

무선 환경을 고려한 TCP 에너지 효율 및 성능 개선에 관한 연구

공광일*, 최동철, 이승형, 정광수,
광운대학교 전자공학부 컴퓨터통신연구실
kikong@adams.kw.ac.kr, {wchoi, shrhee, kchung}@daisy.kw.ac.kr

A Study on the Energy Efficiency and Performance Improvement of TCP in Wireless Mobile Environment

Kwangil Kong*, WoongChul Choi, Seung Hyong Rhee, Kwangsue Chung
School of Electronics Engineering, Kwangwoon Univ.

요 약

최근 무선 네트워크 환경이 확대됨에 따라 전송률 향상을 위해 MANET(Mobile Ad Hoc Networks)에 관한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 기존 TCP 프로토콜은 전송오류가 거의 발생하지 않는 유선망에서 효율적인 동작을 하도록 설계되었기 때문에 MANET에 적용하기에는 어렵다. 무선망에서는 경로손실, 페이딩, 간섭 등의 영향에 의해 유선망에 비해 전송오류 발생률이 훨씬 높기 때문이다. 이런 문제점을 해결하기 위한 전송률 향상에 대한 접근뿐만 아니라 이동성과 휴대성을 갖는 무선 단말의 에너지 효율 역시 고려한 접근 방법이 관심을 받고 있다. 본 논문에서는 TCP-Probing을 개선하여 ad hoc 망에 적합하도록 적용함으로써 전송률 뿐만 아니라 에너지 효율을 향상시키기 위한 방법을 제안한다. 또한 NS-2시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 TCP의 성능 및 에너지 효율이 개선됨을 확인하였다.

1. 서론

최근 무선 네트워크 환경이 보편화됨에 따라 무선 네트워킹을 위한 이동 단말(MH: mobile host)은 이동성과 휴대성의 고려가 필요하게 되었다. 이동 단말은 이동성을 고려하여 전원공급은 전적으로 배터리에 의존하며, 가볍고 크기도 작아야 하므로 배터리의 무게나 크기에도 제약을 받게 된다. 이동 단말을 위한 배터리의 용량은 매우 제한적이며, 또한 이를 이용하는 무선 네트워크의 수명은 배터리에 의존하게 된다. 그러므로 제한된 배터리 용량을 효율적으로 이용하기 위해서는, 무선 네트워크와 성능을 유지하면서 프로세싱 하중과 통신 프로토콜의 에너지 소모를 줄일 수 있는 에너지 효율 개선 방법이 필요하다.

TCP는 현재 인터넷의 가장 대표적인 전송 프로토콜로 이용되고 있다. 그러나 TCP를 무선 환경에 그대로 적용하는 데는 몇 가지 문제점이 발생한다. 이로 인해 네트워크 전체의 가용률이 떨어지며, 불필요한 전력소모가 발생하여, 무선 네트워크의 수명이 줄어들고 결국 전체 네트워크의 심각한 성능 저하를 가져올 수 있다[1].

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 무선 네트워크 환경에서 TCP의 성능을 향상시킬 수 있는 방법을 제시하고 NS-2시뮬레이터를 이용한 실험을 통해 제안된 알고리즘이 향상된 성능을 보임을 확인하였다. 본 논문은 다음과 같다. 2장에서는 무선 TCP 프로토콜 성능개선을 위한 각종 연구동향

* 본 논문은 정보통신부 정보통신연구진흥원에서 지원하고 있는 정보통신기초기술연구지원사업의 연구결과입니다.

에 대해서 살펴보고, 3장에서는 무선 네트워크 환경에 적합한 TCP 알고리즘을 제안한다. 4장에서는 제안한 기법의 성능평가 실험을 하며, 5장에서는 결론을 기술한다.

2. 관련연구

이동 ad hoc 망과 같이 여러 홉의 무선망에서 TCP는 높은 손실률, 빈번한 라우팅 경로 변경으로 인한 전송 순서의 변경, 혼잡 윈도우의 잦은 변화로 인한 손실의 증가 등과 같은 현상으로 인하여 성능이 현저히 저하되게 된다. 특히 TCP의 혼잡 제어 방식은 수신 순서의 차이(out of order)나 패킷의 손실을 네트워크의 혼잡으로 여기고 전송률을 줄여서 혼잡을 줄일 수 있도록 하는 방식을 사용한다.

이와 같은 TCP의 혼잡 제어 방식의 가정에는 유선망의 경로는 자주 변하지 않고 물리적 링크 상에서 전송되는 패킷은 손실률이 매우 낮고 링크 계층 프로토콜에 의해서 쉽게 복구될 수 있다는 가정이 있다. 하지만 단말기의 이동성으로 인한 라우팅 경로의 빈번한 변경이나 채널의 손실 등으로 인한 패킷 손실이 잦은 ad hoc 망에서 TCP는 이를 혼잡으로 간주하고 전송률을 줄이게 된다. 이런 TCP의 혼잡제어 방식은 채널 상태의 개선이나 라우팅 경로의 안정성에 전혀 도움이 되지 못하기 때문에 불필요한 재전송을 유도하게 된다. 따라서 TCP의 혼잡 제어를 채널 손실이나 경로 변경에 따른 수신 순서 변경과 분리할 필요가 있다.

ad hoc 통신망에서 TCP의 이 같은 문제점들을 해결하기 위하여 다양한 연구가 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구는 그

링1과 같이 분류할 수 있다. 기존 TCP의 프로토콜 수정에 의한 접근 방법과 링크 상에서 채널 오류에 의해서 패킷이 손상되는 경우 해당 단말이 이를 송신자에게 알려서 송신자가 불필요한 혼잡 제어를 하지 않도록 방지하는 방법으로 나눌 수 있다. 또한 라우팅 경로의 변경으로 인한 패킷의 순서 변경을 송신단에 알려주어 혼잡 제어를 하지 않도록 하는 등의 다양한 방법들이 ad hoc 통신망에서 TCP 성능을 개선하기 위해서 제안되었다. 이와 같은 ad hoc TCP와 관련하여 TCP-F[2], ELFN(explicit link failure notification), TCP-Bus[3] 등이 대표적으로 제안된 프로토콜이다.

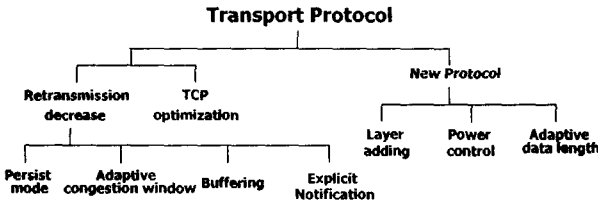


그림 1. 전송 계층 TCP 성능 개선을 위한 관련 연구 분류

3. New TCP-Probing

앞 절에서 언급한 이동 ad hoc 환경에서 제안된 프로토콜들은 효과적인 전송률 성능 개선을 위하여 ELN, ECN, ELFN과 같은 explicit notification을 사용하는 network-oriented 접근방법을 적용하고 있다. 이는 전송 효율 면에서 큰 이득이 있지만 모든 노드에 적용하기가 어렵고 이종의 노드가 참여할 경우 문제가 발생한다. 이로 인하여 네트워크 상태를 알려주는 메시지의 오버헤드 증가와 각각의 노드 자원에 대한 요구가 커져 에너지 효율 면에서 좋지 못한 성능을 보여 준다.

본 논문에서는 구현과 적용이 용이하며 네트워크 계층의 지원 없이 별도의 제어 메시지에 따른 추가적인 오버헤드를 발생하지 않는 전송 계층에서의 E2E(end to end) 접근 방식을 적용하여 접근한다. 무선 환경에서 E2E 접근 방식인 TCP-Probing[4]의 문제점을 기술하고 이를 ad hoc 망에 적용하여 해결하는 New TCP-Probing을 제안한다.

3.1 기존 TCP-Probing의 문제점

persist mode를 사용하는 TCP-Probing은 에너지 효율과 전송률의 성능개선을 위한 오류 제어 메커니즘으로, 에너지 소모를 줄이면서 전송률을 높이고자 하는 목적으로 제안되었다. TCP-Probing은 WWP(wave&wait protocol)[5]의 probing 메커니즘을 사용하며, TCP의 오류 제어 메커니즘과 함께 이용하므로 TCP-Probing이라 불리며, 동작은 크게 probing 메커니즘과 immediate recovery의 두 가지 요소로 나뉠 수 있다. TCP-Probing에서는 전송된 데이터가 손실되면 송신단은 손실된 데이터를 재전송하고 윈도우 크기를 재설정하는 것이 아니라, 데이터 전송을 중지한 후 probe cycle을 초기화 시킨다. WWP처럼 probe 메시지를 통해 송신단에서는 효과적으로 네트워크 상황을 감시할 수 있다. 이러한 동작을 probing 메커니즘이라 한다. probe를 통해 네트워크의 상태가 호전된 것을 감지

하면 송신단은 다시 데이터를 전송하기 시작하는데, 만일 연속적인 오류가 발생하면 일반 TCP처럼 윈도우 크기를 재조정하고 임계 값을 수정하며, 무선 구간에서의 한 패킷에 대한 오류라면 윈도우 크기를 조정하지 않고 전송을 중단한 시점의 윈도우 사이즈로 전송을 시작하게 된다. 이러한 동작을 immediate recovery라 한다. 이 두 가지 동작을 통해 에너지 소모를 줄이는 동시에 무선 구간 오류에 의해 발생할 수 있는 전송률 저하를 방지하게 된다.

TCP-Probing은 WWP에 비해 TCP와의 호환성을 제공하지만, probing 메커니즘을 계층하므로 네트워크 상황을 감지하는 동안 데이터 전송을 중단하여 지연시간이 커지는 문제가 발생할 수 있다. 또한 기존의 단순한 ACK를 사용함으로써 보다 효율적인 재전송을 못한다는 것이다. 무선망을 고려하여 제안되었기 때문에 network 상황을 단순히 혼잡과 링크 단절로 판단하기 때문에 보다 많은 이벤트가 발생하는 ad hoc 환경에서 효과적으로 대처하지 못하며 timeout과 dupACK(duplicated ACK) 발생 시, 무조건 probing 메커니즘으로 동작하기 때문에 네트워크 상태를 판단하는데 필요이상 대기 시간이 길어져 에너지 소모를 야기한다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 다음 절에서 New TCP-Probing을 제안한다.

3.2 New TCP-Probing의 동작 기법

기존 TCP-Probing은 timeout이 발생하거나 수신 순서의 차이로 인한 dupACK를 받으면, 동일하게 probing 메커니즘을 동작시켜 전송을 멈추고 불필요한 대기를 하며 혼잡상황과 링크 단절 상황을 모니터링 한다.

이런 문제점을 해결하기 위하여 TCP-Probing의 단순한 ACK 방식 대신에 TCP option인 SACK을 사용함으로써 수신 측에서 손실이 일어난 패킷의 sequence number를 ACK에 실어서 보내 주어 폐기된 패킷을 선별적으로 처리한다. 또한 윈도우 크기를 줄이지 않아 일시적인 채널오류로 인한 대역폭의 unutilization을 막는다. 이를 통해 폐기된 패킷만을 재전송하여 수신 순서가 다른 패킷에 따른 dupACK의 발생을 막는다. SACK을 적용함으로써 ad hoc 환경에서 더욱 효율적으로 재전송을 하고 불필요한 재전송을 막음으로써 에너지 효율을 개선할 수 있다.

TCP-probing은 timeout 발생시 probing 메커니즘을 동작하여 네트워크 상황을 판단하게 된다. 이런 동작은 네트워크 상황을 제대로 파악하지 못하여 필요이상으로 대기 시간이 늘어나게 되어 전송률과 에너지 효율에 악영향을 미치게 된다. 이를 해결하기 위하여 네트워크 상태를 높은 비트 오류상태와 혼잡 상황 그리고 링크 단절 상황으로 구분하기 위하여 다음과 같이 RTO 값을 이용한다.[5]

$$NSTATE = \begin{cases} true, & RTO_{new} \leq RTO_{old} \\ false, & RTO_{new} > RTO_{old} \end{cases} \quad \text{식(1)}$$

새로운 RTO 값이 이전의 RTO 값보다 클 경우, NSTATE 값

은 false가 된다. 이때 probing 메커니즘은 네트워크 상황이 혼잡과 링크 단절 상태인지를 모니터링하게 된다. 새로운 RTO 값이 이전의 RTO 값보다 작을 경우, NSTATE 값은 true가 된다. 이 경우에는 높은 비트 오류로 인식하여 혼잡 윈도우 크기를 감소시키지 않는다.

New TCP-Probing 기법은 그림 2와 같이 동작한다.

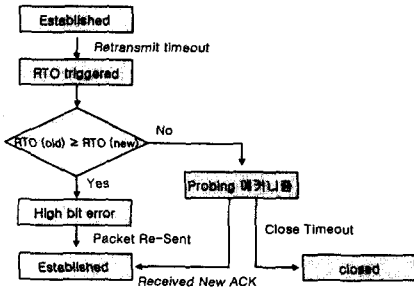


그림 2. New TCP-Probing 동작 방법

4. 실험 환경 및 성능 평가

시뮬레이션 도구로는 대표적인 TCP/IP 네트워크 시뮬레이션에 적합한 버클리대학의 NS-2를 이용하여 리눅스에서 구현하였다. 2Mbps의 대역폭을 제공하는 IEEE802.11을 기반으로 ad hoc 망을 구성하였다. 400m X 400m 범위에 10개의 모바일 노드가 2~14m/s의 속도로 이동하도록 하였고 network계층의 라우팅 프로토콜로는 DSR (dynamic source routing) 프로토콜을 사용하였다. 네트워크에 5%의 채널 에러를 첨가하여 수신 단과 송신단에 5Mbyte의 데이터를 전송하여 이동속도에 따른 New Reno TCP, TCP-Probing과 본 논문에서 제안한 new TCP-Probing의 전송률과 에너지 효율을 비교 실험하였다. 각각의 실험은 정확성을 위해 10번의 실험결과를 평균 내었다.

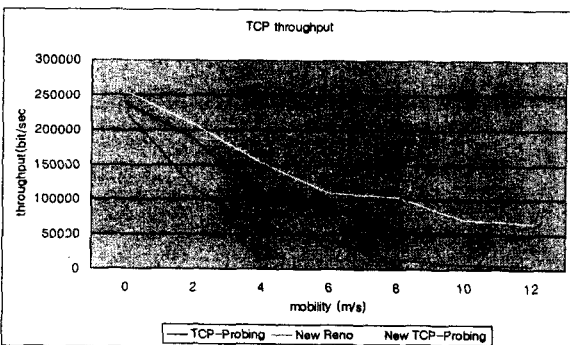


그림 3. 이동성에 따른 TCP 전송률

그림 3과 같이 New Reno TCP는 이동속도가 증가할수록 패킷 오류가 발생하여 fast recovery를 통하여 전송률을 조절하지만 이로 인해 급격한 전송률의 감소를 보여 준다. TCP-Probing은 패킷의 오류가 발생하면 probing 메커니즘을 통해 네트워크를 모니터링하면서 전송하여 New Reno TCP 보다 오류에 덜 민감하게 동작하므로 좋은 전송률을 보여준다.

하지만 New TCP-Probing은 네트워크 상황을 판단하는데 있어 TCP-Probing보다 정확하고 다양하게 판단하고 SACK을 통해 재전송을 줄임으로써 전송률이 약 22%정도 개선된 것을 볼 수 있다.

그림 4는 5Mbyte의 데이터를 전송하는데 걸린 시간을 나타낸다. New Reno TCP는 네트워크 상태를 단순히 혼잡상황으로 판단하여 재전송이 늘어나 그만큼 전송시간을 늘려남을 알 수 있다. TCP-Probing은 패킷 오류가 발생하면 probing 메커니즘을 통하여 네트워크 상황을 모니터링하게 된다. 이 과정에서 일시적인 오류로 인한 것을 감지하지 못하여 불필요하게 probing 메커니즘의 대기시간이 늘어나게 된다. 하지만 New TCP-Probing은 네트워크 상황을 보다 정확히 판단하여 대기 시간을 줄임으로써 에너지 효율을 높인다.

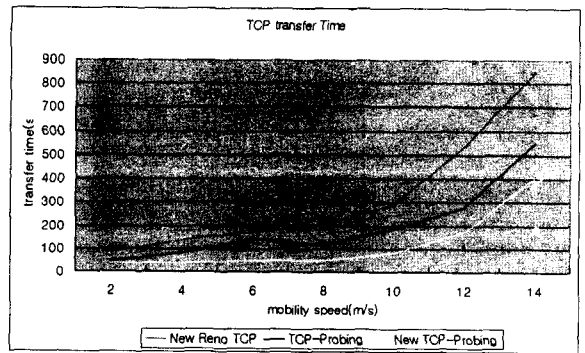


그림 4. 이동성에 따른 데이터의 전송 시간

5. 결론

본 논문은 무선 환경에서 TCP의 성능을 개선하기 위한 방법 중에서 전송계층 해법으로 제시된 TCP-Probing 방식을 ad hoc 망에 적용하여 개선된 New TCP-Probing 알고리즘을 제안하고 NS-2를 사용한 실험을 통하여 제안된 알고리즘이 기존 방식에 비해서 전송률과 에너지 효율측면에서 향상됨을 보였다.

향후 연구 과제로 오버헤드에 따른 영향과 네트워크 계층의 도움을 받는 ad hoc TCP와 같은 성능 향상을 위한 연구를 수행할 계획이다.

참고문헌

- [1] C. Johns and K. M. Sivalinggam, "A survey of energy efficient network protocol for wireless Network", Kluwer 2001
- [2] K. Chandran, S. Raghunathan, S. Venkatesan and R. Prakash, "TCP-F", IEEE Personal Communications 2001.
- [3] D. Kim, C. K. Toh and Y. Choi, "TCP-Eus : Improving TCP performance in Wireless ad-hoc networks," ICC 2000.
- [4] V. Tsaoussidis and H. Badr, "TCP-Probing : Towards an Error control schema with energy and throughput performance Gains," IEEE International conference 2000.
- [5] V. Tsaoussidis, H. Badr and R. Verma, "Wave & Wait Protocol(WWP) : An Energy-saving transport protocol for Mobile IP-devices," ICNP '99.