

유·무선 혼합망에서 TCP 성능 향상 기법

정재규⁰⁺ 천방훈⁺ 김영주⁺ 유혁⁺⁺
+ 삼성전자 CTO전략실 소프트웨어센터, ++ 고려대학교 컴퓨터학과
{jjung, benchun, yjkim}@samsung.com, hxu@os.korea.ac.kr

Performance Improvement Strategy for TCP in Wired and Wireless Network

Jae Gyu Jung⁰⁺ Bang Hun Chun⁺ Young Joo Kim⁺ Hyuck Yoo⁺⁺
+ Software Center, Corporate Technology Oper., Samsung Electronics Co., LTD
++ Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University

요 약

유선망에 최적화되도록 진화해온 TCP는 무선망이 가지는 링크의 불안정함으로 인한 손실을 네트워크의 혼잡으로 인한 손실로 오해한다. 그 결과 혼잡 제어 메커니즘이 수행되어 전송율을 줄이므로 네트워크 성능이 저하되는 문제점을 초래한다. 이러한 이유로 최근 유·무선 혼합망에서 TCP의 성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 기존에 제안된 기법들 중 상대적으로 뛰어난 성능 향상을 보이는 snoop protocol이 유·무선 혼합망 특히 CDMA망에서 가지는 문제점을 분석하고 이를 보완하는 기법을 제안한다.

1. 서 론

TCP는 지난 20년을 통틀어 가장 성공적인 전송 계층 프로토콜이다. 이러한 TCP의 성공 요인은 여러 가지가 있겠지만 (1)신뢰성 있는 데이터 전송, (2)효과적인 트래픽(traffic) 관리, (3)IP와의 효율적인 결합 등을 들 수 있을 것이다. 이와 같은 장점에 의해 대다수의 인터넷 응용 프로그램들은 전송 계층 프로토콜로서 TCP를 사용하고 있다. 하지만 TCP는 진화하고 있는 인터넷의 특성을 반영하지 못하고, 몇 가지 문제점을 노출 시키고 있다.

오늘날 인터넷은 이동통신 사업자의 서비스 확대와 이동통신 가입자 수의 증가에 힘입어 유선망과 무선망이 혼합되어지는 형태로 진화하고 있다. 무선망은 유선망에 비해 낮은 대역폭과 불안정한 링크를 제공하지만, 이동 중에도 통신이 가능하고, 위치 투명성을 제공한다. 이는 특성에 의해 데이터 통신을 위한 망으로서 앞으로도 계속 발전될 전망이다[1]. 그러나, 유선망에 최적화되도록 진화해온 TCP는 무선망이 가지는 링크의 불안정함 및 단말기의 이동에 의한 데이터의 손실을 유선망에서처럼 네트워크의 혼잡으로 인한 손실로 오해한다. 그 결과 혼잡 제어 메커니즘이 수행되어 전송율을 줄이므로 네트워크 성능이 저하되는 문제점을 초래한다[2].

무선망의 길고 변화가 잦은 round trip time(rtt) 또한 TCP의 성능에 상당한 영향을 미친다. TCP는 전송중 손실되거나 손상된 패킷을 복구하기 위해 타이머를 두고, 일정시간 응답이 없는 패킷에 대해서는 재전송을 시도

한다. 문제는 이 타이머의 값은 rtt를 근거로 산출하게 되므로, 손실 혹은 손상된 패킷의 복구 또한 늦어져 성능 저하를 야기한다는 것이다[9].

이러한 이유로 최근 몇 년간 유·무선 혼합망에서 TCP의 성능을 향상시키기 위한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 본 논문에서는 기존에 제안된 기법들 중 상대적으로 뛰어난 성능 향상을 보이는 snoop protocol이 유·무선 혼합망 특히 CDMA망에서 가지는 문제점을 분석하고 이를 보완하는 기법을 제안한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장 관련 연구에서는 무선망에서 TCP 성능 향상을 위해 제안되었던 기법들을 살펴보고, 3장에서는 유·무선 혼합망에서 Snoop Protocol이 가지는 문제점을 지적하고 이를 보완하여 TCP의 성능을 향상하는 기법을 제안한다. 4장에서는 시뮬레이션 모델과 결과에 대해 간략히 설명한다. 마지막으로 5장에서는 결론과 향후 연구 과제에 대해 기술한다.

2. 관련 연구

무선망에서 TCP 성능 향상을 위한 연구는 크게 세 부분으로 나누어 볼 수 있다[3].

첫 번째 방향은 불안정한 무선 링크의 특성 자체를 안정적으로 동작할 수 있도록 수정하여 전송계층에는 링크의 불안정함을 숨기는 것이다[4]. ARQ(Automatic Repeat Request)를 이용한 지역적인 재전송이나, FEC(Forward Error Correction)를 이용한 에러 보정을 통해 손실을 복구하는 방법들은 에러 보정을 위한 과부

하가 크다. 또한 무선 링크에서의 재전송을 위한 타이머와 TCP 자체의 재전송 타이머의 충돌로 인해 불필요한 재전송이 발생할 수 있다. 특히, Snoop protocol[6]처럼 링크 계층에서의 재전송을 이용하는 방법은 전송시간의 절반 이상을 무선 링크에서 소요되는 CDPD, CDMA, GSM 등의 환경에서는 오히려 TCP의 성능을 떨어뜨리는 결과를 초래할 수도 있다.

두 번째 방향은 하나의 TCP 세션을 유선 구간과 무선 구간으로 분리하는 것이다[5]. 이러한 방향의 연구는 무선 링크의 존재와 무선 링크에서의 손실을 송신측에게 완전히 감출 수 있다는 장점이 있으며, 실제로 비교적 좋은 성능을 보인다. 하지만, 종단간 프로토콜인 TCP의 의미를 깨뜨린다는 단점이 있다. 또한, 핸드오프 시에 base station간에 TCP의 접속 상태를 전송해야 하며, 이를 송신측과 수신측에는 숨겨야 되는 어려움이 있다.

마지막으로 TCP의 종단간 의미를 유지하면서, 무선 링크에서의 손실로는 혼잡 제어 기법이 동작되지 않도록 하는 것이다. 이러한 연구로는 중간 노드나 수신측에서 손실의 원인을 송신측에게 알리는 방법과[7][8], 혼잡 제어 기법이 동작할 때 전송율을 무조건 절반으로 줄이는 대신 현재의 전송율을 바탕으로 결정하는 방법들이 있다[9][10]. 이 방법들은 종단간에 동작하는 TCP의 의미를 변경시키지 않아도 된다는 장점이 있는 반면, 앞에 나열된 연구들에 비해 상대적으로 성능이 좋지 못하며, 무엇보다 손실의 원인을 명확히 구분하는 것이 어렵다는 단점이 있다.

이처럼 현재 세계적으로 무선망에서 TCP의 성능을 향상시키기 위한 노력들이 많이 이루어지고 있다. 하지만, 아직까지 모두 개발 수준에 있으며 제시된 기법마다 나름대로 제한 요소들을 가지고 있어 지속적인 연구가 필요하다.

3. Snoop Protocol의 보완

3.1 Snoop Protocol

Berkeley에서 개발된 snoop protocol은 유선과 무선 구간을 연결하는 base station에 snoop agent를 두고 있다[6]. Snoop agent는 무선 단말기로 전송되는 패킷들을 캐싱하고, 무선구간에서 발생한 오류에 대해서는 지역적으로 재전송하여 손실을 복구한다. 또한, 재전송된 패킷에 대한 duplicate Ack(dupack)들이 송신측에 전달되는 것을 억제하여 무선구간에서의 손실을 송신측에 숨긴다.

Snoop protocol은 무선구간에서의 손실은 지역적 재전송으로 복구되고, 손실이 송신측에 감추어지므로 송신측의 혼잡 제어를 유발하지 않는다. 무엇보다도 기존 네트워크에서 동작하는 TCP를 수정하지 않아도 되며, TCP의 종단간 의미를 깨뜨리지 않는다는 장점이 있다.

3.2 Snoop Protocol의 문제점

Snoop protocol은 상기된 장점들로 인해 다른 연구들과 비교할 때 상대적으로 뛰어난 성능을 보인다[3]. 그

러나, Snoop Protocol이 효과적으로 동작하기 위해서는 무선구간의 전송시간이 전체 전송시간에서 작은 비중을 차지해야 한다. 무선구간의 전송시간이 길 경우에는 재전송을 통한 복구에 소요되는 시간이 송신측의 타임아웃보다 길어질 수도 있다. 이 경우, 송신측은 snoop agent에 의한 복구에도 불구하고 혼잡 제어 메커니즘을 수행하여 성능을 저하시킨다. CDMA 등의 환경에서 무선구간의 전송시간은 전체 전송시간의 75% 이상을 차지하며 이는 snoop protocol의 성능을 저하시키는 주요 원인이 된다[9].

무선구간에서의 손실을 송신측에 숨기기 위해 dupack를 억제하는 기법 또한 snoop protocol의 약점이 될 수 있다. 송신측은 수신측에서 전송하는 Ack를 통해 rtt를 측정하고, 이를 근거로 retransmission timeout(rto)의 값을 산출한다. Snoop agent는 복구 작업이 완료되어 수신측에서 새로운 Ack를 전송할 때까지 dupack를 억제하므로 송신측의 rtt는 길어진다. 이는 rto의 값을 커지게 하여, 타임아웃에 의한 복구 작업이 필요한 상황에서는 회복이 늦게 이루어지므로 성능을 저하시킨다. 또한, dupack를 억제하다가 손실된 패킷을 복구하면, 수신측에서는 그동안 전송받은 패킷에 대한 Ack를 한번에 전송한다. 이는 bulk 데이터 전송을 유발하여 base station의 버퍼에 오버플로어가 발생할 가능성을 높인다.

3.3 Snoop Protocol의 보완

본 논문에서는 기존의 snoop protocol이 세 번째 dupack부터 Ack의 전송을 억제하는 대신, 헤더에 snoop recovery(SRC) 플래그를 설정해서 전송하는 방법을 제안한다.

제안된 기법은 불가피하게 송신측의 수정을 요한다. 하지만 다행스럽게도 현재의 WWAN 환경에서 일반적인 사용자는 백본망에 있는 프락시 서버를 통해 유선망의 서버에 접근한다. 이는 기존 시스템의 TCP는 수정하지 않고, 프락시 서버의 TCP를 수정함으로써 성능향상을 얻을 수 있다는 것을 의미한다.

송신측에서는 SRC 플래그가 설정된 Ack에 대해서는 dupack에 대한 카운터를 하지 않는다. 이 외에는 rtt 측정, congestion window의 설정 등 일반적인 Ack에 대한 작업을 모두 수행한다. 송신측은 수신측에서 전송되는 모든 Ack를 전달받기 때문에 정확한 rtt 측정이 가능하다. 또한, snoop agent가 dupack를 억제해서 발생할 수 있는 타임아웃도 방지할 수 있다. 마지막으로, SRC 플래그가 설정된 Ack에 의해서 congestion window의 증가가 서서히 이루어지기 때문에 bulk 데이터 전송을 미연에 방지할 수 있다.

4. Simulation

4.1 Simulation Model

본 논문에서는 Berkeley의 ns-2 시뮬레이터를 사용하여 유무선 혼합망에서 snoop protocol과 개선된 snoop protocol의 성능을 비교하였다. 그림 1은 실험에

사용된 네트워크 모델이다.

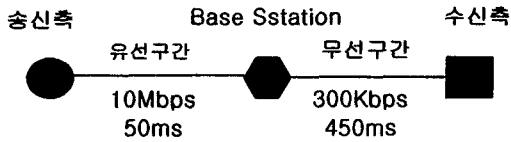


그림 1. 네트워크 모델

유선구간과 무선구간의 대역폭과 전송시간은 여러 연구에서 행해진 실험에 사용된 값들을 토대로 선정하였다. 무선구간의 에러는 지수 모델을 이용하여 모델링하였다.

4.2 Simulation 결과

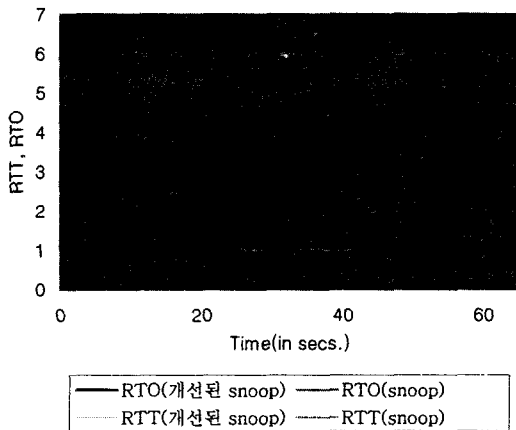


그림 2. RTT & RTO

그림 2는 snoop과 본 논문에서 제안한 개선된 snoop의 rtt와 rto를 측정한 그래프이다. Snoop은 무선구간에서 손실이 발생할 경우 rtt가 최대 3.8초까지 걸렸으며 이는 바로 rto에 반영되었다. 반면, 본 논문에서 제안한 기법은 일정한 rtt를 유지하면서도 snoop이 가지는 장점을 모두 살리고 있다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 CDMA망에서 snoop protocol이 가지는 문제점을 분석하고, 이를 해결하기 위해 dupack을 억제하는 대신 SRC 플래그를 설정하여 전송하는 기법을 제안하였다. 제안된 기법은 송신측이 정확한 rtt를 측정하도록 하여 snoop protocol이 가지는 문제점을 해결하였다. 또한, snoop agent의 지역 재전송에 의한 복구가 완료되기 전에 송신측에 타임아웃이 발생할 수 있는 문제점을 해결하였다. 또한, 복구가 완료된 후에 발생하는

burst 데이터 전송도 방지한다.

향후에는 유선구간의 혼잡에 의해 발생한 손실 때문에 base station의 버퍼에 Ack를 받지 못하고 쌓이는 패킷으로 인한 오버플로어를 해결할 기법을 연구할 것이다. 또한, snoop protocol의 취약점인 handoff를 해결할 기법을 연구할 예정이다.

6. 참고 문헌

- [1] <http://www.3gpp.org>
- [2] G. Xylomenos, G. C. Polyzos, P. Mahonen and M. Saaranen, "TCP Performance Issues over Wireless Links," IEEE Communications Vol. 39 No.4 pp.52-58, April 2001
- [3] H. Balakrishnan, V. Padmanabhan, S. Seshan, R. Katz, "A Comparison of Mechanisms for Improving TCP Performance over Wireless Links," in ACM SIGCOMM, Stanford, California, August 1996
- [4] S. Lin and D. J. Costello, "Error Control Coding: Fundamentals and Applications," Prentice-Hall Inc, 1983
- [5] A. Bakre and B. R. Badrinath, "Handoff and system support for Indirect TCP/IP," the 2nd USENIX Symposium on Mobile and Location-Independent Computing, April 1995
- [6] H. Balakrishnan, S. Seshan, and R. H. Katz, "Improving reliable transport and handoff performance in cellular wireless networks," ACM Wireless Networks, Vol. 1 December 1995
- [7] K. Ramakrishnan, S. Floyd, "A Proposal to add Explicit Congestion Notification(ECN) to IP", RFC 2481, January 1999
- [8] Tom Goff, James Moronski, and D. S. Phatak, "Freeze-TCP: A true end-to-end TCP enhancement mechanism for mobile environments", Proceedings of IEEE INFOCOM 2000, pp.1537-1549
- [9] P. Sinha, N. Venkitaranan, R. Sivakumar and V. Bharghavan, "WTCP: A Reliable Transport Protocol for Wireless Wide-Area Network," In Proc. of ACM Mobicomm '99, August 1999
- [10] Saverio Morris and Claudia Casetti, "TCP Westwood: Bandwidth Estimation for Enhanced Transport over Wireless Links," In MobiCom 2001: The Seventh Annual International Conference on Mobile Computing and Networking Rome, Italy, July 2001