

이동 광대역 무선 접속 네트워크에서 동적 Advertisement Window 조절을 통한 TCP Fairness 보장 기법

A TCP Fairness Guarantee Scheme with Dynamic Advertisement Window Adjustment for Mobile Broadband Wireless Access Networks

김성철*, 조성준*

Seong-Chul Kim*, Sung-Joon Cho*

요 약

이동 광대역 무선접속 네트워크에서 다수의 사용자들은 한 기지국에 접속하여 다양한 서비스를 이용하게 되는데, 기지국은 고속인 유선 링크와 저속인 무선 링크의 데이터 전송을 중계하므로, 많은 사용자가 동시에 여러 서비스를 이용하게 될 경우 기지국의 버퍼 공간이 부족해 패킷이 손실된다. 하지만 종단간 신뢰성 보장을 위해 유무선을 막론하고 널리 쓰이는 TCP는 패킷 손실이 발생될 경우, 단순히 망의 혼잡에 의한 것으로 판단하여 전송률을 줄이게 되고, 이후 전송률을 다시 올리는 정도에 차이가 발생하게 되어 TCP fairness가 악화된다. 본 논문에서는 TCP 송신단의 전송률에 따라 차등적으로 그 전송률을 제어하여, 망이 혼잡해 지는 것을 미연에 방지하고 일정 수준의 TCP fairness를 보장하는 기법을 제안한다. 시뮬레이션을 통해 그 성능을 분석한 결과, 제안하는 기법이 쓰이지 않을 때에 비해, 각각의 TCP flow별 처리율이 비슷하게 유지되어, TCP fairness가 일정한 수준으로 향상됨을 확인할 수 있었다.

Abstract

In a mobile broadband wireless access (MBWA) network, many users access a base station (BS), which relays data transferred from high-speed wired network to low-speed wireless network. For this difference of their data rate, a BS suffers from the lack of its buffer space when many users run multiple applications at the same time, and thus packet losses occur. TCP, which guarantees end-to-end reliability, is used as transport protocol also in wireless networks. But TCP lowers their transmission rate incorrectly and frequently whenever packet losses occur. And they increase their transmission rate differently with each other; finally TCP throughput of each TCP flow varies largely, and then TCP fairness goes worse. In this paper, a scheme that controls packet transmission rate adaptively according to TCP flows' transmission rate, that prevents buffer overflows at BS, and that guarantees TCP fairness at a certain degree is proposed. As it is analyzed by simulations, the proposed scheme enhances TCP fairness by maintaining TCP throughput of each TCP sender similarly with each other.

Key words : Fairness, MBWA, TCP, window

* 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 (Dept. of Info. and Telecom. Engineering, Graduate School of Korea Aerospace University)

· 제1저자 (First Author) : 김성철

· 접수일자 : 2008년 3월 7일

I. 서 론

정보화 시대의 흐름을 타고 개인용 컴퓨터가 각 가정에 보급된 이후, 정보통신 산업은 나날이 발전하여 개인용 정보 단말기와 개인용 통신 서비스가 널리 확산되기에 이르렀다. 정보통신 서비스의 개인화는 곧 일정한 장소에서의 이용뿐만 아니라, 이동 중에도 시간과 장소에 상관없이 서비스를 이용할 수 있어야 한다. 따라서 유선 네트워크에 연결된 컴퓨터에서만 가능했던 서비스들이 무선 네트워크에 연결된 다양한 정보기기들에서 가능하게 되었으며, 점차 다수의 사용자가 유선 네트워크에서 무선 네트워크로 이동하고 있다. 이처럼 무선 접속 데이터 서비스에 대한 수요가 증가됨에 따라, Mobile WiMAX나 WiBro, High Speed Data Packet Access (HSDPA) 처럼 멀티미디어 데이터까지 수용할 수 있는 이동 광대역 무선접속 (Mobile Broadband Wireless Access, MBWA) 네트워크가 개발 및 보급이 되고 있다.

MBWA 네트워크를 통해 사용자는 음성 및 화상 통화뿐만 아니라 모바일 인스턴트 메신저, 온라인 게임 등 다양한 서비스와 콘텐츠를 이용하게 된다. 즉, 무선 네트워크가 음성 데이터를 주로 전송되던 것에서 벗어나 보다 다양한 데이터를 전송하게 되며, 기존 응용프로그램과의 호환성 때문에 유선 네트워크에서도 주로 사용되고 있는 Transmission Control Protocol (TCP), User Datagram Protocol (UDP), Real-time Transport Protocol (RTP)/ Real-time Transport Control Protocol (RTCP) 등의 전송계층 프로토콜이 사용된다. 이 중에서도 특히 TCP는 종단 간 신뢰성이 보장되는 프로토콜로써 Hyper Text Markup Language (HTML)나 eXtensible Markup Language (XML)와 같은 텍스트 기반 콘텐츠에서 실시간 화상 통화와 같은 멀티미디어 기반 콘텐츠까지 다양한 영역에서 가장 널리 사용되고 있다.

하지만 TCP는 전송 에러율이 낮은 유선 환경을 기반으로 만들어졌기 때문에, 무선 환경과 같이 노이즈나 페이딩에 의한 전송 에러율이 높은 환경에서는 TCP 처리율 (throughput)이나 TCP fairness가 악화되는 문제가 발생한다[1]. 따라서 무선망에서 이와 같은 TCP 성능 저하를 방지하기 위해 여러 기법이 개발되

어 왔다[2],[3],[4].

한편 기지국은 고속인 유선 링크와 상대적으로 저속인 무선 링크를 정합하며 패킷 전송을 증계하는데, 이러한 대역폭 차이 때문에 네트워크의 부하가 심해질 경우 종종 버퍼 오버플로우가 발생하게 되며, 이때 전송 중이던 다수의 패킷이 손실돼 결국 TCP 처리율과 TCP fairness가 저하된다. 따라서 기지국에서의 버퍼 오버플로우를 방지하기 위한 기법이 필요하다.

본 논문에서는 이동 광대역 무선접속 네트워크에서 기지국의 버퍼 오버플로우를 방지하면서 TCP fairness를 향상시키기 위한 새로운 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 기지국의 버퍼 사용량에 따라 각 TCP 송신단의 전송률을 적응적으로 제어하여 버퍼 오버플로우를 방지하고, TCP fairness를 향상시킨다. 시뮬레이션을 통해, 제안한 알고리즘을 적용함으로써 기지국의 버퍼가 많이 채워졌을 시에 각 TCP flow별 전송률을 송신단들의 전송률에 따라 차등 조정함으로써 TCP fairness가 향상됨을 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서 TCP fairness가 악화되는 원인에 대해 분석하고, 제 3장에서 버퍼 오버플로우 방지와 TCP fairness를 향상시키기 위한 알고리즘을 제안, 설명한다. 제 4장에서는 적절한 시뮬레이션 모델을 구현하기 위한 무선 링크 모델링에 대해 설명하고, 제 5장에서는 시뮬레이션 모델과 시뮬레이션 결과를 분석한 뒤, 마지막으로 제 6장에서 결론을 내린다.

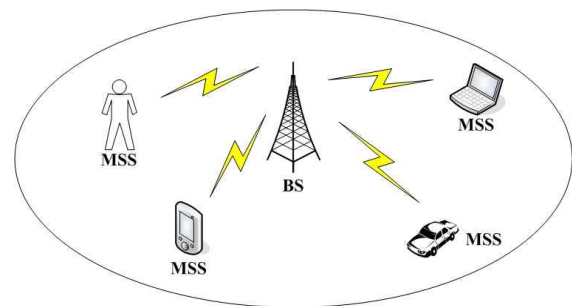


그림 1. 이동 광대역 무선접속 네트워크
Fig. 1. Mobile Broadband Wireless Access Network.

II. Unfairness Problem

일반적으로 MBWA 네트워크에서 다수의 통신 단

말기들은 그림 1과 같이 일정 반경에서의 무선 접속을 담당하는 기지국 (Base Station, BS)에 연결되어 통신을 한다.

이 기지국은 유선 네트워크와 무선 네트워크 간의 물리 계층 및 매체 제어 계층의 인터페이스 변환을 수행하는데, 고속의 유선 구간과 상대적으로 저속인 무선구간 사이의 데이터 전송을 중계하는 기지국에서는, 그 대역폭 차이 때문에 많은 패킷들이 송수신될 때 한정된 버퍼 안에 계속해서 패킷들이 쌓이게 된다. 따라서 네트워크에 부하가 많이 걸리는 경우 기지국의 버퍼 오버플로우 (buffer overflow)에 의해 패킷 손실이 일어나게 되는데, 이러한 패킷 손실은 TCP 송신단의 재전송 타임아웃 (Retransmission Time Out, RTO)을 발생시켜 TCP의 혼잡 제어 기법을 동작시키고 전송률을 낮추게 되므로 TCP 처리율 (throughput)을 저하시키게 된다. 이처럼 유무선 혼합 네트워크에서 기지국은 병목점 (bottleneck)이 되어서 TCP 전송률 저하의 주된 원인이 된다.

기지국의 버퍼 오버플로우에 의해 다량의 패킷이 손실될 때, 네트워크의 병목점인 기지국에 연결된 모든 송신단들이 동시에 혼잡제어 기법을 동작시켜 전송률을 낮추게 되는 현상을 global synchronization이라고 한다[5].

손실된 패킷에 의해 전송률을 낮췄을 때, 각각의 송신단은 서로 다른 RTT 값을 가지므로 다시 전송률을 증가시키는 정도에 차이가 발생한다. RTT 값이 작은 송신단은 전송률을 빨리 올릴 수 있는 반면, RTT 값이 큰 송신단은 전송률을 천천히 올리게 된다. 이에 따라 시간이 지나면서 TCP flow 별로 서로 다른 패킷 전송률을 갖게 돼 TCP fairness는 저하된다.

이처럼 TCP fairness에 따라, 동일한 기지국에 접속해 통신을 하는 사용자들은 TCP fairness가 좋을 때는 서로 비슷한 전송 속도로 서비스를 이용할 수 있으나, TCP fairness가 나쁠 때는 서로 상이한 전송속도로 서비스를 이용하게 된다. 이는 사업자 측면에서 매우 중요한 고려사항이 될 수 있다. 만약 정액제 요금체계를 채택하여 가입자들에게 일정한 속도를 제공해줘야 할 경우, TCP fairness가 나쁘게 되면 사용자들에게 불공평한 서비스를 제공하게 된다. TCP fairness가 나쁠 때, 유연히 패킷 전송을 거의 하지 못하게 된 가입자

가 발생할 수 있는데, 이러한 가입자들이 다른 사업자로 이동을 하거나 서비스를 이용하지 않게 될 경우 사업자의 이익 감소로 이어질 수 있다.

III. TCP Fairness 보장 기법

본 논문에서 제안하는 TCP fairness 보장 기법은 기지국의 버퍼 오버플로우를 방지하기 위해 버퍼 사용량에 따라 송신단의 패킷 전송률을 조절한다.

송신단의 패킷 전송률을 조절하기 위해, 제안하는 기법은 TCP 헤더에 포함되어 전송되는 advertisement window (awnd)를 이용한다. awnd는 수신단이 송신단에게 수신 가능한 패킷 수를 알려줌으로써, 수신단까지 도착한 패킷이 버려지지 않도록 하는 기능을 한다. TCP 패킷을 전송하는 송신단은 이 awnd와 네트워크의 혼잡을 피하기 위해 사용하는 혼잡 윈도우 (congestion window, cwnd)를 비교해 작은 값을 선택하여 전송률을 결정하는데, 이것은 이 전송률보다 높은 전송률로 패킷 전송을 할 경우 네트워크에 혼잡이 발생하거나, 수신단에서 수신을 하지 못할 수 있기 때문이다. cwnd는 송신단 내부에서 계산되는 값이지만, awnd는 수신단에서 TCP 헤더에 포함시켜 전송하므로, 패킷 전송을 중계하는 기지국에서 버퍼 사용량에 따라 awnd 값을 적절히 변경하여 송신단의 전송률을 조절하고 버퍼 오버플로우를 방지할 수 있다.

한편 TCP fairness 향상을 위해, 각 TCP flow별 전송률이 차등적으로 조절되어야 한다. 즉, 기지국의 버퍼 사용량이 높아져 송신단의 전송률을 낮춰야 할 때, 많은 양의 패킷을 전송하고 있던 송신단은 전송률을 많이 낮추고, 적은 양의 패킷을 전송하고 있던 송신단은 전송률을 조금 낮추게 해야 한다. 이로써 TCP flow 별로 비슷한 수준의 버퍼 공간 사용과 대역폭 점유율을 갖게 함으로써 TCP fairness를 향상시킬 수 있다.

기지국에서 awnd 값을 설정하여 송신단의 패킷 전송률을 제어하는 알고리즘의 순서도는 그림 2와 같다.

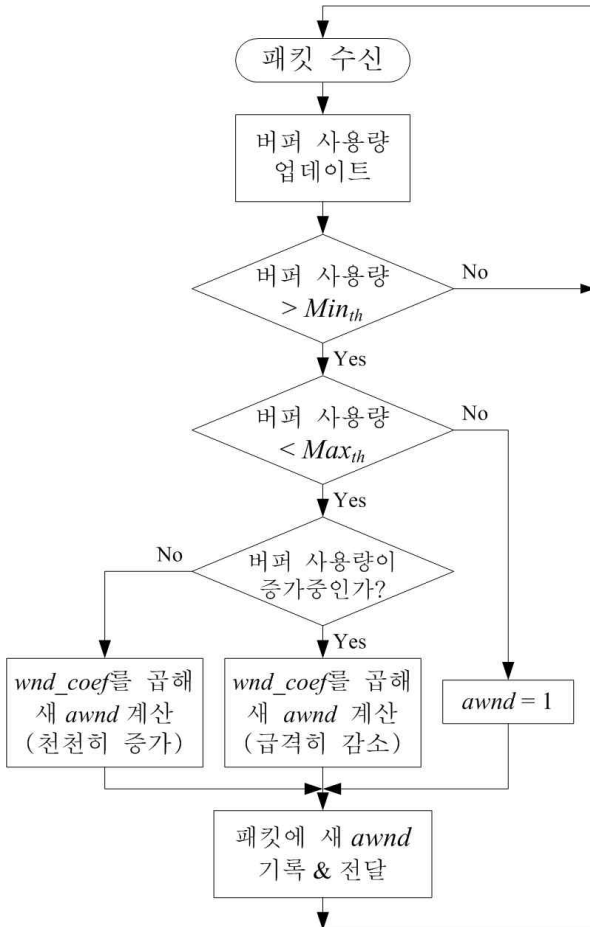


그림 2. 제안하는 알고리즘의 순서도
Fig. 2. Flowchart of Proposed Algorithm.

그림 2에서 Max_{th} , Min_{th} , wnd_coef 는 제안하는 알고리즘에 쓰이는 변수로서, Max_{th} 와 Min_{th} 는 알고리즘이 동작하는데 기준이 되는 미리 설정된 threshold 값이다. wnd_coef 는 알고리즘이 동작할 때 $awnd$ 에 곱해져 송신단의 전송률을 조절하는데 쓰이는 변수이다. 그림 3과 같이 결정되는 wnd_coef 는 1과 같거나 작은 값을 갖는데, 이 값과 기지국을 통해 전송되는 패킷의 $awnd$ 값을 곱하여 새로운 $awnd$ 값을 계산하므로, 새로 계산된 $awnd$ 값은 원래의 값보다 같거나 작게 된다. 또한, 이렇게 wnd_coef 를 곱함으로써 원래의 $awnd$ 값이 크면 클수록 새로 계산된 $awnd$ 값은 더 크게 감소한 값을 갖기 때문에, 많은 패킷을 송수신 하던 TCP flow일수록 송신단의 TCP 패킷 전송률이 많이 작아진다.

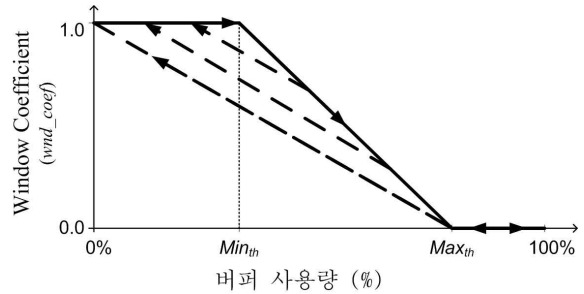


그림 3. Window Coefficient
Fig. 3. Window Coefficient.

기지국에 접속된 송신단의 패킷 전송률이 증가해 기지국의 버퍼 사용량이 일정 수준 (Min_{th}) 이상 증가할 경우, wnd_coef 를 감소시켜 송신단들의 패킷 전송률을 낮게 된다. 이에 따라 버퍼 사용량이 다시 낮아지면 wnd_coef 는 1이 되므로, $awnd$ 값은 원래의 값이 되어 송신단들은 원활히 패킷 전송을 수행한다. 하지만 송신단들의 패킷 전송률이 높던 상황에서 알고리즘이 동작해 버퍼 오버플로우를 방지한 뒤, 송신단들이 곧바로 원래의 전송률을 되찾을 경우, 다시 버퍼 오버플로우가 발생할 수 있다. 따라서 제안하는 알고리즘에서는 버퍼 사용량을 증가시킬 때 조금씩 증가시키도록 하여 보다 효과적으로 버퍼 오버플로우를 방지한다.

알고리즘의 구체적인 동작과정은 다음과 같다.

- 1) 기지국은 매번 패킷을 수신할 때마다 자신의 버퍼 사용량 ($buffer_usage$)을 수시로 모니터링 한다.
- 2) 버퍼 사용량이 일정 수준 (Max_{th}) 이상 올라가서 알고리즘이 동작할 수준이 되었는지 판단한다. 버퍼 사용량이 Min_{th} 보다 낮을 때는 전송률을 조절할 필요가 없으므로 아무 작업도 수행하지 않고 패킷을 수신단으로 전달한다.
- 3) 버퍼 사용량이 증가 중이고 Min_{th} 보다 높으며 Max_{th} 보다 낮을 때는 전송률을 조절하기 위해 새로운 $awnd$ 값을 계산한다. 그림 3과 같이 실선을 따라 wnd_coef 를 계산하고, 이 값을 원래의 $awnd$ 값에 곱하여 새로운 $awnd$ 값을 얻은 후, 전달할 패킷의 TCP 헤더에 기록한다.
- 4) 한편 버퍼 사용량이 감소 중이고 Min_{th} 보다 높으며 Max_{th} 보다 낮을 때는 wnd_coef 를 패킷 수

신시마다 그림 3의 점선과 같이 조금씩 증가시킨다. 이에 따라 송신단의 전송률이 서서히 증가하게 되어 다시 버퍼 오버플로우가 발생할 경우를 방지한다.

- 5) 버퍼 사용량이 Maxth보다 높아서 심각한 버퍼 오버플로우가 임박한 경우, 버퍼 공간에 다시 여유가 생길 때까지 패킷 전송을 최대한 억제하기 위해 awnd 값을 1로 설정한다. 따라서 패킷 전송을 하던 모든 TCP flow의 전송률이 최소한으로 유지되고, 버퍼 오버플로우를 방지한다.

위에서 제안한 알고리즘에 의해 각 TCP 송신단에서는 기지국의 버퍼 사용량에 따라 적응적이고, 송신단들의 패킷 전송률에 따라 차등적으로 패킷 전송률을 조절하게 되므로, 기지국의 버퍼 오버플로우를 방지하고 TCP fairness를 향상시킬 수 있게 된다.

IV. 무선 링크 모델링

본 논문에서 선택한 target system인 이동 광대역 무선접속 네트워크는 그 무선 채널을 모델링함에 있어 사용자의 이동 속도에 대한 고려가 필요하다. 본 논문에서는 무선 채널을 Rayleigh 페이딩 채널로 가정하였고, 이를 two-state Markov 체인을 사용하여 모델링 하였다.

4-1 페이딩 모델링

무선 링크는 페이딩에 의해 생기는 시간 상관 특성의 영향을 받는다. 즉, 현재 링크의 상태는 과거 링크의 상태와 상관성을 가지고 변화하게 된다. 이 상관성이 클수록 이전 링크의 상태에서 많은 영향을 받고, 상관성이 작을수록 이전 링크의 상태에서 적은 영향을 받고 변화하게 된다. 상관성은 페이딩의 속도와 관련되어 있는데, 페이딩이 느리게 변할수록 시간 상관성은 커지고, 빠르게 변할수록 작아지게 된다. 일반적으로 페이딩의 변화 속도는 $f_d T$ 로 표현되고 이를 정규화된 도플러 주파수 (normalized Doppler frequency) 라 한다. 여기서 f_d 는 최대 도플러 주파수, T 는 패킷 전송시간을 나타낸다. $f_d T$ 는

$$f_d T = v \cdot T / \lambda \tag{1}$$

로 표현되는데 여기서 v 는 이동체 속도를, λ 는 신호의 사용 파장을 나타낸다. 즉, $f_d T$ 는 이동체 속도가 빠를수록, 사용하는 주파수가 높을수록 커지게 된다. 페이딩 속도는 $f_d T$ 값에 따라 분류하면, $f_d T \leq 0.01$ 이면 느린 페이딩 (slow fading), $0.01 < f_d T \leq 0.02$ 이면 중간 페이딩 (moderate fading), $f_d T > 0.02$ 이면 빠른 페이딩 (fast fading)이라 한다[6]. 페이딩의 속도에 따라 무선 링크를 통해 전송되는 패킷 손실의 경향이 달라지는데, 느린 페이딩 환경에서는 연접성 (burst)의 패킷 에러가 발생하고 빠른 페이딩 환경에서는 산발적인 패킷 에러가 발생한다. 즉, 같은 패킷 손실률을 가지는 무선 링크에서 페이딩이 빠르면 패킷 손실이 산발적으로 자주 발생하고, 페이딩이 느리면 연접한 에러가 드문드문 발생한다.

4-2 Two-state Markov 모델

본 논문에서는 시간 상관성이 있는 무선 링크를 나타내기 위해 two-state Markov 모델을 사용하였다[7]. 이 모델은 간단하면서도 시간 상관성을 가지는 무선 링크를 충실히 표현할 수 있다.

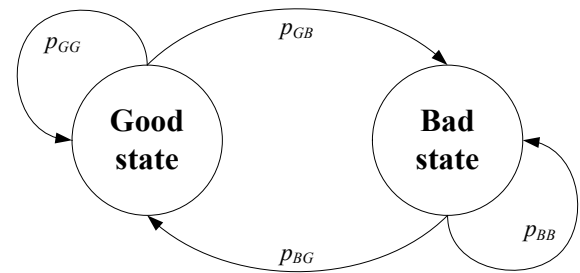


그림 4. Two-state Markov 모델
Fig. 4. Two-state Markov model.

Two-state Markov 모델은 그림 4와 같이 두 개의 상태를 가지는 Markov 체인으로 표현할 수 있다. 이 모델은 전송하는 TCP 패킷의 수신 신호 진폭이 일정 값 이상이면 수신 측에서 패킷 수신을 성공하고, 수신 신호 진폭이 일정 값 이하이면 수신 측에서 패킷 수신을 실패하는 이진 프로세스로 나타낼 수 있다. 각 프

로세스는 패킷 손실이 발생하지 않는 Good 상태와 패킷 손실이 발생하는 Bad 상태로 나뉜다. 그리고 상태 천이는 다음과 같은 천이 확률 행렬을 따른다[8].

$$T = \begin{pmatrix} p_{GG} & p_{GB} \\ p_{BG} & p_{BB} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} p_{GG} & 1 - p_{GG} \\ 1 - p_{BB} & p_{BB} \end{pmatrix} \quad (2)$$

여기서, p_{GG} 는 Good 상태에서 Good 상태로, p_{BB} 는 Bad 상태에서 Bad 상태로의 천이 확률을 의미하며, 이 천이 확률들은 정규화된 도플러 주파수와 시스템의 페이딩 마진 (fading margin)을 가지고 구할 수 있다[9].

4-3 Mobile WiMAX의 무선 링크 모델링

무선 링크의 에러모델을 확정하기 위해서는 two-state Markov 모델의 상태천이확률 p_{GG} 와 p_{BB} 의 계산이 필요하다. 이는 식 (1)에 의해 계산되는 $f_d T$ 와 패킷 손실률인 P_E 에 따라 미리 결정된 값으로, 단말의 이동속도, 주파수 대역, 패킷 길이 및 대역폭을 지정하면 쉽게 구할 수 있다.

Mobile WiMAX 네트워크에 2.3 GHz 대역에서 2 Mbps의 하향 링크를 통해 1040 bytes의 TCP 패킷을 전송하고, 256 Kbps의 상향링크를 통해 40 bytes의 ACK 패킷을 전송한다고 가정할 경우, 사용자의 이동속도에 따라 계산된 two-state Markov 모델의 파라미터 값을 표 1과 2에 나타낸다. 표에서 v 는 사용자의 이동속도를, P_E 는 패킷 손실률을 나타낸다.

표 1. 하향 링크의 Markov 파라미터
Table 1. Markov parameters of downlink.

Data rate	P_E	v	$f_d T$	p_{GG}	p_{BB}
2 Mbps	0.1	60 km/h	0.53155555	0.90139954	0.11259582
		10 km/h	0.08859259	0.93558709	0.42028384
	0.01	60 km/h	0.53155555	0.99001419	0.01140508
		10 km/h	0.08859259	0.99055145	0.06459395

표 2. 상향 링크의 Markov 파라미터
Table 2. Markov parameters of uplink.

Data rate	P_E	v	$f_d T$	p_{GG}	p_{BB}
256 Kbps	0.1	60 km/h	0.15972222	0.91218942	0.20970480
		10 km/h	0.02662037	0.97850697	0.80656276
	0.01	60 km/h	0.15972222	0.99013794	0.02365616
		10 km/h	0.02662037	0.99400754	0.40674618

V. 시뮬레이션 모델 및 결과

5-1 시뮬레이션 모델

제안하는 알고리즘의 성능평가를 위하여 버클리 소재 캘리포니아 주립대학의 Network Simulator, ns-2를 사용하였다[10].

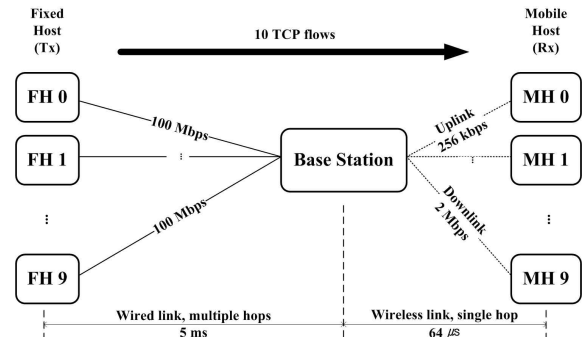


그림 5. 시뮬레이션 모델
Fig. 5. Simulation model.

시뮬레이션 모델은 그림 5와 같이 10개의 TCP 송신단 (Fixed Host, FH)과 10개의 TCP 수신단 (Mobile Host, MH)이 하나의 기지국을 거쳐 데이터를 주고받는 환경을 가정하였다. 각각의 송신단과 수신단이 하나의 flow를 형성하며 총 10개의 TCP flow가 존재한다. TCP 패킷은 FH에서 MH로, ACK 패킷은 MH에서 FH로 전송되고, 송신단인 FH에서는 FTP traffic이 계속 생성된다고 가정하였다. 유선 링크는 100 Mbps의 대역폭과 5ms의 전송지연을 가지는 이더넷 (Ethernet) 망이며, 무선링크는 하향 2 Mbps, 상향 256 Kbps의 대역폭과 64 μ s의 전송지연을 가지는 2.3 GHz대역의 Mobile WiMAX 망을 가정하였다. 전송계층 프로토콜

은 TCP-Reno를, 기지국에서의 버퍼는 DropTail 버퍼를 사용하였으며, 무선 링크의 에러모델은 5개의 MH가 60 km/h, 5개의 MH가 10 km/h로 이동하는 환경을 two-state Markov 모델을 사용해 구현하였다. 그 밖의 시뮬레이션 파라미터는 표 3과 같다.

표 3. 시뮬레이션 파라미터
Table 3. Simulation parameters.

Parameter	Value
Number of TCP flows	10
Transport Layer Protocol	TCP Reno
Application	FTP
TCP Packet Size	1040 bytes
ACK Packet Size	40 bytes
BS Buffer Type	DropTail
Minimum threshold (Min_{th})	20% ~ 60% of BS buffer size
Maximum threshold (Max_{th})	50% ~ 90% of BS buffer size
Error Model	Two-state Markov
Wired Link Packet Loss Rate	0
Wireless Link Packet Loss Rate (P_E)	10 ⁻¹ , 10 ⁻²

한편 제안하는 알고리즘의 성능은 네트워크의 대역폭이나 지연시간, 그리고 기지국의 버퍼 크기 등에 따라 달라지며, 최고의 TCP fairness를 위한 maximum threshold (Max_{th}), minimum threshold (Min_{th}) 값들도 각각 다르다.

5-2 시뮬레이션 결과

우선 TCP fairness 향상을 위한 아무런 기법도 사용하지 않았을 때의 시뮬레이션 결과 중 한 예를 그림 6에 나타낸다.

그림 6의 시뮬레이션 결과 그래프에서 가로축은 시간을, 세로축은 전송된 패킷의 TCP sequence number, 즉 TCP 처리율 (throughput) 을 나타낸다. 그림에서 보이는 바와 같이, 총 10개의 TCP flow 중 어떤 flow는 높은 처리율을 보이는 반면, 어떤 flow는 매우 낮은 처리율을 보이고 있다. 모든 flow에서 동일한 application (FTP)이 사용되도록 했으므로 비슷한 양의

패킷이 전송되도록 했음에도 불구하고, 어떤 flow는 충분히 많은 양의 패킷을 보내고, 어떤 flow는 패킷을 거의 보내지 못함으로써, 전송률의 편차가 약 2478 패킷 (3338 패킷 대 860 패킷)으로 매우 큰 차이가 나타남을 확인할 수 있다.

한편 사용자의 이동 속도에 따른 TCP fairness의 영향을 살펴보기 위해, 그림 6에 보이는 10개의 TCP flow 중에서, 60 km/h의 속도로 이동하는 사용자의 처리율을 그림 7에, 10 km/h의 속도로 이동하는 사용자의 처리율을 그림 8에 나타낸다. 60km/h로 이동하는 사용자들의 처리율이 서로 차이가 크게 나고, 10 km/h로 이동하는 사용자들의 처리율도 차이가 크게 나타났다. 즉, TCP fairness 보장 기법이 사용되지 않을 경우 사용자의 이동 속도에 상관없이 TCP fairness가 악화될 수 있음을 알 수 있다.

다음으로 본 논문에서 제안하는 TCP fairness 보장 기법을 사용했을 때의 시뮬레이션 결과를 그림 9에 나타낸다. 시뮬레이션은 Min_{th} 를 기지국 버퍼 크기의 20%로, Max_{th} 를 60%로 설정하여 100초간 수행되었다.

그림 9의 결과 그래프를 보면 총 10개의 TCP flow가 서로 비슷한 수준의 처리율을 보이고 있으며 처리율이 증가하는 양상 또한 서로 비슷함을 볼 수 있다. 각 TCP flow 별 처리율의 편차가 662 패킷 (2638 패킷 대 1976 패킷)으로 편차는 어느 정도 존재하나 많이 줄어든 것을 확인할 수 있다. TCP fairness가 향상된 것은 기지국에서 버퍼의 오버플로우를 방지하기 위해 어느 이상 버퍼가 사용되었을 때 각 TCP 송신단의 전송률을 차등적으로 낮추기 때문이다. 즉, 많은 수의 패킷을 전송하며 대역폭을 과도하게 차지하던 송신단은 전송률을 많이 낮추고, 적은 수의 패킷을 전송하며 매우 적은 대역폭만을 차지하던 송신단은 전송률을 조금 낮추게 함으로써, 결국 TCP flow별로 비슷한 수준의 버퍼 공간 사용과 대역폭 점유율을 갖게 되었다. 또한 global synchronization의 발생 빈도를 상당히 많이 낮춰, 혼잡 제어 시 큰 RTT로 인해 TCP 전송률 증가가 매우 더디던 TCP flow가 거의 발생하지 않았다.

한편 그림 10과 그림 11에 사용자의 이동속도에 따른 처리율을 나타낸다. 그래프에 나타난 것처럼, 사용

자의 이동속도에 상관없이 제안하는 기법에 의해 모든 사용자의 TCP 처리율이 비슷하게 증가하였고, TCP fairness가 향상됨을 확인할 수 있다.

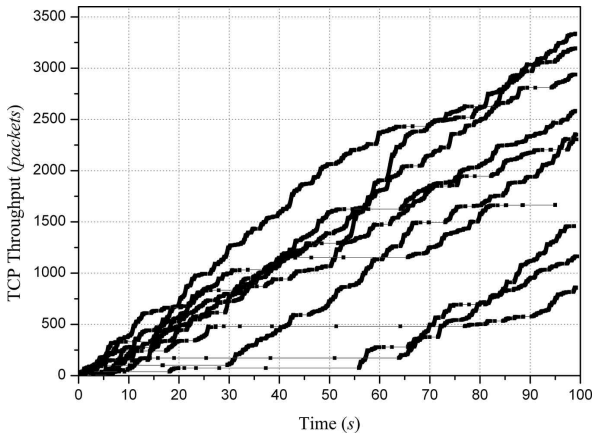


그림 6. TCP만 쓰였을 때 TCP flow 별 처리율
Fig. 6. Throughput of each TCP flow when only pure TCP is used.

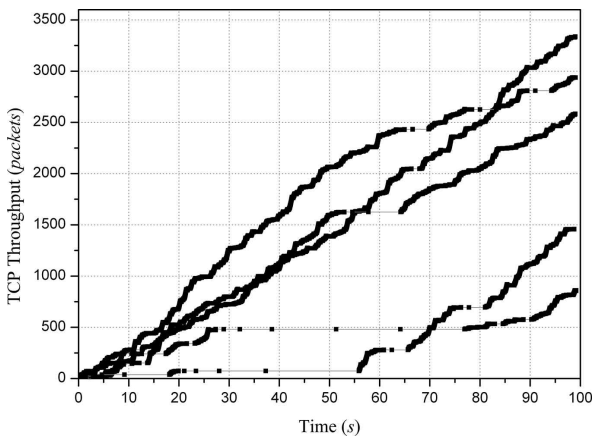


그림 7. TCP만 쓰였을 때 TCP flow 별 처리율
(이동속도 = 60 km/h)
Fig. 7. Throughput of each TCP flow when only pure TCP is used. ($v = 60$ km/h)

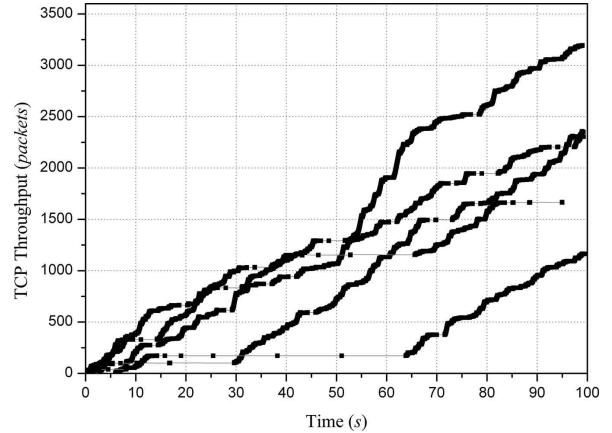


그림 8. TCP만 쓰였을 때 TCP flow 별 처리율
(이동속도 = 10 km/h)

Fig. 8. Throughput of each TCP flow when only pure TCP is used. ($v = 10$ km/h)

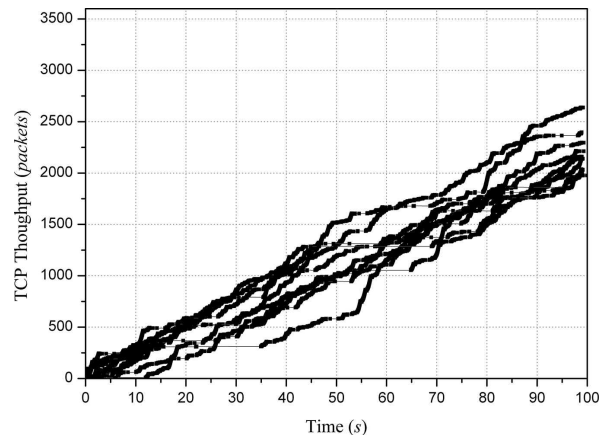


그림 9. 제안한 기법이 쓰였을 때 TCP flow 별 처리율
Fig. 9. Throughput of each TCP flow when the proposed algorithm is used.

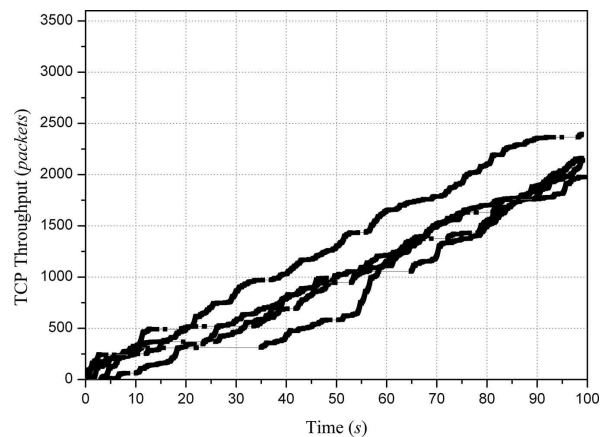


그림 10. 제안한 기법이 쓰였을 때 TCP flow 별 처리율
(이동속도 = 60 km/h)

Fig. 10. Throughput of each TCP flow when the proposed algorithm is used. ($v = 60$ km/h)

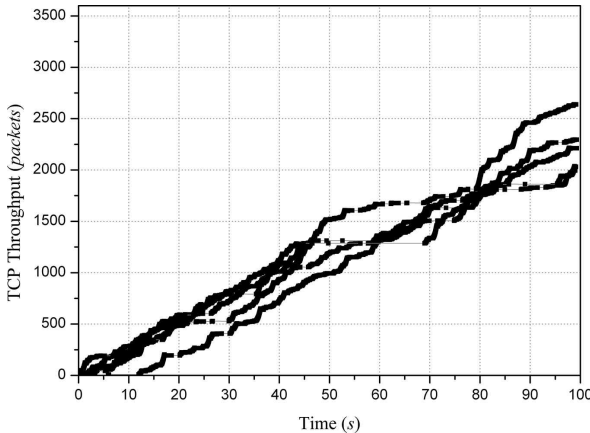


그림 11. 제안한 기법이 쓰였을 때 TCP flow 별 처리율 (이동속도 = 10 km/h)

Fig. 11. Throughput of each TCP flow when the proposed algorithm is used. ($v = 10$ km/h)

VI. 결 론

본 논문에서는 이동 광대역 무선접속 네트워크에서 병목점이 되는 기지국의 버퍼 오버플로우를 방지해 TCP fairness를 보장하는 기법을 제안하고, 시뮬레이션을 통해 그 성능을 분석하였다.

시뮬레이션 결과, 제안하는 알고리즘이 쓰이지 않았을 때는 경우에 따라 처리율의 편차가 크게 나타났다. 즉, 어떤 사용자는 패킷을 극히 조금만 받을 수 있으나, 어떤 사용자는 충분히 많은 패킷을 받을 수 있었다. TCP flow들의 처리율간 편차가 크면 TCP fairness가 매우 나쁜 경우가 발생하게 된다.

한편 제안하는 알고리즘이 쓰였을 때는 TCP flow들의 처리율간 편차가 크게 감소해 TCP fairness가 향상된다. 제안하는 알고리즘은 반복되는 시뮬레이션에서도 TCP fairness를 일정 수준 이상으로 향상시킬 수 확인할 수 있었다.

네트워크의 혼잡 상황에 따라 버퍼 사용량이 높아져서 TCP 패킷이 들어갈 수 있는 버퍼 공간이 적은 경우는, TCP 송신단이 전송률을 조금만 높여도 버퍼가 가득 차게 돼 오버플로우가 발생하므로, 전체 처리율이나 TCP fairness가 악화되기 쉽다. 그리고 버퍼 공간에 충분한 여유가 있을 때에도, TCP 송신단의 혼잡 윈도우가 크게 되므로 한 번에 여러 개의 패킷을 보내게 되고, 버퍼 오버플로우가 발생할 경우 손실되

는 패킷도 많아서 전체 처리율이나 TCP fairness가 악화된다.

시뮬레이션에서 고려한 MBWA 네트워크의 시뮬레이션 모델에서는, 모든 TCP flow들의 평균 RTT가 서로 비슷하지만, 무선 링크에서의 잡음이나 페이딩과 같은 요인으로 인해 순시 RTT 값은 크게 달라질 수 있다. 이렇게 RTT 값이 TCP flow별로 편차가 크기 때문에 TCP 처리율의 차이가 발생해 TCP fairness의 저하가 초래된다.

본 논문에서는 기지국에서의 버퍼 관리기법을 제안하여 TCP flow별 처리율의 편차를 줄일 수 있게 하였고, 이 기법을 MBWA 네트워크의 사업자가 채택할 경우 사용자의 최소 TCP 처리율을 어느 정도 보장하고, 사용자들 간의 TCP fairness를 향상시켜서 고객의 서비스에 대한 불만을 줄일 수 있을 것으로 기대된다.

감사의 글

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

참 고 문 헌

- [1] 김성철, 조용범, 조성준, "유무선 혼합망에서의 향상된 TCP fairness 보장 기법," *한국통신학회 하계종합학술발표회 논문 초록집*, vol. 33, pp. 635, Jul. 2006.
- [2] H. Balakrishnan, S. Seshan, and R. H. Katz, "Improving reliable transport and handoff performance in cellular wireless networks," *ACM Wireless Networks*, vol. 1, no. 4, pp.469-481, Nov. 1995.
- [3] H. Balakrishnan, S. Seshan, and R. H. Katz, "A comparison of mechanisms for improving TCP performance over wireless links," *IEEE/ACM Transactions on Networking*, vol. 5, no.6, pp. 756-769, Dec. 1997.
- [4] R. Caceres and L. Iftode, "Improving the

performance of reliable transport protocols in mobile computing environments,” *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.13, no. 5, pp. 850-857, Jun. 1995.

- [5] V. Jacobson, “Congestion avoidance and control,” *Symposium proceedings on Communications architectures and protocols SIGCOMM’88*, Vol. 18, no. 4, pp. 314-329, Aug. 1988.
- [6] M. Zorzi, R. R. Rao, and L. B. Milstein, “On the accuracy of a first-order Markov model for data transmission on fading channels,” *Fourth IEEE International Conference on Universal Personal Communications (ICUPC 95)*, pp. 211-215, 1995.
- [7] J. Pan, J. W. Mark, and X. Shen, “TCP performance and its improvement over wireless links,” *IEEE Global Telecommunications Conference (GLOBECOM 00)*, vol. 1, pp. 62-66, 2000.
- [8] A. Chockalingam, M. Zorzi, and R. R. Rao, “Performance of TCP on wireless fading links with memory,” *IEEE International Conference on Communications (ICC 98)*, vol. 1, pp. 595-600, 1998.
- [9] M. Zorzi and R. R. Rao, “Perspectives on the impact of error statistics on protocols for wireless networks,” *IEEE Personal Communications*, vol. 6, no. 5, pp. 32-40, Oct. 1999.
- [10] VINT Project, “The Network Simulator - ns-2,” URL: <http://www.isi.edu/nsnam/ns>

김 성 철(金成哲)



2005년 2월 : 한국항공대학교 항공 전자및정보통신공학부 (공학사)
 2007년 2월 : 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 (공학석사)
 2007년 3월~현재 : 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정
 관심분야 : Fairness, Wireless TCP, Mobile IP, Network Mobility

조 성 준(趙成俊)



1969년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 졸업 (공학사)
 1975년 2월 : 한양대학교 대학원 전자통신공학전공 졸업 (공학석사)
 1981년 3월 : 오사카대학 대학원 통신공학전공 졸업 (공학박사)
 1972년 8월~현재 : 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수
 관심분야 : 무선통신, 이동통신, 환경전자공학, 이동무선 인터넷