

# MPTCP에서 Throughput 개선을 위한 패킷 복사 스케줄링 연구

주현태, 이동규, 김 황남

고려대학교

{motern800, roylee6315, hnkim}@korea.ac.kr

## Scheduling Packet Replication for Throughput Improvement in MPTCP

Joo Hyeon Tae, Dongkyu Roy Lee, Kim Hwang Nam

School of Electrical Engineering, Korea University

### 요 약

모바일 기기, 드론, IoT 등 각각의 무선 단말에서 5G, WiFi 등의 여러 종류의 통신 인터페이스의 사용이 가능해짐에 따라, MPTCP(Multipath TCP)를 사용하여, 여러 인터페이스를 통한 데이터 전송이 가능하게 된다. MPTCP는 모든 subflow의 동일한 패킷 복제로 수율(throughput)을 희생함으로써, 패킷 손실로 인한 대기시간을 줄이기 위해 Redundant 모드를 지원한다. 하지만 이러한 방식에서, 각 subflow의 동일한 패킷 복제는 그 손실율이 적을수록, 패킷 복제를 위해, 더 많은 수율을 희생시키는 문제를 야기한다. 이에 본 논문에서는 각 subflow의 변칙적인 패킷 순서를 통한 패킷 전송 스케줄링을 적용하여, MPTCP Redundant모드가 손실율이 낮은 환경에서 부분적으로 패킷 전송의 완료 시간 단축을 통해, 전체의 희생되는 수율을 줄일 수 있는 결과를 확인 하였다.

### I. 서 론

정보통신 기술의 발전에 따라, 드론, 모바일 및 IoT 단말 등을 비롯한 여러 기기에서 각각의 단말은 WiFi, 5G, LTE-A와 같이 여러 종류의 무선 통신 인터페이스를 포함 하게 되었다. 이에 기존의 TCP(Transmission Control Protocol)에 기반하여 다수의 인터페이스를 활용한 MPTCP의 구현이 가능하게 되었으며, IETF에서 표준화가 되었다. 그리고 MPTCP에 대한 다양한 연구가 진행되어 왔으며 그 연구들은 대부분 패킷 수율(throughput)을 높이는 방법을 다루거나, 일부 신뢰성을 높이는 것을 다루고 있다.

한편, 여러 분야에 있어서, 유무선 네트워크 환경에서 대기시간 지연에 제한을 가지는 네트워크 시스템에 대한 연구들이 요구된다. 예를 들어, 드론과 같은 원격 제어 시스템에서 특정 시간안에 성공하지 못한 제어 패킷의 손실은 치명적인 사고로 이어질 수 있다 [1, 2]. 또한 차량 시스템에 있어서, 탑재되는 컴퓨터로부터의 제어 패킷이 전송될 때 제한된 시간 안에 정확한 응답을 보장해야 한다. 그렇지 않으면 심각한 사고를 유발하게 된다 [3]. 더욱이, 위의 경우, 신뢰성 있는 데이터 전송과 더불어 데이터 충분한 수율의 확보 또한 필요하다. 그러나 기존의 신뢰성을 높이는 방법은 MPTCP에 모든 패킷을 동일하게 복제하며 상당한 부분의 수율을 희생시킨다. 예컨대, 한 개의 TCP 패킷에 대하여 복제된 각 subflow의 다수의 동일한 패킷은 가장 먼저 성공적으로 수신단에 도착한 한 개의 패킷을 제외하고는 모두 수신단에서 drop으로 낭비된다. 본 논문에서는 복제된 패킷을 사용하는 MPTCP 모드에서 불필요한 중복된 패킷 송수신에 할당되는 시간을 줄임으로써, 수율을 개선하는 방법을 제안한다. 이는 각 subflow의 패킷 순서를 변칙적으로 하는 신뢰성 패킷 스케줄링의 형태로, 각 subflow에서 패킷의 순서를 바꾸면 스케줄링은 신뢰성은 유지하며, 기존의 패킷 복제 대비 수율의 개선을 가능하게 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 II장은 본 논문이 제안하는 방법에 있어서 기존 MPTCP Redundant 방식과의 차이점과 구성을 설명하고 제 III장에서는 제안된 MPTCP 스케줄러가 가정한 상황에서의 수율이 기존의 알고리즘 대비 개선을 보인다. 끝으로 제 IV장에서 결론을 맺는다.

### II. 본론

본 장에서는 MPTCP의 패킷 스케줄링 방식을 제안하고, slow-start상황에서의 간단한 비교를 통해 수율 개선을 확인 할 것이다. 제안하는 MPTCP 스케줄링 기법에서는 아래의 두 가지 조건을 만족시켜야 한다. 첫째, 제공되는 MPTCP Redundant 모드와 비교하여 동등한 신뢰성을 확보할 수 있도록, 전송 패킷에 대하여 각 subflow에서 동일한 개수의 패킷 복제를 진행한다 [4]. 둘째, 동시에 패킷 손실이 없는 구간에서의 패킷 전송 완료 시간 단축과 이를 통한 전체 패킷 전송 수율을 높이기 위해서, 스케줄링에서의 패킷 순서를 수정한다. 제안하는 방식은 2개의 패킷 윈도우 사이클을 통해 설명 한다. 먼저 기존의 MPTCP Redundant 모드에서의 패킷 복제는 모든 subflow에 대해 동일하게 진행된다. MPTCP subflow에서의 패킷 복제는 그림 1처럼, 각 subflow에서 1번 패킷과 2번 패킷이 동일한 순서로 전송이 진행된다. 이런 방식으로 특정 subflow에서의 패킷 손실을 나머지 subflow를 통해 신뢰성을 확보하게 된다. 한편, 제안하는 방식은 subflow1에는 기존의 MPTCP Redundant 모드의 패킷 전송과 동일한 순서로 스케줄링 된다. 다만 subflow2에 대해서는 그림 2에서 표현된 것처럼, 1번 패킷과 2번 패킷이 서로 그 순서를 바꾸어 진행하게 된다. 또한 본 논문의 방식으로 패킷을 전송할 경우 수율 측면에서의 이득은 패킷들의 송수신 시간을 계산해봄으로써 아래와 같이 확인 할 수 있다.

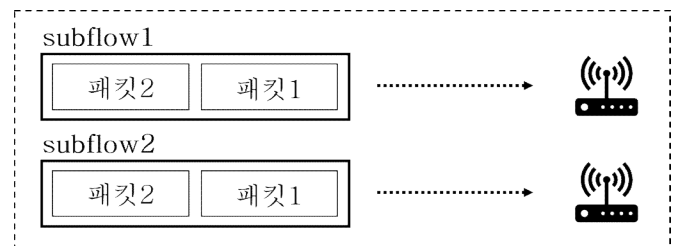


그림 1 MPTCP Redundant 모드에서 패킷 전송  
Fig. 1. Packet Transmission in MPTCP Redundant Mode.

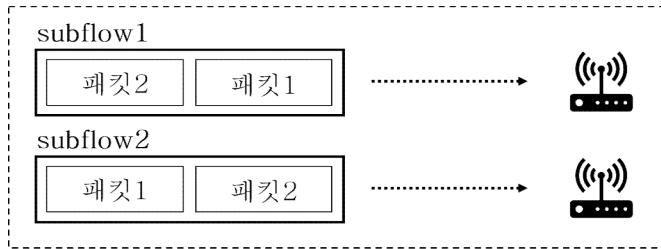


그림 2. 제안된 스케줄링 방식에서의 패킷 전송  
Fig. 2. Proposed Packet Transmission.

수율의 확인을 위해 간단한 시뮬레이션을 진행한다. 시뮬레이션에서 각 패킷 전송 시간은  $20\mu$ 초로, 패킷당 왕복 시간은  $80\mu$ 초로 동일하게 가정하며, 패킷 손실은 없는 상황을 고려한다. 기존 MPTCP Redundant 모드에서 패킷1과 2의 전송 완료는 그림 3과 같이 패킷1의 전송의 시작에서 각 subflow의 ACK(Acknowledgement)의 수신까지 약  $100\mu$ 초가 된다. 반면 제안하는 모델에서는, 각 subflow에서 앞서 출발한 패킷1과 패킷2의 전송 성공으로 인하여 이후 출발한 subflow1의 패킷2와 subflow2의 패킷1의 전송여부와 관계없이  $80\mu$ 초만에 전송을 마치게 된다. 이처럼 제안된 스케줄링 방식은 패킷이 2개인 상황에서 약  $20\mu$ 초의 부분적인 수율의 이득을 가진다. 확장하여, 그림 5에서 TCP slow-start에서 시간에 따른 cwnd의 증가를 통해 확인하면,  $80\mu$ 초까지는 두 방식 모두 1번 패킷 전송이 완료된다. cwnd가 2인 시점인  $80\mu$ 초에서  $180\mu$ 초의  $100\mu$ 초 동안, 2번과 3번 패킷은 그림 3, 4에서 확인 한 것과 같이 제안된 방식에서  $20\mu$ 초가 단축 된다. 같은 방식으로, 4번에서 7번 패킷에 해당하는 cwnd가 4인 구간에서 기존의 방식은  $180\mu$ 초에서  $320\mu$ 초까지  $140\mu$ 초동안 4개의 패킷 전송에 성공하고, 제안된 방식은  $160\mu$ 초에서  $260\mu$ 초의  $100\mu$ 초 만에 동일한 패킷 전송을 완료한다. 최종적으로  $360\mu$ 초 동안 cwnd가 두배씩 증가하면서의 15개 패킷 가운데, 제안된 방식은 15번까지의 전송을 마친다. 그러나 MPTCP Redundant모드는  $360\mu$ 초에서 cwnd가 4인 구간의 패킷 전송은 완료했지만, 이후의 패킷들은 단지 수신단에 도착한 상태이며, 동일 시간동안 7개의 패킷만을 완료한다. 이처럼 slow-start에서의 간단한 시뮬레이션으로 수율 개선을 확인 할 수 있다.

### III. 결론

MPTCP상에서 패킷 전송 신뢰도를 높이기 위한 기존의 패킷 복제 방식은 패킷 손실이 낮은 환경에서 상당한 수율의 희생을 발생 시킨다. 이에 본 논문에서는 동일한 숫자의 패킷 복제를 통해 신뢰도를 유지하는 동시에 수율을 확보하는 MPTCP 스케줄링 방식을 제안했다. 제안된 방식은 간단한 시뮬레이션을 통하여 cwnd 상승을 앞당기며 수율 개선이 가능함을 확인했다. 수율 측면의 이득은 각 subflow에서 첫 번째와 두 번째 패킷 간의 전송 지연 시간으로부터 기인하였다.

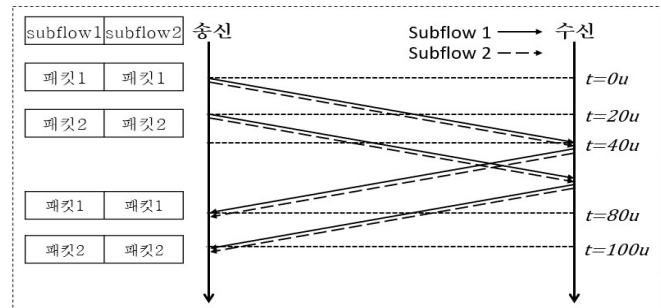


그림 3. MPTCP Redundant상의 패킷 송수신 시간  
Fig. 3. Packet Transmission and Receiving Time in MPTCP Redundant Mode.

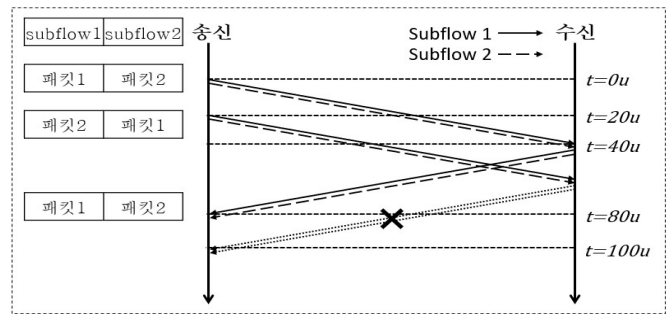


그림 4. 제안된 스케줄링 방식에서의 패킷 송수신 시간  
Fig. 4. Proposed Packet Transmission and Receiving Time.

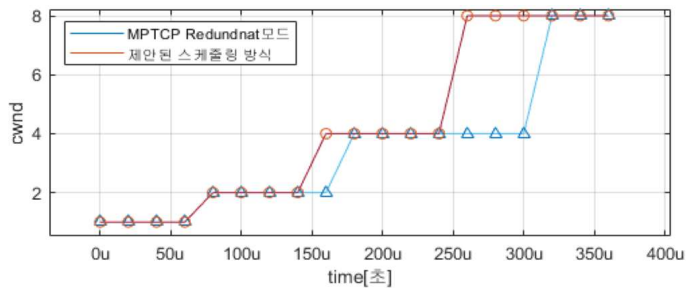


그림 5. slow-start에서 시간에 따른 cwnd의 증가  
Fig. 5. Increase of cwnd in slow-start vs time

따라서 패킷 전파 지연이 패킷 전송 지연에 비해 작을수록 수율 이득은 증가하게 된다. 향후 패킷 손실률이나 등 네트워크 환경의 변수들을 고려하여 분석 모델이나 시뮬레이션을 통해 실증적 결과를 확인하는 연구가 필요하다. 또한 본 논문의 방식을 다양한 TCP의 혼잡제어 알고리즘을 고려하여 적용하는 방법에 대한 연구를 진행 할 계획이다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 2020R1A2C1012389).

### 참 고 문 헌

- [1] W. Lee, J. Y. Lee, and H. Kim, "Improving reliability of real-time remote vehicle control through duplicating control packets," in 2018 14th International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications (WiMob). IEEE, 2018, pp. 1 - 8.
- [2] Lee, Joon Yeop, et al. "Adaptive TCP Transmission Adjustment for UAV Network Infrastructure." Applied Sciences 10.3 (2020): 1161.
- [3] Q. Ye, "Research and application of can and lin bus in automobile network system," in 2010 3rd International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE), vol. 6. IEEE, 2010, pp. V6 - 150.
- [4] Lopez, Igor, et al. "SCADA systems in the railway domain: enhancing reliability through Redundant MultipathTCP." 2015 IEEE 18th International Conference on Intelligent Transportation Systems. IEEE, 2015.