

무선망에서의 개선된 TCP 프로토콜에 대한 고찰

김효선, 유혁

고려대학교 컴퓨터학과 운영체제 연구실

Survey of Advanced TCP Protocols over Wireless Links

Hyo-Seon Kim, Chuck Yoo

Dept. of Computer Science and Engineering, Korea University

요 약

최근 무선 통신의 대중화가 증가함에 따라 이동 컴퓨팅 환경에 대한 관심이 나날이 높아 가고 있지만 무선망의 특성을 고려한 프로토콜의 개발은 미흡한 상태이다. 유선망에서 널리 통용되고 있는 TCP는 packet 손실의 원인을 혼잡(congestion)에 의한 것으로 간주하며 혼잡 제어(congestion control)나 회피(avoidance) 메커니즘을 이용하여 packet의 회복(recovery)에 적절히 대응하고 있다. 하지만 무선망에서의 packet 손실은 handoff나 높은 bit 에러율에 의한 것이므로 기존의 TCP를 그대로 적용하게 되면 불필요한 메카니즘 호출로 인한 throughput의 저하를 가져오게 된다. 이런 성능 저하를 해결하기 위하여 무선망에 적합하도록 TCP를 개선하는 움직임이 세계적으로 일어나고 있으며, 이를 크게 단대단 프로토콜, split-connection 프로토콜, 링크 계층 프로토콜로 나눌 수 있다. 본 논문은 이러한 흐름의 여러 가지 대표적인 프로토콜들을 비교·분석하였다.

1. 서론

최근 무선 통신의 대중화가 증가함에 따라 무선망이 미래의 인터넷 정보 사회에서 중요한 역할을 담당하게 될 것으로 기대된다. 오늘날 통신 환경에서 널리 사용되고 있는 TCP는 유선망과 고정 호스트로 이루어진 전통적인 네트워크망에 적합하며, 이를 그대로 무선망에 적용하게 되면 단대단(end-to-end) throughput의 성능 저하를 가져온다.

이런 throughput의 성능 저하는 TCP가 통신 상에서 발생하는 packet 손실을 기본적으로 혼잡(congestion)에 의한 것으로 처리하기 때문에 발생한다. TCP 송신자는 packet 손실을 발견하면 먼저 전송 윈도우 크기를 줄이고 손실된 packet을 재전송한다. 또한 혼잡 제어나 회피 메카니즘을 초기화[12]하고 재전송을 위한 timer의 값을 증가시킨다. 하지만 무선망에서의 packet 손실은 대부분 혼잡에 의해서가 아니라 handoff나 높은 비트 에러율에 의해서 발생하게 된다. 그러므로 앞에서 언급한 TCP의 packet 손실 회복 메카니즘을 그대로 무선망에 적용시키면 오히려 불필요한 성능 저하를 가져오게 된다.

이동 컴퓨팅 환경을 지원하기 위해서는 망에서의 접속 지점을 수시로 바꾸는 이동 호스트들의 위치를 찾아내고, 통신 중에도 위치 변화가 잦은 이동 호스트와의 연결을 유지해줘야 한다. 유선망 간의 통신 시에는 기존의 TCP에 큰 변화를 주지 않으며 유선망과 무선망 간

의 통신 시에는 무선망의 특성을 고려하는 개선된 TCP를 구현하지는 움직임이 학계에서 일어나고 있다.

본 논문은 유선망에서의 TCP/IP 프로토콜 스택 자체의 오버헤드를 최소화하는 최적화 연구와 무선망의 특성을 고려한 TCP/IP 모델을 설계하기 위한 그 첫 단계로서 무선망 상에서의 TCP 수행을 향상시키기 위해 제안된 여러 가지 프로토콜들을 비교 분석을 하였다.

2. 무선망 TCP/IP의 구조 분석

무선망에서의 단대단 throughput을 향상시키기 위한 여러 가지 방법이 각자 다른 방향으로 이루어지고 있다. 이런 방법들은 단대단 프로토콜, split-connection 프로토콜, 링크 계층 프로토콜의 세 가지 [2]로 크게 나누어 볼 수 있다.

단대단 프로토콜은 packet의 재전송 시 조잡한 timeout에 의존하지 않고 하나의 window에 여러 개의 packet을 회복할 수 있도록 하는 selective acknowledgement[13] 방법과 packet 손실의 원인이 혼잡에 의한 것이 아니라 다른 원인으로 발생하였음을 알려서 불필요한 혼잡 제어 메카니즘의 호출을 방지하는 ELN(explicit loss notification)[2] 방법을 주로 이용한다.

Split-connection 프로토콜은 용어 자체에서 알 수 있듯이, 유선망과 무선망의 연결을 2개의 독립된 연결로 분리하고 각자에게 적합한 프로토콜을 적용하는 방법이다. 즉, 이동 호스트(MH: Mobile

Host)와 BS(Base Station)간의 연결과 고정 호스트(FH: Fixed Host)와 BS간의 연결로 분리한다.

링크 계층 프로토콜은 TCP와 같은 네트워크 계층에 무선망과 관련된 손실(loss)을 숨김으로써 throughput의 향상을 가져오는 프로토콜로, ARQ(Automatic Repeat reQuest)와 FEC(Forward Error Correction)의 결합을 이용한다.

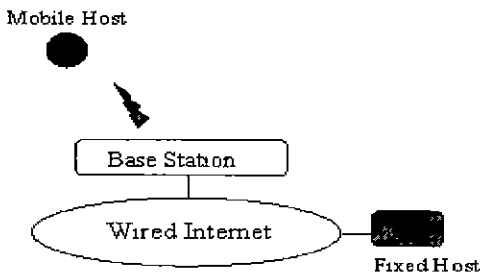
다음 3장, 4장, 5장에서는 앞에서 언급한 세 가지 프로토콜의 대표적인 시스템에 대해 알아보고 이들을 비교·분석한다.

3. 단대단 프로토콜

현재의 TCP를 무선망에 그대로 사용하면 받아들이기 어려운 정도로 지연 시간이 길게 된다. 그래서 인간의 반응속도에 부합하는 정도의 수행 향상을 위해 MIT에서는 단대단 fast retransmission scheme[4]을 제안한다. Handoff 시, 기존의 TCP는 손실된 packet을 재전송하기 위해 재전송 timeout을 기다린 후 재전송을 하는데 반해, fast retransmission은 timeout을 기다리지 않고 packet 손실이 발견되면 즉시 해당 packet을 재전송하여 지연 시간을 줄이고자 한다. Packet 손실이 혼잡에 의한 것인지, 이동에 의한 것인지를 구분하여 각각에 알맞은 메카니즘을 이용해 이동 컴퓨팅 환경에서 더 나은 throughput을 제공한다. AT&T Bell 연구소에서도 개선된 selective acknowledgment(SMART)[8]를 제안하고 있으며 이 방법을 packet 재전송에 적용하면 throughput의 두드러지는 성능 향상을 가져온다[12]. 기존의 SACK은 ack의 header에 bit-mask를 실어 오지만, SMART는 수신자가 정확하게 받은 packet에 대해서만 송신자 측에서 bit-mask를 만든다. 그렇게 함으로써 각각의 ack마다 필요했던 bit-mask로 인한 오버헤드를 줄일 수가 있다.

이런 단대단 프로토콜은 handoff를 알리는 신호가 도착할 때만 fast retransmission을 호출하기 때문에 기존 호스트 상의 software에는 최소한의 수정만을 가하면 된다. 그러나 이 방법은 무선망에서의 packet 손실의 주된 원인 중 하나인 handoff로 인한 packet 손실 해결책만을 제시하며 무선망 자체의 높은 비트 에러율에 의한 packet 손실은 간과하고 있다.

4. Split-Connection 프로토콜



위의 그림에서처럼 split-connection 프로토콜은 고정 호스트(FH)와 이동 호스트(MH)간의 단대단 연결을 FH와 BS과의 무선망

연결과 MH와 BS간의 무선망 연결로 분리하는 것이다. 본 논문에서 다룰 split-connection 프로토콜은 Rutgers, Kentucky, Berkeley 대학에서 제안한 I-TCP protocol, MHP protocol, snoop protocol 이다.

Rutgers 대학에서 제안한 프로토콜은 Indirect-TCP protocol[5]로 split-connection 방법의 초기 protocol 중 하나이다. MH는 BS와 Wireless TCP를 이용해서 연결하고, BS은 FH와 Regular TCP를 이용해서 연결한다. 즉, 무선망과 유선망을 각각 분리하여 특성에 맞는 TCP를 적용하는 것이다. I-TCP 프로토콜에서의 packet 전송은 먼저 MH에서 BS로 일어나고 BS로부터 MH가 ack를 받은 후, 이 packet은 BS에서 FH로 전송되고 BS가 FH로부터 ack를 얻기 때문에 일반적인 TCP acknowledgment의 semantics를 위반하게 된다. 또한 BS에 MH와 FH에 해당하는 socket 정보를 포함하여야 하므로 이를 위해 많은 state를 유지해야 하며 그 결과 오버헤드가 발생한다.

Kentucky 대학에서 제안한 프로토콜[3]은 MH와 FH와의 연결을 유선망과 무선망으로 분리하고 BS과 MH에 MHP(Mobile Host Protocol)이라는 새로운 session layer를 두는 방법이다. 기존의 transport layer는 수정 없이 그대로 사용하고 MHP만 첨가하는 방법이다. MH간의 connection은 request와 response로 이루어진다. 즉, MH가 connect를 호출하면 이 호출을 MHP layer가 가로채서 transport level의 connection을 request하는 방식으로 이루어지는데, 이러한 방법은 transport layer가 request된 connection을 수행할 때 무선망의 존재를 알 필요가 없다. 그러므로 MH나 FH에서 현재 사용중인 TCP를 수정 없이 그대로 사용할 수 있으며, 작은 MTU와 높은 packet 손실율에 의한 성능 저하는 무선망에서만 발생하므로 연결을 유선망과 무선망으로 분리한 이 프로토콜에서는 단지 무선망에서의 packet 손실을 최소화하기만 하면 된다. 즉, 유선망에서는 기존의 TCP를 그대로 적용하고 무선망에서는 MHP를 이용하여 성능 향상을 꾀한다.

Berkeley 대학에서 제안한 snoop protocol[6]은 BS에 snoop agent를 배치하고 중복된 TCP ack에 근거를 둔 손실된 packet의 재전송을 수행하는 방법이다. Snoop agent는 무선망 손실로 발생한 중복된 ack가 송신자에게로 전해지지 않도록 하여 송신자 측에서의 불필요한 혼잡 제어 메카니즘 수행을 방지하며, 손실된 packet은 agent가 미리 cache하여 둔 packet을 MH로 재전송(local retransmission)한다. 중복된 ack의 삭제와 local retransmission으로 미루어 볼 때, snoop agent는 transport aware protocol로 분류된다. Snoop protocol의 data 흐름과 ack 처리 루틴은 다음과 같다. Data의 흐름인 경우, FH로부터 snoop agent로 전송되어진 packet이 새 packet이라면 이 packet의 sequence number를 확인한 후, 순서대로 되어 있으면 이를 buffer에 저장하고(caching) MH로 전송하며, 잘못된 순서로 들어왔을 경우 혼잡에 의한 손실로 표시한 후 packet을 MH로 전송한다. 만약 이 packet이 새 packet이 아니라면 이 packet을 MH로 전송하고 retransmission counter를 재설정한다. Ack인 경우, MH가 새로운 ack를 snoop agent로 보냈을 때에는 BS에 있는 buffer를 비우고 송신자에게 ack를 전달한다. 중복된 ack를 받았을 때에는 이미 buffer에 저장되어 있는 packet을 MH로 재

전송한다 이러한 local retransmission 방법은 송신자 측에서의 불필요한 혼잡 제어나 회피 메카니즘의 invocaton을 막아서 전체적인 throughput의 향상을 가져올 수 있다. 또한, I-TCP와는 달리 TCP acknowledgment의 semantics를 위반하지 않는다.

5. 링크 계층 프로토콜

무선망과 유선망으로 구성된 네트워크망은 유선망(base station)에 비해 MH가 갖는 제한된 전력, 작은 대역폭[11], 처리 능력의 차이로 인해 비대칭을 이룬다. AIRMAIL[7] protocol에서는 이런 차이를 그대로 인정하고 BS에 intelligent한 timer를 두며, 복잡한 상태 메시지 처리 부분과 결정권을 모두 BS에 일임한다. AIRMAIL protocol에서는 data 전송 시의 reliability를 제공하기 위해서 ARQ와 성능향상을 위해서 FEC를 결합하여 이용하고 있다. MH에서 BS으로의 데이터 전송 시(reverse channel), MH는 최대 전송 버퍼의 크기만큼 data를 전송하며 BS은 자신의 local timer에 따라 주기적으로 상태 메시지(ARQ)를 MH에게 보낸다 이는 손실된 packet을 찾아내기 위해서이다. BS에서 MH로 데이터 전송 시(forward channel), BS은 하나의 window가 끝날 때까지 데이터를 MH로 보내며 timer를 시작한다. MH는 하나의 전체 block을 받을 때까지 기다렸다가 BS로 상태 메시지를 보낸다. 이 경우도 timer는 BS에 위치한다.

데이터 전송 시에 여분(redundant)의 packet을 함께 전송시킴으로써 수신측에서 정확하게 받은 packet과 여분의 packet에 근거를 두고 손상되거나 손실된 packet의 재생성을 가능하게 하는 FEC[7] 기술은 packet의 재전송을 줄임으로써 성능 향상을 가져온다. AIRMAIL에서는 bit-, byte-, packet-level의 FEC를 적절한 경우에 dynamic하게 사용함으로써 수행 향상을 도모했다. 다만, 이러한 링크 계층 프로토콜에서의 재전송은 TCP와 같은 transport 계층에서의 재전송과의 경쟁에 의해 오히려 역효과를 가져올 수도 있다. 또한 링크 계층에서의 timer와 전송 계층에서의 timer간에도 충돌이 일어날 수 있다 이 두 계층이 서로 적절하게 조화를 이룬다면 최고의 throughput을 제공할 수 있다[2]

6. 결론

본 논문에서는 이동 컴퓨팅 환경에서의 데이터 전송 시 발생하는 throughput의 저하를 해결하기 위해 제안된 여러 가지 protocol에 관하여 간단히 살펴보았다 논문 [2]에서 실험한 여러 프로토콜간의 성능 비교에 의하면 SMART[8] 기법을 각 프로토콜에 적용시켰을 때 상당한 성능 향상을 보이는 것으로 나타났다. 특히, 대부분의 연구가 split-connection 프로토콜에 집중되고 있는데 반해 connection의 분리가 반드시 throughput의 향상에 절미적인 요소가 아님을 제시하였다. 링크 계층 프로토콜의 개발은 전송 계층 프로토콜과의 충돌을 고려해야 하며, 이 두 계층간의 이상적인 결합은 성능 향상에 크게 이바지 할 것이다. 앞으로 무선망에서의 throughput 향상을 위한 TCP 프로토콜 자체의 최적화와 무선망에서의 향상된 TCP 프로토콜 개발에 대한 연구를 계속할 것이며, 이런 연구는 이동 컴퓨

팅 환경의 대중화에 대한 요구를 충족시키는데 기여할 것이다.

7. 참고 문헌

- [1] H. Balakrishnan, S. Seshan, R. H. Katz, "Improving reliable transport and handoff performance in cellular wireless networks," *ACM Wireless Networks*, vol. 1, Dec. 1995.
- [2] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, S. Seshan, and R. H. Katz, "A Comparison of Mechanisms For Improving TCP Performance Over Wireless Links," *IEEE/ACM Transactions on networking*, vol. 5, no. 6, Dec. 1997
- [3] R. Yavatkar and N. Bhagwat, "Improving end-to-end performance of TCP over mobile internetworks," *Mobile 94 Workshop on Mobile Computing Systems and Applications*, Dec. 1994.
- [4] R. Caceres and L. Iftode, "Improving the performance of reliable transport protocols in mobile computing environments," *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 13, no. 5, June 1995
- [5] A. Bakre and B. Badrinath, "I-TCP: Indirect TCP for mobile hosts," Technical Report DCS-TR-314, Dept. of Computer Science, Rutgers University., Oct. 1994
- [6] H. Balakrishnan, S. Seshan, E. Amir and R. H. Katz, "Improving TCP/IP performance over wireless networks," *In Proc 1st ACM Int'l Conf on Mobile Computing and Networking (Mobicom)*, Nov. 1995.
- [7] E. Ayanoglu, S. Paul, T. F. LaPorta, K. K. Sabnani, and R. D. Gitlin, "AIRMAIL: A link-layer protocol for wireless networks," *ACM ACM/Baltzer Wireless Networks J.*, vol. 1, pp 47-60, Feb. 1995
- [8] S. Keshav and S. Morgan, "SMART retransmission: Performance with overload and random losses," *In Proc. IEEE INFOCOM'97*, 1997.
- [9] W. R. Stevens. *TCP/IP Illustrated*, Vol. 1. Reading, MA: Addison-Wesley, Nov. 1994.
- [10] S. Seshan, H. Balakrishnan, and R. H. Katz. "Handoffs in cellular wireless networks: The daedalus implementation and experience," *Kluwer International Journal on Wireless Communication Systems*, 1996
- [11] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, and R. H. Katz, "The effects of asymmetry on TCP performance," *Proc. 3rd ACM/IEEE Intl. Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom)*, Budapest, Hungary, Sept 1997.
- [12] V. Jacobson, "Congestion avoidance and control," in *Proc. ACM SIGCOMM'88*, Aug. 1988.