무선랜 환경에서 다운링크 NOMA 기반 전이중 MAC 프로토콜 성능분석

이원재° 김재현°°

아주대학교 AI 융합네트워크학과° 아주대학교 전자공학과°°

Performance Evaluation Full-Duplex MAC Protocol Based on Downlink NOMA in WLANs

Won-Jae Lee° Jae-Hyun Kim°°

Dept. of Artificial Intelligence Convergence Network, Ajou University°

Dept. of Electronics and Computer Engineering, Ajou University°°

ljmwon@ajou.ac.kr jkim@ajou.ac.kr

요 약

전이중 통신과 non-orthogonal multiple access (NOMA) 기술을 사용하기 위해서는 inter-node interference 와 전력할당계수를 고려해야한다. 본 논문에서는 네트워크 처리율을 증가시키기 위해 다운링크 NOMA 기반 전이중 medium access control (MAC) 프로토콜을 제안하였다. 성능분석 결과 기존에 전이중 MAC 프로토콜에 비해 처리율이 향상되었다.

1. 서론

차세대 이동통신의 성능 요구사항을 만족시키기 위한 핵심 기술로 전이중 통신과 non-orthogonal multiple access (NOMA)가 있다. 전이중 통신은 동일한 주파수 내에서 송신과 수신이 동시에 가능한 기술이다. 전이중 통신 기술은 반이중 통신에 비해서 이론적으로 2 배의 성능을 증가시킬 수 있다. 과거에는 자기간섭으로 인해 전이중 통신이 불가능했지만 최근에는 자기간섭제거 기술이 개발됨에 따라 전이중 통신이 가능해졌다. NOMA 는 동일한 시간, 주파수내에서 다수의 사용자들에게 데이터를 전송할 수 있는 기술이다. 송신기에서는 중첩 코딩을 통해 데이터를 전송하고 수신기에서는 순차적 간섭 제거를 수행하여 원하는 데이터를 디코딩 할 수 있다. 최근에는 무선랜 환경에서 전이중 통신을 활용한 medium access control (MAC) 프로토콜과 NOMA 를 활용한 MAC 프로토콜 연구가 각각 진행중이다 [1], [2]. 하지만 처리율 및 주파수 효율성을 증가시키기 위해서 두 가지 기술을 결합한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 다운링크 NOMA 기반 전이중 MAC 프로토콜을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜에서 access point (AP)는 inter-node interference 를 고려하고 전력할당계수를 계산하여 적합한 다운링크 노드들을 선택한다. 제안하는 MAC 프로토콜을 기존에 전이중 MAC 프로토콜과 처리율에 대하여 비교 분석하였다.

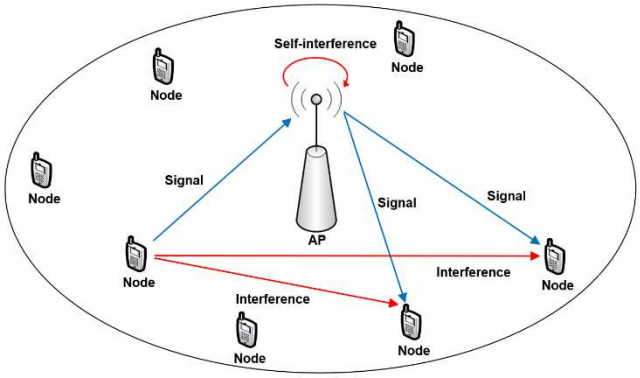

그림 1. 시스템 모델

2. 제안하는 MAC 프로토콜

본 논문에서의 시스템 모델은 그림 1 과 같다. 1 개의 AP 와 N 개의 노드로 구성된다. AP 만 전이중 통신이 가능하며 나머지 노드들은 반이중 통신만 가능하다. AP 는 데이터를 전송할 때 데이터 신호를 중첩하여 전송하다. 노드들은 순차적 간섭 제거가 가능하다.

다운링크 NOMA 기반 전이중 통신을 하기 위해서는 AP 는 모든 노드의 signal to interference plus noise ratio (SINR) 정보를 알고 있어야 한다. AP 는 다른 노드들과 request to send/clear to send (RTS/CTS) 패킷을 교환하는 과정에서 모든 노드의 SINR 정보를 획득한다. 업링크와 다운링크의 SINR 이 SINR 임계값을 넘으면 전이중이 쌍 매칭이 가능하다. 전이중

쌍 매칭이 가능한 경우 AP 는 다운링크 SINR 정보를 가지고 전력할당계수를 계산한다.

$$a_1 + a_2 = 1 \text{ (where}, a_1 < a_2), \quad (1)$$

$$SINR_{DL1} = \frac{a_1 * P_{AP} * PL(d_{AN1})}{P_U * PL(d_{NN1}) + \sigma^2}, \quad (2)$$

$$SINR_{DL2} = \frac{a_2 * P_{AP} * PL(d_{AN2})}{a_1 * P_{AP} * PL(d_{AN2}) + P_U * PL(d_{NN1}) + \sigma^2}, \quad (3)$$

a_1과 a_2는 다운링크 노드 선택을 위한 전력할당계수를 의미한다. P_{AP}, P_N은 각 AP 와 업링크 노드의 전송파워, PL_{AN1}, PL_{AN2}, PL_{NN}은 각각 AP 와 다운링크 노드 1, AP 와 다운링크 노드 2, 업링크 노드와 다운링크 노드의 사이 거리에 따른 path loss 이며 σ^2은 noise 를 의미한다. $SINR_{DL1}$과 $SINR_{DL2}$이 SINR 임계값을 넘으면 AP 는 NOMA 쌍 매칭에 대한 정보를 기록한다.

제안하는 MAC 프로토콜의 동작 과정은 다음과 같다. 노드 중에 backoff 가 0 이 된 노드는 채널을 차지한다. 채널을 차지한 노드는 RTS 패킷을 AP 에게 전송한다. AP 는 전이중 NOMA 쌍 매칭이 가능한 경우 노드들의 선택 결과를 CTS 패킷에 포함하여 전송한다. AP 에게 선택받은 노드들은 순차적으로 CTS 패킷을 전송한다. 채널을 차지한 노드는 AP에게 AP는 선택한 노드들에게 데이터 동시에 전송한다. 데이터를 수신한 AP 와 노드들은 순차적으로 ACK 를 전송한다. NOMA 쌍 매칭이 불가능한 AP 는 전이중 쌍 매칭이 가능한 노드에게 CTS 를 보낸다. 채널을 차지한 노드는 AP 에게 AP 는 전이중 쌍 매칭이 가능한 노드에게 데이터를 동시에 전송한다. 데이터를 수신한 AP 와 노드는 순차적으로 ACK 패킷을 전송한다. 노드가 채널을 차지하였을 때 전이중 쌍 매칭이 불가능한 경우에는 기존에 CSMA/CA 에 동일하게 동작한다. AP 가 채널을 차지한 경우 AP 는 전력할당계수를 계산하여 노드를 선택하고 두 개의 노드에게 데이터를 동시에 전송한다.

3. 성능분석

노드의 위치는 AP 의 반경 20 m 안에서 랜덤하게 배치하였다. 노드의 개수는 10~100 개로 증가시키면서 시뮬레이션을 수행하였다. AP 의 자기간섭제거는 110 dB 까지 가능하다고 가정하였다. 시뮬레이션 파라미터는 IEEE 802.11ac 표준을 기반으로 수행하였다. 또한, SINR 임계 값은 11 dB 이며 전송속도는 18 Mbps 로 설정하였다. Path loss 모델은 802.11ax simulation scenario 모델을 적용하였다.

그림 2 는 노드 개수에 따른 처리율의 변화를 나타낸다. A-Duplex [1]의 경우 노드의 개수가 증가할수록 전이중 쌍 매칭 확률이 증가하지만 노드들끼리 충돌 확률도 증가한다. 노드들끼리 충돌로 인한 처리율 감소가 전이중 통신으로 인한 이득보다 크기 때문에 처리율이 감소한다. 반면에 다운링크 NOMA 기반 전이중 MAC 프로토콜의 경우 노드의 개수가 증가할수록 전이중 쌍 매칭 확률, NOMA 쌍 매칭 확률, 노드들끼리 충돌 확률이 증가한다. 따라서 전이중 쌍 매칭 확률과 NOMA 쌍 매칭 확률 증가로 인한 이득이 충돌로 인한 감소보다 크기 때문에 처리율이 증가한다.

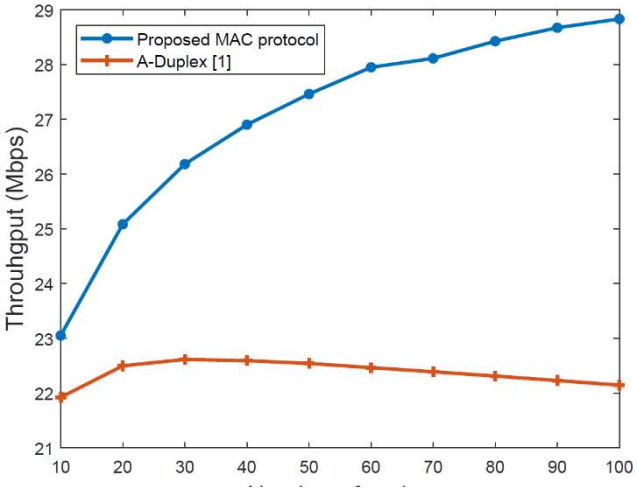

그림 2. 노드 개수에 따른 처리율 변화

4. 결론

본 논문에서는 처리율을 향상을 위한 다운링크 NOMA 기반 전이중 MAC 프로토콜을 제안하였다. 성능분석 결과 제안한 MAC 프로토콜은 노드의 개수가 증가해도 NOMA 쌍 매칭 확률이 증가하기 때문에 처리율이 성능이 증가하였다. 또한, 기존의 전이중 MAC 프로토콜에 비해 처리율이 향상되는 것을 확인하였다.

5. Acknowledge

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

6. 참고문헌

[1] A. Tang and X. Wang, “A-Duplex: Medium Access Control for Efficient Coexistence between Full Duplex and Half Duplex Communications,” *IEEE Transactions on Wireless Communications*, vol. 14, no. 10, pp. 5871-5885, Oct. 2015.

[2] P. K. Sangdeh, et al., “A Practical Downlink NOMA Scheme for Wireless LANs,” IEEE *Transactions on Communications*, vol. 68, issue 4, pp. 2236 - 2250, Apr. 2020.