

# IEEE 802.11ax 고밀도 무선 랜에서 충돌 확률에 기반한 업링크 동적 채널 접근 방법

김 선 명\*

## Dynamic Uplink Channel Access Protocol based on Collision Probability in IEEE 802.11ax High Density WLANs

Sunmyeng Kim\*

---

이 연구는 금오공과대학교 학술연구비로 지원되었음(202000920001)

---

### 요 약

IEEE 802.11ax 고밀도 무선 랜에서 성능 향상을 위해, MU-MIMO 기술을 이용하여 업링크 OFDMA 기반의 MORA 프로토콜이 제안되었다. MORA 프로토콜에서 단말들은 RU를 공유하기 위해 경쟁 기반 채널 접근 방법을 이용한다. 이로 인해, 단말 수가 증가함에 따라 높은 충돌 확률로 인해 네트워크 성능이 급격히 저하된다. 본 논문에서는 충돌 확률에 따라 경쟁 단말 수를 조절하는 방법을 제안한다. 각 RU는 여러 개의 가상 타임 슬롯으로 나뉜다. 충돌 확률이 높으면 백오프 카운터 범위를 작게하여 가상 타임 슬롯 채널 경쟁 단말 수를 줄이고, 충돌 확률이 낮으면 백오프 카운터 범위를 크게하여 경쟁 단말 수를 늘린다. 시뮬레이션을 통해 제안된 방법의 성능을 MORA 프로토콜과 비교 분석한다. 제안된 방법이 충돌 확률을 낮춰 높은 전송 효율 및 낮은 지연을 갖는다. 단말 수가 100개일 때, 약 21%의 전송 효율 향상과 약 7% 낮은 지연을 보인다.

### Abstract

For IEEE 802.11ax high density WLANs, the MORA protocol has been introduced to improve network performance. The MORA protocol provides a contention-based distribution channel access mechanism for stations to share resource units (RUs). Performance of the MORA protocol drops dramatically due to high collision probability as the number of stations becomes larger. In order to improve network performance, we propose a new dynamic channel access protocol. The proposed protocol adjusts the number of contending stations based on the collision probability. Performance of the proposed protocol is investigated by simulation. Simulation results show that the proposed protocol outperforms the MORA protocol in terms of throughput and delay. Especially, the proposed protocol has about 21% higher throughput and 7% lower delay when there are 100 stations.

### Keywords

collision probability, IEEE 802.11ax, MU-MIMO, RU, WLAN

---

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

· Received: Oct. 28, 2021, Revised: Dec. 03, 2021, Accepted: Dec. 06, 2021  
· Corresponding Author: Sunmyeng Kim  
Dept. of Computer Software Engineering, Kumoh National Institute of Technology, Korea,  
Tel.: +82-54-478-7547, Email: [sunmyeng@kumoh.ac.kr](mailto:sunmyeng@kumoh.ac.kr)

## 1. 서 론

IEEE 802.11ax는 고밀도 무선 랜 환경에서 수많은 사용자를 지원하기 위해 표준화되었다[1]. 표준화 주요 목적은 MAC 계층에서의 전송 속도를 향상시키기 위한 것이다. 표준은 새로운 두 가지의 주요 내용을 포함하고 있다. 첫 번째는 다운링크(DL, Downlink)와 업링크(UL, Uplink)에서 사용할 수 있는 OFDMA(Orthogonal Frequency Division Multiple Access)라는 접근 방법이다. 두 번째는 여러 단말이 AP에게 같은 주파수를 통해 동시에 데이터 전송이 가능한 UL MU-MIMO(Multi-User Multiple-Input Multiple-Output)의 지원이다.

첫 번째 주요 내용인 OFDMA는 여러 단말이 동시에 데이터 전송이 가능하도록 무선 대역폭을 여러 개의 RU(Resource Unit)으로 나눈다. DL OFDMA에서 AP는 서로 다른 수신 단말에게 서비스를 제공한다. 반면 UL OFDMA는 여러 단말이 AP에게 데이터를 전송할 수 있도록 한다. 단말들이 AP에게 데이터를 전송하기 위한 채널 접근 방법에는 SA(Scheduled Access) 방식과 RA(Random Access) 방식 두 가지가 있다. SA 방식에서는 단말들이 AP에게 전송할 데이터에 대한 정보를 제공하고 AP는 이를 기반으로 RU를 할당한다. 따라서 채널 접근에 있어 경쟁은 발생하지 않는다. RA 방식에서 모든 단말은 AP에게 RU에 대한 요청 없이 채널 경쟁을 통해 임의의 RU를 선택하여 데이터를 전송한다. SA 방식은 AP에서 처리해야 할 계산량이 증가하기 때문에 상용화가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 RA 방식에 초점을 맞춰 진행한다.

IEEE 802.11ax 표준은 RA 방식의 UORA(Uplink OFDMA-based Random Access) 프로토콜을 소개하였다[2]. UORA 프로토콜은 기존 무선 랜에서 사용하는 DCF(Distributed Coordination Function) 또는 EDCA(Enhanced Distributed Channel Access)와 유사하게 동작한다.

UORA 프로토콜의 성능을 향상 및 개선시키기 위해 다양한 방법들이 제안되었다[3]-[9]. 실시간 응용 서비스를 위해 CRA(Cyclic Resource Assignment) 방법이 제안되었다[3]. CRA 방법에서 단말들은 최대 RU 개수( $RU_{max}$ ) 중에서  $f$  개의 RU에 대해서만

경쟁을 통해 데이터를 전송한다. 충돌이 발생하면 경쟁에 할당되지 않은 ( $RU_{max} - f$ ) RU를 단말들에게 순차적으로 할당한다. 따라서 할당된 단말들은 충돌 없이 성공적으로 데이터 프레임을 AP에게 전송할 수 있다. H-UORA(Hybrid Uplink OFDMA Random Access) 방법에서는 충돌을 감소시키기 위해, 단말들이 RU를 선택한 후에 바로 데이터를 전송하는 것이 아니라 추가적으로 한 슬롯 시간 동안 채널을 감지하여 계속 휴지(Idle)인 경우에만 데이터를 전송한다[4]. CRUI(Collision Reduction and Utilization Improvement) 방법은 추가 백오프와 RU 호핑(Hopping)을 이용한다[5]. 추가 백오프에서는 데이터를 전송하기 전에 단말의 우선순위에 따라 비지 시그널을 전송한다. RU 호핑은 추가 백오프 과정 동안에 RU를 점유하지 못한 단말에게 기회적으로 RU를 접근할 수 있도록 한다. RNACA(Retransmission Number Aware Channel Access) 방법은 충돌로 인한 지연을 감소시키기 위해 제안되었다[6]. 재전송 수와 RU 수, 경쟁 단말 수를 고려하여 확률기반으로 OCW를 두 배로 설정한다. 따라서 일부 단말은 OCW를 두 배로 하지 않고서도 RU를 빠르게 접근할 수 있다. COSB(Channel Observation-based Scaled Backoff) 방법은 전송 성공 시 OCW 값을 초기화, 실패 시 두 배로 하는 대신에 측정된 충돌 확률에 따라 동적으로 OCW 값을 조절한다[7]. MORA(MU-MIMO enabled Uplink OFDMA Random Access) 방법은 AP가 여러 안테나를 갖는 환경을 고려하였다[8]. 디코딩 과정을 통해 안테나 수만큼의 단말이 동시에 한 RU에서 데이터를 전송할 수 있다. 한 RU는 여러 개의 VTS(Virtual Time Slot)로 나뉜다. VTS는 데이터 전송 시작 시간을 의미하는 것으로 여러 단말이 VTS를 다르게 함으로써 동시 전송이 가능하다.

MORA 프로토콜은 경쟁기반으로 동작하기 때문에 단말 수가 증가함에 따라 충돌 확률이 증가하고 네트워크 성능이 저하되는 문제점을 여전히 갖고 있다. 본 논문에서는 MORA 프로토콜의 성능 저하 문제를 해결하기 위해 DCACP(Dynamic Channel Access based on Collision Probability) 프로토콜을 제안한다. 제안된 DCACP 프로토콜은 측정된 충돌 확률에 따라 경쟁하는 단말의 수를 조절한다. 즉, 충

들 확률이 높으면 경쟁 단말 수를 줄이고, 충돌 확률이 낮으면 경쟁 단말 수를 늘려 좋은 성능을 갖도록 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 UORA 프로토콜과 기존에 제안된 MORA 프로토콜에 대해 간단히 설명한다. 3장에서는 제안된 DCACP 프로토콜에 대해 자세히 설명하고 4장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 분석 결과를 보여준다. 마지막으로 5장에서는 결론에 대해 기술한다.

## II. 관련 연구

### 2.1 UORA 프로토콜

UORA 프로토콜에서 단말들은 RU 경쟁을 위해 OCW(OFDMA Contention Window)와 OBO(OFDMA BackOff) 카운터를 유지 관리한다. OCW는  $OCW_{min}$ 과  $OCW_{max}$  사이 값을 갖는다. 처음 OCW는  $OCW_{min}$ 으로 설정되며 OBO 카운터는  $[0, OCW-1]$  범위에서 무작위로 선택된다. 먼저 AP는 UORA 절차를 진행하기 위해 TF(Trigger Frame)을 브로드캐스팅한다. TF를 수신한 단말들은 자신의 OBO 카운터를 TF에 포함된 RU 수만큼 감소시킨다. OBO 카운터 값이 0 미만인 단말들은 임의로 RU를 선택하여 데이터 프레임을 전송한다. OBO 카운터 값이 0 이상인 단말들은 다음 전송 기회까지 전송을 멈추고 대기한다. 같은 RU를 선택한 단말이 두 개 이상이면 충돌이 발생한다. 충돌이 발생한 단말은 자신의 OCW를 두 배( $2*OCW$ )로 증가시킨 후 OBO 카운터 값을 무작위로 다시 선택한다. AP는 데이터 프레임을 수신한 후에 전송 성공 여부를 MU-BACK(Multi-User Block Acknowledgment)를 이용하여 각 단말에 알린다. 데이터 전송이 성공한 단말은 자신의 OCW를  $OCW_{min}$ 으로 초기화한다.

### 2.2 MORA 프로토콜

MORA 프로토콜은 MU-MIMO 기술에 기반을 두고 있다. MU-MIMO 기술을 이용하면 AP가 가진 안테나 숫자만큼의 단말이 같은 주파수 대역을 이용하여 동시에 데이터를 전송할 수 있다. AP는 수

신된 데이터의 프리앰블(Preamble)을 통해 각 단말과 AP 간의 채널 정보를 파악한 후에 디코딩 과정을 수행하여 각 단말의 데이터를 구분할 수 있다. 디코딩 과정을 잘 수행하기 위해서는 각 단말이 전송한 데이터 패킷의 시간 차가 최소 프리앰블 전송 시간 이상이어야 한다. 시간 차가 프리앰블 전송 시간보다 작으면 디코딩할 수 없어 충돌로 간주한다.

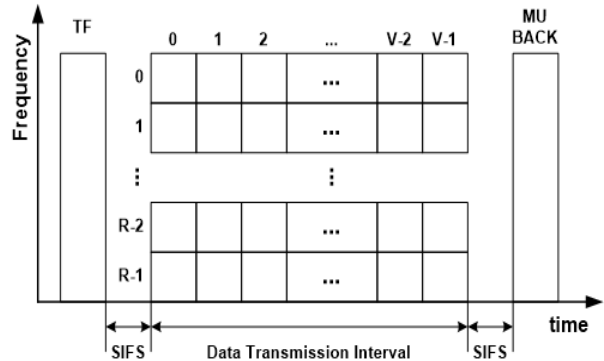


그림 1. MORA 프로토콜 동작  
Fig. 1. Operation of MORA protocol

그림 1은 MORA 프로토콜의 동작 과정을 보여준다. OFDMA는 주파수 대역폭을  $R$ 개의 RU  $[0 \sim R-1]$ 로 나눈다. 각 RU는  $V$ 개의 VTS(Virtual Time Slot)  $[0 \sim V-1]$ 으로 나뉜다. VTS의 길이는 프리앰블 전송 시간과 같으며 각 단말은 VTS 시작 시각에 데이터 패킷을 전송한다.

AP는 안테나 수( $M$ ), RU 개수( $R$ ), VTS 개수( $V$ ) 등의 정보를 포함하는 TF(Trigger Frame)를 전송한다. TF를 수신한 단말은 자신의 OBO 카운터( $CNT$ )를  $M*R$ 과 비교한다.  $CNT$ 가  $M*R$  이상이면 채널 경쟁에서 실패한 것으로 판단하여  $CNT$ 를  $M*R$ 만큼 감소한 후에 다음 TF를 수신할 때까지 대기한다.  $CNT$ 가  $M*R$  미만이면 채널 경쟁에서 성공한 것으로 판단하고 다음 공식에 따라 데이터 패킷을 전송할 RU와 VTS 번호( $I_{RU}, I_{VTS}$ )를 결정한다.

$$I_{RU} = CNT \bmod R \tag{1}$$

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

$I_{RU}$ 와  $I_{VTS}$ 를 결정한 단말은 해당 번호에서 자신의 데이터 패킷을 전송한다.

AP는 단말로부터 데이터 패킷을 수신한 후에 디코딩 과정을 수행한다. MU-BACK를 통해 데이터 패킷의 성공 여부를 단말들에게 전달한다.

전송에 성공한 단말은 OCW를  $OCW_{min}$ 으로 설정하고 실패한 단말은 OCW를  $2*OCW$ 로 증가시킨다. 그리고 단말들은 OBO 카운터 값을  $[0, OCW-1]$  범위에서 무작위로 다시 선택된다. 단말들은 AP로부터 다음 TF를 수신할 때까지 대기한다.

### III. 제안된 DCACP 프로토콜

[2]는 시뮬레이션을 통해 IEEE 802.11ax에서 OFDMA와 MU-MIMO에 대한 성능을 분석하였다. 단말 수가 증가함에 따라 충돌 확률은 점진적으로 계속 증가하지만, 효율(Throughput)은 단말 수가 적었을 때 약간 상승하지만, 일정한 단말 수 이후부터는 급격히 저하되는 결과를 보였다. 이는 업링크 MU-MIMO가 경쟁기반으로 동작하기 때문이다.

MORA 프로토콜 또한 IEEE 802.11ax와 마찬가지로 경쟁기반으로 동작하기 때문에 충돌 확률 증가 및 효율 저하 문제점을 똑같이 갖고 있다. 본 논문에서는 MORA 프로토콜의 성능을 향상시키기 위해 DCACP 프로토콜을 제안한다. [2]의 결과를 살펴보면, 일정한 범위의 충돌 확률에서 가장 좋은 효율을 갖는다는 것을 알 수 있다. 따라서 제안된 DCACP 프로토콜은 충돌 확률이 일정한 범위에서 유지될 수 있도록 한다. 즉, 측정된 충돌 확률이 일정 범위보다 높으면 경쟁 단말 수를 줄여 충돌 확률을 낮추고, 일정 범위보다 낮으면 경쟁 단말 수를 늘려 충돌 확률을 높인다.

MORA 프로토콜에서, 단말은 TF를 수신한 후에 채널 경쟁 성공 여부를 판단하기 위해 자신의 OBO 카운터( $CNT$ )를  $M*R$ 과 비교한다.  $CNT$ 가  $M*R$  이상이면 채널 경쟁에서 실패한 것으로 판단한다.  $CNT$ 가  $M*R$  미만이면 채널 경쟁에서 성공한 것으로 판단하고 데이터 패킷을 전송할 RU와 VTS 번호를 결정한다. 즉, OBO 카운터가  $(0 \leq CNT < M*R)$ 을 만족하는 단말만 데이터 전송 기회를 얻는다.

채널 경쟁 성공 여부를 판단할 때 사용되는  $M*R$  대신에 더 작은 값을 사용하면 채널 경쟁에서 성공한 단말 수는 줄어든다. 반대로  $M*R$ 보다 더 큰 값을

사용하면 채널 경쟁 단말 수는 증가하게 된다. 따라서 제안된 DCACP 프로토콜에서는 OBO 카운터가  $(0 \leq CNT < LMT)$ 을 만족하는 단말만 채널 경쟁 성공으로 판단하고 데이터 전송 기회를 얻는다.  $LMT$ 는 충돌 확률에 따라 가변적인 값을 갖는 변수이다.

$LMT$  값은  $M*R$ 로 초기화되며 AP가 측정된 충돌 확률에 따라 동적으로  $LMT$  값을 조절한다.  $LMT$  값을 설정하기 위해 충돌 확률과 관련된 변수 4개를 정의한다 (그림 2 참고). 가장 좋은 효율을 갖는 적정 충돌 확률 범위에서,  $Plow$ 는 가장 낮은 충돌 확률을 나타내고  $Phigh$ 는 가장 높은 충돌 확률을 나타낸다. 그리고 핑퐁 현상을 막기 위해 두 개의 충돌 확률 마진( $\delta 1, \delta 2$ )을 사용한다.

AP는 비콘 프레임 전송 주기로 충돌 확률을 측정하며  $LMT$  값을 조절한다. 측정된 충돌 확률( $Pest$ )이  $Plow$ 보다 낮으면 경쟁 단말 수를 증가시키기 위해  $LMT$  값을 1 증가시킨다.  $LMT$  값은 최대  $2*M*R$ 로 제한된다.  $Pest$ 이  $Phigh$ 보다 높으면 경쟁 단말 수를 감소시키기 위해  $LMT$  값을 1 감소시킨다.  $LMT$  값은 최소 1로 제한된다. 적정 충돌 확률 구간  $[Plow \leq Pest \leq Phigh]$ 에서  $LMT$  값은  $M*R$ 을 갖는다. 측정된 충돌 확률이 낮은 충돌 확률 구간 또는 높은 충돌 확률 구간에서 적정 충돌 확률 구간으로 진입한 경우, 한 번에  $LMT$  값은  $M*R$ 로 설정하면 채널 경쟁 단말 수의 변화가 급격하게 이뤄진다. 이를 막기 위해  $LMT$  값을 1씩 감소 또는 증가시킨다.  $Pest$ 이  $(Plow + \delta 1)$  이상이고 현재  $LMT$  값이  $M*R$ 보다 크면 낮은 충돌 확률 구간에서 적정 충돌 확률 구간으로 진입한 것으로 판단하고  $LMT$  값을 1 감소시킨다.

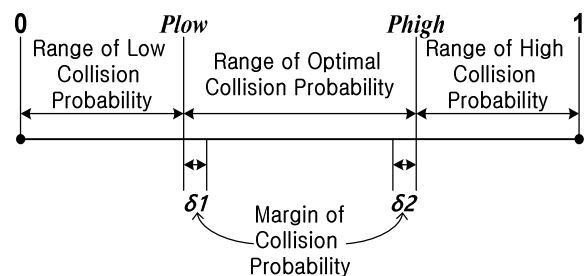


그림 2. 충돌 확률 구간  
Fig. 2. Range of collision probability

또한  $P_{est}$ 이 ( $P_{high} - \delta_2$ ) 이하이고 현재  $LMT$  값이  $M^*R$ 보다 작으면 높은 충돌 확률 구간에서 적정 충돌 확률 구간으로 진입한 것으로 판단하고  $LMT$  값을 1 증가시킨다.

측정된 충돌 확률에 따라  $LMT$  값을 조절하는 것을 수식으로 표현하면 다음과 같다.

$$LMT = \begin{cases} LMT++, & \text{if } [P_{est} < P_{low}] \\ & (M^*R < LMT \leq 2 * M^*R) \\ LMT--, & \text{if } [(P_{est} > P_{low} + \delta_1) \\ & \text{and } (LMT > M^*R)] \\ & (M^*R \leq LMT < 2 * M^*R) \\ LMT--, & \text{if } [P_{est} > P_{high}] \\ & (1 \leq LMT < M^*R) \\ LMT++, & \text{if } [(P_{est} < P_{high} - \delta_2) \\ & \text{and } (LMT < M^*R)] \\ & (1 < LMT \leq M^*R) \end{cases} \quad (3)$$

AP는  $LMT$  값을 결정하고 매 TF에 이 정보를 포함하여 모든 단말에게 브로드캐스팅한다. TF를 수신한 단말은 채널 경쟁을 수행한다.

단말들은 자신의 OBO 카운터 값의 범위에 따라 다음 3가지로 판단한다. 첫 번째, OBO 카운터가 ( $0 \leq CNT < LMT$ )을 만족하면 채널 경쟁 성공으로 판단하고 데이터 전송 기회를 얻는다. 두 번째, OBO 카운터가  $[LMT, M^*R]$  범위에 있으면 가상 충돌로 판단하고 채널 경쟁에 성공하였지만 전송 실패한 단말처럼 동작한다. 세 번째, OBO 카운터가  $M^*R$  이상이면 채널 경쟁 실패로 판단한다.

채널 경쟁에서 성공한 것으로 판단한 단말들은 다음 공식에 따라 데이터 패킷을 전송할 RU와 VTS 번호( $I_{RU}, I_{VTS}$ )를 결정한다.

$$I_{RU} = \text{Random}(0, R-1) \quad (4)$$

$$I_{VTS} = \text{Random}(0, M-1) \quad (5)$$

$I_{RU}$ 와  $I_{VTS}$ 를 결정한 단말은 해당 번호에서 데이터 패킷을 전송한다. AP는 단말로부터 데이터 패킷을 수신한 후에 디코딩 과정을 수행한다. MU-BACK를 통해 데이터 패킷의 성공 여부를 단말들에게 전달한다. 전송 성공한 단말은 OCW를  $OCW_{min}$ 으로 설정한 후, 전송 실패한 단말(가상 충돌 단말 포함)은 OCW를  $2 * OCW$ 로 증가시킨 후 OBO 카운터 값을

무작위로 선택한다. 채널 경쟁 실패한 단말은 OBO 카운터 값을  $M^*R$ 만큼 감소시킨다.

#### IV. 시뮬레이션 결과

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

시뮬레이션에서 사용된 파라미터를 표 1에 나타내었다. 데이터 패킷과 제어 패킷을 전송하기 위해 1Gbps 전송 속도를 사용하였다.  $LMT$  값을 결정하기 위한 변수  $P_{low}$ 는 0.2,  $P_{high}$ 는 0.4로 설정하였다.  $\delta_1$ 과  $\delta_2$ 는 각각  $P_{low}$ 와  $P_{high}$  값의 10%인 0.02와 0.04로 설정하였다.

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

표 1. 시뮬레이션 파라미터  
Table 1. Simulation parameters

Parameter	Value
OCW <sub>min</sub>	32
OCW <sub>max</sub>	1024
Data rate	1 Gbps
DATA	1000 bytes
Preamble	40 bytes
TF size	89 bytes
MU-BACK Size	32 bytes
Beacon period	10 ms
Slot time	9 $\mu$ s
SIFS	16 $\mu$ s
DIFS	18 $\mu$ s
Number of antennas ( $M$ )	4
Number of RUs ( $R$ )	8
$P_{low}$	0.2
$P_{high}$	0.4
$\delta_1$	0.02
$\delta_2$	0.04

그림 3은 단말 수에 따른 충돌 확률 변화를 보여 준다. MORA 프로토콜의 충돌 확률은 단말 수가 증가함에 따라 점점 커지는 것을 확인할 수 있다. 이는 많은 단말이 채널 경쟁에 참여하고 서로 충돌을 발생시키기 때문이다. 그러나 제안된 DCACP 프로토콜은 단말 수와 상관없이 낮은 충돌 확률을 보인다. 단말 수가 아주 적을 때는 DCACP 프로토콜이 MORA 프로토콜보다 약간 더 높은 충돌 확률을 갖는다. 이것은 충돌 확률이 낮은 경우에는 LMT 값을 증가시켜 더 많은 단말이 채널 경쟁에 참여하기 때문이다. 단말 수가 약 50개 이상에서는 단말 수와 상관없이 항상 일정한 값을 갖는다. 제안된 DCACP 프로토콜은 충돌 확률이 높은 경우에는 LMT 값을 감소시켜 적은 단말이 채널 경쟁에 참여하도록 한다. 따라서 가장 좋은 효율을 가질 수 있는 범위 중에서 *Phigh*와 비슷한 충돌 확률을 갖는다.

그림 4는 단말 수가 효율에 미치는 영향을 나타 낸 그림이다. MORA 프로토콜에서 단말 수가 증가함에 따라 충돌 확률이 커지기 때문에 효율은 급격히 감소한다. 그러나 DCACP 프로토콜은 단말 수와 상관없이 항상 높은 효율을 보여준다. DCACP 프로토콜은 단말 수가 증가하더라도 가장 좋은 효율을 갖기 위해 LMT 값을 감소시킨다. 따라서 적은 단말이 채널 경쟁에 참여하기 때문에 낮은 충돌 확률을 가지며 좋은 효율을 보인다. 단말 수가 아주 적은 경우에는 MORA 프로토콜보다는 우수하지만, 높은 효율을 갖지는 못한다. 이는 LMT 값을 증가시켜 더 많은 단말이 채널 경쟁에 참여하도록 유도하지만, 실제 단말 수가 워낙 적기 때문에 효율 향상에 한계가 있기 때문이다.

그림 5는 단말 수에 따른 평균 지연의 변화를 보여 준다. 두 프로토콜 모두 단말 수가 증가함에 따라 평균 지연은 점점 커지는 것을 알 수 있다. MORA 프로토콜에서는 충돌로 인해 평균 지연이 커진다. 그러나 DCACP 프로토콜에서는 일부 단말에 대해 채널 경쟁을 제한하여 백오프 시간이 길어짐에 따라 평균 지연은 커진다. 또한, 일부 단말에 대해서는 가상 충돌로 처리하여 OCW를 증가시키므로 평균 지연이 커지게 된다. 제안된 DCACP 프로토콜은 단말 수와 상관없이 항상 MORA 프로토콜보다 낮은 평균 지연을 갖는다.

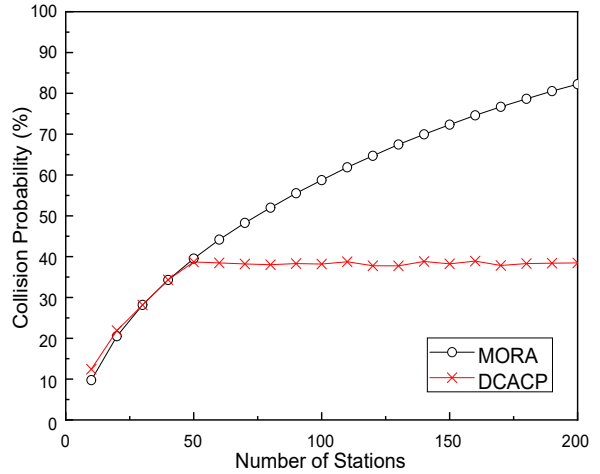


그림 3. 단말 수에 따른 충돌 확률  
Fig. 3. Collision probability according to the number of stations

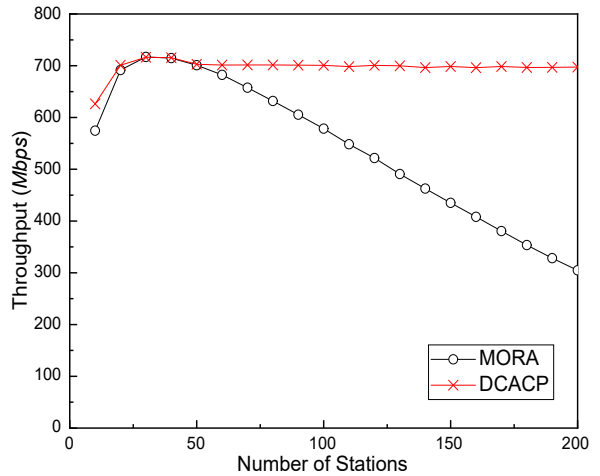


그림 4. 단말 수에 따른 효율  
Fig. 4. Throughput according to the number of stations

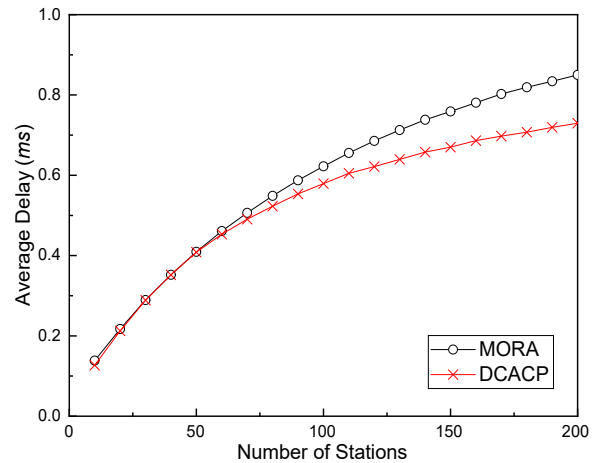


그림 5. 단말 수에 따른 평균 지연  
Fig. 5. Average delay according to the number of stations

## V. 결 론

IEEE 802.11ax 무선 랜 표준에서는 성능 향상을 위해, OFDMA라는 새로운 접근 방법과 여러 단말이 동시에 데이터 전송이 가능한 UL MU-MIMO 기술을 채택하였다. 단말들은 RU를 공유하기 위해 경쟁 기반 채널 접근 방법을 이용하기 때문에 단말 수가 증가함에 따라 높은 충돌 확률로 인해 네트워크 성능이 급격히 저하된다. 본 논문에서는 충돌 확률에 따라 경쟁 단말 수를 조절하는 프로토콜을 제안하였다. 충돌 확률이 높으면 채널 경쟁에 참여할 수 있는 백오프 카운터 범위를 작게 설정하여 경쟁 단말 수를 줄이고, 충돌 확률이 낮으면 백오프 카운터 범위를 크게하여 경쟁 단말 수를 늘려 좋은 효율을 유지하도록 하였다. 시뮬레이션을 통해 제안된 프로토콜이 기존 프로토콜보다 단말 수와 상관없이 항상 낮은 충돌 확률 및 평균 지연, 높은 효율을 가짐을 보였다. 단말 수가 100개일 때, 약 21%의 전송 효율 향상과 약 7% 낮은 지연을 보인다.

## 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] 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] E. Avdotin, D. Bankov, E. Khorov, and A. Lyakhov, "OFDMA resource allocation for real-time applications in IEEE 802.11ax networks", *IEEE International Black Sea Conference on Communications and Networking (BlackSeaCom)*, Sochi, Russia, pp. 1-3, Jun. 2019. <https://doi.org/10.1109/BlackSeaCom.2019.8812774>.

[4] 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*, Vol. 20, No.

12, pp. 3338-3350, Dec. 2021. 2020. <http://dx.doi.org/10.1109/TMC.2020.3000503>.

[5] J. Kim, H. Lee, and S. Bahk, "CRUI: collision reduction and utilization improvement in OFDMA-based 802.11ax networks", *IEEE Global Communications Conference(GLOBECOM)*, Waikoloa, HI, USA, pp. 1-6, Dec. 2019. <https://doi.org/10.1109/GLOBECOM38437.2019.9013337>.

[6] 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>.

[7] 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, 1201, Apr. 2018. <https://doi.org/10.3390/su10041201>.

[8] 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, Dec. 2020. <https://doi.org/10.1016/j.ict.2020.04.007>.

[9] S. Bhattarai, G. Naik, and J. M. Park, "Uplink resource allocation in IEEE 802.11ax", *IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Shanghai, China, pp. 1-6, May 2019. <https://doi.org/10.1109/ICC.2019.8761594>.

## 저자소개

김 선 명 (Sunmyeng 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