

Ad-hoc 네트워크에서 TCP 성능 향상을 위한 연구

위승정, 양환석, 이웅기
조선대학교 전산통계학과

A Study on TCP Performance Improvement for Ad-hoc Network

Seung-Jung Wi, Hwan-Seok Yang, Woong-Gi Lee
Dept. of Computer Science and statistics, Chosun University

요 약

Ad-hoc network에서는 네트워크를 구성하는 노드들의 이동으로 인하여 일시적인 연결 실패와 경로 변경이 자주 발생한다. 모든 패킷의 손실이 혼잡 때문이라고 가정했을 경우, 이러한 환경에서 TCP 성능은 매우 빈약하다. Ad-hoc network에서의 TCP 성능 향상을 위한 연구는 계속되고 있지만 이것들의 대부분은 네트워크 계층 또는 하위 계층으로부터 feedback의 요구를 기초로 한다. 본 논문에서는 경로 변경을 자주 발생시키는 잘못된 패킷 전달을 검출하고 응답하므로써 TCP 성능을 향상시키는 새로운 방법을 제안한다.

1. 서론

이동 노드의 집합으로 이루어진 ad-hoc network는 고정된 인프라스트럭처 도움 없이 서로간에 통신할 수 있는 능력이 있다. 노드들 사이의 상호연결은 연속적이고 임의적으로 변할 수 있다. 노드들은 서로간의 주파수 범위 내에서 무선 통신을 통해 직접적으로 통신할 수 있으며 멀리 떨어진 경우 중간의 다른 노드들을 이용하여 통신한다.

TCP가 무선 네트워크를 위해 설계되었다면 패킷이 손실될 때마다 네트워크 혼잡이 발생된다고 가정하고 윈도우 크기를 줄이는 것과 같은 적절한 혼잡 제어가 필요하다[6]. 그러나 무선 네트워크는 무시할 수 없는 높은 연결 어려움을 가지고 있고 TCP는 혼잡과 같은 링크 에러에 의해 야기된 패킷 손실을 오해하는 경우가 많다. 결과적으로 TCP가 불필요하게 혼잡 제어를 할 때에 무선 네트워크에서 TCP의 성능은 나빠지고 처리율과 링크 이용률의 감소를 야기한다[4].

TCP 성능은 ad-hoc network에서 더욱 나빠진다. 게다가 모든 링크가 무선인 경우, 연결 실패가 빈번하고 TCP 만큼이나 심각한 문제를 야기할 수 있는 이동성 때문에 경로 변경이 자주 발생한다. 첫째로 연결

실패는 중간 노드에서 패킷 손실 때문에 야기된다. 둘째로 경로 변경은 현재 TCP 제어 메커니즘을 혼동시키는 잘못된 전달이 빈번하게 생긴다. 경로 변경 문제를 위한 이상적인 해결책은 경로가 끊어지자마자 이것의 상태를 멈추고 가능한 빨리 새로운 경로를 찾는다고 가정하는 것이다[3,5] 그러나 이러한 방법은 즉각적인 통보와 중간 노드들로부터 모든 TCP 송신자들에게 그리고 네트워크 계층으로부터 전송 계층에게 feedback이 요구된다. 이러한 feedback 시스템은 구현이 어렵고 운영하는데 비용이 많이 든다는 단점을 가지고 있다[2].

본 논문에서는 네트워크 계층으로부터 feedback의 존 없이 빈번한 경로 변경에 TCP가 적응하도록 새로운 방법을 제안한다. 이것은 잘못된 패킷 전달 사건을 검출하고 이러한 사건으로부터 경로 변경을 예측하는 것을 기초로 한다. 본 논문에서는 이러한 접근이 ad-hoc network에서 TCP 성능을 상당히 향상시켰음을 보여준다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존의 관련연구에 대하여 알아보고 3장에서는 제안한 방법을 설명하였다. 4장에서는 제안한 방법의 성능을 평가하였고 마지막으로 5장에서는 결론을 맺는다.

2. 관련 연구

기존 TCP는 전송 에러가 거의 없는 유선환경에 적합하도록 설계되었다. 따라서 이러한 TCP를 모든 노드들이 이동하는 Ad-hoc 환경에 적용한다면 TCP 성능은 다음과 같은 이유로 성능이 상당히 저하된다. 첫째로 무선링크는 유선링크에 비해 높은 BER(Bit Error Rate)로 인해 다중 패킷 손실이 발생한다. 둘째로 노드들의 이동으로 인한 잦은 경로 변경으로 인하여 버스트한 패킷 손실이 발생한다. 세 번째로 다중 홉 경로의 각 홉에서 역방향인 TCP 데이터 패킷과 ACK 패킷의 접근을 위한 경쟁 때문에 홉 수의 증가와 함께 전송효율은 저하된다. 그러나 기존 TCP는 전송 에러 및 경로 변경으로 인한 패킷 손실과 네트워크 혼잡을 구별하는 방법이 없다. 이러한 패킷 손실의 원인을 네트워크 혼잡으로 간주하여 혼잡 제어 메커니즘을 수행하므로써 재전송을 유발하고 윈도우 크기를 현저히 감소시킴으로써 전송 효율이 저하되므로 TCP 성능이 낮아진다. 그리고 경로가 재설정된 후에는 네트워크 혼잡이 아님에도 불구하고 혼잡 제어 메커니즘의 결과로 불필요한 전송효율 저하를 야기시킨다. 따라서 Ad-hoc 환경에 적합한 TCP 성능 개선을 위하여 에러가 발생하기 쉬운 무선링크의 패킷 손실 문제는 신뢰성있는 링크 계층 프로토콜을 사용함으로써 줄일 수 있다. 현재 ad-hoc 환경에 맞게 TCP 성능을 개선하는 연구가 활발히 이루어져왔고 그 중에 TCP-F(TCP-Feedback), ATCP(Ad-hoc TCP) 프로토콜들이 있다.

TCP-F는 경로상의 downstream 이웃 노드들의 이동 때문에 생기는 연결 실패의 검출을 위해 중간 노드의 네트워크 계층에 의존한다[4]. 송신자는 active 상태와 snooze 상태가 있다. Active 상태에서 전송은 일반 TCP에 의해 제어된다. 중간 노드는 연결 실패를 가능한 한 빨리 검출하고, RFN(Route Failure Notification) 패킷을 송신자에게 전송한다. RFN 패킷을 수신한 송신자는 패킷 전송을 중단하고 snooze 상태로 들어간다. 그리고 재전송 타이머와 혼잡 윈도우 크기와 같은 상태 변수의 값을 변화시키지 않는다. 송신자는 중간 노드로부터 RRN(Route Reestablishment Notification) 패킷을 수신하면 snooze 상태에서 active 상태로 전환하여 정상적인 동작을 다시 진행하며 현재 윈도우 크기에서 수신이 확인되지 않은 패킷은 모두 재전송한다. 그림 1은 TCP-F의 상태 변화를 보여주고 있다. TCP-F 프로토콜은 경로 재설정 후 경로 불연속이 발생하기전과 같은 전송 효율로 통신

을 재시작 함으로써 불필요한 TCP 성능저하를 개선하였다.

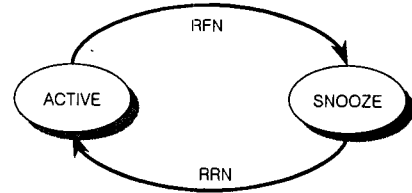


그림 1. TCP-F의 상태도

ATCP는 네트워크 계층 feedback을 활용한 프로토콜로서 BER, 노드들의 이동으로 인한 경로 재설정등의 문제를 고려하였다[1]. 또한 표준 TCP/IP와 호환성을 위하여 TCP를 수정하지 않고 대신에 ATCP라 불리는 계층을 TCP와 IP 사이에 삽입하였다. ATCP는 ECN(Explicit Congestion Notification) 메시지와 ICMP Destination Unreachable 메시지에 의해 제공되는 네트워크 상태 정보를 모니터링하며 송신자의 TCP에 적절한 상태를 유지한다. 그림 2는 ATCP의 상태도를 보여주고 있다. 만일 송신자가 Destination Unreachable 메시지를 수신하는 경우 persist 상태로 들어간 후에 새로운 경로가 발견될 때까지 어떠한 패킷도 전송하지 않는다. 그러므로 송신자는 혼잡 제어를 야기시키지 않는다. 사용하던 경로를 이용하여 네트워크 혼잡을 송신자에게 전달하는 메커니즘으로 ECN이 사용된다.

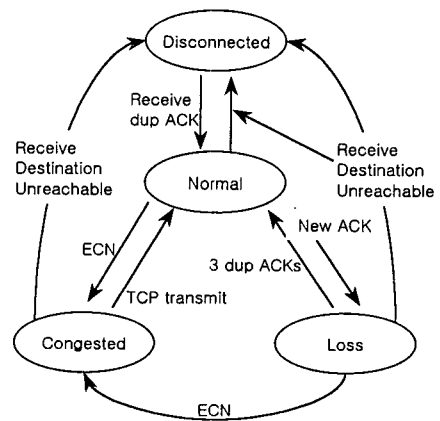


그림 2. ATCP를 위한 송신자 상태도

3. 제안한 방법

본 논문에서는 Ad-hoc network에 대한 TCP의 성

능을 향상하기 위한 새로운 방법을 제안하였다. 본 논문에서는 Ad-hoc network에서 빈번히 발생하는 경로 변경에 적응하도록 하기 위해 잘못된 패킷 전달을 검출하고 경로 변경 예측을 기초로 한다.

3.1 잘못된 패킷 전달

TCP 세션에서 한쪽 단말에 의해 보내지는 패킷이 다른 단말에 연속적이고 순서적으로 도착하는 것이 가장 이상적인 결과이다. 그러나 이러한 이상적인 순서가 위반될 수 있는 두 가지 경우가 있다. 첫 번째 경우는 패킷 손실에 따른 재전송이다. 이전에 전송된 순서번호가 나중에 반복이 되는 경우로서 이를 비순서 사건이라 부른다. 두 번째 경우는 먼저 송신한 패킷이 나중에 송신한 패킷보다 늦게 도착할 때 발생한다.

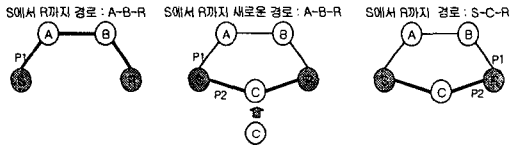


그림 3. 경로 변경의 예

잘못된 순서는 네트워크의 경로 변경을 암시한다. 네트워크에서 고정된 경로로 두 개의 노드가 통신하는데 모든 노드에서 FIFO 큐를 사용한다고 가정하면, 모든 패킷이 송신한 순서처럼 똑같은 순서로 도착된다. 그러나 그림 3에서처럼 만약 송신 중에 경로가 변경되면 처음 패킷 P1과 나중 패킷 P2는 다른 경로로 전달될 것이다. 그리고 P2에 의해 형성된 경로가 P1이 지나가는 경로보다 빠르거나 짧다면 P2가 P1보다 빨리 도착할 수 있다. 이러한 경우에 잘못된 전달이 발생한다. Ad-hoc network는 상당히 동적인 환경이므로 경로 변경은 빈번히 발생할 수 있다. 이러한 Ad-hoc network에서 잘못된 전달의 무시는 심각한 성능 저하를 가져올 수 있다. 경로 변경에 의해 발생하는 패킷 손실은 네트워크 혼잡과 관련되지는 않는다. 그러므로 송신율을 낮추는 것이 혼잡 제어를 피하는 타당한 방법은 아니다. 만약 잘못된 순서 사건이 하나의 TCP 연결에 여러 번 발생한다면 TCP 처리율을 나빠지게 된다. 이러한 잘못된 순서 사건을 검출하고 적절하게 응답하므로써 처리율을 향상시킬 수 있다.

3.2 잘못된 순서 검출 및 응답

TCP 세션에서 잘못된 순서는 양방향에서 발생할 수 있다. 데이터 패킷과 ACK 패킷 두 개의 스트림에서 잘못된 전달이 생길 수 있으므로 잘못된 전달 검출은 종단간에서 수행된다. 송신자는 ACK 패킷의 잘못된 전달을 검출하고 수신자는 데이터 패킷의 잘못된 전달을 검출한다.

송신자는 ACK 패킷을 수신할 때마다 이전에 수신한 ACK 패킷의 순서번호와 비교하여 현재의 순서번호가 작으면 송신자는 잘못된 전달을 선언한다. 그리고 Duplicate ACK 패킷의 잘못된 전달 검출은 부가적인 순서 정보가 요구된다. 왜냐하면 그렇지 않으면 두 개의 duplicate ACK 패킷은 식별할 수 있는 내용을 가지고 있어야 하기 때문이다. 이를 해결하기 위해 본 논문에서는 TCP ACK 헤더에 ACK Duplication Sequence Number(ADSN)라는 1바이트 TCP 옵션의 추가를 제안한다. 첫 번째 ACK 패킷을 송신할 때, ADSN 옵션은 0으로 설정한다. 똑같은 sequence number의 ACK 패킷을 복사하여 송신할 때마다 ADSN을 증가시킨다. 그리고 만약에 ADSN이 256에 도달하면 ADSN은 0으로 재설정된다.

수신자가 데이터 패킷의 잘못된 순서를 검출하는데 순서번호를 비교하는 방법은 적용될 수 없다. 왜냐하면 TCP 재전송은 보다 높은 순서번호 데이터 패킷을 수신한 후에 낮은 순서번호를 갖는 데이터 패킷이 도착하였을 때 야기된다. 잘못된 데이터 패킷의 검출을 확실히 하려면 TCP 데이터 패킷에 엄격한 순서 정보를 포함시켜야 한다. 이러한 방법을 달성하기 위해 TCP 헤더에 TCP Packet Sequence Number(APSN)라는 2바이트 TCP 옵션을 추가한다. 0에서부터 시작하여 모든 데이터 패킷을 송신 및 재전송 할 때 증가시킨다. 이러한 TPSN은 데이터 패킷 스트림의 추출한 순서를 저장한다. TPSN 옵션을 가지고 TCP 수신자는 잘못된 순서 검출을 확실히 할 수 있게 된다.

잘못된 전달이 검출될 때, 여러 가지 형태의 성능 문제를 피하기 위해 적절하게 반응할 수 있다. TCP 수신자가 잘못된 전달을 검출하면 TCP ACK 패킷내에 잘못된 전달 비트를 설정하여 송신자에게 이를 통보한다. TCP 송신자가 이러한 통보를 받거나 ACK 스트림으로부터 직접 잘못된 순서를 검출하면 다음과 같은 응답 조치를 취할 수 있다. 첫째로 TCP 송신자가 잘못된 전달 조건이 검출될 때마다 일시적으로 혼잡 제어를 disable하는 것이다. 즉, 잘못된 전달을 검출한 후에 T1 시간동안 TCP 송신자는 RTO나 혼잡 윈도우 크기와 같은 변수 값의 상태를 유지시킨다. 그

런 후에 이러한 disable된 기간은 절반으로 설정된다. 둘째로 혼잡 제어 회피 상태로 들어간 후 즉시 복구를 하는 방법이 있다.

4 성능 평가

이 장에서는 본 논문에서 제안한 잘못된 순서의 검출 및 응답에 대하여 ns-2 시뮬레이터를 이용하여 성능을 평가하였다. 성능 평가의 목적은 잘못된 순서 검출 및 응답에 따른 성능 향상을 보이고 이러한 메커니즘에 가장 적합한 매개변수 값을 결정하는 것이다. 잘못된 순서의 검출은 송신자 및 수신자에서 검출을 하였다. 그리고 네트워크를 구성하는 모든 이동 노드들은 250m 전송 범위를 가지며 표준 TCP-SACK를 이용하였다. 그림 4와 그림 5에서 제안한 방법의 향상된 성능 결과를 보여주고 있다.

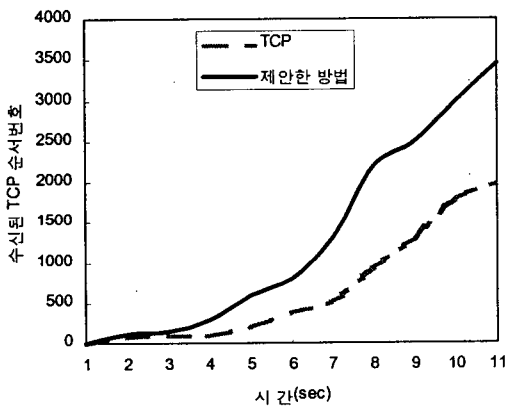


그림 4. TCP와 제안한 방법과의 성능 비교

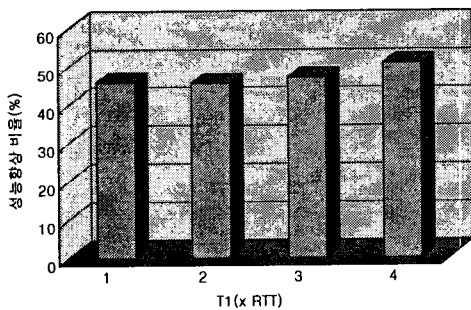


그림 5. 제안한 방법의 성능 향상 비율

5. 결론

본 논문에서는 ad-hoc network에서 TCP 성능을

향상시키기 위한 새로운 방법을 제안하였다. Ad-hoc network에서는 노드들의 이동으로 인한 경로 변경이 자주 발생하기 때문에 일반 TCP의 성능은 나빠질 수밖에 없다. 그리고 기존의 방법은 네트워크 계층이나 하위 계층으로부터 feedback에 의존을 한다. 그러나 feedback 기법은 구현하기가 힘들고 비용이 많이 드는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서 제안한 방법은 feedback에 의존하지 않고 종단간에서 잘못된 전달을 검출하여 네트워크 혼잡과 경로 변경을 구별하여 불필요한 혼잡 제어를 피함으로써 TCP의 성능을 향상시켰다.

향후 연구로는 잘못된 전달이 경로 변경에 의해서 발생하지 않을 경우 이를 해결하기 위한 다중 경로 라우팅에 관한 연구가 수행되어야 한다.

[참고문헌]

- [1] H. Balakrishnan, V. Padmanabhan, S. Seshan, and R. Katz. A comparison of mechanisms for improving TCP performance over wire links. In Proceedings of ACM SIGCOMM'96, Stanford University, California, Aug. 1996
- [2] K. Chandran, S. Raghunathan, S. Venkatesan, and R. Prakash. A feedback-based scheme for improving TCP performance in ad hoc wireless networks. IEEE Personal Communications Magazine, 8(1):34-39, Feb. 2001
- [3] G. Holland and N. Vaidya. Analysis of TCP performance over mobile ad hoc networks. In Proceedings of ACM Mobicom'99, Aug. 1999
- [4] J. Liu and S. Singh. ATCP: TCP for mobile ad hoc networks. IEEE J-SAC, 19(7):1300-1315, July. 2001
- [5] V. Jacobson. Congestion avoidance and control. In Proceedings of ACM SIGCOMM'88, AUG. 1988
- [6] V. Jacobson, R. Braden, and D. Borman. TCP extensions for high performance. IETF RFC 1323, May. 1992