

# 전진 오류 수정 기반 저지연 유저 레벨 전송 프로토콜 설계 연구

조성식, 이정한

서울대학교 전기 정보 공학부 뉴미디어통신공동연구소

choss@snu.ac.kr, kyunghanlee@snu.ac.kr

## Low-latency User Level Transport Protocol Design based on Forward Error Correction

Seongsik Cho, Kyunghan LEE

Department of Electrical and Computer Engineering and INMC  
Seoul National University

### 요약

기존 전송 계층 프로토콜 표준인 TCP는 유선 상황을 가정하고 설계되었기 때문에 가변적인 채널 상태를 가지는 셀룰러 네트워크에서 최적의 성능을 낼 수 없다. Google이 최초 개발하고, IETF에 의해 표준화가 진행 중인 QUIC 프로토콜은 UDP 기반 유저 레벨 설계를 통해 전송 계층 기능성에 큰 다양성을 부여한다. 본 논문은 QUIC 표준을 바탕으로, 셀룰러 네트워크 패킷 손실에 의한 응답성 저하를 효과적으로 완화할 수 있는 채널 적응적 FEC (Forward Error Correction) 기능을 탑재한 유저 레벨 전송 프로토콜을 설계한다.

### I. 서론

최근 5G 인프라를 바탕으로 셀룰러 네트워크 서비스가 각광받으면서, 최초 유선 네트워크를 목표로 설계된 표준 TCP는 많은 기능 변화가 요구되고 있다. 하지만 TCP는 커널에 구현되어 운영체제와 깊이 결합돼 있기 때문에 그 기능을 수정하고 확장하는 것이 어렵다. 메가 서비스 벤더로서 이와 같은 문제를 크게 겪고 있던 Google은 전송 계층이 다양한 네트워크 상황에 최적화된 기능을 쉽게 제공할 수 있도록 UDP 기반 유저 레벨 프로토콜인 QUIC을 개발하였다.

초기 QUIC은 무선 네트워크 채널의 잦은 패킷 손실로 인해 전송율이 저하되고 재전송에 의한 지연이 발생하는 문제를 해결하기 위해 초기 한번의 전송만으로 손실 패킷을 복구할 수 있는 FEC 기능을 탑재[1]하였으나, 비효율적인 설계로 인해 그 기능을 삭제하였다. 이후 여러 연구에서 발전된 FEC 코드를 QUIC에 구현하고 재전송 없이 패킷 손실에 대응하고자 하였으나, 가변적인 채널 상태에 적응하지 못하고 지나친 FEC 부하를 가지는 공통적인 문제를 해결하지 못했다[2].

본 연구는 단말에서 수집한 네트워크 정보를 이용하여 셀룰러 채널 손실 패턴을 미리 예측하고 이를 바탕으로 FEC 복구 패킷의 양을 조정함으로써 최소의 부하만으로 손실 패킷을 복구하는 FEC 모듈을 설계한다. 설계한 채널 적응적 FEC 모듈을 IETF 표준 QUIC 구현과 결합하여 패킷 손실에 의한 응답성 저하를 완화할 수 있는 저지연 유저 레벨 전송 프로토콜을 제안한다.

### II. 본론

유저 레벨 전송 프로토콜의 FEC 모듈이 해결해야 하는 가장 중요한 문제는 최소의 FEC 부하만으로 모든 손실 패킷을 복구할 수 있도록 동적으로 최적의 복구 패킷 양을 결정하는 것이다. 따라서 제안하는 FEC 모듈은 채널 상태에 동적으로 적응하기 위해 단말의 네트워크 및 셀 데이터를 수집하고 손실 패턴을 지속적으로 추론하여 이를 바탕으로 FEC 복구 패킷 양을 결정한다. FEC 복구 패킷의 양은 축적 네트워크 데이터를 이용하는 LSTM 딥러닝 기반 손실 패킷

예측치와 셀 데이터를 활용한 추정치의 가중합으로 결정된다. LSTM 기반 딥러닝 모델은 손실 패턴 추론의 정확도를 높이며, 셀 데이터 기반 손실 추정은 딥러닝 손실 추론 시간 동안 변화하는 채널 상태를 트래킹할 수 있도록 돕는다.

본 연구의 저지연 전송 프로토콜은 위와 같은 적응적 FEC 모듈을 범용적인 표준 QUIC 프로토콜에 결합하였다. 아래 그림 1과 같이 QUIC의 표준 헤더 필드를 활용하여 적응적 FEC 모듈에 의한 파라미터들을 전달하며, QUIC의 혼잡제어 기법이 FEC 모듈과 충돌없이 동작할 수 있도록 설계되었다.

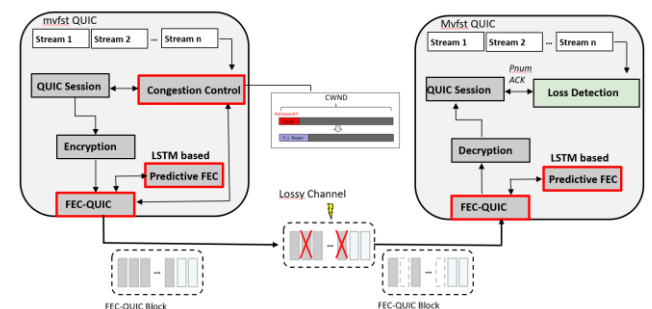


그림 1. UDP 기반 유저 레벨 전송 프로토콜 구조

### III. 결론

본 논문에서는 셀룰러 채널의 잦은 패킷 손실로 인해 성능이 저하되는 표준 TCP를 대체하기 위해 UDP 기반 유저 레벨 저지연 프로토콜을 제안한다. 본 논문이 제안하는 저지연 프로토콜은 범용적인 IETF 표준 QUIC 디자인과 적응적 FEC 모듈을 결합하여, 셀룰러 네트워크 상의 잦은 손실 상황에서도 최소부하만으로 패킷 재전송 없이 응답성 저하문제를 완화할 수 있다.

### ACKNOWLEDGMENT

이 논문은 2021년도 BK21 FOUR 정보기술 미래인재 교육연구단에 의하여 지원되었음.

참 고 문 헌

- [1] QUIC: A UDP-Based Secure and Reliable Transport for HTTP/2 draft-tsvwg-quic-protocol-02  
(<https://datatracker.ietf.org/doc/html/draft-tsvwg-quic-protocol-02>)
- [2] Quentin De Coninck, Francois Michel, et al. "Pluginizing QUIC" in ACM SIGCOMM 2019 (Pages 59– 74)