

무선 애드 혹 네트워크를 위한 TCP

유시환⁰ 최진희 유혁
고려대학교 컴퓨터학과
{shyoo⁰, jhchoi, hxy}@os.korea.ac.kr

TCP for Wireless Ad hoc Networks

See-Hwan Yoo⁰ Jin-Hee Choi and Hyuck Yoo
Dept. of Computer Science, Korea Univ.

요 약

무선 랜을 사용하는 애드 혹 네트워크에서는 경쟁 기반의 전송을 하는 링크 계층의 동작으로 인해 기존의 TCP의 정책들이 불리하게 작용하는 점이 있다. 특히, 이러한 환경에서는 패킷 전송을 위한 채널 경쟁이 큰 요소로 작용하게 된다. 본 논문에서는 무선 랜을 사용하는 애드 혹 네트워크에서 TCP의 ACK 기법을 조절하여, 경쟁으로 인한 오버헤드를 줄임으로써, 전송 효율을 높일 수 있는 방식을 제시한다.

1. 서 론

무선 랜은 애드 혹 네트워크를 지원하기 위한 최적의 링크 계층 프로토콜이다. 무선 랜의 링크 계층 프로토콜의 특징 중 하나는 무선 링크를 같은 셀 안의 노드들 간에 공유할 수 있는 방식인 DCF를 지원한다는 것이다. DCF는 CSMA/CA 기반의 전송 방식으로 경쟁을 통하여 한 노드가 채널을 잡을 때, 다른 노드들이 양보하는 기법이다.

기존의 TCP 프로토콜은 self-clocking 기법을 사용하여 TCP의 송신자가 수신되는 ACK의 속도에 맞추어 전송을 하게 된다. TCP의 self-clocking 방식은 네트워크의 트래픽을 시간에 따라 분산시킴으로써 네트워크 내의 혼잡을 분산하는 효과를 가지고 있다. 하지만, 무선 랜을 사용하는 애드혹 환경에서는 이 정책이 불리하게 작용할 수 있다. 여기에서는 충돌 회피를 위한 TCP의 개선을 보임으로써, 기존의 TCP가 충돌 회피 기법을 사용하여 네트워크 자원을 효율적으로 사용할 수 있음을 보인다.

이 논문에서는 노드들의 움직임이 없는 상황만을 고려하며, 링크 수준 이하의 BER이나 communication blockage, route failure와 같은 문제를 배제하고, 전송 계층의 동작에 대한 고찰을 통하여, 개선사항을 제시한다.

2. 관련 연구

무선 랜을 사용하는 환경에서 TCP의 성능에 관한 연구는 많은 방향으로 진행되어 왔다. 무선 랜에서 TCP와 UDP의 성능의 평가를 한 논문에서는 UDP의 Goodput이 상황에 따라 크게 성능의 저하가 있음을 보이고, TCP와 같은 네트워크 적응 기법이 필요함을 밝혔다.

다른 연구에서는 무선 랜을 사용한 네트워크에서 TCP의 성능이 Exposed node problem으로 인해 크게 저하됨을 보이고, TCP reno의 window 크기를 조절함으로써, 애드 혹 네트워크에서 전송 효율을 높이고, 안정적인 전송을 할 수 있음을 보였다.

고정된 노드의 환경에서는 TCP의 버전과 라우팅 프로토콜에 대하여 평가한 논문에서는 TCP reno 버전과 DSR 프로토콜이 높은 성능을 보임을 밝혔다.

TCP의 ACK 패킷의 조절에 대하여 연구한 이전의 연구에서는 TCP의 delayed ACK 기법이 송신자에게 네트워크의 상황에 대한 정보를 느리게 전달함으로써 송신자가 네트워크 상황을 빠르게 파악하지 못하여, 전송 효율이 나빠짐을 보였다.

3. 무선 랜에서 TCP의 문제점

802.11 표준의 무선 랜을 사용하는 애드 혹 네트워크는 무선 랜의 경쟁 기반의 전송 방식으로 인하여 전송 용량의 한계를 가진다. 무선 랜의 전송 방식은 CSMA/CA 기반의 경쟁 기반의 전송 방식이다. 한 노드가 전송중인 동안, 같은 셀 내의 다른 노드들은 전송을 기다리고 있다. 전송이 완료된 후, 경쟁을 다시 시작하도록 한다. 802.11 표준에서는 MAC(Medium Access Control) 계층과 PHY(Physical) 계층의 표준을 정하고 있다. 채널의 센싱은 MAC과 PHY 계층 모두에서 이루어지며, PHY 계층의 센싱을 바탕으로 Network Allocation Vector(NAV)를 사용한 MAC 계층의 경쟁 방식을 사용함으로써 전송의 충돌을 줄이도록 한다.

802.11 표준이 정하고 있는 DCF 방식은 긴 시간 관점에서 볼 때, 같은 셀 안의 노드들이 공평하게 채널을 사용

할 수 있도록 보장하는 기법을 제공한다. 즉, 링크 계층의 전송 스케줄링 기법을 의미한다.

상위 계층의 도움 없이 링크 계층의 스케줄링 만으로 모든 채널 사용에 관한 문제가 해결되는 것은 아니다. 링크 계층은 실제 전송을 위해 상위 계층의 데이터를 전송하는 역할을 담당할 뿐, 실제 데이터 전송을 요구하는 프로토콜이 실제 사용자의 요청 데이터에 대한 스케줄링을 해주어야 한다.

지난 연구에서 살펴본 바와 같이 UDP 트래픽의 전송 효율이 홉 수가 증가함에 따라, 크게 떨어지는 것은 이와 같은 이유이다.

무선 랜과 같은 경쟁 기반의 환경에서는 전송 트래픽의 전송 효율을 최대화하기 위해서, 전송 트래픽의 오버헤드를 최소화 하는 것이 중요하다. TCP 트래픽 중 작은 크기의 데이터를 담지 않은 ACK 패킷은 전송 프로토콜에서는 꼭 필요한 컨트롤 패킷이다. 하지만 이러한 ACK 패킷도 애드 혹 환경에서는 전송을 위해 채널을 잡아야 하고, 다른 트래픽과 경쟁하여야 한다. TCP는 self-clocking을 지키기 위하여 가능한 한 많은 수의 ACK 패킷을 보내어, 전송 데이터의 전송 페이스를 조절한다.

무선 랜의 환경에서 컨트롤 패킷을 줄이는 것은 매우 중요한 일이다. 컨트롤 패킷은 프로토콜의 행동을 변화시키므로, 매우 신중하게 결정되어야 한다. 반면, 많은 컨트롤 패킷은 데이터 패킷과 경쟁하게 되므로, 전송 프로토콜의 전송 효율을 크게 떨어뜨리는 원인이 되기도 한다.

또한 무선 랜과 같은 전송 방식에서는 한 노드가 전송할 데이터를 쪼개어, 여러 번에 걸쳐 전송하는 것보다는 한 번에 전송할 수 있는 모든 데이터를 전송한 후, 다음 노드가 전송할 수 있는 데이터를 전송하는 것이 경쟁으로 인한 오버헤드를 줄이는데 효율적인 전송 방식이다.

결과적으로, TCP의 self-clocking 매커니즘은 무선 애드 혹 환경에서 ACK 패킷 자체가 경쟁을 유발 시키는 원인으로 작용하며, 링크 수준의 스케줄링 정책과 상충하는 것을 알 수 있다.

4. 무선 랜에서 TCP를 사용하기 위한 충돌 회피 기법

이 절에서는 제안하는 무선 랜 환경에서 충돌 회피를 위한 TCP ACK 기법의 수정을 논한다. 위에서 살펴본 바와 같이 경쟁 기반의 전송 방식으로 인해, 기존의 TCP들은 ACK 패킷의 전송을 위한 채널 경쟁이 심각하며, 홉 수가 증가함에 따라 데이터 패킷과 ACK 패킷의 교환을 위한 채널의 교환이 빈번하게 일어남으로 인해 불필요한 스케줄링 정책이 전송 효율에 큰 영향을 끼침을 알 수 있다.

우리는 TCP가 가지고 있는 self-clocking 정책을 포기하고, ACK 패킷의 수를 최소화하여 충돌을 줄일 수 있도록 하였다. ACK 패킷의 수를 줄이더라도, 전송률을 떨어뜨리면 안되므로, 최소한 congestion window 당 1개의 ACK을 받도록 하여, congestion window의 전송률을 지킬 수 있도록 한다.

Congestion window당 최소한 1개의 ACK을 받도록 하기 위하여, 전송하는 TCP 데이터 패킷에 대해서, TCP 송신자가 ACK를 필요로 하는 패킷의 헤더에 마크를 해주어, 수신자가 TCP 헤더를 보고 마크가 있는 패킷에 대해

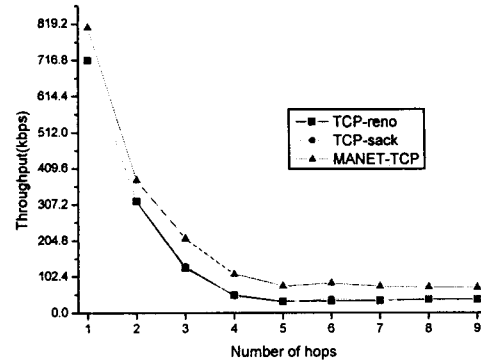


그림 1. 홉 수의 증가에 따른 TCP throughput의 변화-시나리오1

서만 ACK를 보낼 수 있도록 한다.

RTT당, 1개의 ACK를 보내는 경우, 전송하는 ACK 패킷의 수가 너무 적어 이전의 연구에서 지적한 바와 같이 송신자가 네트워크 상황을 정확히 파악하지 못하는 단점이 있다. 이러한 단점을 다음과 같은 두 가지 기법을 사용하여, 효율적인 방식을 사용할 수 있도록 한다.

ACK의 전송을 위한 대상을 정하기 위해서, 새로 열린 윈도우 당 1개의 ACK을 받도록 한다. 이 방식을 통해서 slow-start 기간 동안 발생하는, 윈도우의 증가에 대해서, 추가로 열린 송신 윈도우에 대해서 ACK 패킷을 발생 시키지 않는 방식이다. 이 방법은 결국 윈도우 당 두 개의 ACK 패킷을 발생 시키도록 한다.

네트워크 상에서 발생한 패킷의 유실은 송신자보다, 수신자가 빨리 알아챌 수 있다. 수신자가 패킷 유실을 알아채는 경우, 무조건 해당 패킷을 위한 ACK를 발송하여, 송신자가 유실된 패킷에 대하여 빨리 전송할 수 있도록 한다. 위의 두 가지 정책으로 인해서, ACK 조절 정책의 가장 큰 단점으로 지적되었던, 송신자에게 네트워크 상황에 대한 통보를 할 수 있도록 보장한다.

5. 충돌 회피 기법의 성능

충돌 회피 기법의 성능을 측정하기 위해서 우리는 NS-2 시뮬레이터를 사용 하였다. 성능 측정의 기준으로 TCP 세션의 throughput과 timeout 횟수, MAC의 재시도 횟수를 포함한, 패킷 전송 실패 횟수를 측정하였다. 802.11의 모드는 RTS/CTS를 사용하는 DCF로 설정되어있다.

두 가지 시나리오에 대해서 실제 실험 데이터를 측정하였다. 첫번째 시나리오는 충돌 회피 기법의 성능만을 측정하기 위하여, 노드의 이동성을 배제하고, 노드들을 일렬로 배열한 스트링 토폴로지에서 홉 수를 늘려가며 TCP 세션의 throughput을 비교하였다. 두 번째 시나리오는 여러 개의 노드들이 좁은 공간에 밀집한 상황에서 이동하면서 데이터를 주고 받는 경우를 가정하고, 여러 TCP 세션의 throughput의 합을 비교하였다.

그림 1은 첫번째 시나리오에 대하여, TCP 세션의

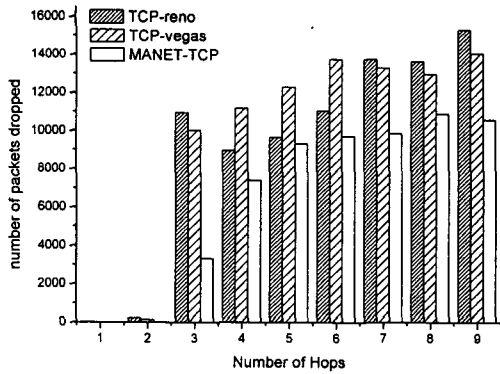


그림 2. 네트워크에서 유실된 패킷-시나리오1

throughput을 홉 수의 증가에 따라 나타낸 그래프이다. 그래프에서 MANET-TCP 그래프가 나타내는 부분이 충돌 회피 기법을 사용한 TCP이다. Throughput 자체 값이 크게 감소하고 있기는 하지만, 상대값을 살펴볼 때, 최대 100% 가량의 throughput 증가가 있음을 볼 수 있다. 특히, 1홉의 상황에서도 throughput의 증가가 있음을 볼 수 있는데, 1홉의 상황에서도, ACK 패킷의 감소로 네트워크 자원의 활용도(utilization)이 증가한 것을 나타낸다.

그림 2는 MAC 수준에서 발생한 유실된 패킷의 수를 나타낸다. 그림 2를 통해 볼 때, 충돌 회피 기법은 적은 패킷 유실을 나타내고 있다. 즉, 네트워크 자원을 효율적으로 사용하고 있음을 나타내고 있다. 특히, TCP-Vegas 버전의 경우보다도 유실된 패킷의 수가 적은 것을 볼 수 있다. TCP Vegas의 경우, 거의 모든 패킷에 대하여 ACK를 받아야 함을 가정하고 있으므로, 이러한 방식의 탑재가 불가능하다는 점을 고려해 볼 때, 네트워크 자원의 효율적인 사용에 적합한 프로토콜임을 확인할 수 있다.

그림 3은 두번째 시나리오를 통해 TCP 세션의 throughput을 확인한 그래프이다. 1500mX3000m의 영역에 100개의 노드를 임의의 위치에 배치시킨 후, 한 개의 TCP 세션을 열어 150초간의 throughput을 측정된 그래프이다. 300개의 임의의 이동 패턴에 따른 TCP의 throughput 측정 그래프를 나타낸다. 그림 3을 통해 볼 때, 노드들의 배치에 따라 Throughput의 편차는 매우 크지만, 라우팅 오류와 같은 점을 고려한다고 하더라도, 15%~20% 정도의 성능 향상이 있음을 알 수 있다.

6. 앞으로의 연구 방향

논문에서 제시한 무선 랜 상에서 충돌 회피 기법은 애드 혹 네트워크에서만 아니라, 경쟁 기반의 전송을 하는 모든 매체에서 성능의 향상이 있을 것으로 보인다. 시뮬레이션을 통하여 살펴본 결과, TCP Vegas와 같은 전송률 조절 정책이 무선 애드 혹 환경에서도 훌륭한 성능을 보임을 알 수 있었다. TCP Vegas 버전의 성능에 대한 연구는 많이 진행되어 왔으나, fairness의 문제로 인해

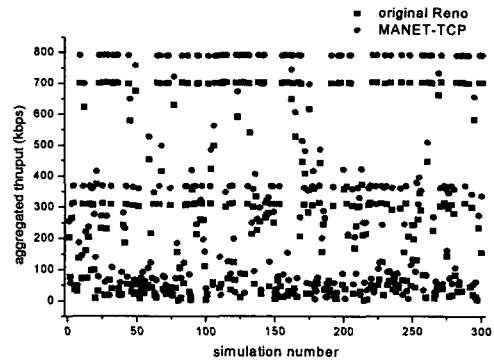


그림 3. TCP-reno와 MANET-TCP의 throughput-시나리오2

사용되기 힘든 점이 지적되었다. 그러나 애드 혹 네트워크와 같은 소규모의 외부와 단절된 네트워크의 구성에서 노드들의 전송률 조절 정책은 네트워크 자원의 효율적인 활용에 큰 역할을 할 수 있을 것으로 보인다. 특히, 애드 혹 네트워크와 같은 배터리 제한이 큰 환경에서는 노드들의 효율적인 자원 활용이 중요한 요소라고 볼 수 있다.

기존의 TCP Vegas는 모든 ACK를 받아야 정상적으로 동작할 수 있다. 충돌 회피 기법과 전송률 조절 정책을 동시에 만족할 수 있는 전송 계층의 수정은 애드 혹 네트워크 환경에서 큰 성능 향상을 가져올 수 있을 것이라고 생각한다.

Reference

1. Shugong Xu and Tarek Saadawi. " Does the IEEE 802.11 MAC Protocol Work Well in Multihop Wireless Ad Hoc networks?" . IEEE Communications Magazine, pages 130- 137, June 2001.
2. D. Clark, "Window and Acknowledgment Strategy in TCP," RFC-813, July 1982.
3. V. Jacobson, "Congestion Avoidance and Control," ACM SIGCOMM-88, August 1988.
4. IEEE Standard for Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) specifications, ISO/IEC 8802-11:1999(E), Aug. 1999
5. Venkatesh Ramarathinam and Miguel A. Labrador. " Performance Analysis of TCP over Static Ad Hoc Wireless Networks," In Proc. 15th International Conference on Parallel and Distributed Computing Systems (PDCS 2002), pages 410-415, September 2002
6. 유시환, 최진희, 진현욱, 유혁, " 무선 랜을 사용하는 Ad-hoc네트워크에서 TCP와 UDP의 트래픽 비교" , 춘계 정보 과학회, 2003년.