

IEEE 802.11ax 무선랜 상향 링크 전송 효율 향상을 위한 그룹 기반 채널 접속 기법

서호준, 권람, 김효경, 박은찬
 동국대학교-서울 정보통신공학과

hojun145@dongguk.edu, lamk@dongguk.edu, hk68@dgu.ac.kr, ecpark@dongguk.edu

Group-Based Channel Access Scheme for uplink transmission efficiency improvement in IEEE 802.11ax WLANs

Hojun Seo, Lam Kwon, Hyogyeong Kim, Eun-Chan Park

Department of Information and Communication Engineering, Dongguk University-Seoul

요 약

IEEE 802.11ax 무선랜 표준에서는 다양한 전파 환경에서 효율적 전송을 위해 OFDMA 를 도입하였고, OFDMA 의 무선자원은 RU 라고하는 부반송파 그룹으로 구성된다. 단말의 상향링크 전송을 위한 방법으로 스케줄링 방식과 경쟁 방식이 있는데, 두 방법 모두 장단점이 존재한다. 본 논문에서는 단말을 그룹화하여 두 방법을 조합하는 채널 접속 기법을 제안하고, 해당 기법의 효율성에 관한 수학적 모델 유도와 모의실험을 통해 성능을 검증한다.

I. 서 론

IEEE 802.11ax 표준[1]은 다양한 전파 환경에서 전송 효율을 향상하기 위해 MU-MIMO (Multi User - Multiple Input Multiple Output) 기술과 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 방식을 도입하였다. OFDMA 방식은 채널을 여러 개의 직교 부 반송파로 분할하고, RU (Resource Unit)를 형성하여 다중 사용자가 동시에 채널에 접속하여 전송이 가능하게 한다. IEEE 802.11ax 표준에서는 AP(Access Point)가 단말의 상향링크 전송을 위해 RU 리소스를 예약하는 스케줄링 방식(SA : Scheduled Access)과 AP의 도움없이 단말간 경쟁을 통한 채널 접속 방식인 UORA(Uplink OFDMA-based Random Access)를 지원한다. 이때 SA와 UORA 각 방식에는 문제점이 존재해 높은 전송 효율을 얻기 어렵다. 본 연구에서는 선행 연구[2][3]를 참고하여 단말을 그룹화하여 SA와 UORA 방식을 조합하는 채널 접속 기법을 제안한다. 제안하는 방법은 스케줄링 오버헤드 없이 RU의 충돌과 유향을 감소시키고 전송 효율을 향상시킬 수 있다.

II. 전송 효율 개선을 위한 그룹기반 채널 접속 기법

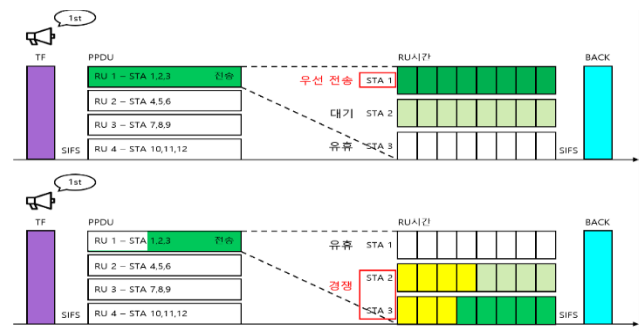
1. SA와 UORA 동작 기법과 문제점

IEEE 802.11ax 표준에 따르면, AP는 TF (Trigger Frame)을 하향 전송하여 각 단말에 프리앰블과 PPDU (PLCP Protocol Data Unit)의 길이, RU 정보 등의 전송 파라미터를 전달한다. 이 때 AP는 각 단말의 버퍼 상태나 채널 상태 등을 고려하여 RU를 단말에 할당함으로써 단말의 전송을 유도하는 스케줄링 방식의 채널 접속을 지원한다. 이를 위해서는 각 단말은 자신의 버퍼 상태를 AP에 보고해야 하는 절차가 요구된다. 한편, AP의 스케줄링에 의존하지 않고 단말들이 경쟁을 통해 RU를 점유하여 데이터를 전송하는 UORA 방식도 존재한다. UORA 방식에서는 데이터를 전송하고자 하는 각 단말은 OCW(OFDMA Contention Window)값 이하의 임의의 OBO (OFDMA Back Off)값을 선택하고, OBO 값에서 사용 가능한 RU 개수를 감소시켜 이 값이 0 이하인 경우 RU를 임의로 선택하여 데이터를 전송하며, 그렇지 않은 경우 전송이 허용되지 않고 다음 TF를 받은 이후 OBO 값을 감소시키는 동작을 반복한다. 만약 두 개 이상의 단말이 동일한 RU를 선택하여 전송하게 되면 충돌이 일어나게 되고, 가용한 RU가 유향해질 수도

있다. AP는 BA (Block Acknowledgment)를 통해 전송 성공 여부를 단말에 통보한다. 전송 실패 시 각 단말은 OCW 값을 두 배 증가시키고, 전송 성공 시 최솟값 OCW로 감소시킨다.

SA 방식은 높은 전송 효율을 달성할 수 있지만 단말이 BSR (Buffer Status Report)을 수행하는 과정에서 오버헤드와 시간 지연이 발생한다. 특히, 단말이 전송할 데이터가 없다고 새로 생기는 경우 BSR 전송을 위해 UORA 기반의 채널 경쟁을 수행해야 하는 단점이 있다. 반면, UORA 방식은 어느 단말이 어떤 RU에 접근할 지 각 단말이 각자 결정하기 때문에 충돌이나 유향과 같은 RU 손실이 필연적으로 발생한다. 또한 UORA의 성능은 OCW 값에 크게 의존적인데, 최적의 OCW 값을 각 단말이 AP의 도움없이 분산적인 방식으로 결정할 수 없는 문제점이 있다.

2. 그룹핑 기반의 하이브리드 채널 접속 기법 제안



<그림 1> 제안하는 BSR-free SA 방식

본 연구에서 제안하는 그룹핑 기반의 하이브리드 채널 접속 방식은 BSR을 요구하지 않는 스케줄링 방식과 경쟁 방식을 조합한다. 먼저, 단말을 사용 가능한 RU의 수와 동일한 개수의 그룹으로 분류하고 각 그룹에 속한 단말은 해당 그룹에 할당된 전용 RU만 접속하도록 한다. 각 단말이 접속하는 단계에서 AP는 해당 단말의 GID(Group ID)와 SID(Station ID)를 할당해준다. AP는 TF에서 이번 전송 사이클에서 RU를 할당 받을 SID를 고지한다. 각 그룹의 SID에 해당하는 단말이 보낸 데이터가 있을 경우 우선하여 경쟁 없이 바로 전송을 시작한다. 만약 해당 단말이 보낸 데이터가 없는 경우 p-persistent CSMA(Carrier Sense Multiple access) 방식으로 각 그룹에 속한 단말이 해당 그룹의 RU를 경쟁하여 전송한다. 즉, 일정한 시간 (슬롯 시간) 동안

RU가 유효함을 감지하면 각 단말은 p 의 확률로 전송을 시도하며 RU가 점유중인 경우 전송 시도를 중단한다. 전체 단말이 아닌 해당 그룹에 속한 단말끼리 경쟁을 함으로써 RA 방식의 RU 충돌이나 유효 RU를 효과적으로 감소시킬 수 있다.

<그림 1>은 제안한 방식의 동작 예를 보여준다. AP가 그룹 1에서 SID가 1인 단말에게 우선적인 전송 기회를 준 상황에서 해당 단말이 전송할 데이터가 있는 경우 RU1을 경쟁없이 점유하여 전송하고, 전송할 데이터가 없는 경우 RA를 진행하는 상황을 나타내고 있다. <그림 1>의 위에서는 STA1에 전송할 데이터가 있어 주어진 모든 RU 시간동안 데이터를 전송하는 상황을 보여주고, 아래에서는 STA1에 전송할 데이터가 없어 STA3이 경쟁을 통해 RU 시간의 일부동안 데이터를 전송하는 상황을 보여준다.

3. 제안한 방식의 수학적 분석

제안한 그룹 기반의 채널 경쟁 방식의 효율성을 수학적으로 분석하기 위해 다음과 같은 가정을 수립한다.

- TF 사이클의 첫번째 슬롯 타임에서 각 단말은 q 의 확률로 전송할 데이터를 가진다.
- 각 단말은 자신이 속한 그룹의 RU가 유효한지 매 슬롯 시간마다 정확히 인지한다.
- 스케줄링 또는 경쟁을 통해 RU를 점유한 단말은 TF 사이클이 종료할 때까지 전송을 지속한다.
- 각 단말의 MCS (Modulation and Coding Scheme)는 동일하다.

단말이 스케줄링되어 전송하는 경우 전송 시도 확률은 단말이 보낼 데이터가 있는 q 와 같다. 우선 전송 기회가 있는 단말에 보낼 데이터가 존재하지 않아 단말이 경쟁하여 전송을 시도하지 않을 확률 α 는 식(1)과 같이 나타낼 수 있고, 전송 시도할 확률 β 는 식(2)와 같다.

$$\alpha = 1 - pq \quad (1)$$

$$\beta = pq \quad (2)$$

각 그룹 내에 m 개의 단말이 존재하고, RU 시간은 n 개의 슬롯 시간일 때, k 번째 슬롯 타임에서 충돌없이 오직 하나의 단말만 전송을 시도할 확률을 $p_s(k)$ 로 정의하면 식(3)과 같이 표현할 수 있다.

$$p_s(k) = (1 - q)\alpha^{(m-1)(k-2)} m^{-1} C_1 \alpha^{(m-2)} \beta \quad (3)$$

SA와 RA 방식을 모두 고려하여 한 번의 전송 사이클에서 성공적으로 전송에 소요된 슬롯 시간의 개수의 기대값 $E[n_s]$ 은 식(4)과 같다.

$$E[n_s] = nq + \sum_{k=1}^{n-1} (n-k)p_s(k+1) \quad (4)$$

최종적으로 제안한 기법의 전송 효율은 $E[n_s]/n$ 으로 표현한다.

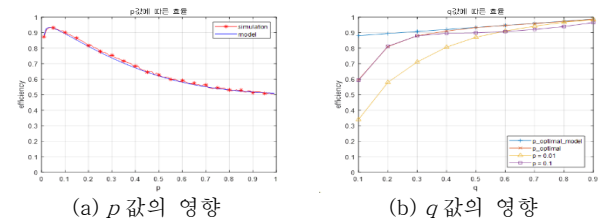
III. 모의실험을 통한 분석 검증

II절에서 유도한 전송 효율에 관한 수학적 모델은 모의실험을 통해 검증한다. 모든 그룹은 동일하다는 가정 아래 하나의 그룹을 고려하여 실험하였고, 스케줄링되는 SID 단말은 Round Robin 방식으로 결정하였다. 사이클당 슬롯 수(n)과 그룹당 단말 수(m)은 각각 100, 10으로 설정하였고, 총 사이클 수는 10,000으로 설정하였다.

<그림 2>(a)는 제안한 전송방식의 p 값에 따른 전송 효율을 모의 실험을 통해 얻은 값과 수학적 모델로부터 계산한 값을 보여준다. 이 때, q 값은 0.5로 설정하였다. 전체 p 값의 영역 (0.01~0.99)에서 실험값과

계산값의 차이가 거의 없음을 알 수 있고 이를 통해 수학적 분석의 유효함을 확인할 수 있다. 또한, 제안한 기법의 전송 효율은 일반적인 CSMA 기법과 유사하게 p 값이 증가함에 향상되고, 효율을 최대화하는 최적의 p 값을 초과하게 되면 충돌이 증가함에 따라 감소되는 경향을 보인다. p 값이 0.05 일 때 효율은 최대값 0.9303이며, 전체 p 값의 영역에서 스케줄링된 단말이 전송할 확률 q 이상을 유지함을 확인할 수 있다.

<그림 2>(b)는 수학적 모델로부터 구한 효율을 최대화하는 최적의 p 값을 설정한 경우와 임의의 p 값(0.1, 0.01)을 설정한 경우, q 값을 0.1부터 0.9까지 증가시킨 경우 효율을 비교하여 보여준다. 파란 선은 수식으로 구한 이론상의 최고 전송 효율을 나타낸다. q 값이 낮아 RA가 많아질 경우 p 값이 낮을수록 전송 효율이 낮았고, q 값이 높아져 SA가 많아질 경우 p 값이 높을수록 상대적으로 높은 전송 효율을 보여주었다. 이는 q 값이 낮은 상황에서는 충돌이 조금 더 일어나더라도 적극적으로 접근을 시도해야 유효 단말이 줄어 전송 효율이 높아지고, q 값이 높은 상황에서는 소극적인 접근 시도로 충돌을 줄이는 것이 전송 효율을 높일 수 있음을 의미한다. 한편, q 값이 0.3보다 작은 경우 최적의 p 값을 사용하는 실험 결과와 이론값은 다소 차이가 있었지만, q 값이 0.4 이상인 경우 이론적인 결과값과 거의 차이가 없이 0.91 이상을 유지하였다.



<그림 2> p 와 q 값의 변화에 따른 전송 효율 비교

IV. 결론

본 연구에서는 IEEE 802.11ax의 상향 링크 전송 효율 향상을 목적으로 스케줄링과 경쟁 기반의 채널 접근 기법을 조합하는 하이브리드 기법을 제안하였으며, 제안한 기법의 전송 효율을 수학적으로 분석하고 모의 실험을 통해 검증하였다. 분석은 이상적인 상황을 가정하여 이루어졌지만 기존 연구결과 [2]에 따르면 UORA의 최대 전송 효율은 40%에 미치지 못하지만 제안한 기법의 전송 효율은 최적의 p 값을 사용하는 경우 90% 이상을 달성하여 성능 향상의 가능성을 확인할 수 있었다. 향후 연구에서는 실제적인 상황을 고려하여 전송 시도 확률 p 값을 조절하는 방법 또는 단말을 그룹화하는 방법, 그룹화된 단말의 스케줄링 방법에 대해 연구할 계획이다.

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(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
- [3] 김효경, 권람, 박은찬 "IEEE 802.11 ax 무선랜에서 최적의 충돌 확률을 고려한 UORA 제어" 한국통신학회 학술대회논문집, 861-862, 2022