

단말별 전송 이력 기반 IEEE 802.11ax UORA 적응형 접속 제어



Adaptive Access Control for IEEE 802.11ax UORA Based on Per-Station Transmission History



윤수빈(Soobin Yoon), 박은찬(Eun-Chan Park)
동국대학교 정보통신공학과
yoonsoobin01@gmail.com, ecpark@dgu.ac.kr

요약

IEEE 802.11ax 상향링크 OFDMA 무작위 접속(UORA) 환경에서는 다수 단말이 제한된 무작위 접속 자원 단위(RA-RU)에 경쟁적으로 접근한다. 표준에서 사용하는 이진 지수 백오프(BEB) 기반 경쟁 윈도우(OCW) 갱신 방식은 혼잡도 변화에 둔감하여, 충돌 억제와 자원 활용도를 동시에 만족시키기 어렵다. 본 연구는 각 단말이 자신의 전송 시도 이력만을 이용하여 충돌 확률과 접근 보류 확률을 추정하고, 이를 시그모이드 정규화한 민감도를 기반으로 접근 임계값 α 와 OCW를 적응적으로 갱신하는 기법을 제안한다. 제안 기법은 표준 UORA 절차(OBO 감소, RU 무작위 선택 등)는 그대로 유지하며 전역 통계를 사용하지 않는다. 시뮬레이션 결과, 제안 기법은 표준 대비 처리량을 평균 약 15.1% 향상시키고, (OCWmin, OCWmax)=(31,511) 및 (63,1023) 설정에서 최대 각각 약 50.0%, 56.8%의 성능 향상을 달성하였다.

연구 동기

표준 BEB 기반 UORA는 혼잡 변화에 둔감하여 충돌 증가 또는 RA-RU 유희로 인한 처리량 저하가 발생할 수 있다. 또한 단말은 전역 정보를 관측할 수 없으므로 로컬 이력 기반 접속 제어가 필요하다.

핵심 아이디어

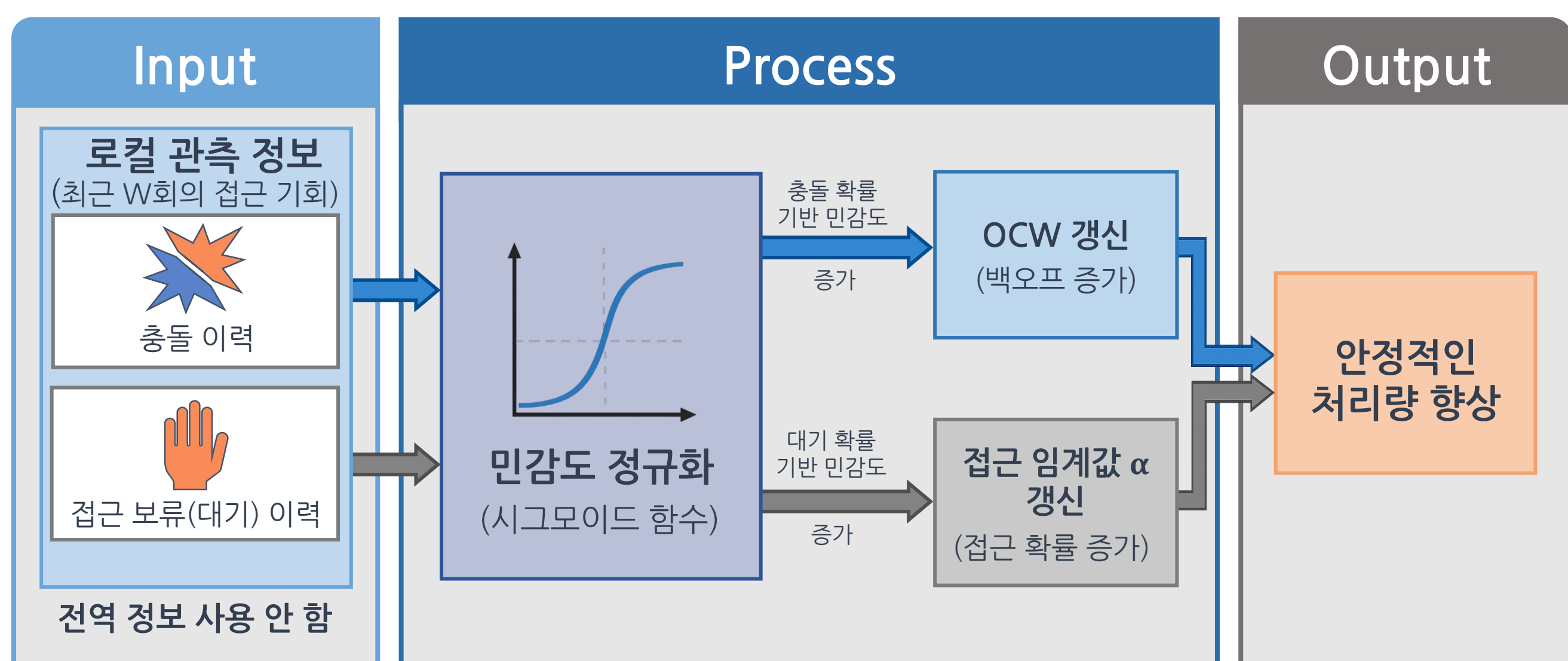


그림1. 단말별 전송 이력 기반 IEEE802.11ax UORA 적응형 채널 접속 제어 구조

각 단말은 최근 W회의 접근 이력에서 충돌/대기 확률을 추정하고, 이를 시그모이드 정규화(Sigmoid Normalization)하여 OCW와 접근 임계값 α 를 적응적으로 갱신한다.

알고리즘 설명

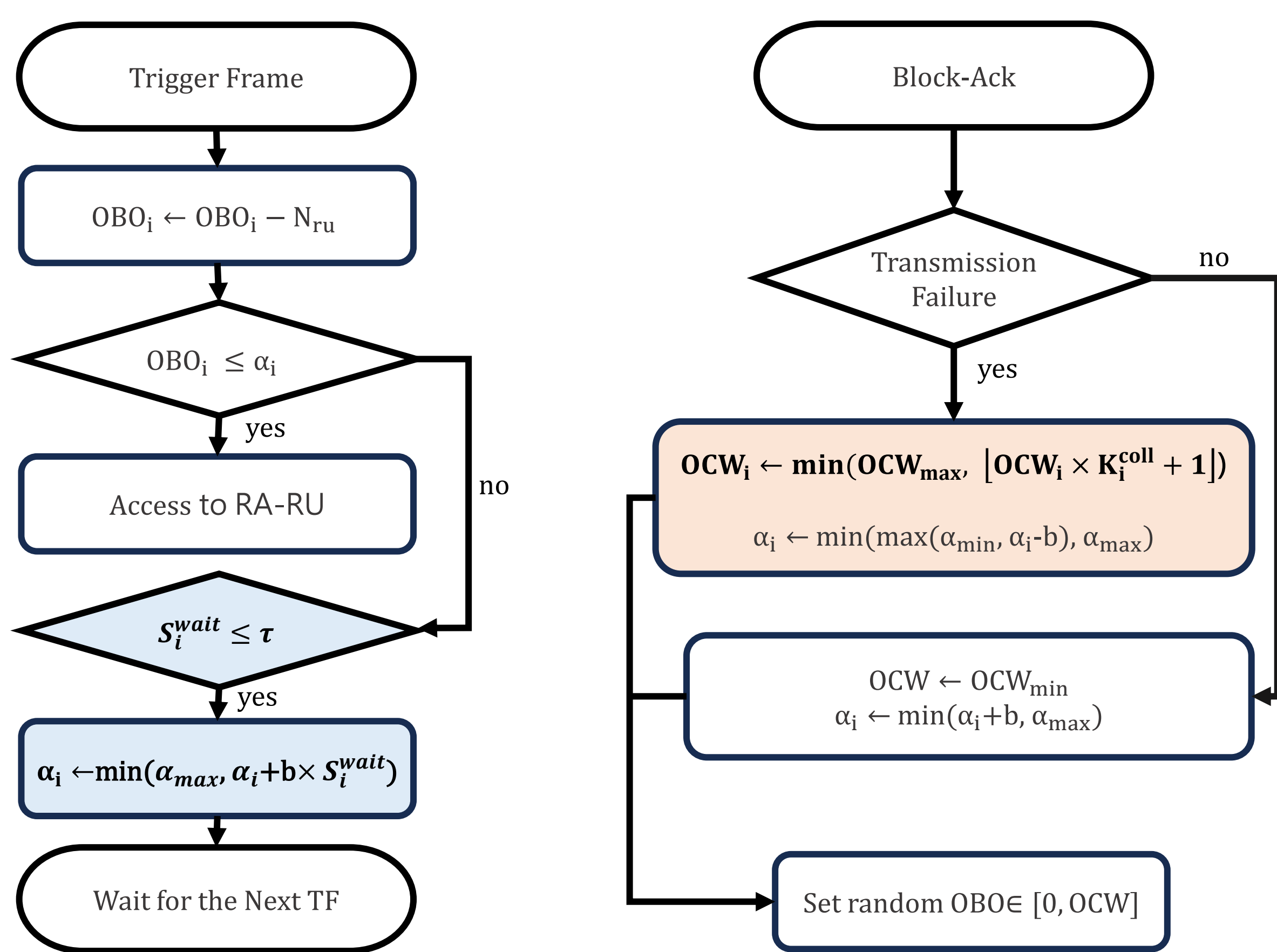


그림2. 단말별 전송 이력 기반 IEEE802.11ax UORA 적응형 채널 접속 제어 방안의 동작 순서도

제안 기법은 로컬 이력 기반 확률 추정과 시그모이드 정규화를 통해 OCW와 접근 임계값 α 를 상황에 따라 적응적으로 갱신한다.

충돌 확률을 고려한 ocw 제어

각 단말은 최근 W회의 접근 이력으로 충돌 발생 비율을 추정한다. 추정된 충돌 확률은 시그모이드 함수를 이용해 민감도 값으로 정규화된다.

충돌이 빈번할수록 민감도가 증가하며, 이에 따라 경쟁 윈도우(OCW)의 확장 폭을 크게 하여 접속 경쟁을 완화한다.

반대로 충돌이 적은 경우에는 OCW를 과도하게 증가시키지 않아 불필요한 대기 시간 증가를 방지한다.

성공 시에는 표준 UORA와 동일하게 OCW를 초기값으로 복원한다.

대기 확률을 고려한 접근 임계값 α 제어

본 기법은 기존의 α 기반 접근 제어 방식[3]을 기반으로, 저부하 구간에서의 선택적 α 증가 규칙을 추가한 확장 구조이다. α 는 단말의 채널 접근 공격성을 조절하는 임계값이다.

기존 방식은 전송 성공/충돌 여부에 따라 α 를 단순 증감시키는 규칙을 사용하여, 저부하 구간과 혼잡 구간을 명확히 구분하지 못하는 한계가 있다.

본 연구에서는 접근 보류 확률을 이용해 대기 민감도를 계산하고, 저부하 상태로 판단되는 경우에만 α 를 증가시키는 임계값 기반 제어를 도입하였다.

이를 통해 RA-RU 유희를 줄이면서도 혼잡 악화를 효과적으로 방지한다.

결과

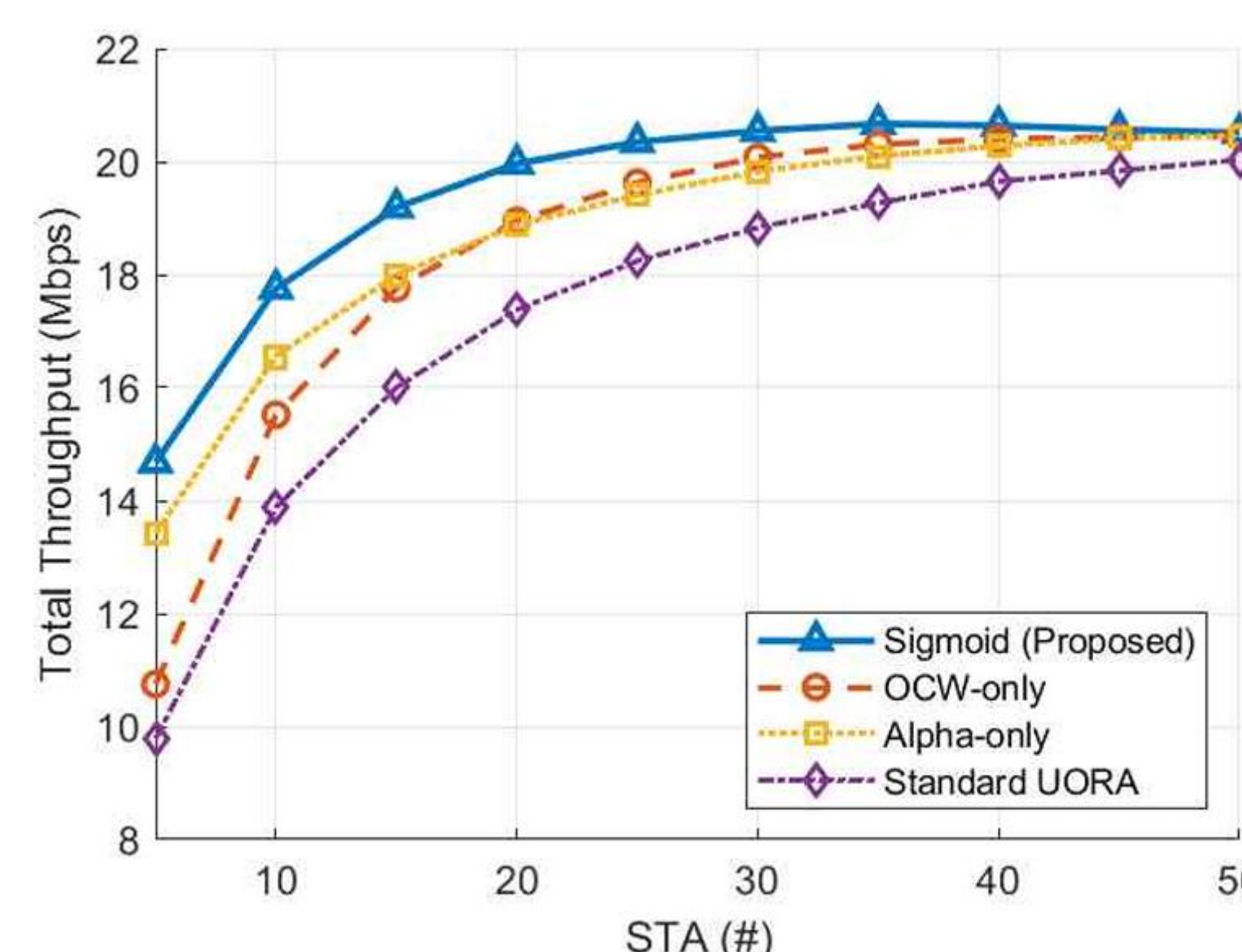


그림3. 처리량 비교 그래프 (Alpha-only/ OCW-only/제안 방안/ 표준 UORA)

제안 기법은 α 보정과 OCW 보정을 결합할 때 단일 보정보다 일관되게 높은 처리량을 달성한다.

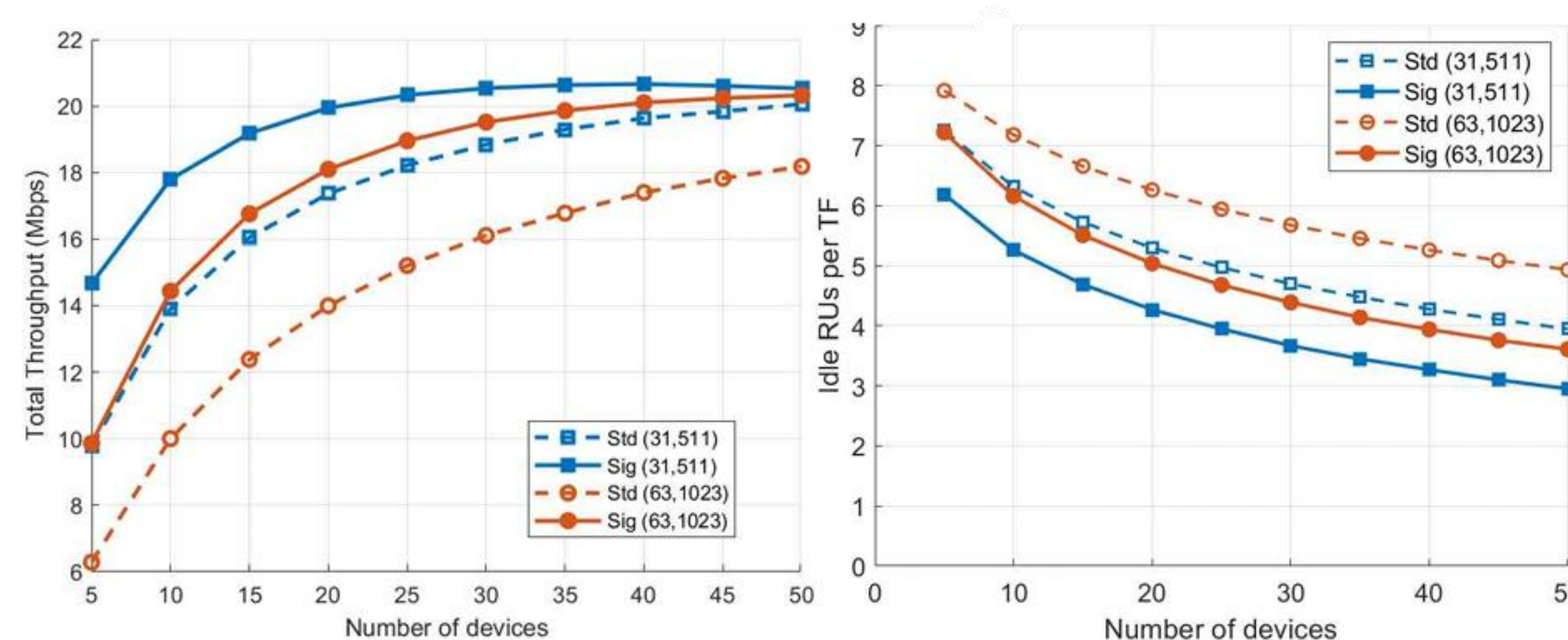


그림4. UORA 표준(BEB) vs 제안 방안 비교 그래프 ((좌)처리량, (우) 평균 Idle RU 개수)

제안 기법은 α 보정과 OCW 보정을 결합함으로써 다양한 단말 수 및 OCW 설정에서 처리량을 일관되게 향상시키고 RA-RU 유희를 감소시킨다.

결론

본 연구는 IEEE 802.11ax UORA 환경에서 전역 정보 없이 단말의 로컬 전송 이력만을 이용해 혼잡 상태를 추정하고, 접근 임계값 α 와 경쟁 윈도우(OCW)를 분리·연동 제어하는 기법을 제안하였다. 제안 기법은 충돌 억제와 RA-RU 활용도 회복을 동시에 달성하여, 다양한 부하 환경에서 안정적인 채널 접근을 가능하게 한다.

References

- 순주형, 안우진, 고건중, 박진삼, "IEEE 802.11ax 차세대 무선랜 표 준화동향," 한국통신학회지(정보와통신), vol. 33, no. 10, pp. 3-9, 2016.
- Youngbo Kim, LamKwon, Eun-ChanPark, "OFDMA Backoff Control Scheme for Improving Channel Efficiency in the Dynamic Network Environment of IEEE 802.11ax WLANs," Sensors, vol. 21, Art. no. 5111, Jul. 2021.
- 구희모, 권람, 김효경, 박은찬, "IEEE 802.11ax 무선랜에서UORA 효 율향상을위한적응적채널접속기법," 한국통신학회지(정보통신), pp. 1217-1218, 2024.