

Wi-Fi 7 MLA 에서 Tri-band 특성에 따른 데이터 분할 전송 기법 성능 분석

김병찬, 박현희*
명지대학교

bckim@mju.ac.kr, hhpark@mju.ac.kr*

Performance Analysis of Data Division Transmission Method Based on Tri-band Characteristics in MLA of Wi-Fi 7

Byungchan Kim, Hyunhee Park*
Myongji Univ.

요 약

Wi-Fi 7의 표준화 중인 IEEE 802.11be에서는 Tri-band의 사용과 MLA를 제안한다. 그러나 MLA는 Multi-Link로 인해 내부 간섭이 발생한다. 이를 해결하기 위해 Tri-band와 MLA의 특성을 효율적으로 활용할 필요가 있다. 본 논문에서는 5GHz와 6GHz 링크 중 하나만 동작하여 내부 간섭을 해결한다. 또한, 사용 주파수의 데이터 전송률에 따라 데이터를 분할하여 전송 시간을 동기화하고 Multi-Link로 전송하는 기법을 제안한다. 이를 Markov Chain 모델로 성능을 수학적으로 분석한 결과 기존 FT 방식보다 처리량이 최대 17Mbps 증가함을 보인다.

I. 서 론

스마트 디바이스들의 기하급수적 증가에 따라 전 세계 모바일 트래픽 양은 2010년에 비해 2030년에는 670배 증가할 것으로 예측된다[1]. 증가하는 트래픽을 처리하기 위해 무선 통신 과정에서의 높은 데이터 처리량은 더욱 중요해지고 있다. 따라서, 우리 생활에 밀접한 wireless local area network(WLAN)의 기술 중 하나인 Wi-Fi 기술도 데이터 처리량을 증가시킬 필요가 있다. IEEE 802.11에서는 Wi-Fi 7에 대한 IEEE 802.11be extremely high throughput(EHT)의 표준화가 진행 중에 있다. IEEE 802.11be에서는 데이터 처리량을 증가시키기 위해 기존 Wi-Fi 6에 활용되지 않았던 6GHz 주파수 대역을 추가한 tri-band(2.4GHz, 5GHz, 6GHz)와 multi-link access(MLA)를 제안한다[2].

MLA는 하나의 디바이스에서 다수의 링크를 사용하여 데이터 처리량을 증가시키는 방식이다. 그러나 하나의 디바이스에 다수의 링크가 존재하기 때문에 내부 간섭이 발생하고, 5GHz와 6GHz의 주파수 대역에서도 내부 간섭이 발생하게 된다[3, 4]. 따라서, 이러한 문제점을 해결하면서 tri-band와 MLA의 특성을 활용하여 데이터 처리량을 증가시키는 기법이 필요하다.

본 논문에서는 내부 간섭을 해결하기 위해 5GHz와 6GHz의 주파수 대역의 링크는 한 타임 슬롯에서 하나만 동작한다. 또한, MLA와 tri-band의 특성을 활용하기 위해 각 주파수의 데이터 전송률에 따라 데이터를 분할하고 분할된 데이터를 multi-link(ML)로 전송하여 처리량을 증가시키는 기법을 제안한다. 이에 대한 성능을 분석하기 위해 다른 링크의 전송 상태에 따른 Markov Chain 모델도 함께 제안하고 이를 활용한 수학적 성능 분석을 수행한다.

II. 본 론

2.1 MLA에서의 데이터 분할 전송 기법

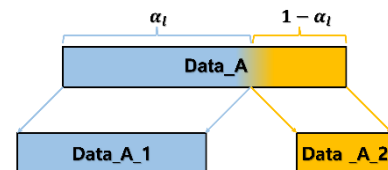


그림 1. 각 주파수의 데이터 전송률에 따른 데이터 분할
앞서 언급한 바와 같이 IEEE 802.11be에서는 tri-band와 MLA의 특성을 활용하면서 내부 간섭을 해결하기 위한 기법이 필요하다. 따라서, 본 논문에서는 MLA와 tri-band의 특성을 효율적으로 활용한 데이터 분할 전송 기법을 제안한다.

데이터 분할 전송 기법은 5GHz와 6GHz 링크 중 하나만 동작하여 내부 간섭을 해결한다. 두 링크는 backoff(BO) 카운터를 가지며 먼저 0에 도달한 링크가 데이터를 전송하는 faster transmission(FT)로 동작한다. 이때, 2.4GHz 링크는 앞의 두 개의 링크 중 하나라도 동작할 경우 함께 데이터를 전송하는 primary link(PL)로 동작한다[5].

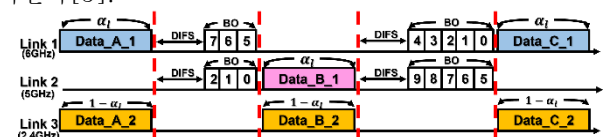


그림 2. MLA에서 데이터 분할 전송 동작 방법

ML로 데이터를 분할하여 전송할 경우 각 링크의 데이터 전송률 D_l 을 고려하여 그림 1과 같이 α_l 의 비율로 데이터를 분할하여 전송 종료 시간을 동기화하는 것이 중요하다. 사용 주파수 대역 l GHz의 데이터 전송률 D_l 은 식 (1)에 따라 채널 환경인 MCS를 고려하여 심볼 당

데이터 비트 수 N_{DBPS} , Guard Interval T_G , OFDM 심볼 구간 T_s , 주파수 대역폭 ΔF 로 구한다[6]. 이에 따라 식 (2)에서 링크 l 의 데이터 분할 비율 α_l 을 구한다. 분할된 데이터는 그림 2와 같이 전송한다.

$$D_l = N_{DBPS} * \left(1 - \frac{T_G}{T_s + T_G}\right), \quad l \in [5,6] \quad (1)$$

$$\alpha_l = \frac{D_l}{D_l + D_{2.4}}, \quad l \in [5,6] \quad (2)$$

2.2 다른 링크의 전송상태를 고려한 Markov Chain 모델

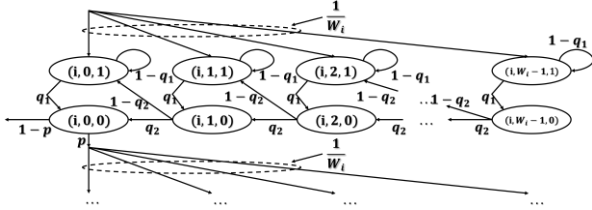


그림 3. 다른 링크의 전송상태를 고려한 Markov Chain 모델

본 논문에서는 ML의 내부 간섭을 고려하기 위하여 5GHz와 6GHz의 링크 중 하나만 동작한다. 따라서, 현재 링크가 동작하고 있을 때, 다른 링크의 동작 여부를 판단할 필요가 있다. 그림 3은 다른 링크의 전송상태에 따른 확률로 구성된 Markov Chain 모델의 일부분이다. 상태 (i, j, k) 는 재전송 stage $i \in [0, m]$, 현재 BO 카운터의 값 $j \in [0, W_i]$, 다른 링크의 동작 여부 $k \in [0, 1]$ 의 상태를 의미한다. 충돌이 발생할 경우 재전송이 발생하며, BO의 범위를 결정하는 contention window(CW)의 최댓값이 충돌 발생 전 CW의 값의 2배로 증가한다. 이는 최대 m 번까지 가능하다. 다른 링크가 동작할 경우 $k=1$, 동작하지 않을 경우 $k=0$ 의 상태 값을 가진다.

p 는 디바이스의 충돌확률을 의미하며 $\frac{1}{W_i}$ 는 i 에서 CW의 최댓값 W_i 중 하나의 BO를 선택할 확률을 의미한다.

식 (3)의 q_1 은 슬롯 시간 내에서 다른 링크 l' 를 가진 디바이스가 링크 l' 를 동작하지 않을 확률을 의미하며, τ_l 와 n_l 는 각각 x 의 전송확률과 디바이스의 수를 의미한다.

식 (4)의 q_2 는 슬롯 시간 내에서 어떠한 디바이스도 데이터를 전송하지 않을 확률을 의미하며, τ_l 와 n_l 는 각각 본인 링크 l 의 전송확률과 디바이스의 수를 의미한다.

$$q_1 = (1 - \tau_{l'})^{n_{l'}} \quad (3)$$

$$q_2 = (1 - \tau_l)^{n_l} * (1 - \tau_l)^{n_l} \quad (4)$$

이에 따라 전송 성공 확률 P_s , 전송 확률 P_{tr} 을 구할 수 있다. 또한, 식 (5-1) 전송 성공 시간 T_s 과 식 (5-2) 충돌 시간 T_c 을 구할 수 있다. 이때 링크 l 에서 α_l 만큼 데이터를 분할하여 전송하므로 링크에서 처리하는 평균 데이터의 양 $E[P]$ 에 α_l 을 곱한다. 헤더의 크기 H , 전파 지연 시간 δ , 프레임 간 간격 $SIFS$ 및 $DIFS$, 빈 슬롯 시간 σ 을 식 (5-3)에 대입하여 데이터의 처리량 S 을 얻을 수 있다.

$$T_s = H + E[P] * \alpha_l + SIFS + \delta + ACK + DIFS + \delta \quad (5-1)$$

$$T_c = H + E[P] * \alpha_l + DIFS + \delta \quad (5-2)$$

$$S = \frac{E[\text{payload information transmitted in a slot time}]}{E[\text{length of a slot time}]} \quad (5-3)$$

$$= \frac{P_s * P_{tr} * E[P] * (\alpha_l + (1 - \alpha_l))}{(1 - P_{tr}) * \sigma + P_{tr} * P_s * T_s + P_{tr} * (1 - P_s) * T_c}$$

2.3 시뮬레이션 결과

그림 4는 그림 3의 Markov Chain 모델에서 도출한 확률을 기반으로 시뮬레이션을 진행한 결과이다. 기존의 FT 동작과 제안하는 기법을 비교 및 분석한 결과, 데이터 처리량이 기존의 FT 동작보다 최대 17Mbps 더 높다는 것을 확인할 수 있다.

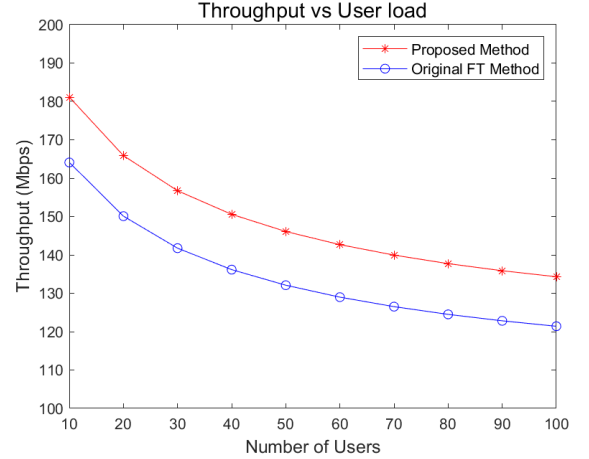


그림 4. 디바이스 수에 따른 데이터 처리량

III. 결론

IEEE 802.11be에서 제안한 MLA에는 내부 간섭 문제가 있다. 본 논문에서는 내부 간섭을 해결하고 tri-band와 MLA의 특성을 활용하여 데이터 처리량을 효율적으로 증가시키기 위한 데이터 분할 전송 기법을 제안한다. 데이터 분할 전송 기법은 각 링크의 주파수 대역에서 데이터 전송률을 계산하여 데이터 분할을 위한 비율 α_l 을 구하고, 해당 비율로 데이터를 분할하여 ML로 전송한다. 이에 대한 Markov Chain 모델도 함께 제안하여 수학적 성능 분석을 진행한다. 성능 분석 결과 기존 FT 방식보다 데이터 처리량이 최대 17Mbps 증가함을 보인다.

본 논문에서는 하나의 MCS 값과 1개의 링크 측면에 대한 성능 분석을 수행했다. 따라서, 향후 본 논문에서 제안한 기법의 각 MCS에 대한 분석과 ML 디바이스 측면에서 성능 분석을 연구할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 정보통신기획평가원의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2021-0-00990, 설명가능한 인공지능 기반 무선랜 네트워크 시스템 고도화 핵심 기술 연구, No. 2021-0-00368, 6G 서비스를 위한 인공지능/머신러닝 기반 자율형 MAC 개발)

참고 문헌

- [1] Union, I. I. M. T. "IMT traffic estimates for the years 2020 to 2030," Report ITU 2370, 2015.
- [2] IEEE P802.11be™/D2.1.1 Draft Standard for Information technology, <https://mentor.ieee.org/802.11/documents>
- [3] 김지하, 김병찬, 박현희, "Multi-Link Operation의 Internal Interference를 위한 적응적 Contention Window 기법," 한국통신학회 학술대회논문집, (), 759-760, 2022.
- [4] Korolev, Nikolay, et al, "Study of Multi-link Channel Access without Simultaneous Transmit and Receive in IEEE 802.11 be Networks," IEEE Access, 2022.
- [5] Murti, W., & Yun, J. H., "Multi-Link Operation with Enhanced Synchronous Channel Access in IEEE 802.11 be Wireless LANs: Coexistence Issue and Solutions," Sensors, 21(23), 7974, 2021.
- [6] <https://mentor.ieee.org/802.11/dcn/20/11-20-0566-64-00be-compendium-of-straw-polls-and-potential-changes-to-the-specification-framework-document.docx>