P_j}{d^\phi} \quad (3)$$

식 (2)에서 $G_{r(i)}$ 은 안테나 이득(Antenna Gain), $I_{r(i)}$ 는 페이딩 팩터 (Fading Factor), d 는 송신자와 수신자 사이의 거리를 의미한다. 그리고 ϕ 는 path loss exponent를 의미하고 마지막으로 $P_{r(i)}$ 는 송신전력 (Transmit Power)를 의미한다. 여기에서는 안테나 이득 및 페이딩 팩터, 그리고 송신파워 모두 고정 상수 값 1로 동일하다고 가정한다. 노이즈도 제외하면 수신 신호의 세기는 오직 거리 d 에 의해서만 결정된다. 토폴로지는 앞서 설명한 바와 같이 $A \rightarrow RA$, $B \rightarrow RB$ 로의 전송을 고려한다. 먼저 $A \rightarrow RA$ 로의 전송으로 RA에서 경험하는 SIR은 아래의 같이 정리된다.

$$SIR_{RA} = 10 \log \left(\frac{d_{A \rightarrow RA}}{d_{B \rightarrow RB}} \right)^\phi \quad (4)$$

동일한 방식으로 RB의 SIR은 아래와 같이 표현된다.

$$SIR_{RB} = 10 \log \left(\frac{d_{B \rightarrow RB}}{d_{A \rightarrow RA}} \right)^\phi \quad (5)$$

그리고, MIM 캡처 임계값을 각각 α , β 로 표현하면 아래 2개의 식이 성립한다.

$$\alpha \leq SIR_{RA} \leq \beta, \quad (6)$$

$$SIR_{RB} \geq \beta. \quad (7)$$

위 수식 (4)~(5)를 수식 (6)~(7)에 대입하면 Fig. 5의 두 개의 원의 방정식을 얻게 되고 이는 물리적으로 원의 영역에 수신자가 위치하게 되는 분포에 따라 캡처 확률을 구하는 문제로 변환된다[15]. Fig. 5에서 A와 B의 위치를 기준으로 전송 범위가 결정되고 동시전송이 가능한 영역은 α , β 의 임계값으로 결정된다. 예를 들어 B가 전송을 먼저 할 경우 이 신호는 다른 영역으로의

간섭으로 작용하게 되는데, B의 전송이 선행되었을 때 A의 전송에 대한 수신 노드 RA가 β 영역 안으로 한정 되면 신호간섭의 영향이 임계치 안으로 들어와 동시전송이 가능하다. A의 전송이 선행될 경우에도 동일한 방식으로 설명된다.

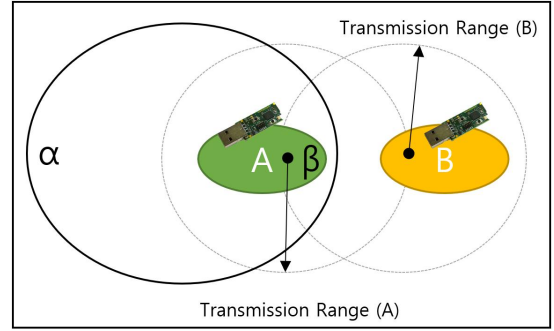


Fig. 5. MIM Capture Relation Diagram

5. 성능 평가

5.1 Analytic Study

본 절에서는 앞서 4장에서 수식으로 유도한 내용을 바탕으로 두 센서 노드 사이의 거리에 대한 MIM 캡처 확률을 구한다. 분석에 사용한 인자들은 Table 1을 참조한다.

Table 1. Notations

Symbol	Meaning
$P_{(i)}$	The Transmit Power
$I_{(i)}$	Interference
$G_{r(i)}$	The receivers antenna gain
ϕ	The path loss exponent
d_a	The distance btw 2 sensor nodes
$d_{A \rightarrow RA}$	The distance between A and RA
$d_{B \rightarrow RA}$	The distance between B and RA
$d_{A \rightarrow RB}$	The distance between A and RB
$d_{B \rightarrow RB}$	The distance between B and RB
$P_{A \rightarrow RA}$	The received power at RA from the transmission of A
$P_{B \rightarrow RA}$	The received power at RA from the transmission of B
$P_{A \rightarrow RB}$	The received power at RB from the transmission of A
$P_{B \rightarrow RB}$	The received power at RB from the transmission of B

Fig. 6은 센서 노드의 거리에 따른 MIM 캡처 확률을 보여준다. 캡처 임계치를 $\alpha=4$, $\beta=10$ 를 적용하였을 때, 센서 노드 A와 B 사이의 거리가 25m까지 늘어남에 따라 MIM 캡처 확률이 거의 40%에 달하는 것을 볼 수 있다. 이 결과를 통해 센서 노드의 전송범위가 대략 25m 라고 할 때, 약 40%의 영역에서 MIM 캡처가 발생할 수 있고 이는 동시전송 기회도 약 40% 정도 늘어날 수 있다는 것을 의미한다. 한편 5m 이내에서는 동시전송 기회가 거의 0으로 수렴하는 것을 볼 수 있는데 이것은 서로의 간섭이 너무 심해서 동시전송을 할 수 없음을 의미한다. 따라서 센서 노드들 간의 배치가 캡처가 많이 발생할 수 있도록 배치되어 있을 때 가장 좋은 성능을 기대할 수 있다. 다음 소절에서 시뮬레이션을 통해 센서 노드 배치에 따른 성능 평가를 실시한다.

5.2 simulation

5.2.1 Setup

성능 평가를 위해 Python 3.4[16] 버전으로 802.15.4 및 MIM 기능을 구현하여 시뮬레이션을 실시하였다. 802.15.4 프로토콜을 사용하는 경우는 표준에 부합하도록 프리앰블을 감지하고 PHY 헤더를 읽어서 패킷의 전체 길이(프리앰블 + MAC PDU)를 알게 되면 라디오를 계속 수신 상태로 유지하도록 하였다. 반면 MIM의 경우에는 연속적인 프리앰블 탐지를 가능하게 하여 수신중인 패킷이 있더라도 더 좋은 신호의 패킷을 감지하면 기존에 받던 패킷을 버리고, 새로운 패킷에 다시 동기화하여 수신하도록 패킷 수신 선택 알고리즘을 구현하였다. 추가적으로 MIM의 동시전송 기능을 사용하기 위해 CCA를 통한 신호 세기를 기준으로 동시전송이 가능한 임계값에 기반하여 동시전송 여부를 결정하는 알고리즘을 구현하였다.

시험 토폴로지는 250m x 250m 공간에 10에서 30개까지의 송수신 페어(pair)를 랜덤하게 배치하고 1,000회의 시행 평균값을 구하였다. 단, 송수신 페어끼리는 성공적인 전송이 가능하도록 5m 이내의 거리에서 랜덤하게 배치하였다. 송신자는 전송할 패킷이 항상 있고(saturated) 50 byte 길이의 데이터 패킷을 계속 전송 시도한다. 성능 평가 척도는 MIM으로 인한 충돌률(collision ratio), 평균적인 전송 지연(avg. delay gain), 그리고 시스템 처리량(throughput)을 사용하였다.

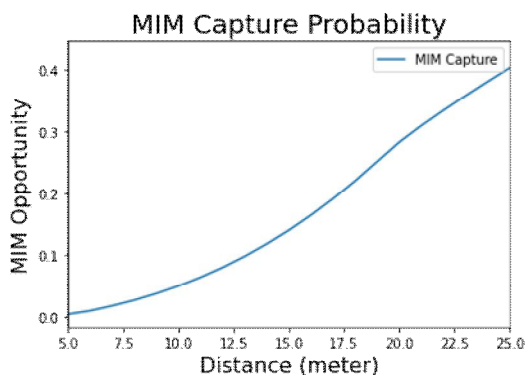


Fig. 6. MIM Capture probability

5.2.2 Simulation Results

Fig. 7은 송수신 페어의 수를 각각 10, 20, 30으로 설정하고 시뮬레이션을 한 결과를 보여준다. 마지막 항목 (avg. tput)은 10, 20, 30 페어로 시험한 결과의 평균값이다. 페어의 숫자가 10에서 30으로 늘어나면서 점차 간섭이 많아지므로 802.15.4 및 MIM 모두 처리량이 줄어드는 경향을 볼 수 있다. 그러나 MIM은 동시전송 기회를 더 많이 얻어 처리량은 802.15.4에 비해 상대적으로 높은 것을 알 수 있다. 10개 페어로 시험한 경우 40% 수준의 처리량 개선을 확인할 수 있었고, 전체 처리량 평균도 약 34% 수준의 성능 이득이 있었다.

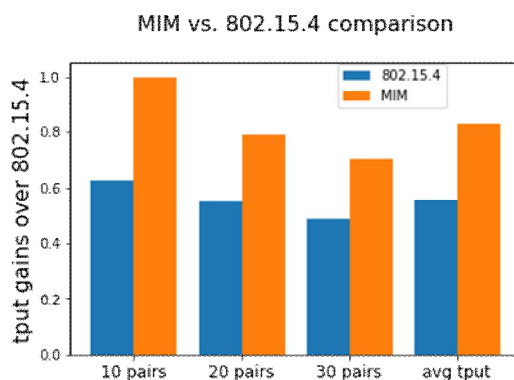


Fig. 7. Throughput gains over over 802.15.4 (normalized)

Table 2에는 전체 시험 결과의 평균값에 대한 전송 충돌률(collision ratio)과 데이터 패킷의 평균 지연시간(avg. delay)을 보여준다. MIM을 활용한 동시전송이 많아지면서 충돌로 인한 전송실패가 약 10.1% 수준으로 나타났다. 전송 실패는 임계값 설정에 영향을 받기

때문에 토폴로지별로 정교한 튜닝이 필요하다. 충돌로 인한 전송 실패에도 불구하고 전체적으로 패킷 전달 지연은 31% 감소하였다. 이것은 CCA로 인한 전송 지연을 줄인 결과로 해석된다.

Table 2. Performance Results : Collision ratio, average delay gains, throughput gains

Metric	Values
Collision ratio	10.1%
avg. delay gains	31%
Throughput gains	34%

6. 결론

본 논문에서는 MIM 기능을 무선 센서 노드에 적용할 경우 얻을 수 있는 성능 이득을 MIM 캡처 확률 모델을 통해 분석하였다. 이를 통해 센서 노드의 전송 거리를 감안할 때 25m 거리에서 약 40%의 MIM 캡처가 가능함을 보였다. Python으로 구현한 랜덤 토폴로지 시뮬레이션 결과 MIM 적용 센서들이 기존의 802.15.4 기반의 센서들에 비해 약 10% 정도의 전송 충돌률에도 불구하고 시스템 처리량이 평균적으로 34% 개선되었음을 확인하였다. 한편 전송 지연 측면에서도 31% 성능 개선이 있었다. 본 연구를 바탕으로 동시전송이 가능한 무선 센서 노드를 대량으로 구축하여 임계값의 정밀 튜닝으로 센서 네트워크 전체 처리량을 개선할 수 있는 연구는 향후 과제로 남겨둔다.

REFERENCES

- [1] B. Khan, R. A. Rehman & B-S. Kim. (2019). A Joint Strategy for Fair and Efficient Energy Usage in WLANs in the Presence of Capture Effect, *Electronics*, 8(4). DOI : 10.1145/3067665.3067672
- [2] M. Mohammad & M. C. Chan. (2018). Codecast: Supporting Data Driven In-Network Processing for Low-Power Wireless Sensor Networks, in *17th ACM/IEEE International Conference on Information Processing in Sensor Networks*, (pp. 72-83), Porto, Portugal. DOI : 10.1109/IPSNS.2018.00014
- [3] R. Xiao, B. Sun, Y. Xiao, Y. Wei & W. Chen. (2018). Content-Based Efficient Messages Transmission in WSNs, *Journal of Wireless Communications and Mobile Computing*, Volume 2018, Article ID 2725961. DOI : 10.1155/2018/2725961
- [4] T. Attia, M. Heusse, B. Tourancheau & A. Duda. (2019). Experimental Characterization of LoRaWAN Link Quality, in *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, HI, USA, pp. 252-261. DOI : 10.1109/GLOBECOM38437.2019.9013371
- [5] D. Bankov, E. Khorov & A. Lyakhov. (2017). Mathematical model of LoRaWAN channel access with capture effect, in *IEEE 28th Annual International Symposium on Personal, Indoor, and Mobile Radio Communications (PIMRC)*, Montreal, QC, Canada. DOI : 10.1109/PIMRC.2017.8292748
- [6] X. Ma, P. Zhang, O. Theel & J. Wei. (2020). Gathering data with packet-in-packet in wireless sensor networks, *Journal of Computer Networks*, 170, 107124. DOI : 10.1016/j.comnet.2020.107124
- [7] M. Zimmerling, L. Mottola & S. Santini. (2020). Synchronous Transmissions in Low-Power Wireless: A Survey of Communication Protocols and Network Services, *arXiv preprint arXiv:2001.08557*.
- [8] B. A. Nahas, S. Duquennoy & O. Landsiedel. (2019). Concurrent Transmissions for Multi-Hop Bluetooth 5, in *Proceedings of International Conference on Embedded Wireless Systems and Networks (EWSN)*, Beijing, China, 130-141.
- [9] I. Selinis, K. Katsaros, S. Vahid & R. Tafazolli. (2017). Exploiting the Capture Effect on DSC and BSS Color in Dense IEEE 802.11ax Deployments, in *WNS3 '17, Proceedings of the Workshop on ns-3 June 2017*, pp. 47-54, NY, US. DOI : 10.1145/3067665.3067672
- [10] H. Lee, J. Kim, C. Joo & S. Bahk. (2019). BeaconRider: Opportunistic Sharing of Beacon Air-Time in Densely Deployed WLANs, *2019 IEEE 27th International Conference on Network Protocols (ICNP)*, 1-11. DOI : 10.1109/ICNP.2019.8888044
- [11] J. Choi. (2020). Detection of Misconfigured Wi-Fi Tethering in Managed Networks, *Applied Sciences*, 10(2), 7203. DOI : 10.3390/app10207203
- [12] N. Santhapuri, R. R. Choudhury, J. Manweiler, S. Nelakuduti, S. Sen & K. Munagala. (2008). Message in message (mim): A case for reordering transmissions in wireless networks, *HotNets VII*.

(Online). www.researchgate.net/publication/252640693_Message_in_Message_MIM_A_Case_for_Reordering_Transmissions_in_Wireless_Networks

- [13] J. Manweiler, N. Santhapuri, S. Sen, R. R. Choudhury, S. Nelakuditi & K. Munagala. (2011) Order Matters: Transmission Reordering in Wireless Networks, *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 20, 353-366.
DOI : 10.1109/TNET.2011.2164264
- [14] Y. Kang, J. Yoo, J. Lee & C. Kim. (2012). A distributed message in message aware concurrent transmission protocol in IEEE 802.11 WLANs, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2, Article number: 325.
DOI : 10.1186/1687-1499-2012-325
- [15] J. Lee, Y. Kang, S. Lee & C. Kim. (2011). Opportunities of MIM Capture in IEEE 802.11 WLANs: Analytic Study, *Proceedings of the 5th International Conference on Ubiquitous Information Management and Communication, ICUIMC 2011*.
DOI : 10.1145/1968613.1968693
- [16] <https://www.python.org/>

강영명(Young-myung Kang) [정회원]



- 2000년 8월 : 경상대학교 컴퓨터과 학과 (이학사)
- 2003년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학과 (공학석사)
- 2003년 1월 : LG전자 (연구원)
- 2013년 2월 : 서울대학교 전기컴퓨터공학과 (공학박사)
- 2012년 9월 ~ 현재 : 삼성전자 (연구원)
- 관심분야 : 컴퓨터공학, 데이터 분석, 무선랜, 무선통신
- E-Mail : kang.youngmyoung@gmail.com