

CSMA/CA 기반 Novel Full Duplex MAC 프로토콜

김진기, 천혜림, 이동학, 김재현

아주대학교 전자공학과

kjkcop@ajou.ac.kr, hyerimn1@ajou.ac.kr, inspire109@ajou.ac.kr, jkim@ajou.ac.kr

Novel Full Duplex MAC Protocol Based on CSMA/CA

Jin Ki Kim, Hye-Rim Cheon, Dong-Hak Lee, Jae Hyun Kim

Dept. of ECE, Ajou Univ.

요약

Self interference cancellation 기술로 full duplex 통신이 가능해짐에 따라 full duplex 통신을 효율적으로 활용하기 위한 MAC 프로토콜이 연구되고 있다. 본 논문에서는 모든 디바이스가 full duplex 통신이 가능한 네트워크에 적용할 수 있는 CSMA/CA 기반 full duplex MAC 프로토콜을 제안한다. 성능 분석 결과, 기존 CSMA/CA 대비 throughput이 약 2배 증가하였으며, station의 개수가 증가함에 따라 충돌 확률이 증가하여 throughput이 조금씩 감소하는 경향을 보였다.

I. 서론

현재 무선랜 시스템에서 사용되고 있는 half duplex 통신 방식은 self interference로 인해 같은 주파수 대역에서 동시에 송수신 하는 것이 불가능하다. 하지만 self interference cancellation 기술의 발전으로 self interference를 완벽하게 제거하는 것이 가능해졌고, full duplex 방식으로 통신 하는 것이 현실화 되었다. 이에 따라 full duplex 통신을 효율적으로 활용하기 위한 MAC 프로토콜 연구가 진행되고 있다. 지금까지 제안된 full duplex MAC 프로토콜은 대부분 CSMA/CA를 약간 변형한 형태의 MAC 프로토콜이다[1], [2].

[1]의 경우, infrastructure 모드에서 모든 station이 half duplex 통신만 지원하는 legacy device이고 AP만 full duplex 통신을 지원하는 환경에 적용할 수 있는 full duplex MAC 프로토콜을 제안하였고, [2]의 경우, ad-hoc 모드에서 모든 station이 full duplex 통신을 지원하는 환경에 적용할 수 있는 full duplex MAC 프로토콜을 제안하였다. 위의 제안된 MAC 프로토콜은 infrastructure 모드에서 모든 station이 full duplex 통신을 지원하는 네트워크에 적용하는 것은 불가능하다. 따라서 본 논문에서는 이러한 환경에 적용할 수 있는 full duplex MAC 프로토콜을 제안하고, 수식을 통해 성능을 분석하여, 제안한 full duplex MAC 프로토콜이 CSMA/CA에 비해 throughput이 향상됨을 검증한다.

II. 제안하는 MAC 프로토콜

제안하는 MAC 프로토콜은 CSMA/CA 기반으로, backoff counter가 먼저 0이 되는 AP나 station이 채널을 access 하게 된다. 채널을 먼저 access 하는데 성공한 AP나 station이 RTS를 전송하여 전송할 데이터가 있음을 알린다. RTS를 수신한 디바이스는 이에 대한 응답으로 CTS를 전송하는데, 여기에 자신이 전송할 데이터가 있는지에 대한 정보를 함께 전송한다. 서로에게 전송할 데이터가 있으면 full duplex link가 symmetric 하게 형성되어 데이터를 전송하게 되고 전송할 데이터가 없으면 기존의 half duplex 통신과 같이 데이터를 전송하게 된다.

그림 1은 AP가 채널 access에 성공했을 때, 데이터를 전송하는 절차를 나타낸다. 우선 AP가 RTS를 STA 1에게 전송하고, STA 1은 CTS를 AP에게 전송한다. 주위의 다른 station들은 RTS와 CTS를 통해 데이터 전송

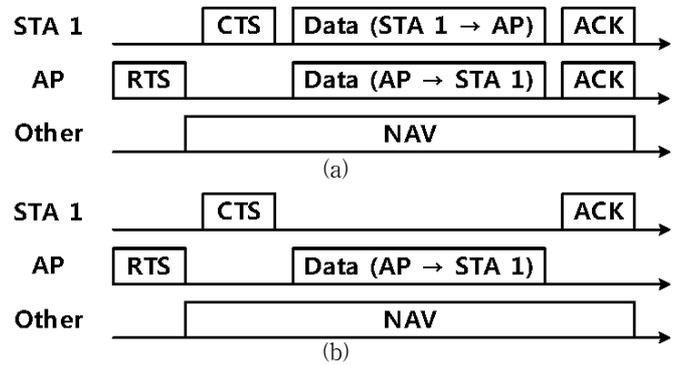


그림 1. AP가 채널을 access 했을 때, 데이터 전송 절차. (a) STA 1이 전송할 데이터가 있는 경우. (b) STA 1이 전송할 데이터가 없는 경우

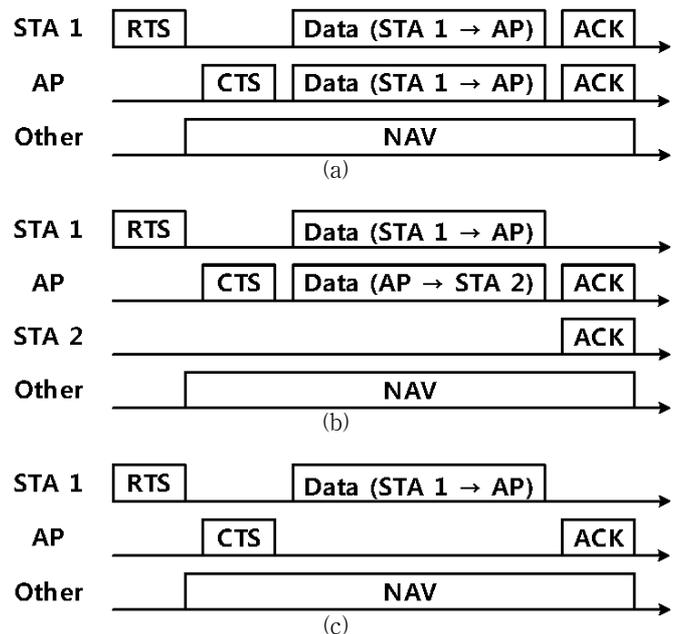


그림 2. Station이 채널을 access 했을 때, 데이터 전송 절차. (a) AP가 STA 1에게 전송할 데이터가 있는 경우. (b) AP가 다른 station에게 전송할 데이터가 있는 경우. (c) AP가 전송할 데이터가 없는 경우

절차가 끝날 때까지 NAV를 설정한다. RTS/CTS 전송 절차가 끝난 이후, STA 1이 전송할 데이터가 있으면 AP와 symmetric link를 만들어 동시에 데이터를 전송하고, 전송할 데이터가 없으면 기존의 half duplex 통신 방식과 마찬가지로 AP만 데이터를 전송한다.

그림 2는 station이 채널을 access 했을 때, 데이터를 전송하는 절차를 나타낸다. Station이 채널을 access 했을 때는 AP가 채널을 access 했을 때와는 달리 총 3가지 경우가 발생한다. 첫 번째는 AP가 RTS를 전송한 STA 1에게 전송할 데이터가 있는 경우, 두 번째는 RTS를 전송한 STA 1이 아닌 다른 STA 2에게 전송할 데이터가 있는 경우, 마지막으로 전송할 데이터가 없는 경우가 있다. AP가 STA 1에게 전송할 데이터가 있는 경우 AP와 STA 1 사이에 symmetric link가 만들어지고 그림 2(a)와 같이 동시에 데이터를 전송한다. AP가 STA 1이 아닌 STA 2에게 전송할 데이터가 있는 경우에는 STA 1이 AP에게 RTS 전송하고, AP는 CTS를 통해 STA 2에게 전송할 데이터가 있음을 알린다. 그 후 그림 2(b)와 같이 동시에 데이터를 전송한다. AP가 전송할 데이터가 없는 경우에는 기존의 half duplex 통신과 마찬가지로 AP만 데이터를 전송한다.

제안하는 full duplex MAC 프로토콜에 따라 데이터를 전송하게 되면, 데이터를 전송하는데 걸리는 시간은 모든 경우에 대해 동일하며, 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = T_{RTS} + T_{CTS} + T_{Data} + T_{ACK} + 3T_{SIFS} + T_{DIFS} \quad (1)$$

$T_{RTS}, T_{CTS}, T_{Data}, T_{ACK}$ 는 각각 RTS, CTS, Data, Ack 패킷을 전송하는데 걸리는 시간을 의미하고, T_{SIFS}, T_{DIFS} 는 SIFS와 DIFS 시간을 의미한다.

III. 성능분석

본 챗터에서는 제안한 full duplex MAC 프로토콜의 saturation throughput을 분석한다. [3]의 저자가 기존 802.11 DCF throughput을 Markov model을 이용해 분석하였는데, 이와 같은 방식으로 제안한 full duplex MAC 프로토콜의 saturation throughput 분석이 가능하다. AP와 station의 최소 contention window를 W , 최대 contention window를 $2^m W$ 라고 했을 때, saturation throughput을 구하면 다음과 같다.

$$S = \frac{2(P_{tr_AP} + P_{tr_sta})L_{data}}{(1 - P_{busy})T_{slot} + (P_{tr_AP} + P_{tr_sta})T + P_{col}T_{col}} \quad (2)$$

P_{tr_AP}, P_{tr_sta} 는 AP와 station이 성공적으로 데이터 전송할 확률을 의미하고, L_{data} 는 데이터 길이를 의미한다. P_{busy} 는 채널이 busy할 확률을 의미하고, P_{col} 은 충돌 확률을 의미한다. T_{slot} 는 slot 1개의 길이를 의미하고, T_{col} 은 충돌 길이를 의미한다.

표 1은 system parameter를 나타낸다. 성능 분석은 802.11ac 환경을 기반으로 CSMA/CA와 제안하는 full duplex MAC 프로토콜의 saturation throughput을 비교 분석하였다. 그림 3은 station 숫자에 따른 saturation throughput을 나타낸다. 제안하는 full duplex MAC 프로토콜이 기존의 CSMA/CA 프로토콜보다 2배 가까이 throughput이 증가하는 것을 확인할 수 있다. Saturation throughput은 station이 항상 전송해야 하는 데이터가 있을 경우를 가정했기 때문에 이론적으로 최대값인 2배에 근접한 throughput 향상이 나타났다. 또한 CSMA/CA 프로토콜과 제안하는 full duplex MAC 프로토콜 모두 station 숫자가 증가함에 따라 throughput이 조금씩 감소하는 경향을 보인다. 이는 station 숫자가 증가함에 따라 충돌 확률이 높아져서 성공적으로 데이터를 전송할 확률이 낮아지기 때문이다.

표 1. System parameters

Parameter	Value	Parameter	Value
Payload	1500 Byte	RTS	20 Byte
Link rate	18 Mbps	CTS	14 Byte
Slot time	9 μ s	ACK	14 Byte
SIFS	16 μ s	W	16
DIFS	34 μ s	m	6

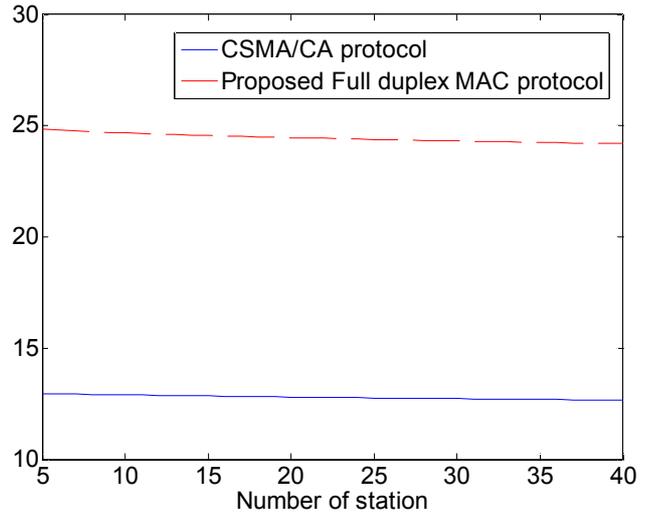


그림 3. Station 숫자에 따른 saturation throughput

III. 결론

본 논문에서는 모든 station이 full duplex 통신을 지원하는 네트워크에 적용할 수 있는 full duplex MAC 프로토콜을 제안하고, saturation throughput 수식을 유도하여 CSMA/CA 프로토콜과 성능을 비교 분석하였다. 분석 결과 제안하는 full duplex MAC 프로토콜이 CSMA/CA 프로토콜보다 약 2배 가까이 throughput이 높게 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 이는 이론적인 최대값이며, 실제 네트워크에 적용하게 된다면, capture effect와 같은 현상으로 인해 수식의 결과보다는 throughput이 약간 낮게 나올 것으로 예상된다.

ACKNOWLEDGMENT

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

참 고 문 헌

- [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, Volume 14, no. 10, Pages 5871-5885. Oct. 2015.
- [2] J. K. Kim, W. K. Kim, J. H. Kim, "A New Full Duplex MAC Protocol to Solve the Asymmetric Transmission Time", GLOBECOM Workshops (GC Wkshops), 2015 IEEE
- [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.