

이동 컴퓨팅 환경에서 무선링크상태와 데이터특성을 고려한 TCP 성능향상

○
유 병 인, 홍 영 식
동국대학교 컴퓨터공학과

Improving the Performance of TCP over Mobile Computing Environments based on Wireless Link States and Data Characteristics

Byung In You, Young Sik Hong
Department of Computer Engineering, Dongguk University

<요약>

본 연구에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 TCP프로토콜의 전송성능 저하요인을 분석하고 이에 따른 적응적인 정책을 수립해 효율적인 프로토콜을 제시한다. 이동 컴퓨팅 환경에서 TCP 패킷을 크기에 따라 벌크데이터와 인터랙티브데이터로 나누고, 무선링크의 상태에 따라 안전 상태와 위험 상태로 나누어, 각각의 특성을 고려한 TCP의 전송성능 향상방법을 제시하였다. 본 연구에서 제안된 정책은 모의 실험환경을 통해 성능향상을 검증했으며, 실제 이동 컴퓨팅 환경에서 무선네트워크와 유선네트워크사이의 중간 호스트인 기지국에 적용시킬 수 있다.

1. 서론

이동 컴퓨팅 환경의 발달은 사용자가 시간 및 장소의 제한 없이 네트워크 접속을 유지한 상태로 필요한 정보를 얻기 위한 작업을 진행할 수 있게 하였다. 그러나 호스트의 이동성에 의해 주소이전기법이 필요하게 되었고, 무선통신을 사용함으로써 낮은 대역폭과, 높은 데이터 전송 오율율, 보안문제, 잦은 네트워크 접속 해제가 발생하게 되었다. 또한 휴대형 컴퓨터의 짧은 전지성능과 낮은 컴퓨터성능까지 문제가 되었다[9]. 유선네트워크와 무선네트워크가 복합된 환경은 무선네트워크를 고려하지 않고 설계된 기존의 전송프로토콜의 성능을 저하시켰고, 이를 해결하려는 연구가 요구되어져 왔다.

TCP는 양자간의 통신신뢰성을 제공하는 연결지향형의 전송프로토콜로서 상대적으로 데이터 손실률이 낮은 기존의 유선네트워크 상에서 전송성능을 저하시키는 가장 큰 요인은 폭주에 가정하고 폭주에 적응적인 방법으로 설계되었다. 하지만 이동 컴퓨팅 환경에서 성능저하의 요인은 폭주 외에도 무선링크의 높은 데이터 손실률과 호스트의 이동성에 의한 접속해제 등이 존재하게 된다[4]. 무선링크의 높은 데이터 손실률은 전파간의 간섭, 다중경로전파전달, 장애물에 의한 전파방해 등에 의해 발생하게 되고, 이로 인해 유선네트워크에 적합하게 설계된 기존의 TCP는 송신호스트에서 빈번한 데이터 재전송과 불필요한 폭주제어가 발생하게 되어 더욱 큰 전송성능의 저하를 가져오게 되었다. 이를 해결하고자 유선네트워크와 무선네트워크의 성능저하요인을 고려하여 설계된 프로토콜들이 제안되어 왔다 [1][2][3][5].

본 연구에서는 이동 컴퓨팅 환경에서 TCP 패킷을 크기에 따라 벌크데이터와 인터랙티브데이터로 나누고, 무선링크의 상태에 따라 안전 상태와 위험 상태로 나누어, 각각의 특성을 고려한 TCP의 전송성능 향상방법을 제안한다.

2. 기존 연구

CSDP[5]는 링크층의 정책으로 각각의 통신세션은 독립된 큐를 유지하고 회선의 상태가 좋은 세션그룹과 회선의 상태가 나

쁜 세션그룹으로 나누어 회선의 상태가 좋은 세션그룹에게 스케줄링 정책에 의해 우선적으로 전송권한을 부여해주는 방법이다. 일반적으로 링크층의 성능향상방법보다는 전송층에서의 성능향상방법이 더 좋은 결과를 산출한다고 검증되어 있다[7].

유선네트워크와 무선네트워크의 성질이 다른점에 착안하여 유선네트워크와 무선네트워크의 데이터 전송정책을 분할하여 적용하려는 연구가 진행되어 왔다. 대표적인 방법인 I-TCP는 단대단(End to End) TCP연결을 고정호스트와 기지국사이의 유선연결, 기지국과 이동호스트사이의 무선연결로 나누어서 각각의 연결에 적합한 정책을 적용함으로써 전송성능의 향상을 이루고자하는 방법이다[1].

전송층의 정책인 Snoop 프로토콜[3]은 이동호스트와 고정호스트 사이에서 패킷송수신을 책임지는 중간호스트인 기지국에서 Snoop Agent를 통해 전송성능의 향상을 이루어내는 프로토콜이다. 기지국의 Snoop Agent는 송신호스트로부터 전송되는 모든 TCP 패킷을 캐취에 유지한다. 만일 수신측으로부터 ACK가 오지 않는다면 캐취에 저장된 패킷을 Snoop Agent가 지역 재전송하게 되고 ACK가 온 패킷은 캐취에서 삭제하게 된다. 또한 이동호스트가 현재 속해있는 셀과 그 주변셀을 하나의 멀티캐스트 그룹으로 구성하고 송신호스트는 보내려는 패킷을 멀티캐스트 그룹에 전송한다.

전송층의 정책인 EBSN정책[2]은 폭주에 의한 패킷손실과 무선링크에 의해 발생하는 패킷손실을 구분하기 위해 기지국에서 재전송타이머의 임계 시간 동안 지역캐쉬 내에 있는 패킷의 ACK가 오지 않으면 무선링크의 상태가 나빠서 패킷이 손실된 것으로 가정하고 수신측 이동호스트에 해당 패킷을 재전송한 후, EBSN메시지를 송신측 고정호스트에 전송한다. EBSN메시지를 수신한 송신측 고정호스트는 자신의 재전송타이머를 재설정하여 일정시간동안 ACK가 오지 않더라도 타임아웃에 의한 재전송을 억제하고 폭주제어를 하지 않는다. 기지국에서 발생된 재전송 패킷은 무선링크의 상태가 위험상태에서 안전상태로 변할 경우 재전송된 패킷이 수신측 이동호스트에 전달되어 ACK를 발생시키게 된다. 이때 기지국은 무선링크가 안전상태

로 되었음을 알게되고 더 이상의 EBSN메시지를 발생시키지 않는다 즉 기지국에서의 재전송타이머에 의한 재전송패킷은 무선링크의 상태를 탐지하는 역할을 수행하고, 이때 발생하는 EBSN메시지는 송신측 고정호스트에 무선링크의 상태가 나쁨을 알려 불필요한 재전송과 폭주제어 알고리즘을 억제시키는 역할을 한다. 따라서 EBSN모델은 무선링크의 상태를 수신호스트측에서 명확히 인식하여 초당전송률을 높이는 장점이 있다. 하지만 기존의 EBSN정책은 기지국 재전송타이머의 간격이 무선링크의 상태와 유지시간을 고려하지 않아 지나친 EBSN메시지를 발생시켰다. 또한 이미 무선링크가 안전상태가 되어도 기지국 재전송타이머의 타임아웃에 의해 재전송된 패킷의 ACK가 오기 전까지는 무선링크의 상태를 알 수 없기 때문에 초당 전송률이 저하되었다.

3. 링크상태와 데이터특성을 고려한 전송정책

일반적으로 TCP/IP 네트워크 상에서 데이터의 특성에 따른 통신선선의 종류는 벌크데이터와 인터랙티브데이터로 구분된다. 네트워크 상에서 패킷단위로 볼 때 인터랙티브데이터가 40%, 벌크데이터가 60%의 양을 차지하고, 바이트단위로 볼 때는 벌크데이터가 90%, 인터랙티브데이터가 10%가량 차지하고 있다[6][10]. 인터랙티브데이터의 사용 예는 TELNET, IRC, X-PROTOCOL 등이 있고 벌크데이터의 사용 예는 FTP 등이 있다. 일반적으로 인터랙티브데이터의 크기는 90% 이상이 10바이트 미만인 것으로 알려져 있다[6]. 따라서 본 연구에서는 벌크데이터와 인터랙티브데이터의 구분을 [표 1]과 같이 한다.

무선링크의 경우 [그림 1]과 같이 안전상태와 위험상태로 모델링한 2-State Markov Model이 일반적이다. [그림 1]에서 λ_g 와 λ_b 는 안전상태와 위험상태에서의 평균 BER(Bit Error Rate)이다. λ_{gb} 와 λ_{bg} 는 상태변이가 일어날 수 있는 평균변이율이며, $\frac{1}{\lambda_{gb}}$ 와 $\frac{1}{\lambda_{bg}}$ 는 안전상태와 위험상태의 평균 유지시간을 의미한다[2].

표 1 데이터 크기에 따른 TCP 세션의 분류

TCP 데이터 크기 (T)	Data 종류
10 바이트 > T	벌크데이터
10 바이트 ≤ T	인터랙티브데이터

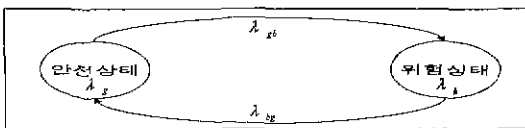


그림 1 무선링크를 모델링한 2-State Markov 모델

3.1 벌크데이터의 전송성능 향상

이동 컴퓨팅 환경에서 벌크데이터의 전송성능을 결정짓는 요인은 무선 링크의 상태가 위험할 때 패킷의 불필요한 재전송과 폭주제어를 얼마나 효율적으로 억제시키는가에 있다. 본 연구에서는 EBSN모델의 기지국 재전송 타이머는 [그림 2]와 같이 PERSIST TIMER를 사용한다고 가정하였다[3]. 그리고 제안모델의 재전송타이머는 무선링크가 안전상태일때는 PERSIST

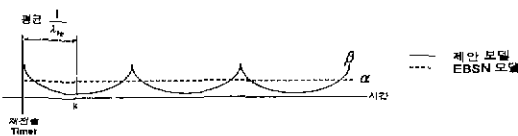


그림 2 기지국의 재전송 타이머 비교

TIMER를 사용하고 위험상태일때는 주기적으로 재전송 타이머 간격이 변하는 동적타이머방식을 사용하였다. [그림 2]에서 나타내는 k는 무선링크의 평균 위험상태 유지시간이며 제안모델에서는 k를 정점으로 재전송타이머의 간격이 동적으로 변한다. 이론적으로 가능한 최대 초당전송률을 TM이라고 정의하면 다음과 같은 수식으로 표현이 가능하다[2].

$$TM = \frac{\lambda_{bg}}{\lambda_{bg} + \lambda_{gb}} \times \text{thrt}_{max}$$

$\text{thrt}_{max} = \text{무선링크주요대역폭}$

EBSN모델의 초당전송률은 ET라고 정의하고, 본 연구에서 제안한 모델의 초당전송률을 MT라고 정의하면

$$ET = \frac{\lambda_{bg}}{\lambda_{bg} + \lambda_{gb}} \times \text{thrt}_{max}$$

$$MT = \frac{\lambda_{bg}}{\lambda_{bg} + \lambda_{gs}} \times \text{thrt}_{max}$$

$$\frac{1}{\lambda_{gb}} = \frac{1}{\lambda_{gs}} - \alpha$$

$$\frac{1}{\lambda_{bg}} = \frac{1}{\lambda_{gs}} + \alpha$$

$\alpha = \text{EBSN모델오버헤드}$

$$\beta = \text{제안모델오버헤드}$$

만약 $\alpha = \beta$ 이면 $ET = TM$ 이다

만약 $\alpha \geq \beta$ 이면 $ET \leq MT$ 이다.

위의 수식을 통해 살펴보면 $\alpha, \beta = 0$ 이면 이론적으로 가능한 최대 초당전송률에 이를 수 있으며 $\alpha \geq \beta$ 이면 제안모델의 초당전송률이 향상될 수 있음을 보여준다. α, β 는 기지국에서 재전송타이머에 의해 재전송한 패킷의 ACK를 송신호스트가 수신받고 패킷송신을 다시 시작하기까지의 간격을 의미한다. 그러므로 무선링크가 위험상태에서 안전상태로 변이하는 시점에서 기지국 재전송타이머가 적은 간격을 가지고 재전송을 수행해 보다 빠르게 ACK를 수신하는 것이 초당전송률을 향상시킬 수 있다. 이것은 α, β 가 재전송 타이머의 간격에 의해 결정되며, 단일 무선링크 평균 위험상태 유지시간 k 근처에서 무선링크가 안전상태가 될 때 재전송 타이머의 간격이 적을수록 초당 전송률이 향상됨을 의미한다. 제안모델에서는 [그림 2]와 같이 k 근처에서 기존의 EBSN모델보다 적은 재전송타이머 간격을 보므로 전송성능이 향상될 수 있다 또한 기존의 EBSN모델은 재전송 타이머의 간격이 일정하므로 무선링크의 위험상태가 길어지면 더 많은 EBSN메시지를 생성해내는 단점이 있었다. 제안모델에서는 k 근처에서만 재전송타이머의 간격을 적게 유지하고 그 외의 구간에서는 기존의 EBSN모델보다 넓게 유지하여 더 적은 수의 EBSN메시지를 발생시켜 네트워크 사용효율을 높일 수 있음을 알 수 있다.

3.2 인터랙티브데이터의 전송성능 향상

이동 컴퓨팅 환경에서 TCP 전송 데이터 중 인터랙티브데이터의 성능을 결정짓는 요인은 무선링크의 상태가 나쁠 때 패킷의 손실에 의한 응답시간의 증가를 얼마나 효율적으로 감소시키는가에 있다. 기존의 정책들은 벌크데이터만을 고려하여 초당 전송률은 향상시켰지만 인터랙티브 데이터를 고려하지 않아 상당히 긴 응답시간이 빈번히 발생하였다[7][8].

표 2 특성에 따른 적용적 정책

무선링크 상태	패킷특성	정책	기대 효과
안전상태	BULK	X	X
	INTERACTIVE		
위험상태	BULK	중복전송	응답시간 향상
	INTERACTIVE		

일반적으로 무선링크는 상태에 따라 BER이 $10^{-2} \sim 10^{-12}$ 정도 유선링크의 BER보다 높고[3][7], 이로 인해 패킷손실이 발생하게 되며 인터랙티브 데이터의 경우 응답시간이 현저히 증가된다. 그러나 작은 크기의 패킷일수록 높은 손실률에서도 전송될 가능성이 높고[2], 일반적인 TCP의 경우 같은 번호의 패킷에 대해 하나의 ACK만 생성하고 나머지는 버리게 된다[10]. 제안

정책은 이러한 특성에 착안하여 [표 2]와 같이 기지국에서 무선링크의 상태가 적정수준의 손실률일 경우 같은 번호의 인터액티브데이터 패킷을 기지국에서 중복전송 하여 무선링크의 전송 오류에 의해 일부 패킷손실이 발생하여도 수신측 호스트에 전송될 가능성을 높였다. 무선링크의 상태가 좋을 때에는 패킷의 중복전송을 하지 않았다. 이 정책의 장점은 인터액티브데이터의 응답시간이 향상되고 고정호스트나 이동호스트의 TCP의 수정이 불필요하다. 또한 인터액티브데이터의 특성상 대부분의 패킷이 10byte미만이므로 중복전송을 하여도 무선링크의 대역 폭낭비가 심하지 않다. 단점으로는 중복전송으로 인해 수신측 이동호스트의 잦은 패킷수신 인터럽트에 의한 전력소모량이 늘어날 수 있다 그러나 인터액티브데이터가 벌크데이터에 비해 상당히 간헐적으로 발생하는 점을 고려할 때 그다지 큰 문제가 되지 않는다.

4. 실험 결과 및 분석

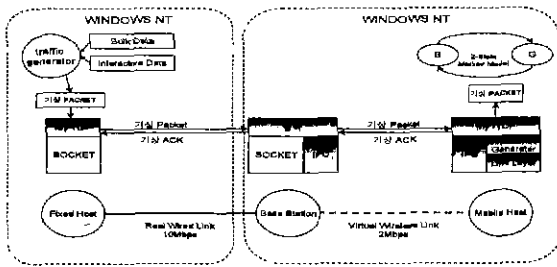


그림 3 실험 모델

제안정책의 검증을 위해 [그림 3]과 같이 윈도우 NT가 설치된 두 대의 펜티엄컴퓨터에서 모의실험을 수행하였다. 고정호스트와 기지국사이에는 소켓을 통한 실제 10Mbps의 이더넷을 전송매체로서 이용하였고 기지국과 이동호스트사이에는 메시저를 이용한 가상무선링크를 설계했다. 가상무선링크는 패킷이 수신될 경우 2-State Markov모델로 가정된 링크의 상태에 따라 패킷의 손실여부를 결정하고, 전송 대역폭을 2Mbps로 제한하는 역할을 수행한다. 전송방향은 고정호스트에서 이동호스트측으로 제한하였으며 벌크데이터 연결 1개, 인터액티브데이터 연결 1개로 설정하고 실험하였다. 제작된 실험환경의 검증은 기존연구[2]의 실험결과와 비교를 통해 하였다. λ_a 는 4초, λ_b 는 0.4초에서 1.6초까지 변화하면서 측정하였으며 λ_a 는 10^{-6} 으로 유지했고 λ_b 는 10^{-2} 로 측정하였다.

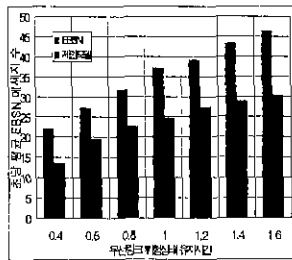
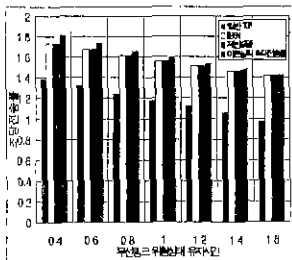


그림 4 각 모델간 초당 평균 전송률 비교

그림 5 각 모델간 초당 평균 EBSN메시지 비교

[그림 4]는 제안정책과 EBSN정책의 벌크데이터의 초당전송률을 비교한 것이다. 제안정책이 EBSN모델과 거의 같은 성능을 나타냈으나, EBSN 메시지의 수는 [그림 5]와 같이 감소함으로써 성능향상을 이루었다. 이것은 소수의 EBSN메시지만으로도 기존의 모델과 같은 성능을 나타낼 수 있음을 나타낸다. 송신

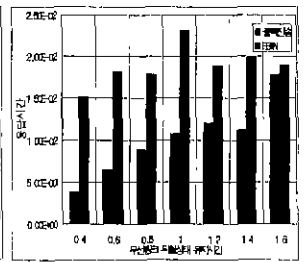
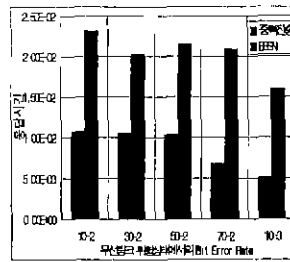


그림 6 BER에 따른 모델간 응답시간 비교

그림 7 위험상태 평균유지시간에 따른 모델간 응답시간 비교

측 고정호스트에서의 재전송 패킷 수는 제안정책과 EBSN모델 모두 0을 나타내었다.

제안정책에 의해 인터액티브 데이터의 응답시간을 감소시켰으로써 성능이 향상되었음을 [그림 6][그림 7]을 통해서 볼 수 있다. [그림 6]의 경우 무선링크의 위험상태에서의 BER을 $10^{-2} - 10^{-3}$ 으로 변화 시켜가면서 측정했는데 무선링크의 상태가 나빠 수록 EBSN모델과 제안모델의 평균응답시간이 증가함을 볼 수 있다. 그러나 제안된 모델은 기존의 EBSN모델에 비해 응답시간이 감소하여 성능이 향상되었다. [그림 7]의 경우 무선링크의 위험상태 유지시간을 0.4초에서 1.6초로 변화시키면서 측정된 결과인데 평균 위험상태 유지시간이 길수록 EBSN과 제안모델의 평균 응답시간이 증가함을 볼 수 있다. 하지만 제안된 모델은 EBSN모델에 비해 평균응답시간이 감소함으로써 성능이 향상되었다.

5. 결론 및 향후 연구과제

본 연구에서는 무선링크의 상태와 TCP 데이터의 종류를 고려하여 각각의 특성에 적합한 정책을 수립하고 이에 따라 벌크데이터의 경우 EBSN메시지 수를 줄였고, 인터액티브데이터의 경우 응답시간을 줄임으로써 TCP 전송 성능향상을 이루었다.

본 연구는 현재 모의 실험을 통해 결과를 산출했으나 향후 실제 무선 LAN상의 기지국에 정책을 구현하여 다수의 TCP세션을 구성한 후 제안방법의 검증을 이루는 것이 과제이다.

참고문헌

- [1] Ajay Bakre, B.R.Badrrnath, "I-TCP:Indirect TCP for Mobile Hosts", Proc. IEEE Distributed Computing Systems, '95
- [2] Bikram S. Bakshi, P.Krishna, N.H.Vaidya, D.K.Pradhan, "Improving Performance of TCP over Wireless Networks", Proc. IEEE Distributed Computing Systems, pp.365 - 373, May'97
- [3] Han Balakrishnan, Srinivassan Seshan, and Randy H. Katz, "Improving Reliable Transport and Handoff Performance in Cellular Wireless Network", Proc. ACM Mobicom '95
- [4] Han Balakrishnan, Venkata N. Padmanabhan, Srinivasan Seshan and Randy H.Katz, "A Comparison of Mechanism for Improving TCP Performance over Wireless Links", Proc. ACM SIGCOMM '96, pp 256-269
- [5] Pravin Bhagwat, Partha Bhattacharya, Arvind Krishna, Satish K. Tripathi, "Using Channel state dependent packet scheduling to improve TCP throughput over wireless LANs", ACM Wireless Networks Volume 3 (1997), pp 91 - 102
- [6] Ramon Caceres, Peter B.Danzig, Sugih Jamin, Danny J Mitzel, "Characteristics of Wide-Area TCP/IP Conversations", Proc. ACM SIGCOMM '91
- [7] Ramon Caceres "The Effects of Mobility on Reliable Transport Protocols", Proc. IEEE Distributed Computing Systems, '94
- [8] Gordon Cheng, Krstian Conception, Dmitry Pozdnyakov, "A Survey of TCP in Mobile Computing Systems, Multimedia Systems, Hypertext Transfer Protocol/World Wide Web Communications", Technical Report, http://www.cs.columbia.edu/~kjc9/tcp.html
- [9] G.H.Forman, et.al, "The Challenges of Mobile Computing", IEEE Computer, 38-47, Apr.1994
- [10] Stevens, "TCP/IP Illustrated, Volume 1", Addison Wesley '94