

미래 IEEE 802.11 LRLP 통신을 위한 효율적인 다중 사용자 자원할당 기법

An Efficient Multi-User Resource Allocation Scheme for Future IEEE 802.11 LRLP Communications

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]

무선랜의 가능한 미래 통신 표준으로 진행 중인 IEEE 802.11 LRLP는 사물 인터넷 (IoT) 네트워크 표준을 목표로, 드론을 포함한 사물 통신 단말들의 장거리 (long range) 통신과 저전력 동작 (low power)을 지원한다. 본 논문에서는 IEEE 802.11 LRLP 환경에서 다수의 단말들의 다중 사용자 상향 통신을 위한 자원 할당 기법을 제안한다. IEEE 802.11ax의 OFDMA 임의 접근 (random access)에 기반한 제안하는 기법에서는, AP (access point)가 성공적으로 전송받은 데이터의 크기를 기반으로 다음 차수의 임의 접근 유도를 위한 자원의 크기를 적응적으로 결정하여, 접속 단말이 최적의 크기의 자원을 선택하여 접속할 수 있도록 한다. 본 논문의 시뮬레이션 결과에 따르면 제안하는 기법은 종래의 임의 접근 기반 통신 기술의 시스템 처리율(throughput)을 크게 향상시키는 것으로 나타났다.

[Abstract]

As a possible standardization of wireless local area network (WLAN), IEEE 802.11 LRLP is under discussion in order to support long range and low power (LRLP) communication for internet of things (IoT) including drones and many other IoT devices. In this paper, an efficient adaptive resource unit allocation scheme for uplink multiuser transmission in IEEE 802.11 LRLP networks is proposed. In the proposed scheme, which adopts OFDMA random access based transmission scheme of IEEE 802.11ax, in order to enhance the efficiency of the slotted OFDMA random access, access point (AP) traces the history of the sizes of successfully transmitted uplink data, and adjusts the sizes of resource units for the next uplink multiuser transmission adaptively. Our simulation results corroborate that the proposed scheme significantly improves the system throughput.

Key word : Wireless local area network, Internet of things, Unmanned aerial vehicle, Resource allocation, Random access.

<http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.3.232>



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 17 April 2016; Revised 25 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

IEEE 802.11 무선랜 통신 기술은 비면허 대역을 사용한 통신으로 사용자가 규제 없이 자유롭게 사용할 수 있기 때문에 스마트폰, 노트북 등 무선 통신 기술을 사용하는 단말들에 가장 널리 활용되고 있는 통신 기술 중 하나이다 [1]. 무선랜은 사물인터넷 (IoT; internet of things)의 발달과 함께, 개인 사용자 단말 위주의 통신 기술의 범주에서 사용자와 기기 및 기기 간의 통신 기술까지 그 적용 범위를 넓히고 있다. 최근에는 프로그래밍된 경로 상으로 이동하거나 지상의 조종사가 통신 기술을 통해 원격으로 조종하여 비행하는 드론(drone)과 같은 무인 비행체 (unmanned aerial vehicle)의 조종 등에 있어서 무선랜 통신 기술을 이용하고자 하는 연구가 활발하게 이루어지고 있다.

무선랜 표준화 단체인 IEEE 802.11 표준화 단체에서는 장거리 드론과의 통신을 포함한 사물인터넷 통신을 목표로 한 LRLP (long range low power) 통신에 대한 표준화 논의를 시작하였다 [2]. 논의의 초기 단계이기는 하나 종래 기술 개발 단계를 참고하면 현재 진행 중인 최신 무선랜 기술인 IEEE 802.11ax [3]를 기반으로 표준화 진행 될 가능성이 높다. IEEE 802.11ax는 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.

본 논문에서는 드론 통신을 포함하는 미래 IEEE 802.11 LRLP 통신에서 다수의 단말 (비행체)들과 AP (access point)가 IEEE 802.11ax의 OFDMA 임의 접근 기법을 확장해 성능을 극대화하기 위한 적응형 RU (resource unit) 자원 할당 기법을 제안한다. AP가 고정적인 자원을 할당하여 전송을 유도하는 IEEE 802.11ax OFDMA 임의 접근은 단말들이 다양한 크기의 데이터로 접속을 할수록 자원 효율이 감소할 수 있기 때문에, 제안하는 기법에서는 단말들의 전송 이력을 참고하여 지정된 수식에 따라 AP가 최적의 단말들의 전송을 유도하기 위한 최적의 무선 자원 (RU; resource unit) 크기를 결정한다.

II. IEEE 802.11ax 다중 사용자 상향 전송의 효율 증대를 위한 적응적인 자원 할당 기법

2-1 IEEE 802.11ax의 다중 사용자 상향 전송 과정

그림 1에 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

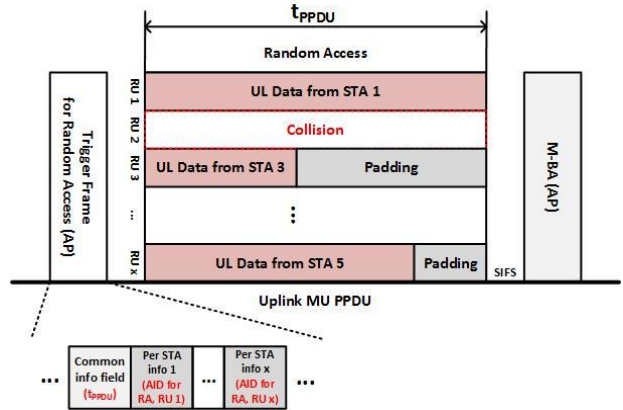


그림 1. IEEE802.11의 상향 다중 사용자 임의 접근 전송 과정
Fig. 1. The uplink multiuser random access procedure of IEEE 802.11.

802.11ax의 표준에 따르면, AP는 IEEE 802.11ax에서 새로이 정의된 트리거 프레임 (TF; trigger frame)을 하향 전송함으로써 다중 사용자 상향 OFDMA 전송을 유도할 수 있다 [4]. 단일 단말 상향/하향 혹은 다중 사용자 하향 전송과 다르게 다중 사용자 상향 전송 시에는 다수의 단말이 각기 다른 부반송파(subcarrier)에서 동시에 송신한 전파 신호를 AP가 수신하게 된다. OFDMA 신호의 경우, 서로 다른 무선자원 (RU)에 위치한 신호를 검출하기 위해서는 기본적인 물리계층의 정보 및 트레이닝 시퀀스 (training sequence) 등이 담긴 프리앰블(preamble)을 성공적으로 수신하는 것이 필수적이며, 모든 상향 전송 단말이 동일한 시점에 전송을 시작 및 종료해야 한다. AP를 제외한 단말 간에 서로 정보를 주고받는 기법이 존재하지 않는 IEEE 802.11ax에서는 서로 다른 단말들이 전송하는 프리앰블을 AP가 성공적으로 수신할 수 있도록 TF에 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)들을 이용하여 전송에 참여할 수 있도록 한다. 또한 TF에는 각 상향 전송 단말이 사용할 RU와 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 사용자 상향 전송에 참여할 수 있다. 이 때, 다중 사용자 상향 전송에 참여하는 모든 단말은 동일한 시간적 길이의 자원을 할당받기 때문에 버퍼 내의 데이터 크기가 할당된 자원의 크기와 다를 경우에는 단편화(fragmentation) 혹은 채우기(padding)를 통해 지정된 시점에 전송을 종료할 수 있게 해야 한다. 다중 사용자가 상향 데이터를 전송하는 PPDU의 수신을 마친 후에 AP는 성공적으로 수신된 데이터에 대한 응답으로 M-BA (multi STA block ack)를 전송하는 것으로 다중 사용자 상향 전송 과정을 종료하게 된다.

IEEE 802.11ax에서는 AP가 다중 사용자 상향 전송에 참여할 단말을 선정하지만, 종래의 무선랜에서는 단말이 자신의 버퍼 내에 존재하는 데이터에 대한 정보를 AP에게 전달하는 기법이

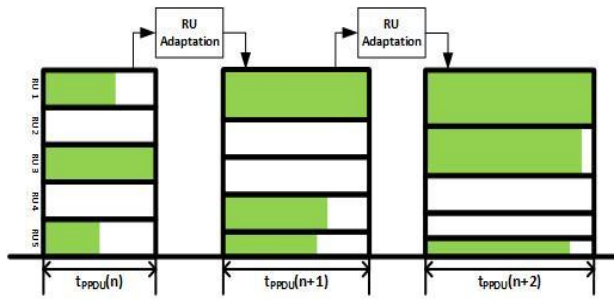


그림 2. 제안하는 적응형 자원 할당 기법의 예시
 Fig. 2. The description of the proposed scheme.

정의되어있지 않기 때문에 AP가 다중 사용자 상향 전송에 할당하기 위한 적합한 단말을 선정하기 어려울 수 있다. 위와 같은 이유로 IEEE 802.11ax에서는 TF에서 AP가 지정한 특정 RU에 상향 데이터를 보유하고 있는 임의의 단말이 임의의 접근을 시도하는 것을 허용할 수 있다 [5]. 가령, AP가 B 개의 RU에 임의의 접근을 허용하는 경우, 상향 데이터를 보유하고 있는 단말은 임의의 접근이 허용된 B 개의 RU 중에서 임의로 하나의 RU를 선택하여 상향 데이터를 전송한다. IEEE 802.11ax 다중 사용자 상향 임의의 접근의 개략적인 전송 과정도 그림 1에 도시되어 있다.

다중 사용자 상향 전송의 임의의 접근에서는 어떠한 단말이 상향 데이터를 보유하고 있는지 알기위한 추가적인 과정이 요구되지 않으나, AP가 어떠한 정보도 없이 다중 사용자 상향 전송을 위한 RU의 크기를 임의로 결정하기 때문에, padding 등으로 인한 RU의 이용 효율이 급격하게 감소할 수 있다. 또한, AP가 padding을 줄이기 위한 목적으로 작은 길이의 RU로 다수의 다중 사용자 상향 전송을 유도하게 되면, 실질적인 데이터 대비 접속을 위한 오버헤드의 비율이 증가함에 따라 자원 이용 효율이 감소하게 된다.

2-2 제안하는 적응적인 자원 할당 기법

본 논문에서는 현재 IEEE 802.11ax OFDMA 임의의 접근 기반의 다중 사용자 상향 전송의 문제점을 극복하기 위한 적응적인 RU 할당 기법을 제안한다. 제안하는 기법에서는, AP가 각 단말들이 전송하는 통계적인 특성을 이용하여 다양한 크기의 RU를 결정하고, 차후의 임의의 접근을 위한 TF 전송 시에 결정된 RU의 크기를 반영한다. TF에는 임의의 접근을 하도록 허용된 RU의 크기와 전체 데이터 전송을 위한 PPDU 길이 정보가 삽입되어 있으므로, 각 단말은 자신의 버퍼에 보유하고 있는 전송 예정 데이터의 크기와 가장 유사한 크기의 RU를 선택하여 접속을 시도할 수 있다. AP는 성공적으로 접속한 데이터에 대하여 해당 데이터들의 크기를 저장한 뒤에 다음 임의의 접근을 위하여 허용할 RU 크기를 갱신하는데 이용할 수 있다. 제안하는 전송 과정은 그림 2에 개략적으로 도시되어 있다.

AP는 먼저 임의의 접근을 위하여 허용할 전체 RU의 수, N_{RU} , 를 정할 수 있다. N_{RU} 는 현재 CCA (clear channel assessment)를 통해 유향 (idle) 하다고 판단되는 20 MHz 단위 채널의 수 및

임의의 접근 상황에서 충돌 발생 빈도 등에 따라 유동적으로 결정될 수 있다. 해당 차례의 N_{RU} 가 결정된 상황에서 각 RU의 크기는 IEEE 802.11ax에서 허용하는 20 MHz 채널당 최소 단위의 RU에 할당되는 OFDMA 데이터 톤 (data tone)의 수 (24 data tones) 및 파일럿 톤 (pilot tone)을 고려하여 결정되는 그 배수의 단위의 OFDMA 데이터 톤의 수로 결정될 수 있다 ([24, 48, 72, 102, 126, 150, 174, 204, 234] data tones). 현재까지 기록된 전송에 성공한 데이터의 크기들을 데이터 심볼 (data symbol) 수 단위로 기록하여 크기 순차로 나열한 집합 (set)을 X라고 할 경우, X를 크기순으로 나눈 N_{RU} 개의 부분 집합 (subset)으로 나타낼 수 있다. 이 때, i 번째 subset $X_{(i)}$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$X_{(i)} = [x_{(i-1)} \cdot N_x / N_{RU} + 1, \dots, x_{(i-1)} \cdot N_x / N_{RU} + N_x / N_{RU}] \tag{1}$$

(1)로 결정된 각 subset의 평균값을 \bar{X}_i 라 할 때,

$$\bar{X}_i = E[X_i] \tag{2}$$

다음 차수의 임의의 접근에 사용될 N_{RU} 개의 RU의 크기는 $X_{(i)}$ 들에 대하여 가상적인 RU 할당 과정을 통해 구할 수 있다. RU 할당은 해당 차수에 이용할 수 있는 최소 단위 RU의 수를 B라 하였을 때, 각 subset이 전체 set에서 차지하는 비율에 대한 기본 RU 수인 $\beta_{(i)}$ 를 아래와 같이 구한 후에 [6],

$$\beta_{(i)} = \left\lfloor \frac{X_{(i)}}{\sum_{i=1}^{N_{RU}} X_{(i)}} \right\rfloor \cdot B \tag{3}$$

추가적인 정수 할당 (integer allocation) 과정을 통해 최적의 RU 분배 수를 구할 수 있다. 위의 과정으로 구한 $X_{(i)}$ 에 대한 최적의 RU 수를 $\tilde{b}_{(i)}$ 라 할 경우, AP가 임의의 접근을 위해 허용하는 전체 PPDU 전송 시간은 아래 수식과 같이 구할 수 있다 [6].

$$t_{PPDU} = \max \left(\left\lceil \frac{X_{(i)}}{n_t(\tilde{b}_{(i)})} \right\rceil \right) \cdot t_{sym} \tag{4}$$

이 때, $n_t(\cdot)$ 는 정수 단위의 할당된 RU 수에 대한 전체 data tone의 수를 의미하며, t_{sym} 은 하나의 OFDMA symbol 시간을 의미한다.

이전 임의의 접근 과정에서 전송에 성공한 상향 데이터 중에서 data symbol의 개수가 AP가 할당된 RU 중 가장 큰 RU에 허용되는 최대 data symbol의 수와 같은 데이터가 있었다면, 그

표 1. 시뮬레이션 파라미터

Table 1. Simulation parameters.

Parameter	Description	Value
t_{SIFS}	SIFS duration	16 μs
$t_{trigger}$	Trigger Frame duration	113 μs
t_{MBA}	M-BA duration	150 μs
t_{PHY}	Preamble duration	53 μs
MCS	Modulation and Coding	64 QAM, 5/6 code rate

것은 해당 단말이 허용된 최대 크기의 데이터보다 큰 데이터를 갖고 있는 상태에서 fragmentation을 통해 데이터 크기를 맞추었다는 것을 의미하며, 임의의 접근에 허용하는 전체 data symbol 수가 증가될 필요가 있다는 것을 의미한다. 따라서 결정된 PPDU 길이에 지정된 상수 α 를 곱하여 최종적인 PPDU의 길이 $\overline{t_{PPDU}}$ 를 정하고 이를 TF에 삽입하여 임의의 접근을 트리거 하게 된다.

$$\overline{t_{PPDU}} = \alpha \cdot t_{PPDU} \quad (5)$$

본 논문에서는 슬롯 접속 방식 기반의 접속 기법에서 허용 RU 당 최대의 접속 효율을 내는 접속 단말의 수를 가정하였으며, 최적의 자원 접속 효율을 얻기 위한 방법은 향후의 연구 주제가 될 수 있다.

III. 시뮬레이션 및 분석 결과

제안하는 적응형 RU 할당 기법의 성능을 분석하기 위하여 표 1의 전송 매개변수를 이용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 사용한 매개변수들은 IEEE 802.11ax 표준 개발에 사용한 매개변수들과 동일하다 [7]. 그림 3은 다양한 범위에서 균일 분포(uniformly distributed)인 상향 데이터들이 상향 단말에 존재하는 상황에서 IEEE 802.11ax의 기본적인 임의의 접근 전송 과정을 따른 다중 사용자 상향 전송과 제안하는 적응형 RU 할당 기법을 이용한 전송의 system throughput을 비교하였다. 기존의 IEEE 802.11ax의 전송은 최소 단위의 RU (24 data tones)를 사용하여 AP가 지정하는 임의의 접근에 허용하는 전송 길이를 500, 1000, 5000 (bits)로 고정하였다. 또한 다양한 트래픽 상황에 따른 성능을 분석하기 위하여 단말의 상향 데이터의 크기 및 분산을 네 가지 경우 ((4000, 10000), (4000, 20000), (4000, 40000), (4000, 80000) bits)로 나누어 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과, 기존의 임의의 접근 기법의 경우, 상향 데이터 크기의 분산에 따라 AP가 허용하는 임의의 접근을 위한 PPDU의 길이에 의한 성능의 차이가 크게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. AP가 작은 길이의 PPDU를 허용하는 설정에서는 (500, 1000 bits/RU), 단말의 상향 데이터들이 허용되는 PPDU 길이를 초과하는 상

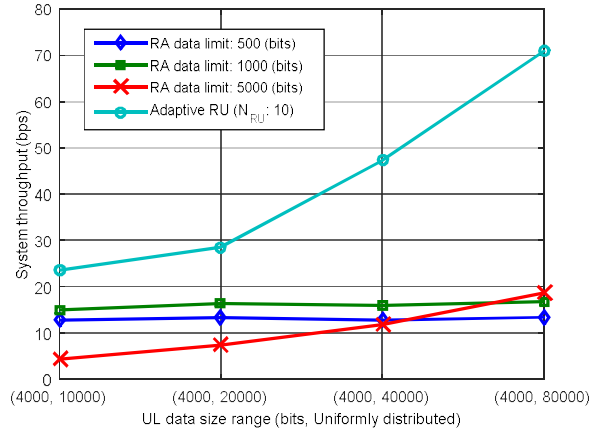


그림 3. UL data size range 변화에 따른 적응형 자원 할당 기법의 시스템 처리율 (system throughput) 비교 (80 MHz 채널, MCS 7, Number of STAs: 10)

Fig. 3. The system throughput of the proposed adaptive resource unit allocation scheme with various range of uplink data (80 MHz channels, MCS 7, Number of STAs: 10).

황이 빈번하기 때문에 단말들의 fragmentation 빈도가 높아지게 되며, 그에 따라 상향 데이터 PPDU의 스펙트럼 효율 (spectral efficiency)는 높은 수준으로 유지될 수 있었다. 그러나 상향 데이터의 크기 및 분산이 증가하는 상황에서 증가한 데이터 길이를 수용할 수 있는 RU가 없기 때문에 전체 system throughput은 작은 상향 데이터 크기 상황과 거의 동일한 수준으로 유지되었다. AP가 큰 길이의 PPDU를 허용하는 상황에서는 (5000 bits/RU), 상향 데이터의 크기 및 분산이 작은 경우에 RU 상에서 padding의 비율이 증가하기 때문에 전체적인 spectral efficiency가 감소하였으며, 그에 따라 작은 길이의 PPDU 길이를 허용하는 상황보다 더 낮은 system throughput을 보였다. 그러나 상향 데이터의 길이 및 분산이 커질수록 전송 회수 당 수용할 수 있는 데이터의 크기가 증가함에 따라 오버헤드 (inter spacing, TF, M-BA) 대비 데이터 전송량이 증가하게 되어 점차적으로 상회하는 system throughput을 갖는 것을 볼 수 있었다. 제안하는 기법의 system throughput이 상향 데이터 크기의 분산이 가장 작은 조건부터 가장 큰 조건까지 최소 8 Mbps에서 최대 58 Mbps까지 상회하는 것으로 나타났다. 상향 데이터 크기의 분산이 작은 경우에는 모든 상향 단말이 비슷한 크기의 데이터로 임의의 접근을 시도하기 때문에 기존의 임의의 접근 기법과 제안하는 기법의 성능 차이가 크지 않았으나, 데이터의 분산이 커질수록 상향 단말들이 AP가 제안하는 다양한 크기의 RU 중 최적의 크기의 RU에 접속하여 감소하는 padding의 양이 줄어들기 때문에 실질적인 system throughput에 있어서의 효율이 급격하게 증가하였다.

그림 4는 80 MHz 채널에서 임의의 접근을 허용할 전체 RU 수 (N_{RU})의 변화에 따른 제안하는 적응형 RU 할당 기법의 system throughput을 도시하고 있다. 본 시뮬레이션에서는 80 MHz 채널에서 총 36 개의 24 data tones의 최소 단위 RU를 이용하여 유

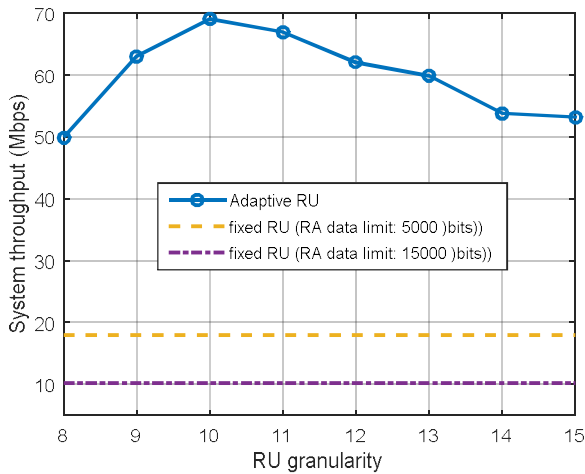


그림 4. 적응형 자원 할당 기법의 RU granularity 변화에 따른 성능 분석 (80 MHz 채널, UL data size range: (4000, 80000), MCS 7)

Fig. 4. The system throughput of the proposed adaptive resource unit allocation scheme with variable resource unit granularity (80 MHz channels, UL data size range: (4000, 80000), MCS 7).

동적인 크기의 RU를 구성하였다. 시뮬레이션 결과 하나의 RU 당 평균적으로 3.6 개의 최소 단위 RU를 할당하는 $N_{RU}=10$ 의 상황에서 최대의 효율을 얻을 수 있었다. N_{RU} 가 감소하는 경우에는 각 RU 별로 좀 더 세밀한 단위의 RU 크기 조정이 가능할 수 있으나 제공할 수 있는 RU의 종류가 제한되는 측면에서 spectral efficiency가 감소하였다. 반대로 N_{RU} 가 증가하게 되면, 많은 개수의 RU를 할당할 수 있으나 제한된 수의 최소 단위 RU로 적응형 RU를 구성하기 때문에 각 RU 별로 세밀한 크기 차이를 갖는 RU를 구성하기 어려움이 있고, 각 RU 별로 할당된 최소 단위 RU의 차이가 감소하여 적응형 RU 할당의 이점이 감소하였다. 따라서 실제 전송 시에 이용 가능한 20 MHz 채널의 수에 따라 각 적응형 RU 당 최소 단위 RU의 평균수를 3.6 수준으로 유지시킬 때, 적응형 RU의 종류 및 크기의 다양성 측면에서 가장 이상적인 성능을 얻을 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

IV. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11 LRLP 환경에서 다수의 단말(비

행체)들의 다중 사용자 상향 통신을 위한 자원 할당 기법을 제안한다. IEEE 802.11ax의 임의 접근 기법을 이용하는 제안하는 기법에서는, AP가 성공적으로 전송받은 데이터의 크기를 기반으로 다음 차수의 임의 접근 유도를 위한 자원의 크기를 적응적으로 결정하여, 접속 단말이 최적의 크기의 자원을 선택하여 접속할 수 있도록 한다. 본 논문의 시뮬레이션 결과에 따르면 제안하는 기법은 종래의 임의 접근 기반 통신 기술의 system throughput을 급격하게 증가시키는 것으로 나타났다.

감사의 글

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

참고 문헌

- [1] 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
- [2] T. Godfrey et. al., Long range low power (LRLP) operation in 802.11: use cases and functional requirements: guidelines for PAR development, IEEE 802.11 TIG LRLP, Piscataway: NJ, 15/1446r12, pp. 1-10, Mar. 2016.
- [3] R. Stacey, Proposed draft specification, IEEE 802.11 TGax, Piscataway: NJ, 16/24r1, pp. 1-159, Jan. 2016.
- [4] A. Asterjadhi et. al., Scheduled trigger frames, IEEE 802.11 TGax, Piscataway: NJ, 15/880r1, pp. 1-17, Jul 2015.
- [5] C. Ghosh et. al., UL OFDMA-based random access procedure, IEEE 802.11 TGax, Piscataway: NJ, 15/1105r0, pp. 1-19, Sep. 2015.
- [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*, Vol. 2016, pp. 1-9, May. 2016.
- [7] S. Merlin et. al., TGax simulation scenario, IEEE 802.11 TGax, Piscataway: NJ, 14/980r16, pp.1-52, Jul. 2015.



안 우 진 (Woojin Ahn)

2008년 2월 : 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2008년 3월 ~ 현재 : 연세대학교 전기전자공학과 대학원 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