

IEEE 802.11ax 무선랜에서 트래픽 만족도 인지 업링크 RU 선택 프로토콜

김 선 명*

Traffic Satisfaction Aware Uplink RU Selection Protocol for IEEE 802.11ax WLANs

Sunmyeng Kim*

이 연구는 국립금오공과대학교 대학 연구과제비로 지원되었음(2024~2025)

요 약

IEEE 802.11ax는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access) 기술을 통해 주파수 채널을 여러 개의 톤(Tone)으로 나누고, 이를 묶어 만든 RU(Resource Unit)를 여러 단말에 동시에 할당함으로써 네트워크 효율을 높인다. RU는 톤의 개수에 따라 크기가 다양한데, 톤이 많을수록 높은 데이터 전송 속도를 제공한다. 하지만 트래픽 발생률이 낮은 단말이 큰 RU를 선택할 경우, 채널 자원이 낭비되는 문제가 발생한다. 이러한 문제를 해결하기 위해, 본 논문은 단말의 트래픽 발생률에 맞춰 가장 적절한 크기의 RU를 선택하는 새로운 할당 방법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 기존 프로토콜과 비교한 결과, 제안된 방법은 충돌 확률은 비슷하게 유지하면서도 전체 네트워크 전송 처리율을 최대 12%까지 향상시키는 것으로 나타났다.

Abstract

IEEE 802.11ax improves network efficiency by using Orthogonal Frequency Division Multiple Access (OFDMA) technology to divide the frequency channel into multiple tones, and then grouping these tones into Resource Units (RUs) that can be allocated to multiple stations simultaneously. RUs vary in size depending on the number of tones, with a greater number of tones providing a higher data transmission rate. However, a problem arises when a station with a low traffic generation rate selects a large RU, as this leads to channel resource waste. To solve this problem, this paper proposes a new RU allocation scheme that selects the most appropriate RU size based on a station's traffic generation rate. Simulation results show that the proposed method maintains a similar collision probability to existing protocols while improving the overall network throughput by up to 12%.

Keywords

IEEE 802.11ax, MAC, RU, Satisfaction, Uplink, WLAN

* 국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 소프트웨어전공 교수 · Received: Sep. 26, 2025, Revised: Nov. 13, 2025, Accepted: Nov. 16, 2025
- ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6076-6401>

· Corresponding Author: Sunmyeng Kim
Dept. of Software, Kumoh National Institute of Technology, Korea
Tel.: +82-54-478-7547, Email: sunmyeng@kumoh.ac.kr

1. 서 론

스펙트럼 효율성과 다중 사용자 성능을 향상시키기 위해 IEEE 802.11ax 표준이 도입되었다[1].

IEEE 802.11ax의 핵심 기술은 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)이다. OFDMA 기술은 주파수 채널을 여러 개의 작은 주파수 단위인 톤(Tone)으로 나누고, 이 톤들을 묶어 RU(Resource Unit)라는 자원을 만든다. RU를 통해 여러 단말이 하나의 채널을 공유하여 데이터를 동시에 전송할 수 있게 되어 다운링크(Downlink)와 업링크(Uplink)에서 성능을 크게 향상시킨다. 다운링크에서는 AP(Access Point)가 여러 단말에 RU를 직접 할당하여 데이터를 전송할 수 있게 한다. 업링크에서는 AP의 제어 하에 이루어지는 SA(Scheduled Access) 방식과 단말이 임의로 전송하는 RA(Random Access) 방식으로 구분된다. SA 방식은 AP가 스케줄링 알고리즘에 따라 단말을 특정 RU에 할당하고 데이터를 전송하도록 한다. RA 방식은 단말이 채널 경쟁에 참여하여 RU를 선택하고 데이터를 전송한다.

SA 방식에서 가장 널리 쓰이는 알고리즘은 BW와 HOL이다[2][3]. BW(Bandwidth) 스케줄러는 RU를 낭비하지 않으면서 가능한 많은 단말을 수용하기 위해 필요한 최소 개수의 RU를 찾아 대역폭 사용을 극대화한다. HOL(Head-of-Line) 스케줄러는 주어진 TXOP 내에서 가능한 한 많은 단말을 수용하는 것을 목표로 한다. IEEE 802.11ax 네트워크에서 VoIP의 QoS(Quality of Service)를 지원하기 위해 SRA(Scheduling and Resource Allocation) 방법이 제안되었다[4]. 단말을 VoIP 단말과 비VoIP 단말로 구분하고 서로 다른 큐를 이용하여 서비스를 차별화한다. 먼저 VoIP 단말의 큐에 있는 패킷에 대해 전송에 필요한 시간을 계산한 후에 이에 맞는 적당한 크기의 톤을 갖는 RU를 할당한다. VoIP 단말을 위한 RU들을 할당하고 남은 RU에는 비VoIP 단말을 할당한다. Brahma 등은 FAEU-RU(Fair Allocation and Effective Utilization of RUs) 프로토콜을 제안하였다[5]. 제안된 프로토콜은 단말로부터 업링크 요청을 받은 후에 단말을 데이터 스트림 길이로, RU는 톤의 개수로 정렬하여 큰 길이의 스트림을 큰 톤의 RU에 할당한다.

RA 방식의 대표적인 프로토콜은 UORA(Uplink OFDMA-based Random Access)이다[6]. UORA 프로토콜에서 AP는 트리거 프레임(TF, Trigger Frame)을 전송하여 RU 집합을 단말들에게 알린다. 각 단말은 무작위로 하나의 RU를 선택하여 업링크 데이터를 전송한다. UORA 프로토콜은 단말 수가 증가함에 따라 충돌 확률이 커져 성능 저하 문제를 가지고 있다. 이 문제점을 개선하기 위해 다양한 방법이 제안되었다. Y. Kim et al.[7]은 각 단말이 분산적인 방식으로 자신의 OBO(OFDMA Backoff) 값을 결정하는 제어 기법을 제안하였다. 제안된 방식에서 각 단말은 트리거 프레임을 수신한 후에 OBO 값을 이전에 전송된 데이터의 성공 여부에 따라 동적으로 설정되는 값만큼 감소시킨다. J. Liu et al.[8]은 파라미터 최적화 알고리즘을 제안하였다. 이 알고리즘은 실시간 트래픽을 위해 정보 신선도(AoI, Age of Information) 성능 지표를 이용하여 UORA의 파라미터를 최적화하였다. M. I. Khan et al.[9]은 UORA의 충돌·공정성 문제를 해결하기 위한 M-OBO 프로토콜을 제안하였다. M-OBO 프로토콜은 각 데이터 패킷의 첫 번째 전송에서는 UORA처럼 OBO 값을 선택한다. 그러나 재전송을 할 때는 현재 OCW(OFDMA Contention Window) 값을 두 배로 한 후에 OCW, OCW_{max}에서 OBO 값을 무작위로 선택한다.

기존에 제안된 논문들은 다음과 같은 특징을 갖는다. SA 방식의 논문에서는, AP가 다양한 톤의 개수를 갖는 RU들을 할당하여 단말의 트래픽 특성에 맞춰 동작하도록 한다. 그러나 RA 방식의 논문에서는, AP가 같은 톤의 개수를 갖는 RU들만 할당하고 단말들은 무작위로 하나의 RU를 선택하여 데이터를 전송함으로써 각 단말의 트래픽 특성에 맞추지 못한다. 따라서 본 논문에서는 업링크 RA 방식으로 동작하면서 AP가 다양한 톤의 개수를 갖는 RU들을 할당하였을 때, 각 단말은 자신의 트래픽 특성에 맞춰 RU를 선택하는 방법을 제안한다.

논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 OFDMA RU와 UORA에 대해 간단히 기술한다. 3장에서는 제안된 TSA(Traffic Satisfaction Aware) RU 선택 프로토콜의 동작 원리에 관해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 결과를 이용하여 성능을 분석한다. 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 OFDMA RU

IEEE 802.11ax OFDMA 기술은 주파수 채널을 여러 개의 작은 주파수 단위인 톤(Tone)으로 나누고, 이 톤들을 묶어 RU라는 자원을 만든다. RU는 여러 크기로 규격화되어 있으며, 각 RU는 일정 개수의 톤(26, 52, 106, 242, 484, 996, 2×996)을 포함한다. RU의 크기 및 배치는 채널 대역폭(20/40/80/160 MHz)에 따라 달라진다.

IEEE 802.11ax 표준에서는 서로 다른 크기(즉, 톤의 개수)에 따른 사전에 정의된 RU 조합 세트를 제공하며, 20 MHz 채널의 경우 표 1에 요약되어 있다. 예를 들어, 인덱스 11번은 52개 서브캐리어를 갖는 1개의 RU와 26개 서브캐리어를 갖는 7개의 RU로 구성된 할당 방식을 정의하며, 이를 통해 최대 8명의 사용자가 동시에 서비스될 수 있다. 표의 마지막 열은 각 할당 방식에서 지원할 수 있는 최대 단말 수를 나타낸다.

표 1. 20 MHz 채널에서 할당 가능한 RU 조합
Table 1. Set of RU allocation in 20 MHz channel

Index	RU 242	RU 106	RU 52	RU 26	Total
1	1	0	0	0	1
2	0	0	4	0	4
3	0	2	0	0	2
4	0	1	2	1	4
5	0	1	1	3	5
6	0	1	0	5	6
7	0	1	2	0	3
8	0	0	4	1	5
9	0	0	3	3	6
10	0	0	2	5	7
11	0	0	1	7	8
12	0	0	0	9	9

2.2 UORA 프로토콜

UORA 프로토콜의 절차는 그림 1과 같다. 연속된 두 TF(Trigger Frame)의 시작 시점 사이 구간은 하나의 TF 간격(TF Interval)으로 정의되며, 전체 UORA 과정은 이 TF 간격 단위로 반복 수행된다.

AP(Access Point)는 RU 정보가 포함된 TF를 단말들에게 전송한다. 이를 수신한 단말은 자신의

OBO(OFDMA Backoff) 값을 RU 개수만큼 감소시키고, 0 이하가 되면 전송 기회를 획득한다. OBO 값이 0보다 큰 단말은 현재 OBO 값을 유지한 채 다음 TF를 대기한다. 전송 기회를 획득한 단말은 무작위(Random) 방식으로 하나의 RU를 선택하여 자신의 데이터를 전송한다. AP는 M-BA(Multi-STA Block Acknowledgment)를 전송하여 충돌 여부와 전송 성공을 단말들에게 통지한다. 실패한 단말은 DIFS(Distributed Coordination Function Interframe Space)가 경과한 뒤 다음 TF를 통해 다시 경쟁 절차에 참여한다.

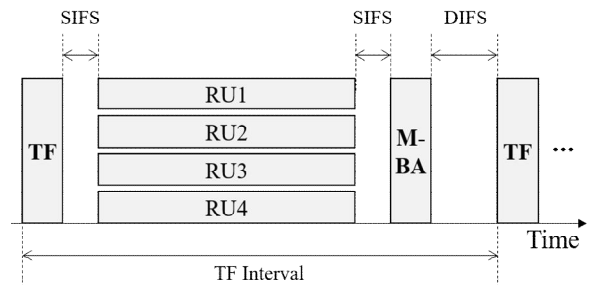


그림 1. UORA 프로토콜 동작 절차
Fig. 1. Procedure of UORA protocol

III. 제안된 TSA 업링크 RU 선택 프로토콜

UORA에서 전송 데이터가 RU 크기보다 작은 경우 단말은 패딩 비트(Padding bits)를 추가한다. 기존 연구에서는 AP가 동일한 톤 크기를 갖는 RU만을 할당하는 경우를 고려하였으며, 이때 단말들이 무작위로 RU를 선택하더라도 채널 낭비의 차이가 크지 않았다. 그러나 서로 다른 톤 크기의 RU가 할당되는 경우, 단말이 자신의 트래픽 특성을 고려하지 않고 무작위로 RU를 선택한다면 트래픽 양이 적은 단말이 큰 RU를 차지하여 많은 패딩 비트를 추가함으로써 채널 낭비를 초래할 수 있다. 따라서 본 논문에서는 채널 자원 낭비를 최소화하기 위해 트래픽 특성을 고려한 RU 선택 방법을 제안한다. 제안된 방법은 단말의 패킷 발생률을 기반으로 "트래픽 만족도"를 계산하고 단말의 트래픽 특성에 적합한 크기의 RU를 독립적이고 선택한다. 트래픽 만족도는 단말에서 발생한 초당 평균 패킷 수 대비 성공적으로 전송된 패킷 수의 비율을 의미한다.

AP는 주기적으로 각 RU에 대한 충돌율을 측정 한 후 TF에 포함시켜 전송한다. 단말은 TF를 수신 한 후 톤 크기별 평균 충돌율을 계산하고, 이를 바탕으로 트래픽 만족도를 계산한다. 단말은 만족도가 1 이상인 톤 중 가장 작은 톤 크기를 선택하고, 해당 톤을 갖는 RU 중 하나를 무작위로 선택한다. 만약 모든 톤의 만족도가 1 미만인 경우, 단말은 무작위로 모든 RU 중 하나를 선택한다.

그림 2에 제안된 RU 선택 알고리즘을 보인다.

Input:

- L : packet length
- R_t : transmission rate for tone t
- T_{RU} : time length of each RU
- T_{TF} : trigger frame interval
- λ : packet arrival rate of station
- p_t : average collision probability for tone t
- p_{try} : transmission attempt probability

1. For each tone t do:
 - $T_{pkt,t} \leftarrow L / R_t$
 - $N_{pkt,t} \leftarrow \text{floor}(T_{RU} / T_{pkt,t})$
 - $N_{TF} \leftarrow 1 / T_{TF}$
 - $N_{try} \leftarrow N_{TF} * p_{try}$
 - $N_{s,t} \leftarrow N_{try} * (1 - p_t)$
 - $N_{total,t} \leftarrow N_{s,t} * N_{pkt,t}$
 - $S_t \leftarrow N_{total,t} / \lambda$
2. If \exists tone t with $S_t \geq 1$ then
 - Select the smallest tone t with $S_t \geq 1$
 - Randomly choose one RU among RUs of tone t
- Else
 - Randomly choose one RU among all RUs

그림 2. 제안된 TSA RU 선택 알고리즘
Fig. 2. TSA RU selection algorithm

단말은 TF를 수신한 후에 톤 별 평균 충돌율(p_t , $t = 26, 52, 106, 242, 484, 996, 2 \times 996$) 및 톤 t 의 트래픽 만족도를 계산한다. 톤 t 에서 패킷 하나의 전송 시간($T_{pkt,t}$)은 식 (1)과 같다.

$$T_{pkt,t} = L / R_t \quad (1)$$

여기서 L 은 단말의 데이터 패킷 길이이고 R_t 은 톤 t 의 데이터 전송 속도이다.

TF를 통해 주어진 RU의 시간 길이(T_{RU}) 동안에 전송 가능한 패킷 수($N_{pkt,t}$)는 식 (2)와 같다.

$$N_{pkt,t} = \lfloor T_{RU} / T_{pkt,t} \rfloor \quad (2)$$

여기서 $\lfloor x \rfloor$ 는 x 에 대한 내림함수이다.

TF 간격이 T_{TF} 일 때, 초당 TF 수(N_{TF})는 식 (3)과 같다.

$$N_{TF} = 1 / T_{TF} \quad (3)$$

N_{TF} 개의 TF 중에서 단말의 OBO 값이 0 이하가 되어 전송을 시도할 TF 개수(N_{try})는 식 (4)와 같다.

$$N_{try} = N_{TF} * p_{try} \quad (4)$$

여기서 p_{try} 는 단말이 각 TF 간격에서 전송을 시도할 확률이다. 이 값은 평균적으로 단말이 전송 시도한 횟수를 N_{TF} 로 나눠 구한 값이다.

단말이 N_{try} 개수만큼 톤 t 의 RU를 선택하여 성공적으로 데이터 전송을 수행할 수 있는 TF 간격 수($N_{s,t}$)는 식 (5)와 같다.

$$N_{s,t} = N_{try} * (1 - p_t) \quad (5)$$

톤 t 의 RU를 선택하여 전송할 수 있는 총 패킷 수($N_{total,t}$)는 식 (6)과 같다.

$$N_{total,t} = N_{s,t} * N_{pkt,t} \quad (6)$$

단말이 톤 t 의 RU를 선택할 경우의 트래픽 만족도(S_t)는 식 (7)과 같다.

$$S_t = N_{total,t} / \lambda \quad (7)$$

여기서 λ 는 단말의 평균 패킷 도착률(Arrival rate)이다. 즉, 초 당 생성되는 평균 패킷 수이다.

단말은 모든 톤에 대해 트래픽 만족도를 계산한 후에 만족도 값이 1 이상인 톤 중에서 톤의 크기가 가장 작은 톤을 선택한다. 선택된 톤에 해당되는 RU들 중에서 무작위로 하나의 RU를 선택하고 데

이터를 전송한다. 만약 트래픽 만족도 값이 모두 1 미만이면 단말은 특정 톤을 선택하지 않고 모든 RU들 중에서 무작위로 하나의 RU를 선택한다.

IV. 시뮬레이션 결과

시뮬레이션 결과를 이용하여 제안된 TSA 프로토콜과 무작위(Random) 기반 RU 선택 방식을 사용하는 기존 UORA 프로토콜을 비교·분석함으로써, 제안된 기법의 성능적 우수성을 검증한다.

표 2. 시뮬레이션 파라미터
Table 2. Simulation parameters

Parameter	Value
Channel Bandwidth	20 MHz
OCWmin	8
OCWmax	64
TF Interval	1.5 ms
TF Duration	100 μ s
MU-BACK Duration	68 μ s
Slot Time	9 μ s
SIFS	16 μ s
DIFS	34 μ s

시뮬레이션 시간은 100초로 설정하고 10회 반복 수행하였다. 시뮬레이션에서 사용된 파라미터를 표 2에 나타내었다. 각 단말은 포아송(Poisson) 분포를 이용하여 트래픽을 발생한다. 입력된 단말 수는 일정 비율로 세 그룹으로 구분한다. 그룹별 트래픽 특성은 다음과 같다. 그룹1의 단말은 패킷 크기 1500 바이트와 평균 도착률 500 패킷/초를 가지며, 그룹2는 1000바이트와 300 패킷/초, 그룹3은 500바이트와 100 패킷/초를 갖는다.

성능 평가는 충돌 확률과 처리율이다. 충돌 확률은 시뮬레이션 동안 발생한 총 RU 대비 충돌이 발생한 RU의 비율로 정의하였으며, 처리율은 초당 성공적으로 전송된 데이터 비트 수로 계산하였다.

그림 3은 그룹 비율을 0.2:0.4:0.4로 설정하고, 표 1의 RU 인덱스 4 환경에서 단말 수 변화에 따른 충돌 확률을 나타낸다. 트래픽 생성률이 낮은 단말이 높은 단말보다 상대적으로 많은 환경으로, TSA와 RANDOM 프로토콜 모두 단말 수가 증가함에 따라 충돌 확률이 함께 증가하는 결과를 보인다. 그

리나 두 프로토콜 간 충돌 확률의 차이는 거의 나타나지 않았다.

그림 4는 그룹 비율 0.2:0.4:0.4, RU 인덱스 4에서 단말 수가 처리율에 미치는 영향을 보여준다. 두 프로토콜 모두 단말 수가 적을 때는 처리율이 증가하나, 단말 수가 많아질수록 충돌 확률 상승으로 인해 처리율은 감소한다. 그러나 제안된 TSA 프로토콜은 단말 수와 무관하게 RANDOM보다 높은 처리율을 유지한다. 이는 TSA가 단말의 트래픽 특성에 맞는 RU를 선택하여 패딩 비트로 인한 자원 낭비를 최소화하지만, RANDOM은 RU를 무작위로 선택하여 불필요한 낭비를 초래하기 때문이다.

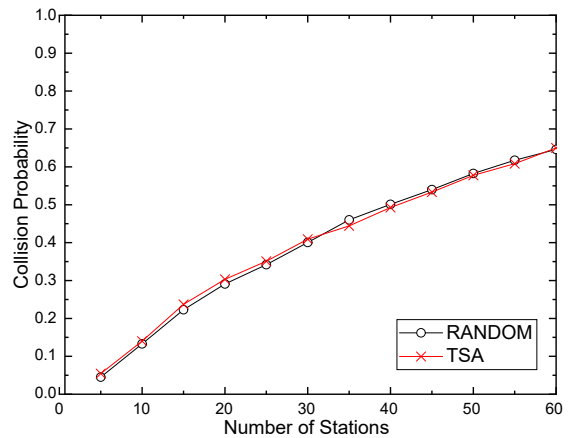


그림 3. 그룹 비율 0.2:0.4:0.4, RU 인덱스 4에서 단말 수에 따른 충돌 확률

Fig. 3. Collision probability according to the number of stations in group ratio 0.2:0.4:0.4 and RU index 4

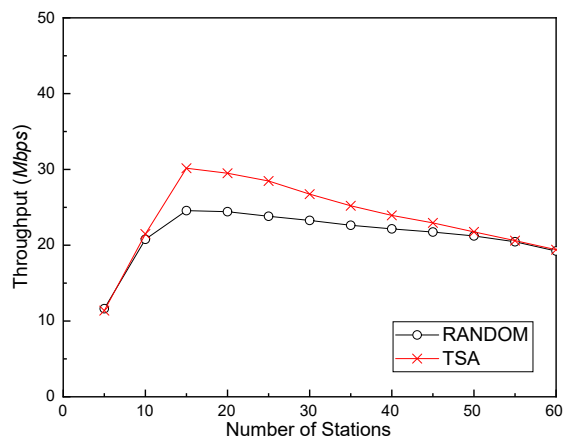


그림 4. 그룹 비율 0.2:0.4:0.4, RU 인덱스 4에서 단말 수에 따른 처리율

Fig. 4. Throughput according to the number of stations in group ratio 0.2:0.4:0.4 and RU index 4

그림 5는 그룹 비율 0.4:0.4:0.2, RU 인덱스 4에서 충돌 확률을 보인다. 즉, 트래픽 생성률이 높은 단말이 상대적으로 많은 환경이다. 그림 3처럼 두 프로토콜은 유사한 충돌 확률을 보인다.

그림 6은 그룹 비율을 0.4:0.4:0.2, RU 인덱스 4로 설정한 경우, 단말 수 증가에 따른 처리율 변화를 나타낸다. 트래픽 생성률이 높은 단말의 비율이 많아진 환경으로, 그림 4와 유사한 경향을 보이나, 두 프로토콜 간 성능 격차는 다소 줄어드는 결과를 확인할 수 있다. 이는 트래픽 생성률이 높은 단말이 많을수록 RANDOM 방식에서도 큰 RU 활용이 효율적으로 이루어져 채널 낭비가 감소하기 때문이다. 결과적으로 RANDOM의 처리율이 향상되어 TSA와의 차이가 줄어들게 된다.

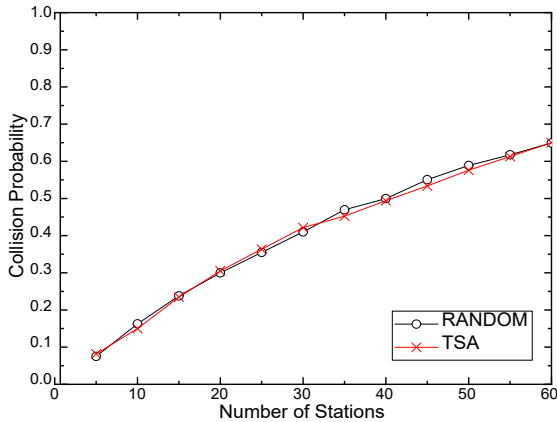


그림 5. 그룹 비율 0.4:0.4:0.2, RU 인덱스 4에서 단말 수에 따른 충돌 확률

Fig. 5. Collision probability according to the number of stations in group ratio 0.4:0.4:0.2 and RU index 4

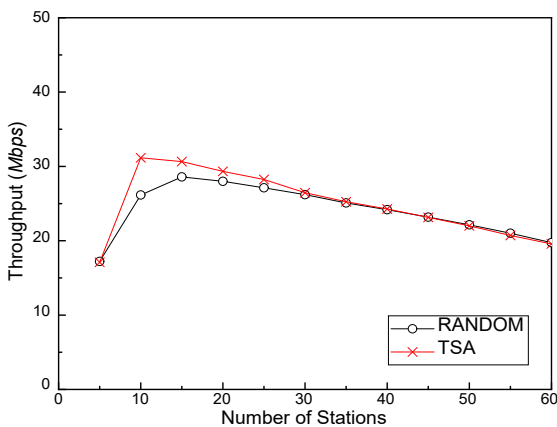


그림 6. 그룹 비율 0.4:0.4:0.2, RU 인덱스 4에서 단말 수에 따른 처리율

Fig. 6. Throughput according to the number of stations in group ratio 0.4:0.4:0.2 and RU index 4

그림 7은 그룹 비율을 0.2:0.4:0.4로 설정하고 RU 인덱스 12 환경(26톤-RU 9개로 구성)에서의 처리율 결과를 나타낸다. 본 환경은 모든 RU가 동일한 톤 크기만으로 구성된 경우로, TSA 프로토콜은 무작위로 RU를 선택한다. 결과적으로 TSA는 RANDOM과 동일하게 동작하므로 성능의 차이는 없다.

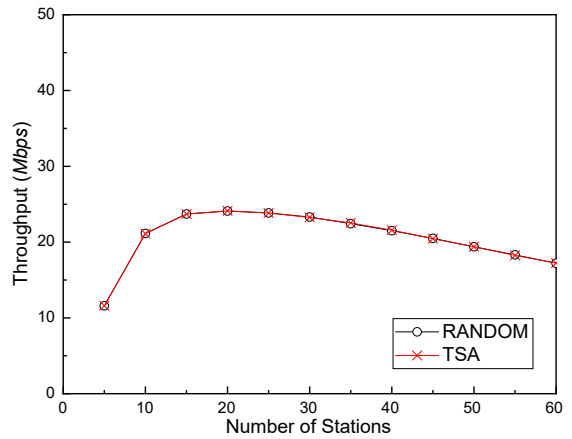


그림 7. 그룹 비율 0.2:0.4:0.4, RU 인덱스 12에서 단말 수에 따른 처리율

Fig. 7. Throughput according to the number of stations in group ratio 0.2:0.4:0.4 and RU index 12

V. 결론

다양한 톤 크기의 RU를 갖는 업링크 UORA 환경에서 패딩 비트로 인한 채널 자원 낭비를 최소화하기 위하여 트래픽 만족도 기반 RU 선택 방법을 제안하였다. 제안된 프로토콜은 패킷 도착률과 충돌 확률을 이용하여 계산된 트래픽 만족도에 기반하여 가장 적합한 크기의 RU를 선택한다. 시뮬레이션 결과, 처리율은 제안된 TSA가 RANDOM보다 향상된 성능을 보였지만 충돌 확률은 유사하게 나타났다. 이는 트래픽 특성에 따라 적절한 RU 크기를 선택하여 데이터를 전송하기 때문이다. RU가 동일한 톤 크기만으로 구성된 경우, TSA와 RANDOM 모두 무작위로 RU를 선택하기 때문에 성능이 일치하였다.

References

[1] IEEE P802.11ax, "Wireless LAN medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications amendment enhancements for high

- efficiency WLAN", IEEE Standard, 2020.
- [2] D. Magrin, S. Avallone, S. Roy, and M. Zorzi, "Performance evaluation of 802.11ax OFDMA through theoretical analysis and simulations", IEEE Trans. Wireless Commun., Vol. 22, No. 8, pp. 5070-5083, Jan. 2023. <https://dx.doi.org/10.1109/TWC.2022.3231447>.
- [3] A. Behara and T. G. Venkatesh, "Performance analysis and energy efficiency of MU-(OFDMA & MIMO) based hybrid MAC protocol of IEEE 802.11ax WLANs", IEEE Trans. Veh. Technol., Vol. 72, No. 5, pp. 6474-6490, Dec. 2023. <https://dx.doi.org/10.1109/TVT.2022.3230873>.
- [4] R. Estepa, M. Davis, V. Mayor, and A. Estepa, "Supporting VoIP communication in IEEE 802.11ax networks: A new admission control and scheduling resource allocation scheme", Computer Communications, Vol. 224, No. C, pp. 225-241, Aug. 2024. <https://dx.doi.org/10.1016/j.comcom.2024.06.010>.
- [5] S. Brahmi and M. Yazid, "Towards a fair allocation and effective utilization of resource units in multi-user WLANs-based OFDMA technology", Computer Networks, Vol. 224, Feb. 2023. <https://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2023.109639>.
- [6] 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://dx.doi.org/10.1016/j.comnet.2020.107477>.
- [7] Y. Kim, L. Kwon, and E.-C. Park, "OFDMA backoff control scheme for improving channel efficiency in the dynamic network environment of IEEE 802.11ax WLANs", Sensors, Vol. 21, No. 15, Aug. 2021. <https://dx.doi.org/10.3390/s21155111>.
- [8] J. Liu, Q. Wang, and H. Chen, "Optimizing information freshness of IEEE 802.11ax uplink OFDMA-based random access", IEEE Transactions on Communications, Vol. 73, No. 10, Oct. 2025. <https://doi.org/10.1109/tcomm.2025.3555867>.

- [9] M. I. Khan, M. Gohar, H. Alquhayz, S.-J. Koh, and J.-G. Choi, "Enhanced backoff mechanism for uplink OFDMA in Wireless Local Area Network", Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences, Vol. 36, No. 3, Mar. 2024. <https://dx.doi.org/10.1016/j.jksuci.2024.102005>.

저자소개

김 선 명 (Sunmyeng Kim)



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

국립금오공과대학교 컴퓨터공학부 소프트웨어전공 교수
관심분야 : 무선 네트워크