

# IEEE 802.11ax 무선랜에서 UORA 효율 향상을 위한 적응적 채널 접속 기법

구취모, 권람, 김효경, 박은찬  
동국대학교-서울 정보통신공학과

hmku1@dgu.ac.kr, lamk@dongguk.edu, hk68@dgu.ac.kr, ecpark@dongguk.edu

## Adaptive Channel Access Scheme for UORA Efficiency Improvement in IEEE 802.11ax WLANs

Hwimo Ku, Lam Kwon, Hyogyong Kim, 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 기존 UORA의 성능을 안정적으로 향상시키기 위해 채널 접속을 제어할 수 있는 요소인 OBO(OFDMA Back-off)의 문턱값을 조절하는 방법을 제안한다. 모의 실험을 통해 제안한 기법은 기존 UORA 방식보다 단말 수 변화에 크게 영향을 받지 않고 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[2]를 참고하여 UORA의 성능을 안정적으로 유지하기 위해 기존 UORA 방식에서 채널 접속을 제어할 수 있는 요소인 OBO (OFDMA Back-off)의 문턱값을 조절하는 기법을 제안한다. 모의 실험 결과 제안 기법은 기존 UORA 방식보다 전송 효율 측면에서 안정적으로 우수한 성능을 보이는 것을 확인하였다.

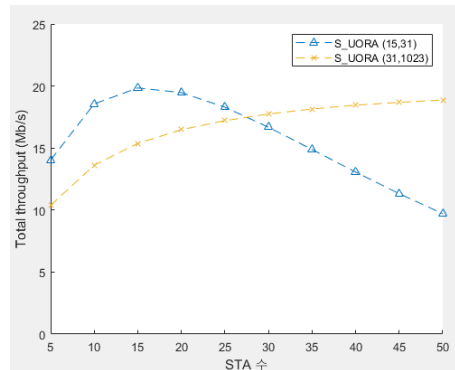
### II. 전송 효율 개선을 위한 적응적 채널 접속 기법

#### 1. 표준 UORA 동작 기법과 문제점

IEEE 802.11ax 표준[1]에서는 AP의 스케줄링에 의존하지 않고 단말들의 경쟁을 통해 RU를 할당하여 데이터를 전송하는 UORA 방식을 제시한다. UORA 방식에서 데이터를 전송하고자 하는 각 단말들은 OCW(OFDMA Contention Window) 값 이하에서 임의의 OBO(OFDMA Back-Off) 값을 선택하고, 해당 OBO 값에서 RU의 개수만큼 감소시키며 OBO를 갱신한다. OBO 값이 0 이하가 되는 경우 임의의 RU를 선택하여 데이터 전송을 시도하고, 그렇지 않은 경우에는 OBO를 계속해서 감소시키며 대기하는 것을 반복한다. 만약 두 개 이상의 단말들이 동일한 RU를 선택하면 충돌로 인해 전송이 실패한다. 또한, 단말이 임의로 RU를 선택하기 때문에, 가용 RU가 할당되지 않고 유휴해질 수도 있다. AP는 BACK(Block-Acknowledgement)를 통해 전송 성공 여부를 단말에 알리며, 전송 성공 시에는 OCW를 최소값(OCWmin)으로, 실패 시에는 OCW를 최대값(OCWmax)이내에서 두 배 증가시킨다.

[그림 1]은 모의실험 결과 OCW의 범위에 따른 표준 UORA의 처리율을 보여준다. 단말 수가 적은 경우 OCW의 (최소값, 최대값)이 (15,31)인 경우 높은 처리율을 보이지만, 단말 수가 증가함에 따라 처리율이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 반면에 OCW의 (최소값, 최대값)이 (31,1023)일 때는 단말 수가 적은 경우에는 처리율이 다소 떨어지지만, 단말 수가 증가함에 따라 비교적 높은 처리율을 유지하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 단말 수가 적은 경우 지나치게 큰 OBO가 설정되면 유휴해지는 RU의 개수가 증가하여 처리율이 저하되고, 단말 수가 증가함에

따라 OBO를 넓은 범위의 OCW에서 결정하여 각 단말의 충돌 확률을 낮추어 전송 효율을 높일 수 있다. 그러나 OCW의 최소값과 최대값은 AP에서 결정하여 단말에 전달되므로 단말에서 유동적으로 OCW 범위를 조작할 수 없다는 문제점이 있다.



[그림 1] 표준 UORA의 처리율

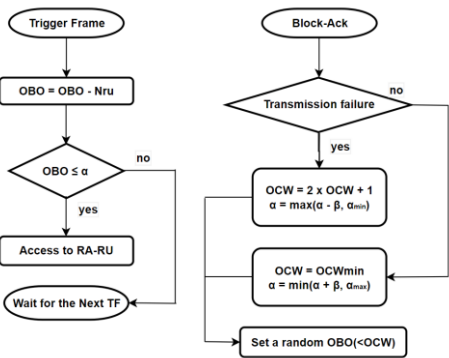
#### 2. 적응적 채널 접속 기법 제안

본 연구에서 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.



[그림 2] 제안 기법의 동작 예

[그림 2]는 제안하는 적응적 UORA의 동작 예시로서, 4개의 단말이 4개의 RU에 채널 접속을 시도하고,  $\beta$  값이 1인 경우를 가정하였다. 단말이 AP로부터 첫 번째 TF (Trigger Frame)를 수신한 시점에서, OCW 값이 8이라면, [그림 1]과 같이 각 단말  $i$ 의 임의의 OBO 값으로  $OBO_i = \{4, 2, 3, 3\}$ 라고 가정한다. 또한 OBO 문턱값  $\alpha = \{0, 0, 0, 0\}$ 으로 초기값으로 설정한다. 이후 각 단말의 OBO 값은 RU의 개수  $N_{ru}$ 를 이용하여  $OBO_i = OBO - N_{ru} = \{0, -2, -1, -1\}$ 이 된다. 모든 단말의 OBO 값이 0 이하이므로 모든 단말이 채널 접속을 시도한다. 단말  $i$ 가 전송을 시도하기 위해 임의로 선택한  $RU_i = \{1, 2, 3, 2\}$ 일 때, 단말 1과 3은 전송에 성공하지만 단말 2와 4는 동일한 RU를 선택하여 충돌이 발생하고 전송에 실패한다. 또한 4번 RU는 어느 단말도 선택하지 않아 유휴한 상태로 남는다. 이 때에 OBO 문턱값을 전송에 성공한 1, 3번 단말은  $\beta$ 만큼 증가시키고, 2, 4번 단말은  $\beta$ 만큼 감소시켜 OBO 문턱값이  $\alpha = \{1, -1, -1, -1\}$ 로 갱신된다. 표준 UORA에 따르면 모든 단말의 OBO 값이  $N_{ru}(=4)$  이하인 경우 전송이 시도되지만, 제안한 방법에 따르면 단말 1과 단말 3은  $OBO - N_{ru}$  값이  $\alpha = 1$  이하인 경우 전송을 시도하고, 단말 2와 단말 4는  $OBO - N_{ru}$  값이  $\alpha = -1$  이하인 경우에 전송을 시도할 수 있다. [그림 2]에서 단말 2는 두 번째 시도에서  $OBO - N_{ru}$  값이 0임에도 전송을 시도하지 않는다. BACK (Block-Acknowledgement)를 수신하면 전송의 성공, 실패 여부를 알 수 있으며 성공 시에는  $OCW_{min}$ , 실패 시에는  $OCW \times 2 + 1$ 로 증가시켜 더 넓은 범위의 OBO를 선택할 수 있도록 조정한다. OCW의 최대값은  $OCW_{max}$ 로 제한한다. [그림 3]은 제안하는 방법의 동작을 표현하는 순서도이다.



[그림 3] 제안하는 방법의 동작 순서도

### III. 모의실험 및 성능 분석

모의 실험에서 설정한 주요 변수들의 값은 <표 1>과 같다. 모의 실험에서는 단말의 수를 5개에서 50개까지 증가시키며 전체 단말의 처리율, 접속시도율, Jain's Fairness index를 관찰하였다. 접속 시도율은 각 단말마다 전송 시도한 횟수를 TF의 수로 나눈 값의 평균이다.

[그림 4] (a)는 제안하는 UORA (A\_UORA로 표기)와 표준 UORA (S\_UORA로 표기)의 처리율을 비교한 것이다. A\_UORA는 단말 수가 15 ~ 20 이하인 구간에서 OCW의 범위가 (15, 31)인 S\_UORA보다 약간 낮은 처리율을 보이지만 단말 수가 20 이상으로 채널 접속 경쟁이 보다 심해지는 구간에서는 급격히 성능이 감소하는 S\_UORA(15, 31)과는 다르게 단말 수 변화에 크게 영향을 받지 않고 높은 처리율을 유지한다. 단말 수가 50인 경우 S\_UORA(15, 31)과 비교해 처리율이 약 82% 향상되었다. 반면에 A\_UORA(31, 1023)는 S\_UORA(31, 1023)보다 단말 수가 40 이하인 경우 더 높은 성능을 보이고 단말 수가 점차 증가하며 비슷한 수준으로 수렴하는 것을 확인할 수 있다. 단말 수가 10인 경우 S\_UORA(31, 1023)과 비교해 처리율이 약 29% 향상되었다. 따라서 A\_UORA는 S\_UORA와 비교하였을 때 단말 수 변화에 크게 영향을 받지 않고 안정적으로 더 높은 성능을 유지함을 알 수 있다.

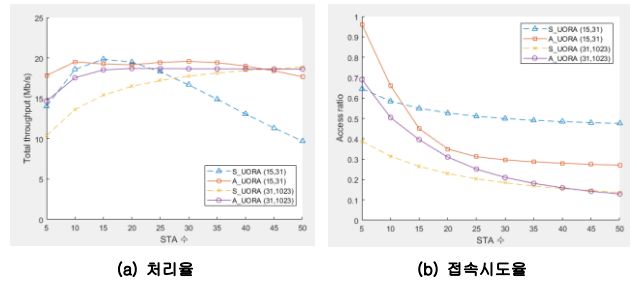
[그림 4] (b)는 A\_UORA와 S\_UORA의 접속시도율을 비교한 것이다. A\_UORA(15, 31)는 단말 수가 15 이하인 경우 S\_UORA(15, 31)보다 높은 접속 시도율을 보여 유휴 RU를 감소시키며, 단말 수가 증가함에 따라 접속 시도율을 감소시켜 전송 충돌을

감소시키는데 기여한다. 반면, A\_UORA(31, 1023)의 경우에는 S\_UORA(31, 1023)보다 단말 수가 적은 경우 높은 전송시도율을 보여주며, 단말 수가 증가함에 따라 S\_UORA(31, 1023)과 비슷한 수준의 접속 시도율을 보여준다.

<표 2>에서 Jain's fairness index를 이용하여 각 단말의 처리율 간의 형평성을 살펴볼 수 있다. S\_UORA의 경우 모든 경우 0.99 이상으로 매우 높은 수준의 형평성을 유지하였다. 반면, A\_UORA(15, 31)의 경우 단말 수가 10 ~ 15일 때 fairness index 값이 0.88 정도로 다소 낮았으며, 단말 수가 30 이상일 때, A\_UORA(31, 1023)의 fairness index 값이 0.84 ~ 0.86으로 다소 낮았다. 이 경우를 제외하고 A\_UORA의 fairness index 값은 대체로 1에 가까운 값을 유지하였다.

<표 1> 모의실험 주요 변수

Simulation time	60 sec
OCWmin, OCWmax	7, 31
MCS	64QAM, 2/3
SIFS	16 $\mu$ sec
PHY header	40 $\mu$ sec
Trigger frame	100 $\mu$ sec
Block ack	68 $\mu$ sec
Frame size	2000 byte
Bandwidth	20 MHz
N_RU	9
Guard interval	1.6 $\mu$ sec
OFDM Symbol Duration	12.8 $\mu$ sec
Data rate	6.67 Mbps
$\beta, \alpha_{min}, \alpha_{max}$	$0.1, -\frac{1}{2}N_{RU}, 2*N_{RU}$



[그림 4] 제안 기법(A\_UORA)과 표준 UORA(S\_UORA) 성능비교

<표 2> Jain's Fairness Index 비교

STA 수	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
S_UORA (15,31)	0.9999	0.9999	0.9998	0.9997	0.9997	0.9996	0.9994	0.9992	0.9990	0.9986
A_UORA (15,31)	0.9999	0.8816	0.8782	0.9971	0.9994	0.9995	0.9995	0.9994	0.9993	0.9992
S_UORA (31,1023)	0.9998	0.9993	0.9986	0.9979	0.9974	0.9968	0.9965	0.9965	0.9963	0.9949
A_UORA (31,1023)	0.9997	0.9990	0.9942	0.9398	0.8915	0.8613	0.8454	0.8448	0.8464	0.8501

### IV. 결론

본 논문에서는 UORA의 전송 성능을 안정적으로 향상시키기 위해 전송 시도를 결정하는 OBO 문턱값을 전송 성공 여부에 따라 조절하는 적응적 채널 접속 기법을 제안하였으며 모의 실험을 통해 제안한 기법의 성능을 확인하였다. 향후 OBO 문턱값을 좀 더 정교하게 조절하는 방법과 단말간 처리율의 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] Youngbo 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