
버퍼 크기 기반 자동재전송 프로토콜의 재전송 지속성 제어

김범준*

A Buffer Size-based Retransmission Persistence Control for ARQ Protocols

Beom-Joon Kim*

요약

본 논문에서는 무선 링크의 신뢰성을 높이기 위한 자동재전송 (Automatic Repeat reQuest; ARQ) 프로토콜의 재전송 시도 횟수 조정 방안을 제안한다. 기존의 자동재전송 프로토콜은 항상 고정된 재전송 지속성 (retransmission persistence)을 사용하는데 이를 너무 작은 값을 설정하면 신뢰성을 보장하는데 한계가 있고 너무 큰 값으로 설정하면 지연과 지연 변이(jitter)가 크게 증가하는 문제점을 가지고 있다. 반면 제안된 방안은 버퍼 내의 프레임의 수를 근거로 재전송 지속성을 조정하여 프레임의 수가 많은 경우에는 재전송 지속성을 낮추어 자동재전송 프로토콜의 프레임 처리율을 높이고 적은 경우에는 재전송 지속성을 높여 무선 링크의 신뢰성을 높일 수 있다. 시뮬레이션 결과를 통해서 제안된 방안이 재전송으로 인한 지연과 지연 변이를 크게 감소시킬 수 있음을 보인다.

ABSTRACT

This paper proposes a retransmission persistence control scheme for automatic retransmit request (ARQ) protocol to improve the reliability of a wireless link. Most existing ARQ protocols adopt a fixed retransmission persistence. If the ARQ protocol sets the retransmission persistence too low, there is a limitation in providing transmission reliability. On the other hand, if the ARQ protocol sets the retransmission persistence too high, it increases transmission delay and jitter. In order to figure out the problem, the proposed scheme considers the number of frames in the buffer in controlling the retransmission persistence; it improves the throughput of ARQ protocol by increasing the retransmission persistence when the number of frames is small and decreasing otherwise. Simulation results show that the proposed scheme decreases the transmission delay and jitter significantly comparing to the existing schemes.

키워드

Automatic repeat request (ARQ), Retransmission persistence management, Buffer size
자동재전송, 재전송 지속성 관리, 버퍼 크기

1. 서론

무선 링크를 통한 전송의 신뢰성을 보장해 주기 위

한 두 가지 중요한 수단으로서 자동재전송 (Automatic Repeat reQuest ; ARQ)과 순방향오류정정 (Forward Error Correction ; FEC) 혹은 두 가지를 함께 사용하

* 계명대학교 전자공학과(bkim@kmu.ac.kr)

접수일자 : 2011. 06. 28

심사(수정)일자 : 2011. 07. 28

게재확정일자 : 2011. 08. 12

는 Hybrid ARQ가 고려되고 있다[1][2]. 자동재전송 프로토콜은 링크 계층에서 프레임의 손실을 감지하고 재전송을 위한 기능을 수행한다. 손실된 프레임은 타이머나 수신원으로부터 전달되는 응답(Acknowledgement; ACK) 혹은 폴링에 의해서 감지된다. 이를 통해 자동재전송 프로토콜 손실된 프레임을 빠르게 복구할 수 있어 상위 계층 프로토콜에 대해서 무선 링크의 신뢰성을 효율적으로 보장해 줄 수 있다[1].

그러나 기존 자동재전송 프로토콜은 항상 고정된 재전송 지속성(retransmission persistence)을 사용하기 때문에 무선 링크의 상태 변화에 효율적으로 대처할 수 없다는 단점을 가지고 있다. 특히 무선 링크가 혼잡 상태에 있을 때 여러 번의 재전송을 수행하는 것은 오히려 링크 계층의 성능을 크게 감소시키는 원인이 된다. 이는 링크 계층의 자동재전송 프로토콜의 성능이 TCP와 같은 상위 계층 프로토콜의 전반적인 처리율에 심각한 영향을 미친다는 점에서 큰 문제점이라 할 수 있다[3]. 따라서 본 논문에서는 송신원의 버퍼에 저장된 프레임의 개수를 고려한 자동재전송 프로토콜의 동적인 재전송 지속성의 조정 방안을 제안한다. 제안된 방안은 자동재전송 프로토콜의 재전송으로 인한 최대 전송 지연 시간을 제한하고 무선 링크의 상태를 적절하게 반영할 수 있으므로 자동재전송 프로토콜의 효율성을 크게 증가시킬 수 있다.

II. 관련 연구

2-1 자동재전송 프로토콜의 전송 방식

자동재전송 프로토콜의 전송 방식은 크게 Stop-and-Wait 방식과 Sliding Window 방식으로 나눌 수 있다[4]. Stop-and-Wait는 한 번에 하나의 프레임만을 전송하는 방식으로 프레임이 성공적으로 전달된 것을 확인한 후에 다음 프레임을 전송한다. 이 방식은 구현이 용이하다는 장점이 있지만 하나의 프레임을 전송하고 이에 대한 응답을 수신할 때까지 프레임을 전송하지 못하기 때문에 효율성이 낮다는 단점이 있다.

반면 Sliding Window 방식은 송신원에서 전송 윈도우를 관리하여 여러 개의 프레임을 연속적으로 보내는 방식으로 충분히 큰 전송 윈도우를 사용할 경우

대단히 효율적일 수 있다. 그러나 이를 위해서 매 프레임마다 순번(sequence number)을 부여하고 관리해야 하므로 상대적으로 구현이 복잡해질 수 있다. 대표적인 Sliding Window 방식으로는 Go-Back-N과 Selective Repeat을 들 수 있다[5].

자동재전송 프로토콜의 성능은 전송 신뢰성, 지연과 지연 변이 그리고 전송률에 의해서 평가되는데 이는 프레임 전송 방식과 재전송 지속성의 크기와 밀접한 관련을 가진다. 재전송 지속성이란 자동재전송 프로토콜이 재전송을 시도하는 경향을 말하는데 일반적으로 하나의 프레임을 처리하는데 할당되는 시간 단위로 정의되고 링크의 전달 지연(propagation delay)이 일정한 경우에는 재전송 횟수로 설정될 수 있다 [1]. 재전송 지속성이 높을수록 링크의 신뢰도는 높아지는 반면 잦은 재전송으로 프레임이 겪게 되는 전송 지연과 지연 변이는 급속히 증가하게 된다. 그러므로 효율적인 자동재전송 프로토콜의 성능을 충족하기 위해서는 적절한 재전송 지속성을 결정하는 것이 무엇보다 중요하다. 재전송 지속성의 정도에 따라 자동재전송 프로토콜을 Perfectly-Persistence 자동재전송 프로토콜, High-Persistence 자동재전송 프로토콜 그리고 Low-Persistence 자동재전송 프로토콜로 구분할 수 있다[1][2][4][6].

Perfectly-Persistence 자동재전송 프로토콜은 프레임 전송이 성공할 때까지 무한정으로 프레임 재전송을 시도하는 방식으로 링크의 신뢰성을 완벽히 보장한다[1][4]. 하지만 프레임 재전송의 제한이 없기에 링크의 상태가 좋지 못해서 연속적으로 프레임의 손실이 발생하는 경우 큰 지연과 지연 변이가 발생하고 링크의 최대 전송 지연을 제한하지 못한다. 특히 링크 계층 재전송으로 인하여 증가한 지연과 지연 변이는 상위 전송 프로토콜의 성능에 영향을 줄 수 있다.

TCP의 경우 링크 계층에서의 큰 지연 변이는 TCP 재전송 타이머의 정확성을 떨어뜨리는 요인이 될 수 있고 최악의 경우 불필요한 재전송 타임아웃(Retransmission Timeout; RTO)을 발생시켜 TCP의 전송률을 급격히 감소시킬 수 있다[6][7]. 또한 음성이나 영상 서비스와 같이 전송 신뢰성보다 지연과 지연 변이에 민감한 서비스에 대해서 링크 계층에서 과도한 재전송을 수행하는 것은 서비스의 질을 떨어뜨리는

요인이 된다[1].

Low-Persistence 자동재전송 프로토콜의 경우 프레임의 재전송 횟수가 보통 2에서 5정도의 작은 값으로 설정되기 때문에 링크 계층에서의 지연이 어느 정도 작은 값으로 제한되고 이로 인한 상위 전송 프로토콜에 미치는 영향 또한 적지만 링크의 신뢰성을 Perfectly-Persistence 자동재전송 프로토콜만큼 충분히 보장해 줄 수는 없다[1].

2-2 고정된 재전송 지속성으로 인한 문제점

고정된 재전송 지속성을 사용하는 것은 통신 환경이 수시로 변화하는 인터넷에는 적합하지 않다. 트래픽의 양이 적은 경우에는 무선 링크의 상태에 관계없이 여러 번의 재전송을 수행하여 높은 링크의 신뢰성을 보장할 수 있다. 그러나 트래픽의 양이 증가함에 따라 자동재전송 프로토콜의 성능은 무선 링크의 상태에 따라 민감하게 변화하게 되는데 링크의 프레임 손실률이 낮은 경우 자동재전송 프로토콜은 한 번 혹은 두 번의 재전송을 통해 프레임의 성공적으로 전송할 수 있는 반면 프레임의 손실률이 높은 경우 다수의 재전송이 필요하며 이는 링크 계층에서의 전송 지연과 지연 변이의 급격한 증가로 이어지게 된다[2].

이는 하나의 프레임을 처리하는 데 더 긴 시간이 소요되어 자동재전송 프로토콜의 처리율의 감소를 의미한다. 또한 자동재전송 프로토콜의 버퍼에서 누적되는 데이터 양이 더욱 빠르게 증가하여 프레임의 큐잉 지연을 증가시키는 악순환을 반복하게 된다. 재전송 persistence를 작은 값으로 사용하는 것은 이러한 현상을 어느 정도 줄일 수 있어 ARQ의 과부하 상태에서는 적합하지만 ARQ에 들어오는 트래픽의 양이 적은 경우에서조차 충분한 링크 신뢰성을 확보할 수 없다는 문제를 가지고 있다.

특히 링크의 혼잡 상황에서 프레임 재전송으로 인한 처리율의 저하는 링크의 혼잡 상황을 가중시키며 이는 송신원으로 유입되는 프레임에 대한 전송 시도조차 되지 못하고 손실될 수밖에 없는 원인이 된다. 혼잡 상태에서는 바로 처리되지 못한 많은 프레임이 노드의 버퍼에 저장되고 버퍼의 한계에 도달하면 들어오는 프레임의 대부분이 버퍼에 저장되지 못하고 손실되게 되기 때문이다.

III. 제안하는 재전송 지속성 조정 방안

본 논문에서는 기존 고정된 재전송 지속성을 사용하는 자동재전송 프로토콜이 갖는 문제를 해결하기 위해 송신원의 버퍼에 쌓여있는 데이터 량에 따라 자동재전송 프로토콜의 재전송 지속성을 동적으로 조정하는 방안을 제안한다. 따라서 제안하는 방안은 자동재전송 프로토콜의 송신원에 신규로 들어오는 트래픽 양이 적을 때에는 높은 재전송 지속성을 허용하고 트래픽 양이 많을 때에는 상대적으로 작은 재전송 지속성을 허용한다.

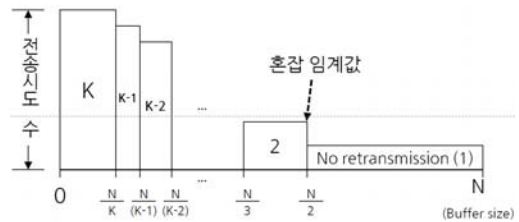


그림 1. 버퍼 크기에 기반한 재전송 지속성의 조정
Fig. 1 The retransmission persistence management based on buffer size.

특히 자동재전송 프로토콜 송신원의 버퍼에 저장된 데이터 량이 혼잡 임계값(congestion threshold)을 초과할 경우 재전송을 아예 수행하지 않도록 하였다. 자동재전송 프로토콜의 송신원에 부가되는 트래픽의 양은 버퍼에 쌓여있는 데이터 량을 근거로 하며 그림 1과 같이 한 프레임에 대한 전송 시도 횟수를 버퍼에 쌓여있는 데이터의 양에 반비례하게 조정하도록 하였다. 또한 제안된 방식은 링크 계층에서의 최대 전송 지연을 재전송을 수행하지 않는 링크 계층에서의 최대 지연과 같은 수준으로 제한한다.

자동재전송 프로토콜이 동작하는 링크 계층에서 프레임이 겪는 전송 지연은 프레임을 전송(첫 번째 전송과 재전송)하는 데 걸리는 시간과 프레임이 송신원의 버퍼에서 전송되기를 기다리는 시간으로 구성된다. 그러므로 링크 계층에서 한 프레임이 겪는 최대 전송 지연 시간은 버퍼의 크기와 재전송 시도 횟수에 의해 결정된다[5][6].

그림 1에서 버퍼 크기의 N/K 까지의 구간에서 한 프레임의 전송 시도 수를 K 로 설정하는 것은 재전송

하지 않는 링크 계층 프로토콜에서 버퍼의 크기만큼의 프레임들을 모두 처리하는 데 걸리는 시간을 넘지 않도록 하기 위한 것이다.

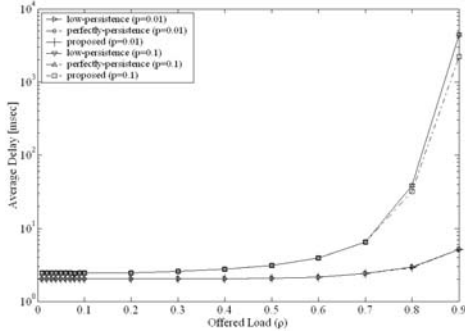


그림 2. 평균 지연 시간 비교
(프레임 손실률: 0.01, 0.1)

Fig. 2 The average transmission delay comparison
(frame loss rate: 0.01, 0.1)

마지막으로 링크 혼잡 상황에서 다수의 프레임이 버퍼의 끝에서 손실되는 것을 감소시키기 위해 제안하는 방안은 버퍼의 지점을 혼잡 임계값으로 설정하여 버퍼에 쌓인 데이터 양이 이 지점을 초과할 경우 재전송을 수행하지 않도록 한다. 즉, 링크 혼잡 상황에서는 링크 계층의 신규 트래픽에 대한 서비스를 최대한으로 하며 링크 혼잡 상황에서 벗어나게 될 경우 손실된 프레임의 재전송을 수행하게 된다.

IV. 시뮬레이션 및 결과 분석

4-1 시뮬레이션 환경

링크 계층에서 고정된 재전송 지속성을 사용하는 기존의 자동재전송 프로토콜과 제안한 자동재전송 프로토콜의 성능을 분석하기 위하여 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 Stop-and-Wait 자동재전송 프로토콜을 구현하였다. Perfectly-Persistence 자동재전송 프로토콜의 경우 재전송 지속성의 크기를 제한하지 않았고 Low-Persistence 자동재전송 프로토콜의 경우 2로 설정하여 두 번까지 재전송을 수행하도록 하였다. 제안한 자동재전송 프로토콜의 재전송 지속성은 그림 1에서 설명한 바와 같이 동적으로 설정된다.

프레임 처리율은 2Mbps, 하나의 프레임을 정상적

으로 전송하고 수신원으로부터 응답을 받기까지 걸리는 시간은 2ms로 고정시켰다. 프레임 손실은 송신원의 타이머의 타임아웃(timeout)을 통해서만 감지할 수 있다. 이때 타이머의 크기는 프레임 전송 RTT(Round-Trip Time)의 2배로 설정하였다. 송신원의 버퍼의 크기와 제안한 자동재전송 프로토콜을 위한 혼잡 임계값은 각각 1024 kbytes와 512 kbytes로 설정하였으며 프레임은 무선 링크에서 랜덤하게 손실되는 것으로 가정하였다.

송신원에 가해지는 트래픽은 포아송(poisson) 모델에 의하여 발생되며 프레임의 크기는 512 bytes 일정한 크기로 설정하였다. 송신원에 가해지는 트래픽 부하(offered traffic load)는 송신원의 프레임 처리율 대비 송신원에 들어오는 트래픽의 비율로 정의되며 트래픽 부하를 변화시켜가며 시뮬레이션을 수행하였다.

4-2 결과 및 분석

제안하는 자동재전송 프로토콜은 트래픽 부하가 작을 때는 비교적 큰 재전송 지속성을 갖기 때문에 무선 링크의 프레임 손실률이 0.1이하일 때 전송 신뢰도 측면에서 Perfectly-Persistence 자동재전송 프로토콜에 가까운 성능을 보였다. 평균 지연 시간은 그림 2에서 볼 수 있는 바와 같이 프레임 손실률이 0.01로 매우 낮을 때는 모두 동일한 크기를 보였으며 프레임 손실률이 0.1일 때는 송신원에 가해지는 트래픽 양이 커질수록 Low-Persistence와 Perfectly-Persistence보다 작아지는 결과를 보였다. 이는 송신원에 가해지는 트래픽 양이 증가하면서 송신원의 버퍼에 쌓이는 데이터 양이 많아짐에 따라 재전송 지속성을 작은 값으로 설정하여 고정된 재전송 지속성을 갖는 방식보다 적은 횟수의 재전송을 허용하기 때문이다.

그림 3은 무선 링크의 프레임 손실률이 0.5로 매우 높을 때 세 가지 오류 제어 방식의 평균 지연 시간을 나타낸 것이다. 고정된 재전송 지속성을 사용하는 두 가지 방식은 트래픽 부하가 비교적 작은 0.4일 때에도 전송 지연과 안정성 측면에서 성능이 급격히 저하된다. 즉, 하나의 프레임을 성공적으로 전달하기 위해서 평균 2회 이상의 전송이 필요하기 때문에 전송 지연이 매우 급격히 증가하게 되고 쉽게 혼잡 상태로 인한 버퍼 오버플로우(buffer overflow)가 발생하게 된다. 반면 제안하는 자동재전송 프로토콜은 트래픽 부

하가 0.4보다 작을 때는 Low-Persistence보다 큰 재전송 지속성을 유지하여 Perfectly-Persistence에 가까운 신뢰성을 제공하며 전송 지연 또한 링크 RTT의 수배를 넘지 않는다.

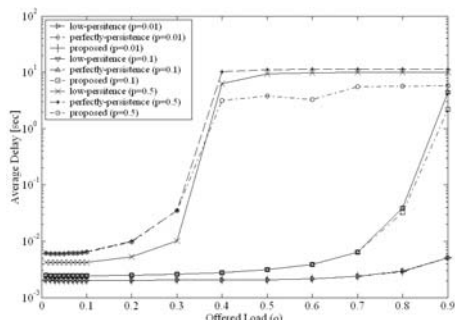


그림 3. 평균 지연 시간 비교 (프레임 손실률: 0.01, 0.1, 0.5)

Fig. 3 The average transmission delay comparison (frame loss rate: 0.01, 0.1, 0.5)

제안하는 자동재전송 프로토콜은 트래픽 부하가 0.4에서 0.6으로 증가함에 따라 재전송 지속성을 낮추어 평균 1회의 재전송만을 수행하여 전송 지연을 Low-Persistence ARQ의 50%정도로 감소시킬 수 있었다. 그림 4는 제안하는 자동재전송 프로토콜의 경우 혼잡 상태는 트래픽 부하가 0.7이상일 때 발생하며 고정된 재전송 지속성을 사용하는 것에 비해 트래픽 부하 0.4부터 0.7까지의 구간에서 안정적으로 동작할 수 있다는 것을 보여준다.

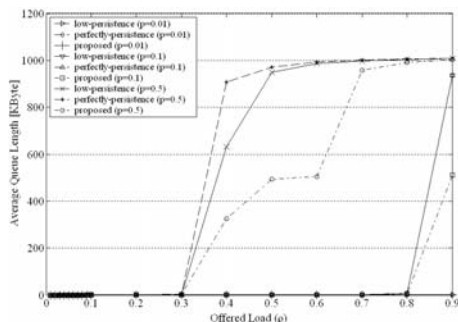


그림 4. 평균 큐 길이 비교 (프레임 손실률: 0.01, 0.1, 0.5)

Fig 4. The average queue length comparison (frame loss rate: 0.01, 0.1, 0.5)

표 1은 트래픽 부하가 0.8로 일정한 경우 무선 링크의 프레임 손실률에 따른 세 방식의 성능을 신뢰성 측면에서 보여준다. 프레임 손실률 0.1이하에서는 비교적 높은 재전송 지속성을 유지하는 제안하는 자동재전송 프로토콜과 Perfectly-Persistence 자동재전송 프로토콜의 경우 100%의 신뢰성을 보인 반면 Low-Persistence 자동재전송 프로토콜의 경우 프레임 손실률이 높아지면 재전송을 포기(give-up)하는 빈도가 증가한다. 고정된 재전송 지속성을 사용하는 방식의 경우 무선 링크의 프레임 손실률이 증가하면 실제 재전송 수가 증가하고 송신원의 프레임 처리율의 감소로 이어져 쉽게 혼잡 상태에 빠지게 된다는 것을 알 수 있다. 제안한 방식은 재전송 지속성을 낮추어 재전송을 포기하는 빈도가 높아지지만 무선 링크의 상태가 불안정한 경우에도 보다 안정적으로 동작할 수 있다.

표 1. 손실된 프레임의 수 비교
Table 1. The number of frame losses

Frame loss rate	Perfectly -Persistence	Low-Persistence		Proposed	
	Drops	Drops	Give-Ups	Drops	Give-Ups
0.01	0	0	1	0	0
0.02	0	0	1	0	0
0.03	0	0	5	0	0
0.04	0	0	15	0	0
0.05	0	0	24	0	0
0.06	0	0	48	0	0
0.07	0	0	79	0	0
0.08	0	0	119	0	0
0.09	0	0	179	0	0
0.1	0	0	227	0	0
0.2	Congestion	Congestion	0	39326	
0.3			Congestion		
0.4			Congestion		
0.5			Congestion		

V. 결론

본 논문에서는 고정된 재전송 지속성을 사용하는 기존 자동재전송 프로토콜의 성능을 향상시키기 위해 트래픽 부하에 따라 재전송 지속성을 동적으로 조정하는 방안을 제안하였다. 제안한 방안이 적용된 자동재전송 프로토콜은 기존의 고정된 재전송 지속성을

사용하는 자동재전송 프로토콜보다 링크의 과부하 상태에서 안정적으로 동작하고 링크 계층에서의 프레임 재전송으로 인한 지연 시간을 작은 값으로 제한할 수 있다는 것을 시뮬레이션을 통해서 검증하였다. 특히 제안한 방안은 혼잡 상태가 시작되는 트래픽 부하를 0.7 이상으로 높임으로써 트래픽 부하가 0.4부터 0.7 사이에서 자동 재전송 프로토콜이 안정적으로 동작할 수 있도록 하였다.

향후에는 보다 다양한 무선 환경 설정과 함께 다양한 트래픽 모델 및 프레임 손실 모델에 대한 추가적인 시뮬레이션을 수행할 예정이다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부·한국산업기술진흥원 지정 계명대학교 전자화자동차부품지역혁신센터의 지원에 의한 것입니다.

참고 문헌

- [1] G. Fairhurst and L. Wood, "Advice to Link Designers on Link Automatic Repeat reQuest (ARQ)," RFC 3366, Aug., 2002.
- [2] Shu Lin, Daniel J. Costello. Jr and Michael J. Miller, "Automatic-Repeat-Request Error Control Schemes," IEEE Communications Magazine, Vol. 22, No. 12, pp. 5-17, 1984.
- [3] Lin, S. and D. Costello, Error Control Coding: Fundamentals and Applications, Prentice Hall, 1993.
- [4] Don Towsley and Jack K. Wolf, "On the Statistical Analysis of Queue Lengths and Waiting Times for Statistical Multiplexers with ARQ Retransmission Schemes," IEEE/ACM Transactions on Networking, Vol. 27, No. 4, pp. 693-702, Apr., 1979.
- [5] William Stallings, High-Speed Networks and Internets, 2nd Ed., Prentice Hall, 2002.
- [6] Kwang-Sik Kim, Dong-Min Kim, Beum-Joon Kim and Jaiyong Lee, "Improving TCP performance using the adaptive link layer retransmission algorithm over wireless channel," ICT'2003, Feb., 2003.
- [7] Y. Bai, A. T. Ogielski and Gang Wu, "Interactions of TCP and Radio Link ARQ

Protocol," VTC'99, 1999.

- [8] J. Robinson, "Reliable Link Layer Protocols," RFC 935, Jan., 1985.

저자 소개



김범준(Beum-Joon Kim)

1996년 2월 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사)

1998년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2003년 8월 연세대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

계명대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 모바일 IPTV/VoIP 서비스, TCP 성능 분석