

# IEEE 802.11ax 무선랜에서 UORA 효율 향상을 위한 적응적 구간 분할 OCW 제어 기법

구희모, 이정민, 권람, 박은찬  
동국대학교-서울 정보통신공학과

hmku1@dgu.ac.kr, ljmtt1248@dongguk.edu, lamk@dongguk.edu, ecpark@dongguk.edu

## Adaptive OCW Range Segmentation Scheme for UORA Efficiency Improvement in IEEE 802.11ax WLANs

Hwimo Ku, Jungmin Lee, Lam Kwon, Eun-Chan Park

Department of Information and Communication Engineering, Dongguk University-Seoul

### 요약

IEEE 802.11ax 표준에서는 전송 효율을 향상시키기 위해 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반의 상향 링크 채널 접속 기법으로 UORA(Uplink OFDMA-Based Random Access)를 도입하였다. UORA의 성능은 채널 경쟁 단말 수 또는 채널 접속 관련 파라미터의 값에 크게 영향을 받는다. 본 논문에서는 기존에 제안한 OBO(OFDMA Back-off) 문턱값 조절 UORA의 성능을 안정적으로 향상시키기 위해 채널 접속을 제어할 수 있는 요소인 OCW(OFDMA Contention Window)를 적응적 구간 분할을 통해 제어하는 방법을 제안한다. 모의 실험을 통해 제안한 기법은 OBO의 문턱값 조절 UORA 방식보다 단말 수가 증가할 때 높은 전송 효율을 유지함을 확인하였다.

### 1. 서론

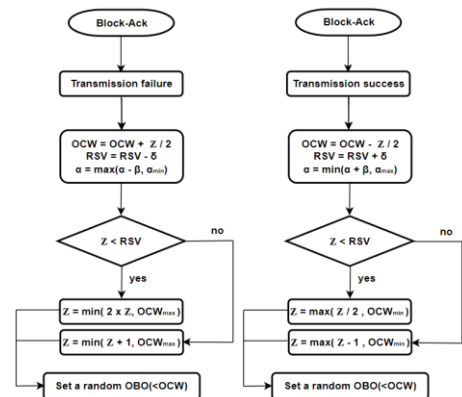
무선랜 표준인 IEEE 802.11ax에서는 전송 효율을 향상시키기 위해 MU-MIMO (Multi User - Multiple Input Multiple Output) 기술과 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식을 도입하였다. 채널을 여러 개의 직교하는 부 반송파로 분할하여 RU (Resource Unit)를 형성하고, 다중 사용자가 동시에 채널에 접속하여 전송을 가능하게 한다. IEEE 802.11ax 표준에서는 AP (Access Point)가 단말의 상향링크 전송을 위해 RU를 할당하는데, 할당 방법으로 스케줄링 방식과 UORA (Uplink OFDMA-Based Random Access)를 지원한다. 본 연구에서는 선행 연구[3]에서 제안한, 채널 접속을 제어할 수 있는 요소인 OBO (OFDMA Back-off) 문턱값을 조절하는 기법을 기반으로 적응적 구간 분할을 통한 OCW(OFDMA Contention Window)를 제어하는 기법을 제안한다. 모의 실험 결과 제안 기법은 기존 OBO 문턱값 조절 기법을 단말로 사용하였을 때보다 전송 효율 측면에서 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다.

### II. 전송 효율 개선을 위한 적응적 OCW 구간 분할 기법

#### 1. OBO 문턱값 조절 UORA 동작 기법과 문제점

선행 연구[3]에서 제안하는 적응적 채널 접속 방식은 OBO에서 RU 개수만큼 감소시켜 기준점인 0 이하가 되는 경우에 전송 시도를 하는 기존 방법과 달리, 전송 시도를 결정하는 기준점(OBO 문턱값으로 정의하고  $\alpha$ 로 표시함)을 각 단말마다 부여하고 이 값을 각 단말이 조절함으로써 각기 다른 기준점에서 전송을 시도하도록 한다. 즉, OBO 문턱값이 0보다 큰 경우에는 더 높은 확률로 전송을 시도할 수 있으며, 이 값이 0보다 작은 경우에는 전송 시도 확률이 낮아지게 된다. 전송에 성공할 시에는 OBO 문턱값을  $\beta(>0)$ 만큼 증가시켜 다음 번의 전송을 더 공격적으로 시도하고, 전송에 실패할 시에는  $\beta$ 만큼 감소시켜 다음 번의 전송을 보다 보수적으로 시도한다. 이 때, OBO 문턱값  $\alpha$ 의 최대값과 최소값을 각각  $\alpha_{max}$ 와  $\alpha_{min}$ 으로 제한한다.

모의실험 결과 OCW의 범위에 따른 표준 UORA(S\_UORA로 표기)와 비교했을 때, OBO 결정 문턱값 조절 UORA(A\_UORA로 표기)는 단말 수가 15~25 이하인 구간에서 S\_UORA보다 미세하게 낮은 처리율을 보이지만, 단말 수가 증가하며 더 높은 처리율을 보이는 것을 확인할 수 있다. 하지만 한정된 OCW 범위 내에서 단말 수를 증가시키게 되면 충돌률이 증가하고 이로 인해 처리량 감소 추이가 유지되는 것을 알 수 있다. 이와 같이 OBO 문턱값 조절을 통해 유의미한 성능 향상이 확인되었지만, 추가로 OCW 범위의 제어를 통해 충돌률을 낮추고, 전송 효율 향상 가능성이 있음을 확인했다.



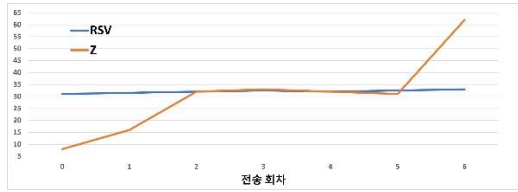
[그림 1] 제안하는 방법의 동작 순서도

#### 2. 적응적 구간 분할 OCW 제어 기법 제안

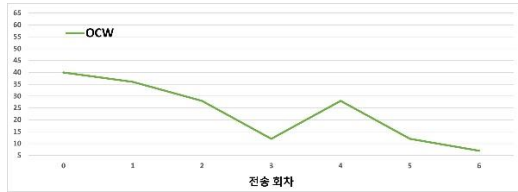
본 연구에서 제안하는 적응적 구간 분할 OCW 제어 기법은 전송 실패 시 기존 OCW 값의 2 배, 전송 성공 시  $OCW_{min}$  값으로 설정하는 기존의 표준 방법과 적응적 OBO 문턱값 조절 기법과 달리, 전송 성공과 실패에 따라 적응적으로 변화하는 구간 분할 변수(Range Segmentation Value, RSV로 표기)와 구간값(Z로 표기)을 비교한다. 전송 성공, 실패에 따라  $Z/2$ 만큼 OCW를, RSV를  $\delta$ 만큼 조절한다. 또한 적응적 OBO 문턱값 조절 방식에 사용되는  $\alpha$  또한  $\beta$ 만큼 조절한다. 이후 구간값이 지수적 증감 구간과 선형적 증감 구간 중 어디에 포함되는지 확인하여 Z 값을 갱신한다.  $Z < RSV$ 의 경우를 지수적 증감 구간인 구간 1,  $Z \geq RSV$ 의 경우를 선형적 증감 구간인 구간 2라고 했을 때, 전송 실패 시 구간 1에 해당하는 경우 Z 값을 2 배 증가시키고, 구간 2에 해당하는 경우 Z 값을 1 증가시킨다. 또한 전송 성공 시에 구간 1에 해당하는 경우 Z 값을 2 배 감소시키고, 구간 2에 해당하는 경우 Z 값을 1 감소시킨다. RSV와 Z의 최대값과 최소값을 각각  $OCW_{max}$ 와  $OCW_{min}$ 으로 제한한다. 즉, 전송 성공 확률이 높은 단말의 경우 적은 횟수의 실패에도 높은 RSV를 갖고 있기에 넓은 지수적 증감 구간에서 Z를 단기간에 증가시켜 빠르게 낮은 OCW 범위를 선택할 수 있다. 또한 전송 실패 확률이 높은 단말의 경우 적은 횟수의 성공에도 낮은 RSV 값을 갖고 있기에 넓은 지수적 증감 구간을 가져 Z의 증가를 위해 보다 많은 전송 시도를 요구하고, 이로 인해 보다 큰 OCW 범위의 선택이 가능하다. [그림 1]은 제안하는 방법의 동작을 표현하는 순서도이다.

[그림 2]와 <표 1>은 제안하는 기법의 동작 예시로서, OCW 범위가 (7,63)일 때 임의의 단말의 전송 성공과 실패, OCW,

RSV, Z 변수의 변화, Z 와 RSV 비교를 통한 구간 결정에 대해 보여준다. 단말은 계속해서 접속 시도를 위해 AP 에 연결되어 TF(Trigger Frame)을 전송 받고 있다고 가정하고, 전송 횟수 n 값이 0 일 때 단말의 변수들을 포착하였고 n 값이 6 일 때까지의 관찰 결과이다. 해당 예시의 Z 와 RSV, OCW 의 초기값은 n이 0 일 때로 가정한다.



(a) RSV 와 Z



(b) OCW

[그림 2] 제안 기법(RS\_UORA)의 동작 예시

<표 1> 제안 기법의 동작 예시

n	0	1	2	3	4	5	6
Transmit	Failure	Success	Success	Success	Failure	Success	Success
Z < RSV	16 < 31.5	8 < 31	16 < 31.5	32 ≥ 32	33 ≥ 32.5	32 ≥ 32	31 < 32.5
OCW = OCW ± Z / 2	32 + 16/2 = 40	40 - 8/2 = 36	36 - 16/2 = 28	28 - 32/2 = 12	12 + 32/2 = 28	28 - 32/2 = 12	12 - 31/2 = -3 → CWmin = 7
RSV(δ=0.5)	31	31.5	32	32.5	32	32.5	33
Z	16 / 2 = 8	2 × 8 = 16	2 × 16 = 32	32 + 1 = 33	33 - 1 = 32	32 - 1 = 31	2 × 31 = 62

### III. 모의실험 및 성능 분석

모의 실험에서 설정한 주요 변수들의 값은 <표 2>와 같다. 모의 실험에서는 단말의 수를 10 개에서 100 개까지 증가시키며 전체 단말의 처리율, 총돌률, Jain's Fairness index 를 관찰하였다. 총돌률은 각 단말의 총돌 횟수를 전송 시도 횟수로 나눈 값의 평균이다.

[그림 3] (a)는 제안하는 UORA (RS\_UORA 로 표기)와 OBO 문턱값 조절 UORA(A\_UORA), 표준 UORA (S\_UORA 로 표기)의 처리율을 비교한 것이다. RS\_UORA 는 OCW 의 범위가 (7,63)일 때, 단말 수가 15~ 30 이하인 구간의 S\_UORA 보다, 단말 수가 10~50 이하인 구간의 A\_UORA 보다 약간 낮은 처리율을 보인다. 이는 OCW 감소가 늦어져 단말 수가 적을 때 높은 OCW 를 보다 오래 유지하기 때문이다. 하지만 단말 수가 증가하며 채널 접속 경쟁이 심해지는 구간에서 전송 성공 시에는 OCW 값을 OCW<sub>min</sub>으로 갱신하는 S\_UORA 와 A\_UORA 와는 달리 천천히 떨어뜨려 OCW<sub>min</sub>에 도달하기 위해 더 많은 전송 시도를 필요로 한다. 따라서 각 단말들의 총돌률이 낮아지고, 전체적인 처리량을 높인다. 단말 수가 100 인 경우 RS\_UORA(7,63)는 S\_UORA(7,63)보다 약 137%, A\_UORA(7,63)보다 약 21% 향상되었다. OCW 의 범위가 (15,63)인 경우 10~55 이하인 구간의 A\_UORA(15,63)와 20~35 이하인 구간의 S\_UORA(15,63)의 처리량보다 약간 낮은 처리율을 보이지만, 단말 수가 증가하며 앞서 언급한 구간 이외에서는 높은 처리율을 유지한다. 단말 수가 100 인 경우 RS\_UORA(15,63)는 S\_UORA(15,63)보다 약 124%, A\_UORA(15,63)보다 약 11% 향상되었다. 따라서 RS\_UORA 는 S\_UORA 와 A\_UORA 와 비교하였을 때 단말 수 변화에 크게 영향을 받지 않고 안정적으로 더 높은 성능을 유지함을 알 수 있다.

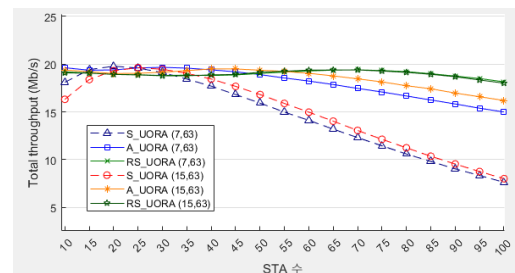
RS\_UORA 는 10 ~100 이하의 단말 수에서 A\_UORA 보다 낮은 총돌률을 보이고, 이를 통해 더 높은 처리율을 보인다. [그림 3] (b)는 RS\_UORA, A\_UORA, S\_UORA 의 총돌률을 비교한 것이다. RS\_UORA(7,63)의 경우 단말 수가 10 이하인 구간에서 S\_UORA(7,63)보다 높은 총돌률을 보이고, RS\_UORA(15,63)의 경우 S\_UORA(15,63)과 비교하였을 때 15 이하인 구간에서 약간 더 높은 총돌률을 보이지만 이외의

구간에서는 더 안정적으로 낮은 총돌률을 보이는 것을 확인할 수 있다. A\_UORA 와 비교하였을 때는 단말 수 10~100 까지 전 구간에서 RS\_UORA 의 총돌률이 낮은 것을 확인할 수 있다.

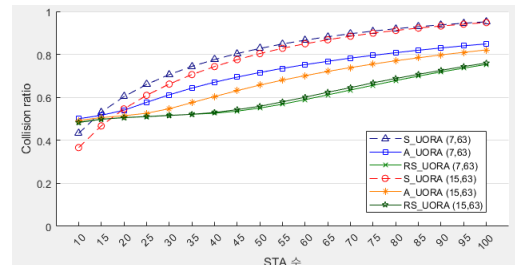
Jain's fairness index 를 통해 OCW 범위 (7,63)의 경우 단말 수 45 이하에서 최소 fairness index 값이 약 0.76, (15,63)의 경우 약 0.79 로 낮아지는 것을 확인했지만, 단말 수가 45 이상일 때에 1 에 가까운 값을 대체로 유지하는 것을 확인하였다.

<표 2> 모의실험 주요 변수

Simulation time	60 sec
OCWmin, OCWmax	(7,63), (15,63)
MCS	64QAM, 2/3
SIFS	16 usec
PHY header	40 usec
Trigger frame	100 usec
Block ack	68 usec
Frame size	2000 byte
Bandwidth	20 MHz
N_RU	9
Data rate per RU	6.67 Mbps
$\beta, \alpha_{min}, \alpha_{max}$	0.1, $\frac{1}{2}N_{RU}, 2^*N_{RU}$
Initial RSV, Z	OCW <sub>max</sub> / 2, OCW <sub>min</sub>
$\delta$	0.5



(a) 처리율



(b) 총돌률

[그림 3] 제안 기법(RS\_UORA)과 S\_UORA, A\_UORA 성능비교

### IV. 결론

본 논문에서는 UORA 의 전송 성능을 안정적으로 향상시키기 위해 OBO 문턱값을 조절하는 적응적 채널 접속 기법을 기반으로 OCW 구간 분할을 통한 채널 접속 기법을 제안하였으며 모의 실험을 통해 제안한 기법의 성능이 향상됨을 확인하였다. 향후 구간 분할 최적화 방법과 해당 방법을 사용한 단말간 처리율과 형평성을 향상시키는 방법에 대해서 연구할 계획이다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국 연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. NRF-2021R1F1A1046959).

### 참고 문헌

- [1] 손주형, 안우진, 고건중, 곽진상, "IEEE 802.11ax 차세대 무선랜 표준화 동향", 한국통신학회지(정보와통신), 33(10). 3-9, 2016
- [2] Youngboo Kim, Lam Kwon, Eun-Chan Park, "OFDMA backoff control scheme for improving channel efficiency in the dynamic network environment of IEEE 802.11ax WLANs", Sensors, 21(15), July 2021
- [3] Hwimo Ku, Lam Kwon, Hyogyong Kim, Eun-Chan. Adaptive Channel Access Scheme for UORA Efficiency Improvement in IEEE 802.11ax WLANs. Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences, jan, 2024