

QUIC에서의 패킷 손실 복구 및 혼잡 제어 방식

이재훈 동국대학교 정보통신공학과 교수

1. 개요

QUIC 프로토콜은 구글에서 제안하고 구글 웹브라우저인 크롬에 탑재된 프로토콜로서 IETF QUIC 워킹그룹에서 표준화가 진행 중이다. QUIC은 이전에는 Quick UDP Internet Connection의 약자로 사용되었지만, 최근에 구글에서 QUIC을 고유명사화하기로 하면서부터 약자가 아닌 고유명사로 사용되고 있다. QUIC은 UDP 상에서 동작하는(인증 및 암호화를 통하여) 안전하고, 빠르며, 또한 스트림 기반의 다중화 서비스를 제공하는 전달 프로토콜이다. 즉, QUIC은 TCP를 사용하는 경우에 발생할 수 있는 단점을 해결하기 위하여 설계되었으며 아래와 같은 기능을 제공한다.

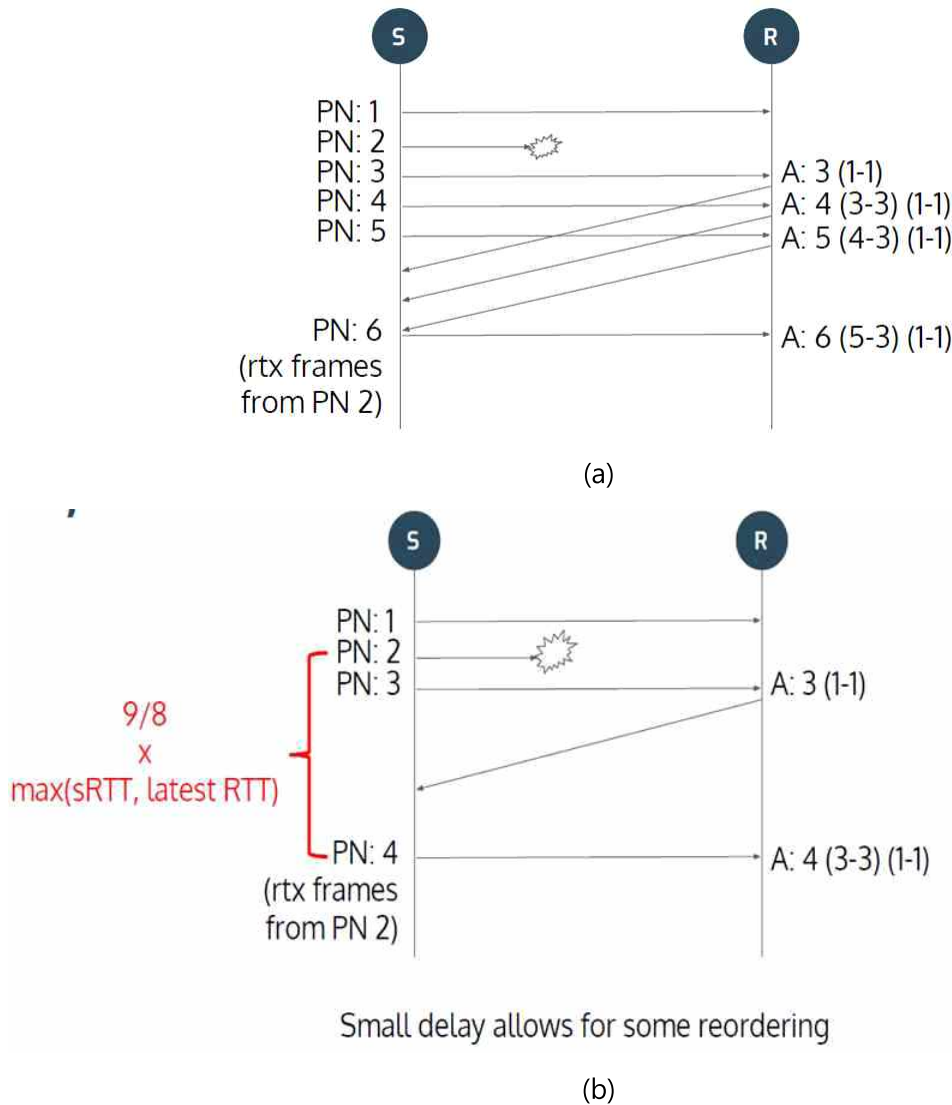
- 전송 프로토콜로서 TCP 대신에 UDP를 이용함으로써 프로토콜 업데이트 등이 발생하는 경우 미들박스의 수정이나 OS의 업데이트 없이 사용자 레벨에서 빠른 업데이트가 가능함.
- 0-RTT(Round-trip time) 또는 1-RTT 만에 연결 설정이 가능하며 TCP+TLS를 이용하여 실제 데이터를 전송하는 경우 약 4.5 RTT가 걸리는 데 비해 연결 설정이 빠르게 이루어진다는 장점이 있음.
- 여러 개의 스트림 간에 독립적인 전송을 가능하게 하여 HoL(Head of Line) 블로킹 현상을 방지함.
- 전송되는 패킷마다(이 패킷이 재전송되는 패킷이라 할지라도) 새로운 패킷 번호를 할당함으로써 재전송 타이머 계산 시에 발생할 수 있는 모호함을 없앴.
- 최대 256 개의 SACK(Selective ack) 블록을 지원.

TCP는 상위 계층의 데이터를 전송하기 위한 전송 프로토콜의 기능 외에 만일 네트워크에서 혼잡이 발생하여 패킷이 손실되면 신뢰성 제공을 위하여 손실을 복구하고 또한 네트워크가 혼잡으로부터 벗어날 수 있도록 하기 위한 손실 감지 및 복구, 그리고 혼잡 제어의 기능을 제공한다. 이는 QUIC도 마찬가지이며 따라서 QUIC에서의 손실 감지 및 복구, 그리고 혼잡 제어도 중요한 문제라 할 수 있다.

2. QUIC 손실 감지, 복구 및 혼잡 제어

QUIC에서의 손실 감지 및 복구, 그리고 혼잡 제어 방식은 TCP에서 수행하는 기능과 유사하게 동작한다. QUIC에서 송신 측에서 전송한 패킷이 손실되었는지를 파악하기 위해서는 ack 정보와 time-out 정보를 이용한다.

2-1 Ack 기반의 손실 감지 기법

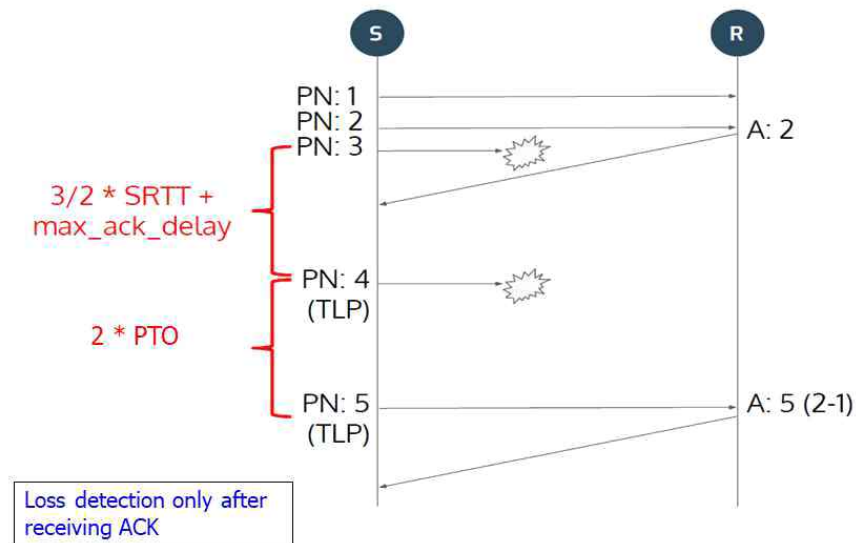


[그림 1] QUIC에서 ack-기반의 손실 감지 기법

[그림 1]은 ack 기반의 손실 감지 기법의 예를 보여준다. [그림 1]의 (a)는 기존 TCP에서 수행하는 것과 동일하게 3개의 중복 ack가 발생하는 경우 패킷이 손실되었다고 간주하는 예시를 보여준다. 즉, 송신 측에서 순서 번호 2~5의 패킷을 전송하는 경우에 순서 번호 2의 패킷이 손실되고 순서 번호 3~5의 패킷이 수신 측에 도착하면, 수신 측은 패킷 2를 제외한 나머지 패킷의 수신을 SACK 옵션 정보를 이용하여 송신 측에 알려준다. 송신 측에서는 수신 확인이

된 패킷 중에서 순서 번호가 제일 높은 패킷과 아직 수신 확인이 되지 않은 패킷의 순서 번호의 차이를 검사하여 만일 차이가 3이상이면 수신확인이 되지 않은 패킷을 손실로 간주한다. 반면 [그림 1]의 (b)는 time-out을 기반으로 손실을 간주하는 예시를 보여준다. Time-out 기반의 손실 감지 기법은 구글에서 제안한 RACK(Recent Acknowledgement) 기법을 기반으로 한 방식이다. 이 예시에서 송신 측은 순서 번호 2와 3의 패킷을 전송하였고, 패킷 3이 수신 측에 도착하였으며, 수신 측은 패킷 3에 대하여 SACK를 전송한다. 송신 측이 패킷 2에 대한 ack를 수신하지 못한 상태에서 패킷 3에 대한 ack를 수신하면, 송신 측은 패킷 2의 전송 시간과 패킷 3의 ack 수신 시간의 차이를 계산한다. 만일 이 차이가 임계치를 초과하면 송신 측은 패킷 2가 손실되었다고 간주한다. 그렇지 않으며 송신 측은 남은 시간동안 패킷 2에 대한 ack를 기다리며, 이 시간 내에 ack가 수신되지 않으면 패킷 2가 손실되었다고 간주한다.

2-2 Time-out 기반의 손실 감지 기법



[그림 2] QUIC에서 time-out 기반의 손실 감지 기법

위에서 언급한 방법은 [그림 2]에 나타나 있는 것과 같이 만일 송신 측에서 가장 최근에 전송한 패킷이 손실되는 경우에 이 패킷이 손실되었는지를 확인할 수가 없다. 이를 해결하기 위하여 송신 측에서는 패킷을 전송할 때마다 Probe Time-out(PTO) 타이머를 구동하고, 만일 기간 동안 패킷에 대한 ack를 수신하지 못하는 경우에는 Probe 패킷을 전송하고 PTO 타이머의 값을 두 배로 설정한다. 만일 송신 측에서 Probe 패킷에 대한 ack를 수신하면 위에서 언급한 ack 기반의 손실 감지 기법을 이용하여 패킷의 손실 여부를 판단한다.

손실이 발생하는 경우 QUIC에서는 TCP에서 정의된 NewReno 기법을 이용하여 혼잡을 제어한다.

3. 향후 전망

2019년 3월 23일부터 29일까지 체코 프라하에서 개최된 IETF 104차 회의에서는 QUIC에서의 손실 감지 및 복구, 그리고 혼잡 제어를 위한 프로토콜 표준화에 대한 논의가 이루어졌다. 이번 논의에서는 혼잡 제어의 경우 초기 혼잡 윈도우의 값 정의, PTO 계산 방법, 그리고 지속적인 혼잡 상태의 정의 등에 대한 논의가 이루어졌으며, 향후 회의에서는 RTT 계산의 경우에 어떤 패킷을 계산에 포함해야 하는지와 지속적인 혼잡 상태를 정의하기 위한 임계치를 정하는 등의 세부적인 내용들에 대한 표준화가 진행될 예정이다.