

버스트 에러에 강인한 TCP 알고리즘

준회원 박종훈*, 배세인*, 정회원 유명식*

Robust TCP algorithm against the burst error in wireless Internet

Jonghun Park*, Se-In Bae* Associate Members, Myungsik Yoo* Regular Member

요약

무선 이동 통신 기술의 발전으로 인하여 기존 인터넷에서 제공 받던 고품질의 서비스를 무선 인터넷을 통하여 이동 환경에서도 제공 받고자하는 욕구가 늘고 있다. 하지만 무선 이동 환경에서는 유선 구간과 달리 무선 구간의 특성상 전파에 대한 간섭과 노이즈 현상이 심하여 성능이 떨어지게 된다. 현재 인터넷에서 널리 사용되고 있는 TCP는 유선 환경에 최적화되어 만들어진 프로토콜이기 때문에 전송 오류나 전파 간섭 등의 영향으로 비트 에러가 상대적으로 많은 무선 환경에서 성능 저하를 가져온다. 특히 전파 환경이 열악한 지하나 지하철 이동시 그 성능은 더 떨어진다. 본 논문에서는 무선 링크에서 빈번히 발생하는 전송 오류로 인한 TCP 성능 저하를 최소화 하기 위하여 Robust TCP 알고리즘을 제안한다. Robust TCP는 무선 환경에서 TCP 성능 저하의 주요 원인인 버스트 에러 상황에서 우수한 성능을 보임을 성능평가를 통하여 검증하였다.

Key Words : TCP, Bit Error Rate, Burst Error, Packet Loss, Wireless Internet

ABSTRACT

Due to the recent advance in wireless communication technology, it is now more demanding to enjoy the high quality of service in the wireless Internet. TCP, which many Internet applications depend on for the end-to-end transport service, is optimized for the wired environment. Consequently, TCP suffers from severe performance degradation in the wireless environment where the bit error rate is relatively high and the burst errors frequently take place.

In this paper, we propose a Robust TCP algorithm, which can effectively react against the burst error and significantly improve the TCP performance in wireless Internet. It is shown through the simulations that the Robust TCP performs well in the wireless environment, especially under the burst error condition.

I. 서론

이동통신 기술의 발전으로 인하여 개인 휴대 단말기 및 PDA(Personal Digital Assistants), 스마트 폰 등을 이용하여 무선 인터넷에 접속하는 사용자들이 날로 증가하는 추세이다. 무선 인터넷 서비스를 제공하는 이동통신 사업자들은 사용자에게 다양한 컨텐

츠의 서비스 및 멀티미디어의 실시간 서비스 제공뿐만 아니라 유연(Seamless)한 이동성을 제공하고자 노력하고 있다.

현재 인터넷상에서 광범위하게 사용되는 전송 프로토콜인 TCP(Transmission Control Protocol)는 전송 오류가 거의 없는 유선 환경을 기반으로 하여 개발된 프로토콜이기 때문에 무선 환경의 특성상 무선

*승실대학교 정보통신전자공학부 (bluearts@hanmail.net, handphoneas@korea.com, myoo@e.ssu.ac.kr)

논문번호 : 040134-0331, 접수일자 : 2004년 3월 31일

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구 R01-2002-000-00073-0(2002)지원으로 수행되었습니다.

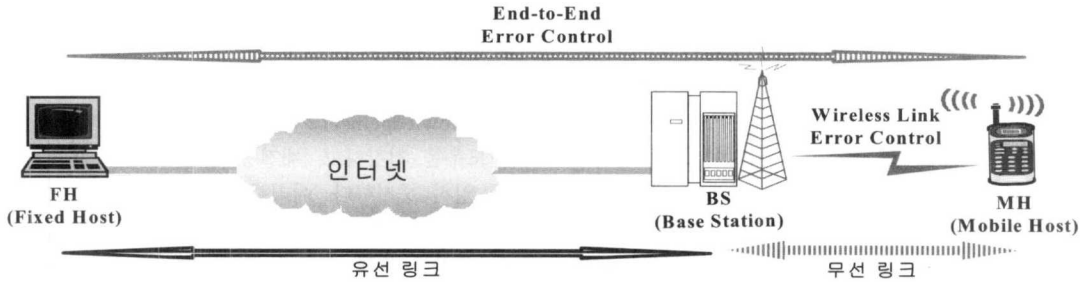


그림 1. FH와 MH의 무선 인터넷 연결 구성도

링크에서 빈번히 발생하는 오류에 적합하게 대응하는 프로토콜의 개발은 매우 중요하다[1].

무선링크는 경로손실, 페이딩, 노이즈, 간섭 등의 이유로 높은 BER(Bit Error Rate) 특성을 보인다. 무선채널은 $10^{-2} \sim 10^{-4}$ 의 BER을 가지고 있고[2] 이러한 높은 BER은 패킷의 크기에 따라 다르지만 일반적으로 패킷 손실이 혼잡에 기인하는 유선 환경에 비해 높은 PER(Packet Error Rate)을 야기시킨다[3].

이로 인하여 네트워크의 혼잡이 아닌 무선 링크에서의 패킷 전송 오류에 의한 패킷 손실로 인해 혼잡 제어 메커니즘을 구동시키게 되고, 반복되는 오류는 TCP 송신자의 혼잡윈도우(Congestion Window)의 크기를 지속적으로 작은 상태에 머물게 하여 성능저하를 유발시킨다. 또한 무선 이동 환경에서는 주변의 환경적 문제나 셀(Cell) 간의 핸드오프로 인해 순간적으로 연결이 끊어지는 문제가 발생할 수 있으며 [4], 이러한 연결 끊김은 TCP 송신자가 혼잡제어 상태로 간주하게 되는 원인이 된다.

본 논문에서는 TCP 프로토콜이 무선 인터넷과 같은 유·무선 통합 환경에서 발생하는 문제점을 파악하고 그에 대한 적절한 TCP 메커니즘을 제안하고자 한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 기존에 연구되었던 무선 환경에서의 TCP 성능 향상 메커니즘들에 대해 설명하고, 3장에서는 제안하는 TCP 성능 향상 메커니즘인 Robust TCP에 대해 설명한다. 4장에서는 시뮬레이션 환경 및 실험 결과에 대한 비교 및 분석 후 5장에서 결론을 맺고자 한다.

II. 관련 연구

TCP는 현재 인터넷에서 가장 널리 사용되는 전송 프로토콜이며, 네트워크 상황에 따른 윈도우의 크기

를 변화시키는 혼잡 제어(Congestion Control) 알고리즘을 수행한다. 또한 무선에 비해 상대적으로 전송 패킷 에러율(Packet Error Rate)이 낮은 유선 네트워크를 대상으로 개발되었기 때문에 데이터 전송에서 발생하는 모든 오류를 네트워크의 과부하로 인한 결과라고 판단한다. 하지만 무선 환경에서는 무선 링크의 특성상 잡음, 페이딩, 간섭 등에 의해 발생하는 높은 비트 오류율(Bit Error Rate)과 MH(Mobile Host)의 핸드오프(Handoff)로 인해 패킷 손실이나 에러 상황이 발생 할 수 있다. 따라서 무선 환경에서 기존의 TCP 방식을 그대로 적용하게 되면 무선 링크의 특성에서 비롯된 패킷 에러로 인해 혼잡 제어 알고리즘이 수행되어 불필요한 성능 저하를 야기할 수 있다[5]. 그에 따라 무선 환경에서 TCP를 사용할 때 발생하는 여러 문제점들을 분석하고 적절히 대응하는 방법에 관한 전송계층 제어 방식들이 연구되어 왔다[1][4][6][7][8][9][10][11].

그림 1은 FH(Fixed Host)와 MH의 연결 구성도를 보여준다. FH로부터 MH까지의 TCP 연결을 효율적으로 운영하기 위하여 제안된 방법들은 송신자가 무선 링크 상에서 발생하는 오류를 알 수 없도록 하기 위한 연결 분리(Connection-Split) 방식, 국부적 재전송 방식, 고속 재전송 방식, ELN(Explicit Loss Notification) 방식 등의 방법이 제안되었다. 연결 분리 방식은 한 개의 연결을 유선 링크에서의 연결과 무선 링크에서의 연결로 분리시키는 방식이고, 국부적 재전송 방식은 무선 링크에서 발생하는 오류를 BS가 감지하여 이 오류를 송신자에게 알리지 않고 BS에서 국부적으로 재전송 함으로써 무선 링크에서의 오류 발생 문제를 해결하는 방식이다. 또한 고속 재전송 방식은 긴 타임아웃 해상도로 인한 타이머의 문제를 최소화하기 위해서 핸드오프가 발생할 때 타이머 만료 이전에 패킷 재전송을 수행하는 방식이고, ELN 방식은 무선 링크에서 발생하는 오류가 네트워

크의 과부하에 의한 오류가 아니라 전송 상의 오류 임을 명백하게 알리기 위한 방식이다[12].

하지만 기존 제안된 방식들은 링크계층에서의 에러 복구 방법으로 인해 전송시간이 지연되고, 오버헤드가 크며, 수신단에서 에러정정 과정이 오랜 걸리는 단점이 있다. 또한 무선 링크에서 발생된 패킷 손실이나 에러를 송신단 TCP에게 숨기기 위해 BS(Base Station)와 송신단 TCP 등의 변형을 요구하여 TCP의 End-to-end 의미(Semantics)를 훼손한다는 문제점이 있다.

III. Robust TCP

제안하는 Robust TCP 알고리즘은 무선 링크 구간에서 에러 상황인 BER 상황을 모니터하고, MH의 링크계층에서 상위 계층 TCP에게 현재의 링크 상태 정보를 전달하여 MH의 TCP가 FH의 TCP 동작을 제어하는 것을 기본으로 한다.

MH의 무선 채널 환경은 핸드오프 상황 이외에도 무선 채널의 특성상 무선 링크의 에러 상황이 수시로 변한다. 이것은 MH의 움직임이 없더라도 주위의 환경에 따라 BER 상황이나 연결 끊김 현상이 매우 유동적으로 변화하는 것을 의미한다. 이와 같이 무선 링크의 BER 상황이 나쁠 경우 링크 계층에서의 계속적인 패킷 손실 발생이나 재전송 요청으로 인하여 TCP는 재전송 타임아웃이나 패킷손실 등으로 인하여 TCP 혼잡제어 알고리즘을 구동시키게 된다. 또한 MH의 셀 간의 핸드오프를 수행할 경우 핸드오프 기간 동안의 무선구간 패킷손실로 인해 전체 TCP의 성능 저하까지 초래한다.

제안하는 Robust TCP는 연결 끊김 발생으로 인한 패킷손실이나 핸드오프가 발생하여도 TCP 혼잡제어 알고리즘을 구동시키지 않고 TCP 동작을 잠시 멈추어 TCP 성능 저하를 막을 수 있다.

Robust TCP의 세부적인 동작을 살펴보면 다음과 같다. MH는 핸드오프가 임박한 상황을 무선 안테나의 신호세기를 통해 알 수 있으며, 수신되는 패킷의 BER 상황을 감시하여 BER 상황이 나쁜 상태를 발견할 수 있다. MH의 링크 계층은 이러한 BER 상황을 상위 계층 TCP에게 전달하며, 해당 임계값에 따라서 동작을 수행한다. 먼저 링크 계층으로부터 임계값을 넘어가는 BER 상태를 통보 받은 TCP는 링크 계층으로 하여금 BS의 링크 계층의 에러 복구 메커니즘의 재전송 횟수를 증가하도록 요구한다. 그와 동시에 MH의 TCP에서는 FH에게 ZWA(Zero

Window-Size Advertisement)를 전송하고, ZWA를 수신한 FH는 Persist 모드로 동작한다. 송신단은 Persist 타이머가 만료되거나 양의 ACK(Acknowledgement)가 수신 될 때까지 현재의 혼잡 윈도우를 저장하고, 재전송 타임아웃과 데이터 전송을 일시 중지한다. 이러한 방법을 통하여 무선 링크의 상태가 나쁠 경우 링크 계층에서의 재전송 회수의 증가를 통해 에러 복구 확률을 높이고, MH의 불필요한 재전송으로 인한 또다른 에러 패킷이나 재전송을 막아 성능을 향상 시킬 수 있다.

BS-MH 간의 무선 링크 상태가 임계값 아래의 상황으로 복귀되면 MH의 링크 계층의 재전송 횟수를 원래 상태로 환원하고, 상위 계층 TCP에 이 사실을 통보한다. 이에 대해 MH의 TCP는 양의 ACK를 FH에 전송하며, 양의 ACK를 수신한 FH의 TCP는 Persist 모드에서 벗어나며, 재전송 타임아웃과 혼잡 윈도우 값은 Persist 모드에 들어가기 바로 전으로 되돌린다.

Robust TCP 방식은 MH의 TCP에서 ZWA를 언제 송신단 TCP에게 전송해야 하는지가 중요하다. MH는 신호 세기를 감지하여 핸드오프 수행을 미리 예측하여 ZWA를 전송하는 것이 가능하며, 연결 끊김의 경우 실제 무선 환경에서 BER 상황에 따라 발생하는 연결 끊김 확률의 측정을 통해 ZWA를 전송하는 시점을 예측할 수 있다.

표 1은 기존의 유·무선 통합망의 무선 링크에서 발생하는 에러로 인해 전체 TCP 성능을 저하시키는 문제를 해결하기 위해 제안된 방식들에 관한 특성을

표 1. 다양한 이동 TCP 방식들의 특성 비교

	Snoop	I-TCP	MTCP	ECN	Freeze-TCP	Robust TCP
중간 노드의 TCP 변환을 요구	O	O	O	O	X	X
중단한 TCP Semantics	X	X	X	X	O	O
암호화된 트래픽 처리	O	X	X	X	O	O
긴 연결끊김 처리	X	버퍼 문제	O	O	O	O
빈번한 연결 끊김 처리	X	Hand-off 비용 문제	Hand-off 비용 문제	O	O	O
높은 BER 처리	O	O	O	X	X	O

나타내었다.

제안하는 Robust TCP 방식은 표 1에서 보는 바와 같이 중간 노드의 변환이 필요 없으며, 종단간 TCP Semantics를 위반하지 않는다. 또한 암호화된 트래픽의 처리나 긴 연결 끊김이나 빈번한 연결 끊김에 대한 대응에 용이하고, 높은 BER 환경에서 사용하기에 적합하다. MH는 Robust TCP 동작을 위해 약간의 기능 추가만을 요구하며 FH의 TCP나 BS의 수정은 요구하지 않는다. Robust TCP 방법은 MH가 링크 계층 모니터링을 통해 상위 TCP 계층으로 상태정보를 통보하는 기능만을 추가하도록 하여 무선 링크 구간에서 발생하는 버스트 에러에 대한 TCP 성능 향상을 이룰 수 있다.

IV. 성능평가 및 비교분석

유·무선 통합 환경에서의 TCP 성능 실험을 위하여 실험 토폴로지는 FH-BS-MH의 구조로 그림 2와 같이 구성하였다. 시뮬레이션 모델은 C++를 이용하여 구현하였다.

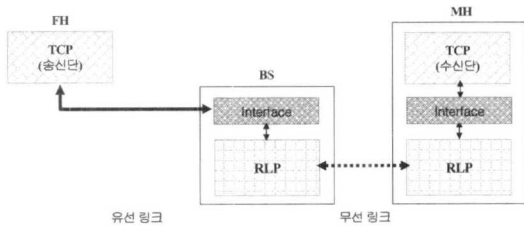


그림 2. TCP 성능 측정을 위한 시뮬레이션 모델

표 2. 시뮬레이션 파라미터

파라미터	값
TCP 버전	TCP new Reno
시뮬레이션 시간	2500 secs
TCP 최대 세그먼트 크기 (MSS)	536 bytes
TCP 데이터 패킷 크기	576 bytes
TCP ACK 패킷 크기	40 bytes
유선 링크 BER	0
무선 링크 BER	10^{-1} , 10^{-2} , 10^{-3} , 10^{-4}
버스트 에러 발생 가중치 (w)	기본 : 100
BER 측정 임계값 (th)	10% ~ 90%

1. 실험 토폴로지

실험에서 FH-BS 구간의 유선구간에서는 링크 특성에 의한 패킷손실이나 에러가 전혀 없다고 가정하였으며, 에러나 패킷손실은 BS-MH 구간의 무선구간에서만 존재한다고 가정하였다.

표 2는 실험을 위한 시뮬레이션 파라미터 값들이다. 성능 비교를 위하여 TCP new Reno와 RLP(Radio Link Protocol) 그리고 제안한 Robust TCP 방식의 성능을 측정하였다. FH의 TCP는 혼잡 제어 알고리즘에 의해 동작되며, BS는 인터페이스를 통해 RLP로 들어온 TCP 패킷을 MH에게 전달하는 기능과 무선링크 구간에서 패킷이 손실되거나 에러가 발생하면 ARQ(Automatic Repeat Request) 복구 메커니즘으로 NAK(Negative Acknowledgement) 기반의 제한된 선택적 재전송(NAK-based Finite Selective Repeat)을 수행한다.

버스트 에러 발생 가중치 w 파라미터는 실험 환경에서 에러 발생 정도를 나타내게 된다. w 의 값이 커질수록 에러 지속 시간이 길어지고, 다음 에러 발생 시간까지의 간격도 길어진다. w 의 값이 작으면 그만큼 에러 발생이 빈번해지지만 지속 시간은 짧아진다. th 는 MH의 인터페이스에서 BER을 측정할 때의 임계값을 나타낸다. MH는 BER이 임계값 th 를 넘어가면 ZWA를 전송하도록 한다.

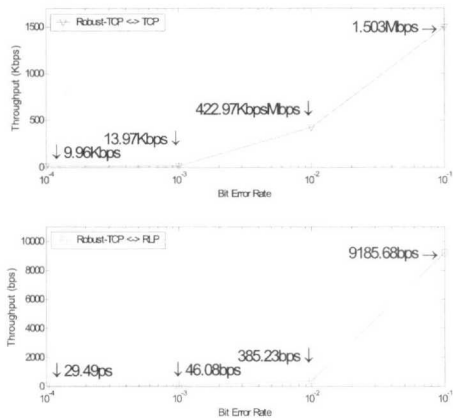


그림 3. 각 알고리즘 간의 Throughput 차이

실험 환경에서는 성능 비교를 위하여 무선 링크 구간의 BER 상황을 각각 0, 10-1, 10-2, 10-3, 10-4의 값을 갖는 지수 분포 특성을 갖는 랜덤(Random)

한 에러 상황을 발생시켜 그 결과를 비교하였다.

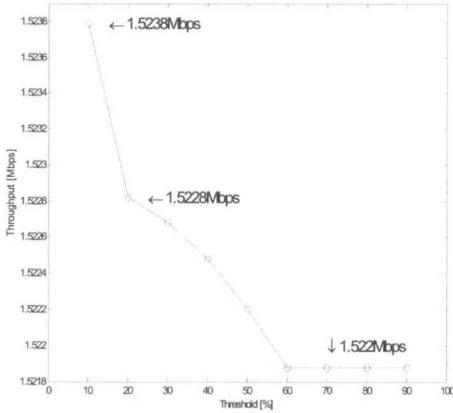


그림 4. 임계값에 따른 Robust TCP의 Throughput 변화

2. 시뮬레이션 결과

그림 3은 제안한 Robust TCP와 TCP new Reno의 Throughput 차이와 제안한 Robust TCP와 RLP를 사용한 TCP new Reno의 Throughput 차이를 보여준다. 각각의 프로토콜은 모두 임계값 10-1, 10-2, 10-3, 10-4의 상황에서 2500초 동안 Throughput을 측정하였다. 그림 3에서 보는 바와 같이 제안한 Robust TCP 알고리즘이 BER이 나쁜 상황에서 TCP new Reno나 RLP와 비교하였을 때 그 Throughput 성능이 지속적으로 우월해지는 것을 볼 수 있다. 특히 RLP와 비교하였을 때 BER이 10-1인 경우 9185bps의 향상을 보인다. 이는 초당 2개의 패킷을

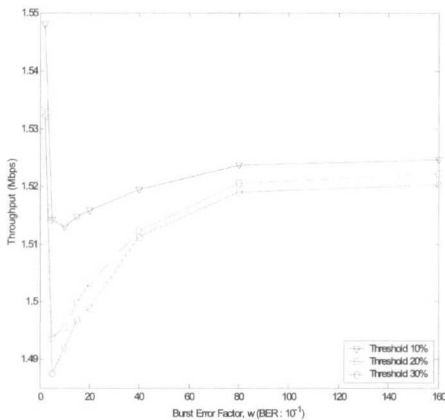


그림 5. 버스트 에러 발생에 따른 Throughput 변화

더 전송 받는 것으로서 10분 분량의 데이터를 전송 받을 경우 패킷 1200여 개의 차이를 보임을 알 수 있다.

그림 4는 BER 측정 임계값 th 에 따른 Robust TCP의 Throughput을 보여준다. 실험은 무선 링크 BER이 10-1인 상황에서 Robust TCP만 수행되었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 Robust TCP는 임계값이 작을수록 버스트 에러를 빨리 판단하여 Throughput이 좋아지는 것을 볼 수 있다.

그림 5는 버스트 에러 발생 가중치 w 의 변화에 따라 임계값에 따른 Robust TCP의 Throughput을 보여준다. 그림 5에서 보듯이 w 의 값이 5보다 작은 경우는 지속적이지 않지만 적은 에러가 빈번한 버스트 에러를 만든다. w 의 값이 5보다 커지면서 발생 빈도는 적어지지만 지속시간이 긴 버스트 에러를 발생시킨다. 실험 결과에서와 같이 Robust TCP는 작은 작은 비트 에러로 인한 패킷 오류 상황뿐만 아니라 긴 버스트 에러 상황 아래에서도 우수한 성능을 보임을 알 수 있다. 버스트 에러에 대한 BER 측정 임계값이 작은 경우가 임계값이 큰 경우보다 버스트 에러를 더 빨리 발견하여 Robust TCP 알고리즘이 구동되어 Throughput이 좋아지는 것을 보여준다.

V. 결론

본 논문에서는 무선 링크 특성상 발생하는 페이딩, 노이즈 간섭 등의 영향으로 인한 버스트(Burst)에러의 발생과 빈번한 연결 끊김으로 인한 TCP 성능을 저하를 극복하기 위한 무선 이동 TCP 메커니즘인 Robust TCP를 제안하였다.

Robust TCP 방식은 무선 링크에서 에러가 빈번히 발생하는 경우 성능이 좋음을 보여준다. 특히 BER이 높고 버스트 에러의 발생 빈도수가 높은 경우 기존의 제안된 방식에 비하여 우수한 성능 향상을 보였다.

본 논문에서 제안한 Robust TCP 방식은 무선 인터넷의 사용이 급격히 증가하고 무선 기기의 처리 속도가 증가하는 시점에서 이동성 및 서비스 품질을 향상 시킨 방식이다. 이는 향후 유·무선 통합 환경에서 요구되어질 무선 환경에 최적화된 TCP가 갖추어야 할 요구조건과 부합된다 할 수 있다.

참 고 문 헌

[1] A. Baker and B. R. Badrinath, "I-TCP: Indirect TCP for Mobile Hosts," Proceedings of distributed Computing System, pp.136-143, Jun. 1995.

[2] M. Naghshineh, M. Schwartz and A. S. Acampora, "Issues in Wireless Access Broadband Networks," Wireless Information Networks, Architecture, Resource management, and Mobile Data, J. M. Holtzman, Ed., Kluwer, 1996.

[3] 조준상, 최명환, "전송효율이 높은 무선환경에서의 TCP 성능저하 극복방안," Telecommunications Review, 제10권 6호, pp.1220-1232, 2000년 11월

[4] K. Brown and S. Singh, "M-TCP: TCP for Mobile Cellular Networks," ACM Computer Communications Review (CCR), pp.19-43. Vol. 27, No. 5, Jul. 1997.

[5] H. Balakrishnan, S. Seshan, E. Amir, and R. H. Katz, "Improving TCP/IP Performance over Wireless Networks," Proc. IEEE Distributed Computing Systems, pp.365-373, May. 1997.

[6] Ole J. Jacobsen, "The Future for TCP", The Internet Protocol Journal, pp. 2-27, Vol.3, Num.3, Sep. 2000.

[7] Prasun Sinha, Thyagarajan Nandagopal, Narayanan Venkitaraman, "WTCP: A Reliable Transport Protocol for Wireless Wide-Area Networks," MOBOCOM'99, pp.231-241, Aug. 1999

[8] Sally Floyd, "A report on recent developments in TCP Congestion Control," IEEE Communication Magazine, Vol.139, No.4, pp.84-90, Apr. 2001.

[9] R. Ramjee et al., "IP Micro-mobility Support Using HAWAII," Internet draft, draft-ietf-monileip-hawaii-01.txt, Jul. 2000.

[10] H. Balakrishnan, S. Seshan, and R. H. Katz, "Improving Reliable Transport and Handoff Performance in Cellular Wireless Networks," Wireless Networks, pp.469-481, Vol.1, No.4, Dec. 1995.

[11] K. Ratnam and I. Matta, "WTCP: An Efficient Mechanism for Improving TCP Performance over Wireless Links," Proceedings of the Third IEEE Symposium on Computers and Communications, pp.74-78, Jun. 1998.

[12] H. Balakrishnan, V. N. Padmanabhan, S. Seshan, and R. H. Katz, "A Comparison of Mechanisms of Improving TCP Performance over Wireless Links", IEEE/ACM Transactions On Networking, pp.756-769, Vol.5, No.6, Dec. 1997.

박 종 훈(Jonghun Park)

준회원



2003년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업

2003년 3월~현재 : 숭실대학교 전자공학과 석사과정

<관심분야> 멀티미디어 QoS, DiffServ 네트워크, 인터넷 QoS

보장, 인터넷 혼잡 제어

배 세 인(Se-In Bae)

준회원



2002년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 졸업

2004년 2월 : 숭실대학교 전자공학과 석사

<관심분야> Mobile Communication, Handoff

Algorithm, Cellular IP, Wireless Internet

유 명 식(Myungsik Yoo)

정회원



1989년 2월 : 고려대학교 전자전산공학과 졸업

1991년 2월 : 고려대학교 전자공학과 석사

2000년 1월~8월 : Dept. of Electrical Engineering, SUNY at Buffalo 박사

2000년 9월~현재 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수

<관심분야> 광네트워크, OBS, 인터넷 QoS, Wireless TCP, Wireless Link Protocol