

IEEE 802.11ax 무선랜에서 UORA 의 OCW 제어를 통한 충돌 완화 및 성능 향상

이정민, 구희모, 권람, 박은찬
동국대학교-서울 정보통신공학과

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

Collision Mitigation and Performance Enhancement of IEEE 802.11ax UORA through OCW Control Strategy

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

Department of Information and Communication Engineering, Dongguk Univ-Seoul

요 약

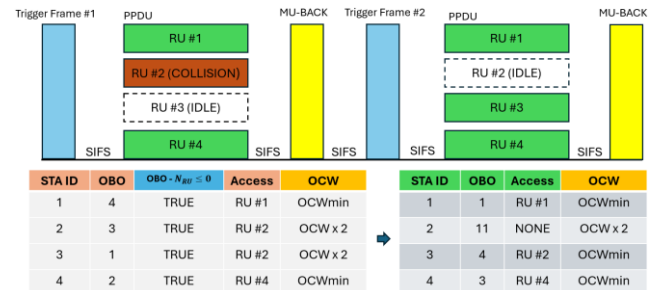
IEEE 802.11ax 무선랜에서 각 단말들은 밀집된 배치 환경에서 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기반의 상향링크 다중 사용자 전송 기법인 UORA (Uplink OFDMA-based Random Access)를 통해 전송 효율을 향상시킬 수 있다. 그러나 UORA 기법에서 접속을 시도하는 단말이 많아지게 되면 OFDMA RU (Resource Unit) 충돌 확률이 증가하게 된다. 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 UORA 에서 전송 시도를 조절하는 OCW (OFDMA Contention Window)의 증감을 연속 전송 성공과 실패 횟수에 따라 차등적으로 제어하는 기법을 제안한다. 모의 실험을 통해 제안된 기법은 표준 UORA 에 비해 충돌 확률을 감소시키며 높은 처리율을 보이는 것을 확인하였다.

I. 서 론

IEEE 802.11ax 에서는 Wi-Fi 네트워크 효율성을 향상시키기 위해 UL(Uplink) MU(Multi-User) 직교 주파수 분할 다중 접속 (OFDMA)을 도입하였다. OFDMA 는 주파수에 병렬로 데이터를 실어 전송하는 기술이며 각 단말의 채널 상태를 보고 자원 및 주파수를 할당하기 때문에 시스템의 성능을 향상시킬 수 있다. OFDMA 를 이용하여 무선 채널 자원을 여러 개의 부반송파 그룹인 RU (Resource Unit)로 나누고 이를 스케줄링을 통해 단말에게 할당하거나 랜덤 접속을 통해 단말이 경쟁적으로 RU 를 획득하여 전송을 시도하는데 이를 UORA 라 한다. UORA 는 여러 단말들의 동시 전송을 허용하여 상향링크 전송 효율을 향상시킬 수 있다. 그러나 UORA 는 전송을 시도하는 단말이 많아질수록 충돌이 증가하게 된다. 기존의 UORA 에서는 BEB(Binary Exponential Backoff)를 이용해 OCW 를 제어하기 때문에 단말의 수가 많을 때 적절한 OCW 값을 유지하기 어렵다. 이를 개선하고자, 본 연구에서는 기존보다 OCW 값을 보수적으로 조절하는 기법인 CM UORA(Collision Mitigation UORA)를 제안한다. 제안기법은 연속적인 전송 성공 또는 충돌 횟수에 따라 OCW 의 증감을 차등적으로 조절한다. 모의 실험을 통해 제안 기법은 기존 UORA 방식 보다 충돌 완화와 처리율 측면에서 우수한 것을 확인하였다.

II. 표준 UORA 기법의 동작 방식

IEEE 802.11ax[1]에서 도입된 UORA 는 접속하려는 사용자가 많고 밀집된 무선랜 환경에서 랜덤 접속 방식을 사용해 각 사용자가 RU 를 경쟁적인 방식으로 획득하여 데이터를 전송한다. AP (Access Point)는 트리거 프레임을 이용하여 UORA 를 위해 사용 가능한 RU 개수를 브로드 캐스팅하고, 각 단말은 상향링크 전송을 위해 OCW 범위 내에서 임의의 OBO(OFDMA Backoff) 값을 선택하고 이 값에서 유효한 RU 수를 감소시킨다. 차감된 OBO 값이 0 이하일 때는 유효한 RU 가운데 임의의 RU 를 선택하여 전송하고, OBO 값이 0 보다 큰 경우에는 전송을 시도하지 않고 차감된 OBO 값을 유지하다가 다음 트리거 프레임을 수신한 후 다시 RU 값을 차감한다. 2 개 이상의 단말이 동일한 RU 를 선택하게 되면 전송 충돌로 전송에 실패한다. 또한 선택되지 않은 RU 가 있으면 유휴한 상태로 낭비된다. 전송에 실패하게 되면 RU 충돌을 완화시키기 위해 OCW 값을 2 배 증가시키고, 전송에 성공하면 OCW 값을 최소값인 OCWmin 값으로 설정한다. OCW 의 최대값은 OCWmax 로 제한된다. OCWmin 값과 OCWmax 값은 AP 가 결정하여 비컨 프레임을 통해 모든 단말에 통보한다.



[그림 1] 표준 UORA 동작 방식의 예

[그림 1]은 UORA 동작 방식의 예로, 4 개의 단말이 4 개의 RU 에 대해 채널 접속을 시도하는 경우를 가정했다. AP 로부터 단말이 첫 트리거 프레임을 수신했을 때, OCW 값이 8 이라면, 각 단말 i 는 무작위의 OBO 값으로 $OBO_i = \{4, 3, 1, 2\}$ 가 될 수 있다. 그 후, 각 단말의 OBO 값은 RU 의 개수 N_{RU} 를 이용해, $OBO_i = OBO_i - N_{RU} = \{0, -1, -3, -2\}$ 과 같이 갱신된다. 4 개의 단말 모두 OBO 값이 0 이하이므로 각 단말이 모두 채널 접속을 시도하게 된다. 각 단말 i 가 전송을 시도하기 위해 선택한 RU 가 $RU_i = \{1, 2, 2, 4\}$ 라고 하면, 단말 1, 4 는 전송에 성공하지만 단말 2, 3 은 동일한 RU 를 통해 전송을 시도하였기 때문에 충돌이 일어나고 전송에 실패한다. 3 번 RU 는 어느 단말도 선택하지 않았기 때문에 유휴 상태로 남는다. 각 단말은 AP 로부터 MU-BA(Multi User Block Acknowledgement)를 수신했을 때 전송 성공 여부를 알 수 있고, 만약 전송에 실패한다면 OCW 값을 2 배 증가시켜 더 큰 범위에서 OBO 가 선택될 수 있도록 한다. 두 번째 트리거 프레임을 수신한 후에는 $OBO_i = \{1, 11, 4, 3\}$ 인 경우를 고려했다. 갱신된 OBO 값은 RU 값을 뺀 $OBO_i = \{-3, 7, 0, -1\}$ 가 된다. 2 번 단말을 제외한 나머지 단말은 전송을 시도하고 [그림 1]과 같이 서로 다른 RU 를 선택하였다면 모두 전송에 성공한다. 단말 2 번은 다음 전송에서 갱신된 OBO 값 7 을 기준으로 전송 시도 여부를 결정하게 되는데, 이 값은 여전히 $N_{RU} = 4$ 보다 크기 때문에 전송이 허용되지 않는다.

III. CM UORA (Collision Mitigation UORA)

UORA 에서 채널 접속을 제어할 수 있는 핵심 파라미터는 OCW 값인데, 제안하는 기법은 OCW 의 증감 수준을 연속 전송 성공과 실패 횟수에 따라 차등적으로 조절한다. 각 단말별로 전송 성공과 실패가 연속으로 일어난 횟수를 각각 $flag_s$ 와 $flag_f$ 에 기록한다. $flag_s$ 는 $flag_f$ 가 증가할 때 0 으로 초기화되고 $flag_f$ 도 동일한 방법으로 $flag_s$ 가 증가할 때 0 으로 초기화된다. 제안 기법의 동작 알고리즘은 다음과 같다.

```

전송 성공 시,
flag_f = 0
if flag_s ≥ Ns
    OCW = max( $\alpha_1$  * OCW, OCWmin)
elseif flag_s ≥ 0
    OCW = max( $\alpha_2$  * OCW, OCWmin)
end

전송 실패 시,
flag_s = 0
if flag_f ≥ Nf
    OCW = min( $\beta_1$  * OCW, OCWmax)
elseif flag_s ≥ 0
    OCW = min( $\beta_2$  * OCW, OCWmax)
end

```

flag 값이 Ns 또는 Nf 이상일 때(즉, 연속으로 Ns 회 성공 또는 Nf 회 실패)와 그 외의 경우로 나누어 OCW 값을 서로 다르게 갱신한다. 기존의 UORA와 달리 CM UORA는 전송에 성공한 후 flag_s 값이 Ns 이상이면 OCW를 $\{\alpha_1 * OCW\}$ 로 감소, flag_s 값이 Ns 미만인 경우에는 OCW를 $\{\alpha_2 * OCW\}$ 로 감소시킨다. 이 때 $(0 < \alpha_1 < \alpha_2 \leq 1)$ 로 설정한다. 비슷한 방법으로 충돌 발생 시, flag_f 값이 Nf 이상이면 OCW를 $\{\beta_1 * OCW\}$ 로 증가시키고 flag_f 값이 Nf 미만이면 OCW를 $\{\beta_2 * OCW\}$ 로 증가시킨다. $(1 \leq \beta_2 < \beta_1 \leq 2)$. 제안하는 CM UORA는 표준 UORA와 비교하여 $(1 \leq \beta_2 < \beta_1 \leq 2)$ 로 설정함으로써 전송 실패 시 OCW 값을 좀 더 작게 증가시키고, 전송 성공 시 OCW 값을 OCWmin 값으로 줄이지 않고 α_1 또는 α_2 ($0 < \alpha_1 < \alpha_2 \leq 1$)배 만큼 감소시킨다. 다시 말해, OCW 값이 과도하게 증가하고 감소하는 것을 방지하기 위해 표준 UORA보다 보수적으로 OCW 값을 조절하며, 이 값을 연속 전송 성공/실패 여부에 따라 서로 다르게 조절한다.

IV. 모의실험 및 성능분석

모의실험에서 주요 파라미터들의 설정 값은 [표 1]과 같다. OCW의 초기값은 OCWmin 이고, 본 실험에서는 단말 수를 10 개에서 200 개까지 증가시켜 단말과 RU의 충돌 비율, 전체 처리율, Jain's Fairness Index를 살펴보았다.

Simulation time	60 sec
[OCWmin, OCWmax]	[8,256]
MCS	5 (64 QAM, 2/3)
SIFS	16 μ sec
PHY header	40 μ sec
Trigger frame	100 μ sec
Block ack	68 μ sec
Frame size	2000 byte
Bandwidth	20 MHz
Data rate per RU	6.67 Mbps
Number of RUs	9
RU type	26-tone RU
$[\alpha_1, \alpha_2, \beta_1, \beta_2]$	[0.25, 0.5, 2.0, 1.5]
Ns, Nf	3

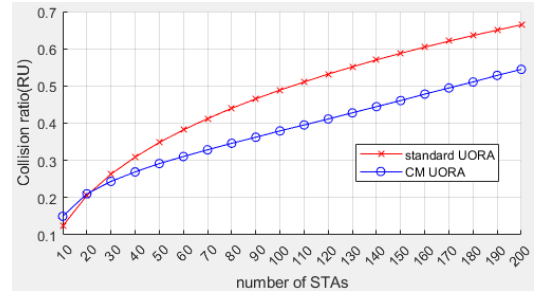
[표 1] 모의실험 환경

[그림 2]는 RU의 충돌비율, [그림 3]은 단말의 충돌비율이다. RU의 충돌비율은 전체 시뮬레이션 시간동안 전송에 사용된 전체 RU 가운데서 충돌이 발생한 RU의 비율로 정의하였고, 단말의 충돌비율은 전체 단말의 전송 횟수 가운데서 충돌이 발생한 전송 횟수의 비율로 정의하였다. 표준 UORA와 CM UORA를 비교했으며, 모두 단말의 수가 증가함에 따라 충돌비율이 증가한다. 하지만 CM UORA는 단말의 수가 증가할수록 충돌비율이 표준보다 더욱 작게 나타난다. RU의 충돌비율의 경우 최대 약 23% 감소하고 단말 충돌비율의 경우 최대 약 12% 감소하였다. 제안한 OCW 증감 제어 기법은 채널 접속 경쟁이 심한 경우 단말과 RU의 충돌 감소에 효과적으로 작용한다.

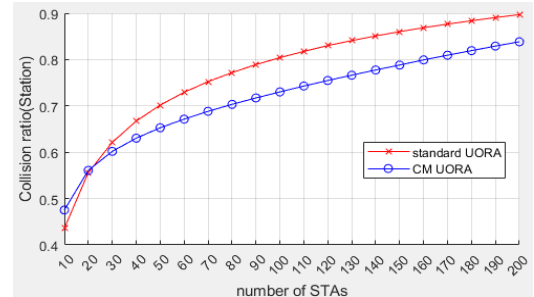
[그림 4]는 처리율을 비교한 것이고 단말의 수가 증가할수록 제안기법(CM UORA)의 처리율은 기존 UORA의 처리율보다 더 큰 비율로 증가하였으며 단말수가 200인 경우 최대 26% 증가하였다.

[표 2]는 단말 수의 변화에 따른 표준 UORA와 CM UORA의 Jain's Fairness Index 값을 표로 비교하였다. CM UORA는 대체로

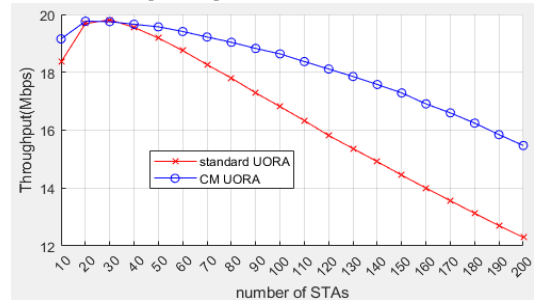
표준에 근사하며 단말의 수가 120개 미만일 때는 표준보다 형평성이 아주 근소하게 떨어지지만 단말의 수가 120개 이상일 때는 표준보다 형평성이 다소 우수해지는 것을 확인할 수 있다.



[그림 2] RU의 충돌 비율



[그림 3] 단말의 충돌 비율



[그림 4] 처리율 비교

단말 수	10	30	50	80	100	120	150	180	200
UORA(std.)	0.9999	0.9997	0.9986	0.9960	0.9953	0.9951	0.9937	0.9929	0.9920
CM UORA	0.9986	0.9950	0.9941	0.9935	0.9944	0.9951	0.9952	0.9953	0.9951

[표 2] Jain's Fairness Index 비교

V. 결론

본 논문에서는 전송 충돌 감소와 처리율 향상을 목적으로 UORA의 새로운 OCW 제어 기법을 제안하였다. 제안기법에서는 연속 전송 성공과 실패 횟수에 따라 OCW를 차등적으로 증감시키며, 표준 UORA에 비해 OCW 값을 보수적으로 조절하였다. 모의실험을 통해 제안기법의 성능을 충돌비율과 처리율, 단말간 처리율의 형평성 관점에서 표준 UORA 대비 우수한 성능을 확인하였다. 향후 제안 기법을 분석하여 OCW 증감의 가중치에 대한 최적의 값을 유도하거나 가중치 값을 동적으로 조절하는 방법에 대해 연구하고자 한다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

- [1] 손주형, 안우진, 고건중, 박진삼, "IEEE 802.11ax 차세대 무선랜 표준화 동향", 한국통신학회지(정보와통신) 33 권 10 호, 4-9, 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, July 2021.
- [3] Giuseppe Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function.", IEEE, March 2000