

IEEE 802.11ax 무선랜에서 처리율 향상을 위한 하이브리드 채널 접속 방식

김효경, 권람, 서호준, 박은찬
 동국대학교-서울 정보통신공학과

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

A Hybrid Channel Access Method for Improving Throughput in IEEE 802.11ax WLANs

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

Department of Information and Communication Engineering, Dongguk University-Seoul

요 약

IEEE 802.11ax 무선랜 표준에서는 단말의 밀도가 높은 환경에서 무선 자원을 효율적으로 활용하기 위해 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)를 도입하였으며, OFDMA 기반 다중 접속 방법으로 트리거 프레임을 활용한 스케줄링 기법과 함께 경쟁 기반의 UORA (Uplink OFDMA Random Access) 기법을 제시하고 있다. 스케줄링 방식의 채널 접속은 매우 높은 전송 효율을 얻을 수 있지만 단말의 버퍼 상태를 주기적으로 보고하기 위한 시그널링 오버헤드나 지연이 발생하며, UORA의 경우 간단하게 분산적인 방식으로 구현할 수 있는 장점이 있지만 RU (Resource Unit)의 충돌이나 유휴가 발생하여 전송 효율이 저하된다. 본 연구는 이러한 문제점을 해결하기 위해 SA (Scheduled Access) 방식과 RA (Random Access) 방식을 조합한 하이브리드 채널 접속 기법을 제안하며 전송 효율을 더욱 향상시키기 위해 단말의 전송 속도에 따른 채널 경쟁 차별화 기법을 제시한다. 모의실험 결과 제안한 하이브리드 기법은 RA만 수행하는 경우와 비교하여 처리율을 크게 향상시킴을 확인하였다.

I. 서 론

IEEE 802.11ax[1] 표준은 사용자가 많은 복잡한 환경에서 전송 효율을 향상시키고 다중 접속을 지원하기 위해 OFDMA를 도입하였다. 무선 자원을 RU로 구분하여 여러 단말이 동시에 전송할 수 있다. OFDMA를 활용한 채널 접속은 트리거 프레임을 활용한 SA 방식과 경쟁 기반의 RA 방식이 있다. SA 방식은 각 단말이 자신의 채널 상태와 버퍼 상태를 주기적으로 AP (Access Point)에게 보고하고 AP가 각 단말에게 RU를 할당한다. 한편, RA 방식은 각 단말이 임의의 OBO (OFDMA BackOff) 값을 선택하여 가용 RU 개수와 비교하여 전송 가능 여부를 결정하고 임의로 RU를 선택하여 전송한다. SA 방식에서는 RU 충돌이나 유휴를 방지하며 높은 전송 효율을 얻을 수 있지만 단말의 버퍼 상태 보고 (BSR: Buffer Status Report)를 위한 시그널링 오버헤드를 피할 수 없다. 반면 RA 방식은 RU 경쟁을 위한 시그널링 오버헤드 없이 동작할 수 있지만 RU 충돌이나 유휴로 인해 높은 전송 효율을 얻기 어렵다. 본 논문에서는 SA 방식과 RA 방식을 결합한 하이브리드 방식의 채널 접속 기법을 제안한다. 제안하는 기법은 BSR을 위한 시그널링 오버헤드가 발생하지 않으며 단말의 전송 속도를 고려하여 RA 방식의 채널 접속을 차별화하여 전송 효율을 향상시킬 수 있다.

II. 처리율 향상을 위한 하이브리드 채널 접속 방식

1. 802.11ax 표준의 SA와 RA 동작 방식과 문제점

IEEE 802.11ax 표준[1]에서 단말의 상황링크 전송을 위해 RU에 접근하는 두 가지 방법으로 SA 방식과 RA 방식을 지원한다.

먼저 SA 방식은 AP가 단말에게 BSR을 받아 전송할 단말을 지정하고 지정한 단말에 적당한 RU를 할당하고, 이러한 스케줄링 결과를 트리거 프레임을 통해 전송한다. 트리거 프레임을 수신한 단말은 자신에게 할당된 RU를 이용하여 데이터를 전송한다. 단말과 AP 간 BSR을 주고 받는 과정에서 시그널링 오버헤드가 발생하며, 단말이 수면 상태에서 깨어나는 경우 또는 전송할 데이터가 없던 상태에서 새로운 데이터가 발생하는 경우 단말이 BSR을 수행하기 위해 채널 경쟁이 필요하다. BSR을 수행하는 단말이 많아지면 이 과정에서 전송 지연이 증가한다.

반면 RA 방식으로 정의된 UORA 기법은 AP가 단말들에게 UORA 관련 파라미터 정보를 전달하고, 전송할 데이터가 있는 단말은 OCW (OFDMA Contention Window)값 이하의 임의의 OBO 값을 선택한다. 선택된 OBO 값에 RU 개수를 감소시켜 값이 0보다 작을 경우 임의의 RU를 선택해 데이터를 전송하고 0보다 클 경우 전송을 하지 못하고 다음 트리거

프레임을 받은 이후 OBO 값을 감소시키는 동작을 반복한다. 만약 두개 이상의 단말이 동일한 RU를 선택하게 되면 충돌이 발생하게 되고 가용한 RU가 유휴한 상태로 남비될 수도 있다. 전송 성공여부는 AP가 단말에게 BA (Block Acknowledgment)를 통해 알려주는데, 각 단말은 전송 실패시 OCW 값을 두배로 증가시키고 성공시 최소 OCW 값으로 감소시킨다. RA 방식은 시그널링 오버헤드가 발생하지 않지만 RU 충돌이나 유휴로 인해 전송 효율이 저하되며 네트워크 상태가 빠르게 변화하는 상황에서 최적의 OCW 값을 결정하기 어렵다[2].

2. 그룹기반 하이브리드 채널 접속

시그널링 오버헤드를 발생시키지 않고 채널의 충돌과 유휴로 인한 처리율 손실을 막기 위해 하이브리드 채널 접속 방식을 제안한다.

먼저, 각 단말을 그룹화하고 그룹별로 전용 RU를 지정한다. 그룹화 방식이나 그룹별 RU 할당 방식은 이 연구에서는 논외로 하고 가장 간단한 방법으로 RU 개수와 동일하게 그룹을 생성한다고 가정한다. 단말이 접속할 때 AP는 각 단말에게 그룹 ID와 그룹내 단말 ID를 부여한다. AP는 트리거 프레임을 통해 각 그룹의 스케줄링된 단말 ID를 통보한다. 여러가지 스케줄링 정책을 적용할 수 있지만 본 연구에서는 간단한 라운드 로빈 방식의 스케줄링을 고려한다. AP는 단말의 BSR 정보가 없는 상태에서 스케줄링하기 때문에, 스케줄링된 단말이 전송할 데이터가 없는 경우가 발생할 수 있다. 이 경우 RU가 유휴함을 탐지한 그룹 내 다른 단말이 RA 방식으로 RU를 경쟁한다. RA를 위해서는 p -persistent CSMA(Carrier Sense Multiple Access) 방식을 고려한다. 일정한 슬롯 시간 간격으로 RU의 유휴함을 탐지하고 전송할 데이터가 있는 단말은 p 의 확률로 전송을 시도한다. 기존의 UORA 방식과 비교하면, 제안하는 기법의 RA는 경쟁에 참여하는 단말 수를 그룹별로 나누고 각 그룹별로 지정된 RU만 접속하게 제한함으로써 전송 충돌을 완화시킬 수 있다.

3. 처리율 향상을 위한 RA 차별화

제안한 하이브리드 채널 접속 기법의 RA에서 채널 경쟁을 차별화함으로써 처리율을 향상시키고자 한다. 각 단말의 전송 속도가 서로 다른 경우 MCS (Modulation and Coding Scheme) 값이 높은 단말에게 더 많은 전송 기회를 부여하여 전체 처리율을 높일 수 있다. 물론 SA 방식에서 각 단말의 MCS 정보를 고려하여 스케줄링하게 되면 같은 방법으로 처리율을 향상시킬 수 있다. 본 연구에서는 RA시 각 단말의 MCS에 따른 채널 접속 차별화 방안으로 다음과 같은 두가지 방법을 제안한다.

첫번째 방법은 각 MCS에 따라 p -persistent CSMA의 전송 시도 확률 p 값을 차별화하는 것이다. 가장 낮은 MCS₀에 해당하는 전송 확률을 p_0 라고 하면 가 MCS_k (k 는 1 이상의 자연수)에 해당하는 전송 확률 $p_k = (k+1)p_0$ 와 같이 설정한다.

두번째 방법으로는 유휴 RU 감지 시간을 차별화한다. MCS 에 따라 MCS0-3, MCS4-7, MCS8-11 과 같이 3 개의 그룹으로 나누고 각 그룹에 속하는 단말의 경우 유휴 RU 를 감지하는 시간을 각각 기준 슬롯 시간의 3 배, 2 배, 1 배로 설정한다.

RA 전송 차별화의 첫번째 방법은 802.11 EDCA (Enhanced Distributed Channel Access)[3]의 CW (Contention Window) 값을 차별화하는 것과 비슷하며, 두번째 방법은 AIFS (Arbitrary Inter Frame Space) 차별화와 유사하다고 볼 수 있다. 두 방법 모두 단말이 AP 에 MCS 를 통보하지 않고서 동작할 수 있다.

III. 모의실험 및 성능분석

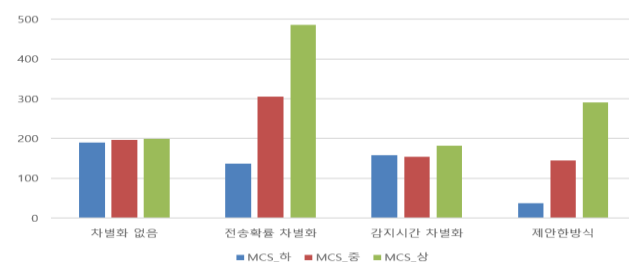
모의실험에서 사용된 주요 파라미터들과 설정 값은 [표 1]과 같다. 첫번째 실험에서는 IL3 절에서 기술한 MCS 별 전송 차별화를 확인하기 위해 MCS 그룹별로 각 단말의 평균 전송 회수를 확인하였다. 이 실험에서는 SA 는 수행하지 않고 RA 만 수행하도록 설정하였으며, 제안한 두 가지 차별화 방법을 하나만 적용한 경우와 모두 적용한 경우 (제안하는 방식으로 명명)를 고려하였다. <그림 1>에서 MCS 하/중/상은 각각 MCS0-3, MCS4-7, MCS8-11 에 속하는 단말의 전송 회수를 해당 단말 수로 나눈 값을 보여준다. <그림 1>에서 보듯이 MCS 별 차별화를 적용하지 않은 경우 MCS 에 따른 전송회수의 차이는 미미한 수준이며, 전송 확률 차별화 제안하는 방법의 경우, MCS-상이 MCS-하에 비해 각각 3.6 배와 7.9 배 높았다. 반면, 감지시간 차별화의 경우 전송 회수 측면에서의 차이는 크지 않았다.

다음 실험에서는 SA 와 RA 를 모두 고려하였으며, 프레임의 도착 시간 간격 (ΔT)에 따른 처리율을 살펴보았다. ΔT 값이 작은 경우 제안하는 하이브리드 기법은 대체로 SA 형태로 동작하며, ΔT 값이 증가할수록 RA 의 비중이 증가한다. ΔT 값은 지수 분포를 따르도록 설정하였다. <그림 2>에서 보듯이 ΔT 값이 증가할수록 각 단말에서 전송할 데이터가 없을 확률이 증가하므로 처리율은 감소하였다. 제안하는 방법은 타 기법 대비 처리율이 대략 1.63 ~ 4.11 Mb/s 높게 나타났다. 감지시간 차별화 방법은 ΔT 값이 작은 경우 타 기법 대비 높은 처리율을 가지지만 ΔT 값이 큰 경우에는 처리율이 저하되었다.

<그림 3>은 ΔT 값을 5.1ms 로 고정하고 그룹당 단말 수를 2~12 로 증가시킨 경우 여러가지 기법의 처리율을 보여준다. 이 실험에서는 하이브리드 기법을 적용한 경우와 RA 만 적용한 경우를 비교하였다. <그림 3>에서 보듯이 RA 만 적용한 경우에는 처리율이 대략 10Mb/s ~ 40 Mb/s 수준인 반면, 하이브리드 기법에서는 SA 로 인해 처리율이 24Mb/s ~ 59 Mb/s 수준으로 크게 향상되었다. 하이브리드 기법 가운데에서 제안한 방식이 처리율이 타 기법 대비 다소 높았다.

시뮬레이션 시간	6.0 sec
RU 개수 (=그룹 개수)	9
그룹 내 단말 수	5
프레임 도착 시간간격의 평균값	5.1 msec
프레임 크기	2000 byte
트리거 프레임 전송시간 간격	2.9 msec
트리거 프레임 전송시간	100 μ sec
PHY 헤더 전송시간	40 μ sec
Block ACK 전송시간	68 μ sec
대역폭	20 MHz
p_0	0.01
기준 RU 감지 시간	1 slot time

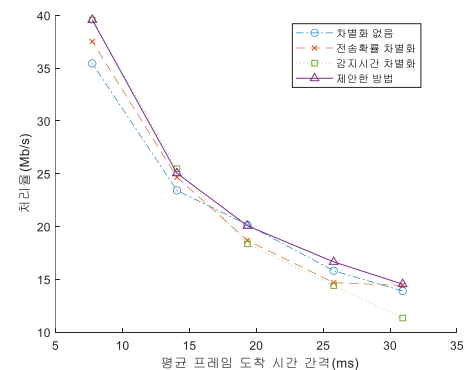
[표 1] 모의실험 파라미터



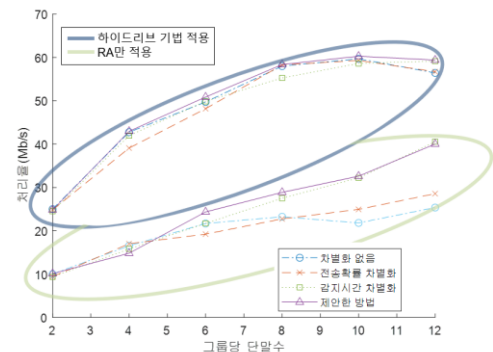
<그림 1> MCS 그룹별 전송 횟수

IV. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11ax 상향링크 전송의 처리율을 향상시킬 수 있는 하이브리드 채널 접속 방식을 제안하였다. 제안한 방법은 단말들을 그룹화하고 SA 방식과 RA 방식의 채널 접속 기법을 조합함으로써 단말의 버퍼 상태 보고 없이 동작할 수 있으며, 무선 자원의 유희와 충돌을 줄일 수 있다. 또한, 각 단말의 MCS 에 따라 RA 시 전송 시도 확률과 채널 감지 시간 관점에서 채널 접속을 차별화하여 전체 처리율을 더욱 향상시키고자 하였다. 본 연구는 하이브리드 채널 접속 기법에 대한 기본적인 프레임워크를 제시하였고, 향후 단말의 그룹화 방안이나 그룹별 RU 할당, 그룹내 단말 스케줄링 방법 등에 대해서 연구할 계획이다.



<그림 2> 프레임 도착 시간 간격 변화에 따른 처리율



<그림 3> 그룹내 단말 수 변화에 따른 처리율

ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. NRF-2021R1F1A1046595).

참 고 문 헌

- [1] IEEE 802.11 Working Group, IEEE 802.11ax—IEEE Standard for Information Technology— Telecommunications and Information Exchange Between Systems Local and Metropolitan Area Networks—Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications Amendment Enhancements for High Efficiency WLAN, IEEE, 2020
- [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*, July 2021
- [3] IEEE 802.11 Working Group, IEEE Std 802.11e—IEEE Standard for Information technology—Local and metropolitan area networks—Specific Requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer Specifications: Amendment 8: Medium Access Control(MAC) Quality of Service Enhancements, IEEE, 2005