

## 대기열 관리 정책에 따른 5G mmWave 네트워크에서의 TCP 성능 분석

김건환, 조유제

경북대학교

kgh76@ee.knu.ac.kr, yzcho@knu.ac.kr

## TCP performance analysis in 5G mmWave network according to queue management policy

Geon-Hwan Kim and You-Ze Cho

School of Electronic and Electrical Engineering, Kyungpook National University

## 요약

5G mmWave 대역은 높은 처리량과 낮은 전파 지연을 동시에 제공할 수 있는 무선 채널이다. TCP는 mmWave 채널의 높은 대역폭에 도달하기 위해서는 큰 혼잡윈도우 크기를 유지해야 하며, 이로 인해 과도한 대기열 지연이 발생할 수 있다. 본 논문에서는 5G mmWave 기지국에 적용된 대기열 관리 정책에 따른 서버와 사용자 장치 간의 처리량 및 대기열 지연의 변화를 확인하였다. 기본적인 패킷 드랍 기법인 Tail-Drop은 가용 대역폭을 완전히 활용했지만, 대기열 지연이 높았고 Active Queue Management (AQM) 기법의 하나인 CoDel은 낮은 대기열 지연을 보였지만, 가용 대역폭을 충분히 사용하지 못했다.

## I. 서론

26 GHz 이상의 주파수에 해당하는 mmWave 대역은 기존 이동 통신망의 주파수보다 더욱 큰 가용 대역폭을 제공하기 때문에 더 높은 처리량을 기대할 수 있다. [1] 하지만, 고대역의 무선 채널은 작은 장애물에 의해서도 큰 신호 감쇄가 발생하는 매우 가변적인 품질을 가진다. mmWave 신호는 일반적인 건축물에 의해 완전히 차단될 수 있으며, 사람에 의해서도 최대 35 dB의 큰 감쇄가 발생할 수 있다. [2]

mmWave 신호의 급격한 변동성은 큰 가용 대역폭이라는 특성과 결합하여 종단 간 TCP 통신에 새로운 문제점을 제시한다. 가용 대역폭을 완전히 활용하기 위해서는 TCP 혼잡윈도우가 크게 증가해야 한다. 하지만, 일시적으로 mmWave 채널의 용량이 감소하여도 혼잡윈도우를 빠르게 줄이지 못하고 큰 크기를 유지하기 때문에 많은 양의 패킷을 전송한다. 따라서, 전송된 많은 양의 패킷은 기지국의 버퍼에 축적되어 긴 대기열을 생성한다. 기존의 유선 네트워크에서는 이러한 대기열의 생성을 억제하기 위해 다양한 Active Queue Management (AQM) 알고리즘이 제안되었으며, 이러한 알고리즘이 Radio Link Control (RLC) 계층 내의 버퍼에 적용될 수 있다.

따라서, 본 논문에서는 5G mmWave 채널을 이용하는 TCP 연결이 mmWave 기지국의 RLC 버퍼에 적용된 대기열 관리 알고리즘에 따라 어떠한 성능 변화가 있는지를 시뮬레이션 실험을 통해 확인하였다.

## II. 본론

TCP 전송계층 프로토콜은 큰 대역폭을 가지고 빈번하게 변동하는 mmWave 채널을 지날 때 bufferbloat [3] 문제가 발생할 수 있다. 유선 통신망에서는 네트워크 내의 버퍼링으로 인해 패킷 전달 시간이 오래 지연되는 bufferbloat 문제를 해결하기 위해 AQM 기법들이 제안되었다. [4] 기본적인 대기열 관리 기법 (패킷 드랍 정책)인 Tail-Drop은 버퍼가 가득 찼을 때 마지막으로 도착한 패킷을 드랍한다. Tail-Drop은 필수적으로 대기열을 생성하기 때문에, 버퍼링으로 인한 대기 지연이 발생한다. 반면, AQM 기법의 하나인 CoDel [5]은 대기열의 지연을 주기적으로 모니터링하여 최소 대기열 지연이 설정된 target delay을 초과하면 패킷을 드랍한다. 따라서 CoDel은 낮은 대기열 지연을 유지할 수 있다.

본 논문에서는 mmWave 채널을 이용하는 모바일 사용자가 다양한 장애물로 인해 신호 차단을 경험하는 시나리오에서, Tail-Drop 및 CoDel 대기열 관리 정책이 5G mmWave 기지국에 적용됐을 때의 성능을 평가한다. 그림 1의 왼쪽에 있는 구조도는 본 연구에서 수행된 실험을 LTE 무선 접속 네트워크 구조의 관점에서 나타낸 것이며, 오른쪽은 구성된 시뮬레이션 시나리오를 보여준다.

LTE LENA 모듈 [6]의 구조를 기반으로 구현된 mmWave 시뮬레이션 프레임워크 [7]를 이용하여 5G mmWave 무선 네트워크에 대한 종단 간 성능을 평가하였다. mmWave 대역의 최대 대역폭은 1Gbps, RLC 버퍼의 크기는 20MByte로 설정하였다. TCP 혼잡제어 알고리즘으로는 CUBIC이 적용되었다. 모바일 장치 사용자는 2~12초 동안 3m/s로 이동하며 작은 크기의 장애물에 의한 Signal to Interference plus Noise Ratio (SINR) 저하를 겪고, 12~30초 동안은 큰 장애물에 의한 SINR 감소를 겪는다.

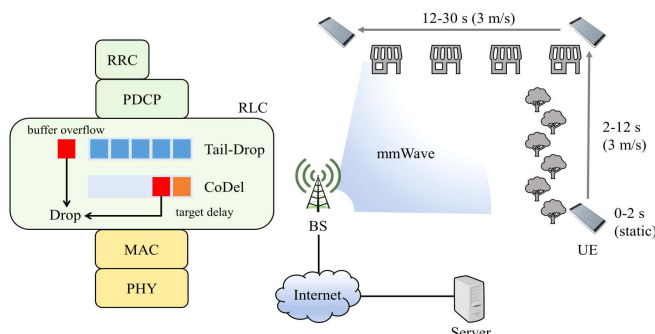


그림 1. 무선 접속 네트워크의 구조와 시뮬레이션 시나리오

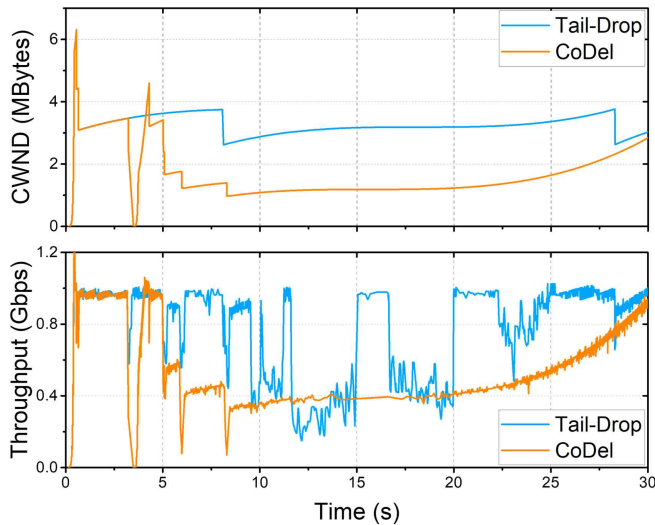


그림 2. 대기열 관리 기법에 따른 혼잡원도우 (CWND)와 처리량 변화

그림 2는 RCL 버퍼에 적용된 대기열 관리 기법에 따른 TCP 혼잡원도우와 중단 간 처리량의 변화를 나타낸다. 기본적인 대기열 관리 기법인 Tail-Drop이 적용되면 mmWave의 가용 대역폭을 완전히 활용할 수 있는 크기의 혼잡원도우를 유지하며, 이를 통해 잦은 SINR 감소 상황 후에도 최대 처리량에 빠르게 도달한다. 하지만, 대기열 지연을 줄일 수 있는 CoDel이 무선 기지국의 RLC 버퍼에 적용된 경우, 약 3초에 발생한 첫 번째 Non Line-of-Sight (NLoS) 상황에 대처하기 위해서 많은 패킷 드랍이 발생한다. 이어지는 연속적인 NLoS 상황으로 인해 발생하는 대기열 생성을 억제하기 위해 계속해서 패킷을 드랍하고, 이로 인해 낮은 처리량이 감소한다. 7초에서 발생한 혼잡원도우의 감소 이후, TCP 송신 측은 혼잡회피 구간에 진입하며 최대 대역폭에 도달하기까지 약 23초의 시간이 소요된다. 따라서, 전파의 차단이 잦은 환경에서 CoDel은 충분한 처리량을 보장하지 못한다.

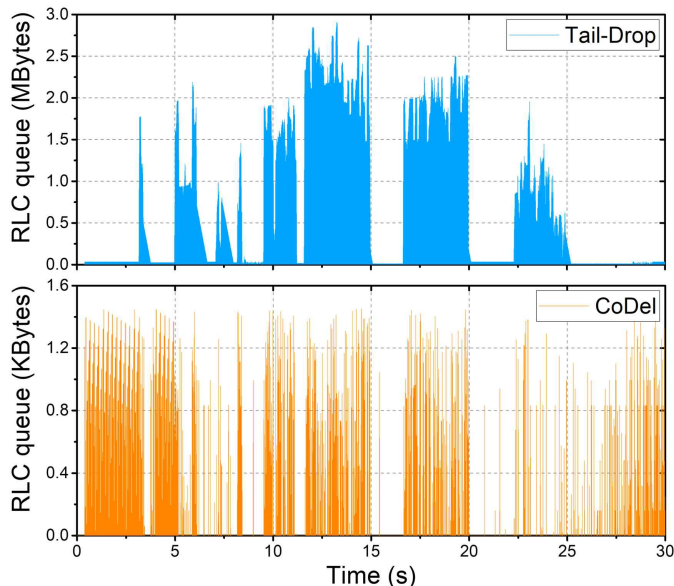


그림 3. 대기열 관리 기법에 따른 RLC 대기열 크기 변화

동일한 실험에서 mmWave 기지국의 RLC 버퍼에 생성된 대기열의 크기를 그림 3을 통해 나타내었다. Tail-Drop은 모바일 장치 사용자가 겪는

모든 수신 신호 저하 상황에 대해서 즉각적으로 대기열이 생성되는 모습을 보인다. 0~3초 구간에서도 약간의 대기열이 생성되었지만, 약 3초에서 발생한 첫 번째 NLoS 상황에서는 SINR의 감소로 1MByte 이상의 긴 대기열이 생성되는 것을 확인할 수 있다. 이는 가용 대역폭은 급격히 감소하였음에도 TCP 혼잡원도우는 이를 추적하지 못하고 여전히 큰 값을 유지하기 때문이며, 긴 대기열의 생성은 중단 간 왕복 지연 시간의 증가를 초래한다. CoDel은 설정된 target delay를 초과할 때 패킷을 드랍하기 때문에 혼잡원도우가 크게 유지된 지점 (0~5초)이나 가용 대역폭이 급격히 감소한 구간 (10~15초, 17~20초 등)에서도 약 1.4KByte의 짧은 대기열만을 생성하였다. 따라서, mmWave 기지국에 CoDel을 적용함으로써 중단 간 지연 시간을 낮게 유지할 수 있다.

### III. 결론

본 논문에서는 5G mmWave 기지국의 RLC 버퍼에 적용된 대기열 관리 정책에 따른 중단 간 TCP 연결의 성능 변화를 확인하였다. 기본적인 대기열 관리 기법인 Tail-Drop은 광범위한 크기의 mmWave 대역폭을 완전히 활용했지만, 과도한 대기열을 생성하여 긴 대기 지연을 초래하였다. AQM 기법의 하나인 CoDel은 대기 지연을 크게 줄였지만, 충분한 처리량을 보이지 못했다. 추후 연구에서는 mmWave 네트워크에서 다양한 AQM 기법을 사용하여 종합적 평가를 수행한 후, 높은 처리량과 낮은 지연을 동시에 달성할 수 있는 대기열 관리 기법을 제안할 예정이다.

### ACKNOWLEDGMENT

This research was supported in part by Basic Science Research Program through the National Research Foundation of Korea (NRF) funded by the Ministry of Education (No. NRF-2018R1A6A1A03025109) and by National Research Foundation of Korea (NRF) grant funded by the Korea government (MSIT) (No. NRF-2019R1A2C1006249).

### 참고 문헌

- [1] Samsung, "5G 국제 표준의 이해," 2018, ([https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/white-paper/who-and-how\\_making-5g-nr-standards/who-and-how\\_making-5g-nr-standards\\_KR.pdf](https://images.samsung.com/is/content/samsung/p5/global/business/networks/insights/white-paper/who-and-how_making-5g-nr-standards/who-and-how_making-5g-nr-standards_KR.pdf)).
- [2] J. S. Lu, et al., "Modeling human blockers in millimeter wave radio links," ZTE Communications, vol. 10, no. 4, pp. 22–28, 2012.
- [3] J. Gettys and K. Nichols, "Bufferbloat: Dark buffers in the internet," Queue, vol. 9, no. 11, 2011.
- [4] R. Adams, "Active Queue Management: A Survey," IEEE Comm. Surv. Tuto., vol. 15, no. 3, pp. 1425–1476, 2013.
- [5] K. Nichols and V. Jacobson, "Controlling Queue Delay," Queue, vol. 10, no. 5, pp. 20:20–20:34, 2012, (<http://doi.acm.org/10.1145/2208917.2209336>).
- [6] N. Baldo "The ns-3 LTE module by the LENA project," 2011.
- [7] M. Mezzavilla, et al., "5G mmWave module for the ns-3 network simulator," in Proc. of 18<sup>th</sup> ACM Int. Conf. on Mod., Anal. and Sim. of Wire. and Mobi. Syst., pp. 283–290, 2015.