

MCS 레벨이 가변적인 무선랜 시스템에서 다운링크 비직교 기반 전이중 MAC 프로토콜 성능 분석

이원재*, 김재현^o

Performance Evaluation of a Downlink NOMA Based Full-Duplex MAC Protocol in a WLAN System with Variable MCS Level

Won-Jae Lee*, Jae-Hyun Kim^o

요약

전이중 통신과 비직교 다중접속은 무선랜 시스템에서 처리율 및 스펙트럼 효율성을 증가시키기 위한 기술로 고려되고 있다. 본 논문에서는 MCS 레벨이 가변적인 무선랜 시스템에서 전이중 통신과 비직교 다중접속 기술을 적용한 medium access control (MAC) 프로토콜 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 inter-node interference와 전력 할당 계수를 같이 고려한다. 따라서 업링크 노드가 데이터를 AP에게 전송할 때, AP는 다운링크 노드들에게 데이터를 동일한 주파수에서 동시에 전송 가능하다. 시뮬레이션 결과 제안하는 MAC 프로토콜이 기존의 MAC 프로토콜들에 비해 처리율 성능이 증가하는 것을 확인하였다.

Key Words : Full-duplex (FD), non-orthogonal multiple access (NOMA), wireless local area network (WLAN), medium access control (MAC), modulation and coding scheme (MCS)

ABSTRACT

Full-duplex (FD) and non-orthogonal multiple access (NOMA) are considered in wireless local area network (WLAN) system to increase throughput and spectrum efficiency. In this paper, we propose a medium access control (MAC) protocol applied NOMA and FD in WLAN system. The proposed MAC protocol considers inter-node interference and power allocation coefficient. Thus, when uplink node transmits data to the AP, the AP can transmit data to downlink nodes in the same frequency simultaneously. Simulation results show that the throughput of the proposed MAC protocol is higher than that of conventional MAC protocols.

1. 서론

IEEE 802.11 Working Group은 Wi-Fi 7에서 처리율 및 스펙트럼 효율성을 증가시키기 위한 기술로 전이중 통신 (full-duplex, FD)과 비직교 다중접속 (non-orthogonal multiple access, NOMA) 기술을 고려하고 있다^[1]. 전이중 통신은 동일한 주파수 대역에서 송신과 수신에 동시에 가능하다. 비직교 다중접속 기술은 송신기에서는 중첩 코딩, 수신기에서는 순차적 간섭 제거 기술을 사용하여 동일한 시간과 주파수 대역을 사용할 수 있다. 최근에는 무선랜 시스템에 전이중 통신을 적용한 연구 [2], [3]과 비직교 다중접속 기술을 적용한 연구 [4], [5]가 각각 진행되고 있다.

본 논문에서는 무선랜 시스템의 처리율 성능을 향상시키기 위해 전이중 통신과 비직교 다중접속 기술을 적용한 MAC 프로토콜을 제안한다. 본 논문에서 제안하는 다운링크 비직교 기반 전이중 MAC 프로토콜은 inter-node interference와 전력 할당 계수를 같이 고려하기 때문에 업링크 노드가 access point (AP)에게, AP는 다운링크 노드들에게 동시에 데이터 전송이 가능하다. 시뮬레이션 결과를 통해서 제안하는 MAC 프로토콜의 성능을 분석하였으며, 기존의 MAC 프로토콜보다 처리율 성능이 증가하는 것을 확인하였다.

* 본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소가 지원하는 미래전투체계 네트워크기술 특화연구센터 사업의 일환으로 수행되었습니다.(UD190033ED)

• First Author : (ORCID:0000-0002-2122-3292) Ajou University Department of Artificial Intelligence Convergence Network, ljmwon@ajou.ac.kr, 학생(박사과정), 정회원

o Corresponding Author : (ORCID:0000-0003-4716-6916) Ajou University Department of Electrical and Computer Engineering, jkim@ajou.ac.kr, 정교수, 종신회원

논문번호 : 202104-089-A-LU, Received April 21, 2021; Revised May 14, 2021; Accepted May 24, 2021

II. 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 시스템 모델은 하나의 AP와 N 개의 노드로 구성된다. 노드는 AP와 통신을 하는 infrastructure 환경을 가정하였으며 노드는 AP의 통신 반경 안에서 랜덤하게 분포되어 있다. AP와 노드는 이동성이 없는 상황을 고려하였으며 AP만 전이중 통신이 가능한 환경을 가정하였다. AP는 데이터를 전송할 때 비직교 쌍이 가능한 경우 두 개의 노드에게 데이터를 중첩하여 전송하고 노드는 순차적 간섭 제거가 가능하다. 전이중 통신과 비직교 다중접속 기술을 사용하기 위해서는 AP는 모든 노드의 signal to interference plus noise ratio (SINR) 정보를 알고 있어야 한다. 업링크 노드의 SINR 값은 다음과 같이 표현한다.

$$SINR_{UL} = P_N + G_N + G_{AP} - PL_{UA} - \xi - \sigma^2, \quad (1)$$

P_N 은 노드의 전송 파워, G_N , G_{AP} 는 각각 노드와 AP의 안테나 이득, PL_{UA} 는 업링크 노드와 AP 거리에 따른 경로 손실, ξ 는 잔여 자기 간섭, σ^2 은 잡음을 의미한다. 다운링크 노드의 SINR 값은 다음과 같이 표현한다.

$$SINR_{DL} = P_{AP} + G_{AP} + G_N - PL_{AD} - (P_N - 2G_N - PL_{UD}), \quad (2)$$

P_{AP} 는 AP의 전송 파워를 의미하며 PL_{AD} , PL_{UD} 는 각각 AP와 다운링크 노드 사이의 거리, 업링크 노드와 다운링크 노드 사이의 거리에 따른 경로 손실을 의미한다. 비직교 전이중 쌍을 맺기 위한 다운링크 노드들의 SINR 값은 다음과 같다.

$$SINR_{DL1} = a_1 P_{AP} + G_{AP} + G_N - PL_{AD1} - (P_N + 2*G_N + PL_{UD1}) - \sigma^2, \quad (3)$$

$$SINR_{DL2} = a_2 P_{AP} + G_{AP} + G_N - PL_{AD2} - (a_1 P_{AP} + G_{AP} + G_N - PL_{AD2}) - (P_N + 2*G_N + PL_{UD2}) - \sigma^2, \quad (4)$$

a_1 과 a_2 는 다운링크 노드들에게 할당된 전력 할당 계

수를 의미하며 $a_1 + a_2 = 1$ 이고, $a_1 < a_2$ 조건을 만족해야 한다. PL_{AD1} , PL_{AD2} , PL_{UD1} , PL_{UD2} 는 각각 AP와 첫 번째, 두 번째 다운링크 노드 사이의 거리, 업링크 노드와 첫 번째, 두 번째 다운링크 노드 사이의 거리에 따른 경로 손실을 의미한다.

III. 제안하는 MAC 프로토콜

AP는 노드들과 request to send/clear to send (RTS/CTS)를 교환하는 과정에서 모든 노드들의 SINR 정보를 획득한다. AP는 알고리즘 1을 사용하여 전송 모드를 선택한다. 전송 모드는 비직교 전이중, 전이중, 반이중 (half-duplex, HD) 전송이 가능하다. n_k 은 전체 노드 중에서 노드 k 를 의미한다. n_k 가 채널을 차지하면 업링크 노드가 되고 AP에게 RTS 패킷을 전송한다. AP는 다운링크 노드 n_m 을 선택하고 업링크 SINR 값과 다운링크 SINR 값을 계산한다. SINR 값에 따라 modulation and coding scheme (MCS) 레벨이 다르기 때문에 데이터 전송 완료 시점이 달라질 수 있다. 따라서 SINR 값이 작은 쪽 $SINR_{min1}$ 을 선택한다. $SINR_{min1}$ 값이 SINR 임계값 δ 보다 클 경우 AP는 비직교 전이중 쌍이 가능한 노드를 찾는다. $SINR_{min1}$ 값이 δ 보다 작을 경우에는 반이중 통신만 가능하다. AP는 비직교 전이중 쌍이 가능한 노드들을 찾기 위해서 (3), (4)번 수식을 사용

알고리즘 1. 전송 모드 선택 알고리즘
Algorithm 1. Transmission mode selection algorithm

Algorithm 1: Transmission mode selection algorithm

- 1: Node n_k wins the channel
 - 2: AP selects node n_m
 - 3: Calculates $SINR_{UL}, SINR_{DL}$
 - 4: $SINR_{min1} \leftarrow \min(SINR_{UL}, SINR_{DL})$
 - 5: **if** $SINR_{min1} \geq \delta$ **then**
 - 6: **for** $i=1:N$ **do**
 - 7: Calculates $SINR_{DL1}, SINR_{DL2}$ with n_m, n_i
 - 8: $SINR_{min2} \leftarrow \min(SINR_{DL1}, SINR_{DL2})$
 - 9: **if** $SINR_{min2} \geq \delta$ **then**
 - 10: $G[i] = 1$
 - 11: **end if**
 - 12: **end for**
 - 13: **if** $G \geq 1$ **then**
 - 14: AP selects another node with G
 - 15: AP operates NOMA-FD mode
 - 16: **else**
 - 17: AP operates FD mode
 - 18: **end if**
 - 19: **else**
 - 20: AP operates HD mode
 - 21: **end if**
-

하여 $SINR_{DL1}$ 과 $SINR_{DL2}$ 를 계산한다. SINR 중 작은 값 $SINR_{min2}$ 을 기준으로 δ 을 넘게 되면 비직교 전이중 쌍이 가능한 노드들의 그룹 G 에 기록한다. AP는 G 를 사용하여 비직교 전이중 쌍이 가능한 노드들을 선택한다. 선택한 결과와 MCS 레벨을 CTS 패킷에 포함하여 다운로드 노드들에게 전송한다. AP에게 CTS 패킷을 받은 다운로드 노드들은 순차적으로 CTS 패킷을 AP에게 전송한다. 그 이후, 업링크 노드는 AP에게, AP는 다운로드 노드들에게 데이터를 동시에 전송한다. 데이터를 전송한 후 다운로드 노드들과 AP는 순차적으로 ACK 패킷을 전송한다. 그룹 G 가 비어있으면 전이중 통신만 가능하다.

IV. 성능 평가

4.1 시뮬레이션 환경

본 논문의 시뮬레이터는 시스템 모델을 기반으로 MATLAB을 이용하여 구현하였다. AP와 노드의 송신 전력, 안테나 이득, 패킷 크기 등의 시뮬레이션 파라미터는 무선랜 표준인 IEEE 802.11ac 값을 사용하였다. 노드의 위치는 AP 통신 반경 20 m 내에 랜덤하게 분포하도록 설정하였으며, 노드의 개수를 5 ~ 50개로 증가 시키며 각각에 대해 1,000번씩 시뮬레이션을 수행하였다. MCS 레벨은 변조 및 부호화 방식 수준을 의미하며 SINR 값이 높을수록 전송 속도가 증가하며 표 1과 같다. AP의 자기 간섭 제거 수치는 110 dB이다. 또한 AP와 모든 노드는 항상 전송할 데이터가 존재하는 saturation 상황을 가정하였다.

표 1. SINR 값에 따른 데이터 전송속도와 MCS 레벨
Table 1. Data rate and MCS level according to SINR

SINR	Data rate	MCS level
11 dB	18 Mbps	2
13 dB	24 Mbps	3
18 dB	36 Mbps	4
22 dB	48 Mbps	5
24 dB	54 Mbps	6

4.2 시뮬레이션 결과

그림 1은 노드 개수에 따른 처리율의 변화를 나타낸다. 기존의 MAC 프로토콜 [2], [4]와 제안하는 MAC 프로토콜의 성능을 비교 분석하였다. 처리율은 수신한 데이터의 총량을 시간으로 나누어 계산하였다. [2], [4]의 경우 노드의 개수가 증가할수록 충돌 확률

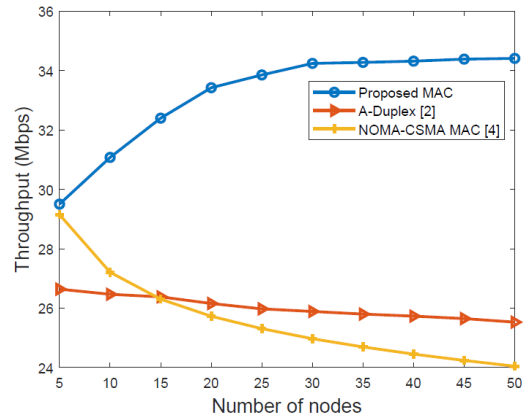


그림 1. 노드 개수에 따른 처리율 변화
Fig. 1. Throughput based on the number of nodes

이 증가하기 때문에 처리율이 감소한다. 하지만 제안하는 MAC 프로토콜의 경우 노드의 개수가 증가할수록 충돌 확률이 증가하지만 비직교 전이중 쌍 확률도 같이 증가한다. 따라서 충돌 확률의 증가에 따른 처리율 감소보다 비직교 전이중 쌍 확률의 증가에 따른 처리율 이득이 더 크기 때문에 처리율이 증가한다. 또한, 노드의 개수가 증가할수록 [2]는 전이중 쌍 확률이 증가하지만 [4]는 AP가 채널을 차지할 확률이 감소하게 된다. 따라서 [2]의 처리율 성능이 [4]보다 더 증가하게 된다.

V. 결론

본 논문에서는 MCS 레벨이 가변적인 무선랜 시스템에서 다운로드 비직교 기반 전이중 MAC 프로토콜을 제안하였다. 제안하는 방식은 inter-node interference와 전력 할당 계수를 같이 고려하여 기존의 MAC 프로토콜보다 처리율을 향상시킬 수 있다. 시뮬레이션 결과 기존의 MAC 프로토콜과는 달리 노드의 개수가 증가하여도 비직교 전이중 쌍 확률이 증가하기 때문에 처리율 성능이 증가하였다.

References

[1] E. Khorov, I. Levitsky, and I. F. Akyildiz, "Current status and directions of IEEE 802.11be the future Wi-Fi 7," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 88664-88688, May 2020.

[2] A. Tang and X. Wang, "A-Duplex: Medium access control for efficient coexistence

- between full-duplex and half-duplex communications,” *IEEE Trans. Wirel. Commun.*, vol. 14, no. 10, pp. 5871-5885, Oct. 2015.
- [3] J. K. Kim and J. H. Kim, “Analysis the effect of MCS level on full duplex WLAN performance,” *J. KICS*, vol. 44, no. 8, pp. 1486-1487, Aug. 2019.
- [4] Md. F. Uddin, “Throughput performance of NOMA in WLANs with a CSMA MAC protocol,” *Wireless Net.*, no. 25, pp. 3365-3384, Aug. 2019.
- [5] E. Khorov, A. Kureev, I. Levitsky, and I. F. Akyildiz, “Prototyping and experimental study on non-orthogonal multiple access in wi-fi networks,” *IEEE Net.*, vol, 34, no. 4, pp. 210-217, Jul.-Aug. 2020.