

IEEE 802.11n 기반 무선랜에서 Block ACK Bitmap 구조의 제약이 성능에 미치는 영향

조민구, 정하경, 권태경*, 최양희*
 서울대학교

{mgcho, hkjung}@mmlab.snu.ac.kr, *{tkkwon, yhchoi}@snu.ac.kr

The Effect of the Block ACK Bitmap Limitation on the Throughput in IEEE 802.11n WLANs

Mingu Cho, Hakyung Jung, Ted “ Taekyoung” Kwon*, Yanghee Choi*
 Seoul National Univ.

요약

IEEE 802.11n에서는 A-MPDU의 서브프레임 별 성공 및 실패 여부를 전달하기 위해 사용하는 Block ACK의 bitmap이 첫 서브프레임으로부터 연속된 63개의 Sequence Number에 해당하는 프레임에 대해서만 그 전송결과를 표현할 수 있는 제약이 있다. 본 논문에서는 이러한 제약이 무선랜의 성능 저하의 요인이 될 수 있음을 지적하고, 이를 측정하기 위한 메트릭을 제안하였다. 또한, 실제 무선랜 실험을 통하여 성능 저하를 입증하였다.

I. 서론

IEEE 802.11n [1]은 MAC 계층에 A-MPDU (MPDU Aggregation)와 Block ACK 기법을 도입하여 전송속도를 향상시킨다. A-MPDU는 다수의 MPDU (MAC Protocol Data Unit)을 하나의 집적된 프레임(frame)으로 만드는 것을 일컬으며, A-MPDU 안의 집적된 각 MPDU는 서브프레임(subframe)이라 불린다.

802.11n에서 A-MPDU와 Block ACK을 주고받는 과정은 다음과 같다. 우선, 송신자는 보낼 프레임들을 집적해 A-MPDU를 만들고 수신자에게 전송하고, 이를 받은 수신자는 각 서브프레임에 대해 성공과 실패를 확인한 후, Block ACK의 bitmap에 그 결과를 기록하여 송신자에게 보내준다. 이후, 송신자는 수신한 Block ACK의 bitmap을 통해 전송에 실패한 프레임들과 새로 보낼 프레임들을 집적하여 새로운 A-MPDU를 만들고 이를 전송하게 된다.

A-MPDU는 최대 64개의 서브프레임으로 구성될 수 있는데, Block ACK은 이에 대한 전송결과를 표현하기 위해 64bit의 bitmap을 가지게 되고 bitmap의 각 요소는 해당 서브프레임의 전송이 성공 시 1, 실패 시 0의 값을 가진다. 하지만 Block ACK의 bitmap의 첫 번째 비트가 가리키는 프레임의 sequence number(SN)인 start sequence number(SSN)로부터 연속된 63개의 SN를 가진 프레임에 대한 전송결과만을 저장할 수 있는 제약조건을 가지고 있다.

이런 Block ACK bitmap의 제약으로 인해 전송한 A-MPDU에서 하나 이상의 서브프레임이 손실되었을 때,

손실된 서브프레임으로 인해 다음 A-MPDU에 집적될 수 있는 서브프레임의 수가 제한될 수 있다.

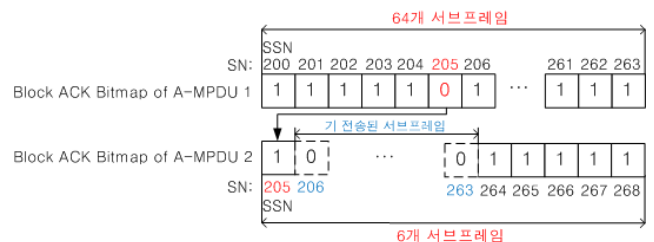


그림 1. Block ACK Bitmap 제약

그림 1을 예로 들면, 첫 번째 Block ACK에서 SN가 205인 서브프레임이 전송에 실패한 경우, 다음에 전송할 A-MPDU의 SSN이 이전에 실패한 서브프레임의 SN인 205로 설정된다. 그리고 SN이 268(205+63)까지의 프레임들이 하나의 A-MPDU가 되어 전송된다. 하지만 해당 A-MPDU 내에 206부터 263까지의 SN을 가진 서브프레임들은 이미 전송이 되었었기 때문에, 결과적으로 A-MPDU는 6개의 서브프레임만으로 구성되고 58개의 프레임들을 전송할 수 있는 기회를 잃게 된다. 이런 현상은 결국 MAC throughput을 저하시키는 요인이 된다.

[2]에서는 A-MPDU 내 서브프레임 에러가 발생한 위치가 throughput에 영향을 줄 수 있음을 발견하였으나, 이에 대한 영향을 계량적으로 분석하려는 시도는 지금까지 존재하지 않았다.

본 논문에서는 이러한 bitmap 의 제약으로 인해 활용되지 못하는 서브프레임 개수를 Block ACK Penalty 라고 명하고 이를 계산할 수 있는 방법을 제안한다. 또한, 무선 실험을 통해 Block ACK Penalty Ratio 를 측정하고 그 결과를 분석한다.

II. 본론

본 논문은 Block ACK bitmap 의 제약으로 인해 집계될 수 있는 프레임수가 제한되는 정도를 파악하기 위해 Block ACK Penalty 라는 메트릭을 제안한다. 이는 아래와 같다.

$$Block\ ACK\ Penalty = \sum_{k=s}^{63} bitmap[k]$$

s 는 실패한 서브프레임들 중 가장 SN 이 작은 서브프레임의 Block ACK bitmap 내 index 를 뜻하며, $bitmap[k]$ 는 Block ACK bitmap 의 k 번째 bit 의 값을 나타낸다. 이때, Block ACK Penalty 는 A-MPDU 에서 최초로 실패한 서브프레임보다 큰 SN 을 가진 서브프레임 중 성공적으로 전송된 서브프레임들의 수($bitmap[k]$ 값이 1 인 개수, $s \leq k \leq 63$)가 된다. 이 과정을 거쳐 계산된 Block ACK Penalty 다음 A-MPDU 의 집계 레벨을 낮추는 결과를 초래한다.

위와 같이 계산된 Block ACK Penalty 는 하나의 A-MPDU 에 대한 영향만을 나타내기 때문에, 본 논문에서는 전송된 전체 A-MPDUs 에 대해 Block ACK Penalty 의 영향을 분석하기 위해 Block ACK Penalty Ratio 를 제안하였다. 이는 아래와 같다.

$$Block\ ACK\ Penalty\ Ratio = \frac{\sum Block\ ACK\ Penalty}{\sum The\ number\ of\ Subframes\ in\ A-MPDU}$$

하나의 A-MPDU 를 전송할 때마다 서브프레임 수와 Block ACK Penalty 를 계산하고 이를 누적한다. 모든 전송이 끝난 후 누적된 Block ACK Penalty 를 전체 전송된 서브프레임 수로 나누면 Block ACK Penalty Ratio 를 얻을 수 있다.

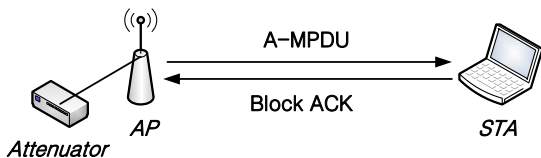


그림 2. 실험 구성도

위와 같은 Block ACK Penalty 가 실제 환경에서 얼마나 발생하는지 측정하기 위해 그림 2 과 같은 환경을 구성하였다. Linux PC 는 AP 이자 송신자로, 노트북은 수신자로 설정하고, AP 의 2 개의 안테나에 감쇠기를 연결하여 감쇠 정도를 조절하며 채널 상태를 변화시킬 수 있도록 하였다. 송신자의 MCS (Modulation and Coding Scheme)를 9 (26Mbps)로 고정하고, iperf 의 트래픽 발생 속도를 UDP 100Mbps 설정하여 전송 큐에 항상 데이터가 있도록 하였다. 측정은 각 감쇠 정도 별로 20 초씩 5 회를 수행하였으며 A-MPDU 를 전송하여 이에 대한 Block ACK bitmap 로그를 수집하였다.

그림 3 은 이 결과에 대한 Bitmap Penalty Ratio 를 도시한 것이다. 그림 3 에서 나타나는 바와 같이 Block ACK Penalty Ratio 는 감쇠 정도가 높아짐에 따라, 35dB 가 감쇠될 때는 Block ACK Penalty Ratio 가

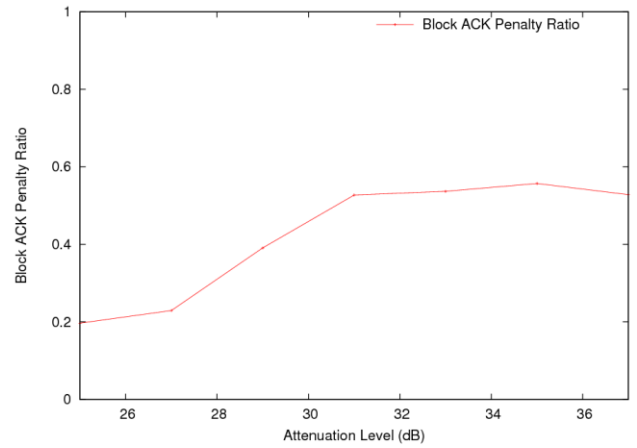


그림 3. 감쇠 정도에 따른 Block ACK Penalty Ratio 측정 결과

0.56 까지 올라가는 것을 볼 수 있다. 그 원인은 다음과 같다. 감쇠 정도가 높아져 SNR (Signal to Noise Ratio)이 낮아지고, 서브프레임이 손실되는 빈도가 높아지게 되며 그 결과 Block ACK Penalty 가 커지는 것이다. 그에 반해 36dB 이상 감쇠가 일어나게 되면 많은 수의 서브프레임이 손실되어 A-MPDU 내에 전송에 성공한 서브프레임이 적어진다. 이로 인해 오히려 Block ACK Penalty 가 낮아지게 되는 현상이 발생하게 된다. 위와 같은 결과를 통해 IEEE 802.11n 의 A-MPDU, Block ACK 을 사용하는 단말들의 전송성능이 bitmap 구조의 제약으로 인해 저하될 수 있음을 확인하였다.

III. 결론

본 논문에서는 IEEE 802.11n 에 MAC 성능향상을 위해 도입된 A-MPDU 와 Block ACK 기법에서 하나의 A-MPDU 가 사용 가능한 index 범위의 한계로 인해 집계할 수 있는 서브프레임의 개수가 감소될 수 있는 문제를 지적하고, 이 정도를 측정해낼 수 있는 방법을 제안하였다. 또한, 실험을 통해 실제 환경에서 이러한 문제가 얼마나 발생하는지 확인하였으며, 앞으로는 이를 해결해 802.11n 단말의 성능을 향상시킬 수 있는 방안을 강구할 계획이다.

ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 기초기술연구회의 NAP 과제 지원으로 수행되었음. 이 연구를 위해 연구장비를 지원하고 공간을 제공한 서울대학교 컴퓨터연구소에 감사 드립니다.

참고 문헌

- [1] IEEE P802.11n, Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications: Enhancements for Higher Throughput. 2009.
- [2] I. Pefkianakis, Y. Hu, S. Wong, H. Yang, and S. Lu, "MIMO Rate Adaptation in 802.11n Wireless Networks," in *In Proc. ACM MOBICOM*, Chicago, USA, 2010.