

# Full duplex 단말과 Half duplex 단말이 혼재된 WLAN 시스템에서 Throughput 성능 분석

김진기<sup>o</sup>, 김재현

아주대학교 전자공학과

## Analysis of Throughput Performance in WLAN system Consist of Both Full Duplex and Half Duplex Nodes

Jin-Ki Kim<sup>o</sup>, Jae-Hyun Kim

Electrical and Computer Engineering, Ajou University

kjkcop@ajou.ac.kr, jkim@ajou.ac.kr

### 요 약

좁은 공간에 많은 수의 단말 및 AP 가 밀집되어 있는 WLAN 환경에서 한정된 자원을 효율적으로 사용하기 위해 full duplex MAC 기술이 연구되고 있다. 지금까지 full duplex 와 관련된 연구들은 모든 단말이 full duplex 단말이거나, full duplex 를 지원하지 않는 legacy 단말인 경우에 대해서만 성능을 분석하였다. 따라서 본 논문에서는 full duplex 단말과 legacy 단말이 모두 존재하는 환경에서 full duplex 단말의 비율에 따른 네트워크 성능을 분석하였다. 성능 분석 결과 full duplex 단말의 비율이 증가함에 따라 throughput 이 증가하였다.

### 1. 서론

최근 많은 수의 스마트 디바이스가 시중에 보급됨에 따라 이를 수용하기 위해 AP 개수도 증가하였으며, 좁은 공간에 많은 수의 단말과 AP 가 존재하는 밀집된 형태의 WLAN 환경으로 변화하였다. 이와 같은 환경에서 네트워크의 성능을 향상시키기 위해 full duplex 통신이 한가지 방안으로 떠오르고 있다. 하지만 full duplex 통신을 하기 위해서는 SIC (Self Interference Cancellation) 기술이 필요하기 때문에 legacy 단말은 full duplex 통신이 불가능하다. 따라서 기존에 진행된 대부분의 연구에서는 모든 단말이 full duplex 인 환경과 AP 만 full duplex 통신이 가능한 환경 2 가지에 대해서만 성능분석을 진행하였다. 실제 환경에서는 full duplex 단말이 점진적으로 증가할 것이기 때문에, full duplex 단말과 legacy 단말이 한 네트워크에 존재하는 경우가 발생한다. 따라서 본 논문에서는 full duplex 단말과 legacy 단말이 동시에 존재하는 환경에서 full duplex 단말의 비율에 따른 네트워크의 성능을 분석한다.

### 2. 적용한 MAC 프로토콜

본 논문에서는 full duplex 단말과 legacy 단말이 모두 존재하는 환경에서 네트워크 성능을 분석하기 위해 [1], [2]에서 제안한 MAC 프로토콜을 적용한다.

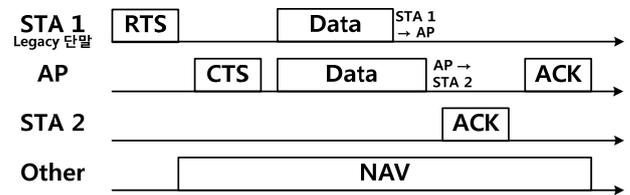


그림 1. Legacy 단말이 채널을 access 하는 경우

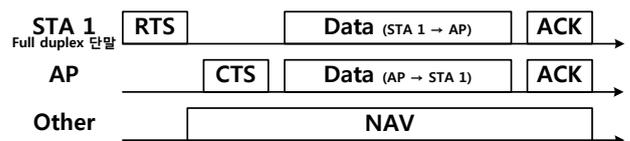


그림 2. Full duplex 단말이 채널을 access 하는 경우

그림 1 은 legacy 단말이 채널을 access 하는 경우를 나타낸다 [1]. Legacy 단말인 STA 1 이 AP 에게 AP 는 STA 2 에게 데이터를 전송한다. STA 1 이 AP 에게 전송하는 신호는 STA 2 에게 간섭으로 작용하기 때문에 AP 는 조금 낮은 전송 속도인 capture rate 로 데이터를 전송한다. Legacy 단말이 데이터를 전송할 때, AP 가 전송할 데이터가 없으면 기존 half duplex 와 동일한 형태로 STA 1 만 데이터를 전송한다. 그림 2 는 full duplex 단말이 채널을 access 하는 경우를 나타낸다 [2]. STA 1 은 AP 에게, AP 는 STA 1 에게 데이터를 전송하기 때문에 간섭이 존재하지 않는다. 따라서 AP 와 STA 1 이 동일한 전송 속도로 데이터를 전송한다. AP 가 채널을 access 하는 경우

legacy 단말에게 데이터를 전송하는 경우와 full duplex 단말에게 데이터를 전송하는 경우 2 가지로 나눌 수 있다. 우선 legacy 단말에 데이터를 전송하는 경우는 기존 half duplex 와 동일한 형태로 AP 만 legacy 단말에게 데이터를 전송한다. 반대로 full duplex 에게 데이터를 전송하는 경우에는 AP 는 full duplex 단말에게, full duplex 단말은 AP 에게 데이터를 전송한다.

### 3. 성능 분석

적용된 MAC 프로토콜이 CSMA/CA 기반이므로, [3]의 저자가 분석한 802.11 DCF throughput 수식을 이용하여 legacy 단말과 full duplex 단말이 모두 존재하는 환경의 saturation throughput 수식을 구하면 다음과 같다.

$$S = \frac{\left( P_{AP} + \frac{N_F}{N_S} P_{AP} + P_L(1 + P_{ca}) + 2P_F \right) L_{Data}}{(1 - P_{busy})T_{slot} + P_{AP}T_{AP} + P_L T_L + P_F T_F + P_{col} T_{col}} \quad (1)$$

$P_{AP}, P_L, P_F$  는 AP 와 legacy, full duplex 단말이 데이터 전송에 성공할 확률,  $N_S, N_F$  는 전체 단말 수와 full duplex 단말의 수,  $P_{ca}$  는 capture rate 로 데이터 전송에 성공할 확률,  $L_{Data}$  는 data 의 크기,  $P_{busy}, P_{col}$  은 채널이 busy 할 확률과 충돌이 발생할 확률,  $T_{slot}, T_{col}$  은 1 slot 시간과 충돌 시간,  $T_{AP}, T_L, T_F$  는 AP 와 legacy, full duplex 단말이 전송하는데 걸리는 시간을 의미한다.

표 1 은 시스템 파라미터를 나타낸다. 802.11ac 환경과 동일한 파라미터를 사용하였으며, contention window 의 최소 크기는  $2^4$ , 최대 크기는  $2^{10}$  으로 설정하였다.

그림 3 은 단말의 전체 수가 10, 20, 30, 40 개 일 때, full duplex 단말 비율에 따른 throughput 을 나타낸다. Full duplex 단말의 비율이 0% 일 때는 AP 만 full duplex 통신을 지원하는 환경이며, 100% 일 때는 단말도 모두 full duplex 통신을 지원하는 경우이다. 전체 단말의 수가 증가함에 따라 throughput 이 조금 감소한 것을 확인할 수 있는데, 이는 단말의 수가 증가함에 따라 충돌 발생 확률이 높아지기 때문이다. 하지만 성능에 크게 영향을 주는 수준은 아니다. 또한 full duplex 단말 비율이 증가함에 따라 throughput 이 증가하는 것을 확인할 수 있다. 이는 saturation 환경을 가정했기 때문에 AP 와 단말들이 항상 전송해야 하는 데이터를 가지고 있으며, 이로 인해 full duplex 단말의 비율이 증가할수록 AP 가 full duplex 단말과 통신할 확률 및 full duplex 단말이 채널 access 에 성공할 확률이 높아지므로, full duplex pair 가 생성될 확률이 높아지기 때문이다.

표 1. 시스템 파라미터

Parameter	Value	Parameter	Value
Payload	1500 Bytes	RTS	20 Bytes
Link rate	18 Mbps	CTS	14 Bytes
Capture rate	12 Mbps	ACK	14 Bytes
Slot time	9 $\mu$ s	SIFS	16 $\mu$ s
DIFS	34 $\mu$ s		

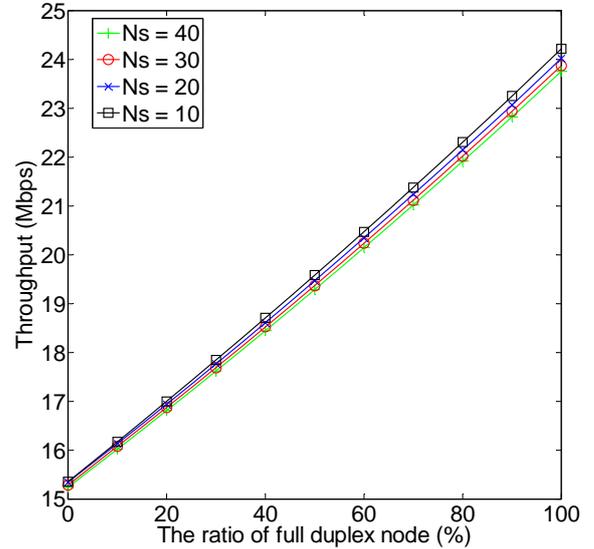


그림 3. Full duplex 단말 비율에 따른 throughput

### 4. 결론

본 논문에서는 네트워크에 full duplex 단말과 legacy 단말이 함께 존재하는 환경에서 full duplex 단말의 비율에 따른 네트워크 throughput 을 분석하였다. 성능 분석 결과 전체 단말의 수가 증가할수록 충돌 발생 확률이 증가하여 throughput 이 조금씩 감소하였으며, full duplex 단말의 비율이 증가할수록 full duplex pair 가 생성될 확률이 높아져 throughput 이 증가하는 것을 확인할 수 있었다.

### 5. Acknowledge

본 연구는 미래창조과학부 및 정보통신기술연구진흥센터의 정보통신·방송연구개발사업의 일환으로 수행하였음. [B0101-15-1367, 고성능, 고효율의 차세대 무선랜 무선전송 원천기술 개발]

### 6. 참고 문헌

- [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, Pages 5871-5885. Oct. 2015.
- [2] J. K. Kim, H. R. Cheon, D. H. Lee, J. H. Kim. "Novel Full Duplex MAC Protocol Based on CSMA/CA," *Proceedings of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp.948-949, Jun. 2016
- [3] G. Bianchi, "Performance analysis of the IEEE 802.11 distributed coordination function," *IEEE J. Sel. Areas Commun.*, vol. 18, no. 3, pp. 535-547, Mar. 2000