

휴대 인터넷 무선 환경에서 이동성을 고려한 TCP 처리율 분석

원기섭* · 조용범* · 노재성** · 조성준***

*한국항공대학교 대학원 정보통신공학과

**서일대학 정보통신전공

***한국항공대학교 전자·정보통신·컴퓨터공학부

TCP Throughput Analysis in the Portable Internet Wireless Environment with Consideration of Mobility

Gi-sup Won* · Yong-bum Cho* · Jae-sung Roh** · Sung-joon Cho***

*Dept. of Inform. & Telecom. eng., Graduate School of Hankuk Aviation University

**Dept. of Information & Communication., Seoil College

***Dept. of Electro., Inform. & Telecom., Computer Eng., Schools of Hankuk Aviation University

E-mail : milchcow@hau.ac.kr

요 약

본 논문은 2.3GHz 휴대 인터넷 무선 환경에서 사용자의 이동성을 고려한 TCP의 처리율 성능을 분석하였다. 휴대 인터넷은 기존의 무선랜 환경보다 커진 셀 환경을 가지고, 사용자의 이동성까지 지원하기 때문에 기존 무선랜의 TCP 처리율을 분석할 때 사용한 무선 환경과는 다른 무선 채널 모델을 가지고 분석을 해야 한다. 무선 채널은 레일리 페이딩 채널을 가정하였고, two-state Markov 모델로 모델링하여 사용자의 이동 속도에 따른 무선 채널의 변화를 나타내었다. 시뮬레이션 결과 사용자가 느리게 이동하는 경우의 느린 페이딩 환경에서의 TCP 처리율이 사용자가 빨리 이동하는 경우의 빠른 페이딩 환경에서의 TCP 처리율 보다 높았다. 이와 같은 현상은 TCP의 처리율에 영향을 주는 송신단에서의 혼잡 제어의 빈도수가 무선 채널의 상태가 좋은 상태에서 나쁜 상태로 천이하는 빈도수에 비례하는데, 빠른 페이딩의 환경에서가 느린 페이딩의 환경에서보다 무선 채널이 더 자주 나쁜 상태로 천이하기 때문이다.

ABSTRACT

In this paper, we have analyzed the TCP throughput of Portable Internet system in 2.3GHz wireless environment with considering user's mobility speed. As the Portable Internet uses large cells compared to wireless LAN and supports user's mobility, we have adapted different wireless channel model to derive the TCP throughput of the system. We have assumed wireless channel is Rayleigh fading channel and the channel is modeled as two-state Markov model with which user's mobility speed can be considered by varying transition matrix of the model. From the simulation results, we have known that higher TCP throughput under the slow fading than under the fast fading. Because the TCP throughput is closely related to the sender's congestion control, the more congestion control is done by the sender, the lower TCP throughput we have. The more congestion control is caused in the sender under the fast fading than the slow fading, so the lower TCP throughput is resulted in the fast fading environment.

키워드

Portable Internet, TCP, Throughput, Two-State Markov Model, Fading

1. 서론

최근 무선 데이터 통신의 발전과 함께 무선랜 서비스가 활성화 되고 있다. 그러나 무선랜의 제한된 서비스 영역으로 인하여 사용자들은 언제 어디서나 네트워크에 접속할 수 없는 불편을 겪고 있다. 그래서 이를 보완하는 기술로 WMAN(Wireless Metropolitan Area Network)이 제안되었다. 특히, 국내에서는 이를 바탕으로 2.3GHz 대역에서 휴대 인터넷 서비스 (서비스명 WiBro : Wireless Broadband)를 할 계획이다. 휴대 인터넷에서도 데이터 통신의 전송 계층 프로토콜로 유선에서 안정성이 확인된 TCP가 사용될 예정이다. 휴대 인터넷 서비스에서의 TCP 처리율은 무선랜에 비해 커진 셀 반경과 무선랜에서는 많이 고려하지 않았던 사용자의 이동성까지 고려해야 하므로 무선랜에서의 TCP 처리를 분석과는 다른 접근 방식으로 성능 분석을 수행해야 한다.

본 논문에서는 휴대 인터넷 서비스에서 사용자의 이동성에 따른 TCP 처리율을 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 계산하고, 분석한다.

II. 무선 채널 모델링

휴대 인터넷에서의 무선 채널 모델링에는 무선랜에서 고려하지 않았던 사용자의 이동 속도에 대한 고려가 무선 채널 모델링 시 필요하다. 본 논문에서는 Rayleigh 페이딩 채널을 고려하였고, 이를 Two-State Markov 모델에 적용하였다.

II.1 페이딩

무선 채널은 페이딩에 의해 생기는 시간 상관 특성의 영향을 받는다. 즉, 현재 채널의 상태는 과거 채널의 상태와 상관성을 가지고 변화하는 것이다. 상관성이 클수록 이전 채널의 상태에서 많은 영향을 받고, 상관성이 작을수록 이전 채널의 상태에서 적은 영향을 받고 변화하게 된다. 이 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 주파수를, T 는 패킷 전송시간을 나타낸다. $f_d T$ 는

$$f_d T = v \cdot T / \lambda \quad (1)$$

로 표현되는데 여기서 v 는 이동체 속도를, λ 는 신호의 사용 파장을 나타낸다. 즉, $f_d T$ 는 이동체 속도가 빨수록, 사용하는 주파수가 높을수록 커지게 된다. 일반적으로 $f_d T$ 는 0~0.4 사이의 값

을 가지고, $f_d T \leq 0.01$ 이면 느린 페이딩 (slow fading), $0.01 < f_d T \leq 0.1$ 이면 중간 페이딩 (moderate fading), $f_d T > 0.1$ 이면 빠른 페이딩 (fast fading)이라 한다 [1]. 페이딩의 속도에 따라 무선 채널을 통해 전송되는 패킷 손실의 경향이 달라지는데, 느린 페이딩 환경에서는 연접(burst)성의 패킷 에러가 발생하고 빠른 페이딩 환경에서는 산발적인 패킷 에러가 발생한다. 즉, 같은 패킷 손실을 가지는 무선 채널에서 페이딩이 빠르면 패킷 손실이 산발적으로 자주 발생하고, 페이딩이 느리면 연접한 에러가 드문드문 발생한다.

II.2 Two-State Markov 모델

시간 상관성이 있는 무선 채널을 구현하기 위하여 Two-State Markov 모델을 사용하였다. 이 모델은 원리는 간단하지만, 시간 상관성을 가지는 무선 채널을 충분히 반영하고 있음이 증명되었다 [1], [2]. Two-State Markov 모델은 그림 1과 같이 두 개의 상태를 가지는 마르코프 체인으로 표현할 수 있다.

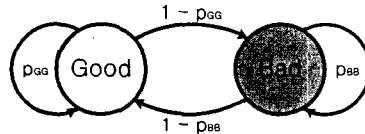


그림 1. Two-State Markov 모델.

이 모델은 전송하는 데이터 패킷의 fading envelope이 일정 값 이상이면 수신 측에서 수신을 성공하고, fading envelope이 일정 값 이하이면 수신 측에서 수신을 실패하는 binary process의 형태로 나타난다. 각 process는 패킷 손실이 발생하지 않는 Good 상태와 패킷 손실이 발생하는 Bad 상태로 나뉘고, 이 때의 상태 천이는 다음과 같은 천이 확률 matrix를 따른다.

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

여기서 p_{GG} 는 패킷 손실이 발생하지 않는 상태에서 자기 자신으로의 상태 천이를 뜻한다. 또한, p_{BB} 는 패킷 손실이 발생하는 상태에서 자기 자신으로의 상태 천이를 뜻한다. 이 천이 확률들은 정규화된 도플러 주파수와 시스템의 페이딩 마진(fading margin)을 가지고 구할 수 있다 [3], [4].

II.3 휴대 인터넷 무선 채널 모델링

휴대 인터넷의 사용 주파수인 2.3GHz에서 상향 링크, 하향링크의 전송속도를 국내 표준으로 제정 중인 WiBro에 따라 각각 3Mbps, 1Mbps로 설정하였다 [5]. 그리고 TCP segment의 크기는 1040

bytes로 설정하였다. 여기서 TCP segment라는 용어는 패킷 안에 들어 있는 TCP 데이터의 크기를 뜻한다. 이 설정값을 기반으로 하여 정규화된 도플러 주파수의 변화에 따른 p_{GG} , p_{BB} 의 값을 표 1에 나타내었다. 표 1에서 P_E 는 패킷 손실율, F 는 시스템의 페이딩 마진을 나타내며, Burst는 연결해서 손실되는 패킷의 수를 나타낸다. 표로부터 무선 채널이 동일한 P_E 를 가질 때, 페이딩이 느린 경우의 p_{BB} 가 빠른 경우보다 훨씬 큼을 확인할 수 있다. 예로써 P_E 가 0.1인 무선 환경에서, $f_d T$ 가 0.001인 경우와 1.0인 경우의

표 1. P_E 와 $f_d T$ 에 따른 상태 천이 확률.

$f_d T$	P_E	F (dB)	p_{GG}	p_{BB}	Burst
0.001	0.001	29.9978	0.99992	0.92089	12.6407
	0.01	19.9782	0.99975	0.97513	40.201
	0.1	9.7732	0.99919	0.99268	136.563
0.01	0.001	29.9978	0.99933	0.32945	1.49132
	0.01	19.9782	0.99752	0.75431	4.07008
	0.1	9.7732	0.99187	0.92685	13.6708
0.1	0.001	29.9978	0.999	0.00543	1.00546
	0.01	19.9782	0.99043	0.05221	1.05508
	0.1	9.7732	0.93002	0.37021	1.58783
1.0	0.001	29.9978	0.999	0.00105	1.00105
	0.01	19.9782	0.99001	0.01051	1.01062
	0.1	9.7732	0.90051	0.10456	1.11677

p_{BB} 는 각각 0.99268 와 0.10456이다. 그리고 연결해서 손실되는 패킷 수는 각각 약 136.6개와 1.1개이다. 즉, 페이딩이 느린 $f_d T$ 가 0.001인 경우는 패킷 손실이 일어나는 상태에서 패킷 손실이 일어나는 상태로의 천이 확률이 높으므로 (약 99.3%) 한 번 패킷 손실이 일어나는 상태로 진입하게 되면 계속해서 패킷 손실이 일어나는 상태에 머무르게 된다. 이로 인하여 평균 136.6개의 패킷이 연속해서 손실되게 된다. 반면, 페이딩이 빠른 $f_d T$ 가 1.0인 경우는 p_{BB} 가 약 10% 확률이므로 패킷 손실이 일어나는 상태로 진입하더라도 다음 패킷 전송 시에는 패킷 손실이 일어나지 않는 상태로 돌아갈 확률이 커서 연결적으로 손실되는 패킷 수가 약 1.1개가 되는 것이다. 그리고 동일한 페이딩 속도일 경우 ($f_d T$ 가 동일한 경우), P_E 가 증가할수록 연결적으로 패킷 오류가 발생하는 것도 확인할 수 있다. 또한, 휴대 인터넷 환경에서 식 (1)을 사용하여 계산한 $f_d T$ 와 사용자의 이동 속도 관계를 표 2로 나타내었다.

표 2. $f_d T$ 에 따른 이동체의 속도.

$f_d T$	0.001	0.01	0.1	1
v (km/h)	0.1693	1.6933	16.933	169.33

III. 컴퓨터 시뮬레이션

시뮬레이션은 버클리 소재 캘리포니아 주립대학에서 개발한 NS-2 (Network Simulator-2)를 이용하여 TCP 처리율을 분석해 보았다 [6].

III.1 시뮬레이션 모델

시뮬레이션을 위해서는 그림 2와 같은 모델을 사용하였다. TCP 패킷의 전송은 유선망에 있는 FH (Fixed Host)에서 무선망에 있는 MH (Mobile Host)로의 전송만을 가정하였고, 150초 간 FTP를 사용하여 TCP 패킷을 전달하였다. 그리고 처리율은 이를 10번 반복하여 올바르게 전달된 패킷 개수의 평균값을 기준으로 하였다. 시뮬레이션에 사용한 파라미터를 요약하면 표 3과 같다.

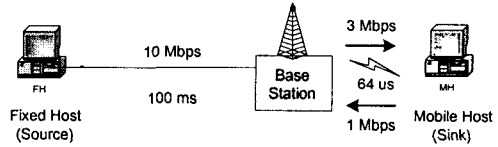


그림 2. 시뮬레이션 모델.

표 3. 시뮬레이션 파라미터.

Parameter	Value
Maximum Segment Size	1040Byte
Application Data Type	FTP
Transport Protocol	TCP Newreno
Error Model	Two-State Markov

패킷 손실은 BS (Base Station)에서 MH로의 하향 링크에서만 발생하고, MH에서 BS로의 상향 링크에서는 에러가 발생하지 않는다고 가정하였다. 그리고 각 상태 천이는 매 TCP 패킷 전송이 이루어질 때마다 발생한다고 가정하였다.

III.2 시뮬레이션 결과 및 분석

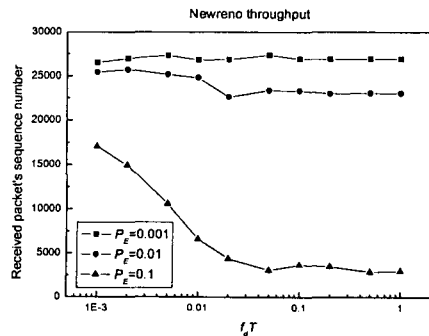


그림 3. $f_d T$ 와 P_E 에 따른 TCP Newreno 처리율.

P_E 와 $f_d T$ 의 변화에 따른 TCP Newreno의 처리율을 그림 3에 나타내었다. P_E 가 0.001, 0.01과 같이 작은 채널에서는 페이딩의 속도 변화 ($f_d T$ 의 변화)에 따른 TCP 처리율 변화가 크지 않았다. 반면, P_E 가 0.1로 큰 채널에서는 $f_d T$ 의 변화에 따른 TCP 처리율의 변화 폭이 매우 컸다. 즉, 패킷 손실 발생 확률 자체가 매우 낮은 무선 채널에서는 페이딩의 속도에 따른 TCP 처리율의 변화가 적었고, 패킷 손실 발생 확률이 높은 상태에서는 페이딩의 속도에 따라 TCP 처리율이 많이 영향을 받는 것을 확인할 수 있다. 그리고 패킷 손실율이 같은 환경에서는 페이딩의 속도가 빨라질수록 TCP 처리율이 저하되는 것도 그림 3으로부터 확인할 수 있었다. 페이딩 속도가 빨라짐에 따라 TCP 처리율이 저하되는 이유는 송신단의 혼잡원도우 크기를 확대로 해서 알 수 있다.

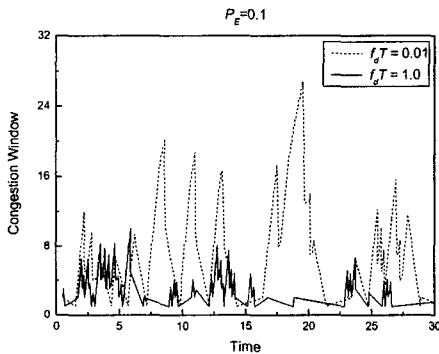


그림 4. $f_d T$ 에 따른 혼잡 윈도우 크기 변화 ($P_E = 0.1$).

P_E 가 0.1인 환경에서 $f_d T$ 가 0.01일 때와 1.0일 때의 혼잡 윈도우의 크기 변화를 그림 4에 나타내었다. 혼잡 윈도우는 수신측으로부터 ACK를 받지 않더라도 송신측이 한 번에 보낼 수 있는 TCP 패킷의 최대 개수이다. 송신 측은 무선 상에서 TCP 패킷 손실이 발생할 경우 이를 혼잡으로 인식하여 혼잡제어를 수행한다. 송신단이 혼잡제어를 위하여 slow-start를 수행하면 혼잡 윈도우 크기를 1로 줄이기 때문에 송신측에서 한 번에 전송할 수 있는 TCP 패킷의 수가 급격하게 줄어들게 된다. 즉, 송신단에서 slow-start를 자주 수행할수록 혼잡 윈도우 크기가 작게 유지되어서 TCP 처리율이 낮아지게 된다. 그림 4에서 알 수 있듯이 $f_d T$ 가 1.0인 경우가 0.01인 경우 보다 혼잡 윈도우가 1로 떨어지는 빈도수가 더 많아 혼잡 윈도우의 평균 크기는 $f_d T$ 가 0.01인 경우가 더 높게 유지 되었다. 그래서 P_E 가 같은 경우에 $f_d T$ 가 작을수록 TCP 처리율이 더 높게 나왔다.

IV. 결 론

본 논문에서는 사용자의 이동성을 고려한 $f_d T$ 와 패킷 손실율을 나타내는 P_E 를 변화시키면서 휴대 인터넷 무선 환경에서의 TCP 처리율을 분석하였다. 첫째로, 패킷 손실율이 높은 경우 TCP 처리율은 페이딩 속도에 따라 많이 영향을 받았다. 그러나 패킷 손실이 일어날 확률이 적은 무선 채널에서는 패킷 손실이 거의 발생하지 않기 때문에 페이딩 속도에 따른 TCP 처리율 변화가 거의 없었다. 둘째로, 패킷 손실율이 같을 경우 페이딩 속도가 빨라질수록 TCP 처리율이 저하됨을 확인할 수 있었다. 이는 페이딩 속도에 따라 패킷 손실의 발생 유형이 다르기 때문이다. 페이딩이 느려서 패킷 손실이 연접적으로 발생하는 경우는 패킷 손실이 발생하지 않는 상태에서 패킷 손실이 발생하는 상태로 천이하는 횟수가 적었다. 하지만 페이딩이 빨라서 패킷 손실이 산발적으로 발생하는 경우는 패킷 손실이 발생하지 않는 상태에서 패킷 손실이 발생하는 횟수가 자주 발생했다. 즉, 산발적으로 패킷 손실이 자주 일어나는 경우에 TCP 처리율이 더 낮아짐을 확인할 수 있었다. 이와 같은 결과로부터 사용자가 이동하면서 무선 데이터 서비스를 받을 수 있는 휴대 인터넷에서 사용자가 고속으로 이동하면 TCP 처리율이 저하될 것이라는 것을 예측할 수 있다. 그러므로 휴대 인터넷으로 고속 이동을 하면서 데이터 통신을 할 경우에는 TCP 처리율의 저하를 보완할 수 있는 snoop 과 같은 프로토콜을 도입할 필요가 있을 것이다.

참고문헌

- [1] M. Zorzi, R. R. Rao, and L. B. Milstein, "On the accuracy of a first-order Markov model for data transmission on fading channels," in Record of Fourth IEEE International Conference on Universal Personal Communications, 1995, pp. 211-215.
- [2] J. Pan, J. W. Mark, and X. Shen, "TCP performance and its improvement over wireless links," in GLOBECOM, 2000, vol. 1, pp. 62-66.
- [3] M. Zorzi and R. R. Rao, "Perspectives on the impact of error statistics on protocols for wireless networks," IEEE Journals on Personal Communications, vol. 6, no. 5, pp. 32-40, Oct. 1999.
- [4] M. Zorzi, A. Chockalingam, and R. R. Rao, "Throughput analysis of TCP on channels with memory," IEEE Journals on Selected Areas in Communications, vol. 18, no. 7, pp. 1289-1300, Jul. 2000.

- [5] 파이낸셜 뉴스, "휴대 인터넷 사업자 선정 가속화될 듯," <http://www.fnnews.com/html/fnview/2004/0429/108316469821151100.html>. 감사의 글
본 논문은 과학기술부·한국과학재단 지정 경기도 지역협력연구센터(RRC)인 한국항공대학교 인터넷 정보검색 연구센터의 지원에 의한 것입니다.
- [6] VINT Project, "The Network Simulator ns-2," <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.