

비행체 무선 센서망을 위한 무선랜 OFDMA 임의접근 기반 통신

WLAN OFDMA Random Access Based Communications for In-Aircraft Wireless Sensor Networks

안우진¹ · 김용호^{2*}

¹연세대학교 전기전자공학과

²한국교통대학교 철도전기전자공학과

Woojin Ahn¹ · Ronny Yongho Kim^{2*}

¹Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University, Seoul, 13722, Korea

²Department of Railroad Electrical and Electronics Engineering, Korea National University of Transportation, Gyeonggi-do, 16106, Korea

[요 약]

본 논문에서는 IEEE 802.11ax에서 제안하는 임의 접근 기술을 이용한 무선랜 기반 센서 네트워크의 접속 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 상향 데이터를 가지고 있는 예비 접속 단말들에 대하여 접속, 대기, 포기의 세 구간으로 나누어진 정수 단위의 OFDMA BackOFF counter (OBO)를 임의로 선택하게 하여 센서 단말의 실질적인 접속을 제어할 수 있다. 제안하는 기법은 비행기 등과 같이 다수의 센서와 연결이 필요한 센서 네트워크에 효과적으로 사용할 수 있다. 제안하는 방법을 사용하면, 기체내의 센서들은 본 논문에서 제안한 차등 OBO 매개변수를 사용한 접속 방법에 따라 접속을 시도하여 접속 용량을 초과하는 수의 단말을 효과적으로 제어할 수 있다. 또한 본 논문은 제안하는 기법에서 최적의 효율을 얻기 위한 관련 파라미터들에 대한 수학적 분석을 함께 제공한다. 본 논문의 분석 결과에 따르면 제안하는 기법을 통해 다수의 센서들의 접속이 최적의 효율에 가깝게 관리되었다.

[Abstract]

In this paper a novel access scheme for uplink multiuser transmission based on IEEE 802.11ax random access in in-aircraft wireless sensor networks is proposed. The proposed scheme provides an efficient access control mechanism with three divisions of OFDMA backoff counter (OBO): access, deferring, dropping, which controls the number of potential uplink transmission stations. The proposed scheme can be used efficiently in in-aircraft wireless sensor network where a large number of sensors need to be supported. By using the proposed scheme, since in-aircraft sensors attempt channel access using the proposed differentiated OBO parameters, the number of stations exceeds the access capacity can be efficiently controlled. This paper also provides the mathematical analysis of the proposed scheme, regarding the optimal parameters. According to the performance analysis, the proposed scheme is able to efficiently control the access behavior of wireless sensors in the network.

Key word : In-aircraft wireless sensor network, Wireless local area network, Internet of things, Random access, Load balancing.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.3.252>



This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 24 May 2016; Revised 30 May 2016
Accepted (Publication) 10 June 2016 (30 June 2016)

*Corresponding Author; Ronny Yongho Kim

Tel: +82-70-8855-1662

E-mail: ronnykim@ut.ac.kr

1. 서론

최근 들어 점차적으로 다양하고 복잡화 되어가고 있는 비행 기체의 기능들을 처리하기 위한 목적으로 기체 내부에 탑재되는 전장품 및 첨단 전자장치와 센서 등의 수가 급격히 증가하고 있다. 이에 따른 결과로 나타나는 복잡한 배선시스템, 기체의 무게 증가, 배터리의 소모증가로 인한 연비 저하, 고장률의 증가 등과 같은 문제를 개선하기 위하여 수많은 배선들을 통신라인으로 대체하여 기체 내에서 발생하는 각종 정보를 수집하고 이를 가공하여 시스템 제어장치에 제공하여 활용할 수 있도록 하여주기 위한 기체 내 센서 네트워크 시스템 (in-aircraft sensor network system)에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다 [1].

IEEE 802.11 무선랜 통신 기술은 [2], 다른 경쟁 무선 통신 기술들이 상용화 대역에서 기지국 등의 기반 장비를 통하여 통신하는 것과는 달리, 사용자의 장비 장착에 의해 비면허 대역에서 규제 없이 자유롭게 사용할 수 있다는 장점을 갖고 있다. 그에 따라 스마트폰, 노트북 등과 같은 단말들의 개인용 통신을 넘어서 사물인터넷 (IoT; internet of things)까지 그 사용 범위를 넓히고 있으며, 또한 다양한 측면에서 기체 내 센서 네트워크 시스템의 기반 통신 기술로서 각광받고 있다.

무선랜 표준화 단체인 IEEE 802.11에서 현재 진행 중인 최신 무선랜 기술인 IEEE 802.11ax [3]는 다수 단말이 동시에 접속하는 상황에서의 시스템 용량 및 데이터 전송률을 증대하기 위해 상향, 하향에서 모두 OFDMA (orthogonal frequency division multiple access)를 사용할 수 있는 전송 방법을 채택하였다. OFDMA를 사용하면 다수의 단말이 데이터를 전송하기 위해 시간 순으로 경쟁하여 데이터 송수신 기회를 얻어야 하는 종래 무선랜의 비효율성을 극복할 수 있다. IEEE802.11ax 상향 OFDMA는 slotted 임의 접근 (random access) 기법도 채택하고 있다. 뿐만 아니라, 무인 단말 혹은 센서들의 배터리 소모를 최소화하기 위한 전력 절약 기반 기술이 기본 기능으로 탑재 되었으며, IoT 기반의 네트워크 지원을 위한 논의도 활발하게 진행 중이다 [4].

기체 내 센서 네트워크에서는 다수의 센서가 감지 상태에서 대기하다가 특정 상황 감지 시 혹은 특정 주기별로 통신 상태로 전환하여 중앙 처리 장치에 정보를 전송한다. 많은 수의 센서가 무작위의 시간에 짧은 데이터를 전송하고 다시 감지 상태로 돌아가기 때문에 중앙 처리 장치가 센서들을 개별적으로 스케줄링을 하는 것은 비효율적일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 IEEE 802.11ax에서 제안하는 임의 접근 기술을 이용한 기체 내 센서 네트워크의 접속 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 각 센서가 AP (access point)로부터 전달 받는 OBO (OFDMA backoff counter) 값을 세 구간으로 나누어 차등적으로 이용하여 접속하며, 접속 용량을 초과하는 수의 단말을 효과적으로 제어하기 위한 접속 제어 기법을 포함하고 있다. 또한 본 논문에서는 제안하는 기법에서 최적의 효율을 얻기 위한 관련 파라미터들에 대한 분석을 함께 제공한다. 본 논문의 분석 결과에 따르면 제안하는 기법은 기체 내 다수의 센서들의 접속 상황을 효과적

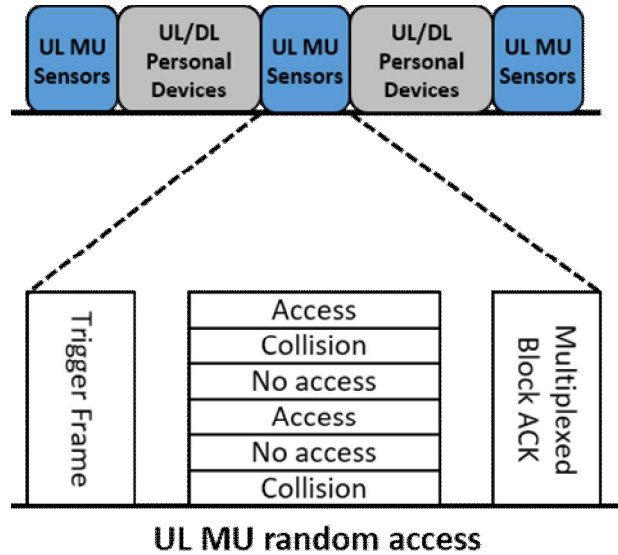


그림 1. IEEE 802.11ax 다중 단말 상향 임의 접속 통신 기법
Fig. 1. IEEE 802.11ax random access based multiuser uplink transmission.

으로 관리하는 것으로 나타난다.

II. 비행체 내 센서 네트워크의 접속 효율 증대를 위한 IEEE 802.11ax 임의 접속 기반 통신 기법

2-1 IEEE 802.11ax 다중 단말 상향 전송 기법

그림1에 보여진 바와 같이 IEEE 802.11ax에서 다중 사용자 상향 전송의 기본적인 동작은 데이터를 전송하려는 단말이 직접 채널에 접속을 시도하는 기존의 무선랜과 다르게, AP의 지시 하에 다중 사용자 상향 전송을 실시한다. 가장 최신의 IEEE 802.11ax의 표준에 따르면, AP는 IEEE 802.11ax에서 새로이 정의된 트리거 프레임 (TF; trigger frame)을 하향 전송함으로써 다중 단말 상향 OFDMA 전송을 유도할 수 있다. TF에는 프리앰블에 사용될 정보와 상향 전송이 이루어질 물리계층데이터 (PPDU; physical-layer convergence protocol data unit)의 길이를 삽입하여 하향 전송함으로써 모든 상향 전송 단말이 동일한 전송 매개변수(parameter)를 이용하여 전송에 참여할 수 있도록 한다. 또한 TF에는 각 상향 전송 단말이 사용할 부반송파 자원인 RU (resource unit)에 대한 정보와 MCS (modulation and coding scheme) 등 단말의 개별적인 전송 매개변수들이 포함되어 전송된다. 따라서 TF에 의해 전송 지시 받은 단말은 AP가 지정한 전송 매개변수를 이용하여 다중 단말 상향 전송에 참여할 수 있다.

IEEE 802.11에는 단말이 자신의 버퍼에 존재하는 데이터에 대한 정보를 AP에게 전달하는 기법이 정의되지 않았기 때문에 AP가 어떠한 단말을 어떠한 시점에 전송을 유도해야 하는지 판단하기 어려울 수 있다. 따라서 IEEE 802.11ax에서는 AP가 전

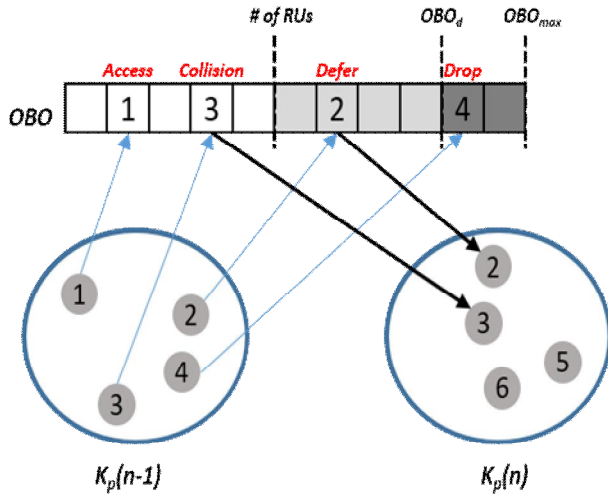


그림 2. 제안하는 IEEE 802.11ax 기반 다중 사용자 임의의 접속 통신의 접속 방식
 Fig. 2. The proposed multiuser random access scheme.

송에 참여할 단말을 직접적으로 지정하여 전송을 유도하는 다중 단말 상향 전송 외에도 버퍼 내에 상향 데이터가 존재하는 단말이 AP의 TF 전송에 응답하여 임의의 접근 방식으로 데이터를 전송하는 다중 단말 상향 전송 기법도 정의하고 있다. AP가 임의의 접근을 유도하기 위한 TF를 전송할 시에는 어느 위치의 몇 개의 RU에 임의의 접근을 허용하는지에 대한 정보를 TF에 삽입하여 전송해야 한다. IEEE 802.11ax의 다중 단말 상향 전송 RA는 slotted-access 방식이기 때문에 최대 접속 성공 확률이 slotted-ALOHA의 최대 효율인 0.37로 고정되어 있으며, 최대 효율은 허용되는 slot의 수와 접속하는 단말의 수가 동일한 경우에 얻을 수 있다 [5]. 단말들의 무분별한 접속으로 인한 접속 실패 확률의 급증을 막기 위하여 IEEE 802.11ax의 RA에서는 단말들이 특정 양의 정수 범위의 임의의 OFDMA backoff counter (OBO)를 선택하고, TF 수신시에 자신이 선택한 OBO가 임의의 접근을 위해 허용된 RU의 수보다 작은 단말만이 허용된 RU 중에서 임의로 하나를 선택하여 임의의 접근을 시도할 수 있도록 정의하고 있으나 구체적인 수치 및 방법에 대해서는 아직 논의 중에 있다.

2-2 제안하는 IEEE 802.11ax 임의의 접속 기반 통신 기법

본 논문에서는 IEEE 802.11ax의 random access를 이용한 접속 시에 최적의 시스템 성능을 이끌어낼 수 있는 접속 제어 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는 상향 데이터를 가지고 있는 예비 접속 단말들에 대하여 접속, 대기, 포기의 세 구간으로 나누어진 정수 단위의 차등 OBO를 임의로 선택하게 하여 센서 단말의 실질적인 접속을 제어한다.

본 논문에서는 AP가 주기적으로 B 개의 고정된 개수의 RU에 대하여 다중 단말 상향 임의의 접근을 유도하고 주기 당 1회의 다

중 단말 상향 임의의 접근이 시행된다. 임의의 접근 전송을 마치면 다음 차례의 임의의 접근 전송 주기까지는 해당 주기 동안 평균적으로 K 개의 단말이 상위 계층으로부터 전송 데이터를 전달 받아 임의의 접근에 참여한다고 가정하였다.

본 논문의 제안하는 시스템에서는 AP가 허용할 수 있는 자원의 수는 한정적이기 때문에, 슬롯 기반 접속 방식의 최대 접속 확률을 초과하는 단말이 한정된 자원에 대하여 경쟁하는 경우, 경쟁에 참여하는 센서의 수가 매 임의의 접근 유도 시점마다 누적되어 전체 시스템의 접속 효율을 크게 저하시킬 수 있다. 만약 기존의 IEEE 802.11의 DCF (distributed coordination function)와 유사한 방식으로 접속에 실패했을 시에 단말이 선택하는 OBO의 범위를 지속적으로 증가시킬 경우, 이어지는 재전송 시도 시점까지 대기해야 시간이 지나치게 길어질 수 있다. 센서가 전달하는 정보의 시간적인 측면에서의 유효성이 중요시되는 기체 내부 사물통신 (machine to machine communication) 네트워크에서는 DCF 방식의 접속 제어가 적합하지 않을 수 있으며, 주기적으로 전달되는 새로운 시점의 정보를 이용할 수 있도록 OBO의 범위를 증가시키지 않고 접속을 시도하기 이전 시점에 데이터를 포기하는 이벤트를 발생시키는 것이 더욱 효율적일 수 있다. 따라서 본 논문에서는 접속 (0, B-1), 대기 (B, OBO_r-1), 포기 (OBO_d, OBO_{max})의 세 구간으로 나누어진 OBO 선택 구간을 이용한다. 제안하는 접속 기법은 그림 2에 도시되어 있다. 그림 2에 도시된 바와 같이, 접속 구간을 임의의 선택한 제 1, 3 단말은 AP로부터 허용된 RU들 중 하나를 임의의 선택하여 접속한다. 접속에 성공한 단말은 상위 계층으로부터 새로운 데이터가 전달되는 시점까지 유휴 상태에 있을 수 있으며, 제 4 단말과 같이 포기 상태를 선택한 단말은 현재 버퍼 내에 있는 데이터를 삭제하고 상위 계층으로부터 전달되는 다음 데이터를 기다린다. 제 3 단말과 같이 접속에 실패한 단말은 대기 상태를 임의로 선택한 제 2 단말과 함께 다음 차수의 상향 전송 시점까지 대기하여야 하고, 다음 차수 상향 전송에 새로이 전송 경쟁에 참여한 제 5, 6 단말과 함께 이전의 과정을 반복하여 상향 전송을 위한 접속을 시도한다.

각 단말이 TF에 응답하여 접속을 시도할 확률, p_{RA}, 과 데이터를 포기할 확률, p_{drop}, 은 다음 수식과 같이 나타낼 수 있다.

$$p_{RA} = B / OBO_{max} \tag{1}$$

$$p_{drop} = \frac{OBO_{max} - OBO_d}{OBO_{max}} \tag{2}$$

첫 번째 임의의 접근 시에 버퍼에 상향데이터가 존재하는 단말의 수를 K_p(1) 이라고 한다면, 첫 번째 임의의 접근 유도 시에 B 보다 작은 OBO를 선택하여 RU를 선택할 수 있는 단말의 수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$K_l(1) = p_{RA} \cdot K_p(1) \tag{3}$$

이며, 임의의 접근에 성공한 단말의 수는 해당 차수의 임의의 접근 성공 확률, $p_s(1)$, 에 따라

$$K_s(1) = p_{RA} \cdot p_s(1) \cdot K_p(1) \quad (4)$$

가 된다.

임의의 접근 성공 확률, $p_s(1)$, 은 임의의 접근 접속을 시도하는 단말의 수, $K_t(1)$, 와 접속 가능한 RU의 수, B , 에 따른 평균 접속 성공 단말을 $K_s^{(K_t(1), B)}$ 라 정의하는 경우 아래의 수식으로 나타낼 수 있다.

$$p_s(1) = \frac{E[K_s^{(K_t(1), B)}]}{K_t(1)} \quad (5)$$

동일한 조건에서 s 개의 단말이 임의의 접근에 성공할 확률을 아래와 같이 구할 수 있으므로 [6],

$$p_s^{(K_t(1), B)} = \binom{K_t(1)}{1} \sum_{i=s}^B (-1)^{i-s} \cdot \binom{B-s}{i-s} \cdot \mathbb{P}(A_1 \dots A_i) \quad (6)$$

$$\mathbb{P}(A_1) = \binom{K_t(1)}{1} \cdot \frac{1}{B} \cdot \left(1 - \frac{1}{B}\right)^{K_t(1)-1}$$

$$\mathbb{P}(A_1 A_2) = \binom{K_t(1)}{1} \cdot \frac{1}{B} \cdot \binom{K_t(1)-1}{1} \cdot \frac{1}{B} \cdot \left(1 - \frac{2}{B}\right)^{K_t(1)-2}$$

$$\mathbb{P}(A_1 \dots A_i) = \frac{\prod_{j=1}^i (K_t(1) - j + 1)}{B^i} \cdot \left(1 - \frac{i}{B}\right)^{K_t(1)-i}$$

수식 (5)는

$$p_s(1) = \frac{\sum_{i=0}^{\min(B, K_t(1))} i \cdot p_s^{(K_t(1), B)}}{K_t(1)} \quad (7)$$

의 형태로 정리할 수 있다.

따라서 두 번째 임의의 접근 시작 시에 상향 데이터가 존재하는 단말의 수는 데이터 전송에 성공한 단말, 데이터 전송을 포기한 단말, 새로 유입된 단말의 수에 따라 다음과 같이 정리할 수 있으며,

$$\begin{aligned} K_p(2) &= K_p(1) - K_s(1) + K \\ &= K_p(1) - K_p(1) \cdot p_{RA} \cdot p_s(1) \\ &\quad - K_p(1) \cdot p_{drop} + K \\ &= K_p(1) \cdot (1 - p_{RA} \cdot p_s(1) - p_{drop}) + K \end{aligned} \quad (8)$$

임의의 n 번째 임의의 접근 시의 상향 데이터 보유 단말의 수,

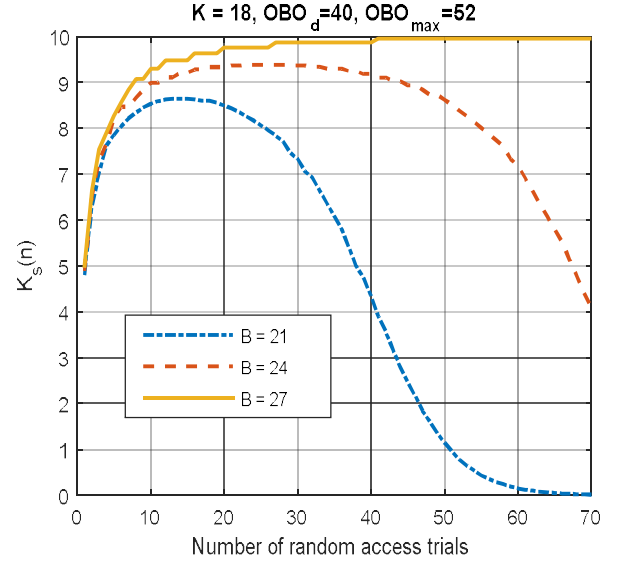


그림 3. AP의 허용 자원 수에 따른 제안하는 기법의 평균 접속 성공 단말 수

Fig. 3. The expected number of STAs of successful accesses with various numbers of allowed RUs.

$K_p(n)$, 와 임의의 접근 성공 단말의 수, $K_s(n)$, 를 아래의 관계식을 통해 구할 수 있다.

$$K_p(n) = (1 - p_{RA} \cdot p_s(n-1) - p_{drop}) \cdot K_p(n-1) + K \quad (9)$$

$$K_s(n) = K_p(n) \cdot p_{RA} \cdot p_s(n) \quad (10)$$

III. 성능 분석

이번 장에서는 II장에서 유도한 수식을 바탕으로 제안하는 기법에 의한 기체 내 센서 네트워크의 접속 확률, 잔여/접속 성공 단말 수에 대한 성능 분석을 실시한다.

그림 3은 기체 내 센서 네트워크에 새로 유입되는 단말이 고정된 상황에서 최적의 접속 성공률을 유지할 수 있게 하는 RU의 수에 대한 그래프이다. 제안하는 접속 기법에서는 각 임의의 접속 시도에서 K 개의 단말이 새로이 네트워크에 유입됨과 동시에 이전 차수의 임의의 접속에서 접속을 시도하지 못하였거나, 접속을 시도했으나 성공하지 못한 잔여 단말들이 접속을 유예하여 재접속을 시도하게 된다. 이와 같이 지속적으로 네트워크 유입 단말이 들어나는 상황에서 접속률이 평형을 이루기 위한 조건은 접속에 성공하는 단말과 접속을 포기하는 단말의 수가 유입되는 단말의 수와 동일한 수준으로 유지되어야 한다. 접속에 성공하는 단말의 수는 AP가 허용하는 RU의 수와 같은 수의 단말이 접속하는 상황에서 그 최대치가 고정되기 때문에 AP가 지시하는 OBO의 최대 범위인 OBO_{max} 값에 영향을 받게 된

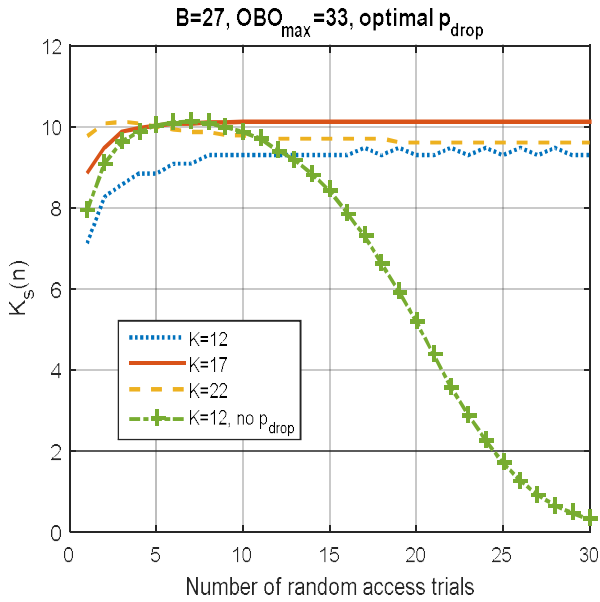


그림 4. 최적의 p_{drop} 추정치를 이용한 네트워크 내 센서 단말 수에 따른 평균 접속 성공 단말 수

Fig. 4. The expected number of STAs of successful accesses with estimated value of the optimal P_{drop} .

다. 따라서 수식 (1), (2), (9)와 (10)을 이용하여 최적의 OBO_{max} 와 OBO_d 에 대한 관계식은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$OBO_{max} = [OBO_d \cdot (1 + K/B - p_{RA}^*)] \quad (11)$$

식 (11)에 따라 허용된 RU가 27인 경우의 최적의 OBO_{max} 와 OBO_d 는 각각 52, 40으로 정할 수 있으며 그에 대한 결과 그래프가 그림 2에 나타나있다. 그래프에 따르면 최적의 OBO_{max} 와 OBO_d 를 이용하는 경우 네트워크에 유입되는 단말과 이탈하는 단말의 수가 평형을 이루어 임의의 접속이 지속되는 상황에서 최대 효율의 접속 성공 수인 10 ($27 \cdot 0.37$)이 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 동일한 상황에서 허용되는 RU의 수가 감소하는 경우 RU 대비 최적의 접속 단말의 수가 보장되지 않고, 그에 따라 네트워크를 이탈하는 단말의 수가 감소하였기 때문에 네트워크 잔여 단말 수의 누적에 따라 접속 성공률이 지속적으로 감소하는 것을 확인할 수 있었다.

그림 4는 OBO_{max} 와 허용 RU 수가 고정된 상태에서 유입 단말의 수의 변화와 그를 반영한 최적의 p_{drop} 을 수식 (2)와 (11)을 통해 구한 상황에서의 접속 성공 단말 수를 도시하고 있다. 분석 결과, 단말의 수가 최적의 RU 대비 접속률을 크게 상회하는 상태에서도 OBO_d 의 영향에 따라 많은 수의 단말이 접속을 포기하게 되어 모든 조건에서 최고 접속 효율인 9에서 10 사이에서 유지되는 것을 확인할 수 있었다. 제안하는 기법에서 OBO_{max} 와 OBO_d 는 적정 비율을 유지하는 상황에서 여러 가지

값을 가질 수 있다. OBO_{max} 를 크게 설정할수록 유입 단말이 네트워크에 머무는 시간이 길어질 수 있기 때문에, 각 단말 별로 측정 데이터가 도착하는 주기 및 데이터의 유효기간 등을 고려하여 적절한 OBO_{max} 을 선정하여야 한다.

IV. 결 론

본 논문에서는 IEEE 802.11ax에서 제안하는 임의 접근 기술을 이용한 기체 내 센서 네트워크의 접속 기법을 제안하였다. 제안하는 기법에서는 각 센서가 AP로부터 전달 받는 OBO 값을 이용하여 접속하며, 접속 용량을 초과하는 수의 단말을 효과적으로 제어하기 위해 예비 접속 단말들에 대하여 접속, 대기, 포기의 세 구간으로 나누어진 정수 단위의 OBO를 임의로 선택하게 하도록 하여 임의 접근 방식의 최대 효율에 근사하도록 하였다. 또한 본 논문에서는 제안하는 기법에서 최적의 효율을 얻기 위한 관련 파라미터들에 대한 분석을 함께 제공했으며, 본 논문의 분석 결과에 따르면 제안하는 기법은 기체 내 다수의 센서들의 접속 상황을 최적의 성능에 근접하게 유지시키는 것을 확인할 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 정부 (미래창조과학부)의 재원으로 정보통신기술센터의 지원을 받아 수행된 연구임 (과제번호: R0166-16-1030).

참고 문헌

- [1] S. Lee, D. Yoon and D. Kim. "In-vehicular wireless sensor network technology." *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineering*, Vol. 54, No. 12, pp. 32-35, Dec. 2014.
- [2] IEEE Computer Society, "IEEE Standard for Local and Metropolitan Area Networks - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications, IEEE 802.11", Mar. 2012
- [3] R. Stacey, Proposed draft specification, IEEE 802.11 TGax, Piscataway: NJ, 16/24r1, pp. 1-159, Jan. 2016.
- [4] S. Shilo, 11ax support for IoT - requirements and technological implications, IEEE 802.11 TGax, Piscataway: NJ, 15/1375r1, pp. 1-21, Nov. 2015.
- [5] L. G. Roberts, "ALOHA packet system with and without slots and capture," *SIGCOMM Computer Communication Review*, Vol. 5, No. 2, pp. 28-42, Apr. 1975.
- [6] W. Ahn, R. Y. Kim and Y. Y. Kim, "An energy efficient

multi-user uplink transmission scheme in the next generation WLAN for internet of things,” *International Journal of*

Distributed Sensor Networks (Online Journal), 2016, pp. 1-9, May. 2016.



안 우 진 (Woojin Ahn)

2008년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)

2008년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

※ 관심분야 : 무선통신네트워크, 무선랜, 사물 인터넷



김 용 호 (Ronny Yongho Kim)

2010년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학박사)

2012년 2월 ~ 현재 : 한국교통대학교 철도전기전자공학과 부교수

※ 관심분야 : 무선통신네트워크, 사물인터넷, 무선랜, 이동체통신