

IEEE 802.11ax 무선 랜에서 업링크 채널 충돌 감소를 위한 MAC 프로토콜

김 선 명*

MAC Protocol for Reducing Collision Probability of Uplink Channel in IEEE 802.11ax WLANs

Sun-Myeng Kim*

이 연구는 금오공과대학교 대학 학술연구비로 지원되었음(2021)

요 약

IEEE 802.11ax 무선 랜에서 성능 향상을 위해 MORA(MU-MIMO enabled Uplink OFDMA Random Access) 프로토콜이 제안되었다. MORA 프로토콜에서 단말들은 채널 경쟁을 통해 RU(Resource Units)를 획득하고 데이터를 전송한다. 모든 단말은 데이터 전송을 RU 시간에 맞게 동시에 종료한다. 이를 위해 RU보다 작은 데이터 패킷을 가진 단말은 패딩(padding) 비트를 추가하여 전송한다. MORA 프로토콜은 경쟁 기반으로 동작하기 때문에 단말 수가 증가함에 따라 높은 충돌 확률로 인해 성능은 급격하게 저하된다. 본 논문에서는 짧은 데이터 패킷에서 추가되는 패딩 비트를 채널 경쟁에 활용함으로써 충돌 확률을 줄이는 MAC 프로토콜을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 제안된 방법의 성능을 MORA 프로토콜과 비교 분석한다. 비교 분석결과, 제안된 방법이 충돌 확률을 약 4.8% 낮추고 전송 처리율을 최대 194Mbps 향상시킨다.

Abstract

The MORA(MU-MIMO enabled Uplink OFDMA Random Access) protocol based on the OFDMA and MU-MIMO has been introduced to improve network performance in IEEE 802.11ax WLANs. In the MORA protocol, stations use a contention-based channel access mechanism to transmit their data packets on resource units (RUs). A station with a data packet smaller than the RU size adds padding bits and transmits it, so that the transmission of all stations ends at the same time according to the RU size. Performance of the MORA protocol drops dramatically due to high collision probability as the number of stations becomes larger. In this paper, we propose a MAC protocol that reduces collision probability and improves performance by utilizing padding bits for channel contention. Simulation results show that the proposed protocol outperforms the MORA protocol in terms of throughput and delay.

Keywords

collision probability, IEEE 802.11ax, MAC, padding bits, RU, WLAN

* 금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6076-6401>

· Received: Apr. 04, 2022, Revised: May 03, 2022, Accepted: May 06, 2022
· Corresponding Author: Sun-Myeng Kim
Dept. of Computer Software Engineering, Kumoh National Institute of
Technology, Korea
Tel.: +82-54-478-7547, Email: sunmyeng@kumoh.ac.kr

1. 서 론

스마트폰, 노트북, 태블릿, IoT와 같이 무선 랜을 이용하는 장치의 수는 매년 급증하고 있다. 무선에서 UHD 동영상과 같은 고용량 데이터 전송 시에도 사용자가 요구하는 성능을 만족시킬 필요가 있다. IEEE 802.11ax는 고밀도 사용자 환경에서 고효율의 성능을 제공하는 것을 목표로 표준화되었다[1].

IEEE 802.11ax 표준에서는 성능을 향상시키기 위해 다중 사용자 채널 접속 기술인 OFDMA (Orthogonal Frequency Division Multiple Access)와 다수의 안테나를 사용하여 동시에 데이터를 전송할 수 있는 MU-MIMO(Multi-User Multiple-Input Multiple-Output) 기술을 결합하였다. OFDMA는 여러 단말이 동시에 데이터를 전송할 수 있도록 주파수 채널을 서브 밴드인 RU(Resource Unit)로 작게 나눈다. 다운링크에서는 기존 무선 랜 표준과 마찬가지로 AP(Access Point)가 여러 단말에게 데이터를 전송한다. 각 단말은 프리앰블(Preamble) 수신을 통해 자신의 데이터 포함 여부 및 데이터가 포함된 RU 번호를 파악하고 해당 RU에서 데이터를 수신한다. 업링크에서는 여러 단말이 AP에게 동시에 데이터를 전송할 수 있도록 SA(Scheduled Access) 방식과 RA(Random Access) 방식 두 가지 채널 접근 방법을 지원한다. SA 방식에서는 단말들이 AP에게 제공한 정보를 기반으로 RU를 할당하기 때문에 비경쟁 방법으로 RU를 공유한다. RA 방식에서 단말들은 경쟁기반으로 채널을 획득하고 자신의 RU에서 데이터를 전송한다. SA 방식보다 RA 방식의 동작이 단순하고 효율적이기 때문에 본 논문에서는 RA 방식에 초점을 맞춰 진행한다.

RA 방식의 대표적인 프로토콜은 UORA(Uplink OFDMA-based Random Access)이다[2]. UORA 프로토콜은 기존 무선 랜에서 사용하는 DCF(Distributed Coordination Function)와 유사하게 동작하기 때문에 비슷한 문제점을 가지고 있다. UORA 프로토콜의 문제점을 개선하기 위해 다양한 방법이 제안되었다[3-7]. CRA(Cyclic Resource Assignment) 방법은 전체 RU를 경쟁 RU와 비경쟁 RU로 나눠 동작한다[3]. 경쟁 RU에 대해 단말들은 채널 경쟁을 수행하여 RU를 획득하고 획득한 RU에서 데이터를 전송한다.

비경쟁 RU는 경쟁 RU에서 충돌이 발생한 단말에게 할당한다. 따라서 CRA 방법은 경쟁 RU와 비경쟁 RU를 통해 단말들의 성공적인 데이터 전송을 보장한다. RU에서 발생하는 충돌 확률을 줄이기 위해 H-UORA(Hybrid Uplink OFDMA Random Access) 방법이 제안되었다[3]. H-UORA 방법은 두 단계를 통해 데이터를 전송한다.

첫 번째 단계에서는 단말들이 채널 경쟁을 통해 RU를 획득한다. RU를 획득한 단말은 두 번째 단계로 진입하여 한 타임 슬롯 시간 동안 채널을 감지한다. 채널이 유히(Idle)이면 해당 단말은 데이터를 전송하고 비지(Busy)이면 전송하지 않는다. CURI (Collision Reduction and Utilization Improvement) 방법은 충돌을 줄이고 처리율을 향상시키기 위해 두 과정을 이용한다[4]. 첫 번째 과정은 추가 백오프로 단말들은 RU에 데이터를 전송하기 전에 우선순위에 따라 비지 시그널을 전송하여 RU를 최종 획득한다. 두 번째는 RU 호핑 과정으로 추가 백오프 과정에서 RU를 획득하지 못한 단말에게 선택적인 RU 획득 기회를 제공한다. 충돌로 인해 발생하는 데이터 전송 지연을 줄이기 위해 RNACA (Retransmission Number Aware Channel Access) 방법이 제안되었다[5]. 세 가지 변수(재전송 수와 RU 수, 단말 수)를 기반으로 계산된 확률로 일부 단말의 OCW(OFDMA Contention Window)만 두 배로 설정하고 나머지 단말에 대해서는 두 배 이하로 설정한다.

따라서 두 배 이하로 설정된 단말들은 빠른 RU 접근이 가능하다. COSB(Channel Observation-based Scaled Backoff) 방법은 측정된 충돌 확률에 따라 동적으로 OCW를 설정한다[6]. MORA (MU-MIMO enabled Uplink OFDMA Random Access) 방법은 여러 안테나를 갖는 환경을 고려하였다[7]. 안테나 수 만큼의 단말이 한 RU에서 동시에 데이터를 전송하더라도 프리앰블 디코딩을 통해 충돌 없이 데이터 수신이 가능하다.

UORA 기반 프로토콜에서 RU 크기보다 작은 데이터 패킷을 가진 단말은 패딩(Padding) 비트를 추가하여 전송함으로써 모든 단말의 전송은 RU 크기에 맞게 동시에 종료된다. MORA 프로토콜은 경쟁기반 채널 접근 방법으로 동작하기 때문에 단말 수

가 증가함에 따라 높은 충돌 확률로 인해 네트워크 성능은 급격하게 저하된다. 본 논문에서는 패딩 비트를 채널 경쟁에 활용함으로써 충돌 확률을 줄이고 성능을 향상시키는 MAC 프로토콜을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 관련 연구에 대해 간단히 설명한다. 3장에서는 제안된 UCCR(Uplink Channel Collision Reduction) 프로토콜에 대해 자세히 설명하고 4장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과를 보여준다. 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 MORA 프로토콜

MU-MIMO 기술에서 여러 개의 안테나를 가진 AP는 같은 주파수 채널을 통해 동시에 데이터를 송수신할 수 있다. MORA 프로토콜은 이 MU-MIMO 기술을 이용한다. AP는 각 단말이 전송한 프리앰블로부터 채널 정보를 획득한 후 디코딩 과정을 거쳐 각 단말의 데이터를 수신한다.

그림 1은 MORA 프로토콜의 동작 과정을 보여준다. 주파수 채널은 R 개의 RU [0 ~ $R-1$]로 나뉘고 각 RU는 V 개의 VTS(Virtual Time Slot) [0 ~ $V-1$]으로 나뉜다. VTS의 시간 길이는 프리앰블 전송 시간으로 설정되었다.

AP는 안테나 수(M), RU 개수(R), VTS 개수(V) 등의 정보를 포함하는 TF(Trigger Frame)을 브로드캐스팅한다. TF를 수신한 단말들은 자신의 OBO(OFDMA BackOff) 카운터(CNT)를 $M \cdot R$ 만큼 감소시킨다.

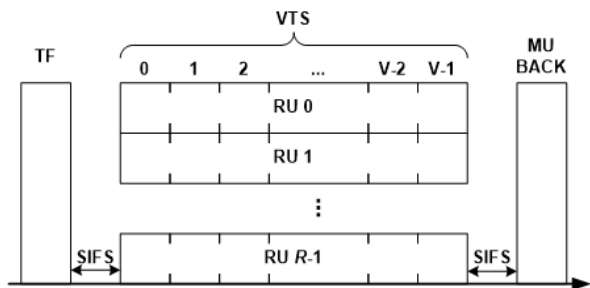


그림 1. MORA 프로토콜 동작
Fig. 1. Operation of MORA protocol

OBO 카운터 값이 0 미만인 단말들은 다음 공식에 따라 자신의 데이터 패킷을 전송할 RU 번호와 VTS 번호(I_{RU} , I_{VTS})를 결정한다.

$$I_{RU} = CNT \bmod R \quad (1)$$

$$I_{VTS} = ((CNT - I_{RU}) / R) \bmod V \quad (2)$$

단말들은 결정된 RU의 VTS 번호에서 프리앰블과 데이터 패킷을 전송한다. AP는 단말이 전송한 프리앰블을 이용하여 디코딩 과정을 수행하여 데이터 패킷을 수신한다. AP는 데이터 프레임 수신 성공 여부를 MU-BACK (Multi-User Block Acknowledgment)를 이용하여 각 단말에게 알린다.

2.2 데이터 패킷 길이 분포

기존에 제안된 많은 프로토콜들은 같은 길이의 데이터 패킷을 고려하고 있다. 실제 인터넷 세계에서 송수신되는 데이터 패킷 길이는 가변적으로 이를 고려할 필요가 있다. CAIDA(Cooperative Association for Internet Data Analysis)는 실제 인터넷 환경에서 데이터를 수집하여 패킷 길이 분포에 대해 분석하였다[8].

CAIDA가 발표한 패킷 분포는 그림 2와 같다. 인터넷 패킷에서 40바이트의 길이의 데이터가 약 40%를 차지하고 1500바이트 데이터는 약 20%를 차지한다. 나머지 패킷 길이는 40바이트와 1500바이트 사이에 분포한다. 매우 짧은 길이의 데이터 패킷이 약 50%에 가깝고 1000바이트 이상의 데이터 패킷은 약 30% 정도이다.

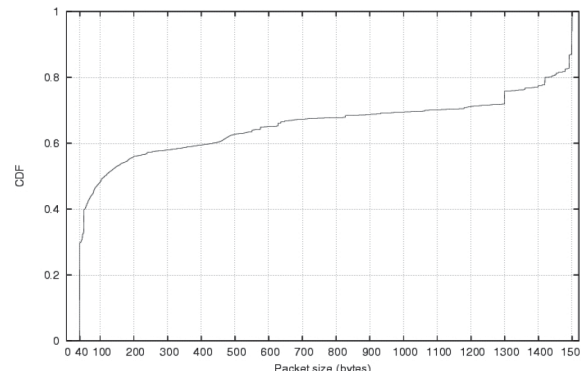


그림 2. 데이터 패킷 길이 분포 [8]
Fig. 2. Data packet size distribution [8]

III. 제안된 UCCR 프로토콜

IEEE 802.11ax OFDMA의 모든 단말은 같은 시간 길이의 RU를 할당받으며 데이터 전송은 동시에 중요하다. RU 시간 길이보다 짧은 데이터 패킷을 갖는 단말은 패딩(padding) 비트를 추가하여 전송한다. 2.2에서 설명한 것처럼 인터넷의 데이터 패킷은 다양한 길이 분포를 갖기 때문에 추가 패딩 비트로 인한 주파수 채널 낭비 문제가 발생한다. 제안된 UCCR 프로토콜은 패딩 비트를 채널 경쟁에 활용함으로써 충돌 확률을 줄이고 성능을 향상시킨다.

제안된 UCCR 프로토콜의 동작 과정은 MORA 프로토콜과 같다. 두 프로토콜의 차이점은 단말들이 자신의 데이터 패킷을 전송할 RU 번호와 VTS 번호를 결정하는 방법이다.

AP는 안테나 수(M), RU 개수(R), RU 시간 길이(T) 등의 정보를 포함하는 TF를 브로드캐스팅한다. TF를 수신한 단말들은 자신의 OBO 카운터(CNT)를 $M * R$ 만큼 감소시킨다. OBO 카운터 값이 0 미만인 단말들은 다음 공식에 따라 자신의 데이터 패킷을 전송할 RU 번호(I_{RU})를 결정한다.

$$I_{RU} = \text{Random} (0, R-1) \tag{3}$$

RU 번호를 선택한 단말은 VTS 번호(I_{VTS})를 결정한다. 이를 위해, 전송할 데이터 패킷 길이(L)와 데이터 전송 속도(C), 프리앰블 시간 길이(P), RU 시간 길이(T) 정보를 이용한다. 짧은 데이터 패킷으로 인해 추가될 패딩 비트 시간 길이(PT)와 VTS 개수(V)는 다음과 같다.

$$PT = T - (M * P) - (L / C) \tag{4}$$

$$V = \lfloor PT / P \rfloor \tag{5}$$

여기에서 $\lfloor x \rfloor$ 는 x 에 대한 내림을 의미한다. 모든 단말에게 데이터 패킷의 길이와 상관없이 RU 시간 길이 중에서 안테나 수만큼의 VTS 개수를 기본적으로 제공하기 위해 수식 (4)에서 $(M * P)$ 시간을 제외하였다. (L / C) 는 단말이 자신의 데이터 패킷을 전송하는 데 필요한 시간이다.

VTS 번호는 기본적으로 제공되는 M 개의 VTS와 패딩 비트로 추가된 V 개의 VTS의 합에서 무작위로 선택된다. 따라서 VTS 번호(I_{VTS})는 다음과 같다.

$$I_{VTS} = \text{Random} (0, M + V - 1) \tag{6}$$

그림 3과 4를 이용하여 MORA 프로토콜과 UCCR 프로토콜에서 RU 번호와 VTS 번호를 결정하는 과정을 상세히 설명한다. 그림에서 RU 수 2개, 안테나 수 2개, 단말 수 4개라고 가정한다. 그림에서 각 RU는 여러 개로 나뉘진 것처럼 보인다. 이것은 각 RU를 선택한 단말의 관점에서 논리적으로 표현하였기 때문이며 각 RU는 물리적으로는 하나의 주파수 채널이다.

그림 3에서 MORA 프로토콜의 단말은 식 (1)에 따라 자신의 RU 번호를 결정한다. STA1과 STA2는 RU 0을 선택하고 STA3과 STA4는 RU 1을 선택하였다. MORA 프로토콜에서 VTS 개수는 안테나 수와 같다. 안테나 수가 2이므로 VTS 개수도 2이다. 식 (2)에 따라, STA1은 VTS 번호 0을, STA2와 STA3, STA4는 모두 VTS 번호 1을 선택하였다. STA1은 RU 0의 VTS 0에서 프리앰블을 전송하고 VTS 1에서 자신의 데이터 패킷을 전송한다. 데이터 패킷 길이가 충분하여 패딩 비트를 추가하지 않고 RU 전체를 데이터 전송에 사용한다. STA2는 RU 0의 VTS 1에서 프리앰블을 전송하고 바로 이어서 데이터 패킷을 전송한다.

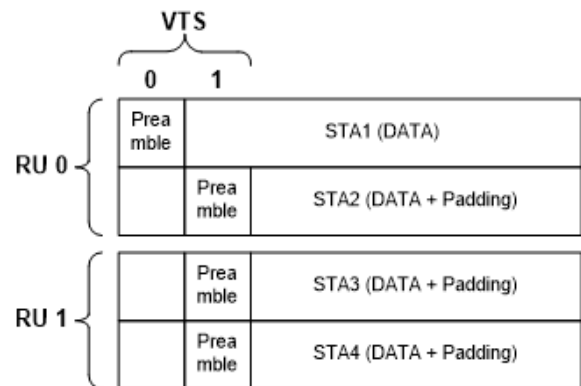


그림 3. MORA 프로토콜에서 RU와 VTS 결정 예
Fig. 3. Decision of RU and VTS indices in MORA protocol

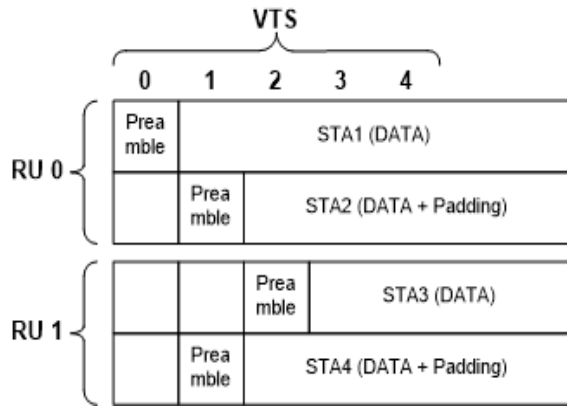


그림 4. UCCR 프로토콜에서 RU와 VTS 결정 예
Fig. 4. Decision of RU and VTS indices in UCCR protocol

그러나 데이터 패킷의 길이가 충분히 길지 않아 RU 종료 시간을 맞추기 위해 패딩 비트를 추가하여 전송한다. STA1과 STA2는 서로 다른 VTS 번호를 선택하여 데이터를 전송하였으므로 충돌이 발생하지 않는다. STA3과 STA4는 RU 1의 VTS 1에서 동시에 프리앰블 및 데이터 패킷을 전송한다. 두 단말 모두 데이터 패킷 길이가 충분하지 않아 패딩 비트를 추가하여 전송하였다. 두 단말이 같은 VTS 번호를 선택하여 동시에 프리앰블을 전송하였기 때문에 AP는 충돌이 발생한 프리앰블을 수신하였다. 따라서 디코딩이 불가능하여 데이터 충돌로 처리한다.

그림 4에서 UCCR 프로토콜의 단말들은 식 (3)에 따라 RU 번호를 결정한다. STA1과 STA2는 RU 0을 선택하고 STA3과 STA4는 RU 1을 선택하였다. RU보다 짧은 데이터 패킷을 갖는 STA2, STA3, STA4는 식 (4)와 (5)에 따라 VTS 개수를 계산한다. STA2는 4개, STA3은 3개, STA4는 5개의 VTS를 갖는다. 그리고 식 (6)에 따라 자신의 데이터 패킷을 전송할 VTS 번호를 결정한다. STA1은 데이터 패킷이 충분히 길기 때문에 [0, 1] 범위 중에서 VTS 번호 0을 선택하였다. 그리고 VTS 0에서 프리앰블을 전송한 후 바로 데이터 패킷을 전송한다. STA2는 VTS [0, 3] 범위 중에서 1을 선택하여 프리앰블을 전송한 후 이어서 데이터 패킷을 전송한다. RU 종료 시간을 맞추기 위해 패딩 비트를 추가하여 전송하였다. STA1과 STA2는 서로 다른 VTS 번호를 선택하여 데이터를 전송하였으므로 충돌이 발생하지 않는다. STA3은 RU 1에서 VTS [0, 2] 범위 중에서

2를 선택하여 프리앰블 및 데이터 패킷을 전송한다. STA4는 VTS [0, 4] 범위 중에서 1을 선택하고 프리앰블 및 데이터 패킷을 전송한다. STA4는 RU 종료 시간을 맞추기 위해 패딩 비트를 추가하여 전송하였다. 그림 3의 MORA 프로토콜과 달리, UCCR 프로토콜의 STA3과 STA4는 서로 다른 VTS 번호를 선택하였기 때문에 충돌이 발생하지 않는다.

그림 3과 4에서 설명한 것처럼, MORA 프로토콜 단말들은 안테나 수에 해당하는 VTS 개수를 가지며 이 범위에서 자신의 VTS 번호를 선택한다. 따라서 여러 단말이 같은 VTS 번호를 선택할 확률이 높아지고 충돌 확률도 증가한다. 제안된 UCCR 프로토콜 단말들은 자신의 데이터 패킷 길이에 따라 VTS 개수가 동적으로 달라진다. 따라서 MORA 프로토콜에 비해 UCCR 프로토콜 단말은 더 넓은 범위에서 VTS 번호를 선택할 수 있어 서로 다른 VTS 번호를 선택할 확률이 높아져 충돌 확률을 낮출 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

본 장에서는 시뮬레이션을 통해 제안된 UCCR 프로토콜이 기존 MORA 프로토콜보다 성능이 우수함을 보인다.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters

| Parameter | Value |
|----------------------------|----------|
| OCWmin | 32 |
| OCWmax | 1024 |
| Data rate | 1 Gbps |
| DATA | variable |
| Preamble | 40 bytes |
| TF size | 89 bytes |
| MU-BACK size | 32 bytes |
| Beacon period | 10 ms |
| Slot time | 9 us |
| SIFS | 16 us |
| DIFS | 18 us |
| Number of antennas (M) | 4 |
| Number of RUs (N) | 8 |

파이썬을 이용하여 이벤트 기반으로 동작하는 시뮬레이션 프로그램을 작성하였다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터를 표 1에 나타내었다. 데이터 패킷 길이 분포는 무작위(Random)와 그림 2의 CAIDA 분포 두 가지를 이용하였다. 각 시뮬레이션 시간은 100초이며 10번 반복 수행하였다.

주요 성능 요소는 충돌 확률(Collision probability), 처리율(Throughput), 평균 지연(Average delay)이다. 충돌 확률은 시뮬레이션 수행 동안의 총 RU 수와 충돌이 발생한 RU 수의 비로 계산된다. 처리율은 초당 성공적으로 전송된 데이터 비트 수이다. 평균 지연은 데이터 패킷이 MAC 계층에 도착한 시점부터 패킷을 성공적으로 AP에 전송하고 ACK를 수신한 시점까지 경과된 시간이다.

4.1 무작위 데이터 패킷 길이 분포

모든 데이터 패킷은 40바이트와 1500바이트 길이 사이에서 무작위로 생성된다. 그림 5는 단말 수에 따른 충돌 확률을 나타낸다. MORA와 UCCR 프로토콜 모두 단말 수가 증가함에 따라 충돌 확률도 증가한다. 이는 채널 경쟁에 참여하는 단말이 많아 질수록 서로 충돌을 일으키기 때문이다. 그러나 제안된 UCCR 프로토콜은 단말 수와 상관없이 항상 MORA 프로토콜보다 낮은 충돌 확률을 갖는다.

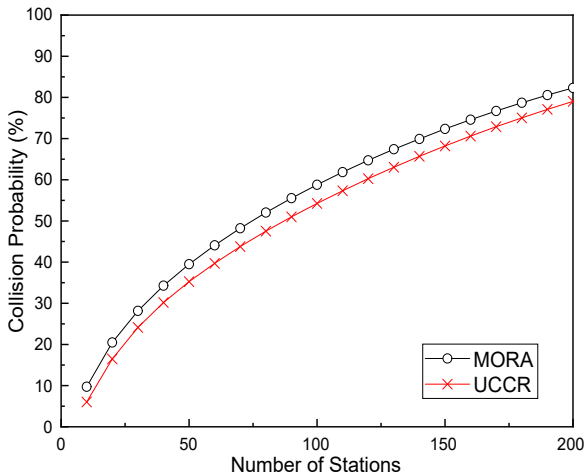


그림 5. 무작위 분포에서 단말 수에 따른 충돌 확률
Fig. 5. Collision probability according to the number of stations in random distribution

UCCR 프로토콜은 패딩 비트를 VTS로 활용하기 때문에 MORA 프로토콜보다 더 큰 VTS를 갖는다. 따라서 단말들이 서로 다른 VTS 번호를 선택할 가능성이 커져 충돌 확률을 낮춘다.

그림 6은 단말 수가 처리율에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. MORA 프로토콜과 UCCR 프로토콜 모두 단말 수에 따라 충돌 확률이 커져 처리율은 감소한다. 그러나 제안된 UCCR 프로토콜은 단말 수와 상관없이 항상 높은 처리율을 보여준다. 이는 단말 수가 증가하더라도 서로 다른 VTS 번호를 선택할 가능성이 커져 데이터 패킷 전송 성공률이 증가하기 때문이다.

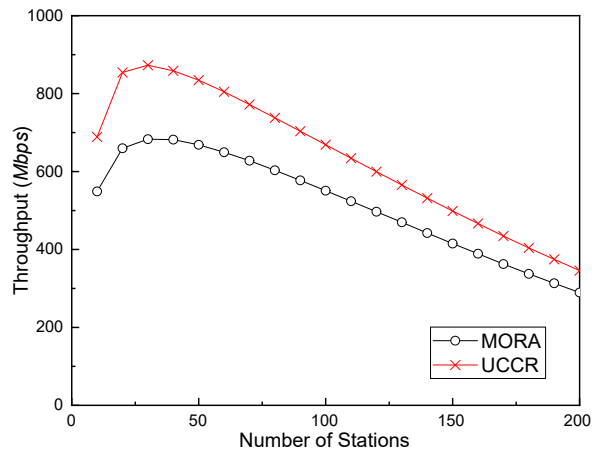


그림 6. 무작위 분포에서 단말 수에 따른 처리율
Fig. 6. Throughput according to the number of stations in random distribution

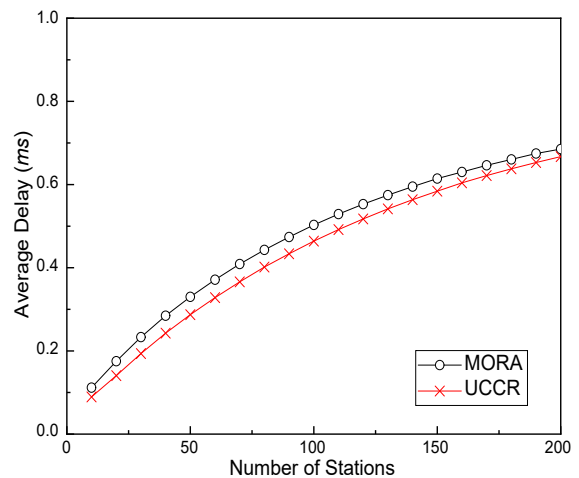


그림 7. 무작위 분포에서 단말 수에 따른 평균 지연
Fig. 7. Average delay according to the number of stations in random distribution

그림 7은 단말 수에 따른 평균 지연의 변화를 보여준다. 두 프로토콜 모두 단말 수에 따라 충돌이 많이 발생하고 재전송 횟수가 증가하여 평균 지연이 커진다. UCCR 프로토콜은 MORA 프로토콜에 비해 낮은 충돌 확률을 갖기 때문에 상대적으로 낮은 평균 지연을 갖는다.

4.2 CAIDA 데이터 패킷 길이 분포

그림 2에 있는 CAIDA 데이터 패킷 길이 분포를 이용하여 패킷을 생성한다.

그림 8은 단말 수에 따른 충돌 확률을 나타낸 그림이다. MORA 프로토콜의 충돌 확률은 무작위 분포와 CAIDA 분포에서 차이가 거의 없다. 이는 패킷 길이와 무관하게 안테나 수에 맞게 VTS 개수가 고정적이기 때문이다. 그러나 제안된 UCCR 프로토콜은 CAIDA 분포의 충돌 확률이 무작위 분포보다 약 1% 정도 낮다. CAIDA 분포에서 생성된 데이터 패킷의 약 50%가 매우 짧은 패킷이기에 더 많은 VTS 개수를 이용하여 채널 경쟁을 한다. 또한, 1500바이트 데이터가 약 20%를 차지하므로 VTS 개수가 상대적으로 줄어든다. 따라서 매우 짧은 패킷일 경우에는 더 많은 VTS로 인해 충돌을 줄이지만 긴 패킷일 경우에는 적은 VTS로 인해 충돌이 줄어들지 않는다. 결과적으로 무작위 분포에 비해 충돌 확률이 많이 줄어들지는 않는다.

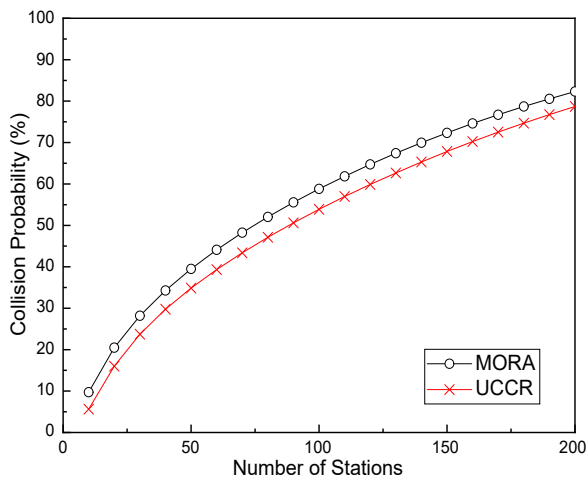


그림 8. CAIDA 분포에서 단말 수에 따른 충돌 확률
Fig. 8. Collision probability according to the number of stations in CAIDA distribution

그림 9는 단말 수가 처리율에 미치는 영향을 나타낸 그림이다. MORA 프로토콜의 처리율은 최대 약 487Mbps로 무작위 분포에서의 최대 처리율 약 683Mbps보다 거의 200Mbps의 처리율이 감소하였다. UCCR 프로토콜도 비슷하게 CAIDA 분포에서 최대 처리율은 약 634Mbps로 무작위 분포에서의 최대 처리율 약 872Mbps보다 감소하였다. MORA 프로토콜과 UCCR 프로토콜 모두 CAIDA 분포에서 처리율은 무작위 분포에서 처리율보다 약 28% 감소하였다. 두 프로토콜은 패킷 길이 분포와 상관없이 거의 비슷한 충돌 확률을 갖지만, CAIDA 분포에서는 매우 짧은 패킷이 약 50%를 차지하기 때문에 결과적으로 처리율은 낮아졌다.

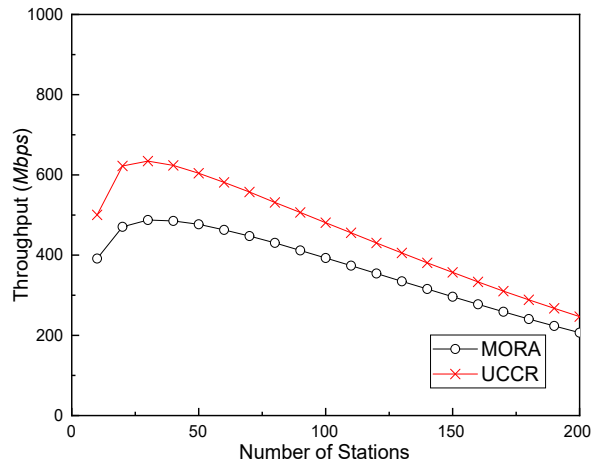


그림 9. CAIDA 분포에서 단말 수에 따른 처리율
Fig. 9. Throughput according to the number of stations in CAIDA distribution

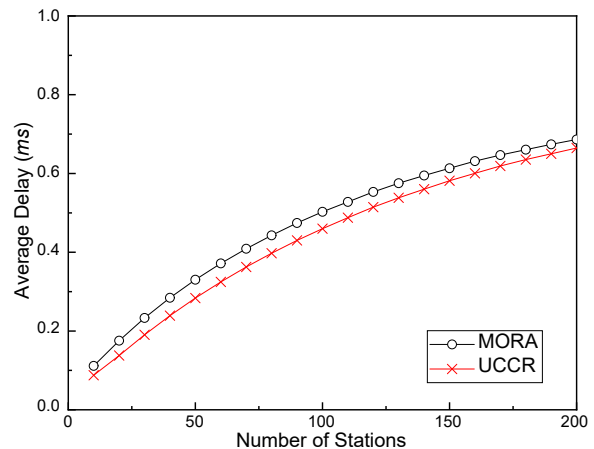


그림 10. CAIDA 분포에서 단말 수에 따른 평균 지연
Fig. 10. Average delay according to the number of stations in CAIDA distribution

그림 10은 단말 수에 따른 평균 지연의 변화를 보여준다. 두 프로토콜 모두 데이터 패킷 길이 분포에 따른 평균 지연 차이가 거의 없다. 하나의 데이터 패킷을 전송하기 위해 RU 시간 길이를 모두 사용하기 때문이다. MORA 프로토콜은 짧은 데이터 패킷을 갖는 경우 패딩 비트를 추가하여 전송하므로 RU 시간을 모두 사용한다. UCCR 프로토콜은 짧은 패킷에 대해 VTS를 더 많이 사용하여 채널 경쟁에 이용하므로 RU 시간 또한 모두 사용한다.

V. 결 론

IEEE 802.11ax 무선 랜 표준은 OFDMA와 MU-MIMO 기술을 채택하여 네트워크 성능을 향상시켰다. 그러나 경쟁기반으로 RU를 공유하기 때문에 단말 수가 증가하면 성능이 저하되는 문제점을 갖고 있다. 본 논문에서는 RU 종료 시간을 맞추기 위해 사용되는 패딩 비트를 채널 경쟁에 활용하는 방법을 제안하였다. 짧은 패킷을 갖는 단말은 큰 VTS 개수를 사용함으로써 서로 다른 VTS 번호를 선택할 가능성을 높인다. 시뮬레이션을 통해 제안된 UCCR 프로토콜이 MORA 프로토콜보다 충돌 확률을 약 4.8% 낮추고 전송 처리율을 최대 194Mbps 향상시키는 것을 확인하였다.

References

- [1] IEEE 802.11ax, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment enhancements for high efficiency WLAN", IEEE Standard, 2021. <https://doi.org/10.1109/ieeestd.2021.9442429>.
- [2] Y. Daldoul, D. E. Meddour, and A. Ksentini, "Performance evaluation of OFDMA and MU-MIMO in 802.11ax networks", *Computer Networks*, Vol. 182, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107477>.
- [3] L. Lanante, C. Ghosh, and S. Roy, "Hybrid OFDMA random access with resource unit sensing for next-gen 802.11ax WLANs", *IEEE*

Transactions on Mobile Computing, Jun. 2020. <https://doi.org/10.1109/tmc.2020.3000503>.

- [4] J. Kim, H. Lee, and S. Bahk, "CRUI: collision reduction and utilization improvement in OFDMA-based 802.11ax networks", *IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM)*, Dec. 2019. <https://doi.org/10.1109/globecom38437.2019.9013337>.
- [5] Y. Zheng, J. Wang, Q. Chen, and Y. Zhu, "Retransmission number aware channel access scheme for IEEE 802.11ax based WLAN", *Chinese Journal of Electronics*, Vol. 29, No. 2, pp. 351-360, Mar. 2020. <https://doi.org/10.1049/cje.2020.01.014>.
- [6] R. Ali, N. Shahin, R. Bajracharya, B.S. Kim, and S.W. Kim, "A self-scrutinized backoff mechanism for IEEE 802.11ax in 5G unlicensed networks", *Sustainability*, Vol. 10, No. 4, 2018. <https://doi.org/10.3390/su10041201>.
- [7] S. Joo, T. Kim, T. Song, and S. Pack, "MU-MIMO enabled uplink OFDMA MAC protocol in dense IEEE 802.11ax WLANs", *ICT Express*, Vol. 6, No. 4, pp. 287-290, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2020.04.007>.
- [8] P. T. Compta, F. H. P. Fitzek, and D. E. Lucani, "On the effects of heterogeneous packet lengths on network coding", *European Wireless 2014*, pp. 385-390, Jun. 2014.

저자소개

김 선 명 (Sun-Myeng Kim)



2000년 2월 : 아주대학교
정보및컴퓨터공학부(공학사)
2002년 2월 : 아주대학교
정보통신공학과(공학석사)
2006년 2월 : 아주대학교
정보통신공학과(공학박사)
2008년 3월 ~ 현재 :

금오공과대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 교수
관심분야 : 무선 네트워크