

유무선 혼합 망에서 TCP의 공평한 대역폭 분배를 위한 연구

김성철^{*} · 조용범^{*} · 문일영^{**} · 조성준^{*}

^{*}한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

^{**}한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부

A Study of Balanced TCP Bandwidth Allocation over Wired and Wireless Heterogeneous Network

Seong-chul Kim^{*} · Yong-bum Cho^{*} · Il-young Moon^{**} · Sung-joon Cho^{*}

^{*}Dept. of Inform. & Telecom. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation University

^{**}School of Internet Media Engineering, Korea University of Technology and Education

E-mail : {holyiron, athome}@hau.ac.kr · iymoon@kut.ac.kr · sjcho@hau.ac.kr

요 약

일반적으로 유무선 혼합 망은 유선구간의 중단과 무선구간의 데이터 중계를 담당하는 기지국에 다수의 이동 호스트가 접속하여 통신을 하는 구조로 되어있다. 이러한 기지국은 네트워크에서 병목점이 되어 네트워크의 성능저하가 발생하기 쉽다. 이러한 성능저하를 개선하기 위해 여러 프로토콜 계층에서 연구가 진행되고 있다. 그 중에서도 전송계층에서 TCP의 성능개선을 위한 여러 가지 기법이 연구되고 있지만, 대부분 처리율 향상을 위한 것이고 fairness 악화에 대한 대책은 고려되지 않았다. 본 논문에서는, fairness를 개선하기 위한 새로운 알고리즘을 제안하고, ns-2를 이용한 시뮬레이션으로 그 성능을 검증한다.

ABSTRACT

In general, multiple mobile hosts (MH) access at a base station (BS) that terminates the wired link and relays data flow to the wireless link in wired and wireless heterogeneous network. In this network, the BS is tend to be a bottleneck and to degrade a network performance. Many studies have been done throughout several protocol layers. Especially on the transport layer, many techniques were studied to enhance TCP performance. But most of them are concerned to enhance TCP throughput and TCP fairness is hardly considered. In this paper, an algorithm for enhancing TCP fairness is proposed and its performance is verified by ns-2 simulation.

키워드

TCP, fairness, snoop, heterogeneous network

1. 서 론

유무선 혼합 네트워크에서는 무선 구간에서의 빈번한 링크에러로 인하여 패킷 손실이 자주 발생한다. 패킷 손실이 발생할 때마다, TCP 전송단에서는 혼잡제어를 실시하여 전송율을 낮추므로, 유무선 구간의 효과적인 대역폭 활용이 어렵다.

이러한 문제를 해결하기 위해 다양한 기법이 연구되고 있으며, 그 중에서도 링크 레벨 재전송

방식 중 하나인 snoop 프로토콜이 가장 효과적인 기법으로 알려져 있다 [1].

고속인 유선 구간과 상대적으로 저속인 무선구간의 접합점인 Access Point (AP)는 다수의 Fixed Host (FH)와 Mobile Host (MH)간의 데이터 flow를 중계하기 때문에 네트워크에서 bottleneck이 된다. 또한 다수의 TCP flow가 존재하는 경우, 각 flow별 전송율의 편차가 커서 fairness를 만족시키기 어렵다 [2].

본 논문에서는, 무선 구간의 링크에러에 의한 성능저하를 보상하기 위해 snoop 프로토콜을 사용했을 때, 다수의 TCP flow 사이의 fairness를 보장하는 새로운 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 분석한다.

본 논문의 구성은 II장에서 TCP의 fairness에 대한 문제점을 지적하고 fairness를 향상시키기 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. III장에서는 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 결과를 분석하고, 마지막으로 IV장에서 결론을 내린다.

II. TCP의 fairness

일반적으로 무선접속 네트워크는 하나의 AP에 다수의 무선 호스트가 접속하여 통신을 한다. 이러한 AP는 링크에러가 빈번하게 발생하는 무선 구간에서 손실된 데이터를 효과적으로 보상해 줄 수 있어야 한다. 무선 네트워크에서 원활한 TCP 성능 보장을 위해 연결 분할 접근 방식 그리고 링크 레벨 재전송 방식 등 다양한 기법이 연구되고 있으며 [3,4], 특히 링크 레벨 재전송 방식 중 하나인 snoop 프로토콜이 가장 효과적인 기법으로 알려져 있다 [1].

Snoop 프로토콜은 AP에 존재하는 snoop agent가 무선구간에서의 데이터 손실을 유선구간의 FH에게 숨기고 스스로 지역재전송을 수행함으로써, TCP 송신단에서 TCP의 혼잡제어 알고리즘이 시작되는 것을 방지하고 좀 더 빠르게 데이터 손실을 보상한다. 이러한 방법으로 TCP 처리율 (throughput)을 향상시킬 수 있다.

이러한 snoop 프로토콜은 FH와 MH가 1개씩 존재하는 경우, 즉 TCP flow가 1개인 경우엔 처리율을 효과적으로 향상시킨다. 그러나 다수의 TCP flow가 존재할 경우 전체적인 처리율은 향상시키지만 fairness는 보장하지 않는다. 다시 말해 어떤 flow는 처리율이 높아지고, 어떤 flow는 처리율이 낮아지게 된다.

한편 AP는 고속의 유선 네트워크와 상대적으로 저속인 무선 네트워크의 모든 데이터 교환을 중계하므로, 네트워크에서의 bottleneck이 된다. 따라서 AP에서는 buffer overflow가 자주 발생하게 되는데, 이는 유선구간에서의 패킷손실이 되어 TCP 송신단인 FH들에서의 혼잡제어를 초래하게 된다. 만약 모든 FH가 동시에 혼잡제어를 시작하는 경우, global synchronization 현상이 발생하여 TCP 처리율은 심각하게 낮아진다 [5]. 또한 각 FH마다 backoff 기간과 Round Trip Time (RTT)이 서로 다르므로 TCP fairness가 악화된다 [2].

따라서 본 논문에서는 유무선 혼합 네트워크에서 TCP 처리율 향상을 위해 AP에 snoop 프로토콜을 사용할 때, 다수의 TCP flow에서의 fairness를 보장할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안한 알고리즘의 순서도는 그림 1과 같고 그 구체적인 동작 과정은 다음과 같다.

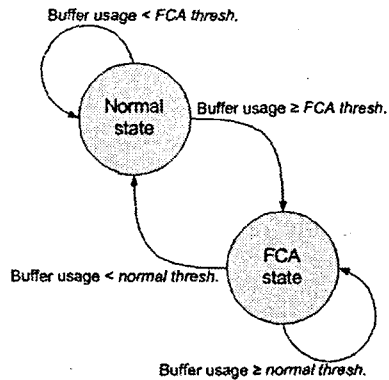


그림 1. 제안한 알고리즘의 상태천이도.

a) AP에서 동작하는 snoop agent는 AP가 중계하는 모든 데이터의 총량과 각각의 FH가 보내는 데이터의 양을 실시간으로 모니터링하고, 각 flow별 대역폭 점유율 (bandwidth sharing, BWS)을 업데이트 한다. 여기서 대역폭 점유율은 수식 (1)과 같이 계산 할 수 있다. 각각의 flow별 대역폭 점유율을 계산함으로써 다수의 flow들 중 어느 flow가 대역폭을 많이 사용해왔는지를 알 수 있다.

$$BWS_i = \frac{\text{sent data of } i\text{th flow[byte]}}{\text{total sent data[byte]}} \times 100 \quad (1)$$

b) 동시에 AP의 버퍼 사용량을 체크하여 버퍼 사용량이 미리 정해진 FCA threshold 값 이상으로 올라갈 경우 buffer overflow를 방지하기 위해 snoop agent는 Fairness Control Active (FCA) 모드로 전환한다.

c) FCA 모드로 동작할 경우, 데이터를 많이 보냈던 flow만을 선택하여 이 flow로 전송되는 ACK 패킷의 Advertisement Window (AWND) 값을 $1 \times \text{Maximum Segment Size (MSS)}$ 로 설정한 후 전달한다. 이로써 대역폭 점유율이 높은 flow에서 송신단의 전송율을 낮추게 한다.

d) 이후 AP의 버퍼 사용량이 normal threshold 미만으로 떨어진 경우 snoop agent는 다시 normal 모드로 전환한다.

데이터를 많이 보내고 있는 flow는 다수의 패킷을 연립하여 보내므로 AP의 버퍼 사용량이 높을 경우 buffer overflow 발생의 주된 원인이 된다. 그러므로 과정 c)에서 해당 flow만 선택적으로 AWND를 조절해 한번에 적은 수의 패킷만을 보내도록 하여 buffer overflow를 방지하고 fairness를 향상 할 수 있다.

III. 시뮬레이션 환경 및 결과

제안하는 알고리즘의 성능평가를 위하여 버클리 소재 캘리포니아 주립대학의 ns-2를 사용하였다 [6].

시뮬레이션 모델은 그림 2와 같이 10개의 TCP 송신단 (FH)과 10개의 TCP 수신단 (MH)이 하나의 AP를 거쳐 데이터를 주고받는 환경을 가정하였다. 각각의 송신단과 수신단이 하나의 flow를 형성하며 총 10개의 TCP flow가 존재한다. TCP 세그먼트의 전송은 FH에서 MH로의 전송만을 가정하였고 AP에서는 DropTail 버퍼를 사용하였다. 유선 링크는 10Mbps의 대역폭과 20ms의 전송지연을 가지는 ethernet망이며, 무선링크는 2Mbps의 대역폭과 64μs의 전송지연을 가지는 2.3GHz 휴대인터넷망이라고 가정하였다. 전송계층 프로토콜은 TCP-Reno를 사용한다.

그리고 무선 링크에서의 패킷 손실은 상향 링크를 통해 전송되는 패킷보다 상대적으로 훨씬 긴 길이의 패킷을 전송하는 하향 링크에서만 발생한다고 가정하였고, 무선 링크의 에러모델은 two-state Markov 모델을 사용하였다 [7]. 그 밖의 시뮬레이션 파라미터를 표 1에 나타낸다.

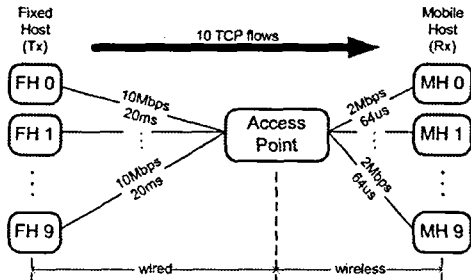


그림 2. 시뮬레이션 모델.

표 1. 시뮬레이션 파라미터.

Parameter	Value
Number of flows	10
Transport Protocol	TCP-Reno
Application Data Type	FTP
Maximum Segment Size	1040 bytes
AP Buffer Type	DropTail
AP Buffer Size	30 packets
FCA threshold	50%~90%
normal threshold	20%~80%
Error Model	Two-state Markov
Wired Link PLR	0
Wireless Link PLR	10^{-2}

PLR, packet loss rate

시뮬레이션은 100초간 진행하였으며, random seed, FCA threshold 그리고 normal threshold를 변화시켜가며 10번 수행한 후 평균값을 결과 데이터로 선정하였다.

우선, snoop 프로토콜만 사용하고 새로운 알고리즘이 적용되지 않았을 경우의 시뮬레이션 결과는 그림 3과 같다. 여기서 각 flow별 처리율을 모두 합한 전체 처리율은 3264 패킷이었으며 각 flow별 처리율의 표준편차는 약 383.93 이었다. 전체 처리율의 약 10%에 해당하는 표준편차 값은 fairness가 좋지 않음을 의미하며, 그림에서 보이는 바와 같이 어떤 flow는 많은 데이터를 보낼 수 있지만, 어떤 flow는 데이터를 거의 보내지 못함을 볼 수 있다.

다음으로, fairness 보장을 위해 제안한 알고리즘을 적용한 경우의 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같다. FCA threshold는 60%, normal threshold는 50%로 설정했을때, 전체 처리율은 1749 패킷이었으며 각 flow별 처리율의 표준편차는 약 14.49 이었다. 여기서 각 flow별 처리율의 표준편차는 전체 처리율의 1%도 되지 않는다.

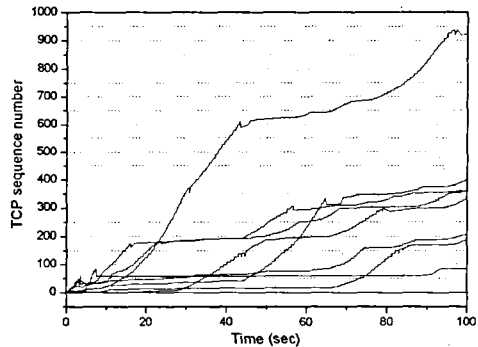


그림 3. 제안한 알고리즘이 적용되지 않은 시뮬레이션의 각 flow별 처리율.

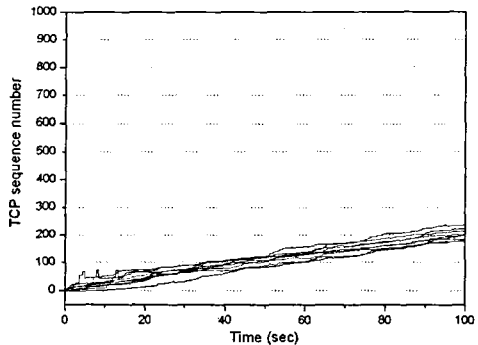


그림 4. 제안한 알고리즘이 적용된 시뮬레이션의 각 flow별 처리율 (FCA threshold = 60%, normal threshold = 50%).

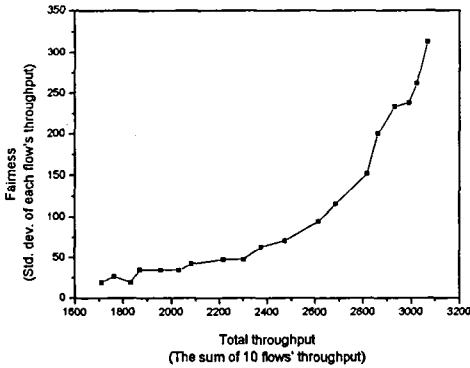


그림 5. 처리율과 fairness와의 관계.

이처럼 제한한 알고리즘을 사용한 경우에는 각 TCP flow별 처리율이 서로 비슷하고 그 표준편차 또한 작으므로, fairness가 향상되는 것을 확인할 수 있다. 그러나 전체적인 처리율은 떨어진 것도 확인할 수 있다. TCP의 전체 처리율과 표준편차는 두 threshold 값의 설정에 따라 달라졌다.

FCA threshold와 normal threshold를 변화시켜가며 수행한 시뮬레이션들의 결과로부터, 10개의 TCP flow별 처리율의 합인 전체 처리율과 각 flow별 처리율의 표준편차의 관계를 그림 5에 나타내었다. 전체 처리율이 높아질수록 fairness가 악화되며, 전체 처리율이 낮아질수록 fairness가 개선됨을 볼 수 있다. 시뮬레이션을 진행하던 중 동일한 시뮬레이션 환경에서 두 threshold 값을 조절함에 따라 fairness가 좋아지거나 혹은 throughput이 좋아지는 현상을 볼 수 있었으며, fairness와 throughput 둘 다 낮아지거나 높아지는 현상은 볼 수 없었다. 따라서 처리율과 fairness는 trade-off 관계에 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 무선 링크에서의 처리율을 높이기 위해 snoop 프로토콜이 사용될 때에 다수의 TCP flow의 fairness를 향상시키기 위한 새로운 알고리즘을 제안하였다.

유무선 혼합 네트워크에서 고속의 유선 링크와 상대적으로 저속인 무선 링크의 데이터 교환을 중계하는 AP는 네트워크의 bottleneck이 되며, 유한한 버퍼 크기로 인하여 잦은 buffer overflow가 발생한다. 이렇게 유선구간에서 버려진 패킷은 TCP 송신단에서 혼잡제어를 시작하도록 만들고, 다수의 TCP flow가 존재하는 상황에서 fairness를 악화시키는 요인이 된다. 본 논문에서 제안한 알고리즘은 버퍼의 사용량과 각 flow별 대역폭 점유율을 모니터링하여 AP에서 buffer overflow가 발생하는 것을 미연에 방지하고, 대역폭을 많

이 점유하고 있는 flow에게만 선택적으로 전송율을 낮추도록 함으로써 fairness를 향상시키도록 한다. 시뮬레이션 결과 제안한 알고리즘을 채용하는 경우 TCP flow별 fairness는 향상되나 전체적인 TCP 처리율은 저하되었는데, 이것은 TCP fairness와 처리율이 서로 trade-off 관계에 있기 때문이다.

향후 연구 과제

제안한 알고리즘에서 사용된 두 threshold 값은 무선 링크에서의 패킷 에러율 (PLR) 등 다른 시뮬레이션 환경마다 fairness가 향상되는 적절한 값이 다른 것으로 나타났으며 이에 대한 앞으로의 연구가 필요하다.

감사의 글

본 논문은 산업자원부 한국산업기술평가원 지정 한국항공대학교 부설 인터넷정보검색 연구센터의 지원에 의함.

참고문헌

- [1] H. Balakrishnan, S. Seshan, R.H. Katz, "Improving reliable transport and handoff performance in cellular wireless networks," *ACM Wireless Networks*, vol. 1, no. 4, pp. 469-481, Dec. 1995
- [2] J.H. Hu, K.L. Yeung, "FDA: A Novel Base Station Flow Control Scheme for TCP over Heterogeneous Networks," *Proc. Twentieth Ann. Joint Conf. the IEEE Computer and Comm. Soc. (INFOCOM 2001)*, vol. 1, pp. 142-151, Apr. 2001
- [3] H. Balakrishnan et al., "A comparison of mechanisms for improving TCP performance over wireless links," *IEEE/ACM Trans. Networking (TON)*, vol. 5, no. 6, pp. 756-769, Dec. 1997
- [4] E. Ayanoglu et al., "A Link-Layer Protocol for Wireless Networks," *ACM/Baltzer Wireless Networks J.*, vol. 1, pp. 47-60, Feb. 1995
- [5] V. Jacobson, "Congestion avoidance and control," *Symp. proc. Comm. architectures and protocols (SIGCOMM'88)*, vol. 18, no. 4, pp. 314-329, Aug. 1988
- [6] VINT Project, "The Network Simulator - ns-2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [7] M. Zorzi, R.R. Rao, L.B. Milstein, "On the accuracy of a first-order Markov model for data transmission on fading channels," *Int'l Conf. Universal Personal Comm. (ICUPC)*, vol. 6, no. 10, pp. 211-215, Nov. 1995