

상향링크 NOMA 기반 전이중 MAC 프로토콜 성능분석

강정화, 김재현*

아주대학교 AI융합네트워크학과, *아주대학교 전자공학과

{kjh990220, *jkim}@ajou.ac.kr

Performance Analysis of Full-Duplex based Uplink NOMA MAC Protocol

Jung Hwa Kang and Jae-Hyun Kim*

Department of AI Convergence Network, Ajou Univ,

*Department of Electrical and Computer Engineering, Ajou Univ.

요약

본 논문은 무선랜 네트워크 성능 향상을 위해 전이중 통신과 상향링크 non-orthogonal multiple access (NOMA)를 이용한 새로운 medium access control 프로토콜을 제안한다. 상향링크 NOMA의 패킷 충돌 확률을 줄이기 위해 채널 상태에 따른 전력 할당 계수를 고려하여 전력 수준을 선택하는 전력 할당 방식을 제안한다. 분석 결과 제안된 기법이 전이중 통신만을 사용했을 때와 반이중 통신만을 사용했을 때보다 처리율이 증가한다.

I. 서론

차세대 무선 통신 네트워크의 성능을 높이는데 필요한 핵심요소로 전이중 통신과 non-orthogonal multiple access (NOMA)가 있다 [1]. 전이중 통신은 동시에 동일한 주파수에서 송수신 할 수 있도록 함으로써 반이중 통신보다 이론상 처리율이 두 배로 증가할 수 있다. 전이중 통신에서 송신 신호는 자신의 수신단에 간섭으로 작용하지만, 자기 간섭 제거 기술의 개발로 전이중 통신을 가능하게 한다. NOMA는 동일한 시간, 주파수 내에서 다수의 사용자에게 데이터를 전송할 수 있는 기술이다. 상향링크 NOMA는 두 송신기가 각각의 정보 신호를 적절한 전력 수준으로 보내면, 수신기가 중첩된 신호를 수신하게 된다. 수신기에서는 수신된 복합 다중 신호를 순차적 간섭 제거를 이용하여 차례로 디코딩한다.

기존의 논문에서는 전이중 통신과 NOMA를 이용한 연구가 진행되고 있지만 [2], [3], 무선랜 환경에서 상향링크 NOMA와 전이중 통신 기술을 모두 고려한 연구는 미비하다.

따라서 본 논문에서는 carrier sense multiple access with collision avoidance (CSMA/CA)를 기반으로 하는 상향링크 NOMA 전이중 통신 medium access control (MAC) 프로토콜을 제안한다. Access point (AP)는 노드들의 signal to interference plus noise ratio (SINR) 정보를 통해 상향링크 노드와 하향링크 노드의 전이중 통신 적합성을 판단하고 상향링크 노드의 전력 할당 계수를 고려하여 전력 수준을 선택하는 전력 할당 방식을 제안한다. 제안하는 MAC 프로토콜은 기존의 전이중 통신만 사용했을 때, 반이중 통신만을 사용했을 때와 비교하여 처리율을 분석하였다.

II. 제안하는 MAC 프로토콜

1. 시스템 모델

본 논문에서 고려하는 시스템 모델은 그림 1과 같다. 1개의 AP와 N 개의 노드로 구성되어 있고, AP만 전이중 통신이 가능하고 나머지 노드들은 반이중 통신만 가능하다. 상향링크 노드들은 동시에 데이터를 전송하고 AP는 전송받은 신호 중 수신 전력이 큰 노드의 신호를 먼저 디코딩한다.

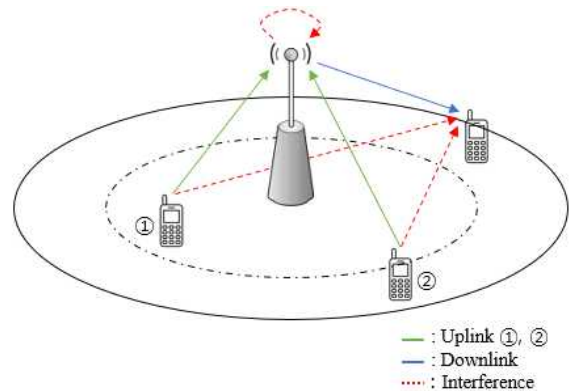


그림 1. 시스템 모델

2. 전력 할당 계수

AP는 모든 노드의 SINR 정보를 알고 주기적으로 신호를 노드에 보냄으로써, 노드는 자신의 SINR 정보를 안다고 가정한다. 상향링크 쌍이 동시에 패킷을 전송할 때, 상향링크 노드들의 전송 전력은 $P_i = \lambda_i P$ 로 나타낼 수 있으며, P 는 노드의 최대 전송 전력이고, λ 는 상향링크 쌍의 전력 할당 계수를 나타낸다. 상향링크 쌍의 두 번째 노드가 첫 번째 노드보다 더 멀리 있다면, 첫 번째 노드가 더 큰 전력으로 전송을 해야 순차적 간섭 제거가 가능하다. 따라서 이 경우에는 첫 번째 노드가 더 큰 전력 할당 계수를 갖게 된다 ($\lambda_1 > \lambda_2$).

상향링크 NOMA가 성공적으로 이루어지려면, AP에서 수신한 상향링크 쌍의 SINR은 다음과 같은 조건을 만족한다.

$$SINR_1 = \frac{\lambda_1^* P^* PL_{(1-AP)}}{\lambda_2^* P^* PL_{(2-AP)} + \zeta + \sigma^2} > \beta, \quad (1)$$

$$SINR_2 = \frac{\lambda_2^* P^* PL_{(2-AP)}}{\zeta + \sigma^2} > \beta, \quad (2)$$

이를 통해 전력 할당 계수를 구하면 다음과 같다.

$$\lambda_1 = \frac{\beta^*(\zeta + \sigma^2) + \zeta + \sigma^2}{P^* PL_{(1-AP)}}, \quad (3)$$

$$\lambda_2 = \frac{\beta^*(\zeta + \sigma^2)}{P^* PL_{(2-AP)}}. \quad (4)$$

$PL_{(i-j)}$ 는 i 와 j 사이의 거리에 따른 경로 손실이고 ζ 는 잔여 자기 간섭이고, σ^2 은 노이즈이며, β 는 상향링크 NOMA가 성공적으로 이루어질 SINR 임계값이다.

AP에서는 순차적 간섭 제거가 가능한데 이를 이용하여 중첩된 두 신호를 차례로 구분할 수 있다. 중첩된 수신 신호에서 전력 할당 계수가 큰 첫 번째 노드의 신호를 먼저 디코딩한다. 이때 두 번째 노드의 신호를 간섭으로 여기고 첫 번째 노드의 신호를 디코딩한다. 그리고 AP가 수신한 신호에서 첫 번째 노드의 신호를 빼고 두 번째 신호를 디코딩 한다.

III. MAC Procedure

본 논문에서 제안하는 MAC 프로토콜의 절차는 다음과 같다. CSMA/CA를 기반으로 노드 중 backoff counter가 0이 된 노드가 채널을 차지하게 된다.

한 개의 노드가 채널을 차지하면 먼저 전이중 통신이 가능한지 판단한다. 만약 전이중 통신이 가능하면, 상향링크 NOMA가 가능한지 판단하는데, 상향링크 NOMA가 가능하면, 채널을 차지한 노드는 AP에게 RTS 패킷을 보내고 AP는 모든 노드의 SINR 정보를 알고 있으므로 전이중과 상향링크 NOMA가 가능한 노드의 선택 결과를 CTS 패킷에 담아 선택된 노드들에게 전송한다. 상향링크 NOMA 쌍은 AP에게, AP는 하향링크 노드에 데이터를 동시에 전송한다. 데이터를 수신한 AP와 하향링크 노드는 순차적으로 ACK 패킷을 전송한다, 만약 상향링크 NOMA가 불가능하고 전이중 통신만 가능할 때는 채널을 차지한 노드는 AP에게 AP는 전이중 노드에게 데이터를 동시에 전송한다. 마찬가지로 데이터를 수신한 AP와 AP로부터 데이터를 수신한 노드가 순차적으로 ACK를 전송한다. 전이중 통신이 불가능하고 상향링크 NOMA만 가능한 경우에는 상향링크 쌍이 AP에게 데이터를 보내게 되고 AP가 상향링크 쌍에 ACK를 순차적으로 보내게 된다. 만약 전이중 통신과 상향링크 NOMA가 모두 불가능하거나 AP가 채널을 차지하면 반이중 통신으로 작동한다. 또한 AP와 노드가 동시에 채널을 차지하거나 둘 이상의 노드가 동시에 채널을 차지하면 충돌이 발생한다.

IV. 성능분석

시뮬레이션의 파라미터는 IEEE 802.11ac를 기반으로 한다. 노드는 AP의 반경 20 m 안에서 랜덤하게 배치되어있으며, 노드의 개수는 4~40으로 증가한다. AP의 자기 간섭 제거는 110 dB까지 가능하며, SINR 임계값은 11 dB이고 MCS level은 2로 data rate는 18 Mbps이다.

그림 2는 시뮬레이션 결과로 노드 개수에 따른 처리율의 변화를 나타낸다. 반이중 통신의 경우 노드의 개수가 증가할수록 충돌 횟수가 증가하여 처리율이 줄어든다. 전이중 통신의 경우에는 노드 개수가 적을 때 처리율이 급격히 증가하며, 노드 수가 40일 때 최대 24 Mbps의 처리율을 갖는다. 제안한 상향링크 NOMA 기반 전이중 통신은 상향링크 노드 쌍과 전이중 노드 쌍 매칭 확률이 증가하기 때문에 노드 수가 증가할수록 처리율이 증가하고 노드 수가 40일 때 기존 전이중 통신 처리율보다 높은 29 Mbps

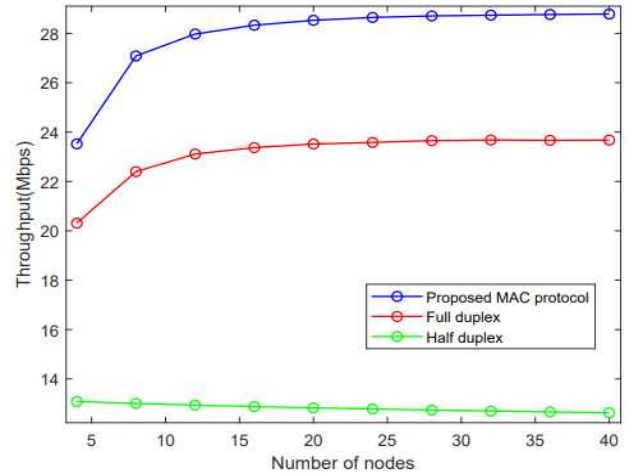


그림 2. 노드 개수에 따른 처리율 변화

의 처리율을 갖는다. 따라서 기존의 전이중 통신만을 사용했을 때, 반이중 통신만을 사용했을 때보다 제안하는 MAC 프로토콜을 사용했을 때의 처리율 성능이 가장 좋은 것을 확인할 수 있다.

V. 결론

본 논문에서는 처리율 향상을 위한 상향링크 NOMA 기반 전이중 MAC 프로토콜을 제안한다. 기존의 상향링크 NOMA의 패킷 충돌 확률을 줄이기 위해 거리에 따른 전력 할당 계수를 고려하여 전력 수준을 선택하는 전력 할당 방식을 사용한다. 성능분석 결과 제안한 MAC 프로토콜은 노드의 개수가 증가하면, 상향링크 NOMA 쌍과 전이중 쌍 확률이 증가하기 때문에 처리율이 증가한다. 또한, 전이중 MAC 프로토콜과 반이중 MAC 프로토콜에 비해 처리율이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참고 문헌

- [1] Y. Liu, Z. Qin, M. El-kashlan, Z. Ding, Nallanathan, Arumugam, Hanzo and Lajos, "Non-orthogonal multiple access for 5G and beyond", Proceedings of the IEEE, vol. 105, no. 12, pp. 2347-2381, Dec. 2017.
- [2] D. Xu, X. Yu, Y. Sun, D. W. K. Ng and R. Schober, "Resource Allocation for IRS-Assisted Full-Duplex Cognitive Radio Systems", IEEE Transactions on Communications, vol. 68, no. 12, pp. 7376-7394, Dec. 2020.
- [3] X. Xie, Y. Bi and X. Nie, "Performance Analysis of Uplink Cooperative NOMA System with an AF Relay", 2020 IEEE 20th International Conference on Communication Technology (ICCT), pp. 178-181, Oct. 2020.