

802.11ax에서 RU 기반의 OFDMA 자원 할당 방법 연구

전 유 찬*

RU-Based OFDMA Resource Allocation for IEEE 802.11ax Wireless Networks

Youchan Jeon*

요 약

OFDMA 기반의 IEEE 802.11ax WLAN은 자원 할당 방식으로 RU 할당 개념을 도입하고 있다. 본 논문에서는 RU 단위의 자원 할당 방식의 문제점을 제시하고 각 RU에서 전송할 data의 전송 시간을 고려한 padding bit의 효율화를 통한 전송 효율 향상 방안을 제안하였다. 또한, 성능 평가를 통해 채널 대역폭과 RU에서의 tone의 수 및 구성에 따른 제안된 알고리즘의 효과를 분석하였다.

Key Words : WLAN, IEEE 802.11ax, OFDMA, downlink, resource unit

ABSTRACT

IEEE 802.11ax based WLAN introduces RU concept for resource scheduling. In this letter, we explain the problem of RU based resource allocation and propose a scheme which can enhance the throughput efficiency for IEEE 802.11ax downlink by reducing padding bits efficiently. Through performance evaluation, we show the influences of channel bandwidth, RU configuration, and the number of tones on the proposed scheme.

1. 서 론

최근 high efficiency WLAN (Wireless Local Area Network)을 위한 차세대 무선랜인 IEEE 802.11ax 표준이 마무리되고 관련 상용화 제품들이 속속 출시되고 있다. IEEE 802.11ax는 WLAN에 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기술을 처음으로 적용한 표준으로 동시에 전송하고자 하는 사용자의 증가에 따른 기존 무선랜 표준의 전송 성능 저하 문제를 최소화하는 것을 목표로 하고 있다 [1,2].

OFDMA는 IEEE 802.11ax 표준에 적용되기 이전에 이동통신의 LTE (Long Term Evolution)에 먼저 도입된 기술이다. LTE에서는 다수 사용자의 동시 접속을 위해 resource block이라는 개념을 사용한 반면, 무선랜에서는 기존의 하위 무선랜과의 호환성을 고려하여 RU (Resource Unit) 할당 개념을 적용하였다. RU 할당 방식의 특징은 사용자당 하나의 RU를 할당할 수 있고 채널 대역폭에 따라 수용 가능한 사용자 수와 할당 가능한 RU 단위가 정해져 있다³⁾. 할당이 가능한 RU 크기는 총 7가지 형태로 26-tone RU, 56-tone RU, 106-tone RU, 242-tone RU, 484-tone RU, 996-tone RU, 2×996-tone RU가 있다. 또한, 대역폭에 따라서도 사용 가능한 RU의 형태가 정해진다. 예를 들어, 484-tone RU는 40MHz, 80MHz, 160(80+80)MHz 대역에서 사용할 수 있고 996-tone은 80MHz와 160(80+80)MHz 대역에서만 사용할 수 있다. 대역별로 동시 전송 가능한 STA (Station)의 수도 상이하다. 20MHz에서는 최대 9개의 STA에게 동시 전송이 가능하고 40MHz에서는 최대 18, 80MHz와 160MHz에서는 각각 37과 74개의 STA에게 동시 전송이 가능하다.

이처럼 RU 단위로 자원을 할당하는 방식에서는 할당된 RU에 따라 사용자 간 데이터 전송 시간에 차이가 발생할 경우, 데이터 전송 시간이 짧은 사용자에게 나머지 시간 동안 padding bit를 전송하여 동시에 전송을 마치도록 하고 있다. 이러한 방식은 동시 전송 사용자 간 데이터 전송 시간의 차이가 클수록 전송 효율성이 떨어진다.

본 논문에서는 802.11ax 기반 WLAN에서 하향 전송 시 전송 효율 향상 방안을 제안한다. II장에서 전

* 본 논문은 2020년도 신한대학교 학술연구비 지원으로 연구되었음.

• First and Corresponding Author : (ORCID:0000-0002-8686-6280)Shinhan University School of IT Convergence Engineering, ycjeon@shinhan.ac.kr, 조교수, 정회원

논문번호 : 202003-049-B-LU, Received March 6, 2020; Revised March 16, 2020; Accepted March 20, 2020

송 효율을 높일 수 있는 RU 할당 방식을 소개하고 III장에서 제안된 방식의 성능을 분석한다. 마지막으로 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 제안된 방식

본 논문에서는 20, 40, 80MHz 채널 대역폭에서의 OFDMA 기반 하향링크 802.11ax WLAN 환경을 고려한다. 제안된 방식은 RU 기반에서 전송할 data의 전송 시간을 고려한 padding bit의 감소를 목적으로 하고 있다. 자세한 절차는 다음과 같다.

Step 1: AP는 전송할 채널 대역폭을 고려하여 전송하고자 하는 STA의 수 I 에 따라 할당 가능한 RU의 set U_k 후보군을 찾는다. 예를 들어, 40MHz 채널 대역폭에서 8개의 STA($I=8$)이 동시에 data를 전송하고자 할 때, 할당 가능한 RU의 set으로 [242, 52, 52, 26, 26, 26, 26, 26], [106, 106, 106, 52, 26, 26, 26, 26], [106, 106, 52, 52, 52, 52, 26, 26] 등이 가능하며, 이때 인덱스 k 는 1~3이 된다.

Step 2: AP는 결정된 채널 대역폭에서 할당 가능한 각 RU 크기에 따른 각 STA들의 data 전송 시간을 계산한다.

$$t_{i,j} = \left\lceil \frac{L_i}{N_b R_c C_j} \right\rceil (T_S + T_G) \quad (1)$$

L_i 는 STA i 번째 data frame의 payload 크기이고 N_b 는 symbol당 전송 bit 수, R_c 는 coding rate이다. C_j 는 각 RU에서 할당 가능한 tone의 개수이다. 예를 들어, Step 1에서 인덱스 k 가 1일 때, [242, 52, 52, 26, 26, 26, 26, 26]의 tone 할당이 가능하며, 이때 할당 가능한 tone을 가리키는 인덱스 j 는 1~8이 된다. T_S 와 T_G 는 각각 OFDM symbol duration과 guard interval을 의미한다.

Step 3: Step 1에서 찾은 RU의 set 후보군에서 각 RU별 전송할 STA의 data를 선택한다.

Step 3-1: RU의 set U_k 의 tone 인덱스 j 에서 data 전송 시간이 가장 긴 STA를 찾는다.

$$T_{j,k} = \max[t_{1,j}, t_{2,j}, \dots, t_{I,j}] \quad (2)$$

Step 3-2: Step 3-1을 $J \times K$ 횟수만큼 반복 수행하여 U_k 후보군의 각 RU에 맞는 STA의 data를 선택한다. 이때 이미 선택된 STA들의 data는 제외한다.

Step 4: T 를 만족하는 k 를 구하여 최종적으로 사용할 RU set을 결정한다.

$$T = \min_k \begin{bmatrix} \max[T_{1,1}, T_{2,1}, \dots, T_{I,1}], \\ \max[T_{1,2}, T_{2,2}, \dots, T_{I,2}], \\ \dots, \\ \max[T_{1,K}, T_{2,K}, \dots, T_{I,K}] \end{bmatrix} \quad (3)$$

Step 5: AP는 결정된 RU set을 사용하여 각 RU에 해당하는 STA의 data를 동시에 전송한다.

Step 6: 각 STA는 전송된 data frame을 수신한 후 AP로 BA (Block Acknowledgement)를 전송한다.

III. 성능 평가

제안된 방식의 성능 평가는 다음과 같은 가정하에 이루어진다. AP는 항상 각 STA들에게 전송할 데이터가 있는 반면에 STA들은 상향링크로 전송할 데이터는 없으며 충돌이나 전송 실패는 고려하지 않는다. 또한, AP가 동시 전송 시 사용될 RU의 개수와 STA의 수는 일치한다. 전송할 payload 길이는 다양한 크기를 갖는 data frame을 생성하기 위해 평균이 $1/p$ 인 기하 분포를 따르도록 한다. 제안된 방식은 802.11ax 표준에서 정한 RU 할당 방식을 기반으로 STA들의 data를 임의로 할당하는 방식과 성능 비교를 한다. 표 1은 성능 분석을 위한 파라미터를 나타낸다.

그림 1은 STA의 수가 4와 8일 때, p 에 따른 throughput을 보여준다. STA의 수와 사용되는 대역폭에 따라 STA들에게 할당되는 tone은 다음과 같이 정해진다. STA의 수가 4이면서 대역폭이 20MHz일 때, [106, 52, 52, 26]개의 tone이 동시에 할당될 수 있고, 40MHz일 때는 [242, 106, 106, 26]개의 tone을 동시에 할당한다. 반면에 80MHz일 때는 [484, 242, 242,

표 1. 성능 분석을 위한 파라미터
Table 1. Parameters for performance evaluation

Parameter	Values
Mac overhead	36 bytes
Payload size	2000 ~ 20000 bytes
PHY header	48 μ s
Block ACK	68 μ s
OFDM symbol duration	12.8 μ s
Guard interval	0.8 μ s
SIFS	16 μ s
DIFS	34 μ s
Slot time	9 μ s
Propagation delay	1 μ s

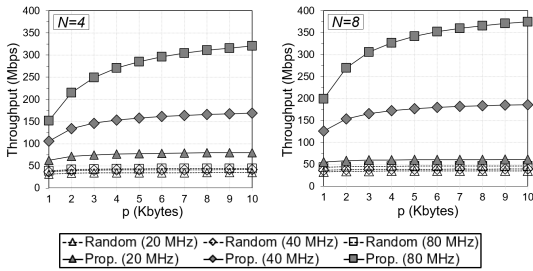


그림 1. p 에 따른 throughput
Fig. 1. Throughput according to p

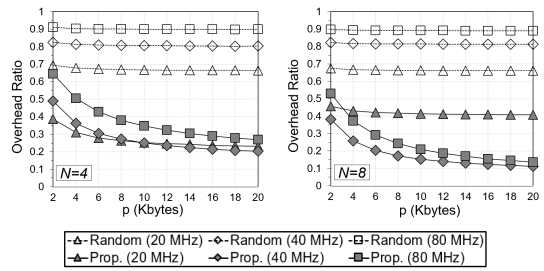


그림 2. p 에 따른 overhead ratio
Fig. 2. Overhead ratio according to p

26]개의 tone 할당이 가능하다. 반면에 STA의 수가 8이면서 대역폭이 20MHz일 때, [52, 26, 26, 26, 26, 26, 26, 26], 40MHz일 때, [242, 52, 52, 26, 26, 26, 26, 26], 80MHz일 때, [484, 242, 106, 52, 26, 26, 26, 26]개의 tone을 할당하게 된다. 임의적 할당 방식은 대역폭에 따라 throughput 증가폭이 크지 않은 반면에 제안된 방식은 임의적 할당 방식에 비해 모든 대역폭에서 우수한 성능을 보여주고 있으며, 특히 채널 대역폭이 클수록 성능 향상이 두드러진다는 것을 알 수 있다. 또한, STA의 수가 4개보다 8개일 때, 전반적으로 throughput 결과가 우수함을 확인할 수 있다.

그림 2는 STA의 수가 4와 8일 때, p 에 따른 overhead ratio에 관한 결과를 나타낸다. 여기서 overhead ratio는 전송을 위해 요구되는 전체 시간과 대역폭 대비 data 전송이 아닌 padding 및 MAC overhead, PHY header, SIFS, DIFS, BA 등을 위해 사용되는 시간과 대역폭 비율을 의미한다. RU 개념이 사용되는 IEEE 802.11ax OFDMA 방식에서 데이터 전송 시간은 RU에 할당된 data 중 전송 시간이 가장 긴 data에 의해서 결정된다. 결과를 보면 임의적 할당 방식과 제안된 방식 모두 p 가 증가할수록 overhead ratio가 감소함을 알 수 있다. 이때 제안된 방식이 임의적 할당 방식보다 p 의 증가에 따른 overhead ratio 감소가 더 크다. 그 이유는 각 data의 전송 시간을 고려함으로써 p 가 증가할수록 임의적 할당 방식보다 padding에 의한 overhead 비율이 감소하게 되기 때문이다. 하지만, 대역폭이 20MHz일 때 제안된 방식은 p 의 증가에 따른 overhead 감소가 40MHz와 80MHz보다 낮은 결과를 보여준다. 그것은 대역폭마다 구성 가능한 tone의 개수에 영향을 받기 때문이다. 802.11ax는 20MHz 대역폭에서 할당 가능한 RU의 tone 구성이 52개 하나에 나머지 RU는 동일한 26개의 tone으로 구성되어 있다. 반면에 40MHz와 80MHz에서는 각각 242, 52, 26과 484, 242, 52, 26으로 다양한 tone

의 개수로 구성되어 있다. 이로 인해 20MHz 대역폭에서는 p 가 증가할지라도 overhead ratio 감소가 제한적으로 나타나게 된다.

IV. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11ax 하향링크에서 RU 기반의 자원 할당 방법을 위한 알고리즘을 제안하였다. 제안된 기술은 임의적 할당 방식에 비해 throughput 향상뿐만 아니라 padding bit 감소에 따른 overhead ratio도 감소시킬 수 있다는 것을 증명하였다. 또한, 넓은 채널 대역폭과 함께 STA의 수가 증가하고 RU의 tone 구성이 다양할 때 제안된 알고리즘의 효율성이 향상된다는 것을 확인할 수 있었다. 우리는 제안된 기술이 IEEE 802.11ax와 같은 OFDMA 기반 무선랜 시스템의 전송 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 기대한다.

References

- [1] M. S. Afaqui, E. Garcia-Villegas, and E. Lopez-Aguilera, "IEEE 802.11ax: Challenges and requirements for future high efficiency WiFi," *IEEE Wireless Commun.*, vol. 24, no. 3, pp. 130-137, Jun. 2017.
- [2] J. H. Son, J. S. Kwak, and G. Ko, "A study on the next generation WLAN IEEE 802.11ax HEW standardization status," in *Proc. KICS Summer Conf. 2015*, pp. 148-149, Jeju Island, Korea, Jun. 2015.
- [3] Q. Qu, et al., "Survey and performance evaluation of the upcoming next generation, WLANs Standard-IEEE 802.11ax," *Mobile Netw. Appl.*, vol. 24, no. 5, pp. 1461-1475, May 2019.