DBpia

AT-Snoop 프로토콜의 지역 재전송 시간에 관한 연구

정회원 조 용 범*, 종신회원 조 성 준**

A Study on Local Retransmission Timeout of AT-Snoop Protocol

Yong bum Cho*, Sung joon Cho** ***Regular Members***

요 약

Snoop 프로토콜은 유무선이 통합된 망에서 효율적으로 TCP 전송률을 향상시킬 수 있는 프로토콜이지만 연속적인 패킷 손실이 발생하는 무선 링크에서 사용되는 경우 지역 재전송을 비효율적으로 수행하는 문제점이 있다. AT-Snoop 프로토콜은 Snoop 프로토콜을 기반으로 하면서 Adaptive Timer를 사용하여 이러한 Snoop 프로토콜의 단점을 개선한 프로토콜이다. 본 논문에서는 AT-Snoop 프로토콜의 TCP 전송률 성능을 무선 링크 환경을 변화시키면서 분석하고, 각 무선 링크 환경에서 향상된 TCP 전송률을 얻기 위한 AT-Snoop 프로토콜의 파라미터 값들을 도출하였다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 AT-Snoop 프로토콜의 두 파라미터인 지역 재전송 임계값과 지역 재전송 시간값이 무선 링크에서의 페이딩의 변화 속도와 밀접한 관계가 있음을 확인할 수 있었다. 지역 재전송 임계값은 무선 링크의 평균 WSRTT(Wireless Smoothed Round Trip Time)보다, 지역 재전송 시간은 무선 링크의 평균 불량 기간보다 각각 약간 크게 설정하는 것이 AT-Snoop 프로토콜을 사용할 때 높은 TCP 전송률을 얻을 수 있었다.

Key Words : Snoop, fading, TCP, retransmission, throughput

ABSTRACT

Although Snoop protocol can enhance TCP throughput efficiently in a wired-cum-wireless environment, it has a problem in performing local packet retransmissions under a burst error-prone wireless link. AT-Snoop protocol is proposed to cope with this Snoop protocol's problem by adopting adaptive timer. In this paper, TCP throughputs of AT-Snoop protocol have been analyzed with varying wireless link conditions and the ways of setting parameters of AT-Snoop protocol for higher TCP throughput are found out through computer simulations. From the simulation results, AT-Snoop protocol's two parameters, local retransmission threshold value and local retransmission timeout value, are closely related with the fading changing rate. To get higher TCP throughput, local retransmission threshold value and local retransmission timeout value should be set to a little bit larger values than average WSRTT(Wireless Smoothed Round Trip Time) and mean bad period of the wireless link, respectively.

Ⅰ. 서 론

최근에는 IMT-2000, GPRS, WLAN과 같은 기술들의 발전에 힘입어 무선을 이용한 고속 데이터 통신도 우리 일상생활에서 많이 사용되고 있다. 이와 같은 기술들은 셀룰러(cellular) 네트워크와 같이 유

* 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 통신시스템 연구실 (athome@hau.ac.kr)
** 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수 (sjcho@hau.ac.kr)
논문번호 : KICS2005-01-047, 접수일자 : 2005년 1월 27일
※본 논문은 산업자원부 한국산업기술평가원 지정 한국항공대학교 인터넷정보검색연구센터의 연구비 지원에 의해 수행된 것입니다.

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

무선이 혼합된 네트워크 시스템으로 구성되어 있는데, 사용자들은 이런 시스템을 사용하여 무선으로 유선과 동등한 수준의 데이터 통신을 이용할 수 있다. 주로 사용자들은 데이터 통신으로 인터넷 접속 서비스를 이용하게 되는데, 인터넷에서는 전송 프로토콜로 TCP(Transmission Control Protocol)가 사용되고 있다. 이 TCP는 패킷 손실률이 아주 낮은 유선 링크를 기반으로 설계된 프로토콜이기 때문에, 패킷 손실률이 높은 무선 링크에서 사용되는 경우 심각한 성능 저하가 발생하게 된다. 이런 TCP의 무선 링크에서의 성능 저하를 보완하기 위해 여러 기법과 프로토콜들이 제안되었는데, 크게 연결 분할 접근(Split Connection Approach) 방식, 링크 레이어(Link Layer) 방식, 종단간(End-to-End) 방식으로 분류할 수 있다. 링크 레이어 방식 중 하나인 Snoop 프로토콜은 TCP의 종단간 특성을 유지하면서도 무선 링크에서의 패킷 손실에 의한 송신단에서의 불필요한 TCP 혼잡제어 발생을 방지하여 TCP 전송률을 매우 효과적으로 향상시킬 수 있다는 것이 증명되었다[1].

사용자의 이동성을 지원하는 무선 데이터 서비스(예를 들면, 휴대인터넷, IMT-2000, IEEE 802.16e)들에서는 사용자의 이동에 의해 무선 링크에서 페이딩의 변화가 발생하게 되는데, 이 페이딩의 변화는 무선 링크에서 전송되는 패킷들의 패킷 손실률과 손실 패턴에 영향을 주게 된다. 일반적으로 무선 링크가 느린 페이딩의 영향을 받을 경우 패킷 손실이 연속적으로 발생하고, 빠른 페이딩의 영향을 받을 경우에는 패킷 손실이 산발적으로 발생하게 된다. Snoop 프로토콜은 지역 재전송(local packet retransmission)을 이동 단말로부터의 중복 ACK (acknowledgment) 패킷의 수신이나 지역 재전송 타이머의 만료에 의해 수행하게 된다. Snoop 프로토콜은 연속적인 패킷 손실이 발생하는 무선 링크에서 ACK 패킷들이 연속적으로 손실되기 때문에 중복 ACK 패킷으로 인한 지역 재전송은 수행하기 어렵고, 주로 지역 재전송 타이머 만료에 의해 지역 재전송을 수행하게 된다. 하지만, 이런 무선 링크에서는 지역 재전송 타이머 값(WRTO: Wireless Retransmission Timeout)이 커지게 되므로 무선 링크에서의 패킷 손실을 빠르게 복구할 수가 없어서 TCP 성능 저하를 초래하는 문제점이 있다. 참고문헌[2]에서는 Snoop 프로토콜을 기반으로 하면서 적응적 지역 재전송 타이머를 사용하여 이런 Snoop 프로토콜의 단점을 개선한 AT(Adaptive Timer)-Snoop 프로토콜을 제안하였다. AT-Snoop 프로토콜은 연속적인 패킷 손실이 발생하는 환경에서 무선 링크가 불량 상태에 빠진 경우, 기지국에서의 지역 재전송 시간을 아주 짧게 하여 자주 지역 재전송을 수행함으로써 Snoop 프로토콜보다 효과적으로 TCP 전송률을 향상시킬 수 있다.

참고문헌[2]에서는 AT-Snoop 프로토콜의 두 파라미터인 지역 재전송 시간값과 지역 재전송 임계값을 임의로 설정해 결과를 비교하였을 뿐, 무선 링크의 변화에 따라 파라미터 값들을 어떻게 설정하는 것이 TCP 전송률을 효과적으로 향상시킬 수 있는지에 대해서는 언급하지 않았다. 따라서 본 논문에서는 기지국에서 AT-Snoop 프로토콜을 채택하고 사용자의 이동으로 인해 무선 링크에서 페이딩 변화가 발생하는 경우, 각 무선 링크 환경에서 보다 향상된 TCP 전송률을 얻을 수 있는 지역 재전송 임계값과 지역 재전송 시간값을 설정하는 방법에 대해 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 알아보도록 한다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. II장에서는 Snoop 프로토콜과 AT-Snoop 프로토콜에 대해 간단히 소개하고, III장에서는 시뮬레이션에 사용한 네트워크 모델을 소개한다. IV장에서는 시뮬레이션을 통해 각 무선 링크 환경에 따른 효과적인 AT-Snoop 프로토콜 파라미터 값들의 설정 방법에 대해 알아보고, 선정된 파라미터 값들을 가지고 AT-Snoop 프로토콜을 적용했을 때의 TCP 전송률에 대해 알아본다. 마지막으로 V장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. Snoop 프로토콜과 AT-Snoop 프로토콜

Snoop이나 AT-Snoop 프로토콜은 그림 1과 같이 기지국(BS: Base Station)에 agent를 두어 TCP의 종단간 특성을 유지하고, 지역 재전송을 수행하여 무선 링크에서 발생한 패킷 손실로 인한 TCP 송신단에서의 불필요한 TCP 혼잡제어가 발생되지 않도록 하는 방법이다.

본 논문에서는 BS와 MH(Mobile Host) 사이의 무선 구간에서의 RTT(Round Trip Time), SRTT (Smoothed RTT), RTO(Retransmission Timeout)을 각각 WRTT(Wireless RTT), WSRTT(Wireless SRTT), WRTO(Wireless RTO)로 명명해 사용하기로 한다. 이 값들은 BS에 위치한 agent들에 의해 측정되고 지역 재전송을 수행할 때 파라미터로 사용되게 되는데, FH(Fixed Host)의 RTT, SRTT, RTO와는 다른 값을 가진다.

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

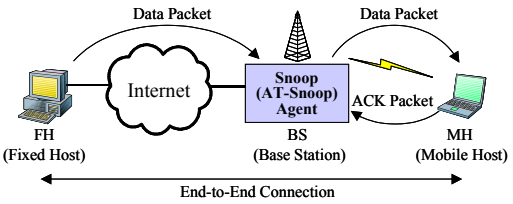

그림 1. Snoop/AT-Snoop 프로토콜 시스템의 구조
Fig 1. Snoop/AT-Snoop protocol system structure.

2.1 Snoop 프로토콜

기지국에 위치한 Snoop agent가 데이터 패킷이 FH에서 MH로 전송될 때 데이터 패킷을 기지국 내의 버퍼에 저장한 후 MH로 전송하고, 또 MH로부터 전송되는 ACK 패킷을 FH로 전달한다. 만약, MH로부터 중복 ACK 패킷을 수신하게 되면 Snoop agent는 중복 ACK 패킷을 FH에게 전달하지 않고 기지국 버퍼에 저장되어 있는 해당 데이터 패킷을 MH에게 지역 재전송하여 무선 링크에서의 패킷 손실을 지역적으로 복구한다. 중복 ACK 패킷을 FH에게 전달하지 않음으로써 FH가 무선 링크에서의 패킷 손실을 네트워크의 혼잡 상황으로 잘못 판단하여 불필요한 혼잡 제어 메커니즘을 통해 TCP 전송률을 낮추는 것을 방지한다. 하지만, 이 Snoop 프로토콜은 연결 분할 접근 방식과는 다르게 무선 링크에서의 패킷 손실을 완전하게 감출 수 없고, 따라서 송신단인 FH가 재전송 timeout을 일으킬 가능성이 남아있다. 특히, 중복 ACK 패킷이 무선 링크에서 연속적으로 손실되는 경우 중복된 ACK 패킷을 받지 못한 Snoop agent로서는 빠른 지역 재전송을 하지 못하고, 결국 FH에서 혼잡 제어 메커니즘이 실행하게 되어 결과적으로 TCP의 전송률이 떨어지게 된다. 따라서 패킷의 연속적인 손실이 발생하는 무선 링크에서는 TCP 전송효율이 떨어지게 된다[3]. Snoop 프로토콜에 대한 자세한 내용은 참고문헌[4]를 참고 바란다.

2.2 AT-Snoop 프로토콜

Snoop 프로토콜은 무선 링크에서 데이터 패킷이나 ACK 패킷이 연속적으로 손실되었을 때 Snoop agent의 지역 재전송을 위한 WRTO 값이 커져서 무선 링크에서의 패킷 손실을 빠르게 복구할 수 없다는 단점이 있다. AT-Snoop 프로토콜은 Snoop 프로토콜을 기반으로 하면서 적응적 지역 재전송 타이머(Adaptive Timer)를 채용하여 Snoop 프로토콜의 단점을 개선하였다. AT-Snoop 프로토콜에서는 무선 링크에서 중복 ACK 패킷이나 데이터 패킷의 연속적인 손실시 발생하는 WRTO 시간이 길어지는 단점을 개선하기 위해 그림 2와 같은 알고리즘을 사용한다. AT-Snoop 프로토콜에서는 무선 링크에서의 패킷 손실을 빠르게 복구하기 위하여 지역 재전송 임계값을 도입하였다. 만약, WSRTT 값이 이 임계값(*Threshold*)을 초과하게 되면 무선 링크 상태가 불량 상태로 진입했다고 판단하여 일반 계산식에 의해 구해진 WRTO 값을 무시하고 미리 설정된 지역 재전송 시간값(*Lower Bound*)을 강제적으로 WRTO 값으로 설정하여 지역 재전송 간격을 좁혀서 무선 링크에서 발생한 패킷 손실을 빠르게 복구할 수 있도록 한다. 이것은 BS와 MH간의 WSRTT 값이 커지면 무선 링크 상태가 불량하다는 것을 의미하므로 가능하면 기지국의 재전송 시간 간격(WRTO)을 작게 하여 적극적인 지역 재전송을 통해 빠르게 무선 링크에서의 패킷 손실을 복구하기 위함이다.

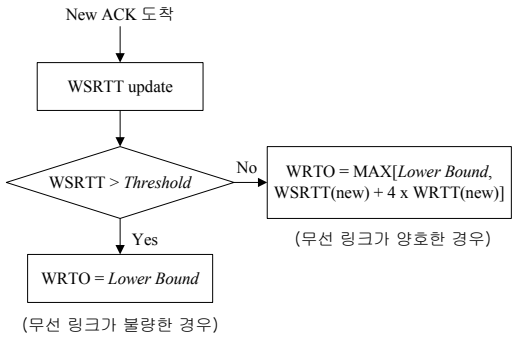

그림 2. AT-Snoop 프로토콜의 지역 재전송 WRTO 값 설정 과정
Fig 2. Setting of WRTO value with AT-Snoop protocol.

컴퓨터 시뮬레이션 결과에 의하면 AT-Snoop 프로토콜을 사용하는 경우가 Snoop 프로토콜을 사용하는 경우보다 TCP 전송률이 일반적으로 약 20% 정도 향상되었다[2]. AT-Snoop 프로토콜에서 새로 정의한 두 파라미터는 지역 재전송 임계값(*Threshold*)과 지역 재전송 시간값(*Lower Bound*: 이후 *L.B.*로 표시)이다.

AT-Snoop 프로토콜은 *Threshold* 값과 *L.B.* 값에 따라 TCP 전송률의 차이가 많이 발생하게 된다. 우선 *Threshold* 값은 무선 링크가 양호한 상태인지, 불량한 상태인지를 판단하는 기준이 된다. 일반적으로 셀룰러 방식의 이동 통신 시스템에서는 셀(cell)

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

반경이 정해져 있기 때문에 최대 전파 시간(propagation time)이 결정된다. 따라서, 이 전파 시간을 고려하여 데이터 패킷에 대한 ACK 패킷이 어떤 설정된 시간 안에 BS에 수신되지 않으면 무선 링크에서 패킷이 손실되었을 것이라고 가정할 수 있으므로, 적절한 *Threshold* 값을 설정하는 것이 가능하다.

만약 무선 링크가 불량한 상태로 판단되었다면 지역 재전송을 빠르게 수행하여 무선 링크에서 손실된 패킷을 신속히 복구해야 한다. 빠른 지역 재전송을 위해서는 미리 설정된 지역 재전송 시간값(*L.B.*)을 WRTO 값으로 설정해 재전송을 수행한다. 이 때, *L.B.* 값은 무선 링크의 환경에 따라 다르게 설정하는 것이 필요하다. 즉, 패킷이 연속적으로 손실되는 무선 링크에서는 *L.B.* 값을 크게 하는 것이 효율적일 것이다. 만약, *L.B.* 값을 작게 하는 경우 무선 링크가 아직 불량인 상태에서 패킷 재전송을 수행하게 되어 재전송한 패킷 또한 무선 링크에서 손실될 수 있기 때문이다. 이와는 반대로 패킷이 산발적으로 손실되는 무선 링크에서는 *L.B.* 값을 작게 하는 것이 더 효과적이라는 것을 유추해 생각해 볼 수 있다.

본 논문에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 여러 무선 링크 환경에서 더 향상된 TCP 전송률을 얻기 위한 AT-Snoop 프로토콜 파라미터 값들의 설정 방법에 대해 알아본다.

Ⅲ. 시뮬레이션 모델

3.1 시뮬레이션 모델

본 논문에서는 시뮬레이션과 수치해석을 위해 그림 3과 같이 유선 링크와 무선 링크에 각각 FH와 MH가 한 개씩 존재하는 네트워크 모델을 채용한다. 송·수신 노드가 각각 한 개인 경우 데이터 링크 계층에서의 매체 접근을 위한 경쟁이 발생하지 않기 때문에 매체에서의 패킷 충돌에 의한 패킷 손실은 발생하지 않으므로 무선 링크에서의 패킷 손실만이 TCP 전송률에 영향을 주게 된다. TCP 패킷은 FH에서 MH로만 전송된다고 가정하였고, 기지국에서는 유한한 DropTail 버퍼를 사용하였다. 유선 링크는 10 Mbps 대역폭과 100 ms의 전송 지연을 가지며, 무선 링크는 2 Mbps 대역폭과 64 μs의 작은 전송 지연을 가진다고 가정하였다. 무선 링크에서 ACK 패킷은 손실 없이 전송된다고 가정하였는데, 이 가정은 무선 링크의 전송 지연 시간이 짧고, ACK 패킷 크기(40 bytes)가 TCP 패킷 크기(1040 bytes)보다 훨씬 작은 것을 고려했을 때 타당하다[5]. 시뮬레이션 파라미터를 요약하면 표 1과 같다. 시뮬레이션은 무선 링크에서의 패킷 손실률(P_E)과 정규화된 도플러 주파수(f_dT)를 변화시키면서 수행하였으며, 각기 다른 랜덤 시드(random seed)를 사용해100초 동안 10번을 수행하여 평균값을 결과값으로 취하였다. 본 논문에서는 시뮬레이션을 위하여 버클리 소재 캘리포니아 주립대학의 NS-2를 사용하였다[6].

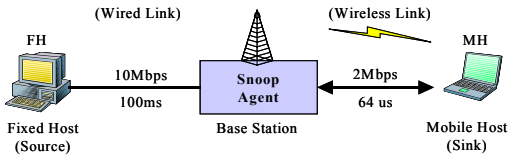

그림 3. 네트워크 모델
Fig 3. Network model.

표 1. 시뮬레이션 파라미터
Table 1. Simulation parameters.

Parameter	Value
TCP Segment Size	1040 bytes
ACK packet Size	40 bytes
Application Data Type	FTP
Transport Protocol	TCP-NewReno
Error Model	Two-state Markov
Wired Link BER	0
Wireless Link BER (Good state)	0
Wireless Link BER (Bad state)	1

3.2 무선 링크 모델

무선 링크에서는 다중 경로 페이딩으로 인해 발생하는 메모리 효과 때문에 패킷 손실이 연속적으로 발생하게 된다. 따라서 유선 링크에서 사용하는 uniform 에러 모델로는 무선 링크에서 발생하는 연속적인 패킷 손실을 정확히 모델링 할 수 없기 때문에, 본 논문에서는 시뮬레이션에 있어서 시간 상관성이 있는 무선 링크를 표현하기 위해 two-state Markov 모델을 채용한다. 이 모델은 간단하면서도 시간 상관성을 가지는 무선 링크를 충실히 표현할 수 있다[7].

무선 링크에서의 페이딩의 변화 속도는 일반적으로 정규화된 도플러 주파수(Normalized Doppler Frequency) f_dT로 표현된다. 여기서, f_d는 도플러 편이(Doppler spread)를, T는 패킷 전송에 필요한 시간을 나타내는데, 무선 링크에서 f_dT < 0.1 이면 느

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

린 페이딩(slow fading) 채널, f_dT > 0.2 이면 빠른 페이딩(fast fading) 채널이라 한다[8]. 패킷 손실률이 동일한 경우, 빠른 페이딩 환경에서는 패킷 손실이 산발적으로 자주 발생하며, 느린 페이딩 환경에서는 연속적으로 드문드문 발생하게 된다. 그림 4는 페이딩 속도에 따른 패킷 손실 패턴의 예를 보여주고 있다. 그림에서 각 사각형은 TCP 패킷을 나타내며 빗금이 쳐진 사각형은 손실된 패킷을 의미한다.

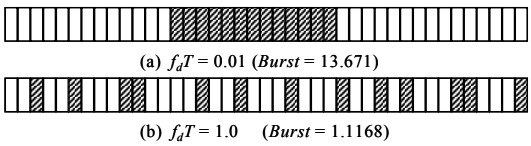

그림 4. 무선 링크에서 페이딩 속도에 따른 패킷 손실 패턴의 변화 (P_E = 0.1 환경)
Fig 4. Packet loss pattern depending on the fading changing rate under P_E = 0.1 environment.

표 2. 페이딩 환경 변화에 따른 평균 연속해 손실되는 패킷의 수 및 무선 링크의 평균 불량 기간
Table 2. The number of packets lost consecutively in the wireless link and mean bad period time in various fading environments.

f_dT	v (km/h)	P_E	*Burst*	*MBP* (sec)
0.001	0.1	0.001	12.641	0.054
		0.01	40.201	0.167
		0.1	136.56	0.568
0.01	1.0	0.001	1.4913	0.006
		0.01	4.0701	0.017
		0.1	13.671	0.057
0.1	20	0.001	1.0055	0.004
		0.01	1.0551	0.004
		0.1	1.5878	0.007
1.0	110	0.001	1.0011	0.004
		0.01	1.0106	0.004
		0.1	1.1168	0.005

Two-state Markov 모델을 채용하여 무선 링크를 모델링 했을 때, 페이딩의 변화 속도와 패킷 손실률에 따라 연속하여 손실되는 패킷의 수 및 평균 불량 기간을 계산하면 표 2와 같다. 표에서 v는 단말의 이동 속도, *Burst* 는 패킷 손실 발생시 연속해서 손실되는 평균 패킷의 수, *MBP*(Mean Bad Period)는 평균 불량 기간으로 무선 링크가 불량 상태에 진입했을 때 평균적으로 불량 상태에 머무르는 기간을 의미하며 *Burst*에 패킷 전송 시간 T를 곱함으로써 구할 수 있다. 본 논문에서는 참고문헌[7]에서 사용한 계산법을 이용하여 two-state Markov 모델의 파라미터 값들을 계산하였다. 표 2에서 보는 바와 같이 동일한 패킷 손실률을 가지는 무선 링크에서는 페이딩 속도가 느릴수록(f_dT가 작을수록) 연속해 손실되는 패킷 수가 많고 *MBP* 또한 컸다. 이것은 페이딩이 느리게 변화하기 때문에 한 번 무선 링크가 불량 상태에 진입하는 경우 오랫동안 불량 상태에 머무르기 때문이다. 이와는 반대로 페이딩 속도가 빠를수록(f_dT가 클수록) *Burst*와 *MBP*는 작아졌는데, 이것은 페이딩이 빨리 변화하므로 무선 링크가 불량 상태에 진입하더라도 신속히 양호한 상태로 바뀔 수 있기 때문이다. 그리고 페이딩 속도가 동일한 경우에는 패킷 손실률이 높을수록 *Burst*와 *MBP* 가 모두 커져서 무선 링크에서 패킷 손실이 보다 연속적으로 발생하게 됨을 알 수 있다.

Ⅳ. 시뮬레이션 결과

우선 지역 재전송 임계값(*Threshold*)을 결정하기 위하여 각 무선 링크에서의 평균 WSRTT 값을 구해본다. BS에 Snoop 프로토콜을 사용하여 패킷 손실률 P_E가 각각 0.001, 0.01, 0.1인 환경에서 f_dT 를 0.001에서 1.0까지 변화시키면서 시뮬레이션을 통해 구한 WSRTT의 평균값은 표 3과 같다.

표 3. 무선 링크의 변화에 따른 평균 WSRTT 값 (sec)
Fig 3. WSRTT values in different wireless link conditions.

P_E \ f_dT	0.001	0.01	0.1	1.0
0.001	0.151577	0.141783	0.140787	0.137225
0.01	0.144516	0.156738	0.148323	0.152242
0.1	0.156544	0.146589	0.100558	0.136193

표 3에서 확인할 수 있듯이 평균 WSRTT 값은 페이딩의 속도 변화나 패킷 손실률에 관계없이 별로 변화하지 않고 약 0.10~0.16초 사이의 값을 가짐을 확인할 수 있다. 즉, 평균 WSRTT 값은 셀 반경의 크기와 데이터 전송 속도에 의해 결정되고 사용자의 이동에 의해 발생하는 페이딩의 속도 변화에는 거의 영향을 받지 않음을 의미한다. 위의 시뮬레이션 결과를 토대로 본 논문에서는 WSRTT 값이 0.2초를 초과하게 되면 무선 링크가 불량 상태로 진입했다고 가정하도록 한다. 즉, *Threshold* = 0.2로 설정한다.

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

다음은 각 무선 링크 환경에서의 지역 재전송 시간값 (*L.B.*)을 구해 보도록 한다. 표 4와 그림 5는 *Threshold* 값을 0.2로 설정하고 기지국에 AT-Snoop 프로토콜을 사용했을 경우, *L.B.* 값의 변화에 따른 TCP 전송률을 보여주고 있다. 여기서, 전송률이란 시뮬레이션 시간동안 TCP 송신단과 수신단 사이에 오류 없이 전송된 TCP 패킷 수이다.

표 4. L.B. 값의 변화에 따른 TCP 전송률(P_E = 0.1, *Threshold* = 0.2)
Table 4. TCP throughput with different L.B. values (P_E = 0.1, *Threshold* = 0.2).

L.B.(sec) \ f_dT	0.001	0.01	0.1	1.0
0.001	8596	5962	7451	8195
0.01	8664	6318	8581	9167
0.06	9036	6461	7970	8591
0.1	8984	6419	7663	8368
0.6	9126	6085	5292	6318
1.0	8730	5701	6423	7211
2.0	8803	5599	6441	6726
5.0	8823	5782	6108	7110

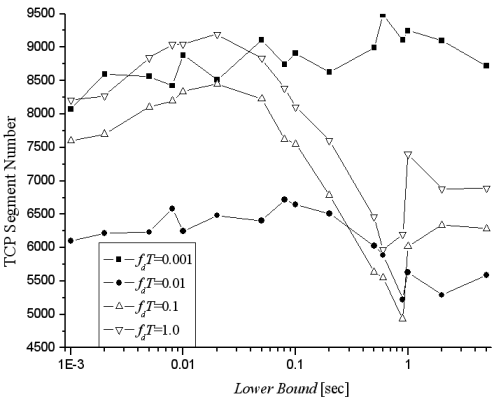

그림 5. *L.B.* 와 f_dT 값에 따른 TCP 전송률 그래프(P_E = 0.1, *Threshold* = 0.2)
Fig 5. TCP throughput graphs with different *L.B.* and f_dT values (P_E = 0.1, *Threshold* = 0.2).

그림 5로부터 *Threshold* 값이 정해져 있을 때, *L.B.* 값에 따른 TCP 전송률의 변화가 큼을 알 수 있다. 예를 들어 f_dT = 1.0인 경우, *L.B.* 값의 설정에 따라 약 3000 정도의 TCP 전송률의 차이가 났다. 그리고, f_dT 가 0.001, 0.01, 0.1, 1.0의 경우 각각 *L.B.* 값이 0.6, 0.06, 0.01, 0.01일 경우에 가장 높은 TCP 전송률을 얻을 수 있었는데, 이 *L.B.* 값은 *MBP* 와 밀접한 관계가 있다.

예로써, f_dT = 0.001이고 P_E = 0.1인 경우에 대해 분석해 보기로 한다. 표 2로부터 이와 같은 환경에서의 *MBP* = 0.568초이다. 이것은 무선 링크가 불량 상태로 진입했을 때 평균적으로 0.568초 머무르다 불량 상태를 벗어난다는 것을 의미한다. 만약, 재전송 시간을 *MBP* 보다 작은 값으로 설정하여 AT-Snoop agent가 무선 링크가 아직 불량 상태에 머무르고 있을 때 패킷 재전송을 수행하게 되면, 재전송된 패킷 또한 무선 링크에서 손실되게 된다. 하지만, 재전송 시간을 *MBP* 보다 크게 설정하는 경우에는 재전송 시점에 무선 링크가 불량 상태를 빠져나왔을 가능성이 높기 때문에 재전송한 패킷은 성공적으로 MH로 전송될 가능성이 높아지게 된다. *L.B.* = 0.01 과 같이 *MBP* 보다 작게 설정하는 경우와 *L.B.* = 0.6 과 같이 크게 설정하는 경우는 동일 시간동안 각각 8664와 9126개의 TCP 패킷이 전송되었다. 즉, 약 500개의 TCP 패킷이 *L.B.* 값의 설정에 따라 달라졌는데, *L.B.* 값을 *MBP* 보다 크게 설정한 경우가 TCP 전송률이 높았다. 하지만, *L.B.* = 1.0과 같이 *MBP* 보다 훨씬 큰 값을 설정하는 경우에는 8730으로 0.6으로 설정했을 때보다 낮은 TCP 전송률을 보였는데, 이것은 *L.B.* 값을 너무 크게 설정하는 경우에는 지역 재전송이 빠르게 수행되지 않기 때문에 TCP 전송률이 저하되기 때문이다. 그리고 페이딩이 빠를수록 *L.B.* 값에 따른 TCP 전송률의 차가 많이 발생하였다.

표 4의 결과로부터 각 페이딩 환경에서의 가장 높은 전송률은 *L.B.* 값을 해당 환경에서의 *MBP* 보다는 크지만 가능한한 작은 값으로 설정했을 때 얻을 수 있었다. 즉, 이상적인 지역 재전송 시간값은 평균 불량 기간보다는 크지만 되도록 작은 값으로 설정하는 것이 AT-Snoop 프로토콜이 지역 재전송을 효과적으로 수행하도록 해준다.

각 무선 링크 환경에서 최고의 TCP 전송률을 내는 지역 재전송 시간값들을 가지고 AT-Snoop 프로토콜을 사용하였을 때의 TCP 전송률을 그림 6에 나타내었다. 그림 6에서 패킷 손실율이 높은 환경에서(P_E=0.1), Snoop이나 AT-Snoop 프로토콜을 사용하지 않을 경우 페이딩이 빨라짐에 따라 TCP 전송률은 낮아졌다. 이것은 동일한 패킷 손실률인 경우 패킷 손실이 산발적으로 발생할수록 TCP 송신단에서 혼잡 제어를 보다 자주 수행하여 TCP 전송률이 저하되기 때문이다. 하지만, Snoop이나 AT-Snoop 프로토콜을 채택하는 경우 페이딩이 빨라질수록 TCP

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

전송률이 보다 많이 향상되었는데, 이것은 Snoop/AT-Snoop 프로토콜의 지역 재전송이 산발적으로 발생하는 패킷 손실을 잘 보상할 수 있기 때문이다[9].

P_E 가 높은 경우(P_E = 0.1), 빠른 페이딩 환경에서 AT-Snoop 프로토콜을 채택하는 경우가 Snoop 프로토콜을 사용하는 경우보다 더 높은 TCP 전송률 향상을 가져왔다. 즉, f_dT = 0.01과 같이 느린 페이딩 환경에서는 Snoop 프로토콜보다 200개 정도의 TCP 패킷이 더 전송되었지만, f_dT = 1.0인 경우에는 약 2000개 정도의 패킷이 더 전송되었다. 하지만, P_E가 낮은 경우 (P_E = 0.01)에는 Snoop이나 AT-Snoop 프로토콜을 사용함으로써 얻어지는 전송률 향상이 P_E가 높은 경우에 비해 현저히 적었는데, 이것은 P_E가 낮은 경우에는 무선 링크에서 패킷 손실이 워낙 적게 발생하기 때문에 Snoop이나 AT-Snoop 프로토콜이 지역 재전송을 수행할 기회가 적기 때문이다.

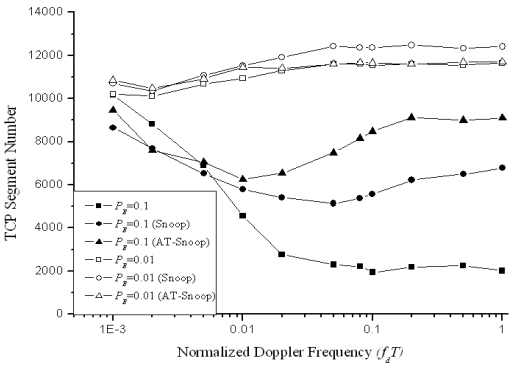

그림 6. 페이딩 채널에서의 TCP 전송률 (*Threshold*=0.2)
Fig 6. TCP throughput in fading channel (*Threshold*=0.2).

V. 결 론

본 논문에서는 AT-Snoop 프로토콜의 파라미터 값들의 변화에 따른 TCP 전송률의 변화에 대해 분석하였다. AT-Snoop 프로토콜은 Snoop 프로토콜에 비하여 연속한 패킷 손실이 발생하는 무선 링크에서 보다 효과적으로 지역 재전송을 수행하여 TCP 전송률을 향상시킬 수 있는 프로토콜이다. AT-Snoop 프로토콜에서의 두 파라미터인 지역 재전송 임계값(*Threshold*)과 지역 재전송 시간값(*Lower Bound*)은 TCP 전송률에 큰 영향을 미치는데, 이 두 파라미터는 채널에서의 페이딩 변화 속도와 매우 밀접한 관계가 있었다. *Threshold* 값은 해당 시스템의 평균 WSRTT 값보다 약간 크게 설정하여 무선 링크가 불량 상태로 진입한 것을 빨리 인지할 수 있도록 해야 하고, *Lower Bound* 값의 경우는 각 페이딩 환경에서의 *MBP* 보다는 크지만 가능한한 작은 값을 가지도록 하는 것이 높은 TCP 전송률을 얻을 수 있음을 시뮬레이션을 통해 알 수 있었다. 유무선이 통합된 셀룰러 방식의 통신망에서 기지국에 AT-Snoop 프로토콜을 채택하는 경우, 사용자의 이동에 의해 발생하는 무선 링크에서의 페이딩 변화를 인지하여 *Lower Bound* 파라미터 값을 적절히 변경해 주면 Snoop 프로토콜을 채용했을 경우보다 TCP 전송률을 현격히 향상시킬 수 있을 것이다.

향후 연구과제

현재까지의 연구에서는 무선 링크의 페이딩 변화 속도(f_dT)와 패킷 손실률(P_E)을 알고 있다는 가정하에 향상된 TCP 전송률을 얻기 위한 *Threshold* 와 *L.B.* 값의 설정 방법에 대해 알아보았다. 실제로 AT-Snoop 프로토콜을 시스템에 적용하기 위해서는 AT-Snoop agent가 MH로부터 수신한 패킷들을 가지고 무선 링크에서의 f_dT와 P_E 값을 실시간적으로 계산할 수 있는 알고리즘의 개발이 필요하다.

참 고 문 헌

〔1〕 H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, S. Seshan, and R. Katz, "A comparison of mechanisms for improving TCP performance over wireless links," *ACM/IEEE Transactions on Networking*, vol.5, pp. 756-769, December 1997.

〔2〕 주재옥, 노재성, 조성준, "모바일 네트워크에서 TCP 전송율 향상을 위한 Adaptive Timer-Snoop 프로토콜," *Telecommunications Review*, 제14권, 4호, pp. 711-731, 2004.

〔3〕 K. Ratman and I. Matta, "Effect of local retransmission at wireless access points on the round trip time estimation of TCP," *in Proc. of 31st Annual Simulation Symposium*, pp. 150-156, April 1998.

〔4〕 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, December 1995.

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

〔5〕 M. Zorzi, A. Chockalingam, and A. R. Rao, “Throughput analysis of TCP on channels with memory,” *IEEE Journal of Selected Areas in Communications*, vol. 18, no. 8, July 2000.
〔6〕 VINT Project, “The Network Simulator - ns-2,” http://www.isi.edu/nsnam/ns.
〔7〕 A.Chockalingam and G. Bao, “Performance of TCP/RLP protocol stack on correlated fading DS-CDMA wireless links,” *IEEE Trans. on Vehicular Tech.*, vol. 49, pp. 28-33, 2003.
〔8〕 M. Zorzi, R. R. Rao, and L. B. Milstei, “On the accuracy of a first-order Markov model for data transmission on fading channels,” *in Proc . of ICUPC’95*, pp. 211-215, November 1995.
〔9〕 조용범, 원기섭, 김영철, 조성준, “2.3GHz 휴대인터넷 무선 링크에서 페이딩 변화에 따른 snoop 프로토콜의 성능 분석,” *한국통신학회 2004년도 하계종합학술발표회 논문초록집*, p. 143.

조 용 범 (Yong bum Cho) 정회원

1996년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 학사
1998년 2월 한국항공대학교 항공통신정보공학과 석사
1996년 3월~2003년 5월 (주) 스탠더드텔레콤 주임연구원
2003년 9월~현재 한국항공대학교 대학원 정보통신공학과 박사과정
<관심분야> Wireless TCP, Mobile IP, WLAN, MMS

조 성 준 (Sung joon Cho) 종신회원

1969년 2월 한국항공대학 항공통신공학과 학사
1975년 2월 한양대학교 대학원 전자통신공학과 석사
1981년 3월 오사카대학 대학원 통신공학과 박사
1972년 8월~현재 한국항공대학교 항공전자 및 정보통신공학부 교수
<관심분야> 무선통신, 이동통신, 환경전자공학

Copyright (C) 2005 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr