

# 유·무선 혼합망에서 Cross-Layer기반의 에너지 효율적인 전송 기법

김재훈<sup>0</sup>, 이선헌, 이승형, 최웅철, 정광수  
광운대학교 전자공학부 컴퓨터통신연구실

{jhkim<sup>0</sup>, sunlee}@adams.kw.ac.kr, {shrlee, wchoi, kchung}@daisy.kw.ac.kr

## The Energy efficient Transmission Scheme based on Cross-Layer for Wired and Wireless Network

Jaehoon Kim<sup>0</sup>, Sunhun Lee, Seung Hyong Rhee, WoongChul Choi, Kwangsue Chung  
School of Electronics Engineering, Kwangwoon Univ.

### 요 약

유선망에 최적화되도록 진화해온 TCP는 무선망이 가지는 링크의 불안정함으로 인한 손실을 네트워크의 혼잡으로 인한 손실로 오해한다. 그 결과 혼잡 제어 메커니즘이 수행되어 불필요하게 전송율을 줄이므로써 전송 성능을 저하시키는 문제점을 초래한다. 이러한 이유로 최근 유·무선 혼합망에서 TCP의 성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 기존에 제안된 성능향상 기법들 중 상대적으로 뛰어난 성능을 보이는 Snoop 프로토콜이 유·무선 혼합망 특히 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 사용하는 무선망에서 가지는 문제점을 분석하고, Cross-layering 기법을 통하여 이를 보완하는 기법을 제안한다.

### 1. 서 론

TCP는 지난 20년을 통틀어 가장 성공적인 전송 계층 프로토콜이다. 이러한 TCP의 성공 요인으로서 신뢰성 있는 데이터 전송, 효과적인 트래픽 관리, IP와의 효율적인 결합 등을 들 수 있다. 이와 같은 장점에 의해 대다수의 인터넷 응용 프로그램들은 전송 계층 프로토콜로서 TCP를 사용하고 있다. 하지만 유선망에 최적화 되도록 진화해온 TCP는 무선망이 가지는 불안정한 링크에 의한 데이터 손실을 유선망에서처럼 네트워크의 혼잡으로 인한 손실로 오해한다. 그 결과 혼잡 제어 메커니즘이 수행되어 전송율을 줄이므로 네트워크 성능이 저하되는 문제점을 초래 한다[1].

이러한 이유로 최근 몇 년간 TCP의 성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 유·무선 혼합망에서 TCP의 성능을 향상시키기 위한 방법은 크게 링크계층 메커니즘, 전송계층 메커니즘으로 분류 할 수 있다. Snoop, Delayed Duplicate Acknowledgments, TULIP등이 링크계층 메커니즘이며, I-TCP, M-TCP, ELN등이 전송계층의 메커니즘이다.

위의 다양한 메커니즘 중에서 Snoop 프로토콜은 가장 좋은 성능을 보여준다[1]. 이는 무선구간의 Random Loss에 대해 BS(Base Station)가 빠른 응답을 보이기 때문이다. 그러나 무선구간의 손실은 Random loss가 아닌 Burst loss가 대부분이다. 따라서 각 Local-RTT(Round Trip Time)마다 하나의 손실된 패킷만을 복구하는 Snoop 프로토콜은 Burst loss의 복구에

많은 한계를 가진다. 이러한 Snoop의 Burst loss 복구 한계를 효율적으로 해결하기 위해 무선구간에 SACK 옵션 또는 SACK과 유사한 추가옵션을 사용하는 방식이 제안되었다[2,3].

하지만 기존의 Snoop 프로토콜과 같이 전송계층의 중복 ACKs기반의 재전송을 사용한다는 점과 ACK 패킷에 SACK 옵션의 사용하는 점은 무선구간의 Burst Loss를 효율적으로 복구하는데 있어 많은 한계를 가진다.

본 논문에서는 현재 가장 보편적으로 사용되는 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 기반으로 한 유·무선 혼합망에서 이러한 재전송 과정의 문제점 및 무선 단말의 에너지 효율을 개선하기 위해 새로운 Cross-layer 기법을 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 무선구간에 추가 옵션을 사용하는 기법인 SACK-Aware Snoop 프로토콜의 동작방법 과 문제점에 대해 기술하고, 3장에서는 본 논문이 제안하는 새로운 재전송 기법에 대해 설명한다. 4장에서는 제안한 재전송 기법의 성능을 평가하기 위한 실험과 5장에서는 결론 및 향후 과제에 대해 기술한다.

### 2. 관련 연구

#### 2.1 SACK-Aware Snoop (SAS) 프로토콜

SAS는 Snoop 프로토콜 메커니즘에서 Burst Loss 복구의 한계를 해결하기 위해 제안된 기법이다. 기본적인 동작 방법은 Snoop 프로토콜과 유사하다. 단, 무선 구간의 Burst Loss를 빠르게 복구하기 위해 ACK 패킷의 헤더에 SACK 옵션을 사용하여 한 Local-RTT안에 손실된 모든 패킷을 재전송 하는 방

\* 본 연구는 한국과학재단 특정기초연구[R01-2005-0000-10934-0(2005)]의 지원에 의해 수행되었음.

법을 사용한다. 그림 1은 SAS 프로토콜의 MH(Mobile Host)에서 FH(Fixed Host)로 데이터 전송 과 FH에서 MH로 데이터를 전송하는 과정을 그림으로 나타낸 것이다.

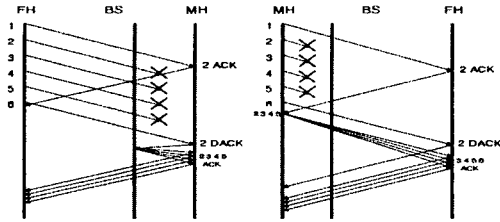


그림 1. SACK-Aware-Snoop 프로토콜의 에러 복구 과정

기존의 Snoop 프로토콜의 재전송 기법은 무선구간의 연속된 패킷 손실을 복구하는 과정에서 많은 Local-RTT를 소모한다. 이러한 재전송 과정의 많은 지연시간은 FH의 타임아웃을 발생시켜 심각한 성능 저하를 가져오는 원인이 된다. 하지만 그림 1과 같이 SAS 프로토콜은 무선구간의 연속되는 패킷손실을 빠르게 복구하기 위해 전송계층의 ACK에 추가 옵션을 사용한다. 따라서 하나의 Local-RTT에 손실된 모든 패킷을 복구하게 되고, FH의 타임아웃 발생을 방지할 수 있게 된다.

해 ACK 패킷(MAC-ACK)을 사용한다. 본 논문에서는 이러한 MAC 계층의 매커니즘을 이용한 지역 재전송 기법을 통해 기존 프로토콜의 문제점을 보완한다.

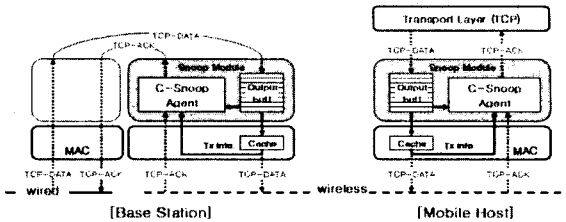


그림 2. C-Snoop 프로토콜의 시스템 아키텍처

그림 2는 Cross-layering 기법이 적용된 BS와 MH의 시스템 아키텍처를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 각 시스템에 C-Snoop Agent를 추가하였다. 그림 2와 같은 시스템 아키텍처는 기존의 SAS 프로토콜과 달리 BS와 MH의 상호 의존성을 제거해 지역 재전송의 효율성을 높일 수 있다. 즉, 데이터의 전송 방향이 FH에서 MH일 경우 MH의 도움 없이 BS의 효율적인 재전송이 가능하며, 그 반대 방향의 데이터 전송도 MH만으로 효율적인 재전송이 가능하게 한다.

C-Snoop의 기본적인 동작 방법은 기존의 Snoop 프로토콜과 유사하며, 본 논문에서는 새롭게 제안된 기법에 대해서만 언급한다. 그림 3은 C-Snoop의 기본적인 MAC-ACK 기반의 재전송 과정을 나타낸 것이다.

2.1 MAC 계층과의 상호 작용

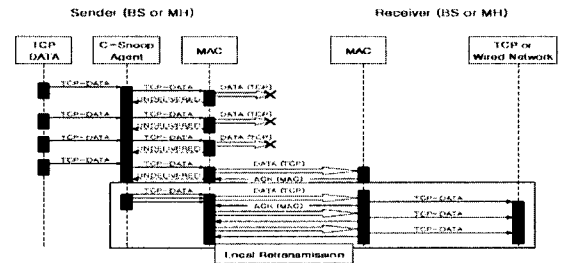


그림 3. C-Snoop의 MAC-ACK 기반의 에러 복구 과정

MAC 계층은 DELIVERED 또는 UNDELIVERED 이벤트를 발생시켜 C-Snoop Agent에 패킷의 전송여부를 통보한다.

DELIVERED 이벤트는 전송을 성공한 경우에 발생하는 이벤트이며, 수신단으로부터 MAC-ACK를 수신한 경우 발생된다. 반대로 UNDELIVERED 이벤트는 MAC 계층에서 해당 패킷을 전송하지 못하였을 경우 발생된다.

2.2 상위 계층 또는 유선구간과의 상호 작용

C-Snoop Agent는 전송계층 또는 유선구간으로부터 수신되는 패킷을 조사하여 큐잉 지연시간을 포함한 필요한 모든 정보를 저장한다. 또한 하위계층으로 전달되기 직전에 전송할 패킷을 저장한다. 패킷이 하위 계층으로 전달된 이후에 C-Snoop Agent는 MAC 계층으로부터 전송관련 이벤트가 발생되기를 기다린다. 만약 DELIVERED 이벤트가 MAC 계층으로부터 발

2.2 SACK-Aware-Snoop(SAS) 프로토콜의 문제점

SAS 프로토콜은 상기된 장점들로 인해서 기존의 Snoop 프로토콜보다 상대적으로 뛰어난 성능을 보인다. 그러나 Snoop 프로토콜과 같이 SAS 프로토콜 또한 무선구간의 Burst Loss를 완벽히 복구하는데 있어서 몇 가지 문제점을 가지고 있다. 이러한 문제점은 크게 두 가지로 나눌 수 있다.

첫 번째는 기존의 Snoop 프로토콜과 같이 전송계층의 중복 ACK에 의한 재전송 기법이라는 점이다. 전송 손실이 높은 무선구간에서 ACK 패킷의 손실로 인한 재전송 시간의 지연은 TCP의 타임아웃을 유발하여 성능 저하를 가져올 수 있다. 이러한 문제점은 상대적으로 TCP의 전송 윈도우의 크기가 작거나 전송방향이 MH에서 FH일 경우 더 큰 성능저하를 발생시킨다.

두 번째는 무선구간에서 SACK 옵션과 같은 추가 데이터 전송이다. 이러한 추가 옵션의 사용은 무선망의 대역폭과 무선 단말의 한정된 에너지 자원을 불필요하게 낭비하는 문제를 초래하게 된다.

이러한 SAS 프로토콜의 문제점은 무선구간의 Burst Loss를 효율적으로 복구하는데 있어서 한계를 가진다. 따라서 전송계층의 중복 ACK 손실에 대한 성능 저하를 완화시키며, 무선 단말의 한정된 에너지와 무선구간의 제한적인 가용대역폭을 효율적으로 사용할 수 있는 매커니즘이 필요하다.

3. C-Snoop(Cross-layer Snoop) 프로토콜

현재 IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 유·무선이 혼합된 패킷 망에서 가장 보편적으로 사용되는 전송 프로토콜이다. IEEE 802.11 MAC 프로토콜은 데이터 전송의 신뢰성을 보장하기 위

생된 경우 C-Snoop Agent는 해당 패킷을 버퍼에서 삭제하고, 전송 지연시간을 계산하여 재전송 타이머 값을 갱신한다. 또한 이전의 전송 실패로 인해 저장한 패킷이 같은 목적지를 가지고 있을 경우, 높은 우선순위를 가지고 손실된 패킷을 재전송 한다. 반대로 UNDELIVERED 이벤트가 발생한 경우 재전송을 위해 손실된 패킷을 저장하고 재전송 타이머로 관리한다.

2.3 재전송 타이머

C-Snoop은 MAC-ACK의 수신이전에 TCP의 타임아웃이 발생하는 문제를 해결하기 위해 재전송 타이머를 사용한다. C-Snoop의 재전송 타이머는 기존의 TCP에서 사용되는 RTO (Retransmission Timeout)의 산출 방법과 동일하다. 즉, 큐잉 지연시간과 MAC 계층의 전송시간을 Local-RTT로 하여 산출된 RTO값이 재전송 타이머로 사용된다. 이렇게 산출된 타이머는 재전송을 위해 저장된 각각의 패킷에 적용된다. 만약 재전송 타이머가 만기되면 MAC-ACK의 수신 없이도 저장된 패킷을 재전송한다. 그림 4는 이러한 재전송 타이머에 의한 에러 복구 과정을 나타낸 것이다.

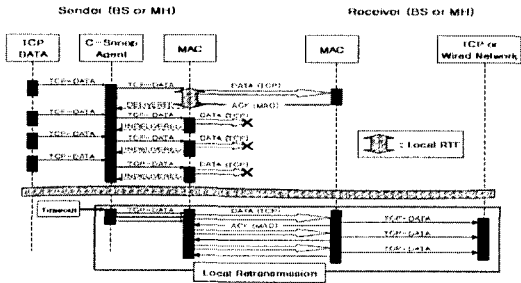


그림 4. C-Snoop의 재전송 타이머에 의한 에러 복구 과정

4. 실험 환경 및 성능 평가

본 논문에서 제안한 기법의 성능을 평가하기 위하여 버클리 대학의 NS-2(Network Simulator)[4]를 사용하였다. 무선 채널의 패킷 손실율에 따른 성능 및 에너지 효율을 평가하기 위하여 그림 5와 같은 토폴로지를 구성하였다. 무선 환경은 IEEE 802.11 MAC 프로토콜을 사용하였으며, 파라미터 값은 표 1과 같다. 성능 평가를 위해 채널 오류에 의한 손실율을 0%~10%로 각각 나누어 실험을 하며, 총 60초 동안 1Kbytes 크기의 패킷을 계속적으로 전송한다.

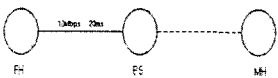


그림 5. 실험환경

Parameter Name	Value
ns	2.28.0
CH	802.11
ETH	100Mbps
AN. Sim. Environment	ns-sim
Global Name	ns-sim
nsconfig	nsconfig

표 1. 파라미터

그림 6과 7은 Burst Loss가 발생하는 환경에서 Snoop, SAS와 C-Snoop 프로토콜의 성능을 두 가지 전송방향 (FH→MH)에 대해 실험한 결과다. 전송계층의 중복 ACK 손실에 영향을 받지 않는 C-Snoop이 기존의 재전송 프로토콜에 비해 더 좋은 성능을 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 또한 기존의 재전송 프로토콜들은 MH에서 FH로 전송할 경우, 중복 ACK의

손실에 더 많은 성능 저하가 발생하지만 C-Snoop 프로토콜은 거의 영향을 받지 않는 것을 확인 할 수 있었다.

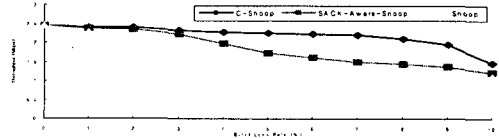


그림 6. 손실율에 따른 전송율 비교 (FH→MH)

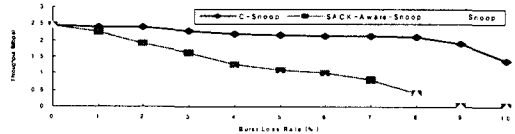


그림 7. 손실율에 따른 전송율 비교 (MH→FH)

그림 8는 식 (1)을 기준으로 MH에서 FH로 전송 시 패킷 손실율에 따른 에너지 효율실험의 결과를 나타낸 것이다. MAC-ACK기반의 재전송 방법이 기존의 지역 재전송 기법보다 더 좋은 효율을 나타내는 것을 확인할 수 있다.

$$EnergyEfficiency(\eta) = \frac{Throughput}{ConsumedEnergy} (Kb/s/J) \quad (1)$$

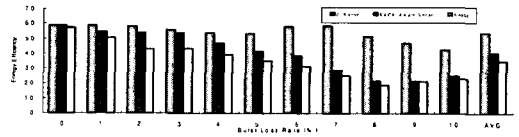


그림 8. Snoop, SAS와 C-Snoop의 손실율에 따른 에너지 효율

5. 결론 및 향후 과제

본 논문에서는 Snoop과 SAS가 가지는 문제점을 분석하고, 이를 해결하기 위해 MAC-ACK 기반의 재전송 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 빠른 재전송을 수행하고, BS와 MH의 연관성을 제거하여 기존 프로토콜의 문제점을 해결하였다.

향후에는 기존 재전송 프로토콜의 또 다른 취약점인 BS의 버퍼관리 및 Handoff를 해결할 기법에 대해 연구할 예정이다.

6.참고문헌

- [1] H. Balakrishnan, V. Padmanabhan, S. Seshan, and R. H. Katz, "A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links," IEEE/ACM Transactions on Networking, December 1997.
- [2] Vangala, S. Labrador, M.A.Vehicular, " The TCP SACK-aware snoop protocol for TCP over wireless networks," Technology Conference, 2003. VTC 2003-Fall. 2003.
- [3] Fanglei Sun, Li, V.O.K., Liew, S.C., " Design of SNACK mechanism for wireless TCP with new snoop," Wireless Communications and Networking Conference, 2004.
- [4] The network simulator ns-2, <http://www.isi.edu/nanam/ns/>