

# 유무선 혼합 네트워크를 위한 TCP Fairness 보장 기법

김성철<sup>\*</sup> · 조용범<sup>\*</sup> · 문일영<sup>\*\*</sup> · 조성준<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

<sup>\*\*</sup>한국기술교육대학교 인터넷미디어공학부

## A Fairness Guarantee Scheme for Wired and Wireless Heterogeneous Networks

Seong-chul Kim<sup>\*</sup> · Yong-bum Cho<sup>\*</sup> · Il-young Moon<sup>\*\*</sup> · Sung-joon Cho<sup>\*</sup>

<sup>\*</sup>Dept. of Inform. & Telecom. Eng., Graduate School of Hankuk Aviation University

<sup>\*\*</sup>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

유무선 혼합 네트워크에서 다수의 무선 단말기들은 한 접속점 (Access Point, AP)에 접속을 하여 통신을 한다. 이때 AP는 네트워크에서의 병목점이 되어 버퍼오버플로우가 자주 발생하며, TCP 성능 저하의 주된 원인이 된다. 본 논문에서는 유무선 혼합 네트워크에서 AP의 버퍼 오버플로우를 방지하고, TCP fairness를 향상시키기 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 새 알고리즘은 AP의 버퍼 사용량에 따라 각 송신단의 전송률을 적응적으로 제어하여 버퍼 오버플로우를 방지하고, 향상된 TCP fairness를 보장한다. 시뮬레이션을 통해 제안한 알고리즘을 사용했을 때, 버퍼 오버플로우 방지를 통해 처리율 및 TCP fairness가 향상됨을 검증하였다.

### ABSTRACT

Multiple wireless devices in wired and wireless heterogeneous networks communicate with counterparts via a single access point (AP). In this case, the AP becomes a bottleneck of the network, therefore buffer overflows occur frequently and result in TCP performance degradation. In this paper, a new algorithm that prevents buffer overflows at AP and enhances TCP fairness is proposed. Depending on the buffer usage of AP, the new algorithm adaptively controls each TCP senders' transmission rate, prevents buffer overflows and thus guarantees improved TCP fairness. It is proved that the algorithm makes better of TCP throughput and fairness by preventing buffer overflows.

### 키워드

TCP, fairness, heterogeneous networks, bottleneck

## 1. 서 론

무선 통신 시스템은 계속해서 광대역화, 고속화되고 있으며, 응용 서비스는 음성 통신 위주에서 데이터 통신 위주로 변화하고 있다. 이처럼 무선 데이터 서비스가 대중화 및 고속화됨에 따라, 이에 기반을 둔 응용 프로그램의 사용이 늘고 있는데, 이러한 고속 무선 데이터 서비스는 음성 서비스와는 달리, 유선 네트워크를 기반으로 개발된 TCP/IP를 사용한다. 하지만 TCP/IP는 무선망에

서는 잘 동작하지 않고 여러 가지 성능 저하가 발생하게 되는데, 이처럼 무선망에서의 TCP 성능 저하를 방지하기 위해 여러 기법이 개발되어 왔다 [1][2][3].

일반적으로 유무선이 혼합된 네트워크에서 다수의 통신 단말기들은 기지국과 같은 한 접속점 (Access Point, AP)에 연결되어 통신을 한다. AP는 고속의 유선 구간과 상대적으로 저속인 무선 구간을 정합하는데, 이러한 대역폭 차이 때문에 한정된 버퍼 안에 계속해서 패킷이 쌓이게 된다.

따라서 네트워크에 부하가 많이 걸리는 경우 AP의 버퍼 오버플로우에 의해 패킷 손실이 자주 일어나게 되는데, 패킷 손실은 TCP 송신측의 재전송 타임아웃 (Retransmission Time Out, RTO)을 발생시켜 혼잡제어 알고리즘을 동작시키고 전송률을 낮추게 되므로 TCP 처리율 (throughput)이 저하된다. 이처럼 유무선 혼합 네트워크에서 AP는 병목점(bottleneck)이 되어서 TCP 전송률 저하의 주된 원인이 된다.

AP의 버퍼 오버플로우에 의해 다량의 패킷이 손실될 때, 네트워크의 병목점인 AP에 연결된 모든 송신단들이 동시에 혼잡제어 알고리즘을 동작시켜 전송률을 낮추게 되는 것을 global synchronization 이라고 한다 [4]. 이때 각각의 송신단은 서로 다른 Round-Trip Time (RTT)을 갖게 되어 다시 전송률을 증가시키는 정도에 차이가 발생한다. 작은 RTT를 갖는 송신단은 전송률을 빨리 올릴 수 있지만, 큰 RTT를 갖는 송신단은 전송률을 천천히 올리게 된다. 이에 따라 시간이 지나면서 TCP flow 별로 서로 다른 대역폭을 차지하게 되고, TCP fairness는 저하된다.

본 논문에서는 유무선 혼합 네트워크에서 AP의 버퍼 오버플로우를 방지하고, TCP fairness를 향상시키기 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 새 알고리즘은 AP의 버퍼 사용량에 따라 각 송신측의 전송률을 적응적으로 제어하여 버퍼 오버플로우를 방지하고, TCP fairness를 향상시킨다. 시뮬레이션을 통해, 제안한 알고리즘을 적용했을 때 버퍼 오버플로우를 방지함으로써 TCP 처리율과 TCP fairness가 향상됨을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 TCP fairness를 향상시키기 위한 알고리즘을 제안한다. III장에서는 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 결과를 분석하고, 마지막으로 IV장에서 결론을 내린다.

## II. Fairness control algorithm

본 논문에서 제안하는 fairness 향상 알고리즘은 각각의 TCP flow마다 송신단으로 전송되는 acknowledgement (ACK) 패킷의 advertisement window 값을 설정함으로써 송신단의 전송률을 제어하며, 그 구체적인 과정은 다음과 같다.

- 1) AP는 자신의 버퍼 사용량 (*buffer\_usage*)을 수시로 모니터링하며, 송신측의 전송률을 제어하는데 쓰일 window coefficient (*wnd\_coef*)값을 계산한다. *wnd\_coef*는 그림 1과 같이 결정한다. 그림 1에서  $Min_{th}$ 와  $Max_{th}$ 는 임의로 설정한 threshold 값이며, 이 두 threshold 값의 설정에 따라 알고리즘의 성능이 달라진다.
- 2) 실시간으로 계산되는 *wnd\_coef* 값에 따라 송신측에서의 ACK 수신 없이 한번에 전송할 최대 패킷 수, 즉 TCP 송신측의 윈도우 크기를 결정한다. AP를 거쳐 전송되는 ACK 패킷의

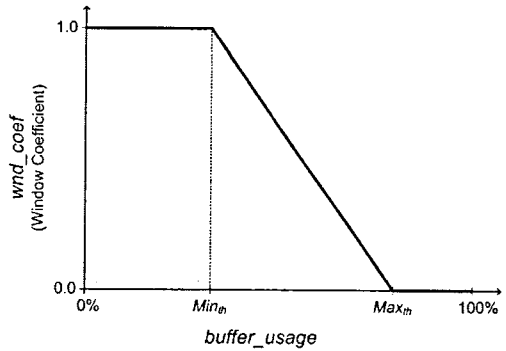


그림 1. Window coefficient.

advertisement window 값에 *wnd\_coef* 값을 곱하여 새로운 advertisement window 값을 결정하고, 기존의 값과 교체한다.

- 3) 새로운 advertisement window 값을 갖는 ACK 패킷을 수신한 TCP 송신측은 자신의 전송 윈도우와 수신한 패킷의 advertisement window 값을 비교해 작은 값을 선택하여 전송률을 조절하므로, AP에서 결정한 전송률보다 같거나 낮은 전송률로 패킷들을 전송한다.

제안한 알고리즘에 쓰인 두 threshold 값은 시뮬레이션 환경에 따라서 AP의 버퍼 사용량이나 AP로 전달되는 트래픽의 양상이 서로 다르기 때문에, fairness를 향상시키는  $Min_{th}$ 와  $Max_{th}$ 의 값이 각각 다르다.

위에서 제안한 알고리즘에 의해 각 TCP 송신측에서는 AP의 버퍼 사용량에 따라 적응적으로 패킷 전송률을 조절하게 되므로 AP의 버퍼 오버플로우를 방지하고 TCP fairness를 향상시킬 수 있게 된다.

## III. 시뮬레이션

제안하는 알고리즘의 성능평가를 위하여 버클리 소재 캘리포니아 주립대학의 ns-2를 사용하였다 [5].

시뮬레이션 모델은 그림 2와 같이 10개의 TCP

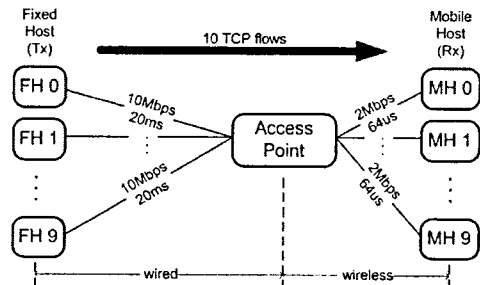


그림 2. 시뮬레이션 모델.

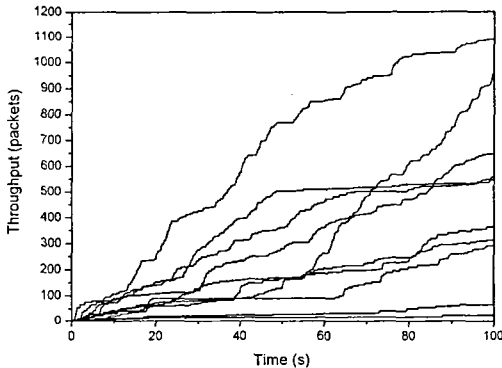


그림 3. TCP만 쓰였을 때 각 flow 별 처리율.

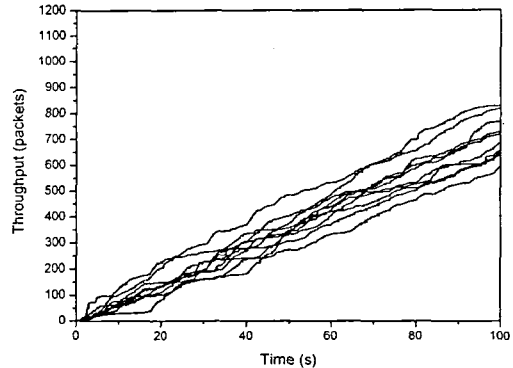


그림 4. 제안한 알고리즘이 쓰였을 때 각 flow 별 처리율 ( $Min_{th} = 30\%$ ,  $Max_{th} = 80\%$ ).

송신측 (Fixed Host, FH)과 10개의 TCP 수신측 (Mobile Host, 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  $64\mu s$ 의 전송지연을 가지는 2.3GHz 휴대인터넷망을 가정하였다. 전송계층 프로토콜은 TCP-Reno를 사용하였다.

그리고 무선 링크에서의 패킷 손실은 상향 링크를 통해 전송되는 패킷보다 상대적으로 훨씬 긴 길이의 패킷이 전송되는 하향 링크에서만 발생한다고 가정하였고, 무선 링크의 에러모델은 two-state Markov 모델을 사용하였다 [6]. 그 밖의 시뮬레이션 파라미터는 표 1과 같다.

시뮬레이션은 threshold 값 변경에 따른 영향을 알아보기 위해,  $Max_{th}$ 와  $Min_{th}$  값을 바꾸면서 수행하였으며, threshold 값을 바꿀 때마다 random seed를 변경하면서 10번씩 수행한 평균을 결과로

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
Max. threshold	50%~90% of <i>buffer_usage</i>
Min. threshold	20%~80% of <i>buffer_usage</i>
Error Model	Two-state Markov
Wired Link PLR	0
Wireless Link PLR	$10^{-2}$

PLR, packet loss rate

사용하였다.

TCP fairness 향상을 위한 아무런 알고리즘도 사용하지 않았을 때의 시뮬레이션 결과를 그림 3에 나타낸다. 그림 3에서 보이는 바와 같이, 총 10개의 TCP flow 중 어떤 flow는 높은 처리율을 보이는 반면, 어떤 flow는 매우 낮은 처리율을 보이고 있다. 모든 flow에서 동일한 application이 사용되도록 했으므로 비슷한 양의 data가 생성됨에도 불구하고, 어떤 단말기는 충분히 많은 양의 데이터를 보낼 수 있고, 어떤 단말기는 데이터를 거의 보내지 못함을 알 수 있다. 또한 AP의 버퍼 오버플로우가 발생하는 경우, 패킷이 많이 손실된 flow에서는 backoff 기간이 길게 되어 처리율의 증가량이 낮아지고, 그렇지 않은 flow는 더 많은 버퍼 공간과 대역폭을 점유하면서 처리율의 증가량이 커지게 된다.

다음으로 본 논문에서 제안한 알고리즘을 사용했을 때의 시뮬레이션 결과를 그림 4에 나타낸다.

그림 4의 결과를 보면 총 10개의 TCP flow가 서로 비슷한 수준의 처리율을 보이고 있으며 처리율의 증가량 또한 서로 비슷함을 볼 수 있다. 즉, 각각의 TCP flow들이 비슷한 수준의 버퍼 사용과 대역폭 점유율을 갖게 되어 TCP fairness가 향상됐음을 확인할 수 있다.

그림 3과 그림 4의 결과를 정량적으로 비교하기 위해 식 1로 표현되는 fairness index [7]를 계산하여 사용한다.

$$Fairness\ index = \frac{\left(\sum_{i=1}^n b_i\right)^2}{n \times \left(\sum_{i=1}^n b_i^2\right)} \quad (식\ 1)$$

여기서  $n$ 은 총 TCP flow의 수를 나타내며,  $b_i$ 는  $i$ 번째 flow의 처리율을 나타낸다. Fairness index는 0부터 1까지의 값을 갖는데, fairness가 좋을수록 큰 값을, fairness가 나쁠수록 작은 값을 갖는다.

그림 5는 전체 처리율 (total throughput)과

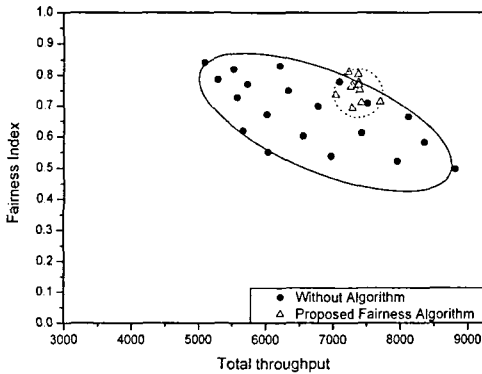


그림 5. 제안한 알고리즘이 쓰인 경우와 안쓰인 경우의 전체 처리율과 fairness의 관계.

fairness index와의 관계를 나타내는 그래프로서, 전체 처리율이란 10개의 각 TCP flow의 처리율의 합을 의미한다. 각 점은 한 번의 시뮬레이션 결과를 나타내고, 제안한 알고리즘을 사용했을 때와 사용하지 않았을 경우를 각각 구별하여 표시하였다. 그림 5로부터, fairness 항상 알고리즘이 사용되지 않았을 때는 처리율이 높아질수록 fairness가 나빠지고, fairness가 좋아질수록 처리율이 떨어지는 것을 확인할 수 있다. 하지만 제안한 알고리즘이 쓰였을 때는 매년 비슷한 수준의 처리율과 TCP fairness를 보였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 유무선 혼합 네트워크에서 AP의 버퍼 오버플로우를 방지하여, TCP fairness를 향상시키는 알고리즘을 제안하고 시뮬레이션을 통해 그 성능을 검증하였다.

유무선 혼합 네트워크에서 기존의 TCP만으로는 AP의 버퍼 오버플로우에 의한 패킷 손실이 처리율 저하 및 TCP fairness 악화를 초래하게 되어 심각한 경우 일부의 송신단은 패킷 전송을 거의 못하는 경우가 발생하게 된다. 패킷 처리율과 TCP fairness는 trade-off 관계에 있어서, 처리율이 높을 때는 fairness가 좋지 않고, fairness가 좋을 때는 처리율이 낮아지는 관계가 있는데, 시뮬레이션 결과에서 확인할 수 있듯이 처리율과 TCP fairness의 편차가 커서 안정적인 TCP 성능을 보장하지 못한다 [8].

제안한 TCP fairness 항상 알고리즘을 사용하는 경우에는 AP의 버퍼 사용량에 따라 적응적으로 송신단의 전송률을 제어하여 AP의 버퍼 오버플로우를 방지함으로써, 버퍼 오버플로우에 의한 패킷 손실이 없어져 각각의 송신단이 혼잡제어를 시작하는 횟수를 줄일 수 있다. 또한 여러 TCP flow들이 서로 비슷한 대역폭을 차지하도록 하여 TCP fairness를 향상시킴으로써, 보다 안정적인

TCP 성능을 발휘할 수 있다.

#### 향후 연구 과제

본 논문에서 가정한 시뮬레이션 환경에서는 모든 단말기가 동일한 전파 지연을 갖도록 가정하였으나, 서로 다른 전파 지연을 갖는 환경에서의 fairness 문제에 대한 연구가 필요하다.

#### 감사의 글

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

#### 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] 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
- [3] E. Ayanoglu et al., "A Link-Layer Protocol for Wireless Networks," *ACM/Baltzer Wireless Networks J.*, vol. 1, pp. 47-60, Feb. 1995
- [4] V. Jacobson, "Congestion avoidance and control," *Symp. proc. Comm. architectures and protocols (SIGCOMM'88)*, vol. 18, no. 4, pp. 314-329, Aug. 1988
- [5] VINT Project, "The Network Simulator - ns-2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [6] 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
- [7] F. Peng, V. C. M. Leung, "Enhancing fairness and throughput of TCP in heterogeneous wireless networks," *Personal, Indoor and Mobile Radio Comm., PIMRC 2003. 14th IEEE Proc.*, vol. 1, no. 1, pp. 94-98, Sept. 2003
- [8] 김성철, 조용범, 문일영, 조성준, "유무선 혼합 망에서 TCP의 공평한 대역폭 분배를 위한 연구," *한국해양정보통신학회 춘계학술대회*, vol. 9, no. 1, pp. 113-116, May. 2005